

ICS 27.140

P 59

备案号: J2665—2019

**DL**

中华人民共和国电力行业标准

**P**

**DL/T 5775 — 2018**

---

# 水电水利工程水泥改性膨胀土 施工技术规范

Technical specification for construction of cement-modified  
expansive soil in hydraulic and hydroelectric engineering

**2018-12-25 发布**

**2019-05-01 实施**

---

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

# 水电水利工程水泥改性膨胀土施工技术规范

Technical specification for construction of cement-modified expansive  
soil in hydraulic and hydroelectric engineering

**DL/T 5775 — 2018**

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：2019 年 5 月 1 日

中国电力出版社

**2019 北 京**



中华人民共和国电力行业标准  
水电水利工程水泥改性膨胀土施工技术规范  
Technical specification for construction of cement-modified expansive  
soil in hydraulic and hydroelectric engineering  
**DL/T 5775 — 2018**

\*

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>)  
北京传奇佳彩印刷有限公司印刷

\*

2019 年 12 月第一版 2019 年 12 月北京第一次印刷  
850 毫米×1168 毫米 32 开本 1.75 印张 47 千字  
印数 001—500 册

\*

统一书号 155198 • 1600 定价 **27.00** 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

## 国家能源局

## 公 告

2018 年 第 16 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《光伏发电工程地质勘察规范》等 204 项行业标准，其中能源标准（NB）32 项、电力标准（DL）172 项，现予以发布。

附件：行业标准目录

国家能源局

2018 年 12 月 25 日

附件：

## 行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
...							
197	DL/T 5775—2018	水电水利工程水泥改性膨胀土施工技术规范			中国电力出版社	2018-12-25	2019-05-01
...							

# 前 言

本规范根据《国家能源局关于下达 2013 年第一批能源领域行业规范制（修）订计划的通知》（国能科技〔2013〕235 号）的要求制定。

本规范编制过程中，编写组人员进行了广泛的调查研究、收集资料和征求意见，对国内水电水利工程水泥改性膨胀土施工中采用的各项技术、工艺进行了总结和提炼，吸收了全国水电水利工程建设、设计、科研、施工、监理等单位及有关专家的意见，经审查定稿。

本规范的主要技术内容包括：基本规定、配合比、现场试验、拌和、填筑、质量检测与评定等。

本规范由中国电力企业联合会提出。  
本规范由电力行业水电施工标准化技术委员会（DL/TC 29）归口。

本规范主要编写单位：中国葛洲坝集团股份有限公司  
中国葛洲坝集团基础工程有限公司  
本规范参加编写单位：河南省水利勘测设计研究有限公司  
三峡大学

本规范主要编写人员：赵献勇 覃建庭 焦家训 张玉莉  
童 耀 刘欣阳 唐结齐 张文峰  
李建林 刘燕平 王乐华 朱太山  
赵二平 赵德贺 王才保 曹会彬  
张 帅 马晓阳 杨俊成 马小宇  
本规范主要审查人员：梅锦煜 吴高见 周厚贵 许松林  
楚跃先 汪 毅 吴新琪 郭光文  
余 英 贾志营 张为明 陈 宏

吕芝林 熊 进 孙来成 张建华  
林 鹏 谢凯军 刘 英 罗朝文  
钟彦祥 温建明 和孙文 何小雄  
龚壁卫 程德虎

本规范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	基本规定 .....	3
4	配合比 .....	4
4.1	材料 .....	4
4.2	配合比设计 .....	4
5	现场试验 .....	5
5.1	一般规定 .....	5
5.2	试验内容 .....	5
5.3	试验要求 .....	6
5.4	试验成果 .....	7
6	拌和 .....	8
6.1	一般规定 .....	8
6.2	厂拌法 .....	8
6.3	场拌法 .....	9
6.4	路拌法 .....	10
7	填筑 .....	12
7.1	摊铺 .....	12
7.2	碾压 .....	12
7.3	层面处理 .....	13
7.4	养护 .....	13
8	质量检测与评定 .....	15
8.1	质量检测 .....	15
8.2	取样 .....	15
8.3	评定 .....	15

附录 A 试件制备.....18

    A.1 仪器设备 .....18

    A.2 试件的搅拌、成型与养护 .....19

附录 B 试验方法.....21

    B.1 一般规定.....21

    B.2 无侧限抗压强度试验 .....21

    B.3 剪切试验.....22

    B.4 自由膨胀率试验 .....25

    B.5 有荷膨胀率试验 .....25

    B.6 EDTA 滴定法.....25

本规范用词说明 .....26

引用标准名录 .....27

附：条文说明 .....29

## Contents

1	General provisions .....	1
2	Terms .....	2
3	Basic requirments.....	3
4	Mix proportion .....	4
4.1	Materials .....	4
4.2	Design of mix proportion .....	4
5	Field test .....	5
5.1	General rules .....	5
5.2	Test contents.....	5
5.3	Test requests .....	6
5.4	Test results .....	7
6	Mixing .....	8
6.1	General rules .....	8
6.2	Plant-mixing method.....	8
6.3	Field-mixing method.....	9
6.4	Road-mixing method.....	10
7	Filling .....	12
7.1	Paving .....	12
7.2	Rolling compaction .....	12
7.3	Layer face treatment.....	13
7.4	Maintenance .....	13
8	Mass detection and evaluation.....	15
8.1	Quality detection .....	15
8.2	Sampling .....	15
8.3	Evaluation .....	15

Appendix A	Specimens preparation .....	18
A.1	Equipment .....	18
A.2	The mixing, molding and conservation of the specimens .....	19
Appendix B	Test method .....	21
B.1	General rules .....	21
B.2	Unconfined compressive strength test .....	21
B.3	Shear test .....	22
B.4	Free swelling ratio test .....	25
B.5	Test of the expansion ratio with loads .....	25
B.6	EDTA titrimetric method .....	25
Explanation of wording in this specification .....		26
List of normative standards .....		27
Addition: Explanation of provisions .....		29



## 1 总 则

**1.0.1** 为规范水电水利工程水泥改性膨胀土施工和质量检测，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于水电水利工程。

**1.0.3** 水泥改性膨胀土施工应在确保工程质量及施工安全的前提下，结合料源条件统筹规划。

**1.0.4** 水泥改性膨胀土施工宜采用技术可靠、经济合理的新技术、新材料、新设备和新工艺，必要时进行试验论证。

**1.0.5** 施工过程中，应对边坡进行监测，确保施工安全。

**1.0.6** 施工过程中，应做好环境保护和水土保持工作。

**1.0.7** 水电水利工程水泥改性膨胀土施工与质量检测除应遵守本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 水泥改性膨胀土 cement-modified expansive soil

