

# 引黄灌区灌溉水利用参数及衬砌率的分析探讨

徐征和<sup>1</sup>,王冬梅<sup>2</sup>,韩合忠<sup>1</sup>

(1. 山东省水利科学研究院, 山东 济南 250013; 2. 山东省临清市水务局, 山东 临清 252600)

**摘要:**针对引黄灌区中的井渠结合灌区,以地表水、地下水联合运用,有限水资源的优化配置为目的,研究探讨灌区相关灌溉水参数、衬砌率等,并以陈垓灌区为例进行了分析,初步探索了引黄井渠结合灌区水资源的优化配置、合理的工程运行技术方案。

**关键词:**引黄灌区;灌溉水利用参数;衬砌率

**中图分类号:**S273 **文献标识码:**A

## 1 问题的提出

20世纪80年代以来,我国特别是华北地区农业节水的大力发展,为促进全社会的国民经济发展,缓解水资源供需矛盾起到了重要作用。但是,20多年来,农业节水的重点放在了井灌区,渠灌区的农业节水仅是初步开始。渠灌区运行30多年来,由于缺乏必要的工程投入,以至工程不配套,标准低、跑水、漏水严重,渠系水利用系数低,尤其在引黄灌区灌溉水利用系数仅0.4左右。灌区地下水又得不到合理利用,据分析,鲁西、鲁北沿黄周围地区地下水可开采储量为39.4亿 $m^3$ ,而目前仅开采约16亿 $m^3$ ,以致黄河水引用量虽然较大,但灌溉面积却无法保证,灌溉保证率低。

近年来,由于黄河断流经常发生,处于下游的山东省引黄灌区灌溉水无法保证,工农业生产受到严重影响。灌区所面临的一方面是缺水,另一方面黄河水、地下水又没有得到合理配置。应该说,随着水资源问题的日趋突出,山东省引黄灌区的绝大多数都已经演变成为引黄井区结合灌区,地表水、地下水相互依赖,协调运用成为引黄灌区今后发展的关键技术。而目前,山东省引黄灌区续建配套与节水改造规划中,除配套建筑物之外,片面地大面积提高渠道防渗率,增加渠系水利用系数。但是,随着渠系水利用系数的提高,工程投资必将加大,地下水的补给量也相应减少,灌区地下水文环境也相对恶化,地表水、地下水的合理调控利用失去了前提。因此有必要对引黄灌区相关灌溉水的利用参数、渠道适宜衬砌率,水资源的高效利用

方案等方面进行认真探讨。

## 2 引黄灌区现状

我国的引黄灌区大部分建于20世纪50年代后期和60年代初期。工程配套远未达到设计要求,支渠以下斗、农渠不完整,多未配套。山东省各灌区实际灌溉面积仅为设计灌溉面积的60%左右。

山东省的引黄灌区20世纪60年代初期大水漫灌,造成盐碱化。70年代复灌以来,为了控制灌溉水量,实行沟引提灌延续至今。引黄灌区干渠基本自流,灌区的上游多为自流灌溉,中游支渠以下灌排合一,沟引提灌,下游深沟远送、引黄补源、以井保丰。灌区上游地下水基本上没得到开发利用,而下游地下水位则不断下降。目前,引黄灌区除骨干渠道部分衬砌外(全省骨干渠道衬砌率不到20%),支渠及支渠以下基本是土渠,灌区地下水的开发实际上在60%左右,个别灌区80%以上,灌区渠系水利用系数按干、支、斗三级计算,目前在0.5~0.7,毛灌溉水量0.39万 $m^3/hm^2$ 左右,各灌区每次灌水量平均在0.15万 $m^3/hm^2$ 左右,实际进入田间的水量0.12万 $m^3/hm^2$ 左右,灌溉水利用系数0.45~0.60。

## 3 引黄灌区相关灌溉水计算参数的分析

### 3.1 渠系水利用系数 $\eta$

渠系水利用系数指末级渠道进入田间的水量与引水总量之比,大型灌区中,渠道多分为总干、分干、支、斗、农渠。作为

山东引黄灌区、末级渠道一般到斗渠或斗沟。目前统计的引黄灌区中渠系水利用系数较高,是因为多统计到斗渠为止。干渠渠道水利用系数较高,如簸箕李灌区干渠水利用系数为 0.84~0.92,韩墩灌区总干渠利用系数为 0.92,分干及斗渠为 0.85、0.81,而位山灌区干渠利用系数也在 0.8 以上,究其原因主要是渠道质量及长短差别所致。较长的干渠,一般渠道水利用系数较低,同时渠系衬砌率的高低是影响渠系利用系数的一个决定性因素。

