

ICS 27.140

P 59

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5785 — 2019

水电水利工程化学灌浆材料试验规程

Test code of chemical grouting materials for hydropower and
water conservancy engineering

2019-06-04 发布

2019-10-01 实施

国家能源局 发布

前言

本规程根据《国家能源局关于下达 2013 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技[2013]235 号）要求编制。

在编制过程中，参编人员进行了广泛调查，收集资料，深入研究，对水电水利工程化学灌浆材料试验技术进行了综合分析研究，吸收了相关化学灌浆材料试验成果，参考了国内外相关标准的有关内容，进行了大量的试验研究，在认真总结实践经验，结合近年来的科研成果和行业先进技术的发展，广泛征求有关单位和专家意见的基础上，经审查定稿。

本规程主要技术内容包括水电水利工程化学灌浆材料的浆液性能试验方法及固结性能试验方法。

本规程由中国电力企业联合会提出。

本规程由电力行业水电施工标准化技术委员会归口。

本规程主要起草单位：葛洲坝集团试验检测有限公司、长江水利委员会长江科学院、杭州国电大坝安全工程有限公司

本规程参加起草单位：中国水利水电第八工程局有限公司、湖南宏禹工程集团有限公司、广东铁科灌浆科技有限公司

本规程主要起草人员：王伟、陈亮、林忠华、冯菁、陈乔、魏涛、张捷、姜命强、陆志华、李焰、姜德华、宾斌、张维欣、王雪龙、李开熹、李耕、张达、陕亮、舒友良、黄晓倩、黄柱进 朱慧蓉

本规程主要审查人员：梅锦煜、高翔、张宏、程志华、孙来成、李志刚、王鹏禹、吴高建、吴旭、王军、钟彦祥、杨涛、何小雄、姚福海、林鹏、朱明星、吕芝林、贾志营、尹显俊、孙志恒、汪毅、楚跃先、吕茜

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

目次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	3
4 浆液性能试验	4
4.1 黏度.....	4
4.2 密度.....	5
4.3 可操作时间.....	5
4.4 凝胶时间.....	6
4.5 不挥发物含量.....	7
4.6 载玻片接触角.....	8
4.7 包水性.....	9
4.8 包水量.....	10
4.9 发泡率.....	11
5 固结体性能试验	13
5.1 粘结强度.....	13
5.2 抗压强度.....	14
5.3 压缩模量.....	16
5.4 抗拉强度.....	17
5.5 拉伸模量.....	20
5.6 断裂伸长率.....	22
5.7 拉伸剪切强度.....	23
5.8 遇水膨胀率.....	24
5.9 玻璃毛细管抗挤出破坏比降.....	25
5.10 渗透系数.....	27
5.11 固砂体抗压强度.....	30
附录 A 化学灌浆材料试验项目和取样数量要求	32
附录 B 水的动力黏滞系数、黏滞系数比、温度校正系数列表	33
本规范用词说明	34
引用标准名录	35
条文说明	36

Contents

1 General Provisions.....	1
2 Terms	2
3 Basic requirements.....	3
4 Test for performance of slurry.....	4
4.1 Viscosity.....	4
4.2 Density.....	5
4.3 Operable time.....	5
4.4 Gel time.....	6
4.5 Solid content.....	7
4.6 Contact angle on the slide glass.....	8
4.7 Water absorption capability.....	9
4.8 Water absorption amount.....	10
4.9 Expansion ratio.....	11
5 Test for performance of consolidation body.....	13
5.1 Bond strength.....	13
5.2 Compressive strength.....	14
5.3 Compression modulus.....	16
5.4 Tensile strength.....	17
5.5 Tensile modulus.....	20
5.6 Elongation.....	22
5.7 Tensile shear strength.....	23
5.8 Water swelling ratio.....	24
5.9 Hydraulic slope against extrusion damage in the capillary.....	25
5.10 Permeability coefficient.....	27
5.11 Compressive strength of consolidated sand.....	30
Appendix A Test items and sampling quantity requirements of chemical grouting materials.....	32
Appendix B The dynamic viscosity coefficient, viscosity ratio, and temperature correction value of water.....	33
Explanations of wording in this Code.....	34
List of quoted standards.....	35
Addition: Explanations of Provisions.....	36

1 总则

1.0.1 为规范水电水利工程化学灌浆材料的性能试验，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于水电水利工程的环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸盐和水玻璃等化学灌浆浆液和固结体的性能试验。

1.0.3 从事化学灌浆材料试验的相关人员应进行专业培训、考核，考核应合格。

1.0.4 水电水利工程化学灌浆材料的性能试验，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 可操作时间 operable time

用黏度计测定黏度，以化学灌浆材料各组分混合为计时起点，当黏度到达某一规定的黏度值时为终点，起点至终点所经历的时间间隔。

2.0.2 凝胶时间 gel time

从化学灌浆材料各组分混合开始至无法流动为止经历的时间。

2.0.3 载玻片接触角 contact angle on the slide glass

化学灌浆材料浆液在固体表面形成液滴并达到平衡时，在气、液、固三相交点处作气-液两相界面的切线，该切线与固、液两相界面之间的夹角。

2.0.4 包水性 water absorption capability

水溶性聚氨酯灌浆材料与 10 倍水混合后，与水反应完全形成凝胶体所用的时间，用以表征材料的反应速度。

2.0.5 包水量 water absorption amount

单位质量的水溶性聚氨酯灌浆材料与水混合后，能保持凝胶体状态的最大用水量，用以表征材料包裹水的能力。

2.0.6 发泡率 expansion ratio

聚氨酯灌浆材料与水反应后，形成的泡沫状固结体相对于原浆液的体积增长率。

2.0.7 遇水膨胀率 water swelling ratio

将化学灌浆材料固结体浸泡水中，在规定时间内，物理吸附水后其体积膨胀的倍率。

2.0.8 玻璃毛细管抗挤出破坏比降 hydraulic slope against extrusion damage in the capillary

化学灌浆材料固化物单位长度上承受的不被挤出破坏的最大水压力。

3 基本规定

- 3.0.1 标准试验环境条件的温度应为 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应为 $(50 \pm 10)\%$ 。
- 3.0.2 试验原材料在标准试验环境条件下应放置不少于 24h。
- 3.0.3 试验用水应采用蒸馏水。
- 3.0.4 配制待试验的化学灌浆材料浆液，其配比应采用产品说明书规定的配比；当工程设计有规定时或工程有特殊要求时，还应采用设计规定的配比或采用特殊要求的配比。
- 3.0.5 试验使用的计量器具，应按规定进行校验或检定。
- 3.0.6 取样应有代表性，各项试验的取样数量应按附录 A 的要求执行。
- 3.0.7 试验时试验人员应穿戴工作服，佩戴防护手套、眼镜、口罩等劳保防护用品。
- 3.0.8 废弃的化学灌浆材料应按国家有关规定处置，不得随意倾倒。

4 浆液性能试验

4.1 黏度

4.1.1 试验目的与适用材料:

1 试验目的: 测定化学灌浆材料单一组分或混合液的黏度, 用于表征化学灌浆材料的相关施工性能;

2 适用材料: 环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸盐和水玻璃。

4.1.2 仪器设备配置应符合以下规定:

1 旋转黏度计: 测定范围 $0.1\text{mPa}\cdot\text{s}\sim 1\times 10^5\text{mPa}\cdot\text{s}$, 应配齐 0 号、1 号、2 号、3 号、4 号转子;

2 恒温浴: 能保持在规定的测定温度 $23^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 控温范围为试验室室温 $\sim 100^{\circ}\text{C}$, 温度波动度 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$;

3 低型烧杯或盛样器: 容量 600mL、外径 $90.0\text{mm}\pm 2.0\text{mm}$ 、全高 $125.0\text{mm}\pm 3.0\text{mm}$ 、最小壁厚 1.3mm;

4 电子天平: 称量不小于 1000g, 感量 0.1g;

5 计时器: 精度 1s。

4.1.3 黏度测定试验应按以下步骤进行:

1 在低型烧杯或盛样器中, 按试样配比配制浆液 500g, 搅拌均匀;

2 将装有试样的烧杯或盛样器放入恒温浴中, 在试样配制起 5min 内用旋转黏度计测定初始黏度;

3 选择合适的转子, 将转子装到旋转黏度计上, 调整黏度计的高度, 使转子浸入被测试样, 直至转子上的标记与试样液面相平为止;

4 选择旋转黏度计的转速, 控制读数在最大量程的 20%~90%; 开启旋转黏度计, 读取稳定读数;

5 关闭旋转黏度计, 待旋转黏度计的转子停止转动后, 再次开启旋转黏度计进行第二次测定, 直至连续两次测定数值的偏差不大于 3%, 测定值取两次读数的平均值;

6 测试完毕, 将转子从黏度计上拆下, 并清洗干净;

7 重复步骤 1~6, 进行 3 次试验;

8 如果需要测定混合浆液后续任意时段的黏度时, 可利用已配制的试样继续试验, 每次试验时间也应控制在 5min 内完成。

4.1.4 试验结果处理应按以下规定进行:

取3次测定值的算术平均值作为试验结果，以 mPa·s 表示，精确至 1mPa·s。当黏度小于 30mPa·s 时，其中任意一次测定值与算术平均值相差大于 10%时，应重做试验；当黏度大于 30mPa·s 时，其中任意一次测定值与算术平均值相差大于 5%时，应重做试验。

4.2 密度

4.2.1 试验目的与适用材料：

1 试验目的：测定化学灌浆材料单一组分或混合液的密度，可作为计算灌浆材料用量和压力的参数；

2 适用材料：环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸盐和水玻璃。

4.2.2 仪器设备配置应符合以下规定：

1 重量杯：容量37.00 cm³；

2 电子天平：称量不小于200g，感量0.001g。

4.2.3 密度测定试验应按以下步骤进行：

1 称量洁净干燥的重量杯质量 m_1 ；

2 按配比在容器中配制60g浆液，搅拌均匀；

3 将试样徐徐倒入重量杯，装满后盖紧盖子，使溢流口保持开启，擦去溢出物；

4 将装满试样的重量杯置于天平上，称其质量 m_2 ；

5 浆液的密度测试应在试样配制起5min内完成；

6 测定完毕，用相应的挥发性溶剂将重量杯清洗干净；

7 重复步骤1~6，进行3次试验。

4.2.4 试验结果处理应按以下规定进行：

1 密度应按式（4.2.4）计算：

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{37} \dots\dots\dots (4.2.4)$$

式中： ρ ——密度（g/cm³）；

m_1 ——空重量杯质量（g）；

m_2 ——装满试样的重量杯质量（g）；

37——重量杯容量（cm³）。

2取3次测定值的算术平均值作为试验结果，以g/cm³表示，精确至0.01g/cm³。当其中任意一次测定值与算术平均值相差大于5%时，应重做试验。

4.3 可操作时间

4.3.1 试验目的与适用材料:

- 1 试验目的: 测定化学灌浆材料黏度达到某一规定值时经历的时间, 为施工提供依据;
- 2 适用材料: 环氧树脂。

4.3.2 仪器设备配置应符合以下规定:

- 1 旋转黏度计: 测定范围 $0.1 \text{ mPa} \cdot \text{s} \sim 1 \times 10^5 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 配齐 0 号、1 号、2 号、3 号、4 号转子;
- 2 恒温浴: 能保持在规定的测定温度 $23^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$, 控温范围为试验室室温 $\sim 100^\circ\text{C}$, 温度波动度 $\pm 0.3^\circ\text{C}$;
- 3 低型烧杯或盛样器: 容量 600mL、外径 $90.0\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 、全高 $125.0\text{mm} \pm 3.0\text{mm}$ 、最小壁厚 1.3mm;
- 4 电子天平: 称量不小于 1000g, 感量 0.1g;
- 5 计时器: 精度 1s。

4.3.3 可操作时间试验应按以下步骤进行:

- 1 在低型烧杯或盛样器中按试样配比配制浆液 500g, 搅拌均匀并同时启动计时器;
- 2 将装有试样的低型烧杯或盛样器放入恒温浴中, 用旋转黏度计测定黏度;
- 3 按本规程 4.1.3 步骤, 每隔 5min 测定一次浆液的黏度;
- 4 当黏度到达规定值(混凝土裂缝用环氧灌浆材料为 $200\text{mPa}\cdot\text{s}$; 地基处理用环氧灌浆材料为 $100\text{mPa}\cdot\text{s}$) 时, 停止计时, 计时器所示时间即为可操作时间;
- 5 重复步骤 1~4, 进行 3 次试验。

4.3.4 试验结果处理应按以下规定进行:

取 3 次测定值的算术平均值作为试验结果, 以 min 表示。当其中任意一次测定值与算术平均值相差大于 5% 时, 应重做试验。

4.4 凝胶时间

4.4.1 试验目的与适用材料:

- 1 试验目的: 测定化学灌浆材料凝胶时间, 用于评定化学灌浆材料凝胶固化速度;
- 2 适用材料: 环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸盐和水玻璃。

4.4.2 仪器设备配置应符合以下规定:

- 1 电子天平: 称量不小于 500g, 感量 0.01g;
- 2 计时器: 精度 1s;
- 3 玻璃烧杯: 容量 250mL;

4 玻璃棒：直径 5mm~6mm。

4.4.3 凝胶时间测定试验应按以下步骤进行：

1 在玻璃烧杯中按试样配比配制浆液 100g，搅拌均匀并同时启动计时器；

2 环氧树脂灌浆材料凝胶时间试验时，浆液流动状态应采用以不同角度倾斜烧杯的方法进行测试。从浆液搅拌均匀后开始，每隔 10min 缓缓倾斜烧杯观察浆液的流动状态，当浆液处于流动状态时，将烧杯恢复至水平放置；当倾斜烧杯约 45°、浆液在 2min 内无法流动时，继续倾斜观察角度至 75° 左右，当倾斜烧杯约 75°、浆液在 2min 内无法流动时，将倾斜观察角度变为 90°，当倾斜烧杯 90° 浆液在 2min 内仍无法流动时，停止计时，计时器所示的时间即为凝胶时间。

