

# 非金属材料混凝土的性能检测试验研究

李超\*

(济南历城控股集团有限公司, 济南 250000)

**摘要:目的** 通过系统性试验研究建立非金属材料混凝土的性能检测方法,为建筑工程质量控制提供科学依据。**方法** 采用钻芯法进行抗压能力检测,使用加载试验机、压力传感器测定试件最大压力;采用半电池电位法检测钢筋锈蚀状况,通过测量电位分布识别腐蚀区域;采用超声波检测法通过测定弹性波波速评估混凝土强度;采用透水法在1.2 MPa的恒定压力下测定渗水深度评价抗渗性能。**结果** C50混凝土实测强度均超过设计值,数据稳定性良好;钢筋锈蚀电位分布与环境暴露密切相关,临海区域构件电位明显低于内陆区域;混凝土强度与波速呈正相关,不同强度等级混凝土的波速和强度值具有显著差异;适度提高水灰比能显著改善混凝土抗渗性能。**结论** 建立的混凝土性能检测方法可靠有效,为混凝土配比优化、施工工艺改进及结构耐久性评估提供了技术支持,适用于建筑工程质量全面评价。

**关键词:** 非金属材料; 混凝土; 抗压能力; 钢筋锈蚀; 混凝土强度

## 0 引言

混凝土性能检测方法主要依据《混凝土物理力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2019)<sup>[1]</sup>和《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T 50784—2013)<sup>[2]</sup>等规范,对抗压强度、钢筋锈蚀、渗透性等关键指标进行系统评估。本文通过研究钻芯法、半电池电位法、超声波检测法及透水法等检测技术<sup>[3-5]</sup>,建立了非金属材料混凝土性能综合评价体系,为混凝土配比优化和工程质量控制提供技术支持,有效提升建筑结构耐久性。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本研究以工程实际需求与性能检测要求为依据选择材料。水泥选用P·O 42.5级普通硅酸盐水泥,其初凝时间为135 min,终凝时间为195 min,28天抗压强度达到了49.8 MPa。骨料采用粒径6~8 mm的碎石,其表观密度为2650 kg/m<sup>3</sup>,含泥量控制在1.0%以下。细骨料选用Ⅱ区中砂,细度模数为2.6,含泥量低于2.0%。为改善混凝土工作性能,特掺入高效减水剂,掺量为水泥质量的1.2%。研究设计了四种不同水灰比(0.25、0.27、0.29、0.31)以系统评估水灰比对混凝土抗渗性能的影响。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 抗压能力检测

在设计混凝土抗压能力检测试验时,钻芯法作为半

破损的现场检验方法被广泛采用,其试验设计应遵循严格的技术规范,试验前需准备符合标准的钻机设备,随后确定钻取位置,应选择具有代表性的混凝土结构部位,避开预埋件、钢筋及管线,钻取操作过程中要严格控制钻机速度,保持稳定的钻进率。芯样钻取完成后立即进行标识并记录取样位置、方向和龄期等信息。对于抗压强度小于40 MPa的芯样,采用水泥净浆或水泥砂浆进行端面补平处理,补平厚度不超过5 mm。试验加载应采用符合规定的压力机,加载速率控制在0.5~0.8 MPa/s范围内,直至试件破坏。最后通过公式(1)计算混凝土的实际抗压强度。

$$f_{cu} = \alpha \cdot \frac{4F}{\pi d^2} \quad (1)$$

其中, $F$ 代表最大压力; $d$ 代表试件平均直径; $\alpha$ 则代表强度换算系数<sup>[6]</sup>。

#### 1.2.2 钢筋锈蚀检测

半电池电位法检测应该在试验准备阶段需要配备专业的锈蚀检测仪、参比电极(通常为硫酸铜电极)、导电液和精密电压表等核心设备。在确定了测试区域后,需要构建完整的测点网格,网格间距一般设置为150~300 mm,主要目的是确保测量覆盖范围的完整性。检测之前要对混凝土表面进行相应处理,包括清理杂质并适当湿润表面,降低接触电阻。参比电极需在使用前进行准确的标定,保证电极电位稳定在 $\pm 5$  mV范围中。测量时将参比电极紧贴混凝土表面,通过电压表读取电位值,每个测点记录35 s