不同防渗率的各级渠道水利用系数按下式计算:

$$K_s = K + (K_f - K)E$$

表 1 引黄灌区渠道防渗前后渠道及渠系水利用系数

灌区类型	防渗情况	干渠	支渠	斗渠	农渠	渠系
大型灌区	防渗前	0.65	0.75	0.85	0.85	0.35
	防渗后	0.85	0.90	0.92	0.92	0.65
中型灌区	防渗前	0.70	0.83	0.87	0.90	0.45
	防渗后	0.90	0.92	0.95	0.95	0.75
小型灌区	防渗前	0.75	0.85	0.90	0.93	0.53
	防渗后	0.93	0.95	0.96	0.96	0.81

### 3.2 降水入渗系数 $\alpha$ 的确定

山东省引黄灌区属黄泛冲积平原,由第四系松散堆积物组成,由亚粘土夹姜石,粉砂等组成,土壤颗粒凝聚性差。该区多年平均降雨量为 600 mm 左右,山东省水利勘测设计院在规划中降雨入深系数一般采用 0.2。1985 年山东省水利科学研究所所在位山灌区在平试验站对降雨入渗系数的观测分析结果基本上是在 0.2 左右,根据当地多年平均降水量和土壤岩性,经分析,山东省引黄灌区降水入渗系数采用 0.2 是合理的。

### 3.3 渠系渗漏补给系数 $m$ 分析

渠系渗漏补给系数指斗渠(沟)以上的沟渠渗漏补给地下水的量与灌溉引水量之比值。不同衬砌条件下的渠系渗漏系数也不相同。灌溉中渠道运行时间长,向两岸侧向补给也越来越大,两岸土壤含水量逐渐饱和。在渗漏量中,应扣除水面蒸发、土壤水蒸发量,两侧补充的土壤水,其余作为地下水补给。水利部农村水利司编写的《机井技术手册》中给出了不同分区不同渠床衬砌,岩性和地下水埋深情况的  $\eta$ 、 $\gamma$ 、 $m$  值。分析认为在我国北方半干旱、半湿润地区,衬砌渠系渗漏补给系数为 0.14~0.30,渠系水有效利用系数 0.40~0.55。因此在输水过程中蒸发,补给两侧(地下水埋深小于 4 m)的土壤水总量可按引水总量的 20% 为宜,扣除有效灌水量则全部为补给地下水量。渠系渗漏补给系数可由下式计算:

$$m = (W - 0.2W - W\eta) / W = 1 - 0.2 - \eta = 0.8 - \eta$$

当  $\eta = 0.6$  时,  $m = 0.8 - 0.6 = 0.2$

式中  $\eta$ ——渠系水利用系数。

当  $\eta = 0.8$  时,认为渠系渗漏量已不能够补给地下水。

### 3.4 灌溉入渗补给系数 $\beta$ 值分析

渠灌田间入渗补给系数  $\beta$  指末级渠道以下进入田间的灌溉水所补给的地下水量与进入田间的灌溉水量之比。其系数与地下水埋深、土壤岩性、灌水量有关。目前引黄灌区进入田间的每次灌水量 0.15 万  $\text{m}^3/\text{hm}^2$  左右,参考“机井技术手册”中渠灌田间入渗补给系数值,分析认为目前引黄灌区渠灌时入渗补

式中  $K_s$ ——渠道防渗率为  $E$  时的渠道水利用系数;

$K$ ——全部土渠时的渠道水利用系数;

$K_f$ ——全部防渗时的渠道水利用系数。

若干渠全为土渠时  $K = 0.7$ ,全部衬砌后  $K_f = 0.9$ ,防渗率  $E = 0.6$  时

则  $K_s = 0.7 + (0.9 - 0.7) \times 0.6 = 0.82$

参考山东省引黄灌区防渗前后水利用系数,给出了山东省引黄灌区比较符合实际的渠道防渗前后渠道及渠系水利用系数,见表 1。

给系数取 0.12 为宜。随着灌水定额的降低,该系数也逐渐降低。田间补给地下的水量用下式表示。

$$W_\beta = W \eta \eta_0 \beta$$

式中  $W_\beta$ ——田间灌水补给的地下水水量;

$W$ ——渠首引水量;

$\eta$ ——渠系水利用系数;

