

贵阳市乌当区地热田成因及水质特征分析

赵璐¹ 邬立¹ 罗湘赣²

(1. 华北有色工程勘察院有限公司, 河北 石家庄 050021; 2. 贵州地质工程勘察院, 贵州 贵阳 550008)

摘要:贵州省地热资源丰富, 贵阳市乌当区地热田属于该省隐伏型地热资源之一。本文结合钻探资料和区域地质资料, 分析了地热田的埋藏条件、补径排条件、地温场等特征。该地热田主要热储层为中寒武统—奥陶系灰岩及白云岩, 热水径流特征和地温场特征受乌当断裂、乌当背斜等一系列构造控制。测温曲线显示, 保利2号钻孔地温梯度约为 $2.59^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 3号钻孔约为 $2.25^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。本区无附加型热源, 深循环为该区热水的主要形成原因。地下热水的化学类型为 $\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型, 氟和硅的含量较高, 具有一定的医疗价值。为实现地热资源可持续开发, 今后应在本地区开展地热回灌技术的相关研究。

关键词:地热成因; 深循环; 水质特征; 乌当

中图分类号: TK521⁺.33 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)-0724-07

贵州省地热资源丰富, 贵阳市乌当区地热田属于该省隐伏型地热资源之一。该区地热开发始于1986年, 先后施工了御温泉、新一井、天邑温泉、市南供电局以及保利温泉新城内的ZK1、ZK2、ZK3地热供水井; 目前投入使用的有御温泉、天邑和保利1、2号井, 主要用于热水洗浴^[1-4]。

1 地层及构造

从地下水系统分析, 乌当区地热田处于地下水系统的排泄区。为了阐述地下热水的补径排特征, 依据区域地质资料, 将研究的范围向乌当区东南部进行了扩展(图2)。

研究区内地层发育比较齐全, 除缺失白垩系以外, 从震旦系至第四系均有发育。

构造对地下水的富集、运移及排泄起着不同的作用。本区具有控水作用的构造有黄丝背斜、大谷冰背斜、永乐堡向斜、贵阳向斜、乌当背斜和乌当断裂。高程较高, 基岩裸露的黄丝背斜、大谷冰背斜构造对岩溶水起富集作用, 宽缓的永乐堡向斜有利于岩溶

水受热, 紧闭的贵阳向斜和主要断裂构造带构成了研究区岩溶水运动的阻水边界, 高程较低、次级断层发育的乌当背斜核部有利于深层岩溶水向上运移排泄。

2 地热成因分析

2.1 热储和盖层

根据现有钻孔揭露及物探资料, 研究区地下热水的热储属碳酸盐岩岩溶裂隙型层状热储, 地层为中寒武统—奥陶系灰岩及白云岩。盖层在热田中主要起保温隔热作用, 研究区岩溶热水的盖层为中晚奥陶世、志留纪、石炭纪、二叠纪及三叠纪地层。不同构造区盖层的条件不同, 凹陷区的盖层厚度普遍大于隆起区。

2.2 通道

地质构造运动使地层产生断裂、错动、上升、下陷等一系列地质运动, 在岩层中形成了断裂带和破碎带, 如乌当大断裂及乌当背斜核部发育的一系列断层, 不同时期的断裂相互切割, 为热水从地下深处向上运移提供了通道。

