

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5836—2021

水电水利工程环氧树脂类材料
混凝土表面处理施工规范

Construction code of epoxy resin materials for concrete surface
treatment in hydropower and water conservancy projects

2021-04-26 发布

2021-10-26 实施

国家能源局 发布

国家能源局

公 告

2021 年 第 3 号

国家能源局批准《水电工程建设征地企业处理规划设计规范》等 282 项能源行业标准（附件 1）、《Code for Buildings Design of Wind Power Projects》等 19 项能源行业标准外文版（附件 2），现予以发布。

- 附件：1. 行业标准目录
2. 行业标准外文版目录

国家能源局

2021 年 4 月 26 日

附件 1:

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替 标准	采标 号	出版机构	批准日期	实施日期
...							
252	DL/T 5836— 2021	水电水利工程 环氧树脂类材 料混凝土表面 处理施工规范			中国电力 出版社	2021-04-26	2021-10-26
...							

附件 2: 行业标准外文版目录 (略)

前 言

本规范是根据《国家能源局综合司关于下达 2018 年能源领域行业标准制（修）订补充计划（第二批）的通知》（国能综通科技〔2018〕191 号）的要求而制定的。

本规范在制定过程中，编制组进行了广泛调查、资料收集、试验研究，总结了国内外水电水利工程环氧树脂类材料混凝土表面处理施工的实践经验，参考了国内外相关标准的研究成果，征求了有关单位和专家的意见，最终经审查定稿。

本规范的主要技术内容包括基本规定、施工准备、施工方法、质量检验。

本规范由中国电力企业联合会提出。

本规范由电力行业水电施工标准化技术委员会（DL/TC 29）归口。

本规范主编单位：中国葛洲坝集团股份有限公司
长江水利委员会长江科学院
厦门鹭恒达建筑工程有限公司
葛洲坝集团试验检测有限公司

本规范参编单位：杭州每步材料科技有限公司
中国水利水电第十一工程局有限公司
中国葛洲坝集团第二工程有限公司
中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司
中国水利水电科学研究院
中科院广州化灌工程有限公司
杭州国电大坝安全工程有限公司
青岛太平洋水下科技工程有限公司
武汉长江科创科技发展有限公司

中科冠华新材料（广东）有限公司

本规范主要起草人员：王 斌 陈 亮 陆志华 许菲鹭
张 达 丁清杰 肖承京 杜帅群
陈 敬 邵晓妹 黄俊玮 路 威
李金明 曾娟娟 赵 徐 吴启民
高 巍 韩朝军 周建华 单宇翥
李 焰 魏 涛 陈绪港 宋亚涛
甘国权 陈 洋 王林林

本规范主要审查人员：梅锦煜 沈仲涛 宗敦峰 周厚贵
许松林 席 浩 汪 毅 楚跃先
尹显俊 吴新琪 陈改新 张建华
林 鹏 李文伟 孙来成 邓银启
郭光文 余 英 李家正 董 芸
陆采荣 钱文勋 李志刚 梁宏生
王鹏禹 李克信 吴高见 杨成文
叶 明 向 建 于永军 王 军
陈 茂 杨和明 杨 涛 吴秀荣
肖恩尚 吕芝林 朱明星 李虎章
徐 军 罗维成 程志华 纪国晋
孙明伦 李新宇 曾正宾 敖大华
李朝政 李光伟 李小泉 焦 凯
王志军 谭小军 江万红 丁建彤
田承宇 何德强 李海滨 吴金灶
谭恺炎

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

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	4
4 施工准备	5
4.1 一般规定	5
4.2 材料	5
4.3 设备器具	6
4.4 基层处理	7
5 施工方法	9
5.1 一般规定	9
5.2 材料拌制	9
5.3 施工处理	10
5.4 养护保护	12
6 质量检验	13
6.1 一般规定	13
6.2 环氧涂料	13
6.3 环氧胶泥	14
6.4 环氧砂浆	14
6.5 环氧混凝土	15
附录 A 拉拔强度试验方法	17
附录 B 轴向拉伸试验方法	18
本规范用词说明	20
引用标准名录	21
附：条文说明	23

Contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	Basic requirements	4
4	Construction preparation	5
4.1	General requirements	5
4.2	Materials	5
4.3	Equipments tools	6
4.4	Substrate treatment	7
5	Construction methods	9
5.1	General requirements	9
5.2	Materials preparation	9
5.3	Construction treatment	10
5.4	Curing protection	12
6	Quality inspection	13
6.1	General requirements	13
6.2	Epoxy resin coating	13
6.3	Epoxy resin daub	14
6.4	Epoxy resin mortar	14
6.5	Epoxy resin concrete	15
Appendix A	Methods of pull-off strength test	17
Appendix B	Methods of axial tensile test	18
	Explanation of wording in this code	20
	List of quoted standards	21
	Additions: Explanation of provisions	23

1 总 则

1.0.1 为规范水电水利工程环氧树脂类材料混凝土表面处理施工，保障施工质量，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于水电水利工程。

1.0.3 从事环氧树脂类材料表面处理的施工人员，应进行专业技术、职业健康和环境保护等培训，并考核合格。

1.0.4 应积极推广应用经试验论证的新技术、新工艺、新材料、新设备。

1.0.5 水电水利工程环氧树脂类材料混凝土表面处理施工，除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 环氧浆液 epoxy resin slurry

以环氧树脂、固化剂、稀释剂和其他助剂组成的混合物，用于拌制环氧涂料、环氧胶泥、环氧砂浆和环氧混凝土，也可作为环氧砂浆、环氧混凝土施工前的基层界面剂。

2.0.2 环氧涂料 epoxy resin coating

以环氧树脂、固化剂、稀释剂、其他助剂，以及颜料等组成的混合物。

2.0.3 环氧胶泥 epoxy resin daub

以环氧树脂、固化剂、稀释剂、其他助剂，以及颜料和粉体填料等组成的混合物。

2.0.4 环氧砂浆 epoxy resin mortar

以环氧树脂、固化剂、稀释剂、其他助剂，以及颜料、粉体填料和一定级配的细骨料等组成的混合物。

2.0.5 环氧混凝土 epoxy resin concrete

以环氧树脂、固化剂、稀释剂、其他助剂，以及粉体填料和一定级配的粗细骨料等组成的混合物。

2.0.6 混凝土基层 concrete substrate

待环氧树脂类材料处理的混凝土表面。

2.0.7 环氧基液 epoxy adhesive

施工前，待处理的混凝土基层上涂刷的环氧浆液。

2.0.8 混凝土表面水分含量 moisture of concrete surface

混凝土表面 50 mm 厚度以内的平均含水率，可采用混凝土水分测定仪检测。

2.0.9 表干 surface dry

环氧浆液、环氧涂料从可流动的液态转变为不易流动且表面开始结膜的状态。

2.0.10 表干时间 surface dry time

环氧浆液、环氧涂料从可流动的液态转变为不易流动且表面开始结膜状态的时间间隔。

2.0.11 实干时间 hard dry time

环氧浆液、环氧涂料从表面开始结膜转变为有硬度状态的时间间隔。

2.0.12 环氧树脂混合物 epoxy resin mixture

除固化剂外，以环氧树脂、助剂、颜料、填料等组成的混合物。

2.0.13 可操作时间 operable time

环氧树脂类材料以开始拌制为起点，至不再适合使用的时间间隔。

2.0.14 内聚破坏 cohesive failure

在涂层拉拔试验中，70%以上破坏面积位于被黏结混凝土内的破坏形式。

3 基本规定

3.0.1 施工前应取得以下资料：

- 1 混凝土表面缺陷的详查资料和评估结果；
- 2 表面处理设计及施工要求；
- 3 材料的检测报告、合格证和使用说明书；
- 4 产品外包装上清晰的名称、型号、批号、净重和生产商名称等标识；
- 5 与混凝土表面缺陷相关的混凝土结构图、强度指标等基础技术资料；
- 6 其他资料。

3.0.2 施工前应编制施工组织设计或专项施工方案，制定职业健康与环保措施、施工应急预案。

3.0.3 施工时应按工程要求及时、准确、真实和完整地填写施工记录。记录宜包括以下内容：

- 1 工程项目名称、施工部位、日期；
- 2 环境温度、天气情况；
- 3 材料配比、外观、用量；
- 4 施工情况、完成工作量等。

3.0.4 环氧树脂类材料应选用满足设计要求的合格产品。

3.0.5 施工环境温度宜为 5℃～35℃，雨天、雪天不宜实施露天施工作业，确需施工时应采取相应措施。

3.0.6 必要时，施工前宜选择具有代表性的部位进行材料适应性试验。试验内容宜包含施工性能、单次最大拌制量、物理力学性能、表面处理效果试验及养护措施等。

3.0.7 施工应遵守现行行业标准《水电水利工程施工通用安全技术规程》DL/T 5370 的相关规定。

4 施 工 准 备

4.1 一 般 规 定

- 4.1.1 施工前应进行专项技术交底。
- 4.1.2 施工时应按施工组织设计组织人员、机械设备和材料进场，并对设备进行检验、调试，直至满足施工要求。
- 4.1.3 施工现场的临建设施应满足施工要求。
- 4.1.4 施工部位应设置有效的防水、防曝晒和防污染等设施。
- 4.1.5 待处理部位应按要求进行测量放线，并清晰标识。
- 4.1.6 作业时，操作人员应按规定穿戴安全防护用品。

4.2 材 料

- 4.2.1 对选用的环氧树脂类材料应进行抗压强度、抗拉强度、黏结强度等项目检验。设计另有规定时，应按设计要求执行。
- 4.2.2 应根据现场情况经试验选择环氧树脂类材料。
- 4.2.3 环氧砂浆、环氧混凝土使用的粗、细骨料应满足下列要求：
 - 1 质地应坚硬、清洁。
 - 2 应采用干燥状态下的骨料，粗骨料含水率应小于 0.2%，细骨料含水率应小于 0.5%。
 - 3 骨料粒径，环氧砂浆不宜大于 2.0 mm，环氧混凝土不宜大于 40 mm。
- 4.2.4 环氧基液性能指标应满足设计要求，无设计要求时应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 环氧基液性能指标

