建筑工程质量检测中钢筋检测技术分析

张 永

（合肥市建设工程监测中心有限责任公司，安徽 合肥 230022）

摘 要 钢筋工程作为混凝土结构的核心骨架，其施工质量直接决定建筑物的承载能力与耐久性。本文依托某大型商业综合体项目，系统阐述了电磁感应法钢筋扫描、半电池电位锈蚀检测及力学性能取样试验的综合应用流程。通过对比分析检测数据与设计规范，揭示了保护层厚度偏差对结构耐久性的影响规律，并利用统计图表定量评估了钢筋分布与力学性能的合格率。结果表明，采用无损检测与局部破损验证相结合的复合技术路径，能有效实现对钢筋工程质量的精准管控与科学评价。

关键词 钢筋检测；保护层厚度；电磁感应法；半电池电位；力学性能

中图分类号：TU511.32 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.27.013

0 引言

在建筑工程质量管控体系中，钢筋分项工程作为隐蔽工程的关键环节，其质量控制直接关系到整体结构的安全性与耐久性。钢筋的规格型号、数量配置、空间位置精度及其力学性能指标若存在任何缺陷或偏差，都将显著削弱结构的承载能力，进而可能诱发裂缝的开展与扩展，甚至导致突发性的脆性破坏，对工程安全构成严重威胁[1]。传统的质量验收方法主要依赖于混凝土浇筑前的肉眼目测检查和简易钢尺测量，这些手段虽能对表面状况进行初步判断，但对于混凝土硬化后内部钢筋的实际状态、锈蚀程度及力学性能变化，则缺乏行之有效的无损检测与评估方法。随着现代检测技术的持续进步，基于电磁感应原理的钢筋扫描仪、用于评估钢筋锈蚀风险的半电池电位法以及直接获取混凝土芯样进行力学性能试验的钻芯取样技术，已逐渐发展成为行业内的主流检测手段[2]。然而，任何单一的检测技术均存在其固有的应用局限，如钢筋扫描仪在遇到密集钢筋排布时易受电磁屏蔽效应干扰，导致检测精度下降。因此，如何根据工程实际情况，科学合理地组合运用多种互补的检测技术，并对由此获得的检测数据进行综合分析与准确解读，已成为当前工程质量鉴定与评估领域一个亟待深入研究和解决的重要课题。本文结合实际工程案例，深入分析钢筋实体检测技术的应用策略与数据判读方法，旨在为同类工程的质量评价提供技术参考。

1 工程概况

某大型商业综合体项目，结构形式为框架—剪力墙结构，地上 18 层，地下 2 层，总建筑面积约 8.6 万 m^2。设计使用年限为 50 年，抗震设防烈度为 7 度，环境类别地上部分为一类，地下室外墙及底板为二 b 类。结构主要受力构件梁、柱、墙混凝土强度等级为 C30 至 C40。本次检测范围为地下二层至地上三层主体结构的主要受力构件，检测内容依据《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204-2015）及相关标准要求，重点针对以下指标：受力钢筋保护层厚度、钢筋间距、钢筋锈蚀电位以及钢筋原材力学性能。

2 钢筋检测技术的应用

针对该工程已浇筑成型的混凝土构件，采用无损普查定位 + 局部破损验证的综合技术路线。

2.1 电磁感应法钢筋探测

采用 HC-GY71T 型一体式钢筋扫描仪对梁、板、柱构件进行网格化扫描。检测原理为：仪器探头产生交变电磁场，混凝土中的金属钢筋切割磁感线产生感应电流，探头接收反馈信号以计算钢筋位置及保护层厚度。检测前需对已知部位进行校准，消除不同钢筋直径及相邻钢筋的干扰。对悬挑构件、跨度大于 4 m 的梁端部及底部受力区进行重点扫描，抽样数量不少于规范规定数量的 2% 且不少于 5 个构件[3]。检测时，将扫描仪探头紧贴构件表面，按照预设的网格间距（100 mm×100 mm）匀速移动，仪器实时显示钢筋位置、走向及

作者简介：张永（1981-），男，本科，高级工程师，研究方向：建设工程检测。

保护层厚度数值。对于扫描过程中发现的钢筋位置异常或保护层厚度疑似超差区域，采用标记笔进行标记，并记录其具体坐标。当仪器显示钢筋保护层厚度值超出设计允许偏差范围时，需在该测点周围增加扫描密度，以确认偏差的真实性和范围。对于框架梁，重点检测梁底纵向受力钢筋及梁侧腰筋的保护层厚度；对于楼板，则主要检测板底受力钢筋的保护层厚度及分布钢筋间距；对于柱，重点检测柱纵向受力钢筋的保护层厚度，尤其是柱角部钢筋。扫描完成后，仪器可自动存储检测数据，通过专用软件导出后进行数据整理与初步分析，为后续的局部破损验证提供准确的定位依据。

