

黄河下游引黄灌区渠道水利用系数估算方法

白美健, 许迪, 蔡林根, 李益农

(国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 北京 100044)

摘 要: 以山东簸箕李引黄灌区为例, 根据 3 种实测方法得到的渠道渗漏水量损失观测数据, 利用理论方法确定渠床渗透系数和地下水顶托修正系数。在对干渠以下各级渠道进行概化分类的基础上, 采用回归分析方法建立灌区干渠以下各级渠道渗漏水量损失与流量间的相关关系, 给出依据渠道流量估算渠道水利用系数的经验公式。由于该估算方法仅根据渠道流量即可获得相应的渠道水利用系数, 故具有简便可行、实用性强的显著特点, 为黄河下游灌区制定灌溉输配水计划提供了合理依据。

关键词: 渠道渗漏水量损失; 渠道水利用系数; 渠床渗透系数; 渠道流量; 地下水顶托修正系数

中图分类号: S275; TV 131. 8

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)03-0080-05

1 引言

灌区渠道水利用系数是指经由某级渠道向下游同时放出的总水量与进入该渠首的总水量之间的比值, 该值的大小综合反映出渠道水量损失的状况和对该级渠道进行管理的水平。渠道水量损失主要包括渗漏水量损失和蒸发造成的水量损失, 其中前者是影响渠道水利用系数的主要因素^[1]。国内外对有关渠道渗漏水量损失的研究已开展大量工作, 提出许多用于实测典型渠段或渠道渗漏水量损失的方法和用来估算渗漏水量损失的经验公式^[2~5], 并对典型渠段开展渠道水利用系数的估算。我国绝大多数灌区的灌溉渠道系统通常由干、支、斗、农等各级渠道构成, 由于干渠以下各级渠道密集成网, 星罗棋布, 故难以在确定各条渠道渗漏水量损失的基础上, 逐一估算相应的渠道水利用系数。为此, 本文针对黄河下游引黄灌区干渠以下各级渠道的实际情况和特点, 将野外试验测定与理论计算相结合, 应用回归分析法建立概化分类后的各级渠道渗漏水量损失与渠道流量间的相关关系, 给出依据渠道流量估算渠道水利用系数的经验公式。

2 试验与方法

2.1 试验地点

渠道渗漏水量损失的野外试验观测和渠道水利用系数的估算在位于黄河下游的山东省簸箕李引黄灌区内开展, 灌区主干渠道均已衬砌, 干渠以下各级渠道都是土渠。该灌区位于黄河下游左岸的滨州地区西部, 地处黄河冲洪积平原, 地势平坦。灌区内的年均降雨量 586 mm, 年均蒸发量 1 240 mm, 年均气温 12℃, 降雨的时空分布不均导致当地具有春旱夏涝的显著气候特点。灌区设计灌溉面积 11 万 hm², 采用冬小麦-夏玉米连作

的作物种植模式, 一年两季。

受黄河冲洪积自然地貌条件和多年引黄灌溉泥沙沉淀淤积的影响, 簸箕李灌区干渠以下各级渠道的渠床土质状况基本相同。考虑到渠床土质条件和渠道断面尺寸的代表性, 选择簸箕李灌区的九支渠作为典型渠道, 开展有关渠道渗漏水量损失的野外试验测定。九支渠全长 7.5 km, 渠底宽 4 m, 边坡 1:1.5, 纵坡 1/8000, 设计流量 1 m³/s。该渠底以下 1 m 土层范围内的土壤平均体积含水率 35%, 其中 0~80 cm 为粉砂土, 80~100 cm 为粉质土, 100 cm 以下为亚粘土。地下水位在距渠底 1~1.5 m 的范围内变动。从对簸箕李灌区现有渠道的调查结果可知^[6], 该渠道在渠床土质条件和渠道断面尺寸上具有较好的代表性, 并且具备开展测试渠道渗漏水量损失的必备条件。

2.2 试验方法与现场观测

野外实测渠道渗漏水量损失的方法主要有: 动水法、静水法、压力入渗仪法、沉箱测渗法、双环测渗法等^[4]。本次试验中采用前 3 种方法对渠道渗漏水量损失进行实地观测。

