

ICS 27.140

P 59

备案号: J358—2004

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5193 — 2004

环氧树脂砂浆技术规程

Technical code of epoxy resin mortar

2004-03-09 发布

2004-06-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 术语和符号	3
3.1 术语和定义	3
3.2 符号	5
4 环氧树脂砂浆原材料的质量要求和性能测试方法	7
4.1 原材料的质量要求	7
4.2 原材料的性能测试方法	8
5 环氧树脂砂浆性能试验	20
5.1 拌和物的制备方法	20
5.2 试件成型方法	22
5.3 环氧砂浆稠度试验方法	23
5.4 环氧砂浆适用期、固化时间的试验方法	25
5.5 环氧砂浆表观密度试验方法	27
5.6 环氧砂浆放热温度峰的测定和分类	30
5.7 环氧砂浆线性收缩的测试方法	31
5.8 环氧砂浆涂层与混凝土之间热相容性试验	35
5.9 环氧砂浆抗压强度测试方法	36
5.10 环氧砂浆抗拉强度测试方法	39
5.11 环氧砂浆弯曲强度测试方法	41
5.12 环氧砂浆对水泥砂浆粘接抗拉强度测试方法	43
5.13 环氧砂浆对混凝土粘接抗拉强度测试方法	46
5.14 环氧砂浆压缩弹性模量测试方法	47
5.15 环氧砂浆线胀系数测试方法	49

5.16	环氧砂浆耐介质性能试验方法	53
5.17	环氧砂浆老化试验方法	56
5.18	环氧砂浆抗冲击性能试验方法	57
5.19	环氧砂浆抗含砂水流冲刷试验方法	59
5.20	环氧砂浆抗渗性能试验方法	62
6	施工技术	63
6.1	施工前的准备	63
6.2	施工流程	63
6.3	基层混凝土的处理	64
6.4	拌料工艺与要求	65
6.5	涂抹工艺和技术要求	68
6.6	质量检查、控制与检测	69
6.7	环氧砂浆涂层的养护	70
6.8	施工安全与劳动保护	70
附录 A (规范性附录)	放热温度峰的测定和分类	71
附录 B (规范性附录)	粘结拉拔强度试验方法	72
条文说明	73

前 言

本标准是根据原国家经贸委电力司《关于确认 1999 年度电力行业标准制、修订计划项目的通知》（电力〔2000〕22 号文）的安排制订的。

本标准对环氧树脂砂浆原材料的质量要求和性能测试方法、环氧树脂砂浆性能试验及施工技术作出规定。

环氧树脂砂浆以其强度高、综合性能优良等特点，作为水工混凝土过流面抗冲耐磨保护层及冲刷、磨损和气蚀等破坏部位的修补加固材料，以及工业民用建筑、公路、桥梁和机场跑道等构筑物的维修加固材料应用已有 40 多年历史。近年来随着环氧树脂材料的发展及其施工技术的提高，环氧树脂砂浆的应用数量不断增加、范围不断扩大，但长期以来国内尚未形成有关的技术规范，以至于从材料制备、性能试验到现场施工等方面的技术要求无章可循，直接影响了环氧树脂砂浆的推广应用，也妨碍了环氧树脂砂浆技术的发展。因此，为使我国环氧树脂材料的研究和应用规范化，促进环氧树脂材料科研和施工技术水平进一步提高，早日达到世界先进水平，制订适合我国应用的环氧树脂砂浆技术规程十分必要。

制订本规程时，收集了国内、外有关的标准资料，以国内现有的规程、规范为基础，参考了国外标准如美国材料试验协会标准（ASTM）和英国国家标准（BS）。

本标准的附录 A、附录 B 是规范性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电施工标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：中国水利水电科学研究院。

本标准参加起草单位：中国水利水电第十一工程局勘测设计院、上海树脂厂有限公司、上海铮悦工贸有限公司。

本标准的主要起草人：买淑芳、吴怀国、高富龙、张海泉、张涛、李芳南、翁强、王敬军、陈肖蕾。

1 范 围

本标准对水工混凝土建筑物用环氧树脂砂浆材料作出技术规定，其中包括环氧树脂砂浆原材料的基本性能要求及其检测方法、环氧树脂砂浆性能试验方法及施工技术要求、质量控制等内容。

本标准适用于水利水电工程中的水工混凝土建筑物。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB1214 游标类卡尺

GB/T 3681 塑料大气暴露试验方法

GB/T 12000 塑料暴露于湿热、水喷雾和盐雾中影响的测定

GB/T 15596 塑料暴露于玻璃下日光或自然气候或人工光后颜色和性能变化的测定

DL/T 5150 水工混凝土试验规程

3 术 语 和 符 号

3.1 术 语 和 定 义

下列术语适用于本标准:

3.1.1

环氧树脂 epoxy resin

环氧树脂是指分子结构中含有两个或两个以上环氧基的化合物,它是一大类树脂的总称。由于结构上的差异,有不同类型的环氧树脂,如双酚 A 型环氧树脂、脂肪族环氧树脂、酚醛环氧树脂、脂环族环氧树脂等。

3.1.2

固化剂 hardener

能与环氧树脂发生化学反应使树脂固化的材料。

注:硬化剂、促进剂等术语在描述固化过程时也被称为固化剂或固化过程中的附加成分。

3.1.3

环氧值 epoxy value

是指 100g 环氧树脂中所含有的环氧基的摩尔数。

3.1.4

环氧当量 epoxy equivalent

是指含有一克当量环氧基的树脂的克数。

3.1.5

稀释剂 diluting agent

与环氧树脂有良好的相溶性,能显著降低环氧树脂黏度的物质。稀释剂可分为活性稀释剂和非活性稀释剂两种,活性稀释剂含有活性基团能参与固化反应。

3.1.6

增塑剂 **flexibilizer**

掺加到环氧树脂材料中能改善环氧树脂材料的柔顺性，通常也叫做增柔剂。分为活性增塑剂和非活性增塑剂两种，含有活性基团、能参与固化反应并在环氧树脂的交联结构中引入柔顺性链段的为活性增塑剂。

3.1.7

胺值 **efficient value of amine**

固化剂中有效胺基的含量，以 mg KOH/g 表示。

3.1.8

适用期 **pot life**

150g 环氧树脂和固化剂的混合物从混合开始到不再适合于使用的这段时间。

3.1.9

适用强度时间 **service strength setting time**

在规定的温度条件下，砂浆的各组分从开始拌料的时间至达到产品规定的抗拉强度的 90% 所需的时间。

3.1.10

固化 **cure**

通过化学反应（如交联）树脂从液态向固态转化的过程，固化也称硬化。

3.1.11

环氧树脂砂浆 **epoxy resin mortar**

环氧树脂、固化剂和一定级配填料的混合物。根据不同需要可适当掺加增塑剂、稀释剂或其他材料。

3.1.12

反应放热 **reaction exotherm**

环氧树脂固化反应放出热量。

3.1.13

陈化时间 interval times between primer and mortar

从基液涂刷完毕到涂抹环氧砂浆之间的间隔时间。

3.1.14

基层 substrate

被环氧树脂砂浆保护或修补处理的混凝土表面。

3.1.15

填料 filler

不参加固化反应，只起填充作用的材料，应是中性或弱碱性的粉末状、颗粒状或纤维状物质，加入到环氧树脂体系中，减少反应放热或固化收缩，可改善环氧材料的热性能、机械性能或赋予固化体系所要求的特殊性能的材料。

3.1.16

底涂料（基液） primer

环氧树脂、固化剂及其他掺加剂混合后具有足够的流动性，能按设计要求直接涂抹或喷涂于混凝土表面作为第一层（或底层）涂料的材料。

3.2 符 号

下列符号适用于本标准：

EP——环氧树脂；

EE——环氧当量，g/Eq；

η ——黏度，Pa·s；

ρ_u ——未固化砂浆的表观密度，g/cm³；

ρ_c ——固化砂浆的表观密度，g/cm³；

α ——线膨胀系数，10⁻⁶/°C；

S_m ——砂浆的收缩变形，10⁻⁶；

f_{EP} ——抗压强度，MPa；

f_L ——拉伸强度，MPa；

f_w ——弯曲强度，MPa；

f_{nj} ——粘接抗拉强度, MPa;

f_{ch} ——冲击强度, MPa;

f_A ——冲磨强度, h/(g/cm²);

L ——磨损率, g/(h · cm²)。

4 环氧树脂砂浆原材料的质量要求和性能测试方法

4.1 原材料的质量要求

4.1.1 环氧树脂

选用双酚 A 型环氧树脂, 按对环氧树脂砂浆流动性的要求可选择 EP 01441-310 型 (E-51) 和 EP 01451-310 型 (E-44)。要求黏度低、使用方便时用 EP 01441-310 型, 其技术指标见表 4.1.1-1; 一般性要求时用 EP 01451-310 型, 其技术指标见表 4.1.1-2。

表 4.1.1-1 EP01441-310 型环氧树脂技术指标

项 目	技术指标
外观	无明显机械杂质
色度 号	≤ 5
黏度 (25℃) Pa·s	6~26
环氧当量 g/Eq	184~210
挥发分 (110℃, 3h) %	≤ 1.8

表 4.1.1-2 EP 01451-310 型环氧树脂技术指标

项 目	技术指标
外观	无明显机械杂质
色度 号	≤ 8
软化点 ℃	12~20
环氧当量 g/Eq	210~250
挥发分 (110℃, 3h) %	≤ 1.0

4.1.2 固化剂

1 采用改性胺或缩胺类固化剂，胺值在 200mgKOH/g～700mgKOH/g，且能常温固化环氧树脂，其固化时间符合使用单位的施工要求。

2 应尽量选用挥发性小、毒性小，对人体皮肤和呼吸系统刺激性小的固化剂。不得选用低分子量、挥发性大且毒性较大的胺类做固化剂，如乙二胺、二乙烯三胺等。

3 选用的固化剂要求反应平缓，反应放热峰值温度低，性能满足设计要求。在潮湿或低温条件下使用时，应选用适合潮湿或低温条件的专用固化剂。

4.1.3 增塑剂

1 应尽量选用与环氧树脂混溶性好、挥发性小、毒性小、对皮肤和呼吸系统刺激性小的增塑剂。

2 尽量选用活性增塑剂，使固化物性能稳定。

4.1.4 稀释剂

1 应尽量选用挥发性小、毒性小、对皮肤和呼吸系统刺激性小的活性稀释剂，苯基缩水甘油醚类稀释剂对皮肤刺激性大，不宜采用。

2 稀释剂与环氧树脂要有良好的混溶性。

4.1.5 填料

1 应选用弱碱性或中性硬质粉料和粒料。粉料有石英粉、辉绿岩铸石粉、硅粉、普通水泥等，粒料有石英砂、硬质河砂等。

2 填料应烘干，含水量不得大于 0.5%；粉料粒径 100 目～200 目，粒料的最大粒径不得大于 2mm，宜选用石英砂，如用硬质河沙，应注意水洗、烘干。

4.2 原材料的性能测试方法

4.2.1 环氧树脂性能测定

1 外观的测定

环氧树脂的外观以目视测定。取适量的环氧树脂倒入试管中，隔水加热至 $50^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ ，除去气泡，再将试管冷却至室温，在透射光下观察有无机械杂质。

2 黏度的测定

1) 适用范围

采用具有规定剪切速率的同轴双圆筒旋转黏度计测定环氧树脂黏度。

2) 仪器设备

- ① 黏度计：同轴双圆筒旋转黏度计，量程为 $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s} \sim 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ，测量误差不大于满刻度的 4%。
- ② 恒温器：能保持试验所要求的温度，精度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。

3) 试验条件

- ① 试验温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。
- ② 剪切速率：从下列数值组成的系列中选择剪切速率：1.00、2.50、6.30、16.0、40.0、100.0、250.0 s^{-1} 。

4) 试验步骤

- ① 按需要的剪切速率选定固定筒、转筒及转速。
- ② 视仪器外筒大小取一定体积的试样，小心地注入外筒，放置排除气泡。
- ③ 将仪器与恒温装置连接，启动恒温器，恒温 60min。
- ④ 接通电源，开动马达，使转筒旋转，待指针稳定后读数。

5) 试验结果

黏度按式 (4.2.1-1) 计算：

$$\eta = Ka \quad (4.2.1-1)$$

式中：

η ——黏度， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；

K ——仪器常数， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；

α ——读数值。

结果取两位有效数字。在括号中注明温度，剪切速率。

例如： $\eta(25^{\circ}\text{C}, 100\text{s}^{-1}) = 12\text{Pa} \cdot \text{s}$

式中：

100s^{-1} ——测定时所选用的剪切速率。

6) 试验报告

报告应包括以下内容：

- ① 环氧树脂的规格、批号、生产厂家等；
- ② 试验室的温度及相对湿度；
- ③ 环氧树脂黏度及测试条件；
- ④ 试验日期及试验人员。

3 软化点的测定

1) 适用范围

适用于测定环氧树脂的软化点。

2) 仪器设备

- ① 沥青软化点测定装置一套；
- ② 200°C 恒温烘箱：控温精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- ③ 电炉：1000W；
- ④ 调压变压器；
- ⑤ 电冰箱；
- ⑥ 小刀或刮刀；
- ⑦ 光滑的铜片或铝片： $100\text{mm} \times 150\text{mm} \times 2\text{mm}$ ；
- ⑧ 水银温度计：量程 $0^{\circ}\text{C} \sim 100.0^{\circ}\text{C}$ ，控温精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，量程 $-20.0^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ ，控温精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

3) 材料

- ① 蒸馏水；
- ② 硅脂。

4) 试验步骤

- ① 试样的制备：将软化点测定装置中的铜环放在涂

有硅脂的光滑的铜片或铝片上，把树脂注入铜环内，使树脂液面略高于铜环，不能有气泡，否则须重新制环。将制好的试样置于 $-15^{\circ}\text{C}\sim-18^{\circ}\text{C}$ 下冷却约 15min，移去铜片（或铝片），用清洁的小刀或刮刀稍加热，熨平环面多余的树脂，在 $-15^{\circ}\text{C}\sim-18^{\circ}\text{C}$ 下冷却 30min。

- ② 将蒸馏水冷却到 4°C ，注入软化点测定装置的烧杯中，其高度为 100mm \sim 108mm。
- ③ 将装有树脂的铜环和球定心导向器放在环架上，并把钢球放入 4°C 的水中，15min 后用镊子将其放在环面中心。
- ④ 将温度计沿支架中心孔插入。
- ⑤ 调节调压变压器，用电炉加热烧杯中的水，以 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温。直到树脂软化后钢球落到下底板时，温度计所指的温度即为软化点。

5) 试验结果

测试结果以两个平行试样测定值的算术平均值表示，取至小数点后一位。平行试验的两个测定值之差不大于 1°C 。

6) 试验偏差

由同一操作者在同一试验室测得的两次试验结果的差不大于 2°C 。

由不同操作者在不同试验室测得的两次试验结果的差不大于 3°C 。

7) 试验报告

报告应包括以下内容：

- ① 环氧树脂的规格、批号、生产厂家等；
- ② 试验室的温度及相对湿度；
- ③ 试样软化点， $^{\circ}\text{C}$ ；

④ 试验日期及试验人员。

4 环氧当量的测定

1) 适用范围

适用于测定环氧树脂的环氧当量。

2) 试剂

- ① 冰乙酸，分析纯；
- ② 乙酸酐，分析纯；
- ③ 三氯甲烷，分析纯；
- ④ 邻苯二甲酸氢钾，分析纯；
- ⑤ 结晶紫指示剂溶液：在 100ml 冰乙酸中溶解 100mg 结晶紫；
- ⑥ 70% (W/W) 高氯酸水溶液；
- ⑦ 溴化四乙胺。

