

新型装配式渠槽在农田水利工程中的应用

刘长顺¹, 张景奎², 郑继^{1,2}, 吴超^{1,2}

(1. 安徽省建筑工程质量监督检测站, 安徽蚌埠 233000; 2. 安徽省(水利部淮河水利委员会)水利科学研究院, 安徽蚌埠 233000)

摘要 为响应和贯彻国家大力发展装配式建筑的精神, 引领装配式结构更快更广的服务农田水利建设。从材料选用及性能、结构设计、模具制作与生产、施工工艺和质量管理等系统方面系统阐述了新型装配式渠槽在农田水利工程中应用技术, 以期新型渠系装配式建筑物应用技术革新与发展提供有益参考。

关键词 新型; 装配式渠槽; 农田水利; 应用技术

中图分类号 S274 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)11-0194-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.11.052



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Application of New Type Assembly Channel in Irrigation and Water Conservancy Project

LIU Chang-shun¹, ZHANG Jing-kui², ZHENG Ji^{1,2} et al (1. Anhui Construction Engineering Quality Supervision and Testing Station, Bengbu, Anhui 233000; 2. Water Resources Research Institute of Anhui and Huaihe River Commission, Bengbu, Anhui 233000)

Abstract In order to respond to and implement the national spirit of vigorously developing prefabricated buildings, it leads the prefabricated structures to serve the construction of irrigation and water conservancy more quickly and widely. This paper systematically expatiates the application technology of new-type prefabricated canal in farmland water conservancy project from the aspects of material selection and performance, structure design, mold making and production, construction technology and quality management, in order to provide beneficial reference for the innovation and development of new-type prefabricated canal building application technology.

Key words New-type; Assembly type flow channel; Irrigation and water conservancy; Application technology

作为建筑工业化的产物, 装配式生产技术在许多发达国家已成为最重要的建筑技术。装配式结构能够保证工程质量、提高施工效率、降低对周围环境的影响, 能够最大限度地做到“四节一环保”, 使得装配式混凝土构件的工程应用优势十分突出^[1-4]。目前, 国内预制装配式结构在农田水利工程中应用尚处于研究阶段, 在工程应用中涉及装配式建筑物的材料选择、结构形式、连接方式、施工工艺及质量管理等方面尚缺少标准规范, 且存在较多的工艺技术难点, 导致推广应用难以实施^[1,3-5]。近年来, 政府及相关部门号召“大力发展装配式建筑”。2016年, 国务院在关于印发“十三五”节能减排综合工作方案的通知中提出大力发展装配式建筑, 推动产业结构调整升级。2017年5月, 中国水利学会召开“预制混凝土制品技术创新与应用研讨会”, 装配式混凝土制品在水利工程领域中的研究与应用受到高度关注^[1]。为响应和贯彻国家和安徽省“大力发展装配式建筑”的精神, 引领装配式结构更快更广的服务农田水利建设, 对新型渠系装配式建筑物在农田水利工程中的应用技术进行尝试和探索显得尤为迫切和重要。

1 研究现状

目前, 装配式混凝土结构在建筑领域发展极为迅速, 水利工程领域中的应用在20世纪60年代虽有尝试, 但随后相关研究曾一度停滞, 直至1993年国家科技委把“农田水利装配式建筑物技术”列为国家级科技成果重点推广计划, 装配式混凝土结构在水利工程领域中的研究与应用才重新得到重视^[4]。20多年来, 在小型农田水利装配式建筑物技术的研

究和推广上, 国内学者做了一些探索性的工作^[4-5]。2016年江苏省高邮市在传统田间工程装配式建筑物基础上, 研制了新型复合的板材、高温压制等较先进的技术, 一定程度上推进了装配式渠系建筑物应用进程^[6]; 2017年张少卿^[5]通过理论计算对田间装配式涵闸进行了设计定型, 并对装配式建筑物的混凝土材料配合比选用进行了初步的探析; 2019年韩廷超^[7]从结构优化设计、材料选用、安装过程及质量控制等方面对一种新型的田间装配式涵闸的应用进行了阐述; 2020年赵艳^[6]针对小型渠系水利工程装配式建筑, 从结构、材料和评价指标等方面进行了研究和探讨。总的来说, 渠系装配式建筑物的应用技术已成为农田水利领域研究与开发的新热点, 尤其在建筑物的结构设计及连接、建筑材料选择与优化等方面取得了长足的进步, 在我国有着极为广阔的应用前景。为此, 笔者结合所研发的新型装配式渠槽, 从材料选用及性能、结构设计、模具制作与生产、施工工艺和质量管理等系统进行系统的探讨, 以期新型渠系装配式建筑物应用技术革新与发展提供有益参考。

