



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 38901—2020

---

## 纤维混凝土盾构管片

Fiber reinforced concrete shield segments

2020-06-02 发布

2021-04-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语、定义和符号 ..... 2

4 分类、形状与规格、标记 ..... 3

5 原材料 ..... 4

6 制作工艺 ..... 5

7 技术要求 ..... 6

8 试验方法 ..... 8

9 检验规则 ..... 9

10 标志与出厂证明书 ..... 12

11 贮存和运输 ..... 13

附录 A（规范性附录） 纤维混凝土管片制作工艺 ..... 14

附录 B（规范性附录） 纤维混凝土抗弯性能试验方法 ..... 16

附录 C（规范性附录） 纤维混凝土正常使用阶段的强度标准值  $f_{\text{Ftsk}}$  和极限强度标准值  $f_{\text{Ftuk}}$  的计  
算方法 ..... 19

附录 D（规范性附录） 纤维含量检测试验方法 ..... 22

附录 E（规范性附录） 盾构管片抗弯性能试验方法 ..... 24

附录 F（资料性附录） 预埋槽道的径向抗拔性能和抗剪切性能试验方法 ..... 28

附录 G（资料性附录） 盾构管片整环径向承载力的验证试验 ..... 32



# 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国住房和城乡建设部提出。

本标准由全国混凝土标准化技术委员会(SAC/TC 458)归口。

本标准起草单位: 中国建筑股份有限公司、大连理工大学、中国建筑第四工程局有限公司、北京市政建设集团有限责任公司、中建科技有限公司、中建西部建设股份有限公司、北京港创瑞博混凝土有限公司、贝卡尔特应用材料科技(上海)有限公司、马克菲尔(天津)钢纤维有限公司、山东大元实业股份有限公司、中国建筑一局(集团)有限公司、宁波时科新材料科技有限公司、中建科技湖南有限公司、玉田县致泰钢纤维制造有限公司、中建科技天津有限公司、中铁科学研究院有限公司、中建新疆建工集团第五建筑工程有限公司、上海申湘混凝土纤维有限公司、中国矿业大学(北京)、中建工程研究院有限公司。

本标准主要起草人: 毛志兵、蒋立红、石云兴、倪坤、丁一宁、油新华、令狐延、周冲、孔恒、邓美龙、林力勋、王珏、孙斌、杨寒冰、李曦、季龙泉、彭亿洲、王成发、殷石、王宏君、李守义、张燕刚、张发盛、王全贤、黎攀、郭小红、李德明、陈代秉、江玉生、叶俊能、王庆轩、柳根金、唐文波、杨青、江新理、张鹏、赵军文、石敬斌、张芳、王鹏、王勇忠、郭志鹏。



# 纤维混凝土盾构管片

## 1 范围

本标准规定了用于隧道工程的纤维混凝土盾构管片的符号、分类、形状与规格、标记、原材料、制作工艺、要求、试验方法、检验规则、标志与出厂证明书、贮存和运输。

本标准适用于轨道交通、公路、铁路、水利、电力、市政、地下综合管廊等盾构隧道工程用的纤维混凝土盾构管片。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 175 通用硅酸盐水泥  
GB/T 1499.1 钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋  
GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋  
GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰  
GB 8076 混凝土外加剂  
GB/T 14902 预拌混凝土  
GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉  
GB/T 18173.4 高分子防水材料 第4部分：盾构法隧道管片用橡胶密封垫  
GB/T 21120 水泥混凝土和砂浆用合成纤维  
GB/T 22082 预制混凝土衬砌管片  
GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰  
GB/T 31061 盾构法隧道管片用软木橡胶衬垫  
GB 50010 混凝土结构设计规范  
GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准  
GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准  
GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准  
GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准  
GB 50108 地下工程防水技术规范  
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范  
GB/T 50146 粉煤灰混凝土应用技术规范  
GB 50157 地铁设计规范  
GB 50164 混凝土质量控制标准  
GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范  
GB 50446 盾构法隧道施工及验收规范  
GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计规范  
GB 50838 城市综合管廊工程技术规范  
GB/T 51003 矿物掺合料应用技术规范

JC/T 2030 预制混凝土衬砌管片生产工艺技术规程

JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准

JGJ 63 混凝土用水标准

TB/T 3329 电气化铁路接触网隧道内预埋槽道

YB/T 151 混凝土用钢纤维

### 3 术语、定义和符号

#### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1.1

**管片 shield segment**

盾构隧道预制衬砌环的基本单元。

注：管片的类型主要有钢筋混凝土管片、纤维混凝土管片、钢管片、铸铁管片、复合管片等。

##### 3.1.2

**纤维混凝土 fiber reinforced concrete**

掺加钢纤维、合成纤维或其他纤维的混凝土总称。

##### 3.1.3

**纤维混凝土管片 fiber reinforced concrete shield segment**

以纤维混凝土为主要原材料制成的管片。

##### 3.1.4

**适筋纤维混凝土管片 fiber reinforced concrete shield segment with under-reinforced**

完全按照普通钢筋混凝土设计，不考虑纤维的增强作用或只考虑纤维限制裂缝扩展的作用而配置受力钢筋的纤维混凝土管片。

##### 3.1.5

**减筋纤维混凝土管片 fiber reinforced concrete shield segment with moderated rebars**

考虑纤维的增强作用而减少一定比例的受力钢筋，配筋大于构造要求的纤维混凝土管片。

##### 3.1.6

**无筋纤维混凝土管片 fiber reinforced concrete shield segment without main rebars**

考虑纤维的增强作用不配受力钢筋，配筋不大于构造要求的纤维混凝土管片。

##### 3.1.7

**钢纤维 steel fiber**

用钢材料经一定工艺制成的、能随机地分布于混凝土或砂浆中短而细的纤维。

##### 3.1.8

**合成纤维 synthetic fiber**

以合成高分子化合物为原料制成的化学纤维。

##### 3.1.9

**钢纤维混凝土管片 steel fiber reinforced concrete shield segment**

以钢纤维混凝土为主要原材料制成的管片。

##### 3.1.10

**非金属纤维混凝土管片 non-metal fiber reinforced concrete shield segment**

以合成纤维等非金属纤维混凝土为主要原材料制成的管片。

## 3.1.11

**混杂纤维混凝土管片** **hybrid fiber reinforced concrete shield segment**

采用两种以上的纤维复合增强的混凝土为主要原材料制成的管片。

## 3.1.12

**纤维长径比** **aspect ratio of fiber**

纤维长度与直径或当量直径的比值。

## 3.1.13

**纤维掺量** **fiber dosage**

纤维在混凝土中的掺加量,以每立方米混凝土掺加的纤维的重量计量,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

## 3.1.14

**纤维含量** **fiber content**

纤维混凝土中的实际含量,以每立方米混凝土中纤维的重量计量,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

## 3.1.15

**管片吊装孔** **segment lifting hole**

用于盾构机机械臂吊装管片进行管片拼装的预制孔道。

## 3.1.16

**预埋槽道** **slot embedded parts**

在管片内弧面预埋的用于固定电线电缆、疏散平台板等管线物件的槽式部件。

## 3.2 符号

纤维混凝土盾构管片常用符号如下:

$f_{Lk}$  ——纤维混凝土的抗弯比例极限的标准值。

$f_{R1k}$  ——对应于裂缝口扩展宽度  $\text{CMOD}$  为  $0.5(\text{CMOD}_1)$  或挠度值  $\delta$  为  $0.47(\delta_1)$  时的残余抗弯强度的标准值。

$f_{R3k}$  ——对应于裂缝口扩展宽度  $\text{CMOD}$  为  $2.5(\text{CMOD}_3)$  或挠度值  $\delta$  为  $2.17(\delta_3)$  时的残余抗弯强度的标准值。

$f_{Ftsk}$  ——正常使用阶段纤维混凝土的正常使用阶段的抗弯强度标准值。

$f_{Ftuk}$  ——纤维混凝土的极限抗弯强度标准值。

## 4 分类、形状与规格、标记

## 4.1 分类

4.1.1 管片按拼装成环后的隧道线形分为直线段管片(Z)、曲线段管片(Q)和既能用于直线段又能用于曲线段的通用管片(T)。曲线段管片又分为左曲管片(ZQ)、右曲管片(YQ)和竖曲管片(SQ)。

4.1.2 管片按在环内的拼装位置,可分为:标准块(B)、邻接块(L1, L2)、封闭块(F)。

4.1.3 管片按受力可分为:普通环(无标记)和加强环(+).

