

# 宁夏水权转让节水量计算关键参数浅析

包淑萍<sup>1</sup>, 陈 丹<sup>1</sup>, 王金星<sup>2</sup>, 李淑霞<sup>1</sup>, 陈玉春<sup>1</sup>

(1.宁夏回族自治区水文水资源勘测局,宁夏 银川 750001;  
2.水利部水文情报预报中心,北京 100053)

**摘 要:**宁夏水资源匮乏,经济社会发展主要依赖于限量分配的过境黄河水。为使新建工业项目用水不新增黄河取水指标,目前主要是通过衬砌渠道节水,将节水量通过水权转让的方式用于保证工业用水需求。衬砌渠道节水,主要是减少渠系渗漏量,从而减少渗漏量中的土壤水蒸发、潜水蒸发等。计算衬砌渠道节水量的关键参数为节水系数的选取,通过两种方法分析了宁夏不同灌区的节水系数,并进行了对比分析,提出了适宜于宁夏水权转让节水量计算的节水系数。

**关键词:**水权转让;节水系数;输水损失

中图分类号:S274

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)02-0093-04

水资源匮乏和短缺一直是制约宁夏经济社会发展的瓶颈,为了寻求解决日益突出的水资源供需矛盾,宁夏积极探索,开展水权转让工作,即由用水企业出资对农业灌溉渠道工程实施节水改造,将节约挖潜水量有偿转让给企业,实现以节水、高效为目标的水资源优化配置,支持经济社会的可持续发展。

渠道输水过程中部分水量下渗,下渗水量通过潜水蒸发返回大气,产生无效蒸发,水权转让工作转让给企业的水量正是衬砌渠道后所减少的无效潜水蒸发量。水权转让中节水量计算的重点和难点在于所涉及的关键参数如何确定。这些参数的确定不仅影响到节水量计算成果,更影响到工业项目用水安全。在这样的背景下,本文对水权转让计算中的关键参数(节水系数)进行分析,并提出适宜的节水系数,为今后水权转让研究提供参考。

## 1 灌溉渠道衬砌节水机理

渠道在输水过程中,有部分流量由于渠道渗漏、水面蒸发等原因沿途损失,不能进入田间为农作物所利用,这部分损失的流量称为输水损失。输水损失包括渗水损失、漏水损失及水面蒸发损失三部分。

渗水损失是通过渠底、边坡土壤孔隙渗漏掉的水

量。渗漏的水量部分吸附在土壤中,变为土壤水,而后通过直接蒸发或植物散发返回大气;部分渗入地下补给地下水,下渗至潜土层。渗入潜土层的这部分水量,一部分受重力作用以地下径流形式排入排水沟,一部分通过隔土层裂隙,越流补给深层地下水,一部分留在潜土层,通过潜水蒸发返回大气。

渠道衬砌节水,主要是通过采用衬砌材料减少渗漏量,从而减少土壤水蒸发、潜水蒸发。

## 2 节水量计算方法

目前水权转让节水改造工程主要通过渠道砌护减少输水损失来实现节水。渠道渗漏损失水量一般采用《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288-99)考斯加可夫经验公式计算,砌护后渗漏损失通过衬砌渠道渗水损失修正系数计算,即:

$$Q_f = \delta \times Q = K / Q^m \times Q = K \times Q^{1-m}$$

$$Q'_f = \varepsilon_0 \times Q_f$$

式中: $Q_f$ 为渠道渗漏损失水量; $Q'_f$ 为渠道衬砌后渗漏损失水量; $\delta$ 为单位长度流量损失率; $Q$ 为渠道净流量; $K$ 为土壤透水性系数; $m$ 为土壤透水性指数; $\varepsilon_0$ 为衬砌渠道渗水损失修正系数。