为改变土体的膨胀特性，将一定量的水泥均匀掺入到具有膨胀性的土料中，经填筑施工形成的土体。

### 2.0.2 拌和 mixing

将水泥与土料按一定方法搅拌均匀。

### 2.0.3 路拌法 road-mixing method

在填筑工作面采用路拌机械就地拌和的工艺。

### 2.0.4 场拌法 field-mixing method

在土料场或土料集中堆放区采用路拌机械进行集中拌和的工艺。

### 2.0.5 厂拌法 plant-mixing method

在固定式拌和机械或移动式拌和站拌制的工艺。

### 2.0.6 松铺系数 loose paving coefficients

松铺厚度与达到规定压实度的压实厚度的比值。

### 3 基 本 规 定

- 3.0.1** 水泥改性膨胀土施工应根据设计要求、场地条件和施工季节，进行施工组织设计。
- 3.0.2** 水泥改性膨胀土的拌制应采用合适的拌和方法，选择适当的生产设备，生产能力应满足高峰期填筑强度要求。
- 3.0.3** 水泥改性膨胀土施工前，应采取妥善的截排水措施，保证作业面干地施工。
- 3.0.4** 保护层开挖应结合换填层施工进度分区进行，并对开挖面和填筑面及时采取妥善保护措施，防止雨淋冲刷或坡面土体失水。
- 3.0.5** 各项施工记录应有专人在现场随着施工作业的方式进行逐项填写，做到及时、准确、真实。
- 3.0.6** 施工过程中应做好工序质量检查和控制。

## 4 配 合 比

### 4.1 材 料

4.1.1 土料应根据设计要求进行相关试验。

4.1.2 水泥应符合国家相关标准的要求，不宜使用早强、快硬水泥。

### 4.2 配 合 比 设 计

4.2.1 水泥改性膨胀土配合比设计应按下列步骤进行：

- 1 测定土样天然含水率和密度，以及设计要求的其他指标。
- 2 根据烘干土质量确定水泥掺量基准值。
- 3 确定用水量。
- 4 计算各材料用量比例。
- 5 进行水泥改性膨胀土试配。
- 6 调整和确定水泥改性膨胀土配合比。

4.2.2 水泥掺量基准值按设计要求的水泥掺量确定，也可根据工程要求的改性土性能指标及料源情况确定，宜为干土质量的 3%~8%。

4.2.3 水泥改性膨胀土试配时，宜选 3 个~5 个配合比，可选取一个基准值，其他配合比的水泥掺量根据基准值适当增减 1%~3%。

4.2.4 水泥改性膨胀土试配时，试件制备应符合本规范附录 A 的规定，水泥改性膨胀土的性能试验应按本规范附录 B 执行。

4.2.5 根据试配结果，宜选定符合设计性能要求、较小水泥掺量所对应的配合比。当试配结果不满足设计要求时，应调整配合比并重新进行试验。

4.2.6 配合比应通过现场试验验证，必要时进行调整。

4.2.7 水泥改性膨胀土的性能指标应满足设计要求。

## 5 现场试验

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 试验目的为验证配合比,确定合理的施工参数和检查方法。
- 5.1.2 试验场地宜选在地质条件、填筑断面形式等具有代表性的工作面。
- 5.1.3 试验前应将试验场地清理平整,并按设计要求进行压实。
- 5.1.4 现场试验场地大小及分区应满足碾压及取样要求。
- 5.1.5 试验时采用的设备应与施工时使用设备的类型、型号相同。
- 5.1.6 压实时应采用进退错距法进行碾压,碾迹重叠不小于 20cm。压实机具行走速度宜控制在 1.5km/h~4.0km/h。
- 5.1.7 进入试验区的改性土块直径不宜大于 100mm,其中粒径 50mm~100mm 的土块含量不大于 7%,粒径 5mm~50mm 的土块含量不大于 50%。
- 5.1.8 从拌和到碾压完成的时间不宜超过 4h,且应短于水泥的终凝时间。

### 5.2 试验内容

- 5.2.1 通过拌和试验确定水泥含量标准曲线,确定后应开展水泥改性膨胀土拌和生产性试验,以选定拌和时机械的运行控制参数,确定水泥掺量、被改性土含水率与改性土含水率之间的关系。
- 5.2.2 在施工前,应针对不同土料场进行室内 EDTA 滴定试验,确定水泥含量标准曲线,并进行生产性试验,确定设备搅拌深度、拌和遍数等参数。
- 5.2.3 通过碾压试验确定填料的摊铺厚度、压实机具吨位、行走

速度、压实方法及压实遍数、含水率的范围、松铺系数。针对不同的组合，测定干密度及其他碾压参数。

**5.2.4** 验证配合比。

**5.2.5** 通过试验确定过程质量控制方法、指标和检测方法。

### **5.3 试 验 要 求**

**5.3.1** 厂拌料拌和试验，应根据拌和系统的生产能力、土料的特性、水泥掺量，确定水泥及水的加入速率。厂拌料碾压试验时，应将试验场地划分为 4 个面积相同的试验小块，按不同厚度对每个试验小块铺设同一拌和批次的改性土料。

**5.3.2** 场拌料拌和试验，根据改性土的厚度和预定的干密度及水泥剂量，计算每平方米水泥稳定土需要的水泥用量，并确定水泥摆放的纵横间距。水泥摊铺完后，表面应没有空白位置，也没有水泥过分集中的地点。场拌料碾压试验与厂拌料相同。

**5.3.3** 路拌料拌和试验，将试验场地划分为 4 个面积相同的试验小块，按不同厚度铺设土质、天然含水率相同的土料，掺加水泥进行拌和；随时检查拌和深度并配合拌和机操作员调整拌和深度。拌和深度应达层底并宜侵入下层 5mm~10mm，以利上下层黏结。路拌料碾压试验直接在拌和试验小块上进行。

**5.3.4** 拌和均匀后的改性土料应采用 EDTA 滴定法测定水泥含量，平均值不得小于设计掺量。取样个数不宜少于 6 个，每个样品的质量不宜小于 300g。在料堆上取样时，取样部位应分布均匀。取样前先将取样部位表层铲除，然后从不同部位随机抽取。在皮带机上取样时，应在皮带机机头全断面定时随机抽取。

**5.3.5** 摊料过程中，应将超尺寸颗粒土料及其他杂物清除。

**5.3.6** 每个试验分区，按预定的计划、规定的操作要求碾压至一定遍数后，取样测定干密度值，取样数为 1 组/10m<sup>2</sup>，并不应少于 6 个。

**5.3.7** 应测定压实后土层厚度，并观察压实土层底部有无虚土层、

上下层结合是否良好、有无光面及剪力破坏现象等，并做记录。  
对于路拌法，施工时严禁在拌和层底部留有素土夹层。

## **5.4 试 验 成 果**

- 5.4.1** 通过试验确定拌和时间、碾压遍数、碾压速度等拌和参数。
- 5.4.2** 试验完成后，应及时对原始记录、过程记录资料进行整理分析。试验应绘制铺土厚度、压实遍数和干密度的关系曲线。
- 5.4.3** 根据试验结果确定施工参数。

