

建筑工程质量检测中混凝土强度检测的技术分析

何秀扬

肥西县建设工程监测中心有限责任公司，安徽 合肥 231200

摘 要： 混凝土强度将直接对建筑工程整体质量造成直接影响，采取合理、科学的混凝土强度检测方法，是有效保障建筑工程质量满足设计要求、相关规范文件的重要手段。本文从事建筑工程质量检测中混凝土强度检测的技术分析，对当下我国建筑工程产业主流混凝土检测技术进行详细介绍，且分析不同技术的优势、劣势。本文旨在为我国建筑工程施工单位、质检部门提供借鉴与参考意义，以为我国建筑工程项目整体质量实现有效技术保障。

关 键 词： 建筑工程质量；混凝土强度；红外成像法；超声波穿透法

Technical Analysis of Concrete Strength Testing in Construction Engineering Quality Inspection

He Xiuyang

Feixi County Construction Engineering Monitoring Center Co., Ltd, Anhui, Hefei 231200

Abstract： Concrete strength will have a direct impact on the overall quality of construction projects. Adopting reasonable and scientific concrete strength testing method is an important means to effectively ensure that the quality of construction engineering meets the design requirements and relevant specification documents. From the technical analysis of concrete strength testing in construction engineering quality testing, this paper introduces the current mainstream concrete testing technology in China's construction engineering industry in detail, and analyzes the advantages and disadvantages of different technologies. The purpose of this paper is to provide reference for construction units and quality inspection departments in China, so as to achieve effective technical guarantee for the overall quality of construction projects in our country.

Key words： construction quality; concrete strength; infrared imaging method; ultrasonic penetration method

在实际建筑工程实践中，混凝土强度可能受到原材料品质、混合比例、搅拌均匀度、养护条件和施工工艺等多种因素的影响。如水泥质量、砂石级配是否合理，水和添加剂的计量是否准确，养护温度和湿度是否得到控制，都会对混凝土强度产生显著影响。因此，在建筑工程中，必须通过严格质量控制措施，如对原材料选择、配合比设计、生产过程监控、养护制度实施及强度检测制度等，同时合理应用混凝土强度检测技术，以确保混凝土强度满足施工设计要求，为建筑工程整体质量奠定良好基础。

一、混凝土强度对建筑工程质量的影响分析

首先，混凝土强度是决定建筑承载力关键因素。在设计阶段，结构工程师会根据预期建筑负荷选择合适的混凝土强度等级。如果混凝土强度达不到设计要求，可能会导致结构承载能力不足，进而影响整体安全性能。例如，承重墙、柱子、梁和楼板等关键承重构件若使用强度不合格混凝土，可能在承受重载或极端环境（如地震）时产生裂缝甚至倒塌。

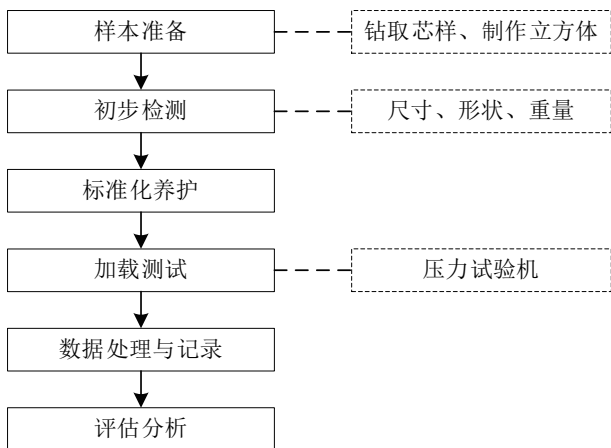
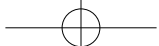
其次，混凝土强度与结构耐久性密切相关。合格的混凝土强度有助于提高抗冻性、耐磨性和抗渗性，从而保障结构耐久性。在多变自然条件下，耐久性良好的混凝土可以有效抵御风化、腐蚀和磨损等现象，保持结构完整性和使用功能。反之，若混凝土强度不足，会加剧材料劣化速率，缩短建筑物寿命。