序号	项目	单位	技术指标	执行标准
1	密度	g/cm^3	>1.0	现行行业标准《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》JC/T 1041
2	干黏结强度	MPa	≥ 3.0	
	湿黏结强度	MPa	≥ 2.0	
3	表干时间 [(23±2) °C]	h	<3.0	现行国家标准《漆膜、腻子膜干燥时间测定法》GB/T 1728
4	实干时间 [(23±2) °C]	h	≤ 24.0	

4.2.5 环氧涂料性能指标应符合表 4.2.5 的规定。

表 4.2.5 环氧涂料性能指标

序号	项目	单位	技术指标	执行标准
1	外观	—	色泽均匀	(1) 现行行业标准《混凝土结构防护用成膜型涂料》JG/T 335; (2) 现行国家标准《无溶剂环氧液体涂料的防腐蚀涂装》GB/T 31361
2	密度	g/cm^3	1.10~1.80	
3	表干时间 [(23±2) °C]	h	≤ 4.0	
4	实干时间 [(23±2) °C]	h	≤ 24.0	

4.2.6 环氧树脂类材料固化物性能应满足设计要求。

4.3 设 备 器 具

4.3.1 拌和设备、拌和能力应与所拌制材料的类型和最大拌和量相适应。

4.3.2 施工器具宜采用耐化学腐蚀材质。

4.3.3 材料配制用容器应标识清晰，不得混用。

4.3.4 计量器具应定期进行校验或率定，保持量值准确。

4.3.5 施工设备应按规定进行维护保养，保证正常工作状态。

4.4 基 层 处 理

4.4.1 混凝土宜养护至 28 d 后进行基层处理。

4.4.2 采用环氧涂料、环氧胶泥处理混凝土表面时，基层处理应满足下列要求：

1 若混凝土基层有缺陷，应先按设计要求处理缺陷，无设计要求时，可按表 4.4.2 规定的方法进行处理。

表 4.4.2 混凝土基层缺陷处理方法与要求

序号	缺陷类型	处理方法与要求
1	油渍、污染物	宜用有机溶剂或碱性溶液洗刷去污
2	气泡密集区	气泡外露直径小于 5 mm 的可采用打磨处理；大于 5 mm 的应在打磨后进行填补抹平处理
3	蜂窝、麻面区	深度小于 5 mm 的宜采用磨除处理，磨除深度不应小于麻面深度；大于 5 mm 的宜采用凿除处理，凿除深度不宜小于 20 mm 且达到最大缺陷深度，将残渣清除干净后，用环氧砂浆夯实抹平
4	错台、挂帘	应采用凿除、打磨处理，使其周边混凝土平顺连接，顺水流向坡度不宜大于 1:30，垂直水流向坡度不宜大于 1:10
5	外露钢筋头、管件头	应沿露头周边切成一个规则凹槽，截断钢筋头、管件头，使其距表面不小于 25 mm，清除残渣，用环氧砂浆或预缩砂浆夯实抹平
6	混凝土裂缝	(1) 缝口宽度小于 0.2 mm 的表面干缝，可采用缝口两侧各 10 cm 范围内涂刷渗透性环氧材料的方式进行封闭处理，也可采用沿缝凿槽并回填嵌缝材料的方式进行封闭处理； (2) 缝口宽度大于 0.2 mm 的裂缝及渗水裂缝，可进行灌浆处理

2 缺陷处理合格后，应进行打磨处理。

3 打磨处理后，应采用压力水冲洗干净、自然晾干。对不宜用水清洗的表面，可用高压风吹净。

4.4.3 采用环氧砂浆或环氧混凝土处理混凝土表面时，基层处理应满足下列要求：

1 处理区域的边缘宜切割成整齐、规则的垂直面，切割深度应满足设计要求。

2 切割完成后可采用人工凿除等方法，凿除至坚固的混凝土基面，凿除时应避免对原有混凝土骨料造成松动破坏。

3 凿除并处理后的混凝土基层面应为坚实、洁净、干燥、凹凸的粗糙面。

4 有露筋时，钢筋表面应按设计要求进行处理。

5 干燥度宜采用混凝土表面水分测定仪检测，水分含量不宜大于 5%，测试点数宜按单仓面随机 3 点~5 点控制。

5 施 工 方 法

5.1 一 般 规 定

- 5.1.1 施工用计量器具、设备、工具等应安放到位，并能正常使用。
- 5.1.2 现场的材料品种应标识清晰、备料充足。
- 5.1.3 宜由专人进行材料拌制。
- 5.1.4 拌料应遵循即拌即用的原则，在可操作时间内使用。
- 5.1.5 施工前应按材料的配比和加料顺序进行试拌，验证搅拌时间和确定材料配比，满足工程要求后，再正式拌制。
- 5.1.6 施工时，应采取措施进行厚度及平整度控制。

5.2 材 料 拌 制

- 5.2.1 环氧涂料、环氧胶泥材料拌制应符合下列规定：
- 1 材料拌制宜使用转速约 300 r/min 的电动搅拌器搅拌。
 - 2 拌制应充分并观察颜色均匀后再使用。
- 5.2.2 环氧砂浆、环氧混凝土拌制应满足下列要求：
- 1 宜采用强制式搅拌机拌制，也可采用人工拌制。
 - 2 环氧砂浆、环氧混凝土的拌制方法，可根据现场情况按表 5.2.2 的规定选择。

表 5.2.2 环氧砂浆、环氧混凝土拌制方法

方法一	方法二
(1) 将干料按规定的加料顺序倒入拌和机内并拌和均匀； (2) 配制环氧浆液； (3) 将配制好的环氧浆液分批倒入拌和机内，搅拌均匀	(1) 将干料与环氧树脂混合物在拌和机内预先搅拌均匀； (2) 倒入固化剂，拌制均匀

3 搅拌时间不宜低于 3 min。

5.3 施 工 处 理

5.3.1 环氧涂料可选用涂刷法、滚涂法、喷涂法等施工。施工可按表 5.3.1 的规定执行。

表 5.3.1 环氧涂料施工作业基本要求

施工方法	作业顺序	基本要求
涂刷法 滚涂法	(1) 立面或坡面作业时, 宜按由高到低的顺序施工; (2) 平面作业时, 宜按从一侧到另一侧的顺序施工	(1) 厚度可采用单位面积用量法控制; (2) 涂刷有缺陷时, 应处理至达到合格标准
喷涂法	(1) 立面或坡面施工时, 应按由低到高的顺序喷涂; (2) 有细部结构的部位, 应按先细部、后整体的顺序连续喷涂	(1) 喷枪宜垂直于混凝土面, 应往复交叉喷涂至设计厚度; (2) 喷涂面搭接宽度不应小于 100 mm; (3) 喷涂过程中发现不均匀等现象时, 应停机查明原因, 处理正常后, 重新作业

5.3.2 环氧胶泥宜采用刮涂法施工。施工应符合下列规定:

1 平面刮涂作业时, 宜从一侧到另一侧; 立面、坡面或溢流面刮涂作业时, 宜从上到下; 封闭结构体刮涂作业时, 宜先顶面、再侧面、后底面。

2 刮涂厚度应满足设计要求, 无设计要求时厚度宜为 1 mm~2 mm。

3 刮涂厚度控制可采用标点控制法或插针法。

5.3.3 环氧基液宜采用涂刷法施工。施工应符合下列规定:

1 环氧基液宜现场配制、当次用完, 环氧基液变稠后不得稀释再次使用。

2 宜采用交叉方式涂刷, 使环氧基液均匀浸润基层面, 不得出现漏刷、积液、流挂等现象。

3 环氧基液涂刷完毕, 指触有拉丝感后方可回填环氧砂浆。若出现环氧基液表干的现象, 可不打磨, 但应重新涂刷。

5.3.4 环氧砂浆可采用涂抹法、回填铺设法施工，涂抹或回填铺设前应先在基层面涂刷一层环氧基液。施工应符合下列规定：

1 立面或陡斜面，施工宜采用涂抹法，宜从上到下，单层厚度不宜大于 10 mm。涂抹完成，宜采用人工压实、抹平，表面收光。

2 平面或缓斜面，施工宜采用回填铺设法，厚度小于等于 50 mm 时可单层铺设施工，厚度大于 50 mm 时宜分层施工。铺设完成，宜采用平板振动设备进行振捣密实、找平，提浆、表面收光。

3 大面积平面或缓斜面回填铺设时，应按表 5.3.4 的要求进行分仓、分块施工和布置伸缩缝。

表 5.3.4 大面积平面或缓斜面分仓、分块及伸缩缝布置施工要求

铺设面	布置原则	缝结构要求	封缝处理	施工要求
大面积平面或缓斜面	(1) 大面积铺设宜分仓、分块施工，单块宽宜为 3 m~5 m； (2) 块间伸缩缝应结合基层混凝土结构缝进行规划布置	(1) 缝宽宜为 3 mm~5 mm； (2) 缝深与回填铺设厚度应相同； (3) 缝内应充填弹性材料； (4) 分仓、分块间宜平整，高差不得大于 1 mm	(1) 铺设施工结束，伸缩缝缝面及两侧各 10 cm 范围内应涂抹环氧胶泥进行表面封闭处理； (2) 封闭宜平顺连接，不得出现错台	(1) 根据分仓、分块布局，应跳仓施工； (2) 与基层结构缝重合的施工缝，应沿缝切开封闭的环氧胶泥

