

# 超长结构混凝土配合比设计及运用

罗明军

中国水利水电第五工程局有限公司 四川 成都 610200

**摘 要：**随着科学不断发展，混凝土已经渗入当今社会的各个领域，且混凝土多应用于建设工程的重要结构部位，针对预制混凝土确定混凝土配比时“重设计、轻试配”的现状，结合配合比设计的条件要素，从混凝土配合比设计、试配、调整三个方面，阐述混凝土配合比设计主要过程，突出试配应注意的问题和重要性，进一步明确混凝土配合比设计是在经验、理论指导下的实践性过程。同时也对混凝土配合比设计中应该注意的问题进行分析，并提出相应的防治措施。

**关键词：**超长混凝土；补偿收缩；粉煤灰效应；混凝土配合比设计

## 1 工程概况

南阳科研楼人防工程结构质量关系整体安全与耐久性。该工程混凝土强度等级为C30，底板与墙板要求抗渗等级P6。工程平面尺寸约87m×86m，未设后浇带，对混凝土抗裂性能提出极高要求。底板为梯字形高低差设计，局部厚度1.3米，属大体积混凝土；墙板总长约350米，高4米，厚350—400mm，属超长超大面积结构。无后浇带导致应力集中，裂缝控制难度大。浇筑完成两个月后勘查显示，底板与顶板表面平整无裂缝，墙板仅发现两条非贯穿浅表裂缝，不影响结构性能与抗渗要求<sup>[1]</sup>。

针对结构“超长、无缝、大体积”的特点，项目团队在施工前系统优化配合比，从原材料、配比和工艺多维度入手，有效解决水化热、收缩与抗渗等技术难题，为工程提供了可靠技术支持。

## 2 配合比设计优化

从优化原材料、配合比参数计算、性能验证调整三个层面开展工作。本次优化以“降低水化热、控制收缩变形、提升抗渗性能”为核心目标，针对底板与墙板不同的结构特性与受力要求，分别制定差异化的配合比方案。

### 2.1 原材料

#### 2.1.1 胶凝材料

胶凝材料作为混凝土的胶结核心，其性能对混凝土的强度、水化热、收缩性等关键指标具有决定性影响。本次工程选用的胶凝材料包括普通硅酸盐水泥、粉煤灰与矿粉，通过三者的合理复配，实现混凝土性能的优化。

选用新乡王氏集团有限公司生产的P.O42.5级普通硅酸盐水泥。水泥所检测指标满足《通用硅酸盐水泥》的要求，具体数据如下：

普硅水泥	标准稠度 (%)	比表面积 (m <sup>2</sup> /kg)	安定性	细度 (%)	凝结时间 (min)		抗压/抗折 (MPa)		表观密度 (g/cm <sup>3</sup> )
					初凝	终凝	3d	28d	
P.O42.5	28.0	348	合格	/	168	214	28.9/5.2	46.9/8.1	3.06

粉煤灰：选用高资电厂生产的II级粉煤灰。具体检测数据如下：

细度 (%)	烧失量 (%)	需水量 (%)	净浆流动度 (mm)
14.8	1.6	101	189

矿粉：选用常州礞海新材料有限公司生产的S95级矿粉。具体检测数据如下：

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面积 (m/kg)	7d活性指数 (%)	28d活性指数 (%)
2.9	437	83.8	98.8

#### 2.1.2 骨料

本次工程选用的骨料包括碎石与砂，均经过严格的级配优化与质量筛选。

碎石：选用5-31.5mm连续级配碎石。具体检测数据

如下：

压碎指标 (%)	泥含量 (%)	泥块含量 (%)
11.0	0.6	0.0

(经试验，泥含量中最主要的是石粉。)

砂：选用II区长江中砂。具体检测数据如下：

细度模数	泥含量 (%)	泥块含宜 (%)
2.6	0.7	0.1

#### 2.1.3 外加剂

聚羧酸型高效缓凝减水剂：用于无抗渗要求的C30混凝土（顶板及内墙柱）。JM-Ⅲ复合型外加剂：用于有抗渗要求的C30P6混凝土（底板及外墙板）。

## 2.2 混凝土配合比设计与验证

本次工程混凝土分为两类：C30混凝土与C30P6混凝土（用于底板及外墙板）。其中底板局部厚度达1.3米，

属于大体积混凝土，水化热问题突出，易引发温度裂缝；墙板周长近350米，无后浇带与施工缝，收缩应力无法释放，裂缝控制难度大。针对两类混凝土分别开展配合比设计与验证工作。

