

鄂尔多斯高原 乞盖淖地下水与湖水 动态补排关系研究

尹立河, 陶正平, 李 瑛, 窦 妍, 崔旭东, 李 清
(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘 要:以鄂尔多斯高原 乞盖淖为例, 利用地下水与湖水的动态数据研究了湖水和地下水的补排关系。结果表明, 地下水与湖水的补排关系存在着高度的动态性, 6~9 月间地下水与湖水的水动力关系多次发生变化。本次研究的结果可以作为建立地下水与湖水耦合数学模型的基础, 为预测地下水开发对鄂尔多斯高原湖泊的影响提供依据。

关键词: 乞盖淖; 湖水; 地下水; 补排关系; 鄂尔多斯高原

中图分类号: P641 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008—858X(2010) 01—0033—05

前 言

由于地处干旱一半干旱地区, 水资源成为限制鄂尔多斯能源基地建设和能源规模开发的主要瓶颈。据鄂尔多斯盆地地下水勘察的成果, 区内地下水的可采资源量为 $3.507 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}^{[1]}$ 。但是, 鄂尔多斯高原生态环境脆弱, 地下水的开采量与生态环境的承受能力紧密关联。鄂尔多斯高原地形波状起伏, 发育了大大小小的湖泊(淖) 835 个, 其中面积超过 1 km^2 就有 139 个^[2]。湖泊生态系统是干旱一半干旱的鄂尔多斯高原生态系统的重要组成部分, 在维系区内生态多样性方面发挥着重要作用。在大规模开采地下水之前, 必须开展湖泊与地下水相互作用研究, 回答地下水的开发是否会导致湖泊面积萎缩, 进而破坏湖泊生态系统这一问题。

本文利用地下水和湖水的水位数据, 以位于鄂尔多斯高原伊金霍洛旗的乞盖淖为例, 开展野外观测与水样采集, 以期确定湖水和地下水的补排关系, 为研究地下水开发对湖泊生态

的影响奠定基础。

1 研究区概况

乞盖淖及区域概况前文已有述及^[3]。按地下水与湖水水力联系的紧密程度, 鄂尔多斯高原的湖泊可以分为两类。一类是与地下水的联系较弱, 这些湖泊主要位于鄂尔多斯高原中部地区, 代表湖泊为鄂托克旗的大克泊湖, 湖床以粘土为主, 垂向渗透系数 $0.202 \sim 1.103 \text{ cm/d}$ 另一类与地下水的联系较强, 代表湖泊即乞盖淖, 湖床以细砂为主, 现场垂向试验表明, 湖床垂向渗透系数介于 $0.83 \sim 13.59 \text{ cm/d}^{[3]}$ 。

2 数据采集

本次研究采集了气象数据、地下水和湖水动态数据、湖水的水化学数据。气象数据利用研究区东南 45 km 的乌审旗乌审召气象站采集的降雨和蒸发资料。地下水的水位利用测压管 (piezometer) 测量, 测压管广泛应用于地下水与湖水的水动力关系研究中^[4-6]。在湖周围共布

置了 21 个测压管 (图 1), 深度介于 1.2 ~ 3.8 m。水位采集每 5 d 进行一次。湖水位采用荷兰生产的 Diver 水位自动测量仪, 测量精度为 $\pm 0.5\text{ m}$, 数据采集频率为 4 h 次。湖床形态利用标尺杆测量, 共对 56 处进行了测量。对湖水进行了定期水化学样品采集, 用于研究湖水水化学的变化。水样利用便携式真空泵采集, 现场测量电导率、pH 和温度。

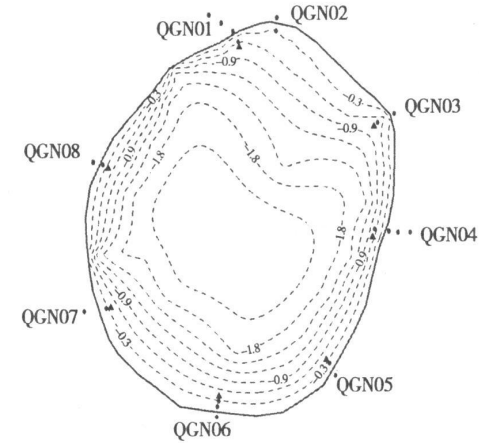


图 1 湖床形态等值线 (图中黑点代表测压管)
Fig 1 Map of bathymetric contours of Qgai lake (Piezometers are shown as heavy dots)