收稿日期: 2010-09-01; 改回日期: 2010-12-12

基金项目: 贵州省国土资源厅 2007 年度公益性、基础性项目“贵阳市乌当区地热水资源评价项目”资助。

作者简介: 赵璐, 女, 1983 年生, 硕士, 主要从事矿山水文地质、水资源评价工作; E-mail: lulubuku0503@sina.com。

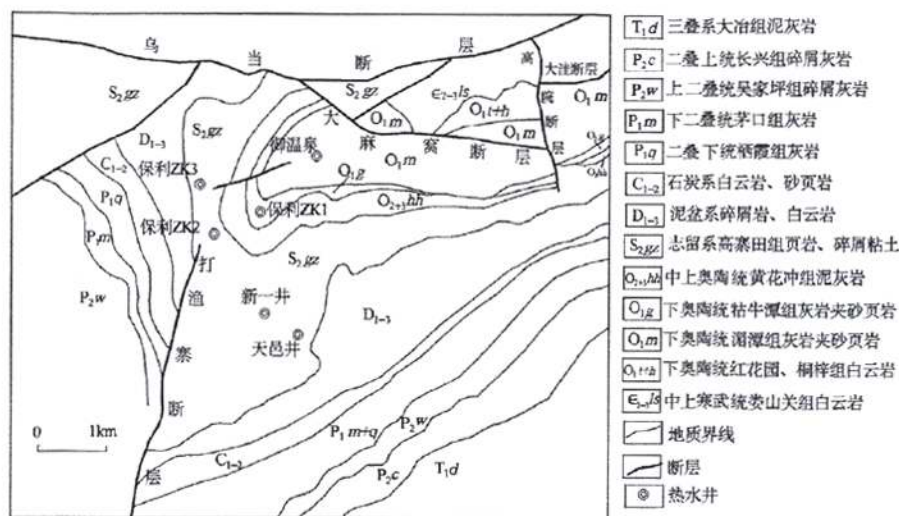


图 1 乌当区地热田地质图

Fig.1 Geological map of the geothermal field in Wudang district

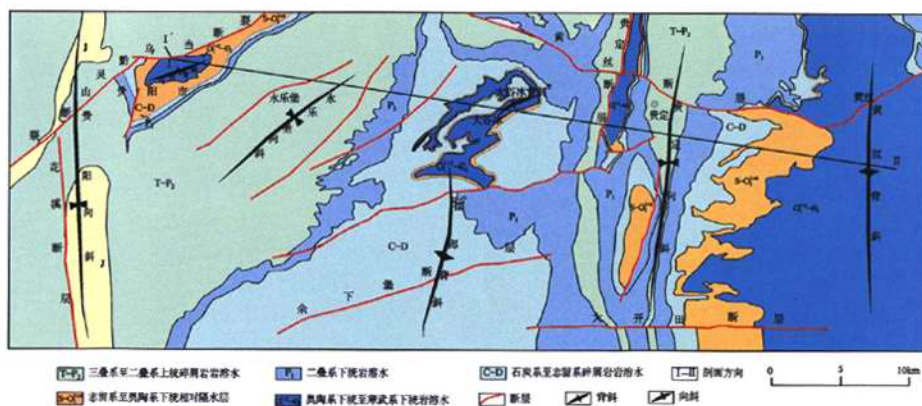


图 2 区域地质构造简图

Fig.2 Regional geological structure of the study area

2.3 水源

从图 2 可以看出,在黄丝断层以南、贵定—昌明一线以东,即黄丝背斜核部,为寒武—奥陶系碳酸盐岩裸露区,岩溶水在该区接受补给,补给方式为大气降水直接补给。该区内溶蚀裂隙发育,破坏了碳酸盐岩地层的连续性。新构造运动加剧了背斜隆起区物理风化的深度和速度。由于这种卸荷作用使得局部

原有构造裂隙的开启性变好,从而更有助于大气降水的入渗。另外,在大谷冰背斜核部、贵定向斜的次级背斜核部也为寒武—奥陶系碳酸盐岩裸露区,直接接受大气降水补给。此外,上覆含水层可通过断裂构造对热储层产生补给。

在寒武—奥陶系碳酸盐岩裸露区接受补给后,岩溶地下水从东南方向向西北方向径流,流经贵定

向斜、永乐堡向斜,因碳酸盐岩深埋于志留纪、泥盆纪、石炭纪、二叠纪、三叠纪地层之下(顶板埋深一般大于 2000 m),岩溶发育微弱,渗透能力弱,水流流速变得非常缓慢,向斜核部有利于地下水的富集,此时地下水在地下有足够的时间加热。

