

文章编号: 1007-4929(2006)02-0020-04

宁蒙引黄灌区田间节水潜力 计算方法分析

张霞,程献国,张会敏,胡亚伟

(黄河水利科学研究院水资源利用与节水工程技术研究所,河南新乡453003)

摘要:以黄河干流宁蒙大型自流引黄灌区为研究对象,采用分项法以及两种计算顺序对宁蒙引黄灌区田间节水潜力进行了计算,分析了不同计算顺序对田间节水潜力计算结果的影响,并采用综合法对分项法计算结果进行了验证,表明计算方法可靠。

关键词:宁蒙引黄灌区;田间节水潜力;分项法;综合法;计算顺序

中图分类号:S274 **文献标识码:**A

Analysis of Calculation Method of Field Water-saving Potential in the Irrigation Districts of Yellow River in Ningxia and Neimenggu

ZHANG Xia, CHENG Xian-guo, ZHANG Hui-min, HU Ya-wei

(Water Resource Utilization and Water Saving Engineering-technology Institute

Yellow River Institute of Hydraulic Research, Xinxiang, 453003)

Abstract: Taking the large-scale gravity irrigation districts in main stream of Yellow River in Ningxia and Neimenggu as study object, this paper applied subentry method and two kinds of calculation orders to calculate the field water-saving potential in irrigation districts of Yellow River in Ningxia and NeiMengGu, analyzed the influence of different calculation order on the calculation result of field water-saving potential. Also, the author applied synthesis method to validate the reliability of calculation result of subentry method.

Key words: irrigation districts of Yellow River in Ningxia and Neimenggu; field water-saving potential; subentry method; synthesis method; calculation order

1 概述

宁蒙引黄灌区地处黄河上游地区,属大陆性气候,干旱少雨,降水少,蒸发强烈,多年平均降水量130~250 mm,多年平均蒸发量1500~2400 mm。干旱是影响该区农牧业发展的主要因素,是典型的“无灌溉即无农业”的地区。

本文以黄河干流宁蒙大型自流引黄灌区(以下简称宁蒙引黄灌区)为研究范围,总有效灌溉面积95.15万 hm^2 ,包括宁夏引黄灌区和内蒙古引黄灌区,其中宁夏引黄灌区指宁夏青铜峡灌区和卫宁灌区,有效灌溉面积35.56万 hm^2 ;内蒙古引黄灌区指内蒙古河套灌区和黄河南岸自流灌区,有效灌溉面积59.59万 hm^2 ,其中河套灌区57.44万 hm^2 ,黄河南岸

灌区2.15万 hm^2 。

2 田间节水潜力的概念

田间节水潜力是指灌区农渠以下田间采取工程措施与非工程措施节水,田间水利用系数达到《节水灌溉技术规范》的要求后,在同等规模条件下,田间灌溉水量与基准年相比节约的水量。工程措施主要指实行沟畦改造,即平整土地、缩小畦块、提高田间水利用系数;非工程措施主要指种植结构调整和实行节水灌溉制度,即减少高耗水作物的种植比例,并在基本不影响作物产量的前提下,使水分生产效率最高,减少作物的灌水定额,从而降低田间的综合灌溉定额,达到节水目的。

收稿日期:2005-08-25

基金项目:国家自然科学基金委员会资助项目“宁夏河套灌区水平衡机制及耗水量研究”(50239090)及大型灌区续建配套与节水改造“十一五”规划前期研究专题之一。

作者简介:张霞(1967-),女,河南获加人,高级工程师,主要从事节水灌溉、水资源及生态环境方面的研究。

3 田间节水潜力计算方法

宁蒙引黄灌区田间节水潜力的计算主要包括种植结构调整、实行节水灌溉制度、进行沟畦改造三项节水措施产生的节水潜力。

为避免计算过程中的重复计算量,利用分项法计算,综合法进行验证。并采用两种计算顺序对田间节水潜力分项进行计算。第一种计算顺序:种植结构调整→节水灌溉制度→沟畦改造(以下简称顺序 1);第二种计算顺序:沟畦改造→种植结构调整→节水灌溉制度(以下简称顺序 2),并对两种顺序计算结果对比分析。

