

土木工程现场混凝土强度检测技术

张浩然

北京瑞威世纪岩土工程有限公司 北京 100098

摘要：在土木工程建设与维护中，混凝土强度是衡量结构安全性与耐久性的核心指标。本文围绕土木工程现场混凝土强度检测技术展开研究，系统阐述检测必要性、强度影响因素、关键检测技术及提升措施。分析了回弹法、超声法等传统技术与地质雷达、红外热像等新兴技术构成检测体系，各有优劣与适用场景。提出设备智能化升级、人员培训强化、方法优化及标准完善等提升策略，旨在推动检测技术精准化、智能化发展，为保障土木工程质量提供理论与实践依据。

关键词：土木工程；现场混凝土强度检测；关键技术

引言：施工过程中，原材料波动、工艺偏差及环境变化等因素，易导致混凝土强度不达标，引发工程质量隐患。传统检测技术存在局限性，新兴技术应用尚需完善，使得检测技术的系统性研究尤为迫切。本文从检测必要性出发，深入剖析强度影响因素，梳理各类检测技术原理与应用，提出针对性提升措施，以期为土木工程质量控制提供科学参考，推动检测技术创新发展。

1 土木工程现场混凝土强度检测技术的必要性

在土木工程领域，混凝土强度直接关系到结构安全，现场检测技术的必要性主要体现在以下方面：（1）保障工程质量。混凝土作为土木工程中应用最广泛的材料，其强度是衡量工程质量的核心指标。在实际施工中，原材料质量波动、配比不准确、养护条件不达标等因素，都可能导致混凝土强度无法达到设计要求。通过现场检测，能够及时发现强度不足的问题，避免不合格工程进入下一施工环节。若未检测出早期强度缺陷，后期可能发展为严重的结构裂缝甚至坍塌，造成巨大损失。（2）评估既有结构安全性。对于服役中的桥梁、建筑等结构，混凝土会因环境侵蚀、荷载变化等因素出现性能退化。现场检测可以准确评估混凝土当前强度，为结构安全性能评估提供依据，从而制定科学合理的维护、加固方案。例如，通过检测确定某老旧桥梁混凝土强度下降程度，以此判断是否需要限载或加固，避免安全事故。（3）优化成本控制。虽然现场检测需要投入一定成本，但与因强度不足导致的返工、维修或事故赔偿相比，检测成本微不足道。及时检测可避免因质量问题造成的经济损失，同时为合理设计提供数据支撑，减少不必要的材料浪费，从全生命周期角度实现工程成本优化^[1]。

2 土木工程现场混凝土强度的影响因素

混凝土强度是土木工程质量的核心指标，其在现场

施工中的实际强度受以下多方面因素影响。（1）原材料质量与配比。水泥作为胶凝材料，其强度等级、矿物成分和安定性对混凝土强度起决定性作用。如高标号水泥水化反应充分，能提供更高的早期强度；而安定性不合格的水泥，会导致混凝土后期膨胀开裂。骨料的粒径、级配和杂质含量也至关重要，级配良好的骨料能形成密实骨架，减少水泥用量；含泥量过高则削弱骨料与水泥浆的黏结力。水胶比是影响强度的核心参数，水胶比过大虽提升流动性，但多余水分蒸发后形成孔隙，显著降低强度。（2）施工工艺不当易引发强度缺陷。搅拌过程中，搅拌时间不足会导致材料混合不均，影响水化反应；振捣不密实则产生蜂窝、孔洞等内部缺陷，降低有效受力面积。浇筑过程中，分层浇筑高度过高、间隔时间过长易形成冷缝，削弱结构整体性。而养护环节直接影响水泥水化进程，早期缺水会使水化反应中断，导致强度无法增长；高温环境下水分快速蒸发，易产生干缩裂缝，降低强度和耐久性。（3）环境因素。温度和湿度是影响混凝土强度增长的关键环境变量。低温环境下，水泥水化速度减缓，强度增长缓慢甚至停滞；当温度低于冰点时，内部水分结冰膨胀，造成不可逆损伤。湿度不足会使混凝土过早干燥，阻碍水泥水化，尤其是在夏季高温或干燥地区，需加强保湿养护。冻融循环、化学侵蚀等长期环境作用，会持续破坏混凝土内部结构，导致强度劣化。（4）后期荷载与时间效应。混凝土强度会随龄期增长而提升，但并非无限增长，通常28天强度作为设计依据，后期增长逐渐趋缓。过早施加荷载会使混凝土内部结构在未充分硬化时受损，影响最终强度^[2]。此外，长期承受动荷载或超载作用，会加速混凝土疲劳损伤，降低其承载能力。

