

大岗山水电站尾水隧洞顶拱混凝土配合比研究

侯建军, 刘莉萍, 陆威

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川成都 611730)

摘要:针对大岗山水电站尾水隧洞顶拱混凝土表面频繁出现的水波纹现象进行了分析探讨, 研究发现其主要原因是由于混凝土泌水。阐述了采用粉煤灰替代砂使混凝土泌水率稳定于 3.94% 的过程, 解决了顶拱混凝土出现的水波纹问题, 所提供的思路对于类似工程具有较好的指导意义和参考价值。

关键词:水波纹; 泌水; 石粉; 粉煤灰; 大岗山水电站; 混凝土配合比

中图分类号: TV7; TV41; TV43; TV42; TV554

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2022)04-0068-03

Study on the Concrete Mix Proportion for Crown of Tailrace Tunnel in Dagangshan HEP

HOU Jianjun, LIU Liping, LU Wei

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd, Chendu, Sichuan, 611730)

Abstract: In view of the frequent water ripple on the crown of the tailrace tunnel of Dagangshan HEP, it is mainly due to the bleeding of concrete after study. The paper proposes to use fly ash instead of sand, to maintain the bleeding rate of concrete stable at 3.94%, which solves the phenomenon of water ripple on the crown. The ideas provided in this paper has good guiding significance and reference value for similar projects.

Key words: Water ripple; Bleeding; rock powder; Fly ash; Da Gangshan HEP; Mix proportion

1 概述

大岗山水电站位于四川省雅安市石棉县挖角乡境内的大渡河中游上段, 装机容量为 2 600 MW(4×650 MW)^[1]。由中国水电七局承建该电站的引水发电系统。

2011 年下半年, 作为整个电站核心组成部分的 2 号尾水隧洞进入混凝土全面衬砌阶段。但在前几仓浇筑后的混凝土表面不同程度地出现了水波纹现象, 引起技术人员的重视。

大量工程经验及资料表明: 水波纹的形成主要是由混凝土的泌水引起。而造成混凝土泌水的原因多种多样^[2~4]。项目部所属工地试验室对浇筑用混凝土进行了取样试验, 试验结果表明: 取样成型后约 1 h 左右混凝土试件表面开始泌水, 且泌水量较大, 混凝土存在滞后泌水现象。为解决这一问题, 试验室技术人员对混凝土配合比及原材料方面进行了分析。阐述了对大岗山水电站尾水隧洞顶拱混凝土配合比进行研究的过程。

顶拱混凝土使用的原材料:

(1) 水泥采用四川皓宇水泥有限公司生产的峨塔 P·O42.5 水泥。

(2) 粉煤灰采用四川宜宾元亨集团有限公司生产的元亨 II 级粉煤灰。

(3) 骨料采用大岗山水电站厂房回采骨料, 岩性为花岗岩。

(4) 减水剂、引气剂为山西凯迪建材有限公司生产的产品。

(5) 拌和用水为大岗山水厂生产的施工用水。

2 原因分析及解决方案的确定

2.1 混凝土配合比设计

浇筑用 C20W6F50 泵送(设计坍落度为 16~18 cm)混凝土骨料经监理工程师批复采用大岗山水电站厂房回采料。尾水隧洞边顶拱混凝土施工配合比见表 1, 每 m³ 混凝土材料用量见表 2。

2.2 采用现场原材料对配合比进行复核

经核实, 现场用原材料与原报批配合比一致, 试验室采用现场用各种原材料对 2 号尾水隧洞边顶拱所报批的配合比进行了复核。C20W6F50 混凝土配合比复核试验结果见表 3。

收稿日期: 2022-03-28

表1 尾水隧洞边顶拱混凝土施工配合比表

设计强度等级	水胶比	用水量 /kg·m ⁻³	砂率 /%	粉煤灰掺量 /%	石子比例 (小石:中石)	减水剂掺量 /%	引气剂掺量 1/万
C20W6F50	0.5	156	44	25	50:50	0.6	0.4