## 6 拌 和

### 6.1 一 般 规 定

**6.1.1** 应选用现场有代表性的土料做室内 EDTA 滴定试验,以开始掺入水泥后 30min、2h、4h、6h、12h 为时间参变量,绘制水泥含量标准曲线,用以检测后续生产的水泥改性土水泥含量。

**6.1.2** 在拌和施工前,应进行生产性试验,确定施工参数。

**6.1.3** 拌和成品料检测频次及数量视工程规模而定,施工初期每拌和批次不大于  $600\text{m}^3$ ,抽测不少于 6 个样,每个样品的质量不小于 300g,正常施工后每班取样不少于 1 个。

### 6.2 厂 拌 法

**6.2.1** 碎土施工应遵循以下原则:

1 在进行碎土施工前,应针对料场、含水率、土料开采及堆存方式,通过现场碾压试验,确定碎土生产工艺。

2 应定时监测土料的含水率变化。含水率偏高时,应通过翻晒、风干等措施降低含水率;含水率偏低时,待破碎后适当洒水湿润。

3 碎土生产工艺确定后,不得随意改变取土料场、土料开采及堆存方式。当取土料场或土料开采方式发生变化时,应结合生产试验成果调整碎土工艺,必要时应另行开展生产性试验。

4 碎土成品料宜直接进行拌和,如需堆存时,应采取相应措施避免碎土成品料受雨淋或造成板结。

5 碎土质量由碎土成品土料粒径级配控制,采用筛分法检



测，最大粒径不大于 100mm，其中粒径 50mm~100mm 的土料含量不大于 7%，粒径 5mm ~50mm 的土料含量不大于 50%。

#### 6.2.2 拌和施工应遵循以下原则：

1 根据试验确定的最优含水率，适当考虑改性土运输、摊铺等施工环节的水量损失确定改性土含水率，结合现场拌和试验成果选择改性土生产时的加水量。

2 拌和称量系统根据土料质量，按确定的水泥掺量添加水泥，根据试验确定的机械运行控制参数充分拌和，并进行均匀度检测，不合格时应分析原因，必要时调整设备控制参数。

### 6.3 场 拌 法

6.3.1 采用推土机配合平地机对选定的拌和场地顶面进行整平，整平后要求大面平整，无明显凹陷、凸出部分。

6.3.2 取样检测预拌和土层的干密度及含水率，用以计算水泥摊铺量及控制拌和后混合料含水率。

6.3.3 摊铺水泥：根据土料厚度、干密度和水泥掺量，按公式 (6.3.3) 计算每平方米水泥改性土需要的水泥用量：

$$Q = 10000H\rho_d\alpha_w \quad (6.3.3)$$

式中：Q ——水泥用量 (g/m<sup>2</sup>)；

H ——土料厚度 (cm)；

$\rho_d$  ——土料干密度 (g/cm<sup>3</sup>)；

$\alpha_w$  ——水泥掺量。

水泥摊铺可使用网格法人工撒铺或采用机械摊铺，并随时检查摊铺均匀性。

#### 6.3.4 拌和施工应遵循以下原则：

1 水泥摊铺完成后，应及时进行路拌机械拌和，调整刀片入土至试验确定的深度并固定，拌和机匀速平稳行走，行走速度宜为 4m/min~8m/min，确保拌和均匀、深度一致。

