



988834

高等学校教材

地下水利用

第三版

宁夏农学院 全达人 主编

8
E3



高 等 学 校 教 材



地 下 水 利 用

(第三版)

宁夏农学院 全达人 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书除绪论外,共分七章。内容依次为:供水管井的出水量计算;地下水利用中水文地质参数及其他参数的确定方法;地下水资源的计算与评价;地下水资源数量计算的数值法;集水建筑物的设计与施工;井灌(排)工程规划;井灌(排)区管理。与1981年和1988年分别出版的《地下水利用》相比,本书加强了地下水资源评价和井灌(排)工程规划方面的内容,其它章节在继承前两种版本优点的基础上也有不少改进和更新。

本书是高等学校农田水利工程专业本科学生的教材,也可供水资源、给排水、水文地质等有关专业的师生和工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

地下水利用/全达人主编. —3版. —北京:中国水利水电出版社, 1996

高等学校教材

ISBN 7-80124-132-0

I. 地… I. 全… III. 地下水资源-水源开发-利用-高等学校-教材 IV. P641.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 02865 号

书 名	高等学校教材 地下水利用 (第三版)
作 者	宁夏农学院 全达人 主编
出 版	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京市京建照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 427 千字
版 次	1981 年 2 月第一版 1988 年 11 月第二版 1996 年 10 月第三版 1996 年 10 月北京第六次印刷
印 数	20881—24210 册
定 价	14.30 元

第一版前言

本书是根据一九七八年至一九八一年水利电力类高等学校教材编审出版规划编写的。供高等院校农田水利专业“地下水利用”课程教学使用。也可供从事地下水开发利用工作的技术人员参考。

全书除绪论外，包括三篇：“地下水资源及其评价方法”，“开采地下水的建筑物”，“地下水开发利用规划与管理”。共分十一章，比较系统的阐述了有关开发利用地下水的基本原理、技术方法和规划管理知识。书中尽可能的引用国内外的有关最新成果，同时指出尚需进一步解决的问题，以便读者思考和研究。

本书由西北农学院与华北水利水电学院编写，西北农学院主编。华北水电学院霍崇仁、王禹良编写了第一、二、三、八、九各章。西北农学院赵尔慧、李佩成编写了绪论、第四、五、六、七、十、十一各章。

全书由李佩成、赵尔慧统一整编。

华北水电学院地质教研室和西北农学院水利系地下水教研室的其它同志均为编写此书作了大量的工作。

本书由武汉水电学院张蔚榛和张瑜芳同志主审，合肥工业大学张元禧、黄存礼同志参加审查。

武汉水利电力学院，合肥工业大学，新疆“八一”农学院，内蒙古农牧学院，宁夏农学院，河北农业大学，武汉师范学院，甘肃农业大学，太原工学院，郑州工学院，陕西省水利学校，水利部西北水利科学研究所，陕西省地下水工作队等单位的同志参加了本书大纲讨论和审稿工作，对编写此书提供了宝贵的意见和帮助，仅致谢意。

有关同志都热情支持并希望编好我国第一本“地下水利用”教材，但因编者水平有限，缺乏经验，加之时间短促，缺点错误在所难免，希望广大师生和读者批评指正。

编 者

1980年3月

第二版前言

本书是根据《1983~1987年高等学校水利电力类专业教材编审出版规划》和1983年3月,水利电力部教育司颁布的高等学校农田水利工程专业《地下水利用》教学大纲(试行),以及1983年12月在武汉召开的《农田水利专业教材编审小组会议》精神而编写的。

本书比较系统地阐述了在我国北方地区农田水利建设中合理开发利用地下水资源的重要性和必要性,以及合理开发利用地下水方面的基本理论、基本知识和基本方法等。由于《地下水利用》课程系一门专业课,故其内容侧重实用。书中尽可能编入国内外的最新成果,并比较系统地总结了我国建国30多年来地下水利用在生产、科研和教学方面的基本经验。同时对我国今后地下水开发利用事业的发展也提出了一些需要进一步研究探讨的有关问题。

参加编写此书的有:新疆八一农学院张席儒(绪论、第三章、第四章和第五章);陕西机械学院赵尔慧(第一章、第二章和第八章);华北水利水电学院霍崇仁(第六章和第七章);新疆八一农学院郭西万(第九章)。全书由张席儒任主编,并进行了全书的统稿工作。赵尔慧任副主编,对全部书稿进行了勘校工作。郭西万参加了统稿的协助工作。此外还有新疆八一农学院汤铁山、董新光、陈永东、虎胆·吐马尔拜及陕西机械学院尹焚华等协助主编、副主编参加了对书稿和插图的誊写、描绘与校对等工作。

在编写过程中,曾得到了农田水利教材编审组组长许志方教授的大力支持。他担任本书的主审负责组织武汉水利电力学院、水利水电科学研究院等有关兄弟院校和科研单位的教授、专家(李文渊、田元、伍军、张增新、刘好智、刘金山、朱学愚、陈崇希、李俊亭等),对本书的初稿进行了认真的评审,并提供了许多宝贵的修改意见和建议。特此一并致谢。

此外,对为本书在编写和出版过程中曾提供过参考资料和宝贵意见,以及给予过关心和帮助的有关单位和个人也表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