3 聚氨酯灌浆材料凝胶时间试验时，用玻璃棒挑动试样，连续不间断观察浆液凝胶拉丝情况，当浆液不再成丝状态时，停止计时，计时器所示的时间即为凝胶时间。

4 丙烯酸盐灌浆材料和水玻璃灌浆材料凝胶时间试验时，浆液流动状态应采取烧杯倾斜不同角度的方法进行测试。从浆液搅拌均匀后开始，缓缓倾斜烧杯连续不间断观察浆液的流动状态，当浆液处于流动状态时，将烧杯恢复至水平放置；当倾斜烧杯 45° 浆液无法流动时，将倾斜观察角度变为 90°，当倾斜烧杯 90° 浆液仍无法流动时，停止计时，计时器所示的时间即为凝胶时间。

5 各种试样应进行 3 次试验，具体按以下方法执行：

1) 当进行环氧树脂灌浆材料凝胶时间试验时，重复步骤 1 和步骤 2；

2) 当进行聚氨酯灌浆材料凝胶时间试验时，重复步骤 1 和步骤 3；

3) 当进行丙烯酸盐灌浆材料和水玻璃灌浆材料凝胶时间试验时，重复步骤 1 和步骤

4。

4.4.4 试验结果处理应按以下规定进行：

1 环氧树脂灌浆材料凝胶时间试验，取 3 次测定值的算术平均值作为试验结果，以 min 表示；当其中任意一次测定值与算术平均值相差大于 5% 时，应重做试验。

2 聚氨酯灌浆材料、丙烯酸盐灌浆材料和水玻璃灌浆材料凝胶时间试验，取 3 次测定值的算术平均值作为试验结果，以 s 表示，精确至 1s。当凝胶时间小于 60s 时其中任意一次测定值与算术平均值相差大于 20% 时，应重做试验。当凝胶时间大于 60s 时其中任意一次测定值与算术平均值相差大于 10% 时，应重做试验。

4.5 不挥发物含量

4.5.1 试验目的与适用材料：

1 试验目的：测定化学灌浆材料单一组分中非挥发性物质的质量百分数，为材料性能评价提供参考依据；

2 适用材料：聚氨酯。

4.5.2 仪器设备配置应符合以下规定：

- 1 电子天平：称量不小于200g，感量0.001g；
- 2 电热鼓风烘箱：防爆型，温度范围为试验室室温~200℃，温度波动 $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$ ；
- 3 干燥器：内置变色硅胶或无水氯化钙；
- 4 培养皿：直径60mm；
- 5 滴瓶：容量30ml。

4.5.3 不挥发物含量测定试验应按以下步骤进行：

- 1 称量干燥培养皿的质量 m_0 ；
- 2 将试样装入干燥滴瓶，称量其质量 m_1 ；
- 3 从滴瓶中按减量法称取 $6\text{g} \pm 1\text{g}$ 的试样滴入培养皿中，称量装有试样的滴瓶质量 m_2 ；
- 4 将装有试样的培养皿放入 $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 的鼓风烘箱中，恒温 3h；
- 5 取出装有试样的培养皿放入干燥器中，在标准试验环境条件下冷却 2h，称量装有试样的培养皿的质量 m_3 ；
- 6 重复步骤 1~5，进行 3 次试验。

4.5.4 试验结果处理应按以下规定进行：

- 1 不挥发物含量按式（4.5.4）计算：

$$X = \frac{m_3 - m_0}{m_1 - m_2} \times 100 \dots\dots\dots (4.5.4)$$

式中：X——不挥发物含量（质量分数），%；

m_0 ——培养皿质量（g）；

m_1 ——取样前滴瓶和试样的质量（g）；

m_2 ——取样后滴瓶和试样的质量（g）；

m_3 ——干燥后试样和培养皿质量（g）。

2 取 3 次测定值的算术平均值作为试验结果，以百分数表示，精确至 0.5%，当其中任意一次测定值与算术平均值相差大于 1%时，应重做试验。

4.6 载玻片接触角

4.6.1 试验目的与适用材料：

1 试验目的：测定化学灌浆材料液滴在载玻片表面的接触角，用于评价化学灌浆材料对固体表面的相对润湿程度；

2 适用材料：环氧树脂。

4.6.2 仪器设备配置应符合以下规定：

1 接触角测量仪：测定范围 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ ，精度为 $\pm 0.1^{\circ}$ ；

2 微量进样器：容量 $100 \mu\text{L} \sim 250 \mu\text{L}$ ，进样器针头应采用直径为 $0.21\text{mm} \sim 0.52\text{mm}$ 的平头针头，可选用不锈钢针头或聚四氟乙烯涂层针头；

3 载玻片：单头单面磨砂边载玻片，规格宜为 $76\text{mm} \times 26\text{mm}$ ；

4 烧杯：容量 100mL ；

5 计时器：精度 1s 。

4.6.3 载玻片接触角测定试验应按以下步骤进行：

1 将接触角测量仪连接电源，使载玻片光滑面朝上并放置在接触角测量仪的试样台上；

2 按试样配比配制浆液，在烧杯内装入 80mL 待测浆液；

3 用微量进样器取烧杯内总液体深度约 $1/2$ 处的浆液；

4 通过微量进样器挤出 $3\mu\text{L} \pm 1\mu\text{L}$ 液滴并悬挂于针头末端（图 4.6.3a），抬升试样台，使载玻片表面与针头末端的液滴接触（图 4.6.3b），下移试样台，使液滴转移至载玻片表面（图 4.6.3c）；

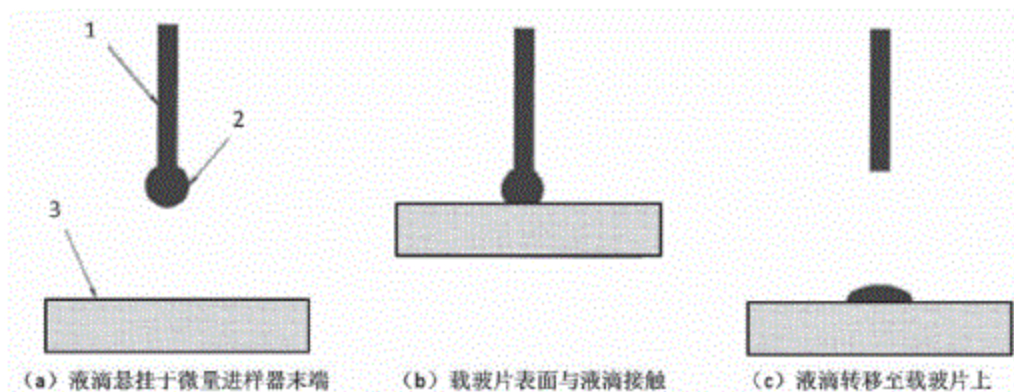


图 4.6.3 浆液在载玻片表面载玻片接触角测定过程示意图

1——微量进样器；2——挤出的浆液液滴；3——位于试样台上的载玻片

5 在液滴转移后 $60\text{s} \pm 10\text{s}$ 时间内测量液滴接触角；

6 在同一载玻片光滑面 5 个不同位置按步骤 4~步骤 5 重复试验，所有试验应在浆液混合后 10min 内完成。

4.6.4 试验结果处理应按以下规定进行：

去掉最大值和最小值，取保留的 3 个测定值的算术平均值为试验结果，以 $^{\circ}$ 表示，精确至 0.1° 。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 5% 时，应重做试验。

4.7 包水性

4.7.1 试验目的与适用材料:

1 试验目的: 测定化学灌浆材料与 10 倍水混合后, 与水反应完全形成凝胶体所用的时间, 用于评定化学灌浆材料遇水后反应的速度;

2 适用材料: 水溶性聚氨酯。

4.7.2 仪器设备配置应符合以下规定:

1 电子天平: 称量不小于 500g, 感量 0.01g;

2 计时器: 精度 1s;

3 烧杯: 容量 500mL;

4 量筒: 容量 250 mL。

4.7.3 包水性测定试验应按以下步骤进行:

1 在烧杯中称取试样 15g;

2 用量筒量取蒸馏水 150mL 倒入烧杯中, 按下计时器, 立即搅拌 10s 后静置, 搅拌次数宜为 15 次~20 次;

3 用手轻轻晃动烧杯, 连续不间断的观察烧杯中的试样, 当形成白色凝胶体不出水时, 视为试样完全固化凝胶, 停止计时, 计时器所示的时间即为包水性。

4 重复步骤 1~3, 进行 3 次试验。

4.7.4 试验结果处理应按以下规定进行:

取 3 次测定值的算术平均值作为试验结果, 以 s 表示, 精确至 1s。当其中一次测定值与算术平均值相差大于 20%时, 应重做试验。

4.8 包水量

4.8.1 试验目的与适用材料:

1 试验目的: 测定化学灌浆材料与水混合后, 能保持凝胶体状态的最大用水量, 用以评定化学灌浆材料包裹水的能力和堵水效率。

2 适用材料: 水溶性聚氨酯。

4.8.2 仪器设备配置应符合以下规定:

1 电子天平: 称量不小于 500g, 感量 0.01g;

2 烧杯: 容量 50mL、100mL、300mL、500mL;

3 量筒: 容量 25mL、50mL、250mL、500mL;

4 计时器: 精度 1s。

4.8.3 包水量测定试验应按以下步骤进行:

1 在烧杯中称取试样质量 m_0 , m_0 宜取 10g;

2 用量筒量取质量为 m_0 的水, 全部倒入装有试样的烧杯中, 按下计时器, 立即搅拌 10s 后静置, 搅拌次数宜为 15 次~20 次;

3 浆液的凝胶状态应采用以不同角度倾斜烧杯的方法进行测试, 且每隔 1min 观察一次, 具体方法如下:

1) 从浆液搅拌均匀后开始, 倾斜烧杯 45° 观察烧杯中试样与水反应的白色凝胶体是否出现泌水现象;

2) 当倾斜烧杯 45° 白色凝胶体不出现泌水现象时, 倾斜观察角度变为 90° ;

3) 当倾斜烧杯 90° 时白色凝胶体不出现泌水现象时, 结束该次试验, 重新称取试样并增加用水量继续进行下一次试验。

4 重复步骤 1~3 进行增水量试验, 每次用水量比前一次增加 m_0 。当增水量试验出现从浆液搅拌均匀后开始至 30min, 倾斜烧杯 90° 白色凝胶体仍出现泌水现象时, 停止试验, 并记录此时的用水量 m ;

5 重复步骤 1~4, 进行 3 组试验。

4.8.4 试验结果处理应按以下规定进行:

1 包水量按式 (4.8.4) 计算:

$$n = \frac{m}{m_0} - 1 \dots\dots\dots (4.8.4)$$

式中: n ——包水量;

m ——试样最终的用水量 (g);

m_0 ——试样的质量 (g)。

2 取 3 组测定值的算术平均值作为试验结果, 以倍数表示, 精确至 1 倍。当其中任意一组测定值与算术平均值相差大于 2 倍时, 应重做试验。

4.9 发泡率

4.9.1 试验目的与适用材料:

1 试验目的: 测定化学灌浆材料与水反应后, 形成的泡沫状固结体相对于原浆液的体积增长率, 用于评价浆液对于孔隙的充填能力;

2 适用材料: 聚氨酯。

4.9.2 仪器设备配置应符合以下规定:

1 电子天平: 称量不小于 500g, 感量 0.01g; 称量不小于 200g, 感量 0.001g。

2 玻璃烧杯: 容量 500mL、2000mL。

3 量筒: 容量 5mL、100mL、250 mL、500mL。

4 计时器：精度 1s。

4.9.3 水溶性聚氨酯灌浆材料发泡率测定试验应按以下步骤进行：

1 按本规程 4.2.3 的步骤测定试样的密度；

2 在 500mL 干燥烧杯中称取试样 50g；

3 用量筒量取水 100mL 全部倒入烧杯中，立即搅拌 10s，搅拌次数宜为 15 次~20 次；

4 从搅拌均匀开始至发泡反应 20min 时，加水至烧杯的 500mL 刻度，记录此次加水的体积 V_1 ；

5 重复步骤 1~4，进行 3 次试验。

4.9.4 油溶性聚氨酯灌浆材料发泡率测定试验应按以下步骤进行：

1 按本规程 4.2.3 的步骤测定试样的密度；

2 在 2000mL 干燥烧杯中称取试样 25g；

3 按试样配比要求配制浆液，并搅匀，用量筒量取 2mL 水全部倒入烧杯中，立即搅拌 10s，搅拌次数宜为 15 次~20 次；

4 从搅拌均匀开始至发泡反应 20min 时，加水至烧杯的 2000mL 刻度，记录此次加水的体积 V_2 ；

5 重复步骤 1~4，进行 3 次试验。

4.9.5 试验结果处理应按以下规定进行：

1 水溶性聚氨酯灌浆材料发泡率按式 (4.9.5-1) 计算：

$$S = \frac{500 - \frac{50}{\rho} - V_1}{\frac{50}{\rho}} \times 100 \dots\dots\dots (4.9.5-1)$$

式中：S——发泡率 (%)；

ρ ——试样的密度 (g/cm^3)；

V_1 ——第二次加水的体积 (mL)。

2 油溶性聚氨酯灌浆材料发泡率按式 (4.9.5-2) 计算：

$$S = \frac{2000 - \frac{25}{\rho} - V_2}{\frac{25}{\rho}} \times 100 \dots\dots\dots (4.9.5-2)$$

式中：S——发泡率 (%)；

ρ ——试样的密度 (g/cm^3)；

V_2 ——第二次加水的体积 (mL)。

3 取 3 次测定值的算术平均值作为试验结果，以%表示，精确至 1%。当其中任意一次测定值与算术平均值相差大于 5%时，应重做试验。

5 固结体性能试验

5.1 粘结强度

5.1.1 试验目的与适用材料:

- 1 试验目的: 测定化学灌浆材料的干粘结强度和湿粘结强度, 用于评价材料的粘结能力;
- 2 适用材料: 环氧树脂和聚氨酯。

5.1.2 仪器设备配置应符合以下规定:

- 1 拉伸试验机: 额定负荷 10KN, 精度等级 0.5 级, 试验速度在 0.001mm/min~500mm/min 之间可任意调节;
- 2 电子天平: 称量不小于 500g, 感量 0.01g;
- 3 “8”字形金属模具, 中间用插片分成两半;
- 4 粘结基材: 利用带有插片的“8”字形金属模具, 制备半“8”字形水泥砂浆块, 应按《建筑防水涂料试验方法》GB/T 16777 的规定制备;
- 5 宽橡皮筋: 宽 10mm, 对折长 80mm;
- 6 毛刷: 宽度 1”。

