

YINHUANG GUANQU NISHA ZHILI YU
DIXIASHUI KAIFA XINJISHU

引黄灌区泥沙治理

地下水开发新技术

张治晖 杨 明 常晓辉 张治昊 李世森 著



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是引黄灌区泥沙治理、水沙资源优化配置和水资源合理利用的相关科研成果的总结,分上、下两篇,共十二章,上篇主要介绍了引黄灌区泥沙处理利用、水流泥沙运动规律、水沙调控理论与关键技术,提出了泥沙资源化原理和配置思想,论证了配置技术和措施;下篇主要介绍了利用辐射井这一新技术在引黄灌区开发利用浅层地下水、井渠结合、地下水和地表水优化配置的设计方法、技术模式、施工工艺等。

本书可供水文水资源、泥沙运动力学、水沙资源配置、地下水开发利用、节水灌溉等专业的工程技术人员及高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

引黄灌区泥沙治理与地下水开发新技术/张治晖等著.
郑州:黄河水利出版社,2010.1

ISBN 978-7-80734-793-4

I. ①引… II. ①张… III. ①黄河-灌区-河流泥沙-治理-研究②黄河-灌区-地下水资源-资源开发
IV. ①TV14②P641.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第017806号

策划组稿:马广州 电话:13849108008 E-mail:magz@yahoo.cn

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850mm×1168mm 1/32

印张:10.375

字数:260千字

印数:1—1000

版次:2010年1月第1版

印次:2010年1月第1次印刷

定价:30.00元

前 言

黄河是我国第二大河,流域多年平均天然径流量 580 亿 m^3 , 是西北、华北地区主要水资源,是我国北方地区最大的供水水源,其以占全国 2% 的地表径流,承担着全国 15% 的耕地、12% 的人口和 50 多座大中城市的供水任务,在我国国民经济和社会发展中具有重要的战略地位,因此黄河水资源的可持续利用是沿黄地区社会经济发展的关键。

黄河水资源主要用于农业灌溉,约占总耗水量的 92%,目前,引黄灌溉面积已达 733.3 万 hm^2 。新中国成立 60 年,引黄灌溉事业的发展彻底改变了引黄灌区农业生产落后、人民生活贫困的面貌,使其成为我国重要的粮棉生产基地。黄河以泥沙含量高著称于世,引黄灌区在引水的同时,也把大量的黄河泥沙带进了灌区灌排系统,极大地威胁了引黄灌区灌排工程的运行与管理,巨量黄河泥沙的处理加剧了引黄灌区生态环境的恶化,成为引黄灌区面临的一个重要问题;同时,随着黄河流域工农业的快速发展,黄河水资源日趋紧张,干旱缺水问题已经严重制约引黄灌区经济和社会的发展,如何利用先进技术合理开发利用浅层地下水资源,缓解当前用水紧张的矛盾,有效地控制灌区地下水上升,遏制土壤盐渍化的发生与发展,已成为引黄灌区迫切需要研究的重要问题。针对引黄灌区泥沙治理、水资源合理利用和水沙资源优化配置等关键技术问题,我们主持或参加完成了“十一五”国家科技支撑计划“灌区地下水开发利用关键技术”(2006BAD11B05)、国家农业科技成果转化资金“辐射井技术在农业水资源高效利用中的应用与示范”(02EFN216800685)、科技部科研院所社会公益研究专项“引黄灌区水沙配置理论与关键技术研究”(2004DIB4J169)、水利

部“948”计划“辐射井技术在农田灌溉排水中的推广应用研究”(CT200126)、水利部水利科技重点项目“黄河下游滩地地下水开发利用研究”(SZ9839)等科研项目。

