

鄂尔多斯白垩系地下水盆地湖眼的形成 及其水文地质意义

杨 郅 城^{1,2}, 侯 光 才², 赵 振 宏², 陶 正 平², 尹 立 河², 王 冬², 苏 小 四³

YANG Yun-cheng^{1,2}, HOU Guang-cai², ZHAO Zhen-hong²,

TAO Zheng-ping², YIN Li-he², WANG Dong², SU Xiao-si³

1. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083;

2. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;

3. 吉林大学水资源与环境研究所, 吉林 长春 130026

1. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

3. Institute of Water Resources and Environment, College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China

摘要:在鄂尔多斯盆地北部沙漠高原区,部分湖盆的边部发育有数量不等的“湖眼”。“湖眼”是分布在湖盆边部的特殊的泉,通过对湖眼的野外调查和物质成分分析,总结了湖眼的分布、结构、动态变化和物质组成特征。研究结果表明,湖眼泥浆来自湖盆底泥,其水分可来自不同循环深度的地下水;湖眼的动态变化可以反映地下水的循环深度;湖眼的分布和动态变化对于研究地下水的排泄方式具有一定的水文地质意义。

关键词:鄂尔多斯;白垩系地下水盆地;地下水;湖眼

中图分类号:P641;P512.32

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2008)08-1173-05

Yang Y C, Hou G C, Zhao Z H, Tao Z P, Yin L H, Wang D, Su X S. Formation of mud springs in the Cretaceous Ordos groundwater basin, China and their hydrogeological significance. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(8):1173-1177

Abstract: “Mud springs” of varying quantity occur at edges of part of lake basins in the desert plateau area in the north of the Ordos basin. Based on field investigation and chemical analyses of mud springs, this paper sums up the distribution, structure, dynamic regime and components of the mud springs. This research shows that: mud springs are a special kind of spring, whose mud comes from bottom mud of lakes and water comes from groundwater at different circulation depths. The dynamic regime of the mud springs reflects different circulation depths of groundwater. The distribution and dynamic regime of mud springs have certain hydrogeological significance for the study of the way of groundwater discharge.

Key words: Ordos basin; Cretaceous groundwater basin; groundwater; mud spring

鄂尔多斯白垩系地下水盆地处于中国西部地区
的东部,中部东西向延伸的白于山分水岭将其分为
南北两大水文地质单元,北部以沙漠高原地貌为特

征,南部以黄土高原地貌为特征^①。北部不仅地下水
丰富,而且湖泊众多,其中部分湖泊矿化度较高,成
为该区盐碱和芒硝的生产基地,部分水质较好的湖

收稿日期:2008-06-02;修订日期:2008-06-20

地调项目:中国地质调查局中国国土资源调查项目《鄂尔多斯盆地内蒙古能源基地地下水勘查》(编号:1212010734002)、《鄂尔多斯盆地
地下水勘查》(编号:1212010331302)资助。

作者简介:杨郅城(1965-),男,高级工程师,从事水文地球化学研究工作。E-mail: yangyuncheng@sina.com

泊则成为当地重要的淡水资源^[1]。由于降水稀少,河流水系不发育,湖泊水资源对该区生态系统的维持具有重要的意义。区内湖泊水体来自大气降水、地表径流和地下水的补给^[2],地下水除了在湖盆外围以常见的泉的形式排出地表,然后向湖泊补给外,还在湖盆内以“湖眼”的形式向湖泊补给。“湖眼”是指在部分湖泊的湖盆边部出现的泥浆溢出现象。湖眼特有的水文地质现象已引起了学者们的兴趣^①,但是关于其形成机理尚不清楚。本文的目的是探讨湖眼的形成及其水文地质学意义。

1 概 况

鄂尔多斯白垩系盆地地下水赋存于白垩系砂岩中,白垩系地层平缓,由下而上可分为洛河组、环河组和罗汉洞组3个含水岩组。岩性以砂岩为主,夹砾岩、粉砂质泥岩及泥岩。最大埋深可达1200m。下伏侏罗系岩性以粉砂岩和泥岩为主,是地下水盆地的隔水底板。上覆地层为古近系、新近系和第四系。古近系和新近系仅在北部、中部和西部局部出露,岩性主要为砂岩、泥岩和泥灰岩。第四系在北部沙漠高原区主要为风积沙,西北部有库布齐沙漠,东南部有毛乌素沙漠;在南部黄土高原区主要为黄土^{①②③-4}。

