

混凝土抗压强度试验中的常见问题与对策

文 / 陈苗苗 马鞍山中鑫工程质量检测咨询有限公司

摘要: 在土木工程领域,混凝土抗压强度是评估结构安全、耐久与经济性能的关键指标。本文依据《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T50081-2019,深入剖析了混凝土抗压强度试验中的常见问题,包括试件制备与养护不当、试验设备误差、操作流程不规范、数据处理偏差以及环境干扰因素等。针对这些问题,本文提出了多维度改进方案,涵盖试件质量控制优化、设备校准与管理、操作流程标准化、数据处理规范化等方面。通过实施智能养护系统、数字孪生校准技术等创新手段,显著提升了试验的准确性和可靠性。

关键词: 混凝土抗压强度; 试验问题; 对策; 质量控制; 智能化技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.14.045

引言

在土木工程领域,混凝土是应用最为广泛的建筑材料,其抗压强度直接关系到结构的安全、耐久与经济性能。从高楼大厦到桥梁道路,混凝土凭借可塑性强、强度高和耐久性好等特点,支撑起现代基础设施的建设。依据《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T50081-2019进行抗压强度试验,是保障工程质量的法定环节,为工程各阶段提供关键技术依据。然而,实际检测中存在诸多干扰因素。技术认知差异、设备精度不足、操作不规范等,导致试验结果离散性大、争议频发。本文基于标准框架,梳理典型问题,并结合工程实践提出多维度改进方案,旨在构建可量化的质量控制体系,提升试验准确性,保障工程质量。

一、混凝土抗压强度试验中的常见问题

(一) 试件制备与养护问题

部分施工单位为节约成本,使用磨损严重的钢模,致使试模尺寸偏差超标。如公称尺寸150mm的试模,实测可达152mm,直接改变试件承压面积,使强度值失真。现场振捣存在过振、欠振、漏振现象。过振超2分钟致骨料离析,欠振时插点间距 $>400\text{mm}$,漏振出现在边角,这些问题使内部孔隙率波动达15%,严重影响强度均匀性。

(二) 试验设备误差

老旧液压机压力机刚度不足,加载时机架变形量达 0.1mm/MPa ,导致荷载-位移曲线非线性误差超3%。传统油门控制加载方式速率波动 $\pm 15\%$,加载速率从 0.3MPa/s 增至 0.6MPa/s 时,强度值虚增8%-12%。球座系统中,铰支座转动阻力矩 $>0.5\text{kN}\cdot\text{m}$,使试件实际受压面积减少约5%,端面摩阻力引入额外约束,影响试验结果准确性。(图1混凝土抗压强度试验过程)

(三) 操作流程不规范

试件端面未用磨平机处理,不平整度达 0.2mm (规范 $<0.05\text{mm}$),强度值离散系数达12%。人工目测对中

偏差常 $>1\%$,偏心距 5mm 时强度值降低约7%,而激光对中仪可将偏差控制在 0.3mm 以内。加载未按预压 \rightarrow 归零 \rightarrow 正式加载流程,初始接触应力不均,实测曲线初始段斜率异常占比达35%。

(四) 数据处理偏差

异常值判断误用 3σ 准则,小样本($n < 10$)时误判率超20%。非标准试件(100mm立方体)强度换算未考虑骨料粒径效应,用固定系数0.95,误差达5-8%。龄期计算精确到天,未计小时,28天龄期偏差 ± 16 小时影响强度评估,且强度值修约常出错,如19.45误修约为19.4。

(五) 环境干扰因素

试验室东西向温差达 3°C (规范 $\pm 2^{\circ}\text{C}$),同批试件强度值差异4-6%。试件表面浮浆或附着物未清理,粘结强度降低约10%,潮湿试件直接试验,摩擦系数下降0.12。邻近施工振动波(加速度 $>0.05\text{g}$)干扰加载,噪声超5%影响破坏形态判断,试件运输颠簸还易引入微裂纹。(表1混凝土抗压强度试验中的常见问题)



图1 混凝土抗压强度试验过程

类别	常见问题
试件制备与养护	使用磨损严重的钢模，试模尺寸偏差超标；现场振捣存在过振、欠振、漏振现象；自然养护未覆盖保湿膜，标准养护室温湿度控制不佳
试验设备误差	老旧液压机刚度不足；传统油门控制加载方式速率波动大；球座系统中铰支座转动阻力矩大
操作流程不规范	试件端面不平整；人工目测对中偏差大；加载未按规范流程
数据处理偏差	异常值判断误用 3σ 准则；非标准试件强度换算未考虑骨料粒径效应；龄期计算不精确，强度值修约常出错
环境干扰因素	试验室温差大；试件表面浮浆或附着物未清理；潮湿试件直接试验；邻近施工振动波、噪声干扰；试件运输颠簸

