

附件 1

ICS XXXXX

P XX

团体标准

T/ CWEA XX -2020

水工建筑物环氧树脂砂浆技术规范

Specification of epoxy resin mortar for hydraulic structure

(征求意见稿)

2020-XX-XX 发布

2020-XX-XX 实施

中国水利工程协会 发布

前 言

根据中国水利工程协会团体标准制修订工作安排，按照《水利技术标准编写规定》（SL 1—2014）的要求，编制本标准。

本标准共6章和2个附录，主要技术内容包括环氧树脂砂浆的材料分类及技术要求、施工技术要求、质量控制与检验及安全与环境保护等。

本标准批准部门：中国水利工程协会

本标准主编单位：中国水利水电科学研究院

中国水利水电第十一工程局有限公司

本标准主编单位：水利部小浪底水利枢纽管理中心

新疆科能防水防护技术股份有限公司

湖北凯耀宏建设工程有限公司

上海骏泓工程咨询管理有限公司

北京京水建设集团有限公司

德州黄河建业工程有限公司。

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：

本标准技术内容审查人：

本标准体例格式审查人：

本标准内部编号：

目 次

1 总 则	1
2 术 语	2
3 材 料.....	3
3.1 一般规定.....	3
3.2 性能.....	3
3.3 现场抽样检验.....	3
3.4 运输和储存.....	4
4 施 工	5
4.1 一般规定.....	5
4.2 基层处理和底涂涂刷.....	5
4.3 环氧树脂砂浆施工.....	5
5 质量控制与检验.....	7
5.1 基层与底涂质量.....	7
5.2 环氧树脂砂浆层质量.....	7
5.3 过程控制与施工记录.....	7
6 安全与环境保护.....	8
6.1 安 全.....	8
6.2 环境保护.....	8
附录 A 露点温度对照表	9
附录 B 粘结强度现场检验方法	10
本标准用词说明.....	12
条 文 说 明.....	13

1 总 则

- 1.0.1 为规范环氧树脂砂浆应用技术要求，保障工程质量，制定本标准。
- 1.0.2 本标准适用于水工建筑物混凝土修补及表面防护用环氧树脂砂浆。
- 1.0.3 本标准规定了水工建筑物用环氧树脂砂浆的材料性能、施工技术要求、质量控制与检验、安全与环保等要求。
- 1.0.4 环氧树脂砂浆施工人员应进行安全与环境保护培训，施工现场做好安全防护，并采取必要的安全保障及环境保护措施。
- 1.0.5 本标准主要引用下列标准：
 - GB/T 3186 色漆、清漆和色漆与清漆用原材料 取样
 - SL 352 水工混凝土试验规程
 - DL/T 5193 环氧树脂砂浆技术规程
 - DL/T 5315 水工混凝土建筑物修补加固技术规程
- 1.0.6 水工建筑物环氧树脂砂浆的施工，除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 环氧树脂砂浆 epoxy resin mortar

以环氧树脂、固化剂及其他添加剂作为胶结物质，与一定级配填料组成的砂浆材料。

2.0.2 适用期 pot life

环氧树脂砂浆从拌制完成到保持其可使用性能的时间间隔。

2.0.3 基层 substrate

需进行修补或防护处理的混凝土表面。

2.0.4 底涂 primer

预先涂于基层的粘结剂，以改善环氧树脂砂浆与基层的粘结性能，也称界面剂。

3 材 料

3.1 一般规定

- 3.1.1 环氧树脂砂浆按用途分为修补型（R 型）和防护型（P 型）两类。修补型产品宜用于混凝土表面的缺陷修补；防护型产品宜用于混凝土的抗冲磨防护。
- 3.1.2 环氧树脂砂浆按施工性能分为 I 型和 II 型。I 型产品适用于立面、顶面及底面施工；II 型宜用于底面或小角度斜面施工。
- 3.1.3 产品应按下列顺序标记：名称、类型、标准号。如修补 I 型环氧树脂砂浆，标记为：
环氧树脂砂浆 R I 型 CWEA/T XXX-XXXX
- 3.1.4 产品应为 2 组分或 3 组分包装，各组分应均匀，无凝胶、结块现象；
- 3.1.5 砂料的最大粒径应不大于 2.5mm。

