

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.06.010

李景远, 吴巍, 周孝德, 等. 干旱区库坝工程对地下水的影响[J]. 水利水运工程学报, 2015(6): 68-75. (LI Jing-yuan, WU Wei, ZHOU Xiao-de, et al. Impacts given by reservoir works on groundwater in arid area[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(6): 68-75.)

干旱区库坝工程对地下水的影响

李景远, 吴巍, 周孝德, 吴皎, 焦露慧

(西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安 710048)

摘要: 为揭示干旱区库坝工程对车尔臣河中下游地下水位的影响, 基于水文地质、气候变化以及当地灌溉等相关数据, 应用 GMS 构建地下水模型, 对地下水流场的变化进行了模拟预测研究。结果表明: ①车尔臣河流域模拟区地下水多年均衡量为 $1\ 170.74 \times 10^4\ \text{m}^3$, 表现为微弱正均衡, 多年地下水水位上升约 13 mm, 地下水水位总体呈现微弱上升趋势; ②从整个区域角度而言, 建坝前后地下水流场趋势并没有出现显著变化, 但是局部地区流场变化较明显, 主要是灌区和下游入湖区段, 受影响的地下水位变幅为 0.4~0.8 m, 而南北两侧可能受影响宽度范围约 1 km。

关键词: 干旱区; 库坝工程; 地下水; 数值模拟; 概念模型

中图分类号: P641.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2015)06-0068-08

地下水由于自身动态稳定、分布广泛、水量丰富、水质优良等特点^[1], 在维持干旱区脆弱的生态环境中发挥着不可替代的生态调控作用, 自 20 世纪 70 年代以后, 国内外学者对地下水数值模拟进行了大量研究。目前国外地下水数值模拟领域的研究主要针对数值模拟法的薄弱环节, 提出新的思维方法, 采用新的数学工具, 分析不同尺度下的变化情况, 并开发了许多地下水系统数值模拟软件^[2]。如 A. Mazzia 等^[3]提出用于求解重盐地下水运移模拟的二维非线性动力学控制过程的特别的数值方法; Li Shu-guang 等^[4]指出数值模型还不能解决预报的不确定性因素问题, 并开创性地提出一种可以解决均值分布和小尺度过程的不同尺度问题的随机地下水模型等。国内学者更倾向于将地下水模型应用于实际工程, 解决民生问题, 在实际工程中理论和方法不断创新。如白利平等^[5]应用 GMS 对临汾盆地地下水进行了数值模拟; 王宏等^[6]应用 GMS 对石家庄地下水系统进行数值模拟; 陈喜等^[7]应用 MODFLOW 对美国 Sand Hill 地区地下水进行了模拟等。目前, 地下水模拟主要针对溶质运移、地下水脆弱性以及地下水资源量等进行研究分析, 而水利枢纽工程建设对下游地下水的扰动影响及其植被需水量的模拟分析还有待进一步提高。

水利枢纽工程在干旱区极为重要, 为国家经济发展服务的同时, 也对天然生态系统产生巨大的影响^[8-9], 对地下水流场的扰动影响也尤为突出。本文利用 GMS 软件构建研究区的三维地下水模型^[10-12], 通过模拟预测, 获得工程建设前后地下水流场的变化情况, 为且末县耕地的合理规划, 下游沿河林草带的防护以及入湖口附近的生态治理提供科学依据。

1 研究区概况

车尔臣河是塔里木盆地东南缘年径流量最大的河流, 年平均径流量约 $7.84\ \text{亿}\ \text{m}^3$, 河道全长 813 km, 上

收稿日期: 2015-05-08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973 计划)资助项目(2012CB723201)

作者简介: 李景远(1989—), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事水力学及河流动力学研究。

E-mail: 18706849168@163.com

游穿行于崇山峻岭之中,中游贯穿于山前冲洪积扇砾质平原和冲洪积平原,下游为荒漠平原,流域下游入若羌县境内,最终注入台特玛湖。流域总的地势是南高北低,下游西高东低,自南向北划分为基岩山区、冲洪积扇砾质平原区、冲洪积细土平原和风积沙漠4个地貌单元。

