

文章编号:0559-9350(2007)07-0806-06

大型灌区节水改造技术支撑体系及研究重点

许迪, 龚时宏

(国家节水灌溉工程技术研究中心(北京), 中国水利水电科学研究院 水利研究所, 北京 100044)

摘要:针对大型灌区节水改造工程建设与管理中存在的主要共性问题, 综述国内外相关技术发展趋势与主要特征。总的趋势是目标趋于综合性、方法趋于多元性、手段趋于多样性; 其特征为利用现代高科技、重视节水综合技术和精量灌溉节水技术以及环保技术。本文提出我国大型灌区节水改造技术支撑体系及当前应着手开展的与之相应的重点科学研究内容: 包括评价方法、产品开发、地下水利用、农田排水再利用、泵站改造、环境效应等方面的课题。

关键词:灌区; 节水改造; 技术; 支撑体系

中图分类号: S27; TV93

文献标识码: A

我国现有灌溉面积在 2 万 hm^2 以上的大型灌区 402 处, 有效灌溉面积 1 580.5 万 hm^2 , 约占全国灌溉面积的 30%, 生产占全国总量 1/4 以上的粮食, 创造占全国总量 1/3 以上的农业生产总值, 提供占全国 1/7 以上的工业及城市生活用水, 受益人口达到 2 亿多人^[1]。2004 年大型灌区提供的供水量为 1 865 亿 m^3 , 约占全国供水总量的 1/3, 其灌溉用水量达到 1 373 亿 m^3 , 约为全国灌溉用水总量的 38%^[2]。尽管大型灌区为我国农业和国民经济的稳定发展提供了可靠的依托基础, 但由于历史原因, 目前普遍存在的严重问题包括: (1) 用水竞争加剧, 灌区可利用水量减少; (2) 灌溉基础设施配套差, 灌溉保证率及实灌面积低于设计标准; (3) 工程建设标准低, 灌排设施老化损坏严重; (4) 用水管理水平落后, 灌溉水利用效率较低; (5) 农田生态环境问题突出, 制约灌溉农业可持续发展。为此, 开展以节水为中心的大型灌区续建配套与节水改造工作迫在眉睫, 已成为 21 世纪实现灌区水资源可持续利用和经济社会可持续发展的重要战略举措。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》已明确把发展农业生产作为建设社会主义新农村的首要任务, 并将大型灌区续建配套和节水改造工作列为建设社会主义新农村的重点任务之一。国家发改委和水利部已计划从“十五”期间开始, 分 3 期用 15 年左右的时间基本完成全国大型灌区续建配套与节水改造任务。为了保障该项任务的顺利实施, 全面提升工程质量与技术水平, 迫切需要研究解决大型灌区节水改造工程建设与管理中遇到的一批重大共性关键技术问题, 亟待研发一批适合灌区改造工程特点的实用技术与产品, 建立不同类型的灌区节水改造技术集成模式与示范工程, 通过技术突破与科技创新, 为大型灌区节水改造提供强有力的科技支撑条件。

1 国内外相关技术总体发展趋势与主要特征

全球范围水资源供需矛盾的急剧扩大和水资源竞争局面的日益加剧, 使得我国灌溉农业的发展正面临着巨大挑战。通过农业节水技术的推广应用与灌区管理体制与投入机制的有机结合, 达到综合节水增效的目标是大型灌区可持续发展过程中亟待要解决的关键共性问题。在推进灌区现代化进程中, 一方面应修复和完善灌排工程系统, 强化对灌排系统的及时更新与科学管理, 实现良好的工程设施运营与维护, 继续改革和完善相关的管理体制与资金投入机制, 建立起有效的农业节水激励政策与对策, 促

收稿日期: 2007-01-17

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAD11B)

作者简介: 许迪(1957—), 男, 北京人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事农业节水技术研究。E-mail: xudi@iwahr.com