3.2 性能

3.2.1 环氧树脂砂浆的物理性能应符合表 1 的规定。

表 1 环氧树脂砂浆性能要求

序号	项 目		技术指标		试验方法
			R 型	P 型	
1	表观密度（g/cm ³ ）		生产企业标称值		DL/T 5193-2020 附录 C
2	拉伸强度（MPa）		≥6	≥10	DL/T 5193-2020 附录 D
3	抗压强度（MPa）		40	≥60	DL/T 5193-2020 附录 E
4	粘结强度（MPa）	干基面	≥3.0		DL/T 5193-2020 附录 F
		潮湿基面	≥2.0		
5	热相容性 ^a	干热循环	-----	外观无缺陷， 粘结强度≥2.0MPa	DL/T 5193-2020 附录 G
		湿热循环			
6	抗冲击性（次）		-----	≥8	DL/T 5193-2020 附录 H
^a 在室外应用条件下应测试本项目。					

3.2.2 环氧树脂砂浆 I 型产品的施工性能，应满足竖直基面上 1 次涂覆厚度 10mm 而无下坠现象。

3.3 现场抽样检验

- 3.3.1 同类型环氧树脂砂浆产品宜按 20t 为一批次，不足 20t 的按一批次计。同类型配套底涂产品宜按 2t 为一批次，不足 2t 的按一批次计，也可按环氧树脂砂浆产品批次的配套使用量为一批次计。
- 3.3.2 抽样应按 GB/T 3186 规定执行，环氧树脂砂浆按配比总共抽取不少于 20kg 样品，配套底涂按配比抽取不少于 2kg。样品宜分为二份，一份用于试验，一份留样备用；试样应置于不与材料发生反应的干燥密闭容器中，密封贮存。
- 3.3.3 检验与判定应按下列要求执行：

- 1 进场产品应有产品合格证和性能检测报告。产品进场后应进行抽样检验，合格后方可使用。
- 2 产品进场抽检项目应包括拉伸强度，抗压强度及粘结强度。
- 3 抽检结果全部达到要求时应为合格；若仅有一项指标不符合标准要求，应对不合格项目进行加倍单项复检，若达到标准要求则判该批产品性能合格，否则为不合格；若有两项或两项以上不符合标准规定，则判定该批产品不合格。
- 3 对于 I 型产品，材料进场后应针对立面施工性能进行现场确认。

3.4 运输和储存

- 3.4.1 产品应在防潮、密封容器或包装内储存，外包装上应有印刷或粘贴牢固的标志，内容包括：产品名称，生产企业名称、地址，产品净质量，生产日期、批号、产品贮存期等；不同组分的包装应有明显区别。
- 3.4.2 产品运输过程中，不同批号、包装的产品应分别堆放，不应混杂。搬运时应轻搬轻放，防止碰撞、挤压，运输过程中应防止日晒雨淋，应远离热源、火源。
- 3.4.3 产品不应露天堆放，防止日晒雨淋，应远离热源、火源，注意通风，应在 10℃～40℃ 环境下储存。

4 施 工

4.1 一般规定

- 4.1.1 环氧树脂砂浆施工前应进行图纸会审、编制施工技术方案，根据产品特点和作业环境进行现场试验，确定施工工艺和参数。
- 4.1.2 环氧树脂砂浆厚度应根据使用部位和工作条件确定，且不宜小于 5mm。
- 4.1.3 进行环氧树脂砂浆施工的混凝土基层强度等级不宜低于 C20。新浇混凝土的龄期宜 28 天以上，方可进行环氧树脂砂浆施工。
- 4.1.4 环氧树脂砂浆作业环境温度宜不低于 5℃、不高于 35℃；相对湿度小于 85%，施工应在基面温度比露点温度至少高 3℃的条件下进行，露点温度对照表见附录 A。不应在雨天及高温天气日光直射下露天施工。
- 4.1.5 环氧树脂砂浆的施工应按基层处理、底涂涂刷、环氧砂浆施工和养护的工序进行，每道工序完成并经检查合格后，方可进行下道工序的施工。

4.2 基层处理和底涂涂刷

- 4.2.1 基层处理应采用高压水或机械打磨等方法除去基层表面浮浆、油污、松动颗粒，露出新鲜、坚实的混凝土基层，清除浮尘并晾干，底涂涂刷前应避免基层二次污染。
- 4.2.2 基层裂缝、渗水部位应进行灌浆、开槽填充、导流等预处理，具体方法按照 DL/T 5315《水工混凝土建筑物修补加固技术规程》有关规定执行。
- 4.2.3 底涂应按产品使用说明要求配制，配制量根据施工速度确定，确保在底涂适用期内使用完毕。
- 4.2.4 涂覆时应经纬方向各涂刷一遍，以保证涂刷均匀无漏涂，单位面积涂刷用量应符合技术方案要求。底涂涂刷范围宜稍大于环氧树脂砂浆施工范围。
- 4.2.5 底涂涂刷后、环氧树脂砂浆施工前，应防止灰尘、杂物、水等污染表面。