4.1.4 管片按照纤维混凝土管片中的配筋情况分为适筋纤维混凝土管片(S)、减筋纤维混凝土管片(J)和无筋纤维混凝土管片(W)。

4.1.5 纤维混凝土管片按中纤维的种类分为钢纤维混凝土管片(GX)、非金属纤维混凝土管片(FX)和混杂纤维混凝土管片(HX)。

## 4.2 形状与规格

4.2.1 根据隧道的断面形状可分为圆形(Y)、椭圆形(TY)、矩形(J)、双圆形(SY)、异形(YY)等多种

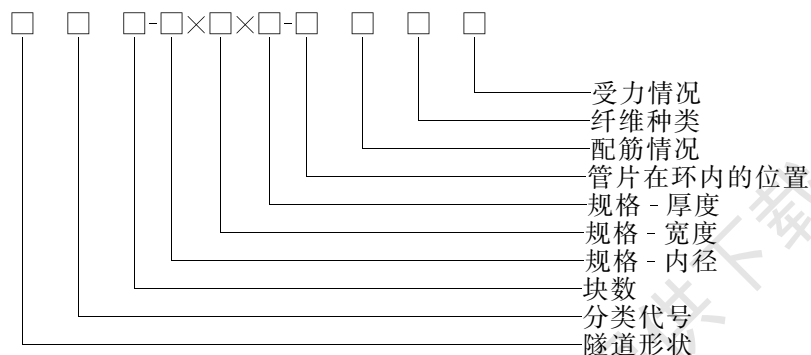
断面。

4.2.2 常规规格纤维混凝土管片按 GB/T 22082,其他规格由设计确定。

### 4.3 标记

管片以隧道形状、分类代号、块数、规格、管片在环内的位置、纤维混凝土管片类型标记。其中纤维混凝土管片类型包括管片配筋情况、纤维种类和受力等级信息。

标记格式如下：



示例：

圆形隧道、通用管片、6块、内径5900mm、宽度为1500mm、厚度为300mm、封闭块、纤维混凝土管片类型(减筋钢纤维混凝土管片、管片受力等级加强环)，标记为：

Y T 6-5 900×1 500×300-F J GX +

## 5 原材料

### 5.1 水泥

宜采用强度等级不低于42.5的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，其性能应符合GB 175的规定。水泥碱含量(等效 $\text{Na}_2\text{O}$ )不大于0.6%。不同厂商、不同品种和不同等级的水泥不得混用。

### 5.2 骨料

5.2.1 细骨料宜采用中粗砂，细度模数2.3~3.3，含泥量不大于2%，氯离子含量不大于0.06%，人工砂总压碎指标不大于30%，其他质量指标应符合JGJ 52的规定。

5.2.2 粗骨料宜采用连续级配的碎石或卵石，其最大粒径不大于31.5mm，同时不大于钢纤维长度的1/2，且不大于钢筋骨架最小净间距的3/4。粗骨料针片状含量不大于15%，含泥量不大于1%，硫化物和硫酸盐含量不大于1.0%，其他质量指标应符合JGJ 52的规定。

### 5.3 钢纤维

5.3.1 钢纤维可用于适筋纤维混凝土管片、减筋纤维混凝土管片和无筋纤维混凝土管片，纤维长度不大于钢筋骨架最小净间距的2/3。

5.3.2 减筋纤维混凝土管片宜采用端钩形钢纤维，端钩形钢纤维长度宜为30mm~60mm，纤维长径比宜为40~100，抗拉强度不宜小于1000MPa。

5.3.3 无筋纤维混凝土管片宜采用端钩形钢纤维，端钩形钢纤维长度不宜小于45mm，纤维长径比宜为60~100，抗拉强度不宜小于1300MPa。

5.3.4 钢纤维表面应保持干燥清洁，不得粘有残留物，包括表面氧化物、油脂、污垢及其他影响钢纤维在混凝土中黏结性及和易性的物质。

5.3.5 对于适筋纤维混凝土管片、减筋纤维混凝土管片和无筋纤维混凝土管片,钢纤维内含有的因加工不良造成的粘连片、表面严重锈蚀的钢纤维、铁锈粉及杂质的总质量,分别不应超过钢纤维重量的1%、0.5%和0.5%。

5.3.6 钢纤维的其他质量应符合 YB/T 151 的规定。

## 5.4 合成纤维

5.4.1 合成纤维按外形可为单丝纤维、膜裂网状纤维和粗合成纤维等。

5.4.2 提高在火灾下纤维混凝土管片的抗爆裂性能时应使用单丝纤维,纤维掺量宜为  $1\text{ kg/m}^3 \sim 2\text{ kg/m}^3$ 。

5.4.3 粗合成纤维既可单独制作非钢纤维混凝土,也可与钢纤维制作混杂纤维混凝土用于减筋纤维混凝土管片和无筋纤维混凝土管片。粗合成纤维当量直径不应小于 0.3 mm,抗拉强度不应小于 500 MPa。

5.4.4 合成纤维的其他质量应符合 GB/T 21120 的规定。

## 5.5 矿物掺合料

5.5.1 矿物掺合料的应用应符合 GB/T 51003。

5.5.2 粉煤灰的质量不低于 GB/T 1596 规定的Ⅱ级要求;粉煤灰的应用应符合 GB/T 50146 的规定。

5.5.3 矿渣粉的质量不应低于 GB/T 18046 规定的 S95 级技术要求。

5.5.4 硅灰应符合 GB/T 27690 的规定。

5.5.5 其他矿物掺合料的质量和在混凝土中应符合 GB/T 51003,不对纤维混凝土管片制品性能和耐久性产生不利影响。

## 5.6 混凝土外加剂

混凝土外加剂应符合 GB 8076 的规定,不应使用氯盐类外加剂或其他对钢筋和纤维有腐蚀作用的外加剂。混凝土外加剂的应用应符合 GB 50119 的规定。

## 5.7 水

纤维混凝土拌合用水应符合 JGJ 63 中钢筋混凝土用水的规定。

## 5.8 钢筋

直径大于 10 mm 时宜采用热轧螺纹钢筋,其性能应符合 GB/T 1499.2 的规定;直径小于或等于 10 mm 时宜采用热轧光圆钢筋,其性能应符合 GB/T 1499.1 的规定。

## 5.9 预埋件

注浆孔、吊装孔等预埋件的规格和性能应符合设计要求。

## 5.10 预埋槽道槽道

预埋槽道槽道的规格满足 TB/T 3329 的规定,性能满足 GB 50157 和 GB 50838 的要求。

## 5.11 弹性密封垫与衬垫

橡胶弹性密封垫和软木橡胶衬垫符合 GB/T 18173.4 和 GB/T 31061 的规定。

## 6 制作工艺

6.1 纤维混凝土应采用强制式搅拌机搅拌。纤维混凝土不得离析、泌水,纤维不应出现结团现象。



6.2 纤维混凝土管片的生产工艺应符合 JC/T 2030 和附录 A 的规定。

## 7 技术要求

### 7.1 纤维混凝土

7.1.1 纤维混凝土的抗压强度等级不应小于 C50,且应符合工程设计要求。

7.1.2 纤维混凝土的抗渗等级应符合工程设计要求,无设计要求时抗渗等级应符合 GB 50108 的规定。

7.1.3 纤维混凝土的抗弯性能的分级按照表 1 的规定。

表 1 纤维混凝土的抗弯性能等级

强度等级	$f_{R1k}/\text{MPa}$	残余强度等级	$f_{R3k}/f_{R1k}$
1	$1.0 \leq f_{R1k} < 1.5$	a	$0.5 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 0.7$
1.5	$1.5 \leq f_{R1k} < 2.0$	b	$0.7 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 0.9$
2	$2.0 \leq f_{R1k} < 2.5$	c	$0.9 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 1.1$
2.5	$2.5 \leq f_{R1k} < 3.0$	d	$1.1 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 1.3$
3	$3.0 \leq f_{R1k} < 3.5$	e	$1.3 \leq f_{R3k}/f_{R1k}$
3.5	$3.5 \leq f_{R1k} < 4$	—	—
4	$4 \leq f_{R1k} < 5$	—	—
5	$5 \leq f_{R1k} < 6$	—	—
N	$N \leq f_{R1k} < N+1$	—	—
N+1	$N+1 \leq f_{R1k} < N+2$	—	—

注：分级示例如下，纤维混凝土的等级为 3b,表示其  $f_{R1k}$  为 3 MPa~3.5 MPa,  $f_{R3k}/f_{R1k}$  为 0.7~0.9;纤维混凝土的等级为 2c,表示其  $f_{R1k}$  为 2 MPa~2.5 MPa,  $f_{R3k}/f_{R1k}$  为 0.9~1.1。

7.1.4 纤维混凝土的抗弯性能等级应符合工程设计要求。对于减筋纤维混凝土管片,应采用抗弯性能等级不小于 3a 级(即强度等级不小于 3 级且残余强度等级不小于 a 级),且  $f_{R1k}/f_{Lk} > 0.4$  的纤维混凝土;对于无筋纤维混凝土管片,应采用抗弯性能等级不小于 3c 级(即强度等级不小于 3 级且残余强度等级不小于 c 级),且  $f_{R1k}/f_{Lk} > 0.6$  的纤维混凝土。

7.1.5 用于减筋纤维混凝土管片和无筋纤维混凝土管片的纤维混凝土在正常使用阶段的强度标准值  $f_{Ftsk}$  和极限强度标准值  $f_{Ftuk}$  应符合设计要求。

7.1.6 纤维混凝土拌合物中纤维的含量应符合配合比设计要求。减筋钢纤维混凝土管片中钢纤维掺量不应小于 20 kg/m<sup>3</sup>;无筋钢纤维混凝土管片中钢纤维掺量不应小于 30 kg/m<sup>3</sup>;减筋非金属纤维混凝土管片或无筋非金属纤维混凝土管片中粗合成纤维掺量不应小于 8 kg/m<sup>3</sup>。