2 拌和时，每道搭接宽度不少于 20cm，设专人跟随拌和机，

随时检查拌和深度及搭接宽度，确保工作区内无漏拌。

3 第一遍拌和完成一定范围时，取样检测拌和后的混合料含水率，如果混合料含水率不足，应用洒水车及时补充洒水。洒水要求采用喷洒方式，洒水车匀速行走，确保洒水均匀。

4 如拌和后水泥改性土成品料质量无法满足要求，则应根据实际情况调整拌和工艺或增加拌和遍数。

6.3.5 集料装车取土时不得超过拌和土深度。

## 6.4 路 拌 法

6.4.1 根据试验确定的厚度进行土料摊铺，严格控制铺料范围及厚度。

6.4.2 对摊铺好的土料进行轻压整平，使其表面平整、厚度均匀。

6.4.3 根据土料的摊铺厚度、松铺系数、预定的干密度和水泥掺量计算水泥用量。按公式（6.4.3）计算每平方米水泥改性土需要的水泥用量：

$$Q=10000H\rho_d\alpha_w/k \quad (6.4.3)$$

式中：Q ——水泥用量（g/m<sup>2</sup>）；

H ——铺料厚度（cm）；

$\rho_d$  ——预定的干密度（g/cm<sup>3</sup>）；

$\alpha_w$  ——水泥掺量；

k ——松铺系数。

水泥摊铺可使用网格法人工撒铺或采用机械摊铺，并随时检查摊铺均匀性。

6.4.4 拌和施工应遵循以下原则：

1 水泥摊铺完成后，路拌机及时开始拌和。拌和机匀速平稳行走，现场取 4m/min～8m/min 的行走速度，确保拌和均匀、深度一致。

2 干拌过程结束时，如果混合料含水率不足，应用洒水车及

时补充洒水，路拌机跟进再次拌和。洒水要求采用喷洒方式，洒水车匀速行走，确保洒水均匀。

**3** 拌和时，每道搭接宽度不少于 20cm，设专人跟随拌和机，随时检查拌和深度及搭接宽度，确保工作区内无漏拌。

## 7 填 筑

### 7.1 摊 铺

**7.1.1** 水泥改性土填筑施工前，应测量放样、清除建基面浮土，并应按照设计要求进行基础面平面尺寸、标高、压实度等指标的检查验收。

**7.1.2** 作业面堆料前应保持表面湿润。

**7.1.3** 厂拌法和场拌法可采用自卸车运输、进占法卸料，根据填筑宽度、厚度及松铺系数，计算各段需要摊铺的方量。

**7.1.4** 根据现场试验成果控制松铺厚度，允许偏差为 $\pm 2\text{cm}$ 。

**7.1.5** 平行于轴线方向进行找平，摊铺土料时应超填，超填宽度宜为 $30\text{cm}\sim 50\text{cm}$ 。

**7.1.6** 摊铺过程中，应将超径颗粒及其他杂物剔除。

**7.1.7** 混合料拌和均匀后，应立即用平地机初步整形，用压路机立即在初平的工作面上快速碾压一遍；对局部低洼处，应耙松表面 $5\text{cm}$ 以上，并用新拌的混合料进行找平。

### 7.2 碾 压

**7.2.1** 改性土宜在最优含水率范围内碾压，碾压时轮迹重叠应不小于 $20\text{cm}$ 。

**7.2.2** 振动碾不宜在正在碾压的工作面上急转弯或急刹车，应保证改性土层表面不受破坏。

**7.2.3** 碾压过程中，改性土的表面应始终保持湿润，水分蒸发过快，应及时洒水。

**7.2.4** 碾压过程中出现松散、起皮、弹簧土等现象时，应及时

清除。

**7.2.5** 气候炎热干燥时，碾压时的含水率可比最优含水率增加 0.5 个~1.5 个百分点。

**7.2.6** 遭遇降雨时应停止施工，但对已摊铺的工作面应尽快碾压密实、封面并进行防雨覆盖。

**7.2.7** 碾压完成后，对于局部高出部分，应将之刮除；对于局部低洼之处，不再进行找补，可留待上一层施工时进行处理。

### 7.3 层 面 处 理

**7.3.1** 分区施工时，斜坡结合面处理应符合以下要求：

1 分区施工纵坡衔接时，相同水泥掺量的改性土之间结合面坡度不应陡于 1:6；不同水泥掺量的改性土结合面坡度不应陡于 1:10。可直接进行接坡填筑碾压施工。

2 与坡面基土横向接坡时，结合面下一作业层填筑前需开挖成小台阶，台阶高为每一层压实厚度。

3 当填筑断面存在两种不同性质土的填筑分区时，宜采用同步填筑施工。

4 衔接部位填筑应在超填土料削坡之前完成；填筑时，应清除先期超填土料及松散土料。

5 下一作业层铺料施工前，需对斜坡结合面进行洒水处理。

**7.3.2** 改性土填筑施工超填的余料应按设计要求处理。

**7.3.3** 水泥改性膨胀土碾压完成后，应在 6h~8h 内完成上土覆盖，如不能及时跟进的，要对填筑面和建基面做好保湿和防雨等施工期的保护措施。

### 7.4 养 护

**7.4.1** 每一段碾压完成并经检测合格后，应立即开始养护。可选择洒水养护、覆盖物养护等，养护时间不宜少于 7 天。整个养护期间始终保持稳定土层表面潮湿。

**7.4.2** 雨天应停止施工，已铺好的水泥改性土应尽快碾压密实，并采取遮盖与防护措施。

**7.4.3** 水泥改性土施工期的日平均温度宜在 5℃以上，施工温度较低时应采取保护措施，加强覆盖保温，防止霜冻破坏土体结构。

## 8 质量检测与评定

### 8.1 质 量 检 测

**8.1.1** 施工前应对土料进行膨胀性、颗粒级配、界限含水率、天然含水率、天然密度等复核。此外，还应进行填料的击实试验。

**8.1.2** 水泥应进行质量检测。

**8.1.3** 水泥改性膨胀土应进行水泥掺量、膨胀性、含水率、压实度等检测。采用 EDTA 滴定法检测水泥改性膨胀土中水泥的含量，并求得水泥含量标准差来判定拌和均匀性。

**8.1.4** 对于有承载力要求的水泥改性膨胀土垫层工程，应检验垫层竣工后的地基承载力。

### 8.2 取 样

**8.2.1** 土料核查按使用方量进行取样。土料使用量小于  $10 \times 10^4 \text{m}^3$ ，取样试验组数不得低于 8 组；土料使用量大于  $10 \times 10^4 \text{m}^3$ ，则需按使用量的倍数增加相应的组数。

**8.2.2** 水泥掺量检测每  $600 \text{m}^3$  取 1 次，至少 6 个样品。

**8.2.3** 压实度检测、渗透系数检测、抗压强度检测取样深度为换填层底部，每层换填层厚度的  $2/3$  深度处，每一作业段或不大于  $1000 \text{m}^2$  检查 6 次以上。

### 8.3 评 定

**8.3.1** 土料各项指标均应符合设计要求。

**8.3.2** 水泥改性膨胀土质量控制的检查项目、频次和质量标准应符合表 8.3.2-1、表 8.3.2-2 的要求，同时应满足设计要求。

表 8.3.2-1 主控项目施工质量控制标准

检查项目	频次	质量标准
拌和均匀度 (水泥掺量)	每 600 m <sup>3</sup> 取 1 次, 至少 6 个样品, 施工过程中应随时观察	含量平均值不得小于设计掺量, 水泥含量标准差不应大于 0.7 (原状土为中膨胀土时标准差不应大于 0.5)
压实度	每一作业段或不大于 1000m <sup>2</sup> 检查 6 次以上	应符合设计要求。不合格样品不得集中于局部范围内
渗透系数 (必要时)	每一作业段或不大于 1000m <sup>2</sup> 检查 6 次以上	应符合设计要求
无侧限抗压强度 (必要时)	每一作业段或不大于 1000m <sup>2</sup> 检查 6 次以上	应符合设计要求

表 8.3.2-2 一般项目施工质量控制标准

检查项目	频次	质量标准
铺料厚度	每一作业段不少于 3 点	根据现场碾压试验确定, 允许偏差 ±2cm
土块粒径	随时观察	最大粒径不大于 100mm
基础清理	随时观察	清基范围内的腐殖土、草皮、树根、废渣、垃圾等应全部清除
清基范围	每一单元不少于 3 个断面	清基边界及深度应符合设计要求
基面处理	随时观察	基础面范围内坑、井等应按设计要求处理
换填层间结合面	随时观察	无空白, 无风干现象, 无杂物等
铺填边线	每一作业段不少于 3 点	允许偏差: ≥30cm

**8.3.3 水泥改性土单元工程施工质量评定分为合格和优良两个等级, 其标准应符合下列规定:**

**1 合格等级标准应符合下列规定:**

- 1) 主控项目, 检测结果应全部符合质量标准的要求。



- 2) 一般项目，逐项应有 70%及以上的检验点合格，且不合格点不应集中。
- 2 优良等级标准应符合下列规定：
  - 1) 主控项目，检测结果应全部符合质量标准的要求。
  - 2) 一般项目，逐项应有 90%及以上的检验点合格，且不合格点不应集中。

## 附录 A 试件制备

## A.1 仪器设备

## A.1.1 试验用试模符合下列规定：

- 1 试模应具有足够刚度、稳固可靠，内表面应光滑、防渗。
- 2 当采用立方体试模时，其尺寸应为  $70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm}$ ，且试模内表面不平整度应为每  $70.7\text{mm}$  不超过  $0.1\text{mm}$ ，各相邻面的垂直度允许偏差应为  $\pm 0.5^\circ$ 。
- 3 当采用圆柱体试模时，其尺寸应为下列三种尺寸之一：
  - 1) 内径  $39.1\text{mm}$ ，高度  $80\text{mm}$ ；
  - 2) 内径  $61.8\text{mm}$ ，高度  $100\text{mm}$ ；
  - 3) 内径  $101\text{mm}$ ，高度  $150\text{mm}$ 。
- 4 试验用试模类型应符合表 A.1.1 的规定。

表 A.1.1 试验用试模类型

试验内容	无侧限抗压强度试验	压缩试验	剪切试验	
			直接剪切试验	不固结不排水三轴压缩 (UU) 试验
试模类型	圆柱体试模	圆柱体试模	圆柱体试模	圆柱体试模

## A.1.2 除试模外，水泥改性膨胀土配合比试验采用的其他仪器设备应符合下列规定：

- 1 环刀采用不锈钢材料制成，内径应为  $61.8\text{mm}$ ，高度应为  $20\text{mm}$  或  $40\text{mm}$ 。
- 2 称量土料、水泥和水用天平的量程宜为  $30\text{kg}$ ，分度值应为  $5\text{g}$ ；称量用天平的量程宜为  $500\text{g}$ 、分度值应为  $0.01\text{g}$ 。

- 3 捣棒宜采用直径为 10mm 且端部磨圆的光滑钢棒。
- 4 搅拌机宜采用转速可调、可封闭搅拌的行星式搅拌机，转速宜为 100r/min~400r/min。
- 5 振动台应符合现行行业标准《混凝土试验用振动台》JG/T 3020 的规定。

