

灌区灌溉水利用系数测试方法的改进

樊峻江,周 纲,王 洁

(江苏省农村水利科技发展中心,江苏 南京 210029)

摘要:灌区取水量和田间灌水量是首尾测算分析法测定提水灌区灌溉水利用系数的基本参数,针对水稻灌水频繁,逐次测定泵站提水量成本较高,且缺少土壤非饱和状态下准确测定田间灌水定额的有效方法的实际问题,提出了水泵净扬程修正法,对目前依据电量法估算提水量的技术进行了改进;提出了稻田非饱和土壤入渗水量的测试方法,并据此修正田间灌水量。田间测试结果表明:修正后的测试方法可使灌水量测量误差降低52%~86%;方法简单实用,易于操作,且设备要求低,适用于水稻节水灌区灌溉水利用系数的测试。

关键词:灌溉水利用系数;泵站净扬程;入渗水深;测试方法

中图分类号:S274.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)06-0044-04

Improvement on measuring methods for irrigation water utilization efficiency in irrigation areas//FAN Junjiang, ZHOU Gang, WANG Jie (*Development Center for Science and Technology of Rural Water Resources of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China*)

Abstract: The intake water quantity and the irrigation water quantity are the basic parameters to estimate the irrigation water utilization efficiency (IWUE) in lifting water irrigation districts by using the head-tail method. Due to the high-frequency irrigation of rice fields, high cost of successively water quantity measurement at pumping stations, and ineffective methods for measuring the amount of the irrigation water under the unsaturated soil conditions, this paper proposed a corrected method to improve the performance of the current electricity method in estimating the lifting water quantity. A method for measuring the amount of infiltrating water in unsaturated rice fields was also proposed to correct the amount of irrigation water in fields. Field measurements show that the measuring errors can be reduced by 52%~86% with utilizing the corrected method. The method is simple, practical and easy to operate. The method has low request for equipments and is suitable for measuring the IWUE of water-saving irrigation for rice fields.

Key words: irrigation water utilization efficiency; net head of pumping station; infiltration depth; measuring method

灌溉水利用系数 (irrigation water utilization efficiency, IWUE) 是评价灌区管理水平和节水潜力的重要指标,也是灌排工程设计、水资源调配以及水费管理的重要依据^[1]。传统的 IWUE 测试采用渠系逐级测算的方法,不仅工作量大,且由于测试方法和测试条件的限制,累计误差较大。近年来提出的首尾测算分析法,仅需测定灌区取水量与灌入农田的净灌溉用水量,大大简化了测量工作。但首尾测算分析法需要测定作物全生育期的取水量和灌溉定额^[2],对于江苏、上海等地而言,由于提水灌区数量多(如江苏省2007年测定的小型提水灌区数量达到77个),若对每次灌溉的提水量进行测试,工作量大,成本高,实际很难实现^[3]。因此,需研究用简单易得的参数估算提水量的方法。另外,对于使用控

制灌溉技术、蓄水控灌技术等节水灌溉的稻作区,灌水土壤处于非饱和状态,灌水期间入渗较多,用传统的水位差法测定灌水量精度不高,而采用旱作物测试所用的含水率变化法,不仅工作量大,且计划湿润层深度不易确定,测试误差较大,因此需对现有水稻灌水量测试方法进行改进。本文对上述问题进行分析,提出泵站提水量估算的净扬程修正法和水田灌溉定额的入渗修正法,可为水稻提水灌区,尤其是采用节水灌溉模式灌区的 IWUE 测定提供参考。

1 IWUE 测试存在的问题

1.1 泵站提水量测试

苏南与上海等地小型、微型提水灌区数量众多,且多为水稻灌区。由于大部分泵站从河道提水,扬

程较低,水泵进水管顺直段长度较小,难以满足超声波流量计、电磁流量计等管道测流设备的测试条件。尽管采用量水堰可以获得较高的测试精度,但由于造价高,且水头损失较大,实际较少采用。江苏、上海大部分灌区渠首渠道为混凝土衬砌渠道,断面比较规则,目前主要采用流速仪测定流速,然后根据过水断面计算流量。