4.3 环氧树脂砂浆施工

- 4.3.1 环氧树脂砂浆应按照供应商提供的产品使用说明书的要求配制，拌和量根据施工速度而定，应在环氧砂浆适用期内使用完毕。拌和方式宜选用砂浆拌和机进行拌和，用量较小的情况下可采用人工拌和，应确保材料拌和均匀。
- 4.3.2 在顶面和立面施工时，涂抹、压实和找平应一次完成；设计厚度超过 10mm 时，应分层施工，在前一层砂浆硬化并粘结牢固后进行下一层施工。

- 4.3.3 在平面施工时，环氧树脂砂浆摊铺平整后宜采用平面振捣器振捣，密实后收面、抹光，要求表面光滑平整。
- 4.3.4 跨缝施工时，应根据基体混凝土的结构缝、施工缝进行分块施工。沿缝预留 10mm~20mm 宽度的缝，用高性能密封胶将接缝填充平整。
- 4.3.5 在整体混凝土基面上，环氧树脂砂浆的施工不需要分缝、分块。
- 4.3.6 环氧树脂砂浆施工间断形成的搭接缝面应做成斜面，后续施工时应涂刷底涂后，进行环氧树脂砂浆的施工。接缝处应压实、抹光，平顺连接。
- 4.3.7 环氧树脂砂浆需要多层施工时，每层施工都应在底层基面上涂刷底涂。
- 4.3.8 底涂涂刷与环氧树脂砂浆施工的时间间隔应满足工艺技术要求。如超过规定的时间间隔，应重新涂刷底涂，必要时需对底涂进行打毛处理。
- 4.3.9 环氧树脂砂浆施工完成后应根据环境温度与产品特点进行养护，养护期间砂浆层应避免暴晒、雨淋、重压及撞击等。

5 质量控制与检验

5.1 基层与底涂质量

- 5.1.1 基层检查可采用目测及敲击方式进行。
- 5.1.2 混凝土基层应干燥，无油污、灰尘、污物、浮浆及松散物。
- 5.1.3 底涂的涂刷应均匀、无漏涂，厚度或单位面积用量应符合技术要求。

5.2 环氧树脂砂浆层质量

- 5.2.1 环氧树脂砂浆的外观应光滑平整，顶面和立面无流坠现象，施工接缝处搭接平整，平顺连接。
- 5.2.2 环氧树脂砂浆表面的平整度可采用 2m 靠尺检测，允许偏差不应大于 5mm。
- 5.2.3 环氧树脂砂浆涂层与基层的粘结强度检测采用拉开法，检测龄期宜为 7-14d。每 200m² 为一个单元，每单元取 5 个测点（说明）；拉开法测试参见附录 B 的规定。
- 5.2.4 厚度检测可与粘结强度检测同时进行，直接测量试柱上砂浆层厚度。检测频率与粘结强度相同。
- 5.2.5 环氧树脂砂浆层的厚度应满足设计要求。测点最小厚度应不小于设计厚度的 80%，厚度小于设计厚度的比例不应大于 20%。

5.3 过程控制与施工记录

- 5.3.1 施工过程中应随时采用钢针插试法进行厚度控制，发现不合格情况应及时处理。
- 5.3.2 施工过程中应进行过程控制和质量检验，并有完整的施工记录。施工记录应包括以下内容：
 - 1 工程项目名称、施工时间、地点、班组信息等；
 - 2 施工环境温湿度；
 - 3 产品状态；
 - 4 产品及施工过程状况；
 - 5 施工面积及材料用量；
 - 6 砂浆层厚度。

6 安全与环境保护

6.1 安全

- 6.1.1 施工前应进行安全教育与培训，明确危险因素和注意事项。
- 6.1.2 参加施工人员应身体健康，无环氧类材料接触过敏史。
- 6.1.3 施工人员应穿工作服、戴塑胶手套，混凝土基层处理时应戴防尘面具、防护眼镜。
- 6.1.4 环氧树脂材料应避免直接接触皮肤，如不慎接触应及时清洗；如遇恶心、眼睛不适等症状，应尽快脱离工作区观察，如无明显好转，应送医处置；如不慎将环氧树脂材料溅入眼内，应立即用清水冲洗，并及时送医处置。
- 6.1.5 在室内或封闭空间作业时，应采取抽排风等措施保持空气流通。
- 6.1.6 施工现场应避免使用明火，作业人员现场应不进食、不吸烟。

