

水泥及混凝土力学性能检测与研究

江博

安徽省路桥试验检测有限公司

【摘要】为有效检测工程质量和结构安全,其关键指标在于水泥及混凝土力学性能,采用规范化检测方法,对检测数据进行深度分析,以此为依据确定材料的性能。本文系统阐述了水泥及混凝土力学性能检测的标准体系、试验方法与技术要求,涵盖抗压强度、抗折强度、弹性模量、劈裂抗拉强度及粘结强度等核心指标。以某C40混凝土配合比验证试验为实例,详细介绍了试件制备、加载控制、数据采集及结果评定过程。试验结果表明:28d抗压强度实测值48.6MPa,达到设计强度的121.5%;抗折强度实测值5.8MPa,弹性模量34.2GPa,劈裂抗拉强度3.2MPa,各项指标均满足GB/T 50081及JGJ 55规范要求,且强度保证率高于95%。研究表明,严格遵循标准试验方法、精准控制试验参数是确保检测结果可靠性的基础,采用动态评定方法用于工程质量控制中,并积极引入智能化检测技术和AI预测模型,提高水泥及混凝土力学性能检测的水平。

【关键词】水泥;混凝土;力学性能;检测方法;抗压强度;配合比验证

Testing and Research on the Mechanical Properties of Cement and Concrete

Jiang Bo

Anhui Provincial Road and Bridge Testing and Inspection Co., Ltd.

【Abstract】To effectively assess engineering quality and structural safety, the key indicators lie in the mechanical properties of cement and concrete. By employing standardized testing methods and conducting in-depth analysis of test data, material performance can be accurately determined. This paper systematically outlines the standard framework, testing methodologies, and technical requirements for evaluating the mechanical properties of cement and concrete, covering core parameters such as compressive strength, flexural strength, elastic modulus, split tensile strength, and bond strength. Using a C40 concrete mix verification test as an example, the paper details the specimen preparation, loading control, data acquisition, and result evaluation processes. Test results show that the 28-day compressive strength measured at 48.6 MPa reached 121.5% of the design strength; the flexural strength was 5.8 MPa, the elastic modulus 34.2 GPa, and the split tensile strength 3.2 MPa—all meeting the requirements of GB/T 50081 and JGJ 55 standards with a strength reliability rate exceeding 95%. The study emphasizes that strict adherence to standardized testing methods and precise parameter control are fundamental to ensuring reliable results. The application of dynamic evaluation methods in quality control, coupled with the integration of intelligent testing technologies and AI prediction models, significantly enhances the accuracy of mechanical property testing for cement and concrete.

【Key words】Cement; Concrete; Mechanical properties; Testing methods; Compressive strength; Mix proportion verification

引言

水泥是混凝土中最核心的胶凝材料,性能的优劣对混凝土的工作性能及力学表现具有直接的决定性作用^[1]。目前,在工程项目建设中,混凝土是必不可少、用量最大且应用最为广泛的建筑材料,其自身质量对工程的安全运营具有重要影响^[2]。目前,建筑领域向工业化发展,大跨度、超高层等建筑结构不断出现,要求水泥和混凝土的力学性能更高。因材料强度未达到标准,检测方法不规范造成的工程质量安全事故频频出现,也说明需要尽快实施规范力学性能检测,最大程度的降低因质量问题导致的安全事故。

水泥及混凝土力学性能检测通过标准化试验方法,测定材料在受力条件下的强度、变形及破坏特征,为配合比设计优化、施工过程控制、工程验收评定提供关键数据支撑。我国已建立以GB 175《通用硅酸盐水泥》、GB/T 50081《混凝土物理力学性能试验方法标准》、JGJ 55《普通混凝土配合

比设计规程》为核心的标准体系,对检测方法、设备要求、结果评定作出明确规定。同时,国际标准如ASTM C39、ISO 679等也在涉外工程中被广泛应用^[3]。但是,检测结果的可靠性不仅取决于标准的遵循程度,更受试验过程控制、数据处理方法、环境条件等因素影响^[4]。同一配合比混凝土在不同实验室可能得出差异显著的强度数据,这在工程验收时有争议^[5]。因此,系统梳理水泥及混凝土力学性能检测的技术要点,探讨影响检测结果的关键因素,对于提升工程质量控制水平具有重要现实意义。

1 检测指标体系

1.1 抗压强度

抗压强度是核心指标,指标准试件单位面积承受的最大压力。水泥采用40mm×40mm×160mm试件,先抗折后抗压,按GB/T17671测试;混凝土用150mm立方体试件,标

准养护 28d, 以 0.5 - 0.8MPa/s 速率加载, 主要用于结构设计、配合比验证及强度等级评定。

1.2 弹性模量与泊松比

弹性模量是刚度与变形计算的关键参数。混凝土静力受压弹性模量采用 150mm × 150mm × 300mm 棱柱体试件, 通过反复加卸载确定应力 - 应变曲线初始斜率。泊松比为横向与轴向应变绝对值之比, 体现体积变形特性, 高性能混凝土弹性模量可超 40GPa。