5.1.3 粘结强度测定试验应按以下步骤进行:

- 1 干粘结强度试件制备前, 将半“8”字形砂浆块粘结平面用 2 号砂纸进行打磨清理, 待用; 湿粘结强度试件制备前, 先将半“8”字形砂浆块粘结平面用 2 号砂纸进行打磨清理, 再将砂浆块浸入水中浸泡 24h, 试验前从水中取出砂浆块, 用干毛巾搽去其表面的水渍, 晾置 5min, 待用;
- 2 按试样配比配制浆液 100g, 搅拌均匀。用 1”毛刷将浆液均匀涂抹到半“8”字形砂浆块粘结平面上, 均匀涂刷两道后, 将两个半砂浆块粘结平面正向平整对接, 然后用宽橡皮筋在“8”字形砂浆块左右侧面缠绕两圈。每组制备 5 个试件;
- 3 干粘结强度试件直立放置在标准试验环境条件下养护; 湿粘结强度试件直立放置在温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不小于 90% 的条件下养护;
- 4 环氧树脂灌浆材料养护龄期达 28d 时; 聚氨酯灌浆材料养护龄期达 7d 时, 用拉伸试验机进行粘结强度测试;
- 5 测试时, 将试件安装在试验机夹具上, 保持试件表面垂直方向的中线与试验机夹具中心在一条直线上, 以 5mm/min 的速度拉伸至试件破坏, 记录试件破坏的最大拉力。

5.1.4 试验结果处理应按以下规定进行:

- 1 粘结强度按式 (5.1.4) 计算:

$$\sigma = \frac{F}{a \times b} \dots\dots\dots (5.1.4)$$

式中： σ ——粘结强度（MPa）；

F ——试件破坏的最大拉力（N）；

a ——试件粘结面的长度（mm）；

b ——试件粘结面的宽度（mm）。

2 去除表面粘结面积小于80%的试件，粘结强度试验结果以剩下的不少于3个试件测定值的算术平均值表示，以MPa表示，精确至0.1MPa。当其中任意一次测定值与算术平均值相差大于5%，应重做试验。当去除表面粘结面积小于80%的试件后有效试件数量少于3个时，应重新制备试件。

5.2 抗压强度

5.2.1 试验目的与适用材料：

1 试验目的：测定化学灌浆材料固结体的抗压强度，用于评价材料的承载能力；

2 适用材料：环氧树脂和聚氨酯。

5.2.2 仪器设备配置应符合以下规定：

1 万能试验机：额定负荷 100KN，精度等级 0.5 级，试验速度在 0.001mm/min~500mm/min 可任意调节；

2 钢制立方体试模：尺寸为 20mm×20mm×20mm；

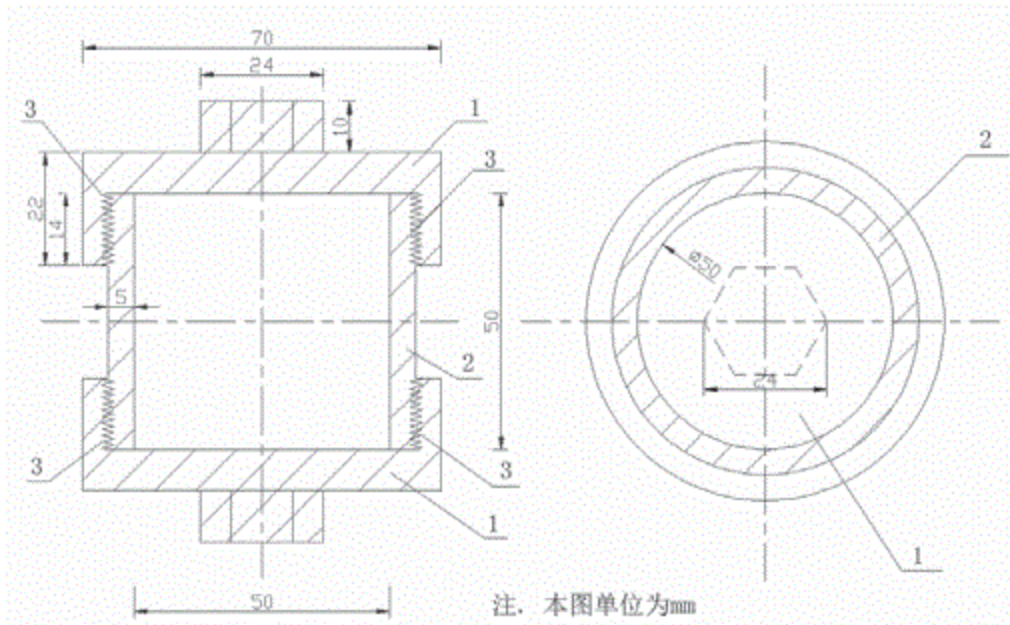
3 钢制圆柱体试模：采用圆柱体无缝钢管制作，内径 $\Phi 50 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ ，壁厚不小于 5mm，圆柱体高度 $50 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ ，内壁表面粗糙度不大于 $100\mu\text{m}$ ，外圈两端螺纹长度不小于 14mm；封盖采用钢材制作，厚度不小于 8mm，内圈螺纹长度 14mm；示意图见图 5.2.2；

4 电子天平：称量不小于 500g，感量 0.01g；

5 台虎钳；

6 管钳；

7 计时器：精度 1s。



5.2.2 圆柱体试模示意图

1——封盖；2——试模圆柱体钢管；3——螺纹

5.2.3 抗压强度测定试验应按以下步骤进行：

1 环氧树脂灌浆材料固结体的抗压强度试件应按以下步骤制备：

- 1) 立方体试模准备，试模内壁均匀涂抹一层真空硅脂，水平放置；
- 2) 按试样配比配制浆液 300g，搅拌 60s；
- 3) 将浆液倒满立方体试模，浆液未凝胶前应补充浆液使其充满模具，应使试件表面平整；
- 4) 在标准试验环境条件下养护 28d，拆模后进行测定；
- 5) 试件应平整、光滑、无气泡、无裂纹、无明显拆模损伤等缺陷。若有效试件数量不足 5 个，应重新制备试件。

2 聚氨酯灌浆材料固结体的抗压强度试件应按以下步骤制备：

- 1) 在试模圆柱体钢管内壁和封盖内壁用真空硅脂均匀涂抹一道，将一端封盖固定在台虎钳上，在试模圆柱体钢管两端的螺纹上分别缠绕四圈聚四氟乙烯生料带，将试模圆柱体钢管旋于封盖上，用管钳旋紧；
- 2) 按试样配比配制浆液 120g，搅拌 10s，搅拌次数宜为 15 次~20 次；
- 3) 将浆液倒入圆柱体试模内，充满为止，立即用管钳旋紧另一端的封盖；
- 4) 将试模垂直放置于标准试验环境条件下养护，养护龄期 7d，拆模后进行测定；
- 5) 拆模时，将试模固定在台虎钳上，先用管钳拧松一端的封盖，使试模内的压力缓慢释放后，再打开两端封盖，取出固结体试件；
- 6) 制备 3 个试件，试件表面应平整、无气泡，两端面应与主轴面垂直。

3 环氧树脂灌浆材料固结体抗压强度试验按《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567 规定的方法，用万能试验机进行试验，按 5mm/min 对试件施加均匀连续载荷，读取破坏载荷或最大载荷。

4 聚氨酯灌浆材料固结体抗压强度试验按《塑料压缩性能的测定》GB/T 1041 规定的方法，用万能试验机进行试验，按 5mm/min 对试件施加均匀连续载荷，以试件压缩应变为 30% 时的荷载计算抗压强度。

5.2.4 试验结果处理应按以下规定进行：

1 抗压强度按式 (5.2.4) 计算：

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (5.2.4)$$

式中： σ ——抗压强度 (MPa)；

F——读取的破坏载荷或最大荷载 (N)；

A——试件横截面积 (mm²)。

2 环氧树脂灌浆材料固结体抗压强度试验结果去掉测定的最大值和最小值，取保留的 3 个测定值的算术平均值，以 MPa 表示，精确至 0.1MPa。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 10% 时，应重做试验。

3 聚氨酯灌浆材料固结体抗压强度试验结果取 3 个试件测定值的算术平均值，以 MPa 表示，精确至 0.1MPa。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 10%，应重做试验。

5.3 压缩模量

5.3.1 试验目的与适用材料：

1 试验目的：测定化学灌浆材料固结体的压缩模量，用于评定材料的压缩变形性能；

2 适用材料：环氧树脂和聚氨酯。

5.3.2 仪器设备配置应符合以下规定：

1 万能试验机：额定负荷 100KN，精度等级 0.5 级，试验速度在 0.001mm/min~500mm/min 可任意调节；带有测定变形的高精度平均轴向引伸计，精度等级 0.5 级；

2 钢制立方体试模：尺寸为 20mm×20mm×20mm；

3 钢制圆柱体试模：同本规程 5.2.2。

4 电子天平：称量不小于 500g，感量 0.01g；

5 计时器：精度 1s；

6 台虎钳；

7 管钳。

5.3.3 压缩模量测定试验应按以下步骤进行：

1 压缩模量试件的制备同本规程 5.2.3;

2 用万能试验机测定压缩模量时,应在上、下压板与试样接触面之间或在试样高度中间安装测定变形仪表;

3 按 2mm/min 加荷速度连续加载,自动记录载荷和相应的变形值,所施加的载荷不宜超过破坏荷载的 50%。

5.3.4 试验结果处理应按以下规定进行:

1 环氧树脂灌浆材料压缩模量按式 (5.3.4-1) 计算:

$$E_c = \frac{L_0 \times \Delta P}{b \times h \times \Delta L} \dots\dots\dots (5.3.4-1)$$

式中: E_c ——压缩模量 (MPa);

L_0 ——试件原始高度或试件高度中间安装仪表的标距 (mm);

ΔP ——对应于载荷-变形曲线上初始直线段的载荷增量值 (N);

ΔL ——与载荷增量 ΔP 对应的标距 L_0 内的变形增量 (mm);

b ——试件宽度 (mm);

h ——试件厚度 (mm)。

2 环氧树脂灌浆材料固结体压缩模量试验结果去掉测定的最大值和最小值,取保留的 3 个测定值的算术平均值,以 MPa 表示,精确至 1MPa。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 10%时,应重做试验。

3 聚氨酯灌浆材料压缩模量按式 (5.3.4-2) 计算:

$$E_c = \frac{4L_0 \times \Delta P}{\pi \times d^2 \times \Delta L} \dots\dots\dots (5.3.4-2)$$

式中: E_c ——压缩模量 (MPa);

L_0 ——试件原始高度或试件高度中间安装仪表的标距 (mm);

ΔP ——对应于载荷-变形曲线上初始直线段的载荷增量值 (N);

ΔL ——与载荷增量 ΔP 对应的标距 L_0 内的变形增量 (mm);

d ——试件直径 (mm)。

4 聚氨酯灌浆材料固结体压缩模量试验结果取 3 个试件测定值的算术平均值,以 MPa 表示,精确至 1MPa。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 10%,应重做试验。

5.4 抗拉强度

5.4.1 试验目的与适用材料:

1 试验目的:测定化学灌浆材料固结体的抗拉强度,用于评价材料的抗拉伸性能;

2 适用材料:环氧树脂和水溶性聚氨酯。

5.4.2 仪器设备配置应符合以下规定：

1 万能试验机：额定负荷 10KN，精度等级 0.5 级，试验速度在 0.001mm/min~500mm/min 可任意调节；

2 万能试验机：额定负荷 500N，精度等级 0.5 级，试验速度在 0.001mm/min~500mm/min 可任意调节；

3 哑铃型试模：模腔尺寸要求见图 5.4.2-1，材质宜采用聚四氟乙烯；

4 扁圆形钢模：上、下两块扁圆形钢板 $\Phi 220\text{mm}$ 、厚度不小于 10mm、内壁表面粗糙度不高于 $100\mu\text{m}$ ，距离圆形钢板边缘 10mm 处均匀分布 6 个 $\Phi 4\text{mm}$ 的螺纹孔；其中一块扁圆形底板中间切削一个 $\Phi 200\text{mm}$ 、深 2mm 的圆形凹槽；另一块扁圆形盖板距离圆心 92mm 的位置开 1 个 $\Phi 4\text{mm}$ 的螺纹孔；配备 7 枚 M4 螺钉。示意图见图 5.4.2-2；

5 哑铃状裁刀：技术要求应符合《硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定》GB/T 528 哑铃状试样用裁刀尺寸 1 型的规定；