3 结果与讨论

3.1 降水与蒸发

研究期内 (2008 年 4 ~ 11 月) 总降雨量为 403.4 mm, 主要集中在 8 ~ 9 月 (321.9 mm)。降雨以短期的暴雨为主, 最大降雨量出现在 8 月 20 日, 达 50.2 mm (图 2)。200 mm 蒸发皿测得的蒸发量为 1 861.3 mm, 蒸发量从 4 月开始逐渐增加, 至 7 月底达到最高值, 然后逐渐降低。

3.2 乞盖淖湖水位与面积变化

从绘制的湖床形态图上可以看出 (图 1), 湖床的东北部较平缓, 其他部分河床相对陡峭。根据湖床的测量结果, 湖泊平均水深 1.37 m, 最大深度位于湖中心, 为 2.39 m。根据湖水位的观测数据, 湖水位变幅较小。4 ~ 7 月湖水位随着蒸发量的增大不断下降 (图 2 3), 总降幅为 0.15 m。在此期间, 6 月 26 日的一场暴雨使

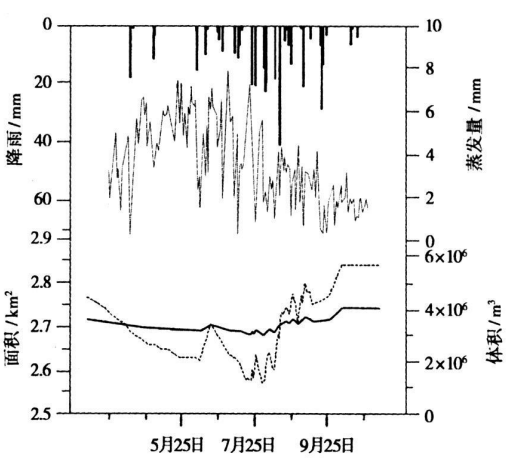


图 2 日降水、蒸发、湖面积和体积变化图
(柱状图代表降水, 细实线代表蒸发, 虚线代表湖面积, 粗实线代表湖体积)
Fig 2 Variation diagram of daily precipitation, evaporation, lake area, volume and time (Bars represent precipitation, hairline evaporation, dashed line lake area and solid line lake volume)

湖水位上升了 0.08 m。8 月, 湖水位随降雨波动。8 ~ 11 月, 湖水位不断上升, 总上升量为 0.25 m。在研究期间, 湖面积最大变幅为 0.25 km²。研究期内, 湖水体积的变化范围 $3.01 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6\text{ m}^3$ (图 2)。

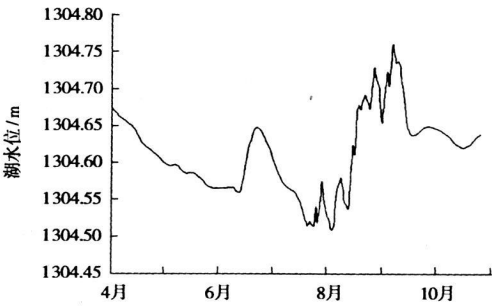


图 3 乞盖湖湖水位变化曲线图
Fig 3 Water level change curve of Qgai lake

3.3 地下水水位

图 4 为 QGN01 孔和 QGB1 孔地下水水位的变化图。QGN01 位于湖岸 (图 6), QGB1 位于 QGN01 以西 25 m 处。由于冰雪消融, 地下水水位在 4 月较高。4 ~ 6 月, 降雨量很小, 湖水获得的地下水和地表水的补给量比较小, 加之蒸发作用逐渐变强, 地下水水位持续下降。

