

水量统一调度以来黄河宁夏河段引黄耗水量分析

金双彦, 张萍, 张春岚, 马志瑾

(黄河水文水资源科学研究院, 河南 郑州 450004)

摘要:对1999~2012年黄河水量统一调度期间宁夏河段引水和退水的年内和年际变化、引排比关系进行了分析。采用引退水法和水量平衡法计算了宁夏河段的引黄耗水量。结果表明:引退水法平均耗水量为 $32.64 \times 10^8 \text{m}^3$,年际变化相对比较平缓;水量平衡法平均耗水量为 $39.37 \times 10^8 \text{m}^3$,年际变化非常明显。建议进一步加强实际引退水口门的数量核实和引退水的监测分析工作。

关键词:耗水量;引退水法;水量平衡法;引水量;退水量;宁夏河段;水量统一调度

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)06-0082-05

1 研究背景及基础资料

1.1 背景情况

黄河水量调度实行河段总耗水量和断面下泄流量双控制原则^[1]。黄河干流宁夏河段的引水主要来自沿岸农业灌溉、工业、城市居民生活用水,其退水与农业灌溉制度和工业用水工艺结构有关。近年来,引黄灌区农业灌溉发展、节水改造、退水重复利用、能源产业基地建设等增加了引退水的复杂性。因此,需要分析黄河水量统一调度以来宁夏河段的引退水规模、比例和耗水量,为黄河水资源统一管理和优化配置等提供科学依据。

1.2 基础资料

黄河水量统一调度始于1999年3月^[2],故本次研究时段为统一调度以来的1999~2012年。引退水资料均来自“黄委颁发取水许可证取水工程月报表”;黄河干流和有关支流不同时间尺度的水文数据均来自各年的《黄河流域水文年鉴》^[3]。

2 分析采用方法

2.1 引退水法

针对特定河段,对实测引、退水量进行统计,计算出控制区域的引水量和退水量,两者之差即为河段耗水量。引退水法耗水量计算结果的准确与否取决于引

退水资料的精度。

$$\text{耗水量} = \text{引水量} - \text{退水量} \quad (1)$$

2.2 水量平衡法

水量平衡法是以水文站实测资料为基础,从上下断面入流、出流的差值中,扣除蒸发、渗漏等损失量,根据水量平衡原理分析和计算灌区河段耗用的黄河水量。用方程式表达如下:

$$W_{\text{耗水}} = (W_{\text{上}} + W_{\text{区入}} + W_{\text{未控}}) - (W_{\text{蒸发}} + W_{\text{渗漏}}) - W_{\text{下}} \quad (2)$$

式中: $W_{\text{上}}$ 为上断面入流量; $W_{\text{下}}$ 为下断面出流量; $W_{\text{区入}}$ 为区间已控加入水量; $W_{\text{未控}}$ 为区间未控加入水量; $W_{\text{蒸发}}$ 为区间河道水面蒸发量; $W_{\text{渗漏}}$ 为区间河道渗漏量; $W_{\text{耗水}}$ 为区间工农业耗水量。

针对黄河的特点,区间工农业耗水量 $W_{\text{耗水}}$ 有其特殊的定义^[4-5]。农业灌溉耗水量是指农田、林果、草场引水灌溉过程中,因蒸发消耗和渗漏损失而不能回归到黄河的水量;工业和城镇生活耗水量包括用户消耗水量和输排水损失量,为取水量与入河废污水量之差。

河道水面蒸发量 $W_{\text{蒸发}}$ 由沿河代表性雨量站、蒸发站的观测资料逐年推算而得。不同类型蒸发皿观测资料,根据黄河流域第二次水资源综合规划中给出的系数进行修正;河道水面面积,根据《黄河流域水文年鉴》中实测流量成果表中的水面宽,求出各月均值,乘以两站间距离求得。公式如下:

$$W_{\text{蒸发}} = ((E \times a) - P) \times A \quad (3)$$

收稿日期:2014-10-03

基金项目:国家科技支撑计划课题(2012BAB02B04);2013年中央分成水资源费项目(1261320157643)

