

云南水富地热钻孔水的地质地球化学特征

陈 菁, 尹 观

成都理工大学 地球化学系, 成都 610059

摘 要: 本文讨论了金沙江河谷区云南水富地段内地热带的区域地质背景和主要地质构造格局, 并通过对区内地热钻孔水及邻近的地表泉点、地表水的同位素与水化学分析研究, 及地热水的形成和成藏的地质地球化学过程探讨, 指出地热区位于多方向构造的复合部位, 发育的断裂构造利于富集并提供良好的热源和深部地下水循环通道, 属中低温对流型地热系统; 源于大气降水, 补给区系区内最高, 运移途径长, 循环深度大, 在含水层内的滞留时间最长, 与热储层的能量交换充分。地热水具有水温稳定、水量大及承压的特点, 有较大的开发潜力。

关 键 词: 地热水; 地质构造格局; 水化学; 云南水富

中图分类号: P314.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2005)04-0337-05

云南水富与四川宜宾交界处, 金沙江河谷区地段蕴藏着丰富的地热资源。沿金沙江河谷的两岸可见零星的温泉出露。1959年, 四川省地质局水文工程地质大队在向家坝水电站坝基勘测过程中, 沿金沙江河谷(现向家坝水电站坝址区内)所布置的工程钻孔, 有4个钻孔见有承压地热水溢出。其中新滩坝钻孔深达1300多米, 水量最大, 温度最高^[1]。后由四川兴泰集团公司投资, 引出地热水并开发成旅游景点, 冠名为“西部大峡谷温泉”。本文仅探讨地热水的地质、地球化学特征。以评价地热资源的成藏条件与开发潜力。

地热钻井地处四川盆地西南边缘、金沙江河谷右岸云南省水富县新滩坝境内, 与四川宜宾市安边镇仅一水之隔, 属金沙江河谷区内最有代表性的地热井之一。地热区西连大、小凉山, 南接云贵高原, 北被北东向华蓥山脉和北西峨嵋-宜宾山体所隔, 东为南北向川黔山脉。区内峰峦重叠, 山水相依, 自然环境优美, 旅游资源极为丰富, 是我国西部重要的生态旅游区之一。

地热钻井热水温度为73℃(管口温度), 日排量为4306 t/d, 矿化度411 mg/L, 总硬度178 mg/L, 总碱度170 mg/L, 水质类型为HCO₃⁻、Cl⁻-Na、Ca

型。其K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、F⁻、Cl⁻、HCO₃⁻、SO₄²⁻、Li、B、I及偏硅酸、硼含量符合国家的医疗卫生标准, 水质优良, 含多种矿物质及微量元素, 具有一定的医疗价值。加之, 地热水水温高, 水量大, 地热库储量高。地热水的开发为四川南部和云南北部的旅游事业的发展增添了活力。

1 区域地热地质概况

1.1 区域地层及主要热水储层

研究区出露的地层主要有第四系、白垩系、侏罗系和须家河组^[2,3]。地热钻孔位于金沙江南岸新滩坝, 钻孔从三叠系上统须家河组(T_{3x})向下, 经雷口坡组(T_{2l})、嘉陵江组(T_{1j})、铜街子组(T_{1t})和飞仙关组(T_{1f})直达二叠系上统, 井口标高296 m, 孔深2398.3 m。地热水主要赋存于二叠系石灰岩和中、下三叠统中, 温度、水量稳定。区域的热水储层主要为二叠系上统、三叠系下统嘉陵江组(T_{1j})和中统雷口坡组(T_{2l})。其上覆隔水层是侏罗系下统自流井组(J_{1z})泥质页岩系和T_{3x}煤系地层, 泉水以裂隙上升渗透为主, 并沿不同岩性的层间破碎带出露地表, 这就保证了地热区热储层地下水体的温度和高温产出; 其下为T_{1t}和T_{1f}地层, 尤其是后者泥质页岩系

又构成了热储层下伏的第二隔水层,使区内热储层长期处于良好的封闭环境,保证了热水的高温条件和承压特征。

1.2 地热地质构造条件

区内地热多处于华蓥山基底断裂、峨嵋-宜宾基底断裂带与东西向宜宾-合江构造带和南北向构造带多方向构造交接复合部位,或沿金沙江河谷川南拗陷近东西向的狭长地带。区内北东向、北西向、东西向与南北向的断裂构造发育广泛^[2,3],构成庞大复杂的、控水、控热的热储系统。

