

混凝土结构强度检测技术要点分析

王玉钺, 张昌军*

(四川智通路桥工程技术有限公司, 四川 成都 610200)

摘要 为应对混凝土结构服役期内性能退化的问题, 本文重点分析了常规检测条件下回弹法、钻芯法、超声回弹综合法等混凝土结构强度主要检测方法及技术要点, 并结合高水位潮湿环境、盐渍土侵蚀环境等特殊地质条件, 分析了潮湿面回弹修正、侵蚀损伤层测定等技术的应用, 以期为混凝土结构安全评定提供技术参考。

关键词 混凝土结构强度; 配合比设计; 钻芯法; 回弹法; 超声回弹综合法

中图分类号: TU528.07

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.24.028

0 引言

混凝土结构作为工程建设中的主要承重体系, 其强度水平直接关系到工程整体质量与使用安全。科学开展混凝土结构强度检测, 能够及时掌握结构性能状态, 为工程质量评估、加固处理及后续维护提供可靠依据。因此, 围绕混凝土结构强度检测方法及技术要点展开系统分析, 对提升检测结果的准确性具有重要的现实意义。

1 影响混凝土实测强度的主要因素

1.1 原材料的质量

水泥作为胶凝材料, 其强度等级、安定性以及凝结时间均对混凝土强度形成产生直接影响。若水泥强度等级偏低或储存时间过长, 水化活性下降, 将导致混凝土早期强度发展缓慢, 后期强度增长受限。同时, 水泥细度变化会影响水化反应速率, 细度偏粗易造成浆体包裹能力不足, 从而降低骨料之间的黏结强度。在水泥性能之外, 骨料质量同样对混凝土强度形成具有重要作用。压碎指标较大时, 骨料自身承载能力不足, 在荷载作用下容易发生破碎, 导致结构强度降低。颗粒级配不合理会增加孔隙率, 影响混凝土密实度, 从而削弱整体抗压性能。细骨料含泥量过高时, 泥质颗粒附着在骨料表面, 阻碍水泥浆体与骨料之间形成有效黏结界面, 降低混凝土整体强度水平。与此同时, 水中若含有较多有机物或杂质, 可能干扰水泥水化反应过程, 改变凝结硬化规律, 进而影响混凝土强度发展。此外, 水胶比控制不当会改变混凝土内部孔隙结构, 水胶比偏大将导致毛细孔增多, 降低结构密实度, 从而造成实测强度偏低。进一步而言, 减水剂掺量控制

不合理可能引起离析或泌水现象, 影响混凝土均匀性。粉煤灰或矿渣粉活性不足时, 会削弱胶凝体系反应能力, 影响强度增长过程。

1.2 配合比设计

水胶比是混凝土配合比设计的核心控制参数。水泥水化所需的理论用水量仅为水泥质量的 20% ~ 25%, 但为满足施工和易性要求, 实际用水量往往远超理论值。如果未能严格控制水胶比, 多余水分蒸发后将在硬化水泥石中留下相互连通的毛细孔隙, 降低混凝土的密实度与抗渗性能, 诱发强度倒缩、碳化加速等问题, 影响结构耐久性。同时, 过高水胶比会延长凝结时间, 在浇筑后形成表面浮浆层, 并削弱骨料与水泥浆体间的界面黏结力, 提高界面过渡区的破坏风险, 影响实测强度的真实表征。在此基础上, 矿物掺合料的使用将进一步影响混凝土性能。粉煤灰、矿渣粉等掺合料的火山灰活性在后期逐步发挥, 其反应速率显著滞后于水泥水化进程。如果未合理控制掺量, 早期强度发展将明显延缓。同时, 大掺量矿物掺合料会降低混凝土碱度储备, 在碳化作用下加速钢筋钝化膜破坏进程, 增加结构安全隐患。另外, 掺合料品质波动会改变浆体流变特性, 提高拌合物离析泌水倾向, 影响浇筑成型后的强度分布规律。