使广大农民用水户在灌区水土资源开发规划、灌溉设施管理与运营等方面参与更多的自主管理工作；另一方面，则应大力开展现代农业节水技术与产品研发，借助当代高新技术对传统的农业节水技术与产品实施升级改造，依靠农业节水科技创新，大幅度提升灌溉水利用率和作物水分生产效率，实现农业产出率的极大化，服务于新时期我国建设资源节约型和环境友好型社会的总体目标^[3]。

1.1 总体发展趋势 大型灌区节水改造技术支撑体系的核心是农业节水技术与农业水资源高效利用技术，其总体发展趋势主要体现在3个方面：**(1)**目标趋于综合性，在强调有效提高农业用水利用率和农业经济效益的同时，日益关注其对灌区生态环境质量带来的影响和作用；**(2)**方法趋于多元性，从着重对自然科学技术的研究，逐步转为自然科学与社会科学研究相结合，加强与技术推广应用相关的经济、管理、体制、政策等方面的研究；**(3)**手段趋于多样性，借助现代高新技术对传统技术和产品进行升级改造的作用日趋凸显，技术集成对实现综合目标的重要性明显增加。

1.2 主要特征 现代信息技术、生物技术、计算机技术、先进制造技术、新材料科学等领域的重大科技突破，正深刻影响着大型灌区节水改造技术发展的进程，为其科技含量的大幅提升带来新的机遇与契机。基于“高效低耗、绿色环保、环境友好”等社会经济可持续发展理念，在保障农业水资源高效利用与区域生态环境安全前提下，大型灌区节水改造技术发展的主要特征表现为：**(1)**利用现代高科技手段对传统技术与产品进行改造升级是提升产品科技含量、提高技术水平、构建可持续发展工程设计理念的重大举措与亮点所在；**(2)**重视对农业节水综合技术与产品的研究和开发，强调技术的集成配套与水平的凝练提升；**(3)**精量灌溉节水技术、智能化农业用水管理技术、水资源高效开发利用技术等已成为灌区节水改造技术研究的重点；**(4)**开发绿色环保节能型节水产品和材料是维系当今社会经济可持续发展的主流趋势，可促进产品的升级换代和产业结构的优化调整。

2 大型灌区节水改造技术支撑体系研究架构

2.1 研究架构 考虑到技术覆盖类型、服务对象和应用功能，大型灌区节水改造技术支撑体系研究架构由共性技术、关键技术和公益技术组成^[4]：**(1)**共性技术是确保大型灌区节水改造的核心支撑条件，针对灌区诊断评价与节水改造标准、田间节水工程改造、骨干渠系输水工程改造和灌区信息化建设等重点任务，开展灌区诊断评价技术与方法及节水改造标准体系研究、灌区田间节水改造技术集成模式研究、灌区输水技术研究与产品开发和灌区用水管理及量水技术研究与产品开发；**(2)**关键技术是确保大型灌区节水改造的必要依托条件，针对灌区运行管理过程中遇到的重大关键问题，从事灌区地下水开发利用技术研究、灌区农田排水与再利用技术研究和灌区大型泵站改造技术研究；**(3)**公益技术是确保大型灌区可持续发展的基础支撑条件，针对灌区发展过程中面临的农田生态环境问题，对灌区节水改造环境效应及评价方法开展研究。

2.2 技术难点与创新 大型灌区节水改造技术支撑体系研究所涉及的技术难点与创新主要体现在共性技术提升、关键技术突破、公益技术探索等环节：**(1)**共性技术提升主要体现在灌区诊断评价与节水改造标准综合技术体系，大型灌区节水改造综合诊断评价专家决策支持系统，不同类型灌区田间节水改造技术集成模式与标准，田间节水灌溉技术与农艺节水技术高效集成，输水渠道及建筑物老化诊断与修复技术和方法，高效环保型渠道防渗复合材料和高分子复合材料大口径输水管材与管件，集灌区优化动态配水、量水、信息化为一体的灌区用水管理成套模式，集量控功能为一体的新型末级渠系量水与控制设备；**(2)**关键技术突破主要反映在灌区地下水资源合理开发利用最优管理模式，适用于不同类型灌区的地下水开采模式和机井合理布局，受损机井诊断与改造修复技术及方法，水盐调控下的排水工程标准化设计及管理模式，农田控制性排水水位调控准则及工程结构与布局优化模式，农田排水新材料与新产品，大型泵站技术经济指标体系及其综合评价方法，大型泵站诊断标准化程序与故障诊断评价指标体系，大型泵站系统测试检验方法和运行管理决策支持系统；**(3)**公益技术探索重点在于节水改造对灌区水循环过程及农田生态环境的影响，灌区节水改造环境效益评价指标体系，基于生态健康和环境友好的灌区节水临界阈值及其确定方法。