## A.2 试件的搅拌、成型与养护

**A.2.1** 每批试件宜一次性搅拌成型，搅拌方式采用机械搅拌，并应符合下列规定：

- 1 风干土和水泥应先均匀混合，再洒水搅拌直至均匀。
- 2 拌和水可一次加入，也可以逐次加入。当采用逐次加入时，应逐次拌和 1min。从加水起至搅拌均匀，搅拌时间不应少于 10min，并不应超过 20min。

**A.2.2** 试件成型应符合下列规定：

- 1 成型试验室内的环境温度应为  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不应低于 50%。
- 2 在试件成型前，试模内表面应涂一薄层矿物油或其他不与水泥改性膨胀土发生反应的脱模剂。
- 3 水泥改性膨胀土搅拌后应尽快成型，成型时间不应超过 25min。
- 4 试件成型步骤应符合下列规定：
  - 1) 拌和物宜分两层插捣，每层装料高度宜相等。
  - 2) 每层应按螺旋方向从边缘向中心均匀插捣 15 次。在插捣底层拌和物时，捣棒应达到试模底部；插捣上层时，捣棒应贯穿该层后插入下一层 5mm~15mm。插捣时捣棒应保持竖直，插捣后应用油灰刀或刮刀沿试模内壁插拔数次。
  - 3) 试模应附着或固定在振动台上振实，振实时间不应少于 2min，振实后拌和物应高出试模上沿口。

- 4) 试模顶部多余的水泥改性膨胀土应刮除,抹平后应盖上塑料薄膜。

**A.2.3 试件拆模与养护应符合下列规定:**

- 1 带环刀试件可在 24h 后拆模,拆模后应将环刀外侧及两端的水泥改性膨胀土削去,并应将试件从环刀内取出,试件不应受损、变形。渗透试件的试件应带试模养护,其余试件应在  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  的环境条件下静置 48h 后拆模。

- 2 拆模后应检查试件外观,不得有肉眼可见的裂纹、缺棱掉角、倾斜及变形。

- 3 应称取试件养护前的质量 ( $m_1$ ),精确至 1g,并应根据试件的公称尺寸计算拆模后水泥改性膨胀土的重度。当同组试件重度的最大值或最小值与平均值之差超过 3%,或当该组试件重度的平均值小于天然土重度时,该组试件应作废,并应重新制备。

- 4 称量后的试件应放入  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  水中养护,试件间的间隔不应小于 10mm,水面高出试件表面不应小于 20mm。

## 附录 B 试 验 方 法

### B.1 一 般 规 定

**B.1.1** 试件从养护室取出后应立即进行试验。

**B.1.2** 试验前应用拧干的湿布擦干试件表面，称取试件质量( $m_2$ )，精确至 1g。养护后与养护前的试件缺损质量不应超过试件养护前质量( $m_1$ )的 1%。

**B.1.3** 应测量试件尺寸，并精确至 1mm。试件的不平度应为每 70.7mm 不超过 0.1mm，垂直度允许偏差应为 $\pm 0.5^\circ$ 。

**B.1.4** 试验前，应根据试件的质量和尺寸计算水泥改性膨胀土试件的重度。

### B.2 无侧限抗压强度试验

**B.2.1** 适用于测定水泥改性膨胀土立方体试件的无侧限抗压强度。

**B.2.2** 压力试验机应符合下列规定：

1 应符合现行国家规范《液压式压力试验机》GB/T 3722 和《试验机通用技术规程》GB/T 2611 的规定。

2 测量精度应为 $\pm 1\%$ 。

3 应具有加荷速率控制装置，并能均匀、连续加荷。

4 试件破坏荷载应在压力试验机全量程的 20%~80%之间。

**B.2.3** 无侧限抗压强度试验的试件应为 6 个，且试件制备应符合本规范附录 A 的规定。

**B.2.4** 无侧限抗压强度试验应按下列步骤进行：

1 将试件安放在试验机下垫板中心，试件的承压面应与成

型面垂直。启动试验机后，上压板与试件接近时，应调整球座，使接触面均衡受压。

2 以 0.03kN/s~0.15kN/s 的速率连续均匀地对试件加荷，直至试件破坏后记录破坏荷载，并精确至 0.01kN。

**B.2.5** 试件结果计算及确定应符合下列规定：

1 试件的无侧限抗压强度应按公式 (B.2.5) 计算：

$$f_{co} = \frac{P}{A} \quad (\text{B.2.5})$$

式中：  $f_{co}$  ——水泥改性膨胀土试件的无侧限抗压强度 (MPa)，  
精确到 0.01MPa；

$P$  ——破坏荷载 (N)；

$A$  ——试件的横截面面积 ( $\text{mm}^2$ )。

2 试验结果的确定应符合下列规定：

- 1) 应计算 6 个试件的无侧限抗压强度的平均值，精确至 0.01MPa；
- 2) 当 6 个试件无侧限抗压强度的最大值或最小值与平均值之差不超过平均值的 20%时，应以 6 个试件的平均值作为该组试件的无侧限抗压强度结果；
- 3) 当 6 个试件的最大值或最小值与平均值之差超过平均值的 20%时，应以中间 4 个试件的平均值作为该组试件的无侧限抗压强度结果；
- 4) 当中间 4 个试件的最大值或最小值与平均值之差超过平均值的 20%时，该组试件的试验结果应作废，并应重新制作试件。

### B.3 剪 切 试 验

**B.3.1** 适用于测定水泥改性膨胀土抗剪强度参数 (内聚力  $c$  和内摩擦角  $\varphi$ )。试验方法可采用直接剪切试验和三轴压缩试验。直接剪切试验宜采用快剪试验，三轴压缩试验宜采用不固结不排水压

缩（UU）试验的方法。

**B.3.2** 水泥改性膨胀土剪切试验的仪器设备应符合国家标准《土工试验方法规范》GB/T 50123 的规定。

**B.3.3** 水泥改性膨胀土剪切试验的试件制备应符合本规范附录 A 的规定。

**B.3.4** 不固结不排水三轴压缩试验应符合下列规定：

1 应制作 3 组共 12 个试件，且试件规格应为下列三种尺寸之一：

- 1) 直径 39.1mm，高度 80mm；
- 2) 直径 61.8mm，高度 100mm；
- 3) 直径 101mm，高度 150mm。

2 试件从养护地点取出后，应立即测量其直径和高度，精确至 0.1mm：

1) 试件的平均直径应按公式（B.3.4-1）计算：

$$D = \frac{D_1 + 2D_2 + D_3}{4} \quad (\text{B.3.4-1})$$

式中：D —— 试件的平均直径（mm），精确至 0.1mm；

$D_1$  —— 试件上部位的直径（mm）；

$D_2$  —— 试件中部位的直径（mm）；

$D_3$  —— 试件下部位的直径（mm）。

2) 应用卡尺沿圆周对称的十字方向量取 4 个高度，并取其平均值作为该试件的平均高度，精确至 0.1mm。

3 不固结不排水三轴压缩试验步骤应按国家标准《土工试验方法规范》GB/T 50123 的规定进行。

4 试验结果计算及确定应符合下列规定：

1) 试件的校正面积应按公式（B.3.4-2）计算：

$$A_a = \frac{A_0}{1 - \varepsilon_1} \quad (\text{B.3.4-2})$$

式中： $A_a$ ——试件剪切时的校正面积（ $\text{cm}^2$ ），由试验前量测的试件尺寸计算的试件平均断面面积；

$A_0$ ——试件的初始断面面积（ $\text{cm}^2$ ）；

$\varepsilon_1$ ——轴向应变（%）。

2) 主应力差（ $\sigma_1 - \sigma_3$ ）应按公式（B.3.4-3）计算：

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{CR}{A_a} \times 10 \quad (\text{B.3.4-3})$$