3) 仪器设备

- ① 天平：感量 0.1mg；
- ② 锥形烧瓶：100ml 或 200ml，带磨口塞；
- ③ 滴定管：有密封式贮器的微量滴定管或经校正的容量为 10ml 的滴定管；
- ④ 玻璃干燥管：有磨口接头，出口用氯化钙防潮；
- ⑤ 磁力搅拌器：应附有涂聚四氟乙烯的搅拌棒；
- ⑥ 温度计：经校正，测量精确度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ；
- ⑦ 移液吸管：容量为 10ml。

4) 试验步骤

- ① 配制结晶紫指示剂溶液：在 100ml 冰乙酸中加入 100mg 结晶紫配成溶液。
- ② 配制 1mol/L 高氯酸标准滴定液：将 300ml 冰乙酸加到 8.5ml 70% (W/W) 高氯酸水溶液中，再加 20ml 乙酸酐，用冰乙酸稀释到 1L 并充分混匀。

- ③ 配制溴化四乙铵溶液：在 400ml 冰乙酸中溶解 100g 溴化四乙铵。加入几滴结晶紫指示剂溶液，如果溶液变色，用高氯酸标准滴定液使它恢复到原来的颜色。
- ④ 称取 0.150g~0.250g 环氧树脂试样（准确至 0.2mg），放入烧瓶中，加入 10ml 三氯甲烷，然后搅拌溶解试样。加入 20ml 冰乙酸，然后用移液吸管加入 10ml 溴化四乙铵溶液，并加入 4 滴~6 滴结晶紫指示剂溶液。立即用高氯酸标准滴定液滴定，同时用磁力搅拌器搅拌，直至得到稳定的绿色，记下高氯酸溶液的温度 t_s 。
- ⑤ 同时进行无试样的空白试验。
- ⑥ 用 200.0mg 邻苯二甲酸氢钾溶于 50ml 冰乙酸中，来标定高氯酸溶液（邻苯二甲酸氢钾使用前在 120℃干燥 2h）。加 4 滴~6 滴结晶紫溶液作指示剂，终点时得到稳定的绿色，记下标准滴定液的温度 t_s 。

高氯酸浓度按式（4.2.1-2）计算：

$$C(\text{HClO}_4) = \frac{m}{V \times 0.20422} \quad (4.2.1-2)$$

式中：

C ——高氯酸浓度，mol/L；

m ——所用邻苯二甲酸氢钾质量，g；

V ——滴定时耗用的高氯酸溶液体积，ml；

0.20422——每毫摩尔邻苯二甲酸氢钾质量，g。

注 1：如果使用电位滴定法测定环氧当量，则需使用相同的方法标定高氯酸。

注 2：气温低时冰乙酸溶液易结晶，可加入少许丙酸降低冰点。

注 3：推荐使用安全护目镜和安全网。

5) 试验结果

环氧当量按式 (4.2.1-3) 计算:

$$EE = \frac{1000m}{(V_1 - V_0)(1 - \frac{t - t_s}{1000})C} \quad (4.2.1-3)$$

式中:

EE ——环氧当量;

m ——试样质量, g;

V_0 ——空白试验耗用高氯酸溶液体积, ml;

V_1 ——测定时耗用高氯酸溶液体积, ml;

t ——测定过程中高氯酸溶液的温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_s ——标定高氯酸溶液时的温度, $^{\circ}\text{C}$;

C ——高氯酸溶液的浓度 (通常为 0.1mol/L)。

注: 因高氯酸溶液膨胀系数大 ($1.07 \times 10^{-7} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), 相当于每摄氏度使体积变化 0.1% , 测试如在控制温度的试验室操作, 可以避免使用校正因子。

6) 试验报告

报告应包括以下内容:

- ① 环氧树脂的规格、批号、生产厂家等;
- ② 试验室的温度及相对湿度;
- ③ 树脂的环氧当量;
- ④ 试验日期及试验人员。

5 挥发分的测定

1) 适用范围

适用于环氧树脂挥发分的测定。

2) 仪器设备

- ① 平底盘: 直径 75mm ; 材质为玻璃、马口铁或铝。
- ② 恒温烘箱。
- ③ 玻璃干燥器。

④ 天平：称量 100g，感量为 1mg。

3) 试验步骤

① 将烘箱调到 $110^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，把平底盘放入烘箱。3h 后，从烘箱中取出，放入干燥器内，冷却到室温称量，准确到 1mg。

② 把 $2\text{g} \pm 0.2\text{g}$ 待测环氧树脂样品放入平底盘中称量，准确到 1mg。

③ 将盛有试样的平底盘放入 $110^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 烘箱中，样品要均匀地布满整个盘子的底部，3h 后从烘箱中取出，放入干燥器内冷却到室温后称量，准确到 1mg。

④ 对同一个样品，至少做两个测定。

4) 试验结果

挥发分按式 (4.2.1-4) 计算：

$$V = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (4.2.1-4)$$

式中：

V ——挥发分，%；

m_1 ——加热前试样的质量，g；

m_2 ——加热后试样的质量，g。

同一批样品取三次测值的平均值，舍去大于平均值 15% 的测值，再取剩余测值的平均值作为试验结果，结果取一位小数。若最后计算结果的测值不足两小时应重作试验。

5) 试验报告

报告应包括以下内容：

① 环氧树脂的规格、批号、生产厂家等；

② 试验室的温度及相对湿度；

③ 环氧树脂的挥发分含量；

④ 试验日期及试验人员。

4.2.2 固化剂性能测定

1 胺值测定

1) 适用范围

适用于环氧固化剂胺值的测定。

2) 试剂

① 浓盐酸：相对密度 1.19。

② 无水乙醇：分析纯。

③ 纯水：电导率 $\leq 5\mu\text{S}$ 。

④ 溴酚兰指示剂。

3) 仪器设备

① 锥形瓶：250ml。

② 滴定管：50ml，分度值 0.1ml。

③ 分析天平：称量 200g，感量 0.1mg。

④ 量筒：100ml，分度值 2ml。

4) 试验步骤

① 配制溴酚兰指示剂：称取 0.025g 溴酚兰粉末溶于 5ml 乙醇和 20ml 纯水。

② 配制盐酸乙醇标准溶液： $C(\text{HCl})=0.1\text{mol/L}$ ，取 10ml 浓盐酸于 1L 的容量瓶中，用乙醇稀释至刻度线，摇匀。然后按 4.2.1 的 4 中高氯酸溶液的标定方法执行，用无水乙醇溶剂和溴酚兰指示剂。

③ 称取 0.500g~1.500g（精确至 0.2mg）固化剂试样于 250ml 锥形瓶中，加入 20ml 无水乙醇充分溶解，必要时可缓缓加热溶解。再加入 3 滴溴酚兰指示剂，然后以盐酸乙醇标准溶液滴定，试样溶液从蓝色变成黄色为终点。

5) 试验结果

固化剂的胺值按式（4.2.2-1）计算：

$$X = \frac{CV \times 56.1}{m} \times \text{mgKOH/g} \quad (4.2.2-1)$$

式中:

C ——盐酸乙醇标准溶液当量浓度, mol/L;

V ——滴定耗用盐酸标准溶液体积数, ml;

m ——试样质量, g;

56.1——氢氧化钾的分子量。

6) 试验报告

报告应包括以下内容:

- ① 固化剂的品种、规格、型号、生产厂家等;
- ② 试验室的温度及相对湿度;
- ③ 固化剂的胺值;
- ④ 试验日期及试验人员。

4.2.3 增塑剂性能测定

1 环氧当量的测定

按 4.2.1 的 4 中有关规定执行。

2 黏度的测定

按 4.2.1 的 2 中有关规定执行。

4.2.4 稀释剂性能测定

1 黏度的测定

按 4.2.1 的 2 中有关规定执行。其中剪切速率可选择 1.00、2.50、6.30、16.0、40.0、100、250s⁻¹ 以及它们的 10 倍或 100 倍。

4.2.5 填料性能测定

1 填料含水率测定

1) 仪器设备

- ① 烘箱或电炉;
- ② 天平: 称量 1000g, 感量 1g;
- ③ 金属制盛砂盘、毛刷等。

2) 试验步骤

- ① 称取试样 500g (G_1) 两份。按下述步骤分别进行测试。
- ② 将试样装入盘中, 放入 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的烘箱中 (或电炉上) 烘干至恒重;
- ③ 取出试样, 冷却后称取试样质量 (G_2)。

3) 试验结果

填料的含水率按式 (4.2.5-1) 计算:

$$m = [(G_1 - G_2) / G_2] \times 100\%$$

式中:

m ——填料含水率, %;

G_1 ——烘干前填料的质量, g;

G_2 ——烘干后填料的质量, g。

以两次测值的算术平均值作为试验结果, 如两次测值相差大于 0.5%, 应重做试验。

2 填料颗粒级配测定

1) 仪器设备

- ① 筛: 孔径为 1.25、0.63、0.315、0.16mm 的方孔筛一套, 以及底盘和盖各一个;
- ② 天平: 称重 1kg, 感量 1g;
- ③ 烘箱: 能使温度控制在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- ④ 盛砂盘、毛刷等;
- ⑤ 摇筛机。

2) 试验步骤

- ① 称取试样 500g, 置于按筛孔大小顺序排列的套筛的最上一号筛 (即 1.25mm 筛) 上, 加盖。将整套筛安装在摇筛机上, 摇 10min, 取下套筛, 按筛孔大小顺序在洁净的盘上逐个用手筛, 筛至每分钟通过量不超过试样总量的 0.1% 时为止。通过的颗粒并入下一号筛中, 并和下一号筛中的试样

一起过筛。顺序进行，直至各号筛全部筛完为止。

- ② 当试样在各号筛上的筛余量超过 200g 时，应将该筛余试样分成两份，再进行筛分，并以两次筛余量之和作为该号的筛余量。

注：无摇筛机时，可以直接用手筛。手筛时，将装有试样的整套筛放在试样台上，右手按住顶盖，左手扶住侧面，将套筛一侧抬起（倾斜度约 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ）。使筛底和台面呈点接触，并按顺时针方向滚动筛 3min，然后再逐个过筛至达到要求为止。

- ③ 筛完后，将各筛上剩余的试样用毛刷轻轻刷净，称出每号筛上的筛余量。

3) 试验结果

- ① 计算分计筛余百分率。各号筛上的筛余量除以试样总量的百分率（精确至 0.1%）；
- ② 计算累计筛余百分率。该号筛上的分计筛余百分率与大于该号筛的各号筛上的分计筛余百分率之总和。
- ③ 以两次测值的算术平均值作为试验结果，如果各筛筛余量和底盘粉状试样质量的总和与原试样质量相差超过试样量的 1%，应重做试验。

5 环氧树脂砂浆性能试验

5.1 拌和物的制备方法

5.1.1 适用范围

适用于环氧树脂砂浆拌和物的制备。

5.1.2 拌料要求

1 试验材料或各种配料拌和前应在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 存放至少 24h。

2 宜用环氧砂浆供应商提供的按比例包装的半成品，直接拌和。采用散料拌和时各组分的重量均不得小于 10g，称量应准确到 $\pm 0.05\text{g}$ 。

3 按供应商规定的顺序加料并拌和至外观颜色均匀为止(或按供应商规定的搅拌时间)，避免搅拌时间过长引发的反应放热。

4 拌料时应穿工作服，戴橡胶(或塑料)手套，避免化学物质接触皮肤。如果粘到皮肤上，应立即用干布或纸巾擦掉，接触部位应立即用肥皂水清洗，切记不要用溶剂擦洗，溶剂可使有害物质渗入皮肤。

5.1.3 仪器设备

1 台秤：称量 5kg，感量 1g。

2 天平：称量 500g，感量 0.01g。

3 搅拌设备：从小型搅拌机到简单的使用低速马达的搅拌机，所有搅拌设备均应清洗干净和保持干燥。

4 拌料锅：金属制圆底锅，内表面光滑平整，便于材料清理，直径 400mm，深 100mm，见图 5.1.3。

5 拌料铲：圆铲，由薄钢板制成， $\phi 100\text{mm}$ ，见图 5.1.3。

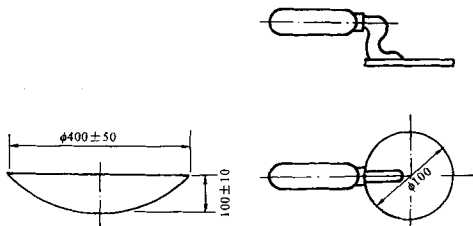


图 5.1.3 砂浆拌料锅及拌料铲

5.1.4 操作步骤

1 机械拌料：分别把称量过的液体料和填料拌匀，依次倒入搅拌锅内，开动搅拌机缓慢均匀地拌和，至颜色均匀且拌和物中无结块为止。

2 人工拌料：把称量过的液料（包括树脂、固化剂等）倒入拌料容器，搅拌均匀，然后把准备好的填料倒入容器，慢慢搅拌至颜色均匀且拌和物中无结块。

3 材料的计量：以重量法为好，也可按体积法计算，按供应商规定的配比计算，如有变动，应征得供应商同意。

4 拌好的砂浆应尽快从拌和锅内倒出，并摊开成薄层，以利于散热延长适用期。在常温下树脂砂浆从拌和到固化所需的时间，供应商应给出详细说明。

5 不用料时各种材料的容器应该封盖严密。

5.1.5 试验报告

报告应包括以下内容：

- 1 试验用材料的名称、批号、供应商等；
- 2 拌制的日期；
- 3 材料的配方和加料顺序；
- 4 拌料操作时间（从环氧树脂加入固化剂时算起到结束拌

料的时间);

- 5 拌制砂浆的数量和拌合方式;
- 6 拌料时环境温度;
- 7 其他。

5.2 试件成型方法

5.2.1 适用范围

适用于环氧树脂砂浆试件的成型。

5.2.2 仪器设备

1 试模

- 1) 总体要求: 金属制的不受成型试件所用材料的影响, 有足够刚度, 不会变形, 可装配和拆开, 有利于成型试件的取出, 不使其损坏, 试模各部分装配严密, 不渗漏。
- 2) 试模精度要求: 边长误差不得超过 $1/150$, 角度误差不得超过 0.5° , 平整度误差不得超过边长的 0.05% 。
- 3) 表面质量: 每个内表面的 k_a 值 (光洁度) 应是 $3.2\mu\text{m}$ 。

2 捣棒: 有一正方形端面, 尺寸为 $12\text{mm}\times 12\text{mm}$ 。

3 插刀: 刀刃平直, 长度足够触到试模底板。

5.2.3 试件成型要求

1 根据成型试件的需要拌和足够数量的砂浆。拌和方法按 5.1 的规定执行。

2 要从同一批材料中制备全部样品, 记录有关的资料放在试验报告中。

5.2.4 试验步骤

1 成型前应检查试模安装是否牢固, 模板之间的接缝应该密封, 以防树脂材料流出, 多余的密封材料应刮掉。试模应彻底清理干净, 均匀地涂一层脱模剂, 如硅油、石蜡、凡士林等。

