

混凝土无损检测优化房建工程建材选型研究

吴美

四川省兴旺建设工程项目管理有限公司, 四川 成都 610000

DOI:10.61369/UAID.2026030056

摘 要 : 围绕房建工程混凝土质量控制与建材选型, 构建回弹法与超声波法无损检测体系, 实现表层强度与内部密实性联合评价; 结合骨料级配与区域材料适配性优化配合比与材料选择; 通过多指标融合与误差修正提升检测一致性; 基于环境作用与材料性能耦合, 形成面向全寿命周期的材料配置与质量控制方法。

关 键 词 : 混凝土无损检测; 回弹法; 超声波检测; 建材选型

Optimization of Building Materials Selection in Housing Construction Projects through Non-destructive Concrete Inspection

Wu Mei

Sichuan Province Xingwang Construction Project Management Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610000

Abstract : Focusing on the quality control of concrete in building construction projects and the selection of building materials, an in-situ rebound method and ultrasonic wave method non-destructive testing system was established to jointly evaluate the surface strength and internal compactness; the mix ratio and material selection were optimized based on the aggregate gradation and regional material compatibility; through the integration of multiple indicators and error correction, the detection consistency was improved; based on the coupling of environmental effects and material properties, a material configuration and quality control method for the entire life cycle was formed.

Keywords : non-destructive testing of concrete; rebound method; ultrasonic testing; building material selection

引言

市政配套居住建筑是城市片区更新与新区开发中的重要组成, 其空间布局不仅关系到住宅使用效率, 也影响道路组织、公共服务半径、消防疏散及管线接入效果。随着居住人口密度提高, 传统单一地块布置方式容易出现交通绕行、日照不足和配套分散等问题。围绕用地集约、功能复合与运行便利开展布局优化, 能够提升居住区整体建设质量。

一、工程概况

本工程为华东沿海某市保障性住房建设项目, 包含12栋高层住宅及1座地下两层整体车库, 总建筑面积约18.6万 m², 结构形式为剪力墙体系, 设计抗震设防烈度为7度。主体结构混凝土强度等级涵盖 C30 ~ C50, 基础形式采用筏板基础结合局部桩基础。项目场地地质以填土层与粉质黏土层为主, 地下水位较高且受海洋气候影响显著, 氯盐侵蚀风险较突出。在施工过程中, 混凝土浇筑量大、工序交叉频繁, 对材料稳定性与质量一致性要求较高, 因此需结合无损检测手段对结构实体质量进行全过程控制, 以保障主体结构耐久性与服役性能。

二、混凝土无损检测技术应用与指标体系

(一) 回弹法强度检测原理与现场应用

回弹法是工程中常用的一种检测表面硬度方法, 它主要依靠

混凝土表面硬度、抗压强度之间的关系。研究人员用回弹仪撞击构件表面, 得到回弹数值, 再用碳化深度进行调整因此快速判断构件强度。

在工程实践中, 这种方法可以用在梁、板、柱等大范围构件质量初步检查上, 检测一个点的时间比较短, 通常在1分钟之内, 能够满足高频次抽检需要^[1]。这种方法表现的是表面层的性质因此容易受到表面处理情况、养护时间、空气湿度影响, 在使用时要把区域修正系数考虑进去并且对有问题点再测一次, 防止局部误差影响整体判断。

(二) 超声波传播法与缺陷识别参数体系

超声波传播法基于弹性波在混凝土介质中的传播特性, 通过测定波速、幅值衰减以及传播时间差等参数, 实现对内部结构质量的间接评价。弹性波在致密混凝土中传播较为稳定, 当内部结构均匀时, 波速通常维持在3500 ~ 4500m/s区间, 而当存在孔洞、裂缝或蜂窝麻面等缺陷时, 传播路径会发生绕射与散射效应, 使等效传播距离增加, 从而表现为波速降低、信号能量衰减

加剧以及接收波形畸变等特征。

在实际工程检测中，该方法对内部不密实区域具有较高敏感性，尤其适用于厚大体积混凝土构件及钢筋密集或不可直接观测的隐蔽结构部位^[2]。对于梁柱节点、地下室剪力墙及基础承台等关键区域，超声波检测能够较为有效地反映内部连续性与均匀性状态，从而为结构安全评估提供依据。

为提高缺陷识别的准确性，工程中通常采用对测法、斜测法以及多路径扫描方式布置测点，通过不同传播路径的波速差异进行交叉验证。当多组数据出现显著偏离时，可结合幅值衰减率与首波到达时间进行综合判断，从而对缺陷位置进行初步定位。同时引入统计平均与异常值剔除方法，可进一步降低测量误差，提高结果稳定性，使检测结论更贴近实际结构状态。

（三）多方法融合检测的误差修正机制

每种单独的检测方法在工程中都会遇到一些限制。为了增强对混凝土质量评估的稳定性，实际工程中经常把多种方法组合起来，进行相互验证，回弹法主要用来测试表面强度，超声波法则用来体现内部是否均匀，把两者结合起来可以减少单一指标带来的误差。

