

建筑工程中混凝土构件强度检测相关分析

任科杰

宁波甬诚建设检测研究有限公司 浙江 宁波 315000

摘要：本文分析了建筑工程中常用的混凝土构件强度检测方法，包括无损检测、半破损检测与破损检测三类技术。重点介绍了回弹法、超声法、钻芯法等典型方法的原理、操作流程及适用范围，并从材料、施工、环境及检测操作等方面探讨了影响检测结果的关键因素。结合当前应用中存在的问题，指出检测方法局限性、数据整合困难及成本效率矛盾等现实挑战。最后展望了检测技术向智能化、多元化和精准化方向发展的趋势，为提升混凝土强度检测的科学性与可靠性提供参考。

关键词：混凝土构件；强度检测；检测方法；影响因素；发展趋势

引言：混凝土作为建筑结构中的核心材料，其强度直接关系到工程质量和结构安全。在施工过程中，对混凝土构件进行强度检测是质量控制的重要环节。随着检测技术的发展，多种方法被应用于实际工程中，包括无损、半破损和破损检测手段。不同方法各有优劣，适用于不同的检测需求。在实际应用中仍存在诸多影响检测精度的因素，如材料性能差异、施工工艺偏差、环境变化及操作不规范等。深入分析检测方法及影响因素，把握发展趋势，对提高检测水平、保障建筑安全意义重大。

1 混凝土构件强度检测方法

1.1 无损检测方法

1.1.1 回弹法

回弹法基于回弹值与混凝土表面硬度、强度存在对应关系的原理开展检测。当回弹仪冲击混凝土表面时，能量会发生传递，混凝土表面硬度不同，回弹仪弹击杆回弹的距离也不同，由此获得回弹值，进而通过建立的关系模型推算混凝土强度。操作回弹仪时，需保持其轴线始终垂直于测试面。测点布置遵循一定原则，测点间距不宜过小，以免测点间相互影响；也不能过大，确保检测数据能全面反映混凝土构件情况。数据处理过程中，需剔除异常值，对有效数据进行统计分析，获取具有代表性的回弹强度推定值。回弹法适用范围广泛，常用于已建成的建筑结构，对各类梁、板、柱等混凝土构件均可检测。其优势在于操作简便、检测速度快，且不会对混凝土构件造成损伤。但该方法也存在局限性，检测结果受混凝土表面状况影响较大，如碳化深度、表面是否光滑平整等，当混凝土内部质量与表面质量差异较大时，检测结果的准确性会受到影响。

1.1.2 超声法

超声波在混凝土中传播时，其传播速度、频率等特

性与混凝土强度密切相关。一般来说，混凝土强度越高，内部结构越密实，超声波传播速度越快。超声检测设备主要由超声检测仪和换能器组成。检测方式多样，单面平测适用于只有一个测试面的情况；对测可获得更准确的数据，适用于构件具备两个相互平行测试面的场景；斜测则在遇到钢筋等干扰因素时使用，以避免干扰获取有效数据^[1]。超声法适用于检测大体积混凝土构件，能有效检测混凝土内部缺陷和强度。其特点是可穿透混凝土一定深度，获取内部信息，但检测结果易受混凝土内部钢筋分布、含水量等因素影响。

1.1.3 超声-回弹综合法

超声-回弹综合法融合超声与回弹两种方法的优点。回弹法反映混凝土表面强度，超声法能探测混凝土内部质量，综合法将两者结合，从不同角度获取混凝土信息，更全面地反映混凝土强度。在计算模型构建与数据处理流程上，综合法通过建立超声声速、回弹值与混凝土强度的多元关系模型，对采集的数据进行综合分析。相比单一方法，综合法有效减少了单一因素对检测结果的影响，显著提升了检测准确性，在重要工程的混凝土强度检测中应用广泛。

1.1.4 雷达法

探地雷达检测混凝土强度依托电磁学原理。设备发射高频电磁波穿透混凝土，当波抵达内部不同介质界面，如缺陷、空洞与密实混凝土的边界，会发生反射、折射，反射波返回被雷达接收，经处理转化为可视化雷达图像。检测前，需依据混凝土构件厚度、预期检测深度等，科学设定雷达中心频率与合适时窗。中心频率影响探测分辨率与深度，高频适合浅层精细检测，低频可深入探测。时窗设置关乎能否完整捕捉有效反射信号。解读雷达图像时，通过分析反射波强度、相位、频率等

特征,推断混凝土内部结构密实度与强度状态。强反射波常对应界面差异大处,可能存在缺陷;波形畸变、频率变化等异常,均为内部状况异常的信号。该方法检测高效,可连续扫描,检测结果以图像直观呈现,在大面积混凝土构件检测中优势显著。

