

ICS 27.140
P 59
备案号: J153—2018

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5150 — 2017

代替 DL/T 5150 — 2001

水工混凝土试验规程

Test code for hydraulic concrete

2017-11-15 发布

2018-03-01 实施

国家能源局 发布



中国电力出版社官方微信



电力标准信息查询

为您提供 **最及时、最准确、最权威** 的电力标准信息



155198.1001

定价: 106.00 元

DL/T 5150—2017
代替 DL/T 5150 — 2001

中华人民共和国电力行业标准

水工混凝土试验规程

Test code for hydraulic concrete

DL/T 5150 — 2017

主编机构：中国电力企业联合会

批准部门：国 家 能 源 局

施行日期：2018 年 3 月 1 日

中国电力出版社

2018 北 京

国家能源局

公 告

2017 年 第 10 号

依据《国家能源局关于印发《能源领域行业标准化管理办法（试行）》及实施细则的通知》（国能局科技〔2009〕52号）有关规定，经审查，国家能源局批准《煤层气生产站场安全管理规范》等 204 项行业标准，其中能源标准（NB）62 项、电力标准（DL）86 项、石油标准（SY）56 项，现予以发布。

上述标准中电力管理、电工装备标准、煤层气及生物液体燃料标准由中国电力出版社出版发行，电力（火电）规划设计标准由中国计划出版社出版发行，《定制电力技术导则》由中国标准出版社出版发行，石油天然气标准由石油工业出版社出版发行，煤炭标准由煤炭工业出版社出版发行，锅炉压力容器标准由新华出版社出版发行。

附件：行业标准目录

国家能源局

2017 年 11 月 15 日

中华人民共和国电力行业标准

水工混凝土试验规程

Test code for hydraulic concrete

DL/T 5150—2017

代替 DL/T 5150—2001

*

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2018 年 12 月第一版 2019 年 2 月北京第三次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 8.75 印张 217 千字
印数 1301—2300 册

*

统一书号 155198·1001 定价 106.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换

附件:

前 言

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
...						
108	DL/T 5150—2017	水工混凝土试验规程	DL/T 5150—2001		2017-11-15	2018-03-01
...						

本规程是根据《国家能源局关于下达 2010 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2010〕320 号）要求，对《水工混凝土试验规程》DL/T 5150—2001 进行的修订。

本规程修订过程中，编制组经过调查研究，总结实践经验，参考国内外相关标准，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿。

本规程共分 7 章，主要技术内容包括：混凝土拌和物、混凝土、全级配混凝土、现场混凝土性能试验、水泥砂浆。

本次修订的主要内容包括：

- 增加高速圆环法混凝土抗冲磨试验、旋转射流法混凝土抗冲磨试验、高速水下钢球法混凝土抗冲磨试验、混凝土快速氯离子迁移系数试验、混凝土泊松比试验、混凝土早期抗裂性试验、超声回弹综合法检测混凝土抗压强度、钻芯法检测混凝土抗渗性、钻芯拉拔法检测混凝土黏结强度和水泥砂浆含气量试验共 10 个试验方法。
- 在混凝土拌和物含气量试验中，增加关于注水排气的规定。
- 在混凝土压缩徐变、拉伸徐变、干缩湿胀、自生体积变形试验中，增加关于变形数据自动测量、采集的规定。
- 增加“术语”一章。
- 删除混凝土抗含砂水流冲刷试验（圆环法）、混凝土抗氯离子渗透快速试验、超声波检测混凝土抗压强度和均匀性、超声波检测混凝土裂缝深度（平测法）、超声波

检测混凝土裂缝深度（对、斜测法）、超声波检测混凝土内部缺陷和混凝土原位直剪试验（平推法）。

——在混凝土、全级配混凝土和水泥砂浆轴向拉伸试验及混凝土抗弯试验中，将弹性模量的计算上限由 50%破坏应力改为 40%破坏应力。

——将原附录 A～附录 F 修订为规范正文，删除提示性附录 G～附录 J。

——提高对混凝土绝热温升试验绝热条件的温度控制精度要求。

——完善混凝土力学性能试验等。

——按照《关于印发〈工程建设标准编写规定〉的通知》（建标〔2008〕182号）要求修改。

本规程由中国电力企业联合会提出。

本规程由电力行业水电施工标准化技术委员会（DL/T C29）

归口。

本规程主编单位：南京水利科学研究院

中国水利水电科学研究院

本规程参编单位：长江水利委员会长江科学院

武汉大学

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司

葛洲坝集团试验检测有限公司

中国水利水电第三工程局有限公司

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

中国水利水电第七工程局有限公司

雅砻江流域水电开发有限公司

本规程主要起草人员：蔡跃波 丁建彤 陈改新 纪国晋

杨华全 曾力 李光伟 陈志远

谢凯军 林星平 杨森 何金荣

宋人心 钱文勋 王少江 陈霞

傅翔 陈波 白银

本规程主要审查人员：梅锦煜 王鹏禹 许松林 汪毅

高翔 楚跃先 陈宏 孙志禹

郭光文 孙来成 黄中鑫 张文山

吴高见 杨成文 王军 钟彦祥

沈益源 杨涛 何小雄 孙昌忠

吕芝林 陈文耀 殷洁 李勇

本规程在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

目次

1 总则	1
2 术语	2
3 混凝土拌合物	3
3.1 室内拌和与现场取样	3
3.2 坍落度试验	5
3.3 维勃稠度试验	7
3.4 扩展度试验	9
3.5 泌水率试验	10
3.6 压力泌水率试验	12
3.7 表观密度试验	13
3.8 拌和均匀性试验	15
3.9 凝结时间试验	16
3.10 含气量试验	18
3.11 水洗法水胶比分析试验	22
3.12 烘干法水胶比分析试验	24
4 混凝土	27
4.1 混凝土试件的成型与养护	27
4.2 混凝土立方体抗压强度试验	29
4.3 混凝土劈裂抗拉强度试验	31
4.4 混凝土黏结强度试验	33
4.5 混凝土轴向拉伸试验	34
4.6 混凝土抗弯试验	38
4.7 混凝土抗剪强度试验	42
4.8 混凝土轴心抗压强度与静力抗压弹性模量试验	44
4.9 混凝土与钢筋握裹力试验	47

4.10 混凝土压缩徐变试验	51
4.11 混凝土拉伸徐变试验	57
4.12 混凝土干缩湿胀试验	61
4.13 混凝土自生体积变形试验	63
4.14 混凝土导热系数试验	65
4.15 混凝土导热系数试验	69
4.16 混凝土比热容试验	73
4.17 混凝土线膨胀系数试验	76
4.18 混凝土绝热温升试验	77
4.19 高速圆环法混凝土抗冲磨试验	80
4.20 旋转射流法混凝土抗冲磨试验	82
4.21 水下钢球法混凝土抗冲磨试验	85
4.22 高速水下钢球法混凝土抗冲磨试验	87
4.23 风砂枪法混凝土抗冲磨试验	90
4.24 混凝土抗渗性试验	94
4.25 混凝土相对渗透性试验	96
4.26 混凝土抗冻性试验	97
4.27 混凝土或砂浆动弹性模量试验	99
4.28 混凝土气泡参数试验	102
4.29 新拌砂浆阳极化法混凝土中钢筋腐蚀的电化学试验	104
4.30 硬化砂浆阳极化法混凝土中钢筋腐蚀的电化学试验	109
4.31 混凝土碳化试验	112
4.32 混凝土快速氯离子迁移系数试验	114
4.33 混凝土钢筋腐蚀快速试验	121
4.34 混凝土泊松比试验	124
4.35 混凝土抗压强度快速试验	127
4.36 混凝土透气性试验	128
4.37 真空脱水混凝土试件的成型与养护	131
4.38 混凝土拌和物真空脱水率试验	133

4.39 混凝土早期抗裂性试验	134
5 全级配混凝土	138
5.1 全级配混凝土试件的成型与养护	138
5.2 全级配混凝土抗压强度试验	139
5.3 全级配混凝土劈裂抗拉强度试验	140
5.4 全级配混凝土弯曲试验	141
5.5 全级配混凝土轴向拉伸试验	143
5.6 全级配混凝土静力抗压弹性模量试验	145
5.7 全级配混凝土渗透系数试验	147
6 现场混凝土性能试验	150
6.1 回弹法检测混凝土抗压强度	150
6.2 超声回弹综合法检测混凝土抗压强度	157
6.3 射钉法检测混凝土强度	162
6.4 钻芯法检测混凝土强度	168
6.5 钻芯法检测混凝土抗渗性	171
6.6 钻芯拉拔法检测混凝土黏结强度	171
6.7 混凝土中钢筋半电池电位试验	174
7 水泥砂浆	179
7.1 水泥砂浆室内拌和与现场取样	179
7.2 水泥砂浆稠度试验	180
7.3 水泥砂浆泌水率试验	182
7.4 水泥砂浆密度试验及含气量计算	183
7.5 水泥砂浆含气量试验	185
7.6 水泥砂浆抗压强度试验	187
7.7 水泥砂浆劈裂抗拉强度试验	189
7.8 水泥砂浆黏结强度试验	190
7.9 水泥砂浆轴向拉伸试验	192
7.10 水泥砂浆干缩湿胀试验	195
7.11 水泥砂浆抗冻性试验	196

7.12 水泥砂浆抗渗性试验	198
----------------------	-----

附录 A 混凝土导热系数 $\frac{\theta}{\theta_0}$ 值和 $\frac{at}{D^2}$ 值的关系表

(高度为直径 2 倍的圆柱体)

附录 B 回弹法测区混凝土强度换算表	200
--------------------------	-----

本规程用词说明	213
---------------	-----

引用标准名录	228
--------------	-----

附：条文说明	229
--------------	-----

附：条文说明	231
--------------	-----

Contents

1 General provisions	1	4.9 Test of bonding between concrete and steel bar	47
2 Terms	2	4.10 Compressive creep test	51
3 Concrete mixture	3	4.11 Tensile creep test	57
3.1 Mixing method in laboratory and field sampling	3	4.12 Dry shrinkage (wet bulking) test	61
3.2 Slump test	5	4.13 Autogenous volume deformation test	63
3.3 Vebe consistency test	7	4.14 Thermal diffusivity test	65
3.4 Slump flow test	9	4.15 Thermal conductivity coefficient test	69
3.5 Bleeding rate test	10	4.16 Specific heat test (adiabatic method)	73
3.6 Pressure bleeding rate test	12	4.17 Linear expansion coefficient test	76
3.7 Density test	13	4.18 Adiabatic temperature rise test	77
3.8 Uniformity test	15	4.19 Anti-abrasion test (ring specimen method)	80
3.9 Setting time test	16	4.20 Anti-abrasion test (high-speed rotating jet flow method)	82
3.10 Air content test	18	4.21 Anti-abrasion test (underwater steel ball method)	85
3.11 Water-cementitious material ratio test (wash method)	22	4.22 Anti-abrasion test (high-speed underwater steel ball method)	87
3.12 Water-cementitious material ratio test (fry-dry method)	24	4.23 Anti-abrasion test (sand-air jetting method)	90
4 Concrete	27	4.24 Anti-seepage test	94
4.1 Methods for making and curing concrete specimens	27	4.25 Relative anti-seepage test	96
4.2 Compressive strength test of concrete cubes	29	4.26 Freezing-thawing resistance test	97
4.3 Splitting tensile strength test	31	4.27 Dynamic elastic modulus test (concrete and mortar)	99
4.4 Adhesive strength test	33	4.28 Air bubble parameters test of hardened concrete	102
4.5 Axial tensile test	34	4.29 Electrochemistry test of steel bar corrosion in concrete (anodic polarization method of fresh mortar)	104
4.6 Flexural strength test	38	4.30 Electrochemistry test of steel bar corrosion in concrete (anodic polarization method of hardened mortar)	109
4.7 Shear strength test	42	4.31 Carbonation test	112
4.8 Test of axial compressive strength and static compressive elastic modulus	44	4.32 Quick test on resistance of chloride ion diffusion	114
		4.33 Quick test of steel bar corrosion in concrete	121
		4.34 Poisson's ratio of concrete in compression	124
		4.35 Quick test of compressive strength	127

4.36	Air permeability test	128
4.37	Methods for making and curing vacuum-dehydrating concrete specimens	131
4.38	Dehydration ratio test of fresh concrete	133
4.39	Crack resistance of concrete at early age	134
5	Fully-graded concrete	138
5.1	Methods for making and curing concrete specimens	138
5.2	Compressive strength test	139
5.3	Splitting tensile strength test	140
5.4	Flexural strength test	141
5.5	Axial tensile test	143
5.6	Static compressive elastic modulus test	145
5.7	Permeability coefficient test	147
6	Concrete quality test on site	150
6.1	Compressive strength test with rebound hammer	150
6.2	Compressive strength test with rebound hammer and ultrasonic wave	157
6.3	Compressive strength test with nile gun	162
6.4	Strength test of concrete core sample	168
6.5	Anti-seepage test of concrete core sample	171
6.6	Adhesive strength test by pulling the concrete core sample	171
6.7	Measurement of half-cell potential of steel bar in concrete	174
7	Mortar	179
7.1	Method for mixing cement mortar in laboratory and field sampling	179
7.2	Consistency test	180
7.3	Bleeding rate test	182
7.4	Density test and air content calculation	183
7.5	Air content test	185

7.6	Compressive strength test	187
7.7	Splitting tensile strength test	189
7.8	Bonding strength test	190
7.9	Axial tensile test	192
7.10	Dry shrinkage (wet bulking) test	195
7.11	Freezing-thawing resistance test	196
7.12	Anti-seepage test	198
Appendix A	Relationship between $\frac{\theta}{\theta_0}$ and $\frac{at}{D^2}$ in thermal diffusivity test	200
Appendix B	Conversion factors of compressive strength of concrete and the value of rebound hammer	213
	Explanation of wording in this code	228
	List of quoted standards	229
	Addition: Explanation of provisions	231

1 总 则

1.0.1 为规范水工混凝土和砂浆的试验检测方法，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于水电水利工程混凝土和砂浆的室内、现场试验检测。

1.0.3 除特别规定外，试验室温度宜为 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度宜不小于 50%。试验原材料、试样、试件、仪器设备的温度宜与试验室的一致，并应避免阳光照射。

1.0.4 水工混凝土和砂浆的试验除应执行本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 扩展度 slump flow

坍落度试验时,拌和物在自重作用下逐渐流动至不再扩展或从提起坍落度筒算起的扩展时间已达到 60s 时的直径。

2.0.2 湿筛法 wet sieving

对刚拌制好的混凝土拌和物,按试验规定的最大骨料粒径选用对应孔径的方孔筛过筛,筛除超过该粒径的骨料,再将筛下的混凝土拌和物人工翻拌均匀的方法。

2.0.3 徐变 creep

硬化混凝土试件在恒定的压应力或者拉应力作用下,随时间增长的变形。

2.0.4 徐变度 specific creep

单位应力下的徐变。

2.0.5 自生体积变形 autogenous volume deformation

混凝土在恒温绝湿的条件下,仅仅由于胶凝材料的水化作用引起的体积变形。

2.0.6 相对动弹性模量 relative dynamic modulus of elasticity

混凝土试件在 n 次冻融循环后的动弹性模量与冻融循环前的动弹性模量之比,以冻融前后试件自振频率的平方之比计算,作为评价抗冻性的指标。

2.0.7 气泡间距系数 spacing factor

混凝土的胶凝材料浆体中相邻气孔边缘之间的平均间距。

3 混凝土拌和物

3.1 室内拌和与现场取样

3.1.1 目的及适用范围: 规定了混凝土的室内拌和与取样方法,为室内试验提供混凝土拌和物。

3.1.2 仪器设备应符合下列要求:

1 混凝土搅拌机:

- 1) 自落式,容量 50L~100L,转速 18r/min~22r/min;
- 2) 强制式,容量 60L~100L,转速 45r/min~48r/min。

2 拌和钢板: 平面尺寸不小于 1.5m×2.0m,厚 5mm 左右。

3 磅秤: 称量 50kg~100kg,感量不大于 50g。

4 台秤: 称量 10kg,感量不大于 5g。

5 天平: 称量 1kg,感量不大于 0.5g。

6 其他: 盛料容器和铁铲等。

3.1.3 拌和应符合下列要求:

1 机械拌和应符合下列要求:

- 1) 机械拌和在搅拌机中进行。拌和前应将搅拌机冲洗干净,并预拌少量同种混凝土拌和物或水胶比相同的砂浆,使搅拌机内壁挂浆后将剩余料卸出,倒在拌和钢板上,用砂浆润湿拌和钢板。
- 2) 将称好的骨料、胶凝材料、砂料、预先溶入外加剂的拌和用水依次加入搅拌机,加料时间不应超过 2min,开动搅拌机搅拌 2min~3min。
- 3) 将拌好的混凝土拌和物卸在钢板上,略微刮去黏结在搅拌机上的拌和物,人工翻拌 2 次~3 次,使之

均匀。

2 确需人工拌和时，应符合下列要求：

- 1) 人工拌和在钢板上进行，拌和前应将钢板及铁铲清洗干净，并保持表面润湿，但无明水。
- 2) 将称好的水泥和掺合料预先拌均匀，然后与砂料倒在钢板上，用铁铲翻拌至颜色均匀，再放入称好的骨料与之拌和，至少翻拌 3 次，然后堆成锥形。将中间扒成凹坑，加入预先溶入外加剂的拌和用水，小心拌和，至少翻拌 6 次。每翻拌一次后，用铁铲将全部拌和物铲切一次。拌和从加水完毕时算起，应在 10min 内完成。

3 材料用量以质量计。称量精度：水泥、掺合料、水和外加剂应不大于 $\pm 0.3\%$ ，骨料应不大于 $\pm 0.5\%$ 。

4 砂、石料用量均以饱和面干状态下的质量为准。

5 用以拌制混凝土的各种材料，应提前放置在室内，使其温度与拌和间温度相同。

6 机械拌和一次拌和量不宜少于搅拌机容量的 20%，且不宜大于搅拌机容量的 80%。人工拌和一般用于拌和较少量的非引气混凝土，一次拌和量不宜超过 7L。

7 拌和物总量不应少于所需量的 1.2 倍。

3.1.4 现场取样应符合下列要求：

1 同一组混凝土拌和物应从同一盘混凝土或同一车混凝土中取样。取样量应多于试验所需量的 1.5 倍，且宜不小于 20L。

2 取样应具有代表性，宜采用多次采样的方法。一般在同一盘混凝土或同一车混凝土中的约 1/4 处、1/2 处和 3/4 处分别取样，从第一次取样到最后一次取样不宜超过 15min，然后人工拌和均匀。

3 从取样完毕到开始做各项性能试验不宜超过 10min。

3.2 坍落度试验

3.2.1 目的及适用范围：测定混凝土拌和物的坍落度，以评定混凝土拌和物的和易性。适用于骨料最大粒径不超过 40mm、坍落度不小于 10mm 的塑性或流动性混凝土拌和物。

3.2.2 仪器设备应符合下列要求：

1 坍落度筒：用 2mm~3mm 厚的铁皮制成的截头圆锥筒，筒内壁应光滑，其上下端面应与轴线垂直。在距筒的上口约 100mm 处的两侧装有 2 个把手，并在靠近其下口的两侧装有两个踏板，以便于试验过程中坍落度筒的固定，坍落度筒的具体形状尺寸见图 3.2.2。

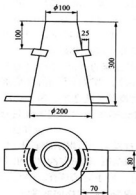


图 3.2.2 坍落度筒（单位：mm）

2 捣棒：直径应为 $16\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，长度应为 $650\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 。由圆钢制成的捣棒，表面应光滑，端部呈半球形。

3 钢直尺：300mm，最小刻度 1mm。

4 其他: 40mm 孔径方孔筛、装料漏斗、钹刀、小铁铲、温度计等。

3.2.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第 3.1 节的规定拌制混凝土拌和物。若骨料粒径超过 40mm, 应采用湿筛法剔除。

2 将坍落度筒、捣棒及钢板冲洗干净并保持湿润, 然后将坍落度筒放在钢板上, 双脚踏紧踏板。

3 将混凝土拌和物用小铁铲通过装料漏斗分 3 层装入筒内, 每层高度大致相等。每装一层, 用捣棒在筒内从边缘到中心按螺旋形均匀插捣 25 次; 在筒边插捣时, 捣棒应稍有倾斜。顶层装料时, 应使拌和物高出筒口, 插捣过程中, 如试样沉落到低于筒口, 则应随时添加, 使混凝土始终高于筒口。插捣深度: 底层应穿透该层, 中、上层应分别插进其下层约 10 mm~20mm。

4 上层插捣完毕, 取下装料漏斗, 用钹刀将混凝土拌和物沿筒口抹平, 并清除筒外周围的混凝土。

5 将坍落度筒徐徐竖直提起, 轻放于试样旁边, 整个提高过程应在 5s~10s 内完成。当试样不再继续坍落时, 用钢尺量出试样顶部中心点与坍落度筒高度之差, 即为坍落度值, 准至 1mm。

6 整个坍落度试验应连续不间断地进行, 并应在 2min~3min 内完成。

7 若混凝土试样发生一边坍塌或剪坏, 则该次试验作废, 应取另一部分试样重做试验; 如第二次试验仍出现上述现象则表示该混凝土和易性不好, 应予记录备查。

8 测记试验时混凝土拌和物的温度。

3.2.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 混凝土拌和物的坍落度以毫米计, 结果修约至 5mm。

2 在测定坍落度的同时, 可目测评定混凝土拌和物的下列性质:

1) 稠度: 根据做坍落度时插捣混凝土的难易程度分为

上、中、下三级。上——表示容易插捣; 中——表示插捣时稍有阻滞感觉; 下——表示很难插捣。

2) 黏聚性: 用捣棒在做完坍落度的试样一侧轻打, 如试样保持原状而渐渐下沉, 表示黏聚性较好; 若试样突然坍倒、部分崩裂或发生浆体离析现象, 表示黏聚性不好。

3) 含砂情况: 根据钹刀抹平程度分多、中、少三级。多——用钹刀抹混凝土拌和物表面时, 抹 1 次~2 次就可使混凝土表面平整无蜂窝; 中——抹 4 次~5 次就可使混凝土表面平整无蜂窝; 少——抹面困难, 抹 8 次~9 次后混凝土表面仍不能消除蜂窝。

4) 析水情况: 根据水分从混凝土拌和物中析出的情况分多量、少量、无三级。多量——表示在插捣时及提起坍落度筒后就有很多水分从底部析出; 少量——表示有少量水分析出; 无——表示没有明显的析水现象。

3.3 维勃稠度试验

3.3.1 目的及适用范围: 测定混凝土拌和物的维勃稠度, 以评定混凝土拌和物的工作性。适用于骨料最大粒径不超过 40mm、且维勃稠度为 5s~30s 的混凝土。

3.3.2 仪器设备应符合下列要求:

1 维勃稠度仪: 主要由以下各部分组成(见图 3.3.2), 应符合 JG 3043《维勃稠度仪》的规定。

1) 容量筒: 内径 240mm±3mm、高 200mm±2mm、壁厚 3mm、底厚 7.5mm 的金属圆筒, 筒两侧有手柄, 底部可固定于振动台上。

2) 坍落度筒: 无脚踏板, 其他规格应符合本规程第 3.2.2 条的规定。

3) 圆盘: 要求透明平整, 可用无色有机玻璃制成, 直径

230mm±2mm, 厚 10mm±2mm。圆盘上放有荷重块, 圆盘与滑杆相连。圆盘、滑杆及荷重块组成的滑动部分总质量为 2750g±50g。滑杆上有刻度, 其最小刻度为 1mm, 可用于测读混凝土的坍落度。

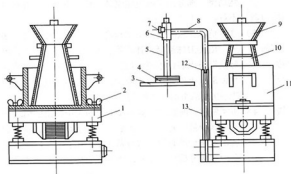


图 3.3.2 混凝土拌和物维勃稠度测定仪

1—振动台; 2—元宝螺栓; 3—圆盘; 4—荷重块; 5—滑杆; 6—套筒; 7—螺栓;
8—旋转架; 9—漏斗; 10—坍落度筒; 11—容量筒; 12—定位螺钉; 13—支柱

- 4) 旋转架: 安装在支柱上, 由定位螺钉固定其位置。旋转架一侧安装套筒, 滑杆可穿过套筒垂直滑动, 并可由螺栓固定。另一边安装有漏斗。
- 5) 振动台: 台面长 380mm±3mm、宽 260mm±3mm, 振动频率为 50Hz±3.3Hz, 装有空容量筒时的振幅为 0.5mm±0.05mm, 振动台由 4 个橡胶制成的中空减振器支承。

2 其他: 捣棒、秒表、慢刀、小铁铲等。

3.3.3 试验步骤应符合下列要求:

- 1 按本规程第 3.1 节的规定制备试样, 骨料粒径大于 40mm

时, 用湿筛法剔除, 亦可人工剔除。

- 2 用湿布将容量筒、坍落度筒及漏斗内壁润湿。

3 将容量筒用元宝螺栓固定于振动台台面上。把坍落度筒放入容量筒内并对中, 然后把漏斗旋转到筒顶位置并把它坐落在坍落度筒的顶上, 拧紧螺栓, 以保证坍落度筒不能离开容量筒底部, 就位后滑杆和漏斗的轴线应与容量筒的轴线重合。

4 按本规程第 3.2.3 条第 3 款规定将混凝土拌和物装入坍落度筒。上层插捣完毕后, 将定位螺钉松开, 漏斗旋转 90°, 用慢刀刮平顶面。

5 将坍落度筒小心缓慢地垂直提起, 让混凝土慢慢坍陷, 放松螺栓, 把透明圆盘转到坍陷的混凝土锥体上部, 小心下降圆盘直至与混凝土面接触。此时可从滑杆上刻度读出坍落度数值。

6 开动振动台, 同时用秒表计时, 当振动到透明圆盘的底面被水泥浆布满的瞬间停止计时, 关闭振动台。

- 7 记录秒表上的时间, 精确至 0.5s。

8 试验结束后, 需将仪器擦洗干净, 以备下次使用, 并在滑杆等处涂抹薄层黄油。

3.3.4 由秒表读出的时间 (s) 即为混凝土拌和物的维勃稠度值。

3.4 扩展度试验

3.4.1 目的及适用范围: 测定混凝土拌和物的扩展度, 又称扩散度, 以评定混凝土拌和物的流动性。适用于骨料最大粒径不超过 40mm、坍落度大于 150mm 的流态混凝土。

3.4.2 仪器设备应符合下列要求:

- 1 钢尺: 长度 1000mm, 最小刻度 1mm。
- 2 钢性平板: 平面尺寸不小于 800mm×800mm, 厚度不宜小于 6mm。
- 3 其他: 符合本规程第 3.2.2 条的规定。

3.4.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第 3.1 节的规定拌制混凝土拌和物。若骨料粒径超过 40mm, 应采用湿筛法剔除, 亦可人工剔除。

2 按本规程第 3.2 节第 3.2.3 条第 2~4 款进行试验操作, 当混凝土坍落度大于 210mm 以上时, 拌和物宜均匀一次性填入坍落度筒内。

3 将坍落度筒徐徐竖立提起, 拌和物在自重作用下逐渐扩展, 当拌和物不再扩展或扩展时间已达到 60s 时, 用钢尺在最大直径以及其垂直方向取拌和物扩散后的直径, 准确至 1mm。

4 整个扩散度试验应连续进行, 并应在 4min~5min 内完成。

3.4.4 混凝土拌和物的扩展度取扩展后的最大直径以及其垂直方向的直径的平均值, 修约至 5mm。当测得两直径之差大于 50mm 时, 需从同一盘混凝土中另取试样重新试验。

3.5 泌水率试验

3.5.1 目的及适用范围: 测定混凝土拌和物的泌水率, 用于检查混凝土拌和物在固体组分沉降过程中水分离析的趋势、评价拌和物的和易性。适用于骨料最大粒径不超过 80mm 的混凝土。

3.5.2 仪器设备应符合下列要求:

1 容量筒: 内径及高均为 267mm 的金属圆筒, 带盖; 如无盖可用玻璃板代替。

2 磅秤: 称量 50kg, 感量不大于 50g。

3 带塞量筒: 100mL。

4 其他: 吸液管、钟表、铁铲、捣棒、慢刀等。

3.5.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第 3.1 节的规定制备混凝土拌和物。

2 将容量筒内壁用湿布润湿, 称容量筒质量。

3 装料捣实。

混凝土的装料及捣实方法有两种:

方法 A: 用振动台振实。将试样一次装入容量筒内, 开启振

动台, 振动应持续到表面出浆为止, 且应避免过振; 并使混凝土拌和物表面低于容量筒筒口 30mm±3mm, 用慢刀抹平。抹平后将筒口及外表面擦净, 立即称量, 记录容量筒与试样的总质量。

方法 B: 用捣棒捣实。采用捣棒捣实时, 混凝土拌和物应分 2 层装入, 每层的插捣次数应为 25 次; 捣棒由边缘向中心均匀地插捣, 插捣底层时捣棒应贯穿整个深度, 插捣第二层时, 捣棒应插透本层至下一层的表面; 每一层捣完后用橡皮锤轻轻沿容量筒外壁敲打 5 次~10 次, 进行振实, 直至拌和物表面插捣孔消失并不见大气泡为止; 并使混凝土拌和物表面低于容量筒筒口 30mm±3mm, 用慢刀抹平。抹平后将筒口及外表面擦净, 立即称量, 记录容量筒与试样的总质量。

4 将试样筒静置于无振动的地方, 盖好筒盖并开始计时。

5 前 60min 每隔 20min 用吸液管吸出泌水一次, 以后每隔 30min 吸水一次, 直至连续 3 次无泌水为止。吸出的水注于量筒中, 读出每次吸出水的累计值。

6 每次吸取泌水前 5min, 应将筒底一侧垫高约 30mm, 使容量筒倾斜, 以便于吸出泌水, 吸出泌水后仍将筒轻轻放平盖好。

3.5.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 泌水率按式 (3.5.4) 计算, 计算结果保留至 1%:

$$B = \frac{m_b}{(m_w / m_c) m_1} \times 100 \quad (3.5.4)$$

式中: B ——泌水率, %;

m_b ——泌水总质量, g;

m_w ——一次拌和的用水量, g;

m_c ——一次拌和的混凝土总质量, g;

m_1 ——试样质量, g。

以 2 个测值的平均值作为试验结果。

2 以时间为横坐标, 泌水量累计值为纵坐标, 绘出泌水过程线。

3 捣实方法应在结果中注明。

3.6 压力泌水率试验

3.6.1 目的及适用范围：测定泵送混凝土压力泌水率。

3.6.2 仪器设备应符合下列要求：

1 压力泌水仪：由压力表、压力缸、筛网等部件构成，如图 3.6.2 所示。工作活塞压强为 3.5MPa，工作活塞公称直径为 125mm，压力缸容积为 1.66L，筛网孔径为 0.335mm。

2 磅秤：称量 50kg，感量不大于 50g。

3 其他：捣棒、1000mL 量筒等。

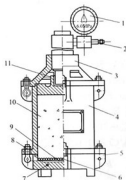


图 3.6.2 混凝土压力泌水仪

1—压力表；2—接头（接手动油泵）；3—上盖；4—缸体；5—底座；6—筛网；

7—泌水管阀门；8—O 型密封圈；9—筛板；10—试样；11—活塞

3.6.3 试验步骤应符合下列要求：

1 将混凝土拌和物装入缸体内，用捣棒由外向内均匀捣捣 25 次，将仪器按规定安装完毕。

2 称取混凝土质量 m ，尽快给混凝土加压力 3.5MPa，立即

打开泌水管阀门，同时开始计时，并保证恒压，泌出的水接入 1000mL 量筒内。

3 加压 10s 后读取泌水量 V_{10} ，加压至 140s 后读取泌水量 V_{140} 。

3.6.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 压力泌水率按式（3.6.4）计算，计算结果保留至 1%：

$$B_p = \frac{V_{10}}{V_{140}} \times 100 \quad (3.6.4)$$

式中： B_p ——压力泌水率，%；

V_{10} ——加压 10s 时的泌水量，mL；

V_{140} ——加压 140s 时的泌水量，mL。

以 3 次测值的平均值作为试验结果。

2 混凝土试样质量 m 应在结果中注明。

3.7 表观密度试验

3.7.1 目的及适用范围：测定混凝土拌和物单位体积的质量，为配合比计算提供依据。当已知所用原材料密度时，还可用以计算拌和物近似含气量。

3.7.2 仪器设备应符合下列要求：

1 容量筒：金属制圆筒，筒壁应有足够刚度，使之不易变形，规格见表 3.7.2。

表 3.7.2 容量筒规格表

骨料最大粒径 (mm)	容量筒容积 (L)	容量筒内部尺寸 (mm)	
		直径	高度
40	5	186	186
80	15	267	267
150 (120)	80	467	467

2 磅秤：根据容量筒容积的大小，选择适宜称量的磅秤，称量 50kg~250kg，感量不大于 50g~100g。

3 其他：捣棒、尺寸稍大于容量筒口的玻璃板、金属直尺等。

3.7.3 试验步骤应符合下列要求：

1 测定容量筒容积：将干净的容量筒与玻璃板一起称其质量，再将容量筒装满水，仔细用玻璃板从筒口的一边推到另一边，使筒内满水及玻璃板下无气泡，擦干筒、盖的外表面，再次称其质量。2 次质量之差即为水的质量，除以该温度下水的密度，即得容量筒容积 V 。在正常情况下，水温影响可以忽略不计，水的密度可取为 1kg/L 。

2 按本规程第 3.1 节的规定拌制混凝土。

3 擦净空容量筒，称其质量 (m_1)。

4 将混凝土拌和物装入容量筒内，在振动台上振至表面泛浆。若用人工插捣，则将混凝土拌和物分层装入筒内，每层厚度不超过 150mm ，用捣棒从边缘至中心螺旋形插捣，每层插捣次数按容量筒容积分为：5L 15 次、15L 35 次、80L 72 次。底层插捣至底面，以上各层插至其下层 $10\text{mm}\sim 20\text{mm}$ 处。

5 沿容量筒口刮除多余的拌和物，抹平表面，将容量筒外部擦净，称其质量 (m_2)。

3.7.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 表观密度按式 (3.7.4-1) 计算，计算结果保留至 10kg/m^3 ：

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000 \quad (3.7.4-1)$$

式中： ρ ——混凝土拌和物的表观密度， kg/m^3 ；

m_2 ——混凝土拌和物及容量筒总质量， kg ；

m_1 ——容量筒质量， kg ；

V ——容量筒的容积， L 。

2 含气量按式 (3.7.4-2) 计算：

$$A = \frac{\rho_1 - \rho}{\rho_1} \times 100 \quad (3.7.4-2)$$

$$\rho_1 = \frac{m_c + m_p + m_s + m_g + m_w}{m_c / \rho_c + m_p / \rho_p + m_s / \rho_s + m_g / \rho_g + m_w / \rho_w} \quad (3.7.4-3)$$

式中： A ——混凝土拌和物的含气量，%；

ρ_1 ——不计含气时混凝土拌和物的理论表观密度， kg/m^3 ；

$m_c + m_p + m_s + m_g + m_w$ ——拌和物中水泥、掺合料、砂、石及水的质量， kg ；

ρ_c 、 ρ_p 、 ρ_s 、 ρ_g 、 ρ_w ——水泥、掺合料、砂、石、水的密度或表观密度， kg/m^3 。

3.8 拌和均匀性试验

3.8.1 目的及适用范围：检验混凝土拌和物的拌和均匀性，评定搅拌机的拌和质量 and 选择合适的拌和时间。

3.8.2 仪器设备应符合下列要求：

1 抗压强度试验设备与本规程第 4.2 节的设备相同，试模为边长 150mm 的立方体试模。

2 砂浆表观密度试验设备与本规程第 7.4 节设备相同。

3 取样工具及 5mm 方孔筛一个。

3.8.3 试验步骤应符合下列要求：

1 根据试验目的确定拌和时间：

1) 检验搅拌机在一定拌和时间下混凝土拌和物的均匀性时，拌和时间为操作制度所规定的时间。

2) 为选择合适的搅拌机拌和时间，可根据搅拌机容量大小选择 3 个~4 个可能采用的拌和时间，时间间隔可取 0.5min ，分别拌制原材料、配合比相同的混凝土。

2 取样：拌和达到规定时间后，从搅拌机口分别取最先出机和最后出机的混凝土试样各一份，取样数量应能满足试验需求。

3 将所取试样分别拌和均匀，各取一部分按本规程第 4.2 节

的规定进行边长 150mm 立方体试件的成型、养护及 28d 龄期抗压强度测定。将各自剩余部分试样分别用 5mm 筛筛取砂浆并拌和均匀,按本规程第 7.4 节的规定测定砂浆表观密度。

3.8.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 拌和物的拌和均匀性可用先后出机取样混凝土的 28d 抗压强度的差值 Δf 和砂浆密度的差值 $\Delta \rho$ 评定。

2 混凝土强度和砂浆密度偏差率按式 (3.8.4-1) 和式 (3.8.4-2) 计算:

$$\text{抗压强度偏差率}(\%) = \frac{\Delta f}{\text{两个强度值中的大值}} \times 100\% \quad (3.8.4-1)$$

$$\text{砂浆表观密度偏差率}(\%) = \frac{\Delta \rho}{\text{两个密度值中的大值}} \times 100\% \quad (3.8.4-2)$$

在选择合适拌和时间时,以拌和时间作为横坐标,以不同批次混凝土测得的强度偏差率或表观密度偏差率为纵坐标,绘制时间-偏差率曲线,在曲线上找出偏差率最小的拌和时间,即为最合适的拌和时间。

3.9 凝结时间试验

3.9.1 目的及适用范围: 测定混凝土拌和物的初凝与终凝时间。

3.9.2 仪器设备应符合下列要求:

1 贯入阻力仪:量程 1000N,读数精度 10N。测针长 100mm,在距贯入端 25mm 处有明显的标记,测针的承压面积有 100、50、20mm² 3 种。可采用手动式或自动式贯入阻力仪。

2 砂浆筒:用钢板制成,上口内径 160mm,下口内径 150mm,净高 150mm。也可用边长 150mm 不漏浆的立方体试模。

3 筛:孔径 5mm。

4 其他:振动台、捣棒、吸液管、温度计、钟表等。

3.9.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第 3.1 节的规定拌制混凝土拌和物。加水完毕时

开始时。用 5mm 筛从拌和物中筛取砂浆,并拌和均匀。将砂浆分别装入 3 只砂浆筒中,经振捣或插捣 35 次使其密实。砂浆表面应低于筒口约 10mm。编号后置于温度为 20℃±2℃ 的环境中,加盖玻璃板或湿麻袋。在其他较为恒定的温度、湿度环境中进行试验时,应在试验结果中加以说明。

2 从混凝土拌和加水完毕时起,经 2h 后开始贯入阻力测试。在测试前 5min 将砂浆筒底一侧垫高约 20mm,使筒倾斜,用吸液管吸去表面泌水。

3 测试时,将测针端部与砂浆表面接触,经 10s 使测针贯入砂浆深度 25mm,读记显示的最大阻力值,准确至 0.1MPa,每只砂浆筒每次测 1 个~2 个点。

4 测试过程中按贯入阻力大小,以测针承压面积从大到小的次序更换测针(见表 3.9.3)。

表 3.9.3 贯入阻力分级换针表

贯入阻力 (MPa)	0~3.5	3.5~20	20~28
测针承压面积 (mm ²)	100	50	20

5 此后每隔 1h 测一次,或根据需要规定测试的间隔时间。测点间距应大于 15mm。临近初凝及终凝时,应适当缩短测试间隔时间。如此反复进行,直至贯入阻力大于 28MPa 为止。

3.9.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 贯入阻力按式 (3.9.4) 计算,计算结果保留至 0.1MPa:

$$p = \frac{F}{A} \quad (3.9.4)$$

式中: p ——贯入阻力, MPa;

F ——贯入压力, N;

A ——相应的测针承压面积, mm²。

以 3 个测值的平均值作为试验结果。

2 以贯入阻力为纵坐标,测试时间为横坐标,绘制贯入阻

力-时间关系曲线。

3 以 3.5MPa 及 28MPa 划两条平行于横坐标的直线,直线与曲线交点对应的横坐标值即为初凝时间与终凝时间,计算结果保留至分钟。

3.10 含气量试验

3.10.1 目的及适用范围:测定混凝土拌和物中的含气量。适用于骨料最大粒径不大于 40mm 的混凝土拌和物。当骨料最大粒径超过 40mm 时,应用湿筛法剔除,此时测出的结果不是原级配混凝土的含气量,需要时可根据配合比进行换算。

3.10.2 仪器设备应符合下列要求:

1 气压式含气量测定仪:应符合 JG/T 246《混凝土含气量测定仪》的规定,如图 3.10.2 所示,量钵容积应为 7000mL±25mL,内直径与深度相等,含气量量程为 10%。

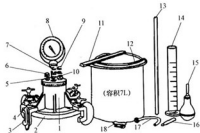


图 3.10.2 气压式含气量测定仪示意图

- 1—气室; 2—上盖; 3—夹子; 4—进水阀; 5—出水口; 6—微调阀; 7—排气阀;
8—压力表; 9—手泵; 10—平衡阀; 11—刮尺; 12—量钵; 13—捣棒; 14—量筒; 15—注水器; 16—校正管 (1); 17—校正管 (2); 18—水平仪

2 捣实设备:振动台或捣棒。

3 磅秤:称量 50kg,感量不大于 50g。

4 天平:称量 1kg 或 2kg,感量不大于 1g。

5 其他:打气筒、木槌、水桶、镢刀、刮尺和尺寸约 300mm×300mm 的玻璃板等。

3.10.3 试验步骤应符合下列要求:

1 率定含气量测定仪。

对采用气压表作为读数仪表的测定仪,其试验步骤如下:

1) 率定量钵的容积:用磅秤称量钵和玻璃板的总质量,将量钵加满水,用玻璃板沿钵顶徐徐平推将钵口盖住,使量钵内盛满水而玻璃板下面无气泡。擦干外部并称其质量。2 次质量之差即为量钵所装水的质量,除以该温度下水的密度即得量钵的容积 V_0 。一般可取水的密度为 1kg/L。

2) 率定含气量为 0 时的起点线:在上述步骤之后,去掉玻璃板并保持量钵滴水。将校正管 (1) 接在钵盖下面进水阀的端部。拧紧盖上的阀门,加橡皮垫圈,盖严钵盖。用水平仪检查仪器是否水平。打开进水阀,松开排气阀,用注水器从进水阀处加水,直至排气阀出水口冒水为止。然后关闭进水阀和排气阀,此时钵盖和钵体之间的孔隙被水充满。打开进气阀,用手泵往气室内打气加压,使压强稍大于 0.1MPa,然后用微调阀调整为 0.1MPa。按下平衡阀 1 次~2 次,使气室的压缩气体进入量钵内,测读压力表读数,准确至 0.01MPa。此时指针所指之处相当于含气量为 0 的起点线。

3) 率定含气量与压力表读数的关系曲线:起点线标定后,将校正管 (2) 接在进水阀的上端,校正管 (2) 出口处用量筒准备接水。按下平衡阀,然后慢慢打开进水阀,钵体内的水就通过校正管 (2) 流到量筒中,

当量筒中的水为量钵容积的 1% 时, 关闭进水阀。打开排气阀放气, 使量钵内的压力与大气压平衡, 然后关闭排气阀; 打开通水阀, 使校正管 (2) 内残留的水流回量钵中, 关闭进水阀。重新用手泵往气室内打气加压, 使压强稍大于 0.1MPa, 然后用微调节阀调整为 0.1MPa。按下平衡阀 1 次~2 次, 使气室内的压缩气体进入量钵内, 测读压力表读数, 准确至 0.01MPa。此时指针所指之处相当于含气量为 1% 的读数。

重复上述步骤 9 次, 每次取出量钵容积 1% 的水, 则压力表上读数分别对应于含气量 2%、3%、4%、5%、…、10%。以压力表读数为纵坐标、含气量为横坐标, 绘制含气量-压力表读数关系曲线。

读数仪上直接显示含气量的测定仪, 宜参考上述规定, 按照仪器说明书的要求进行率定。

2 拆除校正管 (1) 和校正管 (2), 擦净率定好的含气量测定仪, 将拌好的混凝土拌和物均匀适量地装入量钵内。用振动台振实, 振捣时间以 15s~30s 为宜。如采用人工捣实, 可将拌和物分 2 层装入, 每层插捣 25 次。

3 刮去表面多余的混凝土拌和物, 用刮尺抹平, 并使表面光滑无气泡。

4 擦净量钵边缘, 垫好橡皮圈, 盖严钵盖, 保持不漏气。

5 关好平衡阀, 打开排气阀和进水阀, 用注水器从进水阀处往量钵中注水, 直至水从排气阀出水口流出, 关闭进水阀和排水阀。

6 对气压式测定仪, 用手泵往气室中打气加压至稍大于 0.1MPa, 然后用微调节阀调整压力表至 0.1MPa; 按下平衡阀, 待压力表指针稳定后, 测读压力表读数, 与率定得到的含气量与压力表读数的关系曲线对照, 得到对应的含气量测值 A_1 。对读数仪上直接显示含气量的测定仪, 宜参考上述规定, 按照仪器说明书

的要求执行本步骤。

7 测定骨料校正因素: 骨料校正因素随骨料种类而变化。

1) 按式 (3.10.3-1) 和式 (3.10.3-2) 计算装入量钵中的砂石质量:

$$m_{sa} = \frac{m_s V_0}{1000 \times (1 - m_s / \rho_g)} \quad (3.10.3-1)$$

$$m_{st} = \frac{(m_1 + m_2) V_0}{1000 \times (1 - m_3 / \rho_g)} \quad (3.10.3-2)$$

式中: m_{sa} 、 m_{st} ——装入量钵中的砂、石质量, kg;

m_s ——每立方米混凝土中的用砂量, kg/m³;

m_1 、 m_2 、 m_3 ——每立方米混凝土中 5mm~20mm、20mm~40mm 及大于 40mm 的石子用量, kg/m³;

ρ_g ——大于 40mm 的石子表观密度, kg/m³;

V_0 ——量钵容积, L。

由式 (3.10.3-1) 和式 (3.10.3-2) 计算出的砂、石用量以饱和面干状态为准, 实际用量还需根据砂石料的含水情况进行修正。按修正后的砂、石用量称取砂、石料。

2) 量钵中先盛 1/3 高度的水, 将称取的砂石料混合并逐渐加入量钵中, 边加料边搅拌以排气, 每当水面升高 25mm 时, 用捣棒轻捣 10 次, 骨料全部加入后, 再加水至满, 然后除去水面泡沫, 擦净量钵边缘, 加橡皮圈, 盖紧钵盖, 使密不透气。按测定混凝土拌和物含气量的步骤测定此时的含气量, 即骨料校正因素 C。

3.10.4 试验结果处理应符合下列要求:

含气量按式 (3.10.4) 计算, 计算结果保留至 0.1%:

$$A = A_1 - C \quad (3.10.4)$$

式中: A——拌和物的含气量, %;

A_1 ——仪器测得的拌和物的含气量, %;

C ——骨料校正因素，%。

以 2 次测值的平均值作为试验结果。如 2 次含气量测值相差 0.5% 以上时，应找出原因，重做试验。

3.11 水洗法水胶比分析试验

3.11.1 目的及适用范围：测定混凝土拌和物的水胶比。

3.11.2 仪器设备应符合下列要求：

1 天平：称量 2kg，感量不大于 1g，并应有称水中质量的支架架。

2 称量桶：3 只～5 只，其中带玻璃板盖的 2 只，直径和高均为 160mm。称量桶用白铁皮制成，装有提把。桶的质量连同试样质量不得超过天平称量。

3 方孔筛：筛孔尺寸为 0.16、5mm 筛各一只。

4 水槽：用于称试样水中质量，操作时槽内水位要求稳定。

5 水洗操作池：装有供水龙头，水压能冲净附着在砂子上的胶凝材料浆。排水道应设沉淀池，也可用大的容量筒代替。

6 其他：拌和铲等。

3.11.3 试验步骤应符合下列要求：

1 称出各称量桶和玻璃板在空气中及水中质量，并编号。

2 预先测定原材料的参数：

1) 砂的饱和面干表观密度 (ρ_s)：按《土工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T 5151 的规定进行。

2) 胶凝材料的表观密度 (ρ_{cm})：取水泥与掺合料的比例与实际混凝土拌和物相同的胶凝材料试样 1000g 放入已知水中质量的称量桶内，加水至桶高的 2/3 处，用拌和铲充分搅拌，使气泡完全排出，加水至满，静置 10min。除去水面泡沫，称出胶凝材料在水中的质量。按式 (3.11.3-1) 计算胶凝材料的密度，计算结果保留至 0.01g/cm³：

$$\rho_{cm} = \frac{1000}{1000 - m_w} \quad (3.11.3-1)$$

式中： ρ_{cm} ——胶凝材料的密度，g/cm³；

m_w ——胶凝材料的水中质量，g。

3) 称胶凝材料水中质量时，胶凝材料不得漂出桶外，必要时应加盖玻璃板，玻璃板下面不得留有气泡。应扣除玻璃板的水中质量。

4) 胶凝材料中的水泥接触水后即发生水化作用，测得的密度可能与常规的水泥密度测定方法测得的密度略有差别，为了符合本方法的实际操作过程和计算，故仍采用此法测出的密度。

5) 测定砂中含有小于 0.16mm 的颗粒修正值 f ：取烘干砂样 2000g 2 份，分别分数次放在 0.16mm 的筛上进行筛洗，筛洗至筛孔流出的水清澈且无粉砂粒为止。将筛上的砂样重新烘干，称其质量。按式 (3.11.3-2) 计算粉砂修正值 f ，计算结果保留至 0.001：

$$f = \frac{m_0 - m_s}{m_s} \quad (3.11.3-2)$$

式中： f ——粉砂修正值；

m_0 ——试样质量，g；

m_s ——经筛洗后筛余试样的烘干质量，g。

以 2 次测值的平均值作为试验结果。

3 用 5mm 筛从需要分析的混凝土拌和物中尽快筛取砂浆试样 2kg～3kg，分 2 份装入 2 只已知质量的称量桶中，称出试样的质量。

4 向装有试样的称量桶加水至桶高的约 2/3 处，充分搅拌，使试样中的气泡全部排出。加水至满，静置 10min，除去水面泡沫，然后加玻璃板盖，但不盖严，把称量桶浸没于水中，注意盖底不得留有空气泡，称出试样在水中的质量。

5 将称过水中质量的砂浆稍加搅拌,静置约 10s,然后将胶凝材料悬浮液通过 0.16mm 筛筛去。再往桶内加水,重复操作,直至绝大部分胶凝材料排除后,再将试样分数次放在 0.16mm 筛上用水筛洗,将砂收集在称量桶内,称出砂的水中质量。

3.11.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 试样中砂、胶凝材料和水的质量分别按式 (3.11.4-1)、式 (3.11.4-2) 和式 (3.11.4-3) 计算:

$$m_s = m_w (1 + f) \frac{\rho_s}{\rho_s - 1} \quad (3.11.4-1)$$

$$m_{cm} = [m_w - m_s (1 + f)] \frac{\rho_{cm}}{\rho_{cm} - 1} \quad (3.11.4-2)$$

$$m_w = m - (m_s + m_{cm}) \quad (3.11.4-3)$$

式中: m_s 、 m_{cm} 、 m_w ——砂浆试样中砂、胶凝材料及拌和水的质量, g;

m_{sw} ——粒径大于 0.16mm 砂料的水中质量, g;

m_m 、 m_{mw} ——砂浆试样在空气中和水中的质量, g;

ρ_s 、 ρ_{cm} ——砂及胶凝材料的密度, g/cm³;

f ——粉砂修正值。

2 实测水胶比为 m_w/m_{cm} 。以 2 次测值的平均值作为试验结果。

3 试验前应预先在室内按给定配合比拌制试样,进行还原分析,结果与实际基本相符方可使用。

3.12 炒干法水胶比分析试验

3.12.1 目的及适用范围:测定混凝土拌和物的水胶比。

3.12.2 仪器设备应符合下列要求:

- 1 天平:称量 2kg,感量不大于 1g。
- 2 电炉:2000W,宜有电压调压器。
- 3 炒盘:铁制,2 个~4 个。

4 方孔筛:筛孔尺寸为 0.16、5mm 筛各一只。

5 小铁桶:容积约 2L,2 只。

6 其他:拌和铲等。

3.12.3 试验步骤应符合下列要求:

1 测定粉砂修正值 f :按本规程第 3.11.3 条的规定进行。

2 测定砂的吸水率 a_1 :按 DL/T 5151《水工混凝土砂石骨料试验规程》的规定进行。

3 用 5mm 筛从需要分析的混凝土拌和物中尽快筛取砂浆试样约 2kg,分成 2 份。每份试样约 800g,分别放于已知质量 (m_0) 的炒盘上按下述步骤进行测试。