灌区 IWUE 测试需测定作物全生育期内各次灌水的取水量之和与灌溉定额^[1],因此需获取每次灌水的提水量。若按相关测流方法进行提水量测定,需要消耗大量人力和物力,可操作性不强。

由于用电量可通过电表直接读取,数据采集方便且成本不高,目前江苏、上海等地多利用提水耗电量估算提水量,根据几次测流结果,计算单位电量的平均提水量;通过记录每次灌水的耗电量,推算全生育期的提水量作为灌区取水量。即

$$V_g = U \sum_{i=1}^N E_i \quad (1)$$

式中: V_g 为灌区取水量, m^3 ; U 为泵站单位电量的提水量, $m^3/(kW \cdot h)$, 根据实测结果确定; E_i 为灌区泵站第 i 次灌水的耗电量, $kW \cdot h$; N 为生育期内的灌水次数。

若水泵扬程不变,作物整个生育期内水泵效率可视为常数,利用公式(1)估算灌区取水量是可行的。但苏南、上海大部分小灌区的泵站多使用轴流泵或者混流泵,扬程较低(多在 $5 \sim 7 m$ 之间),较小的河道水位变幅可能导致水泵扬程变幅较大;而泵站多以河流为水源,水位受降雨、排水等因素影响较大,会引起 U 值的较大变化,导致 IWUE 测试失真,故有必要对上述方法进行改进。

1.2 水稻灌水定额测试

江苏、上海等地水稻面积大,灌水频繁,单季灌水在 10 次左右甚至更多^[4-7],灌溉定额亦远高于其他旱作物,因此水田是 IWUE 测试的重点。对于淹灌而言,由于灌水前存在水层,灌水定额可用灌水前后的水位差确定。只要在固定位置做好记号,利用测针即可精确测定,测量成本较低。尽管灌水期间存在渗漏,但稻田渗漏强度一般在 $3 \sim 5 mm/d$,很少超过 $10 mm/d$,而单块格田灌水持续时间一般不超过 2 h,且灌水定额多在 $30 \sim 60 mm$,灌水期间渗漏量($0.2 \sim 0.8 mm$)对 IWUE 测试精度影响不大。

在节水灌溉模式下,水稻灌水下限一般为土壤饱和含水率的 70% ~ 85% 甚至更低^[6-7]。由于表层土壤水势较低,灌水初期入渗速率偏高。若不考虑灌水期间的入渗水量,可能产生较大误差。

笔者在表层 20 cm 土壤含水率为饱和含水率的

74% 和 90% 时进行了水稻灌水试验,发现在土壤非饱和状态下,若不考虑灌水期间的入渗水量,则 IWUE 较实际值可降低 6.3% ~ 23.7% (相对值),且随着控制下限的降低而增加,对测试精度影响很大。从国内外已取得成果资料来看,目前尚未见到简单有效的田间灌水量测试方法。

2 IWUE 测试方法的改进

2.1 泵站提水量的净扬程修正法

在采用用电量估算提水量的基础上,可采用净扬程修正法对水泵单位电量的提水量 U 进行修正。其基本假设是,在设计扬程一定变幅内, U 与净扬程 H 呈线性关系,即

$$U_i = aH_i + b \quad (2)$$

式中: U_i 为灌区泵站第 i 次灌水时,单位电量的提水量, $m^3/(kW \cdot h)$; H_i 为第 i 次灌水时水泵的净扬程, m ; a 、 b 为试验常数,可根据实测资料确定。

为提高修正精度,至少在水泵净扬程最(较)小和最(较)大时各测流 1 次,以保证测试期间水泵实际净扬程位于上述变幅内。假设 2 次测试中,净扬程和单位电量的提水量分别为 H_1 、 U_1 和 H_2 、 U_2 ,则有

$$a = \frac{U_1 - U_2}{H_1 - H_2} \quad b = \frac{U_2 H_1 - U_1 H_2}{H_1 - H_2} \quad (3)$$