1.3 施工工艺

振捣是混凝土浇筑成型的核心工艺环节。混凝土拌合物在入模后仍含有大量浇筑裹入气泡, 其内部空隙率与密实度直接取决于振捣的充分程度。如果未能给予足够振捣, 气泡就难以有效排出, 直接在硬化混凝土中形成蜂窝、麻面甚至孔洞缺陷, 削弱截面有效

作者简介: 王玉钺 (1988-), 男, 本科, 研究方向: 试验检测。

*通信作者: 张昌军 (1989-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 道路与桥梁工程。E-mail: 704745505@qq.com

承载面积,进而诱发局部破坏。此外,漏振区域的水泥浆体无法均匀包裹骨料,在受力时大幅提高界面微裂缝贯通的风险。而过振会造成粗骨料下沉、砂浆上浮,形成表层浮浆薄弱层,影响现场检测数据的准确性。在振捣保证混凝土内部结构均匀的前提下,养护环节进一步保障强度。水泥水化反应需要持续的水分供给与适宜的温度环境。如果未能及时进行保湿养护,表层水分迅速蒸发导致水化反应中止,直接形成疏松多孔的失水缺陷层,降低表面硬度,进而诱发起砂、龟裂。同时,早期失水会增大塑性收缩与干燥收缩叠加效应,在约束条件下大幅提高开裂风险。另外,冬期施工未采取保温措施时,混凝土受冻将造成冰晶膨胀破坏水泥石微观结构,增加不可逆强度损失,即使后期恢复正温养护亦无法恢复至设计等级。

2 混凝土结构强度主要检测方法及技术要点

2.1 钻芯法

钻芯法通过精密的钻取、加工和试验过程,能够准确评估混凝土的力学性能。检测实施前,要细致勘察结构特征,选择对整体受力影响最小的部位进行取芯^[1]。钻芯位置应避开主筋、预应力筋、预埋管线及节点核心区,采用钢筋扫描仪精确定位,保证取样具有代表性且不损伤结构。取样过程中必须采用高精度金刚石薄壁钻头,内径宜为 100 mm 或 75 mm,钻机转速宜控制在 800 r/min~1 000 r/min,保持冷却水充分供给,以保证芯样表面光滑、无扭断损伤。芯样直径不应小于粗骨料最大粒径的 3 倍,高径比宜控制在 0.95~1.05 范围内。完成现场取样后,芯样需转入实验室进行精细化检测。先应根据试验要求调节状态,干燥状态试验前需在室内自然放置不少于 3 天,并对端面进行切割磨平或采用硫磺胶泥补平处理,补平层厚度不得大于 1.5 mm,端面不平整度应控制在每 100 mm 长度内不超过 0.1 mm。使用游标卡尺在芯样中部两个垂直方向测量直径取平均值,精确至 0.1 mm。若芯样存在可见裂缝、分层或尺寸偏差超过规范限值,则应重新取样。

2.2 回弹法

回弹法借助测定混凝土表面硬度与抗压强度间的相关关系,能够在不破坏结构的前提下快速推定混凝土强度等级。检测实施前,应依据《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23-2011)规定细致勘察构件外观,选择表面平整、干燥且无蜂窝麻面的区域布置测区。测区应避开预埋件、钢筋密集区及受力最大部位,每个测区面积不宜大于 0.04 m²,相邻测点净距不宜小于 20 mm,确保取样具有代表性。检测过程

中必须采用标准能量 2.207 J 的中型回弹仪,使用前在洛氏硬度 HRC60±2 的钢砧上进行率定,率定值应在 80±2 范围内方可使用。仪器弹击杆应垂直于测区表面,缓慢施压至弹击完成,每测区读取 16 个数据点,剔除 3 个最大值和 3 个最小值,取余下 10 个有效测点的平均值作为测区回弹代表值^[2]。在完成数据点测定后,需同步开展碳化深度测量作为关键辅助环节。回弹值反映的是表层硬度,而碳化作用会使表面硬度升高,导致强度推算值偏高。具体操作时,应在代表性位置钻孔取粉,孔深应大于碳化深度预估值,清除孔内粉末后滴加浓度 1% 的酚酞酒精溶液,用游标卡尺测量未变色边界至表面的垂直距离,精确至 0.25 mm。依据《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23-2011)第 7.0.1 条规定,碳化深度不大于 0.5 mm 时可按无碳化处理,碳化深度大于 0.5 mm 时必须按规范测强曲线进行碳化修正。