大石门水利枢纽工程位于新疆巴州且末县境内的车尔臣河干流上,坝址位于车尔臣河出山口与支流托其里萨依交汇口下游约300 m处,工程距且末县城约98 km,距库尔勒市约756 km,交通较为便利。大石门水利枢纽工程是车尔臣河流域规划中确定的近期开发的重点控制性枢纽工程,是一项承担防洪、发电和灌溉任务的综合利用水利枢纽工程。

2 地下水数值模拟

2.1 水文地质概念模型

模拟预测范围为沿车尔臣河流向的一个条带区域,南部边界以车尔臣河南侧约5 km为界,条带区西南角为大石门水利枢纽上坝址断面处,北部以车尔臣河以北(约5 km)与塔克拉玛干沙漠流域的自然边界为界的沿线边界,西至自然流域边界,东至靠近台特玛湖的入湖区断面,整个模拟区面积总计约5 821 km²(见图1)。

(1)含水层系统。研究区为单一结构的潜水含水层,主要分布的是大厚度的砂卵砾石,厚约200 m,其中上部为第四系上更新统冲积砂卵砾石,下部为第四系中更新统冲积砂卵砾石。第四系存在一定的非均质特征,但不同方向上的渗透性差异较小,因而将第四系松散含水介质概化为非均质各向同性。

(2)水动力条件。模拟区含水层厚度大,第四系含水层分布较广,同时地下水位随时间变化而变化,因此将地下水运动概化为准三维的非稳定地下水系统^[13]。

(3)边界条件。①侧向边界:模拟区上游南侧为山前侧向补给边界(EF),大石门坝址断面处(AG)设置为第二类流量补给边界,FG段与区域地下水等水位线近于垂直,概化为零流量边界;北侧近于沙漠区自然边界,分成两段,BC段为北侧荒漠区侧向流出边界,CD段与区域地下水等水位线近于垂直,侧向交换微弱,概化为零流量边界;西侧AB段为流域自然边界,概化为零流量边界;DE段为东侧入湖边界,模型模拟区内的地下水均朝此处径流排泄,故概化为侧向流出边界。②垂向边界:模拟区上边界为潜水面,底部边界为第四系松散岩类孔隙水底板,该处地下水径流滞缓,与下部基岩的基底间水交换微弱,故本次模拟研究对象为一层潜水含水层。

(4)水均衡计算。研究区多年平均降水量为25.43 mm,此量级的降雨很难形成有效的地下水补给,故计算中忽略降雨入渗补给。地下水的补给项与排泄项及相应计算量值见表1。由表1可知,车尔臣河流域模拟区地下水多年均衡量为 $1\ 170.74 \times 10^4 \text{ m}^3$,表现为微弱正均衡,整个流域范围内多年地下水上升约13 mm,而局部地下水水位及流场变化还需要数值模型定量模拟计算。

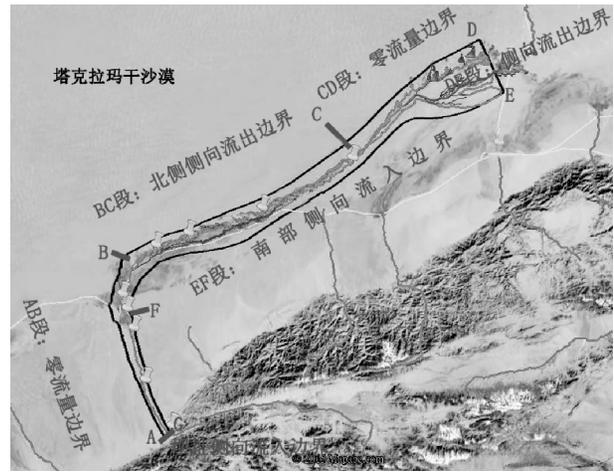


图1 模拟评价区范围及边界性质概化

Fig. 1 Simulated evaluation areas and a general graph of boundary property

表1 模拟区地下水均衡计算

Tab. 1 Equilibrium computation sheet of underground water in simulated areas

 10^4 m^3

补给项		排泄项	
项目	水量/ 10^4 m^3	项目	水量/ 10^4 m^3
河道渗漏补给	25 808.84	潜水蒸发	-58 119.82
渠系渗漏补给	15 509.97	河道排泄	-2 252.68
田间入渗补给	5 206.34	侧向排泄	-1 254.18
山前侧向补给	17 048.27	人工开采	-776.00
合计	63 573.42	合计	-62 402.68