U_1 和 U_2 可用流速仪等方法测定,此处不赘述。

泵站的净扬程可由进、出水池设置的固定标志获得,具体步骤如下:

a. 在进水池、出水池稳固位置(一般是池顶部边缘),利用鲜艳的防水记号笔或者水泥钉做标识,分别为 A 点和 B 点。位置选择以便于测定该点到进、出水池的水位为宜。

b. 测量 A、B 两点的高差,记为 H_{AB} 。该数值为常数。

c. 每次水泵开机,待水位稳定后,分别测定进、出水池水位到 A、B 点的距离,记为 H_A 和 H_B 。

d. 计算本次灌水时水泵的净扬程: $H_i = H_{AB} + H_B - H_A$ 。

每次灌水时,泵站管理员只需利用卷尺测定水面到固定点的距离即可得到净扬程,技术要求低,获取成本不高。

利用每次灌水时测得的净扬程,根据式(2)和式(3)计算相应的 U_i 值,全生育期内的提水量可按式(4)计算:

$$V_g = \sum_{i=1}^N (U_i E_i) \quad (4)$$

当水位变幅较大时,可多次测定不同净扬程下单位电量的提水量,绘制成曲线以备查算,或者拟合

表 1 不同灌水下限对灌水定额测试精度的影响

处 理	土壤含水率	设计灌水深/mm	h/mm	h'/mm	I_1/mm	I_2/mm	I/mm	灌水定额误差/%	修正后误差/%
控制灌溉	74% θ_s	60	40.0	43.1	45.8	12.1	57.9	-23.7	-3.5
控制灌溉	90% θ_s	60	40.0	40.2	56.2	5.7	61.9	-6.3	3.2
浅水勤灌	12 mm	60					61.4	2.3	

注:①灌水持续时间 40 ~ 42 min,测筒入渗时间 60 min;②土壤含水率为表层 20 cm 的相对含水率(占饱和含水率 θ_s 的百分数)或田面水深;灌水采用水表测定,水深采用测针(精度 0.1 mm)测定。

成适宜的回归方程 $U=U(H)$, 计算原理同前。

一般而言,水泵效率与总扬程之间有较好的函数关系(即扬程-效率曲线),但由于泵站沿程和局部损失测试复杂,总扬程难以准确测定,而净扬程的测定方法简单,成本低廉;且泵站设计时,水泵选型一般在其高效区内,当净扬程变化不大时,假设 U 值在实际最大扬程和最小净扬程之间线性变化具有一定合理性。当净扬程变幅较大时,可增加不同净扬程下的测试次数,制成曲线查算(一般可用抛物线方程),可获得更高精度。考虑到设备老化因素,建议每年进行 1 次曲线率定。

2.2 节水灌溉模式下水稻灌溉定额的入渗修正法

在无水层条件下,灌入格田的水量 I 分为 2 个部分,分别为储存于田面的水量 I_1 和灌水期间入渗到土壤的水量 I_2 ,即

$$I = I_1 + I_2 \tag{5}$$

a. I_1 的测定。采用水位变化法测定,即在每个田块适当的测量位置,灌水前打入木桩(或者砖块,主要起固定作用),其上端与田面齐平;灌水结束 20 ~ 30 min 后(为了保证田内水面线水平),以此木桩上端作为起点,测定水深,即为 I_1 。该水量即为不考虑入渗损失的灌水量。

b. I_2 的测定。选择适宜的田间测试点,预埋无底铁筒(上下直径必须相同),筒下缘埋入地面以下 20 cm 以上,使筒壁与土壤紧密结合,防止侧渗。为便于观测和操作,减少筒内微地形起伏对测试精度的影响,筒直径一般不小于 30 cm。筒内圆心位置预先打入木桩,其上端水平,并高出地面 h (h 为注水结束时测筒内水深,可取大田设计灌水深度的 2/3 左右,保持入渗水头与大田基本一致)。筒内土面保持平整。为防止冲刷,灌水前需在筒内铺设塑料布或土工布。根据 h 和测筒内径 D (直径),计算需注入的水量,并增加 20% 左右(用于补偿注水期间的入渗水量),置于容器内,其体积记为 V_1 ;将容器内的水迅速注入测筒使其水位与木桩顶端齐平;量取容器内剩余水量 V_2 。则实际注入测筒的平均水深 h' 和注水期间的入渗水量 Δh_1 分别为

