

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.01.016

卧虎山水库对济南泉水影响的定量分析

刘 江¹ 李 波² 杨增元¹ 杜雪梅¹

(1. 山东省水文水资源勘测局, 山东 济南 250014; 2. 山西省第三地质工程勘测院, 山西 晋中 030620)

摘要 分析计算了卧虎山水库建成运行后对其下游济南泉域岩溶水补给量的影响, 包括河道水文特征变化对地下水补给量的影响、水库灌区农业灌溉对地下水补给量的影响、利用水库放水进行人工回灌对地下水的影响, 进一步分析计算了卧虎山水库对济南泉水流量的影响程度。在不考虑其他因素的情况下, 卧虎山水库的拦蓄运行使四大泉群的泉流量削减了 11.8%。

关键词 卧虎山水库; 济南泉域; 岩溶水; 泉流量

中图分类号: P641.73 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2012)01-0067-04

Quantitative analysis of influences of Wohushan Reservoir on Jinan karst spring basin

LIU Jiang¹, LI Bo², YANG Zeng-yuan¹, DU Xue-mei¹

(1. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Shandong Province, Jinan 250014, China;

2. The Third Institute of Geological Engineering Exploration of Shanxi Province, Jinzhong 030620, China)

Abstract : The influences of operation of the Wohushan Reservoir on the recharge of groundwater of the Jinan karst spring basin downstream of the reservoir were analyzed, including the changes of hydrological characteristics of watercourses, the agricultural irrigation in the reservoir irrigation district, and the artificial recharge through water discharge from the reservoir. Based on these factors, the quantitative influences of the Wohushan Reservoir on the Jinan karst spring basin were analyzed. The results show that the spring discharge of the four spring groups was reduced by 11.8% through operation of the Wohushan Reservoir, without consideration of other factors.

Key words : Wohushan Reservoir; Jinan karst spring basin; karst water; spring discharge

济南以泉水闻名, 泉水是济南的特色和灵魂。

济南南部山区是济南泉域地下水的重要补给来源, 卧虎山水库建成后, 天然状态下的玉符河流域水循环模式发生了根本性改变, 出现了人工侧支循环圈, 形成“天然-人工”双驱动力作用下的流域“二元”水循环模式^[1]。这种“二元”模式导致玉符河流域水资源情势的演变, 地表水与地下水的转化受到很大影响, 从而影响了泉水流量的大小。

目前有关济南市的水资源评价大多是采取分区集总式的评价方法, 缺乏单一因子对水资源的空间变异特征影响的专门研究。对于卧虎山水库这一区域最大的下垫面变化因子, 其对区域地下水补给量影响究竟有多大, 至今没有定量的计算研究。本文

计算了卧虎山水库对区域岩溶水补给量的影响, 进而分析对泉流量的影响。

1 研究区概况

1.1 济南泉域

济南泉域位于泰山穹隆的北翼, 总体上是以古生代地层为主体的北倾单斜构造。出露地层为太古界泰山岩群(Art), 古生界寒武系($\in$), 奥陶系(O), 石炭系(C), 二叠系(P)和新生界第四系, 泉域北部分布有中基性侵入岩体。泉域东边界为东坞断裂, 西边界为马山断裂(长清西关以北为透水段), 南边界为地表分水岭, 北以济南岩浆岩体和石炭、二叠系煤系地层为界, 面积为 1 486 km² [2]。

1.2 玉符河

玉符河发源于济南南部山区的锦绣、锦阳、锦云三川。三川汇入卧虎山水库,流出水库后始称玉符河,由南向北径流,注入黄河,全长 41 km。

玉符河是典型的漏河。自水库大坝至潘村出山口为玉符河上游河段,共 17.5 km,属于山间河谷,是河水直接补给岩溶地下水的主要河段;潘村至北店子村入黄口为玉符河下游河段,处于冲积扇上,河水与第四系孔隙水有直接联系,与岩溶水没有直接联系。玉符河上游河段地表河水渗漏条件好,渗漏量大。尤其是渴马至潘村段是河水的强渗漏地段,河床卵石层厚达 10 m,直接覆盖在张夏灰岩岩溶带上,河水通过卵石空隙迅速进入地下,根据水文观测和有关试验^[3]研究,玉符河上游河段河道渗漏能力为 15 m³/s,即,从卧虎山水库坝址处来水流量小于 15 m³/s 时,河水在出山口之前就能全部渗入地下,来水流量大于 15 m³/s 时,多余部分可进入下游河道。

