

渠道边坡薄壁混凝土衬砌面板智能化养护技术

李 银, 王 明 阳

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘 要:大型渠道边坡采用薄壁混凝土面板衬砌能够显著提高渠道边坡的稳定性及抗冲耐磨性,可以有效降低水土流失、河道边坡垮塌等问题出现的几率。针对施工完成的渠道边坡衬砌面板常采用人工洒水养护的方式应对渠道内风速大、混凝土水分蒸发快、易开裂的情况。阐述了以引江济淮主渠道边坡衬砌面板为研究对象,对薄壁混凝土衬砌面板的智能化养护施工技术进行的研究并付诸实施,取得了较好的效果。

关键词:引江济淮;渠道;边坡;薄壁混凝土;智能化;养护

中图分类号:TV7;TV52;TV672

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)05-0024-04

Intelligent Maintenance Technology of Thin-walled Concrete Lining Panel on Channel Slopes

LI Yin, WANG Mingyang

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: The use of thin-walled concrete panel lining for large-scale channel slopes can significantly improve the stability of the channel slope and its impact resistance and wear resistance, and can effectively reduce soil erosion, river slope collapse and other problems. For the completed channel slope lining panels, artificial sprinkling maintenance is often used to deal with the situation of high wind speed in the channel, rapid evaporation of concrete water, and easy cracking. In this paper, taking the lining panels of the main channel of Yangtze River to Huaihe River Diversion Project as the research object, the intelligent maintenance and construction technology of thin-walled concrete lining panels is studied and put into practice, and good results have been achieved.

Key words: Yangtze River to Huaihe River Diversion Project; Channel; Slope; Thin-walled concrete; Intelligent; Maintenance

1 概 述

引江济淮工程是一项以城乡供水和发展江淮航运为主、结合灌溉补水和改善巢湖及淮河水生态环境为主要任务的大型跨流域调水工程^[1]。该渠道过水断面的型式为梯形,河道底宽 45 m,两岸边坡坡比为 1:3.5,坡长为 12.5~22.5 m 不等,采用 15 cm 厚现浇 C25 素混凝土护坡,属于大面积薄壁素混凝土结构,对衬砌面板抗裂减糙的要求高。

边坡衬砌面板的混凝土是由胶凝材料将集料胶结形成整体的非均质复合材料,其热学和力学性能随其龄期的增长不断变化,且薄壁混凝土结构体表面积小,由于河道内的风速较大,在自然环境及混凝土自身材料特性影响下薄层混凝土衬砌

大面板结构的水分散失较快,受内外温差、干缩变形等因素影响,渠道衬砌面板开裂隐患大,且裂缝往往发生在抹面收光期间或后期养护过程中,基本为贯穿性裂缝,对衬砌面板的整体危害性较大。笔者对裂缝的成因及面板混凝土的养护现状进行了分析与研究,研发出相应的设备并予以应用。

2 裂缝产生的主要成因

薄层混凝土衬砌开裂是施工质量的通病,与大面积薄壁素混凝土的结构形式、地理环境、温湿度变化等因素有关,其主要表现为混凝土的早期养护不及时、不到位。

大量研究结果表明:80%以上的混凝土结构裂缝出现在施工阶段且主要为非受力裂缝。造成混凝土非受力裂缝的直接原因是混凝土环境温度高、表面风速大等情况导致其内部水分散失过快,

收稿日期:2024-04-28

混凝土水化反应不充分,体积收缩变形过大;相关研究结果显示:混凝土在向周围环境扩散水分时,其结构内部的扩散速率不同,进而形成了其内部温湿度梯度。湿度扩散的速度仅为温度扩散速度的千分之一,易导致施工期混凝土结构内部出现不均匀湿度分布而产生干缩变形和干缩应力^[2]。

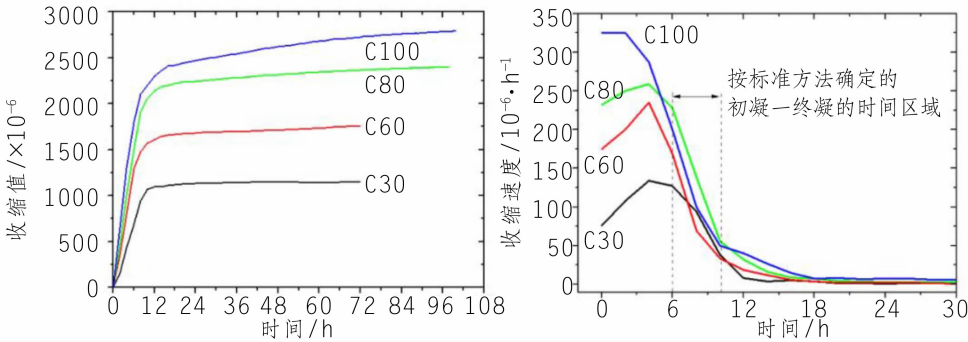


图1 不同强度等级混凝土的早期收缩率示意图

由图1可见:在同样的暴露环境中,混凝土强度越高,收缩越大,其最大收缩速率出现在混凝土初凝之前。试验数据表明:混凝土的早期干燥收缩与环境蒸发量成正比,且其蒸发量与混凝土自

