

国家自然科学基金资助项目

波涌灌溉试验研究与应用

王文焰 等著

西北工业大学出版社

波涌灌溉试验研究与应用

王文焰 等著



北林图 A00085302

西北工业大学出版社

1994年12月 西安

600453

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书根据波涌灌溉的大田试验研究,在理论上分析论述了波涌灌溉的节水机理,表土致密层的形成与发展,土壤间歇入渗的特性以及不同灌水参数对土壤入渗及田面糙率的影响等;在应用上,分析论述了波涌灌溉的适用条件及效益分析与计算,田面水流及土壤入渗的数学模型,波涌灌溉的优化计算模型以及波涌灌溉实用计算与汉字图示系统软件的开发等。此外,在试验设备的研制及试验方法等方面也做了详细的介绍。

本书可供从事农田水利、灌溉农业及土壤物理方面的研究和生产技术人员参考,也可作为高等学校有关学科研究生的教学参考书。

波涌灌溉试验研究与应用

王文焰 等著

责任编辑 胡梦仙

© 1994 西北工业大学出版社出版发行
(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 5269046)

全国各地新华书店经销

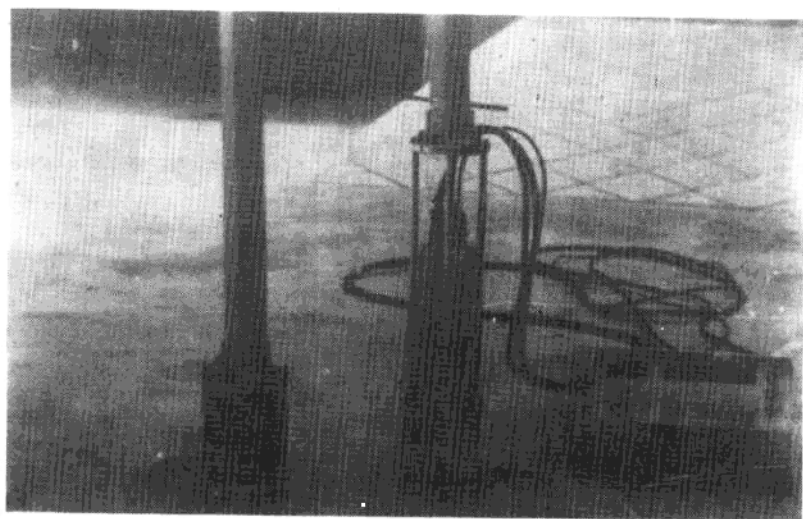
西安理工大学印刷厂印装

ISBN 7-5612-0680-1/TV·4

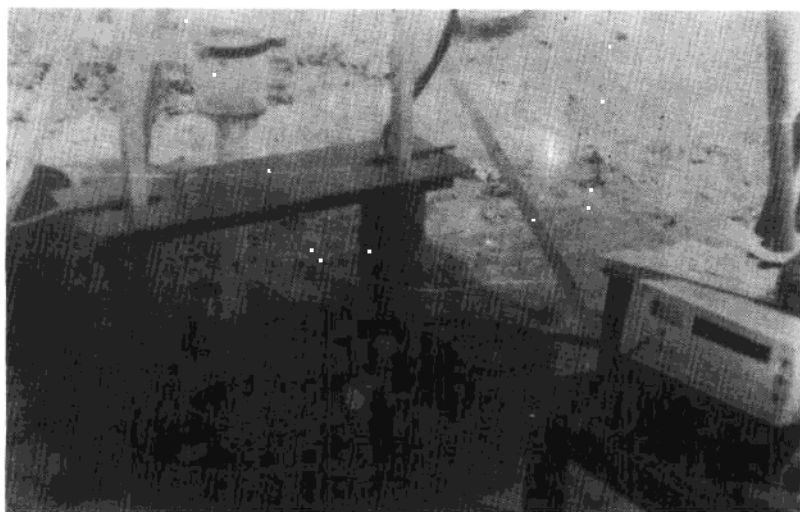
开本:787×1092 毫米 1/16 印张:12.125 字数:268 千字

1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷

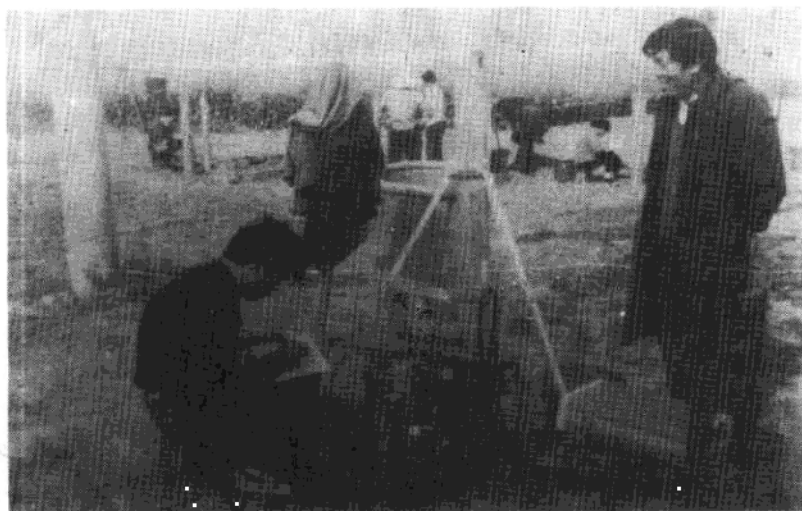
印数:1—1000 册 定价:15.00 元



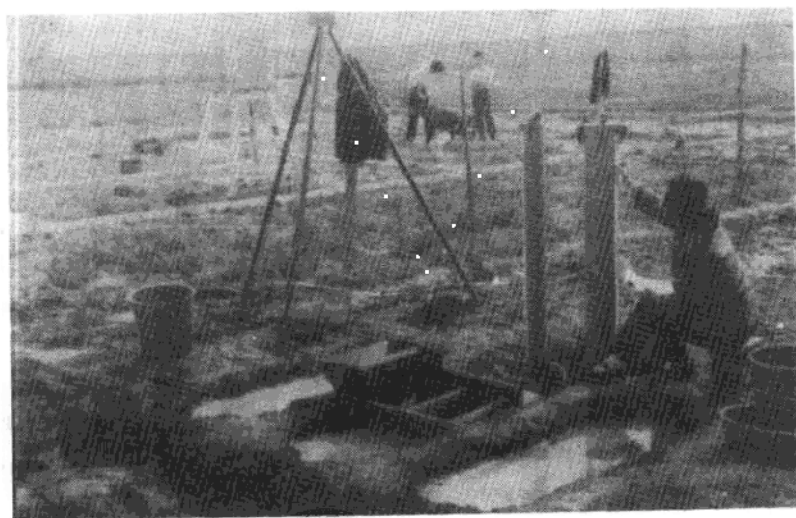
照片1 野外 γ 水分仪的放射源、探头及定标器



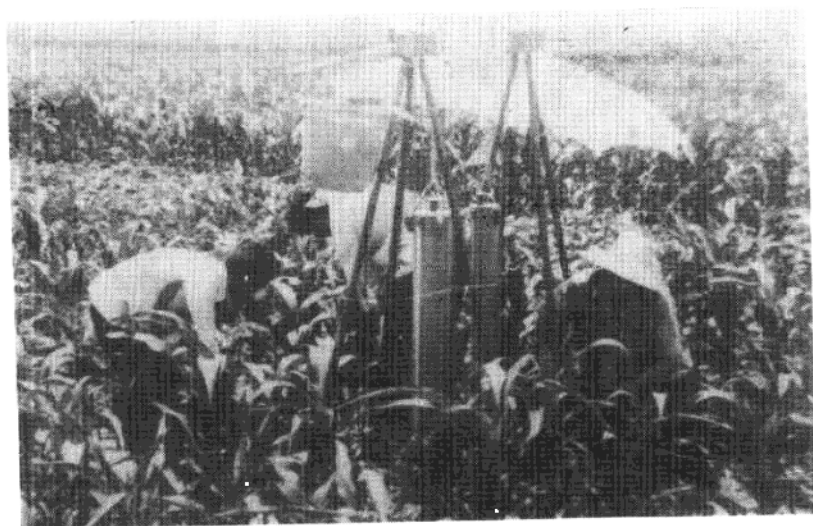
照片2 田间土壤入渗试验装置(含累积入渗量试验装置、 γ 水分仪测量装置及张力计)