1.2 半破损检测方法

1.2.1 钻芯法

钻芯取样操作需严格按照流程进行,先根据检测要求确定取样位置,使用专用钻芯机在混凝土构件上钻取芯样。芯样加工有明确要求,需保证芯样的直径、高度、端面平整度等符合标准。芯样抗压强度测试在压力机上进行,通过对芯样施加压力直至破坏,记录破坏荷载,根据芯样尺寸计算抗压强度。对测试结果进行评定时,需结合相关标准判断混凝土构件强度是否满足设计要求。钻芯法检测精度较高,能直接反映混凝土的实际强度,适用于对检测结果准确性要求高的情况,但会对构件造成一定损伤。

1.2.2 拔出法

拔出法基于锚固杆与混凝土之间的粘结力与混凝土强度相关的原理。当对锚固杆施加拉力时,锚固杆与混凝土之间的粘结力会抵抗拉力,粘结力大小与混凝土强度呈正相关。拔出法分为预埋拔出法与后装拔出法。预埋拔出法在混凝土浇筑前将锚固装置预埋入混凝土中;后装拔出法则是在混凝土硬化后,通过钻孔、安装锚固装置等步骤进行检测。两种方法操作步骤存在差异,适用场景也有所不同。拔出法操作相对简便,对构件损伤较小,但检测结果受锚固杆安装质量、混凝土表面状况等因素影响,存在一定局限性。

1.3 破损检测方法

1.3.1 试件试验法

在混凝土浇筑过程中,试件制作需严格遵循规范,确保试件尺寸准确、形状规则。试件养护同样重要,需保证养护环境的温度、湿度等条件符合标准要求,以模拟混凝土构件的实际使用环境。试件抗压、抗拉等强度试验按特定方法与标准流程开展。通过对试件施加荷载,记录试件破坏时的荷载值,计算其强度^[2]。试件试验结果能为混凝土构件强度评定提供重要参考,但由于试件与实际构件在尺寸、受力状态等方面存在差异,试验结果存在一定局限性。

1.3.2 结构破坏试验法

结构破坏试验目的在于获取结构在极限状态下的性能指标,适用于特殊工程,如大型桥梁、超高层建筑等,当对结构的承载能力和安全性存在疑问时进行。试

验加载方式多样,可根据结构特点选择合适的加载方案。试验过程中,利用各类传感器采集数据,包括荷载、位移、应变等,对采集的数据进行深入分析,了解结构的受力性能。结构破坏试验虽能获取最真实的结构强度信息,但会对结构造成不可逆影响,一般仅在特殊情况下使用。

2 混凝土构件强度检测影响因素分析

2.1 材料因素

水泥作为混凝土的胶凝材料,其品种与强度等级直接影响混凝土强度检测结果。不同品种水泥水化特性各异,硅酸盐水泥早期强度发展快,而矿渣硅酸盐水泥后期强度增长明显。强度等级高的水泥,单位质量内水化产物多,制成的混凝土强度更高,若检测时未考虑水泥品种与等级差异,易导致强度评估偏差。骨料粒径与级配对混凝土强度影响显著。粒径较大的粗骨料在混凝土中可提供较强的骨架支撑,但粒径过大可能导致骨料与水泥浆体界面粘结力不足。骨料级配良好时,大小颗粒相互填充,形成密实结构,增强混凝土整体强度。反之,级配不良会使混凝土内部孔隙增多,降低强度,影响检测所得强度数值。掺合料与外加剂的种类及掺量同样关键。粉煤灰、矿渣粉等掺合料能改善混凝土工作性能,降低水化热,但其掺量过高会延缓混凝土强度发展。减水剂可减少混凝土用水量,提高强度,而膨胀剂则能补偿混凝土收缩,不同外加剂作用机理不同,掺量不当会改变混凝土强度形成规律,干扰检测结果准确性。

2.2 施工因素

混凝土搅拌是材料均匀混合的关键工序。搅拌时间过短,水泥、骨料和外加剂不能充分融合,混凝土拌合物不均匀,导致强度离散性大;搅拌时间过长,混凝土产生离析,影响强度。运输过程中,若混凝土发生分层、泌水,浇筑后构件内部出现强度差异,钻芯检测时不同部位芯样强度值波动明显。浇筑环节中,混凝土自由下落高度过高会造成离析,粗骨料集中于底部,顶部砂浆较多,形成强度不均匀的构件。振捣直接影响混凝土密实度,振捣不足,内部存在气泡、空洞,降低强度;过度振捣导致骨料下沉、水泥浆上浮,出现分层现象。养护是混凝土强度增长的保障,养护温度低,水泥水化缓慢,强度无法正常发展;湿度不足,混凝土表面水分蒸发快,产生干缩裂缝,强度降低,影响后续强度检测结果。