4 称出炒盘及砂浆试样的总质量 (m_1),此时砂浆试样质量 $m_s = m_1 - m_0$ 。

5 把装有砂浆试样的炒盘放在电炉上将砂浆炒干。冷却后称炒盘及炒干砂浆试样的总质量 (m_2)。

6 将炒干砂浆试样放于小铁桶内,加水搅拌,使胶凝材料与砂子分离。搅拌后静置约 10s,把胶凝材料悬浮液通过 0.16mm 筛筛弃。再往桶内加水,重复上述操作,直至绝大部分胶凝材料先行排除。然后将砂分数次放在 0.16mm 筛上,用水洗净,再放在炒盘上炒干,冷却后称出砂子质量 (m_3)。

3.12.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 试样中砂、胶凝材料和水的质量分别按式 (3.12.4-1)、式 (3.12.4-2) 和式 (3.12.4-3) 计算:

$$m_s = m_3 (1 + f) (1 + a_1) \quad (3.12.4-1)$$

$$m_w = (m_1 - m_2) - m_3 (1 + f) a_1 \quad (3.12.4-2)$$

$$m_{cm} = m_s - m_s - m_w \quad (3.12.4-3)$$

式中: m_s 、 m_{cm} 、 m_w ——砂浆试样中砂、胶凝材料及拌和水的重量, g;

m_1 ——未炒前砂浆试样及炒盘总质量, g;

m_2 ——炒干后砂浆试样及炒盘总质量, g;

- m_m ——砂浆试样质量, g;
 m_3 ——经冲洗烘干后的砂料质量, g;
 a_1 ——以干砂为基准的饱和面干吸水率, %;
 f ——粉砂修正值。

2 实测水胶比为 m_w/m_{cm} 。以 2 次测值的平均值作为试验结果。

4 混凝土

4.1 混凝土试件的成型与养护

4.1.1 目的及适用范围: 为室内混凝土性能试验制作试件。

4.1.2 仪器设备应符合下列要求:

1 试模: 试模最小边长应不小于最大骨料粒径的 3 倍。试模拼装应牢固, 不漏浆, 振捣时不得变形。尺寸精度要求: 试模内部尺寸误差不应大于公称尺寸的 0.2%, 且不大于 1mm; 夹角误差不应大于 0.2°; 平面度公差不应超过边长的 0.05%。

2 振动台: 振动台应产生垂直方向上的简谐振动。在空载条件下, 振动台面中心点的垂直振幅应为 $0.5\text{mm} \pm 0.02\text{mm}$ 。台面振幅的不均匀度不应大于 10%。振动台满负荷与空载时, 台面中心点的垂直振幅比不应小于 0.7。振动台侧向水平振幅不应大于 0.1mm。振动台振动频率应为 $50\text{Hz} \pm 2\text{Hz}$ 。

3 捣棒: 直径应为 $16\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$, 长度应为 $650\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 。由圆钢制成的捣棒, 表面应光滑, 端部呈半球形。

4 养护室: 标准养护室温度应控制在 $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$; 相对湿度应在 95% 以上。在没有标准养护室时, 试件可在 $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 的不流动的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液中养护, 但应在报告中注明。

4.1.3 试验步骤应符合下列要求:

1 制作试件前应将试模清理干净, 并在其内壁上均匀地刷一薄层矿物油或其他脱模剂。

2 应按本规程第 3.1 节的规定拌制混凝土拌和物。当混凝土拌和物骨料最大粒径超过试模最小边长的 1/3 时, 大骨料应用湿筛法筛除。

3 试件的成型方法应根据混凝土拌和物的坍落度而定。混凝土拌和物坍落度小于 90mm 时,宜采用振动台振实;混凝土拌和物坍落度大于 90mm 时,宜采用捣棒人工捣实。采用振动台成型时,应将混凝土拌和物一次装入试模,装料时应用抹刀沿试模内壁略加插捣,并使混凝土拌和物高出试模上口,振动应持续到混凝土表面出浆且无明显大气泡溢出为止。振动时应防止试模在振动台上自由跳动,且不应过振,振动时间一般不超过 30s。采用捣棒人工插捣时,混凝土拌和物应分两层装入试模内,每层的装料厚度大致相等。插捣应按螺旋方向从边缘向中心均匀进行,插捣底层时,捣棒应达到试模底面,插捣上层时,捣棒应穿至下层 20mm~30mm,插捣时捣棒应保持垂直,同时,还应应用抹刀沿试模内壁插入数次。每层的插捣次数一般每 100cm² 不少于 12 次,以插捣密实为准。插捣后应用橡皮锤轻轻敲击试模四周 10 下~15 下,直到插捣棒留下的空洞消失为止。成型方法需在试验报告中注明。

4 试件成型后,在混凝土初凝前 1h~2h,需进行抹面,要求沿模口抹平。试件表面与试模边缘的高低差不宜超过 0.5mm。

5 根据试验目的不同,试件可采用标准养护或与构件同条件养护。确定混凝土强度等级或进行材料性能研究时,应采用标准养护。在施工过程中作为检测混凝土构件实际强度,决定构件的拆模、起吊、施加预应力等时间的试件,应采用同条件养护,即试件尽量置于构件附近,试件养护环境的温度、湿度与构件相同。

6 采用标准养护的试件,成型后的带模试件宜用塑料薄膜覆盖,以防止水分蒸发,并在 20℃±5℃、相对湿度大于 50% 的室内静置 24h~48h,然后拆模并编号。试件在静置过程中要避免受到振动和冲击。拆模后的试件应立即放入标准养护室中养护。在标准养护室内试件应放在试架上,彼此间隔 10mm~20mm,试件表面应保持一层水膜,并应避免用水直接冲淋试件。

7 采用同条件养护的试件,成型后应覆盖表面。试件的拆模时间可与实际构件的拆模时间相同。拆模后试件仍须同条件养护。

8 混凝土终凝后 8h,试件方可搬运。在搬运过程中,应采用合适的衬垫材料保护试件免受损伤。天气寒冷时,应采用保温材料包裹试件,防止试件受冻。运输过程中应防止试件水分流失,可采用塑料薄膜包裹试件或用湿麻袋覆盖试件,也可用湿砂覆盖试件。

4.2 混凝土立方体抗压强度试验

4.2.1 目的及适用范围:测定混凝土立方体试件的抗压强度。

4.2.2 仪器设备应符合下列要求:

1 压力试验机或万能试验机:压力试验机应符合《液压式压力试验机》GB/T 3722 及《试验机通用技术要求》GB/T 2611 中的技术要求,且其测量精度应为±1%,试件的预计破坏荷载宜在试验机全量程的 20%~80%之内。应具有加荷速度指示装置或加荷速度控制装置,并能均匀、连续地加荷。试验机应定期校正,示值误差不大于标准值的±1%。

2 钢制垫板:钢垫板的平面尺寸应不小于试件的承压面积,厚度应不小于 25mm。钢垫板应采用机械加工,承压面的平面度公差为 0.04mm;表面硬度应不小于 55HRC;硬化层厚度宜为 5mm。当压力试验机上下压板符合钢垫板的厚度、硬度和平面度的要求时,可不需要钢垫板。

3 试模:试模规格应视骨料最大粒径按表 4.2.2 确定。

表 4.2.2 骨料最大粒径与试模规格表 (mm)

骨料最大粒径	试模规格	骨料最大粒径	试模规格
≤30	100×100×100	80	300×300×300
40	150×150×150	150 (120)	450×450×450

4 球座：球座钢质坚硬，面部平整度要求在 100mm 距离内高低差值不超过 0.05mm，球面及球窝粗糙度 $Ra=0.32\mu\text{m}$ ，研磨、转动灵活。不应在大球座上作小试件破型。当试件均匀受力后，一般不宜再敲动球座。

5 网罩：混凝土抗压强度 $\geq 60\text{MPa}$ 时，试件周围应设防崩裂网罩。

4.2.3 试验步骤应符合下列要求：

1 按本规程第 3.1 节和第 4.1 节的规定制作试件。

2 到达试验龄期时，取出试件，并尽快试验。试验前需用湿布覆盖试件，保持试件的潮湿状态。

3 试验前将试件与上下承压板面擦拭干净。测量试件尺寸，并检查其外观，当试件有严重缺陷时，应废弃。试件尺寸测量准确至 1mm，并据此计算试件的承压面积。如实测尺寸与公称尺寸之差不超过 1mm，可按公称尺寸进行计算。试件承压面的不平整度误差不得超过边长的 0.05%，承压面与相邻面的不垂直度不得超过 $\pm 0.5^\circ$ 。

4 以成型时试件的侧面为上下承压面，试件中心应与试验机下压板中心对准，上下压板与试件之间宜垫以钢板。开动试验机，当上垫板与上压板即将接触时如有明显偏斜，应调整球座，使试件受压均匀。

5 以 $0.3\text{MPa/s} \sim 0.5\text{MPa/s}$ 的速度连续而均匀地加载。当试件接近破坏而开始迅速变形时，停止调整油门，直至试件破坏，记录破坏荷载。

4.2.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 混凝土立方体抗压强度按式 (4.2.4) 计算，计算结果保留至 0.1MPa：

$$f_{cc} = \frac{F}{A} \quad (4.2.4)$$

式中： f_{cc} ——抗压强度，MPa；

F ——破坏荷载，N；

A ——试件承压面积， mm^2 。

2 以 3 个试件测值的平均值作为该组试件的抗压强度试验结果。当 3 个试件中的最大值或最小值之一与中间值之差超过中间值的 15% 时，取中间值。当 3 个试件中的最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时，该组试验结果无效。

3 混凝土的立方体抗压强度以边长为 150mm 的立方体试件的试验结果为标准，其他尺寸试件的试验结果均应换算成标准值。对边长为 100mm 的立方体试件，试验结果应乘以换算系数 0.95；边长为 300、450mm 的立方体试件，试验结果应分别乘以换算系数 1.15、1.36。当混凝土强度等级大于或等于 C60 时，宜采用标准试件；使用非标准试件时，尺寸换算系数应通过试验确定。

4.3 混凝土劈裂抗拉强度试验

4.3.1 目的及适用范围：测定混凝土立方体试件的劈裂抗拉强度。

4.3.2 仪器设备应符合下列要求：

1 试验机：应符合本规程第 4.2 节的规定。

2 试模：劈裂抗拉强度试验应采用 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的立方体试模作为标准试模。制作标准试件所用混凝土骨料的最大粒径不应大于 40mm。

3 垫块：半径为 75mm 的钢制弧形垫块，其截面尺寸如图 4.3.2 所示。垫块的长度应与试件相同，且要求平直。

4 垫条：用于垫块和试件之间，由木质三合板或硬质纤维板制成，宽 15mm~20mm，厚 3mm~4mm，长度不应小于试件边长。垫条不得重复使用。

4.3.3 试验步骤应符合下列要求：

1 按本规程第 3.1 节与第 4.1 节的规定制作试件。

2 到达试验龄期时，取出试件，并尽快试验。试验前需用湿布覆盖试件，保持试件的潮湿状态。

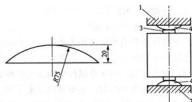


图 4.3.2 劈裂试验用垫块及垫条

1—上压板；2—下压板；3—垫条；4—垫块

3 试验前将试件表面与上下承压板面擦拭干净，检查外观，并在试件成型时的顶面和底面中部画出相互平行的直线，准确定出劈裂面的位置。量测劈裂面尺寸，精度应符合本规程第 4.2.3 条第 3 款的规定。

4 将试件放在压力试验机下压板的中心位置。在上下压板与试件之间垫以弧形垫块，垫块与试件之间垫以木质垫条。垫块、垫条方向应与成型时的顶面垂直（见图 4.3.2）。为保证上下弧形垫块对准及提高工作效率，可以把弧形垫块安装在定位架上使用。开动试验机，当垫块与试件接近时，调整球座，使接触均衡。

5 以 0.04MPa/s~0.06MPa/s 的速度连续而均匀地加载。当试件接近破坏时，停止调整油门，直至试件破坏，记录破坏荷载。

4.3.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 混凝土劈裂抗拉强度按式 (4.3.4) 计算，计算结果保留至 0.01MPa：

$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi A} = 0.637 \frac{F}{A} \quad (4.3.4)$$

式中： f_{ts} ——劈裂抗拉强度，MPa；

F ——破坏荷载，N；

A ——试件劈裂面面积， mm^2 。

2 以 3 个试件测值的平均值作为该组试件的劈裂抗拉强度

试验结果。当 3 个试件中的最大值或最小值之一与中间值之差超过中间值的 15% 时，取中间值。当 3 个试件中的最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时，该组试验结果无效。

4.4 混凝土黏结强度试验

4.4.1 目的及适用范围：测定新老混凝土之间或混凝土与其他材料之间的黏结强度。

4.4.2 仪器设备应符合本规程第 4.3 节的规定。

4.4.3 试验步骤应符合下列要求：

1 用与被黏结构物混凝土相近的原材料和配合比，成型 1 组 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的试件，标准养护 14d 后取出，按本规程第 4.3 节的规定，将试件劈成 6 块待用。

2 将劈开的混凝土试件劈开面清洗干净，并保持湿润状态，垂直放入 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 立方体试模一侧，光面紧贴试模壁，劈开面与试模之间形成尺寸约为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 75\text{mm}$ 的空间。

3 拌制新混凝土，浇入已放置混凝土试块的试模中并振实，人工成型时分两层捣实，每层插捣 13 次。新拌混凝土的最大骨料粒径不得超过 25mm。

4 按本规程第 4.1 节的规定将试件脱模，标准养护 28d。

5 到规定龄期取出试件，按本规程第 4.3 节的规定，将黏结面作为劈裂面，进行新老混凝土黏结强度的测试。

4.4.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 混凝土黏结强度按式 (4.4.4) 计算，计算结果保留至 0.01MPa：

$$f_b = \frac{2F}{\pi A} = 0.637 \frac{F}{A} \quad (4.4.4)$$

式中： f_b ——黏结强度，MPa；

F ——破坏荷载，N；

A ——试件黏结面面积， mm^2 。

2 在 6 块试件测量中,剔除最大、最小值各 1 个,以其余 4 个测值的平均值作为该组试件的黏结强度试验结果。

4.5 混凝土轴向拉伸试验

4.5.1 目的及适用范围:测定混凝土的轴向抗拉强度、极限拉伸值以及抗拉弹性模量。

4.5.2 仪器设备应符合下列要求:

1 试验机:100kN 拉力试验机或伺服程控万能试验机,其拉伸间距不应小于 800mm~1000mm。

2 试件及埋件:见图 4.5.2-1。

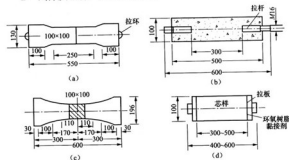


图 4.5.2-1 混凝土轴向拉伸试件及埋件 (单位: mm)

(a)、(b)、(c) 室内成型试件; (d) 锚芯试件

3 应变测量装置:千分表、电阻应变片或位移传感器等均可用于测定试件的变形。采用千分表或位移传感器时应备有变形测量架(见图 4.5.2-2)。试件的变形通过变形测量架传递到千分表或位移传感器。采用电阻应变片或位移传感器测量试件变形时,应备有数据自动采集系统。应变测量装置的测量精度应不低于 1×10^{-6} 。测量标距不宜小于骨料最大粒径的 3 倍。条件许可时,

采用荷载和位移数据同步采集系统。

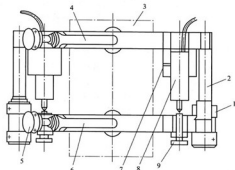


图 4.5.2-2 变形测量架示意图

1—圆螺母; 2—标准定位杆; 3—试件; 4—上支架; 5—紧固螺钉;
6—下支架; 7—紧固螺钉; 8—千分表或位移传感器; 9—零点调节螺栓

4 其他:拉环或拉杆、拉板,胶水、环氧树脂黏结剂等。

4.5.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第 3.1 节和第 4.1 节的规定制作试件。拌和物最大骨料粒径超过 30mm 时,用 30mm 方孔筛筛后成型。每个试件在进行轴向拉伸试验时,同时测试轴向抗拉强度、极限拉伸值以及抗拉弹性模量 3 个参数,以 4 个试件为 1 组。

2 成型前埋件的安装:当采用图 4.5.2-1 (a) 型试件时,将拉环紧紧夹持在试模两端上、下拉环夹板的凹槽中,注意检查拉环位置是否水平,必要时用若干层纸垫在前夹板或后夹板上,以调整拉环的水平位置;当采用图 4.5.2-1 (b) 型试件时,上、下拉杆的埋设靠端板定位,端板与试模内尺寸采用动配合精度,以保证埋杆与试件同轴心。

3 到达试验龄期时,取出试件,量测试件截面尺寸,精度同

本规程第 4.2.3 条第 3 款的规定。试件安装在试验机上。试验机应具有球面拉力接头，试件的拉环或拉杆、拉板与拉力接头连接。球面拉力接头用以调整试件轴线与试验机施力轴线可能产生的偏心。

4 将千分表或位移传感器固定在变形测量架上（见图 4.5.2-2），测量标距为 100mm~150mm，由标距定位杆定位。然后将变形测量架通过紧固螺钉固定在试件中部。

当采用电阻应变仪测量变形时，在试件从养护室取出后，应尽快在试件的两侧中间部位用电风吹干表面，然后用胶水粘贴电阻片。电阻片的长度应不小于骨料最大粒径的 3 倍。从试件取出至试验完毕不宜超过 4h，并注意试件保湿。应提前做好变形测量的准备工作。

5 开动试验机，进行 2 次预拉，预拉荷载相当于破坏荷载的 15%~20%。预拉时，应测读应变值，需要时调整荷载传递装置使偏心率不大于 15%。偏心率按式（4.5.3）计算：

$$e = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \times 100 \quad (4.5.3)$$

式中： e ——偏心率，%；

ε_1 、 ε_2 ——试件两侧的应变值。

6 预拉完毕后，重新调整测量仪器，进行正式测试。以 0.4MPa/min 的速度连续而均匀地加荷。每加荷 500N 或 1000N 测读并记录变形值，直至试件破坏。当采用位移或应变测量仪测量变形时，荷载加到接近破坏荷载时，宜将位移或应变测量仪从试件上卸下，记录破坏荷载和断裂位置。

当采用位移传感器测量变形时，试件测量标距内的变形由数据采集系统自动记录，绘制荷载-位移曲线。试件断裂时试验机自动断电，停止试验。

4.5.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 轴向抗拉强度按式（4.5.4-1）计算，计算结果保留至 0.01MPa：

$$f_t = \frac{F}{A} \quad (4.5.4-1)$$

式中： f_t ——轴向抗拉强度，MPa；

F ——破坏荷载，N；

A ——试件截面积，mm²。

2 极限拉伸值的确定：采用位移传感器测定应变时，荷载-位移曲线数据由自动采集系统给出。破坏荷载所对应的应变即为该试件的极限拉伸值。采用其他测量变形的装置时，以应变为横坐标，应力为纵坐标，给出每个试件的应力-应变曲线。过破坏应力坐标点，作与横坐标平行的线，并将应力-应变曲线外延，两线交点对应的应变值即为该试件的极限拉伸值，计算结果保留至 1×10^{-6} ，见图 4.5.4。

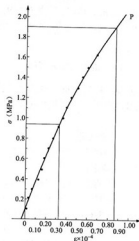


图 4.5.4 应力-应变曲线图

当曲线不通过坐标原点时,延长曲线起始段,使之与横坐标相交,并以此交点作为极限拉伸值的起始点。

3 抗拉弹性模量按式(4.5.4-2)计算,计算结果保留至100MPa:

$$E_t = \frac{\sigma_{0.4}}{\epsilon_{0.4}} \quad (4.5.4-2)$$

式中: E_t ——轴向抗拉弹性模量, MPa;

$\sigma_{0.4}$ ——40%的破坏应力, MPa;

$\epsilon_{0.4}$ —— $\sigma_{0.4}$ 所对应的应变值。

抗拉弹性模量取0%~40%破坏应力的割线弹性模量。

4 轴向抗拉强度、极限拉伸值、抗拉弹性模量均以4个试件测值的平均值作为试验结果。当试件的断裂位置与变截面转折点或埋件端点的距离在20mm以内时,该测值应剔除,取余下测值的平均值作为试验结果。当可用的测值少于2个时,该组试验结果无效。

4.6 混凝土抗弯试验

4.6.1 目的及适用范围:用简支梁三分点加载法测定混凝土的抗弯强度,亦可同时测定混凝土的抗弯极限拉伸值以及抗弯弹性模量。

4.6.2 仪器设备应符合下列要求:

1 试验机:万能试验机或带有弯曲试验架的压力试验机,应符合本规程第4.2.2条的规定。

2 试验加载装置:双点加载的钢制加压头,要求应使两个相等的荷载同时作用在小梁的两个三分点处;与试件接触的两个支座头和两个加压头应具有半径约15mm的弧形端面,加压头的长度比试件的宽度大约10mm,其中的一个支座头及两个加压头宜做成使之既能滚动又能前后倾斜。需保证荷载通过加压头能垂直传递到荷载表面。试件受力情况如图4.6.2所示。

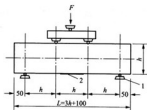


图4.6.2 抗弯试验示意图(单位: mm)

1—支座; 2—电阻片

3 试模:应采用150mm×150mm×550mm(或600mm)试模制作标准试件,制作标准试件所用骨料最大粒径不应大于40mm。必要时可采用100mm×100mm×400mm(或515mm)试模,此时,骨料最大粒径不应大于30mm。

4 应变测量仪器:电阻应变仪一台,测量精度为 1×10^{-6} 。

5 应变片:长度一般应不小于骨料最大粒径的3倍。

6 其他:胶水等。

4.6.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第3.1节和第4.1节的规定制作试件,以4个试件为1组。其中一个测试抗弯强度,以确定预弯荷载。单测试抗弯强度时,1组只需3个试件。抗弯极限拉伸值及抗弯弹性模量测试可与抗弯强度测试共用同一个试件。

2 到达试验龄期时,取出试件,并尽快试验。试验前应用湿布覆盖试件,防止试件干燥。

3 试验前将试件擦拭干净,检查外观。量测试件截面尺寸,精度符合本规程第4.2.3条第3款的规定。试件不得有明显缺陷,在长度方向中部1/3区段内不得有表面直径超过5mm深度超过2mm的孔洞。在试件侧面画出加载点位置。

4 测试弯曲极限拉伸值时,将小梁底面中间段受拉侧粘贴电

阻片的部位用电风吹干表面,然后用胶水粘贴电阻片,见图 4.6.2。

5 将试件在试验机的支座上放稳对中,承压面应选择试件成型时的侧面。按图 4.6.2 要求,调整支座和加压头位置,其间距的尺寸偏差应不大于 $\pm 1\text{mm}$ 。开动试验机,当加荷压头与试件快接近时,调整加压头及支座,使接触均衡。如加压头及支座不能接触均衡,则接触不良处应予以垫平。当接触不良处缝隙高度超过 0.4mm 时,应对试件进行磨平或补平。

6 先用其中一个试件进行抗弯强度试验。以 250N/s 的速度连续而均匀地加载,直至试件破坏,记录破坏荷载,以其 $15\%\sim 20\%$ 作为预弯荷载。

7 进行抗弯极限拉伸值及抗弯弹性模量测试时,需进行 2 次预弯,预弯完毕后重新调整应变仪,使应变值指示为零,然后进行正式测试,加荷速度同上款,不得冲击。每加荷 500N 或 1000N 测读并记录应变值,当试件接近破坏时应停止调整试验机油门直至试件破坏,记录破坏荷载及试件下边缘断裂位置。

4.6.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 混凝土抗弯强度按式 (4.6.4-1) 计算,计算结果保留至 0.01MPa :

$$f_t = \frac{Fl}{bh^2} \quad (4.6.4-1)$$

式中: f_t ——抗弯强度, MPa ;

F ——破坏荷载, N ;

l ——支座间距(即跨度), $l=3h$, mm ;

b ——试件截面宽度, mm ;

h ——试件截面高度, mm 。

2 抗弯极限拉伸值按以下步骤计算:

1) 以应变为横坐标,应力为纵坐标,绘出每个试件的应力-应变关系曲线。

2) 过破坏应力坐标点,作与横坐标平行的线,并将应力-应变曲线外延,两线交点对应的应变即为该试件的抗弯极限拉伸值,计算结果保留至 1×10^{-6} 。

3) 如曲线不通过坐标原点时,需延长曲线起始段使与横坐标相交,并以此交点作为试件应变的起始点。

4) 弯曲应力按式 (4.6.4-2) 计算,计算结果保留至 0.01MPa :

$$\sigma_f = \frac{Fl}{bh^2} \quad (4.6.4-2)$$

式中: σ_f ——弯曲应力, MPa ;

F ——弯曲荷载, N ;

l 、 b 、 h ——与式 (4.6.4-1) 相同。

3 抗弯弹性模量按式 (4.6.4-3) 计算,计算结果保留至 100MPa :

$$E_f = \frac{\sigma_{0.4}}{\varepsilon_{0.4}} \quad (4.6.4-3)$$

式中: E_f ——抗弯弹性模量, MPa ;

$\sigma_{0.4}$ ——40%的破坏应力, MPa ;

$\varepsilon_{0.4}$ —— $\sigma_{0.4}$ 所对应的应变值。

抗弯弹性模量取 $0\%\sim 40\%$ 破坏应力的割线弹性模量。

4 抗弯强度、抗弯极限拉伸值、抗弯弹性模量均以 3 个试件测值的平均值作为试验结果。当 3 个试件中的最大值或最小值之一与中间值之差超过中间值的 15% 时,取中间值;当 3 个试件中的最大值或最小值与中间值之差超过中间值的 15% 时,该组试验结果无效。

3 个试件中若有一个断裂面位于加荷点外侧,则混凝土抗弯强度按另外 2 个试件测值的平均值作为试验结果。若有 2 个试件的下边缘断裂位置位于 2 个集中荷载作用线之外,则该组试验结果无效。

断面位置在试件断块短边一侧的底面中轴线上量得。

5 采用 100mm×100mm×400mm 试件时, 抗弯强度试验结果需乘以换算系数 0.85。当混凝土强度等级大于或等于 C60 时, 宜采用标准试件; 使用非标准试件时, 尺寸换算系数应通过试验确定。

4.7 混凝土抗剪强度试验

4.7.1 目的及适用范围: 测定混凝土及混凝土与其他材料结合面的抗剪强度。为判定混凝土结构物的整体性、稳定性提供依据。

4.7.2 仪器设备应符合下列要求:

1 剪切试验仪, 包括法向和剪切向的加荷设备, 如图 4.7.2 所示。

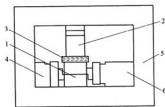


图 4.7.2 混凝土剪切试验仪简图

1—剪力盒; 2—法向千斤顶; 3—滚轴排; 4—传力垫块; 5—刚性架; 6—剪力千斤顶

2 测量法向和剪切位移的千分表或位移计及磁性千分表架。

3 稳压装置。

4 试模: 150mm×150mm×150mm 立方体。

4.7.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第 4.1 节的规定制作和养护试件, 混凝土骨料最大粒径不得超过 25mm, 以 15 个试件为 1 组。

2 用于层间结合的抗剪试件, 分 2 次成型。按配合比要求拌

制混凝土, 取试件 1/2 高度所需要的混凝土量装入试模 (振实后应为试模深度的 1/2), 放入养护室养护至规定龄期, 取出试件, 按要求进行层面处理, 再将试件放入试模, 然后成型上半部混凝土, 试件承压面的平面度公差不得超过边长的 0.05%, 并养护至试验要求龄期。

3 对于混凝土和岩石胶结的试件, 应先测定岩石面的起伏差, 绘制岩石沿剪切方向的高度变化曲线, 然后在岩石上浇筑混凝土。

4 将试件置于剪力盒中, 放上传力板和滚轴排。安装法向和剪切向的加荷系统时, 应保证法向力和剪切力的合力通过剪切面的中点。

5 安装测量法向和剪切向位移的仪表, 测杆的支点应设置在剪切变形影响范围之外, 测杆和表架应具有足够的刚度。

6 法向荷载按设计的法向最大荷载等分 5 级施加, 每级荷载试验 3 个试件。

7 施加试验法向荷载, 并测读法向位移, 当前后 2 次法向位移读数差不超过 1% 时, 开始施加剪切荷载。在试件剪切过程中, 应使法向应力保持恒定。开始施加剪切荷载的速率为 0.4MPa/min, 选择合适的荷载间隔测读并记录剪切应变值, 当所加剪切荷载引起的水平变形为前一荷载变形的约 1.5 倍以上时, 荷载施加速率减半, 减小测读间隔, 直至剪断, 记录剪切破坏荷载。

8 试件剪断后, 在相同的法向应力下继续施加剪切荷载。测读在大致相等的剪应力作用下不断发生大位移的残余剪切荷载。

9 卸去法向应力, 对剪切面进行描述, 记录剪切面起伏差、骨料及界面破坏情况, 绘制剪切方向的断面高度变化曲线, 量测剪断面积。

4.7.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 按式 (4.7.4-1) 和式 (4.7.4-2) 计算各级法向荷载下的法向应力和剪应力, 计算结果保留至 0.01MPa:

$$\sigma_1 = \frac{F_o}{A} \quad (4.7.4-1)$$

$$\tau_1 = \frac{F_c}{A} \quad (4.7.4-2)$$

式中： σ_1 ——法向应力，MPa；

τ_1 ——剪应力，MPa；

F_o ——总法向荷载，N；

F_c ——剪切荷载，应扣除滚轴摩擦阻力，N；

A ——剪切面有效剪切面积，mm²。

取 5 个试件测值的平均值为本级法向荷载下的剪应力。

2 根据各级法向荷载下的法向应力和剪应力，在坐标图上作 σ - τ 直线，并用最小二乘法或作图法求得式 (4.7.4-3) 中的 f' 和 c' ：

$$\tau = \sigma f' + c' \quad (4.7.4-3)$$

式中： τ ——极限抗剪强度，MPa；

σ ——法向应力，MPa；

f' ——摩擦因数；

c' ——黏聚力，MPa。

4.8 混凝土轴心抗压强度与静力抗压弹性模量试验

4.8.1 目的及适用范围：测定混凝土棱柱体或圆柱体试件的轴心抗压强度和静力抗压弹性模量。

4.8.2 仪器设备应符合下列要求：

- 1 压力试验机：应符合本规程第 4.2.2 条的规定。
- 2 试模：规格为 150mm×150mm×300mm 或 ϕ 150mm×300mm。
- 3 应变量测量装置：应符合本规程第 4.5.2 条第 3 款的规定。
- 4 其他：胶水等。

4.8.3 试验步骤应符合下列要求：

- 1 按本规程第 4.1 节的规定制作试件。以 6 个试件为 1 组，其中 3 个测定轴心抗压强度，3 个测定静力抗压弹性模量。

圆柱体试件的端面应进行整平处理，整平后的端面应与试件的纵轴垂直，端面的平整度公差在 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内。

2 擦净试件表面与上下承压板面，测量试件尺寸，检查外观。试件尺寸测量精确至 1mm，并据此计算试件的承压面积。如实测尺寸与公称尺寸之差不超过 1mm，可按公称尺寸进行计算。试件承压面的不平度，不应大于试件边长的 0.05%。承压面与相邻面的不垂直度，不应大于 $\pm 1^\circ$ 。用湿布覆盖试件，以保持其潮湿状态，并尽快试验。

3 将试件安放在试验机的下压板上，试件的中心应与试验机下压板中心对准。开动试验机，当上压板与试件快接触时，调整球座，使接触均衡。

4 以 0.3MPa/s~0.5MPa/s 的速度连续而均匀地加荷。当试件接近破坏而开始迅速变形时，应停止调整试验机油门，直至试件破坏，记录破坏荷载。

5 将千分表或位移传感器固定在变形测量架上（见图 4.5.2-2），试件的测量标距采用 150mm，由标距定位杆定位，然后将变形测量架通过紧定螺钉固定在试件中部。

当采用电阻应变仪测量变形时，试件从养护室取出后，应尽快在试件的两侧中间部位贴应变片。从试件取出至试验完毕，不宜超过 4h，并注意试件保湿。应提前做好变形测量的准备工作。

6 开动压力机，缓慢施加压力，加荷速度为 0.2MPa/s~0.3MPa/s，最大压力应为试件破坏强度的 40%，然后以同样的速度卸荷至零。分别记录 0.5MPa 及 40%轴心抗压强度对应的荷载下的试件左右两侧的变形值。左右两侧的变形值与它们平均值相差应在 20%以内，否则应重复上述步骤，重新对中试件。如无法使差值降低到 20%以内，则该次试验无效。

7 采用试件对中试验相同的加载制度，反复预压 3 次，直至相邻 2 次变形值相差不超过 0.003mm 为止，否则应继续进行预压，直至差值达到要求，但增加预压的次数应在报告中注明。在预压

过程中,观察试验机及仪表运转是否正常,如有必要应予调整。

8 试件经预压后,进行正式加荷,加荷速度与预压相同,加荷至极限破坏强度的40% ($0.4f_c$),记录0.5MPa及40%轴心抗压强度对应的荷载下的变形值。正式加载次数不少于2次,以至少2次加载的变形平均值来计算弹性模量。卸下表,以相同的速度压至试件破坏(破坏荷载为 F)。

当采用位移传感器时,试件测量标距内的变形及荷载由数据采集系统同时采集,自动绘制荷载应变曲线。试件破坏时试验机自动断电,停止试验。

4.8.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 轴心抗压强度按式(4.8.4-1)计算,计算结果保留至0.1MPa:

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (4.8.4-1)$$

式中: f_c ——轴心抗压强度,MPa;

F ——破坏荷载,N;

A ——试件承压面积, mm^2 。

以3个试件测值的平均值作为该组试件的轴心抗压强度试验结果。当3个试件中的最大值或最小值之一与中间值之差超过中间值的15%时,取中间值;当3个试件中的最大值或最小值与中间值之差均超过中间值的15%时,该组试验结果无效。

$\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 圆柱体试件的轴心抗压强度,若换算成 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 棱柱体试件的轴心抗压强度,应乘以换算系数0.95。

2 静力抗压弹性模量按式(4.8.4-2)计算,计算结果保留至100MPa:

$$E_c = \frac{F_2 - F_1}{A} \times \frac{L}{\Delta L} \quad (4.8.4-2)$$

式中: E_c ——静力抗压弹性模量,MPa;

F_2 ——40%的极限破坏荷载,N;

F_1 ——应力为0.5MPa时的荷载,N;

A ——试件承压面积, mm^2 ;

L ——测量变形的标距,mm;

ΔL ——应力从0.5MPa增加到40%破坏应力时的试件变形值的平均值,mm。

弹性模量以3个试件测值的平均值作为试验结果。如果其中一个试件在测定弹性模量后的轴心抗压强度值与用以确定检验控制荷载的轴心抗压强度值相差超过后者20%时,则将该测值剔除,取余下2个试件测值的平均值作为试验结果;如一组中可用的测值少于2个时,该组试验结果无效。

4.9 混凝土与钢筋握裹力试验

4.9.1 目的及适用范围:测试混凝土对钢筋的握裹力。

4.9.2 仪器设备应符合下列要求:

1 试模:规格为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$,如图4.9.2-1所示,

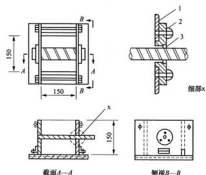


图4.9.2-1 握裹力试模装置(单位: mm)

1—模板; 2—固定圈; 3—橡皮圈堵塞

试模应能埋设一水平钢筋，水平钢筋轴线距离模底 75mm。埋入的一端恰好嵌入模壁，予以固定，另一端由模壁伸出，作为加力之用。

2 试件夹具：如图 4.9.2-2 所示，试件夹具系 2 块面积为 250mm×150mm、厚度为 30mm 的钢板（45 钢）。用 4 根直径 18mm 的 HRB400 钢筋穿入。上端钢板附有直径为 25mm 的拉杆，拉杆下端套入钢板并成球面相接，上端供万能机夹持。另附 150mm×150mm×10mm 钢板一块，中心开有直径 40mm 的圆孔，垫于试件与夹头下端钢板之间。

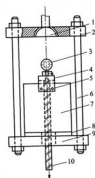


图 4.9.2-2 握裹力试验装置示意图

1—带球座拉杆；2—上端钢板；3—千分表；4—量表固定架；5—止动螺栓；

6—钢筋；7—试件；8—垫板；9—下端钢板；10—埋入试件的钢筋

3 千分表：精度为 0.001mm。

4 量表固定架：金属制成，横跨试件表面，并可用止动螺丝栓固定在试件上。上部中央有孔，可夹持千分表，使之直立，量杆朝下。

5 万能试验机：应符合本规程第 4.2.2 条的规定。

4.9.3 试验步骤应符合下列要求：

1 试验用带肋钢筋 HRB400，性能应符合《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2 的规定，其公称直径为 20mm（内径 18mm，外径 22mm）。为了具有足够的长度可供万能机夹持和装置量表，一般长度可取 500mm，试验中采用的钢筋尺寸和形状均应相同。成型前钢筋应用钢丝刷刷净，并用丙酮或乙醇擦拭，不得有锈屑和油污存在。钢筋的自由端顶面应光滑平整，并与试模预留孔吻合。确有必要时，也可用符合《钢筋混凝土用钢第 1 部分：热轧光圆钢筋》GB 1499.1 的公称直径为 20mm 的 HPB300 热轧光圆钢筋或工程中实际使用的其他钢筋，要求和处理方法同带肋钢筋。

2 按本规程第 4.1 节的规定制作试件。以 6 个试件为 1 组。混凝土骨料最大粒径不得超过 30mm。

安装钢筋时，钢筋自由端嵌入模壁，穿钢筋的模壁孔应用橡皮圈和固定圈填塞固定钢筋，并不得漏浆、漏水。钢筋与试模应成直角，其允许公差 0.5°。

3 试件成型后直至试验龄期，特别在拆模时，不得碰动钢筋，拆模时间以两昼夜为宜。拆模时应先取下橡皮圈固定圈，再将套在钢筋上的试模小心取下。

4 到试验龄期时，将试件从养护室取出，擦拭干净，检查外观（试件不得有明显缺损或钢筋松动、歪斜），并应尽快试验。

5 将试件套上中心有孔的垫板，然后装入已安装在万能机上的试验夹具中，使万能机的下夹头将试件的钢筋夹牢。

6 在试件上安装量表固定架和千分表，使千分表杆端垂直向下，与略伸出试件表面的钢筋顶面相接触。

7 加荷前应检查千分表量杆与钢筋顶面接触是否良好、千分表是否灵活，并进行适当的调整。

8 记下千分表的初始读数后，开动万能试验机，以不超过

400N/s 的加荷速度拉拔钢筋。每加 1000N~5000N 荷载,记录相应的千分表读数。

9 到达下列任何一种情况时应停止加荷:

- 1) 钢筋达到屈服点;
- 2) 混凝土发生破裂;
- 3) 钢筋的滑动变形超过 0.1mm。

4.9.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 将各级荷载下的千分表读数减去初始读数,即得该荷载下的滑动变形。

2 当采用带肋钢筋时,以 6 个试件在各级荷载下滑动变形的平均值为横坐标,以荷载为纵坐标,绘出荷载-滑动变形关系曲线。取滑动变形 0.01mm、0.05mm、0.10mm,在曲线上查出相应的荷载。

钢筋握裹强度按式(4.9.4-1)计算,计算结果保留至 0.01MPa:

$$\tau = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3A} \quad (4.9.4-1)$$

$$A = \pi DL \quad (4.9.4-2)$$

式中: τ ——钢筋握裹强度, MPa;

F_1 ——滑动变形为 0.01mm 时的荷载, N;

F_2 ——滑动变形为 0.05mm 时的荷载, N;

F_3 ——滑动变形为 0.10mm 时的荷载, N;

A ——埋入混凝土的钢筋表面积, mm^2 ;

D ——钢筋的计算直径, mm;

L ——钢筋埋入的长度, mm。

3 当采用光面钢筋时,可取 6 个试件拔出试验时最大荷载的平均值除以埋入混凝土中的钢筋表面积即得钢筋握裹强度。

4 光面钢筋拔出试验可绘出荷载-滑动变形关系曲线供分析。

5 采用工程中实际使用的其他钢筋时,应注明钢筋的类型、直径及混凝土配合比等条件。

4.10 混凝土压缩徐变试验

4.10.1 目的及适用范围:测定混凝土试件在恒温绝湿条件下压荷载不变时的徐变变形及卸载后徐变的恢复,提供混凝土的徐变度、弹性后效及瞬时弹性模量值。

4.10.2 仪器设备应符合下列要求:

1 徐变室:温度为 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 的恒温室。

2 徐变仪:弹簧式或液压式压缩徐变仪,其基本形式如图 4.10.2 所示,包括上下压板、弹簧(或液压)持荷装置以及承力丝杆。最大轴向压缩荷载低于 200kN,可采用弹簧式压缩徐变仪;最大轴向压缩荷载大于 200kN 时,应选用液压式压缩徐变仪。弹簧及丝杠尺寸应按徐变仪所要求的吨位而定。在试验荷载下,丝杠的拉应力一般应不大于材料屈服点的 30%,弹簧的工作压力应不超过允许极限荷载的 80%,但工作时弹簧的压缩变形也不得小于 20mm,以便使它有足够的调整能力。有条件时试件轴向加荷可采用两个试件串叠受荷,以提高设备的利用率。上下压板、垫板及球座满足本规程第 4.2 节规定的要求。

3 试模:规格为 $\phi 150\text{mm} \times 450\text{mm}$ 或 $\phi 200\text{mm} \times 600\text{mm}$ 。

4 加荷设备:包括油压千斤顶、钢环测力计等。测力计的测量精度应达到所加荷载的 2%,其量程应能使试验压力值不小于全量程的 20%,也不大于全量程的 80%。

5 量测仪器:差动电阻式应变计,标距应不小于骨料最大粒径的 3 倍;水工比例电桥或配套数据采集仪,最小应变读数要求不大于 4×10^{-6} 。

6 应变计率定设备:包括应变计率定器、恒温水槽、标准温度计 ($0^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$, 精度 0.1°C)、兆欧表,按《大坝监测仪器 应变计 第 1 部分:差动电阻式应变计》GB/T 3408.1 的规定率定。

4.10.3 试验步骤应符合下列要求:

1 检查和率定应变计,合格后方可使用。

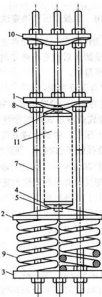


图 4.10.2 弹簧式压缩徐变仪

1—上板；2—中板；3—下板；4—垫板；5—球座；6—钢球；

7—螺杆；8—螺母；9—弹簧；10—加压器；11—试件

2 把率定好的应变计垂直固定在试模中心，应使其量测基线位于试件中部并与试件纵轴重合，如图 4.10.3 所示。

3 试验加荷龄期，一般为 3、7、28、90、180、360d，也可根据试验需要确定加荷龄期，每个龄期应制备 3 个徐变试件及 3 个 150mm×150mm×300mm 的棱柱体轴心抗压强度试件，同时，一次成型的几组试件应制备不少于 2 个测自生体积变形的补偿试

件（形状和尺寸与徐变试件相同）。

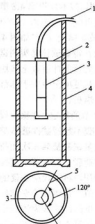


图 4.10.3 应变计安装示意图

1—电缆；2、5—24 号镀锌铁丝；3—应变计；4—铁模

4 按本规程第 3.1 节的规定拌和混凝土，拌和物中超过允许最大骨料粒径的骨料需用湿筛法剔除，并计算试件灰浆率。按本规程第 4.1 节的规定进行试件的成型。采用振动台成型时，混凝土拌和物分 3 次～4 次装入试模，采用捣棒人工插捣时，混凝土拌和物应分 6 层～8 层装入模内，人工插捣时应注意保护应变计免受扰动。待混凝土初凝前（一般经 4h～6h），试件顶面填以少量的与混凝土同水胶比的干硬水泥砂浆，用玻璃板压抹表面，使表面平整。成型前后应检查应变计是否完好。

5 试件成型后，经 24h～48h 拆模，并立即用橡皮套、金属套筒等密封材料密封徐变试件和补偿试件，并用充气法检查密封效果。徐变试件和补偿试件移入徐变室，抗压强度试件移入标准

养护室养护。

6 到达加荷龄期时,按本规程第 4.8 节的规定测定混凝土轴心抗压强度,折算系数可取 0.7~0.8。

7 将徐变试件安装在徐变仪上,如图 4.10.2 所示,调试对中。

8 试件叠放时,应在每叠试件端头的试件和压板之间加装一个未安装应变测量仪表的辅助性混凝土垫块,其截面边长尺寸应与被测试件的相同,且长度应至少等于其截面尺寸的一半。当要叠放试件时,宜磨平其端头。

9 按本规程第 4.8 节的规定,在徐变仪上测定徐变试件的抗压弹性模量,但最大荷载不超过试件破坏荷载的 30%,测值仅供徐变计算用。当弹性模量试验最后一次加荷到达最大荷载时,即可作为徐变试验的加荷荷载,此时需迅速拧紧徐变仪上的荷载固定螺母,立即松开千斤顶,再测读应变仪的电阻比与电阻,此数值即为徐变试件的基准值。在测试徐变试件基准值的同时,应测试补偿试件的电阻比与电阻,并作为该组徐变试件的补偿起点。补偿试件的测试按本规程第 4.13 节的规定进行。

10 观测时间。一般在加荷后 2、6、24h 各测读一次,从第二天起,每天观测一次至两周。以后每周观测 1 次~2 次。半年以后,每月观测 1 次~2 次直至试验结束。在观测徐变试件的同时应观测补偿试件。

11 试件加荷后,当荷载变化大于 2%时,应进行调荷。一般在加荷后第 1、7、30、90、180d 各调荷一次。调荷前后各观测一次。

4.10.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 弹性模量按式 (4.10.4-1) 计算,计算结果保留至 100MPa:

$$E_c = \frac{F_c}{A f \Delta Z} \quad (4.10.4-1)$$

式中: E_c ——抗压弹性模量, MPa;

F_c ——最大受压荷载 (不超过试件破坏荷载的 30%), N;

A ——试件受荷面积, mm²;

f ——应变计应变灵敏度, 10⁻⁶/ (0.01%);

ΔZ ——应变计电阻比由荷载为零到最大受压荷载时的变化量, 0.01%。

2 混凝土压缩徐变度计算。用差动电阻式电阻应变计观测变形时,由荷载产生的压缩徐变应变按式 (4.10.4-2) 计算,计算结果保留至 1×10⁻⁷:

$$\varepsilon_c = f \Delta Z + b \Delta T - \varepsilon_0 \quad (4.10.4-2)$$

$$\varepsilon_0 = f' \Delta Z' + b' \Delta T \quad (4.10.4-3)$$

式中: ε_c ——试件混凝土的徐变, 10⁻⁶;

ΔZ ——电阻比变化量,即某一时刻的电阻比 Z_t 与电阻比基准值 Z_0 之差 ($\Delta Z = Z_t - Z_0$) 0.01%;

b ——应变计温度补偿系数, 10⁻⁶/°C;

ΔT ——温度变化量,即某一时刻的温度 T_t 与温度基准值 T_0 之差, °C;

ε_0 ——补偿试件的应变值, 10⁻⁶;

f' ——补偿试件应变计应变灵敏度, 10⁻⁶/ (0.01%);

$\Delta Z'$ ——补偿试件应变计电阻比变化量, 0.01%;

b' ——补偿试件应变计温度补偿系数, 10⁻⁶/°C;

$\Delta T = T_t - T_0$, T_t 按式 (4.10.4-4) 计算:

$$T_t = a' (R_t - R_0) \quad (4.10.4-4)$$

a' ——应变计温度灵敏度系数, °C/Ω;

R_t ——某一时刻的电阻实测值, Ω;

R_0 ——0°C 的电阻值, Ω。

单位应力下的压缩徐变,即压缩徐变度按式 (4.10.4-5) 计算,计算结果保留至 1×10⁻⁶/MPa:

$$C_c = \varepsilon_c \times \frac{1}{\sigma_c} \times a \quad (4.10.4-5)$$

$$a = V_0 / V$$

式中: C_c ——某一龄期原型混凝土的徐变度, 10⁻⁶/MPa;

α_c ——混凝土试件所受压应力, MPa;

a ——灰浆率比;

V_0 ——原型混凝土的灰浆率, 即每立方米原型混凝土中水泥、掺合料和水的体积, L;

V ——湿筛混凝土的灰浆率, 即每立方米制作试件混凝土中水泥、掺合料和水的体积, L。

单位应力下的总应变按式(4.10.4-6)计算, 计算结果保留至 1×10^{-7} :

$$\varepsilon'_c = (1/E_c) + C_c \quad (4.10.4-6)$$

式中: ε'_c ——单位应力下的总压缩应变, 10^{-6} ;

$1/E_c$ ——单位应力下的压缩弹性变形, 10^{-6} 。

3 可恢复的压缩徐变按式(4.10.4-7)计算, 计算结果保留至 1×10^{-6} /MPa:

$$C'_c = C_c - C'_y \quad (4.10.4-7)$$

式中: C'_c ——不可恢复的压缩徐变, 10^{-6} /MPa;

C_c ——压缩徐变, 10^{-6} /MPa;

C'_y ——弹性后效, 10^{-6} /MPa。

4 以 3 个试件测值的平均值作为试验结果。

5 绘制如图 4.10.4-1 所示的徐变度曲线。

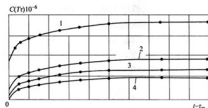


图 4.10.4-1 徐变度曲线图

1—7d; 2—28d; 3—90d; 4—360d

6 弹性变形、徐变变形、弹性后效曲线如图 4.10.4-2 所示。

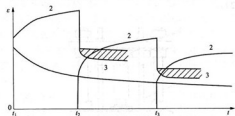


图 4.10.4-2 弹性变形、徐变变形、弹性后效曲线图

1—弹性变形曲线; 2—徐变变形曲线; 3—弹性后效曲线

4.11 混凝土拉伸徐变试验

4.11.1 目的及适用范围: 测定混凝土试件在恒温绝湿条件下加载不变时的徐变变形及卸载后徐变的恢复, 提供混凝土的徐变度、弹性后效及瞬时弹性模量值。

4.11.2 仪器设备应符合下列要求:

1 徐变室: 温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的恒温室。

2 徐变仪: $30\text{kN} \sim 50\text{kN}$ 的弹簧式拉伸徐变仪, 其基本形式如图 4.11.2 所示, 包括上、下压板, 弹簧持荷装置以及二根承力丝杆。弹簧及丝杆尺寸应按徐变试验仪所要求的吨位而定。在试验荷载下, 丝杆的应力一般不应大于材料屈服点的 30%, 弹簧的工作拉力不应超过允许极限荷载的 80%, 但工作时弹簧的拉伸变形也不得小于 20mm, 以使它有足够的调整能力。

3 试模、加荷设备、量测仪器、应变计率定设备应符合本规程第 4.10 节的规定。

4.11.3 试验步骤应符合下列要求:

1 检查和率定应变计, 合格后方能使用。

2 把率定好的应变计垂直固定在试模中心, 应使其量测基线

位于试件中部并与试件纵轴重合，并安装好两端拉力预埋件（见图 4.11.2）。

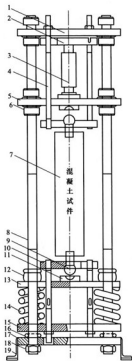


图 4.11.2 弹簧式拉伸徐变仪

- 1—传力板；2—加荷千斤顶；3—短拉杆；4—传力板；5—螺母；6—混凝土试件；7—支架杆；8—球杆；9—拉力板；10—球座；11—螺母；12—传力板；13—弹簧；14—扁螺母；15—传力板；16—扁螺母；17—传力板；18—螺母；19—底座

3 试验加荷龄期，一般为 7、28、90、180、360d，也可根据试验需要确定加荷龄期。每个龄期应制备 3 个徐变试件及 4 个抗拉强度试件，同时，一次成型的几组试件应制备不少于 2 个测自生体积变形的补偿试件，其形状和尺寸与徐变试件相同。

4 按本规程第 4.10 节的规定进行混凝土拌和与试件成型，并计算试件灰浆率。成型前后应检查应变计和两端拉力预埋件是否完好。

5 试件成型后，经 24h~48h 拆模，并立即用橡皮套、金属套筒等密封材料密封徐变试件和补偿试件，试件的密封检查符合第 4.10.3 款中第 5 条的规定。徐变试件和补偿试件移入徐变室，抗拉强度试件移入标准养护室养护。