2.2.1 压力入渗仪法

压力入渗仪法是采用圭尔夫渗透仪就地实测渠底的土壤饱和导水率 K_s 。该设备主要由供水与量测系统、入渗测头和支架等组成。实测中将入渗测头放入预制的测孔内, 孔深可根据欲测的土壤位置予以确定。可使用单水头或双水头方法测定土壤达到稳定入渗状态下的速率, 然后根据相应的公式计算土壤饱和导水率。其中单水头下计算土壤饱和导水率的公式为^[7]

$$K_s = C \cdot A \cdot R / [2\pi \cdot H^2 + \pi \cdot C \cdot a^2 + (2\pi \cdot H / \alpha^*)] \quad (1)$$

式中 C ——无量纲形状系数, 其大小取决于 H 和 a 值, 即 $C = f(H/a)$; H ——测孔中水的稳定深度, cm; A ——渗透仪储水容器的截面积, cm²; R ——渗透仪储水容器内水位下落的稳定速率, cm/s; a ——测孔半径, cm; α^* ——土壤质地结构参数, cm⁻¹, 取值依土壤质地状况在 0.01、0.04、0.12 和 0.36 中进行选择。

双水头下计算土壤饱和导水率的公式为^[7]

收稿日期: 2002-09-04 修订日期: 2003-03-06

基金项目: 中国-东盟重大科技合作项目 (ERB IC18CT970170)

作者简介: 白美健(1974-), 女, 四川人, 工程师, 硕士, 主要从事节水灌溉技术研究。北京市海淀区车公庄西路 20 号 国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 100044

$$K_s = G_2 \cdot Q_2 - G_1 \cdot Q_1$$
$$G_2 = H_1 \cdot C_2 / \{ \pi [2 H_1 \cdot H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \cdot C_2 - H_2 \cdot C_1)] \}$$
$$G_1 = G_2 \cdot (H_2 \cdot C_1) / (H_1 \cdot C_2)$$
$$Q_1 = A \cdot R_1$$
$$Q_2 = A \cdot R_2$$

(2)

式中 C_1, C_2 ——相应水头下的无量纲形状系数, 其大小取决于 H_1, H_2 和 a 值; H_1, H_2 ——相应水头下测孔中水的稳定深度, cm; R_1, R_2 ——相应水头下渗透仪储水容器内水位下落的稳定速率, cm/s; 其余变量的物理意义同上。

在簸箕李灌区九支渠内随机选取 6 处位置, 利用圭尔夫渗透仪 (GP-2800) 在单水头和双水头两种条件下分别实测渠底下 10 cm 处的土壤饱和导水率。施测中的测孔半径 $a = 6$ cm, 渗透仪的储水容器截面积 $A = 35.39$ cm², 土壤质地结构参数 $\alpha^* = 0.12$ cm⁻¹。单水头下的测孔深度 10 cm, 孔内水的稳定深度 5 cm, 双水头下的测孔深度 15 cm, 孔内水的稳定深度分别为 5 cm 和 10 cm。

2.2.2 静水法

采用静水法在特定的渠道水位下实测从初渗到稳定入渗过程中的渠道渗漏水量损失。在簸箕李灌区九支渠上游内选取 20 m 渠段开展静水试验。渠段两端用土坝围闭, 每个土坝处设有水位观测尺并在土坝外建有长 5 m 的保护区。在渠段中部北侧沿垂直渠道方向布设有 4 眼观测井, 距渠道中心线的距离分别为 2.5、11 m 和 18 m, 以便观测渠道渗漏引起的地下水位变化情况。试验中的水源来自渠道南侧的鱼塘, 用泵抽水进入渠段。当渠道内水位达到 70 cm 时, 停止供水, 随即定期观测渠道内水位的下降值和各观测井的地下水位变化状态。渠段内水深平均保持在 64 cm 左右, 整个静水试验持续约 44 h。采用水位下降法计算渠道渗漏水量 ΔV

$$\Delta V = L [h_1 - h_2 + P] \cdot [b + m(h_1 + h_2 - P)] \quad (3)$$

式中 L ——渠段长度, m; h_1, h_2 ——时段初和时段末的渠内水位, m; P ——该时段内的降雨量, m; b ——渠底宽, m; m ——渠道边坡。

