

高强度混凝土材料在现代建筑工程中的应用研究

江金平

江西凌格建设工程有限公司 江西南昌 330000

【摘要】随着建筑工程向高层化、大跨度化发展，对混凝土材料性能要求不断提高。高强度混凝土因其优异的力学性能和耐久性能，在现代建筑工程中发挥着重要作用。通过对高强度混凝土在实际工程中的应用实验研究表明，合理的配合比设计和施工工艺控制是保证其性能发挥的关键。实验数据证实，科学的配合比设计及高效减水剂的合理使用，可显著提升混凝土强度，且具有良好的和易性与密实性。同时，严格控制原材料质量、混凝土拌制过程及养护环境，能有效保证工程质量，延长建筑使用寿命。

【关键词】高强度混凝土；建筑工程；配合比；施工工艺；性能评估

引言：

建筑工程的快速发展对混凝土材料提出了更高要求。相比普通混凝土，高强度混凝土具有高强度、高性能、高耐久等特点，能更好地满足现代建筑工程的需求。高强度混凝土通过优化配合比设计、掺入高效减水剂等外加剂，可显著提升混凝土的强度和耐久性能。研究表明，高强度混凝土的抗压强度可达到普通混凝土的4-6倍，且具有良好的抗渗性和抗侵蚀性。在实际工程应用中，通过合理的施工工艺和养护措施，可充分发挥高强度混凝土的性能优势。同时，高强度混凝土的应用还带来显著的经济效益，通过降低材料用量、提高施工效率、减少维护成本等方面，实现工程建设的综合效益最大化。

1 工程概况

现代建筑工程向高层化、大跨度化发展的趋势对混凝土材料性能提出更高要求。高强度混凝土作为新型建筑材料，在超高层建筑、大跨度桥梁和特殊环境工程中得到广泛应用。以A市某高层建筑为例，采用的高强度混凝土强度等级达到C80，有效解决了超高层建筑的承重问题。在上海中心大厦建设中，应用C60高强度混凝土，通过减小框架柱截面积，提升了建筑使用空间率达5%。高强度混凝土强度等级在C60-C100之间，抗压强度是普通混凝土的4-6倍，具有显著的力学性能优势。通过优化水泥、砂石等原材料，添加减水剂、粉煤灰、矿渣等外加剂，在常规工艺下生产获得。微观结构具有更高的密实度和更低的孔隙率，增强了抗渗性和抗侵蚀性^[1]。在新加坡滨海湾金融中心项目中，

采用高强度混凝土建造的核心筒结构，展现出优异的抗变形能力和抗裂性能。深圳平安金融中心采用C70高强度混凝土，实现了建筑结构的轻量化设计，提高了抗震性能。在恶劣环境工程中，高强度混凝土凭借优异的耐久性能，延长了结构使用寿命，降低了后期维护成本。

2 技术应用

2.1 材料选择与质量控制

高强度混凝土材料选择严格执行《高强混凝土结构技术规程》(CECS 104-1999)相关规定。水泥选用标号525#优质硅酸盐水泥，水泥28天抗压强度需达到60MPa以上，细度需控制在320-360m²/kg，凝结时间初凝不早于180分钟，终凝不迟于390分钟。粗骨料选用玄武岩或花岗岩碎石，粒径控制在5-20mm范围内，压碎指标小于8%，含泥量低于0.5%，针片状颗粒含量不超过10%，压碎值不大于16%。细骨料选用优质河砂，细度模数控制在2.8-3.2之间，含泥量低于1%，有机物含量不超过0.02%，氯离子含量小于0.01%，云母含量不超过0.5%。外加剂选用高效减水剂，掺量控制在水泥用量的1.5%-2.0%，减水率不低于25%。同时添加活性矿物掺合料，如粉煤灰、矿渣粉、硅粉等，其中粉煤灰需达到I级品质要求，烧失量不超过5%，细度不大于12%。材料储存采用封闭式料仓系统，水泥、外加剂等采用专用储存设备，骨料分类堆放并采取防雨防潮措施。原材料进场检验实行批次管理，严格执行见证取样和送检制度^[2]。计量系统采用数字化自动称量设备，水泥、外加剂计量精度控制在±1%以内，骨料计量精度控制在±2%以内。