6 到达加荷龄期时，按本规程第 4.5 节的规定测定抗拉强度试件的抗拉强度。

7 将徐变试件安装在徐变仪上，如图 4.11.2 所示，调试对中。

8 按本规程第 4.5 节的规定，在徐变仪上测定徐变试件的抗拉弹性模量（最大荷载不超过试件破坏荷载的 30%，供徐变计算用）。在弹性模量试验加荷到达最大荷载时（弹性模量试验到此为止），即可作为徐变试验的加荷荷载，此时需迅速拧紧徐变仪上的荷载固定螺母，立即松开千斤顶，再测读应变仪上的电阻比与电阻，此数值即为徐变试件的基准值。在测试徐变试件基准值的同时，也应测试补偿试件，并作为该组徐变试件的补偿起点。补偿试件的测试按本规程第 4.13 节的规定进行。

9 观测时间。一般在加荷后 2、6、24h 各测读一次，从第二天起，每天观测一次至两周。以后每周观测 1~2 次。半年以后，每月观测 1~2 次直至试验结束。在观测徐变试件的同时应观测补偿试件。

10 试件加荷后，当荷载变化大于 2% 时，应进行调荷。一般在加荷后第 1、7、30、90、180d 各调荷一次。调荷前后各观测一次。

4.11.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 抗拉弹性模量按式(4.11.4-1)计算,计算结果保留至100MPa:

$$E_t = \frac{F_t}{A f \Delta Z} \quad (4.11.4-1)$$

式中: E_t ——抗拉弹性模量, MPa;

F_t ——最大受拉荷载(不超过试件破坏荷载的30%), N;

A ——试件受荷面积, mm²;

f ——应变计应变灵敏度, 10⁻⁶/ (0.01%);

ΔZ ——应变计电阻比由荷载为零到最大受拉荷载时的变化量, 0.01%。

2 拉伸徐变度计算。用差动电阻式应变计观测变形时, 由荷载产生的拉伸徐变应变值按式(4.11.4-2)计算, 计算结果保留至1×10⁻⁶:

$$\varepsilon_t = f \Delta Z + b \Delta T - \varepsilon_0 \quad (4.11.4-2)$$

式中: ε_t ——试件混凝土的受拉徐变, 10⁻⁶;

b ——应变计温度补偿系数, 10⁻⁶/℃;

ε_0 ——补偿试件的应变值, 其测试与计算同混凝土压缩徐变, 10⁻⁶;

ΔZ ——电阻比变化量, 即某一时刻的电阻比 Z_t 与电阻比基准值 Z_0 之差 ($\Delta Z = Z_t - Z_0$) 0.01%;

ΔT ——温度变化量, 即某一时刻的温度 T_t 与温度基准值 T_0 之差, ($\Delta T = T_t - T_0$), °C。

单位拉应力下的徐变, 即受拉徐变度按式(4.11.4-3)和式(4.11.4-4)计算, 计算结果保留至1×10⁻⁷/MPa:

$$C_t = \varepsilon_t \times \frac{1}{\sigma_t} \times a \quad (4.11.4-3)$$

$$a = V_0 / V \quad (4.11.4-4)$$

式中: C_t ——某一龄期原型混凝土的拉伸徐变度, 10⁻⁶/MPa;

σ_t ——混凝土试件所受拉应力, MPa;

a ——灰浆率比;

V_0 ——原型混凝土的灰浆率, 即每立方米原型混凝土中水泥、掺合料和水的体积, L;

V ——湿筛混凝土的灰浆率, 即每立方米制作试件混凝土中水泥、掺合料和水的体积, L。

单位应力下的总拉伸应变按式(4.11.4-5)计算, 计算结果保留至1×10⁻⁶:

$$\varepsilon'_t = (1/E_t) + C_t \quad (4.11.4-5)$$

式中: ε'_t ——单位应力下的总拉伸应变, 10⁻⁶;

$1/E_t$ ——单位应力下的拉伸弹性变形, 10⁻⁶。

3 不可恢复的拉伸徐变度按式(4.11.4-6)计算, 计算结果保留至1×10⁻⁶/MPa:

$$C_u^* = C_t - C_y^* \quad (4.11.4-6)$$

式中: C_u^* ——不可恢复的拉伸徐变度, 10⁻⁶/MPa;

C_t ——拉伸徐变度, 10⁻⁶/MPa;

C_y^* ——弹性后效, 10⁻⁶/MPa。

4 以3个试件测值的平均值作为试验结果。

5 参照图4.10.4-1、4.10.4-2 绘制拉伸徐变度曲线图, 弹性变形、徐变变形、弹性后效曲线图。

4.12 混凝土干缩湿胀试验

4.12.1 目的及适用范围: 测定硬化混凝土在无外荷载和恒温条件下由于干、湿引起的轴向长度变形。

4.12.2 仪器设备应符合下列要求:

1 试模: 规格为100mm×100mm×515mm的棱柱体金属试模。试件两端可埋设不锈钢的金属测头, 测头尺寸及形状见图4.12.2。

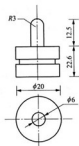


图 4.12.2 金属测头 (单位: mm)

测 2 次, 取平均值, 然后立刻将每个试件的读数与上个龄期读数对比, 发现数据异常时, 立刻重新测试。测长的方法和测长的方向应与测基准长度时相同。若用比长仪测量, 从测基准长度时起, 每次测长前均需测定标准棒长度。

6 为防止测头生锈, 每次测长后可在测头端部涂一薄层黄油, 下次测长时应仔细擦净。

7 将干缩试验经最后一次测长的试件, 泡入装有饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液的恒温水槽内进行湿胀试验。湿胀试验的龄期从泡水时算起, 为 1、3、7、14、28d。湿胀试件的测长方法与干缩的测长方法相同。

4.12.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 某一龄期的干缩 (湿胀) 率按式 (4.12.4) 计算, 计算结果保留至 1×10^{-6} :

$$\varepsilon_t = \frac{L_t - L_0}{L_0 - 2\Delta} \quad (4.12.4)$$

式中: ε_t —— t 天龄期时的干缩 (湿胀) 率;

L_t —— t 天龄期时试件的长度, mm;

L_0 ——试件的基准长度, mm;

Δ ——金属测头的长度, mm。

2 以 3 个试件测值的平均值作为该组试件干缩 (湿胀) 率的试验结果 (负值为收缩、正值为膨胀)。当 3 个试件中的最大值或最小值之一与中间值之差超过中间值的 15% 时, 取中间值; 当 3 个试件中的最大值或最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时, 该组试验结果无效。

试件拆模时间或测基准长度前的养护方式有改变时, 应在试验报告中说明。

4.13 混凝土自生体积变形试验

4.13.1 目的及适用范围: 测定混凝土的自生体积变形。

2 量测仪器: 可用弓形螺旋测微计、比长仪、千分表、位移传感器、混凝土干缩仪等, 其测量精度不低于 0.001mm。

3 恒温恒湿室: 室内温度应控制在 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $60\% \pm 5\%$ 。

4 恒温水槽: 内装 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 的饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液。

4.12.3 试验步骤应符合下列要求:

1 成型试件。以 3 个试件为 1 组。金属测头应埋设牢靠, 位置准确。

2 试件成型后, 送入标准养护室养护, 48h 后拆模, 然后继续标准养护。

3 试件应在从搅拌混凝土加水时算起 3d 龄期时从标准养护室逐个取出, 并应立即移入恒温恒湿室逐个测定其基准长度。人工测长时最少重复 2 次, 取差值在仪器精度范围内的两个读数的平均值作为基准长度测定值。

4 测定基准长度后, 干缩试件宜底面架空置于不吸水的硬质垫板上, 连同垫板放在干缩室试件架上, 试件间距应不小于 30mm。

5 试件的干缩龄期以测定基准长度后算起, 干缩龄期为 3、7、14、28、60、90、180d 或指定的龄期。每个龄期测长时, 复

4.13.2 仪器设备应符合下列要求:

- 1 测量仪表:量测仪器及率定设备符合本规程第4.10节的规定。
- 2 密封试件桶:用镀锌板或其他密封材料制作。尺寸为直径

200mm、高度 500mm~600mm。

4.13.3 试验步骤应符合下列要求:

- 1 按本规程第4.10节的规定检查和率定应变计。
- 2 密封试件桶在试验前应进行严格检查,要求密封桶不渗水、不透气。试验前在密封桶内壁衬一层厚约 1mm 橡皮板,或涂抹一层厚约 0.3mm~0.5mm 黄油或沥青隔离层。
- 3 将应变计垂直固定在试件桶中心,应使其量测基线位于试件中部并与试件纵轴重合。
- 4 成型试件前,量测应变计的电阻及电阻比,作好记录。根据式(4.13.4-2)计算应变计的温度,与实测温度比较,判断应变计是否完好。
- 5 按本规程第3.1节的规定拌制混凝土,拌和物中粒径超过 40mm 的骨料需用湿筛法剔除,并记录试件灰浆率。
- 6 按本规程第4.10节的规定进行混凝土试件成型。每组试件至少 2 个。
- 7 试件成型后,应尽快将密封桶的盖板紧贴试件端面盖好,周边及应变计电缆出口处应密封。
- 8 试件密封后应立刻将试件放置在温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境中养护,避免振动,并立刻量测应变计的电阻及电阻比。
- 9 基准值的选定:除有特殊要求外,一般以成型后 24h 应变计的测值为基准值。
- 10 测量时间:成型后 2、6、12、24h 各量测应变计电阻及电阻比一次,以后每天量测 1 次至两周,然后每周量测 1 次~2 次,半年之后每月量测 1 次~2 次,龄期为 1 年。

4.13.4 试验结果处理应符合下列要求:

- 1 混凝土自生体积变形按式(4.13.4-1)和式(4.13.4-2)计

算,计算结果保留至 5×10^{-6} :

$$G_t = f(Z - Z_0) + (b - a)(t - t_0) \quad (4.13.4-1)$$

$$t = a'(R - R_0) \quad (4.13.4-2)$$

式中: G_t ——混凝土自生体积变形, 10^{-6} ;

f ——应变计应变灵敏度(最小读数), $10^{-6}/(0.01\%)$;

Z ——测量的电阻比, 0.01%;

Z_0 ——电阻比基准值, 0.01%;

b ——应变计温度修正系数, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;

a ——混凝土线膨胀系数, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;

t ——温度计算值, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 ——温度基准值, $^{\circ}\text{C}$;

a' ——应变计温度常数, $^{\circ}\text{C}/\Omega$;

R ——测量的电阻, Ω ;

R_0 —— 0°C 的电阻, Ω 。

- 2 取 2 个或 2 个以上试件测值的平均值作为试验结果。

4.14 混凝土导温系数试验

4.14.1 目的及适用范围:测定混凝土导温系数。

4.14.2 仪器设备应符合下列要求:

- 1 导温仪:导温仪主要由加热桶、试件架、冷却桶等部件组成,示意图见图 4.14.2。

- 1) 加热桶。系用两层铁皮制成的圆桶,外径 500mm,内径 400mm,两层铁皮的间距约 50mm,内填隔热材料。桶底装有总功率为 3000W~4000W 并有分档的加热器,加热器与装在桶外的温控装置相连。桶附有盖,盖上有 3 个孔,分别用于量测试件中心温度、桶内水温及安装搅拌机。
- 2) 试件架。在加热桶和冷却桶内部设置的用于安放试件的支架。

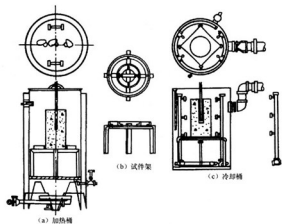


图 4.14.2 混凝土导温仪示意图

3) 冷却桶。系用一层铁皮制成的圆桶，直径 500mm~600mm，高约 800mm，附有冷却水管及喷嘴。冷却水可用自来水。

2 试模：圆柱形铁模，直径 200mm，高 400mm。试模附有一支架，以便在试件中心固定直径为 10mm 的插入试模内深度为 200mm 的铁杆，作为量测试件中心温度的预留孔。

3 测温计：量程 0℃~100℃，精度 0.1℃。如用水银温度计，水银球至刻度起点的距离须大于 250mm。

4 其他：时钟、石棉线、胶布、变压器油等。

4.14.3 试验步骤应符合下列要求：

1 按本规程第 3.1 节的规定制备混凝土拌和物。如骨料粒径大于 40mm，应用湿筛法剔除。

2 将拌好的混凝土分 3 层装入试模内，每层用捣棒插捣 40

次（或用振动台振实）。第一层混凝土装入后，安上支架，将铁杆插入试模中，并固定在中心部位，再浇捣第二层和第三层。试验以 2 个试件为 1 组。

3 成型后 1h~2h 抹面，约 4h 后将埋入的铁杆轻轻转动（不得上下移动），以免与混凝土黏结。1d~2d 后拔出铁杆拆模，编号，将试件放到标准养护室至少养护 7d，即可用于试验。

4 试验前一天，取出试件，在顶面靠近中心孔周围凿毛，用湿布抹净，向孔内注放变压器油，放入测温元件，使测头浸没在油中，用石棉线将孔口塞紧，用胶布固定好，并用水泥净浆严密封口。

5 试验时，将试件安放在试架上，连架一起放入加热桶中，加水没过试件顶面 50mm 以上，盖上桶盖，启动加热器和搅拌器，将桶中的水加热至 60℃~70℃，待试件中心温度与水温完全相等时停止加热和搅拌。如要测得不同温度的导热系数，可分别加热至所需的温度。

6 在冷却水桶内注满水，并使其不断流动，保证水温均匀一致。

7 将经加热并温度均匀一致的试件，迅速连同试件架一起放入冷却水桶内（水面应高出试件顶面 50mm 以上），立即迅速、准确地测读试件中心温度和冷却水温，并开始计时，以后每隔 5min 测读一次，直到试件中心温度与冷却水水温相差 3℃~6℃为止（一般需 1h 左右）。

8 导热系数试验记录格式见表 4.14.3。

表 4.14.3 混凝土导热系数试验记录计算表

试件编号_____		成型日期_____		试验日期_____				
混凝土配合比_____		骨料最大粒径_____		掺合料外加剂_____				
试件冷却时间 (h:min)	试件中心温度 (℃)	冷却水温度 (℃)	初始温差 θ_0 (℃)	任意时刻温差 θ (℃)	θ/θ_0	α/D^2	导热系数 α (m ² /h)	附注
试验者			计算者			校核者		

4.14.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 根据记录计算试件中心温度与冷却水温度的初始温差 θ_0 及两者在任意时刻的温差 θ 。

2 计算相应时间的 θ/θ_0 的比值, 计算结果保留至小数后第五位。

3 根据各个时间的 θ/θ_0 之比值, 查附录 A 得相应 at/D^2 的值 (其中 t 为冷却时间, 以 h 计; D 为试件的直径, 以 m 计)。由此值即可算出相应时刻的导温系数 a 。

4 取试件开始冷却后 30min 至 1h 内各测值的平均值作为该试件的导温系数。

5 取 2 个试件测值的平均值作为导温系数的试验结果。

6 导温系数也可根据记录计算的初始温差 θ_0 及任意时刻的温差 θ 按下述步骤计算而得。

1) 以冷却时间 t 为横坐标, $\ln\theta$ 为纵坐标, 在半对数纸上绘出 $\ln\theta=f(t)$ 的曲线。

2) 在 $\ln\theta=f(t)$ 曲线的直线部分, 选择两个点, 设温度为 θ_a 、 θ_b , 相应的时间为 t_a 、 t_b , 按式 (4.14.4-1) 计算冷却率 m ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$):

$$m = \frac{\ln \theta_a - \ln \theta_b}{t_b - t_a} \quad (4.14.4-1)$$

3) 按式 (4.14.4-2) 计算试件形状系数 K (m^2):

$$K = \frac{1}{(2.4048/R)^2 + (\pi/L)^2} \quad (4.14.4-2)$$

式中: R ——试件的半径, m;

L ——试件的高度, m。

4) 按式 (4.14.4-3) 计算导温系数 a (m^2/h):

$$a = Km \quad (4.14.4-3)$$

取 2 个试件测值的平均值作为试验结果。

4.15 混凝土导热系数试验

4.15.1 目的及适用范围: 测定混凝土的导热系数。

4.15.2 仪器设备应符合下列要求:

1 导热仪: 导热仪示意图如图 4.15.2-1 所示, 主要由冷却桶、加热器、搅拌机、电流计、电压表等组成。

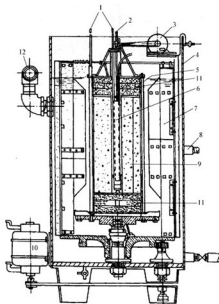


图 4.15.2-1 导热仪示意图

1—温度计; 2—搅拌器轴; 3—搅拌器电动机; 4—冷却桶; 5—试件架; 6—加热器;

7—搅拌叶片; 8—进水管; 9—试件; 10—电动机; 11—软木; 12—出水管

- 1) 冷却桶: 直径 600mm, 高 960mm 的铁桶。内有搅拌冷却水用的大叶片 8 个, 用电动机驱动, 循环冷却水可用自来水。
- 2) 加热器: 外径 29mm, 内径 10mm, 长 370mm, 用黄铜片制成, 夹层中绕有电阻丝, 功率 260W。其安装示意图如图 4.15.2-2 所示。

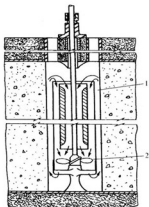


图 4.15.2-2 加热器安装示意图

1—加热器; 2—搅拌器叶片

- 3) 搅拌器: 搅拌试件内腔的水, 使其温度均匀, 以电动机驱动。
 - 4) 电流计: 5A, 不低于 0.5 级。
 - 5) 电压表: 0V~220V, 不低于 0.5 级。
- 2 测温计: 测量范围为 0℃~100℃, 精度为 0.1℃。如用玻璃水银温度计, 水银球至刻度起点的距离应大于 250mm。

3 试模: 圆柱形铁模, 直径为 200mm, 高为 400mm。试模附有支架, 用以固定埋设贯穿整个试件中心的直径为 40mm 的铁杆。

4.15.3 试验步骤应符合下列要求:

1 试件的成型、养护应符合本规程第 4.14 节的规定, 每组试件为 2 个。

2 试验时按图 4.15.2-1 和图 4.15.2-2 将试件安放在试件架上(软木应先用石蜡液浸渍)。向试件内腔灌水, 水面比试件顶面低 10mm~20mm。

3 接通冷却水源, 向桶中放水, 使水面与试件顶面齐平, 然后开动大叶片搅拌器, 此时, 靠试件处水位降低, 应继续放水, 使中部水位与试件顶面齐平。调节控制好进出水量, 使整个试验过程的水位不变。

4 接通加热器开关, 开动试件内腔小搅拌器使内腔温度均匀一致。控制加热器的电压和电流, 一般电压为 50V~100V, 电流为 1.5A~2.0A, 并使其稳定下来。观测试件中心温度上升情况, 以及仪器运转是否正常。

5 接通加热器后 1h 左右, 每隔 10min 测读一次冷却水温、混凝土中心温度以及电压、电流, 直至电压、电流及混凝土中心温度稳定为止。一般需测读 10 次。

4.15.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 导热系数按式 (4.15.4) 计算:

$$\lambda = \frac{Q \ln(a/b)}{2\pi L(\theta_2 - \theta_1)} = \frac{3.600W \ln(a/b)}{2\pi L(\theta_2 - \theta_1)} = \frac{2.305W}{\theta_2 - \theta_1} \quad (4.15.4)$$

式中: λ ——混凝土导热系数, kJ/(m·h·℃);

Q ——试件由中心向四周单位时间内的传热量, 为 3.600W, kJ/h;

a ——试件外径, m;

b ——试件内孔径, m;

- 2) 圆筒形空气挡板。用厚 1mm 的铜板制成。直径 530mm, 高 880mm。其外缘母线方向均匀装有 12 条胶木板, 每条胶木板上安有 12 个小型绝缘瓷柱, 瓷柱上装有 12 根 100W 的电热丝, 为保温桶内空气加热用。
- 3) 隔离桶。用 1mm 厚的紫铜板制成, 直径 330mm, 高 510mm, 附有盖。
- 4) 试件桶。用 1mm 厚的紫铜板制成, 直径 240mm, 高 480mm。
- 5) 加热器。试件中心加热用, 用黄铜片制成。外管直径 30mm, 内管直径 10mm, 长 370mm, 内外管间布有电热丝, 功率约为 230W。
- 6) 搅拌器。杆式, 由一小电动机带动, 以使试件周围水温均匀。
- 7) 鼓风机。由多翼风扇与电动机组成, 以使桶内空气温度均匀。
- 8) 温度计。量程 $0^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$, 精度 0.1°C 。如用水银温度计, 水银球至刻度起点的距离应大于 400mm。
- 9) 其他。瓦时表 (220V, 5A, 精度 0.01°)、控制箱及软木块等。

2 试模: 圆柱形金属试模, 直径 200mm, 高 400mm, 附有支架以固定试件中心埋杆, 埋杆直径 40mm, 贯穿整个试件。

3 其他: 时钟、磅秤 (称量 50kg、感量不大于 50g)。

4.16.3 试验步骤应符合下列要求:

1 试件成型、养护应符合本规程第 4.14 节的规定。每组 2 个试件。

2 试验前, 从养护室取出试件, 擦干表面水分, 称量。

3 将试件及其他设备按图 4.16.2 安装好, 并往试件桶内注水, 使水面高出试件顶面 20mm~30mm。记录装入的水量 (精确到 10g)。

4 约 4h 后, 当试件桶内的温度与保温桶内温度稳定一致时,

表示绝热量热器内试件温度、水温 and 气温已达平衡。此时测出的温度即为试件的初始温度 (θ_1), 同时测读电表的初始读数。

5 接通加热器及搅拌器的电源并开始计时, 同时接通鼓风电动机及空气加热丝电源, 使保温桶内空气与试件桶内的水温相等。待水温上升 $10^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$ 时, 关闭加热器, 只运转搅拌器, 经 1.5h~2.0h, 使试件温度均匀, 读取试件桶内温度计的读数 (θ_2), 并记录时间及电表读数。至此, 一次加热操作完毕。

6 按上述加热操作步骤对试件再加热 2 次。

4.16.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 比热容 (c) 的计算步骤如下:

1) 加热器供热: 每次加热所消耗的电量 ($W \cdot h$) 乘以 $3.600[\text{kJ}/(\text{W} \cdot \text{h})]$ 即为每次加热器的供热量 $q_1(\text{kJ})$ 。

2) 搅拌器供热: 搅拌器搅拌常数乘以搅拌时间 (h), 即为每次搅拌器供热量 $q_2(\text{kJ})$ 。

注: 搅拌器常数与搅拌器形状尺寸及转速有关。按美国垦务局混凝土比热仪图纸制造的搅拌器常数为 $6.752\text{kJ}/\text{h}$, 自制的应另行测定。

3) 试件桶吸热: 试件桶的吸热常数为 $4.254\text{kJ}/^{\circ}\text{C}$, 乘以每次加热的温升值 ($\theta_2 - \theta_1$) 即为试件桶所吸收的热量 $q_3(\text{kJ})$ 。

4) 水吸热: 水的比热容乘以用水量再乘以每次加热的温升值 ($\theta_2 - \theta_1$), 即为水所吸收的热量 $q_4(\text{kJ})$ 。

5) 试件吸热: 令为 $Q(\text{kJ})$, 按式 (4.16.4-1) 和式 (4.16.4-2) 计算:

$$Q = q_1 + q_2 - q_3 - q_4 \quad (4.16.4-1)$$

$$Q = m[C_0(\theta_2 - \theta_1) + \frac{C_1}{2}(\theta_2^2 - \theta_1^2) + \frac{C_2}{3}(\theta_2^3 - \theta_1^3)] \quad (4.16.4-2)$$

式中: m ——试件的质量, kg ;

C_0 、 C_1 、 C_2 ——待求的系数;

θ_1 、 θ_2 ——每次加热的初温和终温, $^{\circ}\text{C}$ 。

连续加热 3 次就可得到 3 个三元一次方程，联立求解即可求出 C_0 、 C_1 、 C_2 之值。

6) $c = C_0 + C_1\theta + C_2\theta^2$ ，即得比热容 c 随温度 θ 变化的表达式。此式在试验温度范围内有效。

取 2 个试件测值的平均值作为试验结果。

4.17 混凝土线膨胀系数试验

4.17.1 目的及适用范围：测定混凝土线膨胀系数。

4.17.2 仪器设备应符合下列要求：

1 带有搅拌器的自动控制恒温水箱，其大小视一次试验试件的多少而定。要求箱内水面没过试件顶面 50mm 左右，温度控制精度在 0.5℃ 以内。

2 量测仪器：差动电阻式应变计，测距 250mm；水工比例电桥；长杆温度计，测温范围 0℃~100℃，精度 0.1℃。

3 试模：直径 200mm，高 500mm 的带盖白铁皮筒。

4 其他：2mm~3mm 厚的橡皮、胶布等。

4.17.3 试验步骤应符合下列要求：

1 按本规程第 4.13 节的规定进行试件的制作和养护，每组试件为 2 个。测完混凝土自生体积变形的试件，也可用于本试验。

2 将至少养护 7d 后的试件放入恒温水箱内，箱中水面应没过试件顶面 50mm 以上。水的起始温度可在 10℃~20℃ 之间。

3 控制水温使其恒定。量测应变计的电阻和电阻比，并用温度计测读水温。当试件中心温度与水温一致时记下读数，即为试验初始温度的测值。恒温的标准是相隔 1h 温度差不得超过 0.1℃。为使箱中的水温均匀，应经常开动搅拌器。

4 调整恒温箱温度控制器，使水温上升到 60℃ 左右，恒温后记下试件中心温度与水温一致时的电阻、电阻比和水温，即为试验终止时的测值。

4.17.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 试件的中心温度及应变值分别按式 (4.17.4-1)、式 (4.17.4-2) 计算：

$$t = a'(R_t - R_0) \quad (4.17.4-1)$$

$$\varepsilon_m = f'\Delta Z + ba'(R_t - R_0) \quad (4.17.4-2)$$

式中： t ——试件的中心温度，℃；

a' ——仪器温度灵敏度系数，℃/Ω；

R_t ——试验终止时仪器的电阻，Ω；

R_0 ——试验开始时仪器的电阻，Ω；

ε_m ——混凝土试件的应变值， 10^{-6} ；

f' ——应变计灵敏度， $10^{-6}/(0.01\%)$ ；

ΔZ ——电阻比变化量，即试验终止温度的电阻比与初始温度电阻比之差值；

b ——仪器温度补偿系数， $10^{-6}/℃$ 。

2 混凝土的线膨胀系数按式 (4.17.4-3) 计算，计算结果保留至 1×10^{-6} ：

$$\alpha = \frac{\varepsilon_m}{\Delta t} \quad (4.17.4-3)$$

式中： α ——混凝土线膨胀系数， $10^{-6}/℃$ ；

Δt ——试验终止温度与初始温度之差，℃。

取 2 个试件测值的平均值作为试验结果。

4.18 混凝土绝热温升试验

4.18.1 目的及适用范围：在绝热条件下，测定混凝土在胶凝材料水化过程中的温度变化及最高温升值。

4.18.2 仪器设备应符合下列要求：

1 绝热温升测定仪：仪器的绝热室要求达到绝热试验条件，即胶凝材料水化所产生的热量与外界不发生热交换。仪器由绝热养护箱和控制记录仪两部分组成，工作原理见图 4.18.2。绝热室

温度跟踪试样中心温度,相差不大于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。试验温度为 $5^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$,温度读数精度为 0.1°C 。凡满足上述技术条件的绝热温升测定仪皆可用于混凝土的绝热温升试验。

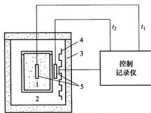


图 4.18.2 绝热温升测定仪工作原理图

1—混凝土试件; 2—测温层; 3—保温隔热层; 4—加热器; 5—测温元件

2 容器: 容器用钢板制成, 顶盖具有橡胶密封圈。容器尺寸应大于最大骨料粒径的 3 倍。

3 恒温室: 温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

4 其他: 磅秤、捣棒及放测温探头的紫铜测温管或玻璃管等。管的尺寸要求内径稍大于测温探头直径, 长度为试件高的 1/2。

4.18.3 试验步骤应符合下列要求:

1 试验前应根据仪器使用说明书检查仪器工作是否正常, 温度跟踪精度是否满足 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 要求。在容器内盛入比室温高 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的水, 至离上口 20mm 处。将容器放入绝热室内, 按正常试验规定开始试验。72h 或更长时间水温应保持恒定 (跟踪精度在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内)。

2 试验前 24h 应将混凝土拌和物放在 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的室内, 使其温度与室温一致。如对拌和物浇筑温度有专门要求时, 则按要求控制拌和物的初始温度。

3 按本规程第 3.1 节的规定拌制混凝土拌和物, 量测拌和物温度, 然后分两层装入容器中。人工捣实按本规程第 4.1 节的规

定进行。在容器中心埋入一根紫铜测温管或玻璃管, 然后盖上容器上盖, 全部密封。测温管中盛入变压器油至淹没传感器测头。

4 试样容器送入绝热室内, 按仪器使用说明书规定, 将测温元件 (温度传感器, 或温度计) 装入测温管中。

5 开始试验, 控制绝热室温度与试样中心温度相差不大于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。每 0.5h 记录一次试样中心温度, 历时 24h 后每 1h 记录一次, 7d 后可 3h~6h 记录一次。试验历时 28d (或根据需要确定天数) 结束。

6 试件从拌和、成型到开始测读温度, 应在 30min 内完成。

4.18.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 绝热温升值按式 (4.18.4-1) 计算:

$$\theta_n = \frac{C_k + C_m}{C_k} (\theta'_n - \theta_0) \quad (4.18.4-1)$$

式中: θ_n —— n 天龄期混凝土绝热温升值, $^{\circ}\text{C}$;

θ'_n —— n 天龄期仪器记录的温升值, $^{\circ}\text{C}$;

θ_0 ——混凝土拌和物的初始温度, $^{\circ}\text{C}$;

C_k ——混凝土试件的质量与混凝土平均比热容的乘积, $\text{kJ}/^{\circ}\text{C}$;

C_m ——绝热量热器的总热容量, 由厂家提供。如自制仪器可按 $C_m = \sum m_i c_i$ 进行计算, m_i 为各附件 (容器、测温管、测温元件和变压器油) 质量 (kg), c_i 为各附件材料的比热容, $\text{kJ}/^{\circ}\text{C}$ 。

2 以时间为横坐标, 温升为纵坐标绘制混凝土温升过程线, 根据曲线即可查得各不同龄期的混凝土绝热温升值。

3 胶凝材料水化热按式 (4.18.4-2) 计算:

$$Q_n = \frac{\theta_n C_k}{m} \quad (4.18.4-2)$$

式中: Q_n —— n 天龄期胶凝材料水化热, kJ/kg ;

m ——混凝土试件中的胶凝材料用量, kg 。

4.19 高速圆环法混凝土抗冲磨试验

4.19.1 目的及适用范围:测定混凝土或其他材料在含砂水流冲刷下的抗冲磨性能。适用于研究、相对比较和评定抗冲磨混凝土或其他高抗冲磨材料抵抗含砂水流冲磨作用的性能。

4.19.2 仪器设备应符合下列要求:

- 1 混凝土冲刷仪:其最大名义试验流速宜为 40m/s。
- 2 试模:外圆锥形,顶径 500mm,底径 490mm,内径 300mm

高度 100mm。

- 3 天平:称量 50kg,感量不大于 0.5g。
- 4 量筒:1000mL 和 500mL 各 1 个。

4.19.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第 4.1 节的规定制备冲磨试验试件。允许骨料最大粒径 40mm,超过时用湿筛法筛除。试验以 3 个试件为 1 组。

2 到达试验龄期前 2 天,将试件放入水中浸水使其吸水饱和。

3 试验时,取出试件,用湿布将试件表面擦干净,以饱和面干状态称取试件质量,准至 1g。

4 打开主机试验箱上盖后,检查排砂孔(2 个)密封是否漏水,并擦净试验箱(箱内无水状态),放入聚四氟乙烯防腐圈。用试件顶面 2 个起吊螺孔(M10)将试件装入试验箱内。

5 冲磨质采用粒径 0.4mm~2mm 的专用刚玉。水流含砂率为 20%(质量比)。称量刚玉 625g,然后将冲磨质由冲刷轮齿孔间隙中均匀地洒入,再加水 2500mL。将试验箱上盖盖上,并对整齐。然后将 8 个紧固卡子上装,并紧固。紧固时应两个对称卡子同时加力紧固,以免上盖偏斜。

6 在控制柜台面上设定试验条件,首先按动电源开关,开动主机开关,转动流速给定器转钮,使其显示频率达到试验规定流速对应的频率。试验流速设定后关闭主机开关,试验流速设定后可以保留,勿需每次试验设定。由定时器设定每次试验冲磨时间 900s。

7 试验条件设定完毕,开动主机开关,再按动流速给定器上的锁紧按钮,主轴开始转动,10s 内达到设定的试验流速。冲磨时间达到后,自动停机。

8 将上盖紧固卡子卸下,取下试验箱上盖,通过起吊螺孔将试件取出,冲洗干净。

9 取出聚四氟乙烯防腐圈,将排砂孔打开,试验废砂水由此孔排入砂—水箱内。将试验箱内清洗干净,将排砂孔关闭不能漏水。

10 重复 4~9 项试验操作 3 次,同样在试件饱和面干燥的状态下,称取试件质量(g),得到一个试件 4 次试验累计冲磨量,即一个试件冲磨 1h 的冲磨量。

4.19.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 混凝土抗含砂水流冲磨指标以抗冲磨强度表示。抗冲磨强度按式(4.19.4)计算。

$$f_s = \frac{tA}{\Sigma\Delta m} \quad (4.19.4)$$

$$A = \pi DH$$

式中: f_s ——抗冲磨强度,即单位面积上被冲磨单位质量所需的时间, h/(kg·m²);

$\Sigma\Delta m$ ——4 次冲磨试件累计冲磨量, kg;

t ——试验累积冲磨时间, h;

A ——试件冲刷面积, m²;

D ——试件内径, m;

H ——试件内环高, m。

2 以 3 个试件测值的平均值作为试验结果。单个测值与平均值允许差值为±15%,超过此时值应剔除,以余下 2 个测值的平均值作为试验结果。若 1 组中可用的测值少于 2 个,该组试验结果无效。

3 当采用其他材料为冲磨质时,应在抗冲磨强度后注明。

4.20 旋转射流法混凝土抗冲磨试验

4.20.1 目的及适用范围：测定混凝土或其他材料在含砂水流冲刷下的抗冲磨性能。适用于研究、相对比较和评定混凝土或其他材料抵抗高速含砂水流冲磨作用的性能。

4.20.2 仪器设备应符合下列要求：

1 抗冲磨试验机：其结构及作用原理如图 4.20.2-1 所示。空心轴、叶片和试件平面布置如图 4.20.2-2 所示。叶片为矩形管状，其结构如图 4.20.2-3 所示。

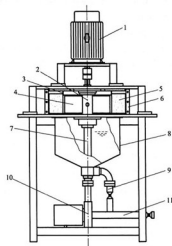


图 4.20.2-1 抗冲磨试验机示意图

1—电动机；2—空心轴；3—定位环；4—矩形管状叶片；5—试件；6—密封罩；

7—进水管；8—水砂桶；9—回水管；10—水泵；11—排水管

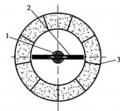


图 4.20.2-2 空心轴、叶片和试件平面布置图

1—空心轴；2—矩形管状叶片；3—试件

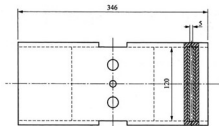


图 4.20.2-3 叶片结构图（单位：mm）

最大名义冲磨速度宜为 50m/s，名义冲磨流量调节范围宜为 2L/s~6L/s。启动后 10s 内，名义冲磨速度可达到设定值。

2 试模：圆弧形金属模。内外侧壁为同心圆弧面，圆心角 40°，内侧圆弧直径 420mm±1mm，外侧圆弧直径 660mm±1mm，高度 150mm±2mm，左右侧壁为平面。

3 天平：称量 20kg，感量不大于 0.1g。

4.20.3 试验步骤应符合下列要求：

1 按本规程第 4.1 节的规定制备试件，骨料最大粒径不应大于 40mm，超过时用湿筛法剔除。试验以 3 个试件为 1 组。

- 2 到达试验龄期的前 2 天将试件浸水饱和 48h。
- 3 试验时取出试件，用湿布擦去表面水分，称取试件质量，准至 0.1g。
- 4 设定抗冲磨试验仪名义冲磨速度为 40m/s、名义冲磨流量为 2.8L/s。
- 5 向抗冲磨试验仪水砂桶内加入水和棕刚玉砂，棕刚玉砂与水的质量比例为 7.5:100。每次试验加入量为：水 50kg 和棕刚玉砂 3.75kg。棕刚玉砂粒径为 0.16mm~0.63mm，颗粒级配为：0.16mm~0.315mm 粒级 30%，0.315mm~0.63mm 粒级 70%。

6 按图 4.20.2-1 所示将试件紧靠定位环放在抗冲磨试验仪上，装上密封罩。

7 启动水泵，再启动电动机并计时，准至 1s。冲磨 1800s 后停机。放掉水和棕刚玉砂。

8 重复步骤 5~7，一共试验 8 次。取出试件，用水冲洗干净，擦去表面水分，称取试件质量，准至 0.1g。需要时可适当增加试验次数，但同批试件的试验次数应相同，增加的试验次数应在报告中说明。

4.20.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 混凝土抗含砂水流冲刷的指标以抗冲磨强度或磨损率表示。抗冲磨强度与磨损率按式 (4.20.4-1) 和式 (4.20.4-2) 计算 [抗冲磨强度精确至 $1 \times 10^{-6} \text{h}/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$ ，磨损率精确至 $0.1 \text{kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]：

$$f_s = 0.0092 \frac{tA}{\Delta m} \quad (4.20.4-1)$$

$$L = 108.7 \frac{\Delta m}{tA} \quad (4.20.4-2)$$

式中： f_s ——抗冲磨强度，即单位面积上被磨损单位质量所需的时间，h/($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)；

L ——磨损率，即单位面积在单位时间内的磨损量， $\text{kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ；

t ——累计冲磨时间，h；

Δm ——经 T 时间冲磨后，试件损失的质量，kg；

A ——试件受冲磨面积， m^2 。

2 以 3 个试件测值的平均值作为试验结果。单个测值与平均值允许差值为 $\pm 15\%$ ，超过时此值应剔除，以余下 2 个测值的平均值作为试验结果。若 1 组中可用的测值少于 2 个，该组试验结果无效。

3 试验若采用其他冲磨速度、冲磨流量或砂水比，应在试验报告中注明。

4.21 水下钢球法混凝土抗冲磨试验

4.21.1 目的及适用范围：测定混凝土受水下流动介质磨损的相对抗力，用于评价混凝土表面的相对抗磨性能。

4.21.2 仪器设备应符合下列要求：

1 钢球冲磨仪：其示意图见图 4.21.2，主要部件包括驱动装置、钢筒、钢底座、搅拌桨、研磨料等。

- 1) 驱动装置，能夹固搅拌桨并使其以 1200r/min 速度旋转的电机装置。
- 2) 钢筒，内径为 $305\text{mm} \pm 6\text{mm}$ ，高 $450\text{mm} \pm 25\text{mm}$ ，下边四周有螺孔。
- 3) 钢底座。
- 4) 搅拌桨。
- 5) 研磨料，70 个按表 4.21.2 规定的研磨钢球。

表 4.21.2 研磨钢球数量与直径

钢球数量 (个)	10	35	25
直径 (mm)	25.4 ± 0.1	19.1 ± 0.1	12.7 ± 0.1

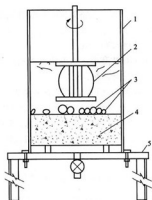


图 4.21.2 钢球冲磨仪示意图

1—钢容器；2—搅拌架；3—不同直径研磨钢球；4—混凝土试件；5—底座

2 试模：金属圆模，内径 300mm±2mm，高 100mm±1mm。

3 天平：称量 20kg，感量不大于 1g。

4.21.3 试验步骤应符合下列要求：

1 按本规程第 4.1 节的规定制备试件，允许骨料最大粒径为 40mm，试验以 3 个试件为 1 组。

2 试验前，试件需在水中至少浸泡 48h。

3 试验时，取出试件，擦去表面水分，称量。

4 钢筒与底座间放上橡皮垫圈，在底板上垫上 2 根 $\phi 6\text{mm}$ 的钢筋，把已称量过的混凝土试件放在钢筋上并对中，且使混凝土表面垂直于转轴，套上钢筒，旋紧固定钢筒与底座的螺栓，使其密封。

5 将搅拌架安装在转轴上，搅拌架底部距试件表面约 38mm，调整钢筒和底座的位置使转轴对中。

6 在钢筒内放入研磨钢球于试件表面，并加水至水面高出试件表面 165mm。

7 确认转轴转速在 1200r/min 后，开机。

8 每隔 24h，在钢筒内加 1~2 次水至原水位高度。

9 累计冲磨 72h，取出试件，清洗干净，擦去表面水分，称量。

4.21.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 混凝土抗冲磨指标以抗冲磨强度或磨损率表示。

1) 抗冲磨强度按式 (4.21.4-1) 计算：

$$f_s = \frac{tA}{\Delta m} \quad (4.21.4-1)$$

式中： f_s ——抗冲磨强度，即单位面积上被磨损单位质量所需的时间，h/(kg·m²)；

t ——试验累计时间，h；

A ——试件受冲磨面积，m²；

Δm ——经 t 时段冲磨后，试件损失的累计质量，kg。

2) 磨损率按式 (4.21.4-2) 计算：

$$L = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \times 100 \quad (4.21.4-2)$$

式中： L ——磨损率，%；

m_0 ——试验前试件质量，kg；

m_t ——试验后试件质量，kg。

2 以 3 个试件测值的平均值作为试验结果，单个测值与平均值允许差值为 $\pm 15\%$ ，超过时此值应剔除，以余下 2 个测值的平均值作为试验结果。若 1 组中可用的测值少于 2 个，该组试验结果无效。

4.22 高速水下钢球法混凝土抗冲磨试验

4.22.1 目的及适用范围：测定混凝土受水下高速流动介质磨损的相对抗力，用于评价混凝土表面的相对抗磨性能。

4.2.2.2 仪器设备应符合下列要求：

1 高速钢球冲磨仪：其示意图见图 4.2.2.2，主要部件包括驱动装置、钢筒、铜底座、研磨料等。

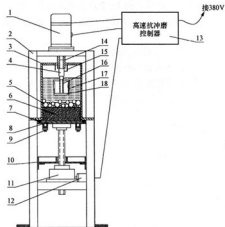


图 4.2.2.2 高速水下钢球法冲磨仪示意图

- 1—调速电机；2—主机机架；3—钢筒；4—搅拌轴；5—钢球；6—混凝土试块；
7—密封条；8—托板；9—行走轮；10—集水盘；11—升降器；12—控制组合柜；
14—联轴节；15—隔水环；16—垫套；17—搅拌侧叶片；18—搅拌主叶片

- 1) 驱动装置，能夹固搅拌桨并使其以 4000r/min 速度旋转的电机装置。
- 2) 钢筒，内径为 300mm±6mm，高 450mm±25mm，下边四周有螺孔。
- 3) 铜底座。
- 4) 搅拌桨，特制。

5) 研磨料：120 个按表 4.2.2.2 规定的研磨钢球。

表 4.2.2.2 研磨钢球数量与直径

钢球数量 (个)	8	17	33	62
直径 (mm)	30.0±0.1	25.4±0.1	19.1±0.1	12.5±0.1

2 试模：金属圆模，内径 300mm±2mm，高 100mm±1mm。

3 天平：称量 20kg，感量不大于 1g。

4.2.2.3 试验步骤应符合下列要求：

1 按本规程第 4.1 节的规定制备试件，允许骨料最大粒径为 40mm。每组 3 个试件。

2 试验前，试件需在水中至少浸泡 48h。

3 试验时，取出试件，擦去表面水分，称量。

4 钢筒与底座间放上橡皮垫圈，在底板上垫上两根 $\phi 6\text{mm}$ 的钢筋，把已称量过的混凝土试件放在钢筋上并对中，且使混凝土表面垂直于转轴，套上钢筒，旋紧固定钢筒与底座的螺栓，使其密封。

5 将搅拌桨安装在转轴上，搅拌桨底部距试件表面约 38mm，调整钢筒和底座的位置使转轴对中。

6 在钢筒内放入研磨钢球于试件表面，并加水至水面高出试件表面 165mm。

7 确认转轴转速在 4000r/min 后，开机。

8 每隔 12h，在钢筒内加 1~2 次水至原水位高度。

9 累计冲磨 48h，取出试件，清洗干净，擦去表面水分，称量。

4.2.2.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 混凝土抗冲磨指标以抗冲磨强度或磨损率表示。

1) 抗冲磨强度按式 (4.2.2.4-1) 计算：

$$f_a = \frac{tA}{\Delta m} \quad (4.2.2.4-1)$$

式中: f_a ——抗冲磨强度, 即单位面积上被磨损单位质量所需的时间, $h/(kg/m^2)$;

t ——试验累计时间, h ;

A ——试件受冲磨面积, m^2 ;

Δm ——经 t 时段冲磨后, 试件损失的累计质量, kg 。

2) 磨损率按式 (4.22.4-2) 计算:

$$L = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (4.22.4-2)$$

式中: L ——磨损率, %;

m_0 ——试验前试件质量, kg ;

m_1 ——试验后试件质量, kg 。

2 以 3 个试件测值的平均值作为试验结果, 单个测值与平均值允许差值为 $\pm 15\%$, 超过时此值应剔除, 以余下 2 个测值的平均值作为试验结果。若 1 组中可用的测值少于 2 个, 该组试验结果无效。

4.23 风砂枪法混凝土抗冲磨试验

4.23.1 目的及适用范围: 测定混凝土及各种材料的抗冲磨性能。适用于研究和评定混凝土及其他材料抵抗高速含砂水流冲刷作用的性能。

4.23.2 仪器设备应符合下列要求:

1 空气压缩机: 额定风压大于或等于 $0.8MPa$, 额定风量大于或等于 $4.0m^3/min$, 附高压空气散热控温装置, 高压空气温度应控制在 $40^\circ C$ 以下。

2 喷嘴与喷头: 其结构如图 4.23.2-1 和图 4.23.2-2 所示。喷头为易损部件, 每运行 $4h$, 应将喷头管旋转 30° ; 运行 $48h$, 若喷头座内部被磨损产生的沟痕深超过 $2.5mm$ 时, 也应予以更换。

3 加砂装置: 其示意图如图 4.23.2-3 所示。调节阀门开度可控制加砂速度。当阀门全开时, 加砂速度为 $35g/s \sim 40g/s$ 。

4 标准压力表: 量程 $1.0MPa$, 最小刻度读数 $0.005MPa$ 。

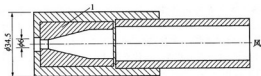


图 4.23.2-1 喷嘴 (单位: mm)

1—瓷质喷嘴

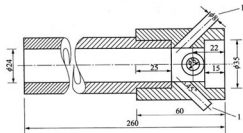


图 4.23.2-2 喷头 (单位: mm)

1—加水孔

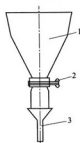


图 4.23.2-3 加砂装置示意图

1—铁皮筒; 2—阀门; 3—漏斗

5 试件支架及试件行走装置：试件支架上可同时安放 150mm×150mm×150mm 立方体试件 6 块。调节试件支架的翻转架，可改变试件表面与喷射砂流的夹角。启动试件行走装置，试件架以均匀速度左右移动。试件支架使试件表面与喷头管出口保持 300mm 的距离。

6 天平：称量 20kg，感量不大于 0.1g。

7 砂速测量器（同轴双圆盘测速器）：其结构如图 4.23.2-4 所示，用于测定喷射砂粒速度。

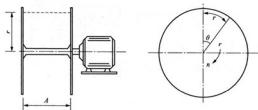


图 4.23.2-4 砂速测量器结构示意图

4.23.3 试验步骤应符合下列要求：

1 磨料砂准备：试验前，将天然河砂晒干，筛除 2.50mm 以上的粗粒及 0.16mm 以下的粉尘。进行筛分析试验。计算细度模数或粒径 d_{45} ，见式（4.23.3）：

$$d_{45} = \frac{\sum \frac{1}{2} (\text{上筛孔尺寸} + \text{下筛孔尺寸}) \times \text{筛余}\%}{100} \quad (4.23.3)$$

2 混凝土试件准备：

- 1) 混凝土试件为 150mm×150mm×150mm 立方体，每组 3 块。试件制备、养护等均按本规程第 4.1 节的规定进行。
- 2) 试件饱水处理。试件标准养护至试验龄期后，进行饱

水处理。当试件在水中浸泡 24h，2 次称量质量增加不大于 0.1g 时，即已达到浸水饱和。

3 冲磨前取出已饱水试件，抹干表面，称量 m_{11} ，准至 0.1g。在试件上做好被冲面及冲磨方向标记。

4 按预定冲角调整试件支架，排放试件。

5 在加砂装置内注满磨料砂，并用直尺将铁皮筒顶部刮平。

6 启动空气压缩机，调整风压至预定值，准至 0.005MPa，且试验过程中维持风压不变。

7 启动试件行走装置，打开进砂阀门，同时开动秒表计时。试件逐块被风砂冲磨。

8 不断向加砂装置内补充磨料砂，维持其砂料高度不变。

9 当试件往复运动 4 个循环后，关闭进砂阀门、试件行走装置及空压机，停止秒表，记录冲磨历时（ t ）。

10 将加砂装置铁皮筒顶用直尺刮平，称量磨料砂消耗量（ m_s ）。

11 取出试件，清洗试件表面，抹干表面，称量 m_{12} ，准至 0.1g。试件质量损失量为 $m_{11}-m_{12}$ 。

12 重复上述试验，分别测得试件每次冲磨质量损失量（ $m_{11}-m_{12}$ ），以及每次消耗砂量 $m_{s,i}$ 和冲磨历时 t_i 。 n 为冲磨次数，一般 $n \geq 4$ 。当冲磨磨损率 L_i （ α ）趋于稳定值时，试验结束。

4.23.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 冲磨磨损率计算

- 1) 每次冲磨耗砂量和磨损率按式（4.23.4-1）和式（4.23.4-2）计算：

每块试件每次冲磨消耗砂量：

$$m_i = \frac{m_{s,i}}{6} \quad (4.23.4-1)$$

试件每次冲磨磨损率：

$$L_i(\alpha) = \frac{(m_{i1} - m_{i2})_i}{m_i} \quad (4.23.4-2)$$

2) 试件累计磨损率 $L_0(\alpha)$ 按式 (4.23.4-3) 计算:

$$L_0(\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^n (m_{i1} - m_{i2})_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (4.23.4-3)$$

取 3 块试件累计磨损率的平均值, 作为该组混凝土累计磨损率。

3) 试件稳定磨损率 $L_s(\alpha)$ 按式 (4.23.4-4) 计算:

$$L_s(\alpha) = \frac{\text{试件达到稳定磨损阶段的磨质量}}{\text{试件达到稳定磨损阶段的冲磨砂量}} \quad (4.23.4-4)$$

取每 3 块试件稳定磨损率的平均值, 作为该组混凝土的稳定磨损率。

2 抗冲磨强度按式 (4.23.4-5) 计算:

$$f_a = \frac{T \rho_c A}{L(\alpha) \bar{m}} \quad (4.23.4-5)$$

式中: f_a ——抗冲磨强度, 即磨损 1cm 深所需小时数, h/cm;

T ——平均冲磨历时, h;

ρ_c ——混凝土密度, g/cm³;

A ——试件受冲磨面积, cm²;

\bar{m} ——平均冲磨砂量, kg;

$L(\alpha)$ ——冲磨磨损率, 分别取 $L_0(\alpha)$ 或 $L_s(\alpha)$, g/kg。

4.24 混凝土抗渗性试验

4.24.1 目的及适用范围: 测定混凝土的抗渗等级。

4.24.2 仪器设备应符合下列要求:

1 混凝土抗渗仪。

2 试模: 规格为上口直径 175mm, 下口直径 185mm, 高 150mm 的截头圆锥体。

3 密封材料: 如石蜡加松香、水泥加黄油等。

4 其他: 螺旋加压器、烘箱、电炉、瓷盘、钢丝刷等。

4.24.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第 4.1 节的规定制作和养护试件。6 个试件为 1 组。