(5) 水文地质参数。最大蒸发速率采用折算后的流域大水面蒸发速率;蒸发的极限深度根据岩性不同有所差异,根据前人研究成果可知,车尔臣河流域广泛分布着两种主要岩层:砂砾石层和粉细砂层,砂砾石含水层的极限蒸发埋深为 3 m,而粉细砂的极限蒸发埋深取值为 6 m,在模型中分为两个区,分区给定;地面高程值源自 30 m 的 DEM 数据;渗透系数和给水度在模型中的处理如表 2 所示。

表2 水文地质参数分区赋值

Tab. 2 District assignment table of hydrogeologic parameters

参数分区	渗透系数/ $(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	给水度
大石门水库坝址至革命大渠渠首	50	0.18
革命大渠渠首至塔提让大桥	20	0.12
塔提让大桥至确尔库勒	3	0.10
确尔库勒至末端	2	0.08

2.2 地下水数学模型

根据前述概化的地下水概念模型及其地下水均衡计算结果可知,研究区为非均质、各向同性、准三维的非稳定地下水流动系统,可用如下微分方程的定解问题来描述^[13-14]:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} [kx(h-b) \frac{\partial h}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [ky(h-b) \frac{\partial h}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [kz(h-b) \frac{\partial h}{\partial z}] + \varepsilon = \mu \frac{\partial h}{\partial t} \\ kx \left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2 + ky \left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2 + kz \left(\frac{\partial h}{\partial z}\right)^2 + p = \mu \frac{\partial h}{\partial t} \\ h(x, y, z) |_{\Gamma_1} = h_1(x, y, z) \\ k_n \frac{\partial h}{\partial n} |_{\Gamma_2} = q(x, y, z) \end{cases}$$

其中: D 为渗流区域; h 为潜水位(m); b 为潜水含水层底标高(m); k 为潜水含水层渗透系数(m/d); k_n 边界法向的渗透系数(m/d); μ 潜水含水层在潜水面上的重力给水度(无量纲); ε 含水层的源汇项(m/d); p 潜水面的蒸发和降水等(m/d); Γ_1 渗流区域的水位边界; Γ_2 渗流区域的流量边界; n 边界面的法线方向; $q(x, y, z)$ 定义为二类边界的单宽流量($\text{m}^2/\text{d}/\text{m}$),流入为正,流出为负,隔水边界为0。

2.3 地下水模型的识别与验证

将野外实测地下水位作为现状年模型识别和验证的依据,因野外主要的工作集中在沿河谷段附近,故将沿河实测的地下水位与河谷区的现状年模拟流场进行拟合分析。经过多次运行模拟、调参、优选,最终使得各观测井水位值与实测值达到最佳拟合状态。图2为9月野外实测水位与现状年9月份的模拟水位拟

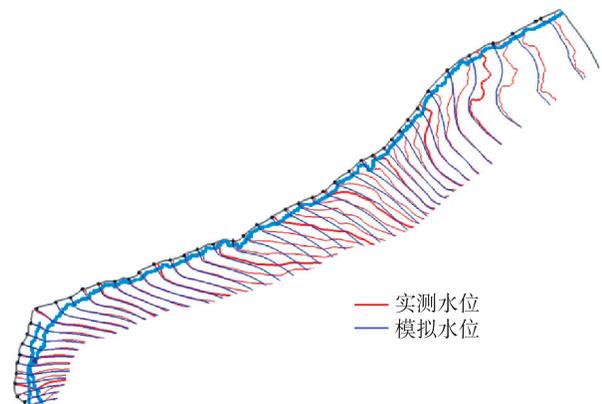


图2 9月野外实测水位与现状年9月份的模拟水位拟合

Fig. 2 A fitting chart of measured water level in September water levels in September