\* 通信作者: 李超, 助理工程师, 研究方向为建筑检测技术。E-mail: 61953694@qq.com

后的稳定读数。为了结果进一步提高测量的准确性，同一测点应重复测量不少于 23 次，取平均值<sup>[7]</sup>。

### 1.2.3 混凝土强度检测

基于弹性波理论的强度检测试验设计应先明确混凝土的基本参数和检测目标，试验开始前准备必要的设备和材料，测试区域的选择应避开明显缺陷和钢筋密集区，目的是确保检测信号的有效传播。在确定测点布置时应该采用网格法划分检测区域，测点间距为 300~500 mm，关键部位则可适当加密。试验前需要对仪器进行精确校准，主要是利用标准试块调整声时和声幅，提高测量精度，测量时将耦合剂均匀涂抹在探头与混凝土表面间，促使声波高效传导。声速测量主要采用透射法，将发射探头和接收探头分别放在混凝土构件的相对表面，每个测点至少进行 3 次测量，然后取平均值以减小随机误差<sup>[8]</sup>。

对于不同强度等级的混凝土需根据预先建立的回归方程明确波速与强度的关系。例如 C30 混凝土在 14 天龄期时，纵波波速约为 4695 m/s，对应抗压强度为 38.1 MPa。在数据处理阶段要剔除明显异常的测量值，并对整体声速的变异系数进行计算，当变异系数高于 4% 时，要适当增加测点数量或重新进行检测<sup>[9]</sup>。

### 1.2.4 混凝土抗渗性能检测

抗渗性能检测试验设计需要选择合理的试验方法，一般会选择透水法，先配备必要的设备，如水泵、机架、试模、手动油压泵和压力传感器等。试件制备阶段一般选取标准尺寸为 150 mm×150 mm×150 mm 的立方体试件，数量最少为 6 个，试件龄期通常不低于 28 天。试验前检查试件的外观是否存在明显缺陷。装模密封须采用专用橡胶密封圈进行处理，将其分成 3 部分，每部分套上橡胶密封圈后转移至试模内部。安装调试阶段要先将水箱注满水并清理进水孔，然后打开抗渗仪。完成后将压力调至 0.1 MPa，检查漏水情况。密封良好的情况下开始正式加压，将压力限值稳步调至 1.2 MPa，加压时间不超过 5 min。试验期间要详细记录压力稳定所需时间及实际试验现象，保证水压在 24 h 内恒定。试验结束后把试块劈开，仔细标注水痕边界，每组试件需要测量 6 个点，并取平均值作为最终渗水深度。最后根据测量得到的渗水深度确定混凝土的抗渗等级，如渗水深度小于 30 mm 时，可判定为 P6 级抗渗混凝土<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 抗压能力检测结果分析

对 68 天龄期、设计强度为 C50 的混凝土构件进行检测。4 个芯样试件的抗压强度分别为 52.5、52.6、53.2、53.6 MPa，数据呈现出良好的一致性与稳定性(表 1)。结

果显示，所有试件的实测强度均超过了设计强度要求，平均超出约 6%，这充分说明该批次混凝土材料质量符合工程要求，且留有一定安全裕度。从数据离散性来看，最大值与最小值的差异仅为 1.1 MPa，变异系数低于 2%，表明混凝土浇筑质量均匀，施工工艺规范。通过进一步分析混凝土强度计算公式中各参数的影响程度，可以发现最大压力  $F$  的变化是影响强度结果的主导因素，而强度换算系数  $\alpha$  的准确选取也直接影响计算精度。从芯样的破坏形态观察，大多数试件呈现典型的剪切破坏模式，破坏面与加载方向呈 45° 角，与理论预期相符。

