

智能控制系统在灌溉工程技术中的应用

潘磊¹, 何晓静^{2*}, 李勋章³, 胡腾腾⁴, 刘飞诗⁵

- (1. 常州市金坛区水利规划服务中心, 江苏 常州 213200; 2. 江苏省水文水资源勘测局常州分局, 江苏 常州 213100;
3. 常州市金坛区水资源管理服务中心, 江苏 常州 213200; 4. 常州市金坛区水利建设管理所, 江苏 常州 213200;
5. 江苏远瀚建筑设计有限公司, 江苏 常州 213000)

摘要:对智能控制系统在灌溉工程技术中的应用进行了研究,介绍并解释了灌溉控制器和无线传感器网络在灌溉领域的使用。提出了利用无线传感器网络实现灌溉智能管理自动化,可为我国农田智能化灌溉提供参考。

关键词:智能系统; 节水灌溉; 控制器; 无线网络

中图分类号:TV93 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2021)11-0051-06

Application of intelligent control system in irrigation engineering technology

PAN Lei¹, HE Xiaojing^{2*}, LI Xunzhang³, HU Tengteng⁴, LIU Feishi⁵

- (1. Jintan District Water Conservancy Planning Service Center, Changzhou 213200, China;
2. Changzhou Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Changzhou 213100, China;
3. Jintan District Water Resources Management Service Center, Changzhou 213200, China;
4. Jintan District Water Conservancy Construction Management Institute, Changzhou 213200, China;
5. Jiangsu Yuanhan Architectural Design Co., Ltd., Changzhou 213000, China)

Abstract: The application of intelligent control system in irrigation engineering technology was studied, and the application of irrigation controller and wireless sensor network in irrigation field was introduced and explained. The intelligent irrigation management automation based on wireless sensor network was proposed, which could provide reference for intelligent irrigation of farmland in China.

Key words: intelligent system; water - saving irrigation; controller; wireless network

节水灌溉是实行节水农业的重要基础之一,而且节水灌溉与水利设施的发展息息相关。近年来,微喷灌等高效节水灌溉技术在我国得到越来越广泛的应用。据统计,目前我国喷灌面积已达302.5万hm²以上,微灌面积达468.13万hm²以上,高效节水灌溉面积达1606.7万hm²,居世界第二位。节水灌溉技术的应用,极大提高了灌溉用水效率、促进了农业生产发展,取得了经济效益和社会

效益。但我国现有的微灌系统大多采用手动控制方式,需要灌溉管理人员手动开关阀门,控制施肥设备,切换轮灌组,费时费力^[1-4]。

智能灌溉系统是现代农业发展的重点并呈不断增长的趋势。根据灌溉控制器与电磁阀、传感器等农田装置之间的通信方式,目前在农田中使用的灌溉控制器可分为3类:(a)多线控制器;(b)无线控制器;(c)双线解码器控制器^[5-7]。灌溉系统的控

收稿日期:2021-01-06

基金项目:水利部水科学与水工程重点实验室开放研究基金项目(YK914012);水利部公益性行业科研专项经费项目(201401083-2)。

作者简介:潘磊(1989—),男,本科,主要从事水利工程和水利规划的研究工作。E-mail:746228819@qq.com

通信作者:何晓静(1991—),女,硕士,主要从事节水灌溉和水资源高效利用的研究工作。E-1475123193@qq.com

制正逐步从传统的开环控制模式向闭环控制模式发展,基于传感器反馈和作物需水量模型可以实现精确的灌溉决策。

随着互联网的发展,灌溉控制的本地操作正逐渐被远程控制所取代,进而被基于云计算的综合控制和管理所取代。互联网技术的应用可以有效地管理位于不同地点的多个灌溉控制器,进行大数据采集,共享灌溉经验,更容易做出合理的灌溉决策^[8]。无线传感与互联网的结合为农业节水灌溉技术提供了重要的支持,提供了高效和经济的农业灌溉解决方案,可形成准确精细、自动化程度高的灌溉系统。

基于越来越多的不同灌溉控制器和工程应用,涉及设施栽培、大田作物、花园、绿地,为了提高农业灌溉用水效率,本文对智能控制系统在灌溉工程技术中的应用进行了研究,介绍并解释了灌溉控制器和无线传感器网络,并对无线传感器网络在灌溉领域的应用进行了讨论。

