混凝土结构缺陷补强修补方案

Concrete Structure Defect Repair & Strengthening Plan

编制单位：北京午晟智造建筑工程有限公司

核心材料：修补砂浆 • 环氧基液

版本：V1.0 | 发布日期：2026年

一、工程概况与适用范围

1.1 背景

混凝土结构在建设、运营过程中，受施工质量、环境侵蚀、荷载作用及材料劣化等因素影响，常出现蜂窝、麻面、空洞、露筋、裂缝、剥落、疏松、碳化、错台等缺陷。若不及时修补与补强，缺陷将进一步扩展，削弱结构承载能力与耐久性，甚至危及结构安全。因此，针对不同类型、不同程度的缺陷，应制定科学、规范、可操作的修补与补强方案。

1.2 适用范围

本方案适用于公路、市政、铁路、水利、工业与民用建筑等各类混凝土结构（桥梁、隧道、涵洞、厂房、水库、楼板、梁柱、墩台等）的缺陷修补与补强治理，涵盖表面缺损修复与结构性补强两类情形。

1.3 核心修补材料

本方案主体修补材料采用北京午晟智造建筑工程有限公司生产的修补砂浆（混凝土结构破损修补的主要材料），并配套使用该公司环氧基液作为界面处理剂：

修补砂浆：用于蜂窝、麻面、空洞、露筋、剥落、疏松等缺损的填充、找平与保护层恢复，是结构破损修补的核心材料；

环氧基液（界面处理剂）：涂刷于基面形成活化界面，显著提高修补层与基体混凝土的粘结力，保证修补整体性与耐久性。

对于承载能力不足、需进行结构性补强的情形，按设计要求选用碳纤维布、结构胶、钢板、钢筋等补强材料配合实施。

二、编制依据

本方案主要参照以下标准、规范编制（具体工程以设计文件及最新有效版本为准）：

序号	标准 / 规范名称	标准号
1	混凝土结构加固设计规范	GB 50367
2	混凝土结构工程施工质量验收规范	GB 50204
3	公路桥涵施工技术规范	JTG/T 3650
4	公路桥梁加固施工技术规范	JTG/T J23

5	城市桥梁养护标准	CJJ 99
6	混凝土结构修复用聚合物水泥砂浆	JG/T 336
7	涂覆涂料前钢材表面处理 第 3 部分：手工和动力工具清理	GB/T 8923.1

三、缺陷分类与评定

3.1 常见缺陷类型

缺陷类型	主要表现	常见成因
蜂窝、麻面	表面松散、小孔洞、粗糙	振捣不密实、漏浆
空洞	局部较大空腔	漏振、漏浆、骨料集中
露筋	钢筋外露	保护层不足、剥落
裂缝	表面或贯穿裂缝	收缩、温度、荷载、沉降
剥落、疏松	表层成片脱落、强度低	冻融、碳化、侵蚀
错台	接缝处高差	模板变形、浇筑偏差

3.2 缺陷评定

修补前应对缺陷进行全面普查，按类型、范围、深度、严重程度分级，记录缺陷台账，作为方案实施与验收的依据；对裂缝尚应检测其宽度、深度、走向及是否活动缝，以判定修补或补强方式。

四、材料与设备准备

4.1 修补材料

修补砂浆：以聚合物改性的高性能水泥基或环氧基修补材料，和易性好、易于摊铺；抗压抗折强度高、与老混凝土粘结力强、收缩小、抗冻抗渗、耐侵蚀；早期强度发展快，可带水（无明水）或在潮湿基面施工，适应各类现场环境；用于缺损填充、找平、恢复保护层厚度及恢复构件外观。