2.2.3 动水法

动水法是通过测量渠道上、下游两个测流断面间的流量, 利用水量平衡方程来计算某时段内的渠道渗漏水量 S

$$S = W_u - W_d$$

(4)

式中 W_u ——某时段内流入上游断面的水量, m³; W_d ——某时段内流出下游断面的水量。

在簸箕李灌区九支渠上选择两个渡槽之间的渠段开展动水试验, 两渡槽间距 1 km, 在每个渡槽处采用流速仪测定流速, 根据过水断面计算相应的流量。在距下游渡槽约 50 m 处的渠道外侧布设观测井, 观测试验过程中地下水位的变化情况。

2.3 渠道概化分类

影响渠道渗漏水量损失的因素除与渠床土壤渗透能力有关外, 还与渠道几何断面尺寸和相关参数有关。

由于干渠以下各级渠道密集成网, 星罗棋布, 很难根据每条渠道的断面形状和水力学参数逐一确定其渗漏水量损失。为此, 本研究基于对簸箕李灌区各级渠道现状的调查结果, 根据渠道几何断面形状尺寸、纵坡、长度等参数进行各级渠道的概化分类, 在此基础上估算渠道水利用系数。表 1 给出对簸箕李灌区干渠以下各级渠道现状的抽样调查结果, 可以发现同级渠道在边坡、纵坡、长度上的变幅范围相对较小, 但在渠底宽度上的变幅范围却较大。为此确定以渠道底宽为基础对各级渠道进行概化分类, 并得到不同概化类型在同级渠道中所占的比例, 其结果参见表 2。

表 1 干渠以下各级渠道相关参数的抽样调查结果

Table 1 General dimensions for each level canal

各类参数	底宽 b /m	边坡 m	纵坡 i	长度 L /km	平均长度 \bar{L} /km
支渠	2.0~4.5	1.5	1/10000~1/6000	2.0~8.0	5.0
斗渠	0.8~2.0	1.5	1/10000	0.8~1.4	1.2
农渠	0.4~0.8	1.0	1/10000	0.4~0.6	0.5

表 2 对各级渠道概化分类的结果

Table 2 Results of classifying each level canal

各类参数	底宽 b /m	边坡 m	纵坡 i	占同类渠道的比例 /%
支渠	2.0	1.5	1/8000	20
	3.0	1.5	1/8000	40
	4.0	1.5	1/8000	40
斗渠	0.8	1.5	1/10000	20
	1.4	1.5	1/10000	50
	2.0	1.5	1/10000	30
农渠	0.4	1.5	1/10000	15
	0.6	1.5	1/10000	35
	0.8	1.5	1/10000	50

3 结果与分析

3.1 实测渠道渗漏水量损失

3.1.1 压力入渗仪法

采用圭尔夫渗透仪在双水头条件下实测的土壤饱和导水率的变化范围在 0.48~3.3 m/d 之间, 6 个点的平均值为 2.0 m/d, 变差系数 $C_v = 0.67$; 单水头条件下实测的土壤饱和导水率的变化范围在 0.48~3.2 m/d 之间, 6 个点的平均值为 1.95 m/d, 变差系数 $C_v = 0.62$ 。以上观测结果表明, 两种水头条件下实测的土壤饱和导水率之间相差不大, $C_v < 1$ 意味着渠底土壤入渗能力沿渠道的空间分布呈中等变异性^[8]。

3.1.2 静水法

根据静水试验中对各观测井地下水位变动情况的监测结果, 试验过程可大致分为三个阶段: (1) 在地下水位抬升到渠底之前, 渠道处于自由渗漏阶段, 渠道渗漏水量不受地下水埋深的影响; (2) 当试验进行到 1.6 h 时, 地下水位上升到距渠底 7 cm 的位置, 浅位地下水埋深开始对渠道渗漏产生顶托影响, 渠道进入顶托渗漏阶段; (3) 试验进行到 16 h 以后, 观测的地下水位基本保

