

土木工程质量检测中混凝土检测技术要点探讨

夏雨哲

舟山市交通工程试验检测中心有限公司 浙江 舟山 316000

摘要: 土木工程领域中,混凝土质量检测至关重要。本文详细探讨混凝土检测技术,涵盖无损检测的回弹法、超声波法等,半破损检测的钻芯法、拔出法,以及辅助的红外热成像法等。阐述各技术操作要点、数据解析处理方式,分析材料、施工、检测操作等因素对检测结果的影响,并提出针对性控制措施。通过全面研究,为提升混凝土检测精度、保障土木工程质量提供有力支持。

关键词: 混凝土检测技术;无损检测;半破损检测;影响因素;控制措施

引言:在土木工程建设规模持续扩大的当下,混凝土作为关键建筑材料,其质量直接关乎工程结构安全与耐久性。准确可靠的混凝土检测技术,能及时发现质量问题并采取措施,避免潜在安全隐患。当前,混凝土检测技术多样,不同技术适用场景与精度各异。深入研究各类检测技术要点,分析影响因素并提出控制措施,对提升检测水平、保障工程质量具有重要现实意义。

1 混凝土检测技术分类与适用场景

1.1 无损检测技术

1.1.1 回弹法

回弹法是无损检测领域应用广泛的核心手段,其核心原理依托混凝土表面硬度与抗压强度间的内在物理关联。借助专用回弹仪采集混凝土表面回弹数据,搭配提前构建的强度-回弹值数学模型,可间接推算出混凝土抗压强度^[1]。该技术操作便捷且检测效率出众,在既有建筑结构强度普查工作中展现出显著适用性,能快速完成大面积结构的强度筛查。

1.1.2 超声波法

超声波法通过解析超声波在混凝土介质中的传播规律实现检测目标,超声波传播速度与混凝土密实度呈正相关关系,振幅衰减程度则可直观反映混凝土内部缺陷的分布情况。相较于单一强度检测手段,该方法既能完成混凝土强度评估,还能精准检测裂缝深度、不密实区等内部隐患,检测深度可达数米,适用于中大型结构的内部质量排查。

1.1.3 超声回弹综合法

超声回弹综合法整合回弹法与超声波法的技术优势,通过构建回弹值与超声波参数的多元回归模型,有效规避单一检测方法受混凝土碳化、含水率等因素干扰的局限。这种综合检测模式大幅提升强度推算的准确性,在大型工程结构检测中优势突出,尤其适用于对检测精度

要求较高的重点工程。

1.1.4 雷达法

雷达法利用高频电磁波在混凝土中的传播与反射特性,通过分析反射波时程曲线及频谱特征,可精准定位混凝土内部钢筋位置、量化空洞尺寸并识别分层缺陷。该技术对非金属夹杂物检测具备独特优势,检测分辨率可达厘米级,能满足精细化检测的实际需求。

1.2 半破损检测技术

钻芯法作为混凝土强度直接检测的核心方法,通过专用钻机钻取混凝土圆柱芯样,经标准养护后开展抗压试验,获取的强度数据真实可靠,被行业内视为混凝土强度检测的基准标准。钻芯法直接从混凝土结构中取样,能够真实反映混凝土的内部强度情况。钻芯过程会对结构造成局部轻微损伤,因此需严格把控取芯位置与数量,避免影响结构整体承载性能。在取芯时,要综合考虑结构的受力情况和重要性,选择对结构影响最小的位置进行取芯,同时控制取芯的数量,确保结构的安全。拔出法通过测定预埋或后装锚固件的极限拔出力,间接推算混凝土强度。该方法可在混凝土浇筑阶段预埋拔出装置,也可通过后期钻孔安装膨胀螺栓完成检测,检测结果与钻芯法具有良好的相关性,在现场快速强度评定与施工质量实时控制中应用广泛。

1.3 辅助检测技术

红外热成像法基于混凝土热传导特性的差异实现缺陷检测,当混凝土内部存在空洞、脱粘等缺陷时,热传导路径会发生改变,进而导致结构表面温度场分布出现异常。借助红外热像仪捕捉表面温度差异,可快速锁定隐蔽缺陷的位置与范围,检测过程高效且无接触损伤。冲击回波法利用应力波在混凝土中的传播与反射规律,通过分析冲击产生的频响信号,可精准测定混凝土厚度并识别内部缺陷。该技术对薄壁结构检测具有独特优势,

检测深度范围可达1.5米,能满足薄壁构件

2 混凝土检测技术关键操作要点

2.1 回弹法操作要点

测区布置需兼顾结构受力特征与检测精度,单个构件的测区数量需根据构件尺寸合理确定,测区间距控制在2米以内,单个测区面积宜设定为0.04平方米。检测过程中需避开预埋件、表层疏松区域及明显缺陷部位,钢筋保护层厚度对检测结果的干扰的需通过位置修正系数予以消除^[2]。回弹仪使用前需在洛氏硬度HRC为60±2的钢砧上完成率定,率定值偏差超出±2时需及时调修。碳化深度测量需在测区表面钻取直径约15毫米的孔洞,清除孔内粉末后滴入酚酞酒精溶液,采用游标卡尺测量未变色混凝土深度,严格把控测量精度。

