

# 崇启公铁长江大桥C60主塔混凝土的研究

任杰杰

中铁大桥局集团第二工程有限公司 江苏 南京 210000

**摘要:** 针对崇启公铁长江大桥C60主塔混凝土高程泵送困难、开裂风险大等问题,本试验研究人员通过采用降粘剂并对C60主塔混凝土的配合比进行了优化设计,同时与常规配合比进行了对比研究,试验结果表明:降粘剂可显著降低混凝土的粘度,改善混凝土的工作性能,且其较高的活性可有效保证混凝土的力学性能;掺降粘剂的优化组混凝土,干燥收缩和绝热温升明显降低,收缩裂缝、温度裂缝的产生几率大大下降,且降粘剂取代水泥量越大,效果越明显;针对崇启公铁长江大桥C60主塔混凝土不同施工部位,可选择降粘剂适宜掺量的配合比,保持经济性的同时,提高混凝土的性能。

**关键词:** 降粘剂;粘度;干燥收缩;绝热温升

## 1 引言

崇启公铁长江大桥是新建上海至南京至合肥高速铁路沪宁段重点控制性工程之一,主桥4号主塔采用花瓶型混凝土塔,由塔座、下塔柱、中塔柱、上塔柱、下横梁、上横梁6部分组成,主塔总高度153m(含2.5m塔座),塔座顶面以上塔高为150.5m,塔顶高程+145m。下、中、上塔柱高度分别为36.5m,69.5m、44.5m,桥面以上有效塔高90.07m,塔柱、横梁两侧壁设置有直径10cm的通风孔,上、下横梁底部设置直径10cm的泄水孔。主塔混凝土强度等级为C60,两侧塔柱各分27次浇筑成型,单个塔柱方量为17136.92m<sup>3</sup>,属于典型高强度等级的大体积混凝土结构。

C60主塔混凝土胶凝材料用量高、水胶比低,造成混凝土粘度较大,高程泵送困难;胶凝材料用量高(尤其是水泥用量),水化反应放热量也大,混凝土绝热温升

高,而主塔结构往往壁厚大、断面大,不易散热,内外温差过大易产生温度裂缝,且干燥收缩也较大,而主塔混凝土属于高空环境,养护困难,收缩开裂风险突出;

针对上述难题,本文通过采用降粘剂并对C60主塔混凝土的配合比进行了优化设计,同时与常规配合比进行了对比研究,开展了坍落度筒倒筒排空时间、塑性粘度及屈服应力等反映混凝土工作性能的试验,干燥收缩、绝热温升等反映混凝土抗开裂性能的试验,及抗压强度试验,旨在为崇启公铁长江大桥C60的配制提供参考。

## 2 试验概况

### 2.1 原材料

水泥:采用江苏鹤林水泥有限责任公司生产的P. II 52.5水泥,比表面积335m<sup>2</sup>/kg,密度3040kg/m<sup>3</sup>,28d抗压、抗折强度分别为57.6MPa、8.4MPa,其化学组成见表1;

表1 水泥的化学组成(%)

材料类别	游离CaO	SO <sub>3</sub>	MgO	烧失量	氯离子含量	熟料中铝酸三钙含量
水泥	0.48	1.54	2.46	2.26	0.016	4.89

粉煤灰:采用国国家能源集团泰州发电有限公司生产的I级粉煤灰,需水量比为94%,其化学成分见表2;

表2 粉煤灰的化学组成(%)

材料类别	游离CaO	SO <sub>3</sub>	CaO	烧失量	氯离子含量	SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 总含量
粉煤灰	0.03	0.64	5.55	1.18	0.004	4.89

降粘剂:采用中铁桥研科技有限公司产品,灰白色粉末颗粒,其主要技术指标见表2;

表3 降粘剂主要技术指标

类别	细度/(%) (水筛法)	粘度比/%	流动度比/%	抗压强度比/%	
				7d	28d
技术要求	≤ 12	≤ 65	≥ 100	≥ 65	≥ 85
检测结果	7.8	48	102	81	93