7.1.7 纤维混凝土的耐久性和其他长期性能应符合设计要求符合 GB 50010、GB/T 50476 的有关规定,纤维混凝土的氯离子含量不大于 0.06%,碱含量不大于 3.0 kg/m<sup>3</sup>。

### 7.2 管片外观质量、尺寸偏差、水平拼装

7.2.1 纤维混凝土管片成品的管片外观质量缺陷等级划分符合表 2 的规定。管片外观质量不应有严重缺陷,当出现一般缺陷时应采取技术措施进行处理,修补材料的强度不得低于纤维管片混凝土的设计强度。

表 2 管片外观质量缺陷等级划分

名称	缺陷描述	缺陷等级
露筋	管片内钢筋未被混凝土包裹而外露	严重缺陷
蜂窝	混凝土表面缺少水泥砂浆而形成石子外露	严重缺陷
孔洞	混凝土中出现深度和最大长度均超过保护层厚度的孔穴	严重缺陷
	混凝土中有少量深度或最大长度未超过保护层厚度的孔穴	一般缺陷
夹渣	混凝土内夹有杂物且深度达到或超过保护层厚度	严重缺陷
	混凝土内夹有少量杂物且深度小于保护层厚度	一般缺陷
疏松	混凝土局部不密实	严重缺陷
裂缝	从管片混凝土表面延伸至内部且超过设计给出的允许宽度或深度的裂缝	严重缺陷
	其他少量不影响管片结构性能和使用功能的宽度小于 0.2 mm 的裂缝	一般缺陷
预埋部位缺陷	管片预埋件松动	严重缺陷
	埋部位存在少量麻面、掉皮或掉角	一般缺陷
外形缺陷	外弧面混凝土破损到密封槽位置	严重缺陷
	存在少量且不影响结构性能或使用功能的棱角磕碰、翘曲不平或飞边凸肋等	一般缺陷
外表缺陷	密封槽及平面转角部位的混凝土有剥落缺损	一般缺陷
	其他部位的混凝土表面有少量麻面、掉皮、起砂或少量气泡等	一般缺陷
纤维伸出	在棱角、侧面、内弧面钢纤维或粗合成纤维伸出或外弧面钢纤维或粗合成纤维明显伸出	一般缺陷

7.2.2 纤维混凝土管片的几何尺寸、钢筋的混凝土保护层厚度和预埋槽道位置允许偏差应符合表 3 的规定。

表 3 几何尺寸、钢筋的混凝土保护层厚度和预埋槽道位置允许偏差

项目	允许偏差/mm
宽度	±1
弧长	±1
厚度	+3, -1
钢筋保护层厚度	-3, +5
预埋槽道位置	±1

7.2.3 纤维混凝土管片的水平拼装尺寸允许偏差应符合表 4 的规定。

表 4 水平拼装尺寸允许偏差

项目	允许偏差/mm
环向缝间隙	不大于 2
纵向缝间隙	不大于 2
成环后内径	±2
成环后外径	+6, -2

### 7.3 管片抗弯性能

抗弯性能应符合设计要求。

### 7.4 管片检漏试验

在设计检漏试验压力的条件下,恒压 2 h,不得出现漏水现象,渗水深度不超过 50 mm。

### 7.5 管片吊装孔抗拔性能

管片吊装孔抗拔性能应符合设计要求。当设计无要求时,抗拉拔力不应低于管片自重的 7 倍。

### 7.6 管片预埋槽道性能

管片预埋槽道的径向抗拔性能、沿槽道方向和垂直槽道方向抗剪切性能应符合设计要求。有设计要求时,拉拔荷载和两个方向的剪切荷载均达到设计承载力;无设计要求时,管片预埋槽道的径向拉拔荷载达到 14 kN、两个方向的剪切荷载均达到 10 kN。持荷 10 min,预埋槽道及 T 型螺栓未有变化,T 型螺栓位移小于 0.5 mm。

### 7.7 管片整环径向承载力

异形、特大直径等非标准断面隧道的纤维混凝土管片可根据设计要求进行整环径向承载力验证试验。

## 8 试验方法

### 8.1 纤维混凝土

8.1.1 纤维混凝土抗压性能试验方法应符合 GB/T 50081 的规定,强度的评定应符合 GB/T 50107 的规定。

8.1.2 纤维混凝土的抗渗试验方法应符合 GB/T 50082 的规定。

8.1.3 纤维混凝土的抗弯性能试验方法见附录 B。

8.1.4 纤维混凝土的正常使用阶段的强度标准值  $f_{\text{Ftsk}}$  和极限强度标准值  $f_{\text{Ftuk}}$  的计算方法见附录 C。

8.1.5 纤维混凝土中钢纤维或粗合成纤维含量的检测方法见附录 D。纤维含量的宜选择测定新拌混凝土,有争议时可测定硬化混凝土。

8.1.6 纤维混凝土的耐久性和其他长期性能试验方法应符合 GB/T 50082 的规定。纤维混凝土的氯离子含量和碱含量分别为相应试验方法测得的各组分氯离子含量和碱含量的总和。

### 8.2 管片外观质量、尺寸偏差、水平拼装

纤维混凝土盾构管片的外观质量、尺寸偏差、水平拼装检验方法应符合 GB/T 22082 的规定。

### 8.3 管片抗弯性能

纤维混凝土盾构管片的抗弯性能试验方法见附录 E,或其他经过设计认可的试验方法。

### 8.4 管片检漏试验

纤维混凝土盾构管片的检漏试验检测方法应符合 GB/T 22082 的规定。

8.5 管片吊装孔抗拔性能

纤维混凝土盾构管片的吊装孔抗拔性能检测方法应符合 GB/T 22082 的规定。

8.6 管片预埋槽道性能

纤维混凝土盾构管片预埋槽道的径向抗拔性能试验方法、沿槽道方向和垂直槽道方向抗剪切性能试验方法参见附录 F。

8.7 管片整环径向承载力

纤维混凝土盾构管片整环径向承载力的验证试验参见附录 G,按照设计要求进行检测。

9 检验规则



9.1 检验分类

纤维混凝土管片检验分为出厂检验和型式检验。

9.2 出厂检验

9.2.1 检验项目

检验项目包括纤维混凝土抗压强度、纤维混凝土抗弯性能(减筋纤维混凝土管片和无筋纤维混凝土管片)、钢纤维或粗合成纤维纤维含量、管片外观质量和尺寸偏差。

9.2.2 批量与抽样

出厂检验批量组成与抽样数量应符合表 5 的规定。

表 5 出厂检验批量组成与抽样数量

项目		批量	抽样数量
纤维 混凝土	抗压强度	同一配合比的纤维混凝土,每天取样不得少于 1 次	成型 3 组试块,每组 3 块,规格 150 mm×150 mm×150 mm。两组同条件养护试块分别进行脱模强度检测和出厂强度检测,一组标准养护试快进行混凝土 28 d 抗压强度评定
	抗弯性能(减筋纤维混凝土管片和无筋纤维混凝土管片)	同一配合比的纤维混凝土,每 200 环取样不得少于 1 次	成型 1 组试块,每组 4 块,规格 150 mm×150 mm×550 mm。标准养护 28 d,进行混凝土抗弯性能评定
	纤维含量	每周 3 次	两组,每组 5 L 混凝土
纤维 混凝土 管片	外观质量	200 环	1 环
	尺寸偏差	200 环	1 环

9.2.3 判定规则

9.2.3.1 纤维混凝土抗压强度

纤维混凝土抗压强度按 GB/T 50107 检验评定。

#### 9.2.3.2 纤维混凝土抗弯性能

纤维混凝土试件的抗弯性能按 7.1.3 的分级评定。用于减筋纤维混凝土管片和无筋纤维混凝土管片的纤维混凝土的正常使用阶段的强度标准值  $f_{\text{Ftsk}}$  和极限强度标准值  $f_{\text{Ftuk}}$ ，应符合设计要求。

#### 9.2.3.3 纤维混凝土纤维含量

混凝土中的钢纤维或粗合成纤维含量应为混凝土配合比中纤维掺量的 90%~110%。

#### 9.2.3.4 管片外观质量

纤维混凝土盾构管片外观质量应符合下列要求：

- a) 受检样品中：项目所有检查项目无缺陷即为合格；
- b) 当批产品存在一般缺陷时，取 2 环管片进行复检，复检无缺陷，则判定该批产品的外观质量合格。

#### 9.2.3.5 管片尺寸偏差

纤维混凝土盾构管片尺寸偏差应符合下列要求：

- a) 受检样品中：宽度、厚度、弧长项目所有检查点全部合格为单项合格。
- b) 当批产品宽度、厚度、弧长合格，钢筋的混凝土保护层厚度超差点数量不超过检查点数量的 20%，最大偏差值应在允许偏差值的 1.5 倍范围内，则判定该批产品的尺寸偏差合格。

