

混凝土结构耐久性检测与评估方法研究

杨奕琳

新疆生产建设兵团建筑工程科学技术研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：混凝土结构耐久性检测与评估要同时处理环境作用、材料劣化和承载性能衰减，单一强度读数难以说明构件后续服役风险。围绕碳化进展、氯盐浓度、钢筋保护层、回弹强度、裂缝宽度和锈蚀状态，可先完成现场分区检测，再按暴露年限、构件位置和指标权重修正评估结果。检测方法与等级评估衔接后，能够把维修、加固和继续使用的判定落到具体构件、等级阈值和处置要求。

【关键词】：混凝土结构；耐久性检测；评估方法；指标分级

DOI:10.12417/2811-0528.26.20.062

引言

混凝土结构在桥梁、工业厂房、地下工程和沿海建筑中长期承受荷载、湿热循环、氯盐迁移、碳化和冻融等作用，表面完好并不等于内部钢筋与保护层仍处于稳定状态。耐久性病害的早期表现往往分散在裂缝、渗水、保护层偏差和局部锈胀中，若检测只停留在外观描述或单点强度换算，评估结论容易低估局部构件的维修需求。把检测指标、采样位置、环境分区和等级计算放在同一方法链中，可使结构状态判定既有现场证据，也能服务后续维修决策。

1 混凝土结构服役耐久性检测概况

1.1 混凝土结构服役环境侵蚀区段状态识别

混凝土结构耐久性检测应先识别服役环境，室内干燥梁板、地下潮湿侧墙、沿海面板和除冰盐影响桥面板的劣化路径并不相同。检测前记录构件龄期、保护层厚度、混凝土强度等级、表面涂层、裂缝走向、渗水位置和维修历史，再把构件划为一般大气区、潮湿渗水区、氯盐侵蚀区和冻融作用区^[1]。普通楼板可按轴线间隔布点，迎水面、伸缩缝邻近区和梁端锚固区应提高取样比例；同一构件上出现锈胀裂缝、蜂窝露筋或保护层剥落时，外观记录要与碳化、氯盐和钢筋位置检测对应。

1.2 典型构件表面病害初始状态识别

构件初始状态识别要把表面缺陷和受力位置放在一起判断，柱脚、梁端、板边和地下侧墙下部往往兼具含水、裂缝和钢筋密集特征。裂缝宽度小于0.15mm且未贯通保护层时，可重点跟踪水分进入和碳化速度；裂缝宽度达到0.30mm以上并伴随锈迹、空鼓或沿筋剥落时，检测结论应转向维修或局部加固需求^[2]。敲击空鼓、裂缝测深和钢筋探测可共同校验裂缝是否沿主筋发展，避免只用表面长度决定等级。

2 混凝土结构耐久性检测设备方案

2.1 耐久性检测设备参数量程控制

耐久性检测设备应覆盖回弹仪、超声检测仪、钢筋保护层测定仪、半电池电位仪、电阻率仪和裂缝测宽仪。回弹测区每个构件不宜少于10个测区，单个测区面积可控制在0.04m²左右，相邻测点间距不宜小于20mm；超声波对测时，测距宜保持在200~600mm，并记录换能器耦合状态^[3]。半电池电位低于-350mV且电阻率低于10kΩcm时，钢筋腐蚀可能性较高，现场还应结合保护层剥落和氯盐浓度判定。

2.2 检测方案分区布点执行方法

检测方案布点应按环境区段、构件位置和病害集中程度确定，单个评估单元面积宜控制在20m²以内，关键梁端或柱脚可缩小到10m²。碳化取样点应靠近保护层偏薄或裂缝邻近区，氯盐粉末取样宜分层采集保护层内样品，靠近钢筋位置的氯盐浓度更能说明腐蚀风险；保护层偏差超过设计值5mm时，碳化和氯盐指标的风险解释要同步提高。检测方案还应把检测指标、指标修正和耐久性等级分列，箭头表示现场读数进入等级判定的方向；复测点位偏差宜控制在50mm以内，便于比较相邻周期读数。检测指标进入等级判定关系见图1。

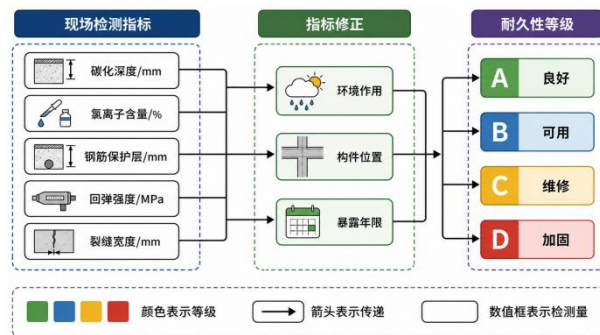


图1 混凝土结构耐久性检测指标与评估等级关系

图1显示,碳化进展、氯离子含量、钢筋保护层、回弹强度和裂缝宽度并不是孤立给出等级,而是先受环境作用、构件位置和暴露年限修正。右侧A至D等级色带把继续使用、维修和加固区分开,说明耐久性评估应把可测指标转化为处置等级,不能停留在检测数据罗列。