表 1 混凝土抗压强度试验结果与分析

构件 序号	混凝 土龄期/d	设计强度 等级	混凝土芯样 强度/MPa	设计强度 比值/%	备注
1	68	C50	52.5	105.0	符合要求
2	68	C50	52.6	105.2	符合要求
3	68	C50	53.2	106.4	符合要求
4	68	C50	53.6	107.2	符合要求
平均值	68	C50	53.0	106.0	符合要求
标准差	—	—	0.55	—	变异系数 <2%

### 2.2 钢筋锈蚀检测结果分析

通过系统检测，绘制了完整的电位分布图(图 1)，呈现出颇为复杂的锈蚀分布特征。数据统计表明，约 85% 的测点电位值在 -200~-350 mV 之间，按照 ASTM C876 标准判定，这些区域钢筋锈蚀概率在不确定区间(锈蚀概率 10%~90%)。在靠近外侧暴露面的区域，约有 12% 的测点电位低于 -350 mV，表明这些位置钢筋锈蚀概率高达 90% 以上，亟需采取防护措施。对比不同环境暴露条件的构件，发现临海区域构件的电位普遍比内陆区域低 50~100 mV，这与氯离子侵蚀加速钢筋锈蚀的理论相吻合。特别值得一提的是，在检测点位上升至 2.0 mm 的区域，电位值急剧下降至 -450 mV 以下，表明这些区域已出现严重锈蚀，混凝土结构的稳定性显著下降。通过对锈蚀区域混凝土的取样分析，发现 pH 值已从正常混凝土的 12.5 下降至 9.8 左右，碱性环境被破坏，这正是钢筋锈蚀加速的根本原因(图 2)。结合电位值分布和 pH 值变化，可为结构维护和加固提供精确的区域定位与技术支持，有效延长结构使用寿命。

### 2.3 混凝土强度超声波检测结果分析

针对不同强度等级的混凝土样品，测得的纵波波速呈现明显差异。C20 混凝土在 14 天龄期时，纵波波速平均值为 4530 m/s，对应抗压强度为 24.3 MPa；C25 混凝土波速升至 4610 m/s，强度增至 34.9 MPa；C30 混凝土达到 4695 m/s，强度为 38.1 MPa；而 C35 混凝土最高，达到

4710 m/s，强度高达 45.4 MPa。数据表明混凝土强度等级越高，超声波传播的速度就会越快，这个结论和混凝土内部结构致密度提高的相关理论是符合的。

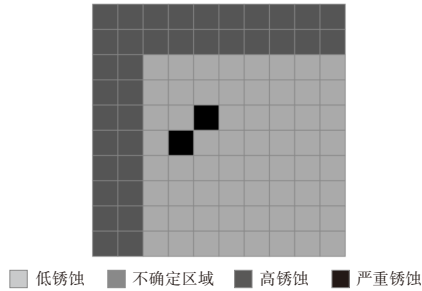


图1 结构表面电位分布热力图

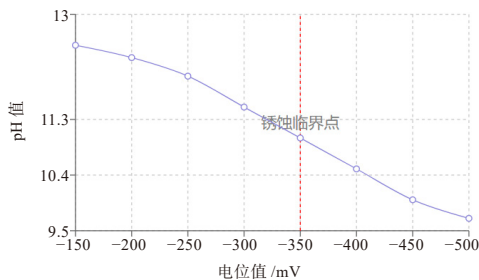


图2 电位值与混凝土 pH 值关系

对测点声速变异系数进行分析不难发现，所有测区的变异系数均控制在不超过 3.5%，这进一步说明混凝土质量均匀性较好。此外通过横波和纵波速度比值的科学计算，得出的动态泊松比在 0.22~0.25 之间，这和实验室的结果也是相符的，验证了超声波检测方法的可靠性。

