

混凝土结构钻芯法强度检测精度影响因素分析

杨 英

芜湖科欣建设工程检测有限责任公司, 安徽 芜湖 241100

[摘要]在混凝土结构强度检测里, 钻芯法因具有直接性和代表性而被广泛运用, 检测精度受芯样尺寸效应、端面平整度、龄期不同、钻芯位置和方向、养护和加载条件等多种因素影响, 有些因素会使强度结果变低或者变高进而影响结构安全评估的准确性, 通过结合典型案例和实验数据分析各个因素对检测结果的影响程度, 进而提出优化检测参数和施工工艺的办法以提高检测精度和评估可靠性, 为混凝土工程质量控制提供技术支持。

[关键词]钻芯法; 强度检测; 精度控制; 芯样处理; 混凝土结构

DOI: 10.33142/ec.v8i6.17252

中图分类号: TU755.7

文献标识码: A

Analysis of Factors Affecting the Accuracy of Strength Testing Using Core Drilling Method for Concrete Structures

YANG Ying

Wuhu Kexin Construction Engineering Testing Co., Ltd., Wuhu, Anhui, 241100, China

Abstract: In the strength testing of concrete structures, the core drilling method is widely used due to its directness and representativeness. The detection accuracy is affected by various factors such as the size effect of the core sample, the flatness of the end face, different ages, the position and direction of the core drilling, and the curing and loading conditions. Some factors may cause the strength results to decrease or increase, which affects the accuracy of structural safety assessment. By combining typical cases and experimental data to analyze the impact of various factors on the detection results, methods for optimizing detection parameters and operating processes are proposed to improve detection accuracy and evaluation reliability, providing technical support for quality control of concrete engineering.

Keywords: core drilling method; intensity testing; precision control; core sample processing; concrete structure

引言

结构工程里混凝土是主要材料, 建筑物安全与耐久性及其强度直接相关, 钻芯法检测结果直观又可靠, 现阶段常被用来评估混凝土实际强度, 但实际检测时影响精度的因素复杂, 操作细节、材料特性常带来误差干扰判断, 准确识别控制这些关键影响因素对提高检测有效性和工程评估准确性很关键。

1 钻芯法检测技术概述与误差来源分析

1.1 钻芯法基本原理与流程

钻芯法这种检测手段是通过在混凝土结构构件上钻取圆柱形芯样并对其进行力学试验来评估抗压强度的, 能较为直接地反映结构实际受力状态下混凝土的强度水平, 其一般流程包含钻芯取样、芯样加工、养护处理和抗压强度测试等环节, 且整个过程要在不破坏结构整体承载力的情况下进行以确保芯样有代表性和完整性。

我国现行的《GB/T 50728—2011 混凝土强度现场检测技术规程》在标准化操作方面对钻芯法相关的实施步骤、设备参数、芯样尺寸、高径比、端面处理、加载速率等都有着明确要求, 钻芯法里规程规定芯样高径比在 1.0~2.0 之间为宜且芯样端面要平整并将误差控制在 $\pm 0.02\text{mm}$ 以内以保证受力均匀性, 芯样直径不能小于 50mm 且强度检

测设备也得确保经校准认证以提高测试结果有效性。

1.2 检测误差来源初步分类

钻芯法检测误差的来源大体能分成样品提取、样品加工养护、加载试验三个环节, 在样品提取阶段, 芯样的代表性与完整度会被钻芯位置的选择、方向的控制以及操作技术直接影响, 钻芯时若芯样有裂缝、空洞或者掉角情况, 试样就会失去结构连续性, 抗压强度值便会出现偏差。

取出芯样之后得对其进行切割、端面磨平以及标记编号等加工处理, 在这个阶段若切割不垂直、端面不平整就可能引发加载不均和局部应力集中从而影响试验结果, 并且芯样的养护条件也很重要, 若处于干燥或者高温环境中强度容易降低, 在高温季节或者干燥的施工现场芯样失水后强度结果常低于真实水平。

在加载测试阶段, 试验机的精度、加载速度以及操作人员的经验是误差的主要来源, 并且加载速率太快时应力可能突变, 导致试样提前被破坏, 影响测试结果的准确性, 加载中心没对准芯样轴线也会使芯样倾斜破坏或者剪切破坏, 从而让实际强度值和标准值不一样。