3 混凝土结构耐久性评估结果分析

3.1 检测指标限值等级判定依据

耐久性指标限值判定应覆盖介质进入、材料保护能力下降

和钢筋锈蚀后果三个环节。碳化前沿接近或超过实测保护层厚度时,钢筋周围碱性保护环境已经削弱;氯盐浓度达到 1.20kg/m^3 以上且构件长期处于潮湿状态时,梁端、板边和伸缩缝下方的腐蚀权重应高于普通大气区^[4]。回弹强度低于设计强度等级 10MPa 时,应与碳化修正、超声波速度和表面缺陷共同判定;电阻率均值低于10且裂缝宽度超过 0.30mm 时,钢筋锈蚀后果应进入等级扣减。环境区段检测指标分级见表1。

表1 混凝土结构耐久性检测指标分级

环境区段	碳化进展(mm)	氯盐浓度(kg/m^3)	保护层厚度(mm)	回弹强度(MPa)	裂缝宽度(mm)	电阻率均值
室内干燥梁板	8.00	0.20	28.00	36.00	0.10	35.00
普通大气外墙	14.00	0.35	30.00	34.00	0.15	28.00
地下潮湿侧墙	18.00	0.55	32.00	32.00	0.20	18.00
桥面除冰盐区	21.00	1.20	35.00	31.00	0.25	12.00
沿海飞溅区构件	19.00	1.65	40.00	30.00	0.30	9.00
冻融盐雾交替区	16.00	1.10	38.00	29.00	0.22	11.00
渗漏裂缝集中区	30.00	0.95	42.00	28.00	0.35	6.00

表1显示,沿海飞溅区构件的氯盐浓度取 1.65kg/m^3 ,高于普通大气外墙的 0.35kg/m^3 ;渗漏裂缝集中区的裂缝宽度取 0.35mm 、电阻率均值取6.00,两个指标共同指向水分连通和钢筋腐蚀风险。

3.2 检测数据权重修正评估方法

检测数据权重修正评估应把风险型指标和能力型指标分开同向化,单个评分单元面积控制在 20m^2 以内,复测间隔超过12个月时应重新核定环境权重。碳化进展、氯盐浓度、裂缝宽度和腐蚀电位属于风险型指标,数值越大,等级越低;保护层厚度、回弹强度、超声波速度和电阻率均值属于能力型指标,数值越低,等级越低。沿海飞溅区可把氯盐浓度权重设为0.25、电阻率均值权重设为0.20,室内干燥区可把碳化前沿权重设为0.25、保护层厚度权重设为0.20;同一构件两次复测差值超过5分,或同点裂缝宽度变化超过 0.05mm 时,应回看取样位置和仪器校准状态。权重修正后,检测读数不再停留在单项异常,而能转化为A、B、C、D四类耐久性等级。

3.3 耐久性等级综合评价结果判定

耐久性等级综合评价应把单项状态值、权重和关键缺陷同时纳入。每项指标可换算为0~100分的单项状态值,检测误差按相邻两次读数差控制在5分以内,再按侵蚀主控因素设置权重。综合评分高于80分时列为A良好,65~80分列为B可用,50~65分列为C维修,低于50分列为D加固;关键构件出现贯通裂缝、露筋锈胀或保护层大面积剥落时,即使综合分未跌破50分,也应按局部严重缺陷修正等级。A、B级构件可按6~12个月复测,C级构件安排裂缝封闭、阻锈或防水维修,D级构件进入加固设计和承载力验算;同一评估单元若维修前评分为58分、裂缝宽度为 0.35mm 、电阻率均值为6.00,维修后评分达到72分、裂缝宽度降至 0.12mm 、电阻率均值升至18.00,与维修前相比,评分增加14分,裂缝宽度减少 0.23mm ,电阻率均值增加12.00,只能说明该单元由C维修转入B可用,仍不能替代承载力验算。耐久性综合评分可按式(1)计算。

$$R = \frac{w_1q_1 + w_2q_2 + w_3q_3 + w_4q_4}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4} \quad (1)$$

式(1)中, R 为耐久性综合评分, 单位为分; $w_1 \sim w_4$ 为四类检测指标权重, 单位为无量纲; $q_1 \sim q_4$ 为四类检测指标折算状态值, 单位为分。分母用于统一权重口径, 权重之和已取 1.00 时, 该关系可简化为各单项状态值与权重乘积之和; 氯盐侵蚀主控区应提高氯盐浓度和电阻率均值的权重, 防止平均评分掩盖钢筋腐蚀风险。

参考文献:

- [1] 何鹏. 建筑工程混凝土结构耐久性检测方法探究[J]. 建材发展导向, 2026, 24(11): 10-12.
- [2] 郑旭, 徐敏, 朱家源, 等. 典型咸淡水交汇区环境塔基混凝土结构耐久性检测与评估[J]. 广东建材, 2026, 42(1): 57-61.
- [3] 陈永佳. 海水环境下混凝土结构耐久性检测与评估分析[J]. 北方建筑, 2025, 10(6): 92-95.
- [4] 马逸. 钢筋混凝土结构耐久性检测与寿命预测方法研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(18): 121-124.

4 结语

混凝土结构耐久性检测与评估方法应让检测指标真实反映环境作用、材料劣化和构件后果。现场检测应先完成环境分区和构件概况识别, 再组合碳化、氯盐、保护层、裂缝、强度、电阻率和钢筋锈蚀等指标; 评估阶段则要把指标同向化、权重修正和等级判定连在一起。对潮湿、氯盐和裂缝集中区, 局部严重缺陷不能被平均分掩盖, 维修或加固等级应优先服从关键构件的实测风险。