持恒定, 渠道进入稳定渗漏阶段, 对稳定渗漏阶段观测所得的渠道累积渗漏量与累积渗漏时间的关系进行回归分析表明两者间呈线性关系 ($R^2 = 0.99$), 其斜率为 $0.007 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{min}$, 换算为每米渠长日渗漏量 $0.504 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$ 。

3.1.3 动水法

动水试验过程中, 选择供试渠段上、下游流量相对稳定的时期作为计算时段, 计算得到每米渠长日渗漏量为 $1.79 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$ 。

3.1.4 实测方法的比较

压力入渗仪方法的优点是设备操作简单, 试验过程省时省力, 可通过多点布设了解渠道渗漏的空间变异状况, 但由于供试土体的受水面积小, 与渠道的过水运行状况相差较大, 故难以反映动水条件下渠道渗漏的实际情况。动水法的实测过程最接近渠道的实际运行状况, 但由于引起试验结果误差的因素较多, 影响到观测结果的精度^[9]。静水法的适应范围较广, 观测精度相对较高^[9], 但该方法费时耗力, 且由于测试渠段的长度有限, 难以反映整条渠道渗透性能的空间分布变异情况, 应辅之以其它方法完成对渠道渗漏的综合分析计算。

3.2 相关系数的确定及验证

考虑到上述各种实测渠道渗漏损失方法的特点, 首先根据静水法和压力入渗仪法的观测结果, 结合理论计算公式, 综合分析确定渠床渗透系数和地下水顶托修正系数, 然后利用这两个系数计算动水试验条件下的渠道渗漏水量, 并与实际观测值进行比较。

3.2.1 渠床土壤渗透系数

静水试验下当渠道进入稳定渗漏阶段后, 依据观测得到的每米渠长日渗漏量, 可利用 M S 解析模型^[10, 11]和 GA 公式^[12]反求土壤饱和导水率。其中 M S 解析模型考虑了地下水位抬升对渠道渗漏的顶托影响, 用于计算入渗水流锋面到达地下水位以后第 t 时刻单位渠长的日渗漏量,

$$q_t = q_0 \left(1 - \frac{h_0}{H_0 + h} \right) \quad (5)$$

$$q_0 = K_s \cdot W \frac{H_0 + h}{H_0} \quad (6)$$

式中 W —— 渠面宽度, m; h —— 渠道水深, m; H_0 —— 初始地下水位, m; h_0 —— 第 t 时刻距离渠底中心处的地下水位上升高度, m; K_s —— 土壤饱和导水率, m/d; q_0 —— 入渗水流锋面到达地下水位时每米渠长日渗漏量, $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$; q_t —— 入渗水流锋面到达地下水位后第 t 时刻每米渠长日渗漏量, $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$ 。

在静水条件下, 若已知 $q_t = 0.504 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$, $W = 4 \text{ m}$, $H_0 = 1.1 \text{ m}$, $h = 0.64 \text{ m}$ 和 $h_0 = 0.92 \text{ m}$, 利用式 (5) 计算得到 q_0 , 再利用式 (6) 反求得到渠段的土壤饱和导水率为 0.17 m/d , 该值仅为在同一渠段内采用压力入渗仪测得的相应值 0.48 m/d 的 $1/3$ 。考虑到渠底土壤入渗性能空间变异性并不强烈以及相同渠段内由两种方法得到的实测值间存在着 $1 \sim 3$ 的倍比关系, 故对整条渠道而言, 可对由压力入渗仪实测的土壤饱和导

水率平均值 1.95 m/d 进行倍比缩小, 近似确定渠道土壤饱和导水率为 $1.95 \text{ m/d} \div 3 = 0.65 \text{ m/d}$, 该值近似等于渠床土壤渗透系数。