照片3 田间土壤入渗试验



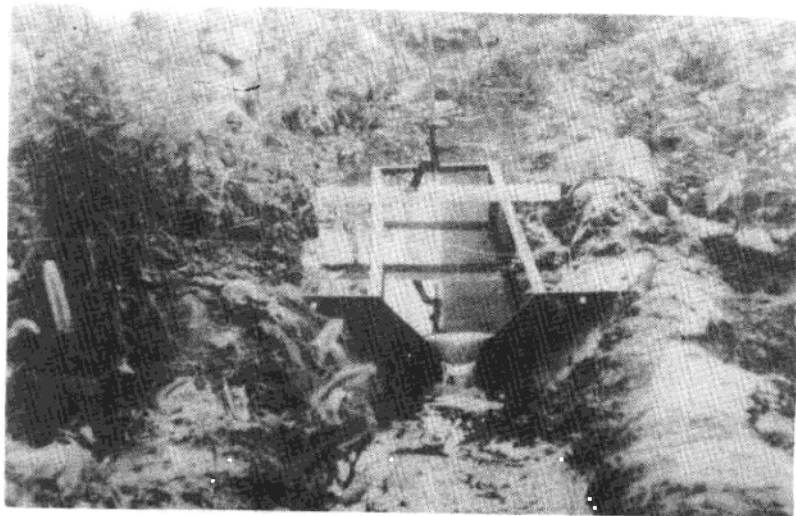
照片4 沟灌静水入渗试验



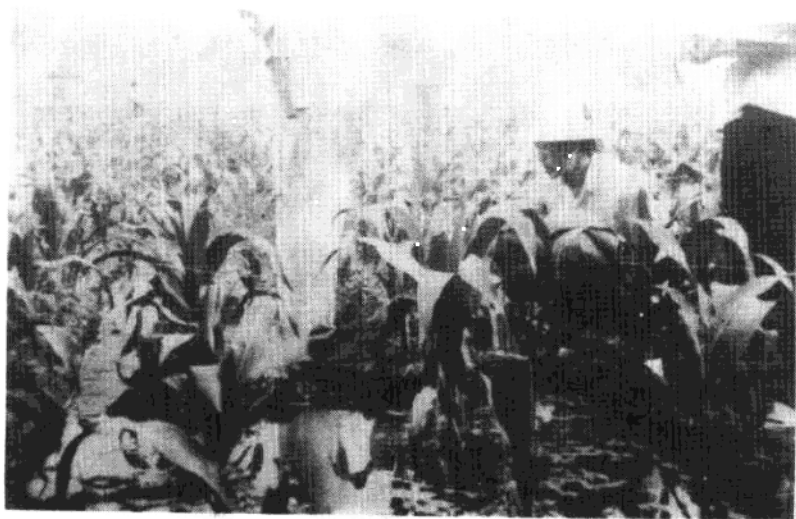
照片 5 大田沟灌静水入渗试验工作情况



照片 6 田间取土样



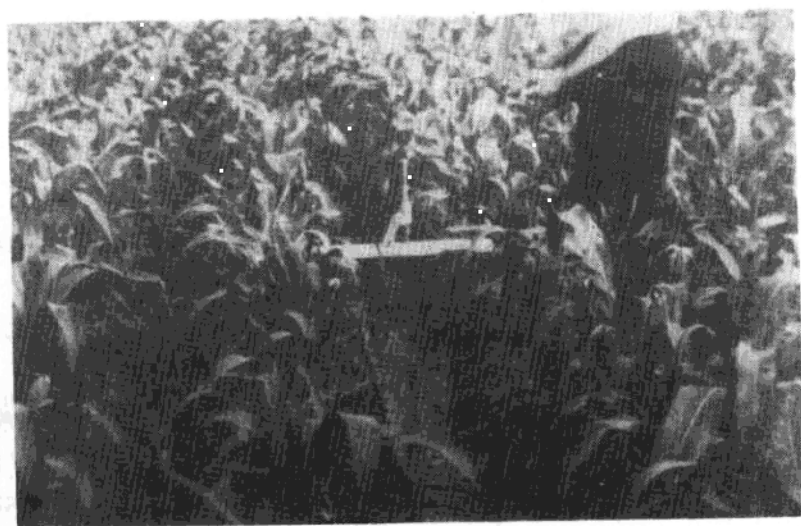
照片 7 量水设备



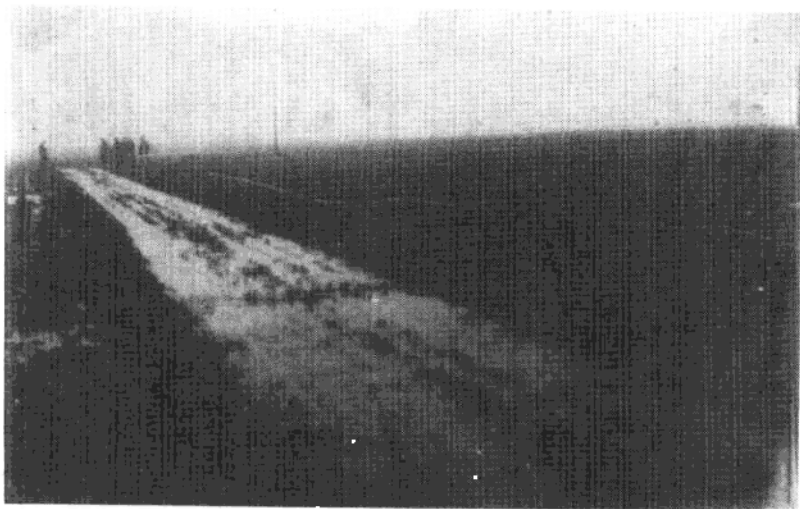
照片 8 入沟分水堰板



照片 9 测量地面水流推进与消退过程的测点标志



照片 10 灌水沟的水深量测



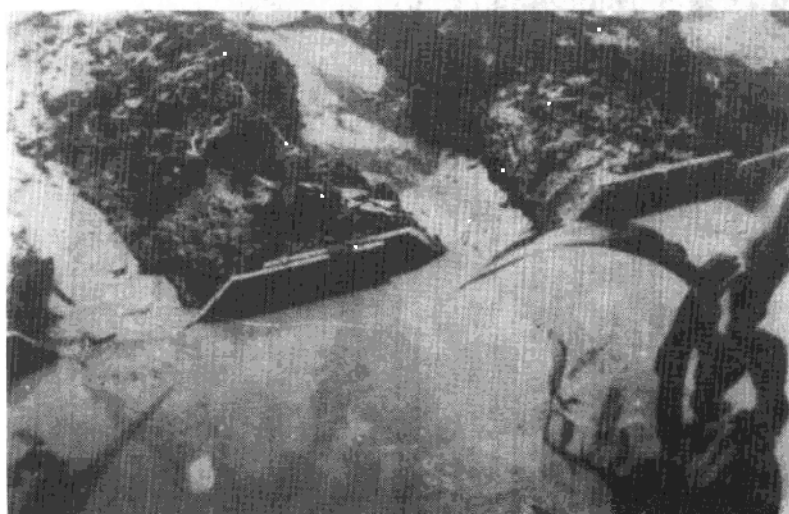
照片 11 大田波涌畦灌试验



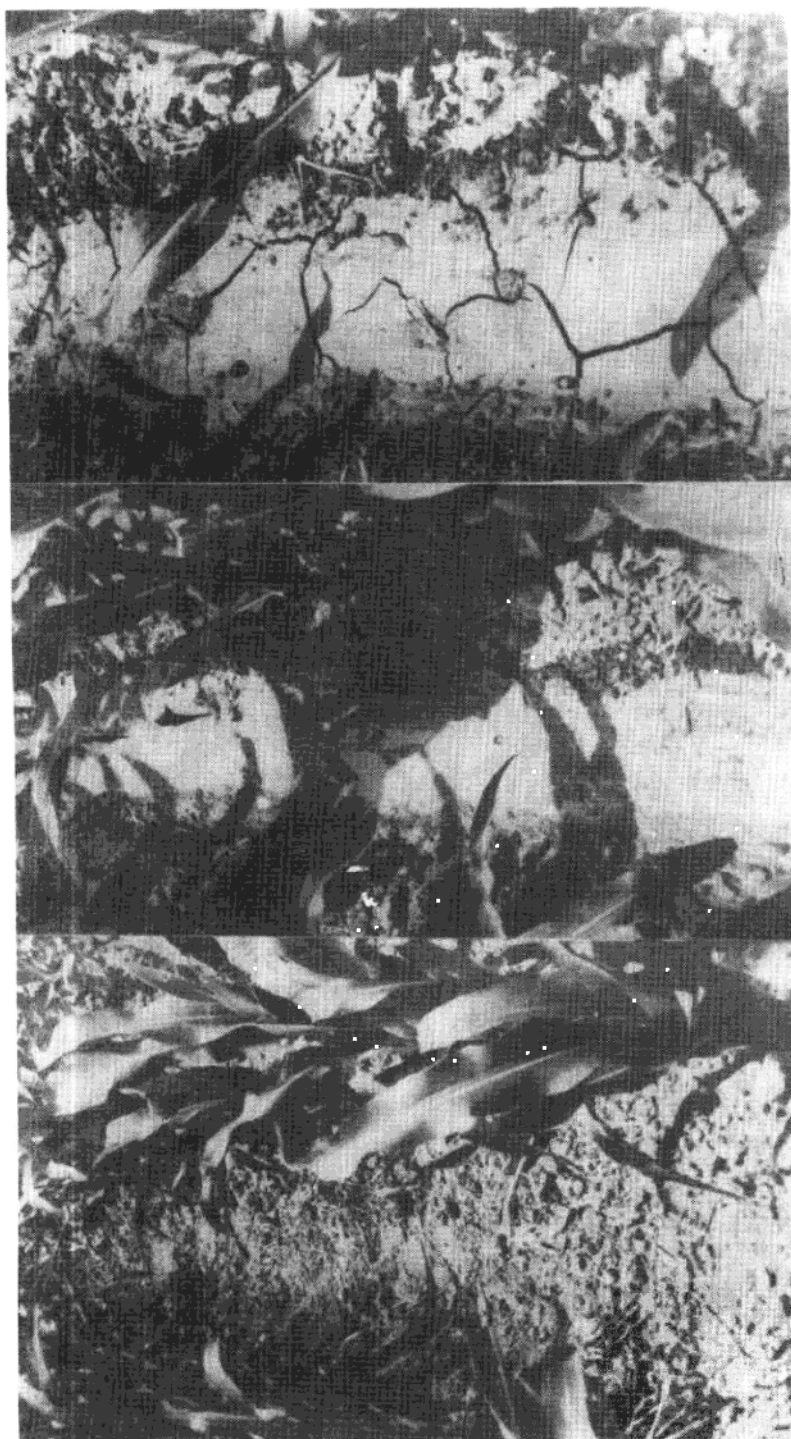
照片 12 测量波涌畦灌水流推进及消退过程的测点标志旗



照片 13 大田波涌沟灌试验



照片 14 大田波涌沟灌的入沟分水堰板



停水一天后

停水后

灌水前

照片 15 灌水前后沟底表土性状的变化

序

我国是一个水资源短缺的国家,西北干旱半干旱地区这个问题更为严重。合理开发并充分利用有限的水资源,是农业以至整个社会经济发展的重要任务。在耕地面积有限的条件下,灌溉是实现粮食稳产高产的主要途径。我国地面灌溉占总灌溉面积的98%以上,因此研究地面灌水技术对节约用水,缓和发展灌溉与水资源短缺的矛盾,提高灌水质量,扩大灌溉面积有着直接的效益。波涌灌溉的研究正是基于这种考虑而进行的。