减少的渠道输水损失可以通过拟选渠道衬砌前

收稿日期:2013-06-26

作者简介:包淑萍(1975-),女,宁夏平罗人,高级工程师,学士学位,主要从事水文水资源调查研究、水资源规划及合理配置研究等。

E-mail: baoshp@163.com

后渗漏损失水量的差值计算,还应考虑渠道砌护长度、运行时间。

$$S=(Q_f-Q_f')\times L\times T\times 8.64$$

式中: $S$ 为渠道输水损失量( $10^4\text{m}^3$ ); $Q_f$ 为渠道单位长度水量损失流量( $\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{km}$ ); $L$ 为渠道砌护长度(km); $T$ 为渠道输水运行时间(d)。

由于宁夏引黄灌区现状渠道输水损失量中一部分通过土壤蒸发以及潜水蒸发消耗,另一部分最终通过灌区排水沟又回归至黄河。通过节水工程改造真正节约的水量是通过土壤潜水的无效蒸发消耗量,也即企业真正能获得的水权转让水量。可通过以下公式计算

$$W_t=S\times\alpha$$

式中: $W_t$ 为转让给企业的水量( $10^4\text{m}^3$ ); $\alpha$ 为渠道衬砌节水系数。

可以看出,渠道衬砌节水系数的选取对于工程节水效果以及节水量的计算至关重要。

### 3 渠道衬砌节水系数计算方法

本次采用引排水法和地下水系数法两种方法进行计算分析。

#### 3.1 引排水法

##### (1)方法原理

首先假定灌区无作物种植,则在灌区内消耗的水量(引水减去排水)全部为无效蒸发;其次考虑种植作物,则减去作物田间需水量后,其他水量全部为无效蒸发。渠道砌护节水量就是这部分无效蒸发,因此,渠道衬砌节水系数可按以下步骤计算:

$$W_{\text{农排}}=W_{\text{测排}}-W_{\text{污}}$$

式中: $W_{\text{农排}}$ 为农业排水量( $10^4\text{m}^3$ ); $W_{\text{测排}}$ 为水文站实测排水沟入黄水量( $10^4\text{m}^3$ ),其中包含城市及工业污水量; $W_{\text{污}}$ 为城市及工业排放污水量( $10^4\text{m}^3$ )。

$$E_{\text{需}}=F\times M$$

式中: $F$ 为灌溉面积( $10^4$ 亩); $M$ 为作物田间需水定额( $\text{m}^3/\text{亩}$ )。

$$E_{\text{无效}}=W_{\text{引}}-W_{\text{农排}}-E_{\text{需}}$$

式中: $E_{\text{无效}}$ 为无效蒸发量( $10^4\text{m}^3$ ); $W_{\text{引}}$ 为灌区渠道引水量( $10^4\text{m}^3$ ); $E_{\text{需}}$ 为作物田间需水量( $10^4\text{m}^3$ )。

$$\alpha=E_{\text{无效}}/(W_{\text{引}}\times\eta)$$

式中: $\eta$ 为干支渠水利用系数。

##### (2)主要参数

农业排水量:水文部门实测排水量中包括了工业

和生活的排污量。在计算农业排水量时,需扣除工业和生活的排污量。近10年水文部门实测排水量为 $32.95\times 10^8\text{m}^3$ 。根据环保部门公布数据,近年工业和生活排污量在 $3.1\times 10^8\text{m}^3$ 左右,本次取 $3.1\times 10^8\text{m}^3$ 。

引水量:根据渠道管理部门提供数据,近10年平均渠首引水量为 $61.6\times 10^8\text{m}^3$ 。宁夏各灌区近10年引水量及排水量见表1。

灌溉面积:采用《宁夏引黄灌区灌溉面积及作物种植结构遥感调查成果报告》数据,引黄灌区灌溉面积为 $578.6\times 10^4$ 亩,如表2所列。

作物田间灌溉定额:引黄灌区灌溉水利用系数为0.38。计算得出作物田间灌溉定额为 $379\text{m}^3/\text{亩}$ 。

干支渠水利用系数:现状引黄灌区干支渠水利用系数为0.50。

##### (3)计算成果

按照上述分析方法及成果计算渠道衬砌节水系数。引黄灌区渠道衬砌节水系数为0.32(见表3)。

### 3.2 地下水系数法

##### (1)方法原理

渠道渗漏损失量,大体包括补给地下水量、湿润土壤和浸润带蒸发量、渠道两侧排水沟水平排水量等几个方面。渠道砌护节水量的主要为两部分,一部分

表1 宁夏引黄灌区2001~2010年实测引排水量

Table1 The measured water quantity in the Ningxia Yellow River irrigation district from 2001 to 2010