环氧基液（界面处理剂）：低黏度、高渗透，涂刷后形成连续活化界面，提升新老混凝土结合力；可在潮湿（无明水）基面使用。

补强材料（按设计要求选用）：碳纤维布及配套结构胶、粘钢及结构胶、植筋及锚固胶、新增钢筋等，用于承载不足部位的结构性补强。

4.2 施工机具

基面处理：空压机、钢丝刷、角磨机、凿毛锤、电镐、钢钎、切割机；清理润湿：吹风机、高压水枪、喷壶；配料施工：配料桶、电子秤、低速搅拌器、抹刀、刮板、托灰板；补强作业（按需）：滚筒、毛刷、防护服具、定位夹具；作业平台：脚手架、吊篮、升降平台；配套照明、通风、防护设施。

4.3 安全防护用品

安全帽、防护眼镜、防尘防毒口罩、橡胶 / 丁腈手套、防护服、防滑鞋。

4.4 修补砂浆主要技术参数（M45 / M75）

本方案采用的修补砂浆为双型号高强度聚合物改性水泥基砂浆，可根据缺陷部位与受力要求选用 M45（标准型）或 M75（高强型）。主要技术参数如下表（标准试验条件下龄期强度，参照 JG/T 336 等标准）：

检验项目	M45	M75
凝结时间	初凝 ≥ 45 min；终凝 ≤ 24 h	初凝 ≥ 45 min；终凝 ≤ 24 h
抗压强度（MPa）	7 d ≥ 30；28 d ≥ 45	7 d ≥ 40；28 d ≥ 75
抗折强度（MPa）	7 d ≥ 7；28 d ≥ 10	7 d ≥ 8；28 d ≥ 12
粘结强度（MPa）	14 d ≥ 1.0；28 d ≥ 2.0	14 d ≥ 1.2；28 d ≥ 2.5
抗渗压力（MPa）	28 d ≥ 2.0	28 d ≥ 2.5
收缩率（%）	≤ 0.1	≤ 0.1
抗冻性能	强度损失率 ≤ 25%；质量损失率 ≤ 5%	强度损失率 ≤ 25%；质量损失率 ≤ 5%

> 注：a 当有抗冻性能要求时，应进行抗冻性能试验。上表为北京午晟智造建筑工程有限公司修补砂浆代表性技术指标；具体配比、适用期、固化条件及最新指标以该产品《产品说明书》和工程设计要求为准。一般情况下，缺损深度较大、受力要求较高或冻融侵蚀环境优先选用 M75。

五、施工工艺流程

5.1 表面缺损修补流程

> 施工准备 → 缺陷调查与评定 → 基面处理（凿除、除锈、清理） → 基面润湿 → 涂刷环氧基液（界面处理） → 修补砂浆修补（拌制、摊铺、压实、收面） → 养护 → 质量检验与验收

5.2 结构性补强流程（承载不足时）

> 缺陷调查与结构评定 → 基面处理 → 界面处理 → 修补砂浆恢复截面 / 保护层 → 补强材料施工（碳纤维 / 粘钢 / 植筋等，按设计） → 养护 → 质量检验与验收

六、施工操作要点

6.1 缺陷调查与评定

全面普查并标记缺陷范围、边界，测量深度、严重程度，必要处敲击判定空鼓；对裂缝检测宽度、深度、走向，区分活动缝与静止缝；形成缺陷台账与处理分级，指导后续工序。

6.2 基面处理

基面处理是修补质量的关键工序。

将松动、劣化、空鼓、疏松混凝土彻底凿除至坚实基层；裂缝按设计进行开槽或封缝处理；外露钢筋除锈至 GB/T 8923.1 规定的 St2 级（严重锈蚀宜达 St3 级），必要时涂刷钢筋阻锈剂；清除粉尘、碎屑、油污，先高压风吹净，再清水冲洗，确保无浮浆杂物；达标标准：坚实、粗糙、洁净、无油污浮尘。

6.3 界面处理（涂刷环氧基液）

按产品说明将环氧基液 A、B 组分称量、搅拌均匀；均匀涂刷于基面及钢筋表面，薄而匀、不漏涂、不积料；须在表干前（活性窗口内）进行砂浆修补，使界面层与修补层形成整体；基液固化后须清理重涂。