寒武—奥陶系岩溶水最终流向乌当断裂带排泄。乌当断层为一条区域断层,强烈的压扭性质使其形成了胶结紧密的破碎带,透水条件较差,构成阻水边界。部分岩溶水在断裂带前运移受阻,在断裂中垂直上升与浅层岩溶水混合,或出露地表形成泉。由于岩溶水的大量开采,目前乌当断裂排泄带的泉水已全部干涸,人工开采成为岩溶水排泄的重要方式。

根据碳同位素的测试结果,排泄区岩溶水的年龄为 13.8 ka,指示热水主要来自更新世的古大气降水的入渗补给。

2.4 热源

地热水通常可分为有附加热源型和无附加热源型两种。地质、构造资料显示,研究区不存在浅部的岩浆侵入等附加热源。

地温分布受区域地质构造的影响,一般而言,地温的高低与区域地质构造一致,基底的起伏与地温的高低呈正向关系。深部热量由导热率高的地层向

导热率低的岩层传导的过程中,热流进行了再分配,在隆起区的基底岩层的顶部积聚,使地温高于坳陷区^[5,6]。从基底构造图^[7](图 3)上可以看出,研究区位于黔中隆起和黔南坳陷的过渡带上,从构造条件上讲,不利于热量的积聚。

另外,如果莫霍面上拱,可以相对缩短距地壳表层的距离,从而使岩溶水能更好地接受软流体通过热传导向地层的供热。图 4 是由布格重力平面模型演算而来的莫霍面埋深等值线图^[8-10],莫霍面埋深由东向西逐渐增加,表明从补给区到排泄区的径流过程中并不存在莫霍面相对隆起的区域。

因此,热水形成主要依靠深部软流圈在地壳纵向上产生的正常地热增温,即属于深循环成因。天邑井热水中富含氡,即从一个方面反映了热水的深部循环条件良好。岩溶水接受补给后,以缓慢的流速向西径流,在流动过程中,岩溶水不断吸收周围岩体的热量,在没有幔源物质的混合情况下,依靠正常的地热增温对岩溶水进行加热,巨厚的盖层起到了重要的保温隔热作用。而岩溶水处于良好的封闭环境中,径流途中向斜的“滞水”作用使岩溶水流速非常缓慢,加之径流途径也比较长,保证了岩溶水有充足的时间接受传导热流,水温因此增高。

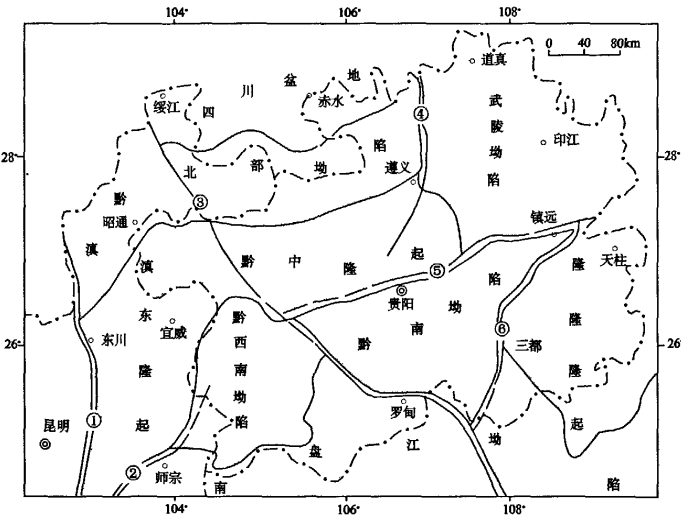


图 3 贵阳及周缘地区基底构造简图^[7]

①—⑥为较大的断裂

Fig.3 Basement structure in Guiyang and surrounding areas^[7]