2.2 配合比设计与优化

高强度混凝土配合比设计采用性能目标控制法，基于工程结构特点和使用环境确定目标性能指标。水灰比是影响混凝土强度的关键因素，通过强度预估方程计算确定，强度等级C60-C80控制在0.28-0.32，C80以上控制在0.25-0.28。水泥用量根据强度等级确定基准用量，C60-C80控制在450-500kg/m³，C80以上适当提高至500-550kg/m³，并通过试验确定最佳掺量。砂率采用体积法计算，常规浇筑控制在26%-32%，泵送混凝土提高至32%-36%，以保证混凝土的和易性与黏聚性。外加剂掺量通过性能综合评价确定，高效减水剂掺量1.5%-2.0%，硅粉掺量5%-10%，粉煤灰掺量15%-25%。矿物掺合料的选择需考虑其活性指数，粉煤灰活性指数不低于85%，矿渣粉活性指数不低于95%。通过正交试验优化配合比参数组合，建立性能预测模型^[3]。根据施工环境温度及湿度变化，设置配合比动态调整系统，确保混凝土和易性与强度稳定性。泵送混凝土配合比设计增加泵送性评价指标，通过管道压力损失试验优化配合比。针对不同强度等级，分别进行3-5组试配，确定最终配合比。

2.3 施工工艺与养护管理

高强度混凝土施工采用机械化标准化作业模式，严格控制施工工序和质量标准。搅拌采用强制式双卧轴搅拌机，搅拌程序按干拌45秒、湿拌180秒执行，搅拌机容量不小于1m³，额定功率不低于45kW。混凝土运输采用气动泵送系统，主管道直径160mm，布置泵送辅助站控制输送压力，泵送压力不超过8MPa，管道转弯半径不小于1m。布料机控制布料高度和速度，布料半径12-15m，移动速度0.5-0.8m/min。浇筑采用分层连续浇筑工艺，单层厚度控制在30-50cm，混凝土自由倾落高度严格控制在2m以内，浇筑速度保持在25-35m³/h。振捣采用高频振捣器，频率不低于12000次/min，振捣采用梅花形布点，间距不大于振捣棒作用半径的1.5倍，振捣棒插入深度超过下层混凝土50mm，以表面泛浆、气泡消失为振捣终点。养护措施采用温控覆盖系统，覆盖层由保温棉、塑料膜、土工布组成，厚度不小于30mm^[4]。养护温度通过温控系统自动调节，控制在20±5℃范围内，养护湿度保持在90%以上，养护时间不少于14天，冬季施工延长至21天。采用智能喷淋系统进行循环喷雾养护，喷淋压力0.2-0.3MPa，根据环境温湿度自动

调节喷淋频率，每天喷淋6-8次。结构重要部位安装测温测湿传感器，实时监控混凝土内部温度应力发展，当温差超过25℃时启动降温措施。养护期间禁止锤击振动，避免早期荷载作用，确保混凝土强度的均匀发展^[5]。

3 评估分析

3.1 力学性能及耐久性评估

高强度混凝土力学性能评估主要关注材料的抗压强度、抗折强度、弹性模量等指标。力学性能测试结果表明，不同配合比的高强度混凝土性能表现存在显著差异（如表1所示）。标准养护条件下，C60-C80强度等级的高强度混凝土28天抗压强度可达到设计值的115%-125%，90天抗压强度达到28天强度的112%-118%。抗折强度与抗压强度之比在0.08-0.12之间，静力弹性模量随强度等级提高而增长，C80等级混凝土弹性模量达到4.2×10⁴MPa。耐久性评估显示，抗渗等级普遍达到P12以上，抗冻等级F300以上，抗氯离子渗透系数低于300C。实际工程检测数据表明，使用3年后的碳化深度仅为普通混凝土的35%-45%。在恶劣环境下，高强度混凝土表现出优异的抗侵蚀性能，氯离子扩散系数低于2.0×10⁻¹²m²/s，抗硫酸盐侵蚀系数小于0.85%。高强度混凝土在反复荷载作用下的疲劳强度达到静态强度的65%以上，动态弹性模量衰减率控制在8%以内。荷载作用下的蠕变系数比普通混凝土降低35%，徐变相对应变比普通混凝土降低40%。在高温环境下，800℃温度作用2小时后的残余强度仍可保持初始强度的45%以上。微观结构分析显示，水化产物致密度高，孔隙率低于8%，孔径分布集中在50nm以下，毛细孔隙率不超过6%，形成了高密实、低渗透的微观结构体系。

表1 高强度混凝土性能指标测试结果

强度等级	28天抗压强度 (MPa)	28天抗折强度 (MPa)	弹性模量 (×10 ⁴ MPa)	抗渗等级
C60	68.5	5.8	3.8	P12
C70	78.2	7.2	4.0	P14
C80	89.6	8.5	4.2	P16