1 灌溉控制器与田间设备的通信方式

智能灌溉控制器的主要功能是向灌溉系统的水泵、水表、过滤器、施肥机和田间设备(电磁阀、电动阀等)发送灌溉控制指令,控制灌溉过程的执行。灌溉控制器一般安装在微灌系统头部的泵房内,通常靠近微灌系统中的施肥设备和水电监控设备。因此,控制器和灌溉设备通常采用有线通信方式,灌溉控制器与田间设备之间的通信主要有以下3种方式:(a)多线;(b)无线;(c)双线解码。

1.1 多线模式

多线模式是灌溉自动化领域最早的控制方式。多线控制器有多个端子,每个端子通过单独的电缆连接一个电磁阀。也就是说,每个电磁阀都需要一根独立的电缆与控制器进行通信。当有更多的阀门时,需要大量的布线,因此在目前的大规模农田中很少使用。目前,这种多联机控制器基本上应用于国内灌溉,仅限于三阀或四阀的小型灌溉系统。这种多线模式控制器最突出的特点是成熟稳定,生产成本低。另外,控制器的功能比较简单,通常操作人员需要提前设置灌水程序,控制器没有系统诊断功能,只能按时开关电磁阀实施灌水。

1.2 无线通信方式

早期的无线控制器和电磁阀通过基于 Zigbee 协议的 2.4GHz 频段进行无线通信,电磁阀和控制器之间不需要铺设信号线,因此无线系统的安装相

对方便^[9-10]。此外,2.4GHz 频段是所有国家通用的免许可频段,无需授权。只需要一定的发射功率(一般小于 1W),可以自由使用,不干扰其他频段。因此,早期的无线灌溉控制系统通常采用 2.4G 频段传输。然而,国内的工程实践表明,由于 2.4GHz 的高频率和无线信号传输的高损耗,控制器发出的控制信号不能准确到达系统末端的阀门末端,因此阀门不能正常工作,这是大型灌溉系统的一个重大缺陷。另一个原因是高频信号波长较短,衍射能力较弱。如果现场有建筑物或树木,将导致无线信号无法正常传输。为了提高无线信号的传输稳定性,一些无线灌溉控制器采用了基于 433 MHz 的扩频传输技术,提高了信号的抗干扰能力,提高了控制精度无线信号的传输距离更长。一般来说,在农业灌溉自动化领域,无线系统和二线制解码器系统是两种常用的灌溉控制器。对于新建的喷灌和微灌系统,由于信号线可与灌溉管同沟敷设,接线简单,一般采用二线制解码器的自动控制方式。与无线方式相比,该有线控制系统的信号传输稳定可靠。

1.3 二线制解码器通信方式

为了避免在多线模式下使用大量导线所带来的问题,研究人员根据低压电力载波的原理,设计了一种基于二线制解码器通信模式的新型灌溉控制器。该控制器仅通过一条双核信号线与现场的电磁阀和解码器相连。每个电磁阀都配有一个解码器,为电磁阀分配地址。此外,每个解码器具有唯一的地址,控制器通过该地址识别解码器。当控制器发出激活地址的指令时,系统中的所有译码器都会收到该指令,但只有地址对应的译码器会响应打开或关闭相应的电磁阀。同时,译码器将反馈信息发送给控制器,使控制器了解田间电磁阀的通断状态。这种二线制解码器控制系统降低了使用大量电缆的成本以及挖沟和铺设工作。与多线制相比,该系统用线少,施工工作量小,布线简单。

2 智能系统在节水灌溉中的应用

根据控制方式的不同,灌溉控制器可分为开环控制和闭环控制。所谓的开环控制通常需要操作者参与灌溉决策,设定灌溉参数,如灌溉开始时间和结束时间,作为启动和停止灌溉系统的约束条件。在闭环控制条件下,灌溉控制器可以根据传感器的反馈和内部控制算法自动做出灌溉决策,在不需要操作人员参与的情况下完成灌溉过程。近年来,这种依靠传感器判断土壤和作物生长状况,具

有诊断和灌溉决策功能的闭环控制器得到了越来越多的应用。通常可用于灌溉决策的参数分为 3 类^[11]:(a)土壤水分参数,(b)作物水分生理条件参数,(c)气象参数。

