

# 建筑混凝土结构施工质量控制要点

汤富强

浙江万旭建设有限公司 浙江温州 325000

**摘要:** 建筑混凝土结构是一种广泛应用的结构形式,其施工质量直接影响着建筑的安全、耐久及使用性能。随着建筑科技的进步,人们对建筑质量的要求越来越高,对混凝土结构施工质量的控制也越来越重要。混凝土施工涉及到选材、拌和、浇注、养护管理等各个环节,其中任何一个环节出了问题,都有可能导致结构受力性能的劣化,严重时甚至引发工程事故。因此,对混凝土结构施工质量控制关键点进行系统梳理,确定关键控制点及工艺要求,对提高工程质量、保证施工安全意义重大。

**关键词:** 建筑;混凝土结构;施工质量;控制要点

目前,我国建筑工程普遍存在着混凝土强度不足、开裂、蜂窝麻面等质量通病,这主要是由于质量管理体系不完善,施工工艺不规范,技术交底不到位等原因造成的。加强对混凝土结构施工质量的控制,既体现了建设单位的技术管理水平,又是实现建设项目高质量发展的重要途径。科学制定施工方案,严格执行工艺规范,加强全过程监测和验收,是防止和降低质量问题的有效途径,提高混凝土结构整体性能及耐久性<sup>[1]</sup>。

## 一、建筑混凝土质量影响因素分析

### 1. 材料维度

混凝土材料的性能对其强度、耐久性及工作性能有很大的影响。水泥品种(如普通硅酸盐水泥和硫铝酸盐水泥)对早期水化热及后期强度发展有重要影响,其中P·O42.5水泥3天强度达到 $28.5 \pm 2.1$  MPa, P·O52.5水泥则达到 $35.4 \pm 3.0$  MPa(如表1)。同时,骨料级配对混凝土的密实度影响很大,经研究显示采用5~20 mm连续级配碎石,其28 d抗压强度比单级配提高 $12.3 \pm 1.8\%$ <sup>[2]</sup>;此外,通过优化外加剂(如粉煤灰、矿粉等)可以提高混凝土的耐久性,如当粉煤灰的掺量为30%,则可以使混凝土的氯离子扩散系数降低到 $3.8 \pm 0.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

表1 不同水泥类型混凝土强度发展的对比情况

水泥类型	3天强度 (MPa)	28天强度 (MPa)	氯离子扩散系数 ( $\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )
P·O 42.5	$28.5 \pm 2.1$	$48.7 \pm 3.5$	$8.7 \pm 0.9$
P·II 52.5	$35.4 \pm 3.0$	$56.2 \pm 4.2$	$6.2 \pm 0.7$
P·S 32.5	$18.6 \pm 1.5$	$39.4 \pm 2.8$	$10.3 \pm 1.2$

### 2. 工艺维度

施工过程是否规范,直接影响到混凝土结构的均

匀性及缺陷率。通过优化振捣参数,可以有效降低气泡间距,高频振捣( $\geq 150 \text{ Hz}$ )可以将气泡间距降低到 $180 \pm 15 \mu\text{m}$ ,比传统振捣降低40%。而且浇筑速度的控制是保证结构整体性的关键,当垂直构件的浇筑速度大于1.5米/小时时,骨料离析风险增大2.3倍。同时施工缝处理不当将导致界面强度降低,无界面剂施工缝处剪切强度仅为整体浇筑区 $55 \pm 6\%$ ,环氧树脂界面剂可提高至 $85 \pm 5\%$ 。此外,养护制度是否科学直接关系到后期强度的发展,在标准养护( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,相对湿度 $\geq 95\%$ )下,56 d强度比自然养护提高 $18.7 \pm 2.4\%$ 。