| 沟(区)名    | 引水量/ $10^8\text{m}^3$ | 排水量/ $10^8\text{m}^3$ |
|----------|-----------------------|-----------------------|
| 1. 卫宁灌区  | 12.272                | 7.425                 |
| 2. 青铜峡灌区 | 49.324                | 25.525                |
| (1) 河东地区 | 12.758                | 6.555                 |
| (2) 河西地区 | 36.566                | 18.970                |
| 总计       | 61.595                | 32.950                |

表2 引黄灌区现状作物田间灌溉定额

Table2 Crops irrigation quota in the Yellow River irrigation district

| 灌区       | 灌溉面积/ $10^4$ 亩 | 定额/ $\text{m}^3\cdot\text{亩}^{-1}$ | 作物需水量/ $10^8\text{m}^3$ | 灌溉水利用系数 | 灌溉引水量/ $10^8\text{m}^3$ |
|----------|----------------|------------------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|
| 1. 卫宁灌区  | 100.8          | 415                                | 4.2                     | 0.36    | 11.6                    |
| 2. 青铜峡灌区 | 477.8          | 371                                | 17.7                    | 0.39    | 45.7                    |
| (1) 河东地区 | 100.9          | 451                                | 4.6                     | 0.38    | 12.0                    |
| (2) 河西地区 | 376.9          | 349                                | 13.2                    | 0.39    | 33.8                    |
| 总计       | 578.6          | 379                                | 21.9                    | 0.38    | 57.4                    |



表3 引排水法计算渠道衬砌节水系数

Table3 Water-saving coefficient of channel lining using pilotage and drainage method

| 灌区       | 引水量/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> | 排水量/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> | 作物需水量/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> | 排污量/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> | 干支渠水利用系数 | 渠道衬砌节水系数 |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------|----------|
| 1. 卫宁灌区  | 12.27                              | 7.43                               | 4.2                                  | 0.48                               | 0.47     | 0.20     |
| 2. 青铜峡灌区 | 49.32                              | 25.53                              | 17.7                                 | 2.62                               | 0.51     | 0.35     |
| (1) 河东地区 | 12.76                              | 6.56                               | 4.6                                  | 0.40                               | 0.50     | 0.32     |
| (2) 河西地区 | 36.57                              | 18.97                              | 13.2                                 | 2.22                               | 0.51     | 0.36     |
| 总 计      | 61.60                              | 32.95                              | 21.9                                 | 3.10                               | 0.50     | 0.32     |

为湿润土壤和浸润带蒸发量,也就是直接蒸发损失量( $Q_{h1}$ ),另一部分是地下水位下降减少的潜水蒸发量( $Q_{h2}$ )。渠道衬砌节水系数可以通过计算出直接蒸发损失和地下水位下降减少的潜水蒸发量占渠道渗漏量的比例来确定。

$$\alpha=h1+h2=(Q_{h1}+Q_{h2})/Q_{损}$$

式中: $h1$ 为直接蒸发损失占渠道渗漏量的比例; $h2$ 为地下水位下降减少的潜水蒸发量占渠道渗漏量的比例。

(2)主要参数

①直接蒸发损失占渠道渗漏量比例( $h1$ )

根据卫宁灌区和青铜峡灌区渠道状况、地下水埋深计算渠道直接渗漏蒸发损失占渠道渗漏量的比例。

$$Q_{h1}=Q_{损}-Q_{渗}=(1-r)\times(1-\eta)\times Q_{引}=(1-r)Q_{损}$$
$$h1=1-r=Q_{h1}/Q_{损}$$