$\eta_0$ ——田间水利用系数,取 0.85~0.90。

## 4 渠系水利用系数与水重复利用率的适宜关系探讨

渠系水利用系数与水重复利用率之间的关系与降雨量大小还有密切关系。对于西北干旱地区,如内蒙古河套灌区,年降雨量仅有 150~200 mm,降雨对该灌区地下水补给量很少。如果在该地区全部实行渠道衬砌,由于补充量很少,则地下水难以开发利用。而实行井渠结合,减少渠道的衬砌率,增大地下水的补给量,则有利于地下水的开发,提高水的重复利用率。武汉大学沈荣开教授等对此进行了详细分析,认为渠道干、支、斗、农全部防渗后,渠系水有效利用系数可由 0.42 提高到 0.70,灌溉水有效利用系数由 0.35 提高到 0.60,但去掉渠水蒸发、尾水排泄、渠旁侧渗蒸发,补给地下水量甚微,而降雨量补给又很少,故地下水难以开发利用。而对骨干渠道实行防渗、斗农渠不防渗,渠系水有效利用系数为 0.54,灌溉水有效利用系数为 0.46,损失的 54% 中按 80% 渗入补给地下,则有 43% 的引水量补给地下,此时,才可以建立井灌工程,进行地下水开发利用。分析认为在局部实行衬砌后地下水的重复利用率增加了 26.4%,灌溉水有效利用率提高到 0.724,比全面推行渠道衬砌灌溉水有效利用系数提高了 12.4%。

对于半干旱湿润地区,浅层地下水补给的主要来源则是降水入渗补给和渠系渗漏的补给。当渠系衬砌率加大时,地下水的补给量也明显降低,对机井工程的充分利用也是不利的。

根据已经分析的渠系渗漏补给系数,灌溉入渗补给系数,可分析出不同的渠系水利用系数水重复利用率及灌溉水利用率的关系。水重复利用率用下式表示:

$$\beta_2 = [W(1 - 0.2 - \eta) + W\eta\eta_0\beta]_{\alpha_1} / W = (0.8 - \eta + \eta\eta_0\beta)\alpha_1$$

当  $\eta = 0.8, \beta_2 = \eta\eta_0\beta$

式中  $\beta_2$  ——水重复利用率;

$\beta$  ——灌溉入渗补给系数,取 0.12;

$W$  ——引水总量;

$\eta$  ——渠系水利用系数;

$\eta_0$  ——田间水利用系数,取 0.9;

0.2 ——渠系水面蒸发、潜水蒸发及土体补给总量占引水总量之比;

$\alpha_1$  ——井灌开采地下水的有效利用系数,取 0.9。

灌溉水利用率如下式:  $\beta_1 = \beta_2 + \eta\eta_0$ 。

不同渠系水利用系数的水重复利用率与灌溉水利用率计算结果见表 2。

表 2 不同渠系水利用系数的水重复利用率与灌溉水利用率

$\eta$	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90
$\beta_1$	0.77	0.774	0.778	0.783	0.788	0.793	0.797	0.856	0.907
$\beta_2$	0.32	0.28	0.24	0.20	0.16	0.12	0.078	0.092	0.097

由表 2 可明显看出,实行井渠结合的灌区,随着渠系水利用系数的提高,水的重复利用率明显减少,但灌溉水重复利用率变化不大。反之,如果不实行井渠结合,当渠系水利用系数达到 0.5 时,灌溉水的利用率可达到 0.77,而渠系全部衬砌后水利用系数达 0.75 时,灌溉水利用率也仅能达到 0.793,与土渠(土渠)实行井渠结合时的灌水利用率接近。对于降水量较少的西北干旱地区,当渠道水有效利用系数超过 0.65 时,地下水的补给量明显减少,井灌作用难以发挥,灌溉水利用率反而降低。但对于半干旱、半湿润地区,由于降水补给地下水量较大(12 万  $\text{m}^3/\text{km}^2$ ),渠系渗漏补给的减少对井灌作用的发挥影响不大。即井灌与现有土渠灌溉系统相结合与提高渠道防渗率对灌溉水的作用的效果看来是一致的。