2 研究内容

2.1 材料选用及性能

2.1.1 材料选用。我国正在大力倡导生态节能、资源综合利用的建筑材料应用与研发, 绿色环保且物理力学性能良好的废旧橡胶纤维混凝土备受关^[2]。橡胶纤维混凝土, 是以普通混凝土为基材, 按照一定比例掺入橡胶集料和纤维, 经过凝结硬化而制成的一种工程复合材料。橡胶颗粒(图1)的掺入可以显著改善混凝土的脆性, 使混凝土在外荷载作用下表现出明显的延性, 同时可以提升混凝土的抗冲击、耐冲磨、防渗等性能, 聚丙烯纤维(图2)对混凝土具有阻裂、增强增韧的作用, 将两者按一定比例掺入, 能够扬长避短, 综合发

基金项目 安徽省水利厅科研及技术咨询项目(slkj202001-03)。

作者简介 刘长顺(1988—), 男, 江苏丰县人, 工程师, 硕士, 从事农田水利科研工作。

收稿日期 2021-02-07

挥各自在增强混凝土性能方面的优势。此外,橡胶的掺入可缓解天然砂的过度开采和随之而造成的日益严重的环境和生态问题。亦能有效解决废旧橡胶处理的难题,减轻了资源和环境压力,起到了资源节约和环境保护双重作用,已成为当前国内外研究的热点。橡胶纤维混凝土的性能特点特别适用于小型渠系装配式建筑物,在现代农业发展和高标准农田建设中具有极为广阔的应用前景。



图1 橡胶颗粒

Fig.1 Rubber particles



图2 单束聚丙烯纤维

Fig.2 Single bundle of polypropylene fiber

2.1.2 性能研究。通过一系列的模型试验,深入探究橡胶纤维水工混凝土基本力学性能和耐久性能,为橡胶纤维水工混凝土理论设计及工程应用提供有价值的参考。

该研究采用正交试验方法进行橡胶纤维水工混凝土的基本力学性能试验和耐久性试验,包括抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度试验、抗渗性能和抗冻性能等,分析影响橡胶纤维水工混凝土力学性能的主要因素以及橡胶参量、橡胶粒径和聚丙烯纤维掺量对混凝土主要力学性能和耐久性能的影响规律,采用层次分析法解决了橡胶纤维混凝土多指标正交试验设计最优方案选择的问题。确定了橡胶纤维水工混凝土的最佳配合比。采用层次分析法所选出的最优配合比见表1。

2.2 结构设计 目前,明渠渠道之间最常见的连接方式为平口对接,一般是分块安装,接缝多,易产生开裂、错位,进而出现渗漏现象,严重影响了工程使用寿命^[1,5]。现有的承插式带肋结构和搭接式结构,虽然抗渗漏效果有了一定的提高,但由于结构缺陷很可能会出现局部张嘴现象;另外,承插

式带肋混凝土U形渠道因横向肋梁的存在,开挖难度较大,使施工成本增加^[1]。因此,为保证装配式衬砌渠道内壁面能在渠道纵向上连续且光滑,防止槽片错动是新型装配式渠槽应用技术研究的重点。

表1 试验最优配合比参照

Table 1 Reference for the optimal mix ratio of the test

序号 No.	项目 Project	用量 Dosage
1	水	165 kg/m ³
2	水泥	371 kg/m ³
3	混合砂	747 kg/m ³
4	碎石	1 075 kg/m ³
5	减水剂	6.2 kg/m ³
6	橡胶颗粒(10目)	10%
7	聚丙烯纤维	0.9 kg/m ³