最后，混凝土强度对建筑维护成本具有显著影响。使用了高强度混凝土的结构，其抗裂性和稳定性更高，维护和修复的需求较低。而强度不足的混凝土，则可能导致频繁的裂缝、剥落等问题，增加了维护修复成本以及间接的运营成本^[1]。

二、建筑工程质量检测中混凝土强度检测技术分析

（一）破坏性检测

建筑工程质量检测阶段，混凝土强度检测破坏性检测技术，是通过混凝土样本进行破坏来评定其力学性能，尤其是抗压强度。相比非破坏性检测，破坏性检测可获取准确、直接的强度数据，但缺点是无法对结构本身进行连续和完整性评估，只能针对取样进行分析。图1为混凝土强度破坏性检测步骤：



>图1 破坏性混凝土强度检测步骤

步骤1，样本准备。通过标准规定的方法（例如：钻取芯样或制作标准立方体/圆柱形试件）获取试样。在此过程中，需保证样本代表被检测结构的混凝土质量。

步骤2，初步检测。对样本进行尺寸、重量和形状的检查，记录检测阶段所出现的表面裂缝、孔洞和其他缺陷。

步骤3，标准化养护。在标准化条件（设定的温度和湿度环境）下养护试样，直至预定的测试龄期。对于现场取芯样，要记录取样地点的混凝土龄期。

步骤4，加载测试。使用压力试验机对混凝土试样进行压缩强度测试，通常是持续、无冲击地加载直至样本破坏，随后记录断裂时的最大承载力。

步骤5，数据处理与记录。根据断裂承载力和样本的受压面积计算得出抗压强度。随后，基于数据记录结果，对测试结果进行统计分析，排除非正常的数据点。

步骤6，评估与分析。对测试数据进行对比分析，检查是否符合设计强度要求。

（二）非破坏性检测

建筑工程质量检测阶段，面向混凝土强度的主流非破坏性检测，包括回弹法、超声波穿透法、红外成像法、地面穿透雷达（GPR）。

1. 回弹法

回弹法是基于混凝土硬度与强度之间相关性的非破坏性检测技术。其原理是利用特定弹性重锤以一定的能量击打混凝土表面，使其产生回弹位移，通过回弹位移的大小对混凝土强度进行评估。回弹数值的大小与混凝土表面强度呈正相关。该方法适用于快速检测大面积混凝土构件的表面强度，广泛应用于现场混凝土结构质量的初步判定、成熟度评估以及已知混凝土的强度分布测定。

在应用回弹法开展建筑工程混凝土强度检测期间，需选择一个光滑、清洁、坚硬的混凝土表面作为测试区域。使用回弹仪前，应对仪器进行校准，确认无误后方可开展测试。测试时，平稳将回弹仪置于检测点上，保持回弹仪垂直于检测面，然后释放锤头进行击打。随后，收集一定数量的回弹值基础上，取其平均值，以减小单次测量的偶然误差。在此过程中，测试点之间的距离、测试点至边缘的距离以及环境温度等因素都应符合相关技术

规范的要求^[2]。

2. 超声波穿透法

超声波穿透法是一种基于声波在介质中传播特性进行的混凝土强度和结构性能检测方法。该技术原理是基于超声波脉冲在混凝土介质中的传播速度与材料性质之间存在固定关系。超声波在材料中的传播速度取决于材料的弹性模量、密度和泊松比等物性参数，这些物性参数与材料的强度有着直接或间接的相关性。当声波穿越质地均匀、无裂缝的混凝土时，其速率较快，反之，若混凝土质地不均或存在缺陷，声波会减慢，甚至散射与衰减。通常，超声波穿透法适用于无损检测混凝土的厚度、均匀性、裂缝深度，以及预测混凝土的强度等。

超声波穿透法对混凝土强度进行检测，需要使用专门的超声波检测装置，该装置主要由超声波频发射器（换能器）、接收器和数据记录/处理单元组成。在操作前，需确定检测点的布置，并根据具体要检测的混凝土结构尺寸、构造进行调整。每个检测点处，操作人员需清理表面，保证与换能器充分接触，并涂抹适量的耦合剂，以确保超声波能有效传输。换能器通常应垂直放置在混凝土表面。发射器传递超声波至混凝土，超声波在其中传播后由接收器检测到，仪器便记录穿透时间。通过计算传播时间与换能器间距的比值，获得超声波传播速度，进一步分析混凝土的性能。