6.2 环境保护

- 6.2.1 基层处理时，应尽量避免扬尘，并根据现场情况采取喷水、喷雾或封闭施工等除尘措施。
- 6.2.2 清洗液、废弃材料和处理剂应及时回收，统一处理，不应随意丢弃、倾倒、排放废弃物和对环境有害的物质。
- 6.2.3 产品包装桶及掉落的材料应及时回收清理。

附录 A 露点温度对照表

露点温度对照表见表 A。

表 A 露点温度对照表

环境温度	相对湿度								
℃	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
4	-5	-4	-3	-2	-1	1	1	2	3
6	-3.2	-2.1	-1	-0.1	0.9	1.8	2.8	3.7	4.5
8	-1.6	-0.4	0.8	1.8	2.8	3.8	4.7	5.6	6.5
10	0.1	1.3	2.6	3.7	4.7	5.7	6.7	7.6	8.4
12	1.9	3.2	4.5	5.6	6.6	7.7	8.6	9.6	10.4
14	3.7	5.1	6.4	7.5	8.6	9.6	10.6	11.5	12.4
16	5.6	7	8.3	9.5	10.5	11.6	12.5	13.5	14.4
18	7.4	8.8	10.2	11.4	12.4	13.5	14.5	15.4	16.3
20	9.3	10.7	12	13.3	14.4	15.4	16.4	17.4	18.3
22	11.1	12.5	13.8	15.2	16.3	17.4	18.4	19.4	20.3
24	12.9	14.4	15.7	17	18.2	19.3	20.3	21.3	22.3
26	14.8	16.2	17.6	18.8	20.1	21.2	22.3	23.2	24.2
28	16.6	18.1	19.5	20.8	22	23.2	24.2	25.2	26.2
30	18.4	20	21.4	22.7	23.9	25.1	26.2	27.2	28.2
32	20.3	21.9	23.3	24.6	25.8	27	28.1	29.2	30.1

附录 B 粘结强度现场检验方法

B.0.1 本方法适用于混凝土表面环氧树脂砂浆粘结强度的现场检测及判定。

B.0.2 环氧树脂砂浆粘结强度现场检验宜在施工完成 21d 后进行。

B.0.3 现场检测用附着力测试仪（拉拔仪）及钻孔设备应符合下列要求：

1 附着力测试仪应具有足够的拉拔力，精度要求在±2%以内。

2 取芯钻及钻筒，取芯尺寸为(50±1.0)mm，钻筒刀口宽(1.5±0.5)mm。

3 圆柱形试柱，尺寸为(50±0.5)mm，钢制试柱厚度不小于 20mm，铝制试柱厚度不小于 30mm，粘结面平直度 50mm 内 0.1mm。

B.0.4 5 个测点为一组，检测有效值的算术平均值作为该组检测值。

B.0.5 现场检测步骤：

1 用空心钻机垂直切割出 φ50mm 的圆形待测面用于粘结测试仪试柱，切割深度应透过环氧树脂砂浆涂层深入混凝土层 10mm~20mm，切割时尽量减小对基础面混凝土产生扰动。

2 将环氧树脂砂浆涂层表面的浮尘清理，用快凝强力胶粘剂将 φ50mm 的标准试柱粘结到环氧树脂砂浆待测面上。胶黏剂固化前不应受到任何扰动，固化时间根据胶黏剂固化性能确定。

3 将仪器连接好后，以 (0.10±0.02) kN/s 或 (0.05±0.01) MPa/s 的速率持续加力直至破坏，过程中尽量避免波动；记录破坏拉力值及破坏类型。

B.0.6 破坏类型按下列规定分类：

1 将整个涂覆体系由下到上分为 3 层：A 层—混凝土基材；B 层—底涂层；C 层—环氧树脂砂浆层。

2 测点破坏形式分为以下 5 种类型，测定数据均为有效值。

1) 基材本体破坏，破坏形式记为 A 型；

2) 基材与底涂粘结破坏，破坏形式记为 A/B 型；

3) 底涂本体破坏，破坏形式记为 B 型；

4) 底涂与环氧树脂砂浆粘结破坏，破坏形式记为 B/C 型；

5) 环氧树脂砂浆层内聚破坏，破坏形式记为 C 型。

3 当破坏发生在试柱与环氧树脂砂浆粘结面时，测定数据应判定为无效值，予以舍弃。

B.0.7 粘结强度值应按式 (B.0.7) 进行计算，精确到 0.1MPa。

$$\sigma_b = \frac{4F_b}{\pi D^2} \quad (\text{B.0.7})$$

式中: σ_b —粘结拉拔强度, MPa;

F_b —拉拔破坏力, N;