1987年5月

第三版前言

根据《高等学校水利水电类专业教学委员会农田水利教学组 1992 年扩大会议纪要》和《中华人民共和国水利部(92)科教便字第 24 号》文件的精神,《地下水利用》编写大纲讨论会于 1992 年 12 月 26~28 日在宁夏农学院召开。参加讨论会的有新疆八一农学院水利系、内蒙古农牧学院水利系、宁夏农学院水利系、宁夏地质矿产局和宁夏水利厅的代表,因故未出席会议的西北农业大学水利系为会议提供了书面意见。在交流各校地下水利用课程教学经验的基础上,通过充分讨论,会议制定了《地下水利用》第三轮教材的编写大纲、学时分配和编写分工。本书就是按照这一编写大纲编写的。

与 1981 年的第一轮教材(西北农学院赵尔慧、李佩成,华北水利电力学院霍崇仁、王禹良合编)和 1988 年的第二轮教材(新疆八一农学院张席儒、郭西万,陕西机械学院赵尔慧,华北水利电力学院霍崇仁合编)相比,第三轮教材在编写指导思想、编写内容取舍和配套教材增设等方面都有所变化。从《地下水利用》第一轮教材问世至今已历 12 年,鉴于我国高等学校农田水利工程专业的毕业生分配到凿井队从事凿井技术的人数较少,而参与地下水利用规划和科学研究的人数较多的实际情况,第三轮教材编写的指导思想就是要为农田水利工程专业的大学生提供一本适合实际需要的教材。从这个指导思想出发,在编写内容上将有关凿井技术的内容浓缩为一章(集水建筑物的设计与施工),而这些内容在第一轮教材中分五章叙述(管井;筒井和辐射井;截潜流工程和地下水库;机井钻进;成井工艺),在第二轮教材中分四章叙述(管井;管井施工;大口井与辐射井;井群水源地和水平集水工程)。将凿井技术的内容加以浓缩也有教学上的原因。因为诸如机井钻进、成井工艺等内容的教学,只有结合现场参观,才会取得好的效果;而在教学过程中正好遇到生产部门施工,又可就近参观的机会却千载难逢。地下水资源的计算与评价是井灌(排)工程规划的重要依据,它包括地下水资源的质量计算与评价和数量计算与评价两方面的内容;而在前两轮教材中则只编写(或侧重编写)了地下水资源的数量计算与评价,对地下水资源的质量计算与评价没有提及(如第二版)或叙述不多(如第一版)。本次编写在地下水资源的质量计算与评价方面有所增加。鉴于地下水资源数量计算的重要性,新增了“地下水资源数量计算的数值法”一章。认真完成习题是巩固讲授内容的重要环节,而在前两版教材中没有编入习题。为便于教学,我们编写了《地下水利用习题集》一书,单独出版作为配套教材。可以预料,《地下水利用习题集》不仅会受到师生们的欢迎,而且也有利于广大水利科技干部自学《地下水利用》一书。总之,在学习、借鉴本书前两轮教材的基础上,力求第三轮教材有所改进。

本书由宁夏农学院水利系全达人任主编。编写分工为:新疆八一农学院水利系郭西万编写第一章和第七章,西北农业大学水利系王纪科编写第二章和第五章,内蒙古农牧学院水利系史海滨编写第四章;宁夏农学院水利系全达人编写绪论、第三章和第六章并撰写前言。全书由我国著名的地下水利用专家、西安理工大学赵尔慧教授任主审。

我们虽力求将本书编好,但一因水平有限;二因承担的教学任务较重,编写工作均在课余进行,时间仓促;所以缺点甚至错误在所难免,恳请广大师生和读者批评指正。

编者

1993 年 8 月

目 录

第一版前言	
第二版前言	
第三版前言	
绪 论	1
第一章 供水管井的出水量计算	12
第一节 单井出水量的稳定流计算	12
第二节 单井出水量的非稳定流计算	32
第三节 非完整井的出水量计算	44
第二章 地下水利用中水文地质参数及其他参数的确定方法	53
第一节 利用抽水试验资料确定水文地质参数	53
第二节 利用动态资料确定水文地质参数	64
第三节 用室内方法确定水文地质参数	67
第四节 用其他方法确定有关参数	70
第三章 地下水资源的计算与评价	74
第一节 概论	74
第二节 地下水资源的质量计算与评价	77
第三节 地下水资源的数量计算与评价	92
第四章 地下水资源数量计算的数值法	126
第一节 基本概念	126
第二节 有限差分法	127
第三节 有限单元法	145
第四节 计算示例	159
第五章 集水建筑物的设计与施工	170
第一节 集水建筑物的分类	170
第二节 管井设计	173
第三节 管井施工	193
第四节 大口井与辐射井	205
第五节 水平集水工程	215
第六章 井灌(排)工程规划	223
第一节 概述	223
第二节 传统的井灌规划方法	225
第三节 井灌规划的经济计算方法	243
第七章 井灌(排)区管理	260

第一节 地下水资源管理	260
第二节 井灌(排)区用水管理	264
第三节 地下水动态观测	267
第四节 地下水的人工回补	271
第五节 井灌(排)区工程技术经济分析	274
附录	280
参考文献	285

绪 论

一、地下水利用在我国农田水利事业中的地位与学习《地下水利用》课的目的

(一) 地下水利用在我国农田水利事业中的地位

为了说明地下水利用在我国农田水利事业中的地位,需要了解我国干旱(年降水量小于250mm)、半干旱(年降水量250~500mm)地区的分布及其水文气象特征;地下水灌溉的特点;我国主要的井灌省(市)等情况。