2 砂浆拌好后立即成型, 分两次装料, 每次都插刀或捣

棒插捣密实，砂浆料顶部应稍高于试模上表面。最后刮去高出的材料，使之与试模表面齐平，在砂浆硬化之前抹平表面并进行编号。成型时如拌和物不能自由流动，可用压实工具把砂浆挤入试模，使之填充密实、无孔洞。

3 将试件放置在温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $50\% \pm 5\%$ 的空气中养护 7 天（特别规定除外），固化之后在养护期间任何时候都可脱模。

4 从试模中取出试件时要小心，不要损坏，如试件在测试前受到损坏，应舍弃这个样品，用一个完好无损的样品代替。试件拆模后测试之前，要称量、记录质量。试件质量小于（或等于）1kg 时读数应精确到 0.1g；1kg~2kg，精确到 1g；大于 2kg 精确到 5g。

5 养护及龄期：试件在温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $50\% \pm 5\%$ 的空气中养护，以单层形式在水平表面放置，养护过程中避免日晒、吹风、浸水及机械破坏。龄期从树脂和固化剂混合开始计时，计时单位为 0.5h。

5.2.5 试验报告

报告应包括以下内容：

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等；
- 2 试验环境的温度；
- 3 成型试件的种类、数量、编号；
- 4 试验日期及试验人员。

5.3 环氧砂浆稠度试验方法

5.3.1 适用范围

适用于环氧树脂砂浆稠度的测定。

5.3.2 仪器设备

1 砂浆稠度测定仪的唧筒：唧筒外套是用圆铁镦成的，内径为 29.7mm，深为 29.0mm，容积为 20.0ml，唧筒塞恰好放入

唧筒外套内，见图 5.3.2。

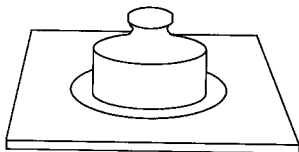


图 5.3.2 砂浆稠度测定仪

2 玻璃板：长、宽均为 200mm，厚为 6mm，共两块，其中一块板上刻有直径为 50mm~160mm 的同心圆圈。

3 砝码：质量 2kg。

4 漆刀。

5 秒表。

5.3.3 试验步骤

1 按 5.1 的规定拌制砂浆。

2 将拌制好的砂浆装满唧筒，然后用唧筒塞将试样压出唧筒外套。

3 将圆柱状试样用漆刀切下，放在玻璃板中央，再将另一块玻璃板轻轻平放在试样上，上面再压上砝码（砝码对准同心圆的圆心）。

4 开动秒表，经 1min 后，取下砝码观察玻璃板上试样扩展在圆圈上的刻度，记录其直径，即为试验结果。（如试样呈椭圆形，则取其长、短轴的平均数。）试验在温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $50\% \pm 5\%$ 的条件下进行。

5.3.4 试验报告

报告应包括以下内容：

1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等；

2 试样名称、编号；

- 3 测试时环境温度;
- 4 试样扩展直径读数 (mm);
- 5 试验样品稠度 (mm);
- 6 试验日期和试验人员。

5.4 环氧砂浆适用期、固化时间的试验方法

5.4.1 适用范围

适用于环氧树脂砂浆的适用期、固化时间和适用强度时间的测试。

5.4.2 仪器设备

- 1 称量设备: 能称原料或试件质量, 准确度为 $\pm 0.3\%$ 。
- 2 拌料设备
 - 1) 搅拌锅: 由薄钢板制成的球形钵, 直径 400mm, 深 100mm, 见图 5.1.3。
 - 2) 拌料铲: 由薄钢板制成, $\phi 100\text{mm}$, 见图 5.1.3。
- 3 砖块: 清洁、干燥、平整、新的建筑用砖。
- 4 标准稠度测定仪 (维卡仪): 见图 5.4.2-1 和 5.4.2-2。标尺的量程为 0mm~75mm, 滑动部分的总质量为 $300\text{g} \pm 2\text{g}$ 。
- 5 试针: 测初凝时间, 试针直径 $1.1\text{mm} \pm 0.04\text{mm}$, 长 50mm 必须用硬钢丝制成, 不得弯曲。

5.4.3 试验步骤

- 1 所有材料试验前在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 存放至少 24h。如需其他温度可协商另定, 要在报告中注明。
- 2 制备 1000g 砂浆样品, 按供应商提出的比例称量填料和液体材料, 把液体材料倒入锅中拌匀, 再依次加入填料, 用拌料铲充分搅拌到颜色均匀为止。所有操作应在 3min 内完成, 拌和物外观均匀之后再继续拌 1min。然后把拌和好的砂浆摊在拌和锅的整个表面, 使厚度均匀, 用此砂浆进行测试。

- 3 适用期的测定: 每隔 5min, 从拌和锅中取出 25g 树脂砂

浆，用抹刀涂在清洁、干燥、冷冻过的纸上，直到树脂砂浆在抹刀后面打卷。每次取样时取样位置应距搅拌锅壁上缘至少 50mm，用过的砂浆材料不得再放回锅内。最后记录砂浆未出现打卷的最长时间，作为适用期，以小时计。

4 初凝时间的测定：砂浆拌好之后，立即取出一定数量的砂浆，涂在两块清洁、干燥的建筑用砖的侧面，形成 6mm 厚的接合层。砖要放在冷冻过的纸上，把涂砂浆的侧面相对向里推，形成 6mm 宽的缝。当把两块砖相对推动时要小心，避免形成空洞，在缝的两端各插一个 $\phi 6\text{mm}$ 的圆棒，可以准确确定接合层的厚度，用抹刀清除缝上多余的材料。每隔 0.5h~1h，用抹刀的尖头测缝内砂浆硬化情况，直到抹刀插入困难为止。再用维卡仪继续测试，将指针插入接缝粘合层中，每隔 20min~30min 测一次，直到 10min 之内指针下降距离小于 1mm 为止，作为初凝时间，单位以 h 表示。

5 适用强度时间的测定：在每个时间间隔至少要测三个拉伸试件，整个试验过程通常需要 12 个或更多的试件。从拌料开始（即环氧树脂和固化剂混合算起），经过 24h 测第一次拉伸强度，以后每隔 48h 测一次，直至达到供应商提供的拉伸强度的 90% 为止。达到适用强度的时间以天计。

5.4.4 试验报告

报告应包括以下内容：

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等；
- 2 砂浆的配合比；
- 3 试验时环境温度；
- 4 砂浆适用期（以小时计）；
- 5 砂浆初凝时间（初始固化时间以小时计）；
- 6 适用强度时间（以天计）；
- 7 试验样品的数量；

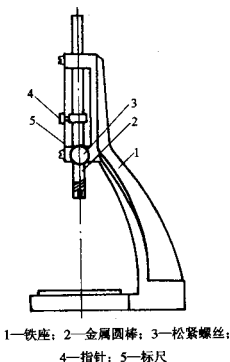


图 5.4.2-1 标准稠度测定仪

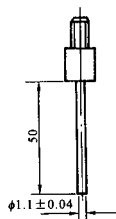


图 5.4.2-2 试针

- 8 与标准规定的变更；
- 9 试验日期及试验人员。

5.5 环氧砂浆表观密度试验方法

5.5.1 适用范围

适用于测定未固化和已固化的环氧树脂砂浆的表观密度，所得结果可用来评价产品均匀性和鉴别特定产品。用已固化物和未固化物之间密度差以确定产品中溶剂、增塑剂等损失。

5.5.2 仪器设备

1 密度天平：分析天平，称量 200g，感量 0.1mg，并装备有能在天平下面称量的挂钩或多股绳做的吊篮、托盘，以便于进行密度的测定。

- 2 拌料锅：见 5.1.3 的有关规定。
- 3 抹刀：长度为 100mm~125mm。

4 试模：尺寸为 40mm×40mm×40mm 的立方体，应装配严密，防止渗漏。宜做成三联式试模，其侧壁有足够刚度，避免变形，精度要求应符合 5.2.2 的规定。

5.5.3 试验步骤

1 试模的校准：所有试模在使用之前应按下列方法校正体积：每个试模都要称重，准确至 0.01g，然后再小心注入温度为 23℃±0.5℃的蒸馏水，水面与试模上表面相平。按式 (5.5.3-1) 计算每个试模的体积，精确到 0.01cm³。

$$V = \frac{m_b - m_a}{0.9975} \quad (5.5.3-1)$$

式中：

V ——试模体积，cm³；

m_a ——空试模质量，g；

m_b ——装满水后试模的质量，g；

0.9975——23℃时水的密度，g/cm³。

2 拌合与成型：按 5.1 和 5.2 的规定执行。

3 试件数量：同一批砂浆拌合物要制备 4 个试件。

4 试件的养护

1) 测定未固化砂浆的密度时，不需要养护。

2) 测定固化砂浆密度的试件需要养护，试件在 23℃±2℃，相对湿度 50%±5%的条件下养护 7 天（包括在试模中固化的时间在内）。

5 未固化砂浆密度的测试：试件成型之后立即称重，并按式 (5.5.3-2) 计算未固化砂浆的密度：

$$\rho_u = \frac{m_m - m_a}{V} \quad (5.5.3-2)$$

式中：

ρ_u ——未固化砂浆表观密度，g/cm³；

m_m ——试模和砂浆的总质量，g；

m_s ——试模质量, g;

V ——试模容积, cm^3 。

6 固化砂浆密度的测试

1) 固化砂浆的称量: 称量固化砂浆的质量, 取 4 位有效数字。

2) 固化砂浆试件水中质量的测定: 把金属丝连到天平下面或托盘的钩上, 使固定试件用的吊篮或吊圈完全浸没于水中, 其在水中的深度要与将来放置试件的深度相同。用 $23^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的蒸馏水, 校准天平。把试件放在吊篮或吊圈中, 用一根很细的金属丝轻轻除去试件表面吸附的气泡, 称量到 4 位有效数字, 按式 (5.5.3-3) 计算试件的密度:

$$\rho_c = \frac{0.9975S}{S - I} \quad (5.5.3-3)$$

式中:

ρ_c ——固化物表观密度, g/cm^3 ;

S ——试样在空气中的质量, g;

I ——试样浸没在水中的质量, g。

如果试验的试件破坏, 或最后计算密度值与同批试件的平均值相差大于 2% 时, 在计算平均密度时舍弃此结果; 如果在剔除不合格试件后剩下的计算平均密度的试件不足三个, 整个试验应重做。

5.5.4 试验报告

报告应包括以下内容:

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等;
- 2 树脂砂浆的配合比;
- 3 未固化砂浆的表观密度;
- 4 固化砂浆的表观密度 (单个的和平均的);
- 5 试验的温度;
- 6 试验日期及试验人员。

5.6 环氧砂浆放热温度峰的测定和分类

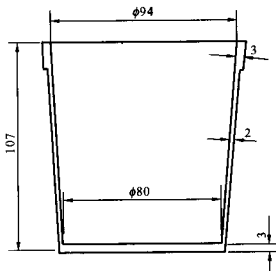
5.6.1 适用范围

适用于测试环氧砂浆放热峰值的温度。

5.6.2 仪器设备

1 温度测量装置：在本试验中两类温度测量装置可以使用：温度计和热电偶，宜用热电偶，其精确度应在刻度范围的 $\pm 1\%$ 之内。温度计分辨率 1°C 。

2 塑料烧杯：容积为 600ml ，共两个。壁和底厚均为 2.5mm 左右；用合适的塑料如聚丙烯或聚乙烯制成，需根据预期的温度要求而定。烧杯尺寸见图 5.6.2。



注：烧杯的尺寸可以与图中所给尺寸不同，但杯口应稍大于杯底且底部内径尺寸应在 $78\text{mm}\sim 95\text{mm}$ 范围内。

图 5.6.2 测放热温度峰的塑料烧杯

3 聚苯乙烯泡沫塑料板，最小厚度 25mm 。

5.6.3 试验步骤

1 在 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的温度下进行试验（如有特殊要求另定温度），在整个试验中，温度应保持恒定，变化范围在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之内。

2 试件的制备：按本规程 5.1 的规定拌制环氧树脂砂浆，要求砂浆的体积至少为 500ml，把拌和好的砂浆放入两个空的烧杯中，浇筑和捣实之后两个烧杯内材料的厚度应不相同，要求如下：

1) 一个烧杯中砂浆厚度是 $20\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ；

2) 另一个烧杯中砂浆厚度是 $50\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。

3 从环氧树脂与固化剂混合开始到在烧杯中捣实整个操作要在 10min 之内完成。将装料的烧杯称重，精确至 1g，测试并记录试样的质量。不要在试验的烧杯中进一步拌料或搅动，将烧杯放在聚苯乙烯板上，放在不通风的地方。

4 测每个烧杯内砂浆的温度：把热电偶或温度计的端头插入砂浆中央半径 5mm 的范围内，插入深度为砂浆层深度的一半 $\pm 1\text{mm}$ 。

5 记录温度，或通过认真的监测以便确认所达到的最高温度，精确到 1°C ，继续测试，直至温度明显下降，表明已过了最高温度。

5.6.4 试验结果

以 5.6.3 中记录的最高温度作为试验结果。按照附录 A 的说明确定放热类别。

5.6.5 试验报告

报告应包括以下内容：

1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等；

2 测试日期及试验人员；

3 试样制备和测试的环境温度；

4 每个塑料杯的质量，每一份试验样品的质量；

5 每个塑料杯中材料的最高温度，精确至 1°C ，即放热峰温度；

6 按附录 A 规定，试验后树脂复合物的类别。

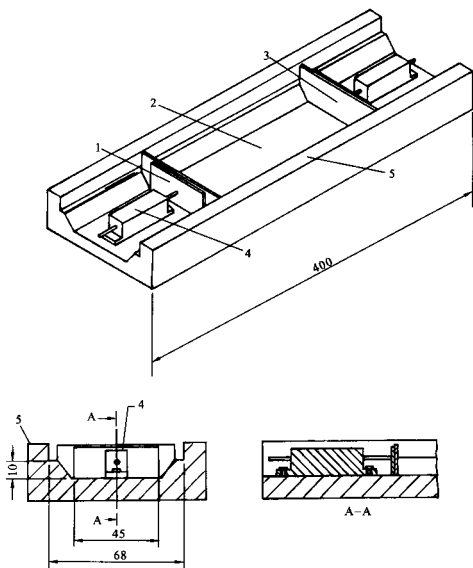
5.7 环氧砂浆线性收缩的测试方法

5.7.1 适用范围

适用于测定环氧砂浆从凝胶状态开始的线性收缩。

5.7.2 仪器设备

1 试模：长 400mm 的钢制槽，放置在一个绝热的底座上，尺寸见图 5.7.2。槽的尺寸偏差按 5.2.3 中试模的规定执行，两端安装活动模板其大小要适合钢槽的断面尺寸。容许有 0.1mm 的间隙，模板外侧为滑动末端，滑动末端如图 5.7.2 所示。



1—固定于传感器主轴的滑动末端；2—钢槽；3—连在滑动末端的垫板；

4—位移传感器；5—绝热底座

图 5.7.2 线性收缩槽式钢模

槽内壁应涂以聚四氟乙烯 (PTFE)。模板的表面经过处理能与砂浆粘连在一起, 对某些砂浆来说, 可能需要连接翅片或机械连接。滑动末端的外表面连有位移传感器的探头, 在模型下侧内表面中央连有热电偶。