玉符河下渗的河水是济南泉域岩溶水的重要补给来源。

1.3 卧虎山水库

卧虎山水库位于济南泉水的间接补给区,水库控制流域面积 557 km²(图 1),库区多年平均降水量 698 mm,径流量 5 517 万 m³,兴利库容 3 698 万 m³。建库初期,水库以防洪、农业灌溉为主,1988 年被确立为饮用水水源地,年均供水量 2 000 万 m³。

2 卧虎山水库对泉域岩溶水补给量的影响

卧虎山水库对济南泉域岩溶水补给量的影响主要表现在以下 3 方面:河道水文特征变化对地下水补给量的影响、水库灌区农业灌溉对地下水补给量的影响、利用水库放水进行人工回灌对地下水的影响。

表 1 天然及人工调蓄状态下玉符河径流量对比

年份	状态	月径流量/万 m ³												全年平均/ 万 m ³
		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
1975	天然	336	265	224	227	410	513	2024	1 209	1 893	818	362	245	8 524
	调蓄	345	28	31	30	255	1 330	1 462	704	30	722	874	244	6 053
1979	天然	217	178	537	364	446	608	1 486	1 066	746	181	443	508	6 781
	调蓄	31	28	303	602	1 213	527	419	485	535	31	846	511	5 531
1981	天然	197	136	487	264	411	165	219	251	162	110	111	110	2 624
	调蓄	393	28	657	669	760	30	122	186	30	31	52	53	3 012
1989	天然	102	87	78	103	20	35	170	47	8	11	7	2	669
	调蓄	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
1994	天然	247	156	112	263	79	1 154	6 948	6 398	1 979	592	564	146	18 637
	调蓄	165	164	31	30	31	662	5 709	5 789	1 767	908	30	145	15 431
2000	天然	77	59	85	66	8	17	41	2 338	639	714	361	252	4 657
	调蓄	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366
多年平均	天然	141	106	166	188	198	352	1 509	2 182	1 042	476	276	208	6 843
	调蓄	94	75	87	124	262	313	760	1 465	616	217	229	165	4 407
	差值	47	31	79	64	-64	39	749	717	426	259	47	43	2 436

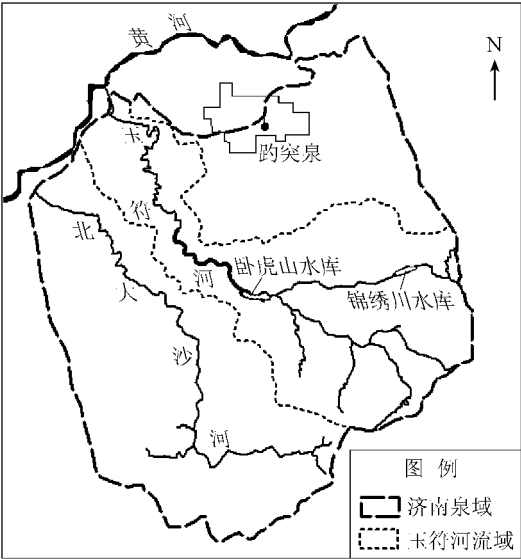


图 1 研究区地理位置

2.1 河道水文特征变化对岩溶水补给量的影响

2.1.1 河道水文特征变化

在卧虎山水库建成运行之前,水库大坝附近河道长年有水,水库建成以后,水量经过水库的拦截调蓄,被用于灌溉和城市生活用水,河道流量减少,河道径流的年内、年际变化特征也发生了很大改变。通过对大坝处河道径流进行还原计算(表 1),可知多年平均(1971—2004 年,下同)卧虎山水库坝下河道天然径流量 6 843 万 m³/a,人工调蓄后河道实际径流量 4 407 万 m³/a,减少了 35.6%。

2.1.2 岩溶水补给量的变化

根据前面分析,玉符河上游河段的渗漏能力为 15 m³/s,即当来水量小于 15 m³/s 时,在该河段能够全部渗入地下补给岩溶水,当来水流量大于 15 m³/s 时,超过 15 m³/s 的流量进入下游河道。根据这一结论分别计算出天然条件下的历年逐月岩溶水补给