水分散失对新拌混凝土的收缩率具有极大的影响。衬砌面板成型12 h内,混凝土的失水收缩裂缝占其早期收缩裂缝的绝大部分,是产生早期收缩裂缝的最敏感时段。不同强度等级混凝土的早期收缩率见图1。

身的失水紧密相关。在极低蒸发量环境中混凝土的干燥收缩很小。衬砌面板混凝土在不同环境条件下的收缩率见图2。

因此,如何防止渠道边坡大面积薄壁混凝土

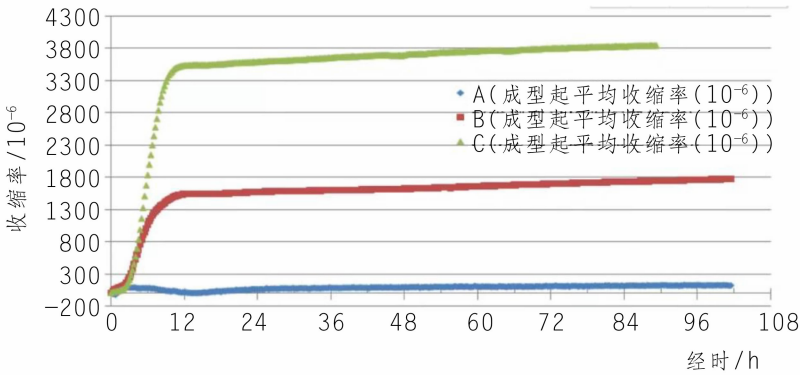


图2 衬砌面板混凝土在不同环境条件下的收缩率示意图

衬砌面板在施工期以及养护过程中出现较大的收缩变形、降低混凝土开裂风险、确保其施工质量已成为大型渠道边坡衬砌施工技术的一个关键点。

3 渠道边坡衬砌面板混凝土养护的现状

目前我国对于渠道边坡衬砌面板混凝土养护仍处于采用人工洒水养护的局面,其施工效率低,养护质量不达标,进而导致衬砌面板开裂的问题无法得到有效控制。

已有许多项目在施工过程中研究与应用了不少管控方法,如添加各类抗裂、限裂材料(如膨胀剂)、喷涂养护剂、表面贴膜、浇水覆盖养护以及实时浇水养护方法等。实践证明:控制混

凝土早期干燥收缩开裂的最直接办法就是保湿养护,其良好的养护机制是控制混凝土收缩开裂的最核心问题。

上述各类养护方法对于线性渠道衬砌工程而言均存在不同程度的缺陷:由于渠道衬砌战线长,混凝土浇筑总量大,衬砌混凝土浇筑仓面较多,各区域混凝土浇筑施工时间不一,如果采用添加混凝土抗裂或限裂材料、喷涂养护剂或表面贴膜等措施其成本较高,而采用传统洒水养护的方法则需要严格的管控调配措施和十分认真负责的工作态度,加之衬砌面板坡度较大、无法存水,若需保证混凝土表面在养护期间均处于湿润状态,难度

较大。

随着科学技术的不断发展,对大型渠道面板衬砌施工及成品质量也提出了更高的要求 and 更加严格的标准。因此,依托现有工程项目建设、寻找一种适用于大型渠道工程边坡大面积薄壁素混凝土养护的智能化机械设备,充分发挥智能化喷淋养护工艺技术的开发与应用,实现无人值守和智能化实时应对环境、工况变化,对降低衬砌面板开裂风险和养护工程造价具有重要意义。

4 智能化渠道边坡衬砌面板养护设备的设计

针对目前现有的施工养护技术,项目部依托该工程设计出一套智能化坡面衬砌混凝土养护设备,该设备采用 Q235 钢材搭建了浇筑成型面智能化喷洒水养护框架,构建了基于新成型混凝土成熟度、表面温湿度的高效养护需水参量化模型,研制出可自控与人工干预的智能化变强度循环喷洒养护装置,通过模拟量型温湿度传感器智能感知系统建立了精细控制模型,对未达到养护湿度标准的混凝土区域进行自动化加湿处理、进而控制了浇筑养生混凝土表面的温湿度。