7~9月, 水位随降雨波动, 由于测压孔比较浅, 且岩性以风积砂为主, 降雨入渗补给快, 没有出现滞后补给。9月以后, 水位开始上升, 并逐渐稳定。

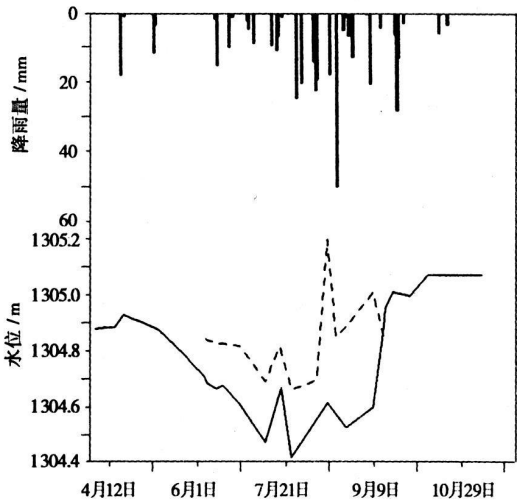


图 4 地下水动态图 (实线为 QGN01, 虚线为 QGB1, 柱状图为降雨)
Fig 4 Groundwater dynamic diagram of QGN01 (solid line) and QGB1 (dashed line), shaded bars represent precipitation

3.4 湖水水化学

从湖水的水化学图上可以看出, Na^+ 和 Cl^- 是主要的离子 (图 5)。TDS、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 和 NO_3^- 的浓度随时间而变化, 大体至 7 月底各离子达到峰值。这是因为在 7 月之前, 降雨少, 蒸发大, 湖水不断浓缩造成各离子浓度不断增加。7 月以后, 降雨增多, 湖水不断获得补给, 特别是来自地表水的补给。据实测, 8 月 23 日暴雨后, 地表水对湖水的补给量达 $1.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。由于不断获得补给, 湖水各离子的浓度不断降低。

3.5 湖水与地下水补排关系

从图 6 可以看出, 地下水与湖水的水动力关系有两种。第 1 种是地下水补给湖水; 第 2 种是湖水补给地下水。地下水与湖水的第 1 种水动力关系最为普遍, 其中 QGN03 和 QGN04 在整个研究期都是地下水补给湖水。其他孔中

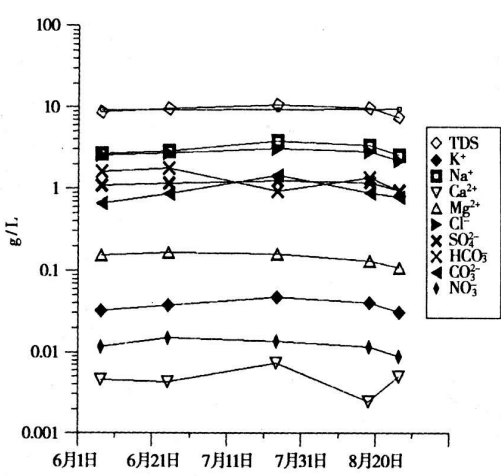


图 5 湖水水化学历时曲线图
Fig 5 Content variation curves of different chemical components

地下水补给湖水的时间占整个研究期的 76% (QGN01) 至 84% (QGN02)。第 2 种水动力关系主要出现在 7~8 月间, 除 QGN03 和 QGN04 外, 其他孔均出现了第 2 种水动力关系。第 2 种水动力关系在 QGN01 中出现的时间最长, 为 58 d, 在 QGN02 中出现的时间最短, 为 35 d。由于在多个孔中出现了两种水动力关系, 因此地下水与湖水水动力关系最显著的特点是动态性, 这与前人的认识是不一样的。前人对区内地下水与湖水的补排关系进行了初步分析, 认为湖泊接受浅、中和深层地下水的补给, 是地下水的集中排泄地^[7-8]。

以往已有湖水与地下水的补排关系动态性的研究。Winter^[9] 在 1986 年利用数值模拟技术最早解译了湖水与地下水动态补排关系的机理, 认为湖岸边地下水埋深浅, 地下水由降雨入渗补给和持续蒸发的变幅大于湖水, 导致降雨或持续干旱后, 湖水与地下水的补排关系发生变化。大量的野外工作和室内研究也证实了 Winter 的预测结果。许多湖泊与地下水之间存在着高度的动态补排关系, 如美国北达科他州的 Nashotah 湖^[10], 澳大利亚维多利亚 Tyrell 湖^[11], 西班牙的 Santa Oballa 湖^[6], 加拿大阿尔伯达地区的十六号湖^[12] 和肯尼亚的 Navasha 湖^[13] 等。造成湖水与地下水补排关系动态转化的因素是多样的, 包括降雨补给、蒸发和水文