3 大型灌区节水改造技术支撑体系研究重点

3.1 灌区诊断评价技术与方法及节水改造标准体系 针对大型灌区社会经济状况、水土资源条件、灌排工程设施现状、管理运行机制、生态环境效应等诸多影响因素,在对大型灌区综合现状进行诊断与评价基础上,分析其节水改造的紧迫程度与节水改造标准是开展灌区节水改造工作的必要前提条件。世界银行和联合国粮农组织通过对灌区工程、管理、配水等环节中的主要参数指标进行评估基础上,对灌区现代化改造和输配水工程的改进提出了相应的措施与建议^[6],国内近年来也开展了相关的研究工作^[6,7],初步建立起灌区节水改造项目建设与管理评价指标体系,但取得的成果存在一定局限性与片面性,尚未形成完整的灌区节水改造诊断评价方法和节水改造标准体系。

重点内容包括:量化的灌区状况诊断评价技术与评估方法以及影响灌区运行管理效率的关键因素排序方法;建立基于灌区水源、工程、管理、效率和环境等影响要素的大型灌区状况综合分析评估系统;提出灌区节水改造的紧迫程度、关键环节和相关对策;根据灌区类型、经济发展水平、水土资源环境、灌排工程条件、灌区管理等因素,确定灌区节水改造优先次序和改造模式的分析方法与标准;开发大型灌区节水改造综合诊断评价专家决策支持系统。

3.2 灌区田间节水改造技术集成模式 国内外对田间节水灌溉单项技术的研究已取得较大进展^[8,9],并对不同单项技术的组合集成模式开展了相关研究,初步形成以井灌区、渠灌区、井渠结合灌区、提水灌区、集雨节灌区、节水抗旱区、城郊农业节水区等不同类型为代表的灌区田间节水改造技术集成模式^[10]。但这些模式多侧重于工程节水技术,而与其它节水技术和管理措施的结合尚不够紧密,缺乏标准化、系统化的田间节水改造技术集成模式体系,致使节水增产效益未能得到充分发挥。

重点内容包括:针对不同类型灌区,研究适合区域发展的田间节水灌溉技术适用条件、优化配套技术和应用参数,建立不同区域渠灌区末级渠系节水改造技术模式和标准;研究田间节水灌溉技术与灌溉制度紧密结合的非充分灌溉制度及其实现条件与方法;不同田间节水灌溉条件下作物水分、养分定量供应模型以及水肥联合调控和平衡管理技术模式;保墒条件下降水及灌溉水分再分布特征与转化过程动态模型,建立保墒灌溉条件下的技术要素指标;不同水资源条件下田间节水灌溉方法与农艺栽培技术相组合的高效技术集成模式。