1.3 劈裂抗拉强度

混凝土抗拉试验难度大, 工程中多采用劈裂法间接测定。将立方体或圆柱体试件平放, 通过垫条施加线荷载使其劈裂, 按弹性力学公式计算抗拉强度, 一般为抗压强度的 1/10 ~ 1/15, 是评价抗裂性能的重要依据。

1.4 粘结强度

粘结强度对加固工程、预制构件连接至关重要, 可通过拉拔、推出或斜剪试验测定, 受界面处理、粘结材料及养护条件影响。研究表明, 聚合物改性水泥基材料粘结强度可达 2.39MPa 以上。

2 影响检测结果的关键因素

2.1 材料与配合比

水泥品种、等级等直接决定强度发展, 掺入纳米 SiO₂、硅灰可提升早期强度与密实度, 优化配合比后 28d 抗压强度可提高 15% 以上。水胶比是关键, 每降低 0.05 强度约提升 10-15MPa; 骨料级配、压碎指标及针片状含量也会显著影响力学性能。

2.2 试件制备与养护

试件制备各环节均影响结果, 取样需具代表性, 每批不少于 3 组, 成型应振捣密实。脱模宜控制在 24h 左右, 标准养护为温度 20 ± 2℃、湿度 ≥ 95%, 龄期严格按 3d、7d、28d 执行, 湿度不足可使 28d 强度下降 20% ~ 30%。

2.3 试验操作与加载控制

加载速率直接影响强度数值, 抗压应控制在 0.5-0.8MPa/s, 抗折为 0.05-0.08MPa/s。试件对中、承压面平整度、球座状态均会影响测试结果, 试验前需清理试件并精确测量尺寸。

2.4 数据处理与结果评定

强度取算术平均值, 异常值按规范剔除: 单值超中间值

± 15% 取中间值, 两值均超差则试验无效。需计算强度标准差与保证率以评定配合比稳定性, 并按 GB/T 50081 采用对应尺寸换算系数。

3 工程实例分析

3.1 工程概况

某高层住宅项目主体结构采用 C40 泵送混凝土, 设计强度等级为 C40, 坍落度要求 180 ± 20mm。为验证混凝土配合比的适用性和稳定性, 在正式施工前进行配合比验证试验, 测定混凝土的 28d 抗压强度、抗折强度、弹性模量及劈裂抗拉强度。配合比参数为: 水泥 (P.O 42.5) 380kg/m³, 粉煤灰 (II 级) 70kg/m³, 矿粉 50kg/m³, 砂 720kg/m³, 碎石 (5-25mm) 1060kg/m³, 水 170kg/m³, 外加剂 (聚羧酸高性能减水剂) 4.5kg/m³, 水胶比 0.38。

3.2 试验方案设计

3.2.1 试件制备

按照 JGJ 55 及 GB/T 50081 要求, 在同一盘混凝土中取样, 成型以下试件: 抗压强度试件: 150mm × 150mm × 150mm 立方体, 9 组 (3d、7d、28d 各 3 组), 每组 3 块; 抗折强度试件: 150mm × 150mm × 550mm 棱柱体, 3 组 (28d), 每组 3 块; 弹性模量试件: 150mm × 150mm × 300mm 棱柱体, 3 组 (28d), 每组 3 块; 劈裂抗拉强度试件: 150mm × 150mm × 150mm 立方体, 3 组 (28d), 每组 3 块。试件成型后静置 24h 脱模, 随即移入标准养护室 (温度 20 ± 2℃, 相对湿度 ≥ 95%) 养护至规定龄期。

3.2.2 试验设备

采用 WAW-1000B 微机控制电液伺服万能试验机进行抗压和劈裂抗拉试验; 采用 TYE-300 型电动抗折试验机进行抗折试验; 采用 YAW-600D 微机控制弯曲试验机测定弹性模量。所有设备均在检定有效期内, 使用前进行零点校准。

3.2.3 加载控制

抗压试验加载速率控制在 0.6MPa/s, 劈裂抗拉试验加载速率 0.05MPa/s, 抗折试验加载速率 0.06MPa/s。弹性模量试验采用反复加载卸载法, 先进行 3 次预压, 正式测试时记录第 4 次加载的应力-应变曲线, 计算弹性模量。

3.3 试验结果与分析

3.3.1 抗压强度发展规律

不同龄期抗压强度测试结果如表 1 所示:

表 1 混凝土抗压强度测试结果

龄期	试件组号	单块强度值 (MPa)	组平均值 (MPa)	龄期平均值 (MPa)	强度发展百分比
3d	A1	26.8、27.2、26.5	26.8	26.6	66.5%
3d	A2	26.2、27.0、26.8	26.7		
3d	A3	26.4、26.0、26.8	26.4		
7d	B1	34.8、35.2、34.5	34.8	35.1	87.8%
7d	B2	35.0、35.6、34.9	35.2		
7d	B3	35.2、35.0、35.4	35.2		
28d	C1	48.2、49.0、48.6	48.6	48.6	121.5%
28d	C2	48.8、48.2、49.2	48.7		
28d	C3	48.4、48.6、48.0	48.3		