2.3 超声回弹综合法

超声回弹综合法利用联合测定混凝土声速与表面回弹值,建立两者与抗压强度间的多元回归关系,能够弥补单一回弹法仅反映表层硬度、单一超声法离散性大的不足,显著提高无损检测精度。检测实施前,应依据《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02:2005)规定勘察构件状态,测区应避开钢筋密集区、预埋件及裂缝缺陷部位,测区数量不少于 10 个且均匀分布。超声测点与回弹测点应一一对应布置在同一测区内,确保两参数反映同一混凝土体积范围。检测过程中,回弹仪须采用标准能量 2.207 J 的中型仪器,测试前在钢砧上率定至 80±2。超声仪应选用频率 50 kHz~100 kHz 的平面换能器,零声时标定采用标准棒校准,声时测量精度不低于 0.1 μs。每测区测值取 16 点,舍去 3 个最大值和 3 个最小值取平均值,声速值取 3 次均值且单次偏差超 ±15% 时重测^[3]。在综合测试过程中,声速测量方式的准确选择对保证检测精度尤为关键。对测法适用于两面临空构件,换能器中心轴线重合时可获得最稳定的声通路;角测法适用于转角部位,需保证换能器与构件表面紧密贴合;平测法仅适用于单一测试面临空条件,其声速值须经回归换算方可参与强度计算。耦合剂应选用黄油、凡士林或化学浆糊,涂抹厚度均匀且不宜过厚,以排除空气间隙、保证声能有效传递为原则。测距测量应采用钢卷尺或激光测距仪,两测点间距精确至 1 mm。

2.4 后装拔出法

后装拔出法借助测定混凝土表层抗拔力与抗压强度的相关关系,以微破损方式推定实体强度。检测前按

《拔出法检测混凝土强度技术规程》(CECS 69:2011)规定勘察构件表面,测点应选在平整、无裂缝且避开钢筋及预埋件处,间距不小于200 mm,距边缘不小于100 mm,测点处厚度不小于80 mm。钻孔采用专用金刚石薄壁钻头,孔径与深度依锚固件规格确定,钻孔后吹尘器清孔确保贴合紧密。安装胀簧锚固件时使其在孔底张开与混凝土咬合,锚固深度偏差控制在 ± 0.8 mm以内。拉拔试验采用经计量检定、示值误差不超过 $\pm 2\%$ F.S.且具峰值保持功能的专用拔出仪,反力支撑需平稳均匀。拉拔杆与锚固件连接后检查同轴度以防偏心受拉,加载速率控制在 $0.5\text{ kN/s} \sim 1.0\text{ kN/s}$,连续均匀施力至破坏,记录极限值精确至0.1 kN。破坏形态是结果有效性的关键:有效破坏应为混凝土呈倒锥体拔出,若出现锚固件拉断、滑脱或仅局部破损等异常,则该测点作废并在附近补测。

3 特殊地质条件下混凝土结构强度检测技术要点

3.1 高水位与潮湿环境检测技术要点

潮湿环境显著影响回弹法检测精度。检测前应勘察构件表面湿度及水源状况,区分长期浸水区、干湿交替区及结露区,并优先选择相对干燥部位布置测区。无法避开的潮湿测区需采取修正措施或强制干燥处理,可采用热风枪或红外线灯进行烘烤,确认表层自然干燥后方可按统一测强曲线进行测试。该法测试操作应与常规检测一致。仪器在钢砧上率定至 80 ± 2 ,每测区读取16个数据点,3个最大值和3个最小值不计,取剩余数据平均值,精确至0.1。碳化深度测量在干燥处理后进行,钻孔取粉滴加1%酚酞酒精溶液,测量未变色边界深度,精确至0.25 mm。湿度修正是保证检测可靠性的关键,可通过同条件对比试验建立专用测强曲线或确定修正系数:在典型潮湿部位选取不少于6个对比测区,先测湿态数据点,再测干燥状态数据点,以干燥状态强度换算值为基准,计算比值作为湿度修正系数,并据此查统一曲线获取强度值,实现潮湿环境下混凝土强度的准确评定^[4]。