3.3 灌区输水技术研究与产品开发 国外借助计算机、仿真、超声波等先进技术建立起灌区输配水工程设施状况诊断检测方法并加以实用,普遍将包括复合土工合成防渗材料在内的高分子材料应用于渠道防渗工程,采用混凝土梯形断面与膜料防渗层相结合的复合结构形式和抵抗渠道冻胀的新技术措施与方法,开发出一次性浇筑成型施工设备、压实土防渗碾压机、塑膜防渗铺膜机等装备。此外,还研制出用于管道灌溉输水系统的基于高分子材料的管材与管件,开展了有关管网规划设计、配套建筑物结构型式优化、施工安装和管网输配水调控技术的相关研究。国内已对灌区水工建筑物老化病害检测方法和手段开展了初步研究^[11],通过改性复合等技术,研发出可显著改善混凝土抗冻性和耐久性的纳米基混凝土改性剂^[12],开发出用于管道输水的各类管材和一批结构简单、价廉实用的新型管件与控制设备^[13],推广应用了薄膜等新型防渗材料和新型复合材料防渗结构形式。但对灌区水工建筑物状况诊断检测技术与方法还缺乏系统的研究,在高效价廉的渠道防渗技术与材料上仍未取得根本性突破,大口径输水管道的开发及应用技术尚不成熟,难以大面积推广应用。

重点内容包括:灌区输水渠道及建筑物老化诊断技术以及防治与修复技术,建立输水渠道及建筑物老化损坏程度及影响因素判断方法与评价指标;研发具有良好防渗抗冻胀性能的渠道防渗新材料及相应的铺设施工技术;研究开发渠灌区管道输水灌溉成套技术和适宜的工程连接调控设备与方法;创制基于高分子复合材料的大口径管材和管件以及相关的制作工艺与方法。

3.4 灌区用水管理及量水技术研究与产品开发 国外已广泛开展渠系自动化与用水管理技术的研究,一批适用于渠道和管道输配水的自动化、集成化量水仪表相继问世,借助现代信息管理技术对灌区用水管理系统进行改善,利用自动化和遥测技术控制渠系运行,构建集信息采集-处理-决策-信息反馈-监控

为一体的灌区用水信息调度系统,实现了水资源的合理配置和灌溉系统的优化调度^[14]。国内也十分重视灌区用水调配模型和软件的研究,建立了多种以灌溉为主的用水管理调度模型,开发出相应的灌溉预报与用水调配软件及决策支持系统^[16],并结合国情对量水技术与产品进行了研发^[16],使灌溉用水管理朝着信息化、高效化的方向发展。但目前还缺乏简便实用、通用性强的灌区用水管理优化模型与软件以及量水设备,有待将灌区用水管理、优化调度决策、动态配水模型与量测手段及数据通讯方法进行集成,形成成套的相关技术产品系统。

重点内容包括:灌区动态配水模拟仿真与实时调控技术,开发灌区用水群决策支持模型和动态配水管理软件;基于网络技术与RS和GPS技术相结合的灌区动态管理信息采集、传输和分析技术与方法,研究开发集用水过程可视化、水量实时调度配置、用水测控管理为一体的灌溉用水信息化管理系统软件,以及用于表述数字灌区、数字渠系特征的计算机识别方法及数字化设计软硬件产品;创制集量控功能为一体的新型末级渠系量水与控制设备;建立灌区用水管理信息化标准结构体系及信息系统,开发灌区用水监控与调配的系统运行管理模式。

3.5 灌区地下水开发利用关键技术 对水资源进行综合开发利用是解决地下水供需矛盾、缓解因地下水过度开采及无序管理引起的区域生态环境问题的最有效途径之一,美国和印度等国家对于多水源联合开发利用优化调度方法与模式进行了深入研究,并在灌区机井布局、井型结构设计和成井工艺技术方面取得了进展^[14]。国内结合国情研发提出的井灌井排工程技术应用模式,在合理利用当地灌溉水源、科学调控地下水位、减小农田涝渍盐碱危害等方面取得了明显综合效果^[17],采用井渠结合的灌溉管理技术与模式对地表水和地下水进行联合调度^[18],可有效提高灌溉保证率并控制地下水位在合理的埋深范围内。然而对这些技术模式的研究还有待深化,尤其是在调控方式与运行规则及标准、调控工程手段与方法的组合方式、机井诊断与修复技术等方面尚需开展更多的研究工作。