为解决传统结构拼接技术的不足,基于理论计算和工程实践综合分析,笔者对新型装配式渠槽进行了结构设计^[8]:最佳断面采用半圆形加直线段的断面形式,直线段高度为半圆形直径的1/3~1/2,外倾角取12°;渠槽生产长度为1.5m;拼接采用一种结构简单,制作成本低,抗变形能力强,能够增强渠道横向连接的整体性,提高抵抗地基不均匀变形的能力的新型止水连接形式,该结构形式包括渠槽、止水槽、橡胶止水条、拼接缝填料、承插孔、套环和尼龙销(图3)。渠槽一端截面设有止水槽和承插孔,另一端仅设承插孔;承插孔在渠槽端部截面底部左右两端各设一个,并内置套环;止水槽内填充橡胶止水条;建渠槽之间通过将两个尼龙销分别插入承插孔内连接;销子与两渠槽承插孔顶部均留有一定的空隙。渠槽之间预留的20mm的空隙通过拼接缝填料填充。建筑物端部截面底部左右两端设置的承插孔,内置套环,套环的设置可以减少渠槽端部薄弱部位的碰撞破损。套环端部和中后部各设置一个凸起薄片,凸起薄片可以增大与混凝土的握裹力。止水槽内填充橡胶止水条,遇水膨胀后可以有效填充拼缝间的空隙,使得止水效果明显增强。建筑物之间通过将两个尼龙销分别插入承插孔内连接,销子与两渠槽承插孔顶部均留有一定的空隙,既可满足渠槽的纵向变形需要又可避免销子与建筑物的接触破坏;渠槽之间的空隙通过柔性拼接缝填料填充,进一步提高了渠槽之间因基础沉降而产生的竖向变形能力。

2.3 模具制作与生产 根据完成的小型渠系装配式结构设计图集,通过与相关科技企业进行合作,按照模具设计制作的基本要求,设计制作了装配式渠槽的生产模具。

为降低产品在运输过程中的破损率,提高工程的施工质量,结合现有资料和工程实际中混凝土强度等级、耐久性和工作性等要求,采用混凝土抗压强度不得低于30MPa。混凝土配合比设计方法参照标准^[9]规定执行,渠槽浇筑参照表1中配合比进行,渠槽生产的工艺流程见图4。

2.3.1 模板清理与组装。用灰刀、角磨配扭力钢丝轮(或者手持钢丝刷)等工具清除模板表面残渣。在模板内刷(喷)脱模剂,保证均匀且不流淌、不积液。模具应规格化、标准化、