3.2 盐渍土与侵蚀环境检测技术要点

3.2.1 侵蚀损伤层测定技术

侵蚀损伤层测定技术可判定混凝土受化学侵蚀后的表层劣化深度,从而确定有效强度检测基准面,避免损伤层对实测强度的干扰。检测前应依据《建筑结构检测技术标准》(GB/T 50344-2019)勘察构件表面特征,观察起皮、剥落、结晶析出及颜色异常,初步判定损伤范围,并选择典型且便于操作的测区,避开裂缝、钢筋锈胀区及修补痕迹^[5]。超声平测法适用于

大面积普查损伤层厚度。在代表性位置钻孔取粉,深度大于预估损伤层,将粉末置于白色瓷板上滴加1%酚酞酒精溶液,不显红色为完全侵蚀层,显红色为未侵蚀层,两区交界至表面的垂直距离即为损伤层厚度,精确至0.5 mm。大面积普查可采用超声平测法,发射换能器固定表面,接收换能器沿测线移动记录声时值,绘制时-距曲线,曲线斜率突变处对应损伤层厚度。

3.2.2 损伤层剔除后强度检测

损伤层剔除后强度检测借助清除侵蚀层测定完好截面混凝土力学性能,可真实反映结构有效承载能力,避免低强度数据干扰评定结果。检测前依据已测损伤层厚度确定剔除范围,凿除深度以暴露未侵蚀坚实混凝土面为准,宜采用角磨机分层打磨或轻型电锤逐层凿除,控制力度避免扰动微裂缝。清理后可采用回弹法评定:测区不少于10个,打磨平整、表面干燥无松动颗粒,回弹仪率定值 80 ± 2 ,每测区读取16个回弹值,舍去3个最大值和3个最小值后取平均,精确至0.1。同时测量碳化深度,钻孔取粉滴加1%酚酞酒精溶液,测量未变色边界深度精确至0.25 mm,据实测碳化深度查统一测强曲线换算强度。对于损伤深度较大或回弹数据离散性显著的构件,可采用钻芯法,芯样直径70 mm~100 mm,高径比 $0.95 \sim 1.05$,取出后检查是否存在残留损伤层或界面裂缝,异常则重新取样。

4 结束语

在工程建设中,科学选用检测方法以及严格控制操作要点,能够解决混凝土结构强度检测中碳化干扰、潮湿偏差及侵蚀损伤误判等行业问题。未来,将进一步研发智能回弹采集与云端数据处理系统,提高检测数据的实时分析能力,同时开展不同地域测强曲线的适配研究,推动综合检测技术在既有建筑评定领域的规模化应用,为跨行业混凝土结构安全评估提供技术参考。

参考文献:

- [1] 聂金富. 建筑工程混凝土结构强度检测技术运用分析[J]. 新发现, 2025(16):79-81.
- [2] 王安江. 建筑工程主体结构混凝土强度检测要点分析[J]. 建材发展导向, 2025,23(08):4-6.
- [3] 孟祥俊. 建筑工程混凝土结构损伤检测技术要点分析[J]. 建材发展导向, 2025,23(04):16-18.
- [4] 赵彬. 建筑工程混凝土结构强度检测技术分析[J]. 砖瓦, 2024(10):89-92.
- [5] 李晓芹. 常见混凝土强度检测技术原理及操作要点分析[J]. 工程技术研究, 2023,08(09):141-143.