本书是在总结上述项目中由作者主要完成的研究成果的基础上编著的,全书分上、下篇,上篇主要介绍了引黄灌区泥沙处理利用、水流泥沙运动规律、水沙调控理论与关键技术,提出了水沙资源化原理和配置思想,论证了配置技术和措施;下篇主要介绍了利用辐射井这一新技术在引黄灌区开发利用浅层地下水、井渠结合、地下水和地表水优化配置的设计方法、技术模式、施工工艺等。需要指出的是,本书上篇的研究与成稿得到了中国水利水电科学研究院泥沙研究所蒋如琴教授级高工、曹文洪教授级高工、戴清教授级高工,黄河水利科学研究院钱意颖、程秀文教授的悉心指导和无私帮助,部分内容参考了国际泥沙研究中心王延贵教授级高工等完成的“八五”攻关课题的研究报告;本书下篇的研究与成稿得到了中国水利水电科学研究院水利研究所高占义教授级高工、许迪教授级高工的大力指导和悉心帮助。由于时间和精力有限,本书仅做了部分研究工作,还有许多研究工作需要今后不断地补充和完善。

本书共分十二章,各章主要撰写人员如下:第一章:杨明、张治晖、常晓辉;第二章:杨明、张治昊、李世森;第三章:张治昊、杨明、常晓辉;第四章:杨明、常晓辉、蒋如琴;第五章:常晓辉、杨明、李世森;第六章:李世森、杨明、杨晓阳;第七章:常晓辉、杨明、黎国森;第八章:常晓辉、李世森、刘宝玉;第九章:张治晖;第十章:张治晖、杜历、司建宁;第十一章:张治晖、赵华、李敬义;第十二章:张治晖、盛炳珍、伍军。全书由张治晖、杨明审定统稿。

除上述撰写人员外,参加本书项目研究和成果汇编的科技人员尚有:中国水利水电科学研究院水利研究所徐景东、蔡立芳、王桂芬;中国水利水电科学研究院泥沙研究所刘春晶、解刚、王玉海、

胡海华;宁夏水利厅任舒、牛惠、任存东;胜利石油管理局王敦生、邱新德、陈锡银、付超、侯今;天津水运工程科学研究院王艳华;位山灌区管理处许晓华、李春涛、连维强、陈文清、姜海波;小开河引黄灌溉管理局王景元、韩小军、庞启航;簸箕李引黄灌溉管理局房本岩、刘丽丽、姚庆峰;黄河河口管理局聂莉莉、李延波、张长英。因此,本书也包含了这些同志的劳动结晶。在研究工作的过程中,得到了宁夏水利厅、宁夏水科所、宁夏惠农县水务局、胜利石油管理局、滨州市水利局、簸箕李引黄灌溉管理局、位山灌区管理处等单位的大力支持与帮助,在此一并表示诚挚的感谢!

由于时间仓促,水平有限,书中难免存在欠妥或谬误之处,恳请读者批评指正。

作 者

2010 年 1 月

目 录

前 言

上篇 引黄灌区泥沙治理

第1章 引黄灌区基本情况	(3)
1.1 引黄灌区自然地理概况	(3)
1.2 引黄灌区历史发展过程	(4)
参考文献	(6)
第2章 引黄灌区泥沙治理概论	(7)
2.1 引黄灌区泥沙问题	(7)
2.2 引黄灌区泥沙处理利用	(12)
参考文献	(26)
第3章 簸箕李引黄灌区水沙分布与运动规律研究	(27)
3.1 簸箕李引黄灌区基本情况	(27)
3.2 簸箕李引黄灌区水沙分布规律	(31)
3.3 簸箕李引黄灌区水沙运动规律	(74)
参考文献	(86)
第4章 位山灌区泥沙问题研究	(88)
4.1 位山灌区泥沙问题综述	(88)
4.2 新形势下位山灌区面临的主要泥沙问题	(92)
4.3 位山灌区泥沙治理对策研究	(107)
参考文献	(114)
第5章 三义寨灌区泥沙数学模型的开发与验证	(116)
5.1 三义寨灌区概况	(116)
5.2 三义寨灌区泥沙数学模型的开发	(121)