4 拌和好的环氧砂浆应及时入仓，超过可操作时间应按废料处理。

5.3.5 环氧混凝土应采用浇筑回填法施工，浇筑前应先在基层面涂刷一层环氧基液。施工应符合下列规定：

1 立面或陡斜面，应立模浇筑。

2 平面或缓斜面，厚度小于 200 mm 时，可单层浇筑；厚度大于 200 mm 时，宜分层浇筑，分层厚度宜为层厚的 1/2。

3 平面或缓斜面浇筑应按本规范表 5.3.4 的要求布置伸缩

缝，并进行封缝处理。

4 拌制的环氧混凝土应及时入仓，若超过可操作时间应按废料处理。

5 浇筑拆模后，与原混凝土面高差大于 1 mm 时，应打磨处理，保证平顺过渡。

5.4 养 护 保 护

5.4.1 施工结束，应对混凝土表面处理部位及时采取保护措施。

5.4.2 应根据环境温度确定养护龄期，不宜少于 7 d。

5.4.3 养护期间应符合下列规定：

1 环氧涂料、环氧胶泥，应保持干燥，不宜少于 3 d。

2 环氧砂浆、环氧混凝土，寒冷时段应覆盖保温，炎热时段应遮盖防晒。

3 有伸缩缝部位的，应对伸缩缝进行保护。

5.4.4 当养护与保护有特殊要求时，应按工程要求执行。

6 质量检验

6.1 一般规定

6.1.1 环氧树脂类材料混凝土表面处理工程的单元工程，可按工程划分的单元或验收区、段进行划分。

6.1.2 质量检验应查看现场施工记录，并按本章规定取样检测。

6.1.3 对检验不合格项目和部位，应按工程要求或设计要求重新处理。

6.1.4 质量检验完成后，应对拉拔、钻孔等检验部位按原技术方案进行恢复施工处理。

6.2 环氧涂料

6.2.1 检验部位应布置在有代表性或特殊的部位。

6.2.2 质量检验方法和质量标准应按表 6.2.2 的规定执行。

表 6.2.2 环氧涂料施工质量标准

项 类	项 次	项 目	检 验 方 法	检 验 频 次	质 量 标 准	
					基础混凝土强度 等级<30 MPa	基础混凝土强度 等级≥30 MPa
主控 项目	1	黏结 强度	采用拉拔强度 试验法，试验按 附录 A 执行，检 测龄期为 7 d 或 设计龄期	每 500 m ² 为一个单元， 不足 500 m ² 时按一个单 元计，每单 元取 3 个试 样	应满足设计要 求，无要求时应满 足下列条件之一： (1) ≥1.5 MPa； (2) 试样内聚破坏	应满足设计要 求，无要求时应满 足下列条件之一： (1) ≥2.5 MPa； (2) 试样内聚破坏
	2	涂层 厚度	现场取样，卡 尺测量 测厚仪检测		(1) 平均厚度应满足设计要求； (2) 检测的最小厚度不应小于设计厚度 80%，且小于设计厚度的比例不得超过 20%	
一般 项目	1	表观	采用肉眼观测法	随机	涂层应均匀，无流淌、漏涂	

注：黏结强度质量标准：若试样不合格，需在原取样部位就近再取一组；若全部合格，可评定为合格。

6.3 环 氧 胶 泥

6.3.1 检验宜在以下部位布置：

- 1 随机抽样的部位；
- 2 有代表性或特殊的部位；
- 3 结构复杂、施工难度大、对涂抹质量有影响的部位；
- 4 结合施工记录分析确定的部位。

6.3.2 质量检验方法和质量标准宜按表 6.3.2 的规定执行。

表 6.3.2 环氧胶泥施工质量标准

项 类	项 次	项 目	检 验 方 法	检 验 频 次	质 量 标 准	
					基础混凝土强度 等级<30 MPa	基础混凝土强度 等级≥30 MPa
主控 项目	1	黏 结 强 度	采用拉拔强度 试验法,试验按附 录 A 执行,检测 龄期为 7 d 或设计 龄期	每 200 m ² 为 一个单元,不足 200 m ² 时按一个 单元计,每单元 取 3 个试样	应满足设计要 求,无要求时应满 足下列条件之一: (1) ≥1.5 MPa; (2) 试样内聚 破坏	应满足设计要 求,无要求时应满 足下列条件之一: (1) ≥2.5 MPa; (2) 试样内聚 破坏
	2	平 整 度	用 2 m 长直尺, 在平面内任意方 向和角度移动测 量	随机移动	满足设计要求	
	3	厚 度	(1) 插针法; (2) 标点法,根 据厚度控制标 点观察; (3) 测厚仪检测	(1) 现场随机 检验; (2) 标点处全 部检验; (3) 测厚仪抽 点数不小于 3 个		
一般 项目	1	表 观	采用肉眼观测法	现场跟踪观测	无漏涂、无刮痕、无起皱、无鼓 包、不流坠	

注：黏结强度质量标准：若试样不合格，需在原取样部位就近再取一组；若全部合格，可评定为合格。

6.4 环 氧 砂 浆

6.4.1 检验宜在以下部位布置：

- 1 随机选取;
 - 2 因条件限制或施工不利因素等可能对施工质量有影响的部位;
 - 3 结合施工记录分析可能存在异常的部位。
- 6.4.2 质量检验方法和质量标准宜按表 6.4.2 的规定执行。

表 6.4.2 环氧砂浆施工质量标准

项类	项次	项目	检验方法	检验频次	质量标准	
					基础混凝土强度等级 < 30 MPa	基础混凝土强度等级 ≥ 30 MPa
主控项目	1	黏结强度	采用拉拔强度试验法, 试验按附录 A 执行, 检测龄期为 7 d 或设计龄期	每 200 m ² 为一个单元, 不足 200 m ² 时按一个单元计, 每单元取 3 个试样	应满足设计要求, 无要求时应满足下列条件之一: (1) ≥ 1.5 MPa; (2) 试样内聚破坏	应满足设计要求, 无要求时应满足下列条件之一: (1) ≥ 2.5 MPa; (2) 试样内聚破坏
	2	平整度	用 2 m 长直尺, 在平面内任意方向和角度移动测量	随机移动	满足设计要求	
	3	厚度	插针法 每 200 m ² 为一个单元, 不足 200 m ² 按一个单元计 钻孔取芯法	随机检测 每单元测点数不小于 3 个	满足设计要求	
一般项目	1	外观	采用肉眼观测法	现场跟踪观测	无漏涂、无鼓包	

注: 黏结强度质量标准: 若试样不合格, 需在原取样部位就近再取一组; 若全部合格, 可评定为合格。

6.5 环氧混凝土

6.5.1 检验部位宜在以下部位布置:

- 1 随机抽样的部位;
- 2 环氧混凝土厚度相对薄的部位。

6.5.2 检验方法和质量标准宜按表 6.5.2 的规定执行。

表 6.5.2 环氧混凝土施工质量标准

项 类	项 次	项 目	检 验 方 法	检 验 频 次	质 量 标 准	
					基础混凝土强度 等级<30 MPa	基础混凝土强度 等级≥30 MPa
主 控 项 目	1	黏 结 强 度	采用钻孔取芯法, 钻孔直径不小于 50 mm, 芯样加工后采用轴向拉伸法进行检测, 试验按附录 B 执行, 检测龄期为 7 d 或设计龄期	每 50 m ² 为一个单元, 不足 50 m ² 时按一个单元计, 每单元取 3 个试样	应满足设计要求, 无要求时应满足下列条件之一: (1) ≥1.5 MPa; (2) 试样内聚破坏	应满足设计要求, 无要求时应满足下列条件之一: (1) ≥2.5 MPa; (2) 试样内聚破坏
	2	厚 度	钻孔取芯法	每 50 m ² 抽点数不少于 3 个, 不足 50 m ² 时按 50 m ² 计	满足设计要求	
一 般 项 目	1	平 整 度	用 2 m 长直尺, 在平面内任意方向和角度移动测量	随机	满足设计要求	

注: 黏结强度质量标准: 若试样不合格, 需在原取样部位就近再取一组; 若全部合格, 可评定为合格。

附录 A 拉拔强度试验方法

A.0.1 目的及适用范围：采用钻芯拉拔法，测定环氧涂料、环氧胶泥、环氧砂浆与基层的黏结强度。

A.0.2 仪器设备：

- 1 专用环形切刀；
- 2 混凝土钻芯机；
- 3 附着力测试仪：精确至 0.01 MPa。

A.0.3 试验步骤：

1 用专用环形切刀或混凝土钻芯机垂直环向切割出一个 $\phi 50$ mm 的孤立圆柱形待测面，使其与周围环氧胶泥、环氧砂浆分离，切割深度应深入基层 3 mm~5 mm。

2 用有机类清洗剂将环氧胶泥、环氧砂浆涂层表面的浮尘擦拭干净。

3 用快固型高强度专用黏胶将 $\phi 50$ mm 的拉头黏结至孤立圆柱形待测面上，24 h 后进行测试。

4 测试时将黏结拉头连接至拉拔仪，进行拉拔试验，操作时保证轴向拉伸。以 20 N/s~40 N/s 的速率缓慢加力，直至试件断裂，读取附着力测试仪显示读数，记录断裂位置和破坏面情况。

附录 B 轴向拉伸试验方法

B.0.1 目的及适用范围：采用芯样试件轴向拉伸法，测定环氧混凝土与基层的黏结强度。

B.0.2 仪器设备：

1 拉力试验机：额定负荷 10 kN，精度等级 1 级，试件的预计破坏荷载宜在试验机量程的 20%~80%；

2 锯石机；

3 磨石机；

4 游标卡尺、钢尺等。

B.0.3 试验步骤：

1 将芯样按长径比不小于 1.0 的要求截取试件。当试样直径小于最大骨料的两倍时，应重新取样。

2 黏结面宜位于试件轴向的中部，用快凝强力胶黏剂在试件两个端面粘贴钢卡具，钢卡具平板部分应平行，拉杆轴线应与试件轴线重合，且重合度偏差不应大于 1 mm。

3 拉杆与抗拉垫板间宜采用铰链结构连接，拉杆轴线与试件轴线重合度偏差不应大于 1 mm。

4 将处理好的试件置于拉力试验机夹具中心位置，使其轴向与拉伸方向一致。

5 开动机器，以 0.3 MPa/min~0.5 MPa/min 的速率加载，直至试件破坏，记录芯样断裂荷载值及断裂位置、破坏面情况。

B.0.4 芯样试件的黏结抗拉强度可按式 (B.0.4) 计算，精确至 0.01 MPa：

$$f_{\text{CZ}} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots \text{(B.0.4)}$$

式中: f_{CZ} ——环氧混凝土与基面的黏结强度 (MPa);

P ——试件断裂时的破坏荷载 (N);