3.2.2 地下水顶托修正系数

地下水顶托修正系数应为渠道顶托入渗下的渗漏量与渠道自由入渗下的渗漏量之比值^[2]。由于式 (5) 中的 q_0 为入渗水流锋面到达地下水位时每米渠长日渗漏量, 而该时刻渠道仍处于自由入渗阶段, 当 q_t 为顶托渗漏下每米渠长日渗漏量时, 则可利用该式计算地下水顶托修正系数 β

$$\beta = \frac{q_t}{q_0} = 1 - \frac{h_0}{H_0 + h} \quad (7)$$

将静水试验中渠道到达稳定入渗阶段后的各变量值代入式 (7), 即可求得地下水顶托修正系数 β 为 0.46 。

3.2.3 相关系数的验证

在确定了渠床土壤渗透系数的情况下, 可利用修正的 Kostiakov 理论公式计算顶托渗漏条件下每米渠长日渗漏量^[1, 4]

$$q = \beta \cdot K (b + 2\gamma \cdot h \sqrt{1 + m^2}) \quad (8)$$

式中 q —— 每米渠长日渗漏量, $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$; K —— 渠床土壤渗透系数, m/d; b —— 渠底宽度, m; h —— 渠道水深, m; m —— 渠道边坡; γ —— 考虑渠坡侧向毛管渗吸的修正系数, 通常在 $1.1 \sim 1.4$ 范围内取值; β —— 地下水顶托修正系数, 对自由渗漏 $\beta = 1$, 对顶托渗漏 $\beta = 0.46$ 。

将以上确定的渠床土壤渗透系数 $K = 0.65 \text{ m/d}$, 地下水顶托修正系数 $\beta = 0.46$, 渠坡侧向毛管渗吸修正系数 $\gamma = 1.2$ 和有关渠道断面及水深的参数代入式 (8), 计算得出每米渠长日渗漏量为 $1.9 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$, 比前述由动水试验条件下得到的实测值 $1.79 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$ 略大, 但误差仅为 6% , 进而验证了由静水法和压力入渗仪法共同确定的渠床土壤渗透系数和由静水法获得的地下水顶托修正系数的合理性。

3.3 单位渠长渗漏流量与渠道流量间的关系

由式 (8) 表明特定渠道断面形状下单位渠长日渗漏量 q 可表示为渠床土壤渗透系数 K 、地下水顶托修正系数和渠道水深 h 的函数, 即 $q = f(K, \beta, h)$ 。由于渠道流量 Q 与渠道水深 h 有关, 该函数又可表示为: $q = f(K, \beta, Q)$ 。

针对表 2 给出的各级概化分类渠道, 在已知 K 和 β 的条件下, 计算相应于不同渠道水深的单位渠长日渗漏量 q 和渠道流量 Q , 得到两者间的函数关系: $q = f(Q)$ 。由式 (8) 计算得到的 q 值当采用 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{km})$ 的单位表示时, 被称为单位渠长渗漏流量, 利用该式计算时, 支渠和斗渠按顶托渗漏条件考虑, 农渠则按自由渗漏状态处理。渠道流量采用如下公式求算^[13]

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} i^{1/2} \quad (9)$$

式中 n —— 糙率系数; A —— 过水断面, $A = h(b + m \cdot h)$, m^2 ; R —— 水力半径, $R = A/X$, m; X —— 湿周, $X = b + 2h \sqrt{1 + m^2}$, m; i —— 渠底纵坡; 其它变量同

前。

利用回归分析法, 对计算得到的一系列 (Q, q) 数据点进行拟合, 单位渠长渗漏流量与渠道流量间的关系呈幂函数形式, 即 $q = A Q^B$ 。图1例举出相应于支渠底宽分别为 2、3 和 4 m 下单位渠长渗漏流量与渠道流量间的关系曲线, 相应的拟合参数等参见表 3。对各类概化分类的渠道而言, q 与 Q 间的相关系数都在 0.96 以上, 两者间存在较强相关性。

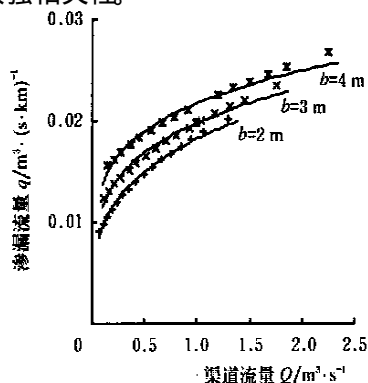


图1 概化分类支渠的单位渠长渗漏流量与渠道流量间的关系

Fig. 1 Relationship between seepage losses and discharge for branch canal with different bottom widths