重点内容包括:灌区水资源及水环境承载能力评价量化标准与指标体系及评价方法,提出适用于不同类型灌区的地下水开采模式和机井合理布局;提出灌区地下水资源合理开发利用最优管理模式,开发基于“3S”技术的地下水动态观测可视化平台;开发有利于水资源可持续利用的地下水与地表水联合调控技术与方法,提出相关的优化管理运行模式;确定受损机井诊断与改造修复技术及方法,开发不同成井条件下的适宜井型结构与成井工艺。

3.6 灌区农田排水与再利用关键技术 国外已将基于农田水位动态控制的排水理论应用于排水工程规划设计当中,对控制土壤盐碱化的地下水临界深度确定方法与淋洗制度的研究已取得较多成果,控制性排水技术已在美国、荷兰、日本等国家得到广泛应用,在减少水量损失的同时,起到减少肥料流失、减轻农田化学物质对水体污染的作用^[19]。国内对涝渍兼治的地下水排水指标虽已有初步研究成果,但尚未得到生产检验并用于田间排水工程设计中^[20],针对节水灌溉条件下如何利用排水设施开展土壤盐分控制和维持区域盐分均衡的研究有待开展。现有对农田排水组合方式的研究主要集中在利用明沟结合水闸、井排、提排等方式进行调控的模式上,但对组合方式及其各种措施的适宜比例,尚缺乏量化研究^[21]。此外,已初步开发出低成本的暗管排水外包料机械化预包设备和水盐调控工程与非工程措施相组合的技术模式,但尚不具实用性。

重点内容包括:农田涝渍状况对作物生理、生态、产量的影响及作物排水后效应,提出除涝、防渍、涝渍兼治的农田排水方法与指标;节水灌溉条件下土壤水盐运移转换过程的时空变异规律,提出水盐调控的排水工程规模和标准化设计与管理模式;农田控制性排水技术参数指标与水位调控准则,开发与控制性排水系统相关的控制设施,建立相关的工程结构与布局优化模式;基于农田排水矿化度及排水中营养元素含量的动态特征,评价农田排水再利用潜力,建立排水再利用条件下的工程结构形式与运行管理模式;创制具有适宜性能价格比的农田排水新材料、新产品及相应的施工工艺与方法。

3.7 灌区大型泵站改造关键技术 国外对泵站工程老化评估的研究起步较早,而国内相关研究多以整个灌溉工程作为对象,无法确切地判断泵站老化状态,缺乏科学合理、可被生产采用的老化评价方法与标准^[22]。国外对泵体水力机械内部流动计算及仿真的研究较为成熟,国内只对单一的水力元件计算开展过相关的研究。国外在泵站状态监测与故障诊断技术研究上优先于我国,已开发出实用的在线计算

机诊断与振动监测、人工智能专家故障诊断等系统,我国虽已取得一些研究成果^[28],开发出相应的软件,但在将较为成熟的旋转机械和故障诊断技术有效地用于泵站改造方面,尚需开展大量工作。美国、日本等国家通过计算机监测系统对泵站进行运行管理,有效提高了工作效率,我国对泵站的运行管理多数尚未实现自控过程^[24],对泵站开展技术改造的模式研究亟待加强。

重点内容包括:提出大型泵站技术经济指标体系及其综合评价方法;基于泵站工程老化和病害机理,建立泵站故障诊断方法与评价指标体系,开发大型泵站诊断标准化程序与方法;泵站系统模拟仿真技术及泵站测试技术,开发相应的检验与测试方法;泵站系统优化配套与运行管理技术,建立泵站技术改造模式与运行管理决策支持系统。