①—⑥ stand for major faults

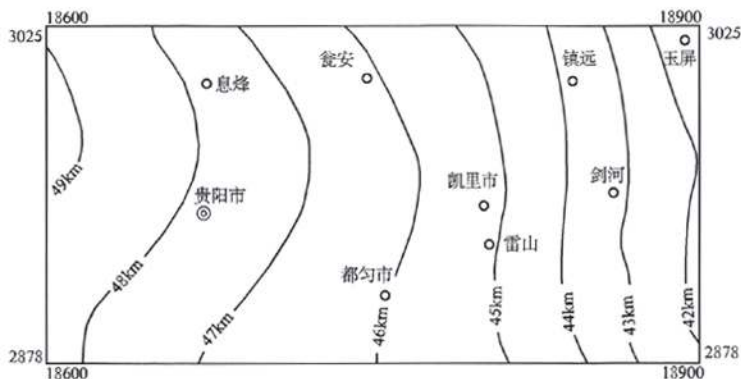


图 4 贵阳及周缘地区莫霍面埋深图
Fig.4 Depth of Moho in Guiyang and surrounding areas^[8]

综上所述,研究区岩溶热水形成过程和原因可形成如图 5 所示的概念模型。

3 地温场特征

保利 2 号钻孔终孔 1922 m,保利 3 号钻孔终孔 2193 m。上部均为志留系高寨田组、中上奥陶统黄花冲组、下奥陶统牯牛潭及湄潭组地层,构成了寒武—奥陶热储层的盖层。

2 号孔盖层厚度约 715 m,整个钻孔内地温梯度约 2.59℃/100 m。该钻孔的测温曲线显示:①地表至 122 m 为志留系盖层,平均地温梯度为 2.83℃/100 m;②122~715 m 为奥陶系盖层,平均地温梯度为 2.14℃/100 m;③715~856 m 为奥陶系热储层,平均地温梯度为 4.59℃/100 m;④856~1922 m 为寒武系热储层,平均地温梯度为 2.27℃/100 m。在 1300~1700 m 处,地温曲线向上凸起,地温梯度增大,指示

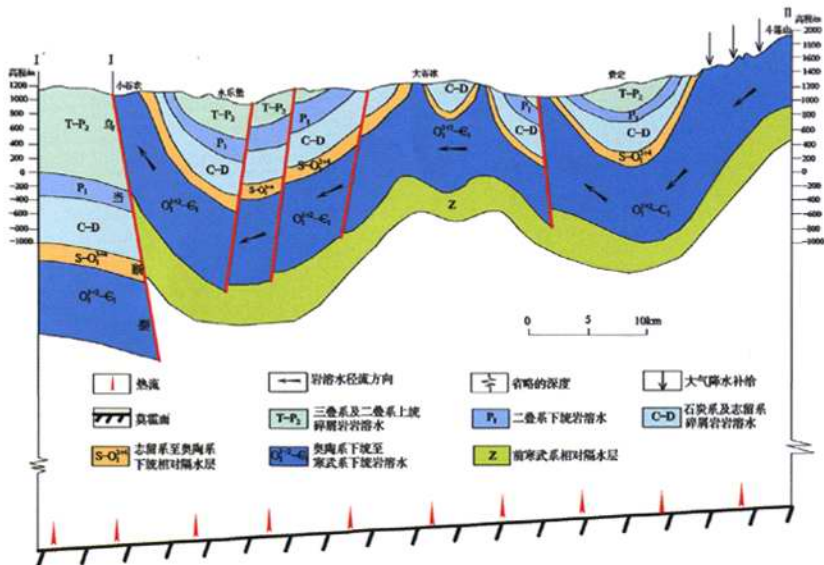


图 5 热储水文地质概念模型
Fig.5 Hydrogeological conceptual model of geothermal reservoir

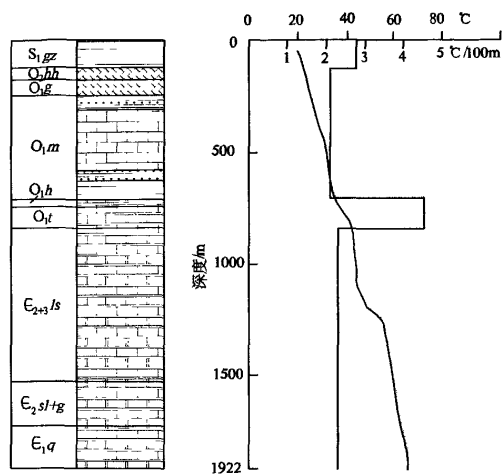


图 6 保利 2 号钻孔柱状图及温度剖面
Fig.6 Bore columnar section and temperature profile of Baoli ZK2 drill hole