注：参照TB 10424-2018《铁路混凝土工程施工质量验收标准》相关技术要求。

碎石：采用重庆涪陵碎石，5mm~20mm，表观密度为2720kg/m<sup>3</sup>，压碎值指标为7%，含泥量为0.3%，针片状含量为4%；

减水剂：采用浙江五龙新材股份有限公司生产的聚羧酸高性能减水剂，减水率为27%；

水：采用自来水水。

## 2.2 配合比

本试验C60主塔混凝土基准组采用常规配合比：胶凝材料用量为480kg/m<sup>3</sup>，粉煤灰掺量为20%，水胶比为0.31，设计容重为2440kg/m<sup>3</sup>，砂率为40%；优化组内掺降粘剂，因降粘剂可改善混凝土工作性能且活性良好，所以优化组采用“低胶材、低水胶比、高掺和料”技术路线，胶凝材料用量为460kg/m<sup>3</sup>，降粘剂掺量分别为10%、15%、20%，粉煤灰掺量为25%，水胶比为0.29，其他参数不变；通过调整减水剂使每组混凝土的坍落扩展度保持在550mm~600mm，具体配合比见表4。

表4 C60主塔混凝土配合比

类别	配合比 (kg/m <sup>3</sup> )					
	水泥	粉煤灰	降粘剂	砂	碎石	水
F20	384	96	0	722	1084	149
F25-J10	299	115	46 (10%)	737	1105	133
F25-J15	276	115	69 (15%)	737	1105	133
F25-J20	253	115	92 (20%)	727	1090	138

## 2.3 试验方法

将称量好的胶凝材料、砂石倒入搅拌机内，再倒入50%的水搅拌30s，再加入剩余50%的水及减水剂搅拌150s，搅拌完成后进行坍落扩展度试验及倒置坍落度筒排空试验，然后装模并置于振动台振捣10s~15s，1d后拆模并将试件移到标准养护室养护。

坍落扩展度试验、倒置坍落度筒排空试验及绝热升温试验参照GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》进行，绝热升温试验测定时间为168h；流变性能试验采用R/S SST2000型黏滞系数测试仪进行测试，采用表4配比配制砂浆（除去碎石）进行测试；抗压强度试验参照GB/T 50081-2019《混凝土物理力学性能试

验方法标准》进行，测试龄期分别为7d、28d；干燥收缩试验参照GB/T 50082-2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》进行，测试龄期分别为1d、3d、7d、14d、28d、45d及60d。

## 3 结果与分析

### 3.1 工作性能

C60主塔混凝土工作性能相关试验结果如表5所示。基准组混凝土倒置坍落度筒排空时间为9.5s，塑性粘度为0.80 Pa·s，屈服应力为3.51 Pa，优化组F25-J10、F25-J15与F25-J20混凝土对比基准组混凝土，倒置坍落度筒排空时间、塑性粘度、屈服应力均明显减小，混凝土工作性能得到提升，且降粘剂掺量越高，效果越明显。

表5 C60主塔混凝土工作性能

编号	F20	F25-J10	F25-J15	F25-J20
倒置坍落度筒排空时间/s	9.5	7.7	6.5	5.8
塑性粘度/Pa·s	0.80	0.74	0.61	0.57
屈服应力/Pa	3.51	3.46	3.26	2.98

降粘剂内含大量呈光滑圆球形状的颗粒，在混凝土中可发挥“滚珠效应”效应，减少颗粒间的摩擦力，且降粘剂作为一种微细颗粒，在搅拌过程中可优化混凝土内部颗粒级配，填充水泥、粉煤灰颗粒之间的空隙，释放内部自由水，增加混凝土的流动性，降低粘度，改善混凝土的工作性能，因此，降粘剂掺量越高，降粘效果越显著。

### 3.2 抗压强度

C60主塔混凝土按龄期进行抗压强度试验。基准组混凝土7d、28d抗压强度分别为61.4MPa、68.8MPa；优化

组混凝土7d抗压强度均稍有下降，且随着降粘剂掺量增加，降低幅度逐渐增大，优化组F25-J20混凝土7d下降幅度最大，为4.3MPa；优化组混凝土28d抗压强度均高于基准组，其中优化组F25-J15混凝土28d抗压强度最高，为73.1MPa。

降粘剂颗粒微小，能发挥填充作用，优化孔径，使混凝土密实度提高，且降粘剂具有较高活性，能与水泥水化产物氢氧化钙发生二次水化反应，生产具有凝胶性能的水化硅酸钙和水化铝酸钙，有效改善了水化产物的组成和结构，优化了界面过渡区，使混凝土强度得到提

高,另外优化组水胶比较基准值低,有利于混凝土强度的提高,上述多因素的综合有效弥补了优化组胶凝材料尤其是水泥用量大幅降低对混凝土强度的不利影响,因此各优化组28d抗压强度较基准组并未下降,而降粘剂早期活性相对较低,导致优化组7d抗压强度较基准组略有下降。