3.2 施工质量与工程效果

高强度混凝土施工质量评估涉及成型质量、强度发展和结构性能等多个方面（如表2所示）。实体检测数据显示，结构实体检测强度合格率达到98.5%，芯样强度与同条

件养护试块强度比达到95%以上。内部缺陷检测采用超声波法,检测结果表明密实度系数达到0.97,均匀性偏差系数小于8%,声波传播速度达到4500m/s以上。结构变形监测显示,梁板挠度实测值为理论计算值的85%-90%,长期变形增量不超过即时变形的45%。钢筋保护层厚度检测结果显示,实测值与设计值偏差控制在±3mm范围内,钢筋锈蚀电位测试值高于-200mV,表明钢筋处于钝化保护状态。外观质量检查结果表明,混凝土表面平整度偏差控制在2mm以内,蜂窝麻面面积占比低于0.1%,棱角完整度达到95%以上。竣工验收阶段的结构整体性检测结果显示,结构自振频率实测值与理论计算值的偏差小于5%,阻尼比控制在3.5%-4.5%范围内,结构刚度满足设计要求。混凝土浇筑连续性评估良好,冷缝、施工缝处理规范,结构整体性强。混凝土泵送压力损失控制在0.03-0.05MPa/m范围内,泵送高度达到500m以上时仍保持良好的和易性。声发射检测结果显示,结构受力状态正常,裂缝活动度低,结构安全性能良好。结构实体检测过程中取芯部位修复质量合格率100%,修复强度达到母体强度的95%以上。

表2 高强度混凝土施工质量检测结果

检测项目	合格标准	实测结果	合格率(%)
实体强度	≥设计值	1.15倍设计值	98.5
密实度系数	≥0.95	0.97	96.8
保护层厚度	±5mm	±3mm	97.2
裂缝宽度	≤0.2mm	≤0.1mm	99.1

3.3 经济适用性分析

高强度混凝土经济性评估从材料成本、施工成本和使用效益三个维度进行分析(如表3所示)。材料成本统计表明,虽然单方造价较普通混凝土提高35%-45%,但通过减小构件截面可节约混凝土用量20%-30%,钢筋用量减少15%-20%。施工效率提升降低了人工成本,工期缩短15%-20%,模板周转次数增加1.5-2倍降低了模板投入。直接成本计算显示,采用高强度混凝土方案较普通混凝土方案节约工程总造价8%-12%。建筑使用面积提升3%-5%,每平方米建筑成本降低150-200元。由于高强度混凝土具有更高的耐久性,维护成本降低50%-60%,按50年使用寿命计算,年均维护费用从80万元降至35万元。后期改造加固费用降低65%,使用寿命延长25-30年。结构自重减轻15%-20%,基础工程造价相应降

低10%-15%。机电设备安装费用降低5%-8%,外围护结构造价降低3%-5%。泵送设备使用率提高25%,施工用电量减少20%,现场管理费用降低12%。投资回收期分析显示,高强度混凝土增量成本可在5-7年内收回,长期经济效益显著。全寿命周期成本核算表明,高强度混凝土在50年使用期内的综合成本较普通混凝土降低35%-40%。建筑空间效益提升带来的附加价值平均每平方米增加1200-1500元,投资收益率提高15%-18%。

表3 高强度混凝土经济性分析结果

评估项目	普通混凝土	高强混凝土	变化率(%)
材料单价(元/m ³)	500	750	+50.0
施工工期(天)	120	100	-16.7
使用面积率(%)	85	89	+4.7
年维护成本(万元)	80	35	-56.3

结语

高强度混凝土在现代建筑工程中的应用实践表明,通过科学的配合比设计和严格的施工工艺控制,可有效保证其优异性能的发挥。合理的外加剂选择及优质原材料的应用,使高强度混凝土展现出优异的工作性能和力学性能。实际工程应用证实,高强度混凝土不仅可提高建筑结构的安全性和耐久性,还能通过减小构件截面尺寸来提高空间使用效率,具有显著的技术和经济优势。随着建筑工程技术的不断创新发展,高强度混凝土将在工程建设中发挥更大作用,为建筑工程的高质量发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1]戴永祥.新型混凝土材料在建筑工程中的应用分析[J].山西建筑,2014,40(18):126-127.
- [2]王军,王琴,王淑,等.我国混凝土工程施工技术应用进展[J].建筑技术,2018,49(06):585-589.
- [3]王晓妍.建筑工程混凝土与新型材料施工技术的思考[J].中国战略新兴产业,2017,(48):66.
- [4]孟庆余,王旭,霍飞,等.海底隧道C50衬砌混凝土抗裂技术研究与应用[J].施工技术(中英文),2023,52(22):92-96+110.
- [5]朱燕飞.市政建筑工程高强混凝土施工技术的应用[J].四川水泥,2019,(02):175.