2.3 环境因素

环境温度和湿度影响混凝土强度发展进程。低温环境下,水泥水化反应速率减缓,甚至在冰点以下停止,

混凝土强度增长停滞;高温时水分蒸发过快,水泥颗粒不能充分水化,表面形成疏松结构,强度降低^[3]。湿度不足,混凝土内部水分迁移受阻,水泥水化不充分,构件表层与内部强度差异增大,影响检测数据的代表性。碳化作用改变混凝土表面性质。空气中二氧化碳与混凝土中氢氧化钙反应生成碳酸钙,使混凝土表面硬度增加,采用回弹法检测时,回弹值偏高,导致强度高估。冻融循环对混凝土破坏严重,水在孔隙中结冰膨胀,融化后孔隙结构受损,反复冻融使混凝土内部裂缝扩展,强度持续下降,超声检测时声速降低,雷达图像显示内部结构异常,影响检测准确性。

2.4 检测操作因素

检测设备精度决定数据可靠性。回弹仪弹击能量不稳定,每次弹击力存在差异,导致回弹值波动;超声检测仪频率误差影响声速测量,进而影响强度计算。操作人员技能水平参差不齐,在钻芯法中,芯样钻取角度偏差会使芯样受力不均,影响抗压强度测试结果;在雷达检测中,参数设置不当导致图像模糊,无法准确判断混凝土内部情况。检测方法选择与操作规范程度也至关重要。面对表面不平整的混凝土构件,若采用对表面状况敏感的回弹法,检测结果偏差大;拔出法中锚固杆安装深度、角度不符合要求,粘结力测试结果失真,最终影响混凝土强度检测结果的真实性与可靠性。

3 混凝土构件强度检测技术应用问题与发展趋势

3.1 应用中存在的问题

检测方法自身局限性易引发结果偏差。回弹法依赖混凝土表面硬度推算强度,当混凝土碳化深度不一致或表面受污染时,检测数值与实际强度产生偏离;超声法受内部钢筋分布、含水量干扰,信号传播路径复杂,导致强度判断失准。单一检测方法难以全面反映混凝土构件真实强度状态,而多种方法并行使用时,又面临数据兼容性差的困境。不同检测方法的原理、数据采集方式和评定标准均不相同,各方法所得数据无法直接整合分析,难以形成统一、准确的强度评定结论。检测成本与效率间存在矛盾。高精度的钻芯法虽能获取准确强度数据,但需专业设备和人工操作,取样后芯样加工、测试流程繁琐,耗时耗力且对构件造成损伤,检测成本较高;无损检测方法如雷达法虽效率高,但设备购置和维护费用昂贵,且复杂环境下检测结果可靠性不足。在实际工程检测中,难以在成本控制和效率提升间找到平

衡。现场检测环境复杂对检测操作构成挑战^[4]。建筑施工现场空间狭窄、杂物堆积,检测设备操作空间受限,影响仪器正常使用。潮湿、高温等恶劣气候条件,会干扰检测设备性能,例如高温环境下超声检测仪探头耦合效果变差,影响超声信号传输;潮湿环境可能导致雷达检测信号衰减,降低图像清晰度,进而影响检测数据准确性和操作顺利进行。

3.2 发展趋势

混凝土构件强度检测技术的发展呈现出智能化、多元化与精准化趋势。智能化方面,自动化检测设备逐渐替代传统人工操作。智能回弹仪可自动采集数据、识别测点,有效降低人为操作误差;智能数据分析系统借助机器学习算法,能快速处理大量数据,构建精准的强度评估模型,实现检测结果的自动分析与预警。多元化发展成为主流方向。多种检测方法融合优势明显,超声、回弹、雷达等方法相互补充,从多个维度获取构件信息,提升检测结果可靠性。基于光纤传感、微波探测等原理的新型检测技术不断涌现,为检测工作提供更多选择。精准化进程持续推进。通过改进设备制造工艺,提高传感器精度和稳定性;优化检测方法理论模型,降低外界因素干扰。检测技术与物联网、大数据深度结合,实现设备远程监控、数据实时传输,通过挖掘分析海量数据,完善混凝土强度数据库,为检测评定提供更全面的参考依据。

结束语

建筑工程中混凝土构件强度检测是确保结构安全的重要环节。多种检测方法各有优劣,受材料、施工、环境及检测操作等多因素影响。当前检测技术应用存在一定问题,但随着智能化、多元化与精准化趋势发展,未来有望通过技术革新与融合,提升检测效率和准确性,为建筑工程质量提供更可靠保障。

参考文献

- [1]赵菁菁.建筑工程混凝土结构构件的强度无损检测[J].江西建材,2024(7):123-126.
- [2]唐荣成.建筑工程混凝土强度主要检测技术分析[J].科海故事博览,2023(8):40-42.
- [3]周凯.基于结构检测的既有建筑安全性分析[J].中国新技术新产品,2024(21):146-148.
- [4]刘秀伟,栾晖元,栾绍双.建筑工程中混凝土试块强度检测研究[J].中国地名,2024(5):0187-0189.