2 线性位移传感器: 在至少 5mm 的范围内, 测量精度能达到 0.01mm, 可把信号输出, 并自动记录。

注: 这些传感器应是线性变化的, 在温度和湿度变化时, 应保持稳定, 使传感器的探头移动所需的力应不大于 8g (0.078kN)。

3 高、低温养护箱: 箱的大小应使试模能水平放置, 而且空气能在试模周围循环流动, 箱内温度在 $-25^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ 范围内, 温度变幅保持在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$, 用热电偶记录箱内空气的温度。

注: 放置养护箱的房间, 相对湿度不低于 50%。

4 热电偶: 连接一个信号调节元件, 装有自动冷端补偿器, 能给出温度变化的线性输出, 可自动监测。

5.7.3 试验步骤

1 试验材料的制备: 按 5.1 的规定拌制砂浆。

2 试样: 在每个规定的试验温度下, 每组试验至少三个试样。如果设备条件允许, 所有试样可以连续测试, 或者在相同的时间内一起测试。

3 试模: 先在试模内喷一薄层硅酮类气溶胶, 然后把试模和砂浆放在养护箱内 (规定温度变化幅度不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$)。用热电偶监测箱内温度, 使养护箱内的热电偶温度与试模上的热电偶温度差别在 1°C 之内, 浇筑砂浆时把活动模板定准位置。

4 成型: 浇模之前, 在活动模板与试模钢槽连接的地方放少量硅酮蜡 (或其他适当的密封材料), 以防材料渗漏。浇模并捣实, 在试模内形成 20mm 厚的砂浆层, 抹平砂浆表面, 水平放置在养护箱内, 尽量减少养护箱门敞开的的时间。成型一结束, 立即松开活动模板及滑动末端。养护箱的门一关闭, 立刻读取传感器起始读数和热电偶读数。

5 测试：每隔 5min 记录一次滑动末端位移读数和试模温度，直到砂浆完全凝固后 1h，此后的 23h 内，每隔 15min 记录一次读数。在接下来的 24h 内，每隔 1h 记录一次读数。试验全部完成之后，测试和记录硬化试件的长度 L_s ，在常温下测试传感器底部中心线之间长度 L_m ，精确到 0.1mm。

注：由于放热反应，温度将升到最高值，钢槽会膨胀，这样就加大了收缩程度，这个膨胀因素是可以校正的。但往往并不需要，因为钢槽回到环境温度时，钢槽的最大收缩已经出现了。

5.7.4 试验结果

1 每个试件的长度变化 ΔL_s ，按式 (5.7.4-1) 计算：

$$\Delta L_s = \delta_1 + \delta_2 - \delta_3 \quad (5.7.4-1)$$

式中：

δ_1 、 δ_2 ——传感器读数，mm，（正面对着试件中心）；

δ_3 ——试模的热膨胀值。

按式 (5.7.4-2) 计算：

$$\delta_3 = L_m \Delta T \alpha_s \quad (5.7.4-2)$$

式中：

L_m ——试模长度，mm；

ΔT ——试模温度变化，从环境温度到规定的温度；

α_s ——钢的热膨胀系数， $11 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

2 收缩变形 s_m ，以百分率表示，按式 (5.7.4-3) 计算：

$$s_m = \frac{\Delta L_s}{L_s} \times 100\% \quad (5.7.4-3)$$

式中：

L_s ——环境温度下硬化砂浆试件的有效长度，mm。

5.7.5 试验报告

报告应包括以下内容：

1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等。

2 各组分预先放置的温度和时间，操作中对规定条件的

变更。

- 3 砂浆试件成型和测试的日期和地点。
- 4 成型试件的环境温度。
- 5 测试温度（养护箱温度）。
- 6 仪器、设备型号、规格及有关参数。
- 7 试样有效长度，精确到毫米。
- 8 测试中不同时间所对应的收缩值的列表，是否采用了温度校正，以及这些结果的对数曲线。
- 9 计算最大收缩变形值，每个试件从完成拌料至达到此值所用的时间，及各试件的平均值。
- 10 各组分从拌料完毕到开始凝胶所需的时间。
- 11 试验日期及试验人员。

5.8 环氧砂浆涂层与混凝土之间热相容性试验

5.8.1 适用范围

以环氧砂浆作混凝土表面涂层，在温度变化时两者之间的界面是否发生脱离，来判断环氧树脂材料与混凝土的相容性。

5.8.2 仪器设备

1 制冷装置：具有合适的空间放置试件，能够在 18h 内使试件的温度降低到 -25°C ，并能维持恒温。

2 试模：用木板或钢板固定在混凝土块上端，围成 $300\text{mm}\times 300\text{mm}\times 75\text{mm}$ 的方框，完全封闭混凝土的顶部，并在它上面高出 12.7mm，以容纳环氧树脂砂浆。

5.8.3 试验步骤

1 混凝土块的制备：按 DL/T 5150 的规定，制备、养护引气混凝土试块，在空气中干燥至少 14d。混凝土强度等级 C20，抗冻等级 F200。

2 混凝土表面的准备：在浇注环氧砂浆之前，喷砂或用钢丝刷把混凝土试块表面处理干净，然后用棕毛刷清除所有松动的

材料。

3 把试件边框安装在混凝土块上，用适当的脱模剂涂在边框内表面。

4 拌制环氧砂浆：按 5.1 的规定拌制足以覆盖两个混凝土试块的环氧砂浆。

5 成型试件：先在混凝土块的表面涂刷一薄层所推荐的底涂料（基液），在混凝土块顶部的边框内浇注环氧砂浆，24h 后拆去边框，使环氧砂浆固化 6d，温度保持在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

6 环氧砂浆养护至龄期，将两块试件放在温度为 $-20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的冷冻装置内 24h，然后取出放在温度为 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的室内 24h，作为一个循环，共进行 5 个循环。

5.8.4 试验结果

环氧砂浆层从混凝土试块上脱开或接近粘接界面的混凝土出现水平裂缝都构成试件破坏，如果两个试块中有一个破坏，即认为所试验的环氧树脂材料未通过试验。

5.8.5 试验报告

报告应包括以下内容：

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等；
- 2 试验室的温度条件；
- 3 记录两个试件经过每个循环后的状况及开始破坏的循环数；
- 4 五个循环后试件状况的描述；
- 5 说明试验的砂浆是否通过该项试验；
- 6 试验日期及试验人员。

5.9 环氧砂浆抗压强度测试方法

5.9.1 适用范围

适用于环氧砂浆抗压强度的测试。

5.9.2 仪器设备

- 1 压力机或万能材料试验机：试件的预计破坏荷载应在试

验机全量程的 20%~80%之间, 试验机应定期(一年)校正, 荷载的示值精度为 $\pm 1.0\%$ 。

2 试模: 边长为 40mm 的立方体试模, 试模的精度要求按 5.2.2 的规定。

3 台秤: 称量 1kg, 精度为 0.1g。

5.9.3 试验步骤

1 试件的制备: 砂浆的拌和及试件的成型按 5.1 和 5.2 的规定执行。

2 每一组试验三块试件, 试件在测试之前要称其质量。

3 试件应在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境中养护至龄期进行测试。测试龄期为 1、3、7 和 28d。到规定龄期时应立即测试, 测试前要把试件取出, 擦净表面, 检查表面, 如有严重的缺陷, 应予以淘汰。各测试龄期允许的时间误差如下:

试验龄期	允许误差
1d	$\pm 1/2\text{h}$
3d	$\pm 1\text{h}$
7d	$\pm 3\text{h}$
28d	$\pm 12\text{h}$

4 试验温度为 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 有特殊要求可另作规定, 测试前保持试件在该温度下 24h。

5 擦拭干净试验机的承压表面及任何辅助的承压垫板。清理干净立方体试件与承压板相接触的两个表面上的任何杂质, 把试件放在试验机下压板上, 使试验荷载加到立方体试件相对的两个浇注面上, 即非顶面和底面, 仔细对正中心位置。在试验机的承压板、辅助垫板和立方体试件界面之间不要使用任何填充物。

6 开启试验机连续均匀加荷, 不要有振动, 加荷速度控制在每分钟 $45\text{N}/\text{mm}^2$ 内, 记录试件破坏时的最大荷载。

注: 应注意到树脂基的材料, 在连续加荷时有可能像混凝土那样试件整体破坏, 然而有些树脂材料却不一定有看得见或听得见的破坏

迹象。这可以理解为，当持续稳定地施加作用力时，并不引起相应的荷载的增加，这时试件的变形可能在增加而施加的荷载保持不变或下降，再进一步施加作用力可能导致更大的荷载。在这种情况下，在试件出现明显的变形而相应的荷载并没有增加时，应该认为试件已经破坏了。

5.9.4 试验结果

抗压强度按式（5.9.4）计算：

$$f_{EP} = \frac{P}{A} \quad (5.9.4)$$

式中：

f_{EP} ——抗压强度，MPa；

P ——最大破坏荷载，N；

A ——试件承压面积，mm²。

测每个试件的抗压强度，结果取三个试件的平均值，准确到0.1MPa。大于平均值15%的测值应舍去，以剩余两个测值的平均值作为结果。若有效测值少于两个时，本组试验视为无效，应重做。

5.9.5 试验报告

报告应包括以下内容：

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等；
- 2 试件制备的日期和地点；
- 3 试件制备及测试时的室温、养护方法；
- 4 测试日期及试验人员；
- 5 试件的标准尺寸、每块试件的重量；
- 6 所用试验机型号；
- 7 每块试件的抗压强度及算术平均值；
- 8 试件破坏形式，如是否为脆性破坏、非对称破坏或塑性变形；
- 9 其他。

5.10 环氧砂浆抗拉强度测试方法

5.10.1 适用范围

适用于环氧砂浆“8”字形试件拉伸强度的测试。

5.10.2 仪器设备

1 拉力试验机：任何形式的试验机只要能提供所需荷载和加荷速度，经校核有 1.0% 的准确度，能施加拉力并保持 $1\text{mm/min} \pm 0.5\text{mm/min}$ 的加荷速度，能连续指示荷载并记录最大破坏荷载。试验机应定期标定，试验机应配有对称夹具，能夹住试件并施加拉伸荷载，见图 5.10.2-1。

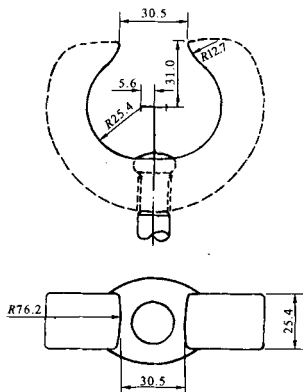


图 5.10.2-1 “8”字形夹具

2 “8”字形试模：腰部内表面之间宽度为 $25\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$ ；试模腰部两边最大厚度 25mm，允许变动范围 $+0.10\text{mm}$ ， -0.05mm ，“8”字形试模的具体尺寸见图 5.10.2-2。

3 称量设备：能称量材料或试件，准确度为 $\pm 0.3\%$ 。

5.10.3 试验步骤

1 试样制备：砂浆的拌和及试件的成型按 5.1 和 5.2 的规定执行。

2 试件数目：每一批试验至少 6 个试件。

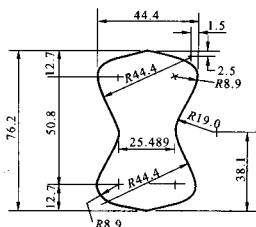


图 5.10.2-2 “8”字形试模

3 测试温度：在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的温度下进行测试，有特殊要求可另作规定，测试前，保持试件在该温度下 24h。

4 试件测量和称量：擦净试件，测“8”字形试件中间位置的宽度和厚度以毫米计，精确至 0.02mm 。对每个试件称量其质量准确至 0.1g 。

5 在试验机上放置试件：把试件对称地放入拉伸试验机的夹具的中心位置，其轴向与拉伸方向一致，试件在夹具中的位置不正确，将影响试验结果。

6 开动机器给试件加荷，使夹具以 $1\text{mm/min} \pm 0.5\text{mm/min}$ 的速度分开，直至试件破坏，记录断裂时的荷载值。如果断裂在试件三等分的中间部分之外，计算强度时舍掉这个结果，采用其他测值，在试验报告中要注明此结果。如果最后有效结果少于三个值，此次试验无效。

5.10.4 试验结果

按式 (5.10.4) 计算拉伸强度:

$$f_L = \frac{P}{BD} \quad (5.10.4)$$

式中:

f_L ——试件拉伸强度, MPa;

P ——试件最大荷载, N;

B ——“8”字形试件腰部的宽度, mm;

D ——“8”字形试件腰部的厚度, mm。

取同批材料中至少三个断裂部位有效的试件抗拉强度的平均值, 做为本次试验结果, 精确到 0.1MPa。大于平均值 15% 的测值应舍弃; 若最后有效试件数目少于 2/3, 试验应重作。

5.10.5 试验报告

报告应包括以下内容:

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等;
- 2 试件制备和测试的室温及养护方式;
- 3 试验材料的配合比及样品制备的日期、地点;
- 4 测试日期及试验人员;
- 5 每个试件的质量;
- 6 每个试件腰部平均断面面积;
- 7 每个有效试样的拉伸强度及拉伸强度平均值;
- 8 破坏荷载, 包括因断裂位置而淘汰的试件的破坏荷载。

5.11 环氧砂浆弯曲强度测试方法

5.11.1 适用范围

适用于环氧砂浆试件弯曲强度的测试。

5.11.2 仪器设备

1 试验机: 试验机要适合弯曲试验用, 试件预期的破坏荷载应在试验机量程的 20% 以上的范围内, 能按本试验 5.11.3 的

规定施加荷载。应装配一对钢棒支撑试件，另有两个钢棒施加荷载，四条钢棒的长度应不小于试件宽度，直径为 10mm。放置钢棒时它的轴应垂直于试件，支撑钢棒两轴之间的距离应如下：

- 1) 对于宽度小于 25mm 的试件，轴间距离为 $300\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。
- 2) 对于宽度大于 25mm 的试件，轴间距离为试件宽度的 12 倍 ± 0.04 倍。

加荷的钢棒应放置于试件两个支撑点的三等分点，在两个加荷钢棒上面再加一个钢梁，加荷点在梁的正中间，两个加荷棒轴之间平行度的偏差小于或等于 0.04mm。

2 试模：试模为 $25\text{mm} \times 25\text{mm} \times 320\text{mm}$ 棱柱体，试件的长度和宽度比应为 13:1。试模精度应按 5.2 中有关试模精度的规定执行。

5.11.3 试验步骤

1 试件的制备：砂浆的拌和及试件的成型按 5.1 和 5.2 的规定执行。

2 弯曲强度的测定。

- 1) 试件数目：每一批试验至少要 4 个试件。
- 2) 测试温度：试验在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下进行，有特殊要求可另作规定，测试前保持试件在该温度下 24h。
- 3) 在试验机上放置试件：擦干净钢棒加荷面和试件侧面，清除松动的颗粒和杂质，放好试件，试件的支撑面和加荷面为试件的两浇注侧面。
- 4) 均匀加荷不要有冲击，使试件在 $60\text{s} \pm 30\text{s}$ 内断裂。测定加荷时试件中段的弯曲变形，加荷速度为 $1\text{mm/min} \sim 5\text{mm/min}$ 。记录试件破坏的最大荷载，测量试件断裂处的宽度和厚度值，精确到 0.1mm。如果断裂在支撑点和加荷点之间，不要用这个数据计算弯曲强度，在试验报告中应加以说明，再以同样的加