1.3 误差影响的定性说明

芯样截面形状与面积受切割偏差的影响特别明显, 芯样两端面要是不平行或者端面和轴线倾斜, 加载的时候心

力轴就会偏移且应力分布不均匀,试样局部先被破坏而强度值也就低了,端面不垂直误差每多 1 度强度结果可能就下降 3%,这是误差的关键来源之一。

钻芯方向与混凝土浇筑方向之间的关系对检测结果有着显著影响,通常芯样垂直于浇筑方向时内部气泡、骨料排列以及施工冷缝的影响小,检测结果更接近真实情况,而沿浇筑方向取芯容易受重力沉积和分层现象影响,造成局部密实度降低,抗压强度数值就可能低于结构实际水平,钻芯方向的选择得结合结构构件浇筑工艺和受力方向进行科学评估。

2 材料因素对检测精度的影响分析

2.1 混凝土龄期

混凝土强度随龄期不断发展,尤其早期 28d 内增长快之后就趋于缓慢,实际工程中钻芯法检测常是在混凝土结构使用多年后这时候的龄期远远超出实验室标准试验的 28 天基准龄期,相同配比的混凝土不同龄期检测出的强度值差异较大得结合时间因素修正这是必须的。

混凝土后期强度在不同环境下发展速度差别很大,在潮湿环境里水泥水化能长期进行后期强度可能会不断增长而在干燥或者碳化环境下水化过程会减慢甚至停止芯样强度会出现增长停滞或者下降的情况,检测精度分析时要修正计算芯样当前龄期和原龄期之间的等效强度关系,按《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T50728-2011)推荐的龄期折减系数,龄期超 1 年的混凝土强度折减可近似参考下表 1。

表 1 强度折减

龄期(月)	折减系数(f_{28} 为基准)
1~3	1.05~1.10
3~6	1.00~1.05
6~12	0.95~1.00
>12	0.90~0.95

2.2 骨料粒径与分布

在混凝土里,骨料不光起骨架支撑作用,对力学性能和结构密实性也有着决定性影响,芯样的完整性和强度稳定性与骨料粒径大小、颗粒级配以及分布均匀性直接相关,若用粒径大的骨料且芯样直径又小(像 $\phi 50\text{mm}$ 这种),芯样里可能没多少粗骨料,这会使局部结构不均匀且试样力学性能不稳定,尤其是结构非均质区域,若芯样里正好没有典型骨料或者骨料分布偏离中心轴线,抗压强度测试值可能偏高或者偏低,误差波动相当明显。

另一方面,混凝土内部的弱界面常被视作骨料与水泥浆体间的粘结界面,若骨料分布不均、表面光滑或者和浆体结合力不够,受压加载时,界面容易剥离且裂纹容易扩展,这会影响芯样整体承载能力,研究显示,粗骨料体积含量超 50%时,由于粒径干扰、界面效应,抗压强度测试误差能到 $\pm 8\%$,实际钻芯检测时,优先选骨料分布均匀、构件应力均衡区域,并且适当加大芯样尺寸,如用 $\phi 75\text{mm}$ 的,以增强样本代表性,让测试数据更稳定、更准确。

2.3 水灰比与添加剂

混凝土的密实度和强度核心由水灰比决定,水灰比低时混凝土致密且强度高,水灰比一高就容易形成毛细孔通道,这会使强度降低并让试样在钻芯取样时产生微裂纹,进而影响检测数据的可靠性。

现代混凝土里各种各样的化学外加剂(如减水剂、缓凝剂、膨胀剂等)被广泛使用,这些成分对水泥水化进程与浆体结构影响很大。高效减水剂可显著提高早期强度,但使用不当或分布不均会使局部结构出现差异并影响芯样强度的一致性。高强混凝土(C50)受化学添加剂的影响更大,强度波动范围可达 ± 5 到 10%,高强混凝土检测时要格外留意配合比设计背景和添加剂使用历史,以保证分析结果有技术依据。

3 钻芯操作及试件处理工艺因素影响分析

3.1 钻芯设备与操作精度

芯样质量被钻芯设备的性能决定性地影响着,设备转速快了,芯样周边容易出现热损伤或者微裂纹扩展,而转速慢了,钻芯时间可能会延长,还会有偏斜或者夹渣现象,从而影响芯样完整性。冷却水要是供给不充足,钻头和混凝土剧烈摩擦就会产生高温,使浆体界面被软化,芯样表层组织就疏松了,强度也就降低了,合理的转速和连续的冷却水流得以维持是芯样完整性得以保障的技术前提。