2.2 半电池电位法

为评估地下室外墙及水位变化区构件内部钢筋的钝化膜状态，采用 CANIN+ 型半电池电位测试仪进行锈蚀概率检测。该方法通过测量钢筋与混凝土表面铜 / 硫酸铜参比电极之间的电位差，判断钢筋发生锈蚀的倾向性。检测前需对构件表面进行处理，清除表面浮浆、油污及疏松层，确保混凝土表面清洁干燥，必要时采用砂轮片轻磨表面以去除碳化层，使参比电极能与混凝土表面良好接触。检测时，将铜 / 硫酸铜参比电极底部涂抹耦合剂（饱和硫酸铜溶液或专用导电膏），紧贴混凝土表面，按照预设的测区网格（200 mm×200 mm）逐点测量，每个测区至少选取 20 个测点，且测点应避开钢筋接头、预埋件及裂缝等干扰区域。仪器显示的电位值以毫伏（mV）为单位，依据《混凝土结构现场检测技术标准》（GB/T 50784-2013）规定的混凝土中钢筋半电池电位检测方法，结合行业通用判定准则：当电位值大于 -200 mV 时，钢筋锈蚀概率小于 10%；电位值在 -200 mV ～ -350 mV 之间时，锈蚀概率为 10% ～ 90%；电位值小于 -350 mV 时，锈蚀概率大于 90%。对于电位值处于临界区间（-200 mV ～ -350 mV）的区域，需加密测点并结合混凝土碳化深度检测结果综合判断。在检测过程中，同步记录各测点的电位值、对应的构件位置及环境温度、湿度等参数，检测完成后利用仪器自带软件生成电位分布图，直观显示钢筋锈蚀电位的分布特征，为评估构件耐久性提供依据。

2.3 力学性能试验与化学成分分析

在非受力关键部位钻取混凝土芯样取出内部钢筋，或在同条件预留试件中截取钢筋试样，进行拉伸、冷弯及重量偏差试验。主要设备为 WAW-1000D 微机控制电液伺服万能试验机。拉伸试验时，按照《金属材料拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》（GB/T 228.1-2021）要求，将钢筋试样装夹于试验机夹头，设定加载速率，记录屈服强度、抗拉强度及断后伸长率等指标；冷弯试验则依据《金属材料 弯曲试验方法》（GB/T 232-2024），选用规定直径的弯心，在万能试验机上对钢筋进行 180° 弯曲，检查弯曲处是否出现裂纹或断裂 [4]。重量偏差试验需截取不少于 500 mm 的钢筋试样，用精度不低于 0.1 g 的天平称重，按公式（实际重量 - 理论重量）/ 理论重量 ×100% 计算偏差值。化学成分分析采用直读光谱仪，从钢筋试样上取样制成光谱分析试块，测定碳、硅、锰、磷、硫等主要元素含量，确保其符合《钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋》（GB/T 1499.1-2024）或《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》（GB/T 1499.2-2024）的标准要求 [5]。试验过程中同步记录试样编号、规格、试验环境温度及设备运行参数，对异常数据进行复核验证。

3 检测结果分析

本次共检测构件 86 个，取得有效保护层数据点 512 个，锈蚀电位测区 24 个，力学性能试件 6 组。

3.1 钢筋保护层厚度检测结果统计

对框架梁及楼板底部受力筋保护层厚度进行统计，梁底保护层均值 27.8 mm 略高于设计值 25 mm。结合直方图分析，数据呈右偏态分布，峰值集中在 28 mm ～ 32 mm 区间。这是由于施工中梁底垫块受压变形及模板下沉导致实际保护层增厚，虽对钢筋握裹力略有影响，但增大了碳化距离，对抗碳化耐久性有利。楼板构件合格点率最低 85.4%，且标准差较大 3.8 mm。检测发现部分板底负弯矩筋保护层偏大，导致截面有效计算高度 h_0 减小，经复核，最大偏差处截面承载力降低约 6.2%，虽未超限但已接近预警值；局部板底保护层偏薄至 8 mm，存在诱发顺筋锈胀裂缝的风险，已责令打磨环氧砂浆修补。

3.2 钢筋锈蚀电位与力学性能关联分析

针对地下室外墙环境类别二 b 类检测的半电池电位数据整理如表 1 所示，典型测区电位分布雷达图示意如图 1 所示。

由表 1 及图 1 的数据分析可见，测区 WQ-02 及 WQ-04 均存在明显的局部电位负向偏移现象，其最负电位值已达到 -310 mV。依据 ASTM C876 标准中的相关判定准则，该电位特征明确指示该区域钢筋已处于中等锈蚀风险等级。经过现场实地核查确认，该区域恰好位于