热水的上涌运动特征。

3 号钻孔盖层厚度约 849 m，整个钻孔内地温梯度为 2.25℃/100 m。该钻孔的测温曲线显示：① 34~241 m 井深处的地层为志留系盖层，平均地温梯度为 2.24℃/100 m；②241~849 m 为奥陶系盖层，平均地温梯度为 2.60℃/100 m；③849~1060 m 为奥陶系热储层，平均地温梯度为 4.07℃/100 m；④1060~1489 m 为寒武系热储层，平均地温梯度为 1.81℃/100 m。在 900~1100 m 处地温曲线向上凸起，同样指示热水的上涌运动特征。

地温梯度与基岩顶面埋深的关系十分密切，总的特点是随着盖层厚度的减小，地温梯度逐渐增大^[11,12]。由于两个钻孔的位置靠近乌当背斜核部，热储层上部仅覆盖了志留系和奥陶系上统地层，盖层厚度相对背斜的翼部及向斜部位要薄，因此，乌当背斜核部的地温梯度应较其他地区高。随着地层向东南方向的延展，泥盆纪—三叠纪地层出露，盖层厚度将达到 2000 m 以上，推测地温梯度将会随之减小。

4 地下热水水质特征

地热水的用途与价值与它所含的气体成分、盐类组分及微量元素有关。根据水化学资料可知，4 个热水水样的化学类型均为 SO₄-Ca·Mg 型。高 Ca²⁺、高 SO₄²⁻是乌当区热水的特点，这两种离子的高含量

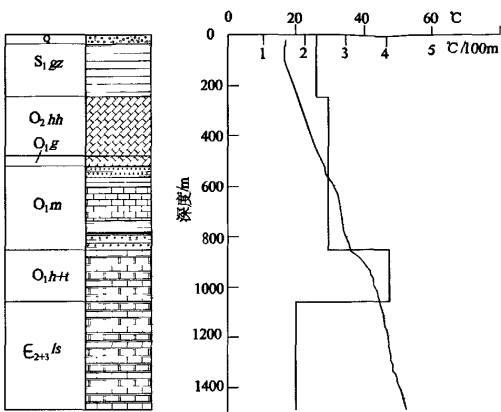


图 7 保利 3 号钻孔柱状图及温度剖面
Fig.7 Bore columnar section and temperature profile of Baoli ZK3 drill hole

使得热水的总硬度、溶解性总固体值都比较大；另外，热水中氟和偏硅酸含量均达到了医疗价值浓度的标准；天邑井热水中氡的含量也达到了医疗浓度

表 1 乌当区热水井水样水化学分析结果(mg/L)
Table1 Chemical analytical results of hot water in Wudang district (mg/L)

	天邑	新 1	保利 1	保利 2
pH 值	7.04	7.64	6.94	6.97
总硬度	970	904.1	494	483.05
可溶性总固	1480	1456.51	696	740.6
偏硅酸	52.5	42.04	38.7	38.09
K ⁺	16	20	11	11.7
Na ⁺	18	24	15.4	23.8
Ca ²⁺	269	252.82	150.7	128.55
Mg ²⁺	72.5	65.96	45	39.21
HCO ₃ ⁻	166	197.94	240.85	219.38
F ⁻	3.37	2.68	1.07	0.68
Cl ⁻	8.32	11.17	4.56	11.93
SO ₄ ²⁻	859	777.56	356	304.8
NO ₃ ⁻	0.4	0.67	0.014	6.67
总 a 放射性	2.99	-	-	-
总 B 放射性	1.11	-	-	-
氡 (Bq/L)	83.54	-	-	-
水温(℃)	62	60	50	55