北东向断裂为区内主要断裂系统。系由一系列不同规模、不同时期但具相同或相似应力场作用形成的压扭性断裂系统。除华蓥山基底断裂外,尚有规模较大的断层如黄泥垭断层、天洋坪断层、仙峰寺断层、观斗山断层等。沿断裂带地表褶皱和断裂特别发育,向两侧构造强度显著减弱,显示地表构造明显受大断裂所控制。

在时间序列上,华蓥山断裂带不但规模大,切割深,而且发育历史悠久、复杂。该断裂带不但对底板溪群变质岩系的发育特征有明显的控制作用,而且明显控制着古生代地层发育的差异性。如志留系沉积西薄东厚,海西期继续活动,石炭系发育,二叠纪沿断裂带发育峨嵋山玄武岩,表明断裂此时已深达硅镁层;三叠纪时断裂带不但控制着东西两侧岩相、厚度的变化,并产有凝灰岩夹层,表明沿断裂带二叠纪—三叠纪的岩浆活动特征,至晚近时期沿断裂带还有浅源地震发生,客观地揭示了该断裂带的近代活动性,为本区及其区域地热资源的形成提供了重要的构造前提。

区内的南北向断裂带属于燕山晚期—喜马拉雅早期的压性断裂构造带,尤其在楼东—新滩坝—安边一带更显发育,在同期活动的北东、北西、东西向构造交切复合的条件下,常形成局部的南北向构造热储层和热异常带。

本区经过不同地质时期、不同方向、不同规模、不同力学性质构造的多期次的复合叠加活动,构造破碎带范围不断扩大,切割加深,同时扩展了热储构造的空间及其空间定位与空间上的相互沟通。又由于在前喜马拉雅期—喜马拉雅期经历了由压—张的变形过程,构造热储规模变大,热水富集。加上晚近时期的强烈活动控制着地热区地震活动的频繁发生,促使地壳深部能量的释放和深部热水的上渗。

研究区处于泸州古隆起区西缘边坡地带,有利的

古地理环境,使中低温沉积拗陷型地热资源成藏成为必然,加之热储层有足够的地热增温深度和热储层上下良好的隔水层及巨厚的保温盖层,导致古隆起区周边水沿层间补给途径的长时间滞留,充分与热储层进行能量交换、吸取和聚集热量,达到提高水温的条件。这一类型的地热系统与云南腾冲的高温地热系统成藏条件存在着本质的区别^[4]。

2 水化学及同位素地球化学特征

2.1 采样及分析结果

在水文地质研究的基础上,一共采集了十件样品。以云南省水富县新滩坝境内地热钻井水为主,包括周边一些泉水、河水、地表泉点的采样布局,沿金沙江距西部大峡谷温泉十几公里上游的鸡罩山、楼东地区与西部大峡谷温泉附近的安边地区进行采集(图1),以了解西部大峡谷温泉与地表水之间的水力联系及补、径、排关系,考虑到温泉的稳定性,是否存在季节性变化,又于第二年的冬季(2005年1月7日)采集了几个样品,其水化学分析及其 δD 、 $\delta^{18}O$ 、T(氡含量)的测定结果见表1和表2。

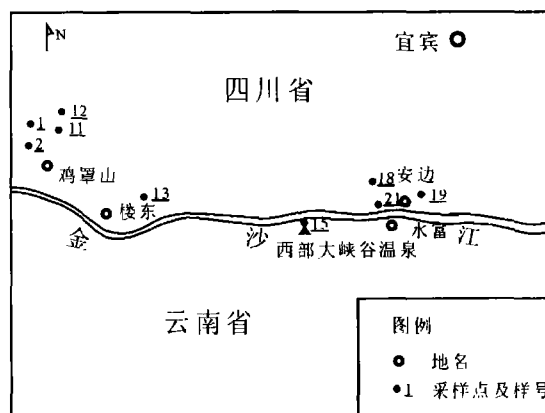


图1 钻孔热水及周边水体采样位置示意图

Fig. 1 Sampling location of the drill

holes for hot water and the ambient water bodies

2.2 地热钻孔热储温度的估算及水化学特征分析

地热化学温标热储温度是划分地热系统的成因类型和评价地热资源潜力不可缺少的重要参数^[5]。而地球化学温标方法(特别是在勘探初期)是提供这一参数的经济而有效的手段。地热流体中溶解物的温度是热储温度的函数。

依据各种化学成分、气体成分和同位素组成而

表 1 钻孔热水及其周边水体水化学特征 (mg/L)