北部沙漠高原区大部分被风积沙覆盖,地形起伏相对较小。中部盐池—东胜分水岭地势相对较高,海拔1500 m左右,盆地边部地势相对较低,海拔1100~1300 m。区内湖泊十分发育,面积大于1km²的湖泊有139个,总面积达625 km²,主要湖泊有红碱淖、巴嘎淖尔、盐海子、大克泊等。区内河流不发育,西部主要河流为向西排泄的都思兔河,东部主要河流为向东排泄的无定河和乌兰木伦河^①(图1)。

2 研究方法

本研究采用的方法为湖眼野外调查和物质成分分析的方法,以及湖眼水和地下水的水化学分析方法。野外调查内容包括盐海子、大克泊、召稍湖、苏贝淖、胡同

察汉淖、奥木摆淖、呼和淖等湖泊中湖眼的分布,湖眼的形态结构,大克泊等不同时期(夏季和冬季)湖眼的活动性等。湖眼的物质成分分析包括湖眼泥浆固体物质的X衍射分析和湖眼水的常见组分K⁺、Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、SO₄²⁻、Cl⁻、HCO₃⁻和溶解性总固形物(TDS)的分析。X衍射分析和水化学样品测定均在西安地质矿产研究所化验室完成,X衍射分析采用D/max-2500型X衍射仪,阳离子K⁺、Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺采用AAS方法,阴离子SO₄²⁻、Cl⁻、NO₃⁻采用离子色谱法,HCO₃⁻采用滴定法。目的在于查明湖眼的物源、动态特征和形成条件。

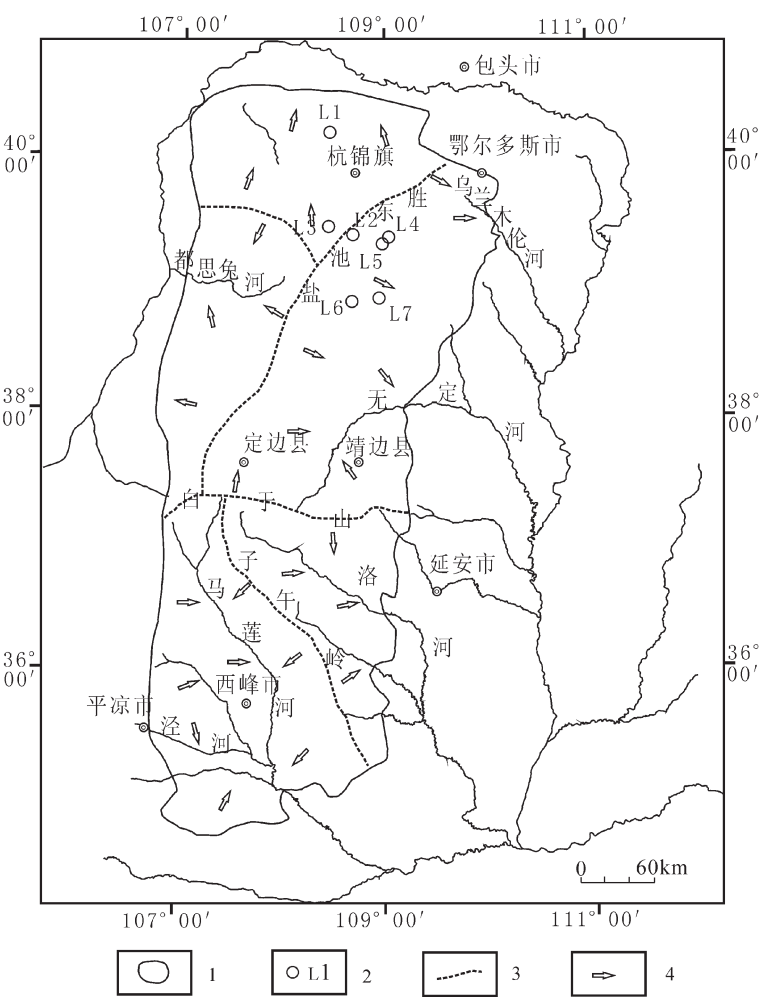


图 1 鄂尔多斯白垩系地下水盆地湖淖调查点位置

Fig. 1 Sites of lakes investigated for mud springs in the Cretaceous Ordos groundwater basin