波涌灌溉方法的研究起始于70年代末期,由美国犹他州立大学 Stringham 和 Keller 博士首先提出,通过田间试验逐步发展,现已进入推广应用阶段。我国对这一新灌溉方法的研究起步较晚,1987年西安理工大学(原陕西机械学院)农田水利研究室开始进行波涌灌溉的基础研究。与此同时,水利部农田灌溉研究所也开始研究,随后水利水电科学研究院与河南人民胜利渠管理局在灌区进行了田间试验。1988年西安理工大学与陕西省水利厅、泾惠渠管理局合作在泾惠渠灌区开展了田间试验研究。1991年起西安理工大学水资源研究所又先后获得水利水电科学基金和国家自然科学基金的资助,由所长王文焰教授主持了“波涌灌溉理论与技术要素的试验研究”项目,并得到宝鸡峡和洛惠渠两大灌区局站的配合,对这一方法作了系统深入的分析研究。课题组针对研究现状及存在问题,利用自行研制的野外土壤入渗仪、沟灌静水入渗仪和 γ 水分仪进行了大量室内及田间试验。以试验数据为基础,从理论上分析了波涌灌溉方法的节水原理、土表致密层的形成发展过程、土壤入渗特性与地表水流特性的关系及相互影响,并建立了波涌灌溉过程的数学模型。波涌灌溉实用计算与汉字图示系统的开发则为该灌水技术的推广应用奠定了基础。这些研究成果处于国内领先地位,部分内容已达国际先进水平。本书是在全面总结研究成果基础上撰写的,是数年艰辛探索的结晶。

喜见波涌灌溉研究开花结果,特为之序,以飨读者。当然研究工作仍需进一步深入,以解决推广应用中出现的新问题。愿有志之士携手并肩,为我国经济建设发展共同努力。