在处理数据时，研究人员用经验修正曲线把回弹值、超声波波速结合起来分析，这样能提高强度推定拟合准确度。对于数据分布不均匀的测区，研究人员用统计剔除方法处理异常数据，让最终的评估结果更接近实际结构情况因此增强检测结论的可信度、工程应用价值。

三、建材选型评价方法与工程适配分析

（一）基于力学性能的混凝土等级匹配方法

确定混凝土等级直接关系到结构受力体系的安全储备，重点在于荷载作用时结构的承载能力、材料强度是否匹配。在房屋建筑工程中，梁、板、柱以及剪力墙等常见结构构件受力方式差别明显因此它们的混凝土强度等级通常按照梯度设置，通常来说，框架梁以及楼板多使用 C30 到 C35 等级而竖向承重构件则会用 C40 或更高等级，以达到轴压比以及抗弯承载要求，在设计过程中，除了考虑标准立方体的抗压强度，还要把轴心抗压强度、弹性模量作为校核指标，让材料性能以及结构计算模型保持一致。

在工程适配时，混凝土强度等级不是单独选择的而是、安全系数、荷载组合、使用年限一起影响结果^[3]。研究人员用分项系数法对材料强度设计值进行折减处理，让计算结果更接近实际使用情况，在长期荷载作用下，徐变以及收缩效应会让构件刚度变小所以在选择强度等级时要把强度余量留出来，用以减少长期变形积累的风险。

表 1 混凝土强度等级与构件匹配参数

构件类型	强度等级	轴压比范围	弹性模量（GPa）
楼板	C30	0.20 - 0.35	30 - 32
梁	C35	0.30 - 0.45	31 - 33
柱	C40	0.45 - 0.65	32 - 34
剪力墙	C45	0.50 - 0.70	33 - 35

（二）骨料级配与区域材料适配性分析

骨料是混凝土中体积占比最大的部分，它的级配是否合理会直接影响混凝土拌合物的密实程度以及工作性能。连续级配的骨

料体系在工程中使用较多，把不同大小的颗粒合理地填充在一起，可以减少空隙，让结构更加紧密，在实际工程采购时，粗骨料一般选择 5 到 20 毫米的连续级配碎石，细骨料则主要用中砂，细度模数控制在 2.3 到 3.0 之间，这样能保证混凝土有较好的和易性以及泵送能力^[4]。

区域材料的不同对混凝土性能影响明显。河砂资源多地方，含泥量少有助于提升界面粘结强度，而一些沿海地区，需要重点控制氯离子的含量，以防止钢筋生锈，在配合比设计时，研究人员用调整砂率以及掺和料比例方法，来应对区域材料变化，让不同来源骨料在性能上变得接近，另外在高层建筑的泵送施工中，骨料的级配还要同时考虑流动性、抗离析能力，通常用改良 0.16mm 以下颗粒含量方式，改善浆体对骨料包裹效果，把坍落度控制在 160 ~ 220mm 之间。

（三）耐久性指标与环境作用耦合评价体系

混凝土耐久性评估要靠材料自身性能，也要看外部环境影响。在实际工程里，碳化、氯盐侵蚀、冻融循环是影响结构使用年限的主要原因，不同环境等级对应不同的设计控制标准，在普通大气环境中，水胶比可以控制在 0.45 附近而在沿海或潮湿环境中则需要把水胶比降到 0.35 到 0.40 之间，用这种方式提升抗渗能力跟结构密实程度。

保护层厚度设计也是控制耐久性的关键部分，其数值一般在 30 到 50 毫米之间并依据构件的重要性跟环境作用等级进行调整^[5]。当混凝土内部孔隙较多时，外部水分以及侵蚀性离子更容易进入，使钢筋锈蚀加快，因此在配合比设计时，需要加入矿物掺合料，粉煤灰或矿渣粉，用以改良孔结构分布并减少渗透系数。

在耐久性综合评价体系中，把环境作用参数以及材料性能指标结合起来分析很重要。用扩散系数以及碳化深度之间的关系模型，可以估计结构在使用过程中的性能下降趋势因此为材料选择提供限制条件，结构的长期使用性能不仅仅看初始强度高，更要看抵抗环境影响能力以及微观结构稳定性的协调情况，这种想法也慢慢成为中国现代房屋建筑工程中材料选择的重要参考。

四、检测结果驱动的材料优化与质量控制

（一）基于检测反馈的配合比动态调整方法

混凝土配合比设计在工程实践中不是一次定好参数而是根据现场检测结果连续调整过程。无损检测得到的强度数据、波速信息以及表面缺陷特征，为改进配合比提供直接依据，当检测结果发现局部强度较低或数值差异较大时，一般需要从水胶比、胶凝材料用量、外加剂系统三个方面进行修改，以让材料性能恢复稳定，在高层建筑施工过程中，水胶比的轻微变化常常会让强度出现 10% 到 15% 的波动因此水胶比的控制精度通常要保持在 ± 0.02 以内。

在工程应用中，把不同批次的混凝土强度数据进行统计分析，可以找出拌合系统以及运输过程中出现的偏差原因。坍落度损失太快，通常是因为外加剂适配性不好；强度增长太慢，可能是因为水泥活性低或者矿物掺合料的比例不合适，用检测反馈的结果对配合比进行小幅度调整，能够防止出现大规模返工，提升