根据表 2 给出的各级渠道中概化分类后的渠道占同级渠道的比例, 对各类渠道单位渠长渗漏流量与渠道流量间的关系进行加权求和, 计算得出相应于各级渠道的单位渠长加权平均渗漏流量

$$q_{支} = 40\% \times 0.0236Q_{支}^{0.194} + 40\% \times 0.0214Q_{支}^{0.231} + 20\% \times 0.0197Q_{支}^{0.278} \quad (10)$$

$$q_{斗} = 30\% \times 0.028Q_{斗}^{0.278} + 50\% \times 0.0285Q_{斗}^{0.314} + 20\% \times 0.0302Q_{斗}^{0.335} \quad (11)$$

$$q_{农} = 50\% \times 0.0555Q_{农}^{0.337} + 35\% \times 0.0578Q_{农}^{0.354} + 15\% \times 0.062Q_{农}^{0.374} \quad (12)$$

表3 各级概化分类渠道的单位渠长渗漏流量与流量间的相关分析结果

Table 3 Regression analysis results for each level canal

渠道类型	底宽/m	A	B	R ²
支渠	4.0	0.0236	0.194	0.9613
	3.0	0.0214	0.231	0.9864
	2.0	0.0197	0.278	0.9918
斗渠	2.0	0.028	0.278	0.9918
	1.4	0.0285	0.314	0.9955
	0.8	0.0302	0.355	0.9987
农渠	0.8	0.0555	0.337	0.9977
	0.6	0.0578	0.354	0.9989
	0.4	0.0620	0.374	0.9997

3.4 渠道水利用系数与渠道流量间的关系

根据渠道水利用系数的概念^[1,2], 灌区各级渠道水利用系数可采用下式求算

$$\eta_{支} = 1 - q_{支} \cdot \bar{L}_{支} / Q_{支} \quad (13)$$

$$\eta_{斗} = 1 - q_{斗} \cdot \bar{L}_{斗} / Q_{斗} \quad (14)$$

$$\eta_{农} = 1 - q_{农} \cdot \bar{L}_{农} / Q_{农} \quad (15)$$

式中 $\eta_{支}$, $\eta_{斗}$, $\eta_{农}$ —— 灌区支、斗、农各级渠道水利用系数; $\bar{L}_{支}$, $\bar{L}_{斗}$, $\bar{L}_{农}$ —— 灌区支、斗、农各级渠道的平均长度。

在已知灌区各级渠道平均长度下, 利用式(10)~(12)和式(13)~(15)分别计算各级渠道下相应于不同流量的渠道水利用系数, 对 (Q, η) 数据点进行回归分析, 获得各级渠道水利用系数与流量间的经验关系。从拟合得到的关系曲线(图2)可知, 各级渠道水利用系数与流量间的关系呈幂函数形式, 且两者间的相关系数都在 0.9 以上

$$\eta_{支} = 0.917Q_{支}^{0.1901} \quad (16)$$

$$\eta_{斗} = 1.029Q_{斗}^{0.1006} \quad (17)$$

$$\eta_{农} = 1.062Q_{农}^{0.0958} \quad (18)$$

根据簸箕李灌区渠系多年运行结果可知^[14], 灌区内支、斗、农渠的年均引水流量分别为 $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$, 则利用式(16)~(18)计算得到的各级渠道水利用系数依此为 0.88、0.88 和 0.80。