芯样垂直度受操作角度影响很大,钻芯轴线与构件轴线夹角大时得到的芯样会明显偏心,易使芯样一端受压过度,加载时应力集中,从而出现斜裂缝甚至劈裂破坏,严重影响抗压强度数值,标准规定芯样轴线偏斜角度得小于等于 2° ,实际操作要靠导向装置或者激光辅助工具来控制角度。

整个取样过程的规范性与稳定性直接受操作人员技能水平和经验的影响,新手操作人员在钻芯时,常出现偏斜、断裂、打滑之类的情况,使得芯样结构非均质或表面破损,而技术熟练的操作人员能对钻进深度、力度、退出节奏加以控制,确保芯样完整均匀,统计显示,操作误差可让强度测试误差达 $\pm 5\%$,这是影响检测精度的重要因素不容忽视。

3.2 芯样端面处理与养护条件

芯样抗压试验结果受两端面平整度的重要影响,端面要是有明显凹凸或者不垂直,加载时试验机压力就会不均匀分布从而产生偏压破坏,芯样实际强度也会被显著低估,标准规定,端面磨平处理后平整度得控制在 0.02mm 以内,不然就得用硫磺胶泥或者环氧树脂进行端面修补以提高受压均匀性。

芯样强度的恢复与保持养护条件也很关键,钻取后的芯样长时间处于干燥环境就很容易脱水碳化从而强度会明显降低,反之过度浸泡也会让水泥浆体结构微观发生变化导致强度下降,将芯样放在 $20\pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $\geq 95\%$ 的标准环境养护能有效稳定其内在力学性能,养护时间一般 24~48h 且结构龄期和施工环境不一样的话可以适当调整。

实际检测时,不同养护方式造成的强度波动差别不小,同一批芯样在自然通风环境放 48h 再检测,与标准湿养条

件下的测试结果相比要低 8%,要想测试结果稳定又可比,就得严格按标准统一养护,大体积结构或者高强混凝土工程更是得把每个环节都把控好。

2.3 芯样尺寸效应

芯样尺寸特别是高径比 (L/D) 直接影响强度计算,标准提出混凝土芯样高径比宜在 1.0~2.0 之间且 1.0 或 1.5 为理想值,高径比过低(像 $L/D < 1.0$ 这种情况)时试件两端约束效应增强且破坏模式偏离受压破坏从而强度偏高,高径比过高时芯样中部可能剪切或弯曲失稳进而强度被低估。

在实际工程里,构件厚度或者结构会有所限制,这就常导致芯样高度不够或者钻取芯样之后得截短处理,进而高径比很难达到标准,这种时候得按照折减系数对强度进行修正, L/D 为 1.0 的试样测试值要是 35MPa,在 L/D 等于 1.5 的时候就得乘以大概 0.96 的折减系数,算出实际等效强度为 33.6MPa 以去除尺寸效应的干扰。

钻芯操作时,骨料突起、孔隙率和钻头摩擦对小直径芯样(如 $\phi 50\text{mm}$)影响更大,会使结构局部微裂或者抗压面不完整进而影响试验结果,而 $\phi 75\text{mm}$ 及尺寸的芯样结构代表性和抗偏差能力要好些,想提升检测结果的准确性,重要的是选择合适尺寸并根据高径比合理换算。

4 结构因素与环境条件对检测结果的干扰作用

4.1 结构构件部位影响

在混凝土结构里,浇筑、振捣以及和模板的接触条件在不同部位存在差异,这使得密实度不一样,进而芯样强度结果也受到影响,边角部位混凝土振捣常很困难,会滞留较多气泡,密实性比较差,强度比核心区域低,而结构核心区的混凝土包围性强,收缩应力小,密实性佳,强度相对较高,钻芯部位要是选得不合适,很容易出现代表性偏差,从而整体评估就会受到影响。

受力与硬化过程中不同构件类型表现有别,梁类构件受自重与荷载产生的弯矩作用,其受拉区和受压区混凝土结构特性不一样,柱构件大多受压,混凝土密实度较高,芯样强度往往略好,板类构件厚度小且受力均匀,其混凝土强度更受浇筑方式与施工顺序影响,得结合构件受力特点和几何布置科学选钻芯部位以提高检测代表性。