#### 9.2.4 总判定

表 5 中全部检验项目均符合标准要求时，则判该批产品为合格。

### 9.3 型式检验

#### 9.3.1 检验项目

检验项目包括纤维混凝土的抗压强度、抗渗性能、抗弯性能（减筋纤维混凝土管片和无筋纤维混凝土管片）、钢纤维或粗合成纤维含量、混凝土中的氯离子含量和碱含量，以及纤维混凝土管片的外观质量、尺寸偏差、水平拼装、检漏试验、抗弯性能、吊装孔抗拔性能、管片预埋槽道性能（如有）、整环径向承载力（如有）。

#### 9.3.2 型式检验条件

纤维混凝土盾构管片当有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定；
- b) 正式生产后如产品结构、原材料、生产工艺和管理有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 产品长期停产后，恢复生产时；
- d) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- e) 当相同产品生产周期达一年或生产达到一定批量时。

#### 9.3.3 批量与抽样

型式检验批量组成与抽样数量应符合表 6 的规定。



表 6 型式检验批量组成与抽样数量

项目		批量	抽样数量
纤维 混凝土	抗压强度	按 9.2.2,查受检批产品相应试验记录	
	抗渗性能	混凝土配合比有较大调整时	1 组 6 个试件
	抗弯性能(减筋纤维混凝土管片 和无筋纤维混凝土管片)	按 9.2.2,查受检批产品相应试验记录	
	纤维含量	按 9.2.2,查受检批产品相应试验记录	
	氯离子含量	混凝土配合比有较大调整时	1 组
	碱含量	混凝土配合比有较大调整时	1 组
纤维 混凝土 管片	外观质量	按 9.2.2,查受检批产品相应试验记录	
	尺寸偏差	按 9.2.2,查受检批产品相应试验记录	
	水平拼装	1 000 环	2 环或 3 环拼装
	抗弯性能	根据设计方案确定批量	标准块 1 块
	检漏试验	1 000 环	标准块 1 块,复检 2 块
	吊装孔抗拔性能	根据设计方案确定批量	标准块 1 块,复检 2 块
	预埋槽道性能(如有)	200 环	标准块 1 块,复检 2 块
	整环径向承载力(如有)	根据设计方案确定批量	1~3 环

9.3.4 判定规则

9.3.4.1 纤维混凝土抗压强度、抗弯性能和纤维含量

判定规则按 9.2.3.1、9.2.3.2、9.2.3.3。

9.3.4.2 纤维混凝土抗渗性能

一组受检样品中,4 个试件达到设计抗渗等级。

9.3.4.3 混凝土中的氯离子含量和碱含量

氯离子含量不大于 0.06%,碱含量不大于 3.0 kg/m<sup>3</sup>。

9.3.4.4 管片的外观质量和尺寸偏差

判定规则按 9.2.3.4、9.2.3.5。

9.3.4.5 管片水平拼装

受检样品中超差点数量不超过检查点的 20%,则该项合格,3 项全部合格则判定该批产品的水平拼装合格。

9.3.4.6 管片抗弯性能

纤维混凝土管片的抗弯承载力(包括正常使用极限状态和承载力极限状态)满足设计要求,则判定该批产品抗弯性能合格。

#### 9.3.4.7 管片检漏试验

受检样品的检漏试验合格,则判定该批产品检漏试验合格。若受检样品不合格,则复检两块;复检样品均合格,则判定该批产品检漏试验合格。

#### 9.3.4.8 管片吊装孔抗拔性能

受检样品的吊装孔抗拔性能试验合格,则判定该批产品吊装孔抗拔性能合格。若受检样品不合格,则复检两块;复检样品均合格,则判定该批产品吊装孔抗拔性能合格。

#### 9.3.4.9 管片预埋槽道性能

如有预埋槽道,受检样品预埋槽道的径向抗拔性能试验方法、沿槽道方向和垂直槽道方向抗剪切性能试验均合格,则判定该批产品预埋槽道性能合格。若受检样品不合格,则复检两块;复检样品均合格,则判定该批产品预埋槽道性能合格。

#### 9.3.4.10 管片整环径向承载力

如有整环径向承载力验证要求时,整环径向承载力检验满足设计要求,则判定该批产品整环径向承载力合格。

### 9.3.5 总判定

以上全部检验项目均符合标准要求时,则判定该批产品为合格。任何一项不合格,则判定该批产品不合格。

## 10 标志与出厂证明书

### 10.1 标志

#### 10.1.1 永久标志

在管片的内弧面标明企业永久标志,其内容为生产厂标识。

#### 10.1.2 临时标志

在管片的弧面或端侧面喷涂标志或粘贴数字标识,该标志在施工现场组装结束之前应易识别。标志内容应包括:管片标记、管片编号、模具编号、生产日期、检验状态。每片管片应独立编号。

### 10.2 出厂证明书

凡经检验合格的产品,应按规定填写出厂证明书,其应包括下列内容:

- a) 制造厂商、商标、厂址、电话;
- b) 生产日期、出厂日期;
- c) 本标准编号;
- d) 产品型号、规格;
- e) 出厂检验项目检验结果;
- f) 制造厂技术检验部门签章。

## 11 贮存和运输

### 11.1 贮存

11.1.1 产品堆放场地应坚实平整。

11.1.2 管片应按型号分别码放,可采用侧面立放或内弧面向上平放。管片之间应使用适当的材料进行支撑或分隔,上下对齐,侧立放正以防倒塌。管片堆放高度,宜根据管片大小、自重计算决定。适筋纤维混凝土管片和减筋纤维混凝土管片内弧面向上平放超过 6 层或侧面立放超过 4 层,以及无筋纤维混凝土管片内弧面向上平放超过 4 层或侧面立放超过 3 层时,应进行受力验算。

11.1.3 管片在吊装过程中应采取适当的防护措施,防止损坏管片。不应使用管片吊装孔进行吊装。

### 11.2 运输

产品运输时应放在支垫物上,层与层之间采用垫木或标准成型的垫块隔开,每层支承点在同一平面上,各层支垫物在同一直线上。





附 录 A  
(规范性附录)  
纤维混凝土管片制作工艺

A.1 一般要求

纤维混凝土管片的原材料应进行进场检验;生产操作人员应进行技术培训,生产设备和设施应满足生产要求,并应定期对主要设备进行检定或测试。

A.2 纤维混凝土

A.2.1 纤维混凝土制备过程中的质量控制应满足 GB 50164、GB 50204 和 GB/T 14902 的规定。

A.2.2 混凝土的原材料计量的质量偏差,水泥、掺合料、纤维、水、外加剂的质量偏差不大于 1%,骨料的质量偏差不大于 2%。

A.2.3 纤维宜采用专用的设备进行投料。专用投料设备无法添加时,也可采用人工添加。人工投料时应注意纤维的分散。

A.2.4 纤维混凝土应采用强制式搅拌机搅拌,纤维宜在骨料投入后连续投入,或者与部分骨料同时加入,并且纤维和骨料宜进行预拌分散。

A.2.5 纤维混凝土的工作性应根据成型工艺确定。混凝土坍落度宜为 40 mm~150 mm,拌合物工作性试验符合 GB/T 50080 的规定。混凝土应具有良好的粘聚性,纤维不应出现结团现象。

A.3 钢筋骨架的制作与预埋件安装

A.3.1 钢筋的品种、级别、规格和位置应符合设计要求。

A.3.2 钢筋加工和钢筋骨架的制作应符合 GB 50204、GB 50446 的规定。

A.3.3 纤维混凝土管片的钢筋骨架和预埋件安装应符合设计要求,保证钢筋的混凝土保护层厚度。

A.4 管片模具

纤维混凝土管片模具组装应符合 GB 50446 中钢筋混凝土管片模具的相关要求。

A.5 纤维混凝土管片的制作和养护

A.5.1 纤维混凝土浇筑时,合理控制浇筑速度和振动时间,宜分次浇入模具,防止纤维在钢筋和预埋件密集处堆积。

A.5.2 管片浇筑成型后在初凝前,宜再次进行压面。管片外弧面有钢纤维或粗合成纤维明显伸出表面时,应将钢纤维、粗合成纤维拔出或挤压入混凝土。

A.5.3 纤维混凝土管片脱模前养护可采用蒸汽养护或覆盖薄膜保湿养护等方式进行养护。当采用蒸汽养护时,升降温速度不宜超过 20 °C/h,恒温最高温度不宜超过 60 °C,相对湿度大于 90%,出模时管片表面温度与环境温差不宜超过 25 °C。

A.5.4 纤维混凝土管片脱模时的混凝土强度:当采用吸盘脱模时不应低于 15 MPa,当采用其他方式脱

模时,不应低于 20 MPa。

A.5.5 纤维混凝土管片脱模后养护可采用水养护或保湿养护,养护时间不应少于 14 d。

#### A.6 其他

A.6.1 管片可在出厂前粘贴密封垫与缓冲垫。粘结前应对管片粘结位置进行检查,无灰尘、雨天不得进行密封垫粘结施工。密封垫宜采用机械粘贴方式,涂刷粘接剂套上密封垫后,挤压时间不少于 5 min。

