

大洞径全圆针梁衬砌台车底拱混凝土表面气泡 消减措施探讨

夏勇¹, 赵恒¹, 褚云²

(1. 华电金沙江上游水电开发有限公司叶巴滩分公司, 四川 成都 610041;

2. 华电金沙江上游水电开发有限公司昌波分公司, 西藏 昌都 854000)

摘要:全圆模板浇筑易导致底拱表面气泡水纹集中,影响衬砌混凝土外观质量。结合叶巴滩水电站大洞径全圆针梁台车衬砌混凝土施工,分析大洞径全圆针梁台车底拱混凝土气泡水纹的产生原因和影响因素,明确底拱 120°范围是质量控制重点,并从混凝土配合比优化与拌和参数控制、台车结构调整和性能改进、模板质量要求和处理措施等方面进行探讨,总结了降低用水量、控制坍落度、优选脱模剂、强化振捣措施、增设排气引水孔、提高模板表面光洁度等系列方法,成功解决底拱混凝土表面气泡水纹问题,为同类工程混凝土气泡水纹消减提供思路。

关键词:针梁衬砌台车;表面气泡;消减措施

中图分类号:TV331

文献标志码:A

文章编号:1001-2184(2024)04-0125-04

Discussion on the Measures to Reduce Air Bubbles on the Concrete Surface of the Bottom Arch of the Large Diameter Full Circle Needle Beam Lining Trolley

XIA Yong¹, ZHAO Heng¹, CHU Yun²

(1. Yebatan Branch, Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610041;

2. Changbo Branch, Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co., Ltd., Changdu Xizang 854000)

Abstract: Full circle formwork pouring can easily lead to the concentration of bubbles and water marks on the surface of the bottom arch, which affects the appearance quality of the lining concrete. This article combines the construction of the lining concrete of the large diameter full circle needle beam trolley at the Yebatan Hydropower Project, analyzes the causes and influencing factors of the concrete bubble and water marks on the bottom arch of the large diameter full circle needle beam trolley, clarifies that the 120° range of the bottom arch is the focus of quality control, and explores the optimization of concrete mix proportion and mixing parameter control, structural adjustment and performance improvement of the trolley, quality requirements and treatment measures of the formwork, summarizes a series of methods such as reducing water consumption, controlling slump, selecting demolding agents, strengthening vibration measures, adding exhaust water holes, and improving the surface smoothness of the formwork. It successfully solves the problem of bubble and water marks on the surface of the bottom arch concrete, providing ideas for the reduction of concrete bubble and water marks in similar engineering projects.

Keywords: Needle beam lining trolley; Surface bubbles; Reduction measures

0 引言

水电站尾水隧洞的衬砌质量影响工程运行安全和服役健康,特别是衬砌表层混凝土的密实程度、光滑程度、孔洞含量等,直接影响高速水流下的长期抗冲耐磨能力。因此,衬砌混凝土表面质量提升是工程施工的重点。

近年来,全圆针梁台车在隧洞衬砌领域的应

用逐渐增多,全圆针梁台车浇筑的混凝土结构具有一次成型、尺寸统一、整体性好、平整度高、流程简单、操作方便等特点^[1],便于程序化和标准化作业。同时,台车带有自行走动力装置,可实现重复利用、循环操作、连续施工,在全圆隧洞混凝土衬砌中得到广泛使用和推广。但全圆式针梁台车在衬砌大洞径圆形隧洞时,在底拱 120°范围易出现气泡水纹,影响施工质量与施工进度,后期处理难

收稿日期:2024-05-15

度和费用较高,底拱混凝土的气泡水纹问题成为圆形隧洞工程的重点内容。

针对上述问题,笔者总结叶巴滩水电站超大直径全圆针梁台车的使用经验,分析底拱混凝土气泡水纹的形成原因、影响因素和重点区域,并提出应对方法和解决措施,为同类工程混凝土气泡水纹消减提供思路。

1 项目背景

1.1 工程概况

叶巴滩水电站位于金沙江上游川藏段主河道上,系金沙江上游13个梯级水电站的第7级,总装机容量2 240 MW,是金上流域川藏段装机容

量最大的骨干电源工程,也是中央支持西藏经济社会发展的重大项目。

电站枢纽建筑物主要由拦河大坝、泄洪消能设施、引水发电系统等组成。地下引水发电系统采用“右岸首部式厂房+长尾水”的布置方案,其中两条尾水洞平行布置,洞轴线间距65 m,呈圆型断面,长度分别为3.2 km、3.1 km,衬砌后断面直径14.4 m。隧洞衬砌混凝土的设计标号为C30W8F150(二),坍落度160~180 mm。衬砌混凝土采用“罐车水平运输+泵送入仓”的方式浇筑,利用全圆针梁衬砌台车一次成型。大洞径全圆针梁衬砌台车总装示意图见图1。