沈 晋

1994. 11. 28

前 言

本专著是国家自然科学基金课题“波涌灌溉理论及技术要素的试验研究”的全面总结。该课题是1990年3月向国家自然科学基金委员会提交的资助申请,经国家自然科学基金委员会的评审,于同年底批准立项(项目编号:59079403),同意资助3.5万元,要求在三年内(1991年1月—1993年12月底)完成申请书所提出的以下研究内容和预期成果:

1. 间歇供水条件下土壤入渗特性的研究及分析。提出包括有波涌周期、循环率、放水时间等因子在内的数学模型;建立波涌灌溉与传统连续灌溉二者入渗特性间联系,为实际推广和应用提供方便。

2. 波涌灌溉条件下地面水流特性的研究及分析。建立波涌灌溉地面水力学数学模型,提出波涌灌溉条件下地面水流的进、退水规律。

3. 波涌灌溉条件下土壤表面致密层的形成和发展,以及对地表水流及土壤入渗特性的影响;解释波涌灌溉省水的机理。

4. 合理确定波涌灌溉的灌水技术要素;提出确定波涌灌溉最佳灌水技术参数的计算方法。

根据以上要求,课题组的全体研究人员,经过三年的不懈努力,按期完成了以上全部研究内容。在此期间,主要进行了以下工作:

1. 查阅了有关波涌灌溉及土壤水分运动等方面的国内外文献资料共60余篇,1991年8月又先后到北京参观了美国来华进行的波涌灌溉自动开关闸门的现场试验及河南人民胜利渠灌区进行的波涌灌溉试验等,通过调研及文献资料的查阅,试验组已充分了解和掌握了有关波涌灌溉目前国内外研究的现状及水平。