6 电子天平：称量不小于 500g，感量 0.01g；

7 计时器：精度 1s；

8 测厚仪：测定范围 0~10mm，分度值 0.01mm，施加压力小于 0.02MPa。

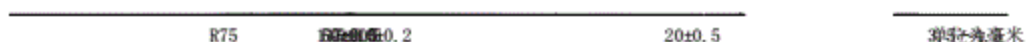


图5.4.2-1哑铃型试模模腔尺寸

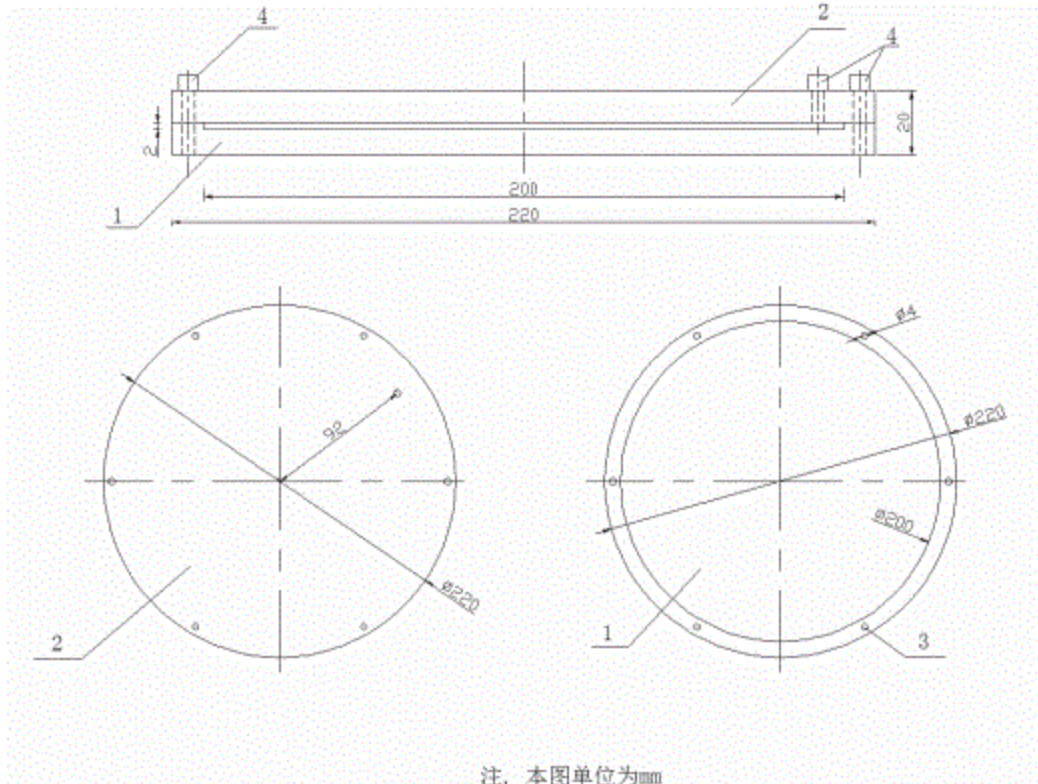


图5.4.2-2 扁圆形钢模

1——底板；2——盖板；3——螺纹孔；4——螺钉

5.4.3 抗拉强度测定试验应按以下步骤进行：

1 环氧树脂灌浆材料固结体的抗拉强度试件应按以下步骤制备：

- 1) 哑铃型试模准备，试模模腔内壁均匀涂抹一层真空硅脂，水平放置；
- 2) 按试样配比配制浆液 300g，搅拌 60s；
- 3) 将搅拌好的浆液倒满试模，浆液未凝胶前应补充浆液使模具充满，试件表面应平整；
- 4) 在标准试验环境条件下养护，养护龄期 28d，拆模后进行测定；
- 5) 拆模后试件出现裂纹、浆液填充不饱满或者断裂，此试件应作废。有效试件数量不足 5 个时，应重新制备试件。

2 聚氨酯灌浆材料固结体的抗拉强度试件应按以下步骤制备：

- 1) 扁圆形钢模准备，钢模底板和盖板内壁用真空硅脂均匀涂抹一道，底板水平放置在试验操作台上；
- 2) 按试样配比配制浆液 100g，搅拌 20s；
- 3) 立即将浆液倒入扁圆形钢模底板内，充满为止；装上密封盖板，使底板和盖板边缘的螺纹孔上下对齐，旋上螺钉；待盖板的螺纹孔冒出浆液时，此孔再旋上螺钉；最后用活动扳手旋紧所有螺钉；
- 4) 将试模水平放置于标准试验环境条件下养护 7d；

5) 拆模取出试片, 试片表面应平整、无气泡、无裂纹。用 1 型哑铃形裁刀裁切试件, 试件应无加工损伤等缺陷, 有效试件数量不足 3 个时, 应重新制备试件。

3 环氧树脂灌浆材料固结体抗拉强度试验应按《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567 拉伸试验规定的方法进行试验。用测厚仪测定试件标距 L_0 ($50\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$) 段内任意 3 处的宽度和厚度, 取算术平均值, 测定准确至 0.01mm ; 用万能试验机进行试验, 夹持试件时应使试件的中心轴线与上、下夹具的对准中心线一致, 按 $10\text{mm}/\text{min}$ 的试验速度均匀连续加载, 直至破坏, 读取破坏载荷值;

4 水溶性聚氨酯灌浆材料固结体抗拉强度试验应按《硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定》GB/T 528 中规定的方法进行试验。用测厚仪测定试件标距 L_0

($25.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$) 段内任意 3 处的宽度和厚度, 取算术平均值, 测定准确至 0.01mm ; 用万能试验机进行试验, 将试件对称地夹在万能试验机的上、下夹持器上, 按 $500\text{mm}/\text{min} \pm 50\text{mm}/\text{min}$ 的试验速度均匀连续加载, 直至破坏, 读取破坏载荷值。

5.4.4 试验结果处理应按以下规定进行:

1 抗拉强度按式 (5.4.4) 计算:

$$\sigma_t = \frac{P}{b \times h} \dots\dots\dots (5.4.4)$$

式中: σ_t ——抗拉强度 (MPa);

P ——破坏载荷 (N);

b ——试件宽度 (mm);

h ——试件厚度 (mm)。

2 环氧树脂灌浆材料固结体抗拉强度试验结果去掉测定的最大值和最小值, 取保留的 3 个测定值的算术平均值, 以 MPa 表示, 精确至 0.1MPa 。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 10% 时, 应重做试验。

3 聚氨酯灌浆材料固结体抗拉强度试验结果取 3 个试件测定值的算术平均值, 以 MPa 表示, 精确至 0.1MPa 。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 10%, 应重做试验。

5.5 拉伸模量

5.5.1 试验目的与适用材料:

1 试验目的: 测定化学灌浆材料固结体的拉伸模量, 用于评价材料的拉伸变形性能;

2 适用材料: 环氧树脂和水溶性聚氨酯。

5.5.2 仪器设备配置应符合以下规定:

1 万能试验机: 额定负荷 10KN , 精度等级 0.5 级, 试验速度在 $0.001\text{mm}/\text{min} \sim 500\text{mm}/\text{min}$ 可任意调节; 带有测定变形的双向平均长行程引伸计, 精度等级 0.5 级;

2 万能试验机：额定负荷 500N，精度等级 0.5 级，试验速度在 0.001mm/min~500mm/min 可任意调节，带有测定变形的双向平均长行程引伸计，精度等级 0.5 级；

3 哑铃型试模：同本规程 5.4.2；

4 扁圆形钢模：同本规程 5.4.2；

5 哑铃状裁刀：同本规程 5.4.2；

6 电子天平：称量不小于 500g，感量 0.01g；

7 计时器：精度 1s；

8 测厚仪：测定范围 0~10mm，分度值 0.01mm，施加压力小于 0.02MPa。

5.5.3 拉伸模量测定试验应按以下步骤进行：

1 拉伸模量试件的制备同本规程 5.4.3。

2 用万能试验机测定拉伸模量时，测定厚度和夹持试件同本规程 5.4.3，同时应在试件的标距段上安装测定变形的引伸计。检查和调整仪表，使整个系统处于正常工作状态，按规定速度均匀连续加载，直至试件破坏，自动记录相应数据。测定环氧树脂灌浆材料固结体的拉伸模量时，试验速度为 2mm/min。测定水溶性聚氨酯灌浆材料固结体的拉伸模量时，试验速度为 100mm/min。

5.5.4 试验结果处理应按以下规定进行：

1 拉伸模量按式（5.5.4）计算：

$$E_t = \frac{L_0 \times \Delta P}{b \times h \times \Delta L} \dots\dots\dots (5.5.4)$$

式中： E_t ——拉伸模量（MPa）；

L_0 ——测定标距（mm）；

ΔP ——载荷-变形曲线上初始直线段的载荷增量值（N）；

ΔL ——与载荷增量 ΔP 对应的标距 L_0 内的变形增量（mm）；

b ——试件宽度（mm）；

h ——试件厚度（mm）。

2 去掉最大值和最小值，环氧树脂灌浆材料固结体拉伸模量试验结果取保留的 3 个测定值的算术平均值，以 MPa 表示，精确至 1MPa。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 10%时，应重做试验。

3 聚氨酯灌浆材料固结体拉伸模量试验结果取 3 个试件测定值的算术平均值，以 MPa 表示，精确至 1MPa。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 10%，应重做试验。

5.6 断裂伸长率

5.6.1 试验目的与适用材料:

- 1 试验目的: 测定化学灌浆材料固结体的断裂伸长率, 用于评价材料的拉伸变形性能;
- 2 适用材料: 环氧树脂和水溶性聚氨酯。

5.6.2 仪器设备配置应符合以下规定:

- 1 万能试验机: 额定负荷 10KN, 精度等级 0.5 级, 试验速度在 0.001mm/min~500mm/min 可任意调节, 带有测定变形的双向平均长行程引伸计, 精度等级 0.5 级;
- 2 万能试验机: 额定负荷 500N, 精度等级 0.5 级, 试验速度在 0.001mm/min~500mm/min 可任意调节, 带有测定变形的双向平均长行程引伸计, 精度等级 0.5 级;
- 3 哑铃型试模: 同本规程 5.4.2;
- 4 扁圆形钢模: 同本规程 5.4.2;
- 5 哑铃状裁刀: 同本规程 5.4.2;
- 6 电子天平: 称量不小于 500g, 感量 0.01g;
- 7 计时器: 精度为 1s;
- 8 测厚仪: 测定范围 0~10mm, 分度值 0.01mm, 施加压力小于 0.02MPa。

5.6.3 断裂伸长率测定试验应按以下步骤进行:

- 1 断裂伸长率试件的制备同本规程 5.4.3。
- 2 用万能试验机测定断裂伸长率时, 测定厚度和夹持试件同本规程 5.4.3, 同时应在试件的标距段上安装测定变形的引伸计。按规定速度均匀连续加载, 直至试件破坏, 自动记录相应数据。测定环氧树脂灌浆材料固结体的断裂伸长率时, 试验速度为 10mm/min。测定聚氨酯灌浆材料固结体的断裂伸长率时, 试验速度为 500mm/min ± 50 mm/min。

5.6.4 试验结果处理按以下规定进行:

- 1 断裂伸长率按式 (5.6.4) 计算:

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta L_b}{L_0} \times 100 \dots\dots\dots (5.6.4)$$

式中: ε_t ——断裂伸长率%;

ΔL_b ——试件断裂时标距 L_0 内的伸长量 (mm);

L_0 ——试件初始标距长度 (mm)。

- 2 去掉最大值和最小值, 环氧树脂灌浆材料固结体断裂伸长率试验结果取保留的 3 个测定值的算术平均值, 以%表示, 精确至 1%。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 10%时, 应重做试验。

- 3 聚氨酯灌浆材料固结体断裂伸长率试验结果取 3 个试件测定值的算术平均值, 以百分数表示, 精确至 1%。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 10%, 应重做试验。

5.7 拉伸剪切强度

5.7.1 试验目的与适用材料:

- 1 试验目的: 测定化学灌浆材料的拉伸剪切强度, 用于评价材料相对抗剪性能;
- 2 适用材料: 环氧树脂。

5.7.2 仪器设备配置应符合以下规定:

1 万能试验机: 额定负荷 10KN, 精度等级 0.5 级, 试验速度在 0.001mm/min~500mm/min 可任意调节, 应配置一副可自动调心的夹具;

2 角向磨光机;

3 钢片: 45 碳钢, 尺寸为长 100mm±0.25mm、宽 25mm±0.25mm、厚 1.6mm±0.1mm;

4 长尾夹: 51mm;

5 电子天平: 称量不小于 500g, 感量 0.01g;

6 计时器: 精度 1s。

5.7.3 拉伸剪切强度测定试验应按以下步骤进行:

1 准备试验用的钢片。用角向磨光机对钢片进行表面处理, 去除钢片的氧化层, 用挥发性溶剂将钢片擦拭干净;

2 试件应符合图 5.7.3 所示的要求, 标准试件的搭接长度为 12.5mm±0.25mm; 在钢片上划线标记需要搭接的区域, 待搭接的钢片主轴方向应与试件拉伸剪切的方向一致。

3 按试样配比配制浆液 100g, 搅拌 60s;

4 将配制好的浆液均匀涂抹于两片钢片上标记的待搭接区域, 然后将两片钢片待搭接区域对齐、搭接在一起, 再用长尾夹夹紧搭接区域, 清除挤出的多余浆液后, 平放在标准试验环境条件下养护, 养护龄期 28d;

5 试件养护至规定龄期后取下长尾夹, 测量试件搭接面的长度和宽度, 精确到 0.1mm; 目视搭接面未接触充分或者两片钢片不在一条直线上的试件应作废, 有效试件数量不足 5 个时, 应重新制备试件;

6 按《胶粘剂拉伸剪切强度的测定(刚性材料对刚性材料)》GB/T 7124 的规定进行试验, 将试样对称地夹在试验机的夹具上, 夹持处至距离最近的搭接端的距离为 50mm±1mm, 试验机以恒定速率加载, 载荷变化速率可为 8.3MPa/min~9.8MPa/min, 破坏时间宜控制在 45s~85s 之间, 记录试件剪切破坏的最大载荷。

图 5.7.3 试件的性质及尺寸

1——环氧树脂灌浆材料；2——夹持区域；3——剪切区域

5.7.4 试验结果处理按以下规定进行：

1 拉伸剪切强度按式（5.7.4）计算：

$$\tau = \frac{P}{B \times L} \dots\dots\dots (5.7.4)$$

式中： τ ——拉伸剪切强度（MPa）；

P ——试件剪切破坏的最大载荷（N）；

B ——试件搭接面宽度（mm）；

L ——试件搭接面长度（mm）。

2 去掉最大值和最小值，取保留3个测定值的算术平均值，以MPa表示，精确至0.1MPa。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于15%时，应重做试验。

5.8 遇水膨胀率

5.8.1 试验目的与适用材料：

1 试验目的：测定化学灌浆材料固结体浸泡水后体积膨胀倍率，用于评价材料灌浆后的二次堵水性能；

2 适用材料：水溶性聚氨酯和丙烯酸盐。

5.8.2 仪器设备配置应符合以下规定：

1 悬挂式电子天平：称量不小于 300g，感量 0.001g；

2 电子天平：称量不小于 500g，感量 0.01g；

3 钢制圆柱体试模：同本规程 5.2.2；

4 计时器：精度 1s；

5 塑料直管： $\Phi 10\text{mm}$ ，长 30cm；

6 烧杯：容量 500mL；

7 台虎钳；

8 管钳。

5.8.3 遇水膨胀率测定试验应按以下步骤进行：

1 水溶性聚氨酯灌浆材料遇水膨胀试件制备按本规程 5.2.3 的规定进行，每组制备 3 个试件，72h 拆模。

2 丙烯酸盐灌浆材料遇水膨胀试件的制备应按以下规定进行：

1) 按试样配比配制浆液 300g，搅拌 20s；

2) 将配制好的浆液倒入内径为 10mm 的塑料直管中，塑料直管的两端用橡胶塞密封；

3) 待浆液在塑料直管中形成凝胶、固化 24h 后拆模, 取出固化物, 切割成长度为 50mm 的试件, 每组制备 3 个试件。

3 称量浸泡前试件在空气中的质量 m_1 和在蒸馏水中的质量 m_2 , 应在拆模后 10min 内完成。

4 将试件浸泡于装有蒸馏水的烧杯中, 使其自由膨胀, 浸泡过程中应保持水面超过试件表面, 不同试件之间不得挤压约束, 不同试样的试件不得置于同一烧杯中浸泡。水溶性聚氨酯灌浆材料固结体浸泡时间应为 28d, 丙烯酸盐灌浆材料固结体浸泡时间应为 7d。

