



CECS 13 : 2009

中国工程建设协会标准

纤维混凝土试验方法标准

Standard test methods for fiber
reinforced concrete

中国计划出版社

中国工程建设协会标准

纤维混凝土试验方法标准

Standard test methods for fiber
reinforced concrete

CECS 13 : 2009

主编单位：大 连 理 工 大 学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0 1 0 年 2 月 1 日

中国计划出版社

2010 北 京

中国工程建设协会标准
纤维混凝土试验方法标准

CECS 13 : 2009

☆

大连理工大学 主编

中国计划出版社出版

(地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码:100038 电话:63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

850×1168 毫米 1/32 4 印张 102 千字

2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—5100 册

☆

统一书号:1580177·317

定价:32.00 元

中国工程建设标准化协会公告

第 52 号

关于发布《纤维混凝土试验 方法标准》的公告

根据中国工程建设标准化协会建标协字(2005)第 14 号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2005 年第一批标准制、修订项目计划的通知》的要求,由大连理工大学等单位全面修订的《纤维混凝土试验方法标准》,经混凝土结构专业委员会组织审查,现批准发布,编号为 CECS 13 : 2009,自 2010 年 2 月 1 日起施行。原《钢纤维混凝土试验方法》CECS 13 : 89 同时废止。

中国工程建设标准化协会
二〇〇九年十二月十五日

前 言

根据中国工程建设标准化协会(2005)建标协字第 14 号《关于印发中国工程建设标准化协会 2005 年第一批标准制、修订项目计划的通知》的要求,制定本标准。

本次全面修订,标准编制组在广泛调查研究,认真总结实践经验,参考国际标准和国外先进经验,开展必要的专门试验研究,并广泛征求意见的基础上,对原《钢纤维混凝土试验方法》CECS 13:89进行了全面修订,其修订的主要内容有:① 在纤维品种上增加了合成纤维并增补了合成纤维形状和力学性能试验以及合成纤维混凝土的各项性能试验;② 在纤维混凝土拌和物性能试验方面增补了拌和物现场取样方法、纤维含量试验(干法)等;③ 编写了自密实纤维混凝土拌和物性能试验;④ 在纤维混凝土物理力学性能方面,修订了纤维喷射混凝土试件制作方法,增补了早龄期抗裂性对比试验和早龄期收缩测定试验、弯曲韧性试验(缺口梁法)、平板法弯曲韧性检验(方板法、圆板法)、纤维混凝土与基层混凝土或岩石的层间粘结强度试验(直接拉伸法、钻芯拉拔法)、抗冲击试验等,并完善了弯曲韧性、轴拉韧性及轴压韧性的试验方法;⑤ 在耐久性试验方面制定了纤维混凝土抗氯离子渗透试验、纤维混凝土中钢筋快速腐蚀对比试验方法;⑥ 删去了与现行有关国家和行业混凝土试验方法标准重复的内容等。本标准适用于各类工程中钢纤维混凝土及合成纤维混凝土的各项性能试验。

本标准共七章,包括总则;术语和符号;原材料试验;纤维混凝土拌和物试验;自密实纤维混凝土拌和物性能试验;纤维混凝土物

理力学性能试验;纤维混凝土耐久性试验等内容。

根据国家计委标[1986]1649号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,推荐给工程建设、设计、施工等使用单位及工程技术人员采用。

本标准由中国工程建设标准化协会混凝土结构委员会(TC/5)归口管理并负责解释(中国建筑科学研究院,地址:北京市北三环东路30号,邮编:100013)。在使用过程中,如发现需要修改或补充之处,请将意见及有关资料寄交解释单位。

主 编 单 位: 大连理工大学

参 编 单 位: 华北水利水电学院

郑州大学

哈尔滨工业大学

西南交通大学

北京中纺纤建科技有限公司

上海哈瑞克斯金属制品有限公司

安赛乐集团

主要起草人: 黄承逵 赵顺波 高丹盈 张松榆 金 剑

丁一宁 赵 军 李志业 叶 坚 史小兴

谢岫全 何化南 王伯昕 刘岳鑫 刘思国

于洪涛 陈小锋

主要审查人: 孙 伟 徐有邻 沈荣熹 张 君 徐蕴贤

鲁一晖 刘亚平 付 智 王宝军

中国工程建设标准化协会

2009年12月15日

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	原材料试验	(5)
3.1	一般规定	(5)
3.2	钢纤维一般检验	(5)
3.3	钢纤维抗拉强度试验	(7)
3.4	合成纤维外形测定试验	(10)
3.5	合成纤维抗拉强度、极限伸长率及弹性模量试验	(13)
3.6	合成纤维耐碱性试验	(15)
4	纤维混凝土拌和物试验	(17)
4.1	一般规定	(17)
4.2	试验室拌和物试样制备	(18)
4.3	现场拌和物取样	(19)
4.4	倒置坍落度筒法试验	(20)
4.5	拌和物中纤维含量试验	(21)
4.6	硬化初期纤维混凝土中钢纤维含量试验	(23)
5	自密实纤维混凝土拌和物性能试验	(26)
5.1	一般规定	(26)
5.2	坍落度、扩展度和流动速率试验	(26)
5.3	通过能力试验(L形箱法)	(28)
5.4	通过能力试验(J形环法)	(29)
5.5	填充能力试验	(31)

5.6	稳定性试验	(32)
6	纤维混凝土物理力学性能试验	(35)
6.1	一般规定	(35)
6.2	浇筑成型纤维混凝土试件的制作及养护	(36)
6.3	喷射成型纤维混凝土试件的制作及养护	(38)
6.4	早龄期抗裂性对比试验	(39)
6.5	早龄期收缩试验	(42)
6.6	轴心受压应力-应变全曲线试验	(44)
6.7	轴心抗拉强度和受拉应力-应变全曲线试验	(48)
6.8	抗剪强度试验	(51)
6.9	弯曲韧性和初裂强度试验	(54)
6.10	弯曲韧性试验(切口梁法)	(59)
6.11	弯曲韧性试验(方板法)	(62)
6.12	弯曲韧性试验(圆板法)	(64)
6.13	钢纤维与水泥砂浆粘结强度试验	(67)
6.14	纤维混凝土与基层层间粘结强度试验(直接拉伸法)	(71)
6.15	纤维混凝土与基层层间粘结强度试验(钻芯拉拔法)	(73)
6.16	抗冲击试验	(75)
7	纤维混凝土耐久性试验	(78)
7.1	一般规定	(78)
7.2	纤维混凝土抗氯离子渗透对比试验	(78)
7.3	纤维混凝土中钢筋快速腐蚀对比试验	(80)
	本标准用词说明	(83)
	引用标准名录	(84)
	附:条文说明	(85)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Tests of materials	(5)
3.1	General requirements	(5)
3.2	Normal inspection of steel fiber	(5)
3.3	Test of steel fiber tensile strength	(7)
3.4	Measurement of synthetic fiber shape	(10)
3.5	Test methods for tensile strength, ultimate elongation ratio and elastic modulus of synthetic fiber	(13)
3.6	Test methods for alkali resistance of synthetic fiber	(15)
4	Test methods for fiber reinforced concrete mixtures	(17)
4.1	General requirements	(17)
4.2	Preparation for mixture in laboratory	(18)
4.3	Sampling mixture on site	(19)
4.4	Inverted slump cone test	(20)
4.5	Fiber content test of mixture	(21)
4.6	Test method for fiber content at early age of steel fiber reinforced concrete hardened	(23)
5	Test methods for workability of self-compacting fiber reinforced concrete mixture	(26)
5.1	General requirements	(26)

5.2	Test of slump-flow and T_{500} time	(26)
5.3	L-box test	(28)
5.4	J-ring test	(29)
5.5	Filling ability test	(31)
5.6	Stability test	(32)
6	Test methods for physical-mechanical properties of fiber reinforced concrete	(35)
6.1	General requirements	(35)
6.2	Fabrication and curing of cast fiber reinforced concrete specimens	(36)
6.3	Fabrication and curing of fiber reinforced shotcrete specimens	(38)
6.4	Contrast test of crack resistance at early age of fiber reinforced concrete	(39)
6.5	Shrinkage test at early age of fiber reinforced concrete ...	(42)
6.6	Test of axial compressive stress-strain curve	(44)
6.7	Test of axial tensile strength and stress-strain curve	(48)
6.8	Test method for shear strength (using direct shear method loaded on double-face)	(51)
6.9	Test method for flexural toughness and first-crack strength of fiber reinforced concrete	(54)
6.10	Test method for flexural toughness (using notched beam)	(59)
6.11	Test method for flexural toughness (using square panel)	(62)
6.12	Test method for flexural toughness (using centrally loaded round panel)	(64)
6.13	Test method for property of bond between steel fiber and mortar	(67)
6.14	Test method for bond strength between fiber reinforced	

concrete and sub base (direct tension method)	(7 1)
6.15 Test method for bond strength between fiber reinforced concrete and sub base (tensile test method for drilling core).....	(7 3)
6.16 Impact test	(7 5)
7 Durability test	(7 8)
7.1 General requirements	(7 8)
7.2 Contrast test of permeating resistance of chloride ion	(7 8)
7.3 Contrast test of fast corroding of steel bar in fiber reinforced concrete	(8 0)
Explanation of wording in this standard	(8 3)
List of quoted standards	(8 4)
Attached; Explanation of standard	(8 5)

1 总 则

1.0.1 为进一步规范纤维混凝土的试验方法,提高纤维混凝土试验精度和试验水平,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于各类工程中浇筑成型和喷射成型的掺有钢纤维、合成纤维或多种纤维混杂的纤维混凝土的原材料品质、拌合物性能、纤维混凝土的物理力学性能及耐久性的试验。

1.0.3 纤维混凝土试验方法,除应执行本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 钢纤维 steel fiber

用钢材制作的短纤维。

2.1.2 异形钢纤维 special-shaped steel fiber

变截面或非直形的钢纤维。

2.1.3 合成纤维 synthetic fiber

用有机合成材料制作的短纤维,常用的有聚丙烯腈纤维、聚丙烯纤维、尼龙纤维等。

2.1.4 纤维混凝土 fiber reinforced concrete

在水泥基混凝土中均匀掺入乱向分布的短纤维形成的复合材料。

2.1.5 混杂纤维混凝土 hybrid fiber

由两种或两种以上不同品种、不同规格的纤维混合使用所配制的纤维混凝土。

2.1.6 等效直径 equivalent diameter

纤维截面为非圆形时,按截面积相等的原则换算的圆形截面的直径。

2.1.7 纤维长径比 aspect ratio of fiber

纤维的长度与直径或等效直径的比值。

2.1.8 纤维含量 content of fiber

单位体积纤维混凝土中所含纤维的质量,以 kg/m^3 表示。

2.1.9 纤维体积率 fraction of fiber by volume

纤维占纤维混凝土的体积百分数。

2.1.10 韧性 toughness

纤维混凝土保持一定抗力的塑性变形能力,常用与受力(或应力)变形(或应变)曲线下面积有关的参数进行度量。

2.1.11 增强 strengthening

采用纤维提高基体混凝土的抗拉、抗弯拉、抗剪强度等。

2.1.12 增韧 toughening

采用纤维改善基体混凝土的脆性,提高其弯曲韧性、冲击韧性等。

2.1.13 阻裂 crack resistance

采用纤维阻滞基体混凝土裂缝的出现和扩展。

2.1.14 早龄期抗裂 crack resistance at early age

采用纤维阻滞基体混凝土在水化初期收缩裂缝的出现和扩展。

2.2 符 号

2.2.1 作用、作用效应和抗力

F ——荷载,作用力;

F_i ——初始荷载;

F_{con} ——控制荷载;

F_{cr} ——初裂荷载;

F_{eq} ——等效荷载;

2.2.2 材料性能

$E_{fc,m}$ ——纤维混凝土抗折弹性模量;

f_t ——纤维的抗拉强度;

$f_{fc,t}$ ——纤维混凝土轴心抗拉强度;

$f_{fc,v}$ ——纤维混凝土抗剪强度;

$f_{fc,m}$ ——纤维混凝土抗折强度;

$f_{eq,m}$ ——纤维混凝土等效抗折强度;

f_{cr} ——纤维混凝土的抗折初裂强度;

f_{fb} ——钢纤维与基体的粘结强度;

f_b ——纤维混凝土与基层的粘结强度；

m ——质量；

γ_{fc} ——纤维混凝土拌和物表观密度；

γ_f ——纤维的质量密度。

2.2.3 几何参数

d_{eq} ——纤维的等效直径；

l_0 ——纤维的长度或名义长度的实测值；试件的基准长度；

l_k ——纤维的长度或名义长度的标准值；

V ——容量筒容积；试块的体积。

2.2.4 计算系数及其他

W_f ——纤维混凝土中的纤维含量；

ρ_f ——纤维混凝土中的纤维体积率；

I_5 、 I_{10} 、 I_{20} ——纤维混凝土的弯曲韧性指数；

R_e ——纤维混凝土的韧性比；

T_t ——合成纤维的线密度。

3 原材料试验

3.1 一般规定

3.1.1 纤维混凝土中水、水泥、掺和料、外加剂、砂石骨料等原材料的试验检验方法和质量控制应符合国家现行有关标准的规定。

3.1.2 钢纤维混凝土中粗骨料粒径宜与纤维长度相匹配,其匹配关系应满足现行协会标准《纤维混凝土结构技术规程》CECS 38 和其他国家现行相关标准的规定,必要时应通过专门试验确定。

3.1.3 采用合成纤维用于混凝土增强增韧时,粗骨料粒径与纤维长度的匹配关系宜符合本标准第 3.1.2 条的规定。

3.1.4 采用合成纤维用于混凝土早龄期防裂时,粗骨料粒径与纤维长度的匹配关系可不受限制。

3.2 钢纤维一般检验

3.2.1 本方法适用于钢纤维尺寸、形状、杂质含量和弯折性能检验。

3.2.2 检验所采用的仪器应符合下列规定:

- 1 数显卡尺,量程 150mm,精度 0.02mm。
- 2 电子天平,称量不小于 30g,感量 0.1mg。
- 3 台秤,称量 10kg,感量 50g。

3.2.3 钢纤维长度的检验应符合下列规定:

- 1 每个验收批分 10 个部位随机取样 100 根钢纤维逐根进行测量。
- 2 对于形状规则的直形纤维,用卡尺测量其长度。
- 3 对于波形和端钩形钢纤维,应量测纤维的名义长度(两端的距离)和实际曲线长度。钢纤维的长度允许偏差,根据有关国