表 2 典型年及多年平均玉符河水对岩溶水补给量

年份	状态	月补给量/万 m ³												全年/ 万 m ³
		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
1975	天然	336	265	224	227	410	513	1 733	1 135	1 596	818	362	245	7 862
	调蓄	314	0	0	0	224	1 300	1 431	673	0	691	844	213	5 688
1979	天然	217	178	537	364	446	608	1 486	1 066	746	181	443	508	6 781
	调蓄	0	0	272	572	1 182	497	388	454	505	0	816	480	5 166
1981	天然	197	136	487	264	411	165	219	251	162	110	111	110	2 624
	调蓄	362	0	626	639	729	0	91	155	0	0	22	22	2 647
1989	天然	102	87	78	103	20	35	151	47	8	11	7	2	650
	调蓄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	天然	247	156	112	263	79	529	3 772	3 035	1 836	592	564	146	11 330
	调蓄	134	136	0	0	0	632	2 659	2 803	1 595	877	0	114	8 950
2000	天然	77	59	85	66	8	17	41	1 386	639	714	361	252	3 704
	调蓄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
多年平均	天然	141	106	166	172	198	306	1 075	1 549	945	469	276	208	5 611
	调蓄	63	47	56	94	231	283	490	831	444	186	199	134	3 057
	差值	78	59	110	78	- 33	23	585	718	501	283	77	74	2 554

量 ,及水库建成运行后实际历年逐月岩溶水补给量 ,对照两种情况下的岩溶水补给量 ,分析玉符河河道水文特征变化对岩溶水补给影响。

玉符河上游河段河水对地下水的补给量按以下方法计算 :当河道来水量小于 15 m³/s 时 ,地下水补给量等于河道径流量 ;当河道来水量大于 15 m³/s 时 ,地下水补给量采用下式计算 :

$$Q = 15\Delta t$$

式中 :Q 为地下水补给量 m³ ;Δt 为相应时间间隔 s。

计算结果 :天然条件下卧虎山水库坝下玉符河水补给岩溶水 5 611 万 m³/a ,人工调蓄后玉符河水补给岩溶水 3 057 万 m³/a ,比天然条件下减少了 45.5%(表 2)。

2.2 水库灌区农业灌溉对岩溶水补给量的影响

卧虎山水库灌区地层为双层结构 ,上覆第四系松散层厚度从数米至十数米 ,岩性以亚砂土和亚黏土为主 ,下伏地层主要为寒武系张夏组灰岩及凤山组灰岩 ,在该地区张夏组及凤山组灰岩岩溶发育 ,上覆第四系孔隙水都能迅速渗漏补给到下伏岩溶水系统。

卧虎山水库灌区主要沿玉符河分布 ,设计灌溉面积 55.3 km² ,有效灌溉面积 44.7 km²。灌区作物主要为小麦与玉米、花生、地瓜间作。多年平均灌溉水量为 1 324 万 m³/a ,灌溉以大水漫灌为主 ,灌溉入渗补给地下水量为 252 万 m³/a。

因此 ,卧虎山水库灌区多年平均农业灌溉补给地下岩溶水 252 万 m³/a。

2.3 回灌补源对泉域岩溶水的影响

济南市为了保护泉水景观 ,自 2001 年开始充分利用玉符河流域的地形、地层、地质构造及水动力等自然条件 ,数次从卧虎山水库放水补源。据有关监测分析成果 ,补源水量全部在玉符河上游渗入地下

补给了岩溶水 ,对市区泉群水位动态影响明显。

虽然回灌补源对于保泉作用明显 ,但是由于卧虎山水库同时担负着为城市生活及农业灌溉供水的任务 ,因此 ,可用于回灌补源的水量有限 ,如何解决好保泉与供水的矛盾 ,还需要统筹当地水源及客水水源 ,做好科学调度^[4]。

2.4 卧虎山水库对区域岩溶水补给影响总量

玉符河河道水文特征变化对区域岩溶水补给量带来的影响是负影响 ,即减少了岩溶水补给量 ;水库灌区农业灌溉和人工回灌补源对区域岩溶水补给量的影响是正影响 ,即增加了岩溶水补给量。在进行还原计算 ,分析河道水文特征变化对区域岩溶水补给量的影响时 ,已考虑了人工回灌补源引起的河道径流量变化。因此 ,卧虎山水库对区域岩溶水补给影响总量等于玉符河河道水文特征变化对区域岩溶水补给量带来的影响与水库灌区农业灌溉对区域岩溶水补给量的影响的代数和 ,其影响量为 2 302 万 m³/a ,即由于卧虎山水库的建设 ,平均每年玉符河流域减少 2 302 万 m³ 对济南泉域岩溶水的补给量。

3 卧虎山水库对济南泉水影响程度分析

3.1 济南泉水流量衰减情况

自 1959 年有监测记录以来 ,济南泉水喷涌状况可分为 4 个阶段^[5] :①高水位常年喷涌期(1959—1968 年) ,该时期四大泉群长年喷涌 ,只有 1968 年个别泉群出现季节性断流 ,泉水平均流量为 34.5 万 m³/d ;②季节断流期(1969—1980 年) ,该时期四大泉群由全部常年喷涌转为仅个别泉群常年喷涌 ,高水位泉群出现季节断流。泉水平均流量 15.5 万 m³/d ;③低水位经常断流期(1981—2002 年) ,该时期四大泉群基本上每年均出现春季断流现象 ,甚至全年断

