

全圆针梁台车衬砌混凝土配合比优化设计

李孝坡¹, 温哲昊², 李联书², 邱鸿志²

(1. 中铁十二局集团第二工程有限公司, 四川 泸定 626100; 2. 四川华能泸定水电有限公司, 四川 泸定 626100)

摘要: 混凝土配合比对整个混凝土工程质量有着重要作用, 施工开始前应对混凝土配合比有充足的技术储备; 施工过程中原材料与配合比设计时发生大的变化或混凝土质量发生系统性问题时, 需针对混凝土配合比进行优化设计, 使其对施工配合比真正起到指导作用, 进一步提高混凝土质量。

关键词: 混凝土配合比; 优化设计; 混凝土质量; 和易性

中图分类号: TV672

文献标识码: A

文章编号: 1001-2184(2023)01-0126-03

Optimal Design of Lining Concrete Mix Proportion of Full-circle Needle Beam Trolley

LI Xiaopo¹, WEN Zhehao², LI Lianshu², QIU Hongzhi²

(1. The Second Engineering Co., Ltd. of China Railway 12th Bureau Group, Luding Sichuan 626100;

2. Sichuan Huaneng Luding Hydropower Co., Ltd., Luding Sichuan 626100)

Abstract: The mix proportion of concrete plays an important role in the quality of the entire concrete project. Before construction begins, there should be sufficient technical storage for the mix proportion of concrete; when there is a major change in the design of raw materials and mix proportion during the construction process or if there is a systemic problem with the quality of concrete, it is necessary to focus on optimal design of concrete mix proportion. In this way, the mix proportion could play a guiding role in the construction and further improve the concrete quality.

Key words: Concrete mix proportion; Optimized design; Concrete quality; Workability

1 概述

硬梁包水电站引水隧洞采用两条隧洞平行布置于大渡河左岸, 两洞间距 60.0 m, 1 号引水隧洞(靠大渡河侧)长度为 14 326.402 m, 2 号引水隧洞(靠山侧)长度为 14 427.889 m, 平均长度为 14 377.146 m, 引水隧洞衬砌后内径 13.1 m。2022 至 2024 年是引水隧洞工程衬砌混凝土浇筑高峰期, 入仓方式为泵送, 混凝土设计等级为 C₉₀25W8F100, 台车采用全圆针梁台车一次浇筑成型。目前使用衬砌施工配合比因混凝土设计标号低(胶凝材料低), 入仓采用泵送方式需要大坍落度、大流动性混凝土, 现场混凝土施工易堵管、混凝土易泌水、外观出现蜂窝麻面、冷缝(降低混凝土抗渗、抗冻性能)、表面大量砂线等问题。经分析, 主要原因为胶凝材料低、减水剂掺量高、骨料粒径级配均有所变化, 原设计混凝土配合比已对混凝土施工配合比失去指导意义, 故对原配合

比进行优化设计^[1-2]。

2 混凝土配合比优化使用材料描述

四川峨胜水泥集团股份有限公司生产的普通硅酸盐水泥 P·O42.5, 粉煤灰使用四川成都金堂电厂生产的 F 类 II 级粉煤灰, 骨料使用花岗岩生产的机制砂(细度模数 2.77)及碎石、外加剂使用成都宏开建材有限公司生产的“CG-PC”型高性能减水剂(减水率 26%, 推荐掺量 1.0%)、“ZA-YQ”型引气剂(掺量 0.025%, 母液 20 倍稀释使用量为 1.56 kg/m³)。

3 混凝土配合比优化方案

经过分析混凝土冷缝多是由于混凝土和易性不好堵管, 混凝土浇筑不连续造成的; 蜂窝麻面、表面砂线多是混凝土泌水造成的。通过对衬砌施工工艺学习及与施工技术人员交流、计划、调整外加剂(减水剂、引气剂)掺量对比混凝土和易性以及的细骨料砂率下混凝土和易性的变化; 在 0.45、0.50、0.55 三个水胶比中根据混

收稿日期: 2022-07-22

凝土拌和物和易性最好、强度及耐久性性能优越做线性回归分析,得到混凝土的水胶比与强度关系式从中选取最优水胶比^[3-4]。在最优水胶比确定后,在 140~160 mm、160~200 mm、180~220 mm 坍落度下结合最长泵送距离,各混凝土和易性及泵送性能下选取最优坍落度。最终选定混凝土配合比进行试泵送施工,根据试泵送时抗压强度、抗渗、抗冻性能验证该混凝土理论配合比可操作性。混凝土拌和物满足施工需求;混凝土强度满足设计要求;混凝土具有良好的抗冻、抗渗等要求的前提下尽量降本增效。