2.2 超声波法操作要点

换能器耦合质量直接决定检测精度,检测前需清除混凝土表面浮浆,选用黄油或凡士林作为耦合剂,施加适当压力确保换能器与混凝土表面完全贴合。如果换能器与混凝土表面耦合不好,会导致声波传播过程中能量损失过大,影响检测结果。测线布置需结合结构特点选择适配的检测方式:对测法适用于厚度较小的构件,斜测法用于检测倾斜裂缝,平测法则适用于表面损伤检测。不同的结构特点和缺陷类型需要采用不同的测线布置方式,才能准确地检测出混凝土内部的情况。声时测量值需扣除仪器系统延时,声速计算过程中需考虑温度修正系数的影响。仪器系统延时和温度会对声速测量产生影响,需要进行修正以保证测量结果的准确性。波幅衰减分析需结合首波幅度与接收信号能量,频率变化通过频谱分析确定主频偏移量,结合多参数变化可精准判定缺陷性质。通过综合分析多个参数的变化,可以更准确地判断混凝土内部缺陷的类型和程度。

2.3 钻芯法操作要点

芯样钻取位置需具备结构代表性,严格避开主筋、预应力筋及管线密集区域。钻芯机固定需保证稳固,钻进过程中保持匀速施压,芯样直径不宜小于骨料最大粒径的3倍,实际检测中通常采用75毫米或100毫米直径的芯样。钻取深度需满足检测要求且不损伤结构安全,接近结构底部时需放缓钻进速度,避免对结构造成额外损伤。芯样端面处理采用磨平机或硫磺胶泥补平,端面平整度偏差不超过0.1毫米,高度与直径比需控制在0.95-1.05范围内。抗压试验采用万能试验机,加载速率控制在0.5-1.0MPa/s,详细记录破坏荷载及变形曲线,出现异常数据时需进行复验。

2.4 拔出法操作要点

锚固件安装分为预埋式与后装式两种类型,预埋件需在混凝土浇筑前完成定位固定,后装法钻孔直径需比锚固件直径大2-4毫米,清孔后注入结构胶并植入锚固件,确保安装牢固。加载装置需与锚固件轴线保持重合,采用连续均匀的加载方式,加载速率控制在0.5-1.0kN/s。记录最大拔出时需密切观察破坏形态,混凝土内聚破坏面积需达到锚固件周边面积的80%以上,否则该组检测结果视为无效,需重新检测^[3]。

3 混凝土检测技术数据解析与处理

3.1 强度推定方法

回弹法强度换算需建立测区回弹值与碳化深度的数学关联,通过专用测强曲线将回弹值转换为强度换算值,该曲线需充分考虑混凝土原材料、成型工艺及养护条件等影响因素。碳化深度对强度的影响呈现非线性特征,当碳化深度超过6毫米时,需采用分段修正系数调整换算结果,确保强度推算的准确性。最终强度推定值取各测区换算值的最小值,兼顾检测精度与结构安全储备要求。超声波法强度反演基于声速与混凝土密实度的物理关联,通过大量试验数据构建声速-强度经验公式,公式形式涵盖线性、对数及幂函数等多种类型。检测过程中需测量混凝土实际含水率,对声速值进行湿度修正。针对非标准养护条件下的混凝土,需通过同龄期标准试件建立专用反演模型,进一步提升强度推算精度。综合强度评定整合表面硬度与内部密实度信息,采用二元回归分析构建回弹值与声速的联合强度方程,权重系数通过最小二乘法优化确定。该方法有效规避单一检测方法的局限性,尤其适用于碳化深度较大或含水率异常的混凝土结构。综合强度评定值需进行置信区间分析,保障结果的统计可靠性,为工程质量评估提供科学依据。

3.2 缺陷识别与评估

缺陷类型判断依赖超声波参数的组合特征,不同缺陷呈现出差异化的参数变化规律:空洞缺陷表现为声速显著降低、波幅剧烈衰减且频率成分减少;裂缝缺陷呈现声速局部突变、波幅周期性衰减及高频成分消失;不密实区则表现为声速轻微降低、波幅均匀衰减且频谱分析无明显异常。借助三维参数空间定位技术,可实现缺陷类型的自动分类识别,提升缺陷判断的效率与准确性。缺陷尺寸估算采用波速异常区域投影法,根据声时异常值确定缺陷平面位置,通过波幅衰减梯度推算缺陷深度方向尺寸。针对复杂形状缺陷,采用有限元模拟反演缺陷几何参数,优化尺寸估算精度。尺寸估算结果需结合结构重要性进行修正,关键部位缺陷尺寸判定采用保守估计原则,确保结构安全。