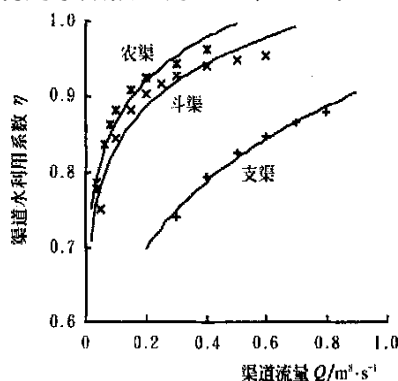


图2 各级渠道水利用系数与流量间的关系

Fig. 2 Relationship between discharge and canal efficiency for each level canal

4 结 论

本文以位于黄河下游的山东簸箕李引黄灌区为例, 根据野外实测方法确定单位渠长日渗漏量, 在计算得到渠床土壤渗透系数和地下水顶托修正系数的基础上, 利用回归分析方法建立灌区干渠以下各级渠道单位渠长渗漏流量与渠道流量间的关系, 给出依据渠道流量估算渠道水利用系数的经验公式。由于该方法仅根据渠道流量即可估算相应的渠道水利用系数, 故具有简便可行、实用性强的显著特点, 为黄河下游灌区制定灌溉输配水计划提供了合理依据。当然, 与现有其它估算方法一样, 这种渠道水利用系数估算方法所得到的结果亦具有较强的地区条件依赖性和适用范围。基于簸箕李灌区自然地貌特征、土壤质地结构、水文地质条件、渠道水力状况所建立的渠道水利用系数与流量间的相关关系以及得到的渠床土壤渗透系数和地下水顶托系数可供与该灌区条件相类似的黄河下游引黄灌区参考使用。

[参 考 文 献]

- [1] 陈亚新, 冀北平, 吴同顺, 等. 渠床土壤二维稳定入渗率实验及渗漏损失计算[J]. 灌溉排水, 1991, 4: 13~ 18
- [2] 郭元裕. 农田水利学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [3] D B 克拉茨. 灌溉渠道衬砌[M]. 北京: 水利水电出版社, 1980
- [4] 金永堂. 渠道渗漏量计算与实验方法[R]. 水利水电科学研究院, 1986
- [5] 白美健, 谢崇宝, 许迪, 等. 渠道输水损失计算公式中用平均流量代替净流量的误差分析[J]. 中国农村水利水电, 2001, 6: 12~ 13
- [6] 白美健. 大型灌区灌溉系统性能评价[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2000
- [7] Elrick D E, Reynolds W D, Tan K A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses[J]. Ground Water Monit, 1989, 9: 184~ 193
- [8] Hillel D. Application of soil physics Academic Press, 1980
- [9] 《渠道防渗工程技术规范》(渗漏测试分篇) 编制组. 渠道渗漏测试若干技术问题[J]. 农村水利与小水电, 1991, 1: 9~ 11.
- [10] Phogat V, Malik R S. Performance of an analytical model for seepage and water table rise under different canal hydrological factors[J]. ICD Journal, 1997, 46(1): 105~ 118
- [11] Abdul Razzak J M, Morel-seyfoux H J. Recharge from an ephemeral stream following wetting front arrival to water table[J]. Water Resources Research, 1983, 19(1): 194~ 200
- [12] Ahuja L R. Application of green-ampt approach to water infiltration through surface crust[J]. Soil Sci, 1974, 118(15): 283~ 286
- [13] 余常昭. 水力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996
- [14] 冯玉坤. 簸箕李示范区建筑物量水性能测验及支渠用水效率初步分析[R]. 簸箕李引黄灌溉管理局, 1986

Calculation method of canal efficiency in irrigation system taking water from the downstream of the Yellow River

BaiMeijian, Xu Di, CaiLingen, Li Yinong

(National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research-Beijing, Beijing 100044, China)

Abstract: Taking Bojili Irrigation District which diverts water from the Yellow River as an example, this article determined the infiltration coefficient of canal and uplift coefficient of ground water by means of theoretical method, according to the data of canal seepage observed in three ways. The relationship between seepage losses and discharge in canals and submain canals, was established by regression analysis method, which is based on canal classification and the empirical equation of canal efficiency related canal discharge. As this assessment method can get relevant canal efficiency only depended on the basis of canal discharge, it has the distinct characteristics of simplicity, feasibility and practice and can provide rational basis for drawing up the water conveyance and allocation plans.

Key words: seepage loss; canal efficiency; infiltration coefficient of canal bed; canal discharge; uplift coefficient of ground water