Table 1 Chemical characteristics of the dill holes for hot water and the ambient water bodies (mg/L)												
样品	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	HCO ₃	SO ₄ ²⁻	Na ⁺ /K ⁺	Mg ²⁺ /Ca ²⁺	矿化度	总硬度
W1	0.2	8.7	76.9	17.5	0.10	11.2	288	25	43.500	0.228	428	264
W2 [#]	0.8	6.6	53.0	5.2	0.10	3.0	155	34	82.500	0.098	258	154
W11	0.2	24.3	58.9	22.1	<0.10	7.7	288	37	121.500	0.375	438	238
W12	1.4	16.9	54.4	21.3	0.10	3.4	281	30	12.071	0.392	408	223
W13	0.3	5.6	55.5	14.1	<0.10	6.9	168	57	18.667	0.254	307	197
W15 [*]	4.0	53.9	55.8	9.3	5.78	64.5	207	16	13.475	0.167	411	178
W18	0.3	15.2	109.0	15.6	<0.10	26.2	309	79	50.667	0.143	554	336
W19	0.2	14.9	107.0	9.7	0.17	21.1	274	73	74.500	0.090	500	307
W21	5.7	53.8	53.8	16.6	<0.10	28.0	188	79	8.784	0.308	404	203

分析者:西南冶金地质所赵平、郑忠莲;注:“*”为钻孔热水,“#”为河水或池水,其余为泉水

表 2 钻孔热水及其周边水体的同位素组成

Table 2 Isotope composition of the dill holes for hot water and the ambient water bodies						
样号	采样地点	样品	送样日期	δD _{SMOW} (‰)	δ ¹⁸ O _{SMOW} (‰)	T(TU)
W1	鸡罩山西砖房头古井	泉水	2004.4.29	-55.4	-8.17	13.34
W2	鸡罩山西	河水	2004.4.29	-44.2	-6.61	6.72
W11	鸡罩山西潘家屋基上黄家屋下	泉水	2004.4.29	-55.4	-8.33	11.05
W12	鸡罩山西北油榨嘴	泉水	2004.4.29	-63.2	-8.64	12.50
W13	楼东乡宝林村响水洞	泉水	2004.4.29	-15.5	-5.65	12.47
W15	向家坝大峡谷温泉	地热水	2004.4.29	-65.7	-10.03	<2
			2005.1.7	-64.2	-10.42	<2
W18	安边乡龙岩顶村	泉水	2004.4.29	-49.1	-6.88	13.97
W19	安边乡龙岩顶村东平距 40 m	泉水	2004.4.29	-36.6	-4.12	7.03
W21	安边乡新龙组莲花池南岸山下	泉水	2004.4.29	-47.8	-6.32	7.97

分析者:桂林岩溶地质研究所王华,校核:冯玉梅;注:根据 DA/T0184.19-1997 中规定质量监控采用 DZ0130.2 行业标准,内部监控样和重复检查样的分析数据 σ(δD)=±2.0‰~5.0‰,σ(δ¹⁸O)=±0.2‰~0.5‰均为合格

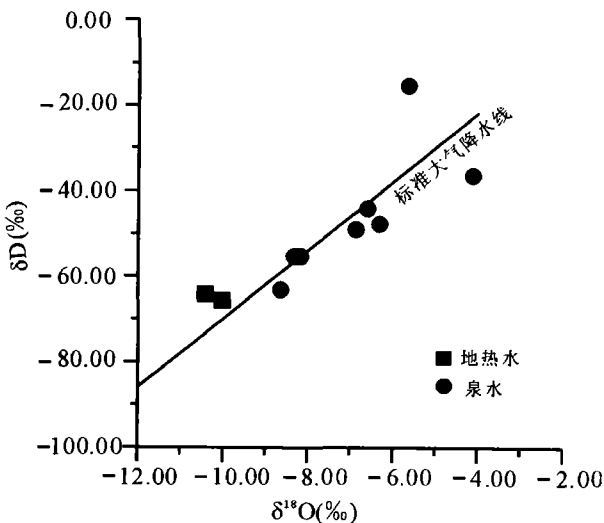


图 2 水体 δD-δ¹⁸O 图

Fig. 2 The δD-δ¹⁸O values of water bodies

建立的地热温标类型很多,各种温标都有其适用条件,应根据地热田的具体条件选用。钾镁地热温标代表不太深处热水贮集层中的热动力平衡条件,尤其适用于 50~300℃ 中低温地热系统,这时液体与