流。泉水平均流量 4.56 万 m³/d。④泉水流量恢复期(2003—2009 年),自 2003 年 9 月 6 日趵突泉又一次复涌以来,四大泉群已持续喷涌,泉水平均流量 12.8 万 m³/d。

可见,济南泉水喷涌量呈明显衰减趋势。
影响泉水流量的因素主要有大气降水量的变化、地下水人工开采量变化、下垫面条件的改变对地表、地下水转化的影响等 3 个方面。卧虎山水库则属于下垫面条件改变的一个因子。

3.2 卧虎山水库对济南泉水影响程度

据有关研究,济南泉域总面积 1 486 km²,多年平均岩溶水补给量 19 453 万 m³/a(53.3 万 m³/d)。自 1959 年开始,济南市区 4 大泉群具有系统的泉水水位及泉流量的监测资料。监测序列的前 10 年(1959—1968 年),人类活动对济南泉水的影响相对较小,泉域下垫面条件变化不大,泉域岩溶水人工开采量较小。1959—1968 年泉域平均年降水量为 698.3 mm,与泉域多年平均(1956—2006 年)年降水量 687.5 mm 基本相当,因此,可以把 1959—1968 年的泉水喷涌状况作为天然条件下的背景值。
天然条件下(1959—1968 年),市区 4 大泉群平

均涌水量为 12 592.5 万 m³/a(34.5 万 m³/d),占泉域岩溶水年总补给量的 64.7%。按同样比例分配,卧虎山水库对泉域岩溶水补给影响总量 2 302 万 m³/a(6.3 万 m³/d),其中对泉流量的影响为 1 489.3 万 m³/a(4.08 万 m³/d),占天然条件下泉流量的 11.8%,即在不考虑其他因素的情况下,卧虎山水库的拦蓄运行使市区四大泉群的泉流量削减了 11.8%。

参考文献:

[1] 刘家宏,秦大庸,王浩,等.海河流域二元水循环模式及其演化规律[J].科学通报,2010(6):512-521.
[2] 徐军祥,邢立亭,佟光玉,等.济南泉域地下水环境演化与保护[J].水文地质工程地质,2004,31(6):69-73.
[3] 吴兴波.济南人工回灌补源保泉试验研究[D].武汉:武汉大学,2004.
[4] BOUWER H. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering[J]. Hydrogeology Journal, 2002, 10(1): 121-142.
[5] 邢立亭.济南泉域岩溶水环境保护[J].水利科技与经济,2000(9):601-604.

(收稿日期 2010-11-16 编辑 高渭文)

(上接第 50 页)

[5] 王辉,甘艳辉,马兴华,等.长江源区气候变化及其对生态环境的影响分析[J].青海科技,2010,17(2):11-15.
[6] 曹建廷,秦大河,罗勇,等.长江源区 1956—2000 年径流变化分析[J].水科学进展,2007,18(1):29-33.
[7] 谢昌卫,丁永建,刘时银,等.长江-黄河源寒区径流时空变化特征对比[J].冰川冻土,2003,25(4):414-421.
[8] 杨建平,丁永建,刘时银,等.长江黄河源区冰川变化及其对河川径流的影响[J].自然资源学报,2003,18(5):595-602.
[9] 时兴和,秦宁生,许维俊,等.1956—2004 年长江源区河川径流量的变化特征[J].山地学报,2007,5(5):513-523.
[10] 常国刚,李林,朱西德,等.黄河源区地表水资源变化及其影响因子研究[J].地理学报,2007,62(3):312-320.
[11] 李林,王振宇,秦宁生,等.长江上游径流量变化及其与影响因子关系分析[J].自然资源学报,2004,19(6):694-700.
[12] 高桥浩一郎.从月平均气温、月降水量来推断蒸发的公式[J].天气,1979,26(12):29-32.
[13] 荣艳淑,周云,王文.淮河流域蒸发皿蒸发量变化分析[J].水科学进展,2011(1):15-22.
[14] 荣艳淑,余锦华,屠其璞.华北地区各区域动力和热力蒸发特征的研究[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(6):614-617.
[15] 杨针娘,王强,朱守森.祁连山北坡寒区水文对气候变

化的响应[J].冰川冻土,1996,18(S1):305-313.
[16] 施雅风.气候变化对西北华北水资源的影响[M].济南:山东科学出版社,1995.

(收稿日期 2011-05-11 编辑 高渭文)