作者简介:金双彦(1974-),女,山西夏县人,教授级高级工程师,博士,主要从事水文水资源研究。E-mail:jinshuangyan@swj.yrcc.gov.cn

式中: $W_{蒸发}$ 为河段水面净蒸发量 (10^8m^3); E 为河段年平均蒸发量(mm); a 为不同型号蒸发皿折算系数; P 为河段年平均降雨量(mm); A 为河段水道面积(km^2)。

3 引退水分析

3.1 引退水口门数量

宁夏回族自治区经黄河水利委员会批准设立的引水口门共 14 个,其中农业用途引水口门 8 个、工业用途引水口门 3 个、水力发电引水口门 2 个、生活用途引水口门 1 个^[6]。

为了真实地反映现状引退水情况,本次在 Google earth 上采用分辨精度 30m 的遥感图片,沿黄河干流宁夏河段逐一排查引退水口门,查得下河沿~石嘴山河段引退水口门总数为 140 个。

3.2 引水分析

将宁夏河段分为下河沿以上、下河沿~青铜峡、青铜峡~石嘴山和石嘴山以下河段共四部分。其中,下河沿以上美利渠引水+下河沿~青铜峡河段引水(不包括东干渠)为卫宁灌区引水,青铜峡~石嘴山河段引水+东干渠引水+石嘴山以下宁夏河段引水为青铜峡灌区引水。

卫宁灌区和青铜峡灌区的引水主要发生在 4~8 月和 11 月这 6 个月份,这正好与灌溉季节有关^[7];12~3 月这四个月份基本没有引水。

卫宁灌区年均引水量 $17.30 \times 10^8 m^3$,其中下河沿~青铜峡河段为 $17.23 \times 10^8 m^3$,年引水量总体上呈缓慢增大的趋势,但增幅不大。2003 年引水量最小,为 $10.89 \times 10^8 m^3$,2008 年引水量最大,为 $20.44 \times 10^8 m^3$,二者相差 $9.55 \times 10^8 m^3$ 。

青铜峡灌区年均引水量为 $50.80 \times 10^8 m^3$,其中青铜峡~石嘴山河段为 $44.67 \times 10^8 m^3$,年引水量总体上呈缓慢减少的趋势。与卫宁灌区相同,2003 年也是引水量最小的年份,年引水量 $36.38 \times 10^8 m^3$,分析原因是由于 2003 年黄河干流来水偏枯,灌区引扬黄河水量大幅度减少;1999 年引水量最大,达 $68.96 \times 10^8 m^3$;年最大引水量和最小引水量相差 $32.58 \times 10^8 m^3$ 。

3.3 退水分析

下河沿以上美利渠无退水,下河沿~青铜峡河段为卫宁灌区退水,青铜峡~石嘴山河段为青铜峡灌区退水,石嘴山以下无退水。

卫宁灌区和青铜峡灌区的退水主要发生在 5~8 月和 11 月这 5 个月份,这与灌区的引水量年内变化趋势相

对应。与引水量年内变化不同的是灌区全年都有退水。

卫宁灌区年均退水量为 $7.90 \times 10^8 m^3$,退水量年际变化起伏很大。其中,2009 年退水量最小,仅 $6.27 \times 10^8 m^3$;2007 年退水量最大,达 $11.08 \times 10^8 m^3$;最小和最大年份相差 $4.81 \times 10^8 m^3$ 。

青铜峡灌区年均退水量为 $27.52 \times 10^8 m^3$,总体上呈缓慢下降的趋势。其中,2003 年退水量最小,为 $19.23 \times 10^8 m^3$,这与 2003 年也是青铜峡灌区引水量最小的年份有关;1999 年退水量最大,达到 $40.53 \times 10^8 m^3$;最小和最大年份相差 $21.3 \times 10^8 m^3$ 。