宿主岩体的全部矿物组合之间并未达到平衡^[5]。本文选用由 Giggenbach 等人提出的 K/Mg 地球化学温标进行计算。计算方法为:

$$t = \frac{4418}{13.98 - \lg(C_1^2/C_2)} - 237.15. \quad (1)$$

式中: t 为热储温度(℃); C_1 为水中钾的浓度,mg/L; C_2 为水中镁的浓度,mg/L。

根据水化学资料计算,研究区地热水 K/Mg 地球化学温标估算的热储温度为 84.3℃。井口喷水实测温度为 73℃。根据四川省 2 km 深度最高温度异常区(90℃,地热增温率 $\geq 4^\circ\text{C}/100\text{ m}$)的地热场特征值计算得 95.6℃,三者所得甚为相近。这里使用的 K/Mg 地球化学温标估算的热储温度较接近于实际情况。

由表 1 可见,钻孔热水的 Na⁺、K⁺ 含量均高于其他泉水,并且 Na⁺/K⁺ = 13.475(<15),而 Cl⁻ 浓度为 (64.5 mg/L) 大大高于其他泉水,这两项指标也明显表明该区深部地下水在循环过程中受上部冷水混合作用的影响的程度很小。Mg²⁺ 浓度很低(只有 9.3mg/L),

表明地热水所处的热储层温度稳定、水/岩(在热能的驱使下)交换充分且接近平衡状态,因为水—岩反应中镁在水中的溶解量与温度直接相关,在水温较高的情况下溶解度降低,而在温度较低的地表水中镁的溶解量增加。这也同样显示地热水没有受到地表冷水的干扰。此外,热水的 F^- 、 Cl^- 离子含量均明显高于地表水,意味着与地表水之间不存在直接的水力联系。热水的这些离子含量特征都预示着它们来自地层深部,水在深部的滞留时间长、热交换充分,温度稳定,表明其具有很大的开发潜力。

2.3 地热水的同位素地球化学特征

地热水的 δD 为 $-64.2\text{‰} \sim -65.7\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 为 $-10.03\text{‰} \sim -10.42\text{‰}$, 不含氦($<2T U$, 为测量本底值), 不同季节采样(2004 年 4 月 29 日和 2005 年 1 月 7 日)的测定结果相差不大, 其 δD 、 $\delta^{18}O$ 值明显低于区内地表水。由其 δD 和 $\delta^{18}O$ 值与标准大气降水线的关系可以判定, 深部热水源于大气降水^[6,7]; 但采样区源于大气降水地表水的同位素组成显著高于地热水, 说明深部热水的补给与采样区当地的大气降水关系不大。赋存于中、下三叠统和二叠系的含水层中地热水主要是由金沙河谷地热带西部、西南高山区或拗陷区周边高地地形处大气降水的补给, 该含水层水的补给途径有可能是: 高处补给大气降水沿地层层间或经层间断裂破碎带从高处向深部运移。在 δD - $\delta^{18}O$ 图中 W13 响水洞泉水偏离标准大气降水线较远是因为其为须家河组煤层产出的泉水, 成因复杂, 未加深究。另外, 地热水不含氦, 表现出古水的特征, 显示源于大气降水的地热水经过较长的运移途径, 循环深度大, 水在含水层内的滞留时间最长, 水与地温层的能量交换充分、彻底, 经深部循环、汇聚, 充分吸取热储层的能量, 根据地球化学温标估算的热储温度较接近于实测热水值, 说明水与热储层的热交换接近或达到平衡。

3 结 论

(1) 尽管区各方向构造系统的演变历史、构造规模、力学性质各异, 但由于区域应力场由南北向区域挤压应力场向东西向区域应力场的有序演变及北东向、北西向诱导应力场的叠加, 决定着温泉区构造热储的形成与发育。在各种应力的作用下, 断裂构造相当发育, 并为地下热水提供了良好的通道并利于其富集。晚近期的活动性断裂为地下热水的成生赋存和运移提供了必要条件。

(2) 金沙江河谷(四川宜宾与云南富水交界处)地热带属中低温对流型地热系统。水化学及同位素研究表明: 钻孔水地球化学计算的热储温度为 84.3℃ , 地热增温率计算值 95.6℃ , 与实际井口喷出温度相近; 地热水源于大气降水, 补给区系区内高地, 运移途径长, 循环深度大, 水在含水层内的滞留时间最长, 与地温层的能量交换充分、彻底。加之特殊的地质背景及地理环境, 造就了具有温度稳定、水量大的特点, 表明该区的热水资源存在着较大的开发潜力。

参考文献 (References)