### 3. 环境维度

环境因素通过温度、湿度、化学侵蚀等因素对混凝土的性能产生影响。大体积混凝土表温差大于 $25^\circ\text{C}$ 时,由温度应力引起的开裂概率高达 $72 \pm 8\%$ ,采用1.2米间距的冷却水管可将温差控制在 $18 \pm 3^\circ\text{C}$ 以内。冻融环境中,含气量为 $4.5 \pm 0.5\%$ 的混凝土在300次冻融循环后,其相对动模量仍然维持在 $85 \pm 5\%$ 左右,而不掺气混凝土的动弹模量下降到 $60 \pm 7\%$ 。在盐雾侵蚀区,水胶比0.45混凝土在6个月内的氯离子渗入深度为 $5.2 \pm 0.6$ 毫米,而在水胶比为0.35的情况下,氯离子渗入深度降低到 $2.8 \pm 0.3$ 毫米。实验结果表明,当 $\text{CO}_2$ 浓度为0.1%时,碳化深度为 $1.2 \pm 0.2$ 毫米,而当 $\text{CO}_2$ 浓度为0.3%时,碳化速率上升到 $2.7 \pm 0.4$ 毫米<sup>[3]</sup>。

## 二、建筑混凝土结构施工质量控制要点

### 1. 事前控制: 材料与准备阶段

#### (1) 原材料质量控制

在原材料的质量控制中,需要在水泥进场后,查验

出厂合格证和3、28天强度报告,并按批次抽样送检,每批20公斤以上。检测项目有细度(80微米方孔筛的筛余不得超过10%),初凝时间(普通硅酸盐水泥不得早于45分钟,终凝不得晚于6.5小时),安定性(按雷氏方法测得的膨胀值不得超过5毫米)和抗压强度(3日抗压强度不少于30 MPa,28天不少于42.5 MPa)。粗骨料由5~25 mm连续级配碎石组成,含泥量 $\leq 1\%$ 、块度 $\leq 0.5\%$ 、针片状颗粒 $\leq 15\%$ 、压碎指数 $\leq 16\%$ 。进场时用筛分法测定其级配,用密度瓶法测得其视密度( $\geq 2600$ 公斤/米<sup>3</sup>)。同时细骨料的质量控制,可使用筛分仪按GB/T 14684-2011标准,选用细度模数2.3~3.0的中砂,且含泥量不超过3%、泥块含量不超过1%、氯离子含量不超过0.06%。而掺入粉煤灰必须满足GB/T1596-2017的要求,其中I级粉煤灰用水量比 $\leq 95\%$ 、烧失量 $\leq 5\%$ 、细度(45 $\mu$ m方孔筛) $\leq 12\%$ 。掺合料采用减水率 $\geq 25\%$ 、氯离子含量 $\leq 0.1\%$ 、碱含量 $\leq 3\%$ 的聚羧酸高性能减水剂,掺量控制在总胶凝材料1.5%~2.5%之间,并以50 t为检测批次进行匀质性检验<sup>[4]</sup>。

### (2) 配合比设计与优化

配合比设计要满足设计强度等级、耐久性能以及施工和易性的要求。水泥用量以240 kg/m<sup>3</sup>为宜,粉煤灰替代水泥用量控制在30%以内。按照不同的环境等级,一类环境的水胶比不得超过0.60,二类环境的水胶比不得超过0.55,三类环境的水胶比不得超过0.50。砂率控制在35%~45%之间,保证粗骨料空隙率在40%~45%之间。初步配合比确定后,需试配至20 L以上,测试坍落度 $180 \pm 20$  mm,膨胀度 $\geq 500$  mm,初凝时间 $\geq 6$ 小时,28 d抗压强度 $\geq 34.5$  MPa。对于要求抗渗等级为P6级的混凝土,其抗渗试验要求为0.6 MPa水压8小时无渗漏。此外抗裂混凝土需采用掺钢纤维的方法提高混凝土的性能,并将其掺量控制为0.9%~1.2%,纤维长度为25~35毫米,直径0.5~0.7毫米,抗拉强度 $\geq 600$  MPa。配置结束后,需要通过3次及以上的平行试验进行验证,保证变异系数低于5%。

### (3) 施工方案与技术交底

施工方案需要确定混凝土的浇筑顺序,采用分层的方式进行浇筑,根据振捣器的有效作用深度来确定分层厚度,插入式振捣器控制300~500毫米,表面振捣器控制200毫米以内。针对厚度 $\geq 1$ 米的大体积混凝土,需采取里表温差 $\leq 25$ ℃、降温速度 $\leq 2$ ℃/天的温控措施。这一过程中,可通过预埋直径20mm的测温管对温度进