荷速度重复试验。

5.11.4 试验结果

按式 (5.11.4) 计算弯曲强度 f_w ：

$$f_w = \frac{WL}{BD^2} \quad (5.11.4)$$

式中：

f_w ——弯曲强度，MPa；

W ——试件破坏荷载，N；

L ——加荷点间的距离，mm；

B ——试件断裂处的宽度，mm；

D ——试件断裂处的厚度，mm。

取四个试件弯曲强度的平均值作为试验结果，准确至 0.2MPa。

5.11.5 试验报告

报告应包括以下内容：

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等；
- 2 试样制备和测试的时间地点及测试人员；
- 3 试件制备和测试时的环境条件及养护方法；
- 4 所用试验机型号；
- 5 测试前试件尺寸和断裂后的断面尺寸；
- 6 每个试件的弯曲强度及弯曲强度算术平均值；
- 7 断裂荷载，包括断裂位置不合适而淘汰的试件；
- 8 断裂试件的描述（不包括淘汰的试件）。

5.12 环氧砂浆对水泥砂浆粘接抗拉强度测试方法

5.12.1 适用范围

适用于测定环氧砂浆对水泥砂浆的粘接抗拉强度。

5.12.2 仪器设备

- 1 拉力试验机：按 5.10.2 的有关规定。

2 “8”字形试模：按 5.10.2 的有关规定。

3 天平：能称量材料或试件，准确度为 $\pm 0.3\%$

5.12.3 试验步骤

1 水泥砂浆“8”字形试件的制备：水泥砂浆试件按 28d、抗拉强度大于 4.0MPa 设计，按 DL/T5150 中 7.5. “水泥砂浆抗压强度试验”方法成型。试件标准养护时间不低于 28d。制备粘接试件前取出水泥砂浆试件，在试件长轴线上取中点划一条垂直线，用锯条沿线锯出 1mm 深的沟槽，然后用一平口刀直立于沟槽，用榔头向下击打刀背将试件切开（也可用切砖器在压力机上沿画线压切），以自来水冲洗断面，用钢丝刷刷掉表面松动颗粒，晾干或烘干备用。

2 粘接试件的制备：

1) 环氧砂浆的拌和及试件的成型按 5.1 和 5.2 的规定执行。

2) 将半个“8”字形水泥砂浆块放入涂有脱模剂的“8”字形试模中，涂过基液后将环氧砂浆分两层浇入余下的半个“8”字模内，插捣并抹平表面。一组试验至少 6 个试件。

3) 做环氧浆液粘接试验时，把锯开的两个半块“8”字形试件的断面涂以环氧浆液，断面向上放置几分钟后，再涂一层浆液。然后将两个半块偶合在一起，轻轻挤出多余的浆液，用松紧带固定。再刮去挤出的浆液，将试件长轴方向直立放在平面上，24h 后去掉松紧带，将试件在规定的条件下养护至龄期测试强度。

3 测试温度：试验在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下进行，有特殊要求可另作规定，测试前保持试件在该温度下 24h。

4 试件测量和称量：擦净试件，测“8”字形试件中间位置的宽度和厚度以毫米计，准确至 0.02mm。称量每个试件的质量，准确至 0.1g。

5 在试验机上放置试件，把试件对称地放入拉伸试验机的夹具的中心位置，其轴向与拉伸方向一致，试件在夹具中的位置不正确，将影响试验结果。

6 开动机器给试件加荷，使夹具以 $1\text{mm/min} \pm 0.5\text{mm/min}$ 的速度分开，直至试件破坏，记录断裂荷载值及断裂位置在粘接界面还是水泥砂浆。在试验报告中注明。

5.12.4 试验结果

按式 (5.12.4) 计算粘接抗拉强度：

$$f_{\text{nj}} = \frac{P}{BD} \quad (5.12.4)$$

式中：

f_{nj} ——试件粘接抗拉强度，MPa；

P ——试件断裂荷载，N；

B ——“8”字形试件断面的宽度，mm；

D ——“8”字形试件断面的厚度，mm。

取 6 个试件的平均值做为本次试验结果，精确到 0.1MPa。

单个试件强度值与平均值偏差大于 15% 应舍弃；如最后有效结果少于三个值，此次试验无效。

5.12.5 试验报告

报告应包括以下内容：

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等；
- 2 粘接试件制备及测试的日期和地点、试验人员；
- 3 粘接试件制备及测试环境条件、养护方法；
- 4 水泥砂浆试块的龄期、强度、表面状况及处理方法；
- 5 单个试件粘接抗拉强度及平均强度；
- 6 所有试验机型号，加荷速度；
- 7 试件破坏形式（断在粘接界面或水泥砂浆）。

5.13 环氧砂浆对混凝土粘接抗拉强度测试方法

5.13.1 适用范围

适用于测定环氧砂浆对混凝土的粘接抗拉强度。

5.13.2 仪器设备

- 1 拉力试验机：按 5.10.2 的有关规定。
- 2 试模：使用 DL/T 5150 规定的极限拉伸试模。
- 3 称量设备：能称量材料或试件，准确度为 $\pm 0.3\%$ 。

5.13.3 试验步骤

1 混凝土试件的制备：混凝土按龄期 28d 抗拉强度大于或等于 4.0MPa 设计；按 DL/T 5150 中 4.1 规定的方法成型与养护。标准养护 28d 后取出。在试件长轴线上取中点，划一条垂直线，然后，用切割机将试件切开（切割面须垂直于试件长轴线），并将断面凿毛。用钢丝刷刷掉表面松动颗粒，以自来水冲洗断面，晾干或烘干备用。

2 粘接试件的制备：将制备好的两半块混凝土拉伸试件的断面涂以环氧浆液，向上放置一定时间，然后放进涂过脱模剂的拉伸试模中，两半块混凝土试件的间距为 20mm~30mm。再将按 5.1 和 5.2 的规定拌和的环氧砂浆填进中间的空隙成型，插捣、压实、抹平。标准养护至规定龄期。

3 试验温度：试验在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下进行，有特殊要求可另作规定，测试前保持试件在该温度下 24h。

4 把试件放入拉伸试验机夹具的中心位置，使其轴向与拉伸方向一致。

5 开动机器，以 0.3MPa/min~0.5MPa/min 的速度加荷，直至试件破坏。记录断裂荷载值及断裂位置。

5.13.4 试验结果

按式 (5.13.4) 计算粘接抗拉强度：

$$f_{cj} = P/S \quad (5.13.4)$$

式中:

f_{cj} ——试件粘接抗拉强度, MPa;

P ——试件断裂荷载, N;

S ——试件断面面积, mm^2 。

取 3 个试件的平均值做为本次试验结果, 精确到 0.1MPa。大于平均值 15% 的测值应舍弃; 如有效结果少于两个值, 此次试验无效。

5.13.5 试验报告

报告应包括以下内容:

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等;
- 2 粘接试件制备及测试的日期、地点和试验人员;
- 3 粘接试件制备及测试环境条件、养护方法;
- 4 混凝土的龄期、强度、表面状况及处理方法;
- 5 所用试验机型号, 加荷速度;
- 6 试件破坏形式 (断在粘接界面或混凝土);
- 7 单个试件粘接抗拉强度及平均强度。

5.14 环氧砂浆压缩弹性模量测试方法

5.14.1 适用范围

适用于环氧砂浆压缩弹性模量的测定。

5.14.2 仪器设备

1 压力试验机: 有合适的加荷范围, 使试件破坏的荷载值在其量程范围的上限值的 80% 范围内。试验机应按 5.14.3 中规定的速度加荷, 如采用万能材料试验机进行压力试验, 应能调整压力板的平衡。

2 试模: 为 40mm×40mm×160mm 的棱柱体, 试模精度按 5.2 中有关规定执行。

3 应变计 (或位移计): 共有两个, 标距为 80mm, 最大的灵敏度为 50 个微应变 (一个微应变 $\mu\varepsilon=10^{-6}$), 能连续指示长度

的变化。应变计应定期校正，以确保测值误差不超过 2% 实际应变，在规定的试验速度下基本上没有惯性问题。最好能自动记录荷载或压应力变形的过程曲线。

5.14.3 试验步骤

1 试件的制备：砂浆拌和及试件成型按 5.1 和 5.2 的规定执行。

2 一组试验至少 3 个试件。

3 测试温度：试验在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下进行，有特殊要求可另作规定，测试前保持试件在该温度下 24h。

4 测定试件中心位置的宽度和厚度，准确至 0.1mm，计算断面面积。

5 在试验机上放置试件，在试件相对的两个浇注面上安装两个应变计，其标距长居中布置在试件的轴上。当应变计安装在试件上时，应十分小心，保证不使试件弯曲和损坏，应变计的夹具和试件之间不得有任何滑动。擦干净压力机和辅助压板的承载面，清除试件表面与加压板接触表面的松动颗粒或其他材料，把试件放置在试验机上。放试件时注意加荷要沿试件的轴向，即平行于试件的长轴方向，试件放在试验机的加压板上位置要居中，在试件、加压板和机器压板之间不要放任何衬垫材料。

6 以 $2\text{N/s} \sim 10\text{N/s}$ 的速度均匀加荷到指示 2200 微应变为止，记录荷载 N_1 ，均匀卸荷。然后再加荷，至少两次，保证试件和压板的位置准确，应变计准确地指示读数。如果在 N_1 荷载下单个应变值不在应变平均值的 $\pm 10\%$ 的范围内，应重新把试件对正中心，再重复操作，如果仍不能使差值减少到这个范围内，就不要再进行该样品的试验。

7 在完成上一步之后，把试件重新加荷到 N_2 (N_2 大约为 N_1 的 10%)，把应变计调零，然后在荷载 N_2 和 N_1 之间重复加荷、卸荷，共循环 4 次。测定此时应变的增量，记录 4 次荷载变换下每次增加的变形值。

5.14.4 试验结果

用两次荷载值之差除以 8 个应变值的平均值，表示为每单位断面面积上的压缩应力，按式 (5.14.4) 计算弹性模量。

$$E = \frac{N_1 - N_2}{A\varepsilon} \quad (5.14.4)$$

式中：

E ——试件的弹性模量， kN/mm^2 ；

N_1 和 N_2 ——试件的荷载值， kN ；

ε ——试件的应变值；

A ——试件承压面积， mm^2 。

取同一批材料中三个试件的压缩弹性模量的平均值，精确到 0.1kN/mm^2 (或 GPa)。

5.14.5 试验报告

报告应包括以下内容：

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等。
- 2 试件制备及测试的日期、地点和测试人员。
- 3 试件制备及测试的环境条件、养护方式。
- 4 试验周期中上限荷载 N_1 和下限荷载 N_2 。
- 5 试件中间断面面积。
- 6 所用试验机型号、试验用应变计或位移计的型号。
- 7 平均应变值。
- 8 每个试件的弹性模量及算术平均值。

5.15 环氧砂浆线胀系数测试方法

5.15.1 适用范围

适用于用石英管膨胀计法测定环氧砂浆线膨胀系数。

5.15.2 仪器设备

- 1 石英管膨胀计：石英外管内径 $10\text{mm} \sim 11\text{mm}$ ，石英内、外管之间有约 1mm 的间隙。连接件与恒温浴顶部保持 $40\text{mm} \sim$

50mm 的距离, 连接件和千分表座应由低膨胀合金制成。石英内管和千分表测头对试件端面的压力之和应小于 15kPa。石英管膨胀计示意图 5.15.2。

2 千分表: 量程为 0mm~1mm, 示值误差 $\pm 0.002\text{mm}$, 被固定在试件顶部的支架上, 可调整其位置, 使其能适应试件各种长度。测试装置及石英内管的重量不对试件产生明显的压力, 不能影响试件的伸缩变形。

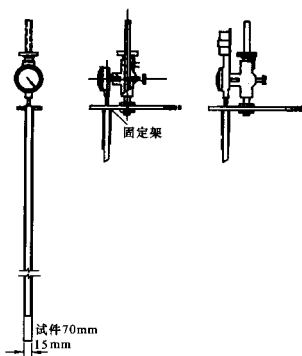


图 5.15.2 石英管膨胀计示意图

3 游标卡尺: 用于测量试件的初始长度, 应符合 GB1214 的要求, 分度值为 0.02mm。

4 恒温浴: 在测定周期内, 恒温浴的试样区温度应均匀, 温度波动在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内, 试件能完全浸没于其中并保持温度均匀。

5 测温仪器: 数字温度表或水银温度计, 分度值为 0.1°C 。

5.15.3 试验试件

1 试件尺寸：试验试件长度应为 70mm，试件断面是 $\phi 7$ mm 圆形。易于放入石英管膨胀计的外管内，不应发生晃动、摩擦和变形。试件横截面的直径或对角线的长度约 10mm。

2 试件制备：可采用机械加工、模塑或浇铸的方法制备试件，采用浇铸的方法时可根据试件的要求加工试模。试模精度要求按 5.2 的规定执行，试件应保持最小的应变和各向异性。

3 切割试件的两端面，使之平整且垂直于试件的长轴，保护试件两端面避免有缺口。

4 试件数目：每一组试验至少 3 个试件。

5.15.4 试验步骤

1 成型试件：按 5.1 和 5.2 的规定拌制环氧砂浆并成型试件。

2 试验条件：试件在温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $50\% \pm 5\%$ 的环境放置 40h。试验应在标准试验室条件（即 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $50\% \pm 5\%$ ）下进行，有特殊要求可另作规定，允许偏差为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 2\%$ 相对湿度。

3 用游标卡尺测量试件原始长度，读数精确到 0.02mm。

4 把试件装入石英管膨胀计的外管底部，膨胀计的内管放在试件上面，测定装置应牢固地连接在外管上，而和内管的顶部接触，可以指示温度变化时试件的长度。被测试件不得因膨胀计轴向压力而弯曲或有凹痕。

5 把石英管膨胀计仔细安装在 -30°C 的恒温浴中，保证试件顶部低于液面 50mm，试样温度与恒温浴温度平衡（约需 30min）。千分表指示值稳定 5min~10min 后，把千分表指示值调到零，记录实测温度和千分表读数。

6 在无晃动和振动的情况下，调整恒温浴的温度到 30°C ，使试件顶部浸没在浴槽液面之下 50mm，保持浴温在 $28^{\circ}\text{C} \sim 32^{\circ}\text{C}$ 范围内偏差为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。直到试件温度达到浴温，千分表的读数在 5min~10min 内没有变化，记录实测温度和千分表读数。

7 在膨胀计无晃动和振动的情况下, 改变温度到 -30°C , 重复 5.15.4 中 4 的操作。在试样温度与浴温平衡, 千分表指示值稳定 5min~10min 后, 记录膨胀值和温度值, 分别读到小数点后第三位和第一位。

注: 在合适的温度下交替使用两个恒温浴比较方便, 可减少试验所需的时间, 避免试件长时间在高温或低温下暴露, 引起物理性能的变化。高的热水瓶已被成功使用。

8 测定试件在室温下最后的长度。

9 如果试件在加热过程中, 每升高 1°C 长度的变化与致冷过程中每降 1°C 时长度的变化不一致, 相差在平均值的 10% 以内, 要分析不一致的原因, 尽可能加以限制, 重复试验直到取得一致。

5.15.5 试验结果

按式 (5.15.5) 计算该温度范围内线性热膨胀系数:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} \quad (5.15.5)$$