$$h' = \frac{V_1 - V_2}{12.56D^2} \tag{6}$$

$$\Delta h_1 = h' - h \tag{7}$$

灌水结束 20 min 后,测定筒内水位与木桩顶端的差值 Δh_2 ,则灌水过程中的入渗水量为

$$I_2 = \Delta h_1 + \Delta h_2 \tag{8}$$

为评价上述方法的测试效果,2010 年在南京河海大学节水园区对不同土壤含水率的稻田灌水量进行了实测,见表 1。可以看出,在田面有水层的情况下,直接采用水位差法测算可获得较高精度;而当稻田土壤处于非饱和状态时,若不考虑入渗水量,由于低含水率时土壤初期入渗速率较高,灌水定额测定误差可达 6.3% ~ 23.7%,且随着控制下限含水率的降低而升高。通过对测量灌水期间的入渗水量进行修正,可使灌水量的测量误差降低 52% ~ 86%,IWUE 误差最终控制在 5% 以内,大幅度提高了 IWUE 测试精度。

当土壤含水率较低时,灌水后土壤初期入渗速率很高。但当土壤含水率较高时,加水期间的入渗量可以忽略,直接加水至筒内木桩顶端即可,可减少测试工作量。

3 结 语

由于水稻灌水频繁,而泵站用电量和泵站净扬程易于获得,在经费有限的情况下,利用用电量估算提水量较为简便;尤其是上海和苏南一些地区,泵站设计多采用了某几类定型设计,且水泵型号种类不多,为采用本方法提供了良好条件。通过测定灌水期间入渗水量的方法对灌水定额进行修正,方法简单,测试成本低廉,对于实施节水灌溉的灌区,具有较高的使用价值。

参考文献:

[1] 孙梅英,马素英,顾宝群,等. 农业灌溉水费“暗补”改为“明补”的必要性与可行性[J]. 水利经济,2012,40(5): 35-38. (SUN Meiyang, MA Shuying, GU Baoqun, et al. Necessity and feasibility of agricultural irrigation water fee from “invisible subsidy” to “visible subsidy” [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2012, 40(5): 35-38. (in Chinese))

[2] 高峰,赵竞成,许建中,等. 灌溉水利用系数测定方法研究[J]. 灌溉排水学报,2004,23(1): 14-20. (GAO Feng, ZHAO Jingcheng, XU Jianzhong, et al. Study on measuring method of utilization coefficient of irrigation water [J].

Journal of Irrigation and Drainage,2004,23(1):14-20. (in Chinese))

[3] 彭世彰,艾丽坤. 提高灌溉水利用系数,保障国家粮食安全与水安全[J]. 水资源保护,2012,28(3):79-82. (PENG Shizhang, AI Likun. Improving irrigation water use coefficient and ensuring national food and water safety[J]. Water Resources Protection, 2012, 28(3):79-82. (in Chinese))

[4] 陈朱叶,郭相平,姚俊琪. 水稻蓄水控灌的节水效应[J]. 河海大学学报:自然科学版,2011,39(4):426-429. (CHEN Zhuye, GUO Xiangping, YAO Junqi. Water-saving effect of water-catching and controllable irrigation technology of rice[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2011, 39(4):426-429. (in Chinese))

[5] 黄俊友. 水稻节水灌溉与雨水利用[J]. 中国农村水利水电,2005(7):11-12. (HUANG Junyou. Utilization of rainfall and rice water-saving irrigation [J]. China Rural Water and Hydropower, 2005(7):11-12. (in Chinese))

[6] 徐俊增,彭世彰,丁加丽,等. 控制灌溉的水稻气孔限制值变化规律实验研究[J]. 水利学报,2006,37(4):486-491. (XU Junzeng, PENG Shizhang, DING Jiali, et al. Stomata limitation of rice under control irrigation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(4):486-491. (in Chinese))