4.1 智能化养护控制系统

通过开发智能化养护控制系统智能控制喷淋流量、时间以及频率等,建立了各项指标参数控制模型,保证了面板养护的及时性和精准效果,防止了混凝土成型早期因水分散失且未得到及时养护引起的塑性收缩产生的裂缝,亦避免了过分高强度养护带来的资源与人力消耗,做到了无人值守型自动高效喷淋养护渠道边坡早期成型混凝土,能够保障养护高效。

(1)智能化养护设备系统的设计原理

首先,需要制作桁架用于安装喷水养护设备、传感器以及放置盛水容器等,然后以 PLC 系统为核心,同时加入模拟量型温湿度传感器作为检测装置、共同构建一套衬砌面板温湿度自动检测调控系统,在其内部存储、执行逻辑运算、顺序控制、定时等操作的指令。

PLC 模块通过信号传输装置与传感器相连,根据前期现场试验得出的关于衬砌面板“表面温湿度—混凝土成熟度—临空温湿度”的算法,通过数字或模拟的输入和输出控制有关喷淋的相关参数,如 PLC 控制系统接收到面板表面水分不足或成熟度不足时,启动伺服电机驱动设备前进,同时

启动水泵进行供水,喷淋系统自动开启;当传感器 5 min 后检测得出的数据达标时,PLC 控制系统即控制设备前往下一个衬砌工作面继续进行喷淋养护。

(2)PLC 控制系统

PLC 控制系统即可编程逻辑控制器,其是在传统的顺序控制器基础上引入了微电子技术、计算机技术、自动控制技术和通讯技术形成的一代新型工业控制装置,其目的是取代继电器、执行逻辑、记时、计数等顺序控制功能,建立柔性的远程控制控制系统^[3]。

智能化渠道衬砌面板养护设备投入运行后,通过安装在桁架上的传感器采集边坡衬砌混凝土面板表面及临空温度、湿度等数据,系统依次读入所有输入信号的状态或数据,并将它们存入 I/O 映像区中的相应单元内,输入采样结束后,转入用户程序执行阶段^[4]。

数据采集完成后,根据前期现场试验得出的算法与模型进行了内部程序逻辑运算并执行了计算结果对应的程序,其可以控制智能化渠道衬砌面板养护设备能够接受模拟电压等信号的伺服驱动电机和伸缩泵电机等。

该系统主要包括中央处理器、存储器、输入接口、输出单元等部分,具有运算、控制、编程等功能,具有较高的可靠性,编程容易、组态灵活、安装方便、运行速度快等特点,能够很好地达到智能控制坡面混凝土喷淋养护的目的。

(3)模拟量型温湿度传感器

模拟量型温湿度传感器采用数字集成传感器做探头,配以数字化处理电路,将环境中的温度和相对湿度转换成与之相对应的标准模拟信号,如 4~20 mA、0~5 V 或者 0~10 V 等,并将其传输给 PLC 控制系统。

应用专用的数字模块采集技术和温湿度传感技术确保了该产品具有极高的可靠性与卓越的长期稳定性^[5],且温湿敏感元件还具有适应性强、响应时间短、精度高、长期稳定性好等特点。

4.2 养护系统支撑桁架的结构设计

该养护系统采用组合式钢桁架,根据现场实际情况利用 Q235 钢材选型加工、搭设成可拆卸式拼装型支撑桁架。桁架系统所用的 Q235 钢材的弹性模量为 $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$;泊松比为

0.30;线膨胀系数为 1.20×10^{-5} ;质量密度为 $7\,850\text{ kg/m}^3$ 。笔者对该桁架的结构稳定性进行了计算与分析,根据计算分析模型进行了规范检验,检验结果表明:该结构能够满足承载力计算要求,应力比最大值为0.70。杆件应力比分布情况见图3。