1. 我国北方地区的概念及其水文气象特征

世界上干旱及半干旱地区的面积约占全球陆地面积的55%,遍及50多个国家和地区。主要分布在亚、非、澳、美等洲。我国干旱及半干旱地区的面积约占全国总面积的一半,主要分布在我国的西北、内蒙古、华北及青藏高原的绝大部分地区。这些地区的地表水资源比较缺乏,地下水利用有着特别重要的意义。

在我国半湿润(年降水量500~1000mm)地区,特别是年降水量小于800mm的地区(如安徽北部、江苏北部、河南、河北、山东、北京、天津、辽宁、吉林、黑龙江等省、市的部分地区),由于降水年内分配不均匀,所以在作物的需水季节也经常出现旱象和旱灾。和干旱、半干旱地区一样,在这里,地下水利用也具有十分重要的意义。

据历史资料记载,从公元前246年到1931年的2177年间,共发生旱灾1036次,平均两年左右出现一次。明、清两代的历史资料表明,一般10~20年出现一次大旱。1960年大旱,全国受旱面积5亿多亩;1972年,受害面积为4.5亿亩。一般年份春旱较多,受旱面积约2亿亩;春夏连旱的1960年、1961年,受旱面积达4.5亿亩。

我国北方地区包括苏北、皖北、山东、河南、河北、山西、天津、北京、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆等17个省(市、自治区)的全部或部分面积,地处昆仑山、秦岭、大别山之北。因山阻雨,年降水量较少,且越向西越少,自滨海的700~900mm,向西北减至甘肃东部的350mm,到新疆仅100mm左右,且年际降水量变差大,年内分配不均匀,地表水远满足不了农田灌溉和其它用水的需要。因此干旱历来是我国北方地区农业生产的主要威胁。在我国北方地区有春旱秋涝的特点,也有春夏秋连旱的情况。秦岭淮河以北地区春旱突出,有“十年九春旱”之说;黄淮海地区经常出现春夏连旱,甚至春夏秋连旱,是全国受旱面积最大的区域;西北大部分地区和东北地区西部则常年受旱。根据历史记载,华北和西北是旱灾最多、受害最重的地区。历年抗旱斗争表明,井灌(利用地下水灌溉的主要方式)是我国北方地区发展农业生产的重要水利措施之一。

2. 地下水灌溉的特点

(1) 分布普遍,取水较易。与地表水相比,地下水分布比较普遍,可就地取水。因此当有限的地表水不能满足农田灌溉需要时,地下水就成为理想的补充水源;在严重缺乏地表水的干旱和半干旱地区,地下水更是灌溉和人、畜用水的主要水源,甚至是唯一的水源。例如,我国有不少于2亿亩的农田缺乏地表水源,需要地下水灌溉;约有7亿亩农田,地

表水源保证率不高,需要地下水补充提高;约有10亿亩以上的缺水草场,需要利用地下水灌溉和为畜牧业供水。由于地下水分布普遍,就为上述地区就地(近)解决水源提供了条件。

(2) 水源稳定,灌溉保证率高。形成水源稳定、灌溉保证率高的原因有两个。第一,和地表水相比,地下水(特别是深层地下水)由于受气象因素影响较小,因此水源比较稳定,灌溉保证率高。这一点在我国旱象频繁、地表水源不稳的华北和西北地区表现十分突出。以河北省黑龙港地区为例,该地区1965~1968年旱象不断,严重时河水很少甚至断流,地表水灌溉的保证率很低;而井水(特别是深井水)则较为稳定。中国科学院对新疆地下水灌溉利用的考察也表明,由于泉水流量比河水稳定,因此对于某些绿洲(米泉和塔城等地)来说,泉水的作用比河水大。如玛纳斯冲积扇边缘的大泉沟,夏季(5~8月)流量为 $3.0\text{m}^3/\text{s}$,冬季(11~3月)为 $5.0\text{m}^3/\text{s}$,水量相当稳定。第二,含水层,特别是平原地区厚度较大的潜土层,就像一个天然地下水库一样,具有较强的年内调节和多年调节作用。由于潜水埋藏较浅、补给容易,因此在井渠结合的灌溉地区,井灌开采的地下水,可通过渠系和田面渗漏予以补给。中国农业科学院农田灌溉研究所在河南省人民胜利渠七里营乡的观测发现,该乡每年浅井(井深30~40m)灌溉利用地下水约1500万 m^3 ,与引黄(河水)渠灌的渗漏补给量1420万~1670万 m^3 大致相等。即浅层地下水由于井灌开采的水量,当年即可因渠灌渗漏补给而比较容易地得到恢复。在纯井灌区,旱季开采的水量在当年雨季(或补给季节)即可得到一定程度的补给。大面积的动态观测表明,浅层地下水具有明显的多年调节作用。根据河北省水文地质队的动态观测资料,河北平原1974~1978年平均年开采量为88亿 m^3 ,浅层水基本保持稳定,虽然1973~1976年因降水偏小,地下水位连续下降,但1977~1978年降水恢复正常,地下水位也基本恢复到1973年的水平。这说明在枯水年适量超采的水量,一般通过丰水年的补给,就可得到恢复。正是由于含水层(特别是平原地区厚度较大的潜土层)具有年调节和多年调节作用,因而使得地下水利用能做到旱季预支雨季(或补给季节)的水,干旱年预支丰水年的水,从而使水源稳定,取得较高的灌溉保证率。