[7] 郭相平,袁静,郭枫,等. 水稻蓄水-控灌技术初探[J]. 农业工程学报,2009,25(4):70-73. (GUO Xiangping, Yuan Jing, Guo Feng, et al. Preliminary study on water-catching and controlled irrigation technology of rice [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(4):70-73. (in Chinese))

(收稿日期:2012-11-26 编辑:熊水斌)

(上接第 28 页)

[10] 齐璞,孙赞盈,侯起秀,等. 黄河洪水的非恒定性对输沙及河床冲淤的影响[J]. 水利学报,2005,36(6):637-643. (QI Pu, SUN Zanying, HOU Qixiu, et al. Influence of unsteady floods on sediment transport and riverbed evolution in Yellow River [J]. Journal of Hydraulic Research, 2005, 36(6):637-643. (in Chinese))

[11] 齐璞,姬美秀,孙赞盈. 水库泄空冲刷高含沙水流形成机理[J]. 水利学报,2006,37(8):906-912. (QI Pu, JI Meixiu, SUN Zanying. Formation mechanism of hyperconcentrated sediment flow caused by scouring of reservoir emptying [J]. Journal of Hydraulic Research, 2006, 37(8):906-912. (in Chinese))

[12] 齐璞,曲少军,孙赞盈. 关于优化黄河调水调沙运用方式的建议[J]. 人民黄河,2012(1):5-9. (QI Pu, QU Shaojun, SUN Zanying. Suggestion on optimizing flow and sediment regulations as the operational methods of the Xiaolangdi Reservoir [J]. Yellow River, 2012(1):5-9. (in Chinese))

[13] 齐璞,孙赞盈,齐宏海. 再论黄河下游游荡河道双向整治方案[J]. 泥沙研究,2011(3):1-9. (QI Pu, SUN Zanying, QI Honghai. Research on two-bank training strategy for wandering channels of Lower Yellow River [J]. Journal of Sediment Research, 2011(3):1-9. (in Chinese))

(收稿日期:2012-12-14 编辑:骆超)

(上接第 39 页)

参考文献:

[1] 傅功年,唐耿红. 冉铺湾隧洞衬砌断面型式选择[J]. 人民长江,2002,33(5):14-16. (FU Gongnian, TANG Genghong. Ran ping bay tunnel lining section type selection [J]. Yangtze River, 2002, 33(5):14-16. (in Chinese))

[2] 王子宜. 蛋形衬砌在白莲灌区武家坳隧洞中的应用[J]. 湖南水利水电,2006(6):70-71. (WANG Zhiyi. Application of egg-form lining in Wujiaao tunnel of Bailian irrigation area [J]. Hunan Water Resources and Hydropower, 2006(6):70-71. (in Chinese))

[3] 华东水利学院. 水工设计手册[M]. 北京:水利电力出版社,1986.

[4] 谢成玉,滕凯. 抛物线形断面渠道均匀流水深的近似计算公式[J]. 水电能源科学,2012(7):94-95. (XIE Chengyu, TENG Kai. Approximate formula of uniform flow depth for parabolic cross-section channel [J]. Water Resources and Power, 2012(7):94-95. (in Chinese))

[5] 刘刚,滕凯. 梯形断面均匀流水深的近似计算公式[J]. 水利与建筑工程学报,2012(1):41-44. (LIU Gang, TENG Kai. Approximate calculation formula uniform flow depth of trapezoidal cross-section [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2012(1):41-44. (in Chinese))

[6] 滕凯. 消力池深的简化算法[J]. 人民长江,2012,43(15):77-79. (TENG Kai. Simplified calculation method of depth of stilling basin [J]. Yangtze River, 2012, 43(15):77-79. (in Chinese))

[7] 张志昌. 水力学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.

[8] DL/T 5195—2004 水工隧洞设计规范[S].

[9] 王慧文. 偏最小二乘回归法及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1999.

[10] 阎凤文. 测量数据处理方法[M]. 北京:原子能出版社,1988.

(收稿日期:2012-11-14 编辑:熊水斌)