A.6.2 纤维混凝土管片的杂散电流防护与普通钢筋混凝土管片应一致,无须针对杂散电流采取特殊防护措施。



**附 录 B**  
**(规范性附录)**  
**纤维混凝土抗弯性能试验方法**

**B.1 适用范围**

本附录适用于纤维混凝土切口梁的抗弯性能。

**B.2 试件**

试件为按 GB/T 50081 规定制备的样品,规格为 150 mm×150 mm×550 mm。

**B.3 试验仪器设备**

**B.3.1** 加载设备应具有足够的刚度和加载能力,采用液压伺服系统,可进行闭环加载。

**B.3.2** 裂缝口扩展宽度(CMOD)测量可采用夹式引伸计测量,挠度测量采用位移传感器(如 LVDT)。夹式引伸计和位移传感器的量程均不应小于 10 mm,测量精度均不应低于 0.01 mm。

**B.3.3** 荷载传感器,测量精度不应低于 0.1 kN。

**B.3.4** 数据采集系统可同时采集荷载和变形数据,采集频率可根据具体的试验要求确定,不宜低于 5 Hz。

**B.3.5** 挠度测量架,包括水平安装的刚性支架、转动固定端等。

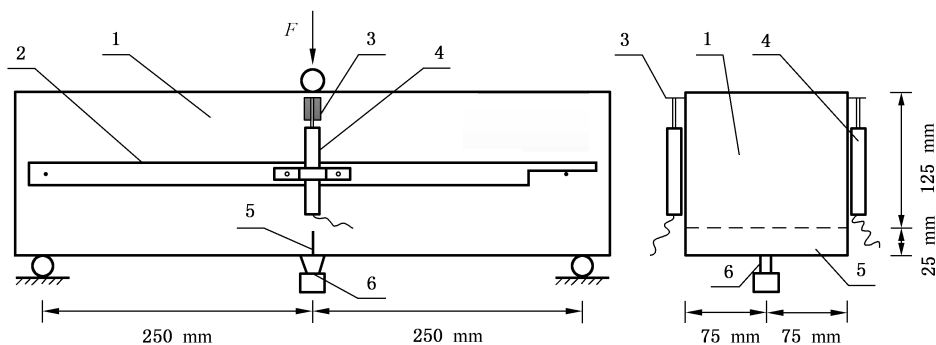
**B.4 试验方法**

**B.4.1** 试验前先在试件的侧面跨中位置进行切口,切口宽度不应大于 5 mm,切口深度为 $(25\pm 1)$  mm。

**B.4.2** 将试件无偏心地放置于试验支座上,以试件切口面作为支撑面。采用两分点加载,作用点距支座距离为二分之一跨度。

**B.4.3** 试验可同时测量裂缝口扩展宽度 CMOD 或跨中挠度  $\delta$ ,也可单独测量其中之一。

**B.4.4** 试验装置如图 B.1 所示,在试件跨中位置底部切口处中央安装夹式引伸计测量裂缝口扩展宽度 CMOD。采用钢架和转动固定端固定位移传感器测量跨中挠度  $\delta$ 。



- 说明：
- |                  |           |
|------------------|-----------|
| 1——试件；           | 4——位移传感器； |
| 2——挠度测量架(铝制或钢制)； | 5——切口；    |
| 3——挡板(铝制或钢制)；    | 6——夹式引伸计。 |

图 B.1 试验装置示意图

- B.4.5** 加载前应进行预加载,确保试件、加载装置以及铰支座充分接触,仪器设备工作正常。
- B.4.6** 加载过程:当采用挠度控制时,加载速率为 0.2 mm/min;当采用测试 CMOD 时,应首先以 0.05 mm/min速率进行加载,当 CMOD 或者  $\delta$  达到 0.1 mm 后,调整速率为 0.2 mm/min。
- B.4.7** 当试件裂缝口扩展宽度 CMOD 达到 4 mm,或者挠度值  $\delta$  达到 3.5 mm,或者试件破坏时,可终止试验。
- B.4.8** 若试件不在切口处断裂,则舍弃该测试结果。

**B.5 试验结果处理**

- B.5.1** 根据实验数据,绘制荷载-裂缝口扩展宽度( $F$ -CMOD)曲线或者荷载-挠度( $F$ - $\delta$ )曲线。
- B.5.2** 所绘制的  $F$ -CMOD 曲线如图 B.2 所示,所绘制的  $F$ - $\delta$  曲线如图 B.3 所示。
- B.5.3**  $F_L$  为裂缝口扩展宽度 CMOD 或者挠度值  $\delta$  在 0 mm~0.05 mm 范围内的荷载最大值。
- B.5.4** CMOD<sub>1</sub>、CMOD<sub>2</sub>、CMOD<sub>3</sub>、CMOD<sub>4</sub> 或者  $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\delta_3$ 、 $\delta_4$  对应的残余抗弯荷载分别为  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ 。CMOD 的取值以及其与  $\delta$  的对应关系见表 B.1。

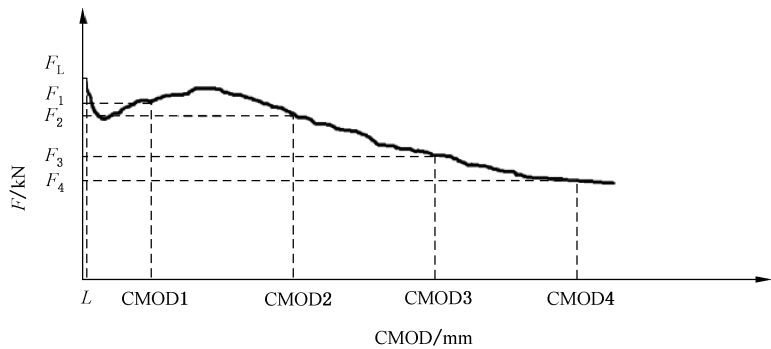


图 B.2 荷载-裂缝口扩展宽度曲线

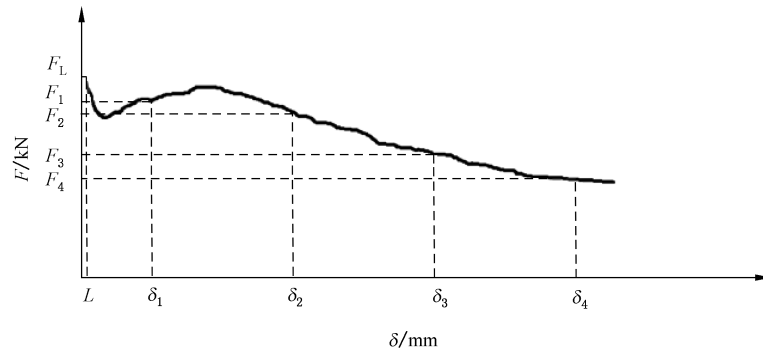


图 B.3 荷载-挠度曲线

表 B.1 CMOD 与  $\delta$  的对应关系

CMOD/mm		$\delta$ /mm	
CMOD <sub>1</sub>	0.5	$\delta_1$	0.47
CMOD <sub>2</sub>	1.5	$\delta_2$	1.32
CMOD <sub>3</sub>	2.5	$\delta_3$	2.17
CMOD <sub>4</sub>	3.5	$\delta_4$	3.02

**B.5.5** 一般情况下,  $F$ -CMOD 曲线和  $F$ - $\delta$  曲线对应的  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$  数值相近。当两者存在较大偏差时, 以  $F$ -CMOD 曲线为准。

**B.5.6** 试件抗弯比例极限  $f_L$  和残余抗弯强度  $f_{R,j}$  的计算方法, 按式(B.1)和式(B.2):

$$f_L = \frac{3F_L l}{2bh_{sp}^2} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$f_{R,j} = \frac{3F_j l}{2bh_{sp}^2} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$f_L$  ——纤维混凝土的抗弯比例极限, 单位为兆帕(MPa);

$f_{R,j}$  ——对应于 CMOD 为 CMOD<sub>j</sub> 或  $\delta$  为  $\delta_j$  的残余抗弯拉强度, 单位为兆帕(MPa);

$F_L$  —— $f_L$  对应的荷载, 单位为千牛(kN);

$F_j$  —— $f_{R,j}$  对应的荷载, 单位为千牛(kN);

$l$  ——试件跨度, 单位为毫米(mm);

$b$  ——试件宽度, 单位为毫米(mm);

$h_{sp}$  ——跨中截面未切口高度, 单位为毫米(mm)。

**B.5.7** 试件抗弯比例极限  $f_{Lk}$  和残余抗弯强度  $f_{R,jk}$  标准值的计算方法, 按式(B.3)和式(B.4):

$$f_{Lk} = 0.7f_{Lm} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

$$f_{R,jk} = 0.7f_{R,jm} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

$f_{Lm}$  —— $f_L$  的试验平均值, 单位为兆帕(MPa);

$f_{R,jm}$  —— $f_{R,j}$  的试验平均值, 单位为兆帕(MPa)。

附录 C  
(规范性附录)

纤维混凝土正常使用阶段的强度标准值  $f_{\text{Ftsk}}$  和极限强度标准值  $f_{\text{Ftuk}}$  的计算方法

C.1 适用范围

本附录适用于纤维混凝土的正常使用阶段的强度标准值  $f_{\text{Ftsk}}$  和极限强度标准值  $f_{\text{Ftuk}}$  的计算,包括刚-塑性模型和线性模型两种计算模型。