3.8 灌区节水改造环境效应及评价方法 灌区实施节水改造后会对区域水文循环系统产生一定影响作用,其中大规模渠道衬砌会减少地表水对地下水的补给量,充分利用土壤水会改变土壤水分入渗与存储条件,致使降雨地表径流关系发生变化;农田地膜覆盖在起到保墒增温作用的同时,会因阻水作用降低降雨入渗效果,加大地表产流蒸发;节水综合措施的应用有可能改变近地面水汽热环境现状,导致农作物耗水和农田腾发规律发生变化。国内外对不同节水措施条件下的农田尺度小气候变化规律、土壤水分运动规律以及节水与水文循环变化规律已开展了一些研究工作^[26],探讨了节水措施对区域水文循环要素和环境效应产生的直接或间接影响,并对作物根土层土壤含水量和地下水位因节水发生的变化以及对水循环过程要素产生的影响进行了初步分析^[26,27],但尚缺乏系统深入的研究结果,有待加强。

重点内容包括:灌区节水改造对农田土壤水分动态、浅层地下水补给、区域作物耗水和地表径流的影响以及对不同尺度下灌溉水利用率的影响,建立灌溉水利用率与作物水分生产效率对灌区节水改造效果响应的预测方法与模型;灌区节水改造环境评价因子的选取规则与方法,开展现代测试与信息技术在数据采集与监测、数据传输与处理分析中的应用研究;基于研究提出的生态健康和环境友好的灌区节水临界阈值及其确定方法,探讨渠系防渗率与灌溉水利用率、水盐调控模式与节水临界阈值间的定量关系。

3.9 灌区节水改造技术集成与示范 以研发的灌区节水改造支撑技术为应用载体,在我国北方渠灌区、北方井渠结合灌区、南方渠灌区建设三类大型灌区节水改造技术集成示范区,构建各具特色的灌区节水改造技术集成应用模式,为大型灌区节水改造提供技术示范样板与典型经验。

重点内容包括:针对北方渠灌区渠系输水效率较低、田间灌溉方法粗放、用水管理水平落后等现状,以大幅度提高灌溉水利用率和经济效益为重点,组装集成田间节水灌溉、高效输配水、灌区用水管理、农田排水与再利用、大型泵站改造等技术,建设适合北方渠灌区的节水改造技术集成模式与规程;针对北方井渠结合灌区水资源紧缺和农业灌溉用水浪费并存、地下水位大面积下降等问题,以大幅度提高灌溉水利用率和多水源联合调度与高效利用为重点,组装集成田间节水灌溉、高效输配水、灌区用水管理、地下水开发利用、农田排水与再利用等技术,建设适合北方井渠结合灌区的节水改造技术集成模式与规程;针对南方渠灌区农业灌溉用水浪费严重、农田排水与水污染问题突出等状况,以大幅度提高农田涝渍灾害防御能力和提高季节性干旱抗御能力为重点,组装集成田间节水灌溉、高效输配水、灌区用水管理、大型泵站改造、农田涝渍灾害排水等技术,建设适合南方渠灌区的节水改造技术集成模式与规程。

致谢:中国灌区协会冯广志,中国灌排发展中心赵竞成和韩振中,中国农科院农田灌溉研究所李英能和黄修桥,中国水利水电科学研究院钱璧璜、高占义和刘群昌,武汉大学黄介生,中国农业大学冯绍元,河海大学彭世彰,西北农林科技大学马孝义等人为本文提供了部分数据资料和咨询建议。

参 考 文 献:

- [1] 水利部农村水利司.全国大型灌区续建配套与节水改造规划[R].北京:水利部农村水利司,2001.
- [2] 水利部农村水利司.全国节水灌溉规划[R].北京:水利部农村水利司,2006.
- [3] 许迪,吴普特,梅旭荣,等.中国节水农业科技创新成效与进展[J].农业工程学报,2003,19(3): 5—9.
- [4] 水利部.大型农业灌区节水改造工程关键支撑技术研究[R].北京:水利部,2006.
- [5] 世界银行,联合国粮农组织.大型灌区快速评估方法[R].罗马:世界银行,联合国粮农组织,2004.
- [6] 韩振中,闫冠宇,刘云波,等.大型灌区续建配套与节水改造评价指标体系的研究[J].中国农村水利水电,