3.1 分项法

分项法是对种植结构调整、采用节水灌溉制度、进行沟畦改造三项不同的节水措施产生的节水潜力进行分项计算,最后汇总得到田间节水潜力。

$$W_{fi} = W_{ad} + W_{si} + W_{fr} \quad (1)$$

式中: W_{fi} 为田间节水潜力, m^3 ; W_{ad} 、 W_{si} 、 W_{fr} 分别为灌区种植结构调整、采用节水灌溉制度、进行沟畦改造产生的节水量, m^3 。

$$W_{ad} = W_{adb} - W_{ada} = (m_{adb} - m_{ada})A_{ad} - \eta_{fr} \quad (2)$$

$$W_{si} = W_{tr} - W_{sr} = (m_{tr} - m_{sr})A_{sr} - \eta_{fr} \quad (3)$$

$$W_{fr} = W_{frb} - W_{fra} = mA_{fr}(1/\eta_{frb} - 1/\eta_{fra}) \quad (4)$$

式中: W_{adb} 、 W_{ada} 、 W_{tr} 、 W_{sr} 、 W_{frb} 、 W_{fra} 分别为灌区种植结构调整前后、节水灌溉制度实施前后、进行沟畦改造前后的田间灌溉水量, m^3 ; m_{adb} 、 m_{ada} 、 m_{tr} 、 m_{sr} 、 m 分别为种植结构调整前后、节水灌溉制度实施前后、进行沟畦改造时的灌区综合净灌溉定额, m^3/hm^2 ; A_{ad} 、 A_{sr} 、 A_{fr} 分别为种植结构调整面积、实施节水灌溉制度面积、沟畦改造面积, hm^2 ; η_{frb} 、 η_{fra} 分别为实施沟畦改造前后的田间水利用系数。

3.1.1 第一种计算顺序

在顺序 1 计算过程中,实施节水灌溉制度前的综合净定额采用种植结构调整后的综合净灌溉定额,即 $m_{tr} = m_{ada}$;种植结构调整和节水灌溉制度的田间节水潜力计算均采用沟畦改造前的田间水利用系数进行计算,即 $\eta_{fr} = \eta_{frb}$;沟畦改造的综合

净灌溉定额采用节水灌溉制度实施后的灌溉定额,即 $m = m_{sr}$ 。

3.1.2 第二种计算顺序

在顺序 2 计算过程中,沟畦改造的综合净灌溉定额采用种植结构调整前的综合净灌溉定额,即 $m = m_{adb}$;种植结构调整和节水灌溉制度田间节水潜力的计算利用沟畦改造后的田间水利用系数进行计算,即 $\eta_{fr} = \eta_{fra}$;实施节水灌溉制度的综合净灌溉定额采取种植结构调整后的综合净定额,即 $m_{tr} = m_{ada}$ 。

3.2 综合法

综合法是利用现状田间灌溉水量与采取各种节水措施后的田间灌溉水量的差值计算田间节水潜力。

$$W_{fi} = W_{bi} - W_{ai} = m_{bi}A_{bi}/\eta_{frb} - m_{ai}A_{ai}/\eta_{fra} \quad (5)$$

式中: W_{bi} 、 W_{ai} 分别为现状田间灌溉水量和各种节水措施实施后的田间灌溉水量; m_{bi} 、 m_{ai} 分别为现状灌溉定额和各种节水措施实施后的综合净灌溉定额; A_{bi} 、 A_{ai} 分别为不同区域现状灌溉面积和各种节水措施实施后的灌溉面积。

4 田间节水潜力的计算

目前,我国大型灌区正在进行续建配套及节水改造,按照《节水灌溉技术规范》要求,田间水利用系数水稻灌区不宜低于 0.95,旱作物灌区不宜低于 0.90。目前宁蒙引黄灌区田间水利用系数仅为 0.7~0.85,本文沟畦改造后的田间水利用系数水稻及旱作物灌区分别采用 0.95 和 0.9 进行计算。

4.1 分项法

4.1.1 种植结构调整

根据宁蒙大型灌区节水规划,宁夏引黄灌区粮食、经济和林草比例由现状 74:16:10 调整至 70:17:13,其中水稻面积由现状 8.95 万 hm^2 调整至 6.67 万 hm^2 ;内蒙古河套灌区和黄河南岸自流灌区农林草比例分别由现状的 91:3:6 和 83:10:7 调整至 60:20:20。

