

## 干旱地区农灌机电井“以电折水”用水量测算

——以盐池县为例

张学文 孙晓娟 邢抒云

宁夏水文水资源监测预警中心,宁夏 银川 750011

**摘要:**为了掌握农业灌溉地下水取用水量,提高用水计量的精准度和透明度,在还没有安装计量设施的井灌区,拟采用“以电折水”的方法以用电量换算用水量。盐池县受自然地理环境等因素影响,干旱少雨,连年偏枯,地下水补给不足,机井抽水灌溉季节常出现“半管水”运行,“以电折水”水电转换系数为 0.45~0.90  $\text{m}^3/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。根据盐池县农业灌溉机井用电量 4 202.81 万  $\text{kW}\cdot\text{h}$ ,采用“以电折水”的方法,2 610 眼需要“以电折水”的农业灌溉机井地下水年用水量为 1 988.12 万  $\text{m}^3$ 。

**关键词:**农业灌溉机电井;以电折水;水电转换系数

**中图分类号:**S274.4

**DOI:** 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.09.021

## 0 引言

盐池县受自然地理环境等因素影响,水资源十分贫乏。由于黄河水用水量受限,为满足农业灌溉的需要,地下水是解决农业缺水的有效途径,井灌区在盐池县农业生产中占有重要地位。目前全县农业灌溉机电井 2 610 眼,近年来,盐池县加速农电网的改造,加快井泵技术改造,大力发展井灌节水技术,缓解了水资源严重不足条件下的水资源供需矛盾。但因连年持续干旱,地下水资源补给大幅减少,造成地下水位下降明显,农业灌溉机井出水量普遍减小。

按照水利部办公厅《关于做好取水管理专项整治行动整改提升工作的通知》(办资管[2021]189号)要求,做好取水管理专项整治行动整改提升工作,完善农业用水计量设施、深化灌区用水计量的任务,明确提出要提高用水计量的精准度和透明度,推行计量收费,按水量收取水费。《自治区水利厅关于进一步加快取水管理专项整治行动工作的通知》《自治区水利厅关于取水管理专项整治行动整改提升工作有关问题的指导意见》要求完善农业取水折算和推算管理。盐池县深化灌区用水计量的任务,提高用水计量的精准度和透明度,推行计量收费,按水量收取水费。采用“以电折水”的形式间接计量农业用水量,是一种经济、实用、有效的解决方案<sup>[1-3]</sup>。本文通过调查、勘测和分析,建立基本单元用电量与用水量的关系,开展机井的水电转换系数测算工作,合理确定水电转换系数,为盐池县农业灌溉机电井用水量测算提供技术支撑。

## 1 基本概念及影响因素

## 1.1 基本概念

目前农业灌溉用水量都是按照水量收取水费,且

国家明确提出按照“一泵一表、一户一卡”的要求,安装 IC 卡只能计量设施,按水量水费,实行“先充值缴纳水费、后刷卡取水浇地”。对于暂时未安装 IC 卡智能计量设施的,采用“以电折水”的方法计收水费。

“以电折水”传统的方法是通过计量机井水泵灌溉的用电量乘以水电转换系数来推算机井出水量。水电转换系数是指在一定时段内水泵的出水量和用电量的比值<sup>[4]</sup>,计算公式:

$$T_c = A_w / A_E \quad (1)$$

式中, $T_c$  为水电转换系数,  $\text{m}^3/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ;  $A_w$  为到水量,  $\text{m}^3$ ;  $A_E$  为用电量,  $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

当  $T_c$  一定时,可以通过精确计量的水泵用电量  $A_E$ ,得到水泵的出水量  $A_w$ 。

相对意义上讲,本文中农灌机电井出水量=农灌机电井取水量=农业灌溉用水量。

## 1.2 影响因素

## 1.2.1 水泵参数

在特定扬程下,实测水泵出水量的同时,查读对应的用电量,即可推算出单位用电量转换的水泵出水量。根据调查,全县机井均采用单井单泵型式。水泵额定功率为 18.5 kW、15 kW、13 kW、11.0 kW、9.2 kW、7.5 kW 等。在扬程一定的情况下,要达到一定的出水量就需要相应的水泵功率,一般而言,电机功率一定要大于水泵所需功率,但又不能过大,否则会出现“大马拉小车”的现象,耗能过大,必然造成“以电折水”转换系数过小。在实测出水量过程中发现,电机功率为 25 kW 的 1 眼机井水电转换系数为 0.6,有部分机井水电转换系数仅为 0.45。由于盐池县干旱少雨,地下水资源量补给不足,机井动水位在集中抽水灌溉时段下降幅度大,农户担心抽水过程中出现吊泵现象,根据计算泵管水头损失普遍大于 10~20 m,因此水泵工作点多数偏