2.2.1 底板C30P6混凝土配合比设计

底板作为工程的基础结构，需同时满足强度、抗渗、抗裂三大核心要求，底板的核心技术难点在于解决大体积混凝土的水化热问题与超长结构的复杂应力问题。

2.2.1.1 配合比设计思路

（1）水化热控制：增加活性掺合料（粉煤灰、矿粉）的掺量，替代部分水泥，降低水泥用量，减少水化热产生；延长混凝土强度评定龄期至60d，利用掺合料的

原材料名称	水	水泥	矿粉	粉煤灰	砂	碎石	外加剂	初始坍落度（mm）	1h后坍落度（mm）
每方用量（kg）	153	244	56	75	743	1069	3.73	170	160

2.2.1.3 配合比性能验证

（1）试验室性能检测结果如下表所示：

龄期	7d强度（MPa）	28d强度（MPa）	60d强度（MPa）	抗渗等级
检测结果	23.6	34.7	40.5	> P6

检测结果显示，混凝土的早期强度发展良好；28d强度满足设计要求；60d强度40.5MPa，后期强度持续增长，表明活性掺合料的后期活性充分发挥；抗渗等级 > P6，抗渗性能优异。

（2）现场性能验证检测结果如下表所示：

抗压强度	试验组数	平均值（MPa）	标准差（MPa）	抗渗等级
7d强度	20	24.6	2.5	/
28d强度	20	35.0	2.4	> P6
60d强度	20	39.3	3.0	/

现场试块检测结果显示与试验室检测结果相差较小，表明混凝土性能稳定性良好，配合比在实际施工条件下能稳定发挥作用。

（3）温度监测与分析结果如下表所示：

项目	混凝土浇筑温度（℃）	测点数	监测日期（d）	内外温差最高值（℃）
未改良混凝土	23.6	16	15	18.5
改良后混凝土	22.1	16	12	16.2

数据表明改良后的配合比有效降低了混凝土水化热，推迟了放热峰值，缩短了养护时间，同时避免了因内外温差过大产生温度裂缝。在养护28天后，现场观察底板表面平整，未发现任何可见裂缝，达到了预期的质量目标。

2.2.2 墙板C30P6混凝土配合比设计

墙板作为工程的外围防护结构，无后浇带与施工

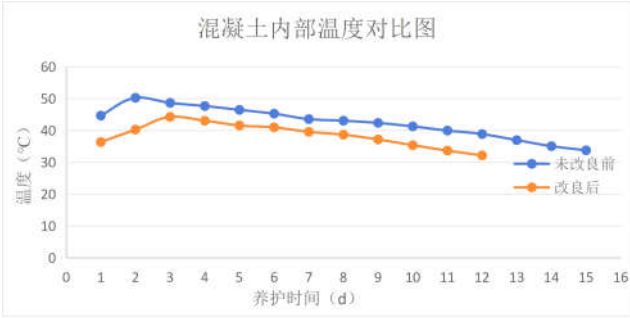
后期活性，确保混凝土后期强度满足设计要求；选用缓凝型外加剂（JM-Ⅲ），推迟水泥水化热放热峰值出现的时间，使热量缓慢释放，降低内外温差。

（2）收缩裂缝控制：活性掺合料用量增加虽能降低水化热，但也可能导致混凝土收缩增大引发收缩裂缝。因此，需严格控制活性掺合料的总掺量；利用JM-Ⅲ型外加剂的补偿收缩功能，通过生成膨胀性产物抵消收缩，同时参考以往工程经验，掺入10%左右的矿粉。

2.2.1.2 配合比参数确定

通过试验室试配与参数优化，最终确定底板C30P6混凝土配合比参数如表所示：

缝，整体呈封闭状态，对混凝土的工作性要求较高。因此，墙板混凝土配合比设计的核心目标是“控制收缩、保障抗渗、优化工作性”。



2.2.2.1 配合比设计思路：

（1）收缩应力控制：根据相关资料统计，普通混凝土在硬化过程中的体积收缩值约为 $4\times10^{-4}$ ，而混凝土开裂所允许的最大收缩值仅为 $1\times10^{-4}$ ，收缩值远超允许范围。JM-Ⅲ型外加剂在掺量为3%时，可通过生成膨胀性水化产物，提供约 $3\times10^{-4}$ 的膨胀量，理论上可刚好抵消混凝土的体积收缩，避免收缩裂缝。因此，将JM-Ⅲ型外加剂的掺量从1%提高至3%，增强补偿收缩效果；同时，尽量减小胶凝材料总用量与砂率，降低混凝土收缩量，进一步控制收缩应力。

（2）工作性优化：墙板内钢筋布置密集，实际施工时需在混凝土工作性与收缩控制之间找到平衡：一方面，通过控制用水量，在最小用水量的前提下保证混凝土流动性；另一方面，适当增加粉煤灰掺量，利用粉煤灰的“滚珠效应”提升混凝土的流动性<sup>[2]</sup>。