式中:

α ——每摄氏度平均线性热膨胀系数, $1/^{\circ}\text{C}$;

ΔL ——由于加热或致冷, 试件长度的变化, mm;

L_0 ——室温下试件的长度 (ΔL 与 L_0 以同样单位测试);

ΔT ——使试件发生长度变化的温度差, $^{\circ}\text{C}$ 。

加热过程和冷却过程的 α 值取平均值作为试验结果。

5.15.6 试验报告

报告应包括以下内容:

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等;
- 2 试件的制备方法;
- 3 试件的形状及尺寸;
- 4 所用仪器型号;
- 5 测定线胀系数的温度范围;

6 如果相变或温度转变点的位置在所用的温度范围内, 确定转变位置;

7 试件反常现象的描述, 如膨胀或收缩的测定值相差大于10%;

8 三个试件的平均线膨胀系数。

5.16 环氧砂浆耐介质性能试验方法

5.16.1 适用范围

适用于测试环氧砂浆耐介质性能。

5.16.2 仪器设备和试剂

1 试验机: 按 5.11.2 中的有关规定执行。

2 容器: 用于浸泡试验样品, 由耐试验试剂的材料制成, 容器的尺寸以能允许任何两个试件之间、试件与容器的器壁之间有 10mm 的间隔为宜, 其深度应控制在试件上表面距试验试剂表面至少 10mm, 所用的任何衬垫、隔板应是圆柱形的 (或圆筒形的), 而且应耐介质, 容器应加耐腐蚀的盖。

3 试模: 为 25mm×25mm×320mm 的棱柱体, 试件的长度和宽度比应为 13:1。试模精度要求按 5.2 的规定执行。

4 称量瓶: 有足够的尺寸以容纳试样。

5 天平: 能称量称量瓶和试件的质量, 并精确到 0.01g。

6 所需试验介质 (简称试液)。

7 加热器: 在整个试验过程中能安全地维持试验试剂和试验样品的温度在所需要的范围内, 偏差不超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

8 吸湿布。

9 溶剂。

5.16.3 试验步骤

1 试件的制备: 材料拌和及试件成型按 5.1 和 5.2 的规定执行。用溶剂擦拭每个试件, 包括对照试件, 除去表面的脱模剂, 注意所选的溶剂不能对树脂成分有任何不利影响。

2 每一组试验最少要有 8 个试件, 试验试件和对比试件在相同的条件下成型, 4 个试验试件放置在试验所用试液中。

3 试验在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 进行, 如有特殊需要可另作规定。把试件放在规定的试验温度下至少 24h, 再开始试验, 试验所用试液在使用之前先调整到试验所需温度。

4 试验龄期。

从下列时间选择试验龄期或浸泡龄期:

1) 7、14、28、56 或 84d。

2) 6 或 12 个月。

5 称量每个试件并记录其质量 m (以克计), 准确到 10mg, 记录每个试样的颜色和外观, 记录试液的外观、型号与浓度。

6 把试件完全浸入试液, 确保试件之间至少有 10mm 的间距, 而且试件上表面在试液液面以下 10mm。如果试样分层排列, 在每个试件下面要用两个垫块, 放置时, 试件与垫块的接触线应该在试件三等分中段之外。试验容器应盖严。在整个试验过程中应保持温度不变, 如果需要检查试液的液面和浓度, 可在适当的时间段内进行, 并将其调整到试验所需的值。

在适当的间隔时间, 目测检查试件和试液的试验条件, 注意试件的外观、尺寸和形状有无变化、注意试液的外观变化。

7 对照试件: 对照试件在整个试验期间内不受试液的影响, 与浸泡在试液中的试件应控制在同样的温度条件并注意其放置的位置。

8 取出、干燥和称量: 到规定的浸泡龄期时, 从装有试液的容器中轻轻取出浸泡的试件, 用水冲洗干净, 再用吸水性的布轻轻擦干试件表面。立即把每块试件依次转入到称过质量的称量瓶中, 测称量瓶和试件的总质量, 以克计, 精确到 0.01g。然后从称量瓶中取出试件, 立即测试弯曲强度。

9 测定弯曲强度: 按 5.11 的规定执行, 测定 8 个试件的弯曲强度, 测浸泡试件时要尽量缩短间隔时间。从试液中取出后

10min 内测完，浸泡试件测完以后再测对照试件。

5.16.4 试验结果

1 质量变化：按式 (5.16.4-1) 计算每个浸泡试件的质量变化百分率：

$$m = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (5.16.4-1)$$

式中：

m ——质量变化百分率；

m_0 ——试件浸泡前的质量，g；

m_t ——试件浸泡后的质量，g。

计算质量变化平均值。

2 弯曲强度：按式 (5.16.4-2) 计算每个试件的弯曲强度 f_w ，MPa：

$$f_w = \frac{WL}{BD^2} \quad (5.16.4-2)$$

式中：

W ——试件破坏前最大荷载，N；

L ——试件加荷跨距，mm；

B ——试件宽度，mm；

D ——试件厚度，mm。

分别计算对照试件和浸泡试件的平均抗弯强度，结果精确到 0.2MPa，上面计算中所用的尺寸应是断裂位置的尺寸，而不是试件测试之前规定的尺寸。

3 按式 (5.16.4-3) 计算弯曲强度变化百分率：

$$f_w = \frac{f_{wt} - f_{w0}}{f_{w0}} \times 100\% \quad (5.16.4-3)$$

式中：

f_{w0} ——对照试件平均弯曲强度，MPa；

f_{wt} ——浸泡试件平均弯曲强度，MPa。

结果准确到小数点后一位。

5.16.5 试验报告

报告应包括以下内容：

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等。
- 2 试件成型及测试日期、环境条件、养护方式。
- 3 试验试剂名称、化学成分、浓度、温度、浸泡龄期。
- 4 测试前每个试件的标准尺寸、质量、外观状态。
- 5 浸泡后试件变化：质量变化及变化百分比，表示为增加或减少，外观变化及性能变化。
- 6 试验试剂的变化：任何可目视的变化，如透明度、颜色、沉淀的生成，试验中测出的浓度变化的详细资料。
- 7 浸泡试件和对照试件破坏荷载及破坏部位的尺寸；弯曲强度及算术平均值；弯曲强度变化百分比，表示为增加或减少。
- 8 浸泡试件和对照试件破坏荷载及破坏形式的任何差别，包括因破坏位置不符合要求，不计算在强度结果中的值。

注：如果试件破坏位置不符合要求，断裂在支撑点和加荷点之间，不要用这个数据计算弯曲强度，在试验报告中应加以说明。

5.17 环氧砂浆老化试验方法

5.17.1 适用范围

适用于环氧树脂砂浆在太阳辐射下的自然气候直接暴露及恒定湿热条件下暴露，经过规定的时间后产生的外观变化和性能变化的评测。

5.17.2 大气暴露试验方法

- 1 砂浆拌制和试件成型按 5.1 和 5.2 的规定执行。
- 2 其他操作按 GB/T 3681 和 GB/T 15596 中的规定执行。

5.17.3 在恒定湿热条件下暴露试验方法

- 1 砂浆拌制和试件成型按 5.1 和 5.2 的规定执行。
- 2 其他操作按 GB/T 12000 中的规定执行。

5.18 环氧砂浆抗冲击性能试验方法

5.18.1 适用范围

适用于落锤法测试环氧砂浆的抗冲击性能。

5.18.2 仪器设备

- 1 天平：称量试件的质量，准确至 1.0g。
- 2 试模：尺寸为 $\phi 150\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ，高 $35\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 的金属制圆柱体。
- 3 冲击试验装置：见图 5.18.2。

5.18.3 试验步骤

- 1 试件制备：砂浆拌和及试件成型按 5.1 和 5.2 的规定执行。每一组试验三个试件。
- 2 试件养护：温度为 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $50\% \pm 5\%$ ，龄期为 28d。
- 3 准确测量试件的高度及直径，精确至 1.0mm，计算试件的体积。
- 4 称量试件的质量，精确至 1.0g。
- 5 把待测试件牢牢固定在冲击试验仪上，开动仪器开始试验，试验仪上的计数器同时开始工作。当试件表面出现第一条可目视裂缝（或冲击形成的凹坑深约 10mm）时，记下总的冲击次数。

5.18.4 试验结果

按式（5.18.4-1）计算试件的抗冲击强度：

$$f_{\text{ch}} = (9.8GHn) / V \quad (5.18.4-1)$$

式中：

f_{ch} ——抗冲击强度，MPa；

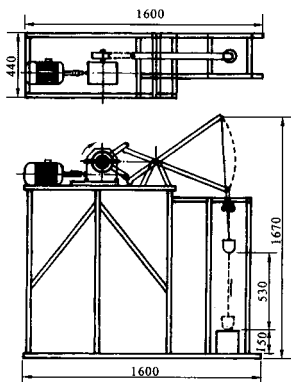
G ——钢锤的质量，3.0kg；

H ——钢锤的落高，530mm；

n ——冲击次数，次；

V ——试件的体积， mm^3 。

三个试件测试结果的平均值作为最终的试验结果，精确到小数点后两位。



冲击试验仪

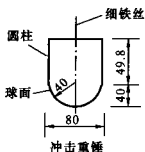


图 5.18.2 冲击试验装置

5.18.5 试验报告

报告应包括以下内容:

- 1 试验用材料的规格、批号、生产厂家等;
- 2 试件成型日期、环境条件、养护方式;

- 3 抗冲击强度的单个值及平均值；
- 4 试件破坏情况的描述（包括裂缝和凹坑类型、尺寸及外观等）；
- 5 测试日期及试验人员。

5.19 环氧砂浆抗含砂水流冲刷试验方法

5.19.1 适用范围

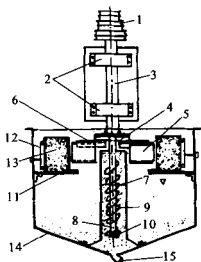
适用于测定和定性比较环氧砂浆在高速含砂水流冲刷下的抗冲刷性能。

5.19.2 仪器设备

1 旋转式水工混凝土水砂磨耗机：以含砂水流冲刷试件，流速能达到 40m/s 左右。其结构剖面示意图 5.19.2-1。

2 天平：称量 5kg，感量 0.1g。

3 试模：金属制试模，由底座和四块侧板围成空间，试模尺寸见图 5.19.2-2。



1—三角皮带轮；2—滚珠轴承；3—传动轴；4—喷水帽；5—分水叶片；

6—托砂板；7—吸水管；8—抽水轴；9—螺旋叶片；10—抽水叶片；

11—试件搁板；12—试件夹板；13—试件；14—积水筒；15—放水放砂阀门

图 5.19.2-1 水砂磨耗机剖面示意图

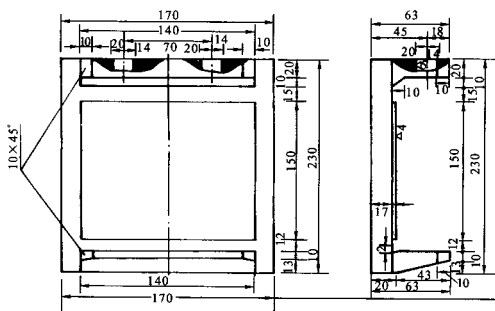


图 5.19.2-2 冲磨试模尺寸图

5.19.3 试验步骤

1 砂浆拌和及试件成型按 5.1 和 5.2 的规定执行，试件龄期为 28d，以三个试件为一组。

2 试验龄期的前两天，将试件放入 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 水中浸水饱和。

3 在水砂磨耗机的积水筒内加入冲磨剂，冲磨剂为粒径 0.5mm~1.0mm 的石英标准砂与水的混合物（重量比为 7.5%），每次加入量为砂 3kg，水 40kg。

4 试验时，取出试件用湿毛巾擦去表面水分，再称质量，记录各个试件冲磨前质量。

5 将试件放入机内试件搁板上，调整内弧面的平整度，上紧夹板螺丝，盖上橡皮垫圈，紧固盖板螺丝，启动电动机并记时。

6 冲磨 15min 后停机，取出试件，用水冲洗干净，擦去表面水分，称量，准确至 0.1g。测量并记录试件被冲磨的深度和宽度，准确至 0.1mm。

7 更换冲磨剂，按上述步骤重复试验三次。

注：需要时可适当增加试验次数，但同批试件的试验次数应相同，并在报告中说明。

5.19.4 试验结果

1 环氧砂浆抗含砂水流冲磨的指标以抗冲磨强度或磨损率表示，按式（5.19.4-1）、式（5.19.4-2）计算：

$$f_A = \frac{TA}{\Delta M} \quad (5.19.4-1)$$

$$L = \frac{\Delta M}{TA} \quad (5.19.4-2)$$

式中：

f_A ——抗冲磨强度，即单位面积上被磨损单位质量所需的时间，h/（g/cm²）；

L ——磨损率，即单位面积上在单位时间内的磨损量，g/（h·cm²）；

ΔM ——经 T 时段冲磨后，试件损失的累计质量，g；

T ——试验累计时间，h；

A ——试件受冲磨面积，100cm²。

2 以一组 3 个试件的平均值作为试验结果。如单个测值与平均值的差值超过 15% 时，此值应予以剔除，以余下两个测值的平均值作为试验结果。若一组中可用的测值少于两个，试验应重做。

5.19.5 试验报告

报告应包括以下内容：

- 1 试验用材料的名称、批号、生产厂家等；
- 2 试件成型日期及成型人员；
- 3 试件养护条件；
- 4 试验时试件的龄期、冲磨速度；
- 5 每个试件磨损后累计重量损失；
- 6 试件的抗冲磨强度及磨损率的单个值及平均值；

7 试验日期及试验人员。

5.20 环氧砂浆抗渗性能试验方法

砂浆抗渗性能试验按 DL/T 5150 中 7.11 “水泥砂浆抗渗性试验”中的规定执行。环氧树脂砂浆的拌合及试件成型按 5.1 和 5.2 的规定执行。

6 施 工 技 术

6.1 施 工 前 的 准 备

6.1.1 人员培训

1 技术培训

对参加施工的人员进行技术培训,使其了解环氧砂浆的主要性能,掌握施工工艺和技术要求;机械操作人员应熟悉机械性能和操作规程,并能及时排除机械故障。

2 安全培训

施工人员应熟悉施工的安全常识和施工安全注意事项,应注意劳动保护。

6.1.2 施工组织

1 按施工文件要求,编制施工组织设计。

2 临时设施:施工的电源、运输工具、交通路线、排水布置,工棚及库房的配置、安全防护等。

6.1.3 施工部位的确认与标识:按设计要求进行现场测量放线,明确标示出施工部位和范围。

6.1.4 施工材料

1 材料包装件上应有清晰、牢固的标识,标明产品名称、型号、批号、净重、生产日期和生产厂名,并附有合格证。

2 在运输和贮存中要防雨、防潮、防晒、防火,并避免包装件的破损。

6.2 施 工 流 程

施工流程见图 6.2。

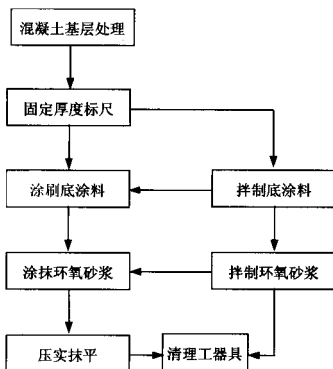


图 6.2 施工流程

6.3 基层混凝土的处理

6.3.1 基层混凝土的要求

1 混凝土的强度等级：做环氧砂浆面层施工时，基层混凝土应达到一定的强度等级，应不低于 C25。

2 混凝土的干燥要求：应按配方的要求测量并控制混凝土表面的干燥程度，可使用混凝土表面含水量测定仪测控干燥程度。

6.3.2 基层混凝土处理要求和方法

1 要求：清除混凝土表面的灰尘、乳皮、松动颗粒等，处理过的表面应露出新鲜的混凝土骨料，且不对骨料产生扰动，用压力水冲洗干净、风干。

2 采用有效的打毛方法：打毛深度因混凝土质量而异，控制在 1mm~3mm 内。宜采用喷砂、混凝土抛丸机、混凝土表面

铣刨机等打毛方法或压力水喷毛。用喷砂法时可用粒径为 0.8mm~2.0mm 硬质中粗干砂，风压为 0.5MPa~1.0MPa，喷射距离为 30cm~60cm，喷射角度为 50° ~ 80° 。喷嘴移动速度宜均匀，以免混凝土表面处理不均匀或过度磨损。