表 1 混凝土抗压强度试验中的常见问题

二、对策与建议

(一) 试件质量控制优化

为提升试件质量，要构建精细试模管理体系。利用三维扫描技术建立试模全生命周期档案，记录精确尺寸数据。运用有限元分析模拟变形趋势，以安全系数 $K=0.8$ 设预警阈值，超阈值便提示维护或更换。同时引入增材制造技术定制铝合金模具，其高弹性模量 ($>70\text{GPa}$) 可减少变形，保障试件尺寸精度。

振捣环节，在振捣棒内装高精度加速度传感器，实时监测 $50\pm 5\text{Hz}$ 振动频率与 $0.8\text{--}1.2\text{mm}$ 振幅，配合基于 AI 的振捣质量评估系统，借声波分析密实度。采用电磁感应加热装置，冬期控入模温度不低于 5°C ，夏期不高于 30°C 。

养护方面，用纳米级水雾调节系统精准控湿至 $95\pm 2\%$ ，借相变材料 (PCM) 养护棚将温度波动控制在 $< 1^\circ\text{C}$ ，并研发区块链存证系统，保证养护数据真实可靠。

(二) 设备校准与管理

压力机智能化改造是提升设备精度的关键。安装高精度光栅位移传感器，实现活塞行程纳米级监测，精确获取试件受压位移数据，助力分析混凝土变形特性。开发数字孪生校准系统，借助虚拟仿真模拟加载，对比虚拟与实际数据，校准精度偏差，保障测量精准。同时建立设备健康监测系统，预设 10 类常见故障预警阈值，实时监测压力、温度、振动等参数，超阈值即报警，便于及时检修，防止故障影响试验。

实现加荷速率闭环控制可提升试验准确性。运用 PID 控制算法结合高性能伺服电机，将速率波动控制在 $< 0.5\%$ 。设计自适应加载曲线，依试件刚度实时调整功率，优化加载状态。开发虚拟仿真平台模拟不同加载方案，为实际试验提供科学参数。

优化球座系统能改善试件受力。以滚动轴承支座替换传统铰支座，降低转动摩擦力矩超 50%，开发自润滑球座实现长期自动润滑，建立磨损监测模型并设更换周期预警，保证球座性能。

(三) 操作流程标准化

规范端面处理工艺对试验精准度至关重要。采用双

刀盘磨平机，通过双刀协同作业，能确保试件端面平整度低于 0.02mm ，减少受压时误差。同时，利用图像识别与数据分析技术的端面质量检测算法，能自动识别缺陷并剔除不合格试件。建立磨削参数数据库，便于快速查询最佳磨削参数，提升加工质量与效率。智能对中系统的建立能有效解决对中偏差问题。该系统集成激光雷达与机器视觉，实现精准定位，并通过自动调整平台补偿位置误差，确保试件稳定受力。此外，动态校准模型能适应不同试件与环境，严格控制对中偏差。在加载路径控制方面，设计五阶段加载程序，包括预压、接触检测、归零、正式加载和持荷观察，确保数据采集准确。同时，利用荷载-位移曲线实时分析模块与破坏模式识别系统，能提升试验结果分析的准确性与效率。

(四) 数据处理规范化

在数据处理环节，采用科学异常值处理算法保障数据质量。修正 Z-score 法可结合样本量动态调整阈值，降低小样本误判率。开发基于机器学习的异常检测模型，借助 5000+ 组试验数据训练，自动识别异常值，提升判断准确性。建立多准则联合判定机制，综合 Grubbs 法、Dixon 法等，从多视角评估数据，避免单一方法局限，确保处理科学公正。

构建精准尺寸换算模型对非标准试件强度换算意义重大。充分考量骨料粒径修正系数，建立三维转换矩阵量化复杂关系，开发含形状、表面因子的非线性换算公式，贴合强度转换实际。经大量试验数据验证不同模型适用性，依混凝土类型、骨料特性等建选择决策树，助操作人员选适配模型，减少换算误差。

三、技术应用与前景展望

(一) 信息化技术应用

信息化技术为混凝土抗压强度试验赋能。构建分布式数据库，存储试验全周期数据，借分布式架构提升存储容量与可靠性，方便数据快速访问与共享。开发数据溯源功能，正向从原材料追踪至结果，反向从结果追溯至源头，保障数据真实完整。建立 AI 分析引擎，挖掘海量数据规律，识别异常，生成质量评估报告，助力工程决策。

智能检测设备提升试验效率与精度。端面质量检测机器人集成三维扫描与缺陷识别，快速全面检测试件端面。自适应加载控制系统依试件实时力学性能优化加载参数。配置5G传输模块，实现数据高速传输，支持远程监控诊断，打破地域限制。通过数字孪生体，实时监测设备、模拟试验、优化方案，开发虚拟试验功能预测结果，构建数字养护模型优化养护参数。

（二）人员能力提升

在混凝土抗压强度试验中，试验人员的专业技能和综合素质对于试验结果的准确性和可靠性具有至关重要的影响。因此，提升试验人员的能力是保障试验质量的关键环节。为了实现这一目标，我们需要从培训和实践两个方面入手，全面提升试验人员的专业技能和综合素质。