D —试柱直径, mm。

B.0.8 检测结果判定

- 1 一组测点检测有效值的算术平均值作为批次检测值, 符合设计要求时应判定为合格。
- 2 一组测点中至少有 3 个数据为有效值, 如果不足 3 个, 应重做试验。
- 3 如果测点为 A 型破坏, 且检测值低于设计值, 应不计入检测平均值计算, 但应作为报告中的有效值保留, 并说明破坏形式, 作为粘结合格结果。

B.0.9 每批次的检测结果应包括每个测点的破坏形式、粘结强度值和该批次粘结强度的平均值。

本标准用词说明

标准用词	严 格 程 度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

团体标准

水工建筑物环氧树脂砂浆技术规范

T/ CWEA XX -2020

条文说明

目 次

1 总 则.....	15
3 材 料.....	16
3.1 一般规定.....	16
3.2 性能.....	16
3.4 现场抽样检验.....	17
4 施工技术.....	18
4.1 一般规定.....	18
4.2 基层处理和底涂涂刷.....	18
4.3 环氧树脂砂浆施工.....	19
5 质量控制与检验.....	20
5.1 基层处理和底涂涂刷质量.....	20
5.2 环氧树脂砂浆层的质量.....	20
6 安全与环境保护.....	21
6.1 安全规定.....	21
6.2 环境保护.....	21

1 总 则

1.0.1 环氧树脂在 20 世纪 40 年代末期完成工业化制造，50 年代生产和应用技术得到进一步发展，从 60 年代至今，已有数百种环氧树脂品种完成工业化开发，固化剂的发展更是方兴未艾。国内环氧树脂的工业化生产始于 1956 年，由于环氧树脂性能出色，应用发展很快。而环氧树脂砂浆在国内早在 20 世纪 60 年代即开展了应用研究，如新安江电站厂房顶溢洪道在 1964 年采用环氧树脂砂浆作为抗冲磨护面，但由于当时材料成本较高，在水电工程应用中受到一定限制。到 20 世纪 90 年代，随经济的发展，环氧树脂砂浆在水电、桥梁、市政等领域得到了快速发展，到目前已经是一种不可或缺的高性能修补防护材料。在早期应用中，环氧树脂砂浆大多是在现场配制，原材料品种也相对较少，固化剂多为毒性大的低级胺类，总体性能较差。随着材料技术的发展和面积防护的应用推广，2 组分或 3 组分包装的环氧树脂砂浆产品占据了主导地位，使防护效果和工程质量得到了明显提高，而材料现场配制方式基本被淘汰。通过材料研究和大量防护施工应用经验的积累，环氧树脂砂浆应用技术基本成熟，在此基础上，有相关研究单位和施工单位共同探讨，编制了本标准，旨在指导和规范环氧树脂砂浆修补、防护技术在水利工程上的应用，确保工程质量。

3 材料

3.1 一般规定

3.1.1 环氧树脂砂浆在混凝土工程中主要用于缺陷修补和表面防护。混凝土表面的破损、缺陷的修补通常是根据缺陷大小来选用修补材料的，修补厚度超过 2cm 时，多采用聚合物改性水泥砂浆进行修复，2cm 以下使用环氧树脂砂浆效果更好，大大降低了修复层脱落的风险，而且养护时间短，修复质量高。环氧树脂砂浆另一重要用途是混凝土表面的大面积防护，由于环氧树脂砂浆出色的力学性能和抗冲磨能力，在针对高速水流冲刷的抗冲磨防护工程中得到大量应用。由于这两类材料在性能要求上各有侧重，如修补用环氧砂浆对强度和模量的要求相对较低，力学性能超过基层混凝土即可满足工程要求，希望施工性能更出色；而表面防护用产品在保证与基层适用性的基础上追求更好的力学性能和抗冲磨性能。考虑到以上应用目的的差异，本标准按两类用途进行产品分类，并提出不同的性能要求。

3.1.2 在不同修补防护部位环氧树脂砂浆的施工工艺和方法有所不同，水平面（或倾角不大的斜面）施工对产品施工性能要求低，材料摊平后用平面振捣器进行振捣压实、抹光。而立墙和顶拱的施工难度增加，对产品的施工性能要求高，要求材料不下坠、易于压实、界面粘结可靠，为实现立面施工性能，需要对材料配比进行针对性设计和优化。由于施工性能方面的要求差异明显，本标准中将环氧树脂砂浆产品分为两个型号，即 I 型和 II 型，方便产品选用。

3.1.4 为了保证环氧树脂砂浆产品质量，要求产品为不超过 3 组分包装的制式产品，工程应用中可方便地根据产品说明配制出符合技术要求的材料，既规范厂家生产，也方便和规范现场应用。产品在运输和储存过程中，各组分出现轻微分层、离析现象是允许的，但应容易搅拌均匀；不应出现严重分层、结块、凝胶的现象，影响最终材料的使用和性能。