结构构件的高度、浇筑层次不一样强度就会有差异,就像高层构件浇筑时混凝土从上往下沉积、离析,下层混凝土密实度比上层高,这种构件要是上部钻芯取样检测值也许会比真实结构平均强度低,那就得调整钻芯位置或者对比不同高度的样本去修正。

4.2 环境暴露条件

在服役期间,混凝土结构常暴露于多变的自然环境里,在温差大、昼夜温度梯度明显的地区,混凝土表层热胀冷缩频繁且微裂纹极易产生,这会影响钻芯试样的完整性与强度,北方寒冷地区尤其如此,冻融循环对表层混凝土的劣化作用显著且表面与内部混凝土性能差异明显。

干湿循环对表层强度有着另一个关键影响,由于混凝土表层长期遭受雨水与风干交替作用,会发生干缩、碱-

骨料反应之类的化学变化,微观结构变得松散,强度降低,钻芯取样深度要是不够,只反映表层混凝土性能的话,检测结果往往会低估整体结构的强度水平。

室内或地下构件(像地下室墙体、楼板)和外露构件(像阳台、屋面板、立柱)相比,环境作用于二者的差异很显著,且老旧结构使用年限长,这种情况下表层混凝土和内部混凝土的强度差异可能会达到 10%到 15%甚至更明显,要保证芯样有代表性,钻芯深度得够,还得结合环境暴露情况综合评估才好。

4.3 长期使用后的碳化与腐蚀作用

在混凝土长期服役过程中,混凝土碳化这个物理-化学过程不可避免,水泥水化产物与空气中的二氧化碳发生反应生成碳酸钙会使混凝土碱性降低、结构孔隙率增大,钻芯样本要是大多处在碳化层范围内,结构致密性和抗压强度都会下降、容易误判结构劣化程度,检测之前,得用喷洒酚酞试剂或者别的碳化深度测定方法来评估碳化层厚度以确定合理的钻芯深度。

除了碳化,周围混凝土结构也会被钢筋锈蚀引发的体积膨胀所破坏,当混凝土保护层薄、钢筋腐蚀严重时,周边混凝土会有微裂、剥落现象,导致芯样结构完整性下降且抗压性能减弱,钻芯要是涉及锈蚀钢筋区,常会有局部缺陷或者裂纹,使得测试结果降低。

混凝土长期性能也会受化学腐蚀环境(像氯盐侵蚀、硫酸盐侵蚀这类情况)影响,就拿海工结构来说,氯离子穿透会让钢筋锈蚀且水泥胶结结构也会被破坏,芯样表面因此变得酥松,强度显著下降,构件长期使用后,钻芯检测之前得结合耐久性调查、碳化与腐蚀状况来判定芯样质量,这样才能保证测试结果有实际参考价值。

5 结语

钻芯法是评估混凝土结构实际强度的重要手段,不过材料性质、钻芯操作、试件处理、结构与环境条件等诸多因素会综合影响钻芯法的检测精度,因此要确保检测结果科学且具代表性就得充分识别这些影响因素并合理控制,在实际工程应用时按照相关标准,结合构件特点、服役环境来优化取样方案和试验流程,从而提高检测数据的准确度、可靠性,为混凝土结构安全评估、维修加固提供有力支撑。

【参考文献】

- [1]孙学龙.回弹-钻芯法在混凝土抗压强度检测中的应用研究[J].北方建筑,2024,9(6):36-40.
 - [2]王春香,刘玉宝,王海东.混凝土结构强度检测技术在建筑工程中的应用研究[J].砖瓦,2025,11(1):103-106.
 - [3]千明德,王梓晨,刘宁.钻芯法检测混凝土强度中欧标准比较研究[J].四川水泥,2025,12(4):61-64.
 - [4]杨连喜.基于钻芯法检测水利水电工程混凝土强度的实验研究[J].建材发展导向,2024,22(8):70-72.
- 作者简介:杨英(1983.6—),毕业院校:大连理工大学,所学专业:工程管理,当前就职单位:芜湖科欣建设工程检测有限责任公司,职务:综合室主任,职称级别:中级。