表2 每m³混凝土材料用量表

设计强度等级	水泥	粉煤灰	水	砂	小石	中石	减水剂	引气剂
C20W6F50	234	78	156	805	514	514	1.872	0.0125

表3 C20W6F50混凝土配合比复核试验结果表

检测项目			和易性描述
坍落度/cm	含气量/%	泌水率/%	
17.2	3.3	19.22	滞后泌水

复核配合比所用的原材料均已经过检验,各种原材料检测结果满足相关技术要求。但从混凝土配合比复核试验结果看:大约在混凝土静置30 min后出现泌水且泌水率达到19.22%,混凝土表面出现水波纹现象,难以满足现场施工要求。

考虑到骨料级配和含石粉量的影响,在与其他参建单位进行探讨后,试验室决定采用更大石

表4 C20W6F50混凝土配合比复核试验结果(棱子坝骨料)表

检测项目			和易性描述
坍落度/cm	含气量/%	泌水率/%	
16.4	3.6	3.88	和易性较好,未发现滞后泌水

在保证混凝土含气量变化不大、坍落度满足要求的情况下,经与大岗山水电站厂房回采骨料相比,采用棱子坝骨料的混凝土泌水率从19.22%降至3.88%且混凝土不发黏、砂率适中、和易性好,该配合比完全能够满足现场施工要求,同时混凝土表面水波纹现象消失。

表5 细骨料检测结果统计表

细骨料产地	累计筛余百分数/%									
	10	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	筛底	细度模数	石粉含量/%
厂房回采骨料	0	1	19.2	37.3	60.8	75.6	89.7	/	2.8	10.2
棱子坝骨料	0	1.9	19.5	33.2	54.7	71.4	85.9	/	2.6	13.9
*	/	10~0	25~0	50~10	70~41	92~70	100~90	/	/	6~18

注:*栏所列级配范围为《水工混凝土施工规范》DL/T5144-2001所规定的要求。

从以上筛分结果的对比情况可以看出:棱子坝砂石粉含量较厂房回采砂石粉含量高3.7%。考虑到砂中的石粉含量对混凝土拌和物保水性的影响,初步确定:砂中的石粉含量偏低是引起混凝土滞后泌水的主要原因。

2.5 结论验证

针对上述试验结果,试验室采取人工调整原骨料石粉含量的方式对厂房回采砂进行了复配,复配后的厂房回采砂筛分结果见表6。厂房骨料中的石粉含量增加至13.6%,与棱子坝骨料中的

粉含量的骨料对现场用配合比进行复核试验。

2.3 采用棱子坝骨料替代厂房回采骨料进行配合比复核试验

针对上述问题,经试验室全体技术人员讨论后决定:在保持其他原材料不变的情况下,采用棱子坝骨料替代厂房回采骨料进行配合比复核试验,C20W6F50混凝土配合比复核试验结果见表4。

2.4 滞后泌水原因分析

从两次复核试验结果看:滞后泌水的主要原因在于骨料不同。从两种骨料的检测结果看,最大的区别在于两种细骨料的石粉含量指标存在一定的差异。两种细骨料检测结果统计情况见表5。

石粉含量相当,且骨料的细度模数和颗粒级配也与棱子坝骨料相当。

试验室对采用上述方式调整后的人工砂的混凝土配合比再次进行了复核试验,C20W6F50混凝土配合比复核试验结果(复配后厂房回采砂)见表7。试验结果表明:厂房人工砂的细度模数及石粉含量增加至13.6%,对混凝土滞后泌水现象具有较明显的改观,泌水率仅为4.25%,降低了78%,用此配合比浇筑的顶拱混凝土未出现水波纹现象,且施工和易性较好。

表 6 复配后的厂房回采砂筛分结果表

细骨料产地	累计筛余百分数 / %							筛底	细度模数	石粉含量 / %
	10	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16			
厂房回采骨料	0.0	1.7	16.6	33.4	56.3	72.3	86.3	/	2.61	13.6
*	/	10~0	25~0	50~10	70~41	92~70	100~90	/	/	6~18