尽管超声波穿透法可提供结构内部质量及强度的有效信息，但检测结果易受环境因素如温度、湿度的影响。故在检测过程中必须控制操作条件，以及提供标准化测试环境。数据解释期间，检测人员应结合混凝土材料实际配合比、施工工艺和养护条件，必要时可结合混凝土试块标准曲线或经验公式开展检测。目前，面对基于超声波穿透法的混凝土检测，我国建筑工程领域对于探头的选择并未制定统一标准，但具体选型可参考北京地区混凝土非破损测试技术研究组所提出的公式，如式1：

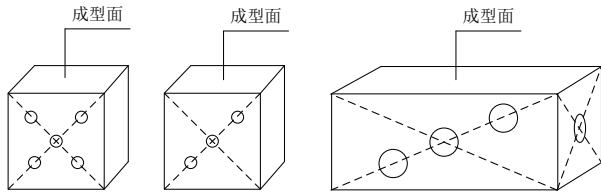
$$\frac{\lambda}{l} \leq 0.25 \sim 0.30 \quad (1)$$

式1中， λ 为波长，表1为不同测量距离下的探频率与试体最小横截面尺寸。

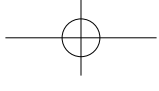
表1 基于超声波穿透法的混凝土强度检测探头选择

序列	测量距离	探头频率	试体最小横截面尺寸
1	100mm ~ 700mm	$\geq 60\text{KHz}$	70 mm^2
2	700mm ~ 1500mm	$\geq 40\text{KHz}$	150 mm^2
3	> 1500mm	$\geq 20\text{KHz}$	300 mm^2

关于测点的选择，在进行混凝土试体检测阶段，应选择成型的侧面开展测试，对探头使用直穿法进行上、中、下三至五个测点开展检测，确保检测数据可充分反映试体强度状况。具体布置方式见图2：



>图2 超声波穿透法测点布置方式



由于超声波检测只能提供间接信息，因此在实际应用中，建议将超声波穿透法与其他类型的检测方法如回弹法结合使用。目前，超声-回弹法在我国建筑工程领域已实现广泛的应用，且均取得了良好的混凝土检测效果。

3. 红外成像法

红外成像法，是基于热红外辐射原理，利用混凝土结构表面及其内部温度分布的差异进行强度评估和缺陷识别。每种物质在特定温度下都会发射特定波长的红外辐射，红外热像仪能够检测这些辐射并将其转化为温度读数，进一步形成温度分布图像。混凝土的温度场可以反映其内部结构特性，如发生裂纹或脱粘等缺陷时，热传输将受到影响，从而在热像图上显现异常区域。红外成像法适用于检测混凝土裂缝、空洞、脱粘及其他缺陷，并用于监控混凝土的养护和硬化过程。

应用红外成像法进行建筑工程混凝土强度检测阶段，其一，检测人员准备红外热像仪，并根据检测对象的特点进行参数设置，如发射率、距离等。其二，对检测表面扫描前需确保清洁干燥，避免外界因素的干扰。其三，利用红外热像仪在混凝土结构表面进行扫描，收集红外辐射数据。操作期间，保持检测设备的稳定性和检测环境的一致性。数据采集后，通过专用软件对热图像进行处理与分析，识别热异常区域^[3]。

4. 地面穿透雷达（GPR）

地面穿透雷达（GPR）是一种采用电磁波探测地下混凝土结构（如桩体）的非破坏性检测技术。其工作原理是发射脉冲式的高频微波进入混凝土内部，波段通常在几十 MHz 至几 GHz。当电磁波遇到不同介电性质的材料，如钢筋、空气、水或其他介质时，会发生反射、折射和散射现象。以下为地面穿透雷达面向混凝土强度的检测步骤：

步骤1：预检准备。在实施 GPR 检测之前，需要识别并清理目标区域的表面，移除可能影响波传播的碎片及障碍物。同时，检测人员根据具体检测需求、被检测对象材料、形状等选择适当 GPR 设备及天线频率。