A ——试件破坏面面积 (mm^2)。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

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

引用标准名录

- 《漆膜、腻子膜干燥时间测定法》GB/T 1728
- 《无溶剂环氧液体涂料的防腐蚀涂装》GB/T 31361
- 《水电水利工程施工通用安全技术规程》DL/T 5370
- 《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》JC/T 1041
- 《混凝土结构防护用成膜型涂料》JG/T 335

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程环氧树脂类材料
混凝土表面处理施工规范

DL/T 5836—2021

条 文 说 明

制 定 说 明

《水电水利工程环氧树脂类材料混凝土表面处理施工规范》(DL/T 5836—2021), 经国家能源局 2021 年 4 月 26 日以第 3 号公告批准发布。

本规范制定过程中, 编制组进行了广泛调查、资料收集、试验研究, 总结了国内外水电水利工程环氧树脂类材料混凝土表面处理施工的实践经验, 参考了国内外相关标准的研究成果, 征求了有关单位和专家的意见, 最终经审查定稿。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定, 《水电水利工程环氧树脂类材料混凝土表面处理施工规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是, 本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总则	26
3	基本规定	28
4	施工准备	31
4.1	一般规定	31
4.2	材料	32
4.3	设备器具	35
4.4	基层处理	36
5	施工方法	40
5.1	一般规定	40
5.2	材料拌制	41
5.3	施工处理	42
5.4	养护保护	47
6	质量检验	49
6.1	一般规定	49
6.2	环氧涂料	49
6.3	环氧胶泥	50
6.4	环氧砂浆	50
6.5	环氧混凝土	51

1 总 则

1.0.1 长期以来,在水电水利工程领域,混凝土表面存在的主要缺陷有气泡密集区、蜂窝、麻面区、错台、挂帘、外露钢筋头、管件头、混凝土裂缝等。采用环氧树脂类材料进行混凝土表面处理,以达到消除缺陷、加固混凝土结构、保障安全运行之目的,已成为一项颇具特色的专业技术和方法。

经调查研究和收集资料,并总结国内外水电水利工程环氧树脂类材料混凝土表面处理施工技术,当前用于混凝土表面处理的环氧树脂类材料主要有环氧涂料、环氧胶泥、环氧砂浆和环氧混凝土等。

因此,参考国内外相关标准的研究成果,规范环氧树脂类材料混凝土表面处理施工,指导工程技术人员的施工技术和规范作业人员的工艺操作行为,对工程的安全运行会起到有效的保障作用,十分必要。

1.0.2 制定本规范的目的是针对水电水利工程混凝土表面有缺陷的情况,采用环氧涂料、环氧胶泥、环氧砂浆或环氧混凝土材料进行处理施工;如果工程无缺陷,仅为提高混凝土外观效果或强化保障工程安全运行等,也可使用。

但本规范不适用于水下作业施工。

1.0.3 培训内容一般包括但不限于:混凝土表面处理的目的、材料的性能介绍、配制方法、现场施工工艺和方法、设备操作与维护、场内运输及存储、施工安全、职业健康与环境保护、特殊情况处理预案等。

培训后的考核方法及合格标准,目前尚无统一的规范要求,各工程只能根据自己的工程要求,自定考核方法及合格标准。

1.0.4 鼓励采用经试验检验和论证的新技术、新工艺、新材料、新设备进行混凝土表面处理施工，以确保达到工程要求的质量、运行和外观等。

1.0.5 与本规范有关的、难以详尽的技术要求，应符合国家现行有关标准的规定。

3 基本规定

3.0.1 本规范要求取得的资料均为混凝土表面处理施工所需的基础资料。

1 取得混凝土表面缺陷的详查资料和评估结果，目的是了解缺陷所在部位、类型、工程量大小，以及为选择环氧材料、检验处理效果做参考。

2 取得表面处理设计及施工要求，就是取得设计的施工技术要求 and 工艺要求，为人员组织、材料和设备选型等做计划安排和现场准备。

3 取得材料的检测报告、合格证和使用说明书，主要是为编写施工组织设计、编写竣工报告及工程验收等收集资料、提供技术帮助。

4 产品外包装上有清晰的名称、型号、批号、净重和生产商名称等标识，可使现场作业人员能直观辨认、分类储存、有序搬运。

5 取得混凝土结构图、混凝土强度指标等资料，目的是对工程有更深入的了解，并对环氧树脂类材料的应用起到指导补充作用。

3.0.2 对于专项独立的混凝土表面处理工程，应编制施工组织设计；若混凝土表面处理项目属于整体工程项目的分部分项，即子项目，可编制一个专项施工方案。

施工组织设计与专项施工方案的主要内容基本相似，一般包括但不限于以下几点，各工程可根据其工程特点、要求等进行增减。

(1) 概述；

- (2) 编制依据;
- (3) 材料选择与拌制;
- (4) 施工技术及工艺;
- (5) 施工资源配置及进度计划;
- (6) 质量保证措施;
- (7) 质量检验及验收标准;
- (8) 职业健康和环境保护措施等。

3.0.3 现场施工记录是分析和评价工程质量的重要依据之一,应及时、准确、真实、齐全、整洁地记录。应在现场施工过程中随时填写,由专人审核,不允许事后回忆补记,更不允许篡改编造。

3.0.4 满足设计要求的合格产品分以下两种情况:

一是指国内现有的环氧树脂类材料的定型产品。定型产品目前有多种,一般均为经过严格的科学研究,反复的配制试验,符合国家相关标准规定和要求的合格产品。为使该专业技术做到先进,本规范意在强调按设计要求选择该类合格产品。

二是指将几种原料组合在一起,在现场进行称量、试拌后满足设计要求的拌合物产品。通常当工程遇特殊情况,如遇应急或用量小等情况,而生产厂家的定型产品一时难以及时供货或经济代价高等时,可以使用这种方法。

3.0.5 理论上讲,施工环境温度对材料凝胶固化的反应速度影响较大。温度过低,如低于 5°C 时,固化反应速度小,往往会影响施工进度。温度过高,如高于 35°C 时,凝胶固化反应的热量来不及散发就已固化,可操作时间短,不利于施工。但在实际工程中往往都是在露天作业,严格执行 $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 的规定有时是难以做到的,因此本规范用了“宜”为 $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 。就是说,环境温度略有高、低时,只要材料的可操作时间对施工影响不大,可满足要求,也是可以进行施工的。

雨天、雪天施工环境差,作业困难,难以保证工程质量,因此雨天、雪天不宜实施露天施工作业,必须要在雨天、雪天施工

时，应采取搭棚、遮挡等相应措施。

3.0.6 试验地点是否具有代表性，对试验成果的有效性影响极大，应多方研究共同确定。

本规范强调“必要时”，主要是针对一些大型工程、重点部位或工程有需要的情况而言的。如向家坝、锦屏等大型工程，在正式大规模施工前，均进行了材料的适宜性和工艺性试验，甚至经济性比对。

对于规模不大、类似工程经验较多的工程，或临时局部小范围工程等，一般可按成熟的工艺和方法直接施工，可不进行材料适应性试验。

对于试验内容，各工程可根据设计或工程要求进行增减。

3.0.7 《水电水利工程施工通用安全技术规程》DL/T 5370 规定了施工现场布置、供水、供电、通信、安全防护设施、材料的运输、储存等要求。本规范规定的环氧树脂类材料混凝土表面处理施工，应按此执行。

4 施 工 准 备

4.1 一 般 规 定

4.1.1 技术交底一般包括但不限于以下内容，各工程可根据工程的特点、要求进行增减。

(1) 工程概况，包括混凝土结构、施工范围及部位、施工项目及内容；

(2) 施工技术要求、施工方法、工艺要求、质量标准及关键施工技术和实施中存在的问题；

(3) 重点或特殊工程部位的技术要求、处理细节及其注意事项；

(4) 材料的特性、配比、拌制方法；

(5) 新技术、新工艺、新材料、新设备的应用方法及注意事项；

(6) 劳动力、材料、施工机械安排与组织；

(7) 施工组织设计网络计划、进度要求；

(8) 施工安全、环境保护；

(9) 其他要求等。

4.1.2 人员、机械设备和材料按施工组织设计要求按时进场，是保障工程按时开工的必要条件。尤其是机械设备，必须在施工前进行调试和运转，直至满足施工要求。

4.1.3 临建设施主要包括交通、供风、供水、排水、供电、照明、作业脚手架、安全防护和通信设施等，施工前必须布置到位，并满足安全施工要求。

4.1.4 施工部位的防水、防曝晒和防污染设施一般有挡水围堰、

遮阳棚、防护网等。混凝土基层面上若有外来水和污物，会降低材料与基层面的黏结强度，曝晒会改变材料的固化反应速度，使材料性能发生改变。因此，这些设施是保障环氧树脂类材料混凝土表面处理施工质量的基础。

4.1.5 进行测量放线的目的是明确施工部位、控制作业范围，科学管理以便做到心中有数，这也是计算工程量和计划材料用量的基础。

4.1.6 环氧树脂类材料属于高分子材料，含有各种溶剂、助剂，会散发一些刺鼻的气味，对人体有害。为保证施工人员的健康，作业时，操作人员应穿戴安全防护用品，穿戴过程中防护用品一旦破损、失效或到达使用期限，应及时更换。

常规防护用品包括工作服、护目镜、手套、口罩和劳保鞋等。有特殊要求时，按特殊要求穿戴。

4.2 材 料

4.2.1 环氧树脂类材料的抗压强度、抗拉强度和黏结强度的检验方法，目前可按表 4-1 中的规范执行，待有相关对应标准颁布时，也可按对应标准执行。其他指标如线膨胀系数、抗冲磨强度应根据项目实际要求而定。

表 4-1 材料检验执行标准对照表

材料	执行标准
环氧涂料	《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》JC/T 1041
环氧胶泥、环氧砂浆	《环氧树脂砂浆技术规程》DL/T 5193
环氧混凝土	《水工混凝土试验规程》DL/T 5150