5 浸泡至相应龄期后, 将试件从浸泡水中取出晾置 2min, 称量浸泡后试件在空气中的质量 m_3 和在蒸馏水中的质量 m_4 , 称量应在试件从浸泡水中取出后 10min 内完成。

5.8.4 试验结果处理应按以下规定进行:

1 遇水膨胀率按式 (5.8.4) 计算:

$$\Delta V = \frac{(m_3 - m_4) - (m_1 - m_2)}{m_1 - m_2} \times 100 \dots\dots\dots (5.8.4)$$

式中: ΔV ——遇水膨胀率 (%);

m_1 ——浸泡前试件在空气中的质量 (g);

m_2 ——浸泡前试件在蒸馏水中的质量 (g);

m_3 ——浸泡后试件在空气中的质量(g);

m_4 ——浸泡后试件在蒸馏水中的质量 (g)。

2 取 3 个试件测定值的算术平均值作为试验结果, 以百分数表示, 精确至 1%。当其中任意一个测定值与算术平均值相差大于 10%, 应重做试验。

5.9 玻璃毛细管抗挤出破坏比降

5.9.1 试验目的与适用材料:

1 试验目的: 测定化学灌浆材料固化物单位长度上承受的不被挤出破坏的水压力, 用于评价材料相对抗挤压性能;

2 适用材料: 丙烯酸盐。

5.9.2 仪器设备配置应符合以下规定:

1 砂浆抗渗仪: 工作压力不小于 2.5MPa, 准确度等级 1.5 级;

2 玻璃毛细管: 直径 0.3mm、长度 100mm 玻璃点样管;

3 游标卡尺: 量程 0~150mm, 精度 0.1mm;

4 试模装置: 材质应为不锈钢, 外形为直径 94mm、高 30mm 的圆柱体, 形状及尺寸应符合图 5.9.2 的要求, 其顶部开有 4 个卡槽 (长度 5mm、宽度 5mm、深度 15mm), 底部呈螺纹状 (高度 10mm、螺距 2mm)。

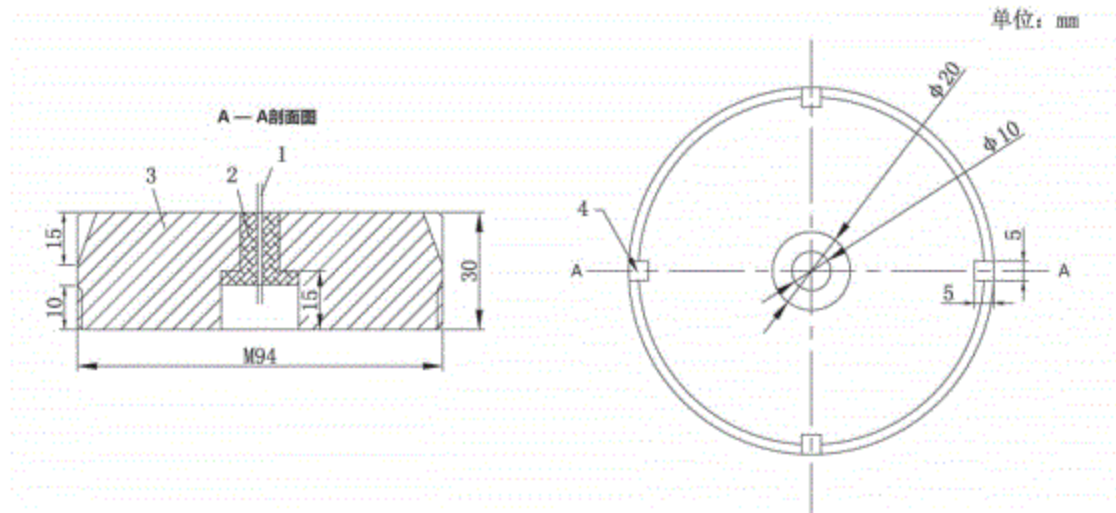


图 5.9.2 玻璃毛细管抗挤出破坏比降试模示意图

1——玻璃毛细管试样； 2——环氧密封材料； 3——不锈钢试模； 4——卡槽

5.9.3 玻璃毛细管抗挤出破坏比降测定试验应按以下步骤进行：

1 将玻璃毛细管插入配制好的浆液中，使浆液吸入玻璃管，待浆液凝胶后取出充满固化物的玻璃毛细管，在标准条件下养护 1d 后裁剪成长度 L 为 $50\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 的试件。

2 将充满固化物的玻璃毛细管安装到试模中，用环氧密封胶密封，见图 5.10.2。

3 将试模安装至砂浆抗渗仪，开启砂浆抗渗仪，自 0.1MPa 开始加压，按每级 0.05MPa 升压，每级压力持续 2h，直到在玻璃毛细管的另一端观察到固化物被挤出或渗水为止，记录此时的水压力 P 。

4 按步骤 1~3 重复试验 3 次。

5.9.4 试验结果处理应按以下规定进行：

1 玻璃毛细管抗挤出破坏比降按式 (5.9.4) 计算（试验结果精确至 1）：

$$i = \frac{(P - 0.05) \times K}{L} \dots\dots\dots (5.9.4)$$

式中： i ——玻璃毛细管抗挤出破坏比降；

P ——挤出压力 (MPa)；

L ——试件长度 (mm)；

K ——换算系数， $K=1 \times 10^5$ (mm/MPa)；

0.05——每级变化的压力 (MPa)。

2 每组制备 3 个试件，以 3 个试件被挤出的水压力最小值为该组试件的挤出压力，且 3 个试件的最大值与最小值相差不得超过 0.1MPa ，否则应重做试验。

5.10 渗透系数

5.10.1 试验目的与适用材料:

1 试验目的: 测定化学灌浆材料的渗透系数, 用于评价材料的相对抗渗性能;

2 适用材料: 丙烯酸盐。

5.10.2 仪器设备配置应符合以下规定:

1 渗透容器: 应符合《土工试验方法标准》GB/T 50123 的规定, 由透水石、环刀、套环、上盖和下盖组成, 环刀内径 61.8mm, 高 40mm; 透水石的渗透系数应大于 10^{-3} cm/s;

2 真空饱和试验装置: 应符合《土工试验方法标准》GB/T 50123 的规定, 由渗透容器、真空缸、橡皮塞、二通阀、排气管、管夹、引水管、盛水器、抽气机组成 (见图 5.10.2-1);

3 变水头渗透试验装置: 应符合《土工试验方法标准》GB/T 50123 的规定, 由渗透容器、变水头管、供水瓶、进水管等组成 (见图 5.10.2-2)。变水头管的内径应均匀, 管径不大于 1cm, 管外壁应有最小分度为 1.0mm 的刻度, 长度宜为 2.0m 左右;

4 电子秤: 称量不小于 30kg, 感量 0.1g。

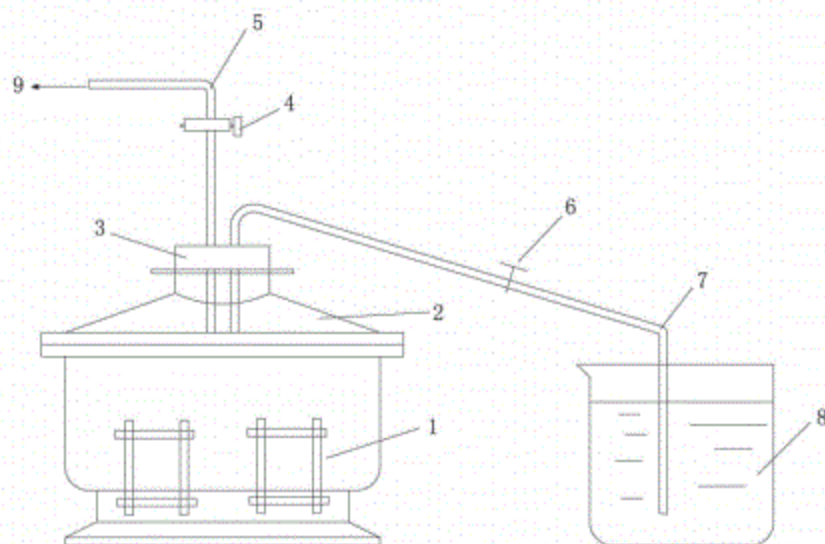


图 5.10.2-1 真空饱和试验装置

1——渗透容器; 2——真空缸; 3——橡皮塞; 4——二通阀; 5——排气管;
6——管夹; 7——引水管; 8——盛水器; 9——接抽气机

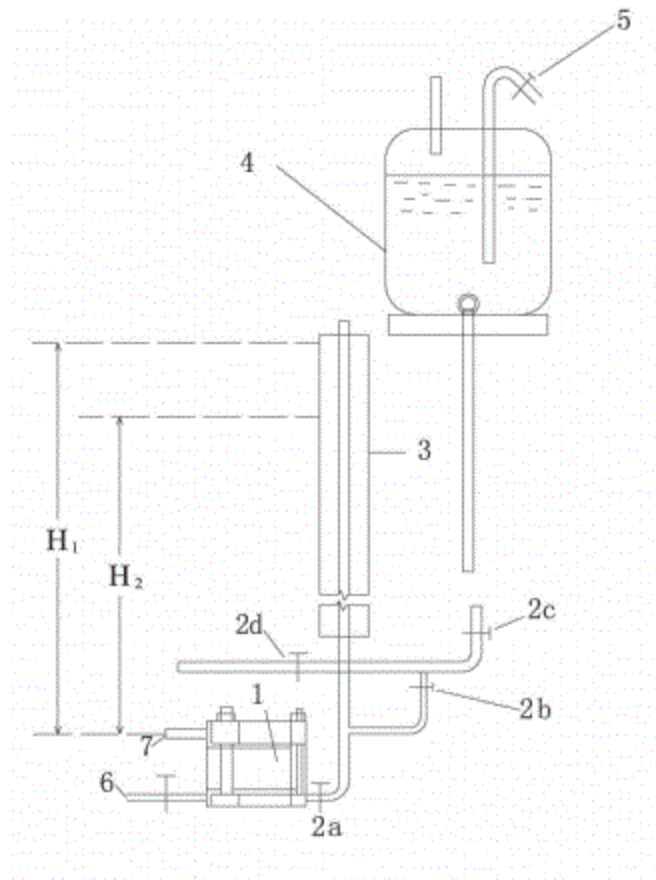


图 5.10.2-2 变水头渗透试验装置

1——渗透容器；2——进水管夹；3——变水头管；4——供水瓶；
5——接水源管；6——排气水管；7——出水管

5.10.3 渗透系数测定试验应按以下步骤进行：

1 按试样配比配制浆液 1000g 并倒入环刀，待浆液固化后，采用保鲜膜包裹，在标准试验环境条件下养护 1d。

2 将装有试样的环刀装入渗透容器，旋紧，密封至不漏水不漏气。

3 利用真空试验饱和装置，对装有试样的渗透容器进行抽真空预饱和。按图 5.10.2-1 将装有试样的渗透容器放入真空缸内，真空缸与盖之间涂一薄层真空硅脂，盖紧；将真空缸与抽气机接通，打开二通阀 4，启动抽气机，当真空压力表读数接近 -0.1MPa 后，继续抽气不少于 1h；打开管夹 6，使蒸馏水缓慢注入真空缸，在注水过程中，真空压力表读数宜维持在 -0.1MPa 左右；待水淹没渗透容器后，关闭二通阀 4 和管夹 6，停止抽气，静置 1h。移去盛水器 8 或使盛水器中水面低于引水管 7 管口，打开管夹 6 使空气进入真空缸，取出渗透容器。

4 按图 5.10.2-2 连接变水头渗透试验装置各组成部分。首先，连接渗透容器 1 的进水口与变水头管 3，打开进水管夹 2a、2b、2c，利用供水瓶 4 中的蒸馏水向进水管沿 2c→2b→2a 方向注满水，并渗入渗透容器 1；随后，开排气阀 6，将渗透容器 1 侧立，排出渗透容器底

部的空气，直至溢出水无气泡时，关闭排气阀 6，放平渗透容器 1，关闭进水管夹 2a、2b、2c。

5 进行变水头渗透试验。打开变水头渗透试验装置的进水管夹 2c，向变水头管 3 注蒸馏水，使水位升高至 1.7m~2.0m。待水位稳定后，关闭进水管夹 2c 切断水源，打开进水管夹 2a，使水通过渗透容器 1 中的试样。当出水口 7 有水溢出时，记为起始时间 t_1 ，此时变水头管 3 中水头高度记为初始水头高度 H_1 ；每隔 12h 关闭进水管夹 2a，记为终了时间 t_2 ，测记此时的水头高度 H_2 。打开进水管夹 2a 继续放水，待水位稳定后继续测记水头和时间变化，连续测记 3 次，同时记录每次测记开始和终了时出水口 7 的水温读数 T 。

6 按步骤 1~5 重复试验 3 次。即每组试验制备 3 个试样，每个试样的渗透试验均需将变水头管水位回升至需要的高度，待水位稳定时测记水头和时间变化，以及每次测记开始和终了时出水口 7 的水温读数 T 。

5.10.4 试验结果处理应按以下规定进行：

1 渗透系数按式 (5.10.4-1) 计算：

$$k_T = 2.3 \frac{\alpha L}{A(t_2 - t_1)} \lg \frac{H_1}{H_2} \dots\dots\dots (5.10.4-1)$$