步骤2，设备配置。配置 GPR 设备，这包括设置适宜的雷达天线频率、采样间隔、扫描分辨率以及其他相关参数以优化数据收集。通常，使用较高频率天线以获得更好的分辨率，但这会牺牲穿透深度，低频天线则相反。

步骤3，数据采集。将 GPR 系统沿预定路径平滑地推进，确保数据的一致性和可比性。探测过程中，设备会连续发射和接收电磁波，捕捉混凝土与内部构件界面上的反射波。为确保准确性，检测人员需沿多个方向重复扫描同一区域。

步骤4，数据记录。确保每个扫描路径的物理位置得到精确记录，便于后续数据的分析和解释。标记出地表上的参考点，并在需要时记录环境条件，如温度和湿度。

步骤5，数据处理与解释。使用专业软件对收集到的原始数据进行处理，移除可能的噪声和干扰信号，提取有价值的反射事件。通过解析反射波时延及强度，推断内部构件的位置，深度，以及可能存在的缺陷等信息。

（三）不同技术特征分析

面向建筑工程质量检测中的混凝土强度检测，回弹法、超声波

穿透法等不同技术，有着不同的优势、劣势特征以及使用条件。故而，施工单位、项目质检部门需充分掌握各项技术的特征，以采取高度匹配项目特点的技术，提升混凝土强度检测准确性^[4]。表2为面向混凝土强度检测的不同技术优势、劣势与使用条件：

表2 不同混凝土强度检测技术特征表

检测技术	技术优势	技术劣势
回弹法	操作简单、快速	数据受表面粗糙度和硬度影响较大
	便携式设备，现场即可获得结果	结果受混凝土龄期和碳化深度的影响
	经济成本较低	只能近似评估混凝土表面附近的强度
超声波穿透法	适用于深层混凝土和结构检测	受混凝土密实度、湿度和温度影响较大
	无损伤，可多次重复测试	检测结果需经验丰富的技术人员解析
	提供混凝土内部的均匀性信息	需要在两侧可接近的表面放置探头，对封闭结构不适用
红外成像法	实时监测，可以实时监测混凝土内部的热变化状态。	表面覆盖限制，表面涂层或覆盖物可能导致结果误差。
	易于操作，使用红外热像仪进行检测比较简单，不需要复杂的预处理程序。	解释数据复杂，热图像需要专家进行解析，可能出现误判。
	广泛的适应性，可以用于不同大小和形状的混凝土构件的检测。	检测深度限制，深层缺陷可能无法检测。
地面穿透雷达 (GPR)	可以获得混凝土内部的结构图像	对湿度、盐分等因素敏感，数据解释复杂
	可探测到钢筋布置、洞、裂缝及其他隐蔽性问题	设备成本高，操作和数据分析需专业知识
	适用于大面积、快速检测	无法直接测定混凝土的强度，只能间接评估

结语：

综上，本文针对建筑工程质量检测期间面混凝土强度的检测技术进行研究，在详细分析回弹法、超声波穿透等方法的原理、操作要点基础上，对不同方法的优势、劣势进行对比分析。建筑工程施工单位、质检单位进行混凝土强度检测阶段，对于技术的选择，除考量本文对技术特征的分析之外，还需注意不同技术的优势、劣势可能会随着实际操作条件、检测目的、被检测结构的特性和要求准确度而有所变化。故而，施工单位技术必选期间，还需严格结合工程的具体情况决定最合适的测试方法，并由专业人员执行、解析检测结果。

参考文献

- [1]陈衣盈. 某市政道路旧路路面检测分析 [J]. 广东建材, 2023, 39(12): 44-46.
- [2]徐超杰, 苏晓辉. 基于超声波无损检测的混凝土抗压强度试验研究 [J]. 建筑机械化, 2023, 44(11): 26-29.
- [3]韩春雷, 杨亮, 晁广阔等. 弧面对压法检测蒸压加气混凝土抗压强度技术研究 [J]. 建筑结构, 2023, 53(21): 122-126.
- [4]何方超. 水泥混凝土路面浅层强度冲击贯入法检测研究 [J]. 交通世界, 2023, (31): 103-105.