4.2.2 现场情况是指混凝土表面处理的部位，如引水隧洞、廊道、溢流面、导墙冲刷面、坝体迎水面等；混凝土表面处理的目的、要求，如抗冲磨要求、平整度要求、外观要求等；基层混凝土的强度，以及混凝土结构形状，如平面、立面、陡斜面、缓斜面、

封闭面等。这些现场情况均与选择环氧树脂类材料有关。

本规范规定经试验选择环氧树脂类材料，是因为环氧树脂类材料的抗压强度、抗拉强度、黏结强度、弹性模量、线膨胀系数等性能指标差异性较大，适宜条件也各不相同，要达到工程处理目的，必须经试验选择满足设计要求的材料，以及适宜的施工技术参数。如引水隧洞、尾水隧洞的混凝土基层面，由于其潮湿度较大，因此潮湿面的黏结强度能否满足设计要求，必须经过试验论证。

4.2.3 有特殊要求时，另行研究。

4.2.4 本规范表 4.2.4 中的密度、干黏结强度和湿黏结强度技术指标，是参照《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》JC/T 1041 的规定编制的，现场论证试验也应按此规范进行；表干时间、实干时间技术指标，是根据环氧树脂类材料混凝土表面处理施工特点编制的，该指标的现场论证试验可按《漆膜、腻子膜干燥时间测定法》GB/T 1728 进行。

4.2.5 本规范表 4.2.5 中的外观、密度、表干时间、实干时间技术指标，是参照《混凝土结构防护用成膜型涂料》JG/T 335、《无溶剂环氧液体涂料的防腐蚀涂装》GB/T 31361 的规定编制的，现场论证试验也应按此规范进行。

4.2.6 本规范中环氧树脂类材料是指环氧胶泥、环氧砂浆、环氧混凝土。这三种材料的固化物性能，由于应用工程部位不同，指标也会有所不同。

例如，环氧胶泥用于混凝土表面防护涂层时，其指标以力学性能为主，兼顾装饰性，固化物性能指标主要有黏结强度、抗压强度、抗拉强度等。用于过流结构时，应考虑抗冲磨强度；用于日照时间长的地区时，应关注耐紫外线老化性能；用于饮用水源工程时，应要求具备环保性能，应选用实际无毒类材料。

又如，环氧砂浆、环氧混凝土，其主要力学性能指标宜包括黏结强度、抗压强度、抗拉强度、抗折强度等。用于大面积施工时，宜选择与基层材料间变形协调好，线膨胀系数与基层混凝土

线膨胀系数之比小于 2 的材料，因为线膨胀系数差异大，易造成环氧砂浆与基层脱空、空鼓现象；用于过流结构时，应充分考虑水质、过流频次、过流时长等因素，选择抗冲磨强度佳的材料；用于饮用水源工程时，应要求具备环保性能，宜选用实际无毒类材料等。

因此，若要针对不同工程、不同部位及不同的处理目的，制定相应的环氧树脂类材料固化物性能指标，是难以详尽的。下面列举了部分水电工程的固化物性能指标案例，以供参考。

(1) 环氧胶泥。作为混凝土表面处理材料，用于向家坝、乌东德等水电工程泄水建筑物。固化物性能指标均由设计根据项目实际情况提出。环氧胶泥固化物主要设计技术指标见表 4-2。

表 4-2 环氧胶泥固化物主要设计技术指标

水电工程名称	处理部位	黏结强度 (MPa)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)
向家坝水电工程	中表孔、消力池混凝土面	≥2.5 或不小于母材对应强度	—	—
乌东德水电工程	泄洪洞混凝土面	≥4.0 (干) ≥3.5 (湿)	≥75	≥16.0
泸定水电工程	泄洪洞混凝土面	≥3.0	≥60	≥5.0
白鹤滩水电工程	导流洞混凝土面	≥2.5	≥50	≥10.0
锦屏一级水电工程	泄洪洞混凝土面	≥3.0	≥60	≥10.0

(2) 环氧砂浆、环氧混凝土。环氧砂浆、环氧混凝土的固化物主要设计技术指标分别见表 4-3、表 4-4。

表 4-3 环氧砂浆固化物主要设计技术指标

水电工程名称	处理部位	黏结强度 (MPa)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	抗冲磨 强度
二滩水电工程	1 号、2 号泄洪洞	≥3.0	≥80	≥10.0	≥5.0 h/ (kg·m ²) 圆环法

续表 4-3

水电工程名称	处理部位		黏结强度 (MPa)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	抗冲磨 强度
向家坝 水电工程	中表孔、消力 池混凝土面		≥ 2.5 或 不小于母材 对应强度	≥ 65	—	—
乌东德 水电工程	泄洪洞 混凝土面	普通	≥ 2.5	≥ 60	≥ 2.5	—
		抗冲磨	≥ 3.5 (干) ≥ 3.0 (湿)	> 80	> 12.0	—
白鹤滩 水电工程	导流洞混凝土面		≥ 2.5	≥ 60	≥ 10.0	—
锦屏一级 水电工程	泄洪洞混凝土面		≥ 3.0	≥ 60	≥ 10.0	—
官地 水电工程	消力池混凝土面		≥ 3.0	≥ 50	≥ 12.0	—
小浪底 水利枢纽工程	泄洪排沙洞 混凝土面		≥ 4.0	≥ 80	≥ 10.0	$\geq 5.3 \text{ h/}$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) 圆环法

表 4-4 环氧混凝土固化物主要设计技术指标

水电工程名称	处理部位	黏结强度 (MPa)	抗压强度 (MPa)
向家坝水电工程	中表孔、消力池混凝土面	≥ 2.5 或 不小于母材对 应强度	≥ 80
景洪水电工程	溢流面反弧段混凝土面	≥ 2.0 或 不小于母材对 应强度	≥ 60

4.3 设 备 器 具

4.3.1 拌和设备、拌和能力、拌制材料类型和最大拌和量是否能达到最优配置、互相适应，使材料在可操作时间内完成施工，是保障工程顺利进行的基本条件。因此，施工前要对施工人员进行提高操作熟练程度的训练，对拌和设备、拌制材料应通过试验验证拌和能力 and 最大拌和量的适应性。

4.3.2 环氧树脂类材料属化学制品，施工器具宜按化学制品相关要求选择有耐腐蚀性的材质，如 PP 材质塑料、不锈钢器具、涂覆了耐化学介质涂层的器具等。

4.3.3 例如，环氧浆液分为主剂和固化剂，主剂、固化剂对容器壁均有黏附性，配制用容器一旦混用，两者即开始发生固化反应。所以，现场材料配制用的容器应标识清晰，分开使用。

4.3.4 要保持量值准确，必须对计量器具进行定期校验或率定。量值准确，配比正确，人员操作精细、规范，是保证材料固化物性能质量的有效措施。

4.3.5 维护保养主要指施工结束后、下次施工前两种情况下的常规保养。施工结束后宜选择高闪点清洗剂清洗，每次施工前应开机试运转。

4.4 基 层 处 理

4.4.1 混凝土的基层处理一般要求应在混凝土具有一定强度后进行，强度偏低时不宜处理。本规范要求新浇筑混凝土养护龄期“宜”至 28 d 后，就是说遇到特殊情况，也可按设计要求缩短养护龄期，如具有早强性能的混凝土可视为宜缩短养护龄期的混凝土。

4.4.2 对于采用环氧涂料、环氧胶泥处理混凝土表面时的基层处理：

1 若混凝土基层有缺陷，应优先按设计要求处理，因为不同工程、部位的混凝土其功能会有不同，如输水建筑物、挡水建筑物、抗冲磨高速水流建筑物等，其处理要求会有不同。

但在实际工程中，往往会有无设计要求的情况，如临时工程等，此时可按本规范表 4.4.2 规定的方法进行处理。

(1) 采用有机溶剂或碱性溶液洗刷去污处理基层时，现场安全防护措施除应按《水电水利工程施工通用安全技术规程》DL/T 5370 的规定执行外，个人防护应按本规范第 4.1.6 条的规定穿戴安全防护用品。

(2) 气泡密集区，气泡外露直径大于 5 mm 的，以往工程通

常采用环氧涂料或环氧胶泥进行涂覆填平处理。

2 打磨处理有人工研磨法、喷砂打毛法、真空抛丸机打毛法、压力水喷毛法等,可根据工程情况灵活选择应用。采用喷砂打毛法时,应控制砂的粒径范围,减少灰尘飞扬。在条件允许的情况下,采用真空抛丸机打毛法,可有效控制打磨粉尘,对环保有利。

3 打磨处理后采用压力水冲洗、高压风吹净,在以往工程中,水压一般为 $0.5\text{ MPa}\sim 1.0\text{ MPa}$,风压不宜大于 0.5 MPa ,供参考。自然晾干,即在无遮盖状态下,自然风干,通常为 24 h 。

4.4.3 采用环氧砂浆或环氧混凝土处理混凝土表面时,待处理区域的边缘和底部基层面,通常采用切割和凿除等“破坏”性处理。大体分以下三种情况:

(1) 待处理区域为平面、弧面时,表平面切割如图 4-1 (a) 所示,即沿处理区域的边缘切割成不规则的凸多边形;待处理区域的边缘立面切割如图 4-1 (b)、(c) 所示,即垂直基层面切割成整齐、规则的垂直面。在以往工程中,立面也有采用如图 4-1 (d) 所示的形式切割的,即切成燕尾倒角,后经实践发现,该处的混凝土角尖是受力的薄弱点,容易被冲刷破坏,故后续工程不再采用。