5.3 三义寨灌区渠道泥沙数学模型验证计算	(124)
参考文献	(128)
第6章 引黄灌区泥沙淤积机理及其对环境的危害	(129)
6.1 引黄灌区泥沙分布与颗粒组成	(129)
6.2 引黄灌区泥沙淤积机理研究	(131)
6.3 引黄灌区泥沙对环境的危害与防治	(139)
参考文献	(150)
第7章 引黄灌区水沙资源优化配置数学模型	(151)
7.1 引黄灌区水沙资源优化配置研究的必要性	(151)
7.2 水沙资源配置数学模型方程及其求解	(152)
7.3 引黄灌区水沙资源优化配置数学模型的构建 ...	(162)
7.4 水沙资源优化配置的综合目标函数	(165)
参考文献	(183)
第8章 水沙资源优化配置数学模型在典型灌区的应用	(185)
8.1 水沙资源优化配置数学模型在位山灌区的应用	(185)
8.2 水沙资源配置模型在簸箕李灌区的应用	(196)
8.3 水沙资源配置模型在小开河灌区的应用	(205)
8.4 主要结论	(208)
参考文献	(209)
下篇 引黄灌区地下水开发新技术	
第9章 辐射井技术概述	(213)
9.1 辐射井的概念及特点	(213)
9.2 辐射井发展情况	(217)
9.3 辐射井的应用	(222)
参考文献	(224)

第 10 章 辐射井技术在银北灌区的应用研究	(227)
10.1 银北灌区基本情况	(227)
10.2 银北灌区辐射井设计与施工工艺研究	(232)
10.3 辐射井技术在银北灌区的应用	(243)
参考文献	(253)
第 11 章 利用辐射井发展井渠结合灌溉的灌排模式研究	(256)
11.1 研究区基本情况	(256)
11.2 银北灌区井渠结合灌溉的可行性与必要性	(261)
11.3 灌区井渠结合灌溉井型选择	(263)
11.4 研究区参数确定	(265)
11.5 井渠结合灌溉优化模型	(268)
11.6 辐射井井渠结合灌排模式研究	(273)
11.7 效益分析	(276)
11.8 有关政策问题	(279)
参考文献	(280)
第 12 章 黄河下游滩地地下水开发利用研究	(282)
12.1 研究区基本情况	(282)
12.2 区域地质及水文地质条件	(286)
12.3 水文地质参数确定及地下水资源计算	(295)
12.4 浅层地下水开发利用	(299)
12.5 辐射井技术在黄河滩地浅层地下水开发 利用中的应用研究	(302)
12.6 结论与建议	(317)
参考文献	(318)

上 篇

引黄灌区泥沙治理

第1章 引黄灌区基本情况

1.1 引黄灌区自然地理概况

1.1.1 地理地貌

黄河由西南向东北穿越华北大平原的全境。由于长期的泥沙淤积作用,河床平均高出两侧地面 3 ~ 5 m,局部地区达 10 m 以上,成为世界著名的悬河^[1]。黄河两侧地面,由大堤向外倾斜,黄河河床成为该地区地表水和地下水的分水岭,使广大的平原以黄河为界将南北分别划归淮河流域和海河流域。分析黄河引黄灌区地貌可知,引黄灌区往往地面坡降平缓,位居河南省境内地面坡降多在 1/4 000 ~ 1/6 000;山东省境内地面坡降一般在 1/5 000 ~ 1/10 000;河口地区地面坡降更缓,多在 1/10 000 以下。由于黄河历史上多次决口、改道、泛滥,在大平原上遍布着古河床、古漫滩和沙丘岗地等,加之现代河流作用和人类活动的影响,引黄灌区内岗洼间续分布,形成了内部错综复杂的微地形地貌特征^[2]。

1.1.2 气候和水文

引黄灌区位于我国东部季风区的中纬度地带,受到冬夏季风的强烈影响,季节变化特别明显。冬季受蒙古高压的控制,当极地大陆气团南下时,首当其冲,偏北风盛行,冷锋过境,气温猛降,可出现沙暴或降雪。因其来自大陆,湿度不够高,降雪不多。夏季则在大陆低气压范围内盛行偏南风,亚热带太平洋气团可直达本地区,空气湿润,当受到北方冷空气流的扰动时,形成降水。