根据宁蒙引黄灌区现状不同作物灌溉定额以及作物种植结构调整前后的种植比例,计算作物种植结构调整前后的综合净灌溉定额,利用式(2),按照顺序 1 和顺序 2 分别计算,种植结构调整田间节水潜力分别为 3.94 亿 m^3 和 3.31 亿 m^3 。见表 1。

表 1 宁蒙引黄灌区种植结构调整节水潜力计算表

区 域	灌溉面积/ 万 hm^2	调整前净	调整后净	净定额	调整面积/ 万 hm^2	净节水量/ 亿 m^3	田间水利用系数		田间节水潜力/亿 m^3		
		灌溉定额/ (万 $m^3 \cdot hm^{-2}$)	灌溉定额/ (万 $m^3 \cdot hm^{-2}$)	差值/ (万 $m^3 \cdot hm^{-2}$)			顺序 1	顺序 2	顺序 1	顺序 2	
宁 夏	水稻	8.95	0.865	0.336	0.529	2.28	1.21	0.70	0.95	1.72	1.27
	旱作综合	26.61	0.353	0.336	0.017		0.43	0.82	0.90	0.53	0.48
	小计	35.56					1.64			2.25	1.75
内 蒙 古	河套灌区	57.44	0.338	0.315	0.023		1.29	0.84	0.90	1.54	1.44
	南岸灌区	2.15	0.423	0.369	0.054		0.12	0.75	0.90	0.15	0.13
	小计	59.59					1.41			1.69	1.56
宁蒙合计	95.15					3.05				3.94	3.31

4.1.2 节水灌溉制度

宁蒙引黄灌区节水灌溉制度实行前的灌溉定额,采用作物种植结构调整后的综合净灌溉定额,根据相关试验成果计算了灌区节水灌溉定额,利用式(3),按照顺序1和顺序2分别计算,节水灌溉制度田间节水潜力分别为3.22亿 m^3 和2.82亿 m^3 。见表2。

4.1.3 沟畦改造

根据沟畦改造前后田间水利用系数的变化,利用式(4),按照顺序1和顺序2分别计算,宁蒙灌区沟畦改造田间节水潜力分别为4.59亿 m^3 和5.67亿 m^3 。见表3。

4.1.4 不同计算顺序计算结果对比分析

根据上述不同节水措施的田间节水潜力,利用式(1),宁蒙引黄灌区不同计算顺序田间节水潜力计算结果见表4。

由表4可知,不同计算顺序各节水措施产生的节水潜力不同。在顺序1中,种植结构调整、节水灌溉制度、沟畦改造节水潜力分别占田间节水潜力的33.55%、27.36%和39.09%,在顺序2中分别占田间节水潜力的28.08%、23.90%和48.02%。可见不同节水措施产生的节水潜力受计算顺序影响较大。

表2 宁蒙引黄灌区节水灌溉制度节水潜力计算表

区 域	灌溉面积/ 万 hm^2	结构调整 后净定额/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	节灌净定额/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	节水指标/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	净节水量/ 亿 m^3	田间水利用系数		田间节水潜力/亿 m^3		
						顺序 1	顺序 2	顺序 1	顺序 2	
宁 夏	水稻	6.67	0.865	0.780	0.085	0.57	0.70	0.95	0.81	0.60
	旱作综合	28.89	0.336	0.323	0.013	0.40	0.82	0.90	0.49	0.45
	小计	35.56				0.97			1.30	1.05
内 蒙	河套灌区	57.44	0.315	0.288	0.027	1.53	0.84	0.90	1.83	1.70
	南岸灌区	2.15	0.369	0.339	0.030	0.06	0.75	0.90	0.09	0.07
	小计	59.59				1.60			1.91	1.78
宁蒙合计	95.15				2.57			3.22	2.82	