2. 为了研究波涌灌溉间歇供水条件下的入渗特性,试验组于1991年至1992年上半年集中精力研制了野外土壤入渗仪及沟灌静水入渗仪,这两套试验设备经现场多次试验及不断改进,现已达到相当完善的水平,尤其是野外土壤入渗仪,较目前国内外普遍使用的双套环入渗仪,在量测精度及灵敏度上均有较大幅度的提高,并且可以自动供水,经国内外有关文献的检索,该仪器已达到国际先进水平,现正在准备组织同行专家鉴定。该仪器不仅保证了本课题研究内容的顺利完成,而且国内有关研究单位及高等学校,已订购达14台。

此外为了适应大田试验的土壤水分动态量测,试验组又在室内同位素测量土壤水分装置的基础上,进一步研制了一套适用于野外的 γ 水分仪,其垂直分辨率达到2cm,土壤水分量测精度可达到 $\pm 2\%$,其性能已超过目前普遍使用的中子水分仪。该仪器也已受到国内同行的重视。

3. 本项研究,除间歇供水条件下的土壤入渗特性在室内做了部分一维土柱的试验研究外,考虑到今后成果的实际应用问题,故绝大部分的试验工作均结合大田实际灌水在现场进行。现场试验地主要选定在陕西关中宝鸡峡灌区双照灌溉试验站及附近农民的大田中进行,在该地区1991年7月至1992年9月间共进行了以下内容的试验研究:

1)田间沟灌入渗试验进行了128组,其中连续供水入渗试验89组,间歇供水入渗试验39组,试验中分别对无侧渗、单侧渗及双侧渗三种情况进行了试验研究。

2)畦灌单点入渗试验共进行了158组,对连续供水、间歇供水、不同循环率及放水时间等参数均进行了不同组合的试验处理;此外不同土壤的结构状态(播前灌、头水、二水、休闲地及回茬地等)也进行了试验研究。

3)对麦田的冬、春波涌畦灌及玉米、红薯地的波涌沟灌以及玉米地的波涌畦灌等均做了不同灌水参数组合条件下的大田灌水试验,同时也进行了传统连续灌水的对比试验,共计畦灌53组,沟灌19组。试验中对浑水条件下的波涌沟灌也进行了初步试验,共进行了8组。与此同时,为了扩大试验的效果及范围,除在宝鸡峡灌区进行了系统的波涌灌溉试验工作以外,还在陕西洛惠渠西灌区蒲城县白卤大队、石堡川水库灌区、澄城县水管站等地进行了以下内容的大田试验:

(1)1992年夏在洛西灌区白卤大队进行了26场浑水单点入渗试验。

(2)1992年冬在石堡川水库灌区、澄城县水管站进行了麦田波涌灌溉及连续灌溉的对比试验,共4组。

(3)1993年6月、8月、12月三次在洛西灌区白卤大队进行了玉米地的播前灌、生育期的头水、二水灌以及麦田的冬灌,同时也相应地进行了波涌灌溉与连续灌溉的对比试验等共20组。此外也做了不同条件下的大田入渗试验,共7组。

在以上这些地区的试验中,为了研究波涌灌溉条件下土壤入渗特性及地表水流的特性,以及表土致密层的形成及发展的变化规律等,试验组详细记录了大量的科学数据,其中包括水流推进过程及消退过程的变化,入沟(畦)的流量及水深的变化,灌水前后土壤含水量的变化以及表土致密层容重的变化等。据统计共测定土壤含水量样品1500余个,分析土壤颗粒组成样品200余个,测定表土容重样品150余个,这些数据为本课题各个专题的深入研究提供了重要的科学依据。

4. 大量现场试验资料的取得除为揭示波涌灌溉的节水机理,掌握和了解表土致密层的形成与发展过程以及分析对土壤入渗特性及地表水流特性的影响关系起着重要作用外,同时在验证数学模型的合理及准确性上也是一个重要的依据。数学模型的建立,对于波涌灌溉在生产上的推广应用,以及灌水参数的合理选定上,无疑都是十分重要的,而在数学模拟中土壤水分运动参数的正确测定则是一项十分关键的工作。为此本课题在土壤水分运动参数的测定方面,结合波涌灌溉数学模拟的要求,从测定方法到设备的研制(包括室内及大田测定)也都进行了研究,并取得一定的研究成果。

5. 为完成课题的研究内容,全体研究组成员精诚团结,协同工作,在以上试验研究的工作基础上,通过资料整理分析、研究、分工合作,共撰写了28篇论文。由于目前学术刊物发表论文周期过长,一般需1~2年时间,因而已正式发表的论文有12篇,其它将陆续在有关刊物上发表。