注: * 栏所列级配范围为《水工混凝土施工规范》DL/T5144-2001 所规定的要求。

表 7 C20W6F50 混凝土配合比复核试验结果(复配后厂房回采砂)表

检测项目			和易性描述
坍落度 / cm	含气量 / %	泌水率 / %	
17.8	3.4	4.25	和易性较好,泌水正常

2.6 解决方案的确定

鉴于大岗山水电站引水发电系统招标文件中规定该标所需的砂石骨料均由厂房人工骨料加工系统供应,但砂中石粉含量的调整过程较为缓慢。为及时解决这一问题,确保工程质量,结合其他工

程经验,试验室提出了采用粉煤灰替代砂的技术方案,即在保持配合比其他参数不变的情况下,下调 1% 的砂率,采用粉煤灰替代砂分别为 2%、3%、4% 进行室内混凝土拌制试验。粉煤灰代砂方案试验结果见表 8。

表 8 粉煤灰代砂方案试验结果表

检测项目				和易性描述
粉煤灰代砂 / %	坍落度 / cm	含气量 / %	泌水率 / %	
2	18.3	4.1	4.77	和易性较好
3	16.9	3.6	3.94	和易性较好
4	17.2	3.5	1.81	和易性较好

由表 8 可以看出:随着粉煤灰替代砂量的增加,混凝土泌水率降低,且混凝土和易性较好。尤其是当其掺量大于 4% 时,泌水率仅为 1.81%,与 2%、3% 粉煤灰替代砂相比,泌水率分别降低了 38%、46%。其原因主要是由于在水泥水化过程中粉煤灰的一部分起到了石粉效果,另一部分则充当了胶材,吸附了更多水分子,抑制了水上浮;此外,粉煤灰呈球状、表面光滑^[5],与水泥和石粉相比,具有更好的流动性,因此混凝土流动状态好。

考虑到混凝土的经济性,增加 1% 的粉煤灰每 m³ 混凝土的成本增加 1.6 元;在将经济性与现场试验效果结合后,最终决定采用下调 1% 砂率、采用粉煤灰代砂 2% 及下调 1% 砂率、采用粉煤灰代砂 3% 两个方案进行现场混凝土浇筑。

表 9 调整后的尾水隧洞边顶拱混凝土施工配合比表

设计强度等级	水胶比	用水量 / kg · m ⁻³	砂率 / %	粉煤灰掺量 / %	粉煤灰代砂 / %	石子比例 (小石:中石)	减水剂掺量 / %	引气剂掺量 1/万
C20W6F50	0.45	156	43	25	3	50:50	0.6	0.4

表 10 每 m³ 混凝土材料用量表

设计强度等级	水泥	粉煤灰	水	砂	粉煤灰代砂	小石	中石	减水剂	引气剂
C20W6F50	234	78	156	762	24	524	524	1.872	0.012 5

(下转第 75 页)

置采用液压油缸水平顶及竖向顶配套的方式,负一层模板台车由桁架 A+桁架 B+桁架 D+桁架 E 组成,负二层模板台车由桁架 A+桁架 B+桁架 C+桁架 D+桁架 E 组成。地铁车站标准段侧墙采用移动式大钢模工艺具有周转使用次数多、减少工地废旧模板垃圾的产生、节约原材料的优点,同时具有拼装工序少,节约人工成本,减少后期对混凝土墙面的装修处理,提高成型后混凝土外观质量的优点,所取得的经济与社会效益良好。

参考文献:

[1] 黄程龙,王涛. 地铁车站侧墙不同类型模板施工优劣浅析

(上接第 57 页)

4 结 语

详细介绍了大型渣场场地平整前快速获取地形数据的方法以及计算平整高程和挖填方量的解决方案。该方案应用无人机机载激光雷达技术获取地面点云数据,然后将点云数据转换为栅格数据用于计算平整高程及挖填方量,相较于传统方法,该方案具有作业速度快、劳动强度低、获取结果精度高等优点。