式中： $\sigma_1$ ——大主应力（ $\text{kPa}$ ）；

$\sigma_3$ ——小主应力（ $\text{kPa}$ ）；

$C$ ——测力计率定系数， $\text{N}/0.01\text{mm}$  或  $\text{N}/\text{mV}$ ；

$R$ ——百分表读数， $0.01\text{mm}$  或  $\text{mV}$ 。

3) 应绘制应力圆及强度包线。应以法向应力  $\sigma$  为横坐标、剪应力  $\tau$  为纵坐标，在横坐标上以  $\frac{\sigma_{1f} + \sigma_{3f}}{2}$  为

圆心， $\frac{\sigma_{1f} - \sigma_{3f}}{2}$  为半径，在  $\tau - \sigma$  应力平面图上绘制

破坏应力圆，作应力圆包线。该包线的倾角应为内摩擦角  $\varphi$ ，包线上纵轴上的截距应为黏聚力  $c$ ，如图 B.3.4 所示。

4) 应以 3 组试件平均值作为试验结果。

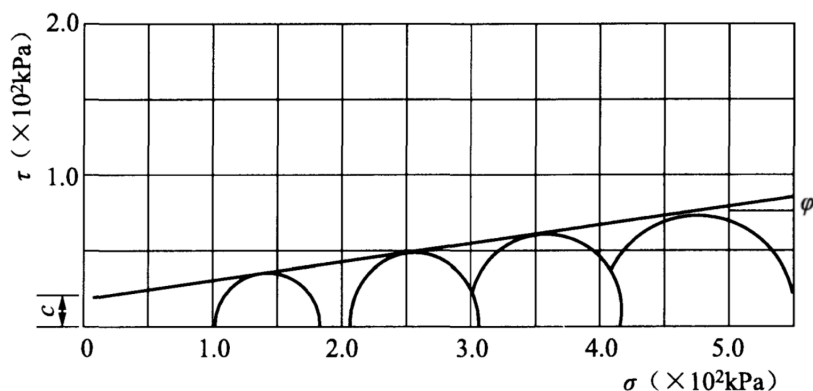


图 B.3.4 不固结不排水剪切强度包线



#### **B.4 自由膨胀率试验**

**B.4.1** 改性土的自由膨胀率试验应按《土工试验规程》SL 237 中的“自由膨胀率试验”执行。

#### **B.5 有荷膨胀率试验**

**B.5.1** 改性土的有荷膨胀率试验应按《土工试验规程》SL 237 中的“膨胀率试验”执行。

#### **B.6 EDTA 滴定法**

**B.6.1** 改性土的 EDTA 滴定法应按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 中的“水泥或石灰稳定材料中水泥或石灰剂量测定方法”执行。

## 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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：  
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：  
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，在条件许可时首先应这样做的：  
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，采用“可”。

2 条文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”。

## 引用标准名录

- 《土工试验方法规范》 GB/T 50123
- 《试验机通用技术规程》 GB/T 2611
- 《液压式压力试验机》 GB/T 3722
- 《混凝土试验用振动台》 JG/T 3020
- 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51
- 《土工试验规程》 SL 237



中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程水泥改性膨胀土  
施工技术规范

**DL / T 5775 — 2018**

条 文 说 明

## 目 次

4	配合比 .....	31
4.1	材料 .....	31
4.2	配合比设计 .....	31
5	现场试验 .....	32
5.1	一般规定 .....	32
5.3	试验要求 .....	32
6	拌和 .....	33
6.2	厂拌法 .....	33
6.3	场拌法 .....	33
6.4	路拌法 .....	34
7	填筑 .....	35
7.1	摊铺 .....	35
7.2	碾压 .....	35
7.3	层面处理 .....	35
7.4	养护 .....	35
8	质量检测与评定 .....	36
8.1	质量检测 .....	36
8.2	取样 .....	36
8.3	评定 .....	37
附录 A	试件制备 .....	38
A.1	仪器设备 .....	38
A.2	试件的搅拌、成型与养护 .....	38
附录 B	试验方法 .....	40
B.1	一般规定 .....	40
B.2	无侧限抗压强度试验 .....	40
B.3	剪切试验 .....	40

## 4 配 合 比

### 4.1 材 料

**4.1.1** 相关试验包括土料的液塑限试验、自由膨胀率试验、含水率试验，改性土的自由膨胀率试验、EDTA 滴定试验、击实试验、含水率试验等。

**4.1.2** 设计无特殊要求时，凡符合国家标准的水泥均可使用。

### 4.2 配 合 比 设 计

**4.2.2** 根据工程实践，大部分工程的设计人员在进行了水泥改性膨胀土设计时，均提出了水泥掺量（或水泥用量）的具体要求，同时也提出了水泥改性膨胀土强度的设计要求，因此在进行水泥改性膨胀土配合比试验时，可以选取设计要求的水泥掺入量作为水泥掺量基准值。若设计只提供水泥改性膨胀土强度要求，则可按照当地经验确定水泥掺量基准值。

对采用水泥与土混合形成的水泥稳定中粒土和粗粒土，一般其水泥掺量可选用不小于 3%；对水泥稳定细粒土，水泥掺量可选用不小于 4%。

**4.2.7** 当试配过程中塑性不满足要求时，水泥改性膨胀土掺入比不变，调整水灰比；当试配结果中强度等参数不满足设计要求时，则调整水泥掺量基准值，重新进行试验。设计无具体指标要求时，可参考表 1。

表 1 水泥改性膨胀土性能指标

性能指标	液限 (%)	塑性指数	自由膨胀率 (%)	<0.005mm 的颗粒含量 (%)
改性规范	<40	<18	<40	<35

## 5 现 场 试 验

### 5.1 一 般 规 定

**5.1.1** 试验场地的大小应有针对性地去满足施工要求，根据填筑面的实际情况，选择试验场地的大小、形状、底层土特性等。

### 5.3 试 验 要 求

**5.3.1、5.3.3** 厂拌法和路拌法拌和设备的选择均需满足施工需求，尽可能地选择功率较大的设备来适应条件太差的土料，以保证拌和的均匀性和满足施工强度的需求。若压实试验结果表明，以土的天然含水率为基础，或稍作增、减调节，在一定的压实遍数下，能达到设计干密度值，说明已达到了试验的预期目的。如果因为压实机具的压实功能太小而不能满足压实要求，应由施工单位更换压实机具解决；又若因土料天然含水率太高，且难以调整，或因土质太差等原因无法达到设计要求，则应将信息反馈给设计部门，提请设计部门考虑通过变更设计等方法予以解决。