合。由图可知,在河谷段,模拟水位与实测水位拟合情况较好,流场分布特征及趋势正确,故构建的模型可用于设计水平年对地下水环境影响的预测和评价。

根据水均衡法计算的模拟区多年平均地下水均衡结果,对多年平均状态下的稳定流模型的水均衡进行验证(表3),对比可知模型的模拟值相对误差较小,模型的构建符合后续模拟要求,故构建的模型可用于设计水平年对地下水环境影响的预测和评价。

表3 稳定流模拟地下水均衡计算

Tab. 3 Underground water equilibrium computation sheet of steady flow simulation

名称	水均衡计算值/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	模型模拟值/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	相对误差/%
渠系入渗+田间补给-人工开采	19 940.31	20 341.88	2.0
南部侧向流入	17 048.27	17 748.27	4.1
东侧和北侧侧向流出	-1 254.18	-1 162.56	-7.3
河道渗漏补给	25 808.84	26 308.84	1.9
潜水蒸发排泄	-58 119.82	-59 818.01	2.9

3 地下水环境影响预测与评价

3.1 研究区地下水资源量分析

通过模拟得到每个应力期(月)的现状年和设计年的整个模拟区地下水均衡量的主要结果如表4所示。由表可知,针对 $P=50\%$ 的设计水平年研究区而言,现状年全年的总补给、总排泄、河流渗漏补给、潜水蒸发、储变量分别为651 749 900, -640 092 500, 263 088 400, -598 180 100和11 657 400 m^3 ,设计年相对于现状年的各项均衡要素的绝对变化量分别为-10 800 320, -9 069 143, -4 320 128, -8 387 560和-1 731 177 m^3 ,则相对变化率对应为-1.7%, -1.4%, -1.6%, -1.4%和-14.8%。可见,全区整体而言,水均衡各项要素的年变化量并不大,其变化幅度也较小。

表4 研究区现状年和设计年($P=50\%$)地下水均衡对比Tab. 4 Underground water equilibrium comparison of study area between actual year and design year ($P=50\%$) m^3

月份	水平年	总补给	总排泄	河流渗漏	潜水蒸发	储变量
1月	现状年	2 449 366	2 405 556	988 723	2 248 044	43 810
	设计年	8 839 266	8 475 961	2 266 703	7 286 480	363 305
	变化量	6 389 900	6 070 405	1 277 980	5 038 436	319 495
	变化率(%)	260.88	252.35	129.26	224.13	729.27
2月	现状年	2 885 649	2 834 035	1 164 834	2 648 466	51 614
	设计年	9 518 643	9 135 379	2 624 093	8 004 609	383 263
	变化量	6 632 994	6 301 344	1 459 259	5 356 143	331 650
	变化率(%)	229.86	222.35	125.28	202.24	642.56
3月	现状年	33 673 461	33 071 167	13 592 786	30 905 711	602 294
	设计年	30 432 207	30 154 039	12 620 410	28 367 810	278 169
	变化量	-3 241 254	-2 917 128	-972 376	-2 537 902	-324 125
	变化率(%)	-9.63	-8.82	-7.15	-8.21	-53.82
4月	现状年	54 353 257	53 381 078	21 940 489	49 885 757	972 179
	设计年	51 459 281	50 776 499	21 072 296	47 567 681	682 782
	变化量	-2 893 976	-2 604 579	-868 193	-2 318 075	-289 398
	变化率(%)	-5.32	-4.88	-3.96	-4.65	-29.77

(续表)

