



富春江船闸工程大体积混凝土配合比设计*

丁碧珍, 涂伟成, 刘松

(中交二航局第一工程工程有限公司, 湖北 武汉 430012)

摘要: 富春江船闸扩建改造工程混凝土浇筑方量大, 结构复杂, 耐久性要求高, 混凝土裂缝控制要求严格。混凝土配合比设计通过骨料级配优化试验, 选取最佳骨料级配; 采用大掺量矿物掺合料技术路线, 在混凝土中掺用矿粉和粉煤灰, 降低水泥用量, 降低混凝土水化热温升; 通过试验选择最佳砂率, 以提高混凝土体积稳定性, 减少收缩; 提高混凝土抗裂性能。

关键词: 配合比设计; 矿物掺合料; 粉煤灰; 最佳砂率; 骨料级配

中图分类号: TU 528.3

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2015)08-0123-04

Mass concrete mix proportion design of Fuchunjiang river lock expansion and improvement project

DING Bi-zhen, TU Wei-cheng, LIU Song

(The First Construction Company of CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Wuhan 430012, China)

Abstract: Fuchunjiang river lock expansion and improving project is featured with a large quantity of concrete pouring, complex structure and high requirements on the durability, and the concrete cracks are required to be controlled strictly. For the concrete mix proportion design, we select the best aggregate gradation based on the aggregate gradation optimization test, use a large amount of mineral admixtures by mixing concrete with slag and fly ash to reduce the dosage of cement and control the rise of concrete heat of hydration temperature; By tests, we choose the optimal sand ratio to improve the volume stability of concrete and reduce shrinkage, and improve the crack resistance of concrete.

Keywords: mix proportion design; mineral admixture; fly ash; optimal sand ratio; aggregate gradation

富春江船闸扩建改造工程位于钱塘江中下游桐庐县富春江水电站枢纽右岸, 距下游杭州市约110 km。工程拟在原有船闸下游新建一座IV级标准船闸(兼顾1000吨级船舶的过闸要求)。原有船闸加固后作为上游引航道, 新建船闸包括上游引航道、上闸首、闸室、下闸首和下游引航道, 混凝土浇筑总方量约42万 m^3 。

富春江船闸工程混凝土强度等级低, 多为C20、C25混凝土, 廊道部位为C₉₀40混凝土, 同时上闸首部位有抗渗要求, 抗渗等级P6, 局部P8,

船闸主体结构有抗冻F100要求。混凝土裂缝控制一直是船闸工程施工的重点和难点, 船闸闸首、闸室属于大体积混凝土, 容易产生裂缝。因此有必要对混凝土配合比进行优化设计, 以提高混凝土抗裂性能。混凝土配合比设计应兼顾施工性能、强度、耐久性及抗裂性能。

1 原材料试验

1.1 水泥

本工程采用宁国水泥厂生产的海螺牌P.O42.5

收稿日期: 2015-05-28

*基金项目: 交通运输部企业技术创新项目(201431542A060)

作者简介: 丁碧珍(1964—), 男, 工程师, 从事港航工程施工技术工作。

水泥,经检测,其各项性能指标满足规范要求。水泥检测结果如表1。

表1 水泥性能指标检测结果

项目	烧失量/ %	比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	凝结时间/min		标准稠度 用水量/%	抗折强度/MPa		抗压强度/MPa		安定性
			初凝	终凝		3 d	28 d	3 d	28 d	
海螺 P. O 42.5	3.76	379.1	170	220	25.6	4.9	8.0	28.4	49.9	合格
国家标准	≤ 5	≥ 300	≥ 45	≤ 600		≥ 3.5	≥ 6.5	≥ 17.5	≥ 42.5	合格

1.2 粉煤灰

本工程采用兰溪电厂生产的Ⅱ级粉煤灰,其各项性能指标见表2。

1.3 矿粉

矿粉采用的是常州中鼎建材有限公司生产的S95矿渣粉。其各项性能指标见表3。

表2 粉煤灰性能指标检测结果

项目	烧失量/%	细度(45 μm 筛)/%	含水率/%	需水量/%	三氧化硫含量/%
兰溪粉煤灰	2.70	21.7	0.23	98	1.77
国家标准	≤ 8	≤ 25	≤ 1	≤ 105	≤ 3

表3 矿粉性能指标检测结果

项目	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	比表面积 ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	含水率/%	烧失量/%	活性指数/%		三氧化硫含量/%
					7 d	28 d	
中鼎矿粉	2.9	420	0.18	0.22	78	101	0.20
国家标准	≥ 2.8	≥ 400	≤ 1.0	≤ 3.0	≥ 75	≥ 95	≤ 4.0

1.4 外加剂

缓凝型高性能聚羧酸减水剂,兼顾减水、引气和缓凝效果,可以延缓水化热的峰值到来时间,并改善混凝土的和易性,降低水胶比以达到减少水化热的目的。

选用中交二航武汉港湾新材料公司生产的缓凝型聚羧酸高性能减水剂,其减水率高于25%,能有效降低混凝土单位用水量,降低胶凝材料用量;同时可根据现场实际情况调节混凝土凝结时间,有效减缓混凝土温峰到来时间。