行6h一次的监测。此外,在技术交底中需要生成书面文件,文件内容需包含模板安装轴线位置偏差(不超过5毫米),截面尺寸偏差(+4毫米,-5毫米),表面平整度( $\leq 8$ 毫米)等。

## 2. 事中控制: 施工过程阶段

### (1) 混凝土搅拌与运输控制

在混凝土搅拌的质量控制中,拌和站需采用强力拌和机,拌和时间按混凝土坍落度确定,坍落度 $\leq 40$ 毫米时将搅拌时间控制在90秒,坍落度在40~100毫米时,将搅拌时间控制在60秒,添加粉煤灰时,需将搅拌时间添加30秒。计量系统采用法定计量单位标定,确保水泥、水和掺合料的计量误差小于 $\pm 1\%$ ,粗细骨料的计量误差小于 $\pm 2\%$ ,且每班至少检测一次。出机混凝土的坍落度损失值为30分钟内损失值低于20毫米,60分钟内损失值不超过30毫米,扩展损失不超过50毫米/小时。此外,在运输过程汇总采用混凝土搅拌车运输,搅拌车转速2~10 r/分,从拌和到浇注完成时间不得超过90分钟(温度 $>25$ ℃时,可缩短到60分钟)。快速旋转20~30分钟后出料,出料后罐内残渣不大于5%。当混凝土坍落度超限时,可采用同比例掺入减水剂,其掺入量不得超过原掺入量的50%,再拌合后的坍落度要满足要求,严禁直接加水调节。夏季施工时,槽车需要覆盖遮阳布,冬季使用保温套,以确保进口温度(5~35℃),低于5℃时要进行预热,保证出口温度不低于10℃。

### (2) 浇筑与振捣质量控制

浇筑前要将模板中的杂物清理干净,并洒水使模板保持湿润(不留积水),立柱的混凝土按500 mm一层一层浇筑,用标尺杆控制。并采用插入式振捣器进行振捣,振捣棒的移动间距不能大于作用半径1.5倍(50型振捣棒作用半径300 mm,移动间距 $\leq 450$  mm),插入下层混凝土深度 $\geq 50$  mm,振捣时间控制在10~30分钟,直至混凝土表面泛浆,不下沉,无气泡逸出为止。此外,墙板按1:6~1:8的坡度斜向分层浇筑,分层厚度300~500 mm,振捣过程中避免与钢筋及预埋件发生碰撞。在梁节点处钢筋密集的区域,用30型振捣棒进行振捣,振捣间距不超过300 mm,必要时可辅之以人工振捣。为防止冷缝产生,底板大体积混凝土采用连续推移式浇筑,间隔时间 $\leq 2$ 小时。混凝土浇筑完成后,应及时进行表面修整,在固化前进行2~3遍的压实工作,以消除表面裂缝。当混凝土浇筑温度与周围环境温差 $\geq 25$ ℃的情况下,应采取温度控制措施,如设测温点,每2小时监测一次,保

证内外温差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ 等<sup>[5]</sup>。

### (3) 养护过程的控制

混凝土浇筑后12小时内要覆盖保湿,用塑料膜覆盖时要紧实,四周要紧实,以保证密封严密。硅酸盐水泥混凝土浇筑养护时间至少为7天,掺入缓凝性掺和料或有抗渗要求的混凝土至少14天,每日浇水一次,保持表面湿润(20 $^{\circ}\text{C}$ 时一天浇4次,30 $^{\circ}\text{C}$ 时一次6次)。大体积混凝土按水深 $\geq 100\text{ mm}$ 蓄水养护,或采用防火保温被覆盖,地表温差在20 $^{\circ}\text{C}$ 以上时拆除保温。通过添加早强剂和电热毯+保温被的综合蓄热法,使混凝土在养护过程中核心温度不低于5 $^{\circ}\text{C}$ ,降温速度不超过2 $^{\circ}\text{C}/\text{天}$ 。在蒸养过程中,升温速度 $\leq 15^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ ,恒温温度 $\leq 80^{\circ}\text{C}$ (普通硅酸盐水泥),保温时间按强度确定(70%时停止),降温速度 $\leq 10^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 。