月份	水平年	总补给	总排泄	河流渗漏	潜水蒸发	储变量
5 月	现状年	57 144 779	56 122 670	23 067 328	52 447 832	1 022 109
	设计年	54 945 357	54 143 190	22 297 530	50 646 506	802 167
	变化量	-2 199 422	-1 979 480	-769 798	-1 801 327	-219 942
	变化率(%)	-3.85	-3.53	-3.34	-3.43	-21.52
6 月	现状年	83 992 993	82 490 669	33 905 003	77 089 290	1 502 325
	设计年	100 882 240	97 690 990	42 349 626	9 1225 589	3 191 249
	变化量	16 889 246	15 200 322	8 444 623	14 136 299	1 688 925
	变化率(%)	20.11	18.43	24.91	18.34	112.42
7 月	现状年	169 943 418	166 903 758	68 600 152	155 975 123	3 039 660
	设计年	169 885 539	166 851 666	68 571 212	155 926 157	3 033 873
	变化量	-57 880	-52 092	-28 940	-48 966	-5 788
	变化率(%)	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.19
8 月	现状年	104 683 782	102 811 376	42 257 143	96 079 425	1 872 406
	设计年	80 501 715	81 047 516	27 747 903	76 491 950	-545 800
	变化量	-24 182 067	-21 763 860	-14 509 240	-19 587 474	-2 418 207
	变化率(%)	-23.1	-21.17	-34.34	-20.39	-129.15
9 月	现状年	43 264 121	42 490 285	17 464 197	39 708 078	773 835
	设计年	37 464 592	37 270 710	14 564 432	34 958 264	193 883
	变化量	-5 799 529	-5 219 576	-2 899 764	-4 749 814	-579 953
	变化率(%)	-13.4	-12.28	-16.6	-11.96	-74.95
10 月	现状年	48 795 635	47 922 861	19 697 073	44 784 936	872 774
	设计年	47 186 584	46 474 715	19 053 453	43 496 087	711 869
	变化量	-1 609 051	-1 448 146	-643 620	-1 288 850	-160 905
	变化率(%)	-3.3	-3.02	-3.27	-2.88	-18.44
11 月	现状年	35 782 046	35 142 037	14 443 947	32 840 983	640 009
	设计年	34 219 298	33 735 564	14 131 398	31 617 352	483 734
	变化量	-1 562 747	-1 406 473	-312 549	-1 223 631	-156 275
	变化率(%)	-4.37	-4	-2.16	-3.73	-24.42
12 月	现状年	14 781 393	14 517 008	5 966 726	13 566 454	264 385
	设计年	15 614 858	15 267 127	6 133 419	14 204 055	347 731
	变化量	833 465	750 119	166 693	637 601	83 347
	变化率(%)	5.64	5.17	2.79	4.7	31.52
全年	现状年	651 749 900	640 092 500	263 088 400	598 180 100	11 657 400
	设计年	640 949 580	631 023 357	258 768 272	589 792 540	9 926 223
	变化量	-10 800 320	-9 069 143	-4 320 128	-8 387 560	-1 731 177
	变化率(%)	-1.66	-1.42	-1.64	-1.4	-14.85

而不同月份由于受大石门断面下泄水量不同的控制,其引起的地下水资源量的变化量和变化程度不同,其影响效应也不同。整体而言,各项均衡要素呈现出基本一致的“同增同减”变化趋势,呈现增加的月份有1月、2月、6月和12月,而呈现减少的月份为3—5月和7—11月,这与工程设计时逐月下泄量的变化情况基

本保持一致。具体而言,增加月份1月、2月、6月、12月的总补给量变化量分别为6 389 900,6 632 994,16 889 246和833 465 m³,相应变化率为260.88%,229.86%,20.11%和5.64%,其中以6月份的总补给量增加最多,相应增幅为20.11%。而3—5月和7—11月总补给量的变化量依次为-3 241 254,-2 893 976,-2 199 422,-57 880,-24 182 067,-5 799 529,-1 609 051和-1 562 747 m³,相应地变化率对应为-9.63%,-5.32%,-3.85%,-0.03%,-23.10%,-13.40%,-3.30%和-4.37%,其中以8月份的减水量(绝对量)最多,其余月份的减幅一般小于-10%,减幅并不大。