- 2002, 7:17—21.
- [7] 田娟,郭宗楼,姚水萍.灌区灌溉管理质量指标的综合因子分析[J].水科学进展,2005,16(2):284—288.
- [8] 李英能.大型灌区农业高效用水的对策[J].中国农村水利水电,2002,1:45—47.
- [9] 缪荪.引进国外先进适用技术促进节水灌溉技术进步[J].节水灌溉,2004,5:46—48.
- [10] 龚时宏,高占义,王晓玲,等.全国300个节水重点县节水灌溉技术推广应用[J].中国水利水电科学研究院学报,2003,1(4):23—28.
- [11] 杨道富.基于灌区建筑物完好率评估标准体系的研究[J].灌溉排水学报,2005,24(3):57—61.
- [12] 周维博,李立新,何武全,等.我国渠道防渗技术研究与进展[J].水利水电科技进展,2004,24(5):60—63.
- [13] 王留运,岳兵,张顺尧,等.我国工程节水灌溉器材设备简况与综合评价[J].节水灌溉,2004,1:40—41.
- [14] 水利部国际合作与科技司.当代水利科技前沿[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [15] 胡和平,田富强.灌区信息化建设[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [16] 谢崇宝,高占义,黄斌,等.灌区量水技术与设备发展现状及趋势[J].节水灌溉,2003,12:23—26.
- [17] 温季,郭树龙,卢闻航.宁夏银北灌区井灌工程优化配套技术[J].灌溉排水学报,2004,23(2):46—48.
- [18] 李英能,卢国荣.井渠结合灌区农业高效用水的几个问题[J].节水灌溉,2001,4:15—18.
- [19] 贺新春,邵东国,刘武艺,等.农田排水资源化利用的研究进展与展望[J].农业工程学报,2006,22(3):176—179.
- [20] 李慧伶,王修贵,程伦国,等.多阶段受涝渍综合影响的农田排水指标试验研究[J].灌溉排水学报,2005,24(4):1—4.
- [21] 王少丽,张友义,李福祥.涝渍兼治的明暗组合排水计算方法探讨[J].水利学报,2001,(12):56—61.
- [22] 朱丽楠,陈坚,张雷.模糊数学理论在泵站工程老化评价中的应用[J].武汉大学学报(工学版),2003,36(4):32—35.
- [23] 彭永胜,王太勇,张子谦,等.基于Internet的泵站远程状态监测与故障诊断系统研究[J].振动工程学报,2004,17(22):633—636.
- [24] 霍宁.泵站监控系统及其结构的发展趋势[J].水电自动化与大坝监测,2004,28(4):81—85.
- [25] 夏军,刘孟雨,贾绍凤,等.华北地区水资源及水安全问题的思考与研究[J].自然资源学报,2004,19(5):550—560.
- [26] 李道西,彭世彰,徐俊增,等.节水灌溉条件下稻田生态与环境效应[J].河海大学学报(自然科学版),2005,33(6):629—633.
- [27] 王旭升,岳卫峰,杨金忠.内蒙古河套灌区GSPAC水分通量分析[J].灌溉排水学报,2004,23(2):30—33.

Technical supporting system for water saving orientated rehabilitation of large irrigation districts

XU Di, GONG Shi-hong

(National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research, Beijing 100044, China)

Abstract: A review of the problems exist in rehabilitation and management of large irrigation districts both in China and in abroad is presented and the development tendencies of research work in related aspects and their major peculiarities are described. It is pointed out that the development tendencies are: the purposes of development tend to more comprehensive, the methods for rehabilitation tend to pluralistic and the measures for rehabilitation tend to diversified. The major peculiarities are: utilization of modern high technology, paying attention to comprehensive technology for water saving, technology of precise irrigation and environmental protection. The main research topics for improving the technology of supporting system for rehabilitation including the method for appraisal, development of relevant products, utilization of groundwater, reuse of drained water, rehabilitation of pump station and environmental effect are suggested.

Key words: irrigation district; rehabilitation orientating to water saving; technical support system; development tendency

(责任编辑:吕斌秀)