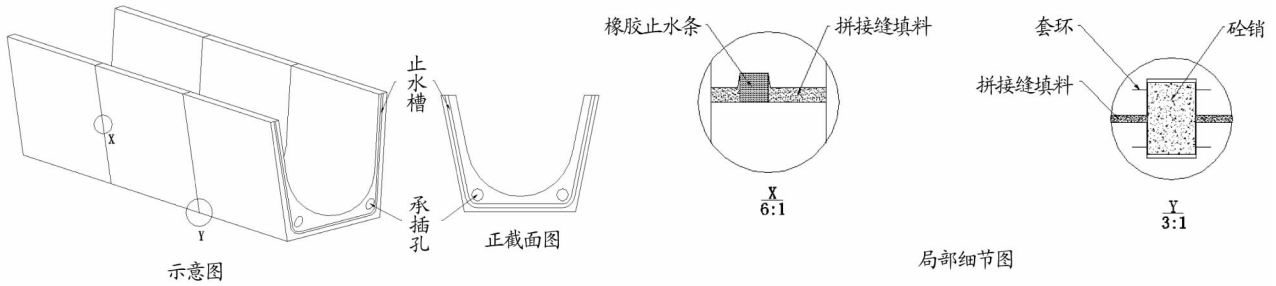


图3 渠槽拼接示意

Fig. 3 Schematic diagram of trench splicing

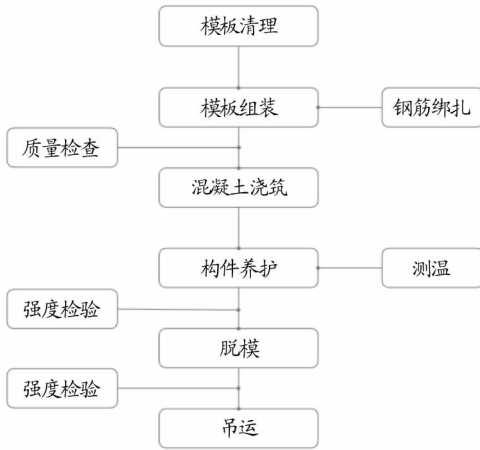


图4 预制构件生产工艺流程

Fig. 4 Production process of prefabricated components

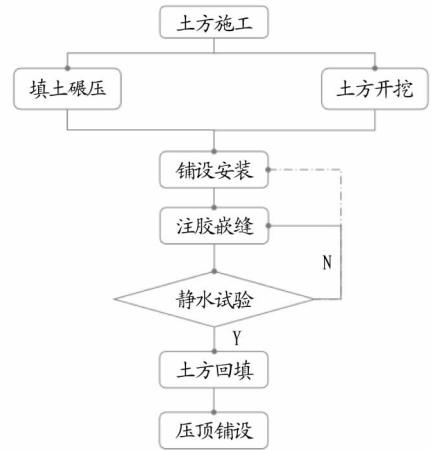


图5 施工工艺流程

Fig. 5 Construction process

定型化。模具组装宜采用螺栓或者销钉连接。模具组装完成后尺寸允许偏差应符合相应要求。

2.3.2 钢筋绑扎。钢筋骨架应按设计图纸或者技术部门调整的图纸加工制作,绑扎时在钢筋骨架边缘采取兜扣或花扣的方式绑扎,钢筋骨架应能保证绑扎牢固不易变形,吊运(搬运)钢筋骨架要求轻起轻放、平起平放,钢筋骨架制作偏差应符合相应要求。

2.3.3 混凝土浇筑与养护。浇筑前必须由质检人员对模具、钢筋及各类预埋件、预埋孔洞检查完毕符合浇筑条件后才能浇筑并形成记录,成型设备的振捣能力和方法应满足施工要求。控制浇筑时间,浇筑完混凝土先用塑料抹子进行粗抹平,采取耐高温防水苫布覆盖及定制养护罩等方式养护。

2.3.4 脱模与吊运。脱模前进行强度鉴定,要求一般不低于设计75%,脱模混凝土强度最低应不小于15 MPa。强度达到设计要求后,可进行吊运环节。

2.4 施工工艺 新型渠系装配式建筑物的施工安装主要工序包括:填土碾压、开挖、铺设安装(含垫层)、注胶嵌缝、静水试验、土方回填和压顶铺设。施工工艺见流程图(图5)。

2.4.1 填土碾压。对于填方渠道,填方前应清理槽底。填土碾压高度一般要求至渠深的3/4处,便于安装且节省碾压方量。剩余部分土方,待安装结束后,整理填平。填土碾压时,注意顶面平整,以保证渠槽开挖准确。根据相关标准^[10]填土压实度不宜小于0.93。

2.4.2 基槽开挖。基槽开挖时要严格控制断面尺寸和高

程,并保证基底面的设计坡降。在土方开挖前要先放开挖线,按开挖线开挖,尽量避免超挖。开挖基槽共分4道工序:

①标中心线。②放点测量:按设计高程每隔20 m在渠底测放“标准块”,并在一侧挂线控制渠线顺直。③开挖:根据放好的中心线及其高程,确定初步开挖的宽度和深度。④精修:两样架之间由上而下挂线精修,直至挖出设计的渠槽,设计土槽的上口宽度一般比构件需要宽40~100 mm。

2.4.3 铺设安装。每30~50 m在基槽侧面设高程控制桩,两高程控制桩之间设控制线,控制U型渠平面和侧边。按设计要求铺设碎石或素混凝土垫层。U型槽安装拟从下游向上游进行。混凝土U型槽放入基槽后,按控制线校正混凝土U型渠侧面,并用水平尺横向校正平面。相邻U型槽应预留宽20 mm左右的间隙,按此铺设后待U型槽基本稳定,再进行校正,符合要求后两侧及时回填部分土方临时固定。