以上处理区域的混凝土基层面,通常凿成粗糙的平面。

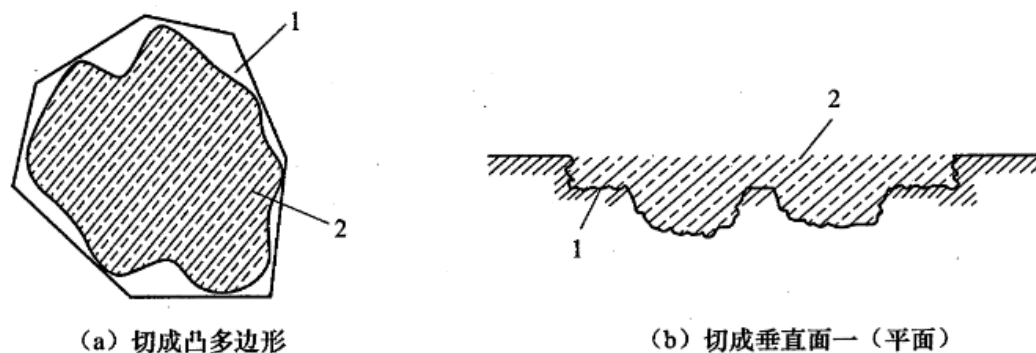


图 4-1 局部修复凿除切割示意

1—基层面; 2—凿除图例

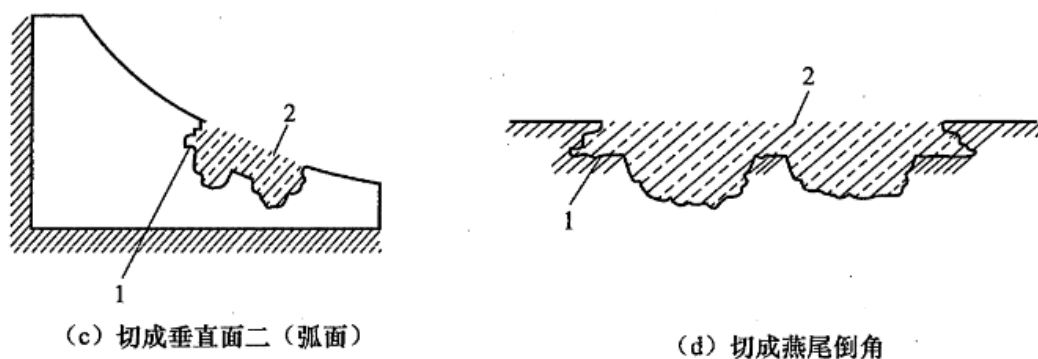


图 4-1 局部修复凿除切割示意（续）

1—基层面；2—凿除图例

(2) 待处理区域为立面时，缝、槽回填应凿成 U 形，如图 4-2 所示。



图 4-2 立面缝切割示意

1—混凝土基层面；2—U 形槽

(3) 待处理区域为平面、缓斜面，做回填铺设、浇筑回填时，处理区域边缘应做平顺连接，缓坡做过渡处理，顺水流向坡度不宜大于 1:30，垂直水流向坡度不宜大于 1:10，如图 4-3 所示。

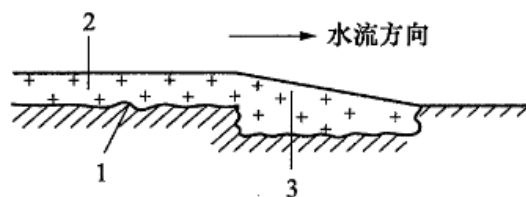


图 4-3 回填、浇筑示意

1—混凝土基层面；2—环氧树脂类材料；3—过渡坡面

本规范中混凝土基层的干燥程度控制，可采用混凝土水分测定仪进行检测。水分含量用“不宜”大于 5% 的标准进行规定，意为当工程有增大或减小要求时，可由设计根据现场实际情况进行确定。

5 施 工 方 法

5.1 一 般 规 定

5.1.1 施工前将计量器具、设备、工具等按施工布置安放到位，目的是保证施工作业时能正常使用。

5.1.2 标识清晰的目的是确保现场材料品种有序、一目了然及避免混用。备料充足，是保障工程质量和施工顺利进行的基本条件。

5.1.3 专人拌制，能强化熟悉材料的基本性能和材料的配比要求，并充分了解材料拌制的注意事项，能准确称量和熟练地按加料流程进行操作拌制，从而在极大程度上保证了材料固化物性能指标和工程质量。

5.1.4 环氧树脂类材料可操作时间是指以开始拌制为起点，至不再适合使用的时间间隔。环氧树脂类材料属于热固化型材料，固化过程会边放热边凝固，因此材料的拌制时效应与现场施工的效率相匹配，应在可操作时间内即拌即用，避免超期浪费。

如果超期，超过可操作时间的材料应按相关要求作废料处理。处理的方法一般是将单体材料混合变为聚合体，再对聚合体按规定进行处理。

5.1.5 下面用两点来说明试拌的必要性和重要性。

(1) 环氧树脂类材料属热固化型材料，少量拌制和大量拌制其可操作时间会有差异，大量拌制时积聚产生的聚合热大，可操作时间会比少量拌制短；随着拌制次数的增加，附着在搅拌桨上的拌合物增多后，阻力增大，拌和机的搅拌功效会降低，因此试拌可找到拌制量与可操作时间之间的关系。

(2) 环氧胶泥是由双组分组成的定型产品，若在标准条件下

进行室内拌制，其固化物性能、力学性能指标等均容易达到标准要求。但在室外施工现场就不同了，气温、操作人员的熟练程度、机械性能等均发生了变化，拌制极有可能导致配比失调、材料力学性能指标不合格，甚至发生爆聚等现象。因此，通过现场试拌可在施工应用前对材料配比进行验证校对，以确保工程质量。

试拌除验证搅拌时间和确定材料配比外，还可再次验证拌和设备、拌和能力、拌制材料类型和最大拌和量是否达到最优配置并相适应。因此该工序十分重要。

5.1.6 厚度及平整度是环氧树脂类材料混凝土表面处理施工的一个重要质量指标。厚度控制可采取的措施通常有标点法；平整度控制可采取的措施通常有直尺或标线控制法。

标点法的现场布置、安装数量和针插法的使用频次，理论上宜密不宜疏。在实际工程中，可根据现场情况合理确定。

5.2 材 料 拌 制

5.2.1 选用转速 $r \leq 300$ r/min 的低速电动搅拌器作为环氧涂料和环氧胶泥的拌制设备，是从实践中得来的经验，宜参考。这种搅拌器在敞口容器中拌和，拌和时间一般控制在 2 min~3 min 即可。

双组分定型产品通常有色差，拌制充分并观察颜色均匀后再使用，是十分必要的。

5.2.2 本规范中的人工拌制，一般是在遇停电或拌制量少的特定条件下临时采用，主要还应采用强制式搅拌机拌制。无论采用强制式搅拌机拌制还是人工拌制，原则都应是“拌制均匀”。换言之，拌制不均匀是不允许的。

本规范中拌制方法分两种：方法一，是将几种环氧树脂类材料的原料组合在一起，在现场进行称量、拌制和使用的一种常用方法，其干料可按要求就地取材，现场拌制可节约运输成本，可在现场根据工程实际情况调整树脂浆液添加量，灵活方便；方法二，是在室内预先配制完成一种环氧树脂混合物，到现场在拌和

机内预先搅拌均匀，再倒入固化剂后均匀拌制完成的一种方法，实施简单、便捷。对于这两种方法，在实际工程中可根据工程现场情况合理选用。

环氧砂浆、环氧混凝土的搅拌时间，本规范规定不宜低于 5 min，这是根据积累的工程经验得来的数据，最终应以材料的差异性和现场情况，以拌制均匀为原则确定时间的长短。

5.3 施 工 处 理

5.3.1 涂刷法、滚涂法、喷涂法，是目前环氧涂料施工可选用的基本方法，也是较常规的方法。环氧涂料施工工艺流程通常如图 5-1 所示。

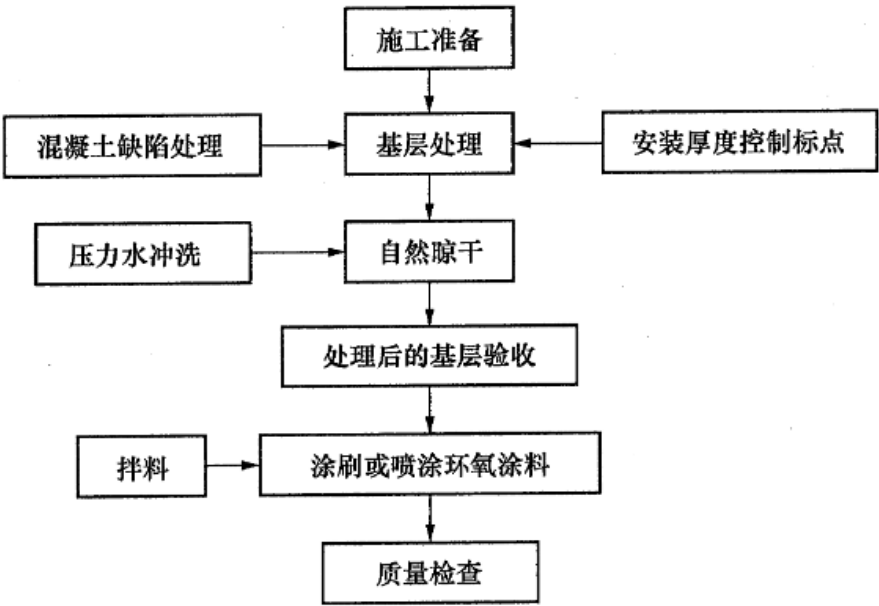


图 5-1 环氧涂料施工工艺流程

对于本规范表 5.3.1 中的作业顺序，有必要对其工艺要求与目的进行说明，见表 5-1。

5.3.2 刮涂法是环氧胶泥目前可选用的基本和常规施工方法。环氧胶泥施工工艺流程通常如图 5-2 所示。

表 5-1 作业顺序的工艺要求与目的

施工方法	作业顺序	工艺要求与目的
涂刷法 滚涂法	(1) 立面或坡面作业时, 宜按由高到低的顺序施工; (2) 平面作业时, 宜按从一侧到另一侧的顺序施工	(1) 若按由低到高的顺序施工, 会对低处已经涂刷完成的环氧涂料造成污染; 在实际工程中若对低处采取有效的保护措施, 也可反向行之。 (2) 根据工程要求, 也可从两侧同时向中间进行施工。 (3) 单位面积用量法, 即先统计出单位面积内消耗的环氧涂料的总质量, 再根据材料的密度换算出材料的体积, 最后换算出单位面积的厚度
喷涂法	(1) 立面或坡面施工时, 应按由低到高的顺序喷涂; (2) 有细部结构的部位, 应按先细部、后整体的顺序连续喷涂	(1) 喷涂高处, 对低处不会造成污染; (2) 容易保证细部质量