2.1 基于土壤参数的智能灌溉

传感器将测得的土壤含水量(体积含水量)数据发送给灌溉控制器进行触发和停止。除了土壤含水量,一些灌溉控制器还可以连接到电子拉力计。当土壤水张力达到设定值时,灌溉控制器开始工作。目前国内常用的灌溉预测方法主要有经验公式法和土壤水分平衡法。需要特别指出的是,由于田间土壤的复杂性和空间变异性,所有采用埋入式传感器测量土壤含水量的方法都不可避免地产生一定的误差。而且,这些灌溉控制器的内部程序灌溉水量决策主要是基于某一点的预测,缺乏大范围的区域和宏观预测方法。因此,灌溉方案预测的灌溉水量与区域实际灌溉需求量仍有一定差距。因此,研究土壤特性的空间变异性,确定合理的土壤水分监测点的数量和位置,对提高灌溉决策的准确性具有重要意义。

2.2 基于作物生理参数的智能灌溉

利用红外测温技术诊断作物水分亏缺具有测定快速、操作简单、样品无干扰、无损伤、可连续自动监测等优点。此外,这种作物冠层温度全扫描测量方法克服了以单叶或单株为基本监测单元时随机采样误差大的缺点,非常适合大田作物。目前,国内外对大型喷灌机的变量喷灌进行了大量的研究,目的是利用红外光谱测量作物冠层温度,指导灌溉系统的自动运行。该方法的主要缺陷是利用红外作物冠层温度来判断作物是否受干旱影响,可以作为启动灌溉系统的触发条件。然而,准确满足作物需要所需补充的水量没有理论计算依据。

2.3 基于气象参数的智能灌溉

基于气象参数的灌溉决策是通过对一定时期内作物的蒸散量和降水量的水量平衡计算,来估算作物的缺水量。在土壤-植物-大气连续体的研究中,参考作物蒸散量是确定气象因素对系统水分输送和水蒸气扩散速率影响的参数^[12-13]。随着科学的发展和实验方法的进步,计算方法中考虑的因素越来越多,计算的蒸散量将越来越精确。目前,农业灌溉控制器普遍支持基于 Penman - Monteith 公式的灌溉预测。但是,对于不同地区、不同生育期的作物系数,控制器不能提供合理的推荐值,需要不同地区的用户根据当地情况和经验进行设置。

这是当前灌溉控制器通过气象参数进行灌溉决策需要进一步解决的问题。与土壤水分参数或作物生理参数相比,这种基于气象参数的灌溉决策方法更适合于区域规模化灌溉,更适合于大型农田灌溉。

3 新型无线控制灌溉系统的标准化模式开发

我国正处于农村人口和农业劳动力流失的现状,而智能灌溉控制技术是解决农业劳动力短缺的有效途径。因此,智能灌溉控制设备的研发在中国具有非常广阔的前景。智能灌溉控制系统的应用已从小型温室逐步扩展到露天农田作业,并且应用面和作物种类逐渐扩大。但是,智能灌溉控制器的研发需要与相应的下游产品兼容,如传感器、电磁阀、电动阀、过滤器、施肥机等。目前,国内越来越多的厂家的产品完全能够满足农业智能灌溉系统建设的要求。此外,我国生产的部分智能灌溉设备和产品已进入欧美等发达国家的灌溉市场,具有较强的国际竞争力。

与传统灌溉系统相比,无线传感器网络技术与灌溉领域的结合提供了许多优势。因此,利用无线传感器网络作为灌溉领域的监测、控制和管理手段,是提高灌溉系统性能和效率、保证灌溉用水合理有效利用的理想选择。在此背景下,本文认为有必要制定一套基本规则、步骤和程序,以便在实施一个典型的自动化系统时,使用无线传感器网络对灌溉进行智能管理。由于许多不同条件的存在,如不同的灌溉策略、不同的传感器、不同的土壤和作物类型,以及不同的技术,开发一个标准化的无线传感器网络模式较为复杂。因此,本研究提出了以下几个基本规则:

(1)开发一个简单易懂的通信接口,以便与用户进行有效的通信;(2)已开发的系统不得受到不同作物生长阶段的影响;(3)不同的气候变化不能对系统造成较大的影响;(4)系统必须确保实时快速反应。表 1 是建立基于无线传感器网络自动化智能灌溉系统的一系列程序和步骤。图 1 展示了本文所提出的基于无线传感器网络的智能灌溉系统的操作流程。明确智能灌溉系统的各个结构是提高灌溉系统管理效率的关键步骤之一。