6.3.3 特殊情况的处理

有以下情况者需处理后再打毛：

1 混凝土表面有超出平面的局部凸起，用磨平机磨平；表面的蜂窝、麻面等缺陷，需用切割机切除薄弱部分。

2 混凝土表面的裂缝：视裂缝的位置、长度、宽度判定是否需要进行处理，区分裂缝的宽度和类型决定处理方法。确需处理的可沿缝凿出一条宽和深分别为 30mm~50mm（或 50mm~100mm）的“U”型（或“V”型）槽，清除槽内松动颗粒，用修补材料回填并压实、抹平。待回填部分的强度不低于周围混凝土的强度时，再打毛处理。

3 混凝土表面的油渍等污染物，可用汽油、丙酮等有机溶剂或烧碱等碱性溶液洗刷去污。若污染层较深，则需凿除污染层，再回填补强。

6.4 拌料工艺与要求

6.4.1 底涂料拌和

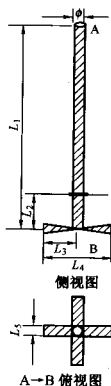
1 采用低速（ $\leq 300\text{r/min}$ ）专用电动搅拌器，在广口容器中拌和。底涂料搅拌器由电钻和搅拌翅叶片两部分组成：

1) 电钻：转速不高于 300r/min。

2) 搅拌翅叶片：由圆形钢筋和钢片焊接而成，其构造示意图见图 6.4.1。

2 材料拌和量应视施工面积和施工人员组合而定，一般一次拌料量不多于 4kg。

3 拌和时各组分应按配方要求的加料顺序依次倒入拌和容器中，用搅拌器拌和至颜色均匀为止，一般应搅拌 3min~5min。



$\phi=10\text{mm}\sim 15\text{mm}$; $L_1=250\text{mm}\sim 350\text{mm}$; $L_2=40\text{mm}\sim 50\text{mm}$;

$L_3=40\text{mm}\sim 50\text{mm}$; $L_4=2L_3$; $L_5=10\text{mm}\sim 15\text{mm}$

图 6.4.1 搅拌翅叶片构造示意图

6.4.2 砂浆拌和

1 采用专用砂浆拌和机：转速约为 30r/min，砂浆拌和机构示意图见图 6.4.2-1。卧式拌和杆结构示意图见图 6.4.2-2。

2 拌和量：视施工面积和施工人员组合而定，一般一次拌料量为 20kg~40kg。

3 拌和时配方各组分应按配方要求的加料顺序依次加料，边搅拌边加料，至颜色均匀一致后，再搅拌 5min~10min。

6.4.3 特殊情况下的人工拌料

1 遇到施工现场停电、无电源或只需少量材料等特殊情况下，可进行人工拌和。拌和时先把环氧砂浆 A 组分倒入容器中，

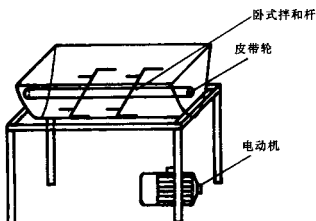
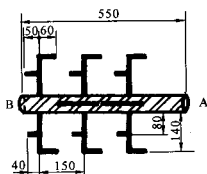
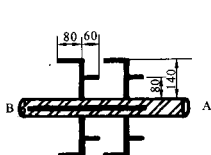


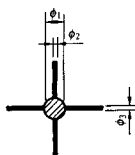
图 6.4.2-1 砂浆拌和机构造示意图



侧视图一



侧视图二



A→B俯视图

$$\begin{aligned}\phi_1 &= 60\text{mm} \\ \phi_2 &= \phi_3 = 18\text{mm}\end{aligned}$$

图 6.4.2-2 卧式拌和杆构造示意图

用铁铲翻拌 2~3 遍，然后再把适量的 B 组分分散地倒在 A 组分上，用铁铲翻拌 5min~8min，直至环氧砂浆的颜色均匀一致为止。

2 人工拌和时需要注意容器边角部分的材料必须翻拌均匀。

6.5 涂抹工艺和技术要求

6.5.1 底涂料的施工工艺和技术要求

1 选用口齐、根硬、头软、不掉毛的扁形毛刷。新刷使用时应先将不牢固的刷毛搓揉掉，以免影响涂刷质量。

2 方法：刷涂，一般先由上向下纵向涂刷一遍，再左右横向涂刷，然后对角线交叉涂刷，最后再收面和修整边角。做到薄而均匀，无流挂、无露底。

3 质量要求：涂料应随用随拌，如已凝胶，应废弃不再使用，以保证施工质量。底涂料如已失去黏性，应重新涂抹之后再涂环氧砂浆。

4 每次涂刷的面积应视现场气温、人员组合等条件而定。

5 陈化时间：底涂料涂刷后应陈化 20min~60min（视现场温度而定），以连续三次手触拉丝至 1cm 断开为准，方可涂抹环氧砂浆。

6.5.2 环氧砂浆的施工工艺和技术要求

1 环氧砂浆施工应沿逆水流方向进行，全断面涂抹时宜按先顶面、再侧面、后底面、先上后下的顺序施工。

2 大面积施工时，宜采用分块施工法，每一施工块可宽 3m~5m，施工块间预留 30mm~50mm 的间隔缝，待 1d~3d 环氧砂浆固化后再填补间隔缝。填补施工时要求压实抹平，施工面要与两边的施工块保持齐平，无错台、无明显接缝。

3 施工前先在施工块的边缘固定厚度标尺，然后再涂环氧砂浆。施工时要边涂抹、边压实、边找平，涂完环氧砂浆后 30min~60min（具体时间视现场温度而定），待砂浆初凝时再进行提浆、收面（表面提浆、收面的时机以环氧砂浆即将失去塑性，仍能压抹出光泽为宜）。

4 涂层提浆收面后，表面要求密实、平整，不得有明显的搭接痕迹、下坠、裂纹、起泡、麻面等现象。如果发现，应及时处理，严重者必须凿除重抹。

5 施工中出现的施工缝应做成斜面（即与水平面成 45° ）。再次施工时，应先将斜面清洁处理并涂底涂料，要着重做好接缝处砂浆的压实、抹平，避免出现冷缝接茬。

6 环氧砂浆的稠度以满足施工层不脱落、不起皮、不起皱、不流坠等施工性能为宜。拌和好的环氧砂浆超过适用期时，应废弃，不再使用。

7 环氧砂浆厚度为 $5\text{mm}\sim 20\text{mm}$ 。涂层厚度的允许误差范围按表 6.5.2 的规定执行。

表 6.5.2 涂层厚度允许误差范围

设计厚度 mm	误差范围 mm
5~10	± 1.0
11~20	± 1.5

8 每一施工层的厚度为 $5\text{mm}\sim 10\text{mm}$ ，待前一施工层环氧砂浆完全失去塑性，不再变形时方可进行下一道施工。

6.5.3 施工环境要求

环氧砂浆的施工环境日温差不宜太大，施工温度在 $15^\circ\text{C}\sim 30^\circ\text{C}$ 比较合适，应按配方使用要求决定使用温度。露天施工时应避免日光直射施工面，应搭设遮阳棚。

6.6 质量检查、控制与检测

6.6.1 基层混凝土面处理

方法和标准应符合设计和施工技术规范要求。

6.6.2 施工员对每一道工序应进行质量检查并做详细记录。

6.6.3 施工过程中对施工材料要进行质量抽检，一般每一施工

班次抽检一次。抽检项目一般为抗压强度或按设计要求确定。

6.6.4 环氧砂浆涂层的质量检查、控制与检测。

1 厚度的检测：施工员随时采用插针法进行厚度抽检，每平方米抽检点数不少于 3 个，不合格者应及时处理直到复检合格。涂层厚度允许误差按表 6.5.2 的规定执行。

2 平整度的检测：砂浆表面的平整度用 2m 直尺检测，允许空隙不大于 5mm。

3 砂浆涂层与基础面粘结强度的检测：采用拉拔强度试验法，检测龄期为 7d 或 28d，每 200m² 为一个取样单元（不足 200m² 者，按 200m² 计），每单元取 5 个试样。拉拔强度试验方法见附录 B。

6.7 环氧砂浆涂层的养护

不同类型的环氧砂浆，应保证不同的养护温度。养护期间，涂层应避免受到行车、人踏、撞击以及水浸、雨淋、雪盖、暴晒等，养护龄期一般为 7d。

6.8 施工安全与劳动保护

1 脚手架的搭设应符合安全要求，验收合格后方可使用，每班施工前要进行安全检查。

2 施工用材料应存放在干燥、通风的库房内。防止日光直接照射，并隔绝火源，远离热源，防潮防水。

3 施工现场避免使用明火，施工现场要求不进食、不吸烟，有明显疾病或过敏者不得参加环氧砂浆施工。

4 不慎将材料溅入眼中，切忌用手揉搓，应及时用清水冲洗。

5 施工人员应穿工作服、戴手套，基层混凝土面处理人员应戴防尘面具。

附 录 A
(规范性附录)

放热温度峰的测定和分类

根据试验结果对材料定量评价，按放热温度进行分类，以常用术语高、中、低表示，列于表 A.1。

表 A.1 材料分类

分 类	放热温度范围
低放热	20mm 厚试样高于环境温度不到 10℃，50mm 厚试样高于环境温度不到 20℃
中放热	20mm 厚试样高于环境温度不到 15℃，50mm 厚试样高于环境温度不到 30℃
高放热	20mm 厚试样高于环境温度 15℃ 以上，50mm 厚试样高于环境温度 30℃ 以上

附 录 B

(规范性附录)

粘结拉拔强度试验方法

B.1 检测前 24h, 用空心钻机垂直切割出一个 $\phi 50\text{mm}$ 的孤立圆形待测面, 目的是使其与周围的环氧砂浆脱离开。切割深度应透过环氧砂浆涂层深入混凝土层 5mm~10mm, 切割时避免对基础面混凝土产生扰动。

B.2 用蘸丙酮的棉纱将环氧砂浆涂层表面的浮尘擦拭干净。

B.3 用快凝强力胶粘剂把 $\phi 50\text{mm}$ 的粘结拉头粘结到环氧砂浆孤立圆形待测面上, 1d 后进行测试。

B.4 测试时把粘结拉头连接到拉拔仪上, 做拉拔试验。操作时保证轴向拉伸对芯样不产生扰动。记录下的强度值即为环氧砂浆涂层与基础混凝土的粘结拉拔强度, 准确至 0.1MPa。

环氧树脂砂浆技术规程

条 文 说 明

目 次

4	环氧树脂砂浆原材料的质量要求和性能测试方法	75
4.1	原材料的质量要求	75
5	环氧树脂砂浆性能试验	77
5.1	拌和物的制备方法	77
5.6	环氧砂浆放热温度峰的测量和分类	77
5.7	环氧砂浆线性收缩的测试方法	78
5.8	环氧砂浆涂层与混凝土之间热相容性试验	78
5.12	环氧砂浆对水泥砂浆粘接抗拉强度测试方法	78
5.15	环氧砂浆线胀系数测试方法	79
5.16	环氧砂浆耐介质性能试验方法	79
5.18	环氧砂浆冲击性能试验方法	81
5.19	环氧砂浆抗含砂水流冲刷试验方法	82
6	施工技术	85
6.3	基层混凝土的处理	85
6.5	涂抹工艺和技术要求	86

4 环氧树脂砂浆原材料的质量要求和性能测试方法

4.1 原材料的质量要求

4.1.2 固化剂

本规程规定应选用挥发性小、毒性小，对人体皮肤和呼吸系统刺激性小的固化剂。不得选用低分子量、挥发性大的胺类如乙二胺、二乙烯三胺等做固化剂。理由如下：用于环氧树脂固化剂的低级胺，通常指分子量比较小的脂肪族多胺，其沸点低、挥发性大、蒸气压高，对动物和人的毒害影响较大。据文献记载低级胺对人的毒害表现为对皮肤接触产生原发性刺激和致敏作用，蒸气引起黏膜、呼吸道刺激，发痒、红肿、水肿等。误服后因剂量不同会引起急性中毒、慢性中毒，严重的会导致死亡。

在环氧树脂和低级胺使用中对操作人员毒害的途径有三种：口服、接触和吸入。口服中毒通常是在事故时发生，是偶然发生的毒害，应该可以预防。所以，在毒害性比较时常常将口服毒性排除。低级胺直接接触皮肤引起毒害，可能发生，但通过教育和穿戴必要的劳动保护用品也可以将毒害发生率降至最低。在毒害性比较小时，往往忽略不予讨论。最常见的应该是低级胺的蒸气挥发，导致操作人员从呼吸道吸入，侵害裸露的皮肤、黏膜，这种情况在操作环境中难以避免和防护，因此在操作环境中低级胺的蒸气浓度大小成为衡量毒性的一个重要指标，不少文献都作出同样的结论。而且，也作为低级胺经化学加成改性后毒性降低的重要依据，这已成为环氧产品制造行业和应用行业的一种观念。比较几种低级胺及其加成物的蒸气压，不难判断出随着分子量的

增长、沸点增高、黏度变大，其蒸气压越来越小，在使用环境中对人的毒害也变得越来越弱。表 1 给出几种低级胺的参数。

表 1 几种低级胺的参数

低级胺名称	乙二胺	二乙烯三胺	三乙烯四胺	二乙烯三胺环氧 加成物 (593)
分子量	60.12	103.2	146.24	225~245
沸点 ℃	118	207	277.4	常压下不沸腾
蒸气压 (20℃) Pa	15.4kPa	26.6	1.33	0.032 (25℃)
黏度 (25℃) mPa · s	1.54	5	19	80~120

5 环氧树脂砂浆性能试验

5.1 拌和物的制备方法

制备环氧砂浆拌和物时应注意以下几点：

1 环氧树脂与固化剂一混合即开始反应，拌料操作应抓紧时间，同时要保证拌和物完全均匀。若砂浆已变硬不能流动时，应废弃，不得继续使用。

2 采用一些方法加快固化有时是必要的，可与生产者咨询详细情况。

3 不用料时，各种材料的容器应该盖严，保持材料性能稳定，同时注意防潮、防水、放火。

5.6 环氧砂浆放热温度峰的测量和分类

本方法的测定原理是把树脂材料的各种组分拌和在一起之后，测定树脂混合物放热所达到的最高温度并记录下来作为放热温度峰。该温度是在标准条件下而不是在绝热试验条件下被测定的，不能期望用本试验方法在室内试验所达到的放热峰温度在现场也同样能达到，通常现场放热峰温度要低一些，这是由于环境散热效果所致。