3.2 研究区地下水位及地下水流场变化

研究区地下水水位和流场变化主要受控于水量变化,根据大石门水利枢纽工程建设前后大石门断面不同水平年河流下泄过程可知,工程建设前后下泄水量和研究区地下水储量的变化量(绝对量)均呈现为6月增加量最大,8月减少量最大,而12月的变化量较小,故而选择6月、8月、12月这3个月分别作为最大增量月、最大减量月、无明显变化月的代表,用以说明工程建设前后对于研究区地下水水位和流场变化的影响。

绘制3个代表月份的应力期现状年和设计年的模拟地下水流场对比图,从图3可知,从整个区域角度而言,地下水流场趋势并没有出现较大变化,但在局部地区(区段)流场变化较明显,主要是灌区和下游入湖区段,南北两侧(垂直河道方向)可能受到的影响宽度范围约为1 km。

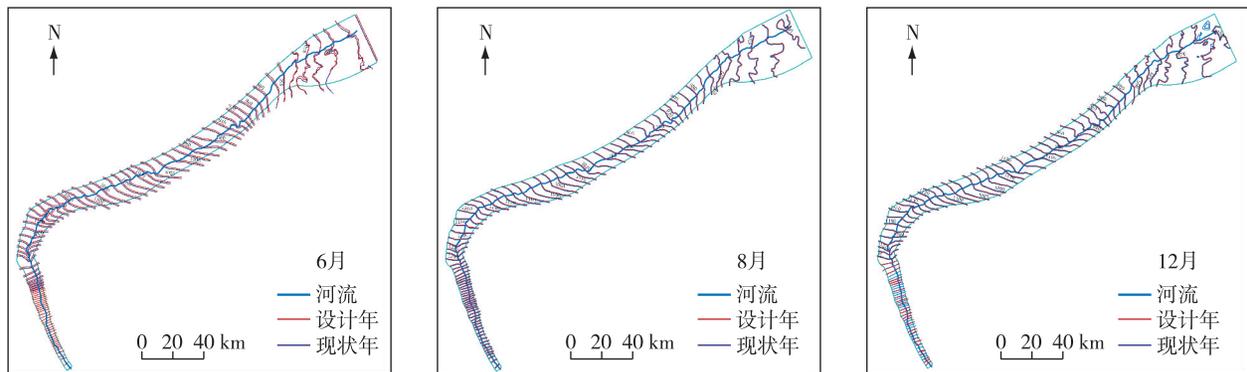


图3 现状年与设计年(P=50%)地下水流场对比

Fig. 3 A comparison diagram of groundwater flow field between actual year and design year (P=50%)

由于入湖段地下水位出现较大变化,同时该段生态环境脆弱易受地下水波动影响,故针对入湖段进行详细分析,首先在台特玛湖入湖段依次选择9个监测井(图4),各监测井水位变化情况如表5所示,对比分析现状年和设计年两个时期该区段的地下水位变化情况,根据设计年下泄流量的情况统计可知,P=50%的设计年,其下泄水量变幅最大的月份分别是1月和8月,其下泄流量变幅分别为480%和-42.50%,受影响的地下水位变幅一般在0.4~0.8 m。

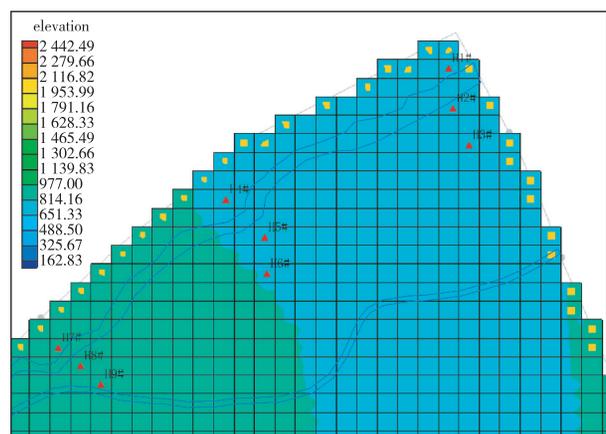


图4 台特玛湖入湖断面地下水位监测点位分布

Fig. 4 A distribution map of groundwater level's monitoring sites at cross section of Taitema Lake