上述分析为山东引黄灌区提供了一个科学合理的用水思路,引黄井渠结合灌区提高灌溉水利用率究竟采用什么措施是一个严肃现实的问题,需要对这类灌区地表水、地下水合

理配置的工程投入、水的价格、运行费用、政策因素等进行认真的探讨。

## 5 适宜工程选择与调控方案分析

山东省引黄灌溉面积 133.33 万  $\text{hm}^2$  以上,占全省有效灌溉面积的 30% 以上,有效灌溉面积在 2 万  $\text{hm}^2$  以上的大型灌区 9 处,0.67 万  $\text{hm}^2$  以上的中型灌区 18 处,0.67 万  $\text{hm}^2$  以下的小型灌区 39 处。灌区内灌溉较为粗放,渠系配套不完善,灌溉水利用系数低,续建节水改造势在必行。陈垓、位山等大型灌区均已进行了几期节水改造,取得了良好的经济效益、社会和生态效益。陈垓灌区 1999~2002 年 4 期节水改造工程中,衬砌工程总投资 2 220.25 万元,渠系水利用系数由 0.58 提高到 0.76,灌溉水利用系数每提高 1%,衬砌需投资 146.7 万元,衬砌每平方米节水量 8.80  $\text{m}^3$ ,节约每立方米水需投资 1.52 元,见表 3。

表 3 陈垓引黄灌区节水改造工程运用效果统计分析表

年 度	渠系衬砌			灌溉水的利用效率						衬砌每平方米节水/ $\text{m}^3$	节约每立方米水投资/元
	衬砌面积/ $\text{m}^2$	衬砌投资/万元	衬砌率/%	$\eta_{\text{干渠}}$	$\eta_{\text{支渠}}$	$\eta_{\text{渠}}$	$\eta_{\text{田}}$	$\eta_{\text{水}}$	水的重复利用系数		
节水改造前	—	—	14.7	0.80	0.72	0.58	0.90	0.52	0.26	—	—
1999	577 329.38	553.105	22.3	0.90	0.74	0.67	0.90	0.60	0.19	4.36	1.54
2000	347 611.60	964.680	26.8	0.95	0.76	0.72	0.90	0.65	0.14	11.12	1.75
2001	162 866.40	348.170	29.0	0.97	0.77	0.75	0.90	0.67	0.12	13.97	1.07
2002	71 505.60	354.290	29.9	0.98	0.78	0.76	0.90	0.69	0.11	21.54	1.61

陈垓灌区经过 4 期的节水工程改造,衬砌率由 14.7% 提高到了 29.9%,灌溉水的有效利用系数已由 0.52 提高到了 0.69,然而水的重复利用系数由 26% 下降到了 11%。考虑水的重复利用,衬砌实施前灌溉水利用率为 0.78( $\eta_{\text{渠}} +$  水的重复利用系数即:0.52+0.26),实施 4 期衬砌工程后,灌溉水利用率仅为 0.80,区域总体的灌溉水利用率并没有多大提高,这表明一味提高灌区的衬砌率,并不能绝对同步提高灌区的总体灌溉水的利用率。况且灌溉水重复利用系数的降低,一方面限制了灌区

内井灌工程作用的充分发挥,另一方面约束了灌区引黄水、地下水的联合调配,影响了区域农业的可持续发展。

当前,引黄灌区应当将机井的建设与维护作为井渠结合灌区节水改造的重点,而不能一味提高渠系防渗率。这是因为,井灌可以起到地表水不可代替的作用,特别是春季后期用水高峰时,可以及时提取地下水保证灌溉,一方面可提高灌溉保证率,增加产量,另一方面又可为汛期雨水的渗入腾空库容,有效调解地下水水位,充分起到以井保丰的作用。目前井渠结合灌区

上游自流部分机井较少,需要增加,中、下游部分机井需要维护。但也并不能由此低估渠道防渗的重要性。要保证整个灌区,特别是下游的及时灌溉及补源,提高骨干渠道的输水能力,加快输水速度是必须的。另外,固定渠道边坡,减少泥沙淤积,减少清淤量,对于增收节支,生态环境改善同样是非常重要的。所以从这个意义上认识,尽管投入较大,骨干及部分支渠的衬砌还是必要的。但不能简单认为渠道水利用系数越高越好,因此对那一级渠道衬砌,衬砌的比例多大,应当综合因素分析进行优化。

当然,地下水的合理开采利用既有政策问题,也有地表水分配管理的行政与技术问题。灌区上游认为井灌增加动力费用而不去发展井灌,只能是加剧下游的用水危机。因此,应当从政策上鼓励开发利用灌区上游地下水,给予上游发展井灌一定补贴,聊城市引黄灌溉处已经开始实行。在一定政策的配合下,减少上游地表引用水量,加大向下游的分配量,可更好起到引黄补源,以井保丰的作用,使全灌区宜井面积的地下水都能得到合理开采。随着黄河上游水资源的进一步开发利用,下游引黄水量也难以保证,所以,全面实施井渠结合,加快机井建设,以井保丰应作为井渠结合灌区的重点之一。