3.1.5 环氧树脂砂浆属于薄层修补材料，最普遍的应用厚度范围在 0.5cm~2.0cm 之间，一般不超过 5cm。本标准中对级配砂的最大粒径限定在 2.5mm 以内，超过此范围可以归为粗骨料级配的环氧混凝土。

3.2 性能

3.2.1 本标准针对环氧树脂砂浆不同用途提出了相应的性能要求。缺陷修补型用于混凝土表面局部缺陷的修补，一般要求在力学性能上高出混凝土强度等级即可。冲磨防护型产品用于高速水流冲刷的情况，包括含有悬移质或推移质的高速水流。环氧树脂砂浆作为冲磨防护材料应用时，要求具有出色的力学性能，另外冲磨防护通常是大面积施工，针对这种应用条件，提出了热相容性和抗冲击性能等，目的是降低防护层在运行中出现脱空、开裂、撞击破坏等问题的可能。就环氧树脂砂浆具体性能要求说明如下：

1 表观密度是产品质量控制的一个重要手段，也是工程中估算用量的基本参数。环氧树脂砂浆产品的表观密度应在产品包装、说明书或供货合同中明确告知用户。

2 热相容性用于评价在有水和无水环境下温度变化循环过程中涂层与基层的配伍性，由于基层混凝土与防护层环氧树脂砂浆之间的线膨胀系数差异较大，在温度变化过程中，粘结界面层、基层及防护层均产生内应力，是导致防护体系的脱空破坏、防护层开裂破坏的直接原因，热相容性即是考察涂层体系是否能经受温度变化循环过程而不发生劣化或破坏现象，此测试试验对评价环氧树脂砂浆材料环境适应性及耐久性有重要意义。

3 抗冲击性能

4 环氧树脂砂浆抗冲磨性能的评价方法中，水下钢球法更适合评价抗推移质磨蚀的能力，含砂水流法更适合于评价抗悬移质磨蚀的能力。本标准未给出抗冲磨强度的具体指标要求，原因是冲蚀破坏的机理非常复杂，清水水流、含砂水流、含推移质水流等冲蚀破坏机理不同，另外不同流速对防护材料的磨

蚀程度有质的区别。工程应用中具体冲蚀条件千差万别，给出普适的冲蚀性能指标要求有很大困难。工程上可根据具体冲蚀条件进行针对性试验进行产品优选，确定指标要求。表 1 给出了一些具体试验条件下具有代表性的测试结果,可为工程设计提供一些参考资料。

表 1 冲磨强度测试结果

测试方法	样品编号	冲磨强度	备注
水下 钢球法	1#	423h/(kg/m2)	抗压50MPa, 抗拉11MPa
	2#	508 h/(kg/m2)	抗压60MPa, 抗拉11MPa
	3#	969 h/(kg/m2)	抗压85MPa, 抗拉12.5MPa
含砂水流 法40m/s	1#	1.2h/(g/cm ²)	抗压85MPa, 抗拉12.5MPa
	2#	1.8 h/(g/cm ²)	抗压92MPa
	3#	2.9h/(g/cm ²)	抗压113MPa

3 抗冲击性能用于评价涂层在反复冲击冲压作用下材料吸收冲击动能的能力。在水工条件下，落石、高速水流中的推移质对环氧砂浆涂层可能造成冲击破坏，本项目用于表征此种工况的下的性能。

3.3.2 有立墙和顶拱施工要求的工程，应选择立面施工型产品。根据目前市场产品性能和施工经验，一次施工厚度不超过 10mm 是可以保证施工质量的；另外对于表面防护工程，立面和顶拱的防护设计厚为 1cm 是很普遍的，因此对立面施工性能的要求确定为一次施工厚度不低于 10mm。

3.4 现场抽样检验

3.4.2 环氧树脂砂浆的抽样数量是依据进场产品抽检项目而确定的，即包括拉伸强度、抗压强度和粘结强度 3 项指标的检测。如有其他项目的检测要求，需要根据具体试验方法增加抽样数量。

4 施工技术

4.1 一般规定

4.1.2 环氧树脂砂浆在实际应用中，施工厚度范围大多情况下在 1.0cm~5.0cm 之间。环氧树脂砂浆将砂料粒径限定在 2mm 以下，施工厚度太薄不利于形成密实防护层，根据实践经验，提出最小厚度不宜小于 5.0mm。对于特定配方体系，包含更细粒径砂料及更高树脂浆液含量的产品，可以适当放宽此要求。