表 1　地下室外墙钢筋半电池电位检测评判表

测区编号	环境湿度	电位范围（mV,vsCSE）	90% 概率锈蚀判据	评定结论
WQ-01	65.0%	-125 ～ -198	＞ -200 mV	低锈蚀风险，钝化膜完好
WQ-02	68.0%	-180 ～ -265	-200 mV ～ -350 mV	中等锈蚀风险，活性不确定
WQ-03	70.0%	-95 ～ -150	＞ -200 mV	低锈蚀风险
WQ-04	66.0%	-210 ～ -310	-200 mV ～ -350 mV	中等锈蚀风险，建议检查氯盐

混凝土结构中的施工缝位置，并且长期处于地下水位变动影响区。基于此，初步技术判断认为，导致钢筋钝化膜开始活化、锈蚀风险上升的主要原因，很可能与施工缝部位处理工艺不当以及存在轻微的氯离子渗透作用有关。因此，为有效控制锈蚀发展，建议立即对该区域采取预防性维护措施，具体方案为涂刷专用的渗透型迁移阻锈剂。

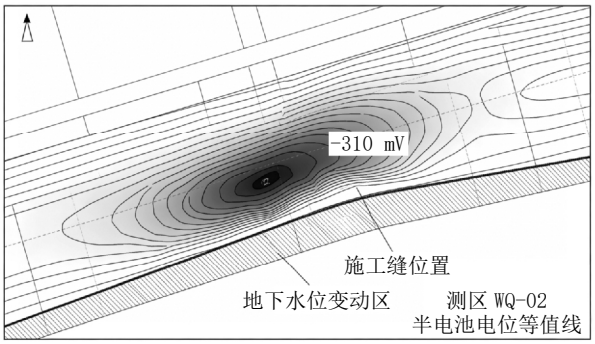

图 1　测区 WQ-02 半电池电位等值线分布示意图

3.3　钢筋力学性能与重量偏差试验结果

在现场对同批次生产的 Φ20mm HRB400E 热轧带肋钢筋中随机抽取样品进行了详细的力学及工艺性能试验，所获得的各项数据结果具体呈现如下：试样的屈服强度 ReL 测定平均值为 465 MPa，明显高于国家标准规定的 400 MPa 最低要求；抗拉强度 Rm 的平均测试值达到 620 MPa，同样显著超越了标准中 540 MPa 的基准线；计算得出的强屈比 Rm/ReL 平均为 1.33，该指标满足且优于标准中不低于 1.25 的抗震设计规定；在最大力下的总延伸率 Agt 平均结果为 11.5%，高于标准要求的 9.0% 最小值；此外，该批钢筋的重量偏差实测为 -3.5%，处于规范允许的 ±5.0% 范围之内。综合以上检测数据，该批次钢筋的所有力学性能指标和工艺性能均完全符合《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》（GB/T 1499.2-2024）中的相关技术规定，表明其钢材质量性能稳定可靠，并具备良好的塑性变形能力储备。

4　结论

通过对该商业综合体项目的钢筋工程实体检测与数据分析，得出以下结论：

第一，技术适用性。电磁感应法在常规配筋率构件中具有较高的定位精度和检测效率，能够有效发现保护层厚度偏差；对于结构复杂区域，结合半电池电位法可弥补外观无损检测在内部化学状态评估上的盲区。

第二，检测数据表明，楼板负弯矩筋及梁底筋保护层控制是施工薄弱环节。保护层偏大对结构承载力削减效应不容忽视，须通过严格的垫块布置与过程验收予以控制；保护层偏薄则需在后期使用中加强裂缝监测。

第三，数据预警价值。半电池电位图中出现的局部电位负异常区，为工程耐久性维护提供了早期预警。建议在工程竣工验收资料中附带有代表性的无损检测电位分布图，作为后期结构健康监测的基准档案。

综上，该工程钢筋原材力学性能合格，主体结构钢筋空间位置基本符合设计要求。针对发现的保护层偏差超标点及电位异常区，经设计复核及局部修补处理后，不影响结构整体安全使用功能。

参考文献：

[1]　李凯奇.水利工程现场原材料试验检测探究[J].中华建设,2025(01):147-149.
[2]　李国栋.建筑工程钢筋检测技术与应用[J].散装水泥,2024(01):33-35.
[3]　苏晓刚.地铁施工工地试验检测与工程质量分析[J].低碳世界,2023(10):160-162.
[4]　关丽霞.建筑工程钢筋原材料检测内容及质量控制措施[J].房地产世界,2023(16):166-168.
[5]　李浩.桥梁钢筋工厂化配送中心技术应用探讨[J].广东交通职业技术学院学报,2022(04):78-81.