

# 衬砌混凝土全自动养护控制系统在特大断面导流洞中的应用

侯树芃, 龚泽鹏, 李召杰, 王国阳

(华电金沙江上游水电开发有限公司拉哇分公司, 四川 成都 610041)

**摘要:**拉哇水电站导流洞衬砌断面属于特大断面, 如果衬砌混凝土在规定期龄内不能达到设计要求的强度, 可能会导致衬砌混凝土产生收缩裂缝。传统养护方式容易出现无法全覆盖混凝土表面和养护不及时的问题。在工程实践中, 研究出一种衬砌混凝土全自动养护控制系统, 该系统能够实现养护区域内衬砌混凝土全覆盖及温度控制, 同时降低施工成本, 满足混凝土养护对于温度的要求, 提高了导流洞衬砌养护质量。

**关键词:**特大断面导流洞; 衬砌混凝土; 全自动养护; 控制系统

**中图分类号:** TV431; TU755.7; TV551.1+2

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2022)03-0049-03

## Application of Automatic Curing Control System in Curing of Primary Lining Concrete of Diversion Tunnel with Extra-large Cross Section

HOU Shupeng, GONG Zepeng, LI Zhaojie, WANG Guoyang

(Lawa Branch of Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610041)

**Abstract:** Primary lining for the diversion tunnel of Lawa Hydropower Station is concreted at an extra-large section. If the lining concrete fails to meet the designed strength within specified concrete age, shrinkage cracks may occur. It is difficult to fully and timely cure the whole concrete surface when traditional curing methods are applied. Based on engineering practices, a fully automatic curing control system for lining concrete is developed, which realizes full coverage and temperature control of lining concrete in the curing area, reduces construction cost, meets the temperature requirements of concrete curing, and improves curing quality of primary lining.

**Key words:** diversion tunnel with extra-large cross section; primary lining concrete; fully automatic curing; control system

### 1 概述

拉哇水电站位于金沙江上游河段四川省和西藏自治区的界河上, 是金沙江上游河段十三级开发的第八级电站, 属一等大(I)型工程, 电站枢纽主要由混凝土面板堆石坝、右岸溢洪洞、右岸泄洪放空洞、右岸地下厂房等建筑物组成, 总装机容量 2 000 MW。大坝施工采用隧洞导流方式, 2 条导流洞布置于右岸, 洞轴线中心距 35m。导流洞布置平面呈微 S 型。①导流洞标准断面尺寸 17 m×19 m(宽×高), 其中洞身结构段长 2 126.75 m, 采用钢筋混凝土衬砌, 衬砌厚度 0.7~3 m; ②导流洞标准断面尺寸为 7.5 m×8 m(宽×高), 其中

洞身结构段长 2 208.95 m, 采用钢筋混凝土衬砌, 衬砌厚度 0.5~2 m。工程规模大, 其中①导流洞属特大型衬砌断面, 且过流期长, 过流流速高。

### 2 传统衬砌混凝土养护方式存在的问题

在特大断面导流洞混凝土衬砌施工过程中, 传统衬砌混凝土养护方式存在诸多不足:

(1) 洒水覆盖不均匀, 导流洞断面过大, 顶拱较高, 无法全面进行养护;

(2) 人工操作效率低, 无法控制洒水量, 导致水资源浪费大, 养护过程中形成的污水横流, 文明施工形象差;

(3) 温度无法控制, 水温与养护面温差大, 易

收稿日期: 2022-05-10

导致衬砌混凝土产生温度裂缝,影响衬砌混凝土质量;

(4)喷淋管路布置需要打插筋,影响隧洞外观形象,且补水困难,需要洒水车时刻补水。

养护洒水系统需运行简便、自动进行,以降低操作难度,减少人工参与,节约施工资源,因此,为提高隧道衬砌施工质量,避免混凝土由于养护不及时发生裂缝,又能有效控制洒水速度,研究出养护专用设备尤为关键。

### 3 全自动养护控制系统的研发和应用

通过多次在施工现场组织勘察,提出了将养护设施做成如同钢模台车覆盖整个养护断面的想法。参建各方迅速成立“全自动养护控制系统”专项研发小组,根据导流洞衬砌台车确定出养护控制系统的尺寸。行走系统利用两侧排水沟,最大限度保护了已衬砌底板的混凝土,台车骨架采用镀锌钢管来提升养护系统的使用寿命。2021年2月,全自动洒水养护控制系统已具雏形,首次在导流洞得到成功应用。