表3 宁蒙引黄灌区沟畦改造节水潜力计算表

区 域	灌溉面积/万 hm^2	不同计算顺序灌溉		田间水利用系数				不同计算顺序田间		
		定额/(万 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)		顺序 1		顺序 2		节水潜力/亿 m^3		
		顺序 1	顺序 2	改造前	改造后	改造前	改造后	顺序 1	顺序 2	
宁 夏	水稻	6.67	0.780	0.865	0.70	0.95	0.70	0.95	1.95	2.17
	水稻(旱作)	2.28	0.323	0.865	0.70	0.90	0.70	0.95	0.23	0.74
	旱作	26.61	0.323	0.353	0.82	0.90	0.82	0.90	0.93	1.02
	小计	35.56							3.12	3.93
内 蒙 古	河套	57.44	0.288	0.338	0.84	0.90	0.84	0.90	1.31	1.54
	南岸	2.15	0.339	0.423	0.75	0.90	0.75	0.90	0.16	0.20
	小计	59.59							1.48	1.74
宁蒙灌区	95.15							4.59	5.67	

表4 宁蒙引黄灌区不同计算顺序田间节水潜力计算结果对比

区 域		顺序 1				顺序 2				误差	
		结构调整	节水制度	沟畦改造	小计	结构调整	节水制度	沟畦改造	小计	绝对误差	相对误差/%
宁 夏 灌 区	节水量/亿 m^3	2.25	1.30	3.12	6.67	3.93	1.75	1.05	6.72	-0.051 49	-0.77
	所占比例/%	33.73	19.54	46.74	100.00	58.41	26.03	15.56	100.00		
内 蒙 古 灌 区	节水量/亿 m^3	1.69	1.91	1.48	5.08	1.74	1.56	1.78	5.08	0.000 06	0.00
	所占比例/%	33.31	37.63	29.06	100.00	34.26	30.79	34.96	100.00		
宁 蒙 灌 区	节水量/亿 m^3	3.94	3.22	4.59	11.75	5.67	3.31	2.82	11.80	-0.051 43	-0.44
	所占比例/%	33.55	27.36	39.09	100.00	48.02	28.08	23.90	100.00		

不同计算顺序对田间节水潜力的计算结果略有影响,顺序1与顺序2计算的田间节水潜力分别为11.75亿 m^3 、11.80亿 m^3 ,计算绝对误差-0.05亿 m^3 ,计算相对误差为-0.44%。

其中宁夏引黄灌区计算绝对误差为-0.05亿 m^3 ,内蒙古引黄灌区几乎没有误差。其原因主要是宁夏引黄灌区水稻和旱作区分别计算,水稻与旱作物田间水利用系数现状与沟畦改造后

各不相同,种植结构调整后,水稻与旱作的调整使得不同计算顺序采用的田间水利用系数不同。例如在顺序1中,因首先计算种植结构调整节水潜力,则将8.95万hm²水稻调整为6.67万hm²水稻,其余2.28万hm²改为旱作,在计算沟畦改造节水潜力时,沟畦改造后的田间水利用系数,6.67万hm²水稻和2.28万hm²旱作分别按0.95和0.90计算;而在顺序2中,首先进行沟畦改造,8.95万hm²水稻沟畦改造后的田间水利用系数全部按0.95计算,故造成了田间节水潜力有一定误差。内蒙古引黄灌区只有旱作,避免了因水稻与旱作田间水利用系数变化所产生的误差。

4.2 综合法

根据式(5),采用不同计算顺序对不同区域田间节水潜力进行了计算。经计算,宁蒙引黄灌区顺序1与顺序2计算的田间节水潜力分别为11.76亿m³和11.80亿m³。宁蒙引黄灌区综合法田间节水潜力计算结果见表5。

表5 宁蒙引黄灌区综合法田间节水潜力计算结果

区域	灌溉水量/亿m ³			田间节水潜力/亿m ³	
	现状	顺序1节水后	顺序2节水后	顺序1	顺序2
宁 夏	8.24	5.47	5.47	2.77	2.77
	2.82	0.82	0.77	2.00	2.04
	11.45	9.54	9.54	1.91	1.91
内 蒙 古	22.51	15.83	15.78	6.68	6.72
	23.08	18.40	18.40	4.68	4.68
	1.21	0.81	0.81	0.40	0.40
	24.29	19.21	19.21	5.08	5.08
	46.79	35.03	34.99	11.76	11.80