式中： k_T ——水温为 $T^\circ\text{C}$ 时试样的渗透系数 (cm/s)，应保留三位有效数字；

α ——变水头管截面积 (cm²)；

L ——渗径即试样高度 (cm)；

H_1 ——起始水头 (cm)；

H_2 ——终止水头 (cm)；

A ——试样试件的横截面积 (cm²)；

t_1, t_2 ——分别为测读水头的起始和终止时间 (s)；

2.3——ln 和 lg 的换算系数。

2 水温 20 $^\circ\text{C}$ 时试样的渗透系数应按式 (5.10.4-2) 计算：

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \dots\dots\dots (5.10.4-2)$$

式中： k_{20} ——水温 20 $^\circ\text{C}$ 时试样的渗透系数 (cm/s)，应保留三位有效数字；

η_T ——水温为 $T^\circ\text{C}$ 时水的动力黏滞系数 (kPa·s)；

η_{20} ——水温为 20 $^\circ\text{C}$ 时水的动力黏滞系数 (kPa·s)；

η_T/η_{20} ——黏滞系数比，查阅附录 B。

3 每个试样水温 20 $^\circ\text{C}$ 下的渗透系数应为 2~3 个在允许差值范围内的数据的算术平均值，结果保留三位有效数字。如在允许差值范围内的数据数量少于 2 个，应重新试验。

4 每组试验平行制备 3 个试件，以在允许差值范围内的 2~3 个试样的 k_{20} 测定值的算术平均值，作为该组试样的平均渗透系数，结果保留两位有效数字，精确至 0.1。如在允许差值范围内的试样数量少于 2 个，应重新试验。

5 渗透系数的计算结果以 $A \times 10^{-n}$ 表示。A 为有效数字，应符合本条 3 款和 4 款有效数字位数的要求。同一试样测定的渗透系数的允许差值范围，以及不同试样之间渗透系数的允许差值范围，均不应大于 2×10^{-n} ，即，重复试验结果的 n 值应不变，有效数字 A 的差值不应大于 2。

5.11 固砂体抗压强度

5.11.1 试验目的与适用材料：

- 1 试验目的：测定化学灌浆材料固砂体的抗压强度，用于间接评价材料的相对承载能力；
- 2 适用材料：丙烯酸盐和水玻璃。

5.11.2 仪器设备配置应符合以下规定：

- 1 万能试验机：额定负荷 10KN，精度等级 0.5 级，试验速度在 0.001mm/min~500mm/min 可任意调节；
- 2 立方体金属试模：尺寸为 70.7mm×70.7mm×70.7mm；
- 3 电子秤：称量不小于 30kg，感量 0.1g；
- 4 电子天平：称量不小于 500g，感量 0.01g；
- 5 电动砂浆搅拌机：容量 5L；
- 6 振动台：有效台面尺寸为 100 mm×100mm。

5.11.3 固砂体抗压强度测定试验应按以下步骤进行：

- 1 采用真空硅脂在立方体金属试模内表面和试模的外接缝涂抹一道，组装试模，水平放置。
- 2 水玻璃灌浆材料固砂体抗压强度试件应按以下步骤制备：
 - 1) 按试样配比配制浆液 500g，搅拌 10s；称取标准砂 2500g；
 - 2) 将称取的标准砂和浆液倒入电动砂浆搅拌机中，拌合 3min；
 - 3) 将拌合物倒入立方体试模内，装满试模并高出模口；将试模放置到振动台上，振动 15s；待表面水分稍干后，用抹刀刮去多余的砂浆，并抹平试件表面；
 - 4) 静置 24h 拆模，将试件放到温度为 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度大于 90% 的环境中养护。养护期间，试件彼此间隔不小于 10mm，上表面应覆盖毛巾。养护龄期 7d。
- 3 丙烯酸盐灌浆材料固砂体抗压强度试件应按以下步骤制备：
 - 1) 取标准砂加入到立方体试模内并略高出模口；

2) 按试样配比配制浆液 500g, 搅拌 10s, 浆液配比以凝胶时间控制在 20min~40min 为宜;

3) 将配制好的浆液从标准砂的顶部慢慢倒入砂中, 待顶部溢出浆液时停止;

4) 待浆液凝胶后, 沿试模边缘抹平表面, 并用保鲜膜覆盖试件表面, 养护 24h 后拆模;

5) 丙烯酸盐灌浆材料固砂体抗压强度试验应在拆模后 4h 内完成。

4 用万能试验机进行测试, 按 0.5mm/min 试验速度对试件施加均匀连续载荷, 直至试件压缩破坏, 读取破坏载荷。

5.11.4 试验结果处理应按以下规定进行:

1 固砂体抗压强度按式 (5.11.4) 计算:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (5.11.4)$$

式中: σ ——固砂体抗压强度 (MPa);

P ——固砂体破坏荷载 (N);

A ——试件承压面积 (mm²)。

2 每组制备 3 个试件, 取 3 次测定值的算术平均值作为试验结果, 以 MPa 表示, 精确至 0.01MPa。当其中任意一次测定值与算术平均值相差大于 20%时, 应重做试验。

附录 A 化学灌浆材料试验项目和取样数量要求

A.0.1 根据工程需要，宜按表 A.0.1 对不同化学灌浆材料选取相应的项目进行性能试验。

A.0.2 单项项目试验的最少取样数量应符合表 A.0.1 的规定。

表 A.0.1 试验项目和试验最少取样量列表

序号	项目	环氧树脂 灌浆材料	聚氨酯灌 浆材料	丙烯酸盐 灌浆材料	水玻璃灌 浆材料	最少取样数量 (g)
1	黏度	√	√	√	√	1500
2	密度	√	√	√	√	500
3	可操作时间	√				1500
4	凝胶时间	√	√	√	√	500
5	载玻片接触角	√				500
6	不挥发物含量		√			100
7	包水量		√			1000
8	包水性		√			100
9	发泡率		√			500
10	粘结强度	√	√			500
11	抗压强度	√	√			500
12	压缩模量	√	√			500
13	抗拉强度	√	√			1000
14	拉伸模量	√	√			1000
15	断裂伸长率	√	√			1000
16	拉伸剪切强度	√				500
17	遇水膨胀率		√	√		1000
18	玻璃毛细管抗挤出 破坏比降			√		100
19	渗透系数			√		2000
20	固砂体抗压强度			√	√	1000

附录 B 水的动力黏滞系数、黏滞系数比、温度校正值得列表

温度 T (℃)	动力黏滞 系数 η [kPa·s (10^{-6})]	黏滞系数 比 η_T/η_{20}	温度校正 值 T_p	温度 T (℃)	动力黏滞 系数 η [kPa·s (10^{-6})]	黏滞系数 比 η_T/η_{20}	温度校正 值 T_p
5.0	1.516	1.501	1.17	17.5	1.074	1.066	1.66
5.5	1.498	1.478	1.19	18.0	1.061	1.050	1.68
6.0	1.470	1.455	1.21	18.5	1.048	1.038	1.70
6.5	1.449	1.435	1.23	19.0	1.035	1.025	1.72
7.0	1.428	1.414	1.25	19.5	1.022	1.012	1.74
7.5	1.407	1.393	1.27	20.0	1.010	1.000	1.76
8.0	1.387	1.373	1.28	20.5	0.998	0.988	1.78
8.5	1.367	1.353	1.3	21.0	0.986	0.976	1.80
9.0	1.347	1.334	1.32	21.5	0.974	0.964	1.83
9.5	1.328	1.315	1.34	22.0	0.968	0.958	1.85
10.0	1.310	1.297	1.36	22.5	0.952	0.943	1.87
10.5	1.292	1.279	1.38	23.0	0.941	0.932	1.89
11.0	1.274	1.261	1.4	24.0	0.919	0.910	1.94
11.5	1.256	1.243	1.42	25.0	0.899	0.890	1.98
12.0	1.239	1.227	1.44	26.0	0.879	0.870	2.03
12.5	1.223	1.211	1.46	27.0	0.859	0.850	2.07
13.0	1.206	1.194	1.48	28.0	0.841	0.833	2.12
13.5	1.188	1.176	1.5	29.0	0.823	0.815	2.16
14.0	1.175	1.168	1.52	30.0	0.806	0.798	2.21
14.5	1.160	1.148	1.54	31.0	0.789	0.781	2.25
15.0	1.144	1.133	1.56	32.0	0.773	0.765	2.30
15.5	1.130	1.119	1.58	33.0	0.757	0.750	2.34
16.0	1.115	1.104	1.6	34.0	0.742	0.735	2.39
16.5	1.101	1.09	1.62	35.0	0.727	0.720	2.43
17.0	1.088	1.077	1.64				

本规范用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法：“应按..... 执行”或“应符合..... 的规定”。

引用标准名录

- GB/T 528 硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定
- GB/T 1041 塑料压缩性能的测定
- GB/T 2567 树脂浇铸体性能试验方法
- GB/T 7124 胶粘剂拉伸剪切强度的测定（刚性材料对刚性材料）
- GB/T 16777 建筑防水涂料试验方法
- GB/T 50123 土工试验方法标准

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程化学灌浆材料试验规程

DL/T XXXX—201X

条文说明

目次

1 总则	39
3 基本规定	40
4 浆液性能试验	41
4.1 黏度.....	41
4.2 密度.....	41
4.3 可操作时间.....	41
4.4 凝胶时间.....	42
4.5 不挥发物含量.....	43
4.6 载玻片接触角.....	43
4.7 包水性.....	44
4.8 包水量.....	44
4.9 发泡率.....	45
5 固结体性能试验	46
5.1 粘结强度.....	46
5.2 抗压强度.....	46
5.3 压缩模量.....	47
5.4 抗拉强度.....	47
5.8 遇水膨胀率.....	48
5.9 玻璃毛细管抗挤出破坏比降.....	48
5.10 渗透系数.....	49

1 总则

1.0.1 制定本规程除为规范水电水利工程化学灌浆材料的试验方法外，还为熟悉和正确使用化学灌浆材料起指导和帮助作用。

1.0.2 本规程仅规定了水电水利工程目前较为常用的几种化学灌浆浆液和固结体的性能试验方法，其他不常用或正在试用的新材料，以及木质素类、聚酯类灌浆材料和丙烯酰胺等因环保因素不提倡使用的，未进行规定。

1.0.3 化学灌浆材料品种较多，性能差异较大，往往会发生由于操作不当而性能试验不满足要求的情况，并且有些化学灌浆材料含有易燃溶剂，操作不慎会发生火灾或人员伤亡等事故。

因此，从事化学灌浆材料试验的相关人员应通过专业技术培训了解和掌握材料的性能和使用方法，达到正确试验材料的目的。

3 基本规定

3.0.1 本规程为水电水利工程化学灌浆材料试验规程，目前化学灌浆材料的种类较多，但在水电水利工程中使用的化学灌浆材料主要有环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸盐和水玻璃四大类。

环氧树脂灌浆材料，是以各类环氧树脂或改性环氧树脂为主剂，通过与固化剂反应形成网状交联化合物的化学灌浆材料。

聚氨酯灌浆材料，根据制备方法不同主要分为两大类，一类是“一步法”，浆液为双组分，一个组分主要为多羟基化合物，另一个组分主要为异氰酸酯，使用时两组分混合反应生成聚氨酯；另一类是“二步法”，以多异氰酸酯与多羟基化合物制备的预聚体为主剂，通过与水或固化剂反应形成具有聚氨基甲酸酯结构交联化合物的化学灌浆材料，分水溶性（亲水型）和油性（疏水型）。本规程中的聚氨酯灌浆材料主要是“二步法”的化学灌浆材料。水溶性聚氨酯灌浆材料亲水性好，易分散于水中，遇水自乳化，包水量大，固结体具有弹性止水和膨胀止水的双重作用；油性聚氨酯灌浆材料疏水性好，遇水后立即反应产生气体，体积膨胀并生成一种不溶于水且具有一定强度的发泡体。

丙烯酸盐灌浆材料，是以丙烯酸盐水溶液为主剂，采用氧化还原引发体系，通过自由基聚合反应形成不溶于水凝胶体的化学灌浆材料。

水玻璃灌浆材料，是以水玻璃（硅酸钠）溶液为主剂，与各种胶凝剂反应形成不溶于水硅酸凝胶的化学灌浆材料，分碱性和非碱性两类。

3.0.4 条文规定化学灌浆材料浆液的配制按生产厂家规定的配比进行配制，是因为于本规程的制订就是针对材料浆液性能进行验证试验，因此必须按厂家的配比进行配制再验证。工程应用时，浆液配比可根据设计和工程的具体要求进行选择配制。

3.0.7 每项试验项目最少取样数量应满足附录 A 的要求。经过试验验证后，如果试样测试完一项性能后，再进行另一项性能测试，对最终的试验结果没有影响，那么这两项性能试验可以采用同一个试样。例如：测试完混合后浆液的黏度、密度或可操作时间的试样，可以用于制备试样的抗压强度试件、抗拉强度试件、粘结强度试件及拉伸剪切强度试件等。

4 浆液性能试验

4.1 黏度

4.1.1 黏度是流体内部阻碍其相对流动的一种特性。从一定意义上来讲，黏度越小，流动越快，有利于提高灌浆速度，是评价浆液可灌性的重要指标。对于反应速度相对比较慢的环氧树脂灌浆材料来说，实际工程应用过程中，往往需要知道浆液的初始黏度，也就是环氧树脂灌浆材料按相应配比混合均匀后，立即测定的浆液的黏度即为初始黏度。

4.1.3 化学灌浆材料的黏度测定可以要求测定单一某个组分(例如 A 组分或 B 组分)的黏度，也可以要求测定混合浆液在未凝胶之前任一时段的黏度，同样也可以要求测定混合浆液刚开始混合时的初始黏度。本规程中规定测定单一组份的黏度或某一时间点的混合黏度时，应该在 3min 之内完成测试；而混合浆液的初始黏度测定要在 5min 之内完成。这是因为化学灌浆材料按一定配比混合后，即开始反应，黏度值开始从小往大逐渐变化，由于混合浆液的黏度是动态变化的，所以我们规定混合浆液的初始黏度需要在 5min 之内完成测试。

旋转黏度计转子的清洗可以用挥发性溶剂，如丙酮、二甲苯或乙醇等，但聚氨酯灌浆材料不得用乙醇擦拭，因为乙醇会与聚氨酯灌浆材料的 NCO-基团发生化学反应。

4.2 密度

4.2.3 擦去溢出物和清洗重量杯可用挥发性溶剂，挥发性溶剂如丙酮、二甲苯或乙醇等，但聚氨酯灌浆材料不得用乙醇擦拭，因为乙醇会与聚氨酯灌浆材料的 NCO-基团发生化学反应。