2 试件拆模后, 用钢丝刷刷去两端面的水泥浆膜, 送入养护室养护。

3 到达试验龄期时, 取出试件, 擦拭干净。待表面晾干后, 进行试件密封。用石蜡密封时, 在试件侧面滚涂一层熔化的石蜡 (内加少量松香), 然后用螺旋加压器将试件压入经过烘箱或电炉预热过的试模中 (试模预热温度, 以石蜡接触试模, 即缓慢熔化但不流淌为宜), 使试件与试模底平齐。试模变冷后才可解除压力。

4 用水泥加黄油密封时, 其用量比为宜为 (2.5~4):1。试件表面晾干后, 用三角刀将密封材料均匀地刮涂在试件侧面上, 厚约 1mm~2mm。套上试模压入, 使试件与试模底齐平。

5 启动抗渗仪, 开通 6 个试位下的阀门, 使水从 6 个孔中渗出, 充满试位坑。关闭抗渗仪。将密封好的试件安装在抗渗仪上。

6 试验时, 水压从 0.1MPa 开始, 以后每隔 8h 增加 0.1MPa 水压, 并随时注意观察试件端面的渗水情况。当 6 个试件中出现表面渗水的试件超过 2 个时, 应停止试验, 并记下此时的水压力。或加至规定水压在 8h 内 6 个试件中表面渗水试件不超过 2 个时, 即可停止试验, 并记下此时的水压。规定水压=设计抗渗等级/10, 单位 MPa。

在试验过程中, 如发现水从试件周边渗出, 应重新按第 3 或第 4 步密封。

4.24.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 若在所加水压下, 8h 内 6 个试件中表面渗水的试件超过 2

个,则混凝土的抗渗等级数值按式(4.24.4)计算,并加前缀 W 表示混凝土抗渗等级。

$$W = 10H - 1 \quad (4.24.4)$$

式中: W——混凝土抗渗等级数值;

H——6 个试件中渗水试件超过 2 个时的最小水压数值, MPa。

2 若压力加至规定水压,在 8h 内,6 个试件中表面渗水的试件少于 3 个,则该组试件的抗渗等级不低于设计抗渗等级。

4.25 混凝土相对渗透性试验

4.25.1 目的及适用范围:测定混凝土在恒定水压下的渗水高度,计算相对渗透性系数,比较不同混凝土的抗渗性。本方法适用于抗渗性能较高的混凝土。

4.25.2 仪器设备应符合本规程第 4.24.2 条的规定。

4.25.3 试验步骤应符合下列要求:

1 试件的成型、养护、密封、安装等按本规程第 4.24 节的规定进行。

2 将抗渗仪水压力一次加到 0.8MPa,同时开始记录时间,计算结果保留至分钟。在此压力下恒定 24h,然后降压,从试模中取出试件。

1) 在恒压过程中,如有试件端面出现渗水时,即停止试验,并记下出水时间,准确至分钟。此时该试件的渗水高度即为试件的高度(150mm)。

2) 当试件混凝土较密实,可将试验水压力改用 1.0MPa 或 1.2MPa,应在试验报告中注明。

3 在试件两端面直径处,按平行方向各放一根 $\phi 6\text{mm}$ 钢筋条,用压力机将试件劈开。将劈开面的底边 10 等分,在各等分点处量出渗水高度(试件被劈开后,过 2min~3min 即可看出水痕,此时可用笔划出水痕位置,便于量取渗水高度)。

4.25.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 以各等分点渗水高度的平均值作为该试件的渗水高度。

2 相对渗透性系数按式(4.25.4)计算:

$$K_r = \frac{aD_m^2}{2tH} \quad (4.25.4)$$

式中: K_r ——相对渗透性系数, mm/h;

a ——混凝土的吸水率,一般为 0.03;

D_m ——平均渗水高度, mm;

t ——恒压时间, h;

H ——水压力,以水柱高度表示, mm。

注: 1MPa 水压力,以水柱高度表示为 102000mm。

3 以 6 个试件测值的平均值作为试验结果。

4.26 混凝土抗冻性试验

4.26.1 目的及适用范围:检验混凝土的抗冻性能,确定混凝土抗冻等级。

4.26.2 一次冻融循环技术参数:

1 循环历时 2.5h~4.0h。

2 降温历时 1.0h~2.5h。

3 升温历时 1.0h~2.0h。

4 降温和升温终了时,试件中心温度应分别控制在 $-17^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 和 $8^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 。

5 试件中心和表面的温差小于 28°C 。

4.26.3 仪器设备应符合下列要求:

1 冷冻设备应满足以下指标:

1) 试件中心温度 $-18^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C} \sim 5^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 。

2) 冻融液温度 $-25^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ 。

3) 冻融循环一次历时不超过 4h(融化时间不少于整个冻融历时的 25%)。

2 测温设备：采用热电偶测量冻融过程中试件中心温度的变化时，精度应能达到 0.3℃；当采用其他测温器时，应以热电偶测温法为准进行率定。

3 动弹性模量测定仪：频率为 100Hz~10kHz。

4 台秤：称量 15kg，感量不大于 5g。

5 试模：规格为 100mm×100mm×400mm 的棱柱体。

6 试件盒：由 4mm~5mm 厚的橡皮板制成，尺寸为 120mm×120mm×500mm。

4.26.4 试验步骤应符合下列要求：

1 按本规程第 4.1 节的规定成型和养护试件。试验以 3 个试件为 1 组。试验龄期如无特殊要求时一般为 28d。到达试验龄期的前 4d，将试件在 20℃±3℃的水中浸泡 4d（对于水中养护的试件，到达试验龄期时即可直接用于试验）。如冻融介质为海水，试件在养护到期后，应风干 48h 后再浸泡海水 48h。

2 将已浸水的试件擦去表面水后，称初始质量，并按本规程第 4.27 节测量初始自振频率，作为评定抗冻性的起始值。同时做必要的外观描述或照相。

3 随即将试件装入试件盒中，按冻融介质要求，注入淡（海）水，水面应浸没试件顶面 20mm。

4 通常每做 25 次冻融循环对试件检测一次，也可根据混凝土抗冻性的高低来确定检测的时间和次数。测试时，小心将试件从盒中取出，冲洗干净，擦去表面水分，称量和测定自振频率，并做必要的外观描述或照相。每次测试完毕后，应将试件调头重新装入试件盒，注入淡（海）水，继续试验。在测试过程中，应防止试件失水，待测试件须用湿布覆盖。

5 当有试件中止试验取出后，应另用试件填充空位，如无正式试件，可用废试件填充。

6 试验因故中断，应将试件在受冻状态下保存。

7 冻融试验出现以下三种情况之一者即可停止：

1) 冻融至预定的循环次数；

2) 相对动弹性模量下降至 60%；

3) 质量损失率达 5%。

4.26.5 试验结果处理应符合下列要求：

1 相对动弹性模量按式 (4.26.5-1) 计算：

$$P_n = \frac{f_n^2}{f_0^2} \times 100 \quad (4.26.5-1)$$

式中：\$P_n\$——\$n\$ 次冻融循环后试件相对动弹性模量，%；

\$f_0\$——试件冻融循环前的自振频率，Hz；

\$f_n\$——试件冻融 \$n\$ 次循环后的自振频率，Hz。

以 3 个试件试验结果的平均值作为测定值。

2 质量损失率按式 (4.26.5-2) 计算：

$$W_n = \frac{m_0 - m_n}{m_0} \times 100 \quad (4.26.5-2)$$

式中：\$W_n\$——\$n\$ 次冻融循环后试件质量损失率，%；

\$m_0\$——冻融前的试件质量，g；

\$m_n\$——\$n\$ 次冻融循环后的试件质量，g。

以 3 个试件测值的平均值作为试验结果

3 试验结果评定

相对动弹性模量下降至 60%或质量损失率达 5%时，即可认为试件已达破坏，并以相应的冻融循环次数作为该混凝土的抗冻等级（以 F 表示）。

若冻融至预定的循环次数，而相对动弹性模量或质量损失率均未到达上述指标，可认为试验的混凝土抗冻性满足设计要求。

4.27 混凝土或砂浆动弹性模量试验

4.27.1 目的及适用范围：测定混凝土或砂浆棱柱体试件的自振频率，计算动弹性模量，用以确定混凝土的抗冻等级，或比较砂浆

的抗冻性。宜用于长度与断面最大边长之比为3~5之间的试件。

4.27.2 仪器设备应符合下列要求：

1 动弹性模量测定仪：测定混凝土试件时，频率为100Hz~10kHz；测定砂浆试件时，频率为100Hz~20kHz。共振频率测定可自动扫描或手动调节。

2 海绵垫：厚度应在2cm以上。

3 10kg台秤，感量不大于5g；钢尺等。

4.27.3 试验步骤应符合下列要求：

1 进行测试前仪器的调整与预热等工作。

2 每组3个试件。测试前应称量，计算结果保留至5g，并量出长、宽、高，准至1mm。

3 将试件平放在海绵垫上。对于混凝土试件，宜测定其横向自振频率；对砂浆试件，宜测定纵向自振频率。测定横向或纵向自振频率时，激振器和拾振器的位置如图4.27.3所示。将激振器和拾振器的测杆轻轻地压在试件表面（测杆与试件接触面宜涂一薄层黄油或凡士林作为耦合介质），测杆压力的大小以不出现噪声为宜。

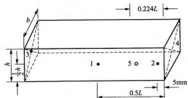


图 4.27.3 测试位置示意图

1、3—激振器位置；2、4—拾振器位置；5—节点

注：1、2位置为纵向测定；3、4位置为纵向测定

4 根据试件共振频率的大小，选择相应的频率测量范围。调

整激振器和拾振器增益，以粗调迅速找到试件的共振点后，再行细调。当微安表或示波管指示的幅度值增至最大的幅度值即为共振。此时，从数字计数器上读出的频率就是试件的自振频率。

5 观测时，应重复测试2次，测试结果的波动范围为±0.5%。

6 在测试过程中，如发现有两个以上的共振峰时，可采用以下方法找出真实的共振峰：

1) 测横向自振频率时，先调整发射频率使微安表或示波管指示的幅度最大，把拾振器移至由试件端部计0.224L处（图4.27.3中从2移至5位置），此时若微安表指零，则该频率值为真实的共振频率；

2) 测纵向自振频率时，将输出功率固定，反复调整仪器输出频率，从微安表上比较幅值的大小，幅值最大者为真实的共振峰。

4.27.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 横向动弹性模量按式（4.27.4-1）计算：

$$E_{dt} = 9.65 \times 10^{-4} \frac{mf^2 L^3 R}{bh^3} \quad (4.27.4-1)$$

式中： E_{dt} ——横向动弹性模量，MPa；

m ——试件质量，kg；

f ——试件的自振频率，Hz；

L 、 b 、 h ——试件的长、宽、高，mm；

R ——取决于试件边长比和泊松比的修正系数（对于 $L/h=4$ ，泊松比大约为1/6的混凝土试件，取1.5）。

2 纵向动弹性模量按式（4.27.4-2）计算：

$$E_{dl} = 40.75 \times 10^{-4} \frac{mLf^2}{bh} \quad (4.27.4-2)$$

式中： E_{dl} ——纵向动弹性模量，MPa；

m 、 f 、 L 、 b 、 h ——同式（4.27.4-1）。

3 以3个试件测值的平均值作为试验结果。

4.28 混凝土气泡参数试验

4.28.1 目的及适用范围：测定硬化混凝土中气泡的数量、大小和间距，用以计算混凝土的含气量、气泡比表面积和间距系数等气泡参数，以研究混凝土的抗冻性能和鉴定外加剂的引气性能等。也适用于实际建筑物抗冻性调查。

4.28.2 仪器设备应符合下列要求：

1 测量显微镜：放大 80~128 倍，具有目镜测微尺和物镜测微尺（非固定附件，用以率定目镜测微尺）。目镜测微尺最小读数为 10 μ m。载物台能纵、横向移动，移动范围分别不小于 50mm 和 100mm。

2 显微镜照明灯：聚光型灯。

3 其他：切片机、磨片机、抛光机等。

4.28.3 试验步骤应符合下列要求：

1 每组至少 3 个试件。试件的观测面应与浇筑面相垂直。最小观测总面积和最小导线总长度应符合表 4.28.3 的规定。

表 4.28.3 最小观测总面积及最小导线总长度

骨料最大粒径 (mm)	最小观测总面积 (mm ²)	最小导线总长度 (mm)
80	50000	3000
40	17000	2600
30	11000	2500
20	7000	2300
10	6000	1900

注：如混凝土内骨料或大孔隙分布很不均匀，应适当增大观测面积。当在一个混凝土试样中取几个加工表面时，两加工表面的间距应大于骨料最大粒径的 1/2。

2 从试样上锯下试件后，洗刷干净，将观测面分别采用 400 号和 800 号金刚砂仔细研磨。每次磨完后应洗刷干净，再进行下

次研磨。最后在抛光机转盘的呢料上涂刷氧化铬，进行抛光，再洗刷干净，在 105 \pm 5 $^{\circ}$ C 的烘箱中烘干，然后置于显微镜下测试。当强光低入射角照射在观测面上，观测到表面除了气泡截面和骨料孔隙外，基本是平的，气泡边缘清晰，并能测出尺寸为 10 μ m 的气泡截面，即可认为该观测截面已加工合格。

3 观测前用物镜测微尺校准目镜测微尺刻度。在观测面两端，附贴导线间距标志，使选定的导线长度均匀地分布在观测面范围内。调整观测面的位置，使十字丝的横丝与导线重合，然后用目镜测微尺进行定量测量。从第一条导线起点开始观察，分别测量并记录视域中气泡个数及测微尺所截取的每个气泡的弦长刻度值。根据工作需要，也可增测气泡截面直径。第一条导线测试完后再按顺序进入第二、三、四……条导线，直至测完规定的导线长度。

4.28.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 气泡平均弦长按式 (4.28.4-1) 计算：

$$\bar{l} = \frac{\sum l}{n} \quad (4.28.4-1)$$

2 气泡比表面积按式 (4.28.4-2) 计算：

$$\alpha = \frac{4}{\bar{l}} \quad (4.28.4-2)$$

3 气泡平均半径按式 (4.28.4-3) 计算：

$$r = \frac{3}{4} \bar{l} \quad (4.28.4-3)$$

4 硬化混凝土中的空气含量按式 (4.28.4-4) 计算：

$$A = \frac{\sum l}{T} \quad (4.28.4-4)$$

5 1000mm³ 混凝土的气泡个数按式 (4.28.4-5) 计算：

$$n_v = \frac{3A}{4\pi r^3} \quad (4.28.4-5)$$

6 气泡间距系数按式 (4.28.4-6) 和式 (4.28.4-7) 计算:

当混凝土中浆气比 $P/A > 4.34$ 时:

$$\bar{L} = \frac{3A}{4n_l} \left[1.4 \left(\frac{P}{A} + 1 \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (4.28.4-6)$$

当混凝土中浆气比 $P/A \leq 4.34$ 时:

$$\bar{L} = \frac{P}{4n_l} \quad (4.28.4-7)$$

式中: \bar{L} ——气泡平均弦长, mm;

$\sum l$ ——全导线所切割的气泡弦长总和, mm;

n ——全导线所切割的气泡总个数;

α ——气泡比表面积, mm^2/mm^3 ;

r ——气泡平均半径, mm;

n_v ——1000 mm^3 混凝土中的气泡个数;

A ——硬化混凝土的空气含量 (体积比);

T ——导线总长, mm;

P ——试件混凝土中胶凝材料浆体含量 (体积比, 不包括空气含量);

n_l ——平均每 10mm 导线切割的气泡个数;

\bar{L} ——气泡间距系数, mm。

计算结果取 3 位有效数字。

4.29 新拌砂浆阳极极化法混凝土中钢筋腐蚀的电化学试验

4.29.1 目的及适用范围: 研究外加剂、掺合料、水泥对混凝土中钢筋腐蚀的影响。本方法适用于水泥初凝时间大于 45min 的砂浆。

4.29.2 基本原理: 如图 4.29.2 所示, 由于外加电压的作用, 接直流电源正极的钢筋表面, 可以模拟钢筋腐蚀的阳极过程。通过测量通电后钢筋 (阳极) 的电位变化, 可定性地判别钢筋在新拌砂

浆中钝化膜的好坏, 以此初步判断外加剂、掺合料和水泥对钢筋腐蚀的影响。

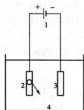


图 4.29.2 阳极极化试验示意图

1—直流电源; 2—钢筋阳极; 3—钢筋阴极; 4—新拌砂浆

4.29.3 仪器设备应符合下列要求: 试验所用设备如图 4.29.3-1 所示。

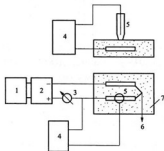


图 4.29.3-1 试验装置示意图

1—直流稳压电源; 2—直流稳流器; 3—直流微安表; 4—直流毫伏表;

5—铜-硫酸铜电极; 6—钢筋; 7—新拌砂浆试件

1 恒电流阳极极化试验仪, 或有恒电流装置的恒电位仪, 电

DL/T 5150—2017

流表量程 1000 μ A，精度 10 μ A；毫伏表量程 1200mV~1500mV，精度 10mV。

2 铜-硫酸铜电极，构造如图 4.29.3-2 所示。

3 试模，用木板或塑料等绝缘材料加工而成，尺寸 40mm \times 100mm \times 150mm（高 \times 宽 \times 长）。

4 钢筋，直径 6mm，长 100mm。

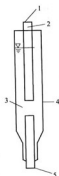


图 4.29.3-2 铜-硫酸铜电极构造示意图

1—导线；2—铜棒；3—饱和硫酸铜溶液；4—玻璃管；5—多孔磁棒

4.29.4 试验步骤应符合下列要求：

1 制作钢筋电极：钢筋试样经酸洗后，用粗、细砂布（2 $\frac{1}{2}$ 号、0号）先后摩擦钢筋表面至光亮。在钢筋的一端焊上导线，再将钢筋两头浸涂石蜡，使中间暴露段长 70mm（焊线端涂 25mm，另一端涂 5mm）。用丙酮擦去油脂，放在干燥器内备用。

酸洗所用的酸洗液为盐酸溶液（工业盐酸：水=1:1，另加纯盐酸质量的 2%~3%六次甲基四胺），中和液为 3%碳酸钠溶液。将钢筋泡入酸洗液中，待表面氧化皮溶解后取出。每根钢筋依次经

过水、中和液，最后都放入另一盘中和液中。然后取出钢筋用水冲洗，再用干毛巾擦干，放入已预先升至 105 \pm 5 $^{\circ}$ C 的烘箱内烘 5min，至此酸洗完毕。

2 钢筋暴露段应保持清洁，焊线时应及时擦去焊油。钢筋表面用砂布处理后，宜当天用于试验。

3 按试验要求的配合比（在无特定要求时，可采用水灰比 0.5，灰砂比 1:2.2，水泥可用硅酸盐或普通硅酸盐水泥）配制砂浆。湿拌 2min。检验外加剂时，外加剂按比例随拌和水加入。

当拌和用水含较多有害杂质时，应改用蒸馏水。

4 将拌制好的砂浆浇入试模中，先浇一半（厚 20mm 左右）。将两个钢筋电极平行放在砂浆层上面，间距约为 40mm，各离侧模板 25mm 左右，然后灌满砂浆，拉出导线。在两边轻轻插捣几下，使钢筋表面全部与砂浆接触。

5 以一根钢筋作为试验电极，另一根作为辅助电极，用阳极极化试验仪（或恒电位仪），测定试验电极的自然电位 V_0 。测量时，硫酸铜电极的下端应对准试验电极的中点位置，与新鲜砂浆表面接触，并垂直于砂浆表面（见图 4.29.3-1）。

6 按图 4.29.3-1 要求接好试验线路，试验电极接电源正极，辅助电极接负极，然后通电。试验中，按试验电极暴露面积计算的电流密度，保持恒定为 50 μ A/cm 2 。

7 在通电的同时，开始计时，分别在 2、6、10、15min 时测读并记录试验电极的极化电位 V_2 、 V_6 、 V_{10} 、 V_{15} 。

8 更换试验电极。将已测读完毕的试验电极从砂浆中取出，再埋入另一根处理好的钢筋作试验电极（辅助电极可不更换），照以上步骤，进行重复测量。

4.29.5 试验结果处理应符合下列要求：

1 以 2 个试验电极测量结果的平均值作为钢筋阳极极化电位的测定值。以时间为横坐标，阳极极化电位为纵坐标，绘制电位-时间曲线（如图 4.29.5 所示）。

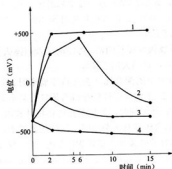


图 4.29.5 阳极极化电位-时间曲线

1—钝化曲线；2—钝化和活化之间的曲线；3、4—活化曲线

2 根据电位-时间曲线判断砂浆中的水泥、外加剂或掺合料对钢筋腐蚀的影响。

- 1) 电极通电后, 阳极电位迅速向正方向移动, 在 2min 时电极电位 V_2 已达+500mV 左右, 并且经过 15min, 电位的下降值不超过 50mV ($V_2 - V_{15} \leq 50\text{mV}$), 则认为此电极是钝化电极 (图 4.29.5 中的 1 号曲线), 并可判定试验砂浆中的水泥、外加剂或掺合料本身不会对钢筋腐蚀起有害作用。
- 2) 电极通电后, 阳极电位向负方向移动, 或虽向正方向移动但又很快大幅度下降 (如图 4.29.5 中所示的 2、3、4 号曲线)。这两种情况均表明钢筋钝化膜已遭破坏。但这时对所用水泥、外加剂或掺合料对钢筋腐蚀的影响, 仍不能做出明确判断, 还应按本规程第 4.30 节的规定进一步检验。

3 如 2 个试验电极测量结果出现矛盾, 即一个处于钝化状

态, 另一个处于非钝化状态, 则此组试验结果无效。

测定钢筋电极在无外加剂的普通硅酸盐水泥砂浆中的电位-时间曲线, 可检验钢筋电极制作质量, 如为钝化曲线, 表明钢筋电极合格, 可用于试验。

4.30 硬化砂浆阳极极化法混凝土中钢筋腐蚀的电化学试验

4.30.1 目的及适用范围: 研究水泥、外加剂或掺合料对混凝土中钢筋腐蚀的影响。当按本规程 4.29 节的规定试验后, 尚不能对所研究的水泥、外加剂或掺合料做出结论时, 可用本方法进一步检验。本法不适用于终凝时间超过 48h 的砂浆。

4.30.2 基本原理: 在砂浆硬化早期, 水泥已结合部分外加剂, 这时采用提高温度 (100℃ 温度下烘 24h) 的方法加速钢筋腐蚀, 并用阳极极化法测定钢筋表面钝化膜的状况, 由此判断水泥、外加剂或掺合料对钢筋腐蚀的影响。

4.30.3 仪器设备应符合下列要求: 试验所用设备如图 4.30.3 所示。

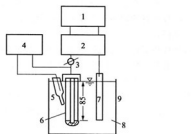


图 4.30.3 试验装置示意图 (单位: mm)

1—晶体管直流稳压电源；2—直流稳流器；3—直流微安表；4—直流毫伏表；

5—钢-硫酸铜电极；6—钢筋砂浆电极；7—不锈钢尺；

8—饱和氢氧化钙溶液；9—玻璃缸

- 1 恒电流阳极极化试验仪，或有恒电流装置的恒电位仪。
- 2 铜-硫酸铜电极。
- 3 玻璃缸：一般尺寸为120mm×160mm×190mm（宽×长×高）。
- 4 辅助电极：长150mm、宽25mm的不锈钢尺。
- 5 饱和氢氧化钙溶液：用化学纯氢氧化钙配制。
- 6 工作容积为800mm×800mm×1000mm的电热鼓风烘箱，

鼓风和加热同步。

- 7 细钢丝刷（锉刀刷）。

8 试模：30mm×30mm×94mm的棱柱体，两端模板中心有固定钢筋的凹孔。

- 9 钢筋：直径6mm，长100mm。

4.30.4 试验步骤应符合下列要求：

1 制作钢筋砂浆电极（以下简称电极）。电极尺寸为30mm×30mm×94mm，正中埋设一根长100mm、直径6mm的钢筋。按本规程第4.29节的规定进行钢筋酸洗、去脂以及拌制试验砂浆。钢筋酸洗后，采用细钢丝刷，使钢筋表面光亮。

将处理好的钢筋装入试模，由两端模板上的凹孔保证其中位置。将拌制好的砂浆浇入模中，用跳桌或振动台成型。每组试验3个电极。

电极成型后带模送入养护室，盖上湿布养护。24h后取出脱模，若延长脱模时间应在报告中注明。用水泥净浆将外露的钢筋两头覆盖，再送入养护室养护48h。

钢筋表面处理后，应尽快埋入砂浆，制作砂浆电极。

2 电极养护后取出，在温度为 $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘24h（误差不得超过0.5h）。烘后取出电极，敲去两端的水泥石，露出钢筋端头。在钢筋的一端焊上导线，再在电极两端用蜡涂封，使暴露段长为85mm，如图4.30.4所示。

3 将1组3个砂浆电极放入1000mL烧杯中，用饱和氢氧化钙溶液浸泡2h~4h。

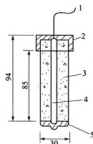


图 4.30.4 钢筋砂浆电极（单位：mm）

1—导线；2—石蜡；3—砂浆；4—钢筋；5—石蜡

4 把一个电极移入盛有饱和氢氧化钙溶液的玻璃缸内，使电极浸入溶液的深度为85mm（见图4.30.3）。用阳极极化试验仪（或恒电位仪）测量电极的自然电位 V_0 。

5 按图4.30.3接好试验线路，砂浆电极接电源正极，辅助电极接负极，然后通电。试验中，通过钢筋表面的电流密度保持恒定为 $50\mu\text{A}/\text{cm}^2$ （钢筋表面积以浸入溶液的85mm长度计算）。

6 在通电的同时开始计算时间，分别在2、6、10、15min时记录电极极化电位 V_2 、 V_6 、 V_{10} 、 V_{15} 。

7 按同样步骤测试另2个砂浆电极的阳极极化电位。

4.30.5 试验结果处理应符合下列要求：

1 以3个砂浆电极极化电位测值的平均值作为试验结果。以极化电位为纵坐标，时间为横坐标，绘制阳极极化电位-时间曲线。

2 根据阳极极化电位-时间曲线判断砂浆中的水泥、外加剂或掺合料对钢筋腐蚀的影响。

1) 电极通电后，在2min时电极电位 V_2 达+650mV左右，并且经过15min，电位下降值不超过50mV（ $V_2 - V_{15} \leq 50\text{mV}$ ），则认为此电极是钝化电极，并可以判定试验

砂浆中的水泥、外加剂或掺合料不会对钢筋腐蚀起有
害作用。

- 2) 电极通电后,在 2min 时电极电位 V_2 达 +650mV 左右,但经 15min 电位下降值超过 50mV,则认为此种电极是处于钝化和活化之间,其钢筋的钝化膜已受损坏。其损坏的程度可用 $V_2 \sim V_{15}$ 段曲线斜率来表示,即电位向负方向移动的斜率愈大,损坏愈厉害。
- 3) 电极通电后,在 2min 时电极电位 V_2 小于 +650mV,并且很快又大幅度下降,表明钢筋钝化膜已严重破坏。该电极为活化电极。活化程度可用 V_2 来衡量, V_2 越低,活化越强。
- 4) 无论是活化或介于活化与钝化之间的电极,均可认为砂浆中所用的水泥、外加剂或掺合料对钢筋腐蚀是有害的。其有害作用的大小,可从钢筋钝化膜的破坏程度来定性地进行比较。

4.31 混凝土碳化试验

4.31.1 目的及适用范围:测定在一定浓度的二氧化碳气体介质中混凝土试件的碳化深度,以评定混凝土的抗碳化能力,也适用于水泥砂浆。

4.31.2 仪器设备应符合下列要求:

1 碳化箱:带有密封盖或门的密闭容器,容器的容积至少应为试件体积的 2 倍。箱内应有架空试件的搁架,二氧化碳气入口,分析取样用的气体引出口,箱内气体对流循环装置,温湿度测量以及为保持箱内恒湿所需的设施。必要时,可设玻璃观察口以对箱内的温湿度进行读数。

- 2 气体分析仪:能分析箱内气体中的二氧化碳浓度,精确到 1%。
- 3 二氧化碳供气装置:包括气瓶、压力表及流量计。
- 4 其他:1%酚酞乙醇溶液(含 20%的蒸馏水)、变色硅胶、

钢尺、喷雾器等。

4.31.3 试验步骤应符合下列要求:

1 碳化试验应采用棱柱体混凝土试件,以 3 块为 1 组,试件的最小边长应符合表 4.31.3 的要求。棱柱体的高宽比应不小于 3。

表 4.31.3 碳化试验试件尺寸选用表(mm)

试件最小边长	骨料最大粒径
100	30
150	40

无棱柱体试件时,也可用立方体试件代替,但其数量应相应增加。碳化试验的试件宜采用标准养护,一般应在 28d 龄期(或设计龄期)进行碳化试验。试件应在试验前 2d 从标准养护室取出,然后在 $60^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 温度下烘 48h。

经烘干处理后的试件,除留下一个或相对的 2 个侧面外,其余表面应用熔化的石蜡予以密封。在侧面上顺长度方向用铅笔以 10mm 间距画出平行线,以预定碳化深度的测量点。

2 将经过处理的试件放入碳化箱内的搁架上,各试件经受碳化的表面之间的间距应大于 50mm。

3 将碳化箱关闭密封。密封可采用机械办法或油封,但不得采用水封。开动箱内气体对流调节装置,徐徐充入二氧化碳,并测定箱内的二氧化碳浓度,逐步调节二氧化碳的流量,使箱内的二氧化碳浓度保持在 $20\% \pm 3\%$ 。在整个试验期间可用去湿装置或放入硅胶,使箱内的相对湿度控制在 $70\% \pm 5\%$ 的范围内。碳化试验应在 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 的温度下进行。

4 每隔一定时间对箱内的二氧化碳浓度、温度及湿度作一次测定。一般在第一、二天每隔 2h 测定一次,以后每隔 4h 测定一次,并根据所测得的二氧化碳浓度随时调节其流量。去湿用的硅胶应经常更换。

5 碳化至 3、7、14d 及 28d 时,取出试件,将棱柱体试件在

压力试验机上用劈裂法从一端开始破型,每次切除的厚度约为试件宽度的一半,用石蜡将破型后试件的切断面封好,再放入箱内继续碳化,直到下一个试验期。如采用立方体试件,在试件中部劈开。立方体试件只作一次检验,不再重复使用。

6 将切下的那部分试件刷去断面上的粉末,随即喷上(或滴上)1%酚酞乙醇溶液。经30s后,按原先计划的每10mm一个测量点用钢尺分别测出两侧面各点的碳化深度(不变色区的深度)。如果测点处的碳化分界线上刚好嵌有粗骨料颗粒,则可取该颗粒两侧处碳化深度的平均值作为该点的深度值。碳化深度测量精确至1mm。

4.31.4 试验结果处理应符合下列要求:

混凝土在各试验龄期时的平均碳化深度 d_t 按式(4.31.4)计算,计算结果保留至0.1mm:

$$d_t = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (4.31.4)$$

式中: d_t ——试件碳化 t 天后的平均碳化深度, mm;

d_i ——两个测面上的各测点的碳化深度, mm;

n ——两个侧面上的测点总数。

以在标准条件下(即二氧化碳浓度为 $20\% \pm 3\%$, 温度为 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, 湿度为 $70\% \pm 5\%$)的3个试件碳化28d的碳化深度平均值作为测定值,用以对比各种混凝土的抗碳化能力及对钢筋的保护作用。以各龄期计算所得的碳化深度绘制碳化时间与碳化深度的关系曲线,以表示在该条件下的混凝土碳化发展规律。

4.32 混凝土快速氯离子迁移系数试验

4.32.1 目的及适用范围: 本方法适用于测定氯离子在混凝土中非稳态迁移的迁移系数,从而来确定混凝土抗氯离子渗透性能。

4.32.2 仪器设备、试剂、溶液和指示剂。

1 仪器设备应符合下列要求:

- 1) 切割试件的设备应采用水冷式金刚石锯或碳化硅锯。
- 2) 真空容器应至少能够容纳3个试件。
- 3) 真空泵应能保持容器内的气压为 $1\text{kPa} \sim 5\text{kPa}$ 。
- 4) 试验装置(见图4.32.2)采用的有机硅橡胶套的内径和外径分别为100mm和115mm,长度为150mm。夹具应采用不锈钢环箍,其直径范围为105mm~115mm、宽度为20mm。阴极试验槽可采用尺寸为 $370\text{mm} \times 270\text{mm} \times 280\text{mm}$ 的塑料桶。阴极板应采用厚度为 $(0.5 \pm 0.1)\text{mm}$ 、直径不小于100mm的不锈钢板。阳极板应采用厚度为0.5mm、直径为 $(98 \pm 1)\text{mm}$ 的不锈钢网或带孔的不锈钢板。支架应由硬塑料板制成。处于试件和阴极板之间的支架头高度应为15mm~20mm。试验装置还应符合JG/T 262《混凝土氯离子扩散系数测定仪》的规定。

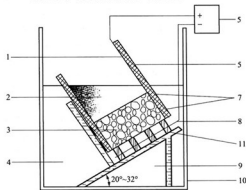


图 4.32.2 试验装置示意图

- 1—阳极板; 2—阳极溶液; 3—试件; 4—阴极溶液; 5—直流稳压电源; 6—有机硅橡胶套;
7—环箍; 8—阴极板; 9—支架; 10—阴极试验槽; 11—支撑头

- 5) 电源应能稳定提供 0V~60V 的可调直流电, 精度应为 $\pm 0.1\text{V}$, 电流应为 0V~10A。
- 6) 电表的精度应为 $\pm 0.1\text{mA}$ 。
- 7) 温度计或热电偶的精度应为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 。
- 8) 喷雾器应适合喷洒硝酸银溶液。
- 9) 游标卡尺的精度应为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。
- 10) 尺子的最小刻度应为 1mm。
- 11) 水砂纸的规格应为 200 号~600 号。
- 12) 细锉刀可为备用工具。
- 13) 扭矩扳手的扭矩范围应为 $20\text{N}\cdot\text{m}$ ~ $100\text{N}\cdot\text{m}$, 测量允许误差为 $\pm 5\%$ 。
- 14) 电吹风的功率应为 1000W~2000W。
- 15) 黄铜刷可为备用工具。
- 16) 真空表或压力计的精度应为 $\pm 665\text{Pa}$ (5mmHg 柱), 量程应为 0Pa~13300Pa (0~100mmHg 柱)。
- 17) 抽真空设备可由体积在 1000mL 以上的烧杯、真空干燥器、真空泵、分液装置、真空表等组合而成。

2 试剂应符合下列要求:

- 1) 溶剂应采用蒸馏水或去离子水。
- 2) 氢氧化钠、氯化钠、硝酸银、氢氧化钙应为化学纯。

3 溶液和指示剂应符合下列要求:

- 1) 阴极溶液应为 10% 质量浓度的 NaCl 溶液, 阳极溶液应为 0.3mol/L 摩尔浓度的 NaOH 溶液。溶液应至少提前 24h 配制, 并应密封保存在温度为 20°C ~ 25°C 的环境中。
- 2) 显色指示剂应为 0.1mol/L 浓度的 AgNO_3 溶液。

4.32.3 试验室温度应控制在 20°C ~ 25°C 。

4.32.4 试件制作应符合下列要求:

- 1 试验用试件应采用直径为 $100\text{mm}\pm 1\text{mm}$, 高度为 50mm

$\pm 2\text{mm}$ 的圆柱体试件。

2 在试验室制作试件时, 宜使用 $\phi 100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 或 $\phi 100\text{mm}\times 200\text{mm}$ 试模。骨料最大公称粒径不宜大于 25mm。试件成型后应立即用塑料薄膜覆盖并移至标准养护室。试件应在 $(24\pm 2)\text{h}$ 内拆模, 然后应浸没于标准养护室的水池中。

3 试件的标准养护龄期应为 28d。非标准养护龄期可根据设计要求选用 56d 或 84d。

4 应在抗氯离子渗透试验前 7d 加工成标准尺寸的试件。当使用 $\phi 100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 试件时, 应从试件中部切取高度为 $(50\pm 2)\text{mm}$ 圆柱体作为试验用试件, 并应将靠近浇筑面的试件端面作为暴露于氯离子溶液中的测试面。当使用 $\phi 100\text{mm}\times 200\text{mm}$ 试件时, 应先将试件从正中间切成相同尺寸的两部分 ($\phi 100\text{mm}\times 100\text{mm}$), 然后再从两部分中各切取一个高度为 $(50\pm 2)\text{mm}$ 的试件, 并应将第一次的切口面作为暴露于氯离子溶液中的测试面。

5 试件加工后应采用水砂纸和细锉刀打磨光滑。

6 加工好的试件应继续浸没于水中养护至试验龄期。

4.32.5 试验步骤应符合下列要求:

1 将试件从养护池中取出, 并将试件表面的碎屑刷洗干净, 擦干试件表面多余的水分。采用游标卡尺测量试件的直径和高度, 精确到 0.1mm。将试件在饱和面干状态下置于真空容器中进行真空处理。在 5min 内将真空容器中的气压减少至 1kPa ~ 5kPa , 并保持该真空度 3h, 然后在真空泵仍然运转的情况下, 将用蒸馏水配制的饱和氢氧化钙溶液注入容器, 溶液高度应保证将试件浸没。在试件浸没 1h 后恢复常压, 并继续浸泡 $18\text{h}\pm 2\text{h}$ 。

2 试件安装在试验装置前采用电吹风冷风挡吹干, 表面应干净、无油污、灰砂和水珠。

3 试验装置的试验槽在试验前用室温水凉开水冲洗干净。

4 试件和试验装置准备好以后, 将试件装入橡胶套内的底部 (见图 4.32.2), 在与试件齐高的橡胶套外侧安装两个不锈钢

环箍（见图 4.32.5），每个箍高度为 20mm，拧紧环箍上的螺栓至扭矩为 $30\text{N} \cdot \text{m} \pm 2\text{N} \cdot \text{m}$ ，使试件的圆柱侧面处于密封状态。当试件的圆柱曲面可能有造成液体渗漏的缺陷时，应以密封胶保持其密封性。

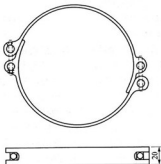


图 4.32.5 不锈钢环箍（单位：mm）

5 将装有试件的橡胶套安装到试验槽中，并安装好阳极板。然后在橡胶套中注入约 300mL 浓度为 0.3 mol/L 的 NaOH 溶液，并使阳极板和试件表面均浸没于溶液中。在阴极试验槽中注入 12L 质量浓度为 10% 的 NaCl 溶液，并使其液面与橡胶套中的 NaOH 溶液的液面齐平。

6 试件安装完成后，将电源的阳极（又称正极）用导线连至橡胶筒中阳极板，并将阴极（又称负极）用导线连至试验槽中的阴极板。

4.32.6 电迁移试验步骤应符合下列要求：

1 打开电源，将电压调整到 $30\text{V} \pm 0.2\text{V}$ ，并记录通过每个试件的初始电流。

2 后续试验施加的电压（见表 4.32.6 第二列）应根据施加 30V 电压时测量得到的初始电流值所处的范围（见表 4.32.6 第一

列）决定。根据实际施加的电压，记录新的初始电流。按照新的初始电流值所处的范围（见表 4.32.6 第三列），确定试验应持续的时间（见表 4.32.6 第四列）。

3 应按照温度计或者电热偶的显示读数记录每一个试件的阳极溶液的初始温度。

表 4.32.6 初始电流、电压与试验时间的关系

初始电流 I (用 30V 电压) (mA)	施加的电压 U (调整后) (V)	可能的新初始电流 I_0 (mA)	试验持续时间 t (h)
$I_0 < 5$	60	$I_0 < 10$	96
$5 \leq I_0 < 10$	60	$10 \leq I_0 < 20$	48
$10 \leq I_0 < 15$	60	$20 \leq I_0 < 30$	24
$15 \leq I_0 < 20$	50	$25 \leq I_0 < 35$	24
$20 \leq I_0 < 30$	40	$25 \leq I_0 < 40$	24
$30 \leq I_0 < 40$	35	$35 \leq I_0 < 50$	24
$40 \leq I_0 < 60$	30	$40 \leq I_0 < 60$	24
$60 \leq I_0 < 90$	25	$50 \leq I_0 < 75$	24
$90 \leq I_0 < 120$	20	$60 \leq I_0 < 80$	24
$120 \leq I_0 < 180$	15	$60 \leq I_0 < 90$	24
$180 \leq I_0 < 360$	10	$60 \leq I_0 < 120$	24
$I_0 \geq 360$	10	$I_0 \geq 120$	6

4 试验结束时，测定阳极溶液的最终温度和最终电流。

5 试验结束后及时排除试验溶液。用黄铜刷清除试验槽的结垢或沉淀物，并用饮用水和洗涤剂将试验槽和橡胶套冲洗干净，然后用电吹风的冷风挡吹干。

4.32.7 氯离子渗透深度测定步骤应符合下列要求：

1 试验结束后，及时断开电源。

2 断开电源后，将试件从橡胶套中取出，并立即用自来水将

试件表面冲洗干净,然后擦去试件表面多余水分。

3 试件表面冲洗干净后,在压力试验机上沿轴向劈成两个半圆柱体,并在劈开的试件表面立即喷涂浓度为 0.1 mol/L 的 AgNO_3 溶液显色指示剂。

4 指示剂喷洒约 15min 后,沿试件直径断面将其分成 10 等份,并用防水笔描出渗透轮廓线。

5 根据观察到的明显的颜色变化,测量显色分界线(见图 4.32.7)离试件底面的距离,精确至 0.1mm。

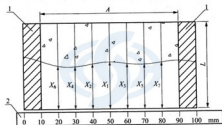


图 4.32.7 显色分界线位置编号

1—试件边缘部分; 2—尺子; 3—测量范围

6 当某一测点被骨料阻挡,可将此测点位置移动到最近未被骨料阻挡的位置进行测量,当某测点数据不能得到,只要总测点数据多于 5 个,可忽略此测点。

7 当某测点位置有一个明显的缺陷,使该点测量值远大于各测点的平均值,可忽略此测点数据,但应将这种情况在试验记录和报告中注明。

4.32.8 试验结果处理应符合下列要求:

1 混凝土的非稳态氯离子迁移系数按式(4.32.8)计算:

$$D_{RCM} = \frac{0.0239(273+T)L}{(U-2)t} \left(X_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273+T)LX_d}{U-2}} \right) \quad (4.32.8)$$

式中: D_{RCM} ——混凝土的非稳态氯离子迁移系数,精确到 0.1×10^{-12} , m^2/s ;

U ——所用电压的绝对值, V;

T ——阳极溶液的初始温度和结束温度的平均值, $^{\circ}\text{C}$;

L ——试件厚度,精确到 0.1, mm;

X_d ——氯离子渗透深度的平均值,精确到 0.1, mm;

t ——试验持续时间, h。

2 以 3 个试样的氯离子迁移系数的平均值作为该组试件的氯离子迁移系数测定值。当最大值或最小值与中间值之差超过中间值的 15% 时,应剔除此值,取其余 2 个测值的平均值作为测定值;当最大值和最小值均超过中间值的 15% 时,取中间值作为测定值。

4.33 混凝土钢筋腐蚀快速试验

4.33.1 目的及适用范围: 比较水工混凝土防止钢筋腐蚀的性能。适用于在水上(或浪溅区)和水位变动区使用的钢筋混凝土。

4.33.2 基本原理: 模拟水工混凝土水上(或浪溅区)和水位变动区钢筋的腐蚀环境,并且用适当提高温度的方法,加快腐蚀速度。

4.33.3 仪器设备和化学药品应符合下列要求:

1 电热鼓风烘箱: 鼓风与加热同步。

2 塑料箱: 尺寸可采用 $900\text{mm} \times 600\text{mm} \times 500\text{mm}$ (长 \times 宽 \times 高),带盖。

3 分析天平: 称量 100g,感量不大于 0.1mg。

4 试模: 断面尺寸 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$,长度 $200\text{mm} \sim 400\text{mm}$ 。

5 碳化箱、气体分析仪、二氧化碳钢瓶等,应符合本规程第 4.31.2 条的规定。

6 其他: 玻璃转子流量计、干湿温度计、钢尺等。

7 工业盐酸、丙酮、碳酸钠、食盐、1%酚酞乙醇溶液、10%硫酸溶液、33%苛性钾溶液、变色硅胶等。

4.33.4 试验步骤应符合下列要求:

1 钢筋的准备。把直径 6mm 的未锈钢筋用木锤敲直，按每根 100mm 长剪断，挑选比较光滑平直的作为钢筋试样。两端在砂轮上磨成半球形后，按本规程第 4.29 的规定进行酸洗。用细钢丝刷（或砂布）摩擦钢筋表面，使其光亮。用丙酮去脂后，在天平上称得钢筋初始质量，移入干燥器中备用。

2 试件成型。每种技术条件制作 4 个试件（为了在试验过程中观察钢筋锈蚀情况，对比基准组一般多制 4~6 个）。试件尺寸为 100mm×100mm×200mm，分两次浇制（见图 4.33.4）。先用混凝土浇制 100mm 长的中间段。浇制时，两头采用端头板和木楔固定钢筋，以保证钢筋的保护层（从试件底面到钢筋表面的距离）为 30mm 或 40mm（根据试验要求），并再次用丙酮去脂。混凝土装入试模后，在振动台上振动至出浆。接着卸去木楔和端头板，在两头浇灌水灰比小于中间混凝土的富配比砂浆，用油灰刀仔细插捣，使其密实。粗骨料的最大粒径与混凝土保护层厚度之比不得大于 3/4。试件成型后，在 20℃±5℃ 的温度下盖湿布养护 24h，然后拆模。把试件放入标准养护室再养护 13d 后进行试验。比较水泥品种不同的混凝土时，试件应养护至龄期 28d；比较水泥品种相同的混凝土时，试件可养护至 14d。

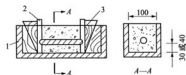


图 4.33.4 试件成型示意图（单位：mm）

1—试模；2—端头板；3—木楔

3 试件碳化。试件养护到期后，放入烘箱，在 60℃±2℃ 的温度中烘 24h，然后，放入碳化箱进行人工碳化。通入二氧化碳气体，用气体分析仪测定箱内二氧化碳浓度，调节转子流量计，

使箱内二氧化碳浓度保持为 50%±3%。碳化 2 个~3 个月，从对比基准组中取出一块试件，沿钢筋劈开，用 1% 酚酞乙醇溶液测定劈开面上钢筋混凝土保护层的碳化深度。当碳化深度至钢筋表面时，停止碳化，取出全部试件，否则继续碳化。模拟海洋环境水工混凝土的试件，不应进行碳化。

4 浸烘循环。试件养护后，放入烘箱，在 80℃±2℃ 的温度下烘 4d。冷却后放入塑料箱，在自来水中浸泡 24h 后取出，再放入烘箱，在 60℃±2℃ 的温度下烘 13d。从开始泡水至烘毕，共历时 14d，为一次循环。以后照此循环不断往复。经过一定循环次数（6 次~7 次）后，劈开一块对比基准组试件，观察钢筋锈蚀情况，如未生锈，仍应继续进行浸烘循环；如已生锈（锈积率大于 15%），则对试件进行检查。模拟海洋环境水工混凝土的试件，浸烘循环中应用 3.5% 的食盐水浸泡，塑料箱加盖，箱中食盐水的浓度应经常检查，使之基本恒定。经过 4 次~5 次循环后，即可检查对比基准组试件。

5 检查项目：

- 1) 混凝土保护层厚度。沿钢筋劈开试件，用钢尺量测钢筋两端的混凝土保护层厚度（精确至 1mm）。
- 2) 混凝土保护层碳化深度。用酚酞乙醇溶液测量劈开面上混凝土保护层的碳化深度。一块试件，量测等距离 4 个点的碳化深度。

模拟海洋环境水工混凝土的试件，不必检查保护层碳化深度。

- 3) 锈积率。取出钢筋，用玻璃纸描绘钢筋表面的锈蚀面积，然后复印在方格纸上，计算锈蚀面积。
- 4) 质量损失率。先酸洗钢筋，洗去腐蚀产物。酸洗时，洗液中加入 2 根尺寸相同的同类不锈钢筋作空白校正。烘干后，称量。

4.3.3.5 试验结果处理应符合下列要求：

- 1 以钢筋两端混凝土保护层厚度平均值作为该试件的混凝土保护层厚度。

2 以混凝土保护层上 4 个等距离点的碳化深度平均值作为该试件的碳化深度值。

3 钢筋锈积率按式 (4.33.5-1) 计算:

$$R = \frac{A_n}{A_0} \times 100 \quad (4.33.5-1)$$

式中: R ——钢筋锈积率, %;

A_n —— n 次循环后钢筋锈蚀面积, mm^2 ;

A_0 ——钢筋表面积, mm^2 。

4 钢筋质量损失率按式 (4.33.5-2) 计算:

$$L = \frac{m_0 - m - \frac{(m_{01} - m_1) + (m_{02} - m_2)}{2}}{m_0} \times 100 \quad (4.33.5-2)$$

式中: L ——钢筋质量损失率, %;

m_{01} 、 m_{02} ——空白校正用的 2 根钢筋的初始质量, g;

m_1 、 m_2 ——空白校正用的 2 根钢筋酸洗后的质量, g;

m_0 ——试验钢筋初始质量, g;

m ——试验后钢筋质量, g。

若混凝土保护层厚度小于原设计试件保护层厚度的 80%, 则该试件作废。根据试验所得同组 4 个试件的碳化深度、钢筋锈积率、质量损失率平均值的大小, 比较各组试件防止钢筋腐蚀的性能。

4.34 混凝土泊松比试验

4.34.1 目的及适用范围: 测定混凝土的泊松比。

4.34.2 仪器设备应符合下列要求:

1 压力试验机: 与本规程第 4.2 节相同。

2 试模: 规格为 $\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 。

3 应变量测量装置, 同本规程第 4.5 节第 2 条; 采用千分表或位移传感器时应备有变形测量架 (见图 4.34.2-1)。试件的变形通过测量架传递到千分表或位移传感器。测量架由上下两个卡箍组

成, 其中一个卡箍 (见图 4.34.2-1 中 B) 与试件固定 (一般用 3 个紧固螺钉), 另一个卡箍 (见图 4.34.2-1 中 C) 由在直径方向相对应的上下两点与试件接触以便上下自由转动。在旋转卡箍 C 的两个支撑点中间采用一个枢轴杆 (见图 4.34.2-1 中 A) 将用于测量横向变形的中间卡箍与上下两个卡箍之间保持固定的距离。在中间卡箍枢轴杆相反点安装应变量测量装置, 中间卡箍位移变化等于试件膨胀变形和枢轴杆带动卡箍旋转而产生的位移变化量 (见图 4.34.2-2)。如果枢轴杆和应变量测量装置到中间卡箍支撑点的垂直距离相等, 试件的横向变形等于测得变形量的 1/2; 如果两者之间的距离不相等, 则用式 (4.34.2-1) 计算试件的横向变形:

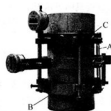


图 4.34.2-1 变形测量架示意图

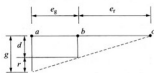


图 4.34.2-2 位移示意图

d ——由于试件产生的变形; r ——由于枢轴杆带动卡箍旋转而产生的变形;

a ——测量位置; b ——中间旋转卡箍的支撑点; c ——枢轴杆的位置;

g ——应变量测量装置读数

$$d = e_r / (e_r + e_g) \quad (4.34.2-1)$$

式中： d ——试件横向变形， 10^{-6} ；

e_r ——从枢轴杆到中间卡箍两个支撑点垂直面的距离，mm；

e_g ——从计量器到旋转卡箍两个支撑点平面的垂直距离，mm。

4 应变片（长度一般应不小于骨料最大粒径的 3 倍）、胶水处理。

4.34.3 试验步骤应符合下列要求：

1 按本规程第 4.1 节的规定制作试件。以 4 个试件为 1 组，其中 1 个测定轴心抗压强度，3 个测定泊松比。

2 到达试验龄期时，将试件从养护室取出，擦净表面，量测断面尺寸，用湿布覆盖，以保持其潮湿状态，并尽快试验。

3 将试件安放在试验机的下压板上，试件的中心应与试验机下压板中心对准。开动试验机，当上压板与试件快接触时，调整球座，使接触均衡。

4 将千分表或位移传感器固定在变形测量架上，标准试件的测量标距纵向采用 150mm，由标距定位杆定位，横向标距由试件中部紧固螺钉固定，变形装置由变形测量架通过紧固螺钉固定在试件中部。当采用电阻应变仪测量变形时，试件从养护室取出后，应尽快在试件两侧中间部位贴电阻片，横向和纵向相互垂直。从试件取出至试验完毕，不宜超过 4h，并注意试件保湿。应提前作好变形测量的准备工作。