3.3 数据修正与补偿

温度湿度修正需建立环境参数与检测值的定量关系,温度对声速的影响系数约为0.5米/秒/°C,湿度对回弹值的影响呈现指数衰减规律。检测数据修正采用分段线性插值法,当环境参数超出标准范围时,需通过试验建立专用修正模型,确保数据准确性。仪器误差补偿实施全流程质量控制,涵盖仪器出厂校准、使用前率定及检测后复核三个关键环节。系统误差补偿采用加权最小二乘法,随机误差通过多次测量取平均值的方式处理^[4]。数据修正记录需完整留存,作为检测报告的重要组成部分,保障检测工作的可追溯性。

4 混凝土检测技术影响因素与控制措施

4.1 材料因素影响

骨料物理特性对检测结果的影响较为显著,粗骨料粒径分布直接影响混凝土内部结构均匀性,大粒径骨料形成的骨架结构会改变超声波传播路径,导致声速测量值产生系统性偏差。针片状颗粒含量较高的骨料会降低混凝土表面平整度,使回弹仪弹击杆与表面接触状态不稳定,进而增大回弹值的离散性。水泥矿物组成差异会导致水化产物特性不同,硅酸三钙含量高的水泥水化速度较快,早期强度发展明显,但后期碳化敏感性有所增强;铁铝酸四钙含量高的水泥水化产物结构更为致密,对超声波的吸收作用较强,会影响声速测量精度。外加剂作用机制复杂,减水剂通过改变水泥颗粒分散状态影响混凝土密实度,引气剂引入的微小气泡会改变声波传播介质的连续性,需充分考虑气泡尺寸分布对超声波衰减特性的影响。

4.2 施工因素影响

浇筑工艺质量直接影响混凝土均匀性。振捣不足区域混凝土孔隙率增大,形成声学阻抗不匹配界面,导致超声波传播过程中能量衰减加剧,波幅测量值显著降低。过度振捣造成骨料下沉,在结构表面形成浮浆层,该层水泥含量较高但密实度不足,回弹法检测时表面硬度与内部强度不一致性增强。养护制度执行偏差改变混凝土水化进程,自然养护条件下混凝土表层水分蒸发速率快,碳化反应提前发生,表面硬度发展异常,影响回弹法强度推定准确性。施工荷载作用时机控制至关重要,早期加载导致混凝土内部微裂缝扩展,形成声波散射中心,超

声波首波波形畸变程度增加,信号识别难度增大。

4.3 检测操作影响

测区选择科学性决定检测代表性。回弹法检测时,测区应避免预埋件边缘区域,该位置混凝土应力状态复杂,回弹值不能反映真实强度;钢筋密集区域混凝土振捣不充分,需单独划分测区并增加测点数量。超声波检测中,测线布置应考虑骨料随机分布特征,避免声波传播路径与骨料长轴方向平行,减少骨料界面反射对直达波的干扰^[5]。仪器使用规范性影响数据可靠性,回弹仪率定值偏差会导致检测结果系统性偏移,需定期在标准钢砧上进行率定校验;超声波换能器耦合状态影响声能传输效率,耦合层存在气泡或杂质时,声波在界面处发生复杂反射,导致接收信号信噪比降低。数据处理严谨性关乎结论准确性,采用地区测强曲线时需验证适用性,当混凝土原材料组成与曲线制定条件存在差异时,应通过试验建立修正关系;缺陷评估中,波速降低与波幅衰减存在关联性,需建立多参数综合判定准则,避免单一指标误判。

结束语

混凝土检测技术对土木工程质量保障意义重大。通过系统梳理各类检测技术分类、适用场景、操作要点、数据解析及影响因素与控制措施,可看出不同技术各有优劣且相互补充。在实际检测中,需依据工程需求合理选择检测技术,严格把控操作流程,准确解析处理数据,有效控制影响因素,从而提升检测精度,为土木工程结构安全提供坚实保障,推动行业健康发展。

参考文献

- [1]万光存.土木工程质量检测中混凝土检测技术要点探讨[J].陶瓷,2025(4):196-198.
- [2]许立荣.建筑工程质量检测中的混凝土检测技术分析[J].科技创新与生产力,2025,46(6):131-134.
- [3]王立虎.无损检测技术在混凝土结构工程质量检测中的运用[J].建材与装饰,2021,17(13):68-69.
- [4]陈艳梅,郭海莉.土木工程混凝土回弹法质量检测技术探究[J].微型计算机,2025(22):169-171.
- [5]徐岩.土木工程建筑施工中混凝土原材料检测技术及应用[J].商品与质量,2021(14):186.