2.4.4 注胶嵌缝。施工前可采用钢丝刷、吹风机、刷子等工具将缝内杂质、浮灰等清理干净,对粗糙、破损表面须打磨修补平整并保证缝面基层干燥。在缝口两侧混凝土表面粘贴不粘纸条,以防嵌填的密封胶涂在两侧混凝土面上而影响外观。注胶施工机具可采用600 mL大容量施胶枪,也可采用刮刀刮抹施工。施工程序为先刮注缝两侧,然后刮注中间,并反复挤压直到做平,施工时要防止带入气泡。待表面修饰完成后,将缝口两侧的不粘纸条撕去。缝隙要填满,压平,抹光。密封材料表干固化前要注意防护,防止水分进入,静水试验宜在7 d后进行。

2.4.5 静水试验。渠槽抗渗性能测试参照相关标准^[10-11]中关于渠槽抗渗测试方法及评定标准进行。具体测试方法如下:

(1)选择渠段。渠槽安装、嵌缝完成后,选择顺直完整、断面规则的具有代表性的渠段,同一型号规格的渠槽一般不少于10节,在渠段梁端修筑横隔堤,横隔堤必须稳固、严密止水 and 防止渗漏变形。

(2)注水试验。往渠段内注水进行试验,注水高度为槽深度的3/4,注水24 h后,观测槽身外壁渗漏情况。

(3)判定标准。用百格网法测量外壁渗水潮片面积,外壁潮片面积小于外壁总面积5%,且无水珠流淌,则判定为合格。

2.4.6 土方回填。待渠道注水试验完成后,回填土方,渠槽两侧回填土施工应同时进行,并严格控制分层厚度,采用自制木夯人工夯实。土料填筑时,去除回填土料中不能用于回填的含植物根须、杂物、有机物和易碎易腐物质,包括粗砾砂、砾卵石等。当填土料含水量大于最佳含水量时,可在渠道外翻拌晾晒;当含水量不足时,可洒水补充,使填土达到最佳含水量的要求,确保达到设计压实度标准。

2.4.7 压顶铺设。压顶形式一般有砖砌压顶、预制混凝土条压顶、现浇砼压顶等。压顶尺寸应按设计尺寸要求进行施工控制。压顶施工应保证其稳固。砖砌压顶应采用水泥砂浆抹面。压顶施工前先测量放样,平整两侧回填土面层至设计标高,回填土要确保夯实至设计压实度。压顶铺设应表面平整、接口对齐、坡度一致、勾缝饱满,严防渗漏。现浇压顶,每隔5~8 m设一条伸缩缝,根据设计要求做好填缝处理。有预留出水口要求的U型槽,需要根据要求预制。

2.5 质量管理

2.5.1 质量检测。在农田水利工程建设中,装配式建筑物骨料粒径、壁厚及工作性能与常态混凝土构件有较大差异。由于其壁厚较薄,在对其弹击过程中会存在颤动,弹击能损失较大,因此,现行的回弹法、超声回弹综合法以及标准尺寸的钻芯法均不适用于该类构件实体强度检测。目前,对于预制薄壁构件实体质量检测,尚无相应的国家或行业标准可以遵循,缺乏有效的检测和评判依据。因此,在实际工程中,除了通过检测同期混凝土试块强度来间接反映薄壁混凝土构件的质量外,对于渠槽等薄壁构件的检测方法主要是采用内、外压破坏试验,这种方法得到的是混凝土构件的抗折强度,并不是构件实体的抗压强度,而混凝土抗压强度是反映混凝土工程质量及保证工程安全性及耐久性的核心指标^[12]。当前,对于薄壁混凝土构件尚无有效的检测方法与质量评价标准的现状,严重制约了农田水利工程建设的规范、有序推进。

鉴于以上分析,预制薄壁混凝土构件除应满足强度设计要求外,还需结合使用功能及特点,具备一定的抵抗外荷载和防渗的能力,同时,预制渠槽构件还应满足结构尺寸和外观质量的要求。研究内容包括:

(1)基于模型试验,研究在同等条件下小直径芯样强度

和后锚固拔出力分别与标准试块强度之间的换算关系,进而推定了薄壁结构实体混凝土强度。

(2)根据相关标准和渠槽构件现场检测情况,对预制渠槽构件的外压强度和抗渗性能的检测方法和质量标准进行研究,并提出了预制渠槽和板块构件尺寸与外观质量的检测方法及其评定标准。