3.4 引退水关系

卫宁灌区排引比(退水量与引水量的比值)平均为 0.46,最大为 0.64,最小为 0.35(见图 1)。除了 2003 年,其余年份引水量相对比较接近,在 $16 \times 10^8 m^3 \sim 20 \times 10^8 m^3$ 之间变动,退水量变动范围较大,与引水量之间没有明显的相关关系,不存在引水量大退水量就大的现象(见图 2)。

青铜峡灌区排引比平均为 0.54,最大为 0.63,最小为 0.46。退水量与引水量关系很好,二者之间存在明显的“大引大排”现象(图略)。

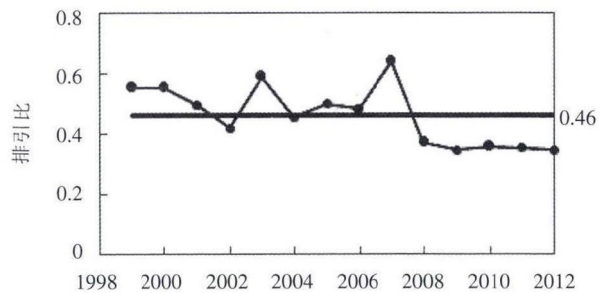


图 1 卫宁灌区 1999~2012 年排引比

Fig.1 The ratio of water recession-diversion in Weining irrigation district during 1999-2012

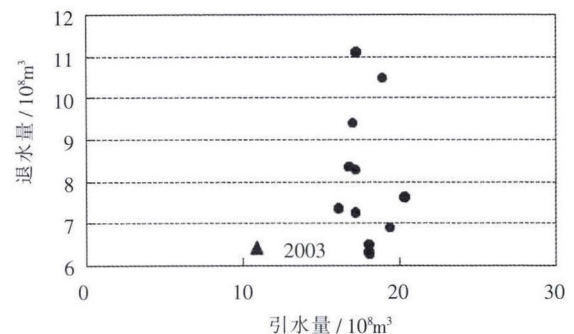


图 2 卫宁灌区 1999~2012 年引退水关系图

Fig.2 The relation of water diversion-recession in Weining irrigation district during 1999-2012

4 耗水量分析

4.1 引退水法计算耗水量

宁夏灌区引、排水量控制较好,17处引水、扬水量监测站点控制全灌区引水量98%以上。排水量通过驻测、巡测、调查等多种手段,控制全灌区排水量90%以上^[8-9]。

(1)引水量。下河沿以上为美利渠引水,下河沿~青铜峡河段为跃进渠、七星渠、中宁电厂黄河取水泵房、固海扬水泉眼山泵站、扶贫扬黄泉眼山黄河泵站和东干渠引水,青铜峡~石嘴山河段为河东总干渠和河西总干渠引水,石嘴山以下为石嘴山电厂河心泵房、石嘴山市供排水总公司取水泵房、石嘴山电厂河心泵房引水,各河段引水量之和为宁夏河段总引水量。

(2)退水量。宁夏河段退水量包括卫宁灌区、青铜峡灌区退水量以及清水河回归水^[10]。卫宁灌区退水包括河北灌区的第一排水沟等,河南灌区的第九排水沟、北河子沟、南河子沟、红柳沟等;青铜峡灌区退水包括河东灌区的金南干沟、清水沟、苦水河等5条排水沟,河西灌区的中沟、中滩沟、反帝沟、胜利沟等13条排水沟,以及少量的陶乐灌区退水。

(3)耗水量。宁夏河段平均耗水量为 $32.64 \times 10^8 \text{m}^3$,年最大耗水量为 $38.75 \times 10^8 \text{m}^3$ (2008年),年最小耗水量为 $21.61 \times 10^8 \text{m}^3$ (2003年),除了2003年和2012年,其余年份耗水量均位于 $(30.0 \sim 38.75) \times 10^8 \text{m}^3$ 之间(见表1)。