### 2.4 混凝土抗渗性能检测结果分析

本次试验对不同水灰比的混凝土试块进行了系统测试，数据表现出水灰比与抗渗性能的密切关系(表 2)。粒径 68 mm 的混凝土样品在水灰比为 0.25 时，28 天抗压强度达 5.0 MPa，透水系数为 18.2 mm/s；当水灰比增至 0.27 时，抗压强度略有提高至 5.2 MPa，透水系数明显下降至 12.3 mm/s；水灰比进一步增加至 0.29 时，抗压强度大幅提升至 6.5 MPa，透水系数继续降低至 7.5 mm/s；而当水灰比达到 0.31 时，抗压强度达到 7.9 MPa，透水系数仅为 5.1 mm/s。这组数据清晰地展示了随着水灰比的适度增加，混凝土抗渗性能显著提高的趋势。

表 2 不同水灰比混凝土的抗渗性能试验结果

粒径/mm	水灰比	28 天抗压强度/MPa	透水系数/(mm/s)	渗水深度范围/mm	主要渗水形态
6~8	0.25	5.0	18.2	50~100	抛物线形
6~8	0.27	5.2	12.3	45~85	混合型
6~8	0.29	6.5	7.5	35~60	直线型
6~8	0.31	7.9	5.1	25~50	直线型(重叠)

试验中水痕主要呈现直线型和抛物线两种形态。直线型渗水深度多分布在 25~50 mm 范围内，常出现重叠现象；而抛物线形态的渗水深度范围为 50~100 mm。观察试块劈裂面发现，渗水路径与混凝土内部的微观缺陷密切相关，水分优先沿着微裂缝、集料与水泥浆体界面等薄弱区域渗透。

### 3 讨论与结论

本研究系统评估了非金属材料混凝土的性能检测方法，得到一系列重要发现：C50 混凝土强度平均超设计值 6%，变异系数低于 2%；电位分布热力图实现了钢筋锈蚀区域的精确定位；超声波检测建立了波速与强度的对应关系；透水试验证实水灰比从 0.25~0.31 的优化使渗水深度降低 50% 以上。这些检测形成了可靠的混凝土性能评价体系，为工程质量控制提供了科学依据，为混凝土配比优化和结构耐久性评估提供了技术支持。未来应聚焦于新型功能性非金属材料性能检测、智能预测模型的开发及全生命周期监测系统的建立，进一步推动建筑行业的可持续发展。

### 参考文献

- [1] 国家市场监督管理总局. 普通混凝土力学性能试验方法标准: GB/T 50081—2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 混凝土结构现场检测技术标准: GB/T 50784—2013 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [3] 蒋小妹. 建筑工程水泥混凝土原材料试验检测及质量控制 [J]. 陶瓷, 2025, (1): 136-138+154.
- [4] 郑濠金. 高性能水泥混凝土配比性能的试验检测研究 [J]. 中国水泥, 2024, (12): 72-74.
- [5] 尹博威. 高性能混凝土配合比设计及其力学性能检测研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(11): 111-113.
- [6] 郭洪伟. 铁路工程高性能混凝土性能检测研究 [J]. 佛山陶瓷, 2024, 34(11): 87-89.
- [7] 陈文娟. 浅谈混凝土原材料水泥的物理性能指标检测 [J]. 四川水泥, 2024, (11): 4-6.
- [8] 罗成. 混凝土原材料对混凝土性能的影响与检测控制研究 [J]. 大众标准化, 2024, (19): 176-178.
- [9] 魏涛, 崔莉梅, 商华锋, 等. 混凝土外加剂检测中混凝土拌合物性能的检测记录 [J]. 居业, 2024, (9): 146-148.
- [10] 郝晓红, 周守升. 混凝土材料性能检测及其影响因素研究 [J]. 佛山陶瓷, 2024, 34(3): 96-98.