5 开动压力机，缓慢施加压力，进行预压，加荷速度为 0.2MPa/s～0.3MPa/s，最大预压应力为试件破坏强度的 40%（0.4 ϵ_c ），反复预压 3 次，在预压过程中，观察试验机及仪表运转是否正常，如有必要应予调整。

6 试件经预压后，进行正式试验，加荷速度与预压相同，记下各荷载（至少 6 个）下的变形值。加荷应力达到极限破坏强度的 50%（0.5 ϵ_c ）时，卸下表量，以相同的速度压至试件破坏。

4.34.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 泊松比按式（4.34.4-1）计算，计算结果保留至 0.01：

$$\mu = \frac{\epsilon_{12} - \epsilon_{11}}{\epsilon_2 - 0.000050} \quad (4.34.4-1)$$

式中： μ ——泊松比；

ϵ_{12} ——40%的极限破坏荷载时的横向变形， $\times 10^{-6}$ ；

ϵ_{11} ——受荷变形 50 个微应变时的横向变形， $\times 10^{-6}$ ；

ϵ_2 ——40%的极限破坏荷载时的纵向变形， $\times 10^{-6}$ 。

以 3 个试件测值的平均值作为试验结果。单个测值与平均值允许差值为 $\pm 15\%$ ，超过时应将该测值剔除，取余下 2 个试件测值的平均值作为试验结果。如一组中可用的测值少于 2 个时，该组试验结果无效。

4.35 混凝土抗压强度快速试验

4.35.1 目的及适用范围：可作为快速确定混凝土配合比及控制混凝土施工质量的临时措施。不宜作为工程质量评定的依据。

4.35.2 仪器设备应符合下列要求：

- 1 自动控制养护箱：箱中水温应准确均匀控制在 $35^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。
- 2 试模：150mm×150mm×150mm。
- 3 压力试验机：与本规程第 4.2 节相同。
- 4 其他：台秤、铁锹、量筒等。

4.35.3 试验步骤应符合下列要求：

1 预测公式的建立：

- 1) 选定 0.45、0.55、0.65 或 0.40、0.50、0.60 3 个水灰比，并掺加需用的外加剂和掺合料进行试验。每个水灰比制作 6 个试件，其中 3 个标准养护至 28d 龄期后测定抗压强度；3 个快速养护 1d 测定抗压强度。
- 2) 试件的成型应符合本规程第 4.1 节的规定。
- 3) 快速养护的试件成型后不拆模，立即加盖放入养护箱中，在 $35^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 的水中恒温养护。水面不超过试件

顶面。养护 23h45min 后取出试件，在 15min 内拆模、试压完毕。全部试验过程共计 24h。

- 4) 关系式的建立。对于每种水泥，上述试验需要重复 7 次左右。将测得的强度值进行统计，用一元线性回归分析方法建立标准养护试件强度与快速养护试件强度关系式：

$$f_{cc} = A + Bf_f \quad (4.35.3-1)$$

式中： f_{cc} ——标准养护试件强度，MPa；

f_f ——快速养护试件强度，MPa；

A 、 B ——回归方程系数。

当相关系数大于 0.85 时即可使用。不同厂生产的同品种水泥不得直接套用，但当已知水泥强度发展规律相同时，可套用。

2 混凝土抗压强度快速测定：

- 1) 成型混凝土试件 3 个；
- 2) 按以上的规定，对试件进行养护、拆模、试压，得出快速养护试件强度 f_f ；
- 3) 将测得的快速养护试件强度值代入上述关系式，得出标准养护试件强度的估计值。

回归线或其关系式，只适用于已经统计的强度范围，使用时不得任意外延。

4.36 混凝土透气性试验

4.36.1 目的及适用范围：测定混凝土的气体扩散系数，用于比较混凝土的透气性。

4.36.2 仪器设备应符合下列要求：试验所用设备如图 4.36.2-1 所示。

- 1 小型真空泵（ZX-1 旋片式）一台。
- 2 真空表一只：量程 0.10MPa，感量不大于 0.002MPa。
- 3 秒表一只。

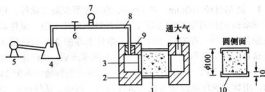


图 4.36.2-1 试验装置示意图 (单位: mm)

- 1—试件；2—试验槽；3—真空橡皮垫圈（两层）；4—真空瓶；5—真空泵；
6—阀门；7—真空表；8—真空橡皮管；9—橡皮塞；10—乳胶套（两层）

4 用塑料圈、钢板制成的 $\phi 100\text{mm} \times 60\text{mm}$ 三联试模，如图 4.36.2-2 所示。

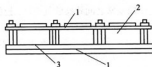


图 4.36.2-2 三联试模示意图

- 1—钢板；2—塑料圈；3—硬橡胶板

5 塑料试验槽 2 只：外型尺寸 $152\text{mm} \times 152\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，内开深 35mm、直径 80mm 的凹槽。

6 螺旋加压器或压力机、阀门、钢丝刷、真空橡胶垫圈。

7 内径为 10mm 的真空橡胶管或耐压硬质橡胶管。从阀门至试验槽皮管长度控制在 500mm 左右。

8 电热鼓风烘箱，鼓风与加热同步。

9 带盖塑料桶一只，容积 10L。

10 医用乳胶手套。

11 化学药品：化学纯氢氧化钙。

4.36.3 试验步骤应符合下列要求：

1 浇制直径 100mm、厚 60mm 的圆盘型混凝土试件。粒径大于 40mm 的骨料用湿筛法筛除。每种技术条件 3 块。试件成型后表面盖湿麻袋，在室温 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 条件下养护 24h 后拆模（保留与试件紧贴的塑料圈）。用钢丝刷刷毛两端面后，试件连塑料圈一起放在盛有 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 的饱和氢氧化钙溶液塑料桶中养护 24h。取出，用螺旋加压器或压力机将试件顶出塑料圈。试件再在 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 饱和氢氧化钙溶液中养护 26d。

2 将试件从氢氧化钙溶液中取出，用湿布擦净，于 $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘 7d。烘后，试件放在密闭桶内，备用。

3 对于混凝土芯样，应切割成 $\phi 60\text{mm} \times 100\text{mm}$ 试件。试件浸水 24h，用湿布擦净后，于 $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘 7d。烘后，试件放在密闭桶内，备用。

4 检验阀门至橡皮塞之间管路的气密性。把如图 4.36.2-1 所示的带皮管的橡皮塞 9，涂上真空油脂后，塞紧在一口径与塞大小匹配的玻璃三角瓶上。开启真空泵，瓶中真空度随之上升。当升到 0.06MPa 左右时，关闭阀门，观察真空度。若在 5min 内真空度稳定不变，则管路气密性合格。

5 试件圆侧面及磨面、底面边缘（约 10mm 宽）用二层乳胶套（从医用手套上剪取）封闭后（如图 4.36.2-1 所示），装入塑料试验槽（试件底面通抽真空的试验槽）。用螺杆把两试验槽和试件夹紧。开启真空泵，抽真空（真空度为 0.098MPa 左右）5min，同时将因抽真空而松动的螺母旋紧。然后关闭真空泵，试验槽的真空度逐渐下降。当真空度接近 0.056MPa 时，关闭阀门 6。真空度继续下降至 0.056MPa 时，开始用秒表计时，测定真空度从 0.056MPa 下降至 0.050MPa 所经过的透气时间 t_g (s)。

测量时，试验槽与试件、橡皮塞之间接触应紧密，不漏气。

4.36.4 试验结果处理应符合下列要求：

以 3 块试件透气时间测值的平均值作为该组的测定值。

按式 (4.36.4) 计算气体扩散系数：

$$K_g = 0.113 \times \frac{V_g L}{t_g \times A} \quad (4.36.4)$$

式中： K_g ——气体扩散系数， m^2/s ；

V_g ——抽真空试验槽体积与连接阀门、试验槽的皮管体积之和， m^3 ；

L ——试件厚度， m ；

t_g ——所测的透气时间， s ；

A ——试件透气截面积， m^2 。

混凝土气体扩散系数计算至 $0.01 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ 。

4.37 真空脱水混凝土试件的成型与养护

4.37.1 目的及适用范围：制作真空脱水混凝土试件。一般不适合于水灰比小于 0.35 的混凝土拌和物。

4.37.2 仪器设备应符合下列要求：

1 试模：形状、尺寸与普通混凝土试件的试模要求相同，并配以真空吸盘和吸盘固定架，如图 4.37.2-1 所示。

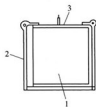


图 4.37.2-1 真空吸盘固定架

1—试模；2—吸盘固定架；3—吸盘

2 真空吸盘：真空吸盘采用硬吸垫，大小应与试模尺寸相配。真空吸盘由尼龙布、二层塑料网络、薄镀锌铁板分别作为过滤层、骨架层和密封层，并在密封层上装吸水嘴，如图 4.37.2-2 所示。

吸盘四周设橡胶封圈。

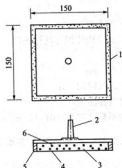


图 4.37.2-2 真空吸盘 (单位: mm)

1—橡胶封圈; 2—吸水嘴; 3—骨架层; 4—过滤层; 5—封圈; 6—密封层

3 振动台、捣棒、养护室应符合本规程第 4.1 节的规定。

4 真空集水瓶: 试模尺寸为 150mm×150mm×150mm 时, 宜采用 500mL 容量的真空瓶。

5 真空橡胶管: 宜采用适宜直径的耐压橡胶管, 亦可采用工业氧气管或乙炔管等代替。

6 真空脱水机组: 一般采用抽气速率为 28L/s 左右的国家标准产品。

4.37.3 试验步骤应符合下列要求:

1 混凝土拌和、振捣应符合本规程第 3.1 节和第 4.1 节的规定。

2 试件成型后, 立即在表面覆盖真空吸盘。固定吸盘后, 用少量水泥浆封闭吸盘四周。用耐压橡胶管连接吸盘吸水嘴和真空集水瓶及真空脱水机组, 如图 4.37.3 所示, 开机脱水处理。试件断面尺寸为 100mm×100mm 时, 脱水时间一般控制在 10min~

15min; 断面尺寸为 150mm×150mm 时, 脱水时间以 15min~20min 为宜。真空度控制为 0.079MPa。脱水结束时, 先掀开吸盘的一角, 将管路中水分全部抽至集水瓶中, 然后切断集水瓶与脱水泵之间的连接管路, 再关机, 以防止脱水泵中冷却水回冲到集水瓶中。

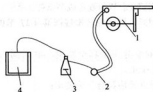


图 4.37.3 混凝土真空脱水系统连接图

1—真空脱水机组; 2—连接器; 3—集水瓶; 4—试件

对于抗渗试件, 以试模的上口尺寸 ($\phi 175\text{mm}$) 制一副模托, 将试模的上口翻转朝下成型试件。真空脱水在试件的下口 ($\phi 185\text{mm}$) 面进行, 测定抗渗性时保持抗渗水压作用于真空处理面。脱水时间约为 20min~25min。

对于抗碳化试件, 在试件的一面 (试件成型的上表面) 进行脱水。在进行碳化试验之前, 用熔化石蜡将试件未经真空处理的其他五个表面封闭。

3 试件脱水处理后, 用湿布覆盖, 并在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的室内静置 24h, 拆模编号。在特殊情况下, 也可根据需要进行拆模进行试验。

4 试件养护应符合本规程第 4.1 节的规定。

4.38 混凝土拌和物真空脱水率试验

4.38.1 目的及适用范围: 测定混凝土拌和物真空脱水率, 计算剩余水灰比, 为设计真空脱水混凝土配合比提供试验数据。一般不适用于水灰比小于 0.35 的混凝土拌和物。

4.38.2 仪器设备应符合下列要求:

仪器设备应符合本规程第 4.37.2 条的规定。试模尺寸为 150mm×150mm×150mm。

4.38.3 试验步骤应符合下列要求:

- 1 按本规程第 4.1 节的规定成型试件。
- 2 试件成型后, 随即应按本规程第 4.37 节的规定进行真空脱水处理。
- 3 将脱出的水分集于真空瓶中, 然后倒入量筒中计量得 ΔW 。计量准至 1.0mL。

4.38.4 试验结果处理应符合下列要求:

- 1 真空脱水率按式 (4.38.4) 计算:

$$K = \frac{\Delta W}{3.375W} \times 100 \quad (4.38.4)$$

式中: K ——真空脱水率, %;

W ——每方混凝土的用水量, kg;

ΔW ——试件脱出水量, mL。

- 2 取 3 个试件测值的平均值为该组试件真空脱水率的试验结果。当单个试件的测值与中间值之差超过中间值的 15% 时, 取中间值作为试验结果。当有 2 个试件的测值与中间值之差超过中间值的 15% 时, 该组试验结果无效。

4.39 混凝土早期抗裂性试验

4.39.1 目的及适用范围: 本方法适用于测试混凝土试件在约束条件下的早期抗裂性能。

4.39.2 试验装置及试件尺寸应符合下列要求:

- 1 应采用尺寸为 800mm×600mm×100mm 的平面薄板型试件, 每组至少 2 个试件。混凝土骨料最大粒径不超过 30mm。
- 2 混凝土早期抗裂试验装置 (见图 4.39.2) 应采用钢制模具, 模具的四边 (包括长侧板和短侧板) 宜采用槽钢或者角钢焊接面

成, 侧板厚度不应小于 5mm, 模具四边与底板宜通过螺栓固定在一起。模具内应设有 7 根裂缝诱导器, 裂缝诱导器可分别用 50mm×50mm、40mm×40mm 角钢与 5mm×50mm 钢板焊接组成, 并平行于模具短边。底板应采用不小于 5mm 厚的钢板, 并在底板表面铺设聚乙烯薄膜或者聚四氟乙烯片做隔离层。模具应作为测试装置的一个部分, 测试时与试件连在一起。

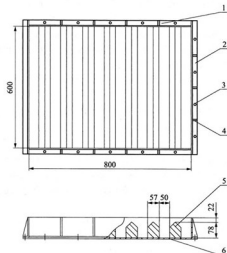


图 4.39.2 混凝土早期抗裂试验装置示意图 (单位: mm)

1—长侧板; 2—短侧板; 3—螺栓; 4—加强肋; 5—裂缝诱导器; 6—底板

- 3 风扇的风速应可调, 并且能够保证试件表面中心处的风速不小于 5m/s。

- 4 温度计精度不应低于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。相对湿度计精度不应低于

±1%。风速计精度不应低于±0.5m/s。

5 刻度放大镜的放大倍数不应小于40倍，分度值不应大于0.01mm。

6 照明装置可采用手电筒或者其他简易照明装置。

7 钢直尺的最小刻度应为1mm。

4.39.3 试验步骤应符合下列要求：

1 试验宜在温度为20℃±2℃，相对湿度为60%±5%的恒温恒湿室中进行。

2 将混凝土浇筑至模具内以后，立即将混凝土摊平，且表面应比模具边略高。可使用平板式振捣器或者采用振捣棒插捣，控制好振捣时间，并防止过振和欠振。

3 振捣后，用抹子整平表面，并使骨料不外露，且使表面平实。

4 在试件成型30min后，立即调节风扇位置和风速，使试件表面中心正上方100mm处风速为5m/s±0.5m/s，并使风向平行于试件表面和裂缝诱导器。

5 试验时间从混凝土搅拌加水开始计算，应在24h±0.5h读取裂缝。裂缝长度用钢直尺测量，并取裂缝两端直线距离为裂缝长度。当一个刀口上有两条裂缝时，可将两条裂缝的长度相加，折算成一条裂缝。

6 裂缝宽度采用放大倍数至少40倍的读数显微镜进行测量，并应测量每条裂缝的最大宽度。

7 平均开裂面积、单位面积的裂缝数目和单位面积上的总开裂面积根据混凝土浇筑24h测量得到的裂缝数据计算。

4.39.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 每条裂缝的平均开裂面积按式(4.39.4-1)计算：

$$a = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N (W_i L_i) \quad (4.39.4-1)$$

2 单位面积上的裂缝数目按式(4.39.4-2)计算：

$$b = \frac{N}{A} \quad (4.39.4-2)$$

3 单位面积上的总开裂面积按式(4.39.4-3)计算：

$$c = ab \quad (4.39.4-3)$$

式中： W_i ——第*i*条裂缝的最大宽度，精确到0.01，mm；

L_i ——第*i*条裂缝的长度，精确到1，mm；

N ——总裂缝数目，条；

A ——平板的面积，精确到小数点后两位，m²；

a ——每条裂缝的平均开裂面积，精确到1，mm²/条；

b ——单位面积的裂缝数目，精确到0.1，条/m²；

c ——单位面积上的总开裂面积，精确到1，mm²/m²。

4 以2个或多个试件的平均开裂面积(单位面积上的裂缝数目或单位面积上的总开裂面积)的平均值作为该组试件的平均开裂面积(单位面积上的裂缝数目或单位面积上的总开裂面积)的测定值。

5 全级配混凝土

5.1 全级配混凝土试件的成型与养护

5.1.1 目的及适用范围：本方法适用于三级配和四级配大体积混凝土试件的制作。

5.1.2 仪器设备应符合下列要求：

1 试件及试模：试件形式及尺寸应符合表 5.1.2 的要求。

试模为钢模（或基本不发生变形的试模），拼接应牢固，振捣时不得变形、漏浆。尺寸精度要求：边长误差不大于边长的 1/150；角度误差不超过 1°；平整度误差不超过边长的 0.05%。

表 5.1.2 试件形式及尺寸表（mm）

骨料最大粒径	抗压试件		劈拉试件	抗弯试件	轴向抗压试件		静压弹模试件	
	立方体	圆柱体	立方体	棱柱体	棱柱体	圆柱体	棱柱体	圆柱体
80	300×300×300	φ300×600	300×300×300	300×300×1200	300×300 断面纯拉段长度不小于 300	φ300×900 纯拉段长度不小于 300	300×300×600	φ300×600
150 (120)	450×450×450	φ450×900	450×450×450	450×450×1700	450×450 断面纯拉段长度不小于 450	φ450×1350 纯拉段长度不小于 450	450×450×900	φ450×900

注：试件长度减去 2 个 1.5 倍的两端预埋件或变断面段的长度，即认为是纯拉段长度。

2 混凝土搅拌机：宜采用容积不小于 250L 的自落式混凝土搅拌机。

3 插入式振捣棒：频率大于 170Hz；直径 φ50mm；长度不小于 500mm。

4 平板振捣器：最小边长不小于 200mm；频率不小于 47Hz。

5 养护设施：养护温度应控制在 20℃±5℃，相对湿度不低于 90%。

5.1.3 试验步骤应符合下列要求：

1 按本规程第 3.1 节的规定用搅拌机拌制混凝土拌和物。

2 拼装好试模并在模内均匀地涂刷一薄层脱模剂或矿物油。

3 将混凝土拌和物浇筑在试模内，浇筑层厚 300mm 为宜。用插入式振捣器振捣，振捣时间以振捣浇筑层表面均匀泛浆为止。当下层振捣完毕后即可装入新的一层全级配混凝土拌和物，再用振捣器振捣；振捣时振捣棒要插入下层混凝土中 50mm~100mm 以保证层间的良好结合。当混凝土拌和物浇筑至试件顶面时，可采用平板振捣器振平，平板振捣器振捣时间不超过 45s。

4 试件成型后，在混凝土初凝前 1h~2h 需进行抹面，要求与模口齐平。

5 成型后带试模的试件宜用湿布或塑料布覆盖，在 20℃±5℃的环境中静置 2d~7d（静置天数取决于混凝土强度），然后拆模并编号。

6 拆模后的试件放在温度为 20℃±5℃、相对湿度不低于 90%的环境中养护，直至规定的试验龄期。

5.2 全级配混凝土抗压强度试验

5.2.1 目的及适用范围：测定全级配混凝土的立方体抗压强度和圆柱体（轴心）抗压强度。

5.2.2 仪器设备应符合下列要求：

1 压力试验机或专用压力试验装置：试件的预计破坏荷载应在试验机或试验装置全量程的 20%~80%之间；试验机或试验装置应定期校正。示值误差应满足标准值的 ±1% 的要求。

2 钢质垫板：其平面尺寸为 350mm×350mm 或 500mm×500mm，应有足够的刚度，材料应选择优质钢材。承压面平整度误差应不大于边长的 0.03%。

5.2.3 试验步骤应符合下列要求：

- 1 按本规程第 5.1 节的规定制作试件。
- 2 到达试验龄期时，从养护室取出试件，测量试件尺寸，精确至 1mm。当试件有严重缺陷时应废弃。试验前用湿布覆盖试件，防止试件干燥。
- 3 将试件放在试验机上下压板中间，上下压板与试件之间应放有钢质垫板。试件的承压面应与成型时的顶面相垂直。开动试验机，当垫板与压板即将接触时，如有明显偏斜，应调整球座使试件受压均匀。

4 试验机以 6MPa/min 的速度连续而均匀地加荷，直至试件破坏，并记录破坏荷载。

5.2.4 试验结果处理应符合下列要求：

- 1 抗压强度按式 (5.2.4) 计算，计算结果保留至 0.1MPa：

$$f_{cc} = \frac{F}{A} \quad (5.2.4)$$

式中： f_{cc} ——抗压强度，MPa；

F ——破坏荷载，N；

A ——试件承压面积，mm²。

- 2 以 3 个试件测值的平均值作为该组试件的抗压强度试验结果。当 3 个试件中的最大值或最小值之一与中间值之差超过中间值的 15% 时，取中间值；当 3 个试件中的最大值或最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时，该组试验结果无效。

5.3 全级配混凝土劈裂抗拉强度试验

5.3.1 目的及适用范围：测定全级配混凝土立方体试件的劈裂抗拉强度。

5.3.2 仪器设备应符合下列要求：

- 1 试验机：应符合本规程第 5.2.2 条的规定。
- 2 垫条：截面为 15mm×15mm、长 500mm 的钢制方垫条，要求平直。

5.3.3 试验步骤应符合下列要求：

- 1 按本规程第 5.1 节的规定制作试件。
- 2 到达试验龄期时，从养护室取出试件，测量试件尺寸，精确至 1mm。当试件有严重缺陷时应废弃。试验前用湿布覆盖试件，防止试件干燥。
- 3 试验前将试件擦干净，测量试件尺寸。在试件成型的顶面和底面中轴线处划出相平行的直线，准确定出劈裂面的位置。
- 4 将试件及垫条（如图 4.3.2 所示）安放于压力机或压力装置上，可做简单的垫条定位装置；开动试验机以 2kN/s 的速度连续而均匀地加荷，不得冲击，直至试件破坏，记录破坏荷载。

5.3.4 试验结果处理应符合下列要求：

- 1 劈裂抗拉强度按式 (5.3.4) 计算，计算结果保留至 0.01MPa：

$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi A} = 0.637 \frac{F}{A} \quad (5.3.4)$$

式中： f_{ts} ——劈裂抗拉强度，MPa；

F ——破坏荷载，N；

A ——试件劈裂面面积，mm²。

- 2 以 3 个试件测值的平均值作为该组试件的劈裂抗拉强度试验结果。当 3 个试件中的最大值或最小值之一与中间值之差超过中间值的 15% 时，取中间值；当 3 个试件中的最大值或最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时，该组试验结果无效。

5.4 全级配混凝土弯曲试验

5.4.1 目的及适用范围：用简支梁三分点加荷法测定全级配混凝土棱柱体试件的抗弯强度。

5.4.2 仪器设备应符合下列要求:

1 试验机: 万能试验机或带有抗弯试验架的压力试验机。其要求与 5.2.2 相同。

2 试验加荷装置: 双点加荷钢制加压头, 其要求应使两个相等的荷载同时作用于试件的 2 个三分点处, 与试件接触的 2 个支座和 2 个压头应具有直径约 45mm 的弧形断面, 其中的一个支座头及 2 个加压头宜做成使之既能滚动又能前后倾斜。试件受力情况如图 5.4.2 所示。

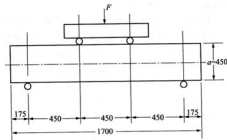


图 5.4.2 抗弯试验示意图 (单位: mm)

5.4.3 试验步骤应符合下列要求:

- 1 按本规程第 5.1 节的规定制作试件。
- 2 到达试验龄期时, 从养护室取出试件, 测量试件尺寸, 精确至 1mm。当试件有严重缺陷时应废弃。试验前用湿布覆盖试件, 防止试件干燥。
- 3 将试件安放在试验机的支座上, 承压面应选择试件成型时的侧面。开动试验机, 当加压头与试件即将接触时, 调整加压头及支座, 使接触均衡。如支座、加压头不能接触均衡, 则在接触不良处应予以垫平。
- 4 以 250N/s 的速度连续而均匀地加荷, 直至试件破坏, 记

录破坏荷载。

5.4.4 试验结果处理应符合下列要求:

- 1 抗弯强度按式 (5.4.4) 计算, 计算结果保留至 0.1MPa:

$$f_r = \frac{FL}{bh^2} \quad (5.4.4)$$

式中: f_r ——抗弯强度, MPa;

F ——破坏荷载, N;

L ——支座间距 (即跨度), mm;

b ——试件截面宽度, mm;

h ——试件截面高度, mm。

- 2 以 3 个试件测值的平均值作为该组试件的抗弯强度试验结果。当 3 个试件中的最大值或最小值之一与中间值之差超过中间值的 15% 时, 取中间值; 当 3 个试件中的最大值或最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时, 该组试验结果无效。

5.5 全级配混凝土轴向拉伸试验

5.5.1 目的及适用范围: 测定全级配混凝土轴向抗拉强度、极限拉伸值和抗拉弹性模量。

5.5.2 仪器设备应符合下列要求:

1 试验机。采用材料抗拉试验机或专用试验装置, 其有效行程应满足所选试件尺寸; 应具有一定刚度并安全可靠。其他要求应符合本规程第 5.2.2 条的规定。

2 位移 (应变) 测量仪。高精度位移测量仪或千分表。测量精度 0.001~0.005。

3 位移测量仪的测架、测杆等。

4 球形拉力接头一对。

5.5.3 试验步骤应符合下列要求:

- 1 按本规程第 5.1 节的规定制作试件, 试验以 4 个试件为 1 组。

两端有预埋件的试件,成型时两端宜适当加强(如后加适量的水泥,减少大骨料含量等增强措施),以减少端部断裂几率。

2 到达试验龄期时,将试件从养护室取出,测量试件尺寸,精确至1mm。当试件有严重缺陷时应废弃。试验前用湿布覆盖试件,防止试件干燥。

3 将试件通过球面拉力接头安装在试验机或试验装置上,位移测量应在试件的中间部位,三级配混凝土测距应不小于300mm,四级配混凝土测距应不小于450mm。

4 开动试验装置进行2次预拉,预拉荷载相当于破坏荷载的15%~20%。预拉时应测读应变值,需要时调整荷载传递装置使偏心率不大于15%。偏心率按式(5.5.3)计算:

$$e = \frac{|\varepsilon_1 - \varepsilon_2|}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \times 100 \quad (5.5.3)$$

式中: e ——偏心率, %;

ε_1 、 ε_2 ——试件两侧的应变值, 10^{-6} 。

5 预拉完毕后,重新调整测量仪器,进行正式测试。拉伸时的加荷速度为0.4MPa/min。测读并记录荷载及位移(变形)值,直至试件破坏(当荷载加到破坏荷载90%左右,为防止仪器受损,可将传感器等从试件上卸下)。记录破坏荷载和断裂位置。整个试验过程中所测读的变形值应不少于20对。

5.5.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 轴向抗拉强度按式(5.5.4-1)计算,计算结果保留至0.01MPa:

$$f_t = \frac{F}{A} \quad (5.5.4-1)$$

式中: f_t ——轴向抗拉强度, MPa;

F ——破坏荷载, N;

A ——试件断面面积, mm^2 。

2 极限拉伸值的确定:以应变为横坐标,应力为纵坐标,画出每个试件的应力-应变曲线。按本规程第4.5节的规定求得破坏

应力相对应的应变值,即为该试件的极限拉伸值,计算结果保留至 1×10^{-6} 。

如曲线不通过坐标原点时,延长曲线起始段使与横坐标相交,并以此交点作为极限拉伸值的起始点。

3 抗拉弹性模量取0%~40%破坏应力的割线弹性模量。割线弹性模量按式(5.5.4-2)计算,计算结果保留至100MPa:

$$E_t = \frac{\sigma_{0.4}}{\varepsilon_{0.4}} \quad (5.5.4-2)$$

式中: E_t ——轴向抗拉弹性模量, MPa;

$\sigma_{0.4}$ ——40%的破坏应力, MPa;

$\varepsilon_{0.4}$ —— $\sigma_{0.4}$ 所对应的应变值。

4 极限拉伸值、轴向抗拉强度和抗拉弹性模量以4个试件测值的平均值作为试验结果。当试件的断裂位置与变截面转折点或埋件端点的距离在50mm以内时该测值应剔除,取余下测值的平均值作为试验结果。如可用的测值少于2个时,该组试验结果无效。

5.6 全级配混凝土静力抗压弹性模量试验

5.6.1 目的及适用范围:测定全级配混凝土的静力抗压弹性模量。

5.6.2 仪器设备应符合下列要求:

1 压力试验机或试验装置:应符合本规程第5.2.2条的规定。

2 位移测量装置:由测定架和高精度位移传感器或千分表组成,高精度位移传感器量程应在1mm~2mm;精度为0.001~0.005。

5.6.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第5.1节的规定制作试件,4个试件为1组。

2 到达试验龄期时,从养护室取出试件,测量尺寸,精确至1mm。当试件有严重缺陷时应废弃。试验前用湿布覆盖试件,防止试件干燥。

3 每组试件先取1个按本规程第5.2节的规定测定其轴心抗

压强度 f_c ，其余3个测定抗压弹性模量。

4 测定弹性模量时将测定架固定在试件上(试件高度的中间部位)。上下刀口间距为300mm或450mm，相应边长(直径)为300mm或450mm试件。安装位移传感器或千分表；检查接触是否合适；试件和压力机板是否平行，必要时进行调整。

5 开动压力机缓慢施加压力进行预压，加荷速度为6MPa/min，最大预压应力为试件破坏强度的40%。反复预压2次~3次，直至相邻2次变形值之差不超过0.009mm为止，否则应继续预压，直至差值达到要求，但增加预压的次数应在报告中注明。

6 试件经预压后，进行正式试验，加荷速度与预压荷载速度相同。记录各荷载时的变形值。当荷载达到破坏应力的40%(0.4 f_c)时，卸下载感器或千分表。而后以相同的加荷速度压至试件破坏(破坏荷载 F_2)。

5.6.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 静力抗压弹性模量(割线法)。绘制荷载变形曲线，并按式(5.6.4)计算静力抗压弹性模量，计算结果保留至100MPa：

$$E_c = \frac{F_2 - F_1}{A} \times \frac{L}{\Delta L} \quad (5.6.4)$$

式中： E_c ——静力抗压弹性模量，MPa；

F_2 ——40%的极限破坏荷载，N；

F_1 ——应力为0.5MPa时的荷载，N；

L ——测量变形的标距，mm；

A ——试件受压面积，mm²；

ΔL ——应力从0.5MPa增加到40%破坏应力时试件的变形值，mm。

2 以3个试件测值的平均值作为试验结果。当3个试件中的最大值或最小值之一与中间值之差超过中间值的15%时，取中间值；当3个试件中的最大值或最小值与中间值之差均超过中间值的15%时，该组试验结果无效。

5.7 全级配混凝土渗透系数试验

5.7.1 目的及适用范围：测定全级配混凝土的渗透系数，以评价混凝土的抗渗性能。

5.7.2 仪器设备应符合下列要求：

1 混凝土渗透仪：渗透系数测定仪由水压稳定系统和试件箱密封容器两部分组成。水压稳定系统可采用氮气-水稳压方法和水-蓄能器稳压方法。水压稳定系统应具有长期保压功能，动态稳压精度不得超过±5%。水压稳定系统供给试件箱的额定水压力为8MPa~10MPa，并具有分支接口，将压力水分流到各个试件箱容器。试件箱容器下设有收集和测量通过试件渗出水量的容器。试件箱容器示意图见图5.7.2。试件箱容器尺寸应与试验试件尺寸相匹配。

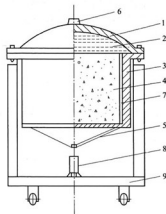


图 5.7.2 试验容器示意图

1—缸盖；2—水；3—缸筒；4—混凝土；5—有机玻璃；6—进水管；
7—止水缝材料；8—量杯；9—试件小车

2 试模: $\phi 450\text{mm} \times 450\text{mm}$ 或 $\phi 300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 圆试模各 3 个。

3 密封材料: 沥青, 填缝油膏等。

4 电动(手动)葫芦、千斤顶、装脱模设备的电动或手动 500kg 葫芦、1t 千斤顶等。

5 其他: 电炉、温度计、搅铲等。

5.7.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第 5.1 节的规定制作和养护试件。

2 到达试验龄期的前 4d, 将试件浸泡于水中, 2d 后取出, 风干试件表面, 清除松散物质。

3 将试件放在垫好透水板的试验容器内, 在试件与模壁的空间填入不透水材料(低温试验时, 钢模应预先加热)。下部 2/3 填入温度高于 80°C 的热沥青, 上部 1/3 填入柔性高的填缝材料。沥青中宜掺入 5%~10% 的柴油以调软沥青硬度。

4 待密封材料冷却后, 将试件及容器吊入钢制支撑框架中, 在容器顶面放好密封圈, 紧固顶盖螺栓。

5 将水源和压力源的连接管与试件箱容器接通, 打开进水阀门使水灌满试件容器上部, 待排出空气后再关闭排气阀门。打开压力源开关, 调节压力, 使加压值恒定, 压力变动误差在 $\pm 0.1\text{MPa}$ 的范围内。

6 混凝土抗压强度 30MPa 以下时, 试验压力可以从 0.2MPa 开始, 在恒定的压力情况下, 每隔 8h 逐级增加 0.1MPa 压力, 直至 3 个试件底部全部渗水为止。恒定在最后一级压力值上, 开始渗透系数试验。装好下部密封盖, 连接集水瓶, 每 8h 测读一次集水瓶的水量, 直至在相等时段的渗流量基本相近时为止。

7 混凝土抗压强度大于 30MPa 时, 试验压力可以从 0.5MPa ~ 1.0MPa 开始, 在恒压情况下, 每隔 8h 加 0.4MPa 压力至 3 个试块渗水为止, 按 5.7.3 中第 6 款检测集水量。

8 将记录流出的水量, 在直角坐标纸上绘制流出累积水量-历时过程线。当过程线形成一直线时, 即为流量不变, 可停止

试验。

9 试验结束后, 将试件容器从试验单元取下, 并加热软化沥青密封材料, 将试件取出。

5.7.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 每个试件测得一条累积流出水量过程线, 在过程线的直线段上, 横坐标截取大于 100h 时段, 其斜率即为通过试件的恒定流量。3 个试件的平均流量为试验所要确定的恒定流量。

2 按式 (5.7.4) 计算混凝土渗透系数:

$$K = \frac{qL}{AH} \quad (5.7.4)$$

式中: K ——混凝土渗透系数, m/s ;

q ——通过混凝土的平均流量, m^3/s ;

L ——试件高度, m ;

A ——试件面积, m^2 ;

H ——作用水头 (1MPa 水压= 100m 水头), m 。

2) 回弹仪在钢砧上的率定值应符合表 6.1.3 中的规定。

表 6.1.3 回弹仪在洛氏硬度 HRC 为 60 ± 2 钢砧上的率定值

回弹仪	中型回弹仪	4.5J 高强回弹仪	5.5J 高强回弹仪	29.4J 重型回弹仪
钢砧质量 (kg)	16	20	20	45
率定值	80 ± 2	88 ± 2	83 ± 1	63 ± 2

6 现场混凝土性能试验

6.1 回弹法检测混凝土抗压强度

6.1.1 目的及适用范围：适用于混凝土抗压强度检测，作为检查混凝土质量的一种辅助手段。不适用于表层与内部质量有明显差异或内部存在缺陷的混凝土强度检测。

6.1.2 仪器设备应符合下列要求：

1 回弹仪：应采用符合《回弹仪》GB/T 9138 规定的指针直读式或数字式回弹仪。应具有产品合格证及计量检定证书。

2 回弹仪按标称动能分为：

- 1) 中型回弹仪，标称动能为 2.2J，适用于强度等级为 C10~C60、骨料最大粒径不大于 60mm 的混凝土；
- 2) 高强回弹仪，标称动能为 4.5J 和 5.5J，适用于强度等级 C50~C100、骨料最大粒径不大于 40mm 的混凝土；
- 3) 重型回弹仪，标称动能为 29.4J，适用于强度等级 C10~C60、大体积混凝土或骨料最大粒径大于 40mm 的混凝土。

3 钢砧：用于标定回弹仪。

4 采用中型回弹仪检测时，需要碳化深度测量仪或 150mm 游标卡尺，电锤或凿子、1%酚酞乙醇溶液。

6.1.3 试验步骤应符合下列要求：

1 检查回弹仪是否处于标准状态：

- 1) 弹击锤与弹击杆碰撞的瞬间，弹击拉簧应处于自由状态，此时弹击锤起跳点应相应于指针指示刻度尺上的“0”位处；

2 当回弹仪不符合标准状态时，不得用于工程测量。

3 抽样数量和测区布置

1) 按单个构件检测时，每个构件上测区数量不应少于 10 个；按批抽样检测时，构件抽样数不应少于同批构件的 30%，且不应少于 10 件。

2) 在被测混凝土结构或构件上均匀布置测区，相邻两测区的间距不应大于 2m，测区距构件的边缘不宜小于 100mm。测区数不应少于 10 个。对某一方向尺寸不大于 4.5m 且另一方向尺寸不大于 0.3m 的构件，其测区数量可减少，但不应少于 5 个。测区面积不宜大于 0.04m^2 。

4 使用中型回弹仪检测时，回弹测区宜选在构件混凝土的浇筑侧面，也可选混凝土的浇筑表面和底面。

5 使用高强回弹仪、重型回弹仪检测时，回弹测区应布置在混凝土的浇筑侧面；检测泵送混凝土时，回弹测区也应布置在混凝土的浇筑侧面。

6 测试：

- 1) 每个测区应弹击 16 点。两测点间距不宜小于 30mm。当一个测区有 2 个测面时，每一个测面弹击 8 点，测点布置如图 6.1.3 (a) 所示；不具备 2 个测面的测区，可在一个测面上弹击 16 点，按图 6.1.3 (b) 所示布置测点。

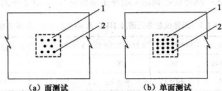


图 6.1.3 回弹值测点布置示意图

1—测区；2—回弹值测点

- 2) 回弹值测试面要清洁、平整，测点应避开气孔或外露石子。一个测点只允许弹击一次。
- 3) 弹击时，回弹仪的轴线应垂直于结构或构件的混凝土表面，缓慢均匀施压，不宜用力过猛或突然冲击。
- 7 使用中型回弹仪检测时需做碳化深度测量：
 - 1) 回弹值测量完毕，在具有代表性的测区上测量碳化深度值，测点数不应少于构件测区的 30%。
 - 2) 可采用电锤（或凿子）在测区内形成直径约 20mm、深度应大于混凝土的碳化深度的孔洞。
 - 3) 测量混凝土碳化深度时，应将孔洞内的混凝土粉末清除干净，用 1% 酚酞乙醇溶液滴在孔洞内壁的边缘处，采用碳化深度测量仪或游标卡尺测量混凝土碳化深度值 d ；碳化与未碳化混凝土交界面到混凝土表面的垂直距离，读数精度为 0.5mm。
 - 4) 测量的碳化深度小于 0.4mm 时，则按无碳化处理。

6.1.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 从测区的 16 个回弹值中，舍弃 3 个最大值和 3 个最小值，将余下的 10 个回弹值按式 (6.1.4-1) 计算测区平均回弹值 R_m ，计算结果保留至 0.1；

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{10} \quad (6.1.4-1)$$

式中： R_m ——测区平均回弹值；

R_i ——第 i 个测点回弹值 ($i=1, 2, 3, \dots, n$)；

n ——测点数，为 10。

2 使用中型回弹仪检测时，当回弹仪在非水平方向测试时，如图 6.1.4-1 所示。

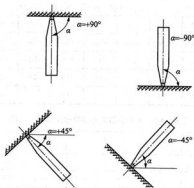


图 6.1.4-1 回弹仪非水平方向测试示意图

将测得的数据按式 (6.1.4-1) 求出测区平均回弹值 R_{ma} ，再按式 (6.1.4-2)、式 (6.1.4-3) 或式 (6.1.4-4) 换算成水平方向、浇筑侧面测试的测区平均回弹值 R_m ，计算结果保留至 0.1：

$$R_m = R_{ma} + R_{\alpha} \quad (6.1.4-2)$$

$$R_m = R_m' + R_{\alpha}' \quad (6.1.4-3)$$

$$R_m = R_m^b + R_{\alpha}^b \quad (6.1.4-4)$$

式中: $R_{m\alpha}$ ——非水平方向检测时测区的平均回弹值;

$R_{\alpha\alpha}$ ——按表 6.1.4-1 查出的不同测试角度 α 的回弹修正值;

R_m^s 、 R_m^b ——水平方向检测混凝土浇筑表面、底面时, 测区的平均回弹值;

R_s^s 、 R_s^b ——按表 6.1.4-2 查出的表面、底面的回弹修正值。

表 6.1.4-1 非水平方向检测时的回弹修正值 $R_{m\alpha}$

$R_{m\alpha}$	测试角度 α							
	+90°	+60°	+45°	+30°	-30°	-45°	-60°	-90°
20	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	+2.5	+3.0	+3.5	+4.0
30	-5.0	-4.0	-3.5	-2.5	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5
40	-4.0	-3.5	-3.0	-2.0	+1.5	+2.0	+2.5	+3.0
50	-3.5	-3.0	-2.5	-1.5	+1.0	+1.5	+2.0	+2.5

表 6.1.4-2 不同浇筑面的回弹修正值 R_s^s 、 R_s^b

R_m^s 或 R_m^b	表面修正值 (R_s^s)	底面修正值 (R_s^b)
20	+2.5	-3.0
30	+1.5	-2.0
40	+0.5	-1.0
45	0	-0.5
50	0	0

3 推定混凝土强度的回弹值应是水平方向、浇筑侧面测试的回弹值 R_m 。

4 在推定混凝土强度时, 宜优先采用专用混凝土强度公式, 专用混凝土强度公式的建立宜按以下方法:

1) 试件 3 个为一组, 不少于 10 组。试件尺寸一般为

150mm×150mm×150mm, 当骨料最大粒径超过 40mm 时, 试件尺寸不小于 200mm×200mm×200mm。试件的原材料、配合比、振捣方法、养护条件应与被测建筑物混凝土一致。为了使同一批试件的强度、波速在较大范围内变化, 可采用以下两种方法: 如旨在检验建筑物混凝土强度时, 可采用固定水泥、砂、石比例, 使水灰比在一定范围内上下波动, 在同一龄期测试; 如旨在了解混凝土硬化过程中强度的变化时, 可采用固定混凝土的配合比和水灰比, 在不同龄期进行测试。

- 2) 对于重型回弹仪, 可采用边长 300mm 的立方体试件, 建立强度-回弹值的关系。在浇制 300mm 立方体全级配混凝土大试件的同时, 制作相应湿筛分的边长为 150mm 的立方体小试件。在大试件上测取回弹值, 用小试件测定相应的抗压强度。
- 3) 对于中型、高强回弹仪, 采用边长为 150mm 的立方体试件, 建立强度-回弹值的关系。
- 4) 在试件上选取 2 个相对的测试面。每个测试面取 8 个测点, 对于 300mm 立方体的大试件, 测点可取自同一测试面。测点距试件边缘不小于 30mm。测点布置如图 6.1.4-2 所示。测试时, 将试件用 2.0MPa 压力固定在压力机中。用回弹仪分别水平对准各测点, 测定回弹值, 然后按本规程第 4.2 节测定试件的抗压强度。在加荷破坏后的试块的边缘按本规程第 6.1.3 中第 7 款的规定测量平均碳化深度值。
- 5) 根据实测的抗压强度、回弹值、碳化深度, 以最小二乘法计算出曲线的方程式。中型回弹仪回归方程式宜采用式 (6.1.4-5)。其他类型回弹仪的测强曲线宜参考 6.1.4 中第 5 款之形式。

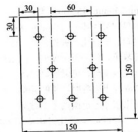


图 6.1.4-2 测点布置图 (单位: mm)

$$f_{ccR0} = aR_m^b 10^{cd_m} \quad (6.1.4-5)$$

式中: f_{ccR0} ——测区混凝土抗压强度, MPa;

R_m ——测区平均回弹值;

d_m ——测区平均碳化深度值, mm;

a 、 b 、 c ——试验常数。

5 当无专用混凝土强度公式时,可根据回弹仪型号,采用下列混凝土强度公式推定:

1) 中型回弹仪,测强曲线适用范围 10MPa~60MPa。

常态非引气混凝土强度查附录 B。

泵送混凝土抗压强度按式 (6.1.4-6) 计算:

$$f_{ccR0} = 0.034488 R_m^{1.9400} 10^{(-0.0173d_m)} \quad (6.1.4-6)$$

引气混凝土抗压强度按式 (6.1.4-7) 计算:

$$f_{ccR0} = 15R_m - 152 \quad (6.1.4-7)$$

2) 高强回弹仪:

标称动能为 4.5J、测强曲线适用范围 50MPa~110MPa,混凝土抗压强度按式 (6.1.4-8) 计算:

$$f_{ccR0} = -7.83 + 0.75R_m + 0.0079 R_m^2 \quad (6.1.4-8)$$

标称动能为 5.5J、测强曲线适用范围 50MPa~80MPa,混凝土

土抗压强度按式 (6.1.4-9) 计算:

$$f_{ccR0} = 2.51246 R_m^{0.889} \quad (6.1.4-9)$$

3) 重型回弹仪,标称动能 29.4J,测强曲线适用范围 10MPa~60MPa,混凝土抗压强度按式 (6.1.4-10) 计算:

$$f_{ccR0} = 7.7 e^{0.04R_m} \quad (6.1.4-10)$$

6 根据各测区的混凝土抗压强度 f_{ccR0} ,计算构件的平均强度 $m_{f_{ccR0}}$ 、标准差 σ 和变异系数 C_v ,以此可评估构件的混凝土强度和均匀性。

6.2 超声回弹综合法检测混凝土抗压强度

6.2.1 目的及适用范围:适用于混凝土抗压强度检测,作为检查混凝土质量的一种辅助手段。不适用于因冻害、化学侵蚀、高温等已造成表面疏松、剥落的混凝土。

6.2.2 仪器设备应符合下列要求:

1 回弹仪宜采用中型回弹仪、4.5J 高强回弹仪和 29.4J 重型回弹仪。回弹仪的要求、性能、适用范围与本规程第 6.1 节相同。

2 所采用的混凝土超声检测仪应具有产品合格证及计量检定证书,符合《混凝土超声检测仪》JG/T 5004 的要求。仪器声时最小分度值为 0.1 μ s。当传播路径在 100mm 以上时,声时的测量误差不应超过 1%。

3 对于测距较短的被测体,如试件,宜用较高频率的换能器 50kHz~100kHz;对于测距较长的被测体,宜采用频率为 50kHz 以下的换能器。换能器耦合介质可用黄油、浓机油、洗手液等。

6.2.3 试验步骤应符合下列要求:

1 测区布置

1) 抽样数量和测区布置同本规程第 6.1.3 条第 3 款。

2) 条件允许时,测区宜优先布置在构件混凝土浇筑侧

面,可在构件的两个对应面或同一面上布置。测区宜均匀布置,相邻两测区的间距不宜大于2m。

- 3) 测区应避免钢筋密集区和预埋件。测区尺寸宜为200mm×200mm,采用平时时宜为400mm×400mm。
- 4) 测试面应清洁、平整、干燥,不应有接缝、施工缝、饰面层、浮浆和油垢,并应避开蜂窝、麻面部位,必要时,可用砂轮片清除杂物和磨平不平整处,并擦净残留粉尘。
- 5) 测区的选择与布置与本规程第6.1节相同。每一个测区由16个回弹测点和4个超声波测点组成,如图6.2.3-1所示。

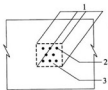


图 6.2.3-1 超声回弹测点示意图

1—超声波测点; 2—回弹测点; 3—测区

2 测试顺序: 结构或构件的每一测区, 先进行回弹测试, 后进行超声测试。

3 回弹测量: 回弹测试、计算及角度、测试面的修正方法应符合本规程第6.1节的规定。超声回弹综合法不考虑碳化深度的影响。

4 超声仪的零读数校正: 对于具有零校正回路的仪器, 应按仪器使用说明书, 用仪器所附的标准棒在测量前校正好零读数, 然后测量, 此时仪器的读数已扣除零读数。对于无零校正回路的仪器, 应事先求得零读数 t_0 , 从每次仪器读数中扣除 t_0 。

零读数按下述方法求得: 以均质材料如有机玻璃棱柱体, 棱柱体的最小边长应大于换能器的直径。准确地测量纵方向尺寸 d_1 和横方向尺寸 d_2 , 并用超声仪测读声波通过纵向和横向的时间 t_1 和 t_2 , 则

$$t_0 = \frac{d_1 t_2 - d_2 t_1}{d_1 - d_2} (\mu s) \quad (6.2.3-1)$$

求 t_0 时, 测量棱柱体的尺寸和测读声波通过的时间应在同一室温下进行, 所用的耦合介质应与在构件上测量时所用的相同。

若仪器附有经过标定传播时间 t_1 的标准棒, 测读通过标准棒的时间为 t_2 , 则 $t_0 = t_2 - t_1$ 。当仪器性能允许时, 也可将发、收换能器辐射面隔着耦合介质薄膜相对地直接接触, 读取这时的时间读数即得 t_0 。

更换换能器时应另求 t_0 值。

5 超声测量:

- 1) 超声测点布置在回弹测试的同一测区内。
- 2) 每个测区4个测点的发射和接收换能器的轴线应在同一轴线上; 测点应避开与声波传播方向平行的钢筋。
- 3) 在测点处涂上耦合剂, 将换能器压紧在相对的测点上。调整仪器增益, 使接收信号首波的幅度至某一幅度, 读取传播时间 t_i 。根据该测区混凝土中4个测点的混凝土声速值, 按式(6.2.3-2)计算该测区的声速平均值:

$$v_m = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{l_i}{t_i} \quad (6.2.3-2)$$

式中: v_m ——测区混凝土中声速平均值, 精确至0.01km/s, km/s;

l_i ——第 i 个测点的超声测距, 精确至1.0mm, mm;

t_i ——第 i 个测点的声时读数, 精确至0.1 μs , μs 。

4) 测量测区的声波传播距离, 精确至1.0mm。

5) 超声测试宜优先采用对测, 当被测构件不具备对测条

件时,可采用单面多点平测。测点仍布置在回弹测区,如图 6.2.3-2 所示。测距宜为 $l=250、300、350、400\text{mm}$,逐点测读相应声时值 t ,用回归分析求出直线方程 $l=a+bt$ 。以回归系数 b 代替对测声速 v 。

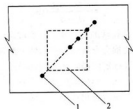


图 6.2.3-2 超声平测测点示意图

1—超声波测点; 2—测区

因平测法只能反映浅层混凝土的质量,所以对于厚度较大的结构混凝土,可采用钻孔对测的方法进行声速测量。

6.2.4 测试结果处理应符合下列要求:

1 回弹值的计算,测试面、浇筑面的修正同第 6.1 节,计算、修正后的回弹值作为测区的回弹代表值 R_c 。4.5J 高强回弹仪以浇筑侧面测试的回弹平均值作为测区的回弹代表值。

2 测区声速代表值计算:

1) 计算测区声速的平均值 v_m ,测区声速代表值 v_c 按式 (6.2.4-1) 计算,计算结果保留至 0.01km/s。

$$v_c = \alpha \beta v_m \quad (6.2.4-1)$$

式中 v_c ——修正后的测区声速代表值, km/s;

v_m ——测区声速的平均值, km/s;

α ——测距修正系数,对测时 α 按表 6.2.4-1 取值,平测时 $\alpha=1$;

β ——超声测试面修正系数, β 取值见表 6.2.4-2。

2) 测距修正系数宜通过对比试验确定,如难以确定可参考表 6.2.4-1。

表 6.2.4-1 超声测试测距修正系数 α 值

测距 (m)	0.15	0.50	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
修正系数	1.000	1.003	1.015	1.023	1.027	1.030	1.031