3 土木工程现场混凝土强度检测关键技术

3.1 无损检测技术

3.1.1 回弹法

回弹法的核心原理基于弹性碰撞理论。回弹仪内置弹簧驱动弹击杆，弹击混凝土表面时，混凝土的硬度决定弹击杆反弹的能量，进而转化为可读取的回弹值。根据大量试验数据建立回弹值与抗压强度的关系曲线（测强曲线），以此推算混凝土强度。现场操作时，需严格遵循规范流程。测试面必须平整、清洁，去除浮浆、油污和疏松层，必要时使用砂轮打磨。由于混凝土碳化会使表面硬度增加，导致回弹值偏高，因此需同步测量碳化深度，利用修正系数对测强曲线进行调整。实际应用中，回弹法通常在构件的侧面或底面布置测点，相邻测点间距不小于20mm，测点距边缘或钢筋的距离不小于30mm。该技术虽操作简便、检测快速，但仅能反映混凝土表层30mm左右的强度，且易受骨料分布、测试角度等因素影响，多用于民用建筑梁、板、柱的批量初步检测。

3.1.2 超声法

超声法基于超声波在混凝土中的传播特性评估强度。超声波在介质中传播时，其波速与介质的弹性模量、密度等参数相关，而混凝土强度与弹性模量呈正相关关系，因此可通过波速间接反映强度。现场检测时，采用超声波检测仪，在混凝土测试面相对布置发射和接收换能器，通过对测、斜测或单面平测等方式获取声时数据，计算波速。对于内部存在空洞、裂缝等缺陷的混凝土，超声波传播路径会发生绕射或反射，导致声时延长、波幅衰减和频率降低。通过分析这些声学参数的变化，不仅能评估强度，还可对缺陷进行定位和定量分析。但超声法受钢筋干扰显著，因为钢筋的声速远高于混凝土，易造成声时测量误差。实际检测中，合理规划测点位置，避开钢筋密集区域，或采用波形分析技术降低干扰。该技术适用于检测厚度较大的构件，如桥墩、基础等，可实现内部质量与强度的同步检测。

3.1.3 超声-回弹综合法

超声-回弹综合法融合了两种技术的优势。超声法反映混凝土内部密实度和弹性模量，回弹法捕捉表面硬度，二者结合可减少单一方法的局限性。通过建立超声声速、回弹值与抗压强度的多元回归方程（综合测强曲线），能有效降低碳化深度、含水率、骨料类型等因素对检测结果的影响。与单一方法相比，综合法的检测精度可提升10%-15%。如在潮湿环境下，回弹值会因表面软化降低，而超声声速受湿度影响较小；在碳化严重的构件中，回弹法误差增大，超声法却能稳定反映内部质量。该方法适用于重要结构的精准检测，如大跨度桥梁、高层建筑核心筒等，通过多参数分析为工程质量评

定提供可靠依据。

3.2 半破损检测技术

3.2.1 钻芯法

钻芯法是目前最接近混凝土真实强度的检测方法。其原理是利用混凝土钻孔取芯机，在结构构件上钻取圆柱形芯样，经加工后进行抗压试验，根据芯样抗压强度换算构件的实际强度。现场操作时，芯样直径一般不小于骨料最大粒径的2倍，常用直径为75mm或100mm，高径比控制在1左右以保证测试准确性。芯样钻取后，需对端面进行研磨或补平处理，确保两端面平行且与轴线垂直。补平材料可选用硫磺胶泥或高强石膏，补平层厚度不超过5mm。由于钻芯会对结构造成局部损伤，该方法通常用于争议工程的仲裁检测或事故鉴定，其检测结果可作为强度评定的最终依据。在既有建筑改造中，钻芯法还可用于评估混凝土的长期性能退化情况。

3.2.2 拉拔法

拉拔法通过测试锚固件与混凝土之间的黏结力，间接推算混凝土的抗拉或黏结强度。根据锚固件的植入方式，分为预埋和后装两种。预埋法适用于新建工程，在混凝土浇筑前预埋锚固件；后装法则通过钻孔、植筋等工艺，适用于既有结构检测。检测时，使用专用拉拔仪对锚固件施加拉力，记录拔出力峰值。其理论基础是拔出力与混凝土抗拉强度存在相关性，需根据地区材料特性和施工工艺建立测强曲线。拉拔法对结构损伤较小，操作简便，常用于评估新旧混凝土界面的黏结质量、混凝土表面处理效果，或在加固工程中检测植筋、粘贴钢板等的锚固强度。

3.3 微破损检测技术

3.3.1 贯入法

贯入法利用贯入仪将测钉以恒定能量压入混凝土，根据测钉的贯入深度计算强度。其原理是混凝土的密实程度和强度决定了对测钉的抵抗能力，贯入深度越深，表明混凝土强度越低。该方法操作类似于回弹法，但测试深度更深（约10mm），能反映混凝土浅层的综合性能。与回弹法相比，贯入法受表面平整度和骨料分布的影响较小，适用于砌体结构中混凝土构件（如圈梁、构造柱）的快速检测。实际应用中，需根据不同类型的混凝土（如细石混凝土、普通混凝土）建立专用测强曲线，以提高检测精度。由于其对结构损伤微小，可在不影响正常使用的情况下，对建筑物进行局部强度抽检。