### 3.3 干燥收缩

C60主塔混凝土干燥收缩试验结果如图1所示。由图1可知,基准组及优化组混凝土干燥收缩前期发展迅速,后发展缓慢,至60d时,干燥收缩值增长趋于0。60d时,基准组混凝土干燥收缩值为 $298 \times 10^{-6}$ ,优化组F25-J10、F25-J15及F25-J20混凝土干燥收缩值分别为 $252 \times 10^{-6}$ 、 $240 \times 10^{-6}$ 及 $231 \times 10^{-6}$ ,均显著低于基准组,且降粘剂掺量越高,干燥收缩值越小。

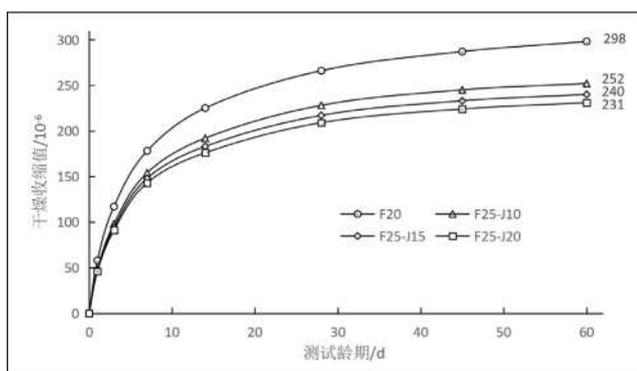


图1 C60主塔混凝土干燥收缩试验结果

优化组胶凝材料总量较基准组降低 $20 \text{ kg/m}^3$ ,其中水泥用量降低 $85 \text{ kg/m}^3$ 及以上,因此优化组干燥收缩值较基准组大幅下降,且降粘剂取代水泥量比例越大,水泥用量越低,干燥收缩也越低,这说明通过掺入降粘剂并对配合比进行优化设计可降低混凝土干燥收缩,进而降低混凝土开裂风险。

### 3.4 绝热温升

C60主塔混凝土绝热温升试验结果如图2所示。由图2可知,各组混凝土绝热温升均先缓慢上升,然后迅速上升,再逐渐平缓,48h时基本达到最大值,基准组混凝土最高绝热温升为 $51.28^\circ\text{C}$ ,优化组混凝土水化反应进程较基准组有所延迟,最高绝热温升较基准组均明显降低,

且随着降粘剂掺量的增加,降低幅度越大,其中,优化组F25-J20降低幅度最大,为 $8.32^\circ\text{C}$ 。

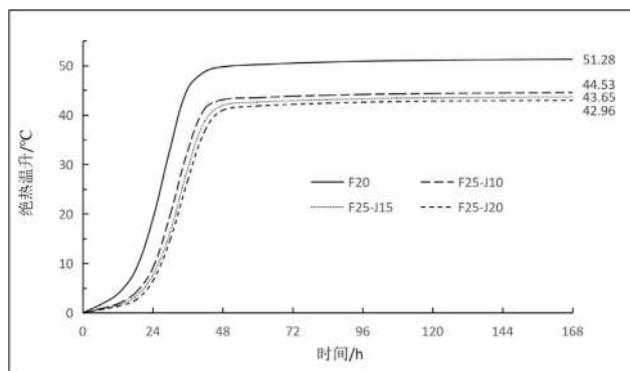


图2 C60主塔混凝土绝热温升试验结果

水泥水化反应速度快,放热量大,基准组水泥用量高达 $384 \text{ kg/m}^3$ ,导致其绝热温升较高,优化组胶凝材料尤其是水泥用量大幅降低,因此其水化反应进程得到了延缓,绝热温升显著降低,从而产生温度裂缝的几率大幅下降。

## 4 结论

(1) 降粘剂可显著降低混凝土的粘度,改善混凝土的工作性能,且其较高的活性可有效保证混凝土的力学性能。

(2) 通过掺入降粘剂并对混凝土配合比进行优化设计,能降低混凝土的干燥收缩和绝热温升,可有效阻止收缩裂缝、温度裂缝的产生,且降粘剂取代水泥量越大,效果越明显。

(3) 针对崇启公铁长江大桥C60主塔混凝土不同施工部位,结合成本考虑,可选择降粘剂适宜掺量的优化组配合比,保持经济性的同时,提高混凝土的性能。

## 参考文献

- [1]再生混凝土多重界面显微结构研究,曹瑜斌,(导师:李秋义);青岛理工大学,硕士(专业:土木工程);2016
- [2]张壮壮,(导师:陆春华);江苏大学,硕士(专业:防灾减灾工程及防护工程)2018
- [3]艾心荧,侯玉杰,余地华,闫震等;《混凝土》;2014-12-09 FRP筋与普通钢筋混合配筋梁受弯性能试验研究