家或行业标准确定或合同约定。每根钢纤维的长度偏差率应按下列式计算：

$$\delta_l = \frac{l_0 - l_k}{l_k} \times 100\% \quad (3.2.3)$$

式中： δ_l ——钢纤维的长度偏差(%)；

l_0 ——钢纤维的长度或名义长度的实测值(mm)；

l_k ——钢纤维的长度或名义长度的标准值，由产品合同规定(mm)。

3.2.4 钢纤维直径的检验应符合下列规定：

1 每个验收批分 10 个部位随机取样 100 根钢纤维逐根进行测量。

2 对于形状规则的圆形截面纤维用卡尺测量纤维中间截面的直径，在垂直方向各测量一次计算其平均值。

3 对于矩形截面的钢纤维，用卡尺测量中间截面两边的尺寸换算出等效直径。矩形截面的等效直径按下式计算：

$$d_{eq} = \sqrt{\frac{4}{\pi} a_0 \times b_0} \quad (3.2.4-1)$$

式中： a_0, b_0 ——纤维矩形截面的实测两个边长(mm)；

d_{eq} ——纤维的等效直径(mm)。

4 对于非圆形不规则截面钢纤维，每根用天平称重，用卡尺测量钢纤维的实际曲线长度值；或截取中间直线段用天平称重，用卡尺测量截取的直线段长度值，按下式计算其等效直径：

$$d_{eq} = 1.13 \sqrt{m_l / (l_l \gamma_l)} \quad (3.2.4-2)$$

式中： m_l ——被测钢纤维或其直线段的实测质量(mg)；

l_l ——钢纤维的实际曲线长度或截取的直线段长度(mm)；

γ_l ——钢纤维的质量密度，取为 7.85 mg/mm^3 ；

5 纤维直径或等效直径偏差允许值可按国家现行有关标准或合同约定确定，每根钢纤维直径或等效直径偏差应按下列式计算：

$$\delta_d = \frac{d_0 - d_k}{d_k} \times 100\% \quad (3.2.4-3)$$

式中: δ_d ——钢纤维直径或等效直径偏差(%);

d_0 ——钢纤维直径或等效直径的实测平均值(mm);

d_k ——钢纤维直径或等效直径的标准值,按合同规定确定(mm)。

3.2.5 异型钢纤维形状合格率检验应符合以下规定:

1 每个验收批分 10 个部位随机取样 100 根钢纤维逐根进行测量。

2 逐根检查钢纤维的形状,如有断钩,单边成形或不符合出厂形状规定的,视为不合格。

3 钢纤维是否符合出厂形状规定的检查,可根据生产厂商提供的形状模板图,逐一取单根纤维与模板图对比,形状明显偏离模板的视为形状不合格。

4 纤维形状合格率应按合同约定或有关国家或行业标准确定。

3.2.6 钢纤维的杂质含量检验应符合以下规定:

1 钢纤维表面不应粘有油污和其他妨碍钢纤维与水泥基粘结的有害物质。

2 钢纤维杂质含量系指钢纤维产品中含有的因加工不良造成的粘结连片、表面严重锈蚀的钢纤维、铁锈粉等杂质重量占钢纤维重量的比率。

3 每个验收批随机取样 5kg,人工挑选污染、锈蚀纤维及杂质,并称重计算。

3.2.7 钢纤维的弯折性能检验应符合以下规定:

每批产品随机取样 10 根钢纤维,将其围绕直径 3mm 的圆钢棒向最易弯折方向弯折 90°,10 根试样中至少要有 9 根不断。

3.3 钢纤维抗拉强度试验

3.3.1 本方法适用于测定直径或等效直径 0.1mm~1.2mm,长

度不小于 20mm 的钢纤维抗拉强度。直径大于 0.1mm 的合成纤维的抗拉强度试验可按照本方法执行。

3.3.2 试验采用的仪器设备应符合下列规定：

1 电子拉伸试验机，量程应大于被试钢纤维最大拉断力的 80%，且不小于被测试钢纤维最大拉断力的 20%，精度不低于 1.0%，具有荷载和位移速率调节和控制功能。

2 电子天平，称量不小于 30g，感量 0.1mg。

3 数显卡尺，量程不小于 150mm，精度 0.02mm。

4 螺旋测微仪，量程 50mm，精度 0.002mm。

5 专用夹具系统：拉伸试验机配用的夹具系统应保证试件的轴线与拉力机的作用力同轴，接触试件的夹具表面必须使样本能够夹持牢固、不滑动，并避免试件出现滑痕及其他损伤。

6 记录仪器：试验荷载记录仪器应具备测量数据和量值最大值的自动采集功能；精度不低于 $\pm 1.0\%$ ，采样频率不低于 1.0 kHz。

3.3.3 钢纤维抗拉强度试验应按下列步骤进行：

1 钢纤维试件宜从产品中直接抽取，不宜使用母材。规则截面的钢纤维每次试验取一组试件，每组取 10 根试件；不规则截面的钢纤维每次试验取三组试件，每组取 10 根试件。

2 圆形截面和矩形截面直形试件可直接安装到试验机夹具上，上下夹口应分别距离试件中点 1.5mm~2mm。端头带弯钩的圆形截面和矩形截面试件可采用钳工方法对于端头予以调直，然后安装到试验机夹具上，调直工艺不应影响被夹持部分以外的试验段。

3 端头形状不规则的试件难于直接夹持，宜采用连接装置连接(图 3.3.3)。先用粘结剂将试件粘结在连接板中缝中，然后用螺栓与加载装置相连或直接夹在试验机夹头上，试件中点应与连接板中点重合，试件的轴线偏移不应大于 0.6mm。试件与连接板的粘结应保证在测试过程中试件不发生滑移。

4 加载速率应保证试件能够在约 30s 断裂,位移控制速率宜取 $8 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 。

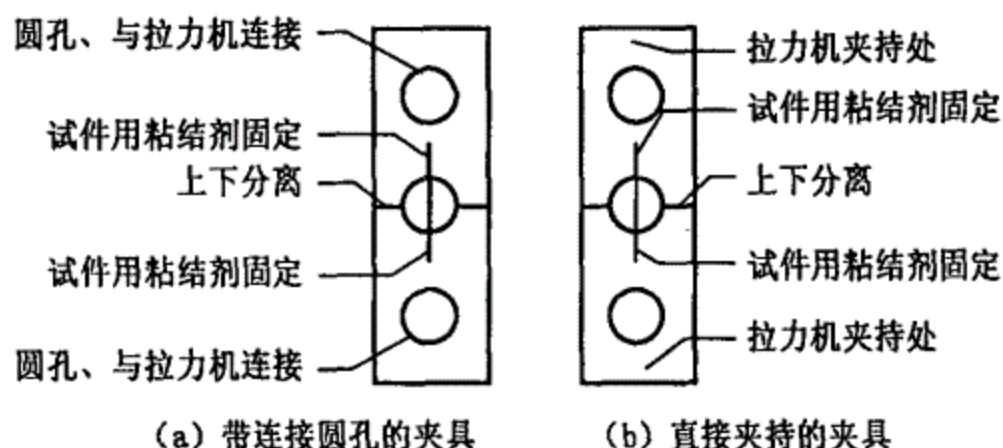


图 3.3.3 纤维拉伸试验连接装置

3.3.4 钢纤维截面积可按下述方法测量和计算:

1 钢纤维的截面积应根据试样的原始尺寸测量,精度不应低于 1.0%,计算结果应保留 4 位有效数字。

2 矩形等截面钢纤维应在试件的中点测量宽度和厚度,按下式计算试件截面积:

$$A_f = a_0 \times b_0 \quad (3.3.4-1)$$

式中: A_f ——钢纤维的截面积(mm^2)。

3 圆形等截面钢纤维截面积的测量,应在试件的中点从两个相互垂直方向测量试件的直径,取其算术平均值,按下式计算试件截面积:

$$A_f = \frac{\pi}{4} \times d_0^2 \quad (3.3.4-2)$$

4 非等截面钢纤维的截面积可采用重量法按下列步骤测量和计算:

用电子天平称出单根钢纤维的质量,用量具测量单根钢纤维的长度。

按下式计算试件的截面积:

$$A_f = \frac{m_f}{l_f \times \gamma_f} \quad (3.3.4-3)$$

式中: m_f ——被测钢纤维或其直线段的实测质量(mg);

l_f ——钢纤维的实际曲线长度或截取的直线段长度(mm);

γ_f ——纤维的质量密度,取为 7.85mg/mm^3 ;合成纤维的质量密度根据纤维的材质选取,对于聚丙烯纤维,其质量密度可取为 0.91mg/mm^3 。

5 不规则截面试件的截面尺寸和截面积计算还可利用激光衍射技术、显微镜光学反射及扫描电子显微镜图像分析系统获得,此时计算截面积应取试件试验标距内最小截面积。

3.3.5 钢纤维的抗拉强度计算和结果处理应符合下列规定:

1 单根钢纤维的抗拉强度应按下列公式计算:

$$f_{ft} = \frac{F_{\max}}{A_f} \quad (3.3.5)$$

式中: f_{ft} ——单根钢纤维的抗拉强度(MPa);

$F_{\max}$ ——纤维拉断时作用在单根钢纤维上的最大拉力(N)。

2 等截面钢纤维以 10 个试件抗拉强度的算术平均值作为该组试件的抗拉强度。

3 非等截面钢纤维应分别计算出三组试件抗拉强度的算术平均值,再计算出 3 组抗拉强度的算术平均值,并将其作为该次检验试件的抗拉强度值。若三组的三个平均值中的最大值或最小值与中间值之差大于该中间值的 15%,则取中间值作为试验结果;若最大值和最小值与中间值之差均大于 15%,则该试验无效,重新取样试验。

3.4 合成纤维外形测定试验

3.4.1 本方法适用于合成纤维直径(等效直径)、长度和截面形状的测定。

3.4.2 试验所用仪器设备应符合下列规定:

1 恒温恒湿室:温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,相对湿度 $(65 \pm 3)\%$ 。

2 天平:感量 0.01mg 。

- 3 投影仪:放大倍数 50 倍~100 倍。
- 4 切断器:切断标距 15mm 或 5mm,允许误差±0.01mm。
- 5 绒板:其颜色与试验纤维颜色成对比色。
- 6 标尺:最小刻度为 1mm。
- 7 哈式切片器。
- 8 生物显微镜:100 倍~500 倍。
- 9 工具:钳子、镊子、梳子、载玻片、盖玻片、火棉胶、甘油玻璃片等。

3.4.3 对于初估直径小于 0.1mm 的合成纤维直径(等效直径)的试验应符合下列规定:

1 从待测样品中随机取 10g 左右作为线密度测定样品进行调湿,使试样达到平衡(每隔 30min 连续称量的质量递变量不超过 0.1%)。

2 对于直径小于 0.1mm 的纤维从已调湿平衡的样品中取 1500 根到 2000 根,手扯整理数次使之成为一端平齐的伸直纤维束。共取 5 束纤维。

3 在保持纤维平直所需要的最小张力下,用切断器从经整理的纤维束的中部切下 15mm 长度的纤维束中段(名义长度 15mm 以下切 5mm),切下的中段纤维中不得有游离纤维。切断时纤维束必须与刀口垂直。

4 用镊子从一束中段纤维中夹取适量纤维,平行排列在玻璃片上,盖上玻璃片,用橡皮筋扎紧,在投影仪上逐根计数,也可用其他方法准确计数。每束计数 300 根,依次完成 5 束纤维的计数。

5 将取样的纤维放在试验用标准大气下进行调湿,平衡后将纤维逐束称量(精确至 0.01mg)。

6 合成纤维的线密度应按下式计算:

$$T_t = 10000 \times \frac{m}{n \times L} \quad (3.4.3)$$

式中: T_t ——合成纤维的线密度(dtex);

m ——计数根数的纤维总质量(mg);

n ——纤维根数;

L ——切断长度(mm)。

试验结果应以五个试样的算术平均值表示。计算至小数点后三位,修约至小数点后两位。

3.4.4 初估直径不小于 0.1mm 的合成纤维直径(等效直径)的试验应符合下列规定:

1 从待测样品中随机取 10g 左右作为线密度测定样品,进行调湿,使试样达到平衡(每隔 30min 连续称量的质量递变量不超过 0.1%)。

2 从已调湿平衡的线密度样品中取 100 根纤维。

3 保持纤维平直,用标尺直接量取纤维长度。

4 将测量长度后的纤维放在试验用标准大气下进行调湿,平衡后将纤维称量(精确至 0.01mg)。

5 合成纤维的线密度应按下式计算:

$$T_i = 10000 \times \frac{m}{\sum_{i=1}^{100} L_i} \quad (3.4.4)$$

式中: L_i ——第 i 根纤维实测长度(mm)。

试验结果应计算至小数点后三位,修约至小数点后两位。

3.4.5 合成纤维的直径(等效直径)应按下式计算:

$$d_f = 11.287 \sqrt{\frac{T_i}{\gamma_f}} \quad (3.4.5)$$

式中: d_f ——合成纤维直径或等效直径(μm)。

3.4.6 合成纤维长度的试验应符合下列规定:

1 从待测样品中随机取 10g 左右作为长度测定样品,进行调湿,使试样达到平衡(每隔 30min 连续称量的质量递变量不超过 0.1%)。

2 把测量标尺放置在测试样板上。

3 从试样中小心地抽取一单根纤维。

4 将钳子垂直于纤维夹紧纤维的两端,纤维的两端应与钳子的尖端相吻合。

5 把夹着纤维的钳子尖端对准测量标尺的一个参考点,在不使纤维伸长的情况下,拉伸纤维使其延伸到伸直的状态。沿着测量标尺移动夹钳纤维长度,并按上述方法重复测量剩余的试样的长度。

6 试验结果应以 20 根纤维长度的算术平均值表示。计算到小数点后三位,修约至小数点后两位。

3.4.7 合成纤维截面形状的试验应符合下列规定:

1 用哈式切片器切割厚度 $10\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ 的纤维切片。

2 将制好的样品放在 100 倍~500 倍生物显微镜的载物台上观察其截面形状。

3.5 合成纤维抗拉强度、极限伸长率及弹性模量试验

3.5.1 本方法适用于纤维长度不小于 6mm 的合成纤维的抗拉强度、极限伸长率和弹性模量的测定。

3.5.2 试验所用仪器设备应符合下列规定:

1 等速伸长型单纤维强伸仪(CRE)。

2 天平:最大称量为 200g,感量 0.01mg。

3.5.3 合成纤维的抗拉强度、极限伸长率和弹性模量的试验应按下列步骤进行:

1 合成纤维的试验样品宜从产品中直接抽取,随机取 50 根纤维,作为一组试样。

2 将纤维试样置于 $(60\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至衡重(控制纤维的含水率在 2%以下),然后在恒温恒湿室[温度 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $(65\pm 3)\%$]调湿平衡。

3 将纤维的一端放入上夹持器上夹紧,选择合适的张力夹夹取纤维的另一端,让张力夹自由下垂,在纤维沿着轴向伸直后,夹紧下夹持器。在纤维试样安装完成后进行拉伸试验,测得纤维的

断裂负荷及其伸长,得到纤维的负荷-伸长曲线。

3.5.4 单根合成纤维的抗拉强度、极限伸长率和弹性模量应按下列公式计算:

1 抗拉强度的计算:

$$f_{ft} = 100 \gamma_f \times \frac{F_{\max}}{T_i} \quad (3.5.4-1)$$

式中: f_{ft} ——纤维的抗拉强度(MPa);

$F_{\max}$ ——纤维拉断所需最大拉力(N/100);

2 极限伸长率的计算:

$$\psi_u = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (3.5.4-2)$$

式中: ψ_u ——合成纤维的极限伸长率(%);

L_0 ——上、下夹持器间合成纤维测试标距内的原始长度(mm);

L ——合成纤维伸长至断裂时标距内的长度(mm)。

3 弹性模量(初始模量)的计算应符合下列规定:

在测定的负荷-伸长曲线图(图 3.5.4)上原点附近,找出拉力-伸长曲线变化最大时的点 A(即初始切线角度最大的点),A 点切线的斜率即对应纤维的弹性模量(初始模量)。

在拉力-伸长曲线中,做 A 点的切线与横坐标交于 B 点,在横坐标上截取 BC 段算出伸长率 ψ_{BC} ,使 C 为切线上任意点 D 的垂足,DC 即为对应的拉力值 F_D ,按下列公式计算弹性模量(初始模量)。

$$E_f = 0.1 \frac{\gamma_f \times F_D}{T_i \times \psi_{BC}} \quad (3.5.4-3)$$

$$\psi_{BC} = \frac{\delta_{BC}}{L_0} \quad (3.5.4-4)$$

式中: E_f ——合成纤维弹性模量(初始模量)(GPa);

F_D ——D 点对应的拉力(cN);

δ_{BC} ——BC 段的长度,即 D 点对应的伸长值(mm);

L_0 ——纤维测试标距内的原始长度(mm);

ϕ_{BC} ——在横坐标上 BC 段对应的伸长率(%)。

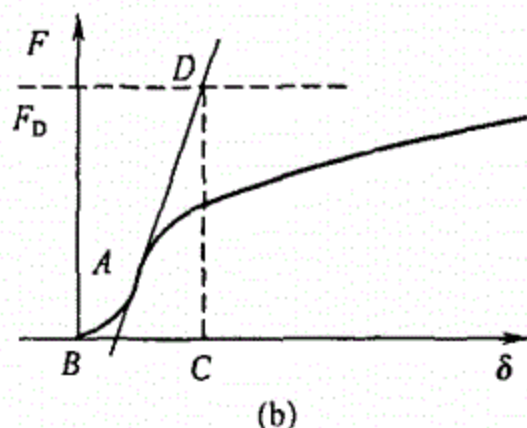
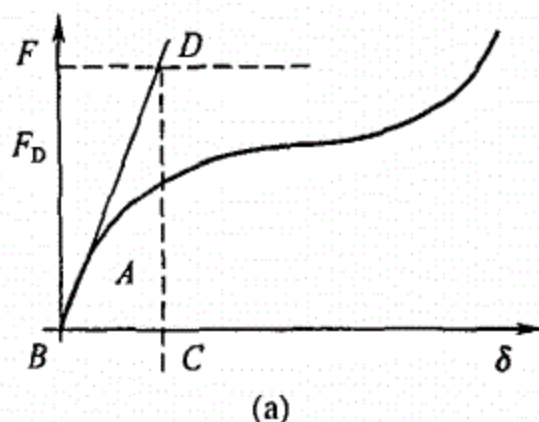


图 3.5.4 拉力-伸长曲线图

3.5.5 以 50 个试样的弹性模量平均值作为样品的试验结果,50 个试样弹性模量的变异系数不应大于 10%。

3.6 合成纤维耐碱性试验

3.6.1 本节规定适用于合成纤维耐碱性能试验。

3.6.2 本试验所用仪器设备和试剂应符合下列规定:

- 1 等速伸长型单纤维强伸仪(CRE)。
- 2 恒温干燥箱:有效控制温度为 $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- 3 恒温恒湿室:温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $65\% \pm 3\%$ 。
- 4 天平:最大称量为 200g,感量 0.1mg。
- 5 量筒:2000mL。
- 6 不锈钢烧杯或塑料烧杯:1000mL、500mL(若干)。

- 7 表面皿:若干。
- 8 不锈钢搅拌棒。
- 9 氢氧化钠:分析纯。

3.6.3 合成纤维的耐碱性能试验应按下列步骤进行:

1 从待测样品中随机取至少 20 根长度大于或等于 6mm 的合成纤维作为一组试样。将试样烘干后放置于浓度为 1mol/L 的 80℃的 NaOH 溶液中浸泡 6h,然后取出合成纤维样品并清洗干净,在(60±5)℃的烘箱中烘干至恒重(控制纤维的含水率在 2%以下),然后在恒温恒湿室调湿平衡。

2 从同一待测样品中随机取另一组试样,不进行碱处理,将其放置于(60±5)℃的烘箱中烘干至恒重,然后在恒温恒湿室降至常温备用。

3 按照本标准第 3.5 节的方法测试同一种合成纤维试样碱处理前后的抗拉强度。

3.6.4 合成纤维的耐碱性能以合成纤维抗拉强度的损失率表示,并按下列公式计算:

$$\beta = \frac{f_{fb} - f_{fa}}{f_{fb}} \times 100\% \quad (3.6.4)$$

式中: β ——合成纤维抗拉强度损失率;

f_{fa} ——经 1mol/L 氢氧化钠溶液处理后的合成纤维的抗拉强度(MPa);

f_{fb} ——未经 1mol/L 氢氧化钠溶液处理的合成纤维的抗拉强度(MPa)。

3.6.5 计算所有试样测试结果的平均值,应作为样品的试验结果。

4 纤维混凝土拌和物试验

4.1 一般规定

4.1.1 本方法适用于纤维混凝土试验室拌和物试样制备、现场取样方法和拌和物性能试验。

4.1.2 纤维混凝土拌和物的坍落度、扩展度、维勃稠度、泌水性、表观密度、含气量等各项性能试验应按现行国家标准《普通混凝土拌和物性能试验标准》GB/T 50080 的规定执行。

4.1.3 纤维混凝土拌和物配合比分析试验,纤维含量应按本标准第 4.5 节规定进行试验,其余各组分分析可按照现行国家标准《普通混凝土拌和物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定执行。

4.1.4 纤维混凝土拌和物的各项性能试验,试验报告应包括下列内容:

- 1 委托单位名称。
- 2 工程名称及施工部位。
- 3 要求检测的项目名称。
- 4 试验日期及时间。
- 5 仪器设备的名称、型号及编号。
- 6 取样地点、环境温度和湿度。
- 7 搅拌方式。
- 8 原材料的品种、规格、产地。
- 9 纤维混凝土强度等级、配合比及其相应的试验编号。
- 10 检测试验结果。
- 11 要说明的其他内容。

4.2 试验室拌和物试样制备

4.2.1 本方法适用于试验室内纤维混凝土拌和物试样的制备。

4.2.2 试验拌和间和采用的仪器设备应满足下列要求：

- 1 试验拌和室的温度及拌和物的温度应保持在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- 2 强制式搅拌机, 容积 $30\text{L} \sim 100\text{L}$ 。
- 3 台秤, 称量 100kg , 感量 0.5kg 。
- 4 案秤, 称量 10kg , 感量 5g 。
- 5 天平, 称量 1000g , 感量 0.5g 。
- 6 铁盘, 尺寸不宜小于 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 。
- 7 工具: 盛器、铁铲、抹刀等。

4.2.3 在试验室拌和纤维混凝土时, 所用材料应一次备齐, 骨料应提前运入室内并翻拌均匀。水泥应备足一次试验用量, 混合均匀后放置在密闭的防潮容器中。

4.2.4 试验室拌和纤维混凝土时, 各种材料用量应分别按质量计。称量的精确度应满足: 骨料为 $\pm 1\%$, 水、水泥、钢纤维和外加剂为 $\pm 0.5\%$, 合成纤维为 $\pm 0.1\%$ 。

4.2.5 搅拌纤维混凝土宜采用强制式搅拌机, 也可用人工搅拌。采用人工搅拌时应在钢盘或其他不吸水的平盘上操作, 先用湿布打湿盘面和铁铲表面, 再加入各种材料进行干拌然后加水湿拌。拌和过程中始终用铁铲翻拌, 不得用铁铲插捣。

4.2.6 纤维混凝土的一次搅拌量, 应比试验用量多 5L , 并应在搅拌机规定容量的 $50\% \sim 80\%$ 之间。

4.2.7 纤维混凝土的搅拌过程应保证纤维在混凝土中均匀分散, 防止纤维结团, 搅拌时间应不少于 3min 。可采用两种投料次序:

- 1 先将纤维和骨料、水泥搅拌均匀, 然后加水 and 外加剂水溶液继续搅拌;

- 2 先搅拌除纤维外的其他材料, 逐渐投入纤维, 当全部投入后, 再搅拌 1min 。当纤维较长或纤维掺量较多时可使用纤维分

散机。

4.2.8 制取拌和物试样后到开始进行各项性能试验不宜超过 5min。

4.2.9 在试验室制备混凝土拌和物时,应记录以下内容:

- 1 制样日期和时间。
- 2 试验室温度和湿度。
- 3 各种原材料的品种、规格、产地及性能指标。
- 4 试样数量及试样编号。
- 5 混凝土强度等级。
- 6 混凝土配合比和每盘混凝土的材料用量。

4.3 现场拌和物取样

4.3.1 本方法适用于浇筑成型的纤维混凝土施工现场拌和物取样。

4.3.2 纤维混凝土拌和物取样应从同一次搅拌或同一车运送的混凝土中取出,取样量应多于试验所需量的 1.5 倍,且不宜小于 20L。

4.3.3 纤维混凝土工程施工中取样时,应遵守现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

4.3.4 纤维混凝土拌和物的取样应具有代表性,宜采用多次取样的方法。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 处之间分别取样,从第一次取样到最后一次取样不宜超过 15min,然后人工搅拌均匀。

4.3.5 从取样完毕到开始做各项性能试验不宜超过 5min,取样后应尽快成型,取样到成型的时间间隔不宜超过 15min。

4.3.6 取样记录应包括下列内容:

- 1 取样日期和时间。
- 2 工程名称和取样的结构部位。
- 3 混凝土强度等级。
- 4 取样方法。
- 5 试样数量及试样编号。

6 环境温湿度及取样的混凝土的温度。

4.4 倒置坍落度筒法试验

4.4.1 本方法适用于骨料粒径不大于 40mm, 倒置坍落度筒稠度在 5s~60s 之间的纤维混凝土拌和物的稠度测定。

4.4.2 用倒置坍落度筒法测定稠度所用设备应符合下列规定:

1 坍落度筒应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG 3021 的规定。倒置坍落度筒装置系将坍落度筒倒置于钢底筒上, 倒坍落度筒口与底板距离为 120mm, 筒口由插板封住, 安装时应保持倒坍落度筒轴线的垂直度(图 4.4.2)。

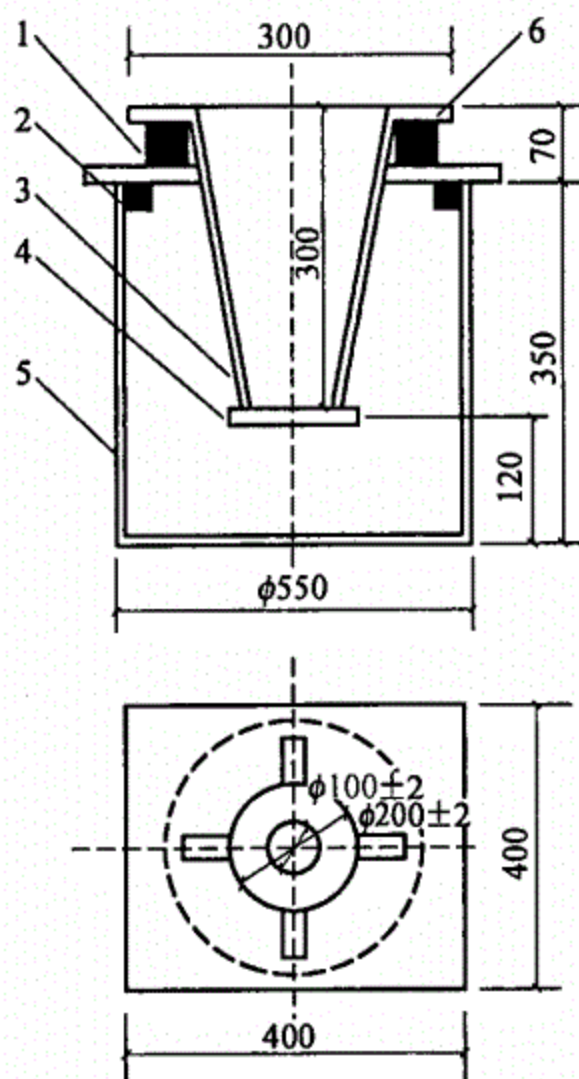


图 4.4.2 倒置坍落度筒

1—固定块; 2—限位块; 3—坍落度筒; 4—翘板; 5—底筒; 6—底筒盖

2 小型插入式振动棒:直径:25mm~28mm;长度:250mm;频率:8~22Hz;振幅:1mm。

3 工具:盛器、铁铲、抹刀等。

4.4.3 倒置坍落度筒稠度试验应按下列步骤进行:

1 润湿坍落度筒及底筒内壁,推入插板,将纤维混凝土试样装入坍落度筒,使顶面略高出筒口,刮去后用抹刀抹平。

2 轻轻抽出插板,同时开启振动棒,在其接触纤维混凝土表面的瞬间用秒表开始计时。

3 使振动棒沿坍落度筒中心线垂直下沉,达到距底筒底面10mm处为止。继续振捣直至纤维混凝土全部流出坍落度筒,停表计时,并关闭振动棒。

4.4.4 结果应按以下规定处理:由秒表读出的时间(s)即为纤维混凝土拌和物的倒置坍落度筒稠度值,结果应精确至1s。

4.5 拌和物中纤维含量试验

4.5.1 本方法适用于测定新拌纤维混凝土拌和物单位体积中纤维含量。

4.5.2 测定纤维含量所用设备应符合下列规定:

1 电子天平:称量1kg,感量1g(用于称量钢纤维);称量100g,感量0.02g(用于称量合成纤维)。

2 容量筒:容积5L。

3 振动台:频率 $50\text{Hz} \pm 3\text{Hz}$,空载时振幅 $0.5\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。

4 振槌:重量为1kg的木槌。

5 不锈钢丝筛网:网孔尺寸 $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ 。

6 其他:铁铲、容器、磁铁等。

4.5.3 纤维含量应测定两次,应按下列步骤进行:

1 把容量筒内外擦净。

2 对坍落度不大于50mm的拌和物,可用振动台振实。应一次将拌和物灌到高出容量筒口,装料时用振槌稍加敲振。振动

过程中如拌和物沉落低于筒口,应随时添加,直至表面出浆。

3 对坍落度大于 50mm 的拌和物,可用振槌振实。容量筒按 1/2 高度分层装入拌和物,大于 1L 容量筒按 100mm 分层。振槌沿容量筒侧壁均匀敲振,每层 30 次。敲振完毕后,将直径 16mm 的钢棒垫在筒底,左右交替将容量筒颠击地面各 15 次。

4 刮去多余的拌和物,并填平表面凹陷部分。

5 将拌和物倒入不小于 10 倍拌和物体积的大容器中,加水搅拌。对于合成纤维可用筛网收集纤维,并仔细洗净粘附在纤维上的异物;对于钢纤维混凝土,可将稀浆慢慢倒出,在所余的砂石及钢纤维残渣中用磁铁搜集钢纤维,并仔细洗净粘附在纤维上的异物。

6 必要时将收集的纤维倒入另外容器中二次加水搅拌,重新收集。

4.5.4 搜集的纤维应在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的温度下烘干至恒重,烘干时间不应少于 4 h,每隔 1h 称量一次,直到连续两次称量之差小于较小值的 0.5% 时为止。冷却至室温后应称其重量,钢纤维精确至 1g,合成纤维精确至 0.02g。

4.5.5 纤维含量应按下式计算:

$$W_f = m_f / V \quad (4.5.5)$$

式中: W_f ——纤维混凝土中的纤维含量(kg/m^3);

m_f ——容量筒中纤维质量(g);

V ——容量筒容积(L)。

4.5.6 纤维的体积率应按下式计算:

$$\rho_f = \frac{W_f}{\gamma_f} = 100\% \quad (4.5.6)$$

式中: ρ_f ——纤维混凝土中的纤维体积率(%);

γ_f ——纤维的质量密度(kg/m^3)。

4.5.7 纤维含量的测定值应为纤维含量两次测定值的平均值。测定值应符合下列条件:

$$|W_{f1} - W_{f2}| \leq 0.15W_{fm} \quad (4.5.7)$$

式中: W_{f1}, W_{f2} ——分别为两次测得的纤维含量(kg/m^3);
 W_{fm} ——两次测定纤维含量的平均值(kg/m^3)。

4.6 硬化初期纤维混凝土中钢纤维含量试验

4.6.1 本方法适用于测定硬化初期的钢纤维混凝土和喷射混凝土回弹物的单位体积中钢纤维含量。

4.6.2 规则试块中钢纤维含量的测定所用设备应符合下列规定:

1 钢试模: $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的立方体试模, 试模应符合现行行业标准《混凝土试模》JG 237 中技术要求的规定。

2 振动台: 应符合现行行业标准《混凝土试验用振动台》JG/T 245 中技术要求的规定。

3 振槌: 重量为 1kg 的木槌。

4 托盘天平: 称量 1000g , 感量 1g 。

5 游标卡尺: 量程 200mm , 精度 0.02mm 。

6 磁铁。

4.6.3 钢纤维含量应测量两次, 并应按下列步骤进行:

1 坍落度不大于 50mm 的拌和物, 用振动台振实。应一次将拌和物灌到高出试模, 装料时用振槌稍加敲振。振动过程中如拌和物沉落低于试模顶面, 应随时添加, 振动直至表面出浆。

2 坍落度大于 50mm 的拌和物, 用振槌振实。按 $1/2$ 试模高度分层装入拌和物。振槌沿试模侧壁均匀敲振, 每层 30 次。敲振完毕后, 将直径 16mm 的钢棒垫在试模底, 左右交替将试模颠击地面各 15 次。

3 在 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 环境中养护至 24h , 拆除试模, 取出试块。

4 测量试块的实际尺寸, 每个边长测量三次取平均值, 计算出试件的体积。

5 用压力机或用捶击将试块压碎, 收集带有钢纤维的碎块。

6 用磁铁搜集钢纤维, 用人工方法将收集到的钢纤维表面附

着的砂浆去除干净,并烘干。

7 将搜集的钢纤维称重,精确至 1g。

4.6.4 钢纤维含量应按下式计算:

$$W_f = \frac{m_f}{V} \quad (4.6.4)$$

式中: W_f ——钢纤维混凝土中钢纤维含量(kg/m^3);

m_f ——试块中的钢纤维质量(kg);

V ——试块体积(m^3),形状规则试块按量测尺寸计算,形状不规则试件按本标准第 4.6.6 条和第 4.6.7 条的方法测定。

4.6.5 钢纤维含量试验结果应为两次测定值的平均值。测定值应符合下列条件:

$$|W_{f1} - W_{f2}| \leq 0.15W_{fm} \quad (4.6.5)$$

式中: W_{f1} 、 W_{f2} ——分别为第一次、第二次测得的钢纤维含量(kg/m^3);

W_{fm} ——两次测量钢纤维含量平均值(kg/m^3)。

4.6.6 当试样由现场钻芯取样或其他方式采样,试样的形状不规则时,试样的体积可采用水中称重法测定,所使用的仪器装置应满足下列要求:

1 水中称重装置包括称重支架、电子吊秤或弹簧测力计、透孔称重吊盘、容器,如图 4.6.6 所示。

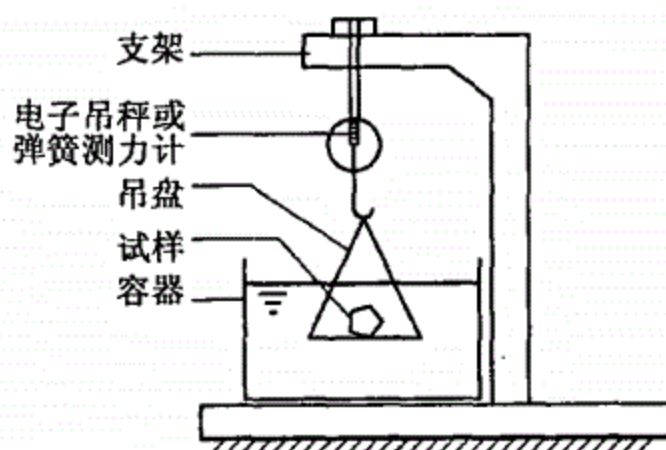


图 4.6.6 水中称量装置

2 电子吊秤或弹簧测力计,称量 10kg,感量不大于 0.05kg。

3 容器容量不小于 20L,深度不小于 400mm。

4.6.7 水中称重法测定试样体积应按下列步骤进行:

1 采取体积约 2L 至 3L 的试样。

2 在水中浸泡 2h,取出擦净表面水分。

3 测定吊盘在空气中的重量。

4 将试样放在吊盘中测定在空气中的重量。

5 将试样及吊盘移出,将盛有水的容器移至支架下,调整支架高度和容器中水的深度要能浸没吊盘和试样,将吊盘移入,进行空盘水中称量。

6 将吊盘移出,放入试样,进行水中称重。

7 分别计算出空气中和水中试样的重量。

8 试样的体积应按下列式推算:

$$V = \frac{m_a - m_w}{\gamma_w} \quad (4.6.7)$$

式中: V ——试块的体积(m^3);

m_a ——试块在空气中的质量(kg);

m_w ——试块在水中的质量(kg);

γ_w ——水的质量密度,可取为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5 自密实纤维混凝土拌和物性能试验

5.1 一般规定

5.1.1 本方法适用于掺有钢纤维、合成纤维或混杂纤维的自密实纤维混凝土拌和物性能的试验,包括流动性、流动速率、均匀性、间隙通过能力、填充能力以及抗离析抗分层性能试验。

5.1.2 自密实纤维混凝土拌和物的制备和取样方法可按照本标准第4.2节、第4.3节的规定执行。

5.1.3 自密实纤维混凝土拌和物各项试验报告应包括本标准第4.1.4条规定的内容:

5.2 坍落度、扩展度和流动速率试验

5.2.1 本方法适用于自密实纤维混凝土拌和物的坍落度、扩展度和流动速率试验。

5.2.2 试验采用的仪器设备应符合下列规定:

1 坍落度筒:应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG 3021中的有关规定。

2 台板:表面平滑的刚性平板,边长不小于900mm,板四角装有调节螺丝,保证试验时台板的水平;围绕台板中心在直径300mm和500mm处做两个同心圆标记,见图5.2.2。

3 工具:铁铲、抹刀、钢板尺、秒表等。

5.2.3 试验应按下列步骤进行:

1 放好试验专用台板、调整板四角的调节螺丝,保证台板水平。

2 将坍落度筒放到台板中心上,用铲子将混凝土拌和物加入到坍落度筒中,每次加入量为坍落度筒体积的三分之一,中间间隔

30s,加满后用抹刀抹平,将台板上坍落筒周围多余的混凝土拌和物清除。

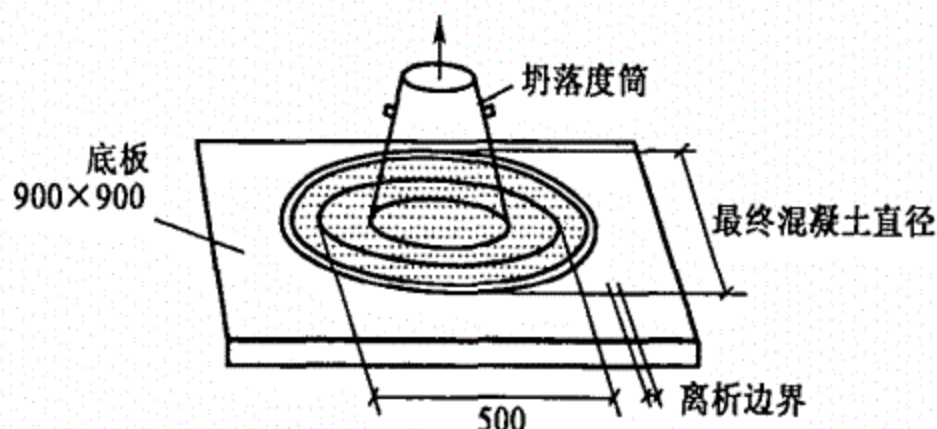


图 5.2.2 试验装置(单位:mm)

3 垂直平稳地提起坍落度筒,使混凝土拌和物自由流出。坍落度筒的提离过程应在 5s 内完成;从开始装料到提离坍落度筒的整个过程应不间断地进行,并应在 150s 内完成。

5.2.4 试验结果应包括下列内容:

1 流动速率,即自提离坍落度筒开始立即读表并记录混凝土扩散至 300mm 和 500mm 圆圈所需要的时间 $T_{300}(s)$ 和 $T_{500}(s)$,精确到 0.1s。

2 在读取 T_{500} 后,立即用直尺测出拌和物的坍落度值(mm),精确到 5mm。

3 用钢尺测量混凝土拌和物扩展后最终的扩展直径,测量在相互垂直的两个方向上进行,以两个所测直径的平均值(mm)为扩展度测试结果,精确到 5mm。

4 拌和物的骨料离析性描述:骨料堆积于混凝土中部边缘是砂浆或水泥浆为严重离析;混凝土边缘有少量砂浆为轻微离析。

5 拌和物的纤维离析性描述应包括以下内容:边缘砂浆或水泥浆中无纤维或纤维很少表示纤维离析,必要时搜集边缘离析的砂浆和水泥浆采用本标准第 4.5 节的方法测定其中纤维含量,用以判断离析程度。

5.3 通过能力试验(L形箱法)

5.3.1 本方法采用 L 形箱法试验,用以检验纤维混凝土拌和物通过钢筋间隙的能力和填充能力。

5.3.2 试验采用的仪器设备应符合下列规定:

1 L 形箱试验仪:用硬质不吸水材料制成,由前槽(竖向)和后槽(水平)组成,外形及箱内尺寸应符合图 5.3.2 的规定。前槽为一断面为矩形的立筒,后槽为一水平槽。在前槽和后槽的交接处的前槽后面设有一滑动闸门。滑动门后设有一垂直钢筋栅,由 3 根(或 2 根) $\phi 12$ 光圆钢筋组成,钢筋间净距 41mm(或 59mm)。

2 工具:铲子、抹刀、秒表、钢板尺。

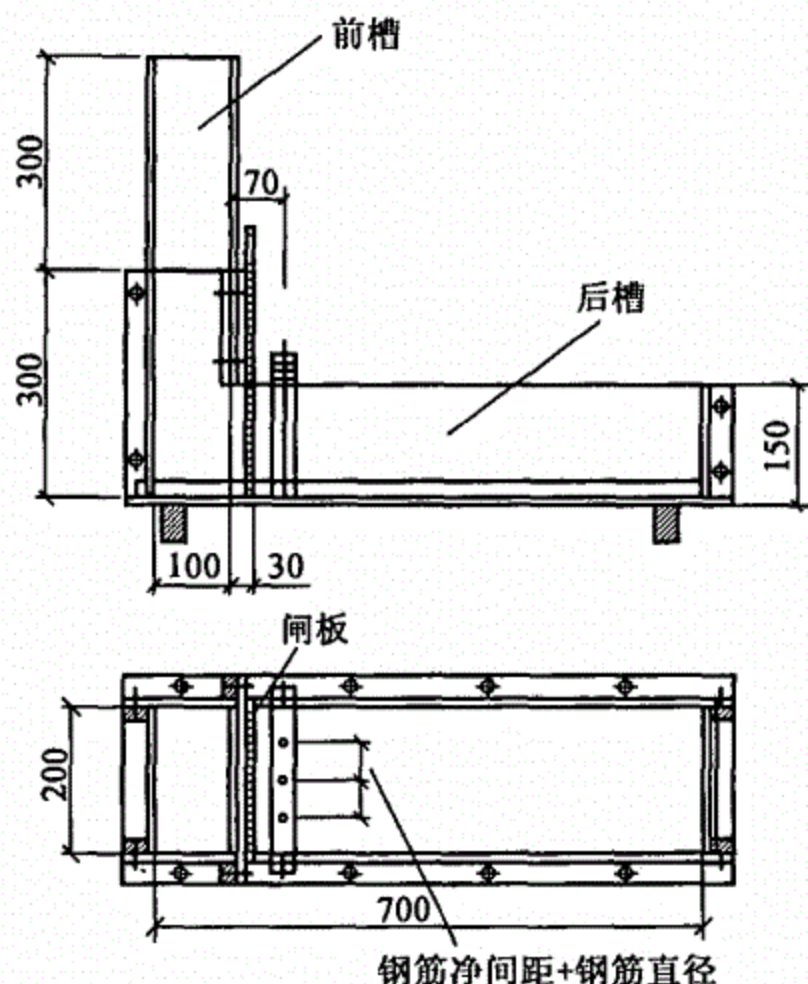


图 5.3.2 L 形箱试验仪(单位:mm)