根据图 1,使用无线传感器网络智能管理灌溉的自动化系统应包括以下组件:

(1)传感器节点。在灌溉领域,传感器节点可

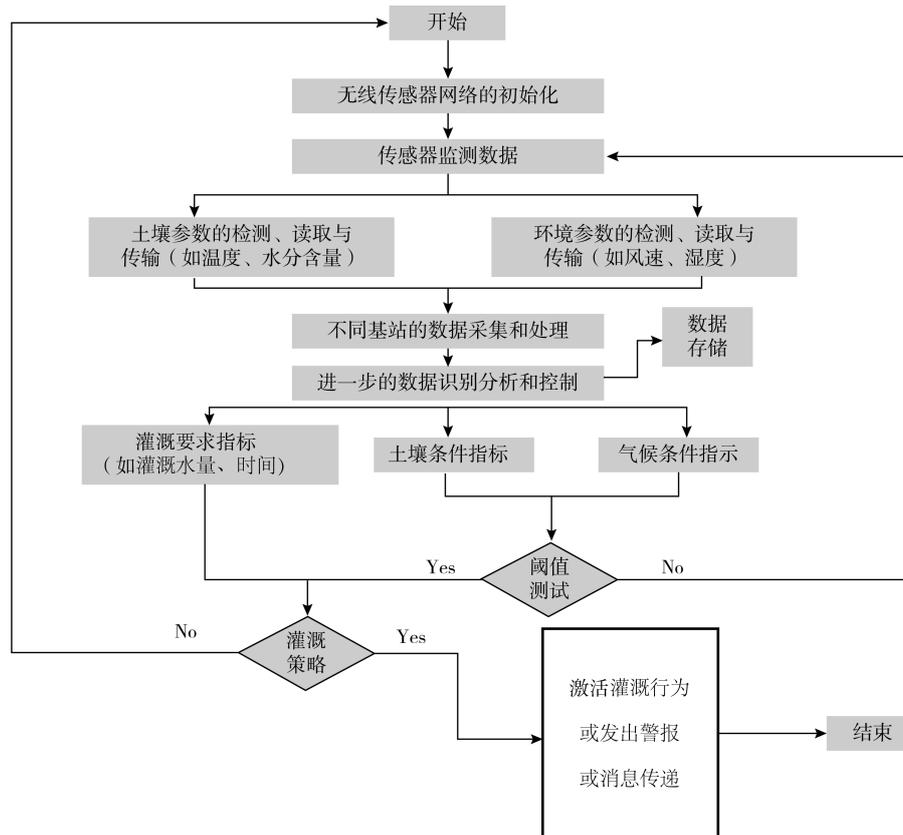


图 1 基于无线传感器网络的智能灌溉系统的操作流程

表 1 基于无线传感器网络建立智能灌溉系统的程序和步骤

次序	程序与步骤
1	在要灌溉的区域部署一组传感器节点以建立无线传感器网络
2	根据所用土壤和作物的类型,在预定时间监测土壤参数(如温度和湿度)和天气参数(如温度、风速和湿度)
3	对测量数据进行处理,并将获得的数据发送给协调器节点进行进一步分析
4	协调节点对处理后的数据进行开发和利用,使控制单元决定打开或关闭电动阀,从而激活或停用灌溉系统
5	将处理后的数据记录并保存在数据库中以备将来使用
6	必要时通过 GSM(全球移动通信系统)技术向用户发送警报

以是天气传感器节点或土壤传感器节点,分散在场地中的传感器节点数量取决于场地的宽度,此外,根据已开发灌溉系统的要求确定所使用的传感器节点类型。土壤传感器节点分布在灌溉区域内的

土壤上,用于测量和处理土壤状况,其中最重要的是:土壤湿度、土壤温度和土壤 pH 值。

(2)气象传感器节点。部署在待灌溉区域内,这些节点用于测量和反馈天气状况,其中最重要的是:温度、风速和风向以及湿度,许多传感器可用于灌溉、土壤相关传感器,如 EC-5、VH 400、传感器 S8000 pH 和 TDR-3A(见表 2)以及天气相关传感器,如 SHT85、HMP35C、DS18B20(见表 3)。