注：-表示未做检测。

的标准,但是总 α 放射性、总 β 放射性超标,因此该区的热水不适宜饮用但具有一定的医疗价值。

5 结论与展望

通过对贵阳市乌当区地热田地质构造条件、大地热流、地温场特征、同位素、水化学及放射性元素组成的分析,可以得出:该区地热属于隐伏型地热,热储层主要为寒武系清虚洞组-娄山关群、奥陶系桐梓组、红花园组白云岩地层,上奥陶统至三叠系为盖层,起保温隔热作用。黄丝背斜、大谷冰背斜、永乐堡缓向斜、贵阳向斜、乌当背斜和乌当断裂等构造对地下水的补径排过程起到了控制作用。该区地温梯度约 $2.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,无附加型热源,依靠正常的地热增温对岩溶水进行加热。地下热水的化学类型为 $\text{SO}_4\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型,氟和硅的含量较高,具有一定的医疗价值。

地热资源开发利用将对深部热储温度场和地表生态环境等产生复杂影响。为了缓解因规模化开采造成的地下水水位下降、地表植被退化等问题,同时为了保护地热资源、减少资源浪费、延长生产寿命,实现地热资源可持续开发,采用地热回灌技术是十分必要的^[13-15]。然而在乌当区地热田乃至贵阳市内,地热回灌技术尚未得到应用。因此,今后应对回灌技术在本地区的适用性以及采灌条件下热储层地温场、化学场的动态特征等问题展开研究。

参考文献(References):

- [1] 毛健全. 贵阳安井—新添寨地热田初步研究 [J]. 贵州工业大学学报, 2001, 30(3):17-20.
Mao Jianquan. A Primary study on the geothermal field of Anjing-Xintianzai, Guiyang [J]. Journal of Guizhou University of Technology, 2001, 30(3):17-20(in Chinese with English abstract).
- [2] 梅延波, 王安祥, 曹玉志, 等. 中华人民共和国区域水文地质普查报告: 贵阳幅[R]. 贵州省地质局, 1982.
Mei Yanbo, Wang Anxiang, Cao Yuzhi, et al. Regional Hydrogeologic Survey Report of the People's Republic of China: Guiyang Site [R]. Guizhou Bureau of Geology, 1982 (in Chinese with English abstract).
- [3] 毛健全. 贵州喀斯特环境研究[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988.
Mao Jianquan. Research on Karst Environment in Guizhou [M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 1988 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张世从, 陈履安. 贵州热矿水[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1988.
Zhang Shicong, Chen Lvan. The Thermal Mineral Water in Guizhou Province [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1988(in Chinese with English abstract).
- [5] 陈墨香. 华北地热[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
Chen Moxiang. Geothermal of North China [M]. Beijing: Science Press, 1988 (in Chinese with English abstract).
- [6] 陈墨香, 汪集旻, 汪缉安, 等. 华北断陷盆地热场特征及其形成机制[J]. 地质学报, 1990, (1):80-91.
Chen Moxiang, Wang Jiyang, Wang Ji'an, et al. The characteristics of the geothermal field and its formation mechanism in the North China down-faulted basin[J]. Acta Geologica Sinica, 1990, (1):80-91(in Chinese with English abstract).
- [7] 吴世祥, 金之钧, 汤良杰. 盖层水岩相互作用研究及其油气地质意义——以黔中隆起及周缘为例 [J]. 地质学报, 2007, 81(8):1110-1117.
Wu Shixiang, Jin Zhijun, Tang Liangjie. Water-Rock interaction of caprocks and its significance in petroleum geology—A case from the upheaval in the middle of Yunnan Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(8):1110-1117(in Chinese with English abstract).
- [8] 范祥发. 从1:50万重力异常探讨贵州省区域地质构造格架[J]. 贵州地质, 1999, 16(3):195-198.
Fan Xiangfa. Discussion on the regional geological tectonic framework of Guizhou based on 1:500,000 gravity anomaly [J]. Geology of Guizhou, 1999, 16(3):195-198(in Chinese with English abstract).
- [9] 范祥发, 王亮, 朱大友. 黔中—黔东南地区深部地质构造和“黔中隆起”重力异常初步解释[J]. 贵州地质, 1998, 15(3):229-233.
Fan Xiangfa, Wang Liang, Zhu Dayou. An understanding of deep structures beneath central and southeastern Guizhou and the interpretation of gravity anomaly over the “Qianzhong Uplift” [J]. Geology of Guizhou, 1998, 15 (3):229-233 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王亮, 龙秀洪, 张应文, 等. 贵州1:20万重力异常分布特征与透露的区域地质构造新信息[J]. 贵州地质, 2007, 24(1):64-69.
Wang Liang, Long Xiuhong, Zhang Yingwen, et al. Distribution characteristics of gravity anomaly with a scale of 1 to 200,000 and new information exposed on regional geologic structure in Guizhou [J]. Geology of Guizhou, 2007, 24(1):64-69(in Chinese with English abstract).
- [11] 汪集旻, 熊亮萍, 庞忠和. 中低温对流型地热系统 [M]. 北京: 科学出版社, 1993:67-82.
Wang Jiyang, Xiong Liangping, Pang Zhonghe. Low-medium Temperature Geothermal System of Convective Type [M]. Beijing: Science Press, 1993:67-82 (in Chinese with English abstract).
- [12] 熊亮萍. 隆起与拗陷地区地温场的特点[J]. 地球物理学报, 1982, 25(5):448-456.
Xiong Liangping. Characteristics of geotherm in uplift and depression [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese with English abstract).
- [13] 曾梅香, 田光辉, 赵越波, 等. 采灌条件下中低温热储温度场动态特征初探[J]. 中国地质, 2010, 37(1):191-197.