表 1 混凝土强度等级及技术指标

混凝土强度等级	抗渗	抗冻	水胶比	胶凝材料用量 /kg·m ⁻³	砂率 /%	设计坍落度 /mm	含气量 /%	总碱量 /kg·m ⁻³	使用部位
C ₉₀ 25	W8	F100	≤0.50	≥300	35~45	160~180	4.5±1.0	≤3.0	1号、2号引水隧洞混凝土衬砌

表 2 混凝土配合比

强度等级	水胶比	坍落度 /mm	砂率 %	每方混凝土中各种材料用量 /kg·m ⁻³							
				水泥	粉煤灰	水	砂	碎 石		减水剂	引气剂
								小石	中石		
C ₉₀ 25W8F100	0.50	160~180	44	232	78	155	816	623	416	3.10	0.077 5

表 3 不同减水剂掺量下混凝土拌和物状态

混凝土等级	水泥品种	水胶比	粉煤灰掺量 /%	砂率 /%	减水剂掺量 /%	容重 /kg·m ⁻³	坍落度 /mm	含气量 /%	泌水率 /%	和易性
C ₉₀ 25W8F100	普通 硅酸盐	0.50	25	44	0.7	2 340	160	3.1	3.5	良好
					0.8	2 330	170	3.8	1.1	较好
					0.9	2 320	175	3.5	2.9	良好
					1.0	2 320	180	2.9	4.2	一般

表 4 减水剂掺量 0.8%时不同引气剂掺量下混凝土拌和物状态

混凝土等级	水泥品种	水胶比	粉煤灰掺量 /%	砂率 /%	减水剂 /%	引气剂掺量 /%	容重 /kg·m ⁻³	坍落度 /mm	含气量 /%	泌水率 /%	和易性
C ₉₀ 25W8F100	普通 硅酸盐	0.50	25	44	0.8	0.8	2 350	165	5.1	3.1	一般
						1	2 330	175	4.8	2.6	良好
						1.2	2 330	175	4.5	1.7	较好
						1.4	2 310	180	4.4	0.5	较好

通过以上对比试验,减水剂掺量在 0.8%时混凝土和易性及其他指标达到最优。

基于原配合比通过以上 8 组外加剂掺量对比试验结果,减水剂最佳掺量 0.8%、引气剂掺量为 0.025%,20 倍稀释后掺量的 1.4%为最佳掺量。

3.2 不同细骨料砂率及细度混凝土试验结果

基于已选定外加剂最优掺量在原配合比基础上对不同砂率及细度情况下混凝土拌和物状态最

3.1 不同外加剂掺量试验结果

混凝土外加剂采用减水剂、引气剂两种,减水剂的过掺引起的混凝土泌水、泌浆、离析等现象导致混凝土外观出现蜂窝麻面、砂线、浮浆等现象,降低了混凝土抗压、抗渗、抗冻等性能,外观质量差的问题;引气剂掺量过低混凝土拌和物降低少不宜泵送,掺量过高导致混凝土抗压强度降低。以未优化混凝土设计配合比(混凝土强度等级及技术指标见表 1,混凝土配合比见表 2),在外加剂不同掺量下的混凝土拌和物状态(见表 3、4)中选取最佳外加剂掺量。

优砂率及细度模数对比试验结果。通过试验分析该配合比在砂率 43%、细度模数为 2.7 时混凝土状态达到最优。

3.3 最优水胶比下混凝土试验结果

原配合比出现堵管,造成蜂窝麻面、冷缝等现象,考虑到衬砌混凝土泵送施工工艺特殊性,现计划在 0.45、0.50、0.55 三个水胶比中根据混凝土拌和物和易性最好、强度及耐久性性能优越做线

性回归分析,得到混凝土的水胶比与强度关系式。从中选取最优水胶比,减水剂掺量 0.8%、引气剂掺量 1.4%不同砂率及细度下混凝土拌和物状态见表 5,不同水胶比混凝土性能见表 6。