2.2.2.2 配合比参数确定：

通过多组试配优化，结合墙板的技术难点与性能需求，最终确定墙板C30P6混凝土配合比参数如下表所示：

原材料名称	水 ( kg )	水泥 ( kg )	粉煤灰 ( kg )	砂 ( kg )	碎石 ( kg )	外加剂 ( kg )	初始坍落度 ( mm )	1h后坍落度 ( mm )	扩展度 ( mm )
每方用量	150	274	92	712	1114	10.98	175	165	490

2.2.2.3 配合比性能验证

(1) 试验室性能检测结果如下表所示：

龄期	3d强度 ( MPa )	7d强度 ( MPa )	28d强度 ( MPa )	抗渗等级
检测结果	22.3	26.6	38.6	> P6

检测结果显示，混凝土早期强度发展迅速；7d强度能达到C30强度标准值的88.7%；28d强度抗渗等级满足设计要求。

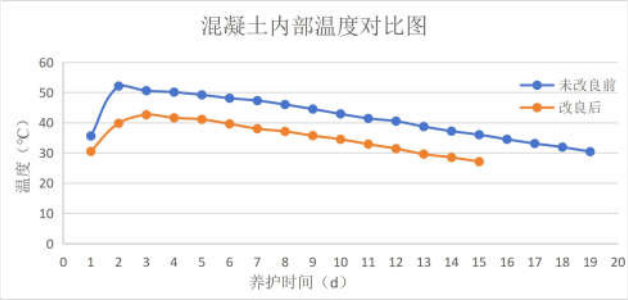
(2) 现场性能验证检测结果如下表所示：

抗压强度	试验组数	平均值 ( MPa )	标准差 ( MPa )	抗渗等级
7d强度	20	21.1	2.1	/
28d强度	20	24.9	2.1	> P6
60d强度	20	39.4	2.5	/

现场试块检测结果显示与试验室检测结果基本一致，后期强度持续增长；标准差较小（2.1-2.5MPa），混凝土性能稳定性良好；抗渗等级 > P6，满足抗渗要求。

(3) 温度监测结果如下表所示：

项目	混凝土浇筑 温度 ( °C )	测点数	监测日期 ( d )	内外温差最 高值 ( °C )
未改良混凝土	22.0	22	19	15.0
改良后混凝土	21.1	25	15	14.6



数据表明配合比对水化热的控制效果良好。在墙板浇筑完成两个月后，现场勘察发现，仅在墙板表面存在两条微裂缝，不影响墙板的结构性能与抗渗功能，达到了预设的质量目标。

3 施工质量控制

优良的配合比需依靠严格施工实现质量目标。本项目针对超长结构混凝土施工，从原材料检验、浇筑振捣到后期养护实施全过程控制，确保混凝土性能与结构质量。

3.1 原材料进场检验与存储

原材料质量稳定是混凝土性能的基础。所有进场材料执行“进场必检、不合格退场”制度，并规范存储以

防受潮、污染或变质<sup>[3]</sup>。

3.2 混凝土现场浇筑与振捣控制

现场浇筑与振捣直接影响混凝土结构密实性。应根据结构和施工要求制定合理浇筑方案，严格控制过程。

浇筑方案：底板按300-500mm分层浇筑；墙板分段对称进行，每段10-15米，浇筑速度 ≤ 1米/小时，以减少模板侧压。

振捣控制：使用插入式振捣器，振点间距 ≤ 500mm，快插慢拔，插入下层50mm，振捣20-30秒至表面浮浆无气泡为止，避免过振或欠振。钢筋密集区采用直径 ≤ 30mm小型振捣棒加强振捣，保证密实、无缺陷。

3.3 混凝土后期养护控制

养护是保证混凝土强度发展和防裂的关键，对超长、大体积结构尤为重要。

养护时间：本工程使用缓凝型外加剂并有抗渗要求，养护时间定为28天，以确保强度充分发展和收缩稳定。

养护方式：底板采用覆盖保湿加蓄水养护，浇筑后12小时内覆盖薄膜与麻袋，初凝后蓄水50-100mm以控温保湿；墙板采用挂湿麻袋并定时喷水，每日3-4次，高温时段增加次数，保持表面持续湿润<sup>[4]</sup>。

4 结语

优质的原材料是配制优质混凝土的前提条件，通过精细地选材，配比的优化，精心的施工，规范地养护，超长混凝土的底板及墙板浇筑要达到预期的效果也是可行的。混凝土结构的施工技术是当前工程建设中重要的施工技术之一，结构混凝土质量对工程整体质量有着重要影响，因此我们应该重视结构混凝土施工，进而实现结构混凝土质量有效提高，为工程质量奠定坚实的基础。

参考文献

[1]李亚冉.土木工程建筑中混凝土结构的施工技术探究[J].工程技术研究,2015,11:228.

[2]中华人民共和国住房和城乡建设部.JGJ52-2006普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2006.

[3]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T 1346-2011水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法[S].北京:中国标准出版社,2011.

[4]中华人民共和国住房和城乡建设部.JGJ55-2011普通混凝土配合比设计规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.