(3) 能适时适量灌溉,增产效果显著。由于地下水灌溉工程小,灌溉面积不大,因此管理方便、调度灵活、能适时适量进行灌溉。井灌区群众普遍反映,利用井灌是“随叫随到”,能实行小水勤浇、夺取高产。实践证明,一般井灌区产量都比较高,地下水灌溉的增产效果十分显著。如中国著名的高产区河北省正定县就是井灌区;对河南省温县、博爱、新乡、辉县、偃师等县(市)的调查也说明井灌区单产较渠灌区高。目前我国北方地区的蔬菜基地越来越多地采用地下水灌溉,就是因为地下水灌溉具有能适应蔬菜小水勤浇的特点。

(4) 地下水含沙量极少,是实施节水灌溉措施的理想水源。由于地下水含沙量极少,清澈干净,不会堵塞机器和渗水管道的孔眼,也不会像含泥量大的地表水那样,喷洒在植物叶面上会堵塞植物的气孔而危害植物,因此是发展喷灌、滴灌等节水措施的理想水源。目前节水省地的一个重大措施是输水管道化,低压管道输水要求水源清澈,所以在井灌区得到了普遍实施。

(5) 在易涝易碱地区能起到一定的除涝治碱作用。易涝易碱地在我国西北、华北和东北地区均有分布,在这些地区发展井灌是综合治理旱、涝、碱的重要措施之一。井灌的除涝治碱作用主要表现为:调节地下水量平衡,降低(或控制)潜水水位;改变表土盐分垂直

分布；增大雨季土壤蓄水能力和在土壤中形成淡潜水层等。国内外的大量试验表明，井排（结合灌溉）和水平排水相比具有水位降低深、占地少、不妨碍机耕和表土脱盐速度快等优点。在我国北方由于发展地下水灌溉而使涝碱地得到治理的例子很多，如河南省的温县、封丘、开封，河北省的南皮、曲周，山东的茌平等。井灌在河北、河南、山东、山西、皖北、苏北、宁夏等地的盐碱地改良中已起着十分重要的作用。上述省（区）的许多自流灌区已普遍采用井渠结合的方式控制潜水的水位，发展灌溉农业。

（6）工程小、用工少、投资不多，适于群众筹资自办。

（7）在不能自流的条件下，提水需要动力，因此与自流灌溉相比，一般成本较高。除自流的井、泉外，和所有的提灌工程（如提水泵站）一样，井灌需要提水动力，也就是说需付电费或油费，因此和自流灌溉相比，成本一般较高。所以对地下水利用工程的规划、设计、施工、管理要做仔细的经济论证。内蒙古和宁夏河套灌区的井灌（排）工程就是因为事先未做仔细的经济论证，因而处于进退维谷的境地。井打了，抽水效果也好，却付不起电费。

3. 冀、豫、鲁、蒙、晋、辽、陕是我国的主要井灌省（区）

根据 1991 年《中国水利年鉴》的记载，1990 年我国有效灌溉面积为 72584 万亩；其中井灌面积为 17609 万亩，占有效灌溉总面积的 24.2%。井灌面积的绝大部分（99.1%）分布在北方省（区）；其中河北、河南、山东、内蒙古、山西、辽宁、陕西七省（区）是我国的主要井灌省（区），井灌面积均在 700 万亩以上，井灌面积在总灌溉面积中占有很高的比例（表 0-1）。其它省（区），虽然井灌在全省（区）灌溉面积中的比重不大，但个别地区则占有相当重要的地位。如甘肃省的武威市，井灌面积占全市总灌溉面积的 1/3（1987 年资料）；吉林省的白城地区抗旱主要靠井灌。我国南方由于降雨量大，地表水丰富，井灌在整个灌溉事业中所占的比重较小，只有在地表水缺乏、地下水丰富的个别地带才采用井灌。

表 0-1 我国主要井灌省（区）灌溉面积统计表（引自 1991 年《中国水利年鉴》）

省（区）	有效灌溉面积 （万亩）	井灌面积 （万亩）	井灌面积占总有效灌溉 总面积的百分数（%）	省（区）	有效灌溉面积 （万亩）	井灌面积 （万亩）	井灌面积占总有效灌溉 总面积的百分数（%）
河 北	5659	4610	81.5	山 西	1707	785	46.0
河 南	5325	3459	65.0	辽 宁	1589	774	48.7
山 东	6695	3277	48.9	陕 西	1894	742	39.2
内蒙古	2310	1079	46.7				

从以上叙述不难看出，从全国来说，地下水灌溉利用是地面水灌溉利用的必要补充；而在我国北方，地下水利用则是解决农田灌溉和人畜饮水的重要措施。

（二）学习《地下水利用》课程的目的

《地下水利用》是我国北方各省（市、区）高等学校农田水利工程专业的必修专业课。学习这门课的目的有两个。

（1）掌握必要的地下水运动理论与地下水利用技术，以便在农田水利工程的建设和管理中能将大气水、地表水与地下水统筹考虑、联合运用，在最大限度地利用水资源的同时，保护水资源和改善水环境。众所周知，大气水、地表水和地下水三者之间密不可分，它们