1.5 骨料

本工程在基坑开挖中收集了大量的砂卵石,本着就地取材、经济环保的原则将砂卵石进行加工,生产出合格的骨料用于混凝土配制。骨料的粒径、砂率对混凝土收缩有一定的影响^[1],混凝土的收缩量随着粗骨料粒径的增大而减小^[2]。

骨料颗粒越大,单位质量骨料需润湿的表面积越小,因此,最大粒径的增加可以降低混凝土单方用水量,在和易性一定的情况下,可以减少

水泥用量^[3]。大体积混凝土应采用较大粒径的粗骨料,以降低单位用水量和胶凝材料用量。本工程执行JTJ 202—2011《水运工程混凝土施工规范》,根据其最大骨料粒径的要求(骨料粒径不得大于钢筋保护层的4/5,本工程钢筋保护层为5 cm),混凝土最大粗骨料不得大于40 mm。根据此要求,本工程粗骨料级配为5~20 mm,20~40 mm两种,其他物理性能指标满足规范和技术要求。其比例根据优选试验结果确定,选取最大堆积密度级配比例为5:5。优选试验结果见表4。

表4 粗骨料级配优选试验结果

混合比例(大石:小石)	堆积密度	优选比例
60:40	1 640	
55:45	1 645	
50:50	1 649	√

大体积混凝土宜采用中砂配制,经试验,将生产出的河砂和机制砂按照4:6的比例进行混合,其细度模数2.8,符合中砂要求,含泥量小于3%,其他性能指标满足规范要求。

2 配合比设计试验

2.1 混凝土坍落度要求

混凝土坍落度要求应根据混凝土运输及浇筑工艺确定。研究表明, 单方混凝土每降低 10 mm 坍落度, 可减少水泥用量 4 ~ 8 kg^[4]。大体积混凝土施工应尽可能采用较小的坍落度, 以减少水泥用量, 降低水化热。本工程采用自卸车、罐车运输, 吊斗和皮带机浇筑, 根据其施工工艺, 设计混凝土坍落度 50 ~ 90 mm, 可以满足施工要求。

2.2 胶凝材料比例确定

研究表明, 混凝土水化热随着矿粉、粉煤灰掺量增大而降低; 就降低水泥水化热角度而言, 掺用粉煤灰效果最好, 矿粉次之^[5]。配制大体积混凝土应在满足其施工性能、强度、耐久性时, 尽可能降低水泥用量, 从而降低混凝土水化热温升。混凝土中掺入粉煤灰, 能改善和易性, 使混凝土更加密实, 提高混凝土耐久性, 降低水化热, 但会降低混凝土早期强度^[6]; 掺入矿粉能够增加混凝土粘聚性, 降低水化热。本工程采用粉煤灰和矿粉双掺技术路线, 以改善混凝土和易性, 降低水化热, 节约成本。根据 JTJ 202—2011《水运工程混凝土施工规范》要求, 本工程混凝土中矿物掺合料掺量不得大于 55%, 粉煤灰掺量不得大于 30%。廊道部位混凝土由于受水流冲刷, 粉煤灰掺量不得大于 20%。

在保证混凝土和易性、强度、耐久性的前提下, 应尽可能的增加矿物掺合量, 提高粉煤灰用量, 降低水泥用量。遵循此原则, 设计非廊道部位混凝土粉煤灰掺量 29%, 矿粉掺量 26%; 经试验,

廊道部位混凝土由于胶凝材料用量较高, 当矿粉掺量过高时, 混凝土较黏, 施工性能较差; 设计廊道部位混凝土粉煤灰掺量 20%, 矿粉掺量 30%。

2.3 混凝土配制强度

根据 JTJ 202—2011《水运工程混凝土施工规范》要求, 配制强度公式为:

$$f_{cu,o} = f_{cu,k} + 1.645\delta \quad (1)$$

式中: $f_{cu,o}$ 为混凝土施工配制强度 (MPa); $f_{cu,k}$ 为设计混凝土强度等级 (MPa); δ 为混凝土立方体抗压强度标准差 (MPa)。

各强度等级混凝土强度见表 5。

表 5 混凝土配制强度

强度等级	强度标准差 / MPa	配制强度 / MPa
C20	4.5	27.4
C25	4.5	32.4
C30	4.5	37.4
C40	4.5	42.4

2.4 配合比试验

1) 水胶比和胶凝材料用量确定。

根据混凝土配制强度及设计原则, 选取不同水胶比和胶凝材料用量进行试验, 以确定不同强度等级混凝土的胶凝材料用量及水胶比。非廊道部位混凝土水胶比取 0.60 ~ 0.48, 胶凝材料用量取 246 ~ 292 kg/m³, 外加剂掺量为胶凝材料的 0.85%; 闸首廊道部位混凝土由于有抗渗要求, 胶凝材料用量取 320 ~ 361 kg/m³, 外加剂掺量为胶凝材料的 0.80%; 试验中混凝土坍落度控制在 50 ~ 90 mm。混凝土配合比参数及试验结果见表 6。