离高效区运行。

1.2.2 地下水位

盐池县地下水埋深变化较大,在靠近北部一带地下水埋深 7~15 m,向东南方向地下水埋深 20~110 m。2018 年以来盐池县连续干旱少雨,旱情严重,地下水补给量明显减少,导致地下水位明显下降。根据宁夏水文水资源监测预警中心在盐池县设立的 7 眼监测井数据显示,盐池县地下水位均有不同程度的下降,年最大降幅 2.08 m。由于连年持续干旱,地下水资源补给不充分,造成机井出水量偏小的情况。因此,地下水埋深的变化对“以电折水”转换系数稳定性的影响非常大<sup>[5]</sup>。一般地下水位埋深与“以电折水”转换系数成反比,地下水埋深越大,对应的转换系数越小;地下水埋深越小,对应的转换系数越大。

1.2.3 电网电压

根据调查,盐池县绝大多数农灌机电井水泵采用的是专用变压器,采用“一对一”的供电模式,电压除个别井外均稳定。因此,盐池县电网电压对“以电折水”转换系数的影响较小。

1.2.4 灌溉方式

根据调查,盐池县均为纯井灌区,灌溉方式为滴

灌等,1 眼机井控制面积 40~70 亩(约 2.67~4.67 hm<sup>2</sup>),种植作物以玉米为主。

2 水电转换系数测算

主要采用便携式超声波流量计进行测流<sup>[4]</sup>。现场采用外夹式超声波进行测量,保证测量精度和稳定性。本次调查实测的 58 眼农灌机电井全部采用滴灌方式,满足测量精度和稳定性条件。为了保证典型机井测出的以电折水系数成果具有良好的代表性,本次选择典型机井时考虑的因素有:

- (1)按照盐池县农灌机井分布,选择机井数量分布较多的花马池镇、青山乡、高沙窝镇、王乐井乡;
- (2)分别选择不同水泵型号、不同井深的机井;
- (3)选择安装有计量准确的电表计量设施的机井。

由于盐池县机井数量多且较分散,选取 58 眼机井作为典型样本进行“以电折水”水电转换系数测试<sup>[6]</sup>,58 眼机井的选取上,考虑到基本能够覆盖和代表每个行政村的机井情况,由此得到各乡镇每个行政村的水电转换系数,见表 1。

表 1 盐池县分行政村的水电转换系数

乡镇名称	行政村名称	以电折水系数(m <sup>3</sup> /(kW·h))	乡镇名称	行政村名称	以电折水系数(m <sup>3</sup> /(kW·h))
花马池镇	沟沿	0.50	高沙窝镇	南梁	0.52
	红沟梁	0.45		施记圈	0.50
	四墩子	0.46		营西	0.52
	田记掌	0.52	青山乡	方山	0.81
	佟记圈	0.46		郝记台	0.79
	长城	0.46		猫头梁	0.66
	郭记沟	0.45		青山	0.89
	李记沟	0.45		营盘台	0.74
	柳杨堡	0.45		月儿泉	0.70
	冒寨子	0.45	王乐井乡	张步井	0.66
	八岔梁	0.45		郑家堡	0.53
	沙边子	0.49		石山子	0.52
	皖记沟	0.45		边记洼	0.52
	东塘	0.45		牛记圈	0.52
	周庄子	0.45	大水坑镇	大水坑	0.50
	茆茆沟	0.45		新桥	0.70
	高利乌苏	0.45		马坊	0.85
	柳树梁	0.45		柳条井	0.74
	苏步井	0.45		红井子	0.76
	李华台	0.45		宋堡子	0.90
	南苑新村	0.45		向阳	0.50
	五堡	0.45		莎草湾	0.50
高沙窝镇	大圪塹	0.50	冯记沟乡	冯记沟	0.70
	二步坑	0.50		丁记掌	0.70
	高沙窝	0.50	惠安堡镇	杨儿庄	0.71

3 用水量测算成果

根据农业灌溉机井用电量 4 202.81 万 kW·h

,采用机井“以电折水”的方法,盐池县 2 610 眼需要“以电折水”的农业灌溉机井测算得到地下水年用水量为 1 988.12 万 m<sup>3</sup>(表 2)。