条件等。考虑到鄂尔多斯地区的水文地质条件和气候特征,地下水与湖水的动态补排关系可能是由蒸发主导的。在 7~8 月间,鄂尔多斯地区蒸发作用强烈,特别是出现持续干旱时,地下水的下降幅度大于湖水,使得两者的关系由地

下水补给湖水转变为湖水补给地下水。从 QGN05 孔可以明显看出(图 6),湖水水位的变化幅度小,而地下水水位下降剧烈,导致了两者的水动力关系发生反转。

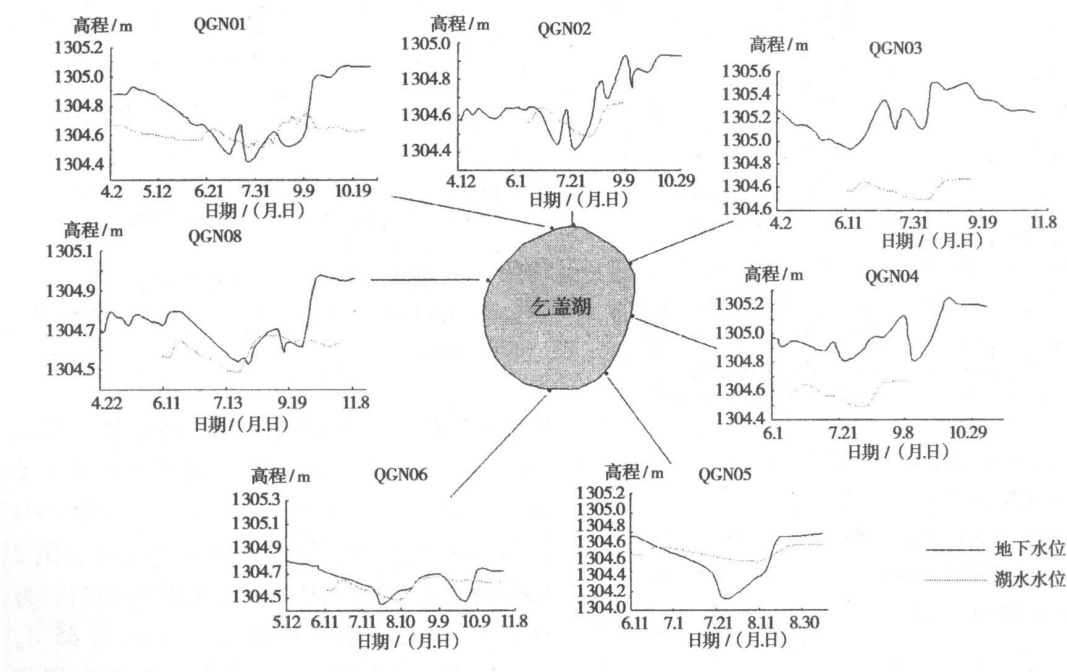


图 6 乞盖湖湖水与地下水补排关系图
Fig 6 Recharge/discharge relationship between Qagai lake and groundwater

本次研究表明,鄂尔多斯高原乞盖湖与地下水的补排关系是动态的,而不是以前认为的两者间的关系是单向固定的。两者间动态的补排关系要求在预测地下水开发对湖泊影响时,应建立湖水与地下水耦合的数值模型,如利用 Modflow 的 Lake(湖泊)模块,或是利用更加复杂的地表水与地下水耦合的模拟软件,如 GS FLOW 等。本次研究主要是利用水动力的数据探究湖水与地下水的补排关系,在此基础上,还需开展水化学(主要是利用 Cl)和环境同位素的研究,进一步探寻两者间动态补排关系的时空分布特点。