引黄灌区所在地区多年平均降水量在 550 ~ 670 mm。该地区降水在季节分配上高度集中,夏季 6、7、8 月三个月降水占全年降水量的 60% ~ 70%,冬季仅占 5%,春季占 15% 左右,秋季占 20% 左右。7 月份是雨量最集中的月份,月均降水可达 200 mm 左右。1 月为雨量最少的月份,一般在 5 mm 以下。暴雨频发是引黄灌区降水的特点,强大的暴雨在平原发生的洪水,造成严重的灾害。降水年变率一般在 20% ~ 30%,以冬季和春季年变率最大。年降水量最大的年份,可达 1 400 mm 以上,最小的年份仅百余 mm,这是导致旱涝的根本原因^[3]。

1.1.3 植被和土壤

引黄灌区的基本地带性植被为落叶阔叶林。以散生的槐树、榆树、臭椿树等居多。在沿海盐渍土上有盐生植被,在沙地上有沙生植被,在洼地有沼泽植被。经过人类长期的利用与改造,人工栽培的植物占很大的面积,以农作物为主。本地区的地带性土壤,自东向西,依次为棕壤、黑色土和黑垆土。在黑垆土地带,在不断遭受侵蚀的黄土上形成发育不成熟的绵土。在平原内部,在积水或受到地下水浸润的地方,形成湿土类型。前者为沼泽土,可称之为水成土壤。后者为草甸土,称为半水成土。滨海地区,因海水侵渍,形成盐土^[4]。

1.2 引黄灌区历史发展过程

早在北宋年间就开始有引黄河水和淤灌农田。民国年间也曾修建了一些虹吸工程,但引水规模较小,利用时间较短。新中国成立后,引黄灌溉事业真正开始跨入新的发展历程,50 多年引黄灌溉事业的发展,彻底改变了引黄灌区农业生产落后、人民生活贫困的面貌,使其成为我国重要的粮棉生产基地^[5-7]。

伴随着新中国的成长历程,引黄灌溉事业也经历了初办、大办、停灌、复灌到稳固发展的几个阶段,走过了曲折坎坷的发展道路。新中国成立伊始,国家即着手兴建引黄济卫工程,即现在的人民胜利渠灌溉工程。为了积累经验,1950年3月在山东省利津县试办了綦家嘴引黄放淤闸工程,设计引水流量 $1.0\text{ m}^3/\text{s}$,当年放水试验成功。1950年10月国家批准了引黄灌溉济卫工程,于1952年3月工程建成投入运用,当年浇地 1.9 万 hm^2 。这是黄河第一个大型自流引黄灌溉工程。1955~1957年间,河南省先后兴建花园口、黑岗口引黄工程,两灌溉工程设计引水能力 $120\text{ m}^3/\text{s}$,淤灌土地 4.3 万 hm^2 。1956年山东省在汛前完成虹吸工程24个,设计引水能力 $160\text{ m}^3/\text{s}$,设计灌溉面积 37.3 万 hm^2 。同年兴建打渔张引黄闸和刘春家引黄灌区。打渔张闸设计引水流量 $120\text{ m}^3/\text{s}$,设计灌溉面积 11.3 万 hm^2 。在引黄灌溉初期,由于工程建设严格按照设计要求,取得了较好的灌溉效益和改碱效果^[8]。

1958年,在全国“大跃进”形势下,引黄灌溉工程建设也出现了大干快上的局面,在短短的一、二年时间内,共兴建引黄闸22座,设计引水能力高达 $3\,361\text{ m}^3/\text{s}$,设计灌溉面积达到 536.5 万 hm^2 。当时灌溉工程不配套,管理粗放,灌区实行大引、大蓄、大灌。1959年全年引水量达163亿 m^3 ,引沙量达6.4亿t。在有灌无排的情况下,致使地下水位上升,灌区出现大面积内涝和土壤次生盐碱化。盐碱地面积由1957年的 54.7 万 hm^2 猛增到1962年的 141.7 万 hm^2 ,粮棉产量大幅度减产。1962年国家下达了除人民胜利渠作为试验保留其 1.3 万 hm^2 继续引黄灌溉外,所有引黄灌区全部停灌。