4.2 水量平衡法计算耗水量

(1)已控加入水量。下河沿~青铜峡河段为清水河泉眼山站和红柳沟鸣沙洲站实测径流量之和,青铜峡~石嘴山河段为苦水河郭家桥站实测径流量,实测资料系列均为1999~2012年。

(2)未控加入水量。下河沿~青铜峡河段未控加入水量由清水河和红柳沟多年平均径流系数乘以未控集水面积求得,青铜峡~石嘴山河段由苦水河多年平均径流系数乘以未控面积求得。

(3)水面蒸发。选沿河代表性雨量站、蒸发站观测资料逐年推算。

(4)宁夏河段耗水量。宁夏河段耗水量=下河沿和美利渠实测+下河沿~石嘴山区间合计-石嘴山实测,区间合计=已控加入+未控加入-水面蒸发。宁夏河段平均耗水量为 $39.37 \times 10^8 \text{m}^3$,最大耗水量 $51.23 \times 10^8 \text{m}^3$,发生在2005年,最小耗水量 $32.01 \times 10^8 \text{m}^3$,发生在2003年(见表2)。

4.3 两种方法对比分析

对比两种方法计算结果,可以看出,水量平衡法计算的耗水量整体上比引退水法计算的耗水量大。水量平衡法多年平均耗水量为 $39.37 \times 10^8 \text{m}^3$,引退水法为 $32.64 \times 10^8 \text{m}^3$,二者相差 $6.73 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

5 结论与建议

(1)宁夏河段引水主要发生在4~8月和11月,1999~2012年平均引水量为 $68.10 \times 10^8 \text{m}^3$ 。其中,卫宁

表1 宁夏河段1999~2012年引退水法耗水量计算结果(10^8m^3)

Table 1 The water consumption in the Ningxia reach during 1999-2012 by water diversion-recession method(10^8m^3)

年份	宁夏河段	省界~下河沿	下河沿~青铜峡	青铜峡~石嘴山	石嘴山~省界
1999	36.868	6.021	7.579	21.881	1.387
2000	35.783	5.239	7.130	21.850	1.563
2001	32.173	4.702	8.259	17.102	2.110
2002	30.411	4.585	9.923	14.339	1.564
2003	21.613	2.406	5.103	12.030	2.075
2004	33.727	4.381	8.662	18.385	2.298
2005	35.416	4.121	9.013	20.151	2.132
2006	35.258	4.749	9.035	18.241	3.234
2007	31.354	4.521	5.947	19.570	1.316
2008	38.748	4.799	12.798	20.058	1.092
2009	36.195	4.637	11.678	18.324	1.556
2010	30.019	4.489	12.278	12.718	0.534
2011	31.727	5.636	11.734	13.815	0.541
2012	27.657	4.677	11.371	11.175	0.433
均值	32.639	4.640	9.322	17.117	1.560

表2 黄河宁夏河段1999~2012年水量平衡法耗水量计算结果(10⁸m³)

Table 2 The water consumption in the Ningxia reach of the Yellow river during 1999-2012 by water balance method(10⁸m³)

年份	下河沿+	区间				合计	下河沿+区间	石嘴山	计算耗水量
	美利渠实测径流量	已控加入	未控加入	水面蒸发	实测径流量				
1999	268.8	2.5529	1.093	0.867	2.779	271.58	227.6	43.98	
2000	235.3	1.8766	0.971	0.637	2.211	237.51	204.7	32.81	
2001	216.0	2.1664	1.023	0.735	2.454	218.45	181.1	37.35	
2002	218.0	2.0988	1.011	0.712	2.398	220.40	183.9	36.50	
2003	202.4	1.7511	0.949	0.594	2.106	204.51	172.5	32.01	
2004	220.0	2.5462	1.092	0.864	2.774	222.77	178.7	44.07	
2005	271.3	2.9262	1.160	0.993	3.093	274.43	223.2	51.23	
2006	278.1	4.0411	1.506	1.120	4.427	282.53	233.6	48.93	
2007	283.3	4.0577	1.254	1.140	4.172	287.47	244.6	42.87	
2008	263.1	3.1382	1.123	1.060	2.701	265.80	224.8	41.00	
2009	283.7	3.2380	1.300	1.150	3.388	287.09	241.6	45.49	
2010	295.0	3.3895	1.240	1.190	3.439	298.44	262.5	35.94	
2011	277.4	3.0615	1.108	1.120	3.050	280.45	241.2	39.25	
2012	374.4	2.2310	1.082	1.080	2.233	376.66	356.9	19.76	
平均	263.3	2.7911	1.137	0.947	2.945	266.29	226.9	39.37	