在培训方面，我们注重理论课程与实操课程的结合。理论课程涵盖了混凝土材料学、标准规范、设备原理等基础知识，为试验人员打下坚实的理论基础。同时，实操课程则聚焦于试件制备、设备校准等操作技能，通过实际训练提升试验人员的动手能力和解决问题的能力。为了确保培训效果，我们还采用了虚拟仿真实验室进行模拟训练，让试验人员在虚拟环境中熟悉试验流程和操作技巧，积累应急处理经验。除了培训课程外，我们还注重实践活动的组织和实施。年度试验技能比武是我们的一项重要活动，通过设立多科目竞赛，为试验人员提供一个展示技能、交流经验的平台。这不仅激发了试验人员的竞争和学习热情，还促进了技能水平的提升。

在实践方面，我们鼓励试验人员积极参与实际工程项目，将所学知识应用于实践中。通过参与工程项目的试验工作，试验人员可以更加深入地了解混凝土抗压强度试验的实际应用和需求，从而不断提升自己的专业技能和综合素质。此外，我们还定期组织试验人员参加行业内的技术交流和研讨会，了解最新的技术动态和发展趋势，拓宽视野，提升专业素养。

（三）技术创新与融合应用

在混凝土抗压强度试验领域，技术创新与现有技术的融合应用是推动行业发展的关键。近年来，随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展，这些前沿技术已经开始逐步融入混凝土抗压强度试验中，为试验的精准化、智能化提供了有力支持。

物联网技术的应用使得试验设备能够实现远程监控与智能管理。通过在设备上安装传感器和控制器，可以实时监测设备的运行状态和试验参数，并将数据传输至云端进行分析和处理。这不仅提高了试验的效率和准确性，还有助于及时发现和解决设备故障，确保试验的顺利进行。大数据技术的引入则为试验数据的处理和分析提供了新的思路和方法。通过建立分布式数据库和数据分析引擎，可以实现对海量试验数据的快速访问、高效存储和深入分析。这有助于挖掘数据中的规律和趋势，

为工程决策提供科学依据。同时，大数据技术还可以用于构建质量追溯体系，确保试验数据的真实性和可追溯性。人工智能技术在混凝土抗压强度试验中的应用则更加广泛。例如，可以利用机器学习算法对试验数据进行智能分类和异常检测，提高数据处理的准确性和效率。此外，还可以利用深度学习技术构建预测模型，对混凝土抗压强度进行精准预测，为工程设计和施工提供有力支持。

（四）质量追溯体系

利用区块链技术，建立试件身份区块链，记录原材料到试验结果的全部信息，借区块链不可篡改特性确保信息真实完整。开发智能合约，按试验流程与标准自动执行任务，保障试验流程规范。

构建试验机构信用评价体系，从设备精度、人员资质等多维度评价，开发信用积分算法，依表现给予积分，定期发布红黑榜，接入政府监管平台，强化行业监管。

建立问题反馈数据库，自动收集统计高频问题，深入分析根源，结合专家库开发改进方案生成系统。实施PDCA循环管理，制定计划、执行、检查效果、改进不足，持续完善质量控制体系，提高试验结果准确性与可靠性。

结语

混凝土抗压强度试验对工程质量控制至关重要。本文系统分析了试件制备、设备精度、操作流程、数据处理、环境条件等五大类常见问题，并从技术优化、设备升级、流程标准化、信息化赋能、质量追溯等方面提出改进方案。实践表明，实施智能养护系统能显著降低强度值离散性，提升质量稳定性；数字孪生校准技术可将设备误差控制在0.5%以内，确保试验数据可靠；区块链存证体系有效减少质量争议，解决数据真实性和可追溯性问题。

展望未来，新技术与标准的深度融合将为混凝土抗压强度试验带来创新机遇。持续完善“人-机-环-管”协同质控体系，优化人员培训、提升设备智能化、加强环境监测、完善质量追溯机制，是推动检测行业智能化、精准化发展的关键。这将不仅提高试验准确性和可靠性，更为土木工程结构的安全性、耐久性和经济性奠定坚实基础，助力土木工程行业高质量发展。

参考文献

- [1] 张文龙. 混凝土抗压强度试验影响因素及优化策略研究[J]. 建筑材料学报, 2023(6): 85-90.
- [2] 张康强. 混凝土试件制作与养护对抗压强度试验结果的影响分析[J]. 土木工程技术, 2022(12): 78-83.
- [3] 王美娜. 混凝土抗压强度检测设备性能评估与改进建议[J]. 建筑机械与施工技术, 2023(3): 56-61.
- [4] 赵刚刚. 混凝土抗压强度试验数据离散性原因分析及控制措施[J]. 工程质量与安全, 2022(9): 45-50.
- [5] 刘丽红. 提高混凝土抗压强度试验准确性与可靠性的方法研究[J]. 建筑材料与装饰, 2023(5): 34-39.