表 2 灌溉领域的土壤参数传感器举例

探头	土壤含湿	温度	水位	pH	盐度	传导率
EC-5	√					
VH 400	√		√			
EC 250	√	√			√	√
TDR-3A	√	√				
HydraProbe II	√	√	√		√	√
DS1822		√				
Sensor S8000 pH				√		
MP406 湿度传感器	√	√				

(续表 2)

探头	土壤 含湿	温度	水位	pH	盐度	传导率
WATERMARK 土壤水分传感器	√					
107-L 温度传感器		√				
AquaTrak 5000			√			
pH 3000				√		
CS625	√	D				
109-L		√				
SEN10972				√		

表 3 灌溉领域的气象参数传感器举例

探头	湿度	温度	风速	风向	辐射	气压
SHT85	√	√				
DS18B20		√				
EE181	√	√				
Wind Monitor Model 05103			√	√		
CM-100	√	√	√	√		√
LI-200X					√	
HMP35C	√	√				
STS3x		√				
WS500-UMB	√	√	√	√		√
CS320					√	
LM35		√				
SHT75	√	√				

(3) 基站。基站作为无线传感器网络的入口点,它是一个具有强大功能的节点,用于收集和传输传感器节点检测和测量的数据,它还允许将此数据传输到协调器节点以进行进一步分析。

(4) 传输网络。传感器节点通过无线通信技术与基站连接和通信,基站与协调器节点通过无线通信技术传输采集和处理的数据。目前国内外有许多不同的无线通信技术,在选择无线通信协议时,需要考虑许多参数,其中最重要的参数是:区域的

范围和大小、预算和部署的最大节点数。大多数使用无线传感器网络的应用需要低功耗和一定的数据量,正如前所述,ZigBee 协议最适合在无线传感器网络中使用,它是实时监控(如灌溉中的无线网络应用)的最佳选择。

(5) 协调器节点。协调器节点执行进一步的分析,以验证和识别测量数据。它还可以将这些数据存储在数据库中,使用户更容易识别出灌溉面积状态,从而有助于灌溉决策。此外,该节点通过无线传感器网络向其他节点发送指令,实现对灌溉的正确管理。终端监测和处理数据的开发:在对处理数据进行验证和分析的基础上,对每个实测参数进行阈值分析,从而做出灌溉决策。用户灌溉区域的状态通过在线应用程序显示,例如使用智能手机。

(6) 灌溉系统。根据处理数据与阈值的比较结果,如果这些结果低于阈值,电动阀将打开,从而启动灌溉系统,反之亦然。灌溉系统可分为三大类:地面灌溉、喷灌和滴灌。其中滴灌系统最适合与灌溉领域的无线传感器网络一起使用,因为滴灌与其他系统相比节省了大量的水,而且还可以实现自动化。

4 结论与展望

本文通过对灌溉控制方式的讨论和综述,认为将智能系统网络与灌溉领域相结合,有助于改进和加强灌溉系统,并提供高效、经济的灌溉解决方案。这种整合也有利于保障高效合理的灌溉用水,在一定程度上缓解我国农业缺水的程度。

本文综述了灌溉控制在灌溉领域的应用和部署,重点介绍了 3 种通信方式在灌溉领域的不同应用。对于多年生作物,一旦安装了二线制解码器系统,就不会受到耕作、播种等农业机械的影响,可连续使用多年,性能稳定信号。相比之下,无线控制系统相对于二线制解码器系统的稳定性稍差,但拆卸安装方便,可在作物收割前轻松拆除,然后使用收割机收割和犁耕土壤,方便田间作业。

将无线传感器网络与灌溉领域相结合,有助于为支持、改进和加强灌溉系统提供高效、经济的解决方案,这种整合也有利于保障高效合理的灌溉用水。本文讨论了无线传感器网络在灌溉领域的应用和使用,通过介绍各种无线通信技术、各种传感器以及灌溉策略、土壤类型和作物种植类型来研究无线传感器网络在灌溉领域中的作用。据此本文提出了一种利用无线传感器网络实现灌溉智能管理自动化系统的方法及其重要组件。