注:表中未列数值可用内插法求得。

表 6.2.4-2 超声测试面修正系数 β 值

对侧		平测		
浇筑侧面	顶面与底面	浇筑侧面	顶面	底面
1.000	1.034	1.000	1.050	0.950

3 在推定混凝土强度时,宜优先采用专用或地区测强曲线推算。专用测强曲线的建立,可参考本规程第 6.1.4 条第 4 款的规定进行。试块的声速值测量、计算按照本规程第 6.2.3、6.2.4 条第 1、2 款的规定进行。测强曲线回归方程式宜参考本规程第 6.2.4 条第 4 款的规定。

4 当无专用测强曲线时,可采用下列混凝土强度公式推定:

1) 中型回弹仪:

$$\text{当粗骨料为卵石时} \quad f_{\text{CVR}} = 0.0056 v_c^{1.439} R_c^{1.369} \quad (6.2.4-2)$$

$$\text{当粗骨料为碎石时} \quad f_{\text{CVR}} = 0.0162 v_c^{1.656} R_c^{1.410} \quad (6.2.4-3)$$

$$\text{引气混凝土强度} \quad f_{\text{CVR}} = 0.04 v_c^{1.54} R_c^{1.30} \quad (6.2.4-4)$$

2) 4.5J 高强回弹仪:

$$f_{\text{CVR}} = 0.117081 v_c^{0.539038} R_c^{1.33947} \quad (6.2.4-5)$$

3) 29.4J 重型回弹仪:

$$f_{\text{CVR}} = 0.022 v_c^{1.99} R_c^{1.19} \quad (6.2.4-6)$$

式中: f_{CVR} ——构件测区混凝土抗压强度换算值,精确至 0.1MPa,

MPa;

 v_c ——构件测区声速代表值,精确至 0.01 km/s, km/s; R_c ——构件测区回弹代表值,精确至 0.1。

4) 构件的混凝土强度和均匀性评估同本规程第 6.1.4 条第 6 款的方法。

5 当检测条件与测强曲线的适用条件有较大差异或曲线没有经过验证时,应采用同条件立方体试件或从构件测区中钻取混凝土芯样试件的抗压强度进行修正,试件数量不应少于 4 个。测区混凝土强度换算值应乘以式 (6.3.4-6) 得到的修正系数 η 。

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci,i} / f_{CVR0,i} \quad (6.2.4-7)$$

式中: η ——修正系数,精确至 0.01;

$f_{ci,i}$ ——对应于第 i 个边长 150mm 的立方体试件或 $\phi 100 \times 100$ mm 的芯样试件的抗压强度实测值,精确至 0.1MPa, MPa;

$f_{CVR0,i}$ ——对应于第 i 个立方体或芯样的混凝土抗压强度换算值,精确至 0.1MPa, MPa。

6.3 射钉法检测混凝土强度

6.3.1 目的及适用范围:估测混凝土强度。一般适用于现场混凝土强度等级为 C10~C40 的混凝土。

6.3.2 基本原理:用射钉仪以一定能量的火药将一特制射钉射入混凝土。射钉长度和直径一定时,其外露长度取决于混凝土的力学性能。

射钉外露长度与混凝土强度有着良好的相关性,通过试验建立两者关系曲线,据此估算所测混凝土强度。

6.3.3 试验设备应符合下列要求:

1 射钉装置:

1) 专用射钉仪。能以精确控制的能量把射钉射出,使射

钉嵌入混凝土内一定深度。

2) 射钉。合金钢射钉,钉身应镀铬或镀锌。射钉长 75mm 左右,直径 4mm~7mm,其长度的变异系数应小于 0.005。

3) 射钉弹。金属外壳,内装一定能量的火药。

2 量具:最小分度为 0.02mm 的游标卡尺。

3 测量基准板:为中间有孔、厚度 10mm 的金属盖板。作为测量外露长度的基准面,其外形尺寸见图 6.3.3。

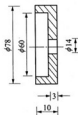


图 6.3.3 测量基准板 (单位: mm)

6.3.4 试验步骤应符合下列要求:

1 当首次启用射钉装置时,首先应确定其标准状态,方法如下:

1) 将一块型号为 LY12 的铝合金板平稳地置于坚实的地面。铝合金板面积不小于 0.1m^2 、厚度 40mm 以上且不小于射钉的最大射入深度。

2) 从所采用的一批射钉和射钉弹中各随机取出 30 枚,在铝合金板上向下射钉 30 次。射钉间距不小于 30mm,射钉距铝合金板边缘距离不得小于 20mm。

3) 量取各射钉外露长度 L_i , 准确至 0.1mm。

4) 按式 (6.3.4-1)、式 (6.3.4-2)、式 (6.3.4-3) 计算平

均外露长度 L_0 、外露长度标准差 S 及变异系数 C_V 。

$$L_0 = \frac{\sum_{i=1}^{30} L_i}{30} \quad (\text{mm}) \quad (6.3.4-1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} (L_i - L_0)^2}{30}} \quad (\text{mm}) \quad (6.3.4-2)$$

$$C_V = \frac{S}{L_0} \quad (6.3.4-3)$$

5) 若计算出的 C_V 值小于 0.02 时, 表示该射钉装置的重复性能合格。将此时所获得的外露长度平均值 L_0 定为该装置的标准外露值。

2 凡属于以下情况之一者, 均应复验射钉装置的标准外露值。

- 1) 启用新购的同型号射钉和射钉弹前;
- 2) 进行工程检测或试验前;
- 3) 累计射钉达 100 次时。

每次在铝合金板上复验标准外露长度时, 射钉次数应不小于 3 次。当该次射钉外露长度平均值 L 满足式 (6.3.4-4) 时, 可认为该装置仍处于标准状态。若不满足式 (6.3.4-4), 则应找出原因, 重新检验。若仍不符合, 则应将该射钉仪作为首次启用的新装置来重新确定标准状态。

$$\left| \frac{L_0 - L}{L_0} \right| \leq 4\% \quad (6.3.4-4)$$

式中: L_0 ——标准外露值, mm;

L ——复验时平均外露值, mm。

3 混凝土强度与射钉外露长度关系的标定:

- 1) 试件制作。为建立混凝土强度与射钉外露长度的关系, 需制作一批大试件和同条件的小试件, 分别用

于射钉和强度试验。试件的材料和养护条件应与现场构筑物相同。大小试件的拌和、振捣和养护情况应相同。

试件尺寸: 大试件采用边长为 400mm 的立方体。立方体的 4 个浇注侧面用于射钉, 也可采用其他形状尺寸的试件, 如壁形试件。小试件尺寸为边长 150mm 的立方体。

试件数量: 大试件的每一浇注侧面与相应 3 个同条件小试件为一对应试验组, 试验组不宜少于 30 组。

标定用的试件应具有不同的强度, 且有较大变化范围, 至少应覆盖需检测的构筑物混凝土强度的变化范围。可采用改变水灰比或在不同龄期 (不宜小于 7d) 进行试验。

- 2) 试件射钉测试。测点布置在大试件的侧面, 位置如图 6.3.4 所示, 每个测试面布置 5 个射击点, 为一试验组。

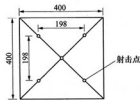


图 6.3.4 试件测点布置 (单位: mm)

试件平稳放置于坚硬平地上, 使测试面向上。

将射钉、射钉弹先后装入经检验为标准状态的射钉仪, 按固定位置把射钉仪对准混凝土测试面射击点, 射钉仪压紧在测试面上击发, 把射钉射入混凝土。射钉嵌入不牢固者不得作为试验结果, 应在附近补射。在射钉上套上测量基准板, 以游标卡尺测量射钉外露尾端至基准板面的垂直距离, 并作记录。计算外露长度值时应加上基准板厚度。如果射钉周围有混凝土鼓起, 应处理平整后再测量。

射钉与射钉弹型号应与所测混凝土强度等级相配，使射钉能射入混凝土，又外露一定长度。

- 3) 试件抗压强度试验。射钉试验后，应随即进行小试件的强度试验。试验按本规程第 4.2 节规定执行。
- 4) 结果整理。检查每一试验组的 5 个射钉外露长度值的极差是否满足表 6.3.4 给出的容许极差。超出规定时，应将 5 个测值平均，剔除离平均值最远的那个测值，若所剩测值仍不满足，再按以上方法进行剔除。所剩测值满足极差要求且不少于 3 个，以满足极差要求测值的平均值作为该试验组的外露长度值 L_d 。与大试件对应的 3 个小试件的强度平均值为 m_{fcc} 。采用最小二乘法原理回归出曲线的方程式。回归线的精度应不大于 2 倍的剩余标准差。

表 6.3.4 外露长度的容许极差 (mm)

材 料		3 个测值的容许极差
砂 浆		6
混凝土	20	8
	40	11
	80	15
	150	15

- 5) 曲线的适用性。以上建立的关系曲线仅限于标定所使用的射钉装置，即一台射钉仪、一种型号射钉及射钉弹对应一条标定曲线。

当被测混凝土与建立测强曲线混凝土的粗骨料品种、强度、粒径及混凝土干湿状态等因素有较大差异时，应另建立条件相同的测强曲线，或采用在测点处钻取混凝土芯样进行强度试验的方法进行修正。

4 现场测试：

- 1) 被测混凝土龄期不宜小于 7d，所测结构混凝土厚度不得小于 150mm。
- 2) 被测构件的测区数量及布置按测试目的和构件情况而定，但测区数不得少于 3 个。每个测区布置 3 个测点，测点位置宜布置在边长为 200mm 的等边三角形内。射钉之间距离不得小于 140mm，射钉点与混凝土边缘相距不得小于 100mm。测点表面应平整。
- 3) 如果每个测区 3 个测值的极差超出表 6.3.4 的规定，应当补射第 4 个射钉，剔除离 4 个测值平均值最大的那个数据。若其余 3 个测值仍不能满足要求，再发射第 5 个射钉按上述方法进行处理。如果仍不满足要求，应重新选择测区进行试验。

6.3.5 试验结果处理应符合下列要求：

- 1 将满足极差规定的 3 个外露长度的平均值作为该测区的试验结果。按强度-外露长度的关系式换算出各测区的混凝土强度值。
- 2 统计计算被测构件的平均强度，用以推定该构件混凝土现有强度。当测区数量较多时，可计算强度标准差和变异系数，以此评估构件强度均匀性。

射钉仪使用完毕之后，应将其拆卸，用汽油或柴油将各部件清洗干净，再用机油擦拭后复原。

6.3.6 安全事项：

- 1) 操作人员应经过专门上岗培训。
- 2) 操作前应首先检查射钉仪是否有保险装置。
- 3) 发射时应安装保护罩。
- 4) 应先装射钉，后装子弹。若已装钉、弹而不拟发射时，应先卸弹后卸钉。
- 5) 射钉及子弹安装后管口向下，不得将射钉仪管口朝向

人体,以防意外。

- 6) 混凝土表面不平整,保持罩不能贴紧表面时,不得匆忙发射,应当将表面处理平整再发射。
- 7) 发射时,非操作人员不得靠近射击点。
- 8) 射钉弹放置和运输时,应妥善保管,不得靠近火源、受潮和受挤压。

6.4 钻芯法检测混凝土强度

6.4.1 目的及适用范围: 测定混凝土芯样圆柱体试件的抗压强度与劈裂抗拉强度,用以核查和验证建筑物混凝土强度。

6.4.2 仪器设备应符合下列要求:

- 1 试验机:应符合本规程第 4.2.2 条的规定。
- 2 锯石机。
- 3 磨石机。
- 4 卡尺、钢尺等。

6.4.3 试验步骤应符合下列要求:

1 芯样的钻取:

- 1) 芯样宜在下列部位钻取:结构或构件受力较小的部位;混凝土强度具有代表性的部位;便于钻芯机安放与操作的部位;避开主筋、预埋件和管线的位置。
- 2) 芯样应做标记。当所取芯样高度和质量不能满足要求时,应重新钻取芯样。
- 3) 芯样应采取保护措施,避免在运输和贮存中损坏。
- 4) 钻芯后留下的孔洞应及时修补。

2 芯样的直径不宜小于骨料最大粒径的 3 倍,宜大于 100mm;也可采用小直径芯样试件,但其直径不应小于 70mm,且不得小于骨料最大粒径的 2 倍。抗压芯样试件按高径比(高度与直径的比值)1.0 截取,抗压和劈裂抗拉试验均以 3 个试件为 1 组。

3 锯切后的芯样应进行端面处理,宜采取在磨平机上磨平端

面的处理方法。承受轴向压力芯样试件的端面,也可采取下列处理方法:

- 1) 用环氧胶泥或聚合物水泥砂浆补平;
- 2) 抗压强度低于 40MPa 的芯样试件,可采用水泥砂浆、水泥净浆或聚合物水泥砂浆补平,补平层厚度不宜大于 5mm;也可采用硫磺胶泥补平,补平层厚度不宜大于 1.5mm。

试件端面抹水泥浆(砂浆)后,需经一定时间的养护,保证试验时不在水泥浆(砂浆)处破坏。

4 试验前应按下列规定测量芯样试件的尺寸:

- 1) 试件直径用游标卡尺在芯样试件中部相互垂直的两个位置上测量,取 2 个测值的平均值作为试件的直径,精确至 0.5mm;
- 2) 试件高度在试件侧面不同位置量测 2 次,取 2 个测值的平均值作为试件的高度,精确至 1mm;
- 3) 垂直度用游标量角器测量试件两个端面与母线的夹角,精确至 0.1°;
- 4) 平整度用钢板尺或角尺紧靠在芯样试件端面上,一面转动钢板尺,一面用塞尺测量钢板尺与芯样端面之间的缝隙;也可用其他专用工具量测。

5 芯样试件尺寸偏差及外观质量超过下列数值时,相应的测试数据无效:

- 1) 芯样试件的实际高径比小于 0.95 或大于 1.05;
- 2) 沿芯样试件高度任一直径与平均直径相差大于 2mm;
- 3) 抗压芯样试件端面的不平整度在 100mm 长度内大于 0.1mm;
- 4) 芯样试件端面与轴线的不垂直度超过 1°;
- 5) 芯样试件有裂缝或有其他较大缺陷。

6 试件在试验前需泡入水中 4d,使达到饱和,然后分别按

本规程第4.2节及第4.3节的规定进行芯样试件的抗压强度和劈裂抗拉强度试验。劈裂荷载可在两圆形端面施加，垫条通过圆心并相互平行，垫条长度应大于母线长。

6.4.4 试验结果处理应符合下列要求：

- 1 抗压强度按式(6.4.4-1)计算，计算结果保留至0.1MPa：

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} = 1.273 \frac{F}{D^2} \quad (6.4.4-1)$$

式中： f_c ——芯样试件抗压强度，MPa；

F ——破坏荷载，N；

D ——试件直径，mm。

- 2 劈裂抗拉强度按式(6.4.4-2)计算，计算结果保留至0.01MPa：

$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi DL} = 0.637 \frac{F}{DL} \quad (6.4.4-2)$$

式中： f_{ts} ——劈裂抗拉强度，MPa；

F ——破坏荷载，N；

D ——试件直径，mm；

L ——试件长度，mm。

- 3 高径比为1.0的芯样试件抗压强度，换算成150mm×150mm×150mm立方体的抗压强度，应乘以一换算系数：

$$f_{cc} = A f_c \quad (6.4.4-3)$$

式中： f_{cc} ——150mm×150mm×150mm立方体试件的抗压强度，MPa；

f_c ——高径比为1.0的芯样试件抗压强度，MPa；

A ——换算系数，见表6.4.4。

- 4 对大体积混凝土，以3个试件测值的平均值作为试验结果。对单个普通构件混凝土，以3个试件测值的最小值作为试验结果。

表 6.4.4 芯样和边长150mm的立方体试件之间抗压强度换算系数

芯样尺寸 (mm)	φ100×100	φ150×150	φ200×200
换算系数 A	1.00	1.04	1.18

6.5 钻芯法检测混凝土抗渗性

6.5.1 目的及适用范围：从混凝土结构或构件上钻取芯样，制备抗渗试件，测定混凝土芯样的抗渗性。

6.5.2 仪器设备应符合下列要求：

- 1 取芯机。宜采用轻便型混凝土取芯机。
- 2 取芯钻头。宜采用人造金刚石薄壁钻头。
- 3 切割机。可选用岩石切割机，切割方式有手动或自动两种型式。
- 4 混凝土抗渗仪。
- 5 试模。规格为上口直径175mm，下口直径185mm，高150mm的截头圆锥体。
- 6 密封材料，如石蜡加松香、水泥加黄油等。
- 7 螺旋加压器、烘箱、电炉、浅盘、钢丝刷。

6.5.3 芯样试件尺寸应符合下列要求：

标准抗渗芯样：直径150mm，高150mm。

非标准抗渗芯样：直径100mm，高150mm。

6.5.4 试验步骤应符合下列要求：

- 1 将芯样试件四周打毛并润湿后立于试模中央，在芯样试件四周以快硬水泥砂浆填充并振捣密实，放在水中养护3d。
- 2 按本规程第4.24节的规定进行抗渗性试验。

6.5.5 试验结果处理应符合本规程第4.24.4条的规定。

6.6 钻芯拉拔法检测混凝土黏结强度

6.6.1 目的及适用范围：现场测定新老混凝土之间或混凝土与其

DL/T 5150—2017

他材料之间的黏结强度。

6.6.2 仪器设备应符合下列要求：

- 1 钻芯机，孔径 $\phi 50\text{mm} \sim \phi 200\text{mm}$ ，钻孔直径宜大于骨料最大粒径的3倍。
- 2 黏结强度测试仪（套）（见图6.6.2）。

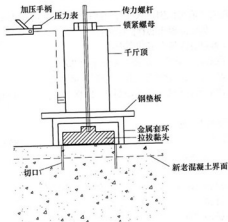


图 6.6.2 试验装置示意图

6.6.3 试验步骤应符合下列要求：

- 1 根据实际情况，正确选用拉力显示表的量程。
- 2 确定检测部位，将检测部位混凝土表面打磨平整，如果混凝土内有钢筋，需要采用钢筋定位仪，对测量区域进行扫描，确定出无钢筋的可测区域，避免钻芯样时遇到钢筋。
- 3 采用取芯设备在被测部位周边切口成芯，切口应深入老混凝土内不小于15mm，也不宜太深。

4 用黏结剂将拉拔黏头与混凝土芯样表面紧密地粘接在一起，要求拉拔黏头与混凝土之间的黏结强度大于被测材料之间的黏结强度。

5 黏结剂固化后，在拉拔黏头外侧安装金属套环和找平钢垫片，将传力螺杆安装在金属拉拔黏头上，同时套上千斤顶并用螺母固定。

6 将千斤顶与压力表连接在一起，通过加压手柄对千斤顶加压。加压荷载速度要均匀，控制在 0.4MPa/min 左右，直至钻取的混凝土芯样与混凝土本体断开，此时，压力表显示的数值即为混凝土断裂时的荷载。记录最终的加载值及断裂部位。

6.6.4 试验结果处理应符合下列要求：

1 测量芯样直径的平均值时，芯样断裂面四周以均匀的间距测量4个直径值，并计算4个测值的平均值，以mm为单位，精确至 $\pm 1\text{mm}$ 。

2 按式(6.6.4)计算黏结强度，计算结果保留至 0.001MPa ：

$$T = \frac{4F}{\pi D^2} = 1.273 \frac{F}{D^2} \quad (6.6.4)$$

式中：T——黏结强度，MPa；

F——断裂时荷载，N；

D——试件芯样直径平均值，mm。

3 一般以5个试件为1组，计算5个试件测值的平均值作为试验结果，若单个试件测值超过平均值的 $\pm 25\%$ 时，应予剔除，取其余试件强度的平均值为试验结果，结果精确至 0.01MPa 。当5个试件测值中有效值不足3个时，该组试验结果无效。

4 如果破坏面发生在拉拔黏头与混凝土之间，应重新将拉拔黏头粘接到混凝土芯样表面，待强度达到要求后进行拉拔试验。

5 测试报告内容包括试验日期、测量温度($^{\circ}\text{C}$)和相对湿度(%)、试件编号、养护方法、试件龄期、破坏荷载(N)、黏结强度(MPa)、破坏情况描述及其他。

6.6.5 注意事项:

- 1 每个测试点之间的距离不小于圆盘直径的 2 倍。
- 2 钻机要安装平稳, 避免对黏结界面造成较大扰动。
- 3 钻头应垂直混凝土表面钻入, 圆柱型芯样轴线应尽量与黏结界面垂直。
- 4 拉拔粘头要有一定的刚度。拉拔粘头与芯样端面要同心。在用拉拔仪做拉拔试验时, 保证拉拔力垂直于黏结界面。

6.7 混凝土中钢筋半电池电位试验

6.7.1 目的及适用范围: 本方法适用于现场定性评估钢筋混凝土结构及构件中钢筋的锈蚀性状; 不适用于带涂层的钢筋及混凝土已饱水或接近饱水的构件的检测。钢筋的实际锈蚀状况宜进行剔凿实测验证。

6.7.2 基本原理: 混凝土中钢筋半电池电位, 是测点处钢筋表面微阳极和微阴极的混合电位。当构件中钢筋表面阴极极化性能变化不大时, 钢筋半电池电位主要决定于阳极性状: 阳极钝化, 电位偏正; 活化, 电位偏负。

6.7.3 仪器设备应符合下列要求:

1 检测设备可采用市售或自制的半电池电位法钢筋锈蚀检测仪 (以下通简称为钢筋锈蚀检测仪)。

2 钢筋锈蚀检测仪:

- 1) 铜-硫酸铜参比电极: 内径不小于 20mm、长度不小于 100mm 的玻璃或刚性塑料管, 下端塞一软木塞, 上端用橡皮塞或火漆封闭。管内灌满饱和硫酸铜溶液 (有一定量硫酸铜晶体积聚在溶液底部时, 即认为此溶液已饱和); 通过橡皮塞在溶液中插入一根直径不小于 5mm 的紫铜棒。紫铜棒预先经过擦锈、去脂。在电极下端软木塞外面用海绵包裹。测量前电极下端浸在硫酸铜溶液中备用。

2) 直流电压表, 满量程不宜小于 1000mV, 最小分刻度 10mV, 输入阻抗应不低于 10MΩ。在满量程范围内的测试允许误差为 ±3%。

3) 电瓶夹头一只; 导线, 总长不宜超过 150m, 截面积宜大于 0.75mm²。在使用长度内因电阻干扰所产生的测试回路电压降不应大于 0.1mV。

3 硫酸铜溶液应根据使用时间给予更换, 更换后宜采用甘汞电极进行校准。在室温为 22℃±1℃时, 铜-硫酸铜电极与甘汞电极之间的电位差应为 68mV±10mV。

6.7.4 试验步骤应符合下列要求:

1 在混凝土结构及构件上可布置若干测区, 测区面积不宜大于 5m×5m, 并应按确定的位置编号。每个测区应采用矩阵形、列形式布置测点, 依据被测结构及构件的尺寸, 宜用 100mm×100mm~500mm×500mm 划分网格, 网格的节点应为电位测点。当相邻两测点测值代数之差超过 150mV 时, 应适当缩小测点间距。

2 在构筑物表面, 与内部钢筋网的露头钢筋电连接上, 用电瓶夹头引出导线。钢筋与夹头电连接处, 预先用砂布除锈、擦光。引出的导线接电压表的正极。若无可供电连接的露头钢筋时, 在构筑物表面某一处凿去混凝土保护层, 使钢筋暴露, 并引线。连接处的钢筋表面应除锈或清除污物, 并保证导线与钢筋有效连接。

3 从铜-硫酸铜参比电极的紫铜棒上引出导线, 接电压表的负极。

4 在混凝土较干的情况下, 测区混凝土上应预先充分浸湿。可在饮用水中加入适量约 2% 家用液态洗涤剂配制导电溶液, 在测区混凝土表面喷洒, 半电池的电极连接垫与混凝土表面测点应有良好的耦合。

5 将铜-硫酸铜参比电极下端依次放置在各测点处, 同时电

极纵轴线保持与构件表面垂直, 读出并记录各测点的钢筋半电池电位, 精确至 10mV, 如图 6.7.4 所示。在水平向或垂直向上测量时, 要确保参比电极中硫酸铜溶液始终与软木塞、紫铜棒接触。

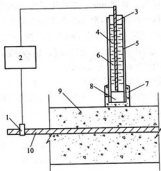


图 6.7.4 测定钢筋半电池电位

1—电极夹; 2—电压表; 3—橡皮塞; 4—紫铜棒; 5—刚性塑料管;
6—饱和硫酸铜溶液; 7—海绵; 8—软木塞; 9—混凝土; 10—钢筋

6 半电池检测系统稳定性应符合下列要求:

- 1) 在同一测点, 用相同半电池重复 2 次测得该点的电位差值应小于 10mV;
- 2) 在同一测点, 用 2 只不同的半电池重复 2 次测得该点的电位差值应小于 20mV。

7 当检测环境温度在 $22^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围之外时, 应按式 (6.7.4-1) 和式 (6.7.4-2) 对测点的电位值进行温度修正:

当 $T \geq 27^{\circ}\text{C}$:

$$V = 0.9 \times (T - 27.0) + V_R \quad (6.7.4-1)$$

当 $T \leq 17^{\circ}\text{C}$:

$$V = 0.9 \times (T - 17.0) + V_R \quad (6.7.4-2)$$

式中: V ——温度修正后电位值, 精确至 1mV;

V_R ——温度修正前电位值, 精确至 1mV;

T ——检测环境温度, 精确至 1°C ;

0.9——系数, mV/ $^{\circ}\text{C}$ 。

6.7.5 试验结果处理应符合下列要求:

测量结果可按以下两种方法处理:

1 绘制构件表面钢筋半电池等电位图, 如图 6.7.5 所示。它提供了构件中可能发生钢筋腐蚀活动性区域图。在一比例适当的构件表面图上, 点绘出各测点的位置和测值。通过电位等值点和内插等值点, 画等电位线。等电位线的最大间隔应为 100mV。

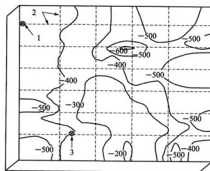


图 6.7.5 电位等值线示意图

1—钢筋锈蚀检测仪与钢筋连接点; 2—钢筋; 3—铜-硫酸铜半电池

2 绘出累积频率图。它提供了构件中钢筋腐蚀活动区域的大小及占比。将所有的半电池电位按其负值从小到大排列, 电位相同的测点之间可任意排列次序, 并连续编号。按式 (6.7.5) 计算各测值的累积频率:

$$f_k = \frac{r}{\sum n+1} \times 100 \quad (6.7.5)$$

式中: f_k ——所测值的累积频率, %;

r ——各个半电池电位的排序;

$\sum n$ ——总测值个数。

累积频率图的纵坐标为半电池电位 (mV), 横坐标为累积频率 (%)。根据各测点的半电池电位和累积频率, 在图上绘出累积频率曲线。

3 评估标准

当采用半电池电位值评价钢筋锈蚀性状时, 应根据表 6.7.5 进行判断。

表 6.7.5 半电池电位值评价钢筋锈蚀性状的判据

电位水平 (mV)	钢筋锈蚀性状
> -200	不发生锈蚀的概率 > 90%
-200 ~ -350	锈蚀性状不确定
< -350	发生锈蚀的概率 > 90%

7 水泥砂浆

7.1 水泥砂浆室内拌和与现场取样

7.1.1 目的及适用范围: 为室内试验提供砂浆拌和物。

7.1.2 一般规定:

1 在拌和砂浆时, 拌和间温度宜在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, 当模拟施工用砂浆时, 所用原材料的温度宜与施工现场保持一致。对所拌制的砂浆拌和物应避免阳光直射。

2 砂料应以 5.0mm 筛过筛, 翻拌均匀。水泥如有结块, 应用 0.9mm 筛将结块筛除。

3 材料用量以质量计。称量精度: 水泥、水和外加剂为 $\pm 0.3\%$; 砂料为 $\pm 0.5\%$ 。

4 砂料用量以饱和面干质量为准。多余水分经测定后在拌和用水中扣除, 在称量砂料时加上相应的水的质量。

7.1.3 仪器设备应符合下列要求:

- 1 砂浆搅拌机应符合 JG/T 3033《试验用砂浆搅拌机》的规定。
- 2 其余设备应符合本规程第 3.1.2 条的规定。

7.1.4 拌和应符合下列要求:

- 1 人工拌和。
 - 1) 将拌和用具清洗干净并保持润湿。
 - 2) 将称好的砂料、胶凝材料 (水泥及硅灰、粉煤灰、矿渣等掺合料) 倒在铁板上, 用铁铲拌和至颜色均匀, 集中成堆, 在堆中挖一凹坑, 倒入约 $2/3$ 的拌和用水及外加剂 (溶解于水中加入), 然后将干料与水一起小心拌和至基本均匀, 重新将材料集中成堆, 作一凹

坑,倒入剩余的水,仔细拌和均匀即可。拌和用水不得流失。拌和时间自加水时算起5min内完成。

2 机械拌和。

- 1) 将机内清洗干净并保持润湿。先拌制少量与试验砂浆同配合比的砂浆,使搅拌机内壁挂浆,后将剩余料卸出。
- 2) 将称好的砂料、水泥、掺合料、水、外加剂倒入机内,立即开动搅拌机,搅拌时间不宜少于120s。掺有掺合料和外加剂的砂浆,其搅拌时间不应少于180s。
- 3) 采用机械拌和时,一次拌和量不宜少于搅拌机容量的20%;不宜大于搅拌机容量的80%。

7.1.5 现场取样应符合下列要求:

1 水泥砂浆现场取样应从同一盘砂浆或同一车砂浆中取样,取样量不应少于试验所需量的4倍。

2 当施工过程中进行砂浆试验时,砂浆取样方法应按相应的施工验收规范执行,并宜在现场搅拌点或预拌砂浆卸料点的至少3个不同部位及时取样。对于现场取得的试样,试验前应人工搅拌均匀。

3 从取样完毕到开始进行各项性能试验,不宜超过15min。

7.2 水泥砂浆稠度试验

7.2.1 目的及适用范围:测定砂浆的流动性,用于确定砂浆配合比或施工时控制砂浆用水量,本方法适用于稠度小于120mm的砂浆。

7.2.2 仪器设备应符合下列要求:

1 砂浆稠度仪。由试锥、容器和支座三部分组成,如图7.2.2所示。试锥高度为145mm,锥底直径为75mm,试锥连同滑杆的质量应为 $300\text{g} \pm 2\text{g}$;盛砂浆容器由钢板制成,筒高为180mm,锥筒上口内径为150mm;支座分底座、支架及稠度显示三个部分,

由铸铁、钢及其他金属制成。

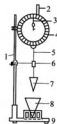


图 7.2.2 砂浆稠度仪示意图

1—支架; 2—齿条测杆; 3—指针; 4—刻度盘;

5—滑杆; 6—固定螺钉; 7—圆锥体; 8—圆锥筒; 9—底座

2 钢制捣棒。直径12mm、长250mm,一端为弹头形。

3 秒表等。

7.2.3 试验步骤应符合下列要求:

1 按本规程第7.1节的规定制备砂浆。

2 盛浆容器和试锥表面用湿布擦干净,并用少量润滑油轻擦滑杆,后将滑杆上多余的油用吸水纸擦净,使滑杆能自由滑动。

3 将砂浆拌和物一次装入容器,使砂浆表面低于容器口约10mm,用捣棒自容器中心向边缘插捣25次,前12次需插到筒底,然后轻轻地使容器摇动或敲击5次~6次,使砂浆表面平整,随后将容器置于稠度测定仪的底座上。

4 拧开试锥滑杆的制动螺钉,向下移动滑杆,当试锥尖端与砂浆表面刚接触时,拧紧制动螺钉,使齿条测杆下端恰好接触滑杆上端,并将指针对准零点。

5 拧开制动螺钉,同时计时,经10s立即拧紧制动螺钉,将齿条测杆下端接触滑杆上端,从刻度盘上读出试锥下沉深度,计算结果保留至1mm,即为砂浆的稠度值。

6 圆锥形容器内的砂浆只允许测定一次稠度，重复测定时，应重新取样。

7.2.4 试验结果处理应符合下列要求：

- 1 以 2 次测值的平均值作为试验结果，计算结果保留至 1mm。
- 2 2 次测值之差如大于 10mm，或任一测值超出平均值的 10%，则应另取砂浆搅拌后重新测定。

7.3 水泥砂浆泌水率试验

7.3.1 目的及适用范围：测定水泥砂浆的泌水率，作为衡量水泥砂浆和易性的指标之一。

7.3.2 仪器设备应符合下列要求：

- 1 容量筒：直径 137mm、高 137mm、容积 2L，带盖。如无盖，也可用玻璃板代替。
- 2 振动台：应符合本规程第 4.1.2 条的规定。
- 3 跳桌：跳桌圆盘直径 300mm±1mm；跳动部分总质量 3.45kg±0.02kg；圆盘跳动落距 10mm±0.1mm。
- 4 量筒：100mL 带塞量筒，精确至 1mL。
- 5 天平：称量 200g，感量不大于 0.1g；称量 2000g，感量不大于 1g。
- 6 其他：直径 12mm、长 250mm、一端为弹头形的金属捣棒、吸液管等。

7.3.3 试验步骤应符合下列要求：

- 1 按本规程第 7.1 节的规定制备砂浆。
- 2 将容量筒内壁润湿并称其质量。
- 3 将拌制好的砂浆试样分别装入 2 个容量筒内，当砂浆的稠度小于 6cm 时，一次装料，采用振捣法，即将装有砂浆的容量筒放在振动台上振 15s 或在跳桌上跳 120 次；当砂浆稠度在 6cm 以上时采用插捣法。此时，砂浆分 2 层装入容量筒，每装一层后，

用捣棒在砂浆的全部面积上，沿螺旋线由边缘向中心插捣 25 下，第一层插捣到距筒底 10mm 左右处，第二层插捣至下层表面 20mm~30mm 深处。如有空坑，轻轻填平。捣实后的砂浆表面离筒口约 1cm，分别称取容量筒和砂浆总质量。

4 将容量筒盖好盖，静置于无振动处。

5 自静置时起，30min 内，每隔 15min 测一次泌水量，以后每 30min 测一次泌水量，直到连续 3 次吸不出水为止。

6 吸取泌水时提前 2min 用 15mm 左右高的垫块将容量筒一侧垫高，使泌水集中，用吸管吸出泌水注入带盖量筒内，记录每次泌水的累计量，精确至 1mL。每次吸完水后，再把容量筒轻轻放平，不得扰动砂浆。

7.3.4 试验结果处理应符合下列要求：

- 1 泌水率按式 (7.3.4) 计算，计算结果保留至 1%：

$$B_m = \frac{m_b}{(m/G)G_1} \times 100\% \quad (7.3.4)$$

式中： B_m ——泌水率，%；

m_b ——泌水总质量，g；

m ——一次拌和的总用水量，g；

G ——一次拌和的砂浆总质量，g；

G_1 ——试样质量，g。

- 2 以 2 次测值的平均值作为试验结果。

- 3 需要时可绘制时间与砂浆泌水累计量的关系曲线。

7.4 水泥砂浆密度试验及含气量计算

7.4.1 目的及适用范围：测定砂浆拌和物单位体积质量及计算其含气量。用于计算每立方米砂浆的材料用量和控制引气剂掺量等。

7.4.2 仪器设备应符合下列要求：

- 1 砂浆容量筒：由金属制成，内径为 108mm，净高为 109mm，

筒壁厚为 2mm~5mm, 容积为 1L。

- 2 天平: 称量 5kg, 感量不大于 1g。
- 3 砂浆稠度仪: 与本规程第 7.2 节所用稠度仪相同。
- 4 振动台、跳桌: 与本规程第 7.3 节相同。
- 5 金属捣棒: 直径 12mm、长 250mm、一端为弹头形。

7.4.3 试验步骤应符合下列要求:

- 1 按本规程第 7.1 节的规定制备砂浆。
- 2 按本规程第 7.2 节的规定测定其稠度。
- 3 称空容量筒质量, 准确至 1g, 将拌和好的砂浆一次装入

容量筒内并稍有富余。当砂浆稠度小于 60mm 时, 采用振捣法, 即将装有砂浆的容量筒放在振动台上振 15s, 或在跳桌上跳 120 次; 当砂浆稠度大于 60mm 时, 用捣棒由边缘向中心均匀地人工插捣 25 次, 当插捣过程中砂浆沉落到低于筒口时, 应随时添加砂浆, 再用木锤沿容器外壁敲击 5 下~6 下。

4 捣实后刮去多余砂浆, 抹净筒壁, 称出筒及砂浆总质量, 准确至 1g。

- 5 每种砂浆测定 2 次。

7.4.4 试验结果处理应符合下列要求:

- 1 砂浆密度按式 (7.4.4-1) 计算, 计算结果保留至 10kg/m³:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000 \quad (7.4.4-1)$$

式中: ρ ——砂浆密度, kg/m³;

m_2 ——容量筒及砂浆总质量, kg;

m_1 ——容量筒质量, kg;

V ——容量筒的容积, L。

以 2 次测值的平均值作为试验结果, 若任一测值超出平均值的 10%, 则应另取砂浆搅拌后重新测定。

- 2 砂浆的含气量按式 (7.4.4-2) 计算, 计算结果保留至 0.1%:

$$A = \frac{\rho_1 - \rho}{\rho_1} \times 100\% \quad (7.4.4-2)$$

式中: A ——砂浆含气量, %;

ρ_1 ——不计含气时砂浆的理论密度, kg/m³。

含气量公式中含外加剂组分, 若外加剂与胶凝材料用量比小于 1%, 可忽略不计, 按式 (7.4.4-3) 计算:

$$\rho_1 = \frac{m_c + m_s + m_w + m_p + m_a}{m_c / \rho_c + m_s / \rho_s + m_w / \rho_w + m_p / \rho_p + m_a / \rho_a} \quad (7.4.4-3)$$

式中: m_c 、 m_s 、 m_w 、 m_p 、 m_a ——配制试验砂浆时水泥、砂、水、掺合料、外加剂的质量, kg;

ρ_c 、 ρ_s 、 ρ_w 、 ρ_p 、 ρ_a ——水泥密度, 砂的饱和面干表观密度, 水、掺合料和外加剂的密度, kg/m³。

- 3 容量筒的容积可按本规程第 3.7.3 条中的方法进行校正。

7.5 水泥砂浆含气量试验

7.5.1 目的及适用范围: 本方法采用砂浆含气量测定仪测定砂浆含气量, 主要用于控制砂浆中引气剂掺量等。

当测试结果与本规程第 7.4 节的含气量计算结果不一致时, 以本方法测试结果为准。

7.5.2 仪器设备应符合下列要求:

- 1 砂浆含气量测定仪。其示意图见图 7.5.2。含气量测试量程 20%, 量钵容积 1L。含气量测值 1%~8% 时的精度为 $\pm 0.1\%$, 测值 8%~12% 时的精度为 $\pm 0.2\%$, 测值 12%~20% 时的精度为 $\pm 0.3\%$ 。

- 2 捣棒。

- 3 打气筒、木锤、水桶、抹刀、刮尺和尺寸约 200mm×200mm 的玻璃板等。

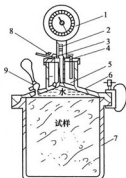


图 7.5.2 砂浆含气量测定仪示意图

1—压力表；2—出气阀；3—阀门杆；4—打气筒；

5—气室；6—钵盖；7—量钵；8—微调阀；9—小龙头

7.5.3 试验步骤应符合下列要求：

- 1 按本规程第 3.10.3 条的规定率定含气量测定仪。
- 2 量钵应水平放置，并将搅拌好的砂浆分 3 次均匀地装入量钵内。每层由内向外插捣 25 次，并应用木锤在周围敲数下，插捣上层时，捣棒应插入下层 10mm~20mm。
- 3 捣实后，刮去多余砂浆，并用抹刀抹平表面，表面应平整，无气泡。
- 4 盖上测定仪钵盖部分，卡扣应卡紧，不得漏气。
- 5 打开两侧阀门，并松开上部微调阀，再用注水器通过注水阀门注水，直至水从排水阀流出。水从排水阀流出时，应立即关紧两侧阀门。
- 6 关紧所有阀门，并用气筒打气加压，再用微调阀调整指针为零。按下按钮，压力表指针稳定后读数。与率定得到的含气量与压力表读数的关系曲线对照，得到对应的含气量测值。对读数

仪表上直接显示含气量的测定仪，宜参考上述规定，按照仪器说明书的要求执行本步骤。

7 开启通气阀，压力表指针回零。

8 重复本条第 5、第 6 款的步骤，对容器内试样再测一次含气量。

7.5.4 试验结果处理应符合下列要求：

- 1 当 2 次测值的绝对误差不大于测定仪精度时，应取 2 次试验结果的平均值作为砂浆的含气量；当 2 次测值的绝对误差大于测定仪精度时，试验结果无效。
- 2 当所测含气量数值小于 5% 时，测试结果应精确到 0.1%；当所测含气量数值大于或等于 5% 时，测试结果应精确到 0.5%。

7.6 水泥砂浆抗压强度试验

7.6.1 目的及适用范围：测定砂浆抗压强度。

7.6.2 仪器设备应符合下列要求：

- 1 压力试验机：应符合本规程第 4.2.2 条的规定。
 - 2 垫板：试验机上下压板及试件之间可垫以钢垫板，垫板的尺寸应大于试件的承压面，其不平度应为每 100mm 不超过 0.02mm。
 - 3 振动台、跳桌：应符合本规程第 7.3.2 条的规定。
 - 4 试模：边长 70.7mm 的立方体金属带底试模，应符合 JG 237《混凝土试模》的规定。试模应具有足够的刚度并拆装方便。试模的内表面应机械加工，其平整度误差不得超过边长的 0.05%。组装后各相邻面的垂直度误差不应超过 $\pm 0.5^\circ$ 。
 - 5 其他：直径 12mm、长 250mm，一端为弹头形的金属捣棒。
- 7.6.3 试验步骤应符合下列要求：
- 1 按本规程第 7.1 节的规定制备砂浆；检验施工砂浆强度时，则按本规程第 7.1.5 条的规定从现场取样。
 - 2 在试模内涂一薄层矿物油，装入砂浆并高出模口，当砂浆

稠度小于 60mm 时,采用振捣法,即将装有砂浆的容量筒放在振动台上振 15s,振动时试模不得跳动,或在跳桌上跳 120 次;当砂浆稠度大于 60mm 时,用捣棒由边缘向中心均匀地人工插捣 25 次,插捣过程中砂浆沉落到低于筒口时,应随时添加砂浆,再用木锤沿容器外壁敲击 5 下~6 下。试验以 3 个试件为 1 组。

3 砂浆成型后经 1h~2h,待表面水分稍干后,用刮刀刮去多余砂浆,并抹平试件表面,编号,在 20℃±5℃温度环境下停置 24h~48h。试件拆模后,应在标准养护室养护,养护期间,试件彼此间隔不得小于 10mm,试件上面应覆盖,防止有水滴在试件上。

4 养护至规定龄期,取出试件并擦净表面,立即进行抗压试验。待压试件需用湿布覆盖,以防止试件干燥。

5 测量尺寸,并检查其外观。试件尺寸测量准至 1mm,并据此计算试件的承压面积。如实测尺寸与公称尺寸之差不超过 1mm,可按公称尺寸进行计算。

6 将试件放在试验机下压板正中间,上下压板与试件之间宜垫以铜垫板。加压方向应与试件捣实方向垂直,试件中心与试验机压板中心对准。开动试验机,当上压板与上垫板行将接触时,如有明显偏斜,应调整球座,使试件均匀受压。

7 以 0.3MPa/s~0.5MPa/s 速度连续而均匀地加荷。当试件接近破坏而开始迅速变形时,停止调整试验机油门,直至试件破坏,记录破坏荷载。

7.6.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 砂浆抗压强度按式(7.6.4)计算,计算结果保留至 0.1MPa:

$$f_{cc} = \frac{F}{A} \quad (7.6.4)$$

式中: f_{cc} ——抗压强度, MPa;

F ——破坏荷载, N;

A ——试件受压面积, mm²。

2 以 3 个试件测值的平均值作为该组试件的抗压强度试验结果。当最大值或最小值与中间值之差大于中间值的 15%时,取中间值;当最大值和最小值与中间值之差均超过中间值 15%时,该组试验结果无效。

7.7 水泥砂浆劈裂抗拉强度试验

7.7.1 目的及适用范围:测定砂浆劈裂抗拉强度。

7.7.2 仪器设备应符合下列要求:

1 压力机、试模:与本规程第 7.6 节规定相同。

2 钢垫条:直径 4mm,长 75mm。

7.7.3 试验步骤应符合下列要求:

1 试件的成型、养护与本规程 7.6 节规定相同。试验以 3 个试件为 1 组。

2 到达试验龄期时,自养护室取出试件,试验前需用湿布覆盖试件,防止试件干燥。试验前将试件擦拭干净,检查外观,并在试件成型时的顶面和底面中部划出相互平行的直线,准确定出劈裂面的位置。量测劈裂面尺寸,精确至 1mm,立即进行试验。试验时,试件与垫条的位置参照本规程第 4.3 节规定。开动试验机,以 0.08MPa/s 的速度连续而均匀地加荷(不得冲击)。当试件接近破坏时,停止调整试验机油门直至试件破坏,记录破坏荷载。

7.7.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 劈裂抗拉强度按式(7.7.4)计算,计算结果保留至 0.01MPa:

$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi A} = 0.637 \frac{F}{A} \quad (7.7.4)$$

式中: f_{ts} ——劈裂抗拉强度, MPa;

F ——破坏荷载, N;

A ——试件劈裂面面积, mm²。

2 以 3 个试件测值的平均值作为该组试件劈裂抗拉强度的试验结果。当最大值或最小值与中间值之差超过中间值的 15% 时, 取中间值; 当最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时, 该组试验结果无效。

7.8 水泥砂浆黏结强度试验

7.8.1 目的及适用范围: 测定水泥砂浆 (或其他修补材料) 与砂浆间的黏结强度。

7.8.2 仪器设备应符合下列要求:

1 抗拉试模见图 7.8.2-1, 应用金属制成, 可以拆卸, 试模尺寸与允许误差见表 7.8.2。

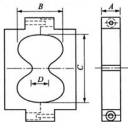


图 7.8.2-1 水泥砂浆抗拉试模

表 7.8.2 试模尺寸与允许误差

符 号	A	B	C	D
规格 (mm)	22.2	52.0	78.0	22.5
允许误差 (mm)	±0.1	±0.4	±0.4	±0.1

2 抗拉试验机: 小吨位抗拉试验机或万能试验机 (10kN), 其有效行程满足试件的尺寸要求, 8 字型抗拉夹具见图 7.8.2-2。

3 刮刀: 断面为正三角形, 有效长度为 26mm, 包括两个手

柄, 总长约 320mm。

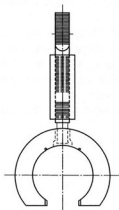


图 7.8.2-2 8 字型抗拉夹具

4 捣棒: 直径 12mm, 长 250mm, 一端为弹头形。

7.8.3 试验步骤应符合下列要求:

1 成型前将试模擦净, 模的内壁涂上脱模剂, 模底面与底面接触部位涂上黄油。

2 按本规程第 7.1 节的规定制备砂浆。

3 用抗拉强度不低于 5MPa 的砂浆 (有特殊要求时, 采用特定的砂浆), 成型 3 个 “8” 字形试件, 胶砂入模后在水泥胶砂振动台上振 15s, 1h 后待试件表面水分稍干后, 用刮刀将多余胶砂刮去, 移入标准养护室内养护 24h 后拆模, 并继续在标准养护室中养护 13d。

4 制备黏结试件前, 取出水泥砂浆试件, 在试件长轴线上取中点划一条直线, 用锯条沿线锯出 1mm 深的沟槽, 然后用一平刀

垂直于沟槽，用榔头向下击打刀背将试件切开。将 6 个半“8”字形试件的黏结面，用丙酮去脂，用 46 目粗砂布擦毛，再用毛刷刷去面上的微粒和粉末。

5 将 6 个半“8”字形试件置于周壁涂有脱模剂的“8”字形抗拉试模内，然后将新拌砂浆（或其他修补材料）浇入另一半试模内，在水泥砂浆振动台上振 15s。1h 左右待试件表面水分稍干后，用刮刀将多余的砂浆刮去，移入标准养护室养护 24h 后拆模，并继续放入标准养护室养护 27d。

6 试验前，应检查仪器夹具是否清洁，杠杆各个支点和仪器的平衡是否正确等。

7 将试件放入夹具内时，位置应端正，并注意夹具对试件不得有原始应力，试件与夹具间不得有砂粒存在。试件安装好后进行加荷，加荷速度控制在 100N/s 左右为宜，直至试件被拉断，测试断面尺寸，精确至 1mm，计算受拉面积，记录断裂部位。

7.8.4 试验结果处理应符合下列要求：

砂浆试件的黏结强度按式（7.8.4）计算，计算结果保留至 0.01MPa：

$$f_b = \frac{F}{A} \quad (7.8.4)$$

式中： f_b ——黏结强度，MPa；

F ——断裂荷载，N；

A ——受拉面积， mm^2 。

6 个试件为 1 组。每组试件中剔除最大、最小 2 个值，以其余 4 个值的平均值作为黏结强度的试验结果。

7.9 水泥砂浆轴向拉伸试验

7.9.1 目的及适用范围：测定水泥砂浆极限拉伸值、轴向抗拉强度和抗拉弹性模量。

7.9.2 仪器设备应符合下列要求：

1 试验机：抗拉试验机或万能试验机，量程 10kN，其有效行程应满足试件尺寸要求，并应符合本规程第 4.2.2 条的规定。

2 试模：试模要求如图 7.9.2 所示。

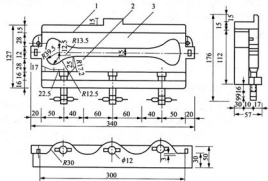


图 7.9.2 试模（单位：mm）

1—底模；2—顶柱；3—试模

3 抗拉夹具：如图 7.8.2-2 所示。

4 应变测量工具：电阻应变仪 1 台，精度为 1×10^{-6} 。

5 电阻应变片（长度一般应不小于 28mm），电吹风机，胶布等。

7.9.3 试验步骤应符合下列要求：

1 按本规程第 7.1 节的规定拌制砂浆，并成型砂浆轴向拉伸试件，试件以 6 个为 1 组。

2 到达试验龄期时，将试件从养护室取出。注意保持试件湿度，在试件左右两侧面用电吹风吹干并冷却至室温（ $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ）后中部粘贴电阻应变片。从试件取出至试验完毕，不宜超过 4h。

3 试件贴好电阻应变片后,将抗拉夹具安装在试验机上,并轻轻旋转试件使球面接触良好。

4 开动试验机,进行2次预拉。预拉的荷载约相当于破坏荷载的25%~30%。预拉时,应测读应变值,需要时,调整荷载传递装置使偏心率不大于20%。

偏心率 e 按式(7.9.3)计算:

$$e = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \times 100\% \quad (7.9.3)$$

式中: ε_1 、 ε_2 ——试件两侧的应变值。

5 预拉完毕后,重新调整测量仪器进行正式测试。拉伸时的加荷速度控制在0.24kN/min。每加荷0.1kN或0.2kN,测读并记录变形值,直至试件破坏(当荷载加到破坏荷载的90%左右时,为防止突然断裂,应加密测读变形值),记录破坏荷载和断裂位置。

6 测试环境温度:20℃±5℃。

7.9.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 极限拉伸值的确定:每个试件取两侧应变的平均值,绘制应力-应变曲线图。试件破坏时的总应变即为极限拉伸值,准至 1×10^{-6} 。如破坏时,最后一对应变读数的平均值较前一个有突然显著增加时,则此最后读数弃用。此时试件的极限拉伸值,用应力-应变曲线的尾部顺延来求得。

2 轴向抗拉强度按式(7.9.4-1)计算,计算结果保留至0.01MPa:

$$f_t = \frac{F}{A} \quad (7.9.4-1)$$

式中: f_t ——轴向抗拉强度,MPa;

F ——破坏荷载,N;

A ——试件断面面积, mm^2 。

3 抗拉弹性模量按式(7.9.4-2)计算,计算结果保留至100MPa:

$$E_t = \frac{\sigma_{0.4}}{\varepsilon_{0.4}} \quad (7.9.4-2)$$

式中: E_t ——抗拉弹性模量,MPa;

$\sigma_{0.4}$ ——40%的破坏应力,MPa;

$\varepsilon_{0.4}$ —— $\sigma_{0.4}$ 所对应的应变值, $\times 10^{-6}$ 。

4 极限拉伸值、轴向抗拉强度、抗拉弹性模量均以中间4个试件测值的平均值作为试验结果。当试件的断裂位置与变截面转折点的距离在20mm以内或单个测值超过平均测值±15%时,该测值应剔除,取余下测值的平均值作为试验结果。如可用测值少于2个时,该组试验结果无效。