表 6 混凝土配合比参数及试验结果

水胶比	胶凝材料用量 / (kg·m ⁻³)	胶材比例 (水泥:粉煤灰:矿粉)	用水量 / (kg·m ⁻³)	抗压强度 / MPa		抗渗等级	抗冻等级
				7 d	28 d		
0.40	361	50:20:30	144	36.7	57.2	P8	F100
0.43	340	50:20:30	146	34.8	51.6	P8	F100
0.46	320	50:20:30	147	29.0	44.0	P8	F100
0.48	292	45:29:26	140	22.8	39.3		F100
0.51	280	45:29:26	144	21.3	37.2		F100
0.54	266	45:29:26	144	21.2	36.5		F100
0.57	255	45:29:26	145	17.9	31.8		F100
0.60	246	45:29:26	145	16.3	29.4		F100

根据试验结果,在满足混凝土强度及耐久性要求前提下,遵循低胶凝材料用量,经济合理的原则,可确定 C30 混凝土胶凝材料用量 280 kg/m^3 ,水胶比 0.51; C25 混凝土胶凝材料用量 266 kg/m^3 ,水胶比 0.54; C20 混凝土胶凝材料用量 246 kg/m^3 ,水胶比 0.60; C40 混凝土胶凝材料用量 320 kg/m^3 ,水胶比 0.46。

2) 最佳砂率的确定。

混凝土的合理砂率值是根据骨料品质、粒径、水胶比和砂的细度模数等通过试验进行确定的^[7]。在满足混凝土和易性及其他性能指标前提下,应选择较小砂率,以提高混凝土体积稳定性,减少混凝土收缩,提高混凝土抗裂性能。试验通过固定水胶比和胶凝材料用量,选取不同砂率,分别测定混凝土和易性,以和易性最好、砂率较小的砂率值为混凝土配合比最佳砂率,试验结果为 C40 混凝土砂率 36%, C30 混凝土砂率 37%, C25 和 C20 混凝土砂率 38%。试验结果见表 7。

表 7 混凝土最佳砂率试验结果

水胶比	胶凝材料用量/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	胶材比例(水泥: 粉煤灰:矿粉)	砂率/ %	坍落度/ mm	和易性
0.46	320	50:20:30	34	90	较差
			36	80	好
			38	75	较好
0.51	280	45:29:26	35	85	较好
			37	80	好
			39	80	较好
0.54	266	45:29:26	36	90	较差
			38	85	好
			40	70	较好
0.60	246	45:29:26	36	90	差
			38	80	好
			40	75	较好

2.5 配合比的选定

根据混凝土配合比试验结果,选取工作性能良好,强度、耐久性满足设计要求,单方水泥用量低,经济合理的配合比。选定混凝土配合比见表 8。

表 8 选定混凝土配合比

混凝土	水胶比	砂率/%	单位用量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)									
			水泥	粉煤灰	矿粉	河砂	机制砂	5~20 mm 碎石	20~40 mm 碎石	水	外加剂	
C40P8F100	0.46	36	160	64	96	266	399	621	621	147	2.56	
C30F100	0.48	37	131	85	76	269	404	628	628	140	2.48	
C25F100	0.54	38	120	77	69	281	421	621	621	144	2.26	
C20F100	0.60	38	111	71	64	283	425	623	623	148	2.09	

3 结语

1) 配合比设计围绕降低水化热的核心问题进行,缓凝型聚羧酸高性能减水剂除了能降低胶凝材料用量,还能有效减缓混凝土温峰到来时间。

2) 工程实践表明,通过优化骨料级配,采用大掺量矿物掺合料技术路线,在混凝土中掺用粉煤灰和矿粉,可改善混凝土和易性、降低混凝土水泥用量、提高混凝土抗裂性能。

参考文献:

[1] 朱平,王海滨,刘洪新. 船闸工程闸室侧墙裂缝分析与处理[J]. 水运工程, 2006(6): 116-118.

- [2] 徐家国,曹海亮. 船闸混凝土裂缝成因与防治措施分析[J]. 吉林水利, 2012(2): 50-52.
- [3] 内维尔 A M. 混凝土的性能[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [4] 黄修山,白召鹏. 嘉陵江草街航电枢纽工程船闸大体积混凝土裂缝控制[J]. 珠江现代建设, 2009(4): 4-5.
- [5] 吴景辉,董维佳. 掺矿渣粉、粉煤灰对水泥水化热的影响[J]. 科学研究, 2005(6): 20-22.
- [6] 李刚. 三峡永久船闸二期工程混凝土配合比设计试验[J]. 人民长江, 2007(1): 34-38.
- [7] 宫凌杰,郑伟. 嘉陵江草街航电枢纽工程船闸混凝土配合比的设计[J]. 水利建设与管理, 2009(6): 83-86.

(本文编辑 武亚庆)