我国智能灌溉控制领域的产品开发日趋成熟,未来节水灌溉的发展方向将围绕互联网和云计算技术的结合,强调田间灌溉控制器与云平台的数据交互。但是,目前缺乏智能灌溉控制器制造的相关标准,国内各厂家的产品规格、技术指标等各不相同,性能参数没有统一的标准,用户比较和选择产品比较困难。这些方面都给智能灌溉控制系统的安装、使用、维护以及灌溉资源的共享带来了极大的不便。因此,建立一套标准的数据通信协议,形成一套智能灌溉控制器的性能检测参数和测试方法,为智能灌溉控制器的生产、检测和使用提供技术依据,对促进智能灌溉控制器的可持续发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 刘莹,黄季焜,王金霞. 水价政策对灌溉用水及种植收入的影响[J]. 经济学, 2015, 14(4):1375-1392.
- [2] 来艳华,赵亚中. 国内外节水高效农业发展经验对黑龙江省农业节水技术启示[J]. 农业科技通讯, 2019(10):4-10.
- [3] 史少培,谢崇宝,高虹,等. 喷灌技术发展历程及设备存在问题的探讨[J]. 节水灌溉, 2013(11):78-81.
- [4] 顾涛,李兆增,吴玉芹. 我国微灌发展现状及“十三五”发展展望[J]. 节水灌溉, 2017(3):90-91, 96.
- [5] 张石锐,申长军,郑文刚,等. 基于 Android 平台的手持灌溉控制终端[J]. 节水灌溉, 2014(9):77-79, 83.
- [6] 胡志远,赵东生,沈玮. 低压管道输水灌溉配套田间闸管技术应用[J]. 河南水利与南水北调, 2010(8):

155-156.

- [7] 王景成,薛业章,陈平. 低压管道输水灌溉技术及其在现阶段农业发展中的作用[J]. 现代农业科技, 2009(23):258-261.
- [8] 水利部农村水利司. 节水灌溉[M]. 北京:中国农业出版社, 1998.
- [9] CHAPPELL M, DOVE S K, IERSEL M W V, et al. Implementation of Wireless Sensor Networks for Irrigation Control in Three Container Nurseries[J]. Hort Technology, 2013, 23(6):747-753.
- [10] KOHANBASH D, KANTOR G, MARTIN T, et al. Wireless sensor network design for monitoring and irrigation control:user - centric hardware and software development[J]. Hort Technology, 2013, 23(6):725-734.
- [11] LIU X, XU J, LIU B, et al. A novel model of water - heat coupling for water - saving irrigated rice fields based on water and energy balance:model formulation and verification [J]. Agricultural Water Management, 2019(223):105705.
- [12] AMPATZIDIS Y, PARTEL V, MEYERING B, et al. Citrus rootstock evaluation utilizing UAV - based remote sensing and artificial intelligence [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019(164):10-16.
- [13] SCHRÖDER P, SAUVÊTRE A, GNÄDINGER F, et al. Discussion paper: Sustainable increase of crop production through improved technical strategies, breeding and adapted management:a European perspective [J]. Science of the Total Environment, 2019(4):146-161.

(上接第 31 页)

灌胶效果一般可采用压水检查,在裂缝处设置检查孔,基本不吸水不渗漏即可认为合格。

5 结 语

水闸闸墩裂缝是由于外荷载、温度变化、收缩变形、结构约束等多种因素共同作用的结果,不同裂缝产生的危害也不尽相同。但通过实例分析,对于混凝土裂缝,应以预防为主,并采取有一定针对性的处理措施,就能有效减小闸墩裂缝可能产生的不利影响,保证构造物的正常使用。

参考文献:

- [1] 张诚,张丹青,许宁. 新建睢宁泵站工程裂缝成因分

析及处治研究[J]. 科技视界, 2014(35):120-120, 126.

- [2] 何立民. 大体积混凝土结构裂缝控制研究[D]. 大庆:大庆石油学院, 2008.
- [3] 李宗才. 大体积混凝土裂缝控制与工程应用[D]. 青岛:青岛理工大学, 2015.
- [4] 廖秀敏. 公路桥梁空心板梁铰缝空脱处治方法[J]. 科技视界, 2016(2):275-275.
- [5] 王哲. 化学灌浆在某涵洞结构加固中的应用[J]. 甘肃水利水电技术, 2014(2):60-62.
- [6] 张涛,郭双. 堆石面板坝混凝土面板震损裂缝处理技术[J]. 水利水电施工, 2011(4):41-43.