材料使用效率同时减少结构实体质量问题。

（二）施工过程混凝土离散性控制技术路径

混凝土的不均匀性是影响结构整体一致性的主要问题，其原因主要集中在原材料变化、搅拌不够均匀以及施工时振捣不一致等步骤。在施工过程中，用标准搅拌参数设置，能把出机坍落度控制在设计值上下20mm的范围，从源头上减少性能变化，运输时控制时间也很重要，当运输时间超过90分钟，混凝土的流动性、工作性都会明显变差。

在浇筑过程中，振捣方法对结构的均匀性有直接作用。振捣过度容易造成粗细骨料分离，振捣不够则会形成蜂窝麻面，这两种情况都会使结构的离散性变大，用分层浇筑的方式控制每层厚度为300到500毫米并配合插入式振捣设备的合理布置，可以有效提升内部的密实程度，在重要结构连接部位增加一次复振步骤，能够减少局部孔隙数量，使整体结构更加一致。

现场质量控制把随机抽检、连续监测结合起来，对关键构件进行强度跟踪评估。当检测数据发生异常变化时，用原材料批次记录进行追溯分析，找到问题来源，实现施工过程闭环控制。

表2 混凝土施工离散性控制指标范围

控制环节	指标名称	标准范围	允许偏差
拌合	坍落度（mm）	180	±20
运输	时间（min）	≤90	≤15
浇筑	分层厚度（mm）	300-500	±50
振捣	密实度（%）	≥96	±2

（三）结构关键部位材料分区优化策略

不同结构部位受力情况、所处环境不同因此在选择材料时无法完全使用相同的标准。基础底板、地下室外墙一直处在潮湿以及受压的环境中，对防止渗水的能力要求比较高，通常要把水泥用量增加并且把水胶比降低，因此让结构更加紧密，柱子作为主要的承重部分，所用的混凝土强度等级一般比梁以及板要高，目的是为了达到承受垂直担子以及保持稳定要求。

在楼板以及次要构件区域，为了同时保证施工效率、经济性，可以用强度较低的材料。同时通过调整配筋比例以及加强构

造措施，可以提升承载能力，在阳台、屋面板等外露构件部位，还要考虑温度变化以及干湿交替的影响，把抗裂性能指标提高一些因此降低早期出现裂缝的可能性。

分区改良在强度等级差异上有体现，也涵盖对材料组成的调整。在地下结构中，把矿物掺合料的比例适当提高，可以减少水化热并增强抗渗性，在地上结构中，把重点放在早期强度提升上，能够加快施工进度，用这种分区控制的方法，可以在结构安全性得到保障的情况下，使材料性能以及工程需求达到更好的匹配。

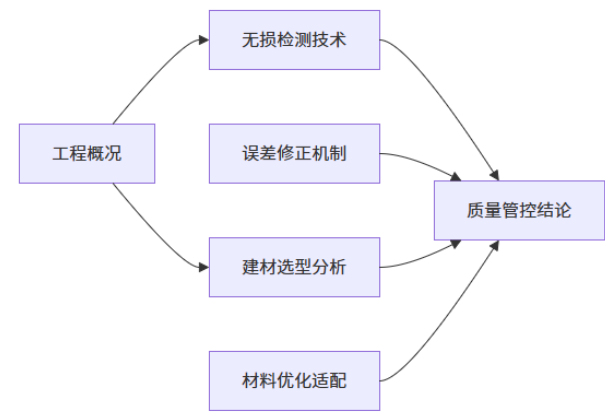


图1 混凝土无损检测优化房建工程建材选型研究思维导图

五、结语

本文分析混凝土无损检测以及建材选型之间的关系，根据工程实际需要，讨论检测结果在材料改良、质量控制中的使用方式。研究显示，无损检测技术可以清楚地表现混凝土的强度以及内部均匀性特点，为建材选型提供数据支持，把检测结果用于配合比调整以及施工控制时，能明显提高结构质量的稳定性、耐久性，在工程实施中，要把检测数据、材料设计之间的联系加强，用这种方式实现房屋建筑工程质量的持续改进以及精细管理。

参考文献

[1] 张荣成, 国天逵. 建设工程高强混凝土强度无损检测技术的试验研究 [C]//“井岡山论坛”——现代混凝土生产施工技术交流研讨会. 中国混凝土与水泥制品协会预拌混凝土分会; 江西省散装水泥和预拌混凝土协会, 2014.

[2] 张睿尧. 既有房建工程中剪力墙结构无损检测技术应用研究 [J]. 2026(6).

[3] 张荣成, 国天逵. 建设工程高强混凝土强度无损检测技术的试验研究 [J]. 江西建材, 2014(12):5.

[4] 代晓峰. 超声波检测技术在房建工程中的应用研究 [J]. 城市开发, 2025(12).

[5] 曾海宁, 曾美玉, 曾芳金. 混凝土无损检测方法及应用展望 [J]. 山西建筑, 2007, 033(028):88-89.