## 3. 事后控制: 验收与缺陷处理阶段

### (1) 实体质量检测

结构实体检验主要包括混凝土强度,钢筋保护层厚度,结构尺寸等。可采用回弹法检测混凝土强度,保证测区面积200 $\times$ 200 mm,测区个数不少于10个,每一个测区用弹击16个,剔除3个极值和3个极小值,取平均值,换算成强度(校正误差 $\leq \pm 15\%$ )。若对回弹结果有异议,用钻芯法进行验证,取直径100 mm、高100 mm的芯样,取3个芯样,其抗压强度代表性值 $\geq 95\%$ 。同时,还可采用电磁感应法进行钢筋保护层厚度检测,测区个数 $\geq 3$ 个,每测区设10个测点,允许偏差为+10 mm~-7 mm,合格率 $\geq 90\%$ 。采用激光测距机及靠尺对结构尺寸偏差进行测量,轴线位置偏差不得超过15毫米,截面尺寸偏差不得超过8毫米,-5毫米,垂直度偏差不得超过H/1000且不得超过30毫米。用超声波测厚仪对板厚进行测量,每100米面积不得少于1个点,容许偏差为+8毫米和-5毫米,将测试结果形成书面报告,并将原始数据记录下来。

### (2) 质量缺陷处理技术

当表面蜂窝面积较小时,需先将深度 $\geq 10\text{ mm}$ 的松散石块及浮浆进行凿除,用钢丝刷将其清理干净,洒水使其保持湿润,并刷上界面剂(水泥净浆含10%胶),再用比原来混凝土强度高1个等级的细石混凝土(C35用

于修补C30结构)浇筑,振捣密实后养护7 d。对于深度大于50 mm的蜂窝,需在100 mm $\times$ 100 mm间距埋设 $\phi 6$ 网片,然后分层浇注修补料。同时针对缝宽不超过0.2 mm的情况,可采用环氧树脂浆低压注浆(压力0.2~0.3 MPa),缝间间距300~500 mm,固化后打磨平整。裂缝宽度 $\geq 0.2\text{ mm}$ ,需沿裂缝开V形槽(深15~20 mm,宽20~30 mm),清理干净后充填聚合物水泥砂浆(抗压强度 $\geq 30\text{ MPa}$ ,粘接强度 $\geq 1.5\text{ MPa}$ ),养护14天。穿透性裂缝采用管式注浆法,注浆压力0.4~0.6 MPa,压30分钟,24小时后进行压水试验(0.3 MPa水压无渗漏)<sup>[6]</sup>。

## 结束语

综上所述,混凝土结构的施工质量控制是一项贯穿于施工准备阶段、施工过程中以及验收后交付阶段的系统和过程管理工作。加强工程质量控制关键点的研究与实践,对于提高建筑工程安全与服役寿命、促进产业技术进步与管理水平具有重要意义。随着智能化施工技术及信息化管理手段的不断完善,混凝土施工质量控制将更精确、更高效,为高质量建设项目的实现奠定坚实的基础。

## 参考文献

- [1] 彭晓. 主体结构施工中的钢筋混凝土工艺与质量控制研究[J]. 中国住宅设施, 2025, (04): 235-237.
- [2] 于建荣. 混凝土建筑结构施工质量控制与加固改造技术[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(04): 187-189.
- [3] 祝建祥. 钢筋混凝土结构房屋的后浇带施工技术与管理研究——以某钢筋混凝土结构房屋工程为例[J]. 房地产世界, 2025, (04): 146-148.
- [4] 邓培培, 张秀梅. 装配式混凝土结构施工技术要点与质量控制策略[J]. 建筑技术开发, 2025, 52(02): 14-16.
- [5] 陈伟仙. 浅析大体积混凝土施工质量的控制措施[J]. 四川水泥, 2024, (12): 141-143.
- [6] 刘庆林. 混凝土结构施工工序质量管理措施研究[J]. 中国水泥, 2024, (12): 96-98.