3.3.2 拔出法

拔出法采用微型锚固件（如预埋的膨胀螺栓或后装的化学锚栓），通过较小的拔出力测试混凝土强度。与

拉拔法相比,该技术使用的锚固件尺寸更小,对结构的损伤近乎可忽略,尤其适用于薄壁构件或不宜大面积破坏的结构,如隧道衬砌、薄板等。检测时,需精确控制锚固件的埋深和拔出角度。埋深过浅可能导致拔出破坏模式异常,影响结果准确性;拔出角度偏差会使拉力分解,降低测试值。通过大量试验建立拔出力与抗压强度的经验公式,可实现对混凝土强度的快速评估。该方法在既有建筑改造和维护中具有广泛应用前景。

3.4 新兴检测技术

3.4.1 地质雷达法

地质雷达利用高频电磁波(通常为100MHz-2GHz)在混凝土中的传播和反射特性,检测强度并识别内部缺陷。当电磁波遇到混凝土内部介电常数不同的介质(如空洞、裂缝、疏松区)时,会发生反射和散射,通过接收反射波的时程、振幅和相位等参数,可构建混凝土内部结构图像。实际检测中,雷达天线沿混凝土表面移动,连续采集数据并生成二维或三维图谱。通过分析图谱中反射波的特征,不仅能定位缺陷位置和尺寸,还可根据电磁波传播速度与混凝土密实度的关系,推断强度分布。该技术检测速度快、覆盖范围广,适用于桥梁、隧道、机场跑道等大面积结构的快速扫描。但数据解读依赖专业软件和丰富的工程经验,需结合其他检测方法进行验证。

3.4.2 红外热像法

红外热像法基于混凝土缺陷或强度差异导致的表面温度场分布不同进行检测。当混凝土内部存在空洞、裂缝或强度不均匀时,其热传导性能会发生变化,在表面形成温度异常区域。如空洞部位因空气导热系数低,热量积聚导致温度偏高;裂缝处热流扩散快,温度相对较低。通过红外热像仪捕捉混凝土表面的红外辐射信号,转化为温度图像。专业软件对图像进行分析,可识别温度异常区域并评估其严重程度。该技术可实现非接触、大面积检测,常用于桥梁、隧道等大型结构的初步筛查,快速定位可疑区域^[3]。但检测结果易受环境温度、日照、风速等因素干扰,需选择合适的检测时间(如清晨或傍晚),并进行温度补偿处理,以提高检测准确性。

4 提升混凝土强度检测技术的措施

4.1 推动检测设备的智能化升级

引入具备自动数据采集、分析功能的检测仪器,如智能回弹仪、超声-雷达一体化设备,减少人工操作误差。利用物联网技术实现设备联网,实时上传检测数据至云端平台,通过大数据分析建立更精准的测强曲线,增强数据的可靠性与可追溯性。

4.2 加强检测人员的专业培训与管理

建立系统的培训体系,定期组织检测人员学习最新检测标准、技术规范及操作流程,邀请行业专家开展技术讲座与案例分析,提升其理论知识与实践能力。推行检测人员持证上岗制度,严格考核其专业技能与职业道德,对违规操作行为严肃处理,确保检测工作的规范性与公正性。同时,鼓励检测人员参与学术交流与技术创新,掌握前沿检测技术。

4.3 优化检测方法与数据处理

根据工程实际需求,合理选择检测方法或采用多种方法综合检测。对于重要结构,将无损检测与半破损检测相结合,相互验证,提高检测结果的可信度。在数据处理方面,运用人工智能、机器学习算法,建立更精确的强度预测模型,降低环境因素、材料差异对检测结果的影响^[4]。开发专用的数据处理软件,实现检测数据的自动分析与报告生成,减少人为干预,提升数据处理效率与准确性。

结束语:本文探讨了土木工程现场混凝土强度检测技术,明确了检测必要性,揭示了强度影响规律,总结了关键检测技术特点,并提出切实可行的提升措施。研究成果为工程实践中合理选择检测技术、优化检测流程提供了指导。随着人工智能、物联网等技术的深度融合,混凝土强度检测将向智能化、自动化方向迈进。

参考文献

- [1]张奥林.土木工程现场混凝土强度检测技术[J].大众标准化,2024(12):196-198.
- [2]冯冬梅.土木工程现场混凝土强度检测技术[J].建筑·建材·装饰,2020(21):153-154.
- [3]任志飞.土木工程现场混凝土强度检测技术[J].数码设计(上),2019(1):153-154.
- [4]林洁.土木工程现场混凝土强度检测技术[J].中国房地产业,2020(11):119-120.