1—白垩系地下水盆地边界;2—湖淖及编号;3—分水岭;4—地下水流向
L1—L7分别代表盐海子、大克泊、召稍湖、苏贝淖、胡同察汉淖、奥木摆淖和呼和淖

3 结果与分析

3.1 湖眼的分布与形态结构

对盐海子、大克泊、召稍湖、苏贝淖、胡同察汉淖、奥木摆淖、呼和淖等湖泊的调查表明,湖眼仅在部分湖泊中发育,并且在不同的湖泊发育情况不同,其中大克泊湖眼最为发育,有数千个之多,奥木摆淖仅有几个,而在召稍湖未见到湖眼。大克泊位于盐池-东胜分水岭附近,是一个内陆湖泊,常年有水,海拔1340 m(a.b.s),湖泊面积约4.0 km²,流域面积约188 km²,周边分水岭最高高程为1513 m(a.b.s)。在大克泊,湖眼分布在湖盆边部,分布的密度不均匀,密度高的地方几十平方米一个,少的地方数百平方米一个。

湖眼是在半干涸的湖盆上,从湖盆下部向湖盆表面溢出的灰黑色富含有机质的泥浆泉,由于蒸发作用,在泥浆溢出口(湖眼口)周围堆积变干,形成大小不等、形态像火山锥似的灰色小丘(图2)。湖眼口直径从几厘米至20~40 cm,小丘直径从几十厘米至2~3 m,丘高从几厘米至几十厘米。

箭头表示地下水径流方向

3.2 湖眼的动态特征

大多数湖眼具有间歇式活动的特点,泥浆上涌时断时续。泥浆上涌时,泥浆充满湖眼口后溢出到湖眼的锥体上;而湖眼活动停止时,湖眼口处的泥浆下降形成一个凹陷(图3)。湖眼的活动周期较长,泥浆涌动的速度较慢,肉眼难以觉察其涌动,而湖眼活动的强度可以从新涌出的泥浆的数量加以判断。为了查明湖眼的活动与地下水水位的关系,在2005、2007年的8月和2007年12月,分别对大克泊等湖泊的湖眼活动状况进行了调查。

夏季是研究区主要的降水季节,由于此时农灌抽水量较大,在部分地区,如大克泊,浅层地下水水位此时较低,湖水面积较小;而在冬季(12月份),夏季入渗补给的地下水此时向湖区大量排泄,湖区地下水水位升高到较高的位置,在湖盆周围形成一个较强的地下水溢出带。大克泊夏季浅层地下水水位较低时,大部分湖盆暴露在水面以上,可见到较多的湖眼,此时湖眼活动较弱,泥浆水分少,溢出的泥浆数量较小。在湖盆近岸的地方,个别湖眼上生长有苔草等植物,挖开其上部半干涸的壳层,下部可见泥浆,表明这些湖眼暂时处于不活动状态。冬季浅层地



图2 湖眼

Fig. 2 Mud spring

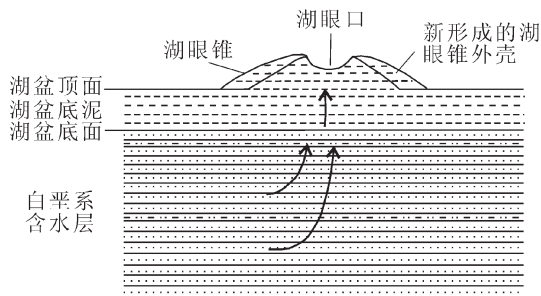


图3 湖眼的形成模式

Fig. 3 Formation model of the mud spring

下水水位较高时,大部分湖眼被湖水淹没,未被湖水淹没的湖眼活动较强,泥浆水分较多,溢出的泥浆数量较大,处于湖面以下的湖眼亦然处于活动状态,并可溢出大量的泥浆,此时在湖盆近岸的地方,那些夏季不活动的湖眼也开始重新活动。当浅层地下水水位升高时湖眼活动性增强,相反则减弱,这一动态变化表明,大克泊湖眼的活动受浅层地下水的控制。