在不断地运动和转化着。因此在农田水利建设与管理工作中就必须树立与贯彻“三水(大气水、地表水、地下水)”统观统管思想和措施,促使它们之间的运动和转化朝着对我们有利的方向发展。否则,势必导致不健全的甚至错误的治水方案,变水利为水害,造成灾难性的后果。例如,由于未能正确认识和处理好地面水和地下水相互转化的关系,大量引用地面水灌溉,引起地下水位上升,导致大面积的土壤盐渍化或沼泽化,这样的例子很多。再如,盲目的过量开采地下水,引起地下水位大幅度下降,造成地面下沉、海水入侵等不良后果,使生态环境恶化。至于在同一河流上、同一水源地内,由于不能统筹兼顾,使各种水利设施的布置杂乱无章,破坏合理的水循环而酿成的种种灾难在国内外更为常见。要作到对“三水”统观统管,就必需学习《地下水利用》的理论与技术。

(2) 掌握地下水利用工程(特别是井灌与井排工程)规划、设计、施工和管理的理论与技术,为从事地下水利用工程的建设与管理奠定基础。《地下水利用》在前苏联被称为《农业供水与凿井》,在西方不同的国家分别被称为《水井工程》和《地下水资源的开发与利用》,内容也不完全相同。《地下水利用》这门课涉及农田水利、水文地质、钻探与造井工程三大学科,内容十分丰富,在一本字数有限的教科书中只能包括其中最主要的部分。有了这个基础,读者在地下水利用工作中可结合实际,参阅有关专门的文献。

二、国外地下水利用简况

利用地下水灌溉在印度、乌兹别克斯坦、阿塞拜疆、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、阿富汗、伊朗、阿尔及利亚和摩洛哥等国都有悠久的历史。如在伊朗,从古代起就利用坎儿井灌溉,印度也很早就用浅井灌田。不过大规模地利用地下水灌溉还是1950年以后的事。下面对几个灌溉面积较大国家的情况做一简介。

(一) 印度

印度位于南亚次大陆,国土面积297.5万 km^2 ,多年平均年降水量最大为11735mm,最小为254mm,全国平均为1143mm,而年平均蒸发量为1500~3000mm,因此大部分地区需要发展灌溉。印度利用地下水灌溉历史悠久,在古代就修建了农用水井。1951年井灌面积0.9亿亩,占全国总灌溉面积的29%;1969年井灌面积增至1.64亿亩,占全国总灌溉面积的30%;1984年井灌面积达2.04亿亩,占全国总灌溉面积38%。井灌面积之大,居世界第一位。

(二) 美国

美国位于北美洲中部,国土面积936.3万 km^2 ,大体上以西经98°分为东西两部。东部31个州为湿润区,年降水量约为800~2000mm,部分地区高达2500mm;西部17个州为干旱、半干旱区,年降水量在500mm以下,加利福尼亚州南部一些地区年降水量不足100mm。美国的井灌区多位于西部17个州,17个州的井灌面积占全国井灌总面积的80%以上,其中得克萨斯州的井灌面积占全州总灌溉面积82%,加利福尼亚州为40%以上。美国大规模地利用地下水灌溉是从1940年开始,1940年井灌面积为1380万亩,占总灌溉面积的11.7%;1950年井灌面积为4500万亩,占总灌溉面积的27.8%;1970年井灌面积近亿亩,占总灌溉面积的37%;1980年井灌面积为1.48亿亩,占总灌溉面积的40%。根据前苏联学者Д·М·Кад教授1988年的资料,美国利用地下水灌溉的面积为全美总灌溉面积的49%(Д·М·Кад等著,全达人等译,《土壤改良水文地质学》第267页,1992年宁夏人民

出版社出版)。井灌面积之大,居世界第三位。

(三) 巴基斯坦

巴基斯坦位于南亚次大陆西北部,国土面积 79.61 万 km²。大部地区属干旱、半干旱区,年平均降雨量,北方山区为 889mm,南方仅为 127mm。巴基斯坦的灌溉集中在印度河平原。印度河平原面积为 26.6 万 km²,占全国总土地面积的 1/3,耕地 2.7 亿亩,占全国的 90%,灌溉面积 2.0 亿亩,占全国 89%。印度河平原年平均降雨为 250mm,年平均气温 25℃,夏季 5~6 月份的平均气温高达 40~50℃,灌溉是农业的基本保证。由于长期大流量引水、高渠床常年输水和有灌无排等原因,地下水位不断升高,土壤盐碱化发展迅速,成为农业的最大危害。1900~1930 年,灌区地下水位距地表深达 10~20m,到 1954 年已有 60%的面积潜水埋深小于 3.0m,其中沼泽化土地和盐斑地各占 25%,重盐碱化土地占 10%。在 1930~1960 年的 30 年内,每年有 30~60 万亩耕地产生盐碱化,这促进了巴基斯坦在这一平原修建大规模的排水工程。印度河平原的排水工程,统一纳入巴基斯坦的国家长期治理计划——防治盐渍化和土壤改良计划(Salinity Control and Reformation Project)。按照这个计划,印度河平原到 1996 年将治理盐碱化面积 1.35 亿亩,主要工程包括修建管井 5.9 万眼,开挖排水沟 7.7 万 km。1979 年 6 月统计,已建管井 1.2 万眼,筒井 15 万眼,挖排水沟 5600km,控制面积 4005 万亩,每年提取地下水 250 亿 m³,占河、渠和田间渗漏年补给总量 600 亿 m³ 的 41.7%。当地下水质较好(矿化度小于 1g/L)时,就直接用于灌溉,否则,抽出的水送入排水系统,最后集中建抽水站排入下一级灌溉渠道,与渠水掺合供下游灌区使用。巴基斯坦是井灌井排,既灌溉,又治碱的成功实例。