混合浆液的密度测试需要在试样配制起 5min 内完成，因为化学灌浆材料按一定配比混合后，即开始反应，温度、体积等都会随时间的延长而发生变化，进而影响密度的测定结果。

4.3 可操作时间

4.3.1 化学灌浆材料的反应是逐步聚合反应，浆液的黏度随时间的延长而增大，从而使可灌性降低，因此规定浆液的可操作时间，便于指导化学灌浆材料在施工现场的应用。

4.3.3 条文中黏度达到规定值时，这里的规定值依据参照的标准、设计的要求等不同而有所不同，例如《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》JC/T 1041-2007 中规定可操作时间是从试样混合开始黏度到达 200mPa·s 时经历的时间间隔，而对于一些需要可操作时间更长的情况，

例如地基与基础处理时有的设计要求可操作时间是从试样混合开始黏度到达 100mPa·s 时经历的时间间隔。

条文中规定，在可操作时间试验过程中每隔 5min 测定一次浆液的黏度，而在实际试验过程中，可以适当调整。如果已经知道可操作时间的估计数值，可以在试验的前期延长测定的时间间隔，在接近可操作时间时，再每隔 5min 测定一次。例如：如果已知某环氧树脂灌浆材料的黏度达到 200mPa·s 的可操作时间在 6h 以上，那么可以如下操作，首先按配比配制浆液混合均匀后，记录时间，测定初始黏度；然后每隔 30min 测定一次浆液的黏度，直至测出 5.5h 的黏度；接着再每隔 5min 测定一次，直至测到 200mPa·s，记录该时间间隔即为可操作时间。

4.4 凝胶时间

4.4.1 凝胶时间是指规定温度下浆液由能流动的液态转变成固体凝胶所需要的时间，其是施工现场应用的重要参数之一，凝胶时间长短容易受环境温度、浆液配制量多少影响。

4.4.3 目前现有的技术水平还不能量化“无法流动”，根据试验经验和凭肉眼观察“无法流动”认为，已可满足当前实际需要。

凝胶时间试验过程中，不同类型化学灌浆材料的配制方法不同，这是因为其各自的反应机理不同的缘故。

环氧树脂灌浆材料、丙烯酸盐灌浆材料和水玻璃灌浆材料一般由两组分或 3 组分组成，所以试样配制按产品各自的配比混合即可。对聚氨酯灌浆材料来说，水是其固化剂，但是水不作为产品售卖过程的一个组分，所以需要加规定数量的水进行试验。同时水溶性聚氨酯灌浆材料和油溶性聚氨酯灌浆材料与水反应的机理也不同，水溶性聚氨酯灌浆材料可以与 2% 至 3000% 的水反应形成凝胶体，当加水量不同时，浆液的凝胶时间也不一样；油溶性聚氨酯灌浆材料与少量水混合即能反应形成固结体，多余的水会排开。所以为了统一比较，《聚氨酯灌浆材料》JC/T 2041-2010 中水溶性聚氨酯灌浆材料测定凝胶时间时，按浆液:水=1:5（质量比）混合配制；油溶性聚氨酯灌浆材料测定凝固时间时，按不同产品的特点配制试样，先将试样和催化剂混合搅拌均匀，再加入试样 5% 的水，混合搅拌均匀。

关于凝胶时间测定过程中的观察间隔时间，条文中明确的规定，但是在实际试验过程中，可以适当调整。如果已经知道凝胶时间的估计数值，可以在试验的前期延长观察的时间间隔，在接近浆液凝胶之前，再按条文中的时间间隔观察。例如：如果已知某环氧树脂灌浆材料的凝胶时间在 20h 左右，那么首先按配比配制浆液混合均匀后，记录时间，每隔 2h 观察一次浆液的反应情况，如果 16h 时浆液仍未凝胶，接着再每隔 30min 观察一次，如果 19h 时浆液仍未凝胶，再每隔 10min 观察一次，直至浆液凝胶。

4.4.4 不同类型化学灌浆材料凝胶时间长短有差异，聚氨酯灌浆材料、丙烯酸盐灌浆材料和水玻璃灌浆材料可以在几秒到几十秒内凝胶，所以凝胶时间结果可以用 s 表示；环氧树脂灌浆材料凝胶时间可以是几十分钟、几小时甚至几天，所以凝胶时间可以用 min 表示。

4.5 不挥发物含量

4.5.1 不挥发物是指在特定的情况下，浆液中的液体不能蒸发或升华变为气体排出的部分，该指标可以控制聚氨酯灌浆材料中可挥发的有机溶剂的含量。而对于环氧灌浆材料和丙烯酸盐灌浆材料来说，由于其部分挥发性有机物参与固化反应，所以测其不挥发物含量不合适。

4.5.3 减量法又称递减称量法，用于称量一定质量范围的样品。在称量过程中样品易挥发、易吸水、易氧化或易与 CO₂ 等反应时，可选择此法。由于称取试样的质量是由两次称量之差求得，故也称差减法。

称量易挥发的液体步骤如下：将液体装入滴瓶，称出装有试样后滴瓶的准确质量。将滴瓶从天平上取出，用滴头滴取试样到盛样器中，称取接近所需量即可，然后盖好瓶盖，准确称此时装有试样的滴瓶的质量。两次质量之差，即为试样的质量。按上述方法连续递减，可称量多份试样。

4.6 载玻片接触角

4.6.1 接触角是指在气、液、固 3 相交点处所作的气-液界面的切线穿过液体与固-液交界线之间的夹角，是润湿程度的量度。本条中测定的是浆液与载玻片间接触角，用于表征浆液的润湿程度，接触角越小则润湿性越好。

4.6.2 为适应各实验室的设备，接触角测量仪不作具体规定。一般来说，接触角测量仪应由光源、光学系统、试样台和液体供应系统等部分组成：①光源可采用卤素、白炽或者光纤类型的灯，其产生的热量不能影响液滴性状；②光学观察系统可选择视频录像、CCD 摄像机、透镜或光学投影；③试样台应能使试样平整、水平地放置，且试样台高度可调节；④液体供应系统可使用泵驱动或手动的 100 μL~250 μL 微量注射器，应能精确控制液滴体积，注射器针头应为公称直径 0.21mm~0.52mm 的平头针头，材质可选用不锈钢针头，也可使用其他类型如聚四氟乙烯涂层的针头。

4.6.3 本规程参照《塑料薄膜与水接触角的测量》GB/T 30693-2014 中对水滴在塑料薄膜表面的接触角测量方法，对部分内容修改后，用于测试浆液在玻璃表面的载玻片接触角。

微量进样器挤出液滴的大小宜控制在 3μL±1μL，液滴太小或太大，均易引起测量误差；而且从液滴挤出到转移至载玻片表面的过程，不应令液滴悬空滴落或喷出到载玻片表面，否则会导致液滴变形，测试结果不准确；5 次重复试验过程中，液滴大小宜相同。

液滴转移至载玻片表面后，应在 50s~70s 内测量其接触角数值，若太早测量，则液滴与载玻片接触还未达到平稳状态，若太晚测量，则会因浆液发生固化反应造成黏度、温度变化，影响接触角测量结果的可靠性。

自浆液混合至接触角测试结束，整个过程应控制在 10min 内完成，否则浆液变稠甚至开始固化，影响液滴接触角的准确测量。

在同一载玻片光滑面的 5 个不同位置试验时，应尽量避免之前已润湿的区域。

4.7 包水性

4.7.1 包水性表征的是水溶性聚氨酯灌浆材料与规定倍数（10 倍）的水反应速度的快慢，包水性越小，表明浆液与水反应速度越快。

4.7.3 条文中包水性测定过程中规定了称取试样的质量，在实际试验过程中，可以在合适容量的容器中任意称取一定质量的试样，然后量取 10 倍的蒸馏水，搅拌均匀，按照条文中的规定观察固化凝胶情况。例如：在 800mL 烧杯中称取 30g 水溶性聚氨酯灌浆材料，量取 300mL 蒸馏水倒入烧杯中，搅拌均匀，测定其包水性，这样试验的结果，与称取 15g 试样的试验结果是一致的。

4.8 包水量

4.8.1 包水量是表征水溶性聚氨酯灌浆材料堵水能力的一个指标，指 1 份水溶性聚氨酯灌浆材料与水混合后保持凝胶体状态的最大用水量。包水量越大表示浆液堵水性能越好。

4.8.2 条文中规定称取水溶性聚氨酯灌浆材料的质量宜为 10g。首先是因为无论水溶性聚氨酯灌浆材料称取量多量少，不会影响其包水量的试验结果；再者对于包水量非常好的水溶性聚氨酯灌浆材料来说，其往往可以与 30 倍以上的水反应形成凝胶体，假如称取 100g 化学灌浆材料，那么测到 30 倍包水量的用水量为 3000g，混合浆液的容器容量至少要 5000mL，所以为了便于在实验室进行操作，条文中有此规定。

条文中规定，包水量是从 1 份水溶性聚氨酯灌浆材料与 1 份等质量的水混合开始试验的，而从包水性试验可以看出，1 份水溶性聚氨酯灌浆材料可与 10 倍水反应形成凝胶体，所以包水量完全可以从 1 份水溶性聚氨酯灌浆材料与 1 倍水混合开始试验。而如果已知某水溶性聚氨酯灌浆材料的包水量为 30 倍左右，实际试验过程中，可以不需要从 1 倍包水量或者 10 倍包水量开始试验，直接从 30 倍包水量试验。

具体步骤为：在烧杯中称取 10g 水溶性聚氨酯灌浆材料，称取 300g 水加入烧杯中搅拌均匀，观察浆液形成凝胶体的情况，这样会有两种结果：（1）如果浆液凝胶过程中不泌水，那么再重新称取 10g 浆液和 310g 水，搅匀后再观察浆液形成凝胶体的情况，依次类推（10g

浆液加入 320g 水、10g 浆液加入 330g 水……), 直至浆液凝胶过程中出现泌水不能形成稳定的凝胶体为止, 那么前次的用水量即为最大用水量; (2) 如果浆液凝胶过程中出现泌水现象, 那么再重新称取 10g 浆液和 290g 水, 搅匀后再观察浆液形成凝胶体的情况, 依次类推 (10g 浆液加入 280g 水、10g 浆液加入 270g 水……), 直至浆液凝胶过程中不出现泌水现象, 形成稳定的凝胶体, 那么此次的用水量即为最大用水量。最大用水量与浆液质量的比值即为其包水量。

4.9 发泡率

4.9.1 发泡率表征的是聚氨酯灌浆材料与水反应时, 在自由状态下从液体变成发泡体后的体积变化情况。

4.9.4 条文中规定在容量 2000mL 干燥玻璃烧杯中进行试验, 而《聚氨酯灌浆材料》JC/T 2041-2010 中规定油溶性聚氨酯灌浆材料发泡率试验用 1000mL 玻璃烧杯, 之所以两者规定有所差异, 主要是结合实际试验情况提出修改的, 因为油溶性聚氨酯灌浆材料的发泡率可以很大, 有的甚至会高达 5000%以上, 假如油溶性聚氨酯灌浆材料的发泡率为 5000%, 密度为 $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ (大多油溶性聚氨酯灌浆材料密度在 $1.05\text{g}/\text{cm}^3\sim 1.1\text{g}/\text{cm}^3$ 左右), 将条文中式 (4.9.5-2) 中的 2000 改为 1000, 那么 V_2 为-159, 说明发泡体已经超出烧杯的刻度范围, 所以改变容器的容积是需要的。

5 固结体性能试验

5.1 粘结强度

5.1.1 粘结强度是指单位粘结面上承受的粘结力，粘结强度主要包括浆材的内聚强度和浆材与被粘面间的粘结强度。粘结强度大小与浆液的组成、浆液的结构与性质、被粘物的性能与表面状况及使用时的操作方式等因素有关。

5.1.3 对于初始黏度很低（ $\leq 30\text{mPa}\cdot\text{s}$ ）的环氧树脂灌浆材料，如果混合均匀后立即涂刷到两块半“8”字模砂浆块粘结平面上，对接过程中浆液很容易流失，进而造成试件粘结平面局部未能被粘住，试件要重新制备。所以在实际试验过程中，可以等待浆液反应黏度达到 $200\text{mPa}\cdot\text{s}$ 后，再开始涂刷制备试件，只要能保证“8”字模砂浆块粘结平面全部有材料覆盖，两种方法的试验结果是一致的。

5.2 抗压强度

5.2.3 在环氧树脂灌浆材料固结体抗压强度试件的制备过程中，条文中规定，将混合均匀的浆液倒入立方体试模内，浆液未固化前应补充浆液使其充满模具，应保证表面平整。而在实际试验过程中，如果在不容易密封致密的试模内制备试件的话，对于初始黏度很低（ $\leq 30\text{mPa}\cdot\text{s}$ ）的环氧树脂灌浆材料，可以等待浆液反应黏度达到 $200\text{mPa}\cdot\text{s}$ 后，再倒入试模内制备试件，同时也要在浆液未凝胶前补充浆液使试件表面平整，因为黏度很低的浆液很容易从密封不致密的试模周边溢出，造成试件制备失败，只要制备出完整、平整、光滑、无气泡、无裂纹、无明显拆模损伤的试件，两种方法的试验结果是一致的。

条文中未明确规定试件的拆模时间，主要是因为不同型号的灌浆材料的固化时间是不一样的，无法规定统一的拆模时间，所以实际试验过程中，可以在测试龄期到达的前一天拆模，如果在这种时间点拆模的话，建议制备的试件数量有富余，便于拆模后试件取舍，不致由于有效试件不足再重做试验；也可以通过观察浇入试模之外在配制浆液的容器中剩余的浆液的固化情况，用手指尖接触固化物的表面，如果指尖掐不进去，那么表明浆液已经固化到可以拆模的程度了。

环氧树脂灌浆材料固结体的抗压强度按《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567 的规定进行测试，最后计算抗压强度时标准要求“读取破坏载荷或最大载荷”，而试验时压缩过程中，由于材料性质的不同，可能会出现图 5.2.3 所示的四种不同的应力-应变曲线。曲线 1 中破坏载荷和最大载荷是同一点 A (B)，此类材料往往属于脆硬性材质，试验过程中取值很