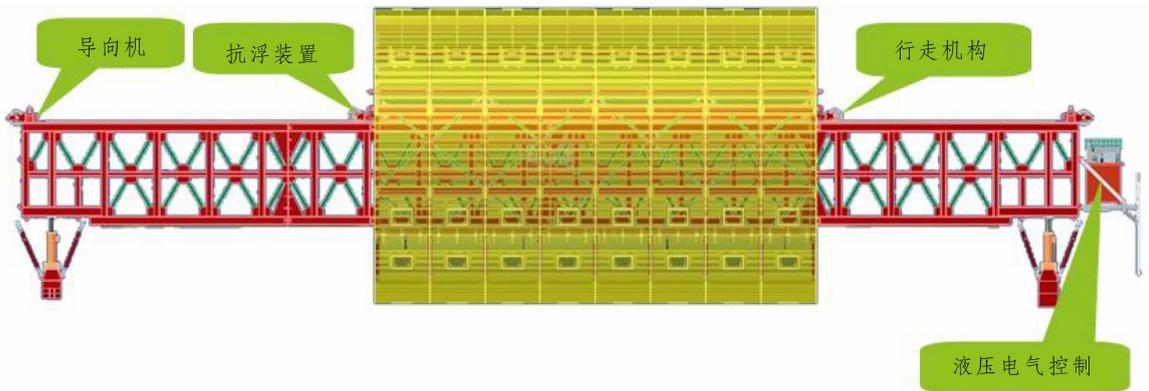


图1 大洞径全圆针梁衬砌台车总装示意图

1.2 施工方法

根据衬砌混凝土的浇筑高度和台车开孔位置不同,衬砌混凝土的浇筑方式和振捣方法有差别。首先从全圆针梁衬砌台车底部中间浇筑混凝土,采用 $\phi 50$ 软轴振捣棒振捣密实,控制每层浇筑厚度不超过50 cm^[2];混凝土达到底拱模板高程时,关闭底模窗口,开启侧模窗口,从两侧侧模窗口均匀下料,采用附着式振捣器进行复振,控制两侧混凝土面高差不大于50 cm;混凝土高度超过腰线时,关闭侧模窗口,通过顶模中心线预留的进料口均匀下料,采用仓内人工振捣。

1.3 施工效果

底拱混凝土表面气泡水纹状况见图2。衬砌混凝土表面气泡水纹主要集中在底拱120°范围,其中底板平段气泡多且较大,反弧段气泡小但存在水纹,腰线以上部位混凝土基本无表面气泡和水纹痕迹。这表明底拱模板坦化导致下部混凝土

振捣过程中排气不畅,气泡、泌水集中导致硬化后出现不同程度的质量缺陷,其他同类工程也出现了相似的情况。

2 底拱表面气泡水纹产生原因及影响因素

结合同类工程经验,底拱混凝土表面产生气泡水纹的影响因素主要包括混凝土配合比、拌和时间、模板、施工工艺等^[3]。

2.1 混凝土配合比及拌和影响

隧洞衬砌面临钢筋制安密集、操作空间有限、台车环境恶劣等问题,常采用高坍落度、高流态的泵送混凝土浇筑,坍落度普遍达到180~220 mm,导致混凝土薄膜结合水、自由水含量相对较多,振捣中大气泡形成,风险较高。同时,粗集料颗粒间互相填充、嵌固,表面裹浆粘结不充分,经振捣后容易产生大量气泡。

拌和楼追求出料效率,把混凝土拌和时间压缩至60s,导致拌和不均匀、拌和时间不足,混凝



图 2 底拱混凝土表面气泡水纹状况

土容易形成离析,并局部产生气泡和气泡集中。现场工艺调整中发现,在相同施工条件下,底板混凝土气泡大小和数量与混凝土运输时间有关,如拌和楼距衬砌部位 15 min 的底板混凝土气泡含量明显减少。

2.2 针梁台车模板影响

针梁台车底部坦平度较大,底部 45° 范围内的模板与平铺后混凝土表面的切角较小,导致气泡排出路径较长,模板平段和反弧段的逃逸阻力较大,气泡聚集并滞留在构件表面或吸附在模板表面^[4]。同时,由于衬砌仓内环境潮湿、温度较高,水珠易在模板内壁生成,形成水纹或大水珠挂在模板底部,最终在混凝土硬化后形成气泡水纹。