C.2 模型的确定

C.2.1 纤维混凝土的正常使用阶段的强度标准值  $f_{\text{Ftsk}}$  和极限强度标准值  $f_{\text{Ftuk}}$  的计算模型刚-塑性模型和线性模型,模型的选用应根据设计要求确定。

C.2.2 设计无要求时,宜采用刚-塑性模型。

C.3 刚-塑性模型

C.3.1 简化的纤维混凝土的开裂后应力和裂缝宽度的本构关系见图 C.1。

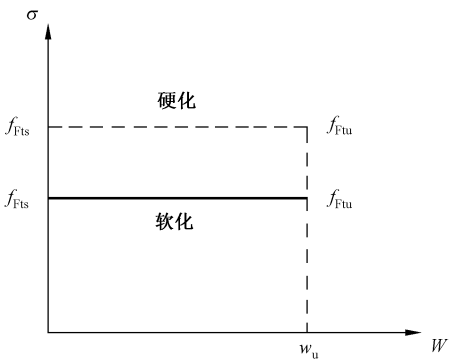


图 C.1 刚-塑性模型开裂后应力和裂缝宽度本构关系(实线代表应变软化,虚线代表应变硬化)

C.3.2  $f_{\text{Ftsk}}$  和  $f_{\text{Ftuk}}$  的计算方法按式(C.1)和式(C.2):

$$\begin{aligned} f_{\text{Ftsk}} &= f_{\text{Ftuk}} && \dots\dots\dots (C.1) \\ f_{\text{Ftuk}} &= f_{\text{R3k}}/3 && \dots\dots\dots (C.2) \end{aligned}$$

式中:  
 $f_{\text{Ftsk}}$ ——纤维混凝土正常使用阶段的强度标准值;  
 $f_{\text{Ftuk}}$ ——纤维混凝土极限强度标准值;  
 $f_{\text{R3k}}$ ——取值见附录 B。



C.4 线性模型

C.4.1 简化的纤维混凝土的开裂后应力和裂缝宽度的本构关系见图 C.2。

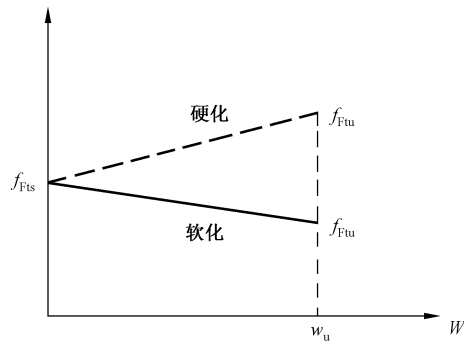


图 C.2 线性模型的开裂后应力和裂缝宽度本构关系(实线代表应变软化,虚线代表应变硬化)

C.4.2  $f_{Ftsk}$  和  $f_{Ftuk}$  的计算方法,按式(C.3)和式(C.4):

$$f_{Ftsk} = 0.45f_{R1k} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

$$f_{Ftuk} = f_{Ftsk} - \frac{w_u}{CMOD_3}(f_{Ftsk} - 0.5f_{R3k} + 0.2f_{R1k}) \geq 0 \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

$w_u$  ——纤维混凝土在承载力极限状态时的最大允许裂缝宽度值,单位为毫米(mm);

$f_{R1k}$ 、 $f_{R3k}$ 、 $CMOD_3$ ——取值见附录 B。

C.4.3 无筋纤维混凝土管片, $w_u$  取值为 2.5 mm。 $f_{Ftu}$  的计算方法,按式(C.5):

$$f_{Ftuk} = 0.5f_{R3k} - 0.2f_{R1k} \geq 0 \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

C.4.4 减筋纤维混凝土管片无设计要求时, $f_{Ftuk}$  按式(C.5)计算。

C.4.5 减筋纤维混凝土管片有设计要求时, $f_{Ftuk}$  按式(C.4)计算,其中  $w_u$  的计算方法,按式(C.6):

$$w_u = \epsilon_{Fu} l_{cs} \leq 2.5 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

$\epsilon_{Fu}$  ——非金属材料在最大拉应力时对应的应变。当截面拉应变变化时取值为 2%,当截面拉应变为常量时为 1%;

$l_{cs}$  ——结构特征长度,其取值按式(C.7)~式(C.11):

$$l_{cs} = \min\{s_{rm}, y\} \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

$$s_{rm} = 1.5l_{s,max} = 1.5\left(k \times c + \frac{1}{4} \times \frac{f_{ctm} - f_{Ftsm}}{\tau_{bm}} \times \frac{d_s}{\rho_{s,ef}}\right) \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

$$f_{Ftsm} = f_{Ftsk}/0.7 \quad \dots\dots\dots (C.9)$$

$$\tau_{bm} = 1.8f_{ctm} \quad \dots\dots\dots (C.10)$$

$$\rho_{s,ef} = \frac{A_s}{A_{c,ef}} \quad \dots\dots\dots (C.11)$$

$$A_{c,ef} = b \times \min\{2.5(h - h_0), h/2, (h - x)/3\} \quad \dots\dots\dots (C.12)$$

式中:

$s_{rm}$  ——裂缝平均间距,单位为毫米(mm);

$y$  ——中性轴到受拉截面边缘的距离,单位为毫米(mm);

$l_{s,max}$  ——粘结应力作用长度(传递长度),单位为毫米(mm);

$k$  ——混凝土保护层厚度影响系数,取 1.0;

$c$  ——混凝土保护层厚度,单位为毫米(mm);

$\tau_{bm}$  ——钢筋与混凝土之间的平均粘结强度,单位为兆帕(MPa);

- $f_{ctm}$  ——普通混凝土轴心抗拉强度的平均值,取值见表 C.1,单位为兆帕(MPa);
- $f_{Ftsm}$  ——纤维混凝土正常使用阶段的标准值,单位为兆帕(MPa);
- $f_{Ftsk}$  ——纤维混凝土正常使用阶段强度的平均值,按式(C.3)计算,单位为兆帕(MPa);
- $d_s$  ——受拉区纵向普通钢筋的直径,单位为毫米(mm);
- $\rho_{s,ef}$  ——有效配筋率;
- $A_s$  ——受拉区纵向普通钢筋的截面面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>);
- $A_{c,ef}$  ——混凝土有效受拉面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>);
- $b$  ——管片的宽度,单位为毫米(mm);
- $h$  ——管片的厚度,单位为毫米(mm);
- $h_0$  ——截面有效高度,单位为毫米(mm);
- $x$  ——受压区高度,单位为毫米(mm)。

表 C.1 普通混凝土轴心抗拉强度的平均值

混凝土等级	C50	C55	C60	C70	C80
$f_{ctm}/\text{MPa}$	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8



**附 录 D**  
(规范性附录)  
**纤维含量检测试验方法**

**D.1 适用范围**

本附录适用于纤维混凝土中纤维含量的检测,包括钢纤维含量和粗合成纤维含量的检测。

**D.2 试件**

试件为按规定抽样的样品。

**D.3 试验仪器设备**

D.3.1 电子天平:量程 1 kg,测量精度不应低于 1 g;量程 200 g,测量精度不应低于 0.1 g。

D.3.2 容量筒:容积 5 L。

D.3.3 振动台:频率宜为 $(50 \pm 3)$  Hz,空载时振幅宜为 $(0.5 \pm 0.1)$  mm,关闭磁吸功能。

D.3.4 小型破碎机。



D.3.5 不锈钢筛网:网孔尺寸 2.5 mm $\times$ 2.5 mm。

**D.4 钢纤维含量的测定方法**

**D.4.1 新拌混凝土**

D.4.1.1 将新拌的纤维混凝土分次装入 5 L 容量筒中,并用振动台振实。

D.4.1.2 将容量筒中的纤维混凝土拌合物倒入容积 50 L 以上的容器中,加水搅拌后,浆体缓慢过筛。再用磁铁在砂石及钢纤维的残渣中收集钢纤维,并洗净钢纤维表面的异物。必要时可重复上述操作。

**D.4.2 硬化混凝土**

D.4.2.1 通过钻芯取样或其他方法对硬化后的纤维混凝土进行取样,样品体积 2 L 左右。

D.4.2.2 采用排水法测定混凝土样品的体积。

D.4.2.3 采用小型破碎机对样品进行破碎,再用磁铁在破碎的混凝土中收集钢纤维,并人工清洗钢纤维表面的异物。

**D.4.3 钢纤维称重**

将收集的钢纤维在 $(105 \pm 5)$  °C 的温度下烘干至恒重。烘干时间不应小于 4 h,然后每隔 1 h 称量一次,直至连续两次称量之差小于较小值的 0.5% 时为止。冷却至室温后再次称重,精确至 1 g。