7.10 水泥砂浆干缩湿胀试验

7.10.1 目的及适用范围:测定水泥砂浆在无外荷载、温、湿度基本稳定的空气或恒温水中产生的轴向长度变形。用于砂浆各种成分变化及不同养护条件,对其轴向长度变形影响的相对比较。

7.10.2 仪器设备应符合下列要求:

1 测长仪:弓形螺旋测微计(测距175mm~200mm),或立式砂浆干缩仪等,标准杆长度应为 $175 \pm 1\text{mm}$,测量精度应不小于0.01mm。

2 试模:规格40mm×40mm×160mm的棱柱体,试模两端模板中心有装测头的 $\phi 6.5\text{mm}$ 小孔。

3 测头:测头应用不锈钢制成,量测点为球形,如图7.10.2所示。

4 捣棒:方头圆杆金属捣棒,方头尺寸为35mm×35mm×35mm,圆杆直径28mm,长135mm。

5 跳桌:与本规程第7.3节相同。

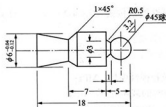


图 7.10.2 收缩头 (单位: mm)

7.10.3 试验步骤应符合下列要求:

1 将收缩头固定在试模两端的孔洞中,收缩头应露出试件端面 $8\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。

2 按本规程第 7.1 节的规定制备砂浆。

3 擦净试模,在其内壁涂一薄层矿物油。将拌好的砂浆分 2 层装入试模,2 层厚度大致相等,每层捣 2 遍,每遍捣 5 次。在浇捣完第一层后,埋设试件两端的测头,再浇第二层砂浆并捣实。采用振动捣实时,可一次装模,振 15s 或跳桌跳 120 次。试验以 3 个试件为 1 组。

4 按本规程第 4.12 节的规定进行试件的养护和观测。

7.10.4 试验结果处理应符合本规程第 4.12.4 条的规定。

7.11 水泥砂浆抗冻性试验

7.11.1 目的及适用范围:检验水泥砂浆抗冻性能。

7.11.2 仪器设备应符合下列要求:

- 1 小试件尺寸: $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ 。
- 2 试件盒:尺寸大小如图 7.11.2 所示。
- 3 天平:称量 1kg,感量不大于 1g。
- 4 橡皮板:厚 3mm。

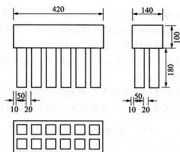


图 7.11.2 砂浆试件盒 (单位: mm)

5 大试件盒以及其他设备:应符合本规程第 4.26.3 条的规定。动弹仪的频率范围应为 $100\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ 。

7.11.3 试验步骤应符合下列要求:

1 小试件试验法:

- 1) 按本规程第 7.1 节的规定拌制砂浆。
- 2) 按本规程 4.1 节成型和养护 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ 的砂浆试件,以 3 个试件为 1 组。
- 3) 到达试验龄期的前 3d,将试件放入 $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 的水中浸泡,水深应没过试件顶面 20mm 以上。
- 4) 将浸水完毕的试件擦去表面水份,称量,按本规程第 4.27 节的规定测定纵向自振频率,并做必要的外观描述,作为评定抗冻性的起始值。
- 5) 即将将试件装入四周及底垫有橡皮板的试件盒中,加入清水,使其没过试件顶面 $3\text{mm} \sim 5\text{mm}$ 。
- 6) 将装有试件的盒子固定在试验箱内,按本规程第 4.26 节的规定进行冻融循环试验。

2 大试件试验法:

- 1) 按本规程第 7.1 节的规定拌制砂浆。

- 2) 按本规程第 4.1 节的规定成型和养护 100mm×100mm×400mm 棱柱体试件。试验以 3 个试件为 1 组。
- 3) 到达试验龄期的前 4d, 将试件放在 20℃±3℃的水中浸泡(对于水中养护的试件, 到达试验龄期时即可直接用于试验)。
- 4) 按本规程第 4.26 节的规定进行冻融循环试验。

7.11.4 试验结果处理应符合本规程第 4.26.5 条的规定。

7.12 水泥砂浆抗渗性试验

7.12.1 目的及适用范围: 比较不同品种水泥砂浆的抗渗性能。

7.12.2 仪器设备应符合下列要求:

- 1 砂浆渗透试验仪。
- 2 截头圆锥金属试模: 上口直径 70mm, 下口直径 80mm, 高 30mm。

- 3 捣棒: 直径 12mm, 长 250mm, 一端为弹头形。
- 4 抹刀等。

7.12.3 试验步骤应符合下列要求:

- 1 按本规程第 7.1 节的规定制备砂浆。
- 2 按本规程第 4.1 节的规定成型和养护试件。每组试件为 3 个。
- 3 试件放入养护室养护至规定龄期, 取出并待表面干燥后,

在试体侧面和试验模内表面涂一层密封材料, 如有机硅橡胶, 把试件压入试验模使两底面齐平。静置 24h 后装入渗透仪中, 进行透水试验。

4 水压从 0.2MPa 开始, 保持 2h, 增至 0.3MPa, 以后每隔 1h 增加水压 0.1MPa, 直至所有试件顶面均渗水为止。记录每个试件各压力段的水压力和相应的恒压时间 t (h)。水压达 1.5MPa, 保持 1h 试件仍未透水, 按本规程第 4.25 节的规定劈开试件, 并测量渗水高度。

5 在试验过程中, 当发现水从试件周边渗出时, 应停止试验,

重新密封后再继续试验。

7.12.4 试验结果处理应符合下列要求:

1 砂浆试件不透水性系数按式 (7.12.4) 计算, 计算结果保留至 0.1MPa·h:

$$I = \sum p_i t_i \quad (7.12.4)$$

式中: I ——砂浆试件不透水性系数, MPa·h;

p_i ——试件在每一压力阶段所受水压, MPa;

t_i ——相应压力阶段的恒压时间, h。

以 3 个试件测值的平均值作为该组试件不透水性系数的试验结果。

2 水压达 1.5MPa 后保持 1h 仍未透水的试件, 可按本规程第 4.25 节的规定测量渗水高度, 并计算相对渗透性系数。

附录 A 混凝土导温系数 $\frac{\theta}{\theta_0}$ 值和 $\frac{at}{D^2}$ 值的关系表
(高度为直径 2 倍的圆柱体)

混凝土导温系数 $\frac{\theta}{\theta_0}$ 值和 $\frac{at}{D^2}$ 值的关系见表 A。

表 A 混凝土导温系数 $\frac{\theta}{\theta_0}$ 值和 $\frac{at}{D^2}$ 值的关系

$\frac{at}{D^2}$	$\frac{\theta}{\theta_0}$														
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.0010	0.0011	0.0012	0.0013	0.0014
0.010	0.99628	0.99603	0.99578	0.99553	0.99529	0.99504	0.99479	0.99455	0.99430	0.99405	0.99381	0.99356	0.99331	0.99306	0.99281
0.011	0.99381	0.99342	0.99303	0.99264	0.99225	0.99186	0.99147	0.99108	0.99069	0.99030	0.99000	0.98970	0.98940	0.98910	0.98880
0.012	0.98991	0.98939	0.98887	0.98834	0.98782	0.98730	0.98677	0.98625	0.98573	0.98520	0.98468	0.98416	0.98364	0.98312	0.98260
0.013	0.98468	0.98403	0.98338	0.98273	0.98209	0.98144	0.98079	0.98014	0.97949	0.97884	0.97819	0.97754	0.97689	0.97624	0.97559
0.014	0.97819	0.97743	0.97666	0.97590	0.97513	0.97437	0.97360	0.97284	0.97207	0.97131	0.97055	0.96979	0.96903	0.96827	0.96751
0.015	0.97054	0.96968	0.96882	0.96796	0.96710	0.96624	0.96538	0.96451	0.96365	0.96279	0.96193	0.96107	0.96021	0.95935	0.95849

续表 A

$\frac{at}{D^2}$	$\frac{\theta}{\theta_0}$														
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.0010	0.0011	0.0012	0.0013	0.0014
0.016	0.96193	0.96096	0.95999	0.95902	0.95805	0.95708	0.95611	0.95514	0.95417	0.95320	0.95223	0.95126	0.95029	0.94932	0.94835
0.017	0.95223	0.95116	0.95009	0.94902	0.94796	0.94689	0.94582	0.94475	0.94368	0.94262	0.94155	0.94048	0.93941	0.93834	0.93727
0.018	0.94155	0.94039	0.93924	0.93809	0.93693	0.93578	0.93462	0.93347	0.93231	0.93116	0.93000	0.92884	0.92768	0.92652	0.92536
0.019	0.93001	0.92878	0.92755	0.92632	0.92509	0.92386	0.92263	0.92140	0.92017	0.91894	0.91771	0.91648	0.91525	0.91402	0.91279
0.020	0.91771	0.91642	0.91512	0.91382	0.91253	0.91123	0.90993	0.90864	0.90734	0.90604	0.90474	0.90344	0.90214	0.90084	0.89954
0.021	0.90475	0.90350	0.90225	0.90100	0.89975	0.89850	0.89724	0.89599	0.89474	0.89349	0.89224	0.89099	0.88974	0.88849	0.88724
0.022	0.89124	0.88998	0.88874	0.88750	0.88626	0.88502	0.88378	0.88254	0.88130	0.88006	0.87882	0.87758	0.87634	0.87510	0.87386
0.023	0.87729	0.87586	0.87443	0.87300	0.87156	0.87013	0.86870	0.86727	0.86583	0.86440	0.86297	0.86154	0.86011	0.85868	0.85725
0.024	0.86297	0.86151	0.86004	0.85858	0.85712	0.85566	0.85419	0.85273	0.85127	0.84981	0.84834	0.84688	0.84541	0.84395	0.84248
0.025	0.84834	0.84685	0.84536	0.84387	0.84238	0.84089	0.83940	0.83791	0.83642	0.83493	0.83344	0.83194	0.83045	0.82896	0.82747
0.026	0.83344	0.83194	0.83043	0.82893	0.82742	0.82592	0.82442	0.82291	0.82141	0.81990	0.81840	0.81689	0.81537	0.81386	0.81234
0.027	0.81840	0.81689	0.81537	0.81386	0.81234	0.81083	0.80932	0.80780	0.80630	0.80478	0.80326	0.80174	0.80022	0.79870	0.79718
0.028	0.80326	0.80174	0.80022	0.79870	0.79718	0.79567	0.79415	0.79263	0.79111	0.78959	0.78807	0.78655	0.78503	0.78351	0.78199
0.029	0.78807	0.78655	0.78503	0.78351	0.78199	0.78047	0.77895	0.77742	0.77590	0.77438	0.77286	0.77134	0.76982	0.76830	0.76678
0.030	0.77286	0.77134	0.76982	0.76830	0.76678	0.76526	0.76373	0.76221	0.76069	0.75917	0.75765	0.75613	0.75462	0.75311	0.75159
0.031	0.75765	0.75613	0.75462	0.75311	0.75159	0.75008	0.74857	0.74705	0.74554	0.74402	0.74250	0.74098	0.73947	0.73795	0.73643

续表 A

$\frac{at}{D^2}$	$\frac{\theta}{\theta_0}$														
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009					
0.032	0.74251	0.74101	0.73950	0.73800	0.73649	0.73499	0.73349	0.73198	0.73048	0.72897					
0.033	0.72747	0.72598	0.72448	0.72299	0.72150	0.72001	0.71852	0.71702	0.71553	0.71404					
0.034	0.71255	0.71107	0.70959	0.70811	0.70663	0.70515	0.70367	0.70220	0.70072	0.69924					
0.035	0.69776	0.69630	0.69483	0.69337	0.69190	0.69044	0.68897	0.68751	0.68604	0.68458					
0.036	0.68311	0.68166	0.68022	0.67877	0.67732	0.67588	0.67443	0.67298	0.67154	0.67009					
0.037	0.66864	0.66721	0.66579	0.66436	0.66293	0.66150	0.66008	0.65865	0.65722	0.65579					
0.038	0.65436	0.65296	0.65155	0.65014	0.64873	0.64732	0.64591	0.64451	0.64310	0.64169					
0.039	0.64028	0.63889	0.63751	0.63612	0.63473	0.63334	0.63196	0.63057	0.62918	0.62779					
0.040	0.62641	0.62504	0.62366	0.62229	0.62091	0.61954	0.61818	0.61682	0.61546	0.61409					
0.041	0.61273	0.61138	0.61003	0.60868	0.60733	0.60598	0.60464	0.60330	0.60196	0.60062					
0.042	0.59928	0.59795	0.59663	0.59530	0.59397	0.59264	0.59133	0.59007	0.58869	0.58738					
0.043	0.58606	0.58475	0.58345	0.58214	0.58084	0.57953	0.57824	0.57694	0.57565	0.57436					
0.044	0.57306	0.57178	0.57050	0.56922	0.56793	0.56665	0.56538	0.56411	0.56284	0.56157					
0.045	0.56029	0.55903	0.55777	0.55651	0.55525	0.55399	0.55275	0.55150	0.55025	0.54900					
0.046	0.54775	0.54652	0.54528	0.54404	0.54281	0.54157	0.54035	0.53912	0.53790	0.53667					

续表 A

$\frac{at}{D^2}$	$\frac{\theta}{\theta_0}$														
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009					
0.047	0.53545	0.53423	0.53302	0.53181	0.53059	0.52938	0.52818	0.52698	0.52577	0.52457					
0.048	0.52337	0.52218	0.52099	0.51980	0.51861	0.51742	0.51624	0.51507	0.51389	0.51271					
0.049	0.51153	0.51036	0.50920	0.50803	0.50686	0.50569	0.50454	0.50338	0.50223	0.50107					
0.050	0.49992	0.49877	0.49763	0.49649	0.49534	0.49420	0.49306	0.49193	0.49080	0.48966					
0.051	0.48853	0.48741	0.48629	0.48517	0.48405	0.48292	0.48181	0.48070	0.47959	0.47848					
0.052	0.47737	0.47628	0.47518	0.47408	0.47298	0.47188	0.47079	0.46970	0.46862	0.46753					
0.053	0.46644	0.46537	0.46429	0.46321	0.46214	0.46106	0.46000	0.45893	0.45787	0.45680					
0.054	0.45573	0.45468	0.45363	0.45257	0.45151	0.45046	0.44942	0.44838	0.44733	0.44629					
0.055	0.44525	0.44421	0.44318	0.44215	0.44111	0.44008	0.43906	0.43804	0.43702	0.43600					
0.056	0.43497	0.43396	0.43295	0.43194	0.43093	0.42992	0.42892	0.42792	0.42692	0.42592					
0.057	0.42492	0.42393	0.42294	0.42195	0.42096	0.41997	0.41899	0.41801	0.41703	0.41605					
0.058	0.41507	0.41411	0.41314	0.41217	0.41120	0.41023	0.40927	0.40831	0.40736	0.40640					
0.059	0.40544	0.40449	0.40351	0.40259	0.40165	0.40070	0.39976	0.39882	0.39788	0.39695					
0.060	0.39601	0.39508	0.39415	0.39322	0.39230	0.39137	0.39045	0.38953	0.38862	0.38770					
0.061	0.38678	0.38587	0.38496	0.38406	0.38315	0.38224	0.38134	0.38045	0.37955	0.37865					

续表 A

$\frac{at}{D}$	$\frac{\theta}{\theta_0}$														
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009					
0.062	0.37775	0.37686	0.37598	0.37509	0.37420	0.37331	0.37243	0.37155	0.37067	0.36976					
0.063	0.36892	0.36805	0.36718	0.36631	0.36544	0.36457	0.36371	0.36285	0.36200	0.36114					
0.064	0.36028	0.35943	0.35858	0.35773	0.35688	0.35603	0.35518	0.35434	0.35350	0.35266					
0.065	0.35182	0.35099	0.35016	0.34933	0.34850	0.34767	0.34684	0.34602	0.34520	0.34438					
0.066	0.34356	0.34274	0.34193	0.34112	0.34030	0.33949	0.33869	0.33788	0.33708	0.33627					
0.067	0.33547	0.33468	0.33388	0.33308	0.33229	0.33150	0.33071	0.32992	0.32914	0.32835					
0.068	0.32756	0.32679	0.32601	0.32523	0.32445	0.32368	0.32291	0.32214	0.32137	0.32060					
0.069	0.31983	0.31907	0.31831	0.31755	0.31679	0.31603	0.31528	0.31453	0.31377	0.31302					
0.070	0.31227	0.31153	0.31079	0.31004	0.30930	0.30856	0.30782	0.30709	0.30635	0.30561					
0.071	0.30488	0.30415	0.30343	0.30270	0.30197	0.30125	0.30053	0.29981	0.29909	0.29837					
0.072	0.29766	0.29695	0.29624	0.29553	0.29482	0.29410	0.29340	0.29270	0.29200	0.29130					
0.073	0.29059	0.28990	0.28920	0.28851	0.28782	0.28712	0.28643	0.28575	0.28506	0.28437					
0.074	0.28369	0.28301	0.28233	0.28165	0.28097	0.28029	0.27962	0.27895	0.27828	0.27761					
0.075	0.27684	0.27627	0.27561	0.27495	0.27429	0.27362	0.27292	0.27231	0.27165	0.27100					
0.076	0.27034	0.26969	0.26905	0.26840	0.26775	0.26710	0.26646	0.26582	0.26518	0.26454					

续表 A

$\frac{at}{D}$	$\frac{\theta}{\theta_0}$														
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009					
0.077	0.26390	0.26326	0.26263	0.26199	0.26136	0.26073	0.26010	0.25948	0.25885	0.25822					
0.078	0.25759	0.25698	0.25636	0.25574	0.25512	0.25450	0.25388	0.25328	0.25266	0.25205					
0.079	0.25144	0.25083	0.25023	0.24962	0.24902	0.24841	0.24781	0.24722	0.24662	0.24602					
0.080	0.24542	0.24483	0.24424	0.24365	0.24306	0.24247	0.24188	0.24130	0.24071	0.24013					
0.081	0.23954	0.23897	0.23839	0.23781	0.23723	0.23665	0.23608	0.23551	0.23494	0.23437					
0.082	0.23380	0.23324	0.23267	0.23211	0.23154	0.23098	0.23042	0.22986	0.22930	0.22875					
0.083	0.22819	0.22764	0.22708	0.22653	0.22598	0.22543	0.22488	0.22434	0.22379	0.22325					
0.084	0.22270	0.22217	0.22163	0.22109	0.22055	0.22001	0.21948	0.21895	0.21841	0.21788					
0.085	0.21735	0.21682	0.21630	0.21577	0.21524	0.21472	0.21420	0.21368	0.21316	0.21264					
0.086	0.21211	0.21160	0.21109	0.21057	0.21006	0.20954	0.20904	0.20853	0.20802	0.20751					
0.087	0.20700	0.20650	0.20600	0.20550	0.20500	0.20449	0.20400	0.20350	0.20300	0.20251					
0.088	0.20201	0.20152	0.20103	0.20054	0.20005	0.19956	0.19907	0.19859	0.19810	0.19762					
0.089	0.19713	0.19665	0.19618	0.19570	0.19522	0.19474	0.19426	0.19379	0.19331	0.19284					
0.090	0.19237	0.19190	0.19143	0.19096	0.19050	0.19003	0.18957	0.18910	0.18864	0.18818					
0.091	0.18771	0.18726	0.18680	0.18635	0.18589	0.18543	0.18498	0.18453	0.18408	0.18362					

续表 A

$\frac{\sigma}{D^2}$	$\frac{\sigma}{\sigma_0}$													
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009				
0.092	0.18317	0.18273	0.18228	0.18183	0.18139	0.18094	0.18050	0.18006	0.17962	0.17918				
0.093	0.17873	0.17830	0.17786	0.17743	0.17699	0.17655	0.17612	0.17569	0.17526	0.17483				
0.094	0.17440	0.17397	0.17355	0.17312	0.17270	0.17227	0.17185	0.17143	0.17101	0.17059				
0.095	0.17017	0.16975	0.16934	0.16892	0.16850	0.16809	0.16768	0.16727	0.16686	0.16645				
0.096	0.16604	0.16563	0.16522	0.16482	0.16441	0.16401	0.16361	0.16320	0.16280	0.16240				
0.097	0.16200	0.16160	0.16121	0.16081	0.16042	0.16002	0.15963	0.15923	0.15884	0.15845				
0.098	0.15806	0.15767	0.15729	0.15690	0.15651	0.15612	0.15574	0.15536	0.15498	0.15459				
0.099	0.15421	0.15383	0.15346	0.15308	0.15270	0.15232	0.15195	0.15158	0.15120	0.15083				
0.100	0.15045	0.15009	0.14972	0.14935	0.14898	0.14861	0.14825	0.14788	0.14752	0.14715				
0.101	0.14679	0.14643	0.14607	0.14571	0.14535	0.14499	0.14463	0.14428	0.14392	0.14356				
0.102	0.14321	0.14286	0.14250	0.14215	0.14180	0.14145	0.14110	0.14075	0.14041	0.14006				
0.103	0.13971	0.13937	0.13903	0.13868	0.13834	0.13799	0.13766	0.13732	0.13698	0.13664				
0.104	0.13630	0.13596	0.13563	0.13529	0.13496	0.13462	0.13429	0.13396	0.13363	0.13330				
0.105	0.13296	0.13264	0.13231	0.13198	0.13166	0.13133	0.13101	0.13068	0.13036	0.13004				
0.106	0.12971	0.12939	0.12907	0.12876	0.12844	0.12811	0.12780	0.12748	0.12717	0.12685				

续表 A

$\frac{\sigma}{D^2}$	$\frac{\sigma}{\sigma_0}$													
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009				
0.107	0.12654	0.12623	0.12591	0.12560	0.12529	0.12498	0.12467	0.12436	0.12405	0.12375				
0.108	0.12344	0.12313	0.12283	0.12253	0.12222	0.12192	0.12161	0.12131	0.12101	0.12071				
0.109	0.12041	0.12012	0.11982	0.11952	0.11922	0.11893	0.11863	0.11834	0.11804	0.11775				
0.110	0.11746	0.11717	0.11688	0.11659	0.11630	0.11601	0.11572	0.11544	0.11515	0.11487				
0.111	0.11458	0.11430	0.11401	0.11373	0.11345	0.11316	0.11288	0.11261	0.11233	0.11205				
0.112	0.11177	0.11149	0.11121	0.11094	0.11066	0.11038	0.11011	0.10984	0.10957	0.10929				
0.113	0.10902	0.10875	0.10848	0.10821	0.10794	0.10767	0.10741	0.10714	0.10687	0.10661				
0.114	0.10634	0.10608	0.10581	0.10555	0.10529	0.10502	0.10476	0.10450	0.10424	0.10398				
0.115	0.10372	0.10347	0.10321	0.10295	0.10270	0.10244	0.10219	0.10193	0.10168	0.10143				
0.116	0.10117	0.10092	0.10067	0.10042	0.10017	0.09992	0.09967	0.09942	0.09918	0.09893				
0.117	0.09868	0.09844	0.09819	0.09795	0.09771	0.09746	0.09722	0.09698	0.09673	0.09649				
0.118	0.09625	0.09601	0.09577	0.09553	0.09529	0.09505	0.09482	0.09458	0.09435	0.09411				
0.119	0.09388	0.09364	0.09341	0.09318	0.09295	0.09271	0.09248	0.09225	0.09202	0.09179				
0.120	0.09156	0.09133	0.09111	0.09088	0.09066	0.09043	0.09021	0.08998	0.08975	0.08953				
0.121	0.08930	0.08908	0.08886	0.08864	0.08842	0.08820	0.08798	0.08776	0.08754	0.08732				

续表 A

$\frac{at}{D^2}$	$\frac{\theta}{\theta_0}$												
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009			
0.122	0.08710	0.08688	0.08667	0.08645	0.08624	0.08602	0.08581	0.08559	0.08538	0.08516			
0.123	0.08495	0.08474	0.08453	0.08432	0.08411	0.08390	0.08369	0.08348	0.08327	0.08306			
0.124	0.08285	0.08264	0.08244	0.08223	0.08203	0.08183	0.08162	0.08142	0.08121	0.08101			
0.125	0.08080	0.08060	0.08040	0.08020	0.08000	0.07980	0.07960	0.07940	0.07920	0.07900			
0.126	0.07880	0.07861	0.07841	0.07822	0.07802	0.07783	0.07760	0.07744	0.07724	0.07705			
0.127	0.07685	0.07666	0.07647	0.07628	0.07609	0.07590	0.07571	0.07552	0.07533	0.07514			
0.128	0.07495	0.07476	0.07458	0.07439	0.07421	0.07402	0.07384	0.07365	0.07347	0.07328			
0.129	0.07309	0.07291	0.07273	0.07255	0.07237	0.07219	0.07201	0.07183	0.07165	0.07146			
0.130	0.07128	0.07111	0.07093	0.07075	0.07058	0.07040	0.07022	0.07005	0.06987	0.06970			
0.131	0.06952	0.06935	0.06917	0.06900	0.06883	0.06866	0.06848	0.06831	0.06814	0.06797			
0.132	0.06780	0.06763	0.06746	0.06729	0.06712	0.06696	0.06679	0.06662	0.06645	0.06628			
0.133	0.06611	0.06595	0.06579	0.06562	0.06546	0.06529	0.06513	0.06497	0.06480	0.06464			
0.134	0.06447	0.06431	0.06416	0.06399	0.06383	0.06367	0.06351	0.06335	0.06319	0.06303			
0.135	0.06287	0.06272	0.06256	0.06241	0.06225	0.06209	0.06194	0.06178	0.06162	0.06147			
0.136	0.06131	0.06116	0.06101	0.06086	0.06070	0.06055	0.06040	0.06025	0.06009	0.05994			

续表 A

$\frac{at}{D^2}$	$\frac{\theta}{\theta_0}$												
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009			
0.137	0.05979	0.05964	0.05949	0.05934	0.05920	0.05905	0.05890	0.05875	0.05860	0.05845			
0.138	0.05820	0.05816	0.05801	0.05787	0.05772	0.05758	0.05743	0.05720	0.05714	0.05700			
0.139	0.05665	0.05671	0.05657	0.05643	0.05629	0.05615	0.05601	0.05586	0.05572	0.05558			
0.140	0.05514	0.05530	0.05516	0.05503	0.05489	0.05475	0.05461	0.05448	0.05434	0.05420			
0.141	0.05406	0.05393	0.05379	0.05366	0.05352	0.05339	0.05326	0.05312	0.05299	0.05285			
0.142	0.05272	0.05259	0.05246	0.05232	0.05219	0.05206	0.05193	0.05180	0.05167	0.05154			
0.143	0.05141	0.05128	0.05115	0.05102	0.05089	0.05077	0.05064	0.05051	0.05038	0.05025			
0.144	0.05013	0.05000	0.04988	0.04975	0.04963	0.04950	0.04938	0.04925	0.04913	0.04900			
0.145	0.04888	0.04876	0.04863	0.04851	0.04839	0.04827	0.04815	0.04802	0.04790	0.04778			
0.146	0.04766	0.04754	0.04742	0.04730	0.04718	0.04707	0.04695	0.04683	0.04671	0.04659			
0.147	0.04647	0.04636	0.04624	0.04612	0.04601	0.04589	0.04578	0.04566	0.04555	0.04543			
0.148	0.04531	0.04520	0.04509	0.04497	0.04486	0.04475	0.04464	0.04452	0.04441	0.04430			
0.149	0.04418	0.04407	0.04396	0.04385	0.04374	0.04363	0.04352	0.04341	0.04330	0.04319			
0.150	0.04308	0.04298	0.04287	0.04277	0.04266	0.04256	0.04246	0.04235	0.04225	0.04214			
0.151	0.04204	0.04193	0.04183	0.04172	0.04161	0.04150	0.04140	0.04129	0.04118	0.04108			
0.152	0.04097	0.04087	0.04076	0.04066	0.04055	0.04045	0.04035	0.04024	0.04014	0.04003			

续表 A

$\frac{at}{D^2}$	$\frac{\theta}{\theta_0}$													
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009				
0.153	0.03993	0.03983	0.03974	0.03964	0.03954	0.03944	0.03935	0.03925	0.03915	0.03906				
0.154	0.03996	0.03986	0.03976	0.03966	0.03956	0.03946	0.03937	0.03927	0.03917	0.03907				
0.155	0.03997	0.03987	0.03978	0.03968	0.03958	0.03948	0.03939	0.03929	0.03919	0.03910				
0.156	0.03700	0.03691	0.03682	0.03673	0.03664	0.03656	0.03647	0.03638	0.03629	0.03620				
0.157	0.03611	0.03602	0.03593	0.03583	0.03574	0.03565	0.03556	0.03547	0.03537	0.03528				
0.158	0.03519	0.03510	0.03501	0.03493	0.03485	0.03476	0.03467	0.03459	0.03452	0.03442				
0.159	0.03433	0.03424	0.03416	0.03407	0.03398	0.03389	0.03381	0.03372	0.03363	0.03355				
0.160	0.03346	0.03337	0.03329	0.03320	0.03312	0.03303	0.03295	0.03286	0.03278	0.03269				
0.161	0.03261	0.03253	0.03245	0.03237	0.03229	0.03221	0.03213	0.03205	0.03197	0.03189				
0.162	0.03181	0.03173	0.03165	0.03157	0.03149	0.03140	0.03132	0.03124	0.03116	0.03108				
0.163	0.03100	0.03092	0.03085	0.03077	0.03070	0.03062	0.03055	0.03047	0.03040	0.03032				
0.164	0.03025	0.03017	0.03010	0.03002	0.02994	0.02986	0.02979	0.02971	0.02963	0.02956				
0.165	0.02948	0.02940	0.02933	0.02925	0.02918	0.02910	0.02902	0.02895	0.02887	0.02880				
0.166	0.02872	0.02865	0.02858	0.02851	0.02844	0.02837	0.02831	0.02824	0.02817	0.02810				
0.167	0.02803	0.02796	0.02789	0.02782	0.02775	0.02767	0.02760	0.02753	0.02746	0.02739				
0.168	0.02732	0.02725	0.02719	0.02712	0.02705	0.02698	0.02692	0.02685	0.02678	0.02672				

续表 A

$\frac{at}{D^2}$	$\frac{\theta}{\theta_0}$													
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009				
0.169	0.02665	0.02658	0.02651	0.02644	0.02637	0.02630	0.02624	0.02617	0.02610	0.02603				
0.170	0.02596	0.02589	0.02583	0.02576	0.02570	0.02563	0.02557	0.02550	0.02544	0.02537				
0.171	0.02531	0.02525	0.02519	0.02512	0.02506	0.02500	0.02494	0.02488	0.02481	0.02475				
0.172	0.02469	0.02463	0.02456	0.02450	0.02444	0.02437	0.02431	0.02425	0.02419	0.02412				
0.173	0.02406	0.02400	0.02394	0.02388	0.02382	0.02376	0.02371	0.02366	0.02360	0.02353				
0.174	0.02347	0.02341	0.02335	0.02329	0.02323	0.02317	0.02312	0.02306	0.02301	0.02294				
0.175	0.02288	0.02282	0.02276	0.02270	0.02264	0.02258	0.02253	0.02247	0.02241	0.02235				
0.176	0.02229	0.02224	0.02218	0.02213	0.02207	0.02202	0.02197	0.02191	0.02186	0.02180				
0.177	0.02175	0.02169	0.02163	0.02158	0.02152	0.02147	0.02141	0.02136	0.02130	0.02125				
0.178	0.02119	0.02114	0.02109	0.02104	0.02099	0.02093	0.02088	0.02083	0.02078	0.02073				
0.179	0.02068	0.02063	0.02057	0.02052	0.02047	0.02041	0.02036	0.02031	0.02026	0.02020				
0.180	0.02015	0.02010	0.02005	0.02000	0.01994	0.01989	0.01984	0.01979	0.01973	0.01968				
0.181	0.01963	0.01958	0.01953	0.01949	0.01944	0.01939	0.01934	0.01929	0.01925	0.01920				
0.182	0.01915	0.01910	0.01905	0.01900	0.01895	0.01890	0.01886	0.01881	0.01876	0.01871				
0.183	0.01866	0.01861	0.01857	0.01852	0.01848	0.01843	0.01839	0.01834	0.01830	0.01825				
0.184	0.01821	0.01816	0.01812	0.01807	0.01802	0.01797	0.01793	0.01788	0.01783	0.01779				

续表 A

$\frac{\sigma}{D^2}$	$\frac{\theta}{\theta_0}$																		
	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009									
0.185	0.01774	0.01769	0.01765	0.01760	0.01756	0.01751	0.01747	0.01742	0.01738	0.01733									
0.186	0.01729	0.01725	0.01721	0.01716	0.01712	0.01708	0.01704	0.01700	0.01695	0.01691									
0.187	0.01687	0.01683	0.01678	0.01674	0.01669	0.01665	0.01661	0.01656	0.01652	0.01647									
0.188	0.01643	0.01639	0.01635	0.01631	0.01627	0.01623	0.01619	0.01615	0.01611	0.01607									
0.189	0.01603	0.01599	0.01595	0.01591	0.01587	0.01582	0.01578	0.01574	0.01570	0.01566									
0.190	0.01562	0.01558	0.01554	0.01550	0.01546	0.01542	0.01538	0.01534	0.01530	0.01526									
0.191	0.01522	0.01518	0.01515	0.01511	0.01507	0.01503	0.01500	0.01496	0.01492	0.01489									
0.192	0.01485	0.01481	0.01477	0.01474	0.01470	0.01466	0.01462	0.01458	0.01455	0.01451									
0.193	0.01447	0.01443	0.01440	0.01436	0.01433	0.01429	0.01426	0.01422	0.01419	0.01415									
0.194	0.01412	0.01408	0.01405	0.01401	0.01397	0.01393	0.01390	0.01386	0.01382	0.01378									
0.195	0.01375	0.01372	0.01368	0.01365	0.01361	0.01358	0.01355	0.01351	0.01348	0.01344									
0.196	0.01341	0.01338	0.01334	0.01331	0.01327	0.01324	0.01321	0.01317	0.01314	0.01310									
0.197	0.01307	0.01304	0.01300	0.01297	0.01294	0.01290	0.01287	0.01284	0.01281	0.01277									
0.198	0.01274	0.01271	0.01268	0.01265	0.01262	0.01258	0.01255	0.01252	0.01249	0.01246									
0.199	0.01243	0.01239	0.01234	0.01230	0.01225	0.01221	0.01217	0.01212	0.01208	0.01203									
0.200	0.01199	0.01197	0.01195	0.01194	0.01192	0.01190	0.01188	0.01186	0.01185	0.01183									

附录 B 回弹法测区混凝土强度换算表

回弹法测区混凝土强度换算表见表 B。

表 B 测区混凝土强度换算表

平均回弹值 R_a	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,0}$ (MPa)																		
	平均碳化深度值 d_a (mm)																		
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥6						
20.0	10.3	10.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
20.2	10.5	10.3	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
20.4	10.7	10.5	10.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
20.6	11.0	10.8	10.4	10.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
20.8	11.2	11.0	10.6	10.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
21.0	11.4	11.2	10.8	10.5	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—						
21.2	11.6	11.4	11.0	10.7	10.2	—	—	—	—	—	—	—	—						
21.4	11.8	11.6	11.2	10.9	10.4	10.0	—	—	—	—	—	—	—						
21.6	12.0	11.8	11.4	11.0	10.6	10.2	—	—	—	—	—	—	—						

续表 B

平均回弹值 R_a	测区混凝土强度换算值 f_{con} (MPa)														
	平均碳化深度值 d_a (mm)														
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥6		
21.8	12.3	12.1	11.7	11.3	10.8	10.5	10.1	—	—	—	—	—	—	—	—
22.0	12.5	12.2	11.9	11.5	11.0	10.6	10.2	—	—	—	—	—	—	—	—
22.2	12.7	12.4	12.1	11.7	11.2	10.8	10.4	10.0	—	—	—	—	—	—	—
22.4	13.0	12.7	12.4	12.0	11.4	11.0	10.7	10.3	10.0	—	—	—	—	—	—
22.6	13.2	12.9	12.5	12.1	11.6	11.2	10.8	10.4	10.2	—	—	—	—	—	—
22.8	13.4	13.1	12.7	12.3	11.8	11.4	11.0	10.6	10.3	—	—	—	—	—	—
23.0	13.7	13.4	13.0	12.6	12.1	11.6	11.2	10.8	10.5	10.1	—	—	—	—	—
23.2	13.9	13.6	13.2	12.8	12.2	11.8	11.4	11.0	10.7	10.3	10.0	—	—	—	—
23.4	14.1	13.8	13.4	13.0	12.4	12.0	11.6	11.2	10.9	10.4	10.2	—	—	—	—
23.6	14.4	14.1	13.7	13.2	12.7	12.2	11.8	11.4	11.1	10.7	10.4	10.1	—	—	—
23.8	14.6	14.3	13.9	13.4	12.8	12.4	12.0	11.5	11.2	10.8	10.5	10.2	—	—	—
24.0	14.9	14.6	14.2	13.7	13.1	12.7	12.2	11.8	11.5	11.0	10.7	10.4	10.1	—	—
24.2	15.1	14.8	14.3	13.9	13.3	12.8	12.4	11.9	11.6	11.2	10.9	10.6	10.3	—	—
24.4	15.5	15.1	14.6	14.2	13.6	13.1	12.6	12.2	11.9	11.4	11.1	10.8	10.4	—	—

续表 B

平均回弹值 R_a	测区混凝土强度换算值 f_{con} (MPa)														
	平均碳化深度值 d_a (mm)														
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥6		
24.6	15.6	15.3	14.8	14.4	13.7	13.3	12.8	12.3	12.0	11.5	11.2	10.9	10.6	—	—
24.8	15.9	15.6	15.1	14.6	14.0	13.5	13.0	12.6	12.2	11.8	11.4	11.1	10.7	—	—
25.0	16.2	15.9	15.4	14.9	14.3	13.8	13.3	12.8	12.5	12.0	11.7	11.3	10.9	—	—
25.2	16.4	16.1	15.6	15.1	14.4	13.9	13.4	13.0	12.6	12.1	11.8	11.5	11.0	—	—
25.4	16.7	16.4	15.9	15.4	14.7	14.2	13.7	13.2	12.9	12.4	12.0	11.7	11.2	—	—
25.6	16.9	16.6	16.1	15.7	14.9	14.4	13.9	13.4	13.0	12.5	12.2	11.8	11.3	—	—
25.8	17.2	16.9	16.3	15.8	15.1	14.6	14.1	13.6	13.2	12.7	12.4	12.0	11.5	—	—
26.0	17.5	17.2	16.6	16.1	15.4	14.9	14.4	13.8	13.5	13.0	12.6	12.2	11.6	—	—
26.2	17.8	17.4	16.9	16.4	15.7	15.1	14.6	14.0	13.7	13.2	12.8	12.4	11.8	—	—
26.4	18.0	17.6	17.1	16.6	15.8	15.3	14.8	14.2	13.9	13.3	13.0	12.6	12.0	—	—
26.6	18.3	17.9	17.4	16.8	16.1	15.6	15.0	14.4	14.1	13.5	13.2	12.8	12.1	—	—
26.8	18.6	18.2	17.7	17.1	16.4	15.8	15.3	14.6	14.3	13.8	13.4	12.9	12.3	—	—
27.0	18.9	18.5	18.0	17.4	16.6	16.1	15.5	14.8	14.6	14.0	13.6	13.1	12.4	—	—
27.2	19.1	18.7	18.1	17.6	16.8	16.2	15.7	15.0	14.7	14.1	13.8	13.3	12.6	—	—

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 $f_{c,co}$ (MPa)														
	平均碳化深度值 d_m (mm)														
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥6		
27.4	19.4	19.0	18.4	17.8	17.0	16.4	15.9	15.2	14.9	14.3	14.0	13.4	12.7		
27.6	19.7	19.3	18.7	18.0	17.2	16.6	16.1	15.4	15.1	14.5	14.1	13.6	12.9		
27.8	20.0	19.6	19.0	18.2	17.4	16.8	16.3	15.6	15.3	14.7	14.2	13.7	13.0		
28.0	20.3	19.7	19.2	18.4	17.6	17.0	16.5	15.8	15.4	14.8	14.4	13.9	13.2		
28.2	20.6	20.0	19.5	18.6	17.8	17.2	16.7	16.0	15.6	15.0	14.6	14.0	13.3		
28.4	20.9	20.3	19.7	18.8	18.0	17.4	16.9	16.2	15.8	15.2	14.8	14.2	13.5		
28.6	21.2	20.6	20.0	19.1	18.2	17.6	17.1	16.4	16.0	15.4	15.0	14.3	13.6		
28.8	21.5	20.9	20.2	19.4	18.5	17.8	17.3	16.6	16.2	15.6	15.2	14.5	13.8		
29.0	21.8	21.2	20.5	19.6	18.7	18.1	17.5	16.8	16.4	15.8	15.4	14.6	13.9		
29.2	22.1	21.4	20.8	19.9	19.0	18.3	17.7	17.0	16.6	16.0	15.6	14.8	14.1		
29.4	22.4	21.7	21.1	20.2	19.3	18.6	17.9	17.2	16.8	16.2	15.8	15.0	14.2		
29.6	22.7	22.0	21.3	20.4	19.5	18.8	18.2	17.5	17.0	16.4	16.0	15.1	14.4		
29.8	23.0	22.3	21.6	20.7	19.8	19.1	18.4	17.7	17.2	16.6	16.2	15.3	14.5		
30.0	23.3	22.6	21.9	21.0	20.0	19.3	18.6	17.9	17.4	16.8	16.4	15.4	14.7		

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 $f_{c,co}$ (MPa)														
	平均碳化深度值 d_m (mm)														
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥6		
30.2	23.6	22.9	22.2	21.2	20.3	19.6	18.9	18.2	17.6	17.0	16.6	15.6	14.9		
30.4	23.9	23.2	22.5	21.5	20.6	19.8	19.1	18.4	17.8	17.2	16.8	15.8	15.1		
30.6	24.3	23.6	22.8	21.9	20.9	20.2	19.4	18.7	18.0	17.5	17.0	16.0	15.2		
30.8	24.6	23.9	23.1	22.1	21.2	20.4	19.7	18.9	18.2	17.7	17.2	16.2	15.4		
31.0	24.9	24.2	23.4	22.4	21.4	20.7	19.9	19.2	18.4	17.9	17.4	16.4	15.5		
31.2	25.2	24.4	23.7	22.7	21.7	20.9	20.2	19.4	18.6	18.1	17.6	16.6	15.7		
31.4	25.6	24.8	24.1	23.0	22.0	21.2	20.5	19.7	18.9	18.4	17.8	16.9	15.8		
31.6	25.9	25.1	24.3	23.3	22.3	21.5	20.7	19.9	19.2	18.6	18.0	17.1	16.0		
31.8	26.2	25.4	24.6	23.6	22.5	21.7	21.0	20.2	19.4	18.9	18.2	17.3	16.2		
32.0	26.5	25.7	24.9	23.9	22.8	22.0	21.2	20.4	19.6	19.1	18.4	17.5	16.4		
32.2	26.9	26.1	25.3	24.2	23.1	22.3	21.5	20.7	19.9	19.4	18.6	17.7	16.6		
32.4	27.2	26.4	25.6	24.5	23.4	22.6	21.8	20.9	20.1	19.6	18.8	17.9	16.8		
32.6	27.6	26.8	25.9	24.8	23.7	22.9	22.1	21.3	20.4	19.9	19.0	18.1	17.0		
32.8	27.9	27.1	26.2	25.1	24.0	23.2	22.3	21.5	20.6	20.1	19.2	18.3	17.2		

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu} (MPa)															
	平均碳化深度值 d_m (mm)															
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥6			
33.0	28.2	27.4	26.5	25.4	24.3	23.4	22.6	21.7	20.9	20.3	19.4	18.5	17.4			
33.2	28.6	27.7	26.8	25.7	24.6	23.7	22.9	22.0	21.2	20.5	19.6	18.7	17.6			
33.4	28.9	28.0	27.1	26.0	24.9	24.0	23.1	22.3	21.4	20.7	19.8	18.9	17.8			
33.6	29.3	28.4	27.4	26.4	25.2	24.2	23.3	22.6	21.7	20.9	20.0	19.1	18.0			
33.8	29.6	28.7	27.7	26.6	25.4	24.4	23.5	22.8	21.9	21.1	20.2	19.3	18.2			
34.0	30.0	29.1	28.0	26.8	25.6	24.6	23.7	23.0	22.1	21.3	20.4	19.5	18.3			
34.2	30.3	29.4	28.3	27.0	25.8	24.8	23.9	23.2	22.3	21.5	20.6	19.7	18.4			
34.4	30.7	29.8	28.6	27.2	26.0	25.0	24.1	23.4	22.5	21.7	20.8	19.8	18.6			
34.6	31.1	30.2	28.9	27.4	26.2	25.2	24.3	23.6	22.7	21.9	21.0	20.0	18.8			
34.8	31.4	30.5	29.2	27.6	26.4	25.4	24.5	23.8	22.9	22.1	21.2	20.2	19.0			
35.0	31.8	30.8	29.6	28.0	26.7	25.8	24.8	24.0	23.2	22.3	21.4	20.4	19.2			
35.2	32.1	31.1	29.9	28.2	27.0	26.0	25.0	24.2	23.4	22.5	21.6	20.6	19.4			
35.4	32.5	31.5	30.2	28.6	27.3	26.3	25.4	24.4	23.7	22.8	21.8	20.8	19.6			
35.6	32.9	31.9	30.6	29.0	27.6	26.6	25.7	24.7	24.0	23.0	22.0	21.0	19.8			

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu} (MPa)															
	平均碳化深度值 d_m (mm)															
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥6			
35.8	33.3	32.3	31.0	29.3	28.0	27.0	26.0	25.0	24.3	23.3	22.2	21.2	20.0			
36.0	33.6	32.6	31.2	29.6	28.2	27.2	26.2	25.2	24.5	23.5	22.4	21.4	20.2			
36.2	34.0	33.0	31.6	29.9	28.6	27.5	26.5	25.5	24.8	23.8	22.6	21.6	20.4			
36.4	34.4	33.4	32.0	30.3	28.9	27.9	26.8	25.8	25.1	24.1	22.8	21.8	20.6			
36.6	34.8	33.8	32.4	30.6	29.2	28.2	27.1	26.1	25.4	24.4	23.0	22.0	20.9			
36.8	35.2	34.1	32.7	31.0	29.6	28.5	27.5	26.4	25.7	24.6	23.2	22.2	21.1			
37.0	35.5	34.4	33.0	31.2	29.8	28.8	27.7	26.6	25.9	24.8	23.4	22.4	21.3			
37.2	35.9	34.8	33.4	31.6	30.2	29.1	28.0	26.9	26.2	25.1	23.7	22.6	21.5			
37.4	36.3	35.2	33.8	31.9	30.5	29.4	28.3	27.2	26.5	25.4	24.0	22.9	21.8			
37.6	36.7	35.6	34.1	32.3	30.8	29.7	28.6	27.5	26.8	25.7	24.2	23.1	22.0			
37.8	37.1	36.0	34.5	32.6	31.2	30.0	28.9	27.8	27.1	26.0	24.5	23.4	22.3			
38.0	37.5	36.4	34.9	33.0	31.5	30.3	29.2	28.1	27.4	26.2	24.8	23.6	22.5			
38.2	37.9	36.8	35.2	33.4	31.8	30.6	29.5	28.4	27.7	26.5	25.0	23.9	22.7			
38.4	38.3	37.2	35.6	33.7	32.1	30.9	29.8	28.7	28.0	26.8	25.3	24.1	23.0			

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,sc}$ (MPa)														
	平均碳化深度值 d_m (mm)														
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥6		
38.6	38.7	37.5	36.0	34.1	32.4	31.2	30.1	29.0	28.3	27.0	25.5	24.4	23.2		
38.8	39.1	37.9	36.4	34.4	32.7	31.5	30.4	29.3	28.5	27.2	25.8	24.6	23.5		
39.0	39.5	38.2	36.7	34.7	33.0	31.8	30.6	29.6	28.8	27.4	26.0	24.8	23.7		
39.2	39.9	38.5	37.0	35.0	33.3	32.1	30.8	29.8	29.0	27.6	26.2	25.0	24.0		
39.4	40.3	38.8	37.3	35.3	33.6	32.4	31.0	30.0	29.2	27.8	26.4	25.2	24.2		
39.6	40.7	39.1	37.6	35.6	33.9	32.7	31.2	30.2	29.4	28.0	26.6	25.4	24.4		
39.8	41.2	39.6	38.0	35.9	34.2	33.0	31.4	30.5	29.7	28.2	26.8	25.6	24.7		
40.0	41.6	39.9	38.3	36.2	34.5	33.3	31.7	30.8	30.0	28.4	27.0	25.8	25.0		
40.2	42.0	40.3	38.6	36.5	34.8	33.6	32.0	31.1	30.2	28.6	27.3	26.0	25.2		
40.4	42.4	40.7	39.0	36.9	35.1	33.9	32.3	31.4	30.5	28.8	27.6	26.2	25.4		
40.6	42.8	41.1	39.4	37.2	35.4	34.2	32.6	31.7	30.8	29.1	27.8	26.5	25.7		
40.8	43.3	41.6	39.8	37.7	35.7	34.5	32.9	32.0	31.2	29.4	28.1	26.8	26.0		
41.0	43.7	42.0	40.2	38.0	36.0	34.8	33.2	32.3	31.5	29.7	28.4	27.1	26.2		
41.2	44.1	42.3	40.6	38.4	36.3	35.1	33.5	32.6	31.8	30.0	28.7	27.3	26.5		

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,sc}$ (MPa)														
	平均碳化深度值 d_m (mm)														
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥6		
41.4	44.5	42.7	40.9	38.7	36.6	35.4	33.8	32.9	32.0	30.3	28.9	27.6	26.7		
41.6	45.0	43.2	41.4	39.2	36.9	35.7	34.2	33.3	32.4	30.6	29.2	27.9	27.0		
41.8	45.4	43.6	41.8	39.5	37.2	36.0	34.5	33.6	32.7	30.9	29.5	28.1	27.2		
42.0	45.9	44.1	42.2	39.9	37.6	36.3	34.9	34.0	33.0	31.2	29.8	28.5	27.5		
42.2	46.3	44.4	42.6	40.3	38.0	36.6	35.2	34.3	33.3	31.5	30.1	28.7	27.8		
42.4	46.7	44.8	43.0	40.6	38.3	36.9	35.5	34.6	33.6	31.8	30.4	29.0	28.0		
42.6	47.2	45.3	43.4	41.1	38.7	37.3	35.9	34.9	34.0	32.1	30.7	29.3	28.3		
42.8	47.6	45.7	43.8	41.4	39.0	37.6	36.2	35.2	34.3	32.4	30.9	29.5	28.6		
43.0	48.1	46.2	44.2	41.8	39.4	38.0	36.6	35.6	34.6	32.7	31.3	29.8	28.9		
43.2	48.5	46.6	44.6	42.2	39.8	38.3	36.9	35.9	34.9	33.0	31.5	30.1	29.1		
43.4	49.0	47.0	45.1	42.6	40.2	38.7	37.2	36.3	35.3	33.3	31.8	30.4	29.4		
43.6	49.4	47.4	45.4	43.0	40.5	39.0	37.5	36.6	35.6	33.6	32.1	30.6	29.6		
43.8	49.9	47.9	45.9	43.4	40.9	39.4	37.9	36.9	35.9	33.9	32.4	30.9	29.9		
44.0	50.4	48.4	46.4	43.8	41.3	39.8	38.3	37.3	36.3	34.3	32.8	31.2	30.2		

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,sc}$ (MPa)														
	平均碳化深度值 d_m (mm)														
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥6		
44.2	50.8	48.8	46.7	44.2	41.7	40.1	38.6	37.6	36.6	34.5	33.0	31.5	30.5		
44.4	51.3	49.2	47.2	44.6	42.1	40.5	39.0	38.0	36.9	34.9	33.3	31.8	30.8		
44.6	51.7	49.6	47.6	45.0	42.4	40.8	39.3	38.3	37.2	35.2	33.6	32.1	31.0		
44.8	52.2	50.1	48.0	45.4	42.8	41.2	39.7	38.6	37.6	35.5	33.9	32.4	31.3		
45.0	52.7	50.6	48.5	45.8	43.2	41.6	40.1	39.0	37.9	35.8	34.3	32.7	31.6		
45.2	53.2	51.1	48.9	46.3	43.6	42.0	40.4	39.4	38.3	36.2	34.6	33.0	31.9		
45.4	53.6	51.5	49.4	46.6	44.0	42.3	40.7	39.7	38.6	36.4	34.8	33.2	32.2		
45.6	54.1	51.9	49.8	47.1	44.4	42.7	41.1	40.0	39.0	36.8	35.2	33.5	32.5		
45.8	54.6	52.4	50.2	47.5	44.8	43.1	41.5	40.4	39.3	37.1	35.5	33.9	32.8		
46.0	55.0	52.8	50.6	47.9	45.2	43.5	41.9	40.8	39.7	37.5	35.8	34.2	33.1		
46.2	55.5	53.3	51.1	48.3	45.5	43.8	42.2	41.1	40.0	37.7	36.1	34.4	33.3		
46.4	56.0	53.8	51.5	48.7	45.9	44.2	42.6	41.4	40.3	38.1	36.4	34.7	33.6		
46.6	56.5	54.2	52.0	49.2	46.3	44.6	42.9	41.8	40.7	38.4	36.7	35.0	33.9		
46.8	57.0	54.7	52.4	49.6	46.7	45.0	43.3	42.2	41.0	38.8	37.0	35.3	34.2		