放热峰温度是树脂复合材料反应活性的参数，这项参数的实际意义在于，如果该树脂复合物用于填充一个大的空洞时，材料从相当高的温度冷下来会出现应力，这时高放热材料不能采用。然而活性大的高放热材料，用小批量时可能很容易接受，在某些特殊的低温环境中是很需要的。因此，放热温度峰的实用性在于对现场应用的树脂复合材料的放热量做出相对的评定。

5.7 环氧砂浆线性收缩的测试方法

试验原理:

将新拌的环氧树脂砂浆浇筑在一个钢制的浅槽形试模内,模内壁已经处理不粘砂浆,其两端装有滑动部件,槽内的两个滑动末端与砂浆粘贴在一起,随砂浆的膨胀或收缩滑动末端可自由移动。与之相连的线性位移传感器可测出砂浆的收缩量,连接在试模上的温度传感器能测出试模温度,因此也可测出砂浆温度,由公式计算收缩变形。

5.8 环氧砂浆涂层与混凝土之间热相容性试验

本方法参考 ASTM C884—87。环氧砂浆作混凝土路面的表面涂层,在 $-21^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 经过 5 次循环,环氧涂层和混凝土接近粘接面的部位出现开裂或剥离时环氧砂浆是不适用的。本规程中规定试验用引气混凝土的强度等级 C20,抗冻等级 F200,依据 ASTM C884 中规定成型混凝土试件所用材料:硅酸盐水泥 42.5[#];细骨料:标准砂;粗骨料:耐冻,最大粒径 25mm;引气剂。

混凝土配合比中水泥用量: $(335\pm 5)\text{kg/m}^3$,抗冻骨料粒径 $\leq 25\text{mm}$,含气量 $6\%\pm 1\%$,坍落度 $(75\pm 15)\text{mm}$ 。

5.12 环氧砂浆对水泥砂浆粘接抗拉强度测试方法

5.12.3 水泥砂浆“8”字形试件的制备方法中规定,制备粘接试件前,在水泥砂浆试件长轴线上取中点划一条垂直线,沿线锯 1mm 深的沟槽,然后用平口刀直立于沟槽,用榔头击打刀背将试件切开。经试验比较,该方法与切砖器切割和电动切割机切割相比,切割位置准确、切口规则、断面自然、不必打毛,而且操作简便,不需专用设备。

5.15 环氧砂浆线胀系数测试方法

5.15.1 适用范围

对本试验方法说明如下：

1 塑料材料受热膨胀引起长度变化，这是一个可逆的过程，长度变化是多种因素的迭加，如：湿含量、固化、增塑剂或溶剂损失、应力松弛、相变及其他因素。在试验温度和应力荷载下，塑料材料应该有一个可忽略的蠕变，或弹性应变，或两者兼有，这些性能将明显影响测定的精确度。

2 本试验方法主要目的是测试在尽可能排除这些因素之后材料的线性热膨胀系数，通常要完全排除这些因素的影响是不太可能的，为此，本试验方法只能给出近似值。

3 该方法不能测定膨胀系数很低的材料（低于 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ），低膨胀系数的材料可用干涉仪或用电测技术。

5.15.3 试验样品

本标准规定试件长度为 70mm，如所用试件比 50mm 短，会使灵敏度损失；如果试件长度大于 125mm，沿试件方向的温度梯度可能很难控制在要求的限度之内。试件长度应该由灵敏度、预计的膨胀值、仪器的测试范围和要求的精确度来决定。一般来说，如果温度控制得好，试件越长，测试仪器越灵敏，测试结果越准确。

5.16 环氧砂浆耐介质性能试验方法

5.16.1 适用范围

本试验的原理是比较同一批材料制备的试件，在规定的试验条件下暴露于化学介质之中与未暴露于化学介质中的相对变化，并对试验过程中试件和试液的质量、外观及性能变化进行观察和记录。

5.16.3 试验步骤

试件表面的脱模剂可能影响试验结果，试验前应予以清除，可根据脱模剂的性能选择适当的方法和材料。

环氧砂浆因使用要求不同常与不同的介质溶液（或蒸汽）接触，在这种情况下很可能发生物理及化学变化，如可能吸收介质溶液增加质量或有可溶物质被提取减轻质量。因此有必要在规定的条件下进行耐介质性能试验，以便对其相互作用进行评价。现作如下说明：

1 试验温度：本规程推荐 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，但可根据需要在以下系列温度中选取，即：0、20、27、40、55、85、125、 150°C 。其温度波动范围分别为：低于 105°C 时为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ， $105^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 时为 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

2 试验龄期：本规程规定了 7、14、28、56 或 84d，及 6 或 12 个月为优先选用的试验时间，根据使用要求。如需更短或更长时间，可参考以下时间间隔：

1) 短期试验：1、2、4、8、16、24、48、96、168h。

2) 长期试验：1.5、2、3、4、5 年。

并可根据试验结果作出性能随时间变化曲线，以了解该性能的变化规律。

3 试样：测力学性能变化的试样，应根据具体方法要求确定试样尺寸，测质量、尺寸和外观变化时，应使用相同的尺寸，宜用边长为 $50\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 的正方形试件，厚度应不大于 25mm。

4 外观变化：如仅要求对某项外观变化（如颜色）进行记录，则只记要求的项目；否则应记录以下外观变化：颜色、光泽、雾度、表面粗糙度变化，以及银纹和开裂的出现；起泡、麻点、易擦掉物质的出现；未干油漆状的外表面；分层、翘曲或其他变形；部分溶剂等。上述现象一般划分四个综合判断等级，即：

O—无变化；

F—轻微变化；

M—中等变化；

L—大的变化。

5 本试验要求在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 条件下进行。如不在该温度时，在浸泡结束后有时需将试样转入 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的新鲜试液中，浸泡 15min~30min，使其恢复至规定温度，再取出试样冲洗、擦干。

5.18 环氧砂浆冲击性能试验方法

冲击试验：

试验原理是重锤被抬到一定高度后自由下落，冲击到试件上，多次反复，试件受到一定的冲击功后就会破坏。用此方法测试出试件被冲击破坏时单位体积所消耗的冲击功即为试件的抗冲击强度。

环氧砂浆抗冲击试验的制订参照了国内外喷混凝土和钢纤维混凝土冲击试验的方法，一般用落锤法或落球法。美国用 4.5kg 锤对准厚 38mm~63mm、直径为 $\phi 150\text{mm}$ 的试件锤击，素喷混凝土在锤击 10~45 次时破坏，而钢纤维喷射混凝土锤击次数在 100~150 次以上。我国冶金部建筑研究总院曾用直径 35mm，重 2.55kg 的钢球在距试件 1.0m 高的上方对准 70mm×250mm×250mm 的试件进行冲击。

本标准规定冲击锤重 3.0kg，试件厚度为 35mm。因为对环氧砂浆来讲，试件厚度对冲击试验结果有重要影响，试件过薄，冲击次数很少试件即破坏，有时难以进行比较；如果试件过厚，冲击次数过多如几千次或上万次，则试验周期过长，不经济。为了选合适的厚度，我们成型不同厚度的试件重复试验进行了比较，得出结果见表 2。

从试验结果可见，试件厚度为 35mm 时，冲击次数为 81 次试件破坏；厚度为 33mm 以下冲击次数只有几次；厚度为 38mm 以上时冲击次数在上万次，而且试件形成深约 10mm 的半圆形凹坑，所以本试验规定试件厚度为 35mm。

表 2 冲击试验结果

试件厚度 mm	冲击次数	试验说明
30	3	*试件养护及测试温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。 *冲击锤重 3.0kg, 落高 530mm。 *试件抗压强度 113.0MPa。 *试件尺寸: $\phi 150\text{mm}$ 圆柱体
33	7	
35	81	
38	>9000 (冲击部位凹陷约 10mm)	
40	>11000 (冲击部位凹陷约 10mm)	

5.19 环氧砂浆抗含砂水流冲刷试验方法

5.19.2 仪器设备

1 旋转式水工混凝土水砂磨耗机: 本规范以中国葛洲坝水利水电工程集团公司试验中心研制并长期使用的旋转式水工混凝土水砂磨耗机作为环氧砂浆抗含沙水流冲刷试验的主要设备, 理由如下:

环氧砂浆作为水工建筑物抗冲磨保护层是一项重要的应用, 因此, 环氧砂浆的抗冲磨试验是重要的试验项目, 以往混凝土材料的抗冲磨性能试验都是按 SD 105—1982 的“混凝土抗含砂水流冲刷试验方法”进行, 所用冲刷仪叶轮圆周转速为 14.3m/s , 总的冲刷时间规定为 1.5h, 水流含砂率为 15%, 砂的粒径为 $0.5\text{mm} \sim 0.85\text{mm}$ 。这样的试验条件适用于普通混凝土, 而高强度的环氧砂浆在此条件下难以做出结果及进行相对比较, 需要强化试验条件以满足对环氧砂浆的试验要求。

根据环氧砂浆材料的特点及今后我国建立高流速泄水建筑物发展前景的需要, 编者认为高速含砂水流冲磨试验机的冲磨速度以 40m/s 左右为宜。经过在国内进行调研和比较, 拟采用“旋转式水工混凝土水砂磨耗机”。该设备专门用于研究水工混凝土抗

含砂水流冲磨性能，自 1979 年投入使用已运转 22 年，已为葛洲坝电站、隔河岩、漫湾、大朝山、大广坝、桂平、岩滩和三峡等特大型或大、中型水利水电工程提供了大量混凝土抗冲耐磨试验资料。该“旋转式水工混凝土水砂磨耗机”具有以下特点：

- 1) 冲磨速度可根据需要调节：该机转速为 1040r/min 时， $v=22.72\text{m/s}$ ；转速为 1320r/min， $v=28.83\text{m/s}$ ；转速为 1760r/min， $v=38.45\text{m/s}$ 。因此，试验中可根据需要选择适当的速度。
- 2) 试件尺寸为高 150mm，内弧长 109.2mm，外底边长为 138mm，厚 56mm，每次试验时可放置 4 组不同材料试件共十二块沿试验机圆环排列。
- 3) 磨料：用厦门 ISO 标准砂厂产品，粒径范围为 0.5mm~1.0mm，砂的用量为水/砂=100：7.5（重量比）。
- 4) 冲磨试验周期：试件每冲磨 15min，停机检查磨损的深度和宽度并称重，然后更换磨蚀剂重复冲磨三次，累计冲磨时间 45min。

为论证该机的试验效果，重复进行了环氧砂浆抗冲磨性能对比试验，用两台试验机同时试验，一台是“旋转式水工混凝土水砂磨耗机”（简称磨耗机），实际冲磨速度为 38.45m/s；另一台是“混凝土抗含砂水流冲刷试验方法”中规定的“冲刷试验仪”（简称冲刷仪）。采用了集中拌料、专人成型、养护，到 28d 龄期时再分头试验的措施，环氧砂浆抗压强度为 113.0MPa。试验时采用相同的磨料，统一规定每次冲磨 0.5h，冲磨 3 次，共计 1.5h。冲刷仪水中含砂量按“混凝土抗含砂水流冲刷试验（圆环法）”中的规定执行，磨耗机的水中含砂量为 7.5%，即每次用磨料 6kg 加水 80kg，每组试验三个试件，结果计算和数据处理均按“混凝土抗含砂水流冲刷试验”中的规定执行。冲磨试验结果见表 3 和表 4。

表3 冲刷仪的试验结果

试件 编号	初始质量 g	冲磨后 质量 g	损失 质量 g	磨损率 kg/ (h · m ²)	平均 磨损率 kg/ (h · m ²)	冲磨强度 h / (kg/m ²)	平均冲磨强 度 h / (kg/m ²)
1	4844.02	4832.50	11.52	0.202	0.191	4.947	5.284
2	4762.09	4752.58	9.51	0.167		5.993	
3	4955.11	4943.51	11.60	0.204		4.913	
注: 冲磨速度为 14.3m/s							

表4 磨耗机的试验结果

试件 编号	初始质量 kg	冲磨后 质量 kg	损失 质量 kg	磨损率 kg/ (h·m ²)	平均 磨损率 kg/ (h·m ²)	冲磨强度 h/ (kg/m ²)	平均冲磨强度 h/ (kg/m ²)
1	1.940	1.893	0.047	3.133	3.355	0.319	0.299
2	1.989	1.936	0.053	3.533		0.283	
3	1.955	1.904	0.051	3.400		0.294	
注 1: 冲磨速度为 38.45m/s。 注 2: 磨损剂为厦门 ISO 标准砂厂产 0.5~1.0mm 石英砂							

对比试验结果可看出，冲磨速度为 38.45m/s 的磨耗机冲磨强度是冲刷仪的 17 倍，即对强度 113MPa 的环氧砂浆，前者每小时每平米面积冲磨掉 3kg 以上，而 14m/s 冲刷仪仅冲磨掉 0.19kg，换言之，每平米面积冲磨 1kg 环氧砂浆前者用 0.29h，后者要用 5h。说明该磨耗机作为环氧砂浆抗含砂水流冲刷试验是可行的。在满足试验要求的前提下，也可考虑采用其他类型的圆环式混凝土含砂水流冲刷试验仪。

6 施 工 技 术

6.3 基层混凝土的处理

6.3.2 基层混凝土处理要求和方法：采用喷砂法打毛应控制砂的粒径范围，减少灰尘飞扬。在隧洞内施工时一定要通风措施，有条件时可用真空喷砂作业。

真空抛丸机打毛：已比较多地用于混凝土表面清理，整个处理过程无粉尘污染，经处理的混凝土表面粗糙度均匀平整、清洁干净。抛丸机配有高耐磨材料的抛丸轮，及自动脉冲高压空气，定时清理除尘过滤系统。国产设备技术参数如下：

粗糙度：CSP2~CSP8 级（国际标准）。

钢丸速度：80m/s。

抛丸幅宽：200mm。

清理效率：80m²/h~120m²/h（地面）。

行走速度：0.8m/min~11m/min。

压力水喷毛：该方法已在工程中采用，可根据需要控制不同压力，低压水控制压力在 0.5~1.0MPa，一般用于清除混凝土表面的浮尘和松动颗粒。高压水一般用于打毛混凝土，即打掉混凝土表层一定深度，而深度的大小与混凝土的强度和龄期有关，与混凝土表面的质量有关。一般情况下，28d C30 的混凝土用 30MPa 的高压水打毛，可清理干净混凝土表面的水泥浆薄层，不会扰动混凝土骨料，效率较高。

人工凿毛或风镐凿毛：以往的施工常采用此方法，其特点是劳动强度大、工效低、打毛不均匀、易扰动骨料。

6.5 涂抹工艺和技术要求

6.5.3 施工环境要求

环氧砂浆的施工环境日温差不宜太大，施工温度在 $15^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 比较合适，如果砂浆的拌和、使用或固化的环境温度低于 15°C 或高于 30°C 时，要有专门保护措施，生产者应提出建议。

在低温下树脂砂浆固化很慢，如果在 15°C 以下进行施工应该选用可在较低温度下固化的材料和配方。