2.3 脱模剂选择影响

脱模剂类型对气泡生成和混凝土表面质量有直接影响,水溶性脱模剂对台车钢模板有腐蚀性,现场主要采用生物油类脱模剂,该类脱模剂具有较强的气泡、水泡吸附性,导致气泡难以排出,最终影响硬化后混凝土表面质量。

2.4 施工工艺影响

施工作业人员操作空间有限,为避免混凝土振捣不密实,振捣器插拔速度均过慢,插入间距偏大且超过影响半径,导致振捣范围有限和振捣效力不足,漏振现象发生。振捣时间常超 30 s,过振问题突出,混凝土内部微小气泡破灭后重新聚集成大气泡。

2.5 施工陋习影响

灌车运输存在运距长、气温高、故障多等原因,导致混凝土坍落度损失较大,工作性变差,甚至出现泵送困难。同时,现场施工管理不足,工人加水现象时有发生,致使混凝土用水量变大,气泡形成风险增加。

3 控制及防治改善措施

通过梳理混凝土表面气泡水纹的分布和状态,分析施工中各工序关键环节和控制标准,总结出加强混凝土配合比和拌和质量控制、优化台车结构和增加附着式振捣措施、强化模板表面处理、提升施工工艺水平等方法。

3.1 科学级配混凝土配合比

进一步优化混凝土配合比,严格控制用水量、水灰比和坍落度,在满足混凝土和易性和泵送的前提下,尽可能减少自由水占比。2022 年,混凝土浇筑未严格进行坍落度控制,现场实测坍落度约 220 mm,脱模后仰拱表面局部出现了蚯蚓状水痕和大气泡。2023 年,调整混凝土配合比、坍落度,现场抽查坍落度约 160~180 mm,仰拱表面蚯蚓状的水痕和大气泡大幅减少。

3.2 合理规范搅拌时间

严格按照规范要求进行混凝土搅拌,注意搅拌时间的掌握,由于搅拌不均匀会造成局部外加剂偏多,从而产生较多气泡,但过度搅拌又会造成内部气泡整体增多。经过多次试验,确定 90~120 s 作为合适的搅拌时间能够提高混凝

土品质。

3.3 优化台车底拱增设排气孔

为保障混凝土气泡顺利排出,确保台车行走及浇筑过程中不变形,在底拱气泡水纹高密度区两侧各开一排直径1 cm左右的通气孔和狭长形排气条带,增加排气通道,并兼做混凝土状态观察孔。

3.4 加强模板表面光洁度

光洁的模板表面有利于混凝土气泡排出^[4]。脱模剂涂刷前,模板要充分打磨清洗,内侧油污、锈迹清洗干净,表面保证光洁、平整。脱模剂要优选黏稠度较低的专业脱模剂,并谨慎操作、涂刷均匀,防止混凝土表面和钢筋受到污染^[5]。

3.5 加强围岩渗水部位引排

模板安装、钢筋制安前,应仔细检查仓面渗水点,必须做到妥善引排,保证混凝土浇筑中无渗漏水流入,防止模板与混凝土间存水或形成流水通道。

3.6 控制浇筑速度,优化振捣方式

仰拱混凝土浇筑中严格控制浇筑上升速度,按每胚层30~50 cm进行缓慢浇筑。腰线以上采用分层、对称浇注,每层浇筑厚度不超过50 cm,两侧高度差控制在50 cm以内。采用变频附着式振捣器,控制振动频率和振幅作为主要参数,先采

用低频率、小振幅振捣汇集小气泡和泌水;然后加大频率和幅度,辅以人工小铲插边、木锤模外敲振,将气泡挤出混凝土与模板间隙;最后借助附着式振捣器进行二次复振,初振与复振间隔时间控制在20 min内^[6]。经过连续数仓试验,效果显著,混凝土表面气泡变为小气泡,且连续密集情况得到有效改善。

3.7 严格控制拆模时间,迅速表面处理

拆模时间是影响拆模打磨施工的关键因素。过早拆模会影响混凝土质量,造成起拱部位混凝土拉裂或坍塌;过晚拆模会导致混凝土强度太高,缺陷打磨难度较大。根据试验数据,拆模时间可设定为混凝土收仓30 h,拆模后采用旋转抹面机辅助人工抹面。

4 底拱混凝土表面气泡水纹控制措施的应用效果

经过上述工艺、材料、结构、施工等方面的调整和优化后,隧洞底拱混凝土表面气泡水纹数量大幅降低,缺陷尺寸显著减小,观察混凝土表观质量、平整性、光滑性明显提升,特别是针梁台车拆模后,采用旋转抹面机辅以人工抹面措施,成功解决了底拱混凝土表面气泡水纹问题,满足混凝土外观质量要求。混凝土密实无气泡、蜂窝、麻面,表面光滑、平整、美观(图3)。