表 2 盐池县农业灌溉机井“以电折水”用水量测算成果表

序号	乡镇名称	以电折水井数 (眼)	灌溉面积 (hm <sup>2</sup> )	用电量 (万 kW·h)	水电转换系数 (m <sup>3</sup> /(kW·h))	用水量 (万 m <sup>3</sup> )
1	花马池镇	1 969	5 864.40	3 300.560 4	0.45	1 485.252 2
2	高沙窝镇	249	1 366.93	669.816 0	0.50	338.008 4
3	青山乡	270	391.00	115.004 5	0.77	88.826 5
4	王乐井乡	65	139.93	57.611 8	0.52	29.96 77
5	大水坑镇	53	174.40	55.505 4	0.78	43.046 8
6	冯记沟乡	2	10.40	3.783 7	0.70	2.648 6
7	惠安堡镇	2	1.93	0.525 8	0.71	0.373 3
总计		2610	7 946.67	4 202.81	0.47	1 988.12

4 结论

盐池县 2 610 眼“以电折水”的农业灌溉机电井进行“以电折水”用水量测算,灌溉面积 11.92 万亩(约 7 946.67 hm<sup>2</sup>),用电量 4 202.81 万 kW·h,“以电折水”的水电转换系数为 0.47 m<sup>3</sup>/(kW·h),实际年用水量为 1 988.12 万 m<sup>3</sup>,根据水质化验报告,其中,淡水(矿化度<2 g/L)140 万 m<sup>3</sup>。

盐池县农业灌溉机电井“以电折水”水电转换系数成果符合当地的地下水位埋深变化规律、水泵额定功率大小变化的规律、水泵损耗程度变化的规律,因此认为本次调查及计算成果合理。

盐池县机井能够根据设计出水量要求,配套相对应型号的水泵,基本做到井泵匹配、确保水泵高效运行。近年来因持续干旱,盐池县地下水资源补给量相应减少,地下水位下降,机井出水量减小,在农田灌溉集中抽水时段,机井出水量明显偏小,大部分机井不能满足灌溉要求的出水流量,大部分机井运行效率偏低,由于用水户担心地下水位下降而出现吊泵现象,故所选用的水泵实际扬程均稍大于机井合理扬程。

5 结论与建议

(1)本测算结果仅代表干旱情况下的实测数值,对正常年份需要进行实测验证。近几年连年干旱,地下水补给严重不足,与正常年份相比,机井水泵工作时长、动水位、出水量等都存在一定差距。灌溉期机井常出现“半管水”运行情况,“半管水”抽水情况下耗电量增加,从而造成“以电折水”转换系数偏小,水电转换系数为 0.45~0.90 m<sup>3</sup>/(kW·h)。

(2)影响“以电折水”水电转换系数的因素较多,测试结果不具有通用性。所以“以电折水”转换系数必须与机井相对应,对于其他机井不具有通用性。

(3)干旱地区农业机电井出水量丰水年和枯水年及不同时段都并不是完全相同的。建议按照地下水丰枯变化规律,分阶段开展水电折算系数现场测试工作,以此综合计算典型井的水电折算系数,使折算系数更具代表性。

(4)建议选择典型井安装水表长期观测机井出水量,并同步观测用电量,实时修正“以电折水”转换系数,从而更好地掌握“以电折水”转换系数变化规律。

(5)采用“以电折水”的形式间接计量农业用水量,是一种经济、实用、有效的解决方案。开展机井的水电转换系数测算工作,合理确定水电转换系数,可为干旱地区农业灌溉机电井用水量测算提供技术支撑。影响“以电折水”水电转换系数的因素较多,测算结果受到机井井深、动水位、水泵特性、灌溉方式等因素影响。

参考文献:

[1] 樊红梅,刘晓明,王文娟,等. 基于多种方法的“以电折水”系数研究[J]. 灌溉排水学报,2021,40(11):98-105.

[2] 王西琴,姜智强,张馨月,等. 地下水灌区水价确定及其节水减排估算:以河北省南皮县为例[J]. 中国生态农业学报,2023,31(5):776-784.

[3] 全道斌,钱晖,王瑞,等. 平原河网区灌溉泵站以电折水计量方法及其管理制度设计:基于农业水价综合改革的应用需求[J]. 中国水利,2019(21):43-45.

[4] 万青松,张金玉,万书云,等. 金湖县“以电折水”计量探索[J]. 水利发展研究,2020,20(6):48-51.

[5] 王剑永.“以电折水”方法研究与应用[J]. 中国水利,2017(11):34-35.

[6] 赵志浩. 电折水计费模式在农业水价综合改革中的应用[J]. 河南水利与南水北调,2023,52(9):46-47.

作者简介:张学文,男,1966 年生,正高职高级工程师。研究方向为水文水资源监测、调查、评价。