目前撰写的28篇论文,包括了本课题预期的全部研究内容,按专题分类,可分为以下五个方面:

1)试验设备的研制2篇。

2)土壤水分运动参数的测定4篇。

3)波涌灌溉表土致密层的形成与发展5篇。

4)波涌灌溉及土壤的入渗特性 12 篇。

5)波涌灌溉地表水流特性及效果分析 5 篇。

以上论文已编印成《波涌灌溉理论及技术要素的试验研究论文集》。

为了系统地总结和交流这一研究成果,并使这一新的灌水技术能够在我国进一步得到深入研究和推广应用,课题组主要成员在以上撰写的论文基础上,又分工撰写了这本专著。

本课题研究成果除以上论著外,尚有研制的野外土壤入渗仪、沟灌静水入渗仪及野外 γ 水分仪各一套,以及开发的“波涌灌溉实用计算与汉字图示系统”软件,此外还有波涌灌溉现场试验录像带一盘(120 min)。

6. 以上研究成果,除已在国内正式刊物上发表外,并在 1992 年到 1993 年期间,课题组曾先后 7 人次在国际干旱土壤分类和管理学术讨论会、第四届全国青年土壤工作者学术讨论会、全国第五届土壤物理学学术讨论会,以及全国首届土壤与环境青年学术研究会上宣读了有关波涌灌溉的部分研究论文共 10 篇,得到了同行专家的肯定和好评,同时这一新型的节水灌溉技术也已引起国内众多土壤物理学及有关学科的科学工作者们的关注。正如全国第五届土壤物理学学术讨论会的纪要中提到“这次会上重点介绍了波涌灌溉的节水机理和应用技术,引起广大代表的浓厚兴趣,……陕西机械学院进行的波涌水流间歇性灌溉节水技术应用研究,可望促进北方节水农业灌溉技术的改进”,会议期间播放了“西安水资源所的水动力学研究设施的录像,……土壤水分测试设备已从一维水流发展到三维水流的计算机控制和数据采集的土壤含水量的动态检测,……使土壤水分测试技术取得重大进展”,同时在这次学术讨论会议期间,土壤物理专业委员会决定 1994 年 10 月在西安理工大学召开“节水农业研究中的土壤物理问题学术讨论会”。

此外在本课题进展期间,国内一些有关单位先后来人来函了解本课题研究情况及索取资料,这些单位有新疆建设兵团农五师、北京农业大学、中国科学院地理所禹城试验站、中国科学院沈阳生态研究所等。课题组与这些单位的联系与学术交流,不仅对波涌灌溉在我国的研究和推广应用起到了积极推动作用,而且对我们全体研究人员也是一个鼓励和鞭策。

基于我们对波涌灌溉的研究开始于 1987 年,本课题申报前已在室内对波涌灌溉间歇供水条件下的入渗特性做了系统的试验研究,并且在室内 18 m 长的活动玻璃槽上对下垫面为入渗界面的波涌灌溉地表水流的特性也做了研究,加之本课题又得到国家自然科学基金委员会的资助,使得这一研究通过生产实际的大量现场试验而不断深入,课题组认为在西北干旱、半干旱黄土地区的清水波涌灌溉的理论与技术的研究方面,我们的设备条件、工作基础以及研究成果已具有一定的水平。

二

对照原定研究工作计划,预期研究的四部分内容及要求,已全部完成,并且以下几方面较原定目标有所扩展及深入:

1. 在本课题申请时所拟定的研究方法及技术路线是:室内试验研究及大田试验验证结合;试验与理论分析结合;机理研究与实际应用结合。当时的思想基础是基于我们已具有的室内试验条件,并考虑在大田进行大量试验所存在的困难,因此提出了以室内试验研究为主,而进行少量大田试验作为验证的技术路线。但本课题进行过程中,课题组认识到,室内的试验条件(包括间歇入渗特性及地表水流特性)及研究成果虽然比较理想,但它毕竟和实际

有很大的出入,尤其是土壤空间变异性及各种边界条件的控制等都难于在室内得到满意的解决。因此课题组经过慎重研究,决定将试验的重点转移到生产实际中去,因而也就给课题组增加了相当大的难度及工作量,同时也超出了原有的经费预算,如勘察现场试验区、研制野外土壤入渗仪、沟灌静水入渗仪、野外 γ 水分仪以及有关量水、测水、分水等设备。课题组全体人员为大田试验研究的实现,为能取得满意的资料付出了极大的辛勤劳动,从而为本课题的顺利进展奠定了重要基础。

2. 本课题在原定研究计划中,并未涉及浑水条件下的波涌灌溉的研究任务,但在西北地区的实际大田灌溉中,存在着由多泥沙河流中引水灌溉的问题,因此本课题在研究中,对浑水条件下的入渗特性及波涌灌溉也进行了初步的试验研究,从而使课题组认识到进一步研究浑水波涌灌溉在西北多泥沙河流引水灌区推广应用这一节水灌溉的重要性。