6.4 修补砂浆施工

按配比准确计量、低速搅拌均匀，一次拌和量以适用期内用完为限，现配现用；将砂浆分层填入缺陷，用力压实，确保与基面、钢筋紧密结合、无空腔；单层摊铺厚度控制在产品允许范围内（通常 5～30 mm，超厚分层），用抹刀刮平收光，恢复保护层厚度并顺接原结构面；修补范围宜外扩至缺陷边界外 50～100 mm，保证平顺过渡；仰面、立面施工应采取防流坠、防下垂措施，保证厚度与密实度。

6.5 结构性补强（按设计要求）

碳纤维布补强：基面处理、涂刷底胶与找平胶、粘贴碳纤维布、滚压排气、涂刷面胶防护；粘钢补强：钢板与混凝土基面处理、配胶涂胶、加压固定、固化；植筋 / 增设钢筋：定位钻孔、清孔、注胶植筋、绑扎浇筑；补强材料与工序严格按设计文件及相应规范执行。

6.6 养护

修补砂浆靠自身反应成型，避免早期扰动、碰撞与堆载；保持通风，环境温度宜 5～35 ℃，低温显著延缓固化；未达足够强度前不得在修补面行走或加载；补强胶类按材料说明养护。

6.7 质量检验

外观：平整、密实、无裂缝、无空鼓、与周边平顺；厚度：不低于设计保护层要求；粘结：敲击无空鼓，必要时拉拔检验；补强：碳纤维 / 粘钢粘贴饱满、无气泡，锚固满足设计要求。

七、质量控制与验收标准

检验项目	质量标准	检验方法
基面处理	坚实、粗糙、洁净、无油污浮尘	目测、敲击
界面涂刷	均匀连续、无漏涂	目测
修补厚度	≥ 设计保护层厚度	测厚 / 钻孔抽测
粘结质量	无空鼓，粘结强度符合设计要求	敲击、拉拔试验
表面外观	平整密实、线形平顺、无裂缝	目测、尺量
补强质量	粘贴饱满、锚固可靠	目测、锤击、拉拔

验收应形成记录，纳入工程档案，并定期观测修补与补强部位状态。

八、安全、环保与文明施工

环氧基液、结构胶等材料含化学组分，施工区须通风，操作人员佩戴防护口罩、眼镜与手套，避免皮肤接触与吸入；远离明火高温，现场禁止吸烟，配灭火器材；高处作业平台须稳固并验收，人员系挂安全带、戴安全帽；废弃材料、包装及清洗废液集中回收，按环保要求处置，严禁排入水体；作业区设警示标志与防护设施，工完场清。

九、施工注意事项

配比是质量前提：组分必须按产品说明准确计量、充分搅拌；现配现用：在适用期内用完，避免初凝后强行摊铺；基面处理是关键：松散层、浮锈务必清除彻底，界面涂刷不留死角；温湿度控制：环境温度宜 5～35 ℃，基面无明水；分层修补：超厚缺陷分层施工，待前层表干后续填，保证密实；补强从严：结构性补强须严格按设计及规范执行，材料与工序不得简化。

十、材料用量参考（估算）

下表供施工备料参考，实际用量以现场缺陷实测为准：

缺陷特征	单处面积	平均深度	环氧基液（约）	修补砂浆（约）
轻度麻面 / 露筋	0.1 ㎡	10 mm	0.2 kg	2.5 kg
中度蜂窝 / 空洞	0.3 ㎡	20 mm	0.6 kg	15 kg
重度空洞 / 剥落	0.5 ㎡	40 mm	1.0 kg	50 kg

> 说明：上表为理论估算，未计损耗与界面层厚度；实际施工建议按 10%～15% 损耗系数备料，并由现场试配确定准确用量。

本方案所用修补砂浆、环氧基液由北京午晟智造建筑工程有限公司提供。具体配比、适用期、固化条件及技术指标以该产品最新《产品说明书》和工程设计要求为准。