5.3.3 试验应按下列步骤进行:

1 将约 14L 纤维混凝土拌和物一次装满立筒,用抹刀抹平筒口静止 1min。

2 提起闸门,使纤维混凝土拌和物通过钢筋流出,测定从提起闸门到混凝土拌和物通过钢筋流到后槽 200mm、400mm 处的时间 $T_{200}(s)$ 、 $T_{400}(s)$ 。

3 混凝土拌和物停止流动后立即量测并记录筒内拌和物前槽的高度 $H_1(\text{mm})$ 和后槽的高度 $H_2(\text{mm})$,精确到 1mm。

4 计算混凝土拌和物通过能力 $P=H_2/H_1$ 。

5.3.4 试验结果应包括下列内容:

1 纤维混凝土拌和物通过钢筋流动时间 $T_{200}(s)$ 、 $T_{400}(s)$,精确到 0.1s。

2 纤维混凝土拌和物在水平槽内流动高度 $H_1(\text{mm})$ 和 $H_2(\text{mm})$,精确到 1mm。

3 纤维混凝土拌和物通过能力 $P=H_2/H_1$ 。

4 纤维混凝土拌和物阻塞钢筋缝隙情况的描述。

5.4 通过能力试验(J 形环法)

5.4.1 本方法采用 J 形环法试验,用以检验纤维混凝土拌和物通过钢筋间隙的能力,特别是考查纤维对于拌和物通过钢筋间隙能力的影响。

5.4.2 J 形环法试验装置应符合下列规定:

1 坍落度筒和台板,应符合本标准第 5.2.2 条的规定。

2 J 形环,由圆环、钢筋栅栏组成,应符合图 5.4.2 的规定。矩形截面(30mm×25mm)钢制圆环,内径 270mm,在圆环平面垂直方向钻孔并加工成内螺纹孔,圆孔孔心连线与 J 形环为同心圆,孔心圆直径 300mm。将端头带螺丝的钢筋旋入螺纹孔固定,钢筋直径 10mm、外露长 100mm、间距 $48\text{mm} \pm 2\text{mm}$,形成钢筋栅栏;必要时可根据工程要求确定钢筋间距,钢筋间距可为纤维长度的 1 倍至 3 倍。

3 工具:抹刀、铁铲、直尺等。

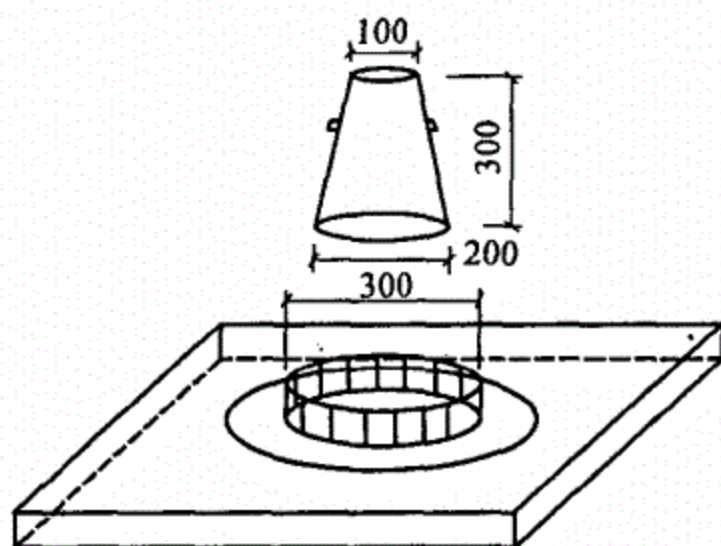


图 5.4.2 J形环试验装置(单位:mm)

5.4.3 试验应按下列步骤进行:

- 1 打湿底板和坍落度筒内部。
- 2 将底板放在水平地面上。
- 3 将J形环放置于底板中央,坍落度筒放在环内,压紧。
- 4 用铲将混凝土拌和物填满坍落度筒,不要插捣,仅用刮刀将顶部混凝土抹平。清除筒底部周围的多余混凝土。
- 5 垂直提起坍落度筒,使混凝土自由流动。
- 6 测量两个垂直方向混凝土的最终直径,计算两个测量直径的平均值(单位:mm)。
- 7 测量环内与环外混凝土的高度差,计算四个位置高度差的平均值(单位:mm)。
- 8 观察记录拌和物阻塞钢筋缝隙情况以及混凝土边缘的灰浆或者砂浆是否有粗集料,判断拌和物的离析程度。

5.4.4 试验结果应包含下述内容:

- 1 纤维混凝土拌和物最终扩展直径平均值,精确到 5mm。
- 2 纤维混凝土拌和物停止流动后环内与环外混凝土的高度差的平均值,精确到 2mm。

3 纤维混凝土拌和物阻塞钢筋缝隙情况和拌和物离析情况的描述。

5.5 填充能力试验

5.5.1 本方法适用于自密实纤维混凝土拌和物的填充能力试验,用以检验纤维混凝土拌和物自动填充模板的能力。

5.5.2 试验采用的仪器设备应符合下列规定:

1 U形仪:用硬质不吸水材料制成的U形槽,尺寸应符合图5.5.2的规定,槽中央有一隔板,将槽子分成等容积的前槽R1和后槽R2,隔板下留有高度为140mm的间隙,隔板处设有闸板,抽出闸板可使前槽与后槽相连通。在U形仪中央隔板(后槽一侧)设置垂直钢筋栅,钢筋栅由直径为三根 $\phi 12\text{mm}$ 或二根 $\phi 12\text{mm}$ 光圆钢筋组成,钢筋净间距为41mm或59mm。

2 工具:铲子、抹刀、秒表。

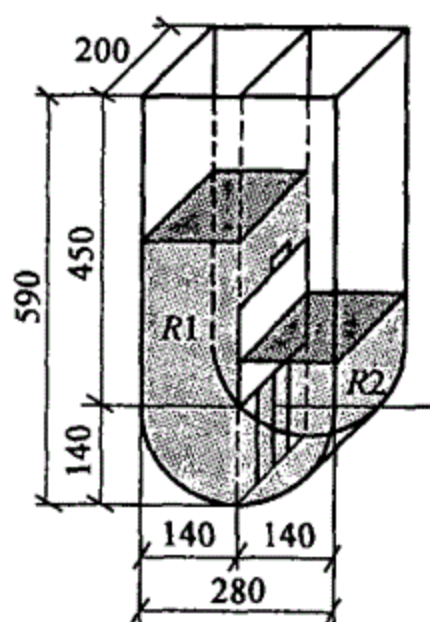


图 5.5.2 U形试验仪(单位:mm)

5.5.3 试验应按下列步骤进行:

- 1 将仪器水平放在地面上,保证活动闸门可以自由地开关。
- 2 润湿仪器内表面,清除多余的水。

- 3 用混凝土拌和物(约 20L)将 U 形仪前槽填满,并抹平。
 - 4 静置 1min 后,提起闸板使混凝土拌和物流进后槽。
 - 5 整个试验在 5min 内完成。
- 5.5.4 试验结果应包括下列内容:
- 1 当混凝土拌和物停止流动后,分别测量前、后槽混凝土拌和物高度 H_1 、 H_2 (mm),精确到 1mm。
 - 2 以前、后槽混凝土高度差表示填充能力: $\Delta H = H_1 - H_2$ (mm)。

5.6 稳定性试验

5.6.1 本方法适用于自密实纤维混凝土拌和物的稳定性试验,用以检验纤维混凝土拌和物抗分层和抗离析的能力。

5.6.2 试验应采用下列仪器:

- 1 拌和物稳定性检测筒:由硬质、光滑、平整的金属板制成,检测筒内径为 150mm,外径为 166mm,分三节,每节高度均为 150mm,并用活动扣件固定,应符合图 5.6.2 的规定。
- 2 跳桌:振幅为 $25\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 。
- 3 筛子:筛孔直径 5mm,筛子直径 300mm。
- 4 天平:称量 10kg,感量 10g(用于骨料称量);称量 1000g,感量 0.02g(用于纤维称量)。
- 5 工具:铁铲、抹刀、秒表。

5.6.3 试验应按下列步骤进行:

- 1 将自密实纤维混凝土拌和物用料斗装入稳定性检测筒内,平至料斗口,垂直移走料斗,静置 1min,用抹刀将多余的拌和物除去并抹平,要轻抹,不允许压抹。
- 2 将稳定性检测筒放置在跳桌上,每秒钟转动一次摇柄,使跳桌跳动 25 次。
- 3 分节拆除稳定性检测筒,并将每节筒内拌和物装入孔径为 5mm 的圆孔筛子中,用清水冲洗拌和物,筛除浆体和细骨料,将剩

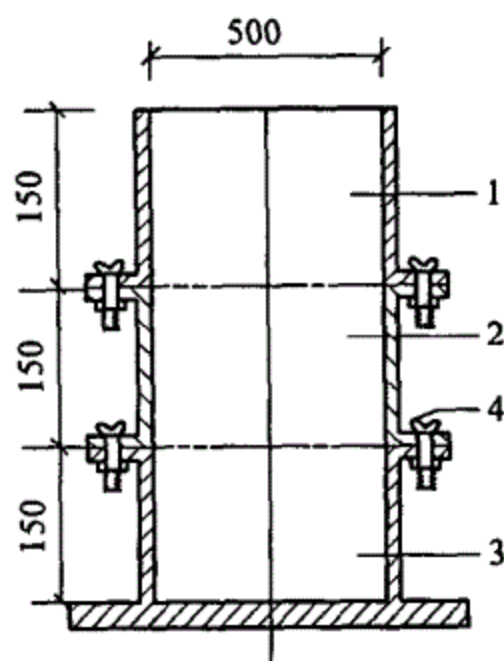


图 5.6.2 拌和物稳定性试验装置(单位:mm)

1、2—无底圆筒；3—有底圆筒；4—连接螺栓

余的粗骨料用海绵擦干表面的水分,用天平称其质量,精确到 1g,分别得到上、中、下三段拌和物中粗骨料的湿重: m_1 、 m_2 、 m_3 。

4 对于钢纤维混凝土拌和物,用磁铁分别吸出上、中、下三段的钢纤维,用拧干的湿毛巾擦去钢纤维表面的水分,用天平称其质量,精确到 0.1g,分别得到上、中、下三段的钢纤维的湿重: m_{f1} 、 m_{f2} 、 m_{f3} 。

5 对于合成纤维混凝土,采用水洗法筛出合成纤维,清理干净后称重,精确至 0.02g,分别得到上、中、下三段的合成纤维的湿重: m_{f1} 、 m_{f2} 、 m_{f3} 。

5.6.4 试验结果应按下列规定处理:

- 1 按下式计算粗骨料的稳定系数,精确至 0.1。

$$K_G = \left(1 - \frac{m_3 - m_1}{\bar{m}}\right) \times 100\% \quad (5.6.4-1)$$

- 2 按下式计算纤维的稳定系数,精确至 0.1。

$$K_f = \left(1 - \frac{m_{f3} - m_{f1}}{\bar{m}_f}\right) \times 100\% \quad (5.6.4-2)$$

式中： K_G ——粗骨料的稳定系数；

K_f ——纤维的稳定系数；

m_1 、 m_2 、 m_3 ——分别为上、中、下三段拌和物中粗骨料的质量(g)；

m_{f1} 、 m_{f2} 、 m_{f3} ——分别为上、中、下三段拌和物中纤维的质量(g)；

$\bar{m}$ 、 $\bar{m}_f$ ——分别为三段拌和物中骨料的平均质量和纤维的平均质量(g)。

6 纤维混凝土物理力学性能试验

6.1 一般规定

6.1.1 本方法适用于纤维混凝土的强度,抗裂、变形性能,抗冲击性能以及耐磨、耐冲磨性能等各项试验。

6.1.2 纤维混凝土的立方体抗压强度、轴心抗压强度、受压弹性模量、劈裂抗拉强度、抗折强度各项试验可按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 或国家现行有关标准执行。非标准尺寸试件的钢纤维混凝土强度换算系数应按本标准第 6.1.3 条的规定取值。

6.1.3 对于钢纤维混凝土当采用非标准尺寸试件,强度换算系数应符合下列规定:

1 100mm×100mm×100mm 非标准试件对于 150mm×150mm×150mm 标准试件立方体抗压强度换算系数为 0.90。

2 100mm×100mm×300mm 非标准试件对于 150mm×150mm×300mm 标准试件轴心抗压强度换算系数为 0.90。

3 100mm×100mm×100mm 非标准试件对于 150mm×150mm×150mm 标准试件劈裂抗拉强度换算系数为 0.80。

4 100mm×100mm×400mm 非标准试件对于 150mm×150mm×600mm(或 550mm)标准试件抗折强度换算系数为 0.82。

6.1.4 纤维混凝土的长期变形性能、热学性能以及钢筋的粘结锚固性能等项试验可按照国家现行有关标准规定的普通混凝土试验方法进行。

6.1.5 路面、桥面等用纤维混凝土的抗磨性能试验可采用现行行业标准《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG E30 规定的普通混凝土抗磨性试验方法进行。

6.1.6 水利工程用纤维混凝土的抗冲磨性能试验可采用现行行业标准《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 规定的普通混凝土抗冲磨性试验方法进行。采用圆环法进行试验时,纤维混凝土中的纤维长度不宜大于 24mm,骨料最大粒径不宜大于 20mm。采用风砂枪法进行试验时,模注试件的纤维长度不宜大于 60mm。当受检试件由工程现场钻取切割制作时,纤维长度可不受限制。

6.1.7 纤维混凝土各项物理力学性能试验报告一般应包括下列内容:

- 1 委托单位名称。
- 2 工程名称及施工部位。
- 3 试验的项目名称。
- 4 采样方式,如系送样应写明试件制作单位及试件收到的日期。
- 5 试件编号及对应的混凝土强度等级、混凝土配合比。
- 6 原材料的品种、规格和产地。
- 7 试件制作日期。
- 8 试件的形状与尺寸。
- 9 养护条件及试验龄期。
- 10 试验日期。
- 11 仪器设备的名称、型号及编号。
- 12 试验室温度。
- 13 试验结果。
- 14 要说明的其他内容。

6.2 浇筑成型纤维混凝土试件的制作及养护

6.2.1 本方法适用于浇筑成型纤维混凝土试件的制作及养护。

6.2.2 拌和物试样制备应遵守本标准第 4.1~4.3 节的规定。

6.2.3 试件的最小边长不应小于纤维长度的 2.5 倍。

6.2.4 制作试件用的试模由铸铁或钢制成,应具有足够的刚度,

不漏水并拆装方便。试模的形状尺寸应符合现行行业标准《混凝土试模》JG 237 中技术要求的规定。制作试件前,应将试模擦净,并在内壁涂脱模剂。

6.2.5 所有试件均应在拌和物取样后立即制作。测定材料性能的试件应根据拌和物的稠度确定成型的方法。坍落度不大于 50mm 的纤维混凝土用振动台振实;大于 50mm 的用木槌振实。自密实纤维混凝土则应一次装模不需振捣。用以检验或控制工程质量的试件,其成型方法应与实际施工采用的方法相同。

严禁用振动棒插入模内振捣或用铁棒模内插捣。必要时可用振动棒接触试模外壁进行振动。

棱柱体及小梁试件应采用卧式成型。小梁试件首先在中部装料。

6.2.6 用振动台成型时,应将拌和物一次装入试模,并略高出其上口。振动时应防止试模在振动台上自由跳动。振动应持续到纤维混凝土拌和物表面出浆为止。最后刮去多余的拌和物,并用抹刀抹平。

振动台应符合现行行业标准《混凝土试验用振动台》JG/T 245 的规定。

6.2.7 用木槌振实时,截面为 150mm×150mm 的试件,分作相等的两层将拌和物装入试模;截面为 100mm×100mm 的试件,一次装入。装料时应用抹刀沿试模内壁略加插捣。用木槌敲试模侧壁,每层 30 次,将凹凸不平的上表面振平。最后刮去多余的拌和物,并用抹刀抹平。

6.2.8 测定材料性能的试件应采用标准养护,用以检验或控制工程质量的试件应与构件同条件养护。

试件养护到 28d 龄期进行试验,或按检验工程质量的要求,养护到所需要龄期。

6.2.9 标准养护的试件,成型后覆盖表面,在温度为 20℃±5℃ 的条件下静置 1~2 昼夜,然后编号拆模。

试件拆模后应立即放在温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不低于 95% 的标准养护室中,按 10mm~20mm 的间距放在支架上。不得用水直接冲淋试件。

当无标准养护室时,试件可在温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 不流动的饱和石灰水中养护。

6.2.10 与构件同条件养护的试件的拆模时间及拆模后的养护条件均与构件相同。

6.3 喷射成型纤维混凝土试件的制作及养护

6.3.1 本方法适用于纤维增强喷射混凝土试件的制作和养护。

6.3.2 试验采用的仪器设备应满足下列规定:

1 湿喷法混凝土喷射机。

2 喷射成型大板的模型尺寸应根据试件的尺寸要求确定,模型平面尺寸根据需要可取 1000mm×1000mm 或 800mm×800mm,模型厚度可根据试件的不同形状分别取为 75mm、100mm 或 150mm,尺寸允许偏差不应超过 $\pm 15\text{mm}$ 。

3 钢直尺,量程不小于 1000mm,分度值 1mm。

4 游标卡尺,量程 200mm,分度值 0.02mm。

5 工具:铁铲、抹刀等。

6.3.3 试件的制作方法应符合下列规定:

1 喷射混凝土试件应由喷射成型的大板经切割加工制作。

2 喷射时,应将模板支撑稳定,受喷面与水平成 135° 夹角,喷射时喷枪应垂直模板,喷枪与喷射面的距离应保持在 1m 左右。从上向下逐次喷射。在喷射完 1min 内,应迅速使用刮刀将高出模板的混凝土刮去并抹平。

3 喷射成型的大板应覆盖塑料薄膜,1d~2d 后连同底模移入养护室养护,14d 进行切割加工,加工后继续养护至规定龄期,取出擦干进行试验。当进行其他龄期的混凝土性能试验时,切割加工试件时混凝土应有足够的强度,以防止切割加工对试件产生

损伤。

4 抗压强度试件可由钻芯取样法制取圆柱体试件,尺寸为直径 100mm、高 100mm,或直径 150mm、高 150mm,也可由切割法制得立方体试件,尺寸为 150mm×150mm×150mm 或 100mm×100mm×100mm。试件切割边缘距离喷射成型大板的外边缘不小于 100mm,试件受压的顶面和底面应进行磨平处理,其垂直度误差不应大于 $\pm 0.5^{\circ}$,不平度每 100mm 不大于 0.05mm。

5 梁式试件根据试验需要可选用 100mm×100mm×400mm 或 150mm×150mm×550mm,试件切割边缘距离喷射成型大板的外边缘不小于 100mm,试件各边垂直度误差不应大于 $\pm 0.5^{\circ}$ 。试件试验时喷射成型的顶面朝下,试件的顶面和底面应进行磨平处理或修补处理,不平度每 100mm 不大于 0.05mm。

6 板式试件可取 600mm×600mm×100mm 方板或 $\phi 800$ mm×75mm 圆板,试件切割边缘距离喷射成型大板的外边缘不小于 100mm。

6.3.4 试件的养护条件应与本标准第 6.2 节的规定相同。

6.4 早龄期抗裂性对比试验

6.4.1 本方法适用于测定纤维对限制混凝土或砂浆早龄期收缩裂缝有效性的试验,或不同养护条件下不同龄期收缩裂缝的对比试验。

6.4.2 试件制作应满足下列要求:

1 纤维砂浆或砂浆的试件应符合图 6.4.2-1 的规定,为 600mm×600mm×20mm 的平面薄板。模具边框用高 20mm 等肢角钢制作,边框内设直径 $\phi 6$ 、间距 60mm 的单排栓钉,栓钉长度 100mm。模底板采用厚度不小于 5mm 的钢板或不小于 20mm 的密度板,底板上铺双层塑料薄膜隔离层。当采用密度板做底模时,底模下应设木方横肋以确保浇筑混凝土后底板不变形。

2 纤维混凝土或混凝土的试件应符合图 6.4.2-2 的规定,为

600mm×600mm×63mm 的平面薄板。骨料最大粒径为 20mm。模具边框用 63mm×40mm×6.3mm 的槽钢制作,边框内设直径 $\phi 6$ 、间距 60mm 的双排栓钉,栓钉长度分别为 50mm、100mm,间隔布置。模底板的要求与本条第 1 款相同。

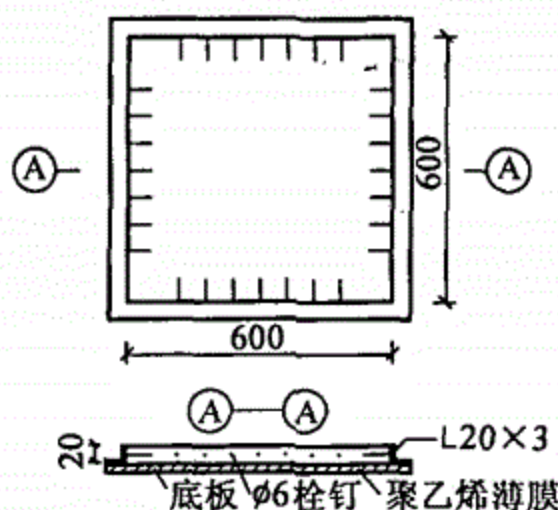


图 6.4.2-1 纤维砂浆抗裂试验模具

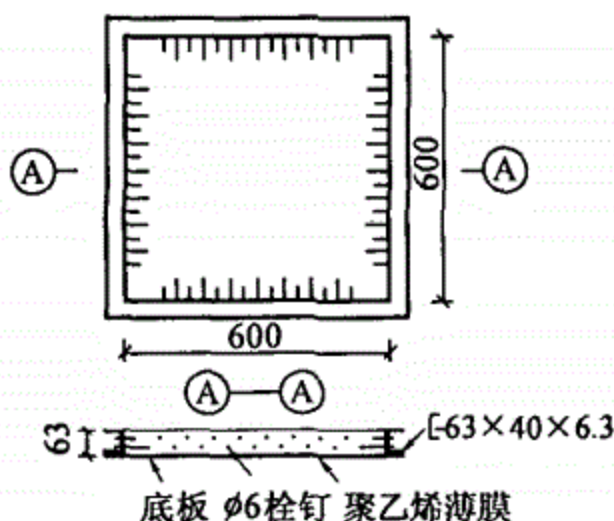


图 6.4.2-2 纤维混凝土抗裂试验模具

6.4.3 早龄期收缩裂缝试验试件的制作应符合下列规定:

1 当专门用于评定纤维的限制裂缝的效能时,可采用纤维砂浆试件,其配合比可选为:水灰比 0.50、灰砂比 1:1.5。原材料宜采用 42.5 普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥,河砂中砂。对比砂浆试件的原材料、配合比与纤维砂浆基体的原材料、配合比相同。

2 当结合具体工程进行纤维限裂效能评定时,纤维混凝土应

按工程采用的配合比配制;对比试件的混凝土应将纤维混凝土配合比中的纤维取消,其他成分和用量不变。

3 同时成型纤维砂浆(或纤维混凝土)试件和对比用的无纤维砂浆(或混凝土)试件各一个试件为一组,每次试验做两组试件。

4 试件浇筑、振实、抹平后立即开始暴露试验。成型时的环境温度宜为 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

6.4.4 进行不同养护条件下混凝土开裂试验时,纤维混凝土和对比混凝土的配合比以及试件数量可根据试验需要确定,浇筑、振实、抹平后的养护条件可根据抗裂评定要求确定。

6.4.5 早龄期收缩裂缝试验应符合下列规定:

1 试件成型后即开始暴露试验,每组试件(一个纤维混凝土试件或纤维砂浆试件,一个对比试件)中的每个试件各用1台电风扇吹试件表面,风向平行试件表面,电风扇功率不小于100W,试件中部上表面风速为 $4\text{m/s} \sim 5\text{m/s}$,环境温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$,相对湿度不大于60%。当室内暴露环境湿度不满足要求时宜采用除湿机进行除湿,达到要求时才可成型进行试验。

2 成型后24h观测裂缝的数量、宽度和长度;当需要测试不同时间裂缝扩展情况时,可根据试验要求每间隔一定时间观测裂缝的数量、宽度和长度。

3 裂缝观测以肉眼可见裂缝为准,用钢尺测量其长度,可近似取裂缝两端直线距离为裂缝长度;当裂缝出现明显弯折时,可以折线长度之和代表裂缝长度。

4 用读数显微镜(分读值0.01mm)测读裂缝宽度,沿裂缝长度测三个裂缝宽度,取最大值为名义最大裂缝宽度。

6.4.6 试件裂缝的名义总面积应按下列公式计算:

$$A_{cr} = \sum w_{i,\max} l_i \quad (6.4.6)$$

式中: A_{cr} ——试件裂缝的名义总面积。对纤维混凝土或纤维砂浆试件记作 A_{fcr} ,对比用的不含纤维的对比试件记作 $A_{mcr}(\text{mm}^2)$;

$w_{i,\max}$ ——第 i 条裂缝的最大宽度(mm);

l_i ——第 i 条裂缝的长度(mm)。

6.4.7 裂缝降低系数应按下列公式计算:

$$\eta_{cr} = \frac{A_{mcr} - A_{fcr}}{A_{mcr}} \quad (6.4.7)$$

式中: η_{cr} ——裂缝降低系数。

以两组试件所测得的裂缝降低系数平均值代表该项对比试验结果。

6.4.8 不同养护条件下不同龄期的收缩裂缝对比试验应符合下列规定:

- 1 试验的养护条件和龄期可根据试验目的确定。
- 2 裂缝的测量方法和限裂效能评定方法可根据相互对比试件的试验结果,应按照本标准第 6.4.6 条和第 6.4.7 条中的规定执行。

6.5 早龄期收缩试验

6.5.1 本方法适用于测定混凝土、纤维混凝土早龄期 3d 以内的收缩变形。

6.5.2 试件尺寸和试模应满足下列要求:

- 1 应采用 100mm×100mm×515mm 或 150mm×150mm×515mm 的试件。
- 2 试模由铸铁或钢制成,应具有足够的刚度,不漏水并拆装方便;试模内表面不平度应为每 100mm 不大于 0.05mm,不垂直度不应大于 0.5°,尺寸误差不应大于 1.0%。

6.5.3 混凝土早龄期变形测定仪器应符合下列要求:

- 1 仪器组成应符合图 6.5.3 的规定,由位移传感器、试件端部位移测点及其固定端子、位移转换测试系统和计算机处理系统组成。
- 2 两个传感器测头通过固定架固定在试模上,两端位移测点

通过固定端子浇筑于试件两端。当试件发生收缩时位移传感器测头与位移测点间距离改变,通过位移测试转换系统将数据传输到计算机,从而获得收缩测量值。

3 位移测试系统可由高精度位移传感器及配套的转换放大器和计算机组成,其精度不宜低于 0.001mm 。位移传感器宜选用非接触式位移传感器;也可采用接触式电子位移传感器,但应确保传感器触点作用力足够小不影响位移测量精度。