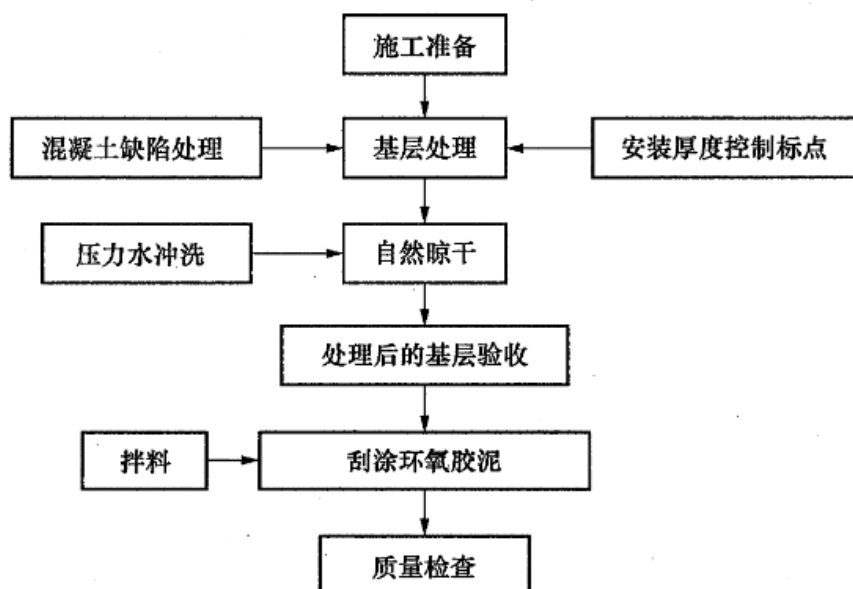


图 5-2 环氧胶泥施工工艺流程

1 本规范规定, 平面刮涂作业时, “宜”从一侧到另一侧; 立面、坡面或溢流面刮涂作业时, “宜”从上到下; 封闭结构体刮涂作业时, “宜”先顶面、再侧面、后底面。这些均用了“宜”进行规定, 就是说在实际工程中可根据要求采取措施进行顺序调整。

2 刮涂厚度无设计要求,通常指临时工程或有成熟经验可借鉴的工程案例等,可考虑在 1 mm~2 mm 中确定。

关于刮涂抹厚,在实际工程中也有大于 2 mm 的案例,这种情况一般均由设计规定施工方法。通常做法是分层刮涂施工,第二层环氧胶泥是在第一层胶泥完全失去可塑性不再变形时施工。这里的“完全失去可塑性”指胶泥涂覆层表干。

3 环氧胶泥厚度采用标点法或插针法控制,标点法和插针法是目前最常用也是最有效的方法。插针法宜在刮涂层表干前使用。

5.3.3 环氧基液,是施工前在切割凿除处理后的混凝土基层涂刷的环氧浆液。过去,环氧基液涂刷的时机,控制在环氧砂浆涂抹、铺设前的 30 min~40 min 内开始并完成,不提前,也不推后。但是,目前由于环氧基液的性能在不断发生变化,这个经验时间可作参考。

1 基液变稠后再稀释,应视为废料,不得使用。

2 交叉涂刷,即左右横、上下竖,交叉进行。

3 环氧基液出现表干是不影响工程质量的,因此可不打磨并再次直接涂刷。

5.3.4 涂抹法、回填铺设法是环氧砂浆施工目前可选用的基本和常规方法。环氧砂浆施工工艺流程通常如图 5-3 所示。陡斜面通常指坡度大于 30°的斜面,缓斜面通常指坡度小于 30°的斜面,立面即垂直面,平面即水平面。

1 立面或陡斜面涂抹施工,若单层厚度大于 10 mm,应按设计要求采用分层施工,即应待上一层环氧砂浆实干后进行下一层施工,再等实干后,进行第 3 层施工,如此渐进。

2 平面或缓斜面铺设法施工,若厚度大于 50 mm,应分层施工,层厚可按设计要求执行,也可根据具体工程情况现场商定。

3 大面积铺设环氧砂浆时应设置分仓、分块,根据砂浆特性

和已有的工程经验，单仓面积一般以 $8\text{ m}^2 \sim 10\text{ m}^2$ 为宜。

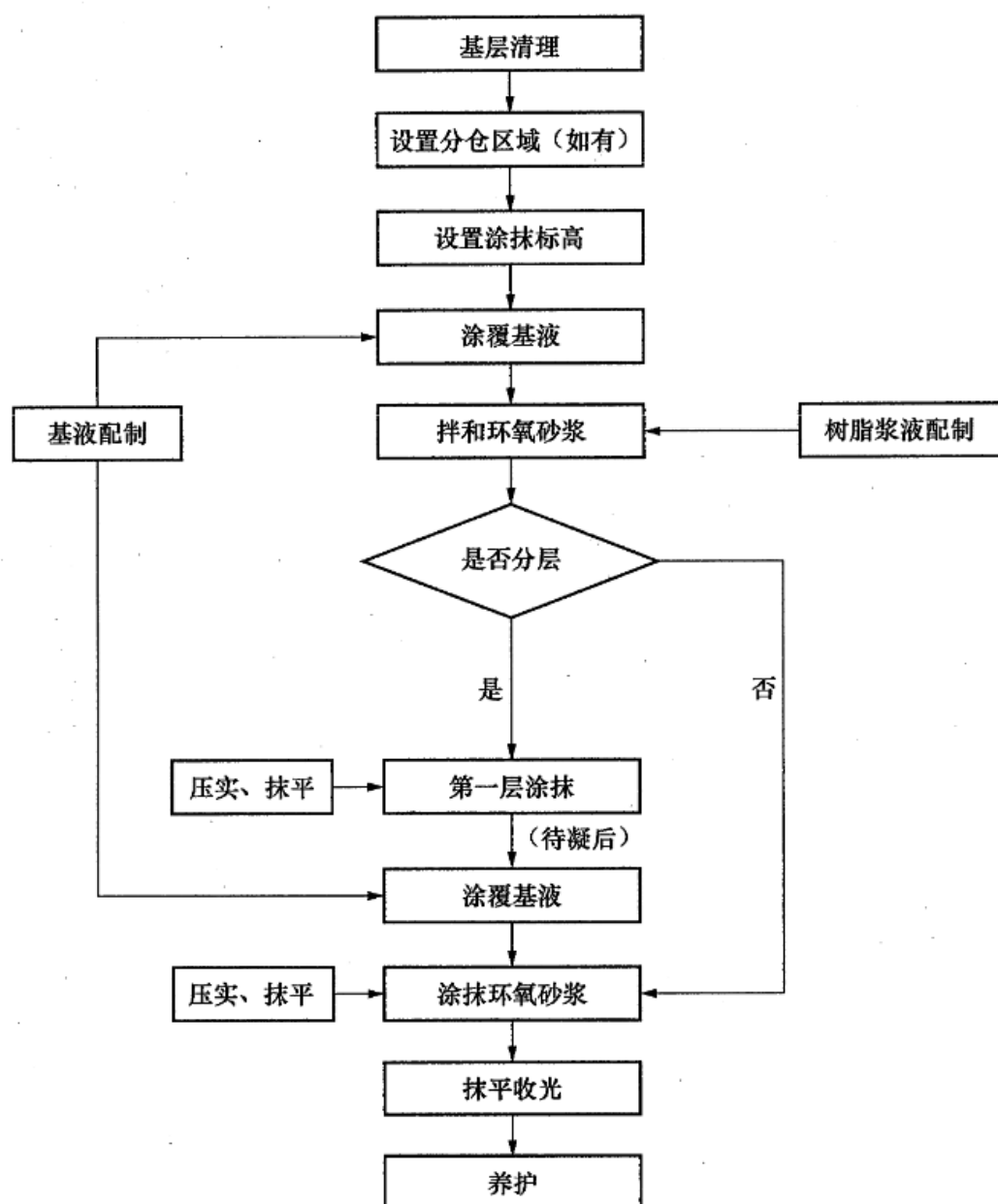


图 5-3 环氧砂浆施工工艺流程

(1) 对于伸缩缝、分仓缝、分块缝，应尽可能结合基层混凝土结构缝重合布置。

(2) 伸缩缝内应填充如硅酮密封胶、改性硅烷密封胶等高模量密封胶类材料。缝两侧各 10 cm 范围内，应涂抹环氧胶泥进行

表面封闭处理，平顺连接。

(3) 施工结束后对分仓接缝做打磨处理，保证高差不大于 1 mm，平顺过渡。

5.3.5 浇筑回填法是环氧混凝土目前最基本的施工方法。图 5-4、图 5-5 通常是立面或陡斜面立模施工和平面、缓斜面施工工艺流程图。

1 立面或陡斜面立模施工应一次浇筑成型。立模时，应预先做好脱模措施，以防环氧混凝土与模板黏结，不能脱模。浇筑过程中可敲击模板振动，促使混凝土浇筑密实。

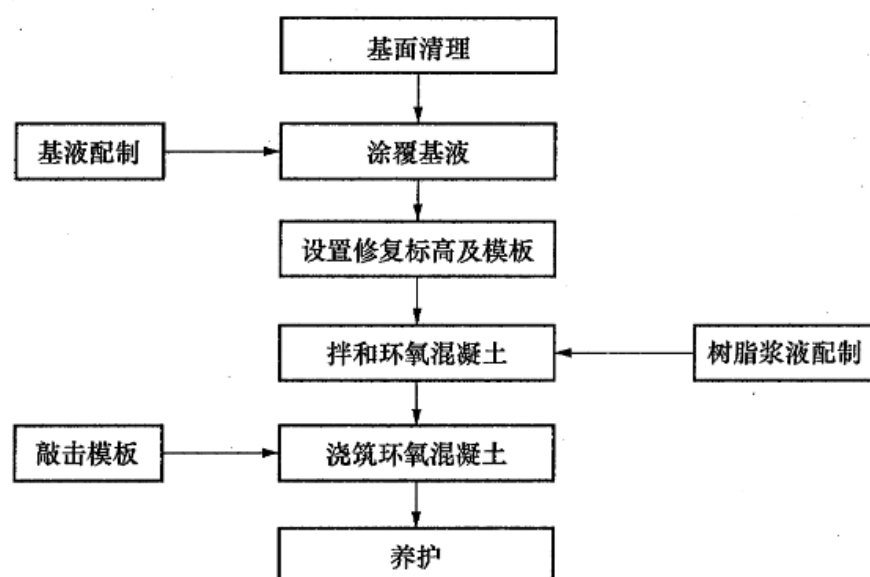


图 5-4 环氧混凝土立面、陡斜面立模施工工艺流程

2 平面、缓斜面采用浇筑回填法施工，当厚度大于 200 mm 采取分层连续施工时，为控制环氧混凝土固化放热带来的形变影响，景洪水电工程采用了变配比的控制措施，即底层先浇环氧混凝土采用慢固化配比，后浇环氧混凝土采用正常配比，两种配比均在现场取样并测试了力学性能指标。