2.5.2 质量评价。近年来,由于小型渠系水利工程装配式建筑物发展时间较短,技术体系不够成熟、缺乏相应的实践经验,设计、生产和施工单位的质量管理水平千差万别,装配式建筑工程质量参差不齐,目前仍存在新材料开发应用不全面、结构形式不标准、构件规格欠统一、装配质量有待提高、缺乏统一的评价指标体系等问题,从而制约了水利装配式建筑的进一步推广应用^[13-14]。目前,关于装配式建筑物的产业标准、评价标准等文件相继颁布,但是大都是关于房建和城市建设,可水利装配式建筑与房建影响因素不同,评价标准体系文件不能直接运用。当前在水利装配式工程方面的评价标准体系尚属空白。基于目前装配式水利基础事业建设在我国的发展现状和趋势,现阶段迫切需要顺应新形势,站在行业发展的角度,从小型水利建筑物的特异性中找到共性并提炼出标准化、系列化成果,建立一套适合水利行业的装配式评价体系,制定并实施统一、规范的评价标准。这对规范我国水利行业工业化建筑评价,促进传统的建造方式向现代水利工业化的建造转变,推进水利建筑工业化的持续健康发展,具有重要的引导作用。

该研究采用理论分析与实例验证相结合的研究方法,结合小型渠系装配式水利工程的特点,对小型渠系装配式建筑物质量评价进行研究,以期能够构建标准化、系统化的质量评价体系,为小型水利装配式建筑建造质量的评价提供一种新的思路。首先,采用系统工程的思想,根据小型水利装配式建筑物质量形成过程,并结合事前、事中、事后三阶段质量控制原理和过程理论,分别从生产准备、生产过程、生产后检验、运输及堆放管理、装配准备、装配过程、装配后验收等方面,采用实地调研、专家访谈、文献书籍及标准规范等方法识别出质量影响要素。在此基础上,确立全面系统的小型渠系装配式混凝土建筑物建造质量评价指标。然后,根据质量评价特点,针对不同层级指标的内涵及特征,采用层次分析法对其赋权,并与多级模糊综合评价方法相结合,充分反映出建造全过程各阶段质量状况。最后,将小型渠系装配式混凝土建筑物质量评价的综合理论方法应用到试验段建设工程中,进行实例分析和研究,验证本项目所构建的综合评价方法的科学性和可行性。

3 结论

(1)通过系统阐述新型装配式渠槽在材料选用及性能、结构设计、模具制作与生产、施工工艺和质量管理等方研究内容与应用技术,能够为小型水利工程建设的技术变革和水利行业建设技术水平的发展提供有益参考和借鉴。

(2)水利装配式混凝土建筑物尚处于发展初级阶段,后

(下转第229页)

的蔬菜品种可以按年份筛选,用多个不同颜色的折线面积表示蔬菜品种分类,以数量为 Y 轴,月份为 X 轴,使用折线面积图进行蔬菜品种每月组成结构数据的展示。

3 结论

蔬菜质量安全是全社会关注的民生重点事件^[11],建设蔬菜产业大数据平台^[12],利用大数据技术实现蔬菜产业全要素关联分析^[13],是促进蔬菜产业健康发展的重要手段。该研究针对外向型蔬菜的精准管理与安全监控需求,从“蔬菜生产投入品-播种-育苗-种植-采收-加工-包装-贮藏-运输-销售”等环节出发,利用物联网技术进行全程安全信息记录跟踪,通过构建基于智能化数据接口和第三方监管的蔬菜产品精准管理与安全监控的多终端大数据平台,实现蔬菜产品生产全周期智能化管理和溯源。平台实现多终端多用户的接入,可由第三方进行监管。通过农业投入品监管、生产全程智能管理、加工流通智能管理,实现蔬菜产品全流程质量安全信息的透明监管,并预留数据自动上传接口,自动采集上传属性不可修改的农资数据、环境数据、检测数据。避开人为干扰属性,避免蔬菜生产企业为了满足市场销售需求对数据进行改动甚至造假,造成产品质量安全问题。随着农业物联网技术的全面应用和人工智能技术的发展,蔬菜大数据服务将更加深入^[12]。

(上接第 197 页)