表5 台特玛湖入湖段水位监测单元的水位变化统计($P=50\%$, 1月)Tab. 5 Water level fluctuation of Taitema Lake water level monitoring units ($P=50\%$, January)

m

湖区监测点号	现状年模拟水位	设计年模拟水位	水位差值
H1#	972.104 19	971.714 2	-0.39
H2#	973.522 46	972.932 5	-0.59
H3#	974.002 56	973.422 6	-0.58
H4#	947.421 94	947.051 9	-0.37
H5#	947.143 37	946.783 4	-0.36
H6#	943.991 94	943.761 9	-0.23
H7#	933.377 69	932.987 7	-0.39
H8#	933.446 35	933.036 4	-0.41
H9#	933.726 44	933.286 4	-0.44

4 结 语

(1) 车尔臣河流域模拟区地下水多年均衡量为 $1\ 170.74 \times 10^4 \text{ m}^3$, 表现为微弱正均衡, 整个流域范围内多年地下水上升约 13 mm, 地下水总体呈现微弱上升趋势。

(2) 车尔臣河流域模拟区范围内总的地下水补给量约 $49\ 440.58 \times 10^4 \text{ m}^3$, 主要的地下水补给项(由多到少顺序)依次为河道渗漏补给(49.9%)、渠道水渗漏补给(21.7%)、降水入渗补给(12.9%)、渠灌田间入渗补给(11.9%)、山前基岩裂隙侧向补给(3.5%); 而地下水的排泄项(由多到少顺序)依次为: 潜水蒸发($-53\ 061.84 \times 10^4 \text{ m}^3$, 占比 73%)、人工开采($-17\ 113.48 \times 10^4 \text{ m}^3$, 占比 23.5%)、河道排泄、侧向流出。

(3) 工程建成后对于灌区和沿河林草带的地下水位和水资源量具有一定影响, 但影响程度不大, 通过对 $P=50\%$ 设计水平年两个极端月份(1月和8月)的初步分析结果可知, 受影响的地下水位变幅一般在 0.4~0.8 m, 而南北两侧(垂直河道方向)可能受到的影响宽度范围约 1 km。

(4) 入湖段地下水位变化较大, $P=50\%$ 的设计年, 其下泄水量变幅最大的月份分别是 1 月和 8 月, 其下泄流量变幅分别为 480% 和 -42.50%。

参 考 文 献:

- [1] 鲍超, 方创琳. 干旱区水资源开发利用对生态环境影响的研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 39-40. (BAO Chao, FANG Chuang-lin. Impact of water resources exploitation and utilization on eco-environment in arid area: progress and prospect[J]. Progress in Geography, 2008, 27(3): 39-40. (in Chinese))
- [2] 郝治福, 康绍忠. 地下水系统数值模拟的研究现状和发展趋势[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(1): 77-81. (HAO Zhi-fu, KANG Shao-zhong. Current situation and development of numerical simulation of groundwater system[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(1): 77-81. (in Chinese))
- [3] MAZZIA A, PLITTI M. Mixed-finite element and finite volume discretization for heavy brine simulations in groundwater[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2002, 147(1): 191-213.
- [4] LI Shu-guang, MCLANGHLIN D, LIAO Hua-sheng. A computationally practical method for stochastic groundwater modeling[J]. Advances in Water Resources, 2003, 26(11): 1137-1148.
- [5] 白利平, 王金生. GMS 在临汾盆地地下水数值模拟中的应用[J]. 山西建筑, 2004, 30(16): 78-79. (BAI Li-ping, WANG Jin-sheng. The application of GMS in numerical simulation of groundwater in Linfen basin[J]. Shanxi Architecture, 2004, 30(16): 78-79. (in Chinese))
- [6] 王宏, 娄华君, 田廷山, 等. 石家庄市地下水系统的数值模拟与预测[J]. 工程勘察, 2006(5): 34-38. (WANG Hong, LOU Hua-jun, TIAN Yan-shan, et al. Simulation and prediction of groundwater system of Shijiazhuang city[J]. Journal of Geotechnical Investigation & Surveying, 2006(5): 34-38. (in Chinese))