## 6 拌 和

### 6.2 厂 拌 法

#### 6.2.1

2 在土料含水率过高时，土料难以破碎，且在拌和站拌和时容易造成黏结料仓进料困难导致拌和效率低下，影响水泥配料的准确性。

4 应严格控制碎土成品料粒径，粗粒料含量过高时会导致拌和均匀度低，且在铺料整平过程中出现粗细料离析将影响碾压质量。

#### 6.2.2

1 整个改性土拌和的过程中，混合料含水率是主要控制点，根据实验室击实试验成果给出的最优含水率控制。水泥改性土混合料拌制由试验检测人员对用于拌制的土料进行含水率测定，计算拌和加水量后通知拌和站按剂量加水，并随时检测拌制完成的混合料含水率是否合适。

### 6.3 场 拌 法

6.3.1 场地平整度对拌和质量及后续成品料集料影响较大，施工时需要严格控制。此外，在水泥进场时应采用轻型设备转运，避免碾压形成车辙。

6.3.4 拌和时须严格控制拌和机匀速平稳行走，设专人跟随检查拌和深度，及时通知设备操作时进行调整，避免超拌和少拌。

## **6.4 路 拌 法**

**6.4.2** 实践证明，即使使用进口的宝马拌和机，也难以避免在拌和层底部出现素土夹层。为减少此现象的发生，可采用加深拌和方式，即拌和深入至下层 10mm~20mm，同时严格控制铺料厚度及平整度。上述方法会造成下层已碾压改性土扰动，同时造成水泥超量。

**6.4.3** 水泥摊铺均匀是保证拌和质量的前提，只有在平整和具有一定密度的土料层上进行摊铺才能均匀。因此，土料摊铺后须采用光轮压路机碾压 1 遍~2 遍并整平。

## 7 填 筑

### 7.1 摊 铺

**7.1.7** 平地机整形易将粗集料刮到表面，造成离析和粗细集料“窝”，而且平地机来回刮平的次数越多，离析现象可能越严重，形成的粗集料“窝”不能粘接成一个整体，应消除粗细集料“窝”，换以新的拌和均匀的混合料。

### 7.2 碾 压

**7.2.1** 应严格控制拌和料的含水率。碾压时含水率可略大于最佳含水率，是为了弥补碾压过程中水分的损失。含水率过大，既会影响混合料可能达到的密度和强度，又会明显增大混合料的干缩性，使结构层容易产生干缩裂缝；含水率过小，也会影响混合料可能达到的密度和压实度。

**7.2.7** 碾压完成后，对于局部低洼之处，不再进行找补，薄层贴补容易脱落和被推移，因此不能在表面光滑的低洼处填补新料。

### 7.3 层 面 处 理

#### 7.3.1

**3** 结合层面间不能有素土夹层及松散土料。素土夹层及松散土料使上下两层间没有粘接，减小了改性土层的厚度，明显减弱了改性土整体抵抗荷载的能力。

### 7.4 养 护

**7.4.1** 碾压完成后，通常应养护 7 天，待其达到一定强度后再施工下一作业层，但在分层施工时，完工后 6h~8h 内可进行下一作业层上土覆盖施工，利用上层覆土进行养生。

## 8 质量检测与评定

### 8.1 质 量 检 测

**8.1.1** 膨胀性复核包括自由膨胀率试验；矿物成分和化学分析试验包括：黏土矿物成分、易溶盐含量、有机质含量等；击实试验一般提供最优含水量、最大干密度，击实后的膨胀率、膨胀力、压缩系数、压缩模量、抗剪强度、渗透性等。

土料的自由膨胀率不宜大于 65%，采用自由膨胀率大于 65% 的土料时，需经专门论证。

**8.1.2** 水泥宜采用强度等级为 42.5 的普通硅酸盐水泥，采用其他强度等级的水泥时，需经专门试验确定。严禁采用过期或不合格水泥。

**8.1.3** 采用 EDTA 滴定法检测水泥改性膨胀土中的水泥掺量时，可参照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 中的方法进行。

**8.1.4** 工程验收承载力时，净载荷试验最大加载量不应小于设计要求的承载力特征值的 2 倍。

### 8.2 取 样

**8.2.1、8.2.2** 检测取样位置应按下列要求综合确定：

- 1 取样点宜随机、均匀和有代表性地分布。
- 2 设计人员认为的重要部位。
- 3 局部岩土特性复杂，可能影响施工质量的部位。
- 4 施工出现异常情况的部位。

### 8.3 评 定

**8.3.1** 原状土料质量达不到要求时，应及时报告监理工程师，并确认其可用性或需采取的工程措施；达到设计要求的同时，需经监理单位核定签字后报业主方可使用。

**8.3.2** 水泥改性膨胀土质量控制的项目除应满足本条规定外，仍需满足设计单位根据水泥改性膨胀土用途不同提出的其他控制项目。

## 附录 A 试件制备

### A.1 仪器设备

**A.1.1** 试模分为立方体、圆柱体两种：立方体试模用于无侧限抗压强度试验、压缩试验和直剪试验；圆柱体试模用于不固结不排水三轴压缩试验。推荐的三种规格的圆柱体试模为常规土工三轴压缩试验中试件常用的尺寸规格，各根据所采用的三轴仪的允许试件规格取较大值。也有单位在制作水泥改性膨胀土三轴压缩试件时不用圆柱体试模，而是将具有一定强度的立方体试件进行切削打磨。考虑到不同操作人员的操作习惯与精度差异较大，为统一规范、保证试验精度、便于对比，本规范要求全部采用圆柱体试模制作不固结不排水三轴压缩试验用试件。

### A.2 试件的搅拌、成型与养护

**A.2.2** 建议搅拌时采用先低速搅拌 1min，再高速搅拌 30s，停止搅拌并在 30s 内用油灰刀将包裹在搅拌机叶片和锅壁上的水泥改性膨胀土刮去，如此循环反复，直至搅拌均匀。

**A.2.3** 综合使用插捣和振动两种方法是因为考虑到不同地区土质差异较大，对水泥改性膨胀土拌和物成型有不利影响，为减小试验误差，统一成型方法。可根据水泥改性膨胀土状态选择压入环刀的时间。

**A.2.4** 水泥改性膨胀土的重度可由公式  $\gamma = \frac{mg}{V}$  计算得到。本规范规定两次测定试件重度，分别在拆模后养护前和养护后试验前。拆模后养护前测定试件重度并计算同组试件重度的最大值或最小

值与平均值的偏差，判定该组试件搅拌、成型过程的均匀性，以减少试验数据的离散性。养护后试验前测定重度主要是供工程中使用。养护条件对水泥改性膨胀土的强度影响很大，通常采用规范养护（将试件放入塑料袋中密封  $20^{\circ}\text{C} + 2^{\circ}\text{C}$  养护）、规范水中养护（将试件浸入  $20^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C}$  的水中养护）、软土养护（将试件包裹在  $20^{\circ}\text{C} + 2^{\circ}\text{C}$  土样中养护）三种方式。淤泥无侧限抗压强度试验表明：规范水中养护或软土养护试件强度的离散性较小，且强度明显高于规范养护试件；规范水中养护与软土养护试件的强度无明显差别。为便于操作，本规范提出采用规范水中养护。