全自动洒水养护控制系统具体方案为:通过两台动力马达带动滚轮移动,两侧共四台马达将行走系统串联在一起,并在行走系统平台上各焊接一个 $2\text{ m}^3$ 水箱,水箱底部接一根水管(带控制阀)连接增压泵,沿着导流洞衬砌面 $30\text{ cm}$ 处设置两条直径 $30\text{ mm}$ 、长 $60\text{ m}$ 的焊接钢管,两条钢管通过交错钢筋焊接加固,钢管沿混凝土面一侧每 $50\text{ cm}$ 设一个喷水孔,通过增压泵将水箱里的水压送至钢管,达到喷水养护的目的,以保证喷淋洒水均匀,使水能全覆盖喷洒在混凝土面上。

衬砌混凝土全自动养护控制系统贴近衬砌面,不占用通道,通过PLC控制驱动系统和喷淋系统,电动马达带动行走平台,实现自动行走<sup>[2]</sup>。通过控制增压泵,实现洒水自动化,当水箱里的水低到一定程度时,通过浮球控制增压泵停止工作,关闭阀门,水箱加水,同时启动另一个水箱工作,保证了自动洒水工作的连续性。此装置避免了由于养护不到位出现混凝土裂缝,又减少人工的投入,改善工作面文明施工形象,有效地保障了混凝土养护期的质量。

养护系统运行过程中,得到多方面指导,不断改进。2021年3月,提出了在全自动洒水养护控制系统上增加补水系统和温控装置系统的方案。

补水方式由原来洒水车给水箱供水优化为导流洞供水系统补水。2019年12月,承包人根据导流洞工程各部位施工用水需求及结合现场实际地形,充分考虑泵站选址、水池布置、管道敷设等实际情况,拟定导流洞工程总体供水布置方案,并于2020年2月建设完工。采用导流洞供水系统补水,解决了原水箱容量小、单次喷淋结束后补水困难的问题,补水优化后单次补满水箱仅需 $30\text{ s}$ ,可供衬砌面全面养护 $500\text{ m}$ ,保障了混凝土养护连续不间断。在养护台车抽水泵后安装温控装置,通过实时测量导流洞洞内温度和水温温差,实时控制温差在 $15\text{ }^\circ\text{C}$ 以内<sup>[3]</sup>,保障了导流洞衬砌混凝土质量。

### 4 全自动养护控制施工工艺

(1)在准备工作中,要认真阅读设计图纸,选取适用图纸的自动喷淋管道尺寸,喷淋管道应尽量贴合二次衬砌内轮廓<sup>[4]</sup>;根据隧道断面尺寸合理采取增压泵的功率,在施工现场合适位置安装完成养护系统各部件。

(2)当洞室内二次衬砌混凝土达到龄期后,将养护系统移动至待养护区域,布设好喷水管,主管道接入隧道施工供水管。检查喷淋管道位置是否准确,若存在偏差可在现场进行微调。根据断面大小,选择操作模式(自动模式/手动模式),确定二次衬砌混凝土养护的时间需求,设定养护系统行进速率,确保养护工作的连续性。

(3)在不同模式下设置好养护系统的相关参数后,即可开始对二衬混凝土进行喷淋养护,在养护工作中,应定时检查喷淋系统是否能对二衬混凝土全覆盖养护,若存在养护不到的地方,应及时进行参数调整。

(4)定期将养护系统各部件清洗干净后放置于不受污染的干燥环境下存放保护,做好下一循环二衬混凝土养护的准备工作。

#### 4.1 自动模式

系统启动前准备工作,自动模式适用于已衬砌完成,洞内无交叉施工的状态。根据养护混凝土面的长度,设定行走速度、距离、往返次数,启动系统工作,当水箱水位低于最低水位时,暂停行走,加完水后再继续行走,直至设定程序工作完成。

#### 4.2 手动模式

系统启动前准备工作,手动模式适用于洞内正在施工,利用遥控控制系统行走速度,避免出现安全事故,当水箱水位低于最低水位时,暂停行走,加完水后再继续行走,直至衬砌混凝土养护工作完成。

## 5 自动养护的成果

隧道中衬砌混凝土,由于环境中的  $\text{CO}_2$  含量常年较高,碳化深度加大,降低了混凝土抗弯拉性能。通过养护系统进行隧道衬砌混凝土的养护,混凝土的表面强度有所提高,混凝土的碳化深度降低。隧道衬砌经养护后,表面强度提高百分比达到预期,碳化深度明显降低。采用隧道衬砌养护台车进行衬砌的初期养护能够有效提高衬砌质量和寿命<sup>[5]</sup>。