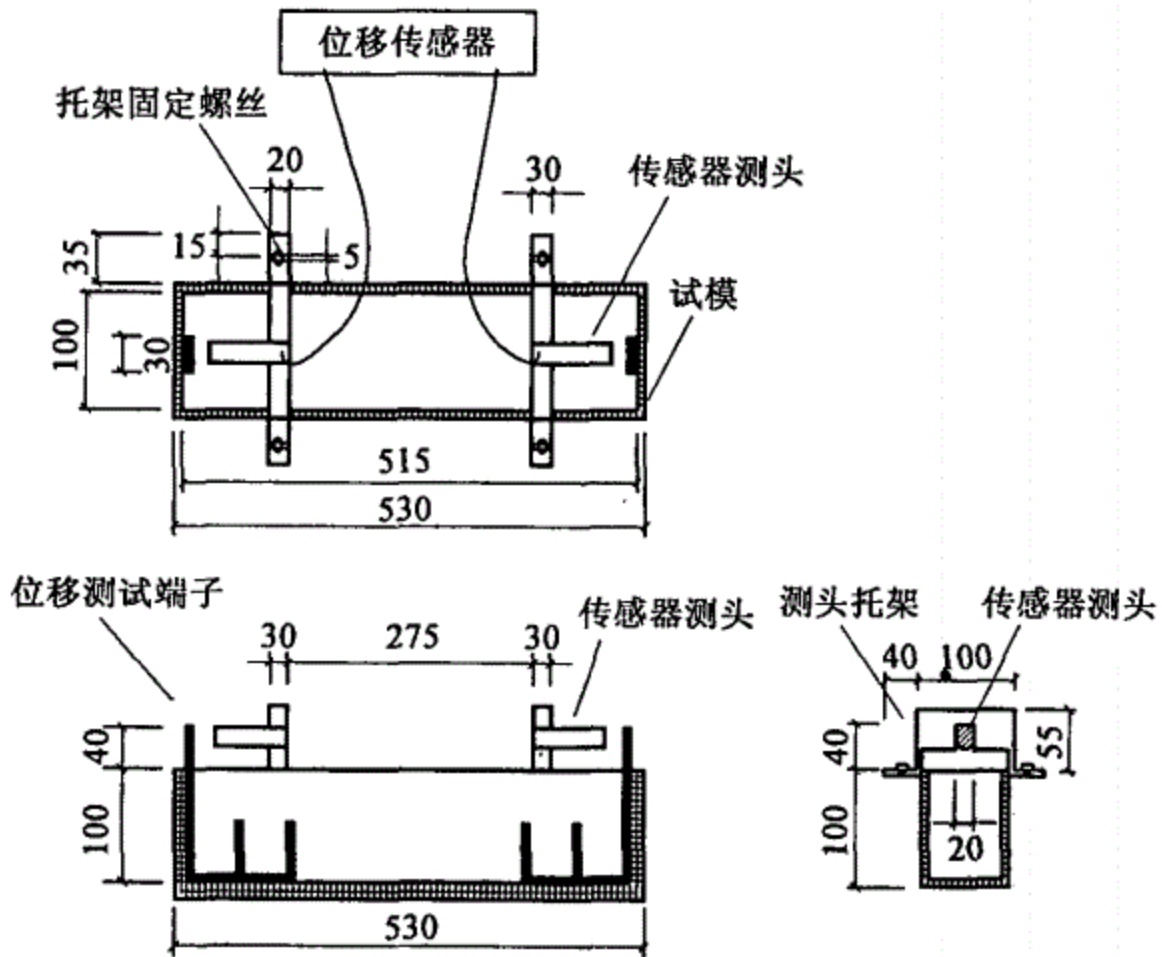


图 6.5.3 混凝土早龄期收缩测定仪

6.5.4 本试验应按下述步骤进行:

1 在试模内铺设二层塑料薄膜,二层之间均匀涂抹一层润滑脂;在试模的两端预固定二个位移测试端子,端子板与试模端板间通过临时固定螺丝连接。

2 将混凝土拌和物加入试模中,振动成型、抹平。

3 在试模上装上固定架,安装位移传感器的测头。

4 混凝土拌和物加入试模中 1h 为测试始点,打开临时固定螺丝,使二个位移测试端子可以随混凝土试件自由移动,并记录左、右位移传感器的初始数据,记为 $L_{1,0}, L_{2,0}$ 。

5 以后每隔 1h 或规定时间记录一次数据,至 72h 为止,记录位移传感器的数据,第 i 小时数据记为 $L_{1,i}, L_{2,i}$ 。

6.5.5 第 i 时的纤维混凝土收缩率应按下式计算:

$$\epsilon_{s,i} = \frac{(L_{1,i} - L_{1,0}) + (L_{2,i} - L_{2,0})}{L_0} \times 100\% \quad (6.5.5)$$

式中: $\epsilon_{s,i}$ ——测试期为 i 小时的混凝土收缩率, i 从测定试件初始读数时算起(%);

$L_{1,0}$ ——左侧位移传感器测定初始读数(mm);

$L_{1,i}$ ——左侧位移传感器测试期为 i 小时的测定读数(mm);

$L_{2,0}$ ——右侧位移传感器测定初始读数(mm);

$L_{2,i}$ ——右侧位移传感器测试期为 i 小时的测定读数(mm);

L_0 ——试件基准长度(mm)。

6.5.6 测试记录和数据整理应采用程序控制,开始试验时按计算机显示界面提示录入初始纪录信息,以后每次测量时计算机自动进行记录与计算,整个试验过程应能够实现连续自动跟踪测量。

6.5.7 测量结果应采用图和表两种形式,给出试件变形随时间变化的全过程。

6.6 轴心受压应力-应变全曲线试验

6.6.1 本方法适用于测定纤维混凝土的轴心受压应力-应变全曲线和韧性比试验。

6.6.2 测定纤维混凝土试件轴心受压应力应变全曲线采用的试件,当纤维长度不大于 40mm 时,采用截面为 100mm×100mm 的

棱柱体试件；当纤维长度大于 40mm 时，采用截面为 150mm×150mm 的试件。试件的高宽比应在 2~3 范围内。每组 6 个试件，其中 3 个试件测定轴心抗压强度，用以确定全曲线试验的预加荷标准，另 3 个用于测定应力-应变全曲线，其制作及养护应符合本标准第 6.2 节或第 6.3 节的规定。

6.6.3 本试验用的测试装置和仪器应符合下列规定。

1 变形测量架：应符合图 6.6.3 的规定，用型钢制作，应保证在测量过程中与试件连接可靠，无附加变形，测量标距与试件截面边长相等，为 100mm 或 150mm。

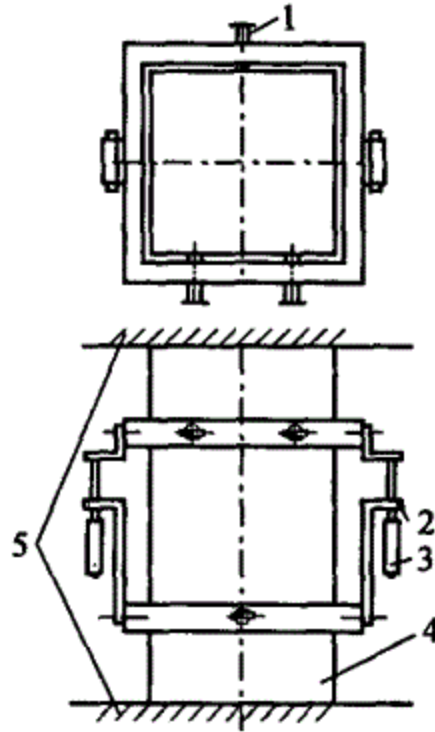


图 6.6.3 静力受压弹性模量变形测量装置

1—夹紧螺钉；2—位移计夹具；3—位移计；
4—棱柱体试件；5—试验机压板

2 测量变形仪表由电子测力计、电子位移传感器及其转换放大系统、模数转换系统及配套计算机组成。系统测试精度：对于力的测量应不低于 1%，对于变形测量应不低于 0.002mm。采样速率不应低于 10kHz。

3 宜将测力计和位移传感器与数据自动采集系统相连，由计

算机自动记录试验数据,用数据分析软件画出荷载-变形全曲线。也可将荷载与变形的输出信号经放大器与 $x-y$ 记录仪相连,直接绘得荷载-变形曲线。

6.6.4 测定纤维混凝土试件轴心受压应力-应变全曲线采用加载设备应符合下列规定:

1 试验机宜采用由变形控制的刚性试验机。试验机的卸荷刚度应大于试件荷载-变形曲线下降段的最大斜率(绝对值),压力试验机示值的相对误差不应大于 $\pm 1\%$,试件的预期破坏荷载应处在试验机量程的 $20\% \sim 80\%$ 之间。

试验机上下压板或附加的钢垫板的尺寸应大于试件的承压面,其不平度应为每 100mm 不大于 0.02mm 。上下压板中应有一块带球形铰座。

2 当采用普通试验机刚度不足时,应采用刚性组件(图 6.6.4),刚性组件应符合下列规定:

- 1) 刚性组件可由一组弹簧或一组液压千斤顶组成,刚性组件合力轴线应与试件受压合力轴线重合;
- 2) 试验机卸载刚度和刚性组件刚度之和应大于试件荷载-变形曲线下降段的最大斜率(绝对值);
- 3) 刚度组件在弹性范围内的压缩量应大于试件试验所需要的变形量。

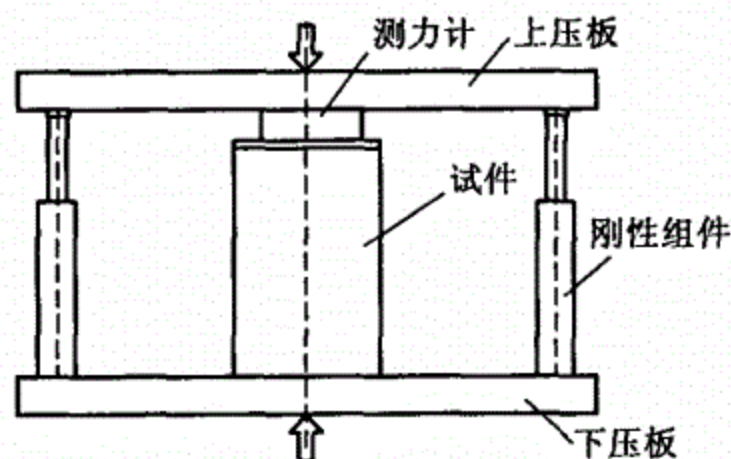


图 6.6.4 刚性组件组合图

6.6.5 纤维混凝土试件轴心受压应力-应变全曲线的测定应按下列步骤进行:

1 从养护地点取出试件,擦净后检查外观并测量尺寸,精确至1mm。若实测尺寸与公称尺寸之差不大于1mm,可按公称尺寸计算。

2 将测量变形的夹具及仪表安装在试件成型时两侧面的中线上,并对称于试件长度的中心线。

3 将试件成型时的侧面作为承压面,安放时试件轴心应对准试验机下压板中心。开动试验机,当上压板与试件接近时,调整球铰座,使接触均衡。

4 开动试验机进行预压,预压荷载约相当于破坏荷载的40%。预压时,加荷速度取0.5MPa/s~0.8MPa/s。进行物理对中调整和受压稳定性调整,直至试件各边变形相差不大于15%以及相邻两次加载试件四边变形平均值相差不超过0.003mm为止,否则应调整荷载传递装置,继续预压,直至达到要求。

5 对试件连续、均匀加荷。最大荷载前的加荷速度取0.5MPa/s~0.8MPa/s,其后按变形控制,取0.1mm/min~0.2mm/min。当试件临近破坏变形速度增快时,应停止调整试验机油门,直至试件破坏。使用能够由变形控制加载的刚性试验机,使试件缓慢卸荷。

6 采用千斤顶作刚性组件时,应使活塞顶升至稍高出测力计顶面,然后开动试验机,使千斤顶刚度达到稳定状态,随即对试件连续均匀加荷。加荷过程中应记录变形变化速度,最大荷载后应减小加荷速度,满足式(6.6.5)的条件,使试件处于“准等应变”状态。

$$\frac{V_{\Delta_{\max}}}{V_m} \leq 5 \quad (6.6.5)$$

式中: $V_{\Delta_{\max}}$ ——变形增量最大时的相应速度($\mu\text{m/s}$);

V_m ——变形由0到3倍峰值荷载变形时段内相应速度的平均值($\mu\text{m/s}$)。

6.6.6 纤维混凝土的压缩功和轴压韧性指数应按下列规定计算：

1 根据试验数据绘制轴压荷载-变形全曲线，当需要应力-应变全曲线时可由荷载除以试件截面积变形除以测量标距得到。

2 根据轴压荷载-变形全曲线计算压缩功，压缩功 $W_{1.0}$ 定义为轴向变形从 0 到 $L_0 \times 1.0\%$ mm 的轴压荷载-变形全曲线下面积 ($N \cdot mm$)， L_0 为轴压变形测量标距 (mm)。

3 轴压韧性比 $R_{e,1.0}$ 按下式计算：

$$R_{e,1.0} = \frac{W_{1.0}}{F_{\max} \times L_0 \times 1.0\%} \quad (6.6.6)$$

式中： $F_{\max}$ ——荷载-变形曲线的荷载峰值 (N)。

4 该组试件的试验值应为三个试件计算值的算术平均值。三个测值中根据强度条件被剔除一个，则取两个试件的平均值作为该组试件的试验值；如果两个试件无效，则该组试件的试验结果无效。

6.7 轴心抗拉强度和受拉应力-应变全曲线试验

6.7.1 本方法适用于测定纤维混凝土试件轴拉强度、轴拉应力-应变全曲线和韧性比。

6.7.2 拉伸试件形状尺寸可按图 6.7.2 中的 (a)、(b)、(c)、(d) 四种形状选取一种，每组四个试件。其制作及养护应符合本标准第 6.2 节或第 6.3 节的规定。

6.7.3 试验采用的仪器设备应符合下列规定：

1 试验机：试验机宜采用由变形控制的刚性试验机。试验机的卸荷刚度应大于试件荷载-变形曲线下降段的最大斜率 (绝对值)，试验机的示值相对误差不应大于 $\pm 1\%$ ，试件的预期破坏荷载应处在全量程的 $20\% \sim 80\%$ 之间，也可采用普通液压试验机附加刚性组件。