鉴于该技术措施目前意见尚未统一且案例少，因此本规范暂不做规定，在此列出仅作参考。在执行本规范时，希望工程技术人员及相关人员进行资料收集和技术总结，并将意见或建议按前言里

的要求及时反馈，以便修订本规范时参考。

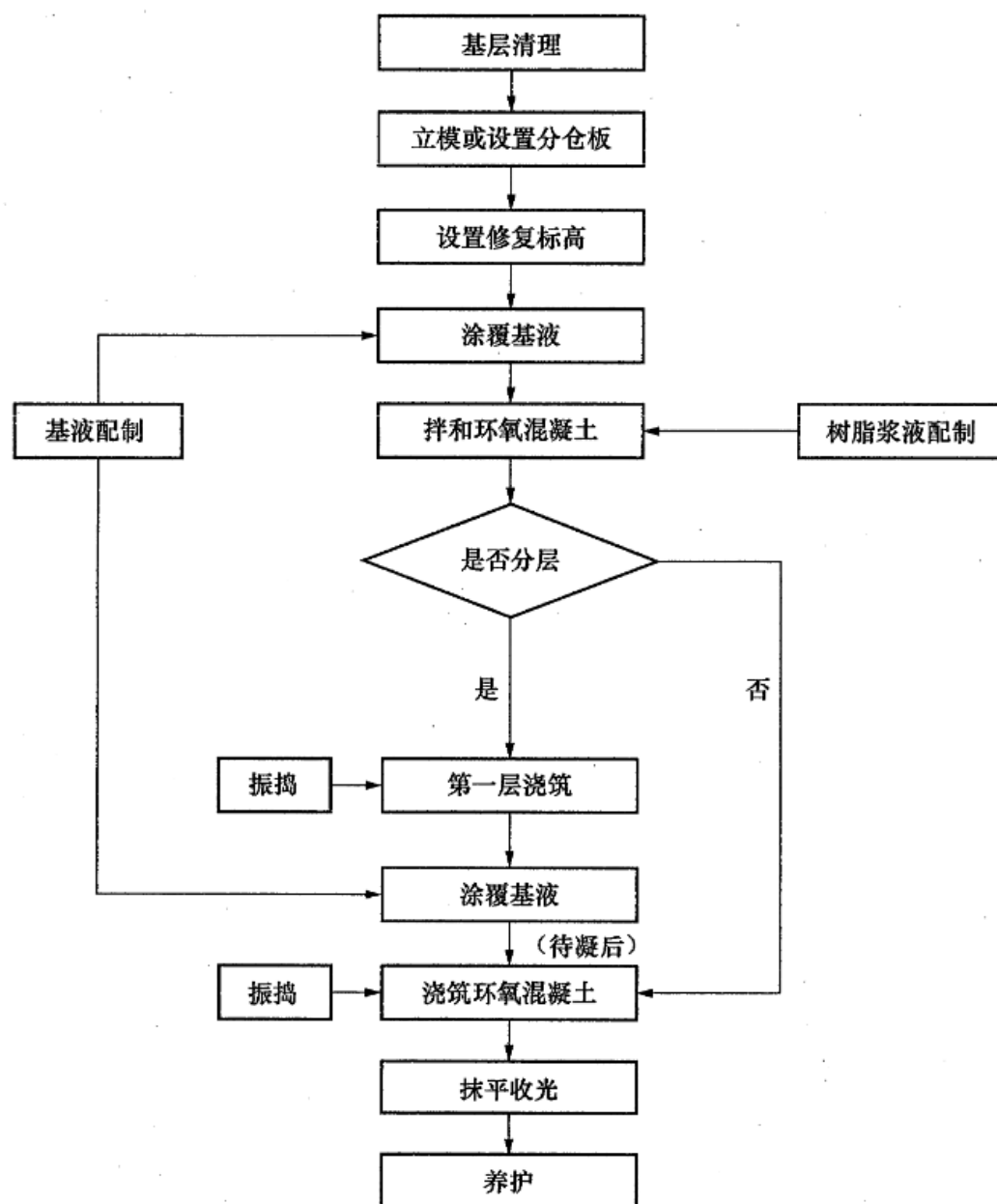


图 5-5 环氧混凝土平面、缓斜面施工工艺流程

5.4 养 护 保 护

5.4.1 保护措施一般有表干前不得受雨淋、水浸泡、雪盖、曝晒、火烤，以及外力重压、敲打和冲击等。即使表干后环氧浆液成膜为憎水性不透水膜，水浸泡侵蚀对其力学性能指标影响较小，但

也不宜浸水。

5.4.2 环境温度低时应适当延长养护龄期，具体可现场讨论商定。

5.4.3 本规范要求的养护期，是根据材料的特点而规定的。

1 环氧涂料、环氧胶泥在养护期内应保持干燥的原因是，环氧树脂类材料交联固化需一定时间，在没有完全交联固化前，固化剂成分遇水存在水解的可能，当体系形成交联固化的网状结构后，才是一个憎水性体系，故在养护期内应保持干燥。养护时间不宜少于 3 d。

2 环氧砂浆、环氧混凝土在寒冷时段施工，由于环氧浆液活性低，覆盖保温有利于强度的稳定增长，可采用覆盖麻布、草帘、岩棉被等保温措施；在炎热时段施工，环氧浆液活性高，放热峰易爆发出现，进而造成应力集中，可在环氧混凝土表干后覆盖麻布或草帘、土工织物等防止曝晒，必要时也可全天采取保湿、洒水等降温措施。

3 养护期内对伸缩缝保护的目的是防止缝内嵌入颗粒等杂物，致使分缝伸缩失效。

5.4.4 比如应急工程、临时工程等，应按工程要求执行。

6 质 量 检 验

6.1 一 般 规 定

6.1.1 若一个单元工程内工程量小，难于评定施工质量时，可考虑与其他单元工程合并，合并方法具体按工程商定的方法确定。

6.1.2 现场施工记录是质量检验的基础资料，也是质量评定的依据，应重点参考。

6.1.3 重新处理的方法和合格标准，应按工程要求或设计要求执行。

6.1.4 原技术方案包括从材料到工艺、养护等一整套技术要求。孔洞的边界应做打磨处理，以保持平顺。

6.2 环 氧 涂 料

6.2.1 代表性，通常可理解为同类部位、相同施工技术要求、相同施工工艺、相同的材料或配比、类似的施工环境等；特殊的部位，通常可理解为溢流面、高速冲刷区、长期水下、水位变化区等。

6.2.2 环氧涂料涂层厚度检验在本规范表 6.2.2 中规定了卡尺测量和测厚仪测量两种检验方法，两种检验方法均为测试干膜厚度的方法。

其中，现场取样卡尺测量为破坏性试验，虽然取样直观、检验准确，但取样后留下的孔洞需按本规范第 6.1.4 条的规定进行施工处理；测厚仪检测法为无损检测，操作便捷简单，可供工程择优选用的定型仪器较多，其主要原理是采用超声波频率变化

来表征涂膜层厚度，试验范围可为 $50\ \mu\text{m}\sim 3800\ \mu\text{m}$ ，精度可在 $\pm 2\ \mu\text{m}$ ，因此各工程可根据要求灵活采用。

6.3 环 氧 胶 泥

6.3.1 检验部位宜布置在：

- 1 随机抽样的部位，即现场随机点测。
- 2 代表性，通常为同类部位、相同施工技术要求、相同施工工艺、相同的材料或配比、类似的施工环境等；特殊的部位，通常为溢流面、高速冲刷区、长期水下、水位变化区等部位。
- 3 结构复杂、施工难度大，对涂抹质量有影响的部位，如顶面、空间狭小部位、结构的阴角或阳角等。
- 4 结合施工记录分析确定的部位，如施工时为雨天、雪天、炎热或寒冷等特殊天气、气温条件下的施工部位，或材料质量有疑问的部位等。

6.3.2 本规范中规定“质量检验方法和质量标准宜按表 6.3.2 的规定执行”，用“宜”来规定，主要原因是一般项目中的“表观”，当环氧胶泥用于抗冲磨等过流工程时，质量标准会按主控项目对待。

6.4 环 氧 砂 浆

6.4.1 本规范中，因条件限制或施工不利因素等可能对施工质量有影响的部位，通常指部位低、难以清理干净的部位，或施工干扰大、无法正常连续施工的部位等；可能存在异常的部位，如施工时为雨天、雪天、炎热或寒冷等特殊天气、气温条件下的施工部位，或材料质量有疑问的部位等。

6.4.2 本规范中规定“质量检验方法和质量标准宜按表 6.4.2 的规定执行”，用“宜”来规定，主要原因是一般项目中的“表观”，质量标准在不同的工程会作为主控项目对待。

6.5 环氧混凝土

6.5.1 厚度相对薄的部位一般均是黏结强度相对较弱的部位。

6.5.2 本规范中规定“检验方法和质量标准宜按表 6.5.2 的规定执行”，用“宜”来规定，主要原因是一般项目中的“平整度”，质量标准在不同的工程中有可能作为主控项目对待。