4.3 综合分析

采用分项法和综合法对宁蒙引黄灌区田间节水潜力进行

计算,顺序1中田间节水潜力分别为11.75亿m³和11.76亿m³,顺序2的计算结果均为11.80亿m³。可见按顺序2计算,误差相对较小。

综上所述,分项法和综合法两种方法计算的田间节水潜力结果基本一致,不同计算顺序虽对计算结果有一定影响,但如果不对水稻和旱作区分别计算,或沟畦改造后水稻与旱作采用相同的田间水利用系数进行计算,则不同的计算顺序将不会影响计算结果。例如内蒙古引黄灌区田间节水潜力计算结果,不同方法、不同计算顺序对其计算结果几乎没有影响。

5 结 语

(1)采用分项法对宁蒙引黄灌区田间节水潜力进行了计算,采用综合法对分项法计算结果进行了验证,计算结果表明分项计算法可靠。

(2)采用不同计算顺序计算田间节水潜力对计算结果略有影响,按顺序2即沟畦改造→种植结构调整→节水灌溉制度计算,误差相对较小。

(3)在分项计算过程中,要注意灌溉定额以及田间水利用系数的选取必须按照一定的顺序环环相扣,才能避免重复计算量,以免造成计算结果偏大,并应采用综合法进行验证。

参考文献:

[1] 汪 林,甘 泓. 宁夏引黄灌区水盐循环演化与调控[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.
 [2] 许迪,蔡林根,茆 智,等. 引黄灌区节水决策技术应用研究[M]. 北京:中国农业出版社,2004.
 [3] 中国灌溉排水发展中心. 黄河流域大型灌区节水改造战略研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2002.
 [4] 程满金,申利刚. 大型灌区节水改造工程技术试验与实践[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.
 [5] SL207-98,节水灌溉技术规范[S]. 1998.

(上接第19页)

[22] H Fatnassi, T. Boulard. Simple Indirect Estimation of Ventilation and Crop Transpiration Rates in a Greenhouse[J]. Biosystems Engineering, 2004,88(4):467-478.
 [23] Monteith J L. Principles of Environmental Physics[M]. Paris, 1973.
 [24] Ido Seginer. The Penman-Monteith Evapotranspiration Equation as an Element in Greenhouse Ventilation Design[J]. Biosystems Engineering, 2002,82(4):423-439.
 [25] 罗卫红. 南方现代化温室黄瓜冬季蒸腾量与模拟研究[J]. 植物生态学报,2004,28(1):59-65.
 [26] Jolliet O, Bailey B J. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouse: measurements and models comparison[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1992,58,42-62.
 [27] Pollet S. Application of the Penman-Monteith model to calculate the evapotranspiration of head lettuce *Lactuca sativa* L. var capitata in glasshouse conditions[J]. Acta Horticulture, 1999, 519:151-161.
 [28] Harmant, V. M. Salokhe. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment[J]. Agri-

cultural Water Management, 2005,71:225-242.
 [29] Jemaa, R. Mise au point et validation de models de transpiration de cultures de tomate hors sol sous serre. Application à la conduite de la fert-irrigation[M]. Thèse de l'ENSA Rennes, 1995.
 [30] Boulard T, Baille A, Mermier M, et al. Mesures et modélisation de la résistance stomatique foliaire et de la transpiration d'un couvert de tomate de serre[J]. Agronomie,1991,11:259-274.
 [31] Papadakis G, Frangoudakis A, Kiritsis, S. Experimental investigation and modelling of heat and mass transfer between a tomato crop and the greenhouse environment[J]. Journal of Agricultural Engineering Research,1994,57:217-227.
 [32] T Boulard, S Wang. Greenhouse crop transpiration simulation from external climate conditions[J]. Agricultural and Forest Meteorology,2000,100:25-34.
 [33] Jones H G, Tardieu F. Modelling water relations of horticultural crops: A review[J]. Scientia Horticulturae,1999,74:21-46.
 [34] 雷水玲. 温室作物叶-气系统水流阻力研究初探[J]. 农业工程学报,2004,20(6):46-50.
 [35] 吴文勇. 日光温室土壤-植物-环境系统水热耦合运移动态模拟[J]. 灌溉排水学报,2003,22(3):49-53.