明确：曲线 2 和曲线 4 中最大载荷出现在 A 点，破坏载荷出现在 B 点，此类材料往往有一定韧性，并且曲线 2 这类材料的韧性往往比曲线 4 这类材料要好，这两种情况试验过程中取最大载荷；曲线 3 中最大载荷出现在 C 点，C 点时试件有两种情况：发生破坏或者仍没破坏但是试件已经严重变形，而 A 点是材料压缩过程中的屈服点，从 A 点到 C 点过程中试件变形增大明显，试件压缩的截面积也变大了并且会出现不均匀的现象，致使抗压强度数据失真，所以对于这种韧性比较好的材料，其载荷取值往往是取 A 点屈服点的数值。

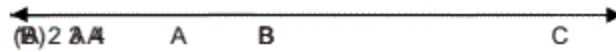


图 5.2.3 四种类型的应力-应变曲线

5.3 压缩模量

5.3.1 压缩模量是试样在做压缩实验时，在弹性变形阶段内，正应力和对应的正应变的比值。材料在弹性变形阶段，其应力和应变成正比例关系（即符合胡克定律），其比例系数称为弹性模量。也就是说在整个压缩试验过程中，同时测量出施加在试件上的载荷和试件的高度或应变，就能测定出化学灌浆材料固结体的抗压强度和压缩模量等。

5.4 抗拉强度

5.4.3 在环氧树脂灌浆材料固结体抗拉强度试件的制备过程中，条文中规定，将混合均匀的浆液倒入立方体试模内，浆液未固化前应补充浆液使其充满模具，应保证表面平整。而在实际试验过程中，如果在不容易密封致密的试模内制备试件的话，对于初始黏度很低（ $\leq 30\text{mPa}\cdot\text{s}$ ）的环氧树脂灌浆材料，可以等待浆液反应黏度达到 $200\text{mPa}\cdot\text{s}$ 后，再倒入试模内制备试件，同时也要在浆液未凝胶前补充浆液使试件表面平整，因为黏度很低的浆液很容易从密封不致密的试模周边溢出，造成试件制备失败，只要制备出完整、平整、光滑、无气泡、无裂纹、无明显拆模损伤的试件，两种方法的试验结果是一致的。

条文中未明确规定试件的拆模时间,主要是因为不同型号的灌浆材料的固化时间是不一样的,无法规定统一的拆模时间,所以实际试验过程中,可以在测试龄期到达的前一天拆模,如果在这种时间点拆模的话,建议制备的试件数量有富余,便于拆模后试件取舍,不致由于有效试件不足再重做试验;也可以通过观察浇入试模之外在配制浆液的容器中剩余的浆液的固化情况,用手指尖掐触固化物的边缘,如果固化物掐触感觉有一定弹性且不会剥落,那么表明浆液已经固化到可以拆模的程度了。

在整个拉伸试验过程中,同时测量出施加在试件上的载荷和试件的标距段的长度或应变,就能测定出化学灌浆材料固结体的抗拉强度、拉伸模量和断裂伸长率等。

5.8 遇水膨胀率

5.8.1 遇水膨胀率是水溶性聚氨酯灌浆材料和丙烯酸盐灌浆材料的固结体具有吸水功能,一旦吸水固结体体积会发生膨胀,采用体积变化情况表征其遇水膨胀性能。

5.8.3 水溶性聚氨酯灌浆材料和丙烯酸盐灌浆材料的固结体遇水膨胀过程是物理吸附水的过程,其膨胀速率与试件表面接触水的比表面积大小成正比关系。条文中规定水溶性聚氨酯灌浆材料固结体浸泡时间为28d,而《聚氨酯灌浆材料》JC/T 2041-2010中规定其固结体浸泡时间为7d,两者之间规定有差异的原因在于:水溶性聚氨酯灌浆材料固结体遇水膨胀率的试件尺寸为 $\phi 50\text{mm} \times H50\text{mm}$,试件体积较大,比表面积较小,浸泡7d其膨胀率约为其最终膨胀率的60%左右,也就是浸泡7d测试的数据不足以表征水溶性聚氨酯灌浆材料固结体的遇水膨胀率的大小。

5.9 玻璃毛细管抗挤出破坏比降

5.9.1 玻璃毛细管抗挤出破坏比降是表征丙烯酸盐灌浆材料固化物单位长度上承受的不被挤出破坏的水压力。玻璃毛细管抗挤出破坏比降越大,则表明丙烯酸盐灌浆材料凝胶体抗外界水挤出破坏能力越强。

5.9.3 本规程符合《丙烯酸盐灌浆材料》JC/T 2037-2010中玻璃毛细管抗挤出破坏比降试验方法的相关规定。

5.9.4 在相同试验条件下,按相同配比制备3个丙烯酸盐灌浆材料试样I、II和III,固化物试件长度L依次为49.0mm、48.5mm、49.5mm,丙烯酸盐固化物出现渗水的压力分别为0.55MPa、0.60MPa、0.60MPa,因此以3个试件被挤出的水压力最小值作为该组试件的挤出压力,即 $P=0.55\text{MPa}$,L应为相应试件的长度,即 $L=49.0\text{mm}$ 。

该试样的玻璃毛细管抗挤出破坏比降按式(5.9.4)计算,试验结果精确至1,因此:

$$i = \frac{(P - 0.05) \times K}{L} = \frac{(0.55 - 0.05) \times 10^5}{49.0} = 1020$$

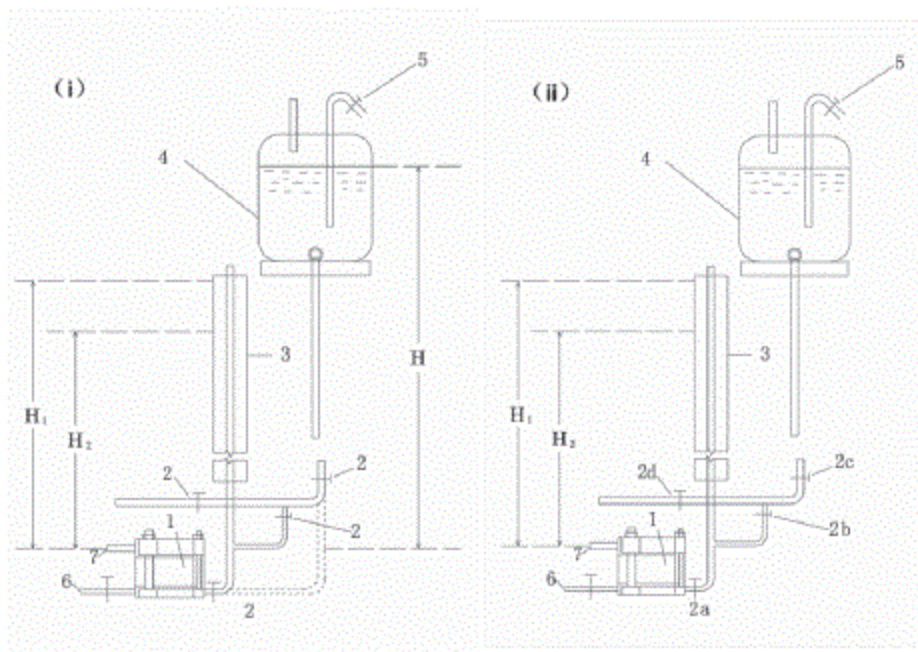
5.10 渗透系数

5.10.1 渗透系数表征的是化学灌浆材料固化物透水性能的数量指标，反映了水通过化学灌浆材料固化物的难易程度。

5.10.2 真空饱和试验装置符合《土工试验方法标准》GB/T 50123-1999 的规定，由于饱和器与渗透容器的结构和功能类似，本规程编制时将饱和器直接用渗透容器代替，装有试样的渗透容器在抽真空预饱和步骤后直接进行变水头渗透试验，可使试验步骤更为简便易操作。

变水头渗透试验装置符合《土工试验方法标准》GB/T 50123-1999 的规定，本规程对装置示意图作了部分修改。原示意图中标有多个进水管夹 2（图 i），未加以区分，且虚线代表的常水头进水管未做明确标示，考虑到读者的易读性，因此在本规程（图 ii）对进水管夹 2 进行了区分，分别标为 2a、2b、2c 和 2d，同时考虑到虚线代表的常水头进水管在操作步骤中并未提及，将其删去，以免给读者造成困扰。

变水头渗透试验装置：(i) GB/T 50123-1999 示意图；(ii) 本规程修改的示意图



5.10.3 《土工试验规程》GB/T 50123-1999 中渗透试验方法有两种，其中常水头渗透试验方法适用于粗粒土等渗透系数较大 ($10^{-2} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$) 的试样，变水头渗透试验方法适用于细粒土等渗透系数较小 ($10^{-3} \sim 10^{-6} \text{cm/s}$) 的试样。丙烯酸盐灌浆材料的固化物渗透系数很低（不大于 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ），因此参考 GB/T 50123-1999 采用变水头渗透试验方法，并对部分内容作了修改。

水中含气对渗透系数有很大影响,因此使用的蒸馏水应在试验前用抽气法或煮沸法脱气理。

变水头渗透系数的测定,不同标准对初始水头高度的要求有所不同,主要体现在对变水头管长度的规定有所不同,如 GB/T 50123-1999 规定变水头管长度宜为 2.0m 左右,SL 237-1999 规定变水头管长度为 1.0m 以上,铁道部的 TB 10102-2004 规定变水头管长度为 1.5m 左右。由于丙烯酸盐灌浆材料固化物为凝胶体,渗透系数很低,不易透水,应使初始水头高度高一些,同时由于在水利、水电、交通等很多领域会用到丙烯酸盐灌浆材料,因此主要参考 GB/T 50123-1999 规定变水头管长度为 2.0m,初始水头高度应接近 2m,推荐高度为 1.7m~2.0m。

每次待水位稳定时测记水头和时间变化,测记时应保证起始水头读数与终止水头读数的变化值不小于 2mm,否则读数误差可能导致试验结果不正确,据此推荐测记时间间隔宜为 12h。

本规程编制时对重复试验次数的规定作了修改。GB/T 50123-1999 中规定“将变水头管中的水位变换高度,待水位稳定再进行测记水头和时间变化,重复试验 5~6 次。当不同开始水头下测定的渗透系数在允许差值范围内时,结束试验”,读者在“重复试验 5~6 次”的理解上可能引发歧义,可以理解为同一试样在不同初始水头下连续测记 5~6 次,也可以理解为不同试样按相同步骤平行测定 5~6 次。因此,本规程编制时为了使读者更易理解,规定每组试验平行制备 3 个试件,每个试件的变水头渗透试验均需将变水头管水位升至 1.7m~2.0m 高度,水位变化过程中连续测记 3 次。

测记水头和时间变化的同时,需同时记录每次测记开始和终了时出水口水温,为了便于测量,可将出水口流出的水接到小烧杯中进行温度测量,或者将渗透容器置于恒温实验室内的恒温水槽中,记录水槽中的水温,即为出水口水温。

5.10.4 变水头渗透系数计算公式(5.10.4-1)和水温 20℃下渗透系数转换公式(5.10.4-2)是按照 GB/T 50123-1999 规定的计算方法,其中公式(5.10.4-1)是根据达西定律推导而得,求得的渗透系数是测试水温下的渗透系数,因此需要按公式(5.10.4-2)校正到 20℃下的渗透系数。

对于试样渗透系数计算结果保留有效位数和精度要求,为了便于理解,举例如下:

按配比制备丙烯酸盐灌浆材料试样(记为试样 I),并装入内径 61.8mm、高度 40mm 的环刀,因此试样高度 $L=4.0\text{cm}$,试样的横截面积 $A=\pi\times(6.18/2)^2=30.00\text{cm}^2$;测量变水头管内径为 0.99cm,因此变水头管断面积 $a=\pi\times(0.99/2)^2=0.77\text{cm}^2$;在初始水头 $H_1=175.6\text{cm}$ 时开始变水头渗透试验,当水头降至 $H_2=175.0\text{cm}$ 时进行第一次测记,记录经历的时间 (t_2-t_1) 为 12h,即 720s,同时记录此时水温 26℃。继续下降水头,经历时间 10h 后,水头降至 174.5cm,进行第二次测记;继续下降水头 12h 后,水头降至 173.9cm,进行第 3 次测记。

第一次测记数据按公式 (5.10.4-1) 计算, 得到该试样在第一个初始水头下 26℃ 时的变水头渗透系数:

$$k_T = 2.3 \times \frac{0.77 \times 4.0}{30.00 \times 720} \times \lg \frac{175.6}{175.0} = 4.87 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$$

查阅附录 B 得到 26℃ 时 $\eta_T/\eta_{20}=0.870$, 按公式 (5.10.4-2) 计算得到水温 20℃ 时渗透系数:

$$k_{20} = 4.87 \times 10^{-7} \times 0.870 = 4.24 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$$

按相同方法计算该试样在第二个初始水头下的变水头渗透系数:

$$k_T = 2.3 \times \frac{0.77 \times 4.0}{30.00 \times 600} \times \lg \frac{175.0}{174.5} = 4.89 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$$

$$k_{20} = 4.89 \times 10^{-7} \times 0.870 = 4.25 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$$

该试样在第 3 个初始水头下的变水头渗透系数:

$$k_T = 2.3 \times \frac{0.77 \times 4.0}{30.00 \times 720} \times \lg \frac{174.5}{173.9} = 4.91 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$$

$$k_{20} = 4.91 \times 10^{-7} \times 0.870 = 4.27 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$$

该试样水温 20℃ 下的渗透系数为 3 次试验结果的算术平均值, 并保留 3 位有效数字, 即 $4.25 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 。

在相同试验环境下, 按相同配比另外制备两个丙酸盐灌浆材料试样 II 和 III, 重复上述步骤, 计算得到试样 II 水温 20℃ 渗透系数为 $3.98 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$, 试样 III 水温 20℃ 渗透系数为 $4.30 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$, 则该组试样的平均渗透系数为 3 个试样结果的算术平均值, 且保留两位有效数字, 精确至 0.1, 即 $4.2 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 。

同一试样在不同初始水头下测定的渗透系数的允许差值范围, 以及不同试样之间渗透系数的允许差值范围, 均不应大于 2×10^{-9} 。该允许误差是根据实测渗透试验数据统计得到, 且符合 GB/T 50123-1999 对多次测定渗透系数之间允许误差的规定。