- [7] 陈喜, 陈洵洪. 美国 Sand Hills 地区地下水数值模拟及水量平衡分析[J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 94-99. (CHEN Xi, CHEN Xun-hong. Numerical modeling of groundwater flow and analysis of water budget in Nebraska Sand Hills, USA [J]. Advances in Water Science, 2004, 15(1): 94-99. (in Chinese))
- [8] 王生云. 大型水利枢纽工程对区域经济社会安全影响的评价体系及实证研究[J]. 中国农村水利水电, 2009(8): 126-132. (WANG Sheng-yun. Appraising system and empirical research of the impact of mega water control project on regional economy and social safety[J]. China Rural Water and Hydropower, 2009(8): 126-132. (in Chinese))
- [9] 李蓉, 郑垂勇, 马骏, 等. 水利工程建设对生态环境的影响综述[J]. 水利经济, 2009, 27(2): 12-15. (LI Rong, ZHENG Chui-yong, MA Jun, et al. Summary of influence of hydraulic engineering construction on ecological environment[J]. Journal of Economics of Water resources, 2009, 27(2): 12-15. (in Chinese))
- [10] 马驰, 石辉, 卢玉东. MODFLOW 在西北地区地下水资源评价中的应用——以甘肃西华水源地地下水数值模拟计算为例[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(2): 89-93. (MA Chi, SHI Hui, LU Yu-dong. Application of visual MODFLOW to assessment of groundwater resources in the northwest area——example of groundwater simulation in Xihua area, Gansu Province [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(2): 89-93. (in Chinese))
- [11] 王宏, 娄华君, 邹立芝. Modflow 在华北平原区地下水库模拟中的应用[J]. 世界地质, 2003, 22(1): 69-72. (WANG Hong, LOU Hua-Jun, ZOU Li-zhi. The application of Modflow software in the simulation for the underground reservoir of Huabei plain[J]. Global Geology, 2003, 22(1): 69-72. (in Chinese))
- [12] 宁立波, 董少刚, 马传明, 等. 地下水数值模拟的理论与实践[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2010: 47-52. (NING Li-bo, DONG Shao-gang, MA Chuan-ming, et al. Theory and practice of numerical simulation for groundwater[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2010: 47-52. (in Chinese))
- [13] 薛禹群, 谢春红. 地下水数值模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 79-111. (XUE Yu-qun, XIE Chun-hong. Numerical simulation for groundwater[M]. Beijing: Science Press, 2007: 79-111. (in Chinese))
- [14] 吴吉春, 薛禹群. 地下水水力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 4-43. (WU Ji-chun, XUE Yu-qun. Groundwater hydraulics[M]. Beijing: China Water Power Press, 2009: 4-43. (in Chinese))

Impacts given by reservoir works on groundwater in arid area

LI Jing-yuan, WU Wei, ZHOU Xiao-de, WU Jiao, JIAO Lu-hui

(State Key Laboratory Base of Eco-Hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to reveal the impacts of dams and reservoir works located in the arid zones on the groundwater level of the middle and lower reaches of the Qarqan River, with GMS applied to the groundwater modeling, a model for prediction studies of the changes in the groundwater flow field was made on the basis of the related data, such as hydrogeology, climate change and irrigation in local areas. The analysis results indicate that firstly, the equilibrium amount of the groundwater in the simulated area of the Qarqan River has been $1170.74 \times 10^4 \text{ m}^3$ for years, showing slight proper equilibrium. The rising height of the groundwater has been up to 13 mm for years, and the groundwater has generally demonstrated upgrade tendency; and secondly, from the perspective of the whole region, great changes of groundwater flow field trend have not appeared since the dam was constructed. However, remarkable changes of flow field in the local areas have occurred. The main areas are irrigated ones and the downstream sub-basin of the lakes. The fluctuation of the affected underground water level is up to 0.4 ~ 0.8 m, whereas the likely affected width range close to the north and south sides of the Qarqan River is about 1 km.

Key words: arid zones; dam and reservoir engineering; groundwater; numerical simulation; conceptual model