表 5 减水剂掺量 0.8%、引气剂掺量 1.4%不同砂率及细度下混凝土拌和物状态												
混凝土等级	水泥品种	水胶比	粉煤灰掺量/%	减水剂/%	引气剂掺量/%	砂率/%	细度模数	容重/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	坍落度/mm	含气量/%	泌水率/%	和易性
C ₉₀ 25W8 F100	普通硅酸盐	0.50	25	0.8	1.4		2.48	2 360	160	4.9	2.4	良好
						41	2.77	2 330	175	4.6	2.1	较好
							3.02	2 320	175	5.1	3.9	一般
							2.48	2 350	175	5.2	1.8	良好
						43	2.77	2 340	180	5.0	0.2	较好
							3.02	2 330	170	5.3	2.1	良好
							2.48	2 360	175	5.1	2.5	良好
						45	2.77	2 330	175	4.6	0.1	较好
							3.02	2 310	180	5.1	3.3	一般

表 6 不同水胶比混凝土性能												
强度等级	水胶比	拌和物性能试验					凝结时间(时:分)		硬化混凝土性能			
		实测坍落度/mm	和易性	泌水率/%	实测容重/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	含气量/%	初凝	终凝	7 d 抗压强度/MPa	90 d 抗压强度/MPa	抗渗性能	抗冻性能
C ₉₀ 25W8F100	0.45	175	较好	0.5	2 330	4.7	8:22	13:42	21.3	37.1	合格	合格
	0.50	180	较好	0.2	2 330	4.8	9:16	14:05	17.8	33.5	合格	合格
	0.55	180	较好	0.9	2 350	5.3	9:25	14:33	15.8	30.8	合格	合格

混凝土 90 d 抗压强度与水胶比回归方程见表 7。

表 7 混凝土 90 d 抗压强度与水胶比回归方程		
强度等级	回归方程式	相关系数 R
C ₉₀ 25	$y = -63x + 65.3$	0.993 2

根据混凝土水胶比与 90 d 抗压强度关系式和混凝土配制强度值计算出满足要求的水胶比,当水胶比为 0.50 时,90 d 混凝土抗压强度达到引水隧洞衬砌 C₉₀25 设计强度的 106%,90 d 混凝土抗压强度满足配制强度。同时考虑到现场施工过程中各种因素对混凝土的影响,在保证混凝土试配强度等级和现场实体强度情况下及混凝土施工工艺(泵送性能)要求,初步确定后混凝土配合比最优水胶比为 0.48。水胶比与强度曲线关系见图 1。通过试验得到了近似的混凝土强度—水胶比关系曲线,并最终求得考虑强度配置要求和混凝土拌和物和易性良好的最优水胶比。

3.4 不同坍落度下试验结果

通过以上优化后确定最优水胶比为 0.48,最优砂率为 43%,减水剂掺量 0.8%(减水率 26%),

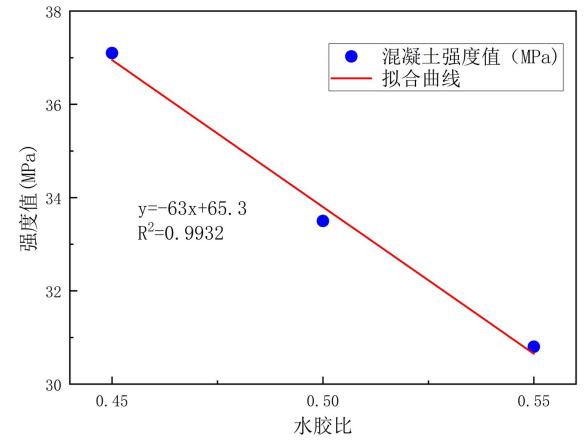


图 1 水胶比与强度曲线关系

引气剂最佳掺量为 0.025%,掺量 20 倍稀释后掺量的 1.4%得出初步配合比。现对其在 140~160 mm、160~180 mm、180~200 mm 下泵送性能进行选定。最终确定坍落度在 160~180 mm 时泵送性能比较优越,确定该配合比最终坍落度。

4 优化设计前后混凝土质量对比

最终优化后衬砌混凝土外观质量及物理性能
(下转第 140 页)

率。适用于大断面开挖的引水隧洞。

在国市监计量发【2021】86 号《关于加强国家现代先进测量体系建设的指导意见》通知中重点任务明确,积极推进计量数字化,加强数字计量基础设施建设,开展计量标准和测量仪器设备数字化技术研究,推进先进测量仪器设备研发和应用。三维扫描仪作为新兴的测量仪器设备,在建筑业中可以推动办公可视化、直观化、精细化,推动数字化测量、无纸化办公,也可以推广应用于医疗、物联网、区块链、人工智能等领域。