**D.5 粗合成纤维含量的测定方法**

**D.5.1 新拌混凝土**

D.5.1.1 将新拌的纤维混凝土分次装入 5 L 容量筒中,并用振动台振实。

D.5.1.2 将容量筒中的纤维混凝土拌合物装入容积 50 L 以上的容器中,加水搅拌后静置。将浮在浆体表面粗合成纤维收集起来,若粗合成纤维不能浮起,可在水中加入适量的 NaCl 等可溶性盐至纤维浮起。必要时可重复上述操作。

D.5.2 硬化混凝土

- D.5.2.1 通过钻芯取样或其他方法对硬化后的纤维混凝土进行取样,样品体积 $(2\pm0.2)$ L。
- D.5.2.2 采用排水法测定混凝土样品的体积。
- D.5.2.3 采用小型破碎机对样品进行破碎,并人工清洗纤维表面的异物。将破碎后的样品装入容积 50 L 以上的容器中,加水搅拌后静置。将浮在浆体表面粗合成纤维收集起来,若粗合成纤维不能浮起,可在水中加入适量的 NaCl 等可溶性盐至纤维浮起。

D.5.3 粗合成纤维称重

将收集的粗合成纤维在 $(105\pm5)^{\circ}\text{C}$ 的温度下烘干至恒重。烘干时间不应小于 4 h,然后每隔 1 h 称量一次,直至连续两次称量之差小于较小值的 0.5%时为止。冷却至室温后再次称量,精确至 1 g。

D.6 试验结果处理

D.6.1 纤维的含量按照式(D.1)计算:

$$W_i = m_i / V \dots\dots\dots (D.1)$$

- 式中:
- $W_i$  ——纤维含量,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ );
  - $m_i$  ——容量筒中纤维的质量,单位为克(g);
  - $V$  ——纤维混凝土的体积,单位为升(L)。

D.6.2 试验应进行两次,两次试验值之差应小于平均值的 5%,则将两次试验的平均值作为纤维混凝土的纤维含量。



附 录 E  
(规范性附录)  
盾构管片抗弯性能试验方法

E.1 适用范围

本附录适用于纤维混凝土盾构管片的抗弯性能试验,测定开裂荷载、裂缝宽度达 0.2 mm 时的荷载和破坏荷载,以及各等级荷载下对管片的挠度和水平位移。

E.2 试件

试件为按规定抽样的纤维混凝土盾构管片。

E.3 试验仪器设备

E.3.1 用于固定试件的门式反力试验架,最大承载能力应满足试验要求。

E.3.2 千斤顶的加载能力应满足试验要求,不宜小于 500 kN。

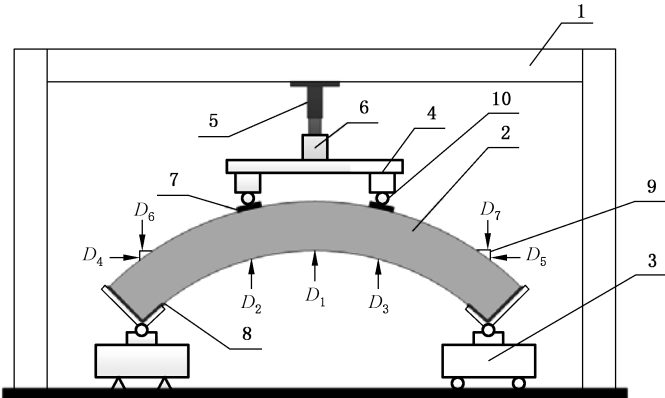
E.3.3 荷载、位移测量宜采用数据采集系统和荷载传感器、位移传感器进行自动测定。荷载传感器量程不宜小于管片设计极限承载力的 120%且不宜小于 500 kN,测量精度不应低于 0.1 kN。位移传感器量程不宜小于 30 mm,精度不应低于 0.01 mm。采集频率根据具体的试验要求确定,不宜低于 5 Hz。

E.3.4 荷载、位移测量可采用荷载测试仪和百分表,量程和精度应满足 E.3 的要求。

E.3.5 裂缝宽度测量采用裂缝宽度测定仪,量程不应小于 10 mm,精度不应低于 0.01 mm。

E.4 试验方法

E.4.1 按照图 E.1 安装管片试件。

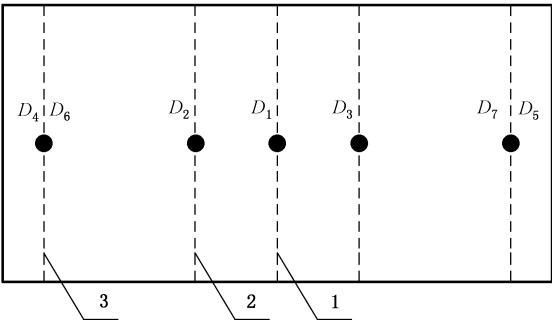


- 说明：
- |           |                   |
|-----------|-------------------|
| 1——门式反力架； | 6——荷载传感器；         |
| 2——管片；    | 7——橡胶垫(厚度 20 mm)； |
| 3——活动小车；  | 8——橡胶垫(厚度 10 mm)； |
| 4——分配梁；   | 9——角钢；            |
| 5——千斤顶；   | 10——加压棒。          |

$D_1-D_7$  为通过位移传感器或百分表测量的位移测试点。其中  $D_1$  为内弧面中心点的竖向位移测试点,  $D_2-D_3$  为加载点对应的内弧面处的竖向位移测试点,  $D_4-D_5$  为支点对应的外弧面处的水平位移测试点,  $D_6-D_7$  为支点对应的外弧面处的竖向位移测试点。

图 E.1 管片抗弯性能试验装置示意图

E.4.2 按照图 E.2 布置挠度和水平位移测试点。



- 说明：
- |         |
|---------|
| 1——跨中；  |
| 2——加载点； |
| 3——支点。  |

图 E.2 位移测试点示意图

E.4.3 采用千斤顶分配梁系统加荷,加荷点标距为 900 mm 或管片两支点距离的 1/3,或根据设计确定。加压棒的长度不小于管片宽度,支承管片两端的小车可沿地面轨道滚动。

E.4.4 管片抗弯性能检验采用分级加载方式,加载方案见表 E.1。一般情况下加载至步骤 8 即可终止试验。如设计有要求时,则进行至步骤 10。

表 E.1 管片抗弯试验加载方案

步骤	累计加载值/正常使用极限状态设计荷载	持荷时间
1	40%	5 min
2	60%	5 min
3	80%	5 min
4	90%	5 min
5	95%	5 min
6	100%	10 min
7	继续以 5% 设计荷载加载	5 min
8	加载至极限承载力设计值	10 min
9	继续以 5% 设计荷载加载(如设计有要求)	5 min
10	加载至破坏(如设计有要求)	

E.4.5 持荷阶段记录荷载和位移值,并观察开裂情况,测量并记录最大裂缝宽度,直到最大裂缝宽度大于 0.2 mm。

## E.5 试验结果处理

E.5.1 每级加荷后的位移变量计算,按式(E.1)、式(E.2)和式(E.3):

$$\text{中心点位移} = D_1 - (D_6 + D_7)/2 \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

$$\text{荷载点位移} = (D_2 + D_3)/2 - (D_6 + D_7)/2 \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

$$\text{水平点位移} = (D_4 + D_5)/2 \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

E.5.2 试验记录宜按照表 E.2 和表 E.3,并记录管片裂缝的位置。

表 E.2 管片抗弯试验记录表

加载分级	累计荷载值/kN	中心点竖向位移/mm	荷载点竖向位移/mm	水平点位移/mm	最大裂缝宽度/mm
初始	分配梁荷载				
1 级					
2 级					
3 级					
...					
N 级					

表 E.3 管片抗弯试验记录表 2

荷载值	中心点位移	状态记录
开裂荷载：	位移：	观测到第一条裂缝
设计荷载：	位移：	最大裂缝宽度：
裂缝荷载：	位移：	最大裂缝宽度达到 0.2 mm
极限承载力设计值：	位移：	破坏：是或否

E.5.3 根据各中心点、荷载点、水平点的位移变量绘制荷载与位移的关系曲线。

E.5.4 当出现下列情况之一时，应重新检验，并应以重新检验结果为准：

- a) 荷载-位移曲线出现异常变化；
- b) 管片在加载点或支座处出现局部破坏；
- c) 第一条贯穿性裂缝出现在加载点外的情况。

附 录 F  
(资料性附录)

预埋槽道的径向抗拔性能和抗剪切性能试验方法

F.1 适用范围

本附录适用于盾构管片预埋槽道的径向抗拔性能和抗剪切性能测试,包括径向抗拔性能、沿槽道方向和垂直槽道方向的抗剪切性能试验方法。

F.2 试件

试件为按规定抽样的盾构管片。

F.3 试验仪器设备

F.3.1 反力支座和传力杆的最大承载能力和刚度应满足试验要求。

F.3.2 拉拔千斤顶的加载能力应满足试验要求,不宜小于 50 kN。

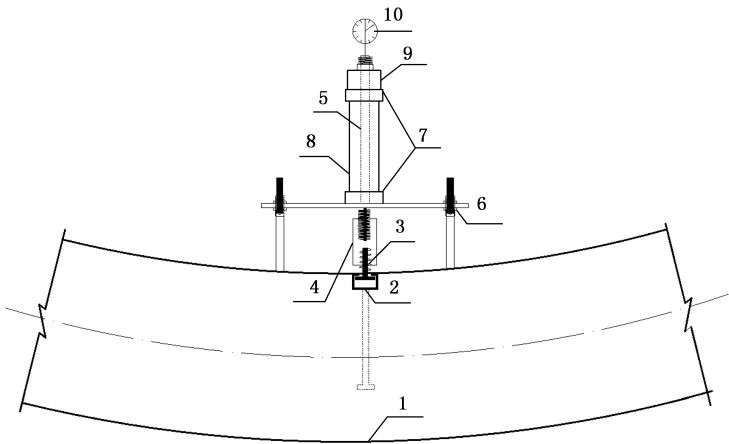
F.3.3 荷载测试仪,量程一般不小于 50 kN,测量精度不低于 0.1 kN。