图3 大洞径全圆针梁台车底拱混凝土衬砌效果

5 结语

结合叶巴滩水电站大洞径混凝土衬砌特点和实际情况,围绕大洞径全圆针梁台车衬砌混凝土底拱气泡水纹的处置方法和外观质量提升措施等

进行分析,从混凝土配合比和拌和和质量控制、优化台车结构和增加附着式振捣措施、强化模板表面处理、提升施工工艺水平等方面进行了探讨。通

(下转第142页)

无人机携带的喊话器,及时通知或驱离河道滞留群众及牲畜,确保人民群众生命财产安全。

4.2 事件追忆及取证

无人机携带的高清摄像头能将采集到的视频信号实时回传到系统平台并保存,有效监测水电站管辖范围内的库区及河道各类非法活动。

4.3 库区漂浮物检测

每年汛期水电站因入库流量加大,导致大量漂浮物进入库区并聚集在拦漂排前,对防汛安全、生产安全造成巨大威胁,充分利用无人机的定时定点航拍功能^[3],分析判断漂浮物面积及位置变化趋势,为漂浮物清理工作提供有力支撑。

4.4 地址灾害巡查

水电站大多地处地质结构复杂区域,易发生边坡垮塌、地震、山火等灾害,利用无人机快速、灵活的特点,参与地质灾害遗址、正在发生的地址情况变化以及潜在风险的地质条件进行记录^[4]。灾情发生时,无人机可克服交通困难等不利因素,快速抵达受灾区域,并实时传递现场信息^[5],研判受灾情况,为救灾工作提供有效保障。

5 结语

该研究通过对水电站水库泄水安全管理中无

(上接第 128 页)

过一系列控制措施和改进,取得了良好效果,减少了后期处理费用和时间,可为同类工程混凝土气泡水纹消减提供思路,具有推广和借鉴意义。

参考文献:

[1] 杨展鹏,扈国义.全圆针梁式衬砌台车在隧道混凝土衬砌施工中的应用[J].东北水利水电,2004,22(241):29-30.

[2] 袁兴泽.衬砌底板混凝土气泡的防治技术[J].东北水利水电,2016(2):24-26.

[3] 李勇,郭少臣.圆弧形水工隧洞底拱混凝土表面气泡成因探讨及其消除措施[J].贵州水力发电,2010,24(5):52-54.

[4] 侯娟.镇安抽水蓄能电站针梁台车衬砌底部气泡控制措施探讨[J].陕西水利,2020(11):141-142,145.

人机技术的应用进行系统研究和探索,取得了一定的成果和发现。研究表明:无人机技术在水电站水库泄水安全管理中具有显著的应用潜力和优势。在监测和分析水库泄水过程中,无人机技术能够快速获取实时数据,掌握泄水过程中的风险因素,为决策提供支持。无人机技术的应用可以实现泄水安全管理的自动化、智能化,提高水电站水库泄水安全管理的效率和工作的安全性,并减少人力资源的消耗。

参考文献:

[1] 张芸硕.无人机遥感技术在水库泄洪预警系统中的应用[J].水利技术监督,2017(04):41-43.

[2] 贺在华,段嘉宜,谢家宸,等.2018—2022年中国无人机行业深度调研及投资前景预测报告[R].2015.

[3] 彭向阳,陈驰,饶章权.大型无人机电力线路巡检作业及智能诊断技术[M].北京:中国电力出版社,2015.

[4] 李洪,王宏伟,由丽华,等.无人机技术在紫坪铺水库综合管理中的应用研究,四川水力发电,2021(6):110-114,142.

[5] 曹雪娟,王森.无人机遥感影像在水利检测领域的应用[J].中国水利,2015(4):69-70.

作者简介:

付根(1987-),男,四川成都人,工程师,学士,从事电气设备运行管理工作。

(编辑:吴永红)

[5] 邵祥.全圆式针梁衬砌台车底拱混凝土气泡成因及解决办法[J].四川建材,2023,49(9):103-105.

[6] 李培丰,刘宁博.双江口水电站尾水隧洞仰拱混凝土外观气泡的降低措施研究[J].中国水能及电气化,2023(6):6-9,47.

作者简介:

夏勇(1984-),男,四川泸州人,高级工程师,硕士,从事水电工程建设管理工作;

赵恒(1992-),男,陕西咸阳人,中级工程师,学士,从事水电工程建设技术管理工作;

褚云(1976-),男,青海贵德人,高级工程师,学士,从事水电工程建设管理工作。

(编辑:吴永红)