续的研究工作中可考虑更多的建筑物,同时对于装配式建筑物的节点设计、连接方式以及拼缝防渗处理等还有待进一步深入研究。

(3)当前水利工程建设中迅速发展的新材料、新设计、新工艺为水利装配式结构的研究提出了新课题,在材料选择、结构设计,生产和施工工艺等方面都将跨入一个崭新的发展阶段。

参考文献

- [1] 刘长顺,郑磊,张景奎,等. 农田水利装配式混凝土渠道应用技术研究综述[J]. 混凝土与水泥制品,2019(5):40-43,53.
- [2] ZHANG J K, XU J C, LIU C S, et al. Prediction of rubber fiber concrete strength using extreme learning machine[J]. Front Mater, 2021, 7:1-12.
- [3] 刘长顺,张景奎,郑继,等. 安徽小型农田水利灌溉设施应用现状与发展分析[J]. 安徽农业科学,2021,49(3):214-216,221.
- [4] 洪晓林,武世翔,刘复新. 农田水利装配式建筑物技术与推广[J]. 水利水运工程学报,2001(1):62-67.

参考文献

- [1] 孙忠富,杜克明,郑飞翔,等. 大数据在智慧农业中研究与应用展望[J]. 中国农业科技导报,2013,15(6):63-71.
- [2] 秦小立,叶露,李玉萍,等. 热带农业大数据应用平台设计[J]. 热带农业科学,2018,38(1):130-136.
- [3] 李瑾,顾戈琦. 基于“互联网+”的农业大数据平台构建[J]. 湖北农业科学,2017,56(10):1947-1952.
- [4] 陶忠良,管孝锋,刘彦妮. 基于精细农业的大数据应用平台构建研究[J]. 科教导刊,2018(16):145-147.
- [5] 周湘超,陈义明,朱幸辉. 1 种农业物联网大数据平台架构[J]. 安徽农业科学,2019,47(2):241-245.
- [6] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴 2019[M]. 北京:中国统计出版社,2019.
- [7] 杨绍功. 王叁寿:单品种大数据是农业大数据的关键[EB/OL]. (2018-11-20)[2020-10-20]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_2654111.
- [8] 康德贤,蒋雅琴,甘桂云,等. 广西城郊型蔬菜产业发展现状与对策[J]. 长江蔬菜,2018(9):4-7.
- [9] 卢佳. 125 万吨蔬菜销往粤港澳大湾区[N/OL]. 广西日报,2018-12-26[2020-10-20]. <http://news.gxnews.com.cn/staticpages/20181226/newgx5c22b822-17919853.shtml>.
- [10] 王晓东,于峰. 基于大数据的蔬菜产业数据化研究[J]. 蔬菜,2018(5):27-31.
- [11] 於文刚. 基于 RFID 的蔬菜质量溯源系统的设计与实现[J]. 智能计算机与应用,2016,6(4):48-50.
- [12] 张开智,柳平增,姜红花,等. 蔬菜产业大数据平台评价指标体系探究[J]. 中国管理信息化,2020,23(7):162-165.
- [13] 孙想,吴华瑞,朱华吉,等. 蔬菜产业大数据平台应用研究[J]. 北方园艺,2020(20):154-162.

- [5] 张少卿. 田间装配式涵洞研究与应用[D]. 扬州:扬州大学,2018.
- [6] 赵艳. 小型渠系装配式建筑物的优化与评价[D]. 扬州:扬州大学,2020.
- [7] 韩廷超. 一种农田水利新型装配式涵洞的开发与应用研究[D]. 扬州:扬州大学,2019.
- [8] 徐良,张景奎,刘长顺,等. 一种装配式渠道止水连接结构:CN201821914912. X[P]. 2019-09-20.
- [9] 中华人民共和国水利部. 水工混凝土试验规程:SL 352—2006[S]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [10] 中华人民共和国水利部. 渠道防渗工程技术规范:SL 18—2004[S]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 混凝土和钢筋混凝土排水管试验方法:GB/T 16752—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [12] 郭秀军,罗辉,王淼,等. 大型渠道混凝土衬砌缺陷 GPR 无损检测研究[J]. 南水北调与水利科技,2009,7(6):76-80.
- [13] 宋金涛. 预制装配式混凝土建筑施工质量评价研究[D]. 青岛:青岛理工大学,2018.
- [14] 李远远. 基于粗糙集指标体系构建及综合评价方法研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2009.