3. 本课题在原定研究计划中也并未涉及波涌灌溉在实际生产中推广应用的一些具体问题,随着研究的不断深入,考虑到这一先进的节水技术能够尽快地在生产中得到推广并便于设计使用,因而增加了波涌灌溉优化模型的研究,并在此基础上又进行了“波涌灌溉汉字实用计算与图示系统”的软件开发和研制。这将大大方便了波涌灌溉的进一步研究及生产应用。

4. 由于试验工作主要在大田进行,而大部分的试验又是在农民的地里,因此制约试验的因素很多,困难很大,如灌前需要农民按照试验要求的畦、沟规格进行平整土地,与配水站联系确定灌水时间及放水流量,灌水前后又要沿沟、畦长度方向上定点取土测量土壤含水量及表土容重,尤其是在放水进行试验时测量记录入沟(畦)流量、沟(畦)水深、水流进、退水过程等等,工作十分艰巨而紧张,并且还需要得到农民的支持与配合。加之冬灌时,天寒地冻,而夏灌时又是烈日当头,课题组全体人员每天都是早出晚归,天黑后经常打着手电筒将试验坚持做完,回到住宿地,连夜还要将当日的原始资料整理妥当。考虑到大田做一次试验的难度,为了保证试验资料的可靠性,每次到现场进行试验时,主要数据都是由试验组成员记录,整个课题组(加上培训有素的长期临时工,一般都是10~15人)齐心协力,形成了一个强有力的战斗集体,这是课题组取得重大进展的重要保证。

三

参加本课题研究的有秦务光副教授、党志良副教授、李智录讲师、张建丰工程师、汪志荣讲师(在职博士研究生)以及太原工业大学水利系来我院攻读硕士学位的樊贵盛讲师及孙西欢讲师。此外范桦副教授、王全九博士研究生以及高岩、惠爱瑞、陆雨等同志也参加了部分试验及土样分析化验等工作,在本课题研究中,我院王云涛教授也给予了极大的关心和支持。

本专著的第一、三、六、九、十、十三、十四及十七章由王文焰执笔,其中张建丰参加了第三、六、九、十章的部分计算及撰写,李智录参加了第九、十章的部分计算及撰写;第二、五、十一、十二、十五及十六章由汪志荣执笔,其中李智录参加了第十五章的部分撰写,张发存、张建丰参加了第十六章的部分撰写;第四章由孙西欢执笔;第七章由孙西欢、党志良执笔;第八章由樊贵盛、党志良执笔,汪志荣、王文焰参加了部分撰写,全书由王文焰统稿及审阅,插图工作由高岩及张建丰完成。

整个试验设备的研制由张建丰负责,其中野外土壤入渗仪、野外 γ 水分仪由张建丰、王文焰研制完成,沟灌静水入渗仪由孙西欢、张建丰研制完成。“波涌灌溉实用计算与汉字图示

系统”的软件开发与研制,由张发存负责完成,汪志荣、张建丰参加了部分工作。

本项研究在宝鸡峡灌区进行的现场试验是在党志良副教授领导下进行的;现场试验的录像、剪辑等工作均由张建丰工程师负责完成。

本项研究在宝鸡峡灌区双照灌溉试验站进行现场灌水时,得到了宝鸡峡管理局孙兢武高级工程师、毛履杰总工程师、灌溉科张科长的大力支持;在双照灌溉试验站进行试验工作时,不仅得到郑站长、唐站长的直接关心和支持,而且两位站长及站内穆工程师,以及马淑英、刘宏让、王礼让、刘军、孙展辉、贺韧生、岳玉红等同志也都参加了部分入渗试验及大田试验工作;在石堡川水库灌区进行现场试验时,得到澄城水管站副站长杨春学工程师的大力支持和协助,以及在洛西灌区蒲城县白卤大队进行现场试验时得到王长庚、郭淑荣同志全家的全力支持,这些同志及单位对本课题的顺利完成起到了重要作用,特此向他们表示衷心的感谢。

本项研究成果在通讯评审鉴定时,承蒙西北农业大学熊运章教授,中国科学院、水利部西北水土保持研究所李玉山研究员,中国农业科学院、水利部农田灌溉研究所余开德研究员、胡毓骥研究员,国家自然科学基金委员会水利学科陈式慧研究员,清华大学雷志栋教授、杨诗秀教授,武汉水利水电大学沈荣开教授、雷声隆教授以及河海大学房宽厚教授等均给予了很高评价,并提出了许多宝贵意见,在此特向他们表示衷心的感谢。

王文焰

1994.4.5