4.1.3 环氧树脂砂浆的强度和模量较高，线膨胀系数也比较高，大多配合体系在 $20 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 左右，而混凝土的线胀系数约为 $5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，两者相差较大，存在温差的情况下，界面层会产生较大的内应力，如果基层混凝土强度低，易引起环氧树脂砂浆层与基层脱开，导致防护破坏、失效。因此，基层混凝土的强度是决定能否采用环氧树脂砂浆进行防护的关键参数之一，经过大量的工程实践表明，基层混凝土的强度等级为 C20 以上时，是可以满足环氧树脂砂浆施工要求的。

4.1.4 环氧树脂砂浆是热固性材料，交联反应速度随温度的升高则加快，高温导致材料的适用期缩短；而低温则树脂体系的粘度增加，环氧树脂砂浆的工作性能降低，施工后养护时间增加，经验表明：5℃~35℃温度条件对于大多数环氧树脂砂浆体系都是合适的施工温度，温度过低或过高都不利于环氧树脂砂浆的操作。但并不是超出此温度范围就不可施工，而是需要工艺控制更严格、施工组织更科学。另外针对施工环境超出此温度范围的情况，可以选择针对性的低温型产品或高温型产品，以更适合特定的施工条件。环氧树脂砂浆的施工对环境潮湿比较敏感，基面水分含量是界面粘结的重要影响因素。特别要避免基面或树脂砂浆施工面结露，给粘结和树脂砂浆固化后性能带来不利影响。在室外施工时应避免阳光直射，环氧树脂砂浆在施工后是快速反应阶段，加上阳光直射作用，涂层表面温度升高较大，容易导致环氧树脂砂浆涂层出现各种质量问题。

4.2 基层处理和底涂涂刷

4.2.1 基层处理是环氧树脂砂浆施工的关键工序，目的是彻底去除表面浮浆、灰尘、污染物等薄弱层，常见的处理工艺包括机械打磨、高压水冲洗、水喷砂等方法。机械打磨要注意粉尘污染，尽量使用有除尘功能的打磨工具，或增加排风、洒水等除尘手段，同时也应注意基面的二次粉尘污染，必要时后续擦除灰尘；高压水冲洗通常采用 20MPa 以上压力水进行冲洗，同时应根据基层混凝土状态，调整冲洗压力，避免压力过高而对混凝土基面造成太大损伤，冲洗后的混凝土基面需要晾干达到基面干燥度要求，修补防护施工前要避免基面的二次污染。

4.2.2 混凝土基面的活动裂缝会引起环氧树脂砂浆涂层的开裂，所以表面裂缝应按照 DL/T 5315 技术规程的要求进行处理，避免运行过程中裂缝的开合。

4.2.3 通常环氧树脂砂浆体系中环氧浆液含量较低，涂刷底涂是保证粘结可靠的重要方法，同时也是达到某些目的的手段，如实现潮湿面粘结、立面施工性能等。底涂的涂刷要求厚度均匀，厚度应能保证底涂在向基层渗透后表面仍有足够的浆液存在。底涂涂刷后应在底涂初凝前进行环氧树脂砂浆层的施工，以保证粘结效果。如果底涂已初凝，应重新涂刷底涂，复涂间隔应在产品说明要求的时间内进行，超过规定的复涂时间间隔，需要对已干燥底涂进行打毛处理或去除后再涂刷底涂。

4.2.4 为保证涂刷均匀，避免漏涂，施工中应沿经纬方向各涂刷 1 遍。底涂厚度或单位面积用量应有一定要求，并非越薄越好，由于环氧树脂砂浆级配砂和流动性差的原因，一定厚度的底涂是环氧树脂砂浆与基层混凝土有效粘接的重要保障。

4.3 环氧树脂砂浆施工

4.3.1 环氧树脂砂浆拌和过程劳动强度大，为保证拌和质量，宜采用机械拌和。实践表明：用普通的水泥砂浆拌合机拌和，效率高、拌和质量良好，5min 之内可以达到良好的拌和效果。拌和时间不宜过长，特别是温度较高情况下，占用树脂砂浆的适用期时间，使可操作时间减少。拌和量应根据各工程规模、人员组织形式等具体情况确定，拌和的材料应在其适用期内使用完毕，以保证施工质量并避免浪费。

4.3.2 边墙和顶拱的环氧树脂砂浆防护设计厚度多为 1cm 左右，可以一次涂覆完成。环氧树脂砂浆的密度较大，在立面或顶面条件下，如果环氧树脂砂浆一次涂覆厚度超过 1cm，容易出现下坠问题；即使未出现明显下坠，也会对基层粘结可靠性带来不利影响，因此厚度要求大于 1cm 时，应该采用分层施工。分层施工中必须等上道环氧树脂砂浆已硬化并粘结牢固后才能进行下道施工，避免影响上道砂浆与基层的粘结。