4 主要结论

研究表明,湖水与地下水的水动力关

系有两种。第 1 种是地下水补给湖水;第 2 种是湖水补给地下水。这两种水动力关系在 7~8 月间存在着动态转化的特点,主导水动力关系转变的因素可能为蒸发作用。本次研究进一步查明了鄂尔多斯高原湖泊与地下水的补排关系,为开展地下水开采对湖泊的影响奠定了基础。

致谢 西安地质调查中心侯光才教授级高级工程师和赵振宏高级工程师对野外和室内分析工作给予了指导;龚蓓高级工程师绘制了论文中的部分插图,作者特别对他们表示感谢。

参考文献:

[1] 侯光才,张茂省,刘方,等.鄂尔多斯盆地地下水勘查研究[M].北京:地质出版社,2008 295—296

[2] 侯光才,张茂省,刘方,等. 鄂尔多斯盆地地下水勘查报告[R]. 西安: 中国地质调查局西安地质调查中心, 2006

[3] 尹立河,李瑛,窦妍,等. 盖 淖湖湖床垂向渗透系数试验研究[J]. 盐湖研究, 2009 17(3): 23— 28

[4] Winter T C, Labaugh J W, Rosenberry D Q. The design and use of a hydraulic potentiometer for direct measurement of differences in hydraulic head between ground water and surface water[J]. Limnology and Oceanography, 1980 33(5): 1209— 1214

[5] Schesven S D, Schneider R L. Dynamic temporal patterns of nearshore seepage flux in a headwater Adirondack lake[J]. Journal of Hydrology, 2001 247(3— 4): 137— 150

[6] Sacks L A, Heman J S, Konkow L F, et al. Seasonal dynamics of groundwater lake interactions at Donana national park, Spain[J]. Journal of Hydrology, 1992, 136(1— 4): 123— 154

[7] 张甲胜,方含辉,冉庚欣,等. 陕甘宁内蒙白垩系自流水盆地地下水资源评价报告[R]. 呼和浩特: 内蒙古地质矿产开发局, 1986

[8] 王德潜,刘祖植,尹立河. 鄂尔多斯盆地地下水资源及其可持续利用[J]. 地球学报, 2002 23(增刊): 1— 8

[9] Winter T C. Effect of ground water recharge on configuration of the water table beneath sand dunes and on seepage in lakes in the sandhills of Nebraska, USA[J]. J. Hydrol., 1986, 86(3— 4): 221— 237.

[10] Cherkauer D S, Zager J P. Groundwater interaction with a kettle hole lake: relation of observations to digital simulations[J]. J. Hydrol., 1989, 109(1— 2): 167— 184

[11] Herczeg A L, Barnes C J, Macanber P G, et al. A stable isotope investigation of groundwater surface— water interactions at Lake Tyrrell, Victoria, Australia[J]. Chem. Geol., 1992, 96(1— 2): 19— 32

[12] Smerdon B D, Devito K J, Mendoza C A. Interaction of groundwater and shallow lakes on outwash sediments in the sub-humid boreal plains of Canada[J]. Journal of Hydrology, 2005 314(1— 4): 246— 262

[13] Ojiambo S B, Lyons W B, Welch K A, et al. Strontium isotopes and rare earth elements as tracers of groundwater lake water interactions, Lake Naivasha, Kenya[J]. Applied Geochemistry, 2003 18(11): 1789— 1805

Study on Dynamic Recharge and Discharge Relationship between Qigai Lake Water and Groundwater on the Ordos Plateau

YIN Li-he TAO Zheng-ping LI Ying DOU Yan CUI Xu-dong LI Qing
(Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an, 710054, China)

Abstract: Ordos Plateau is an important region for energy and chemical production in China. With rapidly increasing demand of groundwater, the study of influences of groundwater mining on lakes and ecological system in Ordos plateau region becomes more significant. Hydraulic and hydrochemical data were used to research the recharge and discharge relationship between Qigai lake water and groundwater. The results show that there is a dynamic relationship between them which being variable during June and September. The study can be used to establish the coupled groundwater lake water model and predict the influences of groundwater mining on lakes in Ordos plateau region.

Key words: Qigai lake; Lake water; Groundwater; Recharge and discharge relationship; Ordos Plateau