三、我国地下水利用的简史、现状、经验教训与存在的问题

(一) 简史

我国是世界上地下水灌溉利用历史最悠久的国家之一。远在先秦时期就已开始利用地下水灌溉,《庄子·天地》和《说苑·反质》都记载着春秋时期(公元前 770~公元前 476 年)已有了用桔槔提取地下水进行园圃灌溉的技术。西汉(公元前 206~公元 25 年)时在新疆创造了引用地下水的坎儿井;同时内地的井灌技术也有了明显的提高,如井灌的水温调节在西汉著名农学家氾胜之的著作中已有阐述。例如在《氾胜之书》中载有:“无流水,曝井水杀其寒气以浇之”。这就是说,在作物生长季节,井水温度一般低于气温,为有益作物生长,用井水灌溉时要升温。明代(公元 1368~1644 年)徐光启著《旱田用水疏》,其中载有许多凿井的方法,明代的井已有石井、砖井、竹井、土井等多种,提水工具已有桔槔、辘轳、木制水车等;徐光启还研究总结了探测地下水以定井位的所谓《审井源》法和辨别水质好坏的方法。所有这一切都说明在古代,我国劳动人民在地下水灌溉利用方面确实有过卓越的贡献。但是在几千年来封建制度的束缚下,在近百年来帝国主义的侵略下,以及反动统治阶级的压迫下,使我国的地下水利用事业未得到应有的发展。到 1949 年解放时止,全国共有土井、石井、砖井 221 万眼,灌溉 1582 万亩土地,平均单井灌溉面积仅 7 亩左右。这些水井大部分是人工开挖汲取浅层地下水的筒井,水量受气候变化影响很大,多不稳定;提水工具大部为简陋的桔槔和辘轳,用人、畜力的水车很少,到 1949 年解放时止,全国只有水车 36 万辆。井灌工程简陋,无法抗御较大的干旱。

(二) 现状

1949年后,在中国共产党的正确领导下,地下水利用事业有了迅速的发展。表现为井数增多,井灌面积扩大,地下水利用的理论与技术日趋完善。

1. 井数增多

1949年后,特别是1970年北方地区农业会议之后,机电井数不断增多,截止到1990年底全国共有机电井273.11万眼,其中完好的256.51万眼,完好率达94%。历年机电井的增长情况列于表0-2。

表 0-2 我国历年机电井情况表(引自 1991 年《中国水利年鉴》)

年份	配 套 机 电 井			年份	配 套 机 电 井		
	眼数(万眼)	完好数(万眼)	完好率(%)		眼数(万眼)	完好数(万眼)	完好率(%)
1965	19.42			1982	234.31	203.78	87
1970	62.70			1983	241.30	211.84	88
1975	181.75			1984	240.31	215.05	89
1976	203.32			1985	237.04	211.24	89
1977	210.88			1986	236.39	211.45	89
1978	221.83			1987	243.02	220.67	91
1979	229.37			1988	251.90	230.56	92
1980	229.06	201.98	88	1989	263.29	244.23	93
1981	229.77	201.97	88	1990	273.11	256.51	94

2. 井灌面积扩大

1949年全国井灌面积为1582万亩,占有效灌溉总面积23893万亩的6.6%;1975年全国井灌面积为1.55亿亩,占有效灌溉总面积6.92亿亩的22.4%;1985年全国井灌面积为1.67亿亩,占有效灌溉总面积7.19亿亩的23.2%;1990年全国井灌面积为1.76亿亩,占有效灌溉总面积7.26亿亩的24.2%。灌溉面积之大,居世界第二位。1990年的井灌面积是1949年的11倍;1990年的单井灌溉面积为64.5亩,是1949年的9.2倍。1990年各省(市、区)井灌情况列入表0-3。由表0-3知,在大陆30个省(市、区)中有24个井灌省(市、区),占大陆省(市、区)总数的80%;井灌已由北方扩展到南方大多数省(市、区),只有湖南、贵州、上海、西藏四省(市、区)目前尚未发展井灌。

表 0-3 1990 年各省(市、区)井灌情况表(引自 1991 年《中国水利年鉴》)

地 区	有效灌溉面积 (万亩)	井灌面积 (万亩)	井灌面积占有效灌溉 总面积的百分数(%)	地 区	有效灌溉面积 (万亩)	井灌面积 (万亩)	井灌面积占有效灌溉 总面积的百分数(%)
全国总计	27584	17609	24.2	山 西	1707	785	46.0
河 北	5659	4610	81.5	陕 西	1894	742	39.2
河 南	5325	3459	65.0	吉 林	1333	485	36.4
北 京	493	267	54.2	天 津	519	183	35.3
山 东	6695	3277	48.9	黑 龙 江	1618	492	30.4
辽 宁	1589	774	48.7	甘 肃	1365	341	25.0
内 蒙 古	2310	1079	46.7	新 疆	4287	498	11.6