1965年,黄河流域严重干旱,河南、山东两省分别向国家要求扩大人民胜利渠引黄灌溉规模和恢复打渔张灌区引黄灌溉。在认真总结引黄灌溉工作经验教训,统一引黄灌溉的思想认识,加强用水管理,并大力开展引黄科学研究工作的基础上,引黄灌溉事业沿

着稳固、健康发展的道路不断发展^[9]。目前,引黄灌区灌溉面积已达 733.3 万 hm^2 , 占全国灌溉面积的 13.8%, 其中, 仅河南、山东两省就建成 667 hm^2 以上灌区 96 个, 总设计引水能力 3 363.5 m^3/s , 设计灌溉面积 304.9 万 hm^2 , 实际灌溉面积 185.9 万 hm^2 。建成了相当规模的灌、排工程, 形成了旱能灌、涝能排的农田灌排水利体系^[10]。引黄灌区不仅承担着沿黄地区工农业和城市供水任务, 同时还承担了引黄入卫、引黄济津、引黄济青等跨流域调水任务, 已成为华北地区国民经济发展的生命线。

参 考 文 献

- [1] 钱宁, 万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [2] 胡春宏. 我国江河治理与泥沙研究展望[J]. 水利水电技术, 2001(1).
- [3] 蒋如琴, 彭润泽, 黄永健, 等. 引黄渠系泥沙利用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.
- [4] R·A·拜格诺. 风沙及荒漠沙丘物理学[M]. 钱宁, 林秉南, 译. 北京: 科学出版社, 1959.
- [5] 胡春宏, 王延贵, 等. 流域泥沙资源化配置关键技术问题的探讨[J]. 水利学报, 2005, 36(12).
- [6] 蒋如琴, 彭润泽, 等. 引黄渠系泥沙利用及对平原排水影响的研究[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 1995.
- [7] 王延贵, 胡春宏. 引黄灌区水沙综合利用及渠首治理[J]. 泥沙研究, 2000(2).
- [8] 蒋如琴, 戴清. 黄河下游引黄灌溉及发展对策[C]//第三届海峡两岸水利科技交流研讨会论文集. 北京: 中国水利水电科学研究院, 1997.
- [9] 汪恕诚. 资源水利——人与自然和谐相处[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [10] 曹文洪, 戴清, 方春明, 等. 引黄灌区水沙配置与关键技术研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

第2章 引黄灌区泥沙治理概论

2.1 引黄灌区泥沙问题

黄河以泥沙含量高著称于世,引黄灌区在引水的同时,也把大量的黄河泥沙带进了灌区灌排系统,极大威胁了引黄灌区灌排工程的运行与管理,同时巨量黄河泥沙的处理加剧了引黄灌区区域生态环境恶化,所以引黄灌区面临的主要矛盾仍然是黄河泥沙问题,从某种意义上讲,泥沙问题处理的成败是引黄灌区是否能够实现可持续发展的关键^[1]。由于受地理条件的限制,引黄灌区渠道存在设计断面宽浅、距离长、级数多等问题,难以满足渠道沿程输沙能力的要求,所以引黄灌区泥沙主要淤积在骨干渠道等灌排系统的中枢位置,难以实现用水流将大多数黄河泥沙输运至支、斗、农渠及田间的理想状态。典型引黄灌区泥沙淤积分布表明,有70%以上的引黄泥沙淤积在沉沙池及灌排渠系中,50%以上的引黄泥沙淤积在黄河两岸宽约15 km的狭长条带内,这样的分布结果给人类社会活动带了一系列危害^[2]。