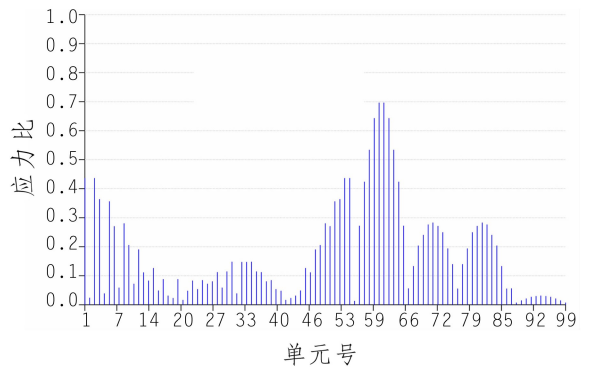


图3 杆件应力比分布图

4.3 行走及喷洒系统的设计

所设计的行走及喷洒系统包括:行走系统、纠偏系统、湿度传感系统、自动喷洒管路与管头、移动驱动电机系统、喷洒动力系统以及转换人工作业切换装置结构等。其喷洒系统采用购置部分部件产品的方式,通过智能化工艺设计,以渠道坡面混凝土凝结硬化的风及温湿度变化率等环境变量与混凝土成熟度-早期抗裂性能指标为预测控制模型,利用前期设计的PLC控制系统建立了手/自一体化控制的喷洒控制系统,连接并控制喷洒水泵的启闭、管路开合,进而实现无人值守运行。

喷洒系统主要由喷头、承压管道、水泵及其他辅助部分组成,喷淋头之间的安装间距为25~50 cm,采用PE中管作为承压输水管道,其管道与喷头之间采用异径快插三通喷头连接,喷头采用镀铬铜细雾喷头,其具有抗氧化、雾化细腻、耐用节水等特点。喷淋系统的组成部件见图4。

4.4 智能化养护设备的主要功能指标

该设备具有的主要功能指标包括:实现喷洒流量、密度、喷洒间隔时间自动调节、温湿度计现场风速自动采集监控、混凝土强度增长预测自动分析记录和推算等。

5 智能化渠道衬砌面板养护设备的应用与取得的效果

智能化渠道衬砌面板养护设备在渠道衬砌施工过程中的应用,主要集中在渠道衬砌面板混凝土抹面收光后的洒水养护阶段,其主要目的是解决衬砌面板全坡面养护过程中存在的复杂问题。该工程研发出的智能化渠道衬砌面板养护设备与传统人工洒水的养护方式相比,在施工效率、养护质量等方面都具有一定的优势,在实际运用过程中成功地实现了常温环境对近期浇筑的衬砌面板进行持续性喷淋洒水养护,有效地减少了混凝土升温阶段的内外温差,降低了面板开裂的风险。

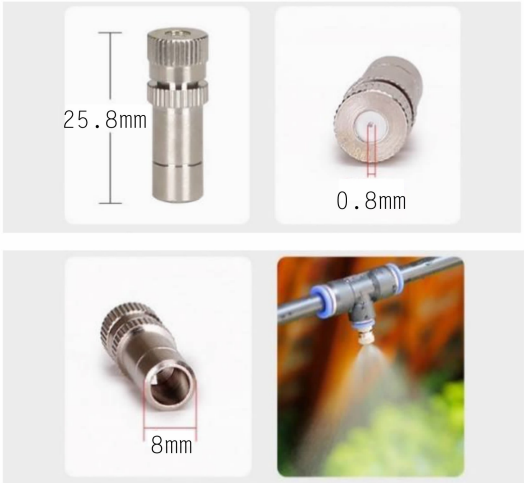


图4 喷淋系统组成部件照片

土抹面收光后的洒水养护阶段,其主要目的是解决衬砌面板全坡面养护过程中存在的复杂问题。该工程研发出的智能化渠道衬砌面板养护设备与传统人工洒水的养护方式相比,在施工效率、养护质量等方面都具有一定的优势,在实际运用过程中成功地实现了常温环境对近期浇筑的衬砌面板进行持续性喷淋洒水养护,有效地减少了混凝土升温阶段的内外温差,降低了面板开裂的风险。

笔者通过对衬砌面板智能化喷淋洒水养护设备和相关施工工艺的应用进行研究,确保了衬砌面板薄壁素混凝土养护的施工质量,积累了相关施工经验,为大型渠道边坡衬砌智能化施工技术的发展与应用进行了一定程度的探索。

参考文献:

[1] 王玉红,徐业荣,余滨.引江济淮工程枞阳小港专用航道航标配布及维护管理研究[J].中国水运·航道科技,2021,6(3):35-42.

[2] 王潘绣,赵海涛.薄壁混凝土结构干缩应力研究[J].结构工程师,2013,29(6):54-60.

[3] 卡米力江·阿不来. PLC 控制的油田污水处理系统的设计[J].中国化工贸易,2013,5(8):68.

[4] 田若秋. 基于 PLC 和组态软件的电梯监控系统的研究[D].北方工业大学,2010.

[5] 张玉鑫. 基于无线传感器网络的农田环境监测研究[D].北方民族大学,2018.

作者简介:

李银(1989-),男,湖北当阳人,项目副经理,副高级工程师,学士,从事水利水电及市政工程施工技术与管理工
王明阳(1997-),男,重庆市人,项目技术质量部副主任,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工

(编辑:李燕辉)