续表

地 区	有效灌溉面积 (万亩)	井灌面积 (万亩)	井灌面积占有有效灌溉 总面积的百分数(%)	地 区	有效灌溉面积 (万亩)	井灌面积 (万亩)	井灌面积占有有效灌溉 总面积的百分数(%)
宁 夏	470	41	8.7	江 西	2755	12	0.44
安 徽	3950	213	5.4	广 东	3242	9	0.28
江 苏	5956	193	3.2	海 南	358	1	0.28
青 海	326	6	1.8	广 西	2263	3	0.13
湖 北	3550	46	1.3	湖 南	4014	0	0.00
云 南	1581	17	1.1	贵 州	825	0	0.00
四 川	4209	42	1.0	上 海	480	0	0.00
浙 江	2216	21	0.95	西 藏	195	0	0.00
福 建	1400	13	0.93				

3. 地下水利用的理论与技术日趋完善

(1) 成井工艺方面的进步。解放前,广大农村是人工掏挖或竹弓冲凿打浅井。井管用砖、石、木料构筑,井管外不填滤料,下井管后不立即洗井。解放后,逐步发展为在地球物理勘探方法(如电测剖面、垂直电测深、电测井等)配合下用钻机打深井。井壁管用混凝土管、钢筋混凝土管、塑料管、石棉水泥管、铸铁管、钢管等;滤水管用多孔混凝土管和缠丝垫筋的混凝土管、钢筋混凝土管、塑料管、石棉水泥管、铸铁管、钢管等。滤水管外围填合格滤料,下井管填滤料后用空气压缩机洗井。井型也由解放前单一的筒井发展为因地制宜的管井、辐射井、大口井、大骨料井等。

(2) 井灌工程规划设计理论方面的进步。解放前由于井浅、井少、单井流量不大,所以无规划,更谈不上设计。解放后在井灌工程规划设计方面有了明显的进步,表现为:在渗流计算方面走过了应用稳定流理论、完善稳定流理论、应用非稳定流理论的阶段,进入完善与发展非稳定流理论的时代;在地下水资源评价方面从学习、应用前苏联“四大储量(动储量、静储量、调节储量、开采储量)”评价法发展到“三量(补给量、储存量、消耗量)”评价法;在井灌工程规划方面,从单纯井灌,发展到井渠结合、地表水与地下水联合运用,实现灌区多目标综合治理,在井群布局上已有不少优化设计方法问世;在节水灌溉方面,从土渠输水、渠道衬砌,发展到低压管道输水,并在低压管道输水的设计、施工和管材方面取得了可喜的成绩。

在地下水利用理论与技术的引进、消化、推广和发展中,我国学者葛荫萱、赵尔慧、张蔚榛、陈雨孙等都作出了卓越的贡献。

(三) 经验教训

解放后,地下水利用事业虽然有了迅速发展,但也有不少失误,教训很深。因此,正确总结建国以来地下水利用工作的正反经验,实属必需。这些经验教训可概括如下。

1. 要正确处理井渠关系

正确处理井渠关系,也就是正确处理利用地下水和利用地表水的关系,这在我国北方地区的大、中型自流灌区建设上是一个很重要的问题。正确处理的原则是:井渠结合,两

种工程设施彼此取长补短,以便在发展灌溉的同时,既不产生土壤盐碱沼泽化,又不导致地下水亏损。以黄河下游的河南省人民胜利渠为例,该灌区就经历了兴渠废井和兴井废渠的曲折道路,在经过23年(1952~1975年)实践之后才逐步走上井渠结合的正确道路。从兴渠废井大种水稻实行旱作改水田,导致土壤盐碱沼泽化到兴井废渠引起地下水亏损,最后采取井渠结合实现抗旱、防涝、治碱、改善生态环境、夺取高产稳产的过程中,人们由于认识上的片面性而受到了自然规律的严厉惩罚。这个教训应当珍惜记取。诚然,井渠结合的工程布设和管理运用可因地制宜,但两种工程设施需要结合这一点应当肯定。1993年7月第四届全国地下水科技会议纪要列举了我国河水灌区实行井渠结合两种成功模式。第一种模式是在渠灌区内,井渠并用。既扩大灌溉面积,又防止涝碱灾害。例如在陕西省关中盆地的河水灌区(如泾惠渠灌区)和河南省人民胜利渠引黄灌区,地下水开采量均占整个用水量的一半。第二种模式是在渠灌区内建立纯井灌区。例如山东省茌平县在位山引黄灌区的阎三里建立纯井灌区,利用渠灌区渗漏水,使纯井灌区的地下水得到侧向补给,二者相辅相承,综合治理旱、涝、碱。

2. 应重视成井技术,提高成井质量

要打好一眼井(水量大、水质好、使用寿命长),涉及到成井工艺过程的各个环节。但根据解放后各地打农用机井的实践来看,1964年以前打浅井(井深20~40m)的主要问题是管材不好(木管、砖管),不回填滤料或滤料过大;60年代打深井(100m以上)的主要问题是钻进过程中泥浆选择不当、不洗井或洗井不彻底;70年代以来成井工艺上的主要问题是管接头处理不当,回填滤料过大(或偏大)和洗井不彻底。因此,为了提高成井质量,作到打一眼,成一眼,除全面加强成井工艺的各个环节外,一定要严格泥浆选择、管材采用、回填滤料和洗井这四个关键工序。