F.3.4 位移测量可采用百分表,量程不小于 10 mm,精度不应低于 0.01 mm。

F.4 试验方法

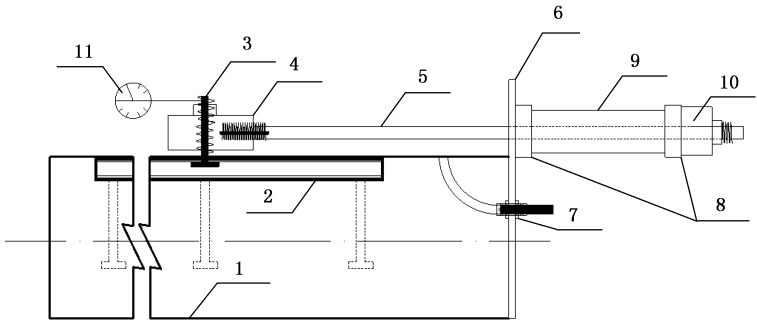
F.4.1 按照图 F.1~图 F.3 在管片上安装预埋槽道的径向抗拔和剪切试验支座、千斤顶、荷载测试仪和百分表。T 型螺栓一端与槽道相连,另一端与转换杆相连,转换杆与传力杆连接,传力杆穿过拉拔仪的液压穿心千斤顶,通过卡具和螺母固定。





- 说明：
- |           |              |
|-----------|--------------|
| 1——管片；    | 6 ——反力支座；    |
| 2——预埋槽道；  | 7 ——垫块；      |
| 3——刚性转换杆； | 8 ——拉拔液压千斤顶； |
| 4——T 型螺栓； | 9 ——荷载测试仪；   |
| 5——刚性传力杆； | 10——百分表。     |

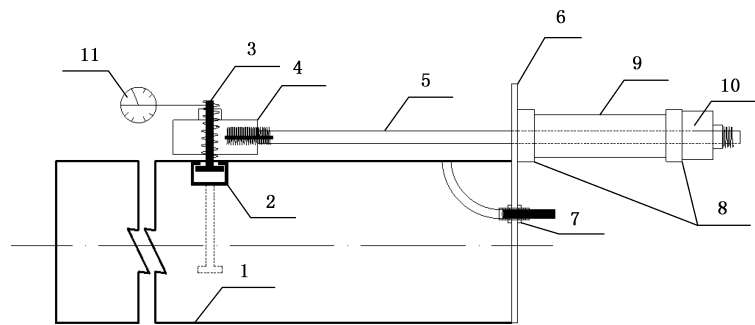
图 F.1 预埋槽道径向抗拔性能试验仪器设备安装示意图



- 说明：
- |           |              |
|-----------|--------------|
| 1——管片；    | 7 ——连接螺栓；    |
| 2——预埋槽道；  | 8 ——垫块；      |
| 3——刚性转换杆； | 9 ——拉拔液压千斤顶； |
| 4——T 型螺栓； | 10——荷载测试仪；   |
| 5——刚性传力杆； | 11——百分表。     |
| 6——反力支座；  |              |

图 F.2 沿槽道方向抗剪切性能试验仪器设备安装示意图





- 说明：
- |           |             |
|-----------|-------------|
| 1——管片；    | 7——连接螺栓；    |
| 2——预埋槽道；  | 8——垫块；      |
| 3——刚性转换杆； | 9——拉拔液压千斤顶； |
| 4——T 型螺栓； | 10——荷载测试仪；  |
| 5——刚性传力杆； | 11——百分表。    |
| 6——反力支座；  |             |

图 F.3 垂直槽道方向抗剪性能试验仪器设备安装示意图

F.4.2 试验采用分级加载方式,加载方案见表 F.1。一般情况下加载至步骤 5 即可终止试验。如设计有要求时,则进行至步骤 7。

表 F.1 预埋槽道的径向抗拔性能和抗剪切性能试验加载方案

步骤	累计加载值/1.3 倍的设计承载力 (无承载力设计要求时,拉拔荷载为 14 kN,剪切荷载为 10 kN)	持荷时间
1	40 %	5 min
2	60 %	5 min
3	80 %	5 min
4	90 %	5 min
5	100 %	10 min
6	继续以 10 %加载(如设计有要求)	5 min
7	加载至 30 kN(如设计有要求)	

F.4.3 持荷阶段测量并记录荷载值和 T 型螺栓位移值。

F.5 试验结果处理

F.5.1 有设计要求时,拉拔荷载和两个方向的剪切荷载均达到设计承载力;持荷 10 min,预埋槽道及 T 型螺栓未有变化,T 型螺栓位移小于 0.5 mm,视为通过测试。

F.5.2 无设计要求时,管片预埋槽道的径向拉拔荷载达到 14 kN、两个方向的剪切荷载均达到 10 kN。持荷 10 min,预埋槽道及 T 型螺栓未有变化,T 型螺栓位移小于 0.5 mm,视为通过测试。

F.5.3 如设计有要求加载至 30 kN,在拉拔荷载和两个方向的剪切荷载均为 30 kN 时,管片未破坏,视为通过测试。



附 录 G  
(资料性附录)

盾构管片整环径向承载力的验证试验

G.1 适用范围

本附录适用于盾构管片整环径向承载力的验证。

G.2 试件

试件为按规定抽样的整环纤维混凝土盾构管片。

G.3 试验仪器设备

G.3.1 环形反力试验架,最大承载能力应满足试验要求。

G.3.2 千斤顶的加载能力应满足试验要求,不宜小于 500 kN。

G.3.3 荷载传感器,量程不宜小于管片设计极限承载力的 120%且不宜小于 500 kN,测量精度不应低于 0.1 kN。

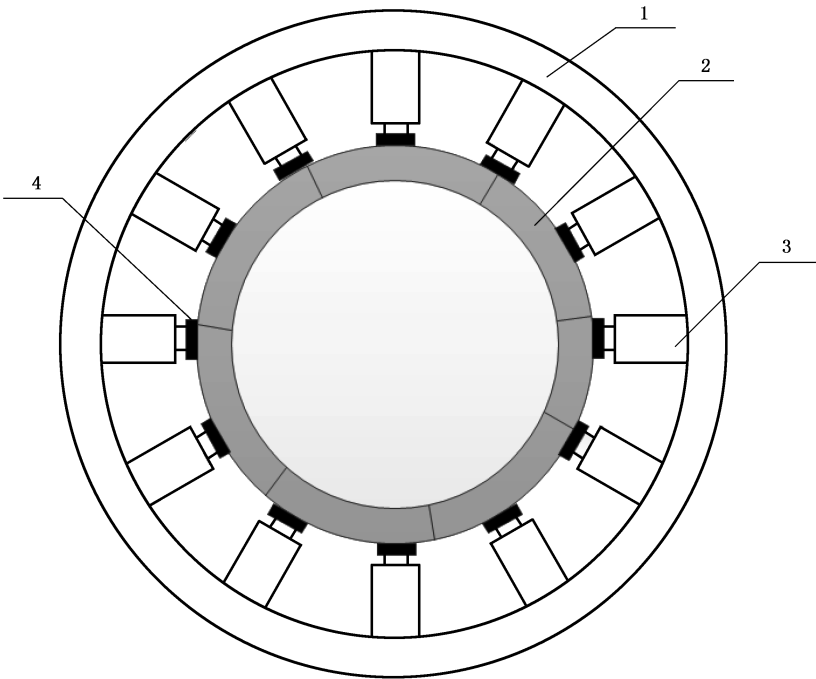
G.3.4 位移传感器,量程不应小于 100 mm,测量精度不应低于 0.01 mm。

G.3.5 裂缝宽度测量采用裂缝宽度测定仪,量程不应小于 10 mm,测量精度不应低于 0.01 mm。

G.4 试验方法

G.4.1 按照图 G.1 安装管片试件,根据设计要求拼装 1~3 环管片。





说明：

1——环形反力架；	3——千斤顶；
2——管片(1~3环)；	4——分配梁(长度不小于管片宽度)。

图 G.1 管片整环径向承载力验证试验装置示意图

- G.4.2 根据设计要求径向布置千斤顶,每环千斤顶的数量宜为 12 支。
- G.4.3 根据设计要求布置挠度、位移测试点。
- G.4.4 根据设计要求和所模拟的围岩情况确定加载方案,加载应采用分级加载。