由于大型灌区控制范围大,输水距离远,上、下游县市不可能同时满足用水要求,在水量调配上,通过改变水量的时空分配,充分挖掘各种水源,可缓解用水矛盾。第一次春灌可超前引水3~5天,集中向下游供水。第二次春灌比较集中,难于缓解上、下游用水不均的矛盾,下游县市宜采用井灌。春灌后期由于上游地区地下水位升高,宜采用井灌,以井代排,降低地下水位,预防土壤次生盐碱化,同时有利于将黄河水尽量向下游远送,特别是地下水资源不足的地区。7~8月份由于黄河处在

汛期,河水含沙量又高,不宜引水,若出现旱情,灌区均宜采用井灌。9~10月份由于汛后地下水位较高,灌区上中游宜井区发展井灌,非宜井区与灌区下游靠引黄灌溉或利用当地地表径流拦蓄。12~2月份冬灌重点是灌区下游,可视土壤墒情、气候、黄河来水等条件,确定冬灌区域。

## 6 结 语

通过对引黄井渠结合灌区相关水利用系数、渠道衬砌率的探讨,对引黄井渠结合灌区的水资源的优化配置及合理的续建配套与节水改造工程投入方向有了进一步的认识。

对于引黄灌区来说,并不是渠系水利用系数越大,灌溉水的利用率就越大。渠系防渗程度的加大,能够提高渠系水利用系数,但也能降低地下水的补充,使地下水难以开发利用,一定程度的衬砌反而使地下水得到较好的补充,有利于开发,从而提高灌溉水利用率。引黄灌区,应当提倡井渠结合灌溉,这在续建配套与节水改造工程需引起充分重视。建配套与节水改造规划中却是一味的加大渠系衬砌的力度,总干、分干、支渠全部衬砌,这说明一些规划设计单位对地表水与地下水如何优化配置还不够理解,应运用系统方法进行分析,建立区域水资源的优化调配方案及工程措施。

## 参 考 文 献

- [1] 机井技术手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,1995.
- [2] 胡毓骥,李英能. 华北地区节水型农业技术[M]. 北京:中国农业科技出版社,1995.
- [3] 沈荣开. 内蒙河套引黄灌区节水改造与推行井渠结合的几个问题[J]. 中国农村水利水电,2001,(2).

(上接第28页)

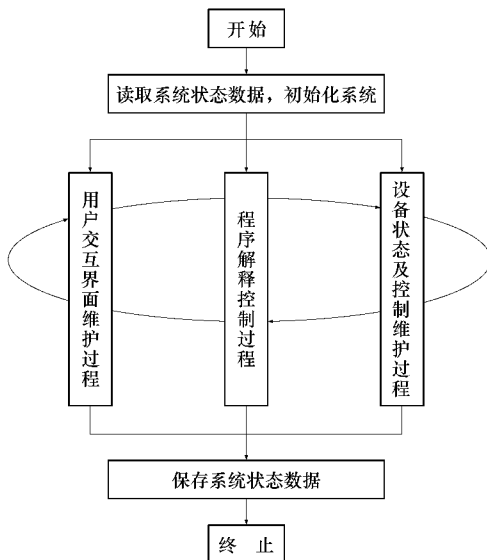


图4 软件控制系统控制流程

养与施肥建议、病虫害防治、采收后管理建议等栽培和管理措

施的内容。

## 2 结 语

①本系统成功地将自动控制技术应用于节水灌溉系统,通过空气温度、湿度和土壤湿度等主要生态因子多参数控制模式调节作物生长,为作物创造优化的生态环境条件。并在系统智能化应用方面具有较大的创新,将人工智能控制策略应用于系统,作物栽培专家咨询系统可根据作物不同生长发育期的需水规律,指导作物的水肥控制管理,根据作物生长的需水规律预报做出灌溉用水的决策,随时可以根据实际执行的结果,水情气象和田间灌溉影响因素的变化及用户的要求进行修正和调整,实行动态管理,投入运行后对作物生产具有显著的节水增效作用。

②本系统采用模块化、结构化设计思路,方便系统的更新、升级和扩充,适应不断提高的作物灌溉管理水平和现代高效农业发展的要求。

③本系统成功地应用于福建省莆田涵江区显应现代生态农业基地的名、贵、优花卉生产,能实时显示各传感器的测试值和各控件的运行状态,并可将这些参数存储备用,有良好的人机交互界面,管理和操作方便,推广应用前景广阔。 □