4.3.5 环氧树脂砂浆层与混凝土基层界面层之间的剪切应力的传递是有一定长度限制的。在刚性胶结拉剪试验中，界面剪切力仅在距胶结头部一定范围内存在，这段距离一般称为有效粘接长度，有效粘接长度与材料模量、粘接层厚度等有关，大量实验表明，环氧类材料与混凝土材料之间的有效粘接强度大多在几厘米到十几厘米范围内。分块施工的目的之一是通过分块释放两层材料之间的界面应力，减少应力积累，而环氧砂浆与混凝土材料通过分块释放应力，其分块应在有效粘接长度尺度范围内，这在工程中是无实际意义的。

5 质量控制与检验

5.1 基层处理和底涂涂刷质量

5.1.1 基层处理的质量对环氧树脂砂浆工程最终质量有关键性影响，需给与高度重视。基础处理质量不佳将导致环氧树脂砂浆与基层粘结不良，是运行后出现脱空、脱落、开裂等问题的关键因素之一。应严格按照要求检查和控制基层处理的质量，避免不合格基面进入后续施工工序。基层处理的质量主要是通过现场目测观察和适当的检查手段来控制。

5.2 环氧树脂砂浆层的质量

5.2.4 环氧树脂砂浆属于环氧热固性材料，国外修补标准规定的检测龄期多数为 7d，国标 GB/T 2567《树脂浇铸体性能试验方法》中规定的热固性树脂固化时间为脱模后 21d。水利工程条件比较复杂，多数环境温度偏低，而环境温度是影响环氧树脂类材料固化物性能关键因素，因此本规程确定检测龄期宜为 21d，通过足够的固化养护时间来降低环境温度对环氧树脂砂浆性能增长带来的不确定性影响。如果工程有特殊要求并且工程环境温度适宜，也可以选择 7d 作为粘结强度的检测龄期，但应征求产品厂家的意见。

6 安全与环境保护

6.1 安全规定

6.1.1 安全培训除一般工程施工安全要求外，还应明确针对环氧树脂砂浆材料的安全使用注意事项。环氧类材料对人体的伤害主要表现在皮肤腐蚀和挥发性物质过敏，除采取对人体刺激小的材料外，健康防护和及时处理是非常重要的。施工人员应了解常见过敏症状，做到施工过程中及时发现、及时反馈，并及时采取处理措施。

6.1.1 环氧树脂砂浆材料含有刺激性物质，长时间接触或工作环境浓度过高容易引起皮肤、呼吸道、眼睛等组织的过敏性反应。对过敏性物质的耐受能力因人而异，在施工前应对人员的身体健康情况进行调查，避免过敏性体质和带病人员上岗，同时施工过程中应注意观察人员身体状态，如有过敏性症状出现，应及时脱离工作环境，并根据情况采取必要措施，恢复后应禁止再次参加环氧树脂砂浆施工。

6.1.2 作业人员应自觉穿戴工作服、劳保鞋，并佩戴口罩、乳胶手套、护目镜等防护用具。特别强调施工人员不得只佩戴无阻隔性能的线手套，一旦手套受到污染可能会使手部皮肤长期接触物料，造成更严重的皮肤损伤。基面处理中经常出现颗粒飞溅，操作人员应佩戴护目镜，保证安全。

6.1.3 环氧树脂浆液对皮肤有一定刺激性，如不慎粘到皮肤上，应尽快使用肥皂水清洗干净，不能使用丙酮等溶剂直接擦拭皮肤，避免有害物质渗入皮肤内部及皮肤脱脂损伤。如出现恶心、眼睛不适等过敏性症状，人员应立即离开工作环境，转移至通风、空气好的环境下观察症状是否缓解，如无明显缓解，应送医处置。同时应检查环境通风情况，必要时应加强通风措施，保证施工环境空气流通。

6.2 环境保护

6.2.1 颗粒飞溅和粉尘污染是基面处理中应注意的主要问题，除应注意个人防护外，还应该选择使用扬尘小的设备或方法，如采用高压水冲洗或带吸尘装置的打磨设备进行基层处理。另外可通过喷水、喷雾等降尘措施，防止对周边环境的影响。

6.2.2、6.2.3 环氧树脂砂浆施工中产生的废弃材料、清洗液等对周边环境有影响，应集中处理，如通过固化等方法进行无害化处理。