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,sc}$ (MPa)														
	平均碳化深度值 d_m (mm)														
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥6		
47.0	57.5	55.2	52.9	50.0	47.2	45.2	43.7	42.6	41.4	39.1	37.4	35.6	34.5		
47.2	58.0	55.7	53.4	50.5	47.6	45.8	44.1	42.9	41.8	39.4	37.7	36.0	34.8		
47.4	58.5	56.2	53.8	50.9	48.0	46.2	44.5	43.3	42.1	39.8	38.0	36.3	35.1		
47.6	59.0	56.6	54.3	51.3	48.4	46.6	44.8	43.7	42.5	40.1	38.4	36.6	35.4		
47.8	59.5	57.1	54.7	51.8	48.8	47.0	45.2	44.0	42.8	40.5	38.7	36.9	35.7		
48.0	60.0	57.6	55.2	52.2	49.2	47.4	45.6	44.4	43.2	40.8	39.0	37.2	36.0		
48.2	—	58.0	55.7	52.6	49.6	47.8	46.0	44.8	43.6	41.1	39.3	37.5	36.3		
48.4	—	58.6	56.1	53.1	50.0	48.2	46.4	45.1	43.9	41.5	39.6	37.8	36.6		
48.6	—	59.0	56.6	53.5	50.4	48.6	46.7	45.5	44.3	41.8	40.0	38.1	36.9		
48.8	—	59.5	57.1	54.0	50.9	49.0	47.1	45.9	44.6	42.2	40.3	38.4	37.2		
49.0	—	60.0	57.5	54.4	51.3	49.4	47.5	46.2	45.0	42.5	40.6	38.8	37.5		
49.2	—	—	58.0	54.8	51.7	49.8	47.9	46.6	45.4	42.8	41.0	39.1	37.8		
49.4	—	—	58.5	55.3	52.1	50.2	48.3	47.1	45.8	43.2	41.3	39.4	38.2		
49.6	—	—	58.9	55.7	52.5	50.6	48.7	47.4	46.2	43.6	41.7	39.7	38.5		

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu} (MPa)													
	平均碳化深度值 d_m (mm)													
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥ 6	
49.8	—	—	59.4	56.2	53.0	51.0	49.1	47.8	46.5	43.9	42.0	40.1	38.8	
50.0	—	—	59.9	56.7	53.4	51.4	49.5	48.2	46.9	44.3	42.3	40.4	39.1	
50.2	—	—	60.0	57.1	53.8	51.9	49.9	48.5	47.2	44.6	42.6	40.7	39.4	
50.4	—	—	—	57.6	54.3	52.3	50.3	49.0	47.7	45.0	43.0	41.0	39.7	
50.6	—	—	—	58.0	54.7	52.7	50.7	49.4	48.0	45.4	43.4	41.4	40.0	
50.8	—	—	—	58.5	55.1	53.1	51.1	49.8	48.4	45.7	43.7	41.7	40.3	
51.0	—	—	—	59.0	55.6	53.5	51.5	50.1	48.8	46.1	44.1	42.0	40.7	
51.2	—	—	—	59.4	56.0	54.0	51.9	50.5	49.2	46.4	44.4	42.3	41.0	
51.4	—	—	—	59.9	56.4	54.4	52.3	50.9	49.6	46.8	44.7	42.7	41.3	
51.6	—	—	—	60.0	56.9	54.8	52.7	51.3	50.0	47.2	45.1	43.0	41.6	
51.8	—	—	—	—	57.3	55.2	53.1	51.7	50.3	47.5	45.4	43.3	41.8	
52.0	—	—	—	—	57.8	55.7	53.6	52.1	50.7	47.9	45.8	43.7	42.3	
52.2	—	—	—	—	58.2	56.1	54.0	52.5	51.1	48.3	46.2	44.0	42.6	
52.4	—	—	—	—	58.7	56.5	54.4	53.0	51.5	48.7	46.5	44.4	43.0	

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu} (MPa)													
	平均碳化深度值 d_m (mm)													
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥ 6	
52.6	—	—	—	—	59.1	57.0	54.8	53.4	51.9	49.0	46.9	44.7	43.3	
52.8	—	—	—	—	59.6	57.4	55.2	53.8	52.3	49.4	47.3	45.1	43.6	
53.0	—	—	—	—	60.0	57.8	55.6	54.2	52.7	49.8	47.6	45.4	43.9	
53.2	—	—	—	—	—	58.3	56.1	54.6	53.1	50.2	48.0	45.8	44.3	
53.4	—	—	—	—	—	58.7	56.5	55.0	53.5	50.5	48.3	46.1	44.6	
53.6	—	—	—	—	—	59.2	56.9	55.4	53.9	50.9	48.7	46.4	44.9	
53.8	—	—	—	—	—	59.6	57.3	55.8	54.3	51.3	49.0	46.8	45.3	
54.0	—	—	—	—	—	60.0	57.8	56.3	54.7	51.7	49.4	47.1	45.6	
54.2	—	—	—	—	—	—	58.2	56.7	55.1	52.1	49.8	47.5	46.0	
54.4	—	—	—	—	—	—	58.6	57.1	55.6	52.5	50.2	47.9	46.3	
54.6	—	—	—	—	—	—	59.1	57.5	56.0	52.9	50.5	48.2	46.6	
54.8	—	—	—	—	—	—	59.5	57.9	56.4	53.2	50.9	48.5	47.0	
55.0	—	—	—	—	—	—	59.9	58.4	56.8	53.6	51.3	48.9	47.3	
55.2	—	—	—	—	—	—	60.0	58.8	57.2	54.0	51.6	49.3	47.7	

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu} (MPa)												
	平均碳化深度值 d_m (mm)												
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥ 6
55.4	—	—	—	—	—	—	—	59.2	57.6	54.4	52.0	49.6	48.0
55.6	—	—	—	—	—	—	—	59.7	58.0	54.8	52.4	50.0	48.4
55.8	—	—	—	—	—	—	—	60.0	58.5	55.2	52.8	50.3	48.7
56.0	—	—	—	—	—	—	—	—	58.9	55.6	53.2	50.7	49.1
56.2	—	—	—	—	—	—	—	—	59.3	56.0	53.5	51.1	49.4
56.4	—	—	—	—	—	—	—	—	59.7	56.4	53.9	51.4	49.8
56.6	—	—	—	—	—	—	—	—	60.0	56.8	54.3	51.8	50.1
56.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57.2	54.7	52.2	50.5
57.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57.6	55.1	52.5	50.8
57.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.0	55.5	52.9	51.2
57.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.4	55.9	53.3	51.6
57.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.9	56.3	53.7	51.9
57.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59.3	56.7	54.0	52.3
58.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59.7	57.0	54.4	52.7

续表 B

平均回弹值 R_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu} (MPa)												
	平均碳化深度值 d_m (mm)												
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	≥ 6
58.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60.0	57.4	54.8	53.0
58.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57.8	55.2	53.4
58.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.2	55.6	53.8
58.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.6	55.9	54.1
59.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59.0	56.3	54.5
59.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59.4	56.7	54.9
59.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59.8	57.1	55.2
59.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60.0	57.5	55.6
59.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57.9	56.0
60.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.3	56.4

注：表中未注明测区混凝土强度换算值为小于 10MPa 或大于 60MPa。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1) 表示很严格,非这样做不可的用词:
正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:
正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择,在条件许可时应首先这样做的用词:
正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”。
- 4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 本规程中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”或“应符合……”。

引用标准名录

- GB 1499.1 钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋
- GB 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分:热轧带肋钢筋
- GB/T 2611 试验机通用技术要求
- GB/T 3408.1 大坝监测仪器 应变计 第1部分:差动电阻式应变计
- GB/T 3722 液压式压力试验机
- GB/T 9138 回弹仪
- DL/T 5151 水工混凝土砂石骨料试验规程
- JG 237 混凝土试模
- JG/T 246 混凝土含气量测定仪
- JG/T 3033 试验用砂浆搅拌机
- JG 3043 维勃稠度仪
- JG/T 262 混凝土氯离子扩散系数测定仪
- JG/T 5004 混凝土超声检测仪

中华人民共和国电力行业标准

水工混凝土试验规程

DL/T 5150 — 2017

代替 DL/T 5150 — 2001

条 文 说 明

目次

1 总则	234
3 混凝土拌和物	235
3.1 室内拌和与现场取样	235
3.2 坍落度试验	235
3.3 维勃稠度试验	236
3.4 扩展度试验	237
3.5 泌水率试验	237
3.6 压力泌水率试验	237
3.7 表观密度试验	237
3.8 拌和均匀性试验	238
3.9 凝结时间试验	238
3.10 含气量试验	238
3.11 水洗法水胶比分析试验	238
4 混凝土	240
4.1 混凝土试件的成型与养护	240
4.2 混凝土立方体抗压强度试验	240
4.4 混凝土黏结强度试验	241
4.5 混凝土轴向拉伸试验	241
4.6 混凝土抗弯试验	242
4.8 混凝土轴心抗压强度与静力抗压弹性模量试验	242
4.9 混凝土与钢筋握裹力试验	243
4.10 混凝土压缩徐变试验	243
4.11 混凝土拉伸徐变试验	243
4.15 混凝土导热系数试验	243
4.18 混凝土绝热温升试验	244

4.19 高速圆环法混凝土抗冲磨试验	244
4.20 旋转射流法混凝土抗冲磨试验	244
4.21 水下钢球法混凝土抗冲磨试验	248
4.22 高速水下钢球法混凝土抗冲磨试验	249
4.23 风砂枪法混凝土抗冲磨试验	251
4.32 混凝土快速氯离子迁移系数试验	252
4.33 混凝土钢筋腐蚀快速试验	253
4.34 混凝土泊松比试验	253
4.35 混凝土抗压强度快速试验	253
4.36 混凝土透气性试验	253
4.37 真空脱水混凝土试件的成型与养护	254
4.38 混凝土拌和物真空脱水率试验	254
4.39 混凝土早期抗裂性试验	254
5 全级配混凝土	255
5.1 全级配混凝土试件的成型与养护	255
5.7 全级配混凝土渗透系数试验	255
6 现场混凝土性能试验	257
6.1 回弹法检测混凝土抗压强度	257
6.2 超声回弹综合法检测混凝土抗压强度	258
6.3 射钉法检测混凝土强度	259
6.4 钻芯法检测混凝土强度	259
6.5 钻芯法检测混凝土抗渗性	259
6.6 钻芯拉拔法检测混凝土黏结强度	259
6.7 混凝土中钢筋净电位试验	260
7 水泥砂浆	261
7.8 水泥砂浆黏结强度试验	261
7.9 水泥砂浆轴向拉伸试验	261
7.12 水泥砂浆抗渗性试验	262

1 总 则

1.0.1~1.0.4 原规程仅仅规定了适用范围。本次修订将章节标题由“范围”改为“总则”，并按照《关于印发〈工程建设标准编写规定〉的通知》（建标〔2008〕182号）的要求重新编写。

3 混凝土拌和物

3.1 室内拌和与现场取样

3.1.1 考虑到在实际试验操作过程中轻质混凝土、防水混凝土、碾压水泥混凝土等其他特种混凝土的室内拌和均是参照本法在常温环境中进行的，并参照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG E30—2005 相关规定，将原文的混凝土拌和物室内拌和方法的适用范围进行了扩展。

3.1.3 采用机械拌和时，搅拌机壁挂浆后，将剩余同种混凝土或水胶比相同的砂浆卸出均匀地涂覆在拌和钢板上，避免了正式拌和时被搅拌机和钢板黏附掉部分混凝土拌和物而产生不必要的损失，故增加了卸出料应均匀地涂覆在拌和钢板上的规定。

增加了原材料加入搅拌机的时间不应超过 2min 的规定，原规范未对此单独提出要求。在实际试验检测过程中，经试验证实，加料时间过长会影响最终混凝土拌和物的性能，同时参照 JTG E30—2005 及《水运工程混凝土试验规程》JTJ 270—1998 中相关规定，将向搅拌机加料的时间限制为不超过 2min。

参照美国 ASTM 相关规程，提出了对人工拌和的适用性要求。

原规范未对混凝土拌和物的总量进行规定，根据试验经验，参照 JTG E30—2005 中相关规定，增加了“拌和物总量不宜少于所需量的 1.2 倍”的规定。

3.2 坍落度试验

3.2.1 本试验可用于评定混凝土拌和物和易性随时间的变化，如坍落度损失。此时可将拌和物保湿停置至规定时间（如 30、60、

90、120min等)再进行上述试验(试验前将拌和物重新翻拌2次~3次),将试验结果与原试验结果进行比较,从而评定拌和物和易性随时间的变化。

3.2.2 在本条中根据坍落度筒的实际外观在原规范的基础上增加坍落度筒的形状,把手及脚踏板位置的描述。此外为保证坍落度试验结果的准确性,参照 JTJ 270—1998 相关规定,增加了“筒的上下端面应与轴线垂直”,当坍落度筒不能满足此项要求时,应经处理满足此项要求后,方能使用。

原规范未对钢直尺的测量精度做出明确规定,参照本规范第 3.2.3 第 5 条中的规定要求坍落度值准至 1mm,故在本次修编过程中将钢直尺单独列出,并规定了钢直尺最小刻度为 1mm。

3.2.3 增加将捣棒及测量钢板清洗干净并润湿。在进行坍落度试验时不仅要洗净润湿坍落度筒还要洗净润湿捣棒及钢板,原规范仅提到清洗润湿坍落度筒,未对捣棒及测量钢板的清洗润湿做出明确要求,同时参照《普通混凝土拌和物性能试验方法》GB 50080—2002、JTJ 270—1998 中相关规定,增加该项要求。

在实际试验操作过程中,当插捣最上层时,混凝土表面会有因用捣棒插捣密实而沉落到低于筒口的位置,需随时添加混凝土使其保持高于筒口,便于插捣完后混凝土的抹面,原规范未对此细节进行详述,故增加此项内容。

经试验验证,并参照 GB 50080—2002 相关规定,增加了对坍落度筒提离的时间限制为 5s~10s。

参考 GB 50080—2002 及 JTJ 270—1998 中相关规定增加“如第二次试验仍出现上述现象则表示该混凝土和易性不好应予记录备查”的规定。

3.3 维勃稠度试验

3.3.1 若测得的维勃稠度值小于 5s 或大于 30s,则该拌和物具有的稠度已超出本仪器的适用范围。

3.3.3 根据实际操作经验并参考 JTJ 270—1998 及 JTG E30—2005 中相关规定,增加“就位后滑杆和漏斗的轴线应与容量筒的轴线重合”,若未满足此项要求而进行拌和物维勃稠度的量测时,其量测结果会产生偏差。

增加试验后对仪器设备的清洗及保养的规定。原规范没有此条规定,但实际试验操作过程中,试验结束后均对仪器设备进行清洗及保养以便于下次使用,故增加此条规定。

3.4 扩展度试验

考虑到高流动性混凝土、高性能混凝土及高效减水剂的日益广泛应用,仅用坍落度已难以反映此类混凝土的流动性。参考现有的高流动性混凝土及高性能混凝土流动扩散度试验方法制定本节。

3.5 泌水率试验

3.5.2 在实际试验操作过程中,当每层混凝土插捣完毕时,混凝土表面会有因用捣棒插捣而产生的插孔及气泡,此时若不采取适当措施,插孔及气泡不能自行消失,势必影响到试验结果。经试验验证,并参照 JTJ 270—1998 及 GB 50080—2002 中相关规定,增加了“每一层捣完后用橡皮锤轻轻沿容量筒外壁敲打 5 次~10 次,进行振实,直至拌和物表面插捣孔消失并不见大气泡为止”的规定。

3.6 压力泌水率试验

3.6.2 该试验所涉及的仪器设备还应有捣棒、量筒及磅秤,原规范未列出,故在本条中增加了上述仪器设备。

3.7 表观密度试验

原规程为混凝土拌和物密度试验。

3.8 拌和均匀性试验

3.8.2 5mm 筛改为 5mm 方孔筛。

3.8.4 将第 1 款的 Δf_{cc} 改为 Δf ，与式 (3.8.4-1) 统一。

3.9 凝结时间试验

3.9.2 第 1 款中，删除贯入阻力仪示意图，因现测试仪器已不同；将单位“kg”改为“kN”；将其他形式改为可采用自动或手动贯入方式。

3.9.3 第 3 款中，因测试仪器已与以前不同，进行了修改。

3.9.4 第 1 款中，式 (3.9.4) 的贯入压力单位采用“N”，因此原规程公式中的 10 删除。

3.10 含气量试验

增加了读数仪表上直接显示含气量的测定仪的率定说明。

修正了式 (3.10.3-1) 和式 (3.10.3-2)。

3.11 水洗法水胶比分析试验

考虑到目前混凝土中一般都掺有掺合料，且混凝土掺合料一般都较细（只有极少颗粒大于 0.16mm），已成为商品，质量比较稳定。在特殊情况下，还可根据实测结果修正及还原分析。经试验证实，掺有掺合料的混凝土拌和物的水胶比仍可用水洗法进行试验测定，故将原文中的水灰比分析扩展到水胶比分析。

称胶凝材料水中质量时，胶凝材料不得漂出桶外，必要时应加盖玻璃板（应扣除玻璃板的水中质量），玻璃板下面不得留有气泡。

胶凝材料中的水泥接触水后即发生水化作用，测得的密度可能与常规的水泥密度测定方法测得的密度略有差别，为了符合本方法的实际操作过程和计算，故仍采用此法测出的密度。

胶凝材料水洗分析时，大于 0.16mm 的颗粒很少，故可不计，必要时也可实测后修正。砂子含泥量一般情况下可不修正，含泥量较大时，也可实测后修正。

以上说明同样适用于本规程第 3.12 节。

4 混凝土

本章名原规程中为“硬化混凝土”，因习惯所指混凝土即为硬化混凝土，因此本次修订为“混凝土”。

4.1 混凝土试件的成型与养护

4.1.2 1 原规程对混凝土试模的角度误差规定不得超过 1° 。根据国际标准 ISO 1920 的要求，角度误差改为不得超过 0.5° ，这对保证试验的精度是很有必要的。根据初步检核，如果重视试模的管理和装配质量，是不难达到的。

2 目前使用的振动台振动频率一般为 $50\text{Hz} \pm 3\text{Hz}$ ，空载时振幅约为 $0.5\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。

4.1.3 2 湿筛法是指采用特定孔径的筛子筛分混凝土拌和物，小于该粒径的骨料和砂浆将通过该筛孔，落入合适尺寸的表面经过润湿且不吸水的容器或地面，粒径大于该孔径的骨料保留在筛子上，从新拌混凝土中剔除。

5 同条件养护是指试件尽量置于构件附近，试件养护环境的温度和湿度与构件相同。测试试件性能时，试验室环境的湿度与养护湿度保持一致。

4.2 混凝土立方体抗压强度试验

试验结果取值的规定。原规定为试件测值与平均值之差超过 $\pm 15\%$ 时，应剔除，取余下两个试件测值的平均值；当可用测值少于两个时，试验须重做。现改为测值与中间值之差超过中间值的 15% 时，取中间值；当最大和最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时，该组试验结果无效。这是按《普通混凝土力学性能

试验方法标准》GB 50081—2002 和 JTJ 270—1998 相应条文修改的。以 3 个试件的中间值作为测值取舍的基准值，这样计算结果更简便、快速，而精度不降低。

上述说明同样适用于本规程第 4.3、4.6、4.8 节。

300、450mm 试件的抗压强度换算系数 1.15、1.36，是根据“八五”国家重点科技攻关项目《全级配混凝土抗压强度和本构关系研究》208—01—03—09 有关研究成果制定的。研究表明： $f_{200}/f_{450}=1.299$ ，因 $f_{150}/f_{200}=1.05$ ，所以 $f_{150}/f_{450}=1.36$ 。300mm 试件抗压强度换算系数 1.15，是在系数 1.05 与 1.36 之间内插求得。

国际标准 ISO 1920 及 RILEM 推荐的试验方法均规定试件尺寸应大于骨料最大粒径的 4 倍，但我国目前要执行这样的规定确有困难，因此试件尺寸基本上以大于 3 倍最大骨料粒径为控制原则，考虑到目前水工混凝土实际使用的骨料级配，骨料最大粒径与试模尺寸的关系取为：

$100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm} \quad D_{\max} \leq 30\text{mm}$

$150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm} \quad D_{\max} \leq 40\text{mm}$

$300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 300\text{mm} \quad D_{\max} \leq 80\text{mm}$

$450\text{mm} \times 450\text{mm} \times 450\text{mm} \quad D_{\max} \leq 150 (120) \text{mm}$

试件外观和试件尺寸对试验结果有很大影响，例如试件边长相差 1mm，面积误差约 13%，因此规定试件尺寸超过公称尺寸 1mm 时应按实际尺寸计算试件的承压面积。

4.4 混凝土黏结强度试验

本节根据原规程附录 B 修订。

4.5 混凝土轴向拉伸试验

4.5.2 本法增加了一部分新的测试技术，变形测量除千分表和应变计外，增加了位移传感器，荷载测量增加了荷载传感器。

试件装在试验机上、下卡头中，装卡方式往往与试件形状

相关,可分为外夹式、内埋式和粘贴式3种。外夹式简单易行,不需要埋设拉杆和拉板,但试件体积大,断裂在端部的概率高;内埋式试件体积适中,拉杆埋设应具有定位装置,保证与试件对中;粘贴式效率低,粘贴表面需要预先处理,但是试件体积小。对钻取的芯样,粘贴式是最简便的方法。

4.5.3 试件不论采用哪种装卡方式,施加荷载时,在试件几何形状转折处、埋件头或粘贴面上都会产生不同程度的应力集中。试验表明,内埋式拉杆头部或粘贴式粘接面25mm~30mm为应力集中范围,此范围以外的等直段应力分布基本均匀。在本试验方法中规定测量标距为100mm~150mm,这和试模尺寸与骨料最大粒径的关系是一致的。

拉伸试验时,混凝土试件受力应均匀,其断裂处应在变形测量标距内,方能保证测定值准确可靠。一个较好的试验方法,试件在标距内断裂的概率不应低于75%,否则将会增加试验重复次数和费用。本试验方法规定每组需要4个试件,就是基于此点考虑确定的。

4.5.4 目前工程中混凝土设计强度等级普遍提高,为更好地保证计算弹性模量应力段的线性,同时和国际标准接轨,抗拉弹性模量取应力从0~0.4 f_c 的割线弹性模量(f_c 为最大破坏应力)。以上说明同样适用于本规程第4.6、5.5、7.9节。

4.6 混凝土抗弯试验

即原规程“混凝土抗弯强度试验”。

4.8 混凝土轴心抗压强度与静力抗压弹性模量试验

4.8.3 本法增加了一部分新的测试技术,变形测量除千分表和应变计外,增加了位移传感器,荷载测量增加了荷载传感器。轴心抗压强度试件由1块增至3块,而且具体规定了轴心抗压强度测定的试验步骤,使强度测值更准确。

4.8.4 美国ASTM及国际标准草案ISO/DIS 6784及西欧一些国家,

弹性模量取应力从0~0.4 f_c 的割线弹性模量(f_c 为最大破坏应力),为了和国际标准靠拢,这次修订采用0~0.4 f_c 的割线弹性模量。

$\phi 150\text{mm}\times 300\text{mm}$ 圆柱体和 $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 300\text{mm}$ 棱柱体轴心抗压强度之间的换算系数0.95,是根据二滩水电站关于试件尺寸对混凝土强度的影响研究成果和《混凝土实用手册》编制的。前者研究表明: $f_{\phi 150\times 300}/f_{150}=0.80$;后者提出 $f_{150\times 300}/f_{150}=0.76$,因此, $f_{150\times 300}/f_{\phi 150\times 300}=0.76/0.80=0.95$ 。

4.9 混凝土与钢筋握裹力试验

4.9.3 我国建筑用钢材国家标准已修订,因此试验用螺纹钢筋性能应符合GB 1499.2的规定。

4.10 混凝土压缩徐变试验

4.10.2 对丝杆及弹簧所提出的要求是为了使仪器在整个试验过程中有较好的持荷及调整能力,为了减少徐变仪在试验过程中发生应力松弛,要求丝杆的工作应力尽可能低,弹簧的工作压力也规定控制在2/3并仅压力范围内。但也不得选用吨位过大的弹簧。如果加荷时弹簧的压缩变形太小则在试验过程中试件所产生的变形会造成很大的应力损失。弹簧过硬其调整能力就较差。

变形测量一般以安装或埋设的固定式仪表为好。移动式的接触式引伸仪,对仪器本身、测试人员的技术水平及测点的安装等方面都要求较高。对变形测量装置提出的精度要求为 4×10^{-6} ,这是根据我国目前生产的内埋式应变计的精度要求而定的。

4.11 混凝土拉伸徐变试验

有关说明同4.10“混凝土压缩徐变试验”。

4.15 混凝土导热系数试验

计算公式中 Q 在原规程中表示“试件由中心向四周单位时间

内的传热量,为 $3.617W$,有错误,应为 $3.600W$,2001版的规范中未修订该错误。因最后参数保留有4位有效数字,故 π 应取5位有效数字参与计算,即取3.1416,此时公式中的2.307应改为2.305。

4.18 混凝土绝热升温试验

根据绝热介质不同,混凝土绝热升温测定仪分为水和空气循环绝热式两种。本方法对绝热升温测定仪不作硬性规定,但应满足以下技术条件:试件尺寸大于最大骨料粒径的3倍;试验温度为 $5^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$;试验跟踪温度精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

4.19 高速圆环法混凝土抗冲磨试验

本方法参照SL 352—2006制订,取代原规程混凝土抗含砂水流冲刷试验(圆环法),原规程叶轮圆周转速为 14.3m/s ,修订后提高到 40m/s 。

4.20 旋转射流法混凝土抗冲磨试验

4.20.1 本方法除适用于混凝土材料外,也适用于非混凝土材料,如一些有机抗冲磨材料等。

4.20.2 抗冲磨试验仪的工作原理为:水泵将水砂桶中的水砂混合液(冲磨剂)通过进水管、空心轴,提升至矩形管状叶片,由管口的狭缝中喷出,同时叶片旋转,将水砂液加速,旋转喷出的水砂液依次冲击置于管口外围成环形的多个试件,使试件受冲面上的材料脱落,之后,水砂液流回水砂桶,被再次提升,继续冲磨试件,直至规定的时间。

叶片设置呈矩形管状,其目的在于使水砂液呈幕状喷出,能均匀作用于受冲面,不致使受冲面产生沟槽,影响试验结果。矩形管的管口断面高 120mm ,宽 5mm ,在水砂流的作用下,宽度会变大,当宽度超过 8mm 时,应更换相应部件。由于矩形管磨损

较快,其内侧可设置衬板,尺寸超出规定范围后,更换衬板即可。

矩形管的长度为 346mm ,此时出水水流与试件表面接触时的冲磨角为 34.6° ,试验表明此时冲磨效率最高。缩短矩形管长度,冲磨角会增大,但水砂流会在重力作用下下落,导致试件上部冲磨不足;加长矩形管长度,冲磨角会减小,水砂流垂直于试件表面的速度分量会减小,磨蚀效率降低。

名义冲磨速度指试验时叶片出口的圆周运动线速度,通过空心轴的转速和矩形管的长度计算得出。实际水砂流的速度是圆周运动线速度与沿矩形管方向的法向速度合成的速度,因该法向速度远小于圆周运动线速度,经计算,合速度与圆周运动线速度近似相等,如圆周运动线速度为 40.00m/s 时,合速度为 40.02m/s 。

名义冲磨流量是指在水砂桶内装入 50kg 水,叶片不转动,水泵开启状态下,从叶片出口有水喷出至水流停止过程中的平均流量。测量方法为:在水砂桶内装入 50kg 水,不加砂,叶片不转动,开启水泵,目测管口应充满水,在管口的上沿临时设一计时开关,在水流喷出时受水流作用开关接通,开始计时,同时,将喷出的水引至水砂桶外。至无水流喷出时,计时开关关闭,计时结束。计时也可以采用手动方式,准至 0.1s 。放出水砂桶中剩余的水,称出其质量,原装入水量减去剩余水量即为喷出水量,喷出水量除以时间,即为名义冲磨流量。

4.20.3 规定名义冲磨速度和名义冲磨流量的目的是使试验数据之间具有可比性。这两项指标是影响试验结果的重要因素。

名义冲磨速度太大,水砂流在高速旋转的离心力作用下在矩形管出口处容易向上偏离,导致试件冲磨不均匀。流速提高后,水砂流很容易发热,矩形管也会很快会被磨坏。综合考虑试验机使用寿命及试验效率,流速选择 40m/s 。

名义冲磨流量定在最大(6.3L/s)时,由于水泵冲力过大,水流基本上从矩形管的上部流出,见图1(a),其截面积不足矩形管截面积的一半,只能冲磨到试件内壁的上部 $2\text{cm}\sim 3\text{cm}$,冲磨效果

不理想。连续减小流量,观察矩形管的出水情况。当流量调至 2.8L/s 时,出水变得均匀,见图 1 (b),可冲磨到试件的整个内壁。继续减小,则会由于水泵冲力不足,水流不能到达矩形管上部,冲磨不到试件内壁上部,见图 1 (c)。因此将流量定为 2.8 L/s。

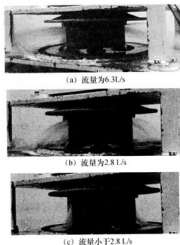


图1 不同流量下矩形管出水情况

安放试件时,同一组的 3 个试件应均匀分布在定位环的圆周上。试件冲磨过程中冲磨剂会磨损,并且水砂流发热很快,因此每冲磨 30min 就需要停机换掉冲磨剂和水。

磨损质量与冲磨时间的关系见图 2, 2h 前混凝土试件的磨损质量增加较快,磨损速率大; 2h 后,磨损质量稳定增加,磨损速率趋于稳定。冲磨至 4h 时,冲磨深度约 1.5mm。冲刷磨损时,混凝土表层的水泥石首先受到冲磨, 4h 时混凝土试件的磨损质量为

60g~100g,按水泥石密度 2100kg/m^3 计算,磨深为 1.6mm~2.2mm,与试验结果 1.5mm 左右一致。为了兼顾试验效率、试验成本,将累计冲磨时间定为 4h,因此需要重复试验 8 次,每次 30min。

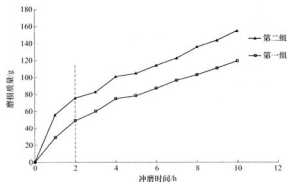


图2 磨损质量与冲磨时间的关系

4.20.4 混凝土的抗冲磨性能用抗冲磨强度表示,应按式 (1) 计算:

$$f_a = \frac{nbtA}{2\pi lm} \quad (1)$$

式中: f_a ——抗冲磨强度,即单位面积上被磨损单位质量所需的时间, h/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);

n ——矩形管出水口的数量;

b ——矩形管出水口的水平宽度, mm;

t ——累计冲磨时间, h;

A ——单个圆弧形试件的受冲磨面积,为 176cm^2 ,此面积有别于圆环试件的内圆环面积,因为内圆环并非整个高度都能被水流冲刷到,上下边缘各有一部分是

冲磨不到的,这里所给的面积是与矩形管内边缘等高部分的内圆环面积:

l ——矩形管的一半长度,mm;

M ——经 t 时段冲磨后,单个圆弧形试件损失的累积质量,g。

从式(1)可以看出, n 、 b 、 l 对于本设备而言,都是常数,属于设备自身特性,因此抗冲磨强度与单位时间内单位面积上的质量损失 m/tA 成反比。

本试验中矩形管出水口的数量 n 为2,矩形管出水口宽度 b 为5mm,矩形管的一半长度 l 为195mm,因此对于本试验机,混凝土的抗冲磨强度简化为式(2):

$$f_s = \frac{nbtA}{2\pi lm} = \frac{btlA}{\pi lm} = \frac{5}{3.14 \times 195} \times \frac{tA}{m} = 0.0092 \frac{tA}{m} \quad (2)$$

当试验机参数变化时,应按式(1)进行计算。不同转速下的抗冲磨试验结果见表1。

表1 不同转速下的抗冲磨试验结果

试件编号	抗冲磨强度 [$\text{h}/(\text{g} \cdot \text{cm}^2)$]			磨损率 [$\text{g}/(\text{h} \cdot \text{cm}^2)$]		
	名义冲磨速度 20m/s	名义冲磨速度 40m/s	名义冲磨速度 60m/s	名义冲磨速度 20m/s	名义冲磨速度 40m/s	名义冲磨速度 60m/s
M1	0.359	0.082	0.045	2.77	12.24	22.44
M2	0.359	0.075	0.050	2.77	13.46	19.99
M3	0.432	0.077	0.040	2.33	13.06	24.07

4.21 水下钢球法混凝土抗冲磨试验

依据美国标准《混凝土抗冲磨试验方法(水下法)》[Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method)] ASTM C1138-89 修编而成。

本法与圆环法比较,前者表面冲磨破坏状态与现场混凝土冲磨破坏状态极其相似,试验结果对高标号混凝土较敏感,但对低标号混凝土不太敏感;后者试件尺寸太小,使骨料及骨料与水泥浆体界

面黏结这些主要影响冲磨性能的因素在试验结果中难以反映,试验结果对低标号混凝土较敏感,但对高标号混凝土不够敏感(见表2)。

表2 两种冲磨试验方法比较结果

水泥用量 (kg/m^3)	水灰比	坍落度 (cm)	抗压强度 (MPa)	钢球冲磨法 失重率 (%)	水砂冲磨法 失重率 (%)	备 注
235	0.64	—	22.5	2.88	1.48	普通混凝土
285	0.53	—	33.7	2.60	1.16	
358	0.39	—	38.6	2.81	1.02	
418	—	3.0	70.3	1.27	1.12	改性混凝土; 掺合料掺量相同,外加剂品种不同
427		2.0	70.9	1.38	0.84	
427		4.0	73.3	1.17	1.01	
430		3.2	80.4	0.87	0.89	
430	—	—	44.0	2.70	1.68	普通混凝土改性混凝土; 掺合料掺量不同
424			65.6	1.66	1.05	
433			78.0	1.15	1.02	
426			80.0	0.57	1.10	

本法与本规程第4.23节“风砂枪法混凝土抗冲磨试验”结果比较见表3,3种方法反映混凝土抗冲磨破坏相对能力基本一致。

表3 不同试验方法混凝土抗冲磨相对能力

试验方法	28d 抗压强度 (MPa)	混凝土种类	相对抗冲磨能力	试验单位
水下钢球冲磨法	44	普通混凝土高性能抗冲磨混凝土	1.00	南京水利科学研究院
	78		1.74	
风砂枪冲磨试验法	39	普通混凝土高性能抗冲磨混凝土	1.00	武汉水利电力大学
	60		1.39	
气流喷砂法	41	普通混凝土高性能抗冲磨混凝土	1.00	长江科学院
	73		1.68	

4.22 高速水下钢球法混凝土抗冲磨试验

推移质的破坏能力主要取决于其运动速度、粒径(质量)和

过流时间等。本规程第 4.21 节的水下钢球法是美国陆军工程兵团 Tony C. Liu 发明的,模拟推移质破坏,评价混凝土的抗冲磨性能。该方法被 ASTM C1138 采用。根据 Liu 的实测结果,该方法中在试验机叶轮转速为 1200r/min 的情况下,混凝土试件表面的近底流速为 1.8m/s,但现在的泄水建筑物近底流速往往大大超过该值,例如,隔河岩水电站在下泄总流量在 6553 m³/s 的工况下,消力池的最大壁面流速达 4.83 m/s。低流速下钢球动能不足,对混凝土的冲磨程度不如实际工况。此外,标准的水下钢球法中所用钢球最大粒径为 25.4 mm,数量为 70 个,而许多实际工况下推移质平均粒径在 100 mm 以上,标准试验方法在模拟大粒径推移质冲磨上存在明显缺陷。对于 C40 以上的高强混凝土,标准的水下钢球法往往只能在试件上磨出一宽度不到试件半径一半的环状冲沟,平均磨蚀深度往往不到 5mm,主要反映的是混凝土表面的抗冲磨强度,不能获得对于工程实际更有意义的混凝土本体(即内部)的抗冲磨强度。为此,本方法在标准的水下钢球法基础上进行改进,通过提高水流流速、改进试验参数,提高冲磨效率(每平方米单位面积上磨损 1kg 所需的时间),使其更接近真实工况下的混凝土本体磨蚀进程。

详细参数的建立过程可参考:①丁建形,戴毗,白银,等.一种新的抗推移质冲磨试验方法——高速水下钢球法的建立.混凝土,2011,(12):5-8。②国家发明专利:丁建形,杨建国,白银,等.高速水下钢球法冲磨试验仪.授权号:201110278066.3。③国家发明专利:丁建形,白银,杨建国,等.高速水下钢球法冲磨试验方法.授权号:201110278621.2。

混凝土 90d 龄期时的抗冲磨强度见表 4。高速水下钢球法的冲磨效率较标准水下钢球法提高了约 3 倍~4 倍。标准水下钢球法试件表面磨蚀较浅,平均磨蚀深度约为 1mm~2mm;高速水下钢球法试件表面磨蚀平均磨蚀深度达 3mm~4mm,并且磨蚀比较均匀。因此可以认为,标准水下钢球法只能体现混凝土皮肤的抗冲磨强度,而高速水下钢球法体现了混凝土本体的抗冲磨强度。

表 4 不同强度等级常态与泵送混凝土 90d 龄期抗冲磨性能

强度等级	施工方式	标准水下钢球法			高速水下钢球法		
		磨蚀率 (%)	抗冲磨强度 [h/(kg·m ²)]	平均磨蚀深度 (mm)	磨蚀率 (%)	抗冲磨强度 [h/(kg·m ²)]	平均磨蚀深度 (mm)
C ₅₀	常态	1.7	15.8	1.7	3.7	5.0	3.8
C ₅₀	泵送	2.0	13.7	2.0	3.3	5.1	3.3
C ₆₀	常态	1.5	19.5	1.4	4.0	4.9	3.8
C ₆₀	泵送	2.1	16.6	2.0	3.7	5.2	3.6

4.23 风砂枪法混凝土抗冲磨试验

4.23.1 风砂枪法是一种高速挟砂气流喷射法,简单易行、稳定可靠,既能模拟一定的冲磨性质,又能较精确地反映出不同材料的抗冲磨性能之间的差异,用于室内进行各种材料的抗冲磨性能的相对比较试验,是一个比较好的方法。高速挟砂气流喷射法可改变参数较多,对开展材料抗冲磨机理的研究也是可行的。

4.23.2 一般额定压力能达到 0.8MPa,风量 6m³/min 的空压机就可满足试验要求。

当喷气管直径为 24mm 时,不同引气孔直径砂粒喷到试件表面上的速度(孔板法)列于表 5。

为了用最短的时间消耗较少的功来进行试验,选用引气孔直径为 φ10mm 是比较好的,试验结果列于表 6。

表 5 压力与砂粒速度的关系

压缩空气的压力 (MPa)	砂粒速度 (m/s)	
	φ8.5mm	φ10mm
0.20	46.5	51.0
0.30	59.5	69.4
0.44	69.7	85.0

表 6 不同引气孔尺寸冲磨失重

孔径 ϕ (mm)	6	8	10
失重 (g)	17.5	81.0	153.0

4.2.3.3 喷射角度是指试件表面与风砂枪喷嘴轴线之间的夹角。试验资料表明,混凝土试件的抗磨失重随喷射角度的增大而增加。当喷射角较小时,作为磨损介质的砂子对试件只有磨损作用而无冲击作用,当喷射角较大时则只有冲击作用而无磨损作用。只有当喷射角在 30° 附近时,冲击作用和磨损作用都比较突出,并且整个试件都受冲磨,从而使试验结果比较稳定,因此规定喷射角为 30° 。

当喷气管直径为 24mm,引气孔直径为 10mm 时,砂粒喷出的发散角约为 30° 。当喷射角为 30° 时,若采用 $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 的试件,只要试件与喷嘴相距 300mm (试件表面中心到喷嘴中心的距离),就可使试件整个表面受到冲磨,所以规定试件与喷嘴的距离为 300mm。

压力增加一倍,磨损量可增加 2 倍以上。因为压力越大,磨损介质的速度就越快,因而磨损越大。考虑到不使空压机自动调节阀启闭太频,压力不宜太高,以 0.3MPa 为宜,这时砂速约为 69.4m/s。

因为抗冲磨试验用砂量较大,宜选用天然河砂为宜。砂子矿物成分随产地的不同而不同,一般以石英含量较高,含泥量较低,细度模数在 1.6 左右为好。

加水的作用是为了改善工作环境,因加水量小,对试验结果影响不大。

4.3.2 混凝土快速氯离子迁移系数试验

原规程中的“混凝土相对氯离子扩散系数试验”是从 JTJ 270—1998 引进的方法,目前该方法已较少在工程设计中采纳。

本次修订删除了该方法。

混凝土快速氯离子迁移系数法 (简称 RCM 法) 从 GB/T 50082—2009 引进,该方法已被很多科研和工程单位采用,在评价混凝土抗氯离子渗透性能上积累了丰富经验。

4.3.3 混凝土钢筋腐蚀快速试验

4.3.3.1 从 JTJ 270—1998 引进的方法。

调查表明,淡水环境的水工混凝土建筑物水上和水位变动区钢筋腐蚀的主要原因是混凝土碳化:混凝土碳化深度超过钢筋保护层厚度,钢筋就会锈蚀。而海洋环境的水工混凝土建筑物浪溅区和水位变动区钢筋腐蚀的主要原因是氯离子侵蚀。本方法就是根据这两种腐蚀机制而编制的。

4.3.3.4 本法的碳化设备、试件碳化和测量碳化深度,参照第 4.3.1 节。

4.3.4 混凝土泊松比试验

依据美国标准《混凝土抗压静弹模和泊松比试验方法》(Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression) ASTM C469-02 修编而成。

4.3.5 混凝土抗压强度快速试验

本节根据原规程中附录 A 修订。

4.3.6 混凝土透气性试验

本节根据原规程中附录 C 修订。该方法的原理如规程中图 4.3.6.2 所示,混凝土试件一边抽真空,一边通大气。由于试件两边气体压差的作用,空气不断地从通大气一边透过混凝土试件,使抽真空试验槽内的真空度下降。测定真空度由 0.056MPa 下降至 0.050MPa 所需的透气时间 t_a 。根据 t_a 算出混凝土的气体扩散系

数,以此来比较混凝土透气性。

4.37 真空脱水混凝土试件的成型与养护

本节根据原规程中附录 D 修订。

4.38 混凝土拌和物真空脱水率试验

本节根据原规程中附录 E 修订。

4.39 混凝土早期抗裂性试验

本方法从 GB/T 50082—2009 引进。

5 全级配混凝土

5.1 全级配混凝土试件的成型与养护

全级配混凝土的试验方法,主要是根据“八·五”国家重点科技攻关项目《大坝全级配混凝土试验方法研究》(208-01-03-081)成果而编写的。同时也参考美国垦务局《材料试验手册》(Materials Laboratory Procedures Manual)的有关内容。

全级配混凝土的试验结果,主要供大型混凝土坝的设计复核,不作为现场混凝土质量控制的依据。

以上说明同样适用于本规程第 5.2~5.6 节。

5.1.2 轴向抗拉试件的“纯拉段”长度,是根据专门的光弹试验确定的。预埋件对试件内部应力不均匀的影响长度,大约为预埋件长度的 1/2,因此试件的纯拉段长度为试件总长度减去两个 1.5 倍的预埋件长度或变断面长度。

5.7 全级配混凝土渗透系数试验

抗渗等级作为混凝土的抗渗性能指标虽然简单、直观,但存在着试验误差大,复演性差的缺点,同时抗渗等级只在短时间内检验混凝土的渗水压力,忽略了时间因素,因此难以全面正确地反映混凝土的实际抗渗能力。

国内现行的混凝土抗渗试验是将混凝土中大于 40mm 的粗骨料剔除后再成型试件,这样使混凝土的灰浆率增大,因而所测得的抗渗性与原状混凝土差别极大。

除苏联和我国外,多数国家均采用渗透水量法测定渗透系数或用透水深度法测定相对渗透系数。

5.7.4 渗透系数计算公式是根据通过微小连续孔隙的黏性流体的达西定律推导出来的,即在相同条件下,流量与水力梯度成正比;并根据稳定的流水量与时间的关系,即可得到每秒米的渗透水量即渗透系数。

6 现场混凝土性能试验

6.1 回弹法检测混凝土抗压强度

本节修编参照《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23—2011、《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T 294—2013、《港口工程混凝土非破损检测技术规程》JTJ/T 272—1999。

6.1.1 本规程中加入了高强回弹仪,因此测量所适用混凝土等级范围也变了,详细范围在 6.1.2 的第 2 条中给出。

回弹法是一种利用表面硬度测量强度的方法,因此混凝土表面与内部质量有差异时不适用。

6.1.2 无论是规范还是实际应用中,数字式回弹仪都较普遍也很成熟,因此在此条中加入了数字式回弹仪。由于回弹法使用普遍,原理、方法、设备都被大家了解,因而在此删除了回弹仪结构图。

回弹仪分类综合了规程 JGJ/T 23—2011、JGJ/T 294—2013、JTJ/T 272—1999 中列举的类型。

常规回弹测试中很少用到压力试验机。

采用中型回弹仪检测是最普遍的,因此增加测试中常用的碳化深度测量仪(或 150mm 游标卡尺),电锤(或凿子)、酚酞乙醇溶液等试验辅助设备。

6.1.3 回弹试验一般是先率定,因此将条目秩序调整。中型、高强回弹仪的率定值均按现行最新规程,重型回弹仪率定用钢砧,其硬度未查找到准确的依据,因此仍沿用原规程,未作修改。

回弹测区的布置、要求,根据最新检测规程中有关回弹法的章节修改。

高强、重型回弹仪均只允许在结构混凝土的浇筑侧面、水平

方向测试。对于中型回弹仪，在不具备水平、浇筑侧面测试条件时，可选择非水平、非浇筑侧面测试，测试值应进行修正。

使用中型回弹仪测试时，应进行碳化深度测量。碳化测量操作条目根据最新检测规程中有关碳化测量的要求修改。

6.1.4 本节中回弹值参照 JGJ/T 23—2011 采用符号 R ，且符号上、下标也尽量与之一致。

对于中型回弹仪检测，表 6.1.4-1 的表名参照 JGJ/T 23—2011 修改为“非水平方向检测时的回弹修正值 R_{aa} ”。

对于中型回弹仪检测，原规程无不同浇筑面的回弹修正，不符合回弹检测方法要求。本次修订增加了不同浇筑面修正值表。

原规程中型回弹仪专用测强曲线的建立，缺少变量碳化的测量与回归参与，本次修编加入。

中型回弹仪回归方程式（6.1.4-5）采用目前回弹规程中的回弹、碳化变量的幂函数型公式。

采用的混凝土强度公式推定公式中，增加了泵送混凝土、高强回弹仪的推定公式。

中型回弹仪的回弹、碳化值与混凝土强度的换算采用查表方式，故增加附录 B。

6.2 超声回弹综合法检测混凝土抗压强度

超声回弹综合法是目前较常用的一种无损检测混凝土强度的方法，故本次修编增加该节。

本节修编参照《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》CECS 02：2005、JGJ/T 294—2013 和 JTJ/T 272—1999 修编。

本节与修编依据规程不同之处做如下说明。

6.2.3 本规程推荐超声对测和平测方法，CECS 02：2005 中叙述的角测法因实际应用较少，且零读数的确定不明确，故未写入本规程中。

本规程推荐多点平测法，该方法无需考虑 t_0 的影响，所求波

速过程简单、真实。

若被测结构为大体积混凝土，无法实现对测，且平测亦不具有代表性，可采用钻孔对测求得混凝土的波速。由于规程章节篇幅有限，本规程只提供有超声钻孔对测方法，如确有需要做这项试验，可参考 CECS 02：2005 等规程介绍的方法进行。

6.2.4 测区声速修正公式（6.2.4-1），将测距、测试面修正统一在一个公式里表达，更为清晰、易理解。

由于平测法为多点平测，最大距离 $\leq 500\text{mm}$ ，距离对波速的影响可忽略。

“超声测试面修正系数 β 值（表 6.2.4-2）”采用列表方式，将对测法中的 2 类测试面修正与平测法中的 3 类测试面修正分别列出，方法明确，易于理解、对照、使用。

6.3 射钉法检测混凝土强度

本节根据原规程中附录 F 修订。

6.4 钻芯法检测混凝土强度

6.4.3 参照《钻芯法检测混凝土强度技术规程》CECS 03：2007，作如下修改：

- 1) 增加芯样钻取要求；
- 2) 抗压芯样长径比统一按 1.0 截取，并取消高径比修正；
- 3) 修改试件端面处理方法和试件尺寸要求；
- 4) 劈裂荷载的施加方式由芯样侧面改为端面。

6.5 钻芯法检测混凝土抗渗性

参照 JTJ270—1998 中“取芯法测定混凝土抗渗性”修编而成。

6.6 钻芯拉拔法检测混凝土黏结强度

本节参照《水电水利工程锚喷支护施工规范》DL/T 5181—2003、

《土工混凝土建筑物缺陷检测和评估技术规程》DL/T 5251—2010 修编而成。

对于钻芯拉拔试验,由于影响因素或不可知因素更多,因此数据的离散性在某种程度上可能会较大,参照有关文献(卜良桃等,新老混凝土黏结界面钻芯拉拔强度的试验研究,西安建筑科技大学学报,第41卷第5期,2009年10月),将数据剔除标准定为25%(DL/T 5251—2010为15%)。

根据经验和有关文献增加注意事项。因加荷偏心等原因,用钻芯拉拔法测得的强度可能会偏小。

6.7 混凝土中钢筋半电池电位试验

6.7.1 参照《混凝土中钢筋检测技术规程》JGJ/T 152—2008 修改。

6.7.3 1) 实际应用中,较多使用的是市售的钢筋锈蚀检测仪,也有采用自制的半电池检测仪器的。

2) 其余条目参照 JGJ/T 152—2008 修改。

6.7.4 参照 JGJ/T 152—2008 修改。

6.7.5 1) 等电位图可以较直观地判断钢筋锈蚀的区域、分布情况,因此参照 JGJ/T 152—2008 增加了等电位图。

2) 参照 JGJ/T 152—2008,删除原规程中对钢筋锈蚀性判断的文字表达,修改为判据表格形式,简洁、明确、易于对照。

7 水泥砂浆

7.8 水泥砂浆黏结强度试验

本方法从 JTJ 270—1998 引进。

目前国家标准或部颁标准尚未制定有关黏结强度检测方法的规程,有关技术文献介绍的黏结强度检测一般采用张拉或剪切两种方法。考虑到试验方法、设备尽可能简单,操作尽可能方便,试验精度尽可能高的原则,采用测定 8 字型水泥砂浆黏结试件抗拉强度的试验方法。

7.9 水泥砂浆轴向拉伸试验

7.9.1 本方法从 JTJ 270—1998 引进。

7.9.2 砂浆极限拉伸试验的基本要求是:沿试件横截面拉应力应均匀分布,无较大偏心;沿试件长度应有一均匀应力段。在此均匀应力段上测得的极限拉伸值和轴向抗拉强度,才是较真实的。试件形状和尺寸,是经过光弹试验确定的。加载时,试件中部等断面段应力分布均匀。拉伸时,断在渐变段的概率仅为 8%。

7.9.3 研究表明:偏心率在 20% 以内,对试验结果影响不大,而且一般偏心率大于 20% 的试件数量仅为 10%。因此条文规定试件偏心率不得大于 20%。

砂浆试件相对于混凝土试件断面较小,材料较均质,抗拉强度和内部产生微细裂缝的荷载较大。因此,砂浆试件的加荷速度和预拉荷载,条文规定略高于混凝土试件,分别为 0.24kN/min 和 25%~30% 破坏荷载。

7.12 水泥砂浆抗渗性试验

本方法从 JTJ 270—1998 引进。