通过后期质量验评数据表明:导流洞工程衬砌混凝土质量优良,裂缝较少。①、②导流洞衬砌混凝土工程单元个数为 366 个,合格率 100%,其中优良单元工程 342 个,优良率 93.4%。圆满通过质量监督、安全鉴定等专项验收,按期实现电站大江截流重大节点目标。

## 6 结语

全自动养护控制系统的设计旨在简单、高效并经济地提高衬砌混凝土养护质量。

(1)全自动养护控制系统采用工业化模块 PLC 控制电机驱动,实现了全自动均匀全覆盖洒水养护,且无需大量养护设备及人工频繁进出作业面,有效提高混凝土养护质量,又不妨碍隧道内其余施工机械施工。

(上接第 48 页)

- [3] 夏菲菲. 特大断面导流洞开挖施工工法[J]. 科技创新与应用, 2014, (32): 237.
- [4] 张亚杰,常明云. 复杂软岩地层长引水隧洞洞室开挖关键控制技术[J]. 小水电, 2012(2): 61-63.
- [5] 杨葛,林志旺,彭伟. 大型地下洞室快速开挖施工方法探究[J]. 四川水力发电, 2018, 37(4): 84-87.
- [6] 李俊,魏宝龙,焦凯. 大型地下洞室群开挖支护施工技术研究与实践——以杨房沟水电站为例[J]. 人民长江, 2018, 49(24): 77-82.

(2)全自动养护控制系统供水管道由多节镀锌钢管现场拼装组成,成本低、易加工、方便更换、周转次数多,有效降低了施工成本,提高了施工效益。

(3)自动喷淋系统用水量少,节约施工用水,有利于节能环保。该系统应用后,形成强烈的经济反差:传统养护方式需 8 台洒水车,投入人工 16 人,智能化养护系统仅 1 人,可节约设备、人工成本 80%;智能养护系统较传统养护方式节约养护用水约 60%,使养护费用减少约 28.8 万元。

## 参考文献:

- [1] 章远方. 隧道衬砌养护台车设计及研究[J]. 铁道建筑技术, 2020, (3): 34-38.
- [2] 王成龙. PLC 自动控制技术的应用[J]. 一重技术, 2017, (6): 73-74+64.
- [3] 章远方. 隧道衬砌养护台车设计及研究[J]. 铁道建筑技术, 2020, (3): 34-38.
- [4] 周平,仲姓,周自强,等. 隧道二衬混凝土自动喷淋养护系统设计与应用[J]. 施工技术, 2019, 48(S1): 711-714.
- [5] 纪博林. 隧道衬砌养护台车智能系统研究[J]. 国防交通工程与技术, 2020, 18(4): 71-73.

## 作者简介:

- 侯树芑(1997-),男,甘肃武威人,助理工程师,本科,从事工程建设管理工作;
- 龚泽鹏(1997-),男,四川成都人,助理工程师,本科,从事工程建设管理工作;
- 李召杰(1988-),男,重庆人,工程师,本科,从事工程建设管理工作;
- 王国阳(1990-),男,河南灵宝人,工程师,硕士,从事工程建设管理工作.

(责任编辑:卓政昌)

- [7] 段亚刚. 大型地下洞室开挖方案的数值方法优化[J]. 铁道工程学报, 2013(8): 83-87.
- [8] 樊启祥,刘益勇,王毅. 向家坝水电站大型地下厂房洞室群开挖工程实践[J]. 水力发电, 2011, 37(2): 11-14.

## 作者简介:

- 宿银山(1980-),男,宁夏石嘴山人,高级工程师,本科,从事水利水电工程工程管理工作;
- 龙伦刚(1996-),男,四川南充人,助理工程师,硕士,从事水利水电工程管理工作.

(责任编辑:卓政昌)

## 国家发改委:推进金沙江、雅砻江、大渡河等主要水电基地扩机

2022 年 6 月 7 日,国家发改委发布《“十四五”可再生能源发展规划》指出,在中东部及西部地区,适应新能源的大规模发展,对已建、在建水电机组进行增容改造。科学推进金沙江、雅砻江、大渡河、乌江、红水河、黄河上游等主要水电基地扩机。

(北极星电力网)