由表1可知,混凝土3d强度达设计强度的66.5%,7d强度达87.8%,早期强度发展较快,符合掺加矿物掺合料混凝土的强度发展规律。28d抗压强度平均值为48.6MPa,达到设计强度C40的121.5%,满足JGJ55关于配合比验证强度高

于设计强度1.15倍的要求。强度标准差为2.4MPa,变异系数4.9%,表明配合比稳定性良好,强度保证率高于95%。

3.3.2 其他力学性能指标

28d其他力学性能指标测试结果见表2:

表2 混凝土28d其他力学性能测试结果

检测指标	试件组号	实测值	组平均值	规范/设计要求	结果评价
抗折强度 (MPa)	D1	5.7、5.9、5.8	5.8	≥4.5	满足要求
抗折强度 (MPa)	D2	5.8、5.8、5.6	5.7		
抗折强度 (MPa)	D3	5.9、5.8、5.9	5.9		
弹性模量 (GPa)	E1	34.5、34.0、34.2	34.2	32.5-35.5	满足要求
弹性模量 (GPa)	E2	34.1、34.3、33.9	34.1		
弹性模量 (GPa)	E3	34.3、34.5、34.0	34.3		
劈裂抗拉强度 (MPa)	F1	3.2、3.1、3.3	3.2	≥2.5	满足要求
劈裂抗拉强度 (MPa)	F2	3.1、3.3、3.2	3.2		
劈裂抗拉强度 (MPa)	F3	3.2、3.2、3.1	3.2		

根据表2所示:抗折强度平均值为5.8MPa,达到C40混凝土常规抗折强度范围,表明混凝土抗弯拉性能良好。弹性模量34.2GPa,在C40混凝土常规范围内,结构刚度可满足设计要求。劈裂抗拉强度3.2MPa,符合混凝土抗压比的一般规律。所有测试结果均满足GB/T50081及设计文件要求。

3.3.3 结果评定

综合各项指标,该配合比制备的混凝土28d力学性能全面满足C40等级要求,且具有较高的强度储备和良好的稳定性。抗压强度保证率超过95%,表明配合比参数合理、生产过程受控,可用于指导后续施工。建议在正式施工中加强过程控制,定期测定现场混凝土强度,采用统计过程控制方法动态评价质量波动情况。

裂纹发展的可视化监测。钻芯法、拔出法等微损检测可现场取样验证强度,是解决强度争议的重要方法。

4.3 人工智能预测模型

人工智能在混凝土性能预测中应用潜力显著。机器学习与深度学习模型可依据配合比、原材料及养护条件,精准预测强度与耐久性。神经网络、随机森林等算法已用于各类混凝土强度预测,误差可控制在5%以内。AI模型可优化配合比、减少试配,并为既有结构评估提供新途径。

4.4 多尺度性能表征

水泥基材料为多尺度体系,各层级性能共同决定宏观力学行为。现代检测技术向多尺度方向发展:纳米压痕可测试凝胶力学参数,SEM-EDS可分析微观形貌与成分, μ -CT可重构孔隙与裂缝三维结构。跨尺度表征能揭示材料作用机理,支撑高性能水泥基材料研发。

4 检测技术发展趋势

4.1 智能化检测设备

在传感与自动控制技术推动下,力学检测设备日趋智能化。全自动压力试验机可自动对中、控载与采集处理数据,降低人为误差;机器视觉测量系统可实现非接触高精度应变测试。高端设备集成RFID技术,能自动识别试件、匹配标准并生成记录,提升检测效率与数据可追溯性。

4.2 无损检测与微损检测

回弹法、超声法等无损技术可在不损伤结构情况下推定混凝土强度。声发射、数字图像相关技术可实现加载过程中

5 结论

水泥及混凝土力学性能检测作为工程质量控制的核心环节,必须严格遵循GB/T50081、GB/T17671等标准规范,系统开展抗压强度、抗折强度、弹性模量等指标评价,并全过程控制配合比、试件制备、加载操作等关键因素以确保数据可靠性。以某C40混凝土配合比验证为例,其28d抗压强度达48.6MPa(设计强度121.5%)、抗折强度5.8MPa、弹性模量34.2GPa,各项指标均满足规范要求且强度保证率高于95%,印证了规范检测与过程管控的重要性。

参考文献

- [1]范新民.水泥混凝土材料快速检测与性能评估方法研究[J].水泥,2025(11):85-87.
- [2]黄浩.再生混凝土配合比设计及力学性能研究[J].福建建材,2025(2):7-10.
- [3]林璐丹.超高性能磷酸镁水泥混凝土的制备和力学性能研究[J].四川建材,2024,50(3):11-13.
- [4]钟晓强.水泥混凝土材料试验检测及相关质量控制研究[J].江西建材,2021,000(008):60-61.
- [5]田太军,刘孙文,陈渊,等.蒸汽养护及矿物掺合料对混凝土水化与力学性能的影响研究进展[J].四川水泥,2025(10):7-10.