在项目实际应用过程中可以看出:机载激光雷达技术改变了传统单点测量方法为点阵测量方法,使数据采集过程具有高效、高精度的特点。能够提供扫描测区表面的海量三维点云数据,可用于获取高精度、高分辨率的数字地形模型,由此可以看出:无人机机载雷达技术在水利工程测绘领域中具有广阔的应用前景。

(上接第 70 页)

4 结 语

该工程通过采用下调 1% 砂率、用粉煤灰代砂 3% 的配合比方案施工,使混凝土泌水率从 19.22% 降至 3.94%,成功解决了顶拱混凝土出现的水波纹现象。实际工程案例说明:顶拱混凝土的浇筑一定要重视骨料中的石粉含量。在工程准备期应提前考虑原材料品质是否会影响到混凝土的质量。

该工程采用的粉煤灰代砂方案从经济成本的角度出发,无疑是提高了混凝土单价,但在无法改变原材料现状的情况下,其确实是一种改善混凝土浇筑质量的有效途径。

参考文献:

[1] 邵敬东,黎满林,刘翔,等. 高地震区大岗山水电站拱坝设

[J]. 建设监理,2019,26(2):76-78,84.

[2] 苟亚辉,丁加亮. 侧墙模板台车在地铁车站施工中的应用[J]. 隧道建设,2015,35(增刊 2):167-170.

[3] 何鹏. 地铁车站大钢模结构施工技术分析[J]. 山西建筑,2020,46(5):79-80.

[4] 郑书朝. 组合大钢模在轨道交通地下车站结构施工中的应用[J]. 建筑科技,2018,2(2):34-37.

[5] 雷雄武. 地铁车站自行式侧墙模板台车施工技术[J]. 广东土木与建筑,2017,24(2):50-52.

作者简介:

苏洪林(1990-),男,四川渠县人,工程师,从事地铁工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

参考文献:

[1] 杨程焯,周谦益,李保生,等. 露天矿智能测绘与精准量测技术在芒来露天矿的应用[J]. 露天采矿技术,2021,36(4):22-25.

[2] 凌晨阳,余盛艳,陈科场. 机载激光雷达技术在复杂地形土石方测量中的应用[J]. 城市勘测,2020,35(5):125-128.

[3] 徐绍铨,张华海,杨志强,王泽民. 工程测量[M]. 武汉:武汉大学出版社,2008.

[4] 顾鹏飞,刘天文,李晗. 无人机载激光雷达在公路勘测设计中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2021,44(6):177-180.

[5] 郭新国. 工程测绘中激光雷达测绘技术的应用[J]. 工程技术研究,2020,43(2):38-39.

作者简介:

王连超(1985-),男,河南新乡人,副总监理工程师,工程师,从事水利工程建设监理工作;

桑颖葛(1991-),男,河南长葛人,项目技术质量部副主任,助理工程师,从事水利水电工程及市政工程测量工作;

郭建中(1974-),男,四川眉山人,技术员,从事水利水电工程及市政工程测量工作。(责任编辑:李燕辉)

计[J]. 水力发电,2015,41(7):34-38,67.

[2] 卢红军. 关于减少混凝土表面水波纹的探索与研究[J]. 科技信息,2012,30(21):335-336.

[3] 刘海波,龙彩英. 混凝土水波纹产生的原因与防治措施[J]. 华东公路,2022,45(1):143-144.

[4] 刘建军. 预应力混凝土箱梁水波纹现象的防治[J]. 科技信息,2012(6):1.

[5] 覃维祖. 粉煤灰在混凝土中的应用[J]. 粉煤灰综合利用,2000,14(3):1-7.

作者简介:

侯建军(1981-),男,山西吕梁人,高级工程师,从事水利水电工程试验检测技术与管理工作;

刘莉萍(1985-),女,四川资阳人,助理工程师,从事水利水电工程试验检测技术工作;

陆威(1983-),男,四川郫都人,助理工程师,从事水利水电工程试验检测技术工作。(责任编辑:李燕辉)