式中: $Q_{h1}$ 为湿润土壤和浸润带蒸发量( $10^4\text{m}^3$ ); $Q_{损}$ 为渠道输水过程中渗漏损失量( $10^4\text{m}^3$ ); $Q_{渗}$ 为渠系渗漏补给量( $10^4\text{m}^3$ ); $Q_{引}$ 为渠道引水量( $10^4\text{m}^3$ ); $r$ 为干支渠渗漏修正系数; $\eta$ 为渠系水利用系数。

宁夏渠系渗漏修正系数  $r$  取值见表 4。

②地下水位下降减少的潜水蒸发量占渠道渗漏量的比例( $h2$ )

渠道渗漏补给地下水量引起的潜水蒸发变化与当地地下水补排特点密切相关,一般采用潜水蒸发占地

下水总排泄量的比例来估算。

$$Q_{排}=Q_{损}-Q_{h1}$$

$$h2=Q_{h2}/Q_{损}=(Q_{损}-Q_{h1})/Q_{损}\times Q_{h2}/Q_{排}=(1-h1)\times\beta$$

式中: $Q_{排}$ 为地下水总排泄量; $\beta$ 为潜水蒸发占地下水总排泄量的比例。

根据灌区多年测量数据及经验,目前卫宁灌区潜水蒸发量约占地下水总排泄量的 33%,青铜峡灌区吴忠片约为 38%,银川片约为 42%,石嘴山片约为 50%。2000 年以来,引黄灌区灌溉期地下水埋深年均下降 0.05~0.07m/a,以 2010 年为现状年,水位下降速率年均折减 0.96,估算 2020 年、2030 年灌溉期地下水平均埋深。引黄灌区潜水蒸发占潜水总排泄量的比重随着地下水补排变化和开采量增加呈现逐年降低趋势,由 20 世纪 90 年代 40%~80%,逐步降低到目前的 30%~50%,年均下降 0.35%~1.5%,据此估算 2020 年、2030 年潜水蒸发地下水总排泄量占比重见表 5。

(3)计算成果

按照上述方法计算 2020 年、2030 年渠道衬砌节水系数。考虑到水权转让年限为 25 年,在确定渠道衬砌节水系数时考虑规划年与现状年变化趋势,本次最终确定渠道衬砌节水系数,采用 2020 年与 2030 年平均值。卫宁灌区 0.34,青铜峡灌区吴忠片 0.35,银川片 0.37,石嘴山片 0.45,如表 6 所列。

表4 宁夏渠系渗漏修正系数r取值

Table4 Leakage correction coefficient of canal system  $r$  value in the Ningxia Yellow River irrigation district

| 灌区名称  | 行政分区 | 渠道与附近地下水水头差/m |      |      |      |
|-------|------|---------------|------|------|------|
|       |      | 1.0           | 2.0  | 3.0  | 4.0  |
| 卫宁灌区  | 中卫   | 0.63          | 0.78 | 0.88 | 0.94 |
|       | 吴忠   | 0.60          | 0.75 | 0.85 | 0.92 |
| 青铜峡灌区 | 银川   | 0.55          | 0.72 | 0.83 | 0.90 |
|       | 石嘴山  | 0.50          | 0.68 | 0.80 | 0.90 |

表5 引黄灌区潜水蒸发占地下水总排泄量的比例估算

Table5 The proportion of phreatic evaporation in the Yellow River irrigation district

| 灌区名称  | 行政分区 | 2020 年 | 2030 年 |
|-------|------|--------|--------|
| 卫宁灌区  | 中卫   | 30     | 27.5   |
|       | 吴忠   | 31     | 27.5   |
| 青铜峡灌区 | 银川   | 34     | 28.5   |
|       | 石嘴山  | 42     | 36     |

表6 地下水均衡法计算渠道衬砌节水系数

Table6 Water saving coefficient of canal lining in the Yellow River irrigation district

| 灌区名称  | 行政分区 | 渠道衬砌节水系数 |        |      |
|-------|------|----------|--------|------|
|       |      | 2020 年   | 2030 年 | 取用值  |
| 卫宁灌区  | 中卫   | 0.35     | 0.32   | 0.34 |
|       | 吴忠   | 0.38     | 0.32   | 0.35 |
| 青铜峡灌区 | 银川   | 0.40     | 0.33   | 0.37 |
|       | 石嘴山  | 0.49     | 0.41   | 0.45 |