后期应用中,对于建好的纹理模型可通过虚拟现实技术结合人工智能,实现远程就医问诊手术、建筑模型受力分析模拟、智能交通运营管理等。三维激光扫描仪在水工建筑物的开挖形体检测、支护形体检测、衬砌形体检测、钢筋检测、围岩监控量测等方面还存在巨大的潜力,需要进一

(上接第 128 页)

有明显的提高,施工期间基本没有堵管现象;蜂窝麻面、冷缝基本杜绝;砂线明显减少;底膜处混凝土气泡明显减少、浮浆基本杜绝^[5]。

5 结 语

因大断面引水隧洞工程全圆针梁台车衬砌施工一次浇筑成型难度大、技术复杂,混凝土体积大,这就对混凝土和易性、适用性有较高要求。因此该类混凝土有较好的流动性,保水性能及良好的包裹性、棍度等。减少底模气泡、浮浆及蜂窝麻面、漏石、冷缝等现象发生频率。

通过对原配合比在现有材料技术参数上进行优化后,混凝土质量大幅度提升,对施工配合比有较好的指导作用,能够对混凝土用材料日常管控保持其质量稳定性,使优化后混凝土配合比状态保持。

参考文献:

[1] 金亮. 水利工程混凝土配合比的试配技术探讨[B]. 辽宁省水利水电勘测设计研究院有限公司,沈阳,黑龙江水利科技

步探索和研究。

参考文献:

[1] 任彤,吴昱樾. 地面三维激光扫描仪在水利工程地形测绘中的应用[J]. 海河水利委员会水文局,天津,2016(2):54-58.
[2] 崔亦芳,丁双林,施攀,等. 三维激光扫描技术在水利工程地形测绘中的应用[J]. 北京测绘,2015(2):89-92.
[3] 梅文胜,周燕芳,周俊. 基于地面三维激光扫描的精细地形测绘[J]. 测绘通报,2010(1):53-56.
[4] 袁夏. 三维激光扫描点云数据处理级应用技术[D]. 南京,南京理工大学,2006:15-17.
[5] 高志国. 地面三维激光扫描数据处理及建模研究[D]. 西安,长安大学,2010:53-57.
[6] 胡哉. 三维激光扫描技术中纹理图像与点云的配准[D]. 南京,南京理工大学,2009:10-16.

作者简介:

张 涛(1989-),男,河南南阳人,专科,测量员,从事工程方面测量工作;
周文科(1975-),男,山东郯城人,专科,测量队长,从事工程方面测量工作.

(责任编辑:吴永红)

2019,47(4):82-84.
[2] 罗毅. 特长水工隧道衬砌混凝土配合比的优化研究[A]. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司,长沙,中国农村水利水电 2018(11):179-182.
[3] 付沛兴. 论混凝土配合比的合理设计方法[A]. 北京市建筑工程研究院,北京,建筑技术 2008,39(1):50-54.
[4] 王大刚. 隧道二次衬砌混凝土配合比优化试验及支护结构力学[A]. 中国电子工程设计院,北京,市政交通 水利工程设计 2016:117-119.
[5] 温润生. 混凝土配合比与施工控制[A]. 徐州技师学院,徐州,价值工程 2011:86.

作者简介:

李孝坡(1985-),男,陕西渭南人,中铁十二局集团第二工程有限公司,工程师,大专,从事试验检测工作;
温哲昊(1992-),男,四川成都人,四川华能泸定水电有限公司,工程师,学士,从事水利水电工程管理工作;
李联书(1975-),男,四川仁寿人,四川华能泸定水电有限公司,高级工程师,学士,一级建造师,从事水利水电工程建设质量管理工作;
邱鸿志(1997-),男,四川汶川人,四川华能泸定水电有限公司,助理工程师,学士,从事水利水电工程方面工作.

(责任编辑:吴永红)

2022 年全国能源保供能力稳步提升 清洁能源发电同比增长 5.3%

国家统计局能源统计司司长胡汉舟介绍,2022 年,中国着力增强能源生产保障能力,充分发挥煤炭主体能源作用,不断提升油气勘探开发力度,大力发展多元清洁供电体系,有力保障了经济社会稳定发展和持续增长的民生用能需求。原油产量继续回升,天然气持续增产。2022 年,油气生产企业持续加强勘探开发和增储上产,提升油气自给能力。全国规模以上工业原油产量 20 467 万吨,比上年增长 2.9%,2016 年以来首次回升至 2 亿吨以上;天然气产量 2 178 亿立方米,比上年增长 6.4%,连续 6 年增产超 100 亿立方米。

(来源:人民日报海外版 2023-02-01)