3. 要充分利用浅层水,慎重开采深层水

浅层水补给容易,具有较好的年内调节和多年调节作用,因此应充分利用。深层水(如深层承压水)补给较难,无节制地大量集中开采就会出现枯竭现象,使水位持续下降,以致因水泵吸水阀吊空而被迫更换水泵,使经济上蒙受巨大损失,因此要慎重开采。1988年对河北省30个地下水区域下降漏斗的调查表明,77%(23个)的下降漏斗都是由于开采深层水造成的。长期过量开采深层水,特别是深层承压水,还会导致地面不断沉降。河北省区域性地面沉降主要发生在河北省中东部平原就是证明。

4. 以盐碱地改良为目的的井灌井排建设要有一个明确的指导方针

利用井灌井排改良盐碱地在国外已有70多年(1919年至今)的历史,在国内也经历了近40年(1956年至今)的实践。国内外的经验都表明它是旱、涝、碱综合治理的有效措施之一。我国在发展井灌井排事业上也走过弯路。50年代后期(1958~1960年)不少省(区)(如河北、山东、河南、山西、内蒙古、宁夏等)片面地大量引河水灌溉,而不注意排水,导致了灌区土壤大面积的迅速盐碱(沼泽)化。1960年学习推广巴基斯坦的井灌井排经验,当时不少省(区)错误地把井当作一个单纯的排水措施来用,由政府投资在盐碱地区打了不少排水井,结果都未取得成功,其消极影响至今在一些盐碱地区尚未消除。而凡是坚持了以灌为主、对宜井区条件严格掌握的地方,大都取得了良好的治水改土效果,井灌井排被誉为盐碱地“针灸疗法”。总结我国近40年的实践,发展井灌井排的指导方针应包括下列三

点。

(1) 因地制宜, 防止盲目打井。这是为了防止思想上的片面性, 避免简单地兴井废渠和绝对地排斥井灌。为此应进行灌排措施的区划工作, 通过区划消除打井的盲目性, 这就从原则上排除了兴井废渠和兴渠废井这种反复的可能。

(2) 井灌井排要以灌为主、灌排结合、避免单纯排水。这是要注意经济效果。以灌为主可兴利(灌溉)与除害(排水)相结合, 降低抽水费用, 使群众用得起, 从而坚持下去, 取得治水改土效果。而单纯排水, 一方面除害(排水)与兴利(灌溉)脱节, 提水费用高, 群众用不起; 另一方面由于仍引地表水灌溉, 井排降低地下水位的效果不明显, 因此行不通。所谓以灌为主是指总体而言, 并不排斥在治水改土的初期以排为主, 或在特殊条件下以排为主。总之, 抽水需用动力, 要付电费或油费, 因此应千方百计使抽出的水用于灌溉, 以降低抽水费用, 提高抽水效益。

(3) 严格掌握宜井区的条件。根据国内外应用井灌井排的生产实践, 宜井区的条件可归纳为下列三点。

1) 水文地质条件。上部地层透水性差或内含粉沙夹层; 下部含水层渗透性能良好、厚度足够、且水质符合灌溉要求; 被抽含水层和上部潜土层之间有良好的水力联系; 被抽含水层内没有或极少有粘土夹层。

2) 自然地理条件。渠灌区下游和地上河(或大型常年输水渠)两侧; 远离承泄区的平坦低地和封闭洼地等。

3) 经济条件。拟打井地区有廉价的提水动力(如电力、石油等)。

5. 水文地质工作要走在井灌建设的前面

为灌溉排水服务的水文地质工作是井灌(排)事业的基础。目前一些大型灌区的治理(如在宁夏银北引黄灌区 182 万亩中、低产田改造和 265 万亩盐荒地开发中如何运用井灌井排这一工程措施)和许多地区(如山西省的运城、临汾、长治几个盆地)的井灌建设都急需足够精度的水文地质资料作依据。应当肯定, 1949 年以来水文地质部门为发展地下水灌溉利用事业完成了大量的水文地质工作, 但似嫌不够及时。如 50 年代后期(1958~1960 年), 河北、山东、河南三省发生了大面积土壤盐碱化后, 水文地质部门补做了不少灌区的土壤改良水文地质工作; 河北省衡水地区在 1972 年前后发生井灌开采过量, 造成地下水亏损后, 水文地质部门才重视了井灌区的地下水资源评价工作等。“宜未雨绸缪”, 为了把今后的井灌(排)建设与管理做的更好, 使之稳步发展, 水文地质工作一定要走在井灌建设的前面。在这里, 水利部门和水文地质部门加强联系、密切配合是十分重要的。

(四) 存在的问题

随着井灌(排)事业的发展, 出现了一些新的课题需要研究解决。归纳起来主要有以下几个方面。

1. 井灌(排)管理问题

井灌(排)管理的根本目的在于降低灌溉(排水)成本、提高灌溉(排水)效益, 在充分利用地下水的同时又不破坏水资源环境。所以井灌(排)管理应包括水井本身的使用管理(落实水井管理责任制、开展机井效率测试, 使机泵合理配套、推行节水措施等)和地下水资源的开采管理(井灌区地下水动态监测、允许开采量测算、地下水人工回补等)两个方面。水井