2 试验机卸载刚度和刚性组件刚度之和应大于试件荷载-变形曲线下降段的最大斜率 (绝对值)；刚性组件在弹性范围内的可

拉伸量应大于试件的变形量。

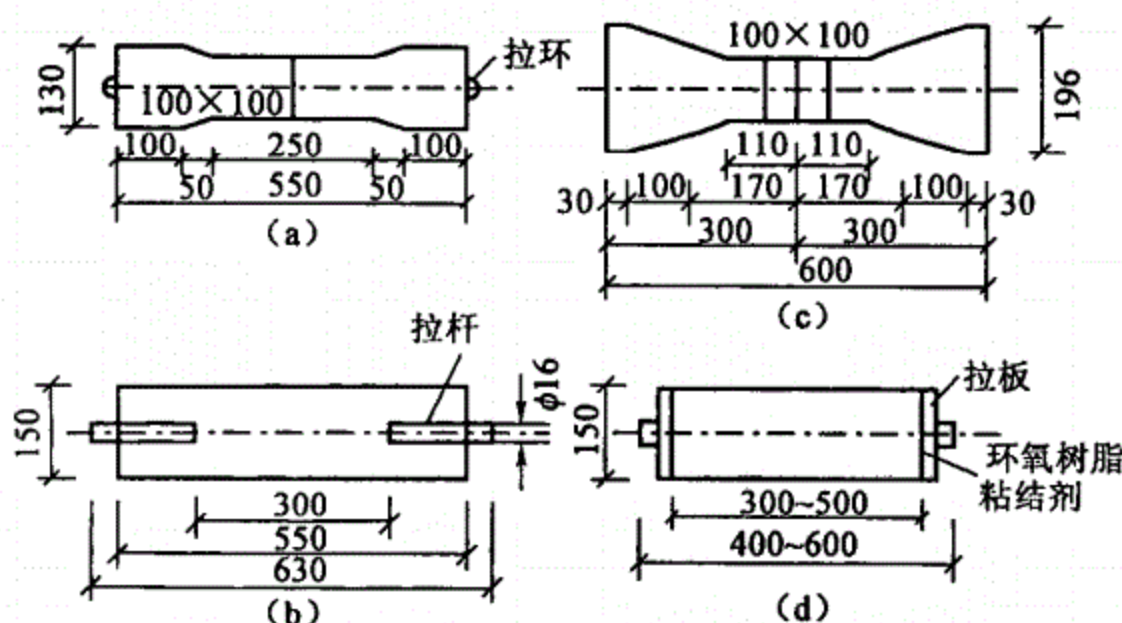


图 6.7.2 纤维混凝土轴向拉伸试件及埋件(单位:mm)

3 电阻应变片或位移传感器等均可用于测定试件的变形。采用位移传感器时应备有变形测量架,试件的变形通过变形测量架传递到位移传感器,位移传感器应备有与其匹配的放大器;采用电阻应变片测量试件变形时应配置电阻应变仪。应变测量装置的测量精度应不低于 1×10^{-6} 。

4 荷载测量可通过试验机配有的测试系统或外加的荷载传感器及其信号放大系统,荷载测量的精度不应低于 1%。

5 荷载和变形(或应变)模拟信号宜通过模数转换系统输入计算机,数据采集自动连续进行。

6 埋件的安装应牢固并保证埋件与试件同轴,当采用图 6.7.2 的(a)型试件时,应将拉环紧紧夹持在试模两端上、下拉环夹板的凹槽中,并检查拉环位置是否水平,必要时用若干层纸垫在夹板或后夹板上,以调整拉环的水平位置;当采用图 6.7.2 的(b)型试件时,上、下拉杆的埋设应靠端板定位,以保证埋杆与试件同轴。

7 其他装置、仪表、材料:如拉环、拉杆、拉板、应变片、502

胶、环氧树脂粘结剂等应满足试验要求。

6.7.4 试验应按下列步骤进行：

1 从养护地点取出试件，擦净后检查外观并测量尺寸，精确至 1mm。若实测尺寸与公称尺寸之差不大于 1mm，可按公称尺寸计算。

2 将测量变形的夹具及仪表安装在试件成型时两侧面的中线上，并对称于试件的两端，测量标距不应大于试件高度的 1/2，也不应小于 100mm。

3 试验机应使用球面拉力接头，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 开动试验机进行预拉，预拉荷载约相当于破坏荷载的 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%。偏心率按下式计算：

$$e_e = \left| \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2} \right| \times 100\% \quad (6.7.4)$$

式中： e_e ——试件受拉时的偏心率；

ϵ_1 、 ϵ_2 ——分别为试件两侧的应变值。

5 对试件连续、均匀加荷。最大荷载前的加荷速度取 0.4 MPa/min，其后按变形控制，取 0.1mm/min~0.2mm/min。当试件临近破坏、变形速度增快时，应停止调整试验机油门，直至试件破坏。记录最大荷载，精确至 0.1MPa。

6 进行应力-应变全曲线试验时，应使用能够由变形控制加载的刚性试验机，或普通试验机加刚性辅助组件，按本条第 5 款的速率加载，在过峰值荷载后应使试件缓慢卸载。

6.7.5 纤维混凝土轴拉强度应按下列规定计算：

1 每个试件的轴拉强度应按下列式计算：

$$f_{tc,i} = \frac{F_{1max}}{A} \quad (6.7.5)$$

式中: $f_{tc,i}$ ——纤维混凝土轴拉强度(MPa);

A ——轴拉试件的截面面积(mm^2)。

2 该组试件的试验值应为四个试件计算值的算术平均值。四个测值中的最大值或最小值与两中间测值的平均值之差大于中间平均值的 15%, 则取两中间值的平均值作为该组试件的试验值; 如果二者与中间值平均值之差均大于 15%, 则该组试件的试验结果无效。

3 当试件的断裂位置在变截面转折点以外或在埋件端点的 20mm 距离以内时, 该试件试验结果无效。一组试件有一个试件试验结果无效, 可取其余三个试件试验结果进行平均值的计算, 三个测值中的一个与中间值之差大于中间值的 15%, 则取中间值作为该组试件的抗拉强度; 如果二者与中值之差均大于 15%, 则该组试件的试验结果无效。如果有二个试件试验结果无效则该组试验无效。

6.7.6 纤维混凝土的拉伸功和轴拉韧性比应按下列规定计算:

1 根据试验数据绘制荷载-轴拉变形全曲线。

2 拉伸功 $W_{0.2}$ 定义为位移从 0 到 $L_0 \times 0.2\%$ mm (L_0 为拉伸变形测量标距) 的轴拉荷载-变形全曲线下面积。

3 轴拉韧性比 $R_{e,0.2}$ 定义为:

$$R_{e,0.2} = \frac{W_{0.2}}{f_{tc,i} A \times L_0 \times 0.2\%} \quad (6.7.6)$$

6.7.7 拉伸功、轴拉韧性指数应分别以四个试件计算值的算术平均值作为该组试件相应的试验值。四个试件中根据强度试验结果有一个被剔除, 则以其三个试件计算值的平均值作为该组试件的试验值。

6.8 抗剪强度试验

6.8.1 本方法适用于采用双面直接剪切法测定纤维混凝土的抗剪强度。

6.8.2 本试验宜采用截面为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 300\text{mm}$ 的梁式试件。当纤维长度大于 40mm 时,可采用 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 梁式试件。

每组四个试件,其制作及养护应符合本标准第 6.2 节或第 6.3 节的规定。

6.8.3 抗剪强度试验设备应符合下列规定:

1 宜采用具有加载速率自动控制功能的伺服式压力试验机,也可采用普通万能试验机,试验机的示值相对误差不应大于 $\pm 1.0\%$,试件的预期破坏荷载应处在全量程的 $20\% \sim 80\%$ 之间。

2 试验机上下压板或附加的钢垫板的尺寸应大于试件的承压面,其不平度应为每 100mm 不大于 0.02mm 。上下压板中应有一块带球形铰座。

3 双面剪切试验装置应符合图 6.8.3 的规定,应保证上下刀口垂直相对运动,无左右运动。刀口宽度为试件公称高度 H 的 $1/10$,上刀口外缘间距等于 H ,上下刀口错位 a 应在 $0\text{mm} \sim 1\text{mm}$ 之间。

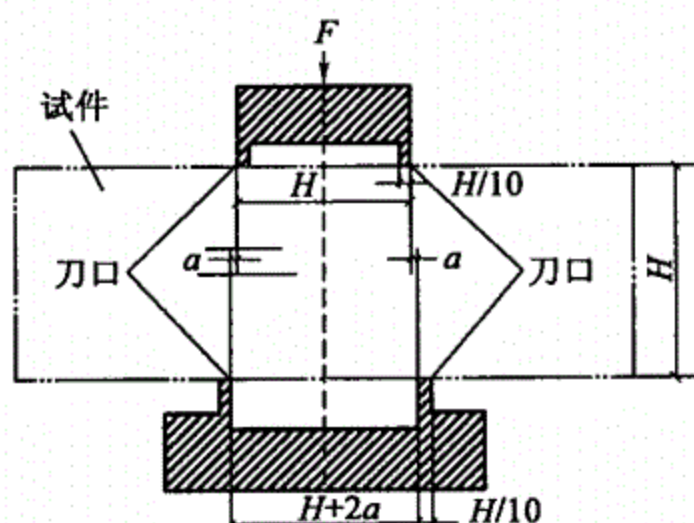


图 6.8.3 双面剪切试验装置

6.8.4 本试验应按下列步骤进行:

1 从养护地点取出试件,擦净后检查外观并测量尺寸,精确

至 1mm。若实测尺寸与公称尺寸之差不大于 1mm,可按公称尺寸计算。

2 将试件放入试验装置,使成型时的两个侧面与剪切装置刀口接触,剪切装置的中轴线应与试验机压力作用线重合,调整球铰座,使接触均衡。

3 对试件连续、均匀加荷,加荷速度取 0.06 MPa/s~0.10 MPa/s。当试件临近破坏、变形速度增快时,应停止调整试验机油门,直至破坏。记录最大荷载,精确至相当于应力为 0.01MPa 的力值。

4 检查试件破坏面,若不在预定面破坏(图 6.8.4),则试验结果无效。

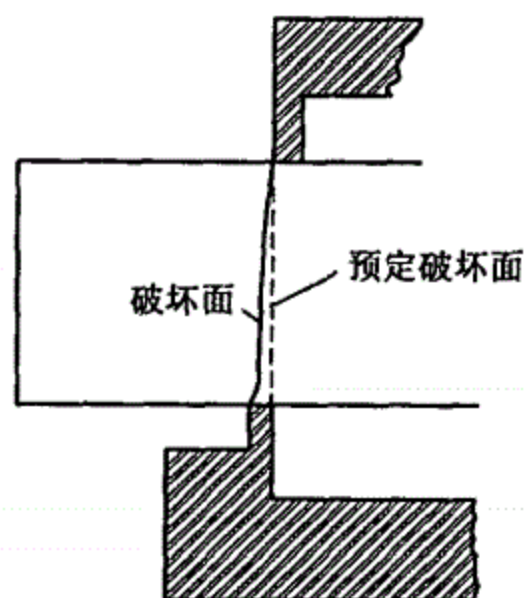


图 6.8.4 试件破坏面不在预定破坏面

6.8.5 试验结果应按下列规定处理:

1 纤维混凝土试件的抗剪强度按下式计算:

$$f_{tc,v} = \frac{F_{max}}{2bh} \quad (6.8.5-1)$$

$$b = \frac{1}{4}(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) \quad (6.8.5-2)$$

$$h = \frac{1}{4}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (6.8.5-3)$$

式中: $f_{fc,v}$ ——纤维混凝土抗剪强度(MPa);

F_{max} ——最大荷载(N);

b ——试件平均宽度(mm);

h ——试件平均高度(mm);

b_1, b_2, b_3, b_4 ——测得两个预定破坏截面两对边的宽度(mm);

h_1, h_2, h_3, h_4 ——测得两个预定破坏截面两对边的高度(mm)。

2 该组试件的抗剪强度应为四个试件测值的算术平均值。四个测值中的最大值或最小值与两中间测值的平均值之差大于中间平均值的 15%, 则取两中间值的平均值作为该组试件的抗剪强度; 如果二者与中间值平均值之差均大于 15%, 则该组试件的试验结果无效。

3 四个试件中如有一个不在预定面破坏, 取另外三个测值的算术平均值作为该组试件的抗剪强度值。三个测值中的一个与中间值之差大于中间平均值的 15%, 则取中间值作为该组试件的抗剪强度; 如果二者与中间值之差均大于 15%, 则该组试件的试验结果无效。

4 四个试件中如有两个试件不在预定面破坏, 则该组试验结果无效。

6.9 弯曲韧性和初裂强度试验

6.9.1 本方法适用于测定纤维混凝土试件弯曲时的初裂强度、弯曲韧性指数以及弯曲韧性比。

6.9.2 当纤维长度不大于 40mm 时, 采用截面为 100mm × 100mm 的梁式试件; 当纤维长度大于 40mm 时, 采用截面为 150mm × 150mm 试件。支座跨度(加载支座间距)为截面边长的 3 倍, 试件长度应比试件跨度至少长 100mm。每组三个试件, 其制作及养护应符合本标准第 6.2 节或第 6.3 节的规定。

6.9.3 本试验采用的设备(图 6.9.3-1)应符合下列规定:

1 伺服式万能试验机或带有弯曲试验台的伺服式压力试验

机,量程 200kN,示值相对误差不大于 1%,试验时的最大荷载应在量程的 20%~80%范围内。

2 加载分配梁,试验机自带或后配制作,分配梁中点设有辊轴,在试件标距三分点处设有两个加压万向辊轴,辊轴可以滚动和前后(垂直于试件轴线方向)自由倾斜,滚轴直径 30mm~50mm。

3 与试件接触的两个辊轴铰支座,辊轴弧形直径 30 mm ~ 50mm,支座长度比试件宽度长 10mm,其中一个支座为固定铰,另一个支座为万向滚动铰,该支座能够滚动并前后(垂直于试件轴线方向)自由倾斜。

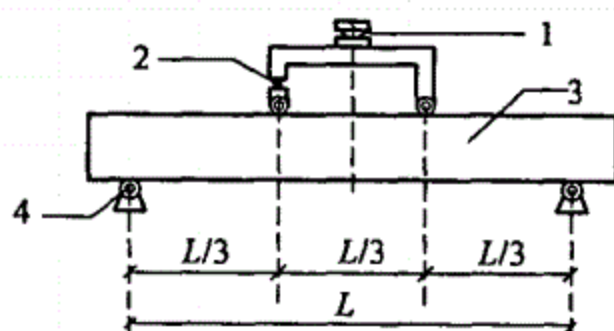


图 6.9.3-1 抗弯试验加载装置

1—球铰;2—球铰滚轴;3—试件;
4—滚动支座(水平位移及转角均放松)

4 当普通液压试验机刚度不满足上述要求时,可附加刚性组件(千斤顶、弹簧或玻璃钢圆筒等),其装置按图 6.9.3-2 的要求。刚性组件与试件共同的荷载-变形曲线的斜率大于零,或试验机卸载刚度和刚性组件刚度之和应大于试件荷载-挠度曲线下降段的最大斜率(绝对值)。刚性组件在弹性范围内的可压缩量,应大于试件的变形量。

5 挠度测量装置应符合图 6.9.3-3 的要求,并应包括型钢或铝材制作的横梁、固定横梁于试件侧面的螺栓、固定测量挠度仪表的螺栓以及粘贴于试件侧面中点的测量触点板;挠度测试系统包