与大克泊的情况不同,在奥木摆淖(2007年8月),由于浅层地下水水位下降,湖泊已经干涸,但亦然有数十个湖眼在活动。据附近村民观察,无论湖水水位怎样变化,这些湖眼在过去几十年从未停止过活动,并且湖眼所排出的水量没有明显的变化。这表明这些湖眼的形成与浅层地下水的关系较小,可能受较深层地下水的控制。

因此,研究区内湖眼的活动受到不同深度地下水的控制,可以根据湖眼和地下水的动态变化判断控制湖眼活动的地下水的循环深度。

表1 地下水和湖眼水的水化学成分

Table 1 Hydrochemical compositions of groundwater and water from mud springs

水样 编号	样品类型	水温 /℃	pH	TDS	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
YW9	大克泊环河组承压 含水层 300m 深	15.0	8.25	240.46	4.80	74.80	8.20	5.40	8.10	46.00	165.00	10.66
YW10	大克泊村潜水	11.0	7.63	442.90	5.00	42.30	99.10	42.70	58.80	84.00	222.00	0.00
H484	奥木摆淖湖眼水	12.0	8.58	349.42	20.70	54.00	16.10	38.50	30.37	35.09	284.96	0.00
Y4	大克泊湖眼水	11.0	8.19	1113.22	7.61	173.00	52.80	135.00	101.84	172.59	892.04	0.00

注:单位为mg/L

3.3 湖眼的物质来源

为了研究湖眼的物质来源,本研究对湖眼泥的物质组成和湖眼水的化学组成进行了分析。

湖眼泥浆的组成除水外,主要有粉砂、粘土和有机质,其中有机质含量超过20%以上,远高于含水层中的有机质(小于1%)。据大克泊一湖眼泥样品的X衍射分析结果,湖眼泥中蒙脱石和伊利石含量可分别达到26%和12%,铁白云石可达17%,远高于白垩系地层中相应矿物的含量。湖眼泥的物质组成表明泥浆源自湖盆底泥。

在自然条件下,地下水水化学通常沿碳酸盐-硫酸盐-氯化物的序列演化^[9],根据地下水水化学类型和总溶解固体(TDS)可以判断地下水的演化进程。在大克泊,中深层承压水(样品YW9,埋深约300 m)水化学类型为Na⁺-HCO₃⁻-SO₄²⁻型,TDS为240.46 mg/L,水温为15℃,与中深层承压水(样品YW9)水化学类型不同,浅层地下水(样品YW10,埋深小于100 m)水化学类型为Ca²⁺-Mg²⁺-Na⁺-HCO₃⁻-SO₄²⁻型,TDS为442.9 mg/L,水温为11℃,与当地年平均温度一致(表1)。从水化学组成看,浅层地下水并非来自深层地下水的补给,而是来自局域地下水系统的侧向补给。大克泊的湖眼水(样品Y4)水化学类型为Mg²⁺-Na⁺-HCO₃⁻型,TDS为1113.22 mg/L。其阴离子类型与浅层地下水相似,均以HCO₃⁻为主,阳离子则由Ca²⁺-Mg²⁺-Na⁺型变为Mg²⁺-Na⁺型,可能是地下水通过湖盆底时发生了Mg²⁺-Na⁺和Ca²⁺-Na⁺离子交换的结果,而TDS的增加则是蒸发作用的结果。湖眼水和地下水的水化学组成表明,大克泊湖眼水来自浅层地下水系统。这一结论与大克泊湖眼的动态特征所反映的地下水循环深度一致。