- Zeng Meixiang, Tian Guanghui, Zhao Yuebo, et al. A tentative discussion on dynamic characteristics of the low -medium temperature geothermal reservoir field under the condition of exploitation-reinjection [J]. *Geology in China*, 2010, 37 (1):191-197 (in Chinese with English abstract).
- [14] 韩再生, 冉伟彦, 佟红兵, 等. 浅层地热能勘查评价[J]. *中国地质*, 2007, 34(6):1115-1121.
- Han Zaisheng, Ran Weiyan, Tong Hongbing, et al. Exploration and evaluation of shallow geothermal energy[J]. *Geology in China*, 2007, 34(6):1115-1121(in Chinese with English abstract).
- [15] 匡耀求, 黄宁生, 朱照宇, 等. 试论大地热流对地表环境与生态演变的影响[J]. *中国地质*, 2002, 29(1):86-95.
- Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, Zhu Zhaoyu, et al. Influence of the terrestrial heat flow on the evolution of the surface ecosystem and environment [J]. *Geology in China*, 2002, 29 (1):86-95 (in Chinese with English abstract).

An analysis of the genesis and water quality characteristics of the geothermal field in Wudang District, Guiyang

ZHAO Lu¹, WU Li¹, LUO Xiang-gan²

(1. North China Nonferrous Engineering Investigation Institute Co., Ltd., Shijiazhuang 050021, Hebei, China;

2. Guizhou Geological Engineering Investigation Institute, Guiyang 550008, Guizhou, China)

Abstract: Guizhou Province has rich geothermal resources, and the geothermal field in Wudang district is one of the concealed geothermal resources in Guiyang City. Mode of occurrence, recharge, flow and drainage conditions of the geothermal field were analyzed according to drilling data and regional geological data. The main geothermal reservoir is middle Cambrian-Ordovician limestone and dolomite. Characteristics of geothermal water runoff and geothermal field are controlled by a series of structures such as Wudang fracture and Wudang anticline. Temperature curve shows that the temperature gradient of Baoli No. 2 drill hole is about 2.59 °C / 100m and that of Baoli No. 3 drill hole is about 2.25 °C / 100m. There is no additional heat source in this area. Deep circulation is the main origin of geothermal water. The chemical type of geothermal water is SO₄-Ca·Mg, and content of fluorine and silicon is relatively high, so the geothermal water has some medical value. Geothermal reinjection technology should be studied to achieve the sustainable development of geothermal resources in the future.

Key words: geothermal genesis; deep circulation; water quality characteristics; Wudang

About the first author: ZHAO Lu, female, born in 1983, master, engages in mining hydrogeology and water resources evaluation; E-mail: lulubuku0503@sina.com.