灌区 17.30×10⁸m³, 总体呈缓慢增大趋势; 青铜峡灌区为 50.80×10⁸m³, 呈缓慢减少趋势。

(2) 宁夏河段退水主要发生在 5~8 月和 11 月, 1999~2012 年平均退水量为 35.42×10⁸m³。其中, 卫宁灌区 7.90×10⁸m³, 年际变化很大; 青铜峡灌区 27.52×10⁸m³, 年际变化呈缓慢下降的趋势。

(3) 卫宁灌区 1999~2012 年引排比平均为 0.46, 二者之间没有太明显的关系; 青铜峡灌区引排比平均为 0.54, 退水量与引水量关系很好, 二者之间存在明显的“大引大排”现象。

(4) 引退水法 1999~2012 年宁夏河段平均耗水量为 32.64×10⁸m³, 年际变化相对比较平缓, 除 2003 年和 2012 年, 其余年份耗水量在 30.0~38.9×10⁸m³ 之间变化。

(5) 水量平衡法 1999~2012 年宁夏河段平均耗水量为 39.37×10⁸m³, 年际变化非常明显, 最大耗水量为 51.23×10⁸m³, 最小耗水量为 19.76×10⁸m³。

(6) 建议加强实际引退水口门的核实和引退水的监测工作, 从而进一步分析引退水法和水量平衡法耗水量区别明显的原因。

参考文献:

[1] 可素娟, 周康军. 黄河流域水资源一体化管理机制研究[J]. 人民黄河, 2007, 29(1): 5-7. (KE Sujuan, ZHOU Kangjun. Study on the mechanism of integrated water resources management in the Yellow River basin [J]. Yellow River, 2007, 29(1): 5-7. (in Chinese))

[2] 李国英. 维持黄河健康生命[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005. (LI Guoying. Keep Healthy Life of the Yellow River[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2005. (in Chinese))

[3] 黄河水利委员会水文局. 黄河流域水文年鉴 (1999-2012) [R]. 2000-2013. (Hydrology Bureau of Yellow River Conservancy Commission. Hydrology Year Book of Yellow River Basin (1999-2012) [R]. 2000-2013. (in Chinese))

[4] 张学成, 王玲, 司凤林. 黄河河川径流耗水量预测分析[J]. 水利水电技术, 2001, 32(6): 8-11. (ZHANG Xuecheng, WANG Ling, Si Fenglin. Analysis of water consumption prediction of the Yellow River runoff [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2001, 32(6): 8-11. (in Chinese))

[5] 张学成, 刘昌明, 李丹颖. 黄河流域地表水损耗分析[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 79-86. (ZHANG Xuecheng, LIU Changming, LI Danying. Analysis on Yellow river surface runoff consumption [J]. Acta Geographica Sinica, 2005, (60), (1): 79-86. (in Chinese))

[6] 黄河上中游管理局. 黄河上中游流域取水许可监督管理资料汇编[R]. 2011. (The Upper and Middle Reaches of the Yellow River Bureau. Data compilation of water permit regulatory in the Yellow river upper and middle reaches [R]. 2011. (in Chinese))

[7] 张学英, 包淑萍, 冯平秀. 卫宁灌区地下水动态规律及影响分析[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(6): 103-105. (ZHANG Xueying, BAO Shuping, FENG Pingxiu. Analysis on the dynamic rule and impact of groundwater in Weining irrigation district [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2007, 18(6): 103-105. (in Chinese))