## 附录 B 试 验 方 法

### B.1 一 般 规 定

**B.1.3** 当试件尺寸不符合要求时，应重新制样。

### B.2 无侧限抗压强度试验

**B.2.2** 压力试验机不符合现行国家规范《液压式压力试验机》GB/T 3722 和《试验机通用技术规程》GB/T 2611 的规定时，不得使用。

**B.2.4** 为了避免试件的温度和湿度发生变化，影响试验结果，试件从养护地点取出后应尽快进行试验。考虑到不同水泥掺量、不同龄期的水泥改性膨胀土强度差异较大，因此建议水泥改性膨胀土预估强度小于 1MPa 时，加荷速率取 0.03kN/s~0.08kN/s；水泥改性膨胀土强度大于或等于 1MPa 时，加荷速率取 0.08kN/s~0.15kN/s。另外，从水泥改性膨胀土的应力应变关系可知，除了水泥掺量较低、龄期较短的情况下水泥改性膨胀土呈塑性破坏外，一般都表现出脆性破坏的特点。试验表明：水泥改性膨胀土试件发生脆性破坏时，压缩变形在 1%~10%之间，因此塑性破坏试件可用压缩变形为 10%时的荷载作为破坏荷载。

### B.3 剪 切 试 验

**B.3.1** 室内试验测定抗剪强度的方法一般有直接剪切试验、无侧限抗压强度试验和三轴压缩试验。无侧限抗压强度试验是三轴压缩试验中  $\sigma_3=0$  的一种特殊情况。三轴压缩试验与直接剪切试验相比，具有能够控制试件排水条件、受力状态明确、可以控制大



小主应力、剪切面不固定等优点。直接剪切试验的特点是简单快捷、容易操作，其试验方法有快剪、固结快剪和慢剪三种。试验方法根据排水条件不同，可分为不固结不排水试验（UU）、固结不排水试验（CU）和固结排水试验（CD）三种，以适用不同工程条件而进行强度指标的测定。水泥改性膨胀土试件与常规的土样不同，经过水泥与土拌和、振实、养护一定龄期后，水泥颗粒表面的矿物很快与软土中的水分发生水解和水化反应，生成氢氧化钙、含水硅酸钙、含水铝酸钙和含水铁酸钙等化合物。这些新生成的化合物在水中和空气中逐渐硬化，增大了水泥改性膨胀土的强度，而且由于其结构比较致密，水分不容易侵入，从而使水泥改性膨胀土具有足够的水稳定性。试验发现，经过一定的养护龄期后的水泥改性膨胀土，其应力应变关系曲线与软土已经有了显著区别。随着水泥掺入比的逐渐增大（从 5% 到 25%），龄期的增长，水泥改性膨胀土中的水化和固化反应逐渐充分，强度逐渐增大，水泥改性膨胀土的初始模量也越来越大，应力应变曲线的下降段也愈加短而陡，呈比较显著的脆性破坏。因此，除了有特殊的研究目的外，一般工程实际中不需考虑水泥改性膨胀土的固结与排水问题，或者说在破坏时来不及排水，故本规范中对水泥改性膨胀土的抗剪强度参数试验采用快剪试验和不固结不排水三轴压缩试验。

快剪试验和不固结不排水三轴压缩试验得到的试验结果为水泥改性膨胀土总应力条件下的抗剪强度参数  $c$  和  $\varphi$ 。其中，快剪试验适用于测定水泥土简单应力条件下的  $c$  和  $\varphi$ ，不固结不排水三轴压缩试验适用于测定水泥改性膨胀土复杂的三向应力条件下的  $c$  和  $\varphi$ 。

**B.3.2** 试验仪器设备主要参考《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999 第 18.1.2 条或第 16.2 节的规定执行。

**1** 《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999 第 18.1.2 条具体规定如下：

(1) 应变控制式直剪仪：由剪切盒、垂直加荷设备、剪切传动装置、测力计和位移量测系统组成。

(2) 环刀：内径 61.8mm，高 20mm。

(3) 位移量测设备：百分表或传感器，百分表量程为 10mm，分度值为 0.1mm，传感器的精度应为零级。

**2** 《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999 第 16.2 节具体规定如下：

(1) 应变控制式三轴压缩仪：由围压系统、反压系统、孔隙水压力量测系统和主机构成。

(2) 附属设备：击实器、饱和器、切上盘、切土器、承膜筒及对开模。

(3) 百分表：量程 3cm 或 1cm。

(4) 天平：称量 200g，感量 0.1g；称量 1000g，感量 0.1g。

(5) 橡皮膜：应具有弹性，厚度应小于橡皮膜直径的 1/100，且不得有漏气。

**B.3.4** 不固结不排水压缩试验的试验步骤主要参考《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999 第 16.4 节的规定执行，其具体规定如下：

**1** 试件的安装应按下列步骤进行：

(1) 在压力室底座上依次放上不透水板、试件及试件帽，将橡皮膜套在试件外，并将橡皮膜两端与底座试件帽分别扎紧。

(2) 将压力室罩顶部活塞提高，放下压力室罩，将活塞对准试件中心，并均匀地拧紧底座连接螺母。向压力室内注满蒸馏水，待压力室顶部排气孔有水溢出时，拧紧排气孔，并将活塞对准测力计和试件顶部。

(3) 将离合器调至粗位，转动粗调手轮，当试件帽与活塞及测力计接近时，将离合器调至细位，改用细调手轮，使试件帽与活塞及测力计接触，装上变形指示计，将测力计和变形指示计调至零位。

## 2 剪切试件应按下列步骤进行：

(1) 剪切应变速率宜为每分钟应变 0.5%~1.0%。

(2) 启动电动机，合上离合器，开始剪切。试件每分钟产生 0.3%~0.4% 的轴向应变（或 0.2mm 变形量），测记一次测力计和轴向变形值。当轴向应变大于 3% 时，试件每产生 0.7%~0.8% 的轴向应变（或 0.5mm 变形值）测记一次。

(3) 当测力计读数出现峰值时，剪切应继续进行到轴向应变为 15%~20%。

(4) 试验结束，关电动机。关周围压力阀，脱开离合器，将离合器调至粗位，转动粗调手轮，将压力室降下，打开排气孔，排除压力室内的水，拆卸压力室罩，拆除试件，描述试件破坏形状，称试件质量，并测定含水率。

绘制应力圆时，需要根据破坏规范选取代表试件破坏时的应力。一般情况下以主应力差的峰值作为破坏值。如果主应力差无峰值，则采用应变为 15% 时的主应力差作为破坏值。

---

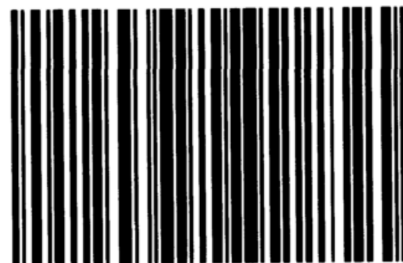


中国电力出版社官方微信



电力标准信息微信

为您提供 **最及时、最准确、最权威** 的电力标准信息



155198.1600

定价：27.00 元