### 3.3 推荐方法及渠道衬砌节水系数

对比以上两种方法,各有优缺点。综合来看,引排水法采用主要参数为实测数据,可靠性较高,同时计算方法及方法原理简单,便于推广应用。因此,本分析推荐采用引排水法计算成果,见表3。

## 4 结语

本次计算宁夏水权转让节水系数在0.20~0.36之间,与以前水权转让研究中所采用的节水系数0.42相比,减小了14%~52%。本次计算的节水系数更符合实际运行情况,进一步提高了水权转让后企业用水量保障程度。

本文针对宁夏有引有排的特殊灌溉条件及灌区特性,对宁夏水权转让节水量计算关键参数(节水系数)

进行了初步分析,为今后在水权转让工作中计算可转让水量提供了参考,为今后深入研究水权转让节水量计算提供了一定的依据及思路。本文中渠道衬砌节水系数与引水条件、灌溉面积、灌水水平等因素相关,本成果是在现状年条件下分析得出,相关因素情况变动时,成果需适时调整。

### 参考文献:

- [1] 雷声隆,罗强,张瑜芳,等. 防渗渠道输水损失的估算[J]. 灌溉排水学报, 2003,22 (3). (LEI Shenglong, LUO Qiang, ZHANG Yufang, et al. Conveyance loss estimation of impervious channel [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2003,22 (3). (in Chinese))
- [2] 侯慧敏,戴星亮,王之君. 不同土壤结构对渠道输水损失的影响研究[J]. 甘肃科技, 2009,25 (4). (HOU Huimin, DAI Xingliang, WANG Zhijun. Study on the influence of various soil structure to channel loss [J]. Gansu Science and Technology, 2009,25(4). (in Chinese))
- [3] 张新,李静,沈振锋,等. 灌区渠道衬砌对地下水位的影响[J]. 河南水利与南水北调, 2012,5. (ZHANG Xin, LI Jing, SHEN Zhenfeng, et al. Influence of irrigation canal lining on the underground water level [J]. Henan Water Conservancy and the South-to-North Water Diversion Project, 2012,5. (in Chinese))
- [4] 罗玉峰,崔远来,郑祖金. 河渠渗漏量计算方法研究进展. [J]. 水科学进展, 2005,(3). (LUO Yufeng, CUI Yuanlai, ZHENG Zujin. Review on methods of calculating the canal seepage [J]. Advances in Water Science, 2005,(3). (in Chinese))
- [5] 周录文. 渠系渗漏计算中若干问题的探讨 [J]. 甘肃水利水电技术, 2003,(2). (ZHOU Luwen. Discussion on some problems in calculation of canal seepage [J]. Gansu Water Conservancy and Hydropower Technology, 2003,(2). (in Chinese))

## Analysis of Key Parameters for Calculation of Saved Water in Ningxia Water Right Transfer

BAO Shuping<sup>1</sup>, CHEN Dan<sup>1</sup>, WANG Jinxing<sup>2</sup>, LI Shuxia<sup>1</sup>, CHEN Yuchun<sup>1</sup>

(1.Ningxia Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Yinchuan 750001, China;

2.Hydrological Information Forecasting, MWR, Beijing 100053, China)

**Abstract:** It is short of water resources in Ningxia, and the economic and social development mainly rely on the limited water from the Yellow River. Recently, the water rights transfer is done mainly by the lining channel to achieve water-saving. The saved water is used for industrial projects. It is mainly to reduce leakage through the use of lining material. Thus soil water evaporation and phreatic water evaporation are reduced. Water-saving coefficient is the key parameter in calculation of lining channel water amount. In this paper, two methods were used to analyze water-saving coefficient in different irrigation areas in Ningxia. The advantages and disadvantages of the two methods were also expatiated. And the suitable water-saving coefficient in Ningxia water transfer water quantity calculation was put forward.

**Key words:** water right transfer; water-saving coefficient; conveyance loss