[8] 赵文骏. 宁夏河套灌区引用黄河水量分析研究[J]. 中国农村水利水电, 1999, (11): 4-7. (ZHAO Wenjun. Research on water diversion from the Yellow river water in Hetao irrigation area of Ningxia [J]. China Rural Water and Hydropower, 1999, (11): 4-7. (in Chinese))

- [9] 宁夏回族自治区水利厅. 宁夏回族自治区县/区水资源详查报告[R]. 2010. (Water Conservancy Bureau Ningxia Hui Autonomous Region. Survey Report on the Water Resource in the Ningxia Hui Autonomous Region[R]. 2010. (in Chinese))
- [10] 宁夏水文水资源勘测局. 宁夏水资源公报[R]. 2011. (Ningxia Hydrology and Water Resources Survey Bureau. Ningxia water resources bulletin[R]. 2011. (in Chinese))

Analysis of Water Consumption in Ningxia Reach of Yellow River Since Integrated Regulation

JIN Shuangyan, ZHANG Ping, ZHANG Chunlan, MA Zhijin

(Yellow River Institute of Hydrology and Water Resources, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: The annual allocation, inter-annual variation and relation of water diversion and water recession were analyzed for the period during 1999–2012 of the Yellow River integrated water regulation in the Ningxia reach. Water consumption in the Ningxia reach was calculated with the methods of water diversion–recession and water balance. The mean water consumption from water diversion–recession method is 3.264 billion m³ and annual variability of which is relatively flat. The result of water balance method is 3.937 billion m³ and annual variation is obvious.

Key words: water consumption; water diversion–recession method; water balance method; quantity of water diversion; quantity of water recession; Ningxia Reach; integrated water regulation

(上接第 60 页)

- [6] 北京市地质矿产勘查开发局,中科院地质与地球物理研究所.北京地区岩溶地下水资源研究与开发利用工程可行性研究报告 [R]. 2001. (Geology and Mineral Resources Exploration of Beijing, Institute of Geography and Geophysics, Chinese Academy of Sciences. Feasibility study report of research and exploration of karst groundwater resources in Beijing [R]. 2001. (in Chinese))
- [7] 北京市地质矿产局. 北京市区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1991:51–90.(Geology and Mineral Resources Bureau of Beijing. Regional Geology of Beijing Municipality [M]. Beijing: Geology Press, 1991:51–90. (in Chinese))
- [8] 鲍亦冈,刘振锋,王世发,等. 北京市岩石地层[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1996:37–97.(BAO Yigang, LIU Zhenfeng, WANG Shifa, et al. Beijing Lithostratigraphy [M]. Beijing: China Geological Press, 1996:37–97.(in Chinese))
- [9] 张吉顺,善文琅. 北京西山地质研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990:78–125.(ZHANG Jishun, SHAN Wenlang. Research on Geology in Xishan Area of Beijing [M]. Wuhan: China Geological Press,1990:78–125.(in Chinese))

Application of Remote Sensing Technology in Division of Karst Water Systems in west Beijing

CAO Ying¹, WANG Hongbin¹,WANG Qiangqiang¹, LI Liangjing¹, JI Yiqun²

(1. Beijing Institute of Geology, Beijing 100120, China; 2. Hydrogeology and Engineering Geology Team of Beijing, Beijing 100195, China)

Abstract: Karst water is an important part of the Beijing groundwater. The division of karst water is helpful for choosing evaluation methods, exploitation ways and protection measures of different karst water systems. The survey was based on the remote sensing images of SPOT5 in 2011. On the basis of image pre-processing and the existing working foundation, and in combination with the field examination and artificial interpretation, this research obtained the spatial distribution characteristics of geological formations, topography and geomorphology, drainage system. By analyzing the relation between each factor and the development of karst, we divided into two level of karst water system in west Beijing, including four level I and five level II. Compared with the previous classification results, we hope to provide technical support for karst water development and utilization in west Beijing.

Key words: karst water system; remote sensing; system division; west Beijing