2.1.1 泥沙淤积降低了渠道的输水输沙能力,影响了灌区的正常运行

渠道是灌区灌排系统组成的关键部位,其输水输沙功能的实现是灌区正常运行的保证。渠道泥沙淤积直接影响渠道输水输沙功能的实现,其输水输沙能力的降低使灌区难以正常运行。一次引水过程造成的渠道泥沙淤积可能并不突出,但累积性的淤积会大幅降低渠道自身的输水能力。图2-1为簸箕李引黄灌区2005

年夏秋灌渠道干渠典型断面淤积图,由图可见,簸箕李引黄灌区干渠在一次夏秋灌过程中过水断面面积损失 35% 左右,输水能力大大降低,如果不进行清淤处理,将直接影响随后的冬灌和春灌的正常运行。渠道淤积造成自身输水能力下降的同时,也造成了输沙能力的调整,尽管对于具体的某些时段,渠道的局部段,由于输水能力的下降,使输沙能力的调整复杂多变,但总体而言,与黄河下游河道输沙类似,渠道输沙同样具有多来多排的规律,其输沙能力可用下式表达^[1]:

$$Q_s = KQ^\alpha S_\pm^\beta \quad (2-1)$$

式中 Q_s ——渠道输沙率;

Q ——渠道流量;

$S_\pm$ ——上站含沙量;

K ——系数。

分析式(2-1)可知,渠道自身的过流能力 Q 降低,必然导致输沙率 Q_s 减小,而且根据文献[1]的研究成果,式(2-1)中的指数 α 大于 1,表明 Q_s 随 Q 的减小是大于 1 的指数关系,即 Q_s 减小的剧烈程度大于 Q 减小的剧烈程度,导致渠道淤积更为严重,其输水输沙能力将进一步降低,进入了恶性循环的状态,直接影响了灌区的正常运行。



图 2-1 簸箕李引黄灌区 2005 年夏秋灌渠道干渠典型断面淤积图

2.1.2 泥沙淤积造成清淤难度越来越大,费用逐年升高

为了保证引黄灌区的正常运行,引黄灌区管理部门每年都要

耗费大量的人力、物力、财力对渠道进行清淤,日积月累,渠道两侧堆积的泥沙越来越宽、越来越高,已达到了灌区人力、机械清淤的极限高度。每年的清淤只有采用人机结合的方法,方可勉强完成,且作业相对高差大,人机混杂,事故时有发生,清淤费用逐年升高。渠道两侧泥沙堆积的大量增加,也使随风雨而进入渠道的泥沙数量有所增长,年非引水性泥沙清理费用也随之升高^[3]。

2.1.3 渠道清淤堆沙占压耕地面积巨大且呈逐年增长之势

为减小清淤施工的难度,渠道清淤清出的泥沙都是沿渠道两侧堆放,以一些典型灌区为例,位山灌区东西输沙干渠两侧,清淤出的泥沙形成了四条长15 km、宽70多m、高近7m的沙垄,面积达400 hm²;三义寨灌区在输水干渠两侧有长约5 km、高1~6 m、宽40~50 m的弃沙。上述情况在引黄灌区普遍存在,部分典型引黄灌区清淤堆沙面积统计见表2-1。为了维护灌区的正常运行,清淤工作年复一年,清淤堆沙面积逐年增长,以位山灌区为例,近年来,由于向天津送水,增加了泥沙的处理负担,清淤堆沙正在以每年16.8 hm²的速度向外扩展。由于清淤堆沙不可能无限制地堆高,只能逐渐向渠道两侧占压土地,而渠道两侧往往是高产的良田,所以清淤堆沙将直接侵占耕地,面积巨大,且呈逐年增长之势^[4]。

表2-1 黄河下游部分引黄灌区清淤堆沙面积统计

项目	灌区名称								
	谢寨	刘庄	苏阁	位山	潘庄	李家岸	簸箕李	韩敦	马扎子
清淤堆沙面积 (hm ²)	247	423	200	403	1 388	651	860	193	400
年均增长速度 (hm ² /a)	10.3	17.6	8.3	16.8	73.0	32.6	35.9	8.1	16.7