在奥木摆淖,湖眼水(样品H484)水化学类型为Mg²⁺-Na⁺-HCO₃⁻型,TDS为349.42 mg/L(表 1)。由于在奥木摆淖区域浅层地下水和深层地下水(西边的B7孔和东边的B15孔)均为Ca²⁺-HCO₃²⁻或Ca²⁺-Mg²⁺-HCO₃⁻型地下水,TDS均小于500 mg/L^①,与湖眼水的水化学组成相似,因此在奥木摆淖用湖眼水的水化学组成判断地下水的循环深度比较困难。与大克泊的湖眼水相似,奥木摆淖湖眼水由于发生了Ca²⁺-Na⁺的离子交换,形成阳离子以Mg²⁺和Na⁺为主的地下水。

3.4 湖眼的形成

在大克泊和奥木摆淖,无论是浅层地下水还是深层地下水均可能形成湖眼,所以湖眼的形成与否与地下水的循环深度没有必然的关系。

在大克泊,湖盆底泥粒度很细,渗透性较低,采用竖管法测得大克泊底泥的渗透系数为0.2~1.0 cm/d,湖盆底泥的低渗透性使从湖盆下部白垩系含水层排出的地下水不能沿湖盆底泥侧向长距离径流,而只能向上溢出地表。底泥的低渗透性同时也降低了地下水溢出的速率,否则,较大的地下水排泄量可以将泥浆带走,无法形成湖眼。另一方面,在乌杜淖和呼勒陶勒盖淖湖盆的边部可以见到面状地下水渗出带,渗出带附近底泥粒度较粗,这表明底泥粒度较粗时容易形成面状渗出,而不能形成湖眼。因此,湖眼的形成与湖盆底泥的渗透性有密切的关系,渗透性较高的湖盆不易形成湖眼。

既然湖眼只能出现在湖盆底泥的渗透性较低的湖盆中,地下水不能沿湖盆底泥侧向长距离径流,那么湖眼出现的位置就指示着含水层排泄地下水的位置,也表明地下水是以点状形式排泄的,这也意味着

地下水主要沿优势通道径流和排泄。

4 结 论

湖眼是分布在湖盆上的特殊的“泉”,是地下水在湖泊中的顶托排泄点。湖眼泥浆源自湖盆底泥,湖眼水可来自不同循环深度的地下水。由浅层地下水形成的湖眼,其动态变化与浅层地下水的动态变化一致,而由较深层地下水形成的湖眼,不受浅层地下水水位波动的影响。因此,湖眼的动态变化不仅可以反映地下水的水位的变化,也可以反映地下水的循环深度,结合湖眼水的水化学组成,可以提供有关地下水循环尺度等信息。湖眼的出现表明地下水主要通过优势通道呈点状排泄。湖眼的分布、动态特征和水化学组成对于地下水的循环研究具有一定的水文地质学意义。

致谢:内蒙古自治区地质调查院、吉林大学参加

了部分样品的采集工作,2位审稿人对初稿提出了有益的建议,在此一并致以谢意。

参考文献:

[1]牧寒.内蒙古湖泊[M].呼和浩特:内蒙古人民出版社,2003:1-4.
[2]杨郾城,文冬光,侯光才,等.鄂尔多斯白垩系自流水盆地地下水锶同位素特征及其水文学意义[J].地质学报,2007,81(3):405-412.
[3]张二朋,顾其昌,郑文林.西北区区域地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1998:152-154.
[4]侯光才,张茂省,王永和,等.鄂尔多斯盆地地下水资源与开发利用[J].西北地质,2007,40(1):7-34.
[5]Chebotarev I I. Metamorphism of natural waters in the crust of weathering-3[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,1955, 8(4):198-212.
①侯光才,刘方,张茂省,等.鄂尔多斯盆地地下水勘查报告.2006:33-119.
②内蒙古自治区地矿局104水文地质工程地质队,陕西省地矿局第一水文地质工程地质队,甘肃省地矿局第一水文地质工程地质队,等.陕甘宁蒙白垩系自流水盆地地下水资源评价报告.1986:1-80.