- [1] 四川省地质局水文工程地质大队. 金沙江流域规划阶段向家坝水利枢纽 1:10000 工程地质勘察报告[R]. 1960.
Sichuan Geology Bureau Hydrology Engineering Geology Production Brigade. Jinsha River basin plan-stage to Xiangjiaba hydro-junction 1:10000 engineering geology reconnaissance report[R]. 1960. (in Chinese)
- [2] 四川省地质局水文工程地质大队革命委员会. 区域水文地质普查报告(宜宾幅) 1:200000[R]. 1977.
Sichuan Geology Bureau Hydrology Engineering Geology Production Brigade Revolutionary Committee. Region hydrology geology general survey report (Yibin) 1:200000[R]. 1977.
- [3] 四川省地质局航空区域地质调查队. 区域地质调查报告(遂宁幅、自贡幅、内江幅、宜宾幅、泸州幅) 1:200000[R]. 1980.
Sichuan Geology Bureau Aviation Regional Geology Investigation Team. Regional geology report of investigation (Suining, Zigong, Neijiang, Yibin, Luzhou) 1:200000[R]. 1980.
- [4] 上官志冠, 赵慈平, 李恒忠, 腾冲热海火山地热带近期水热爆炸的阶段性演化特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(2): 124-128.
Shangguan Zhiguan, Zhao Ciping, Li Hengzhong. Evolutionary characteristics of recent hydrothermal explosions in the Tengchong Rehai volcanic geothermal region[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2004, 23(2): 124-128. (in Chinese)
- [5] 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. 67-74.
Wang Jiyang, Xiong Liangping, Pang Zhonghe. Low midium temperature geothermal system of convective type[M]. Science Press, 1993. 67-74. (in Chinese)
- [6] 尹观. 同位素水文地球化学[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1988. 192-197.
Yin Guan. Isotope Hydrology geochemistry[M]. Chengdu University of Science and Technology Press, 1988. (in Chinese)
- [7] 王恒纯. 同位素水文地质概论[M]. 北京: 地质出版社, 1991. 46-50, 78-83.
Wang Hengchun. General outline of isotope hydrogeology[M]. Geology Press, 1991. 46-50, 78-83. (in Chinese)

Geological and Geochemical Characteristics of the Water from Geothermy Drill Holes in Shuifu, Yunnan

CHEN Jing, YIN Guan

Department of Geochemistry, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: Geological background of the Jinshajiang River valley in Fushui, Yunnan had been described in this paper. Geological and geochemical processes forming the thermal spring water had been studied by mean of chemical and isotopic data of the water from the geothermy drill holes and the neighbor thermal spring spots. It is indicated that this region is located at a junction of several faults. These faults provided conduits for the thermal water convection to form a low—medium temperature underground thermal water system at depth. The water precipitated downwards from higher places in this area, passed through a long distance and a big depth. Extensive thermal exchange with hot wall—rocks occurred when the water was resorted in depth for a long time. The underground thermal water is characteristic by constant temperature, large amount, and high bearing—pressure, and thus has a big economic potential

Key words: underground thermal water; geological tectonic pattern; isotope hydrochemistry; economic potential; Shuifu, Yunnan

• 学会之声 •

2005 年全国矿物科学与工程学术研讨会纪要

由中国矿物岩石地球化学学会工艺矿物和矿物物理矿物结构专业委员会、中国硅酸盐学会工艺岩石学分会主办,西南科技大学承办,成都理工大学协办的“2005 年全国矿物科学与工程学术研讨会”于 9 月 19~21 日在西南科技大学召开。来自中国科学院、北京大学、浙江大学、南京大学、四川大学、中国地质大学、中山大学等科研院所和高校的专家学者 100 余人出席了大会。其中包括国际矿物协会前主席、俄罗斯科学院院士谢先德,中国科学院院士刘宝珺和於崇文。

会议共征集论文 70 余篇,其中 30 多篇收录于《矿物岩石》2005 年第 3 期,主要内容涉及基础矿物学与矿物科学、工艺矿物与工艺岩石、矿物物理与矿物结构、矿物材料、环境矿物等领域。

大会历时三天,谢先德院士、刘宝珺院士、彭明生教授、曾荣树研究员等 14 位专家分别向大会作了“矿物在静、动态高压下相变 $p-t$ 历史的比较研究”、“西部大开发中的资源与环境”、“同步辐射 X 射线吸收光谱的应用”、“PM10/PM2.5 大气环境质量研究进展”、“生态环境矿物材料研究”、“矿物科学的理论结构”等主题报告。分组交流 46 人次,主要涉及新矿物及其结构研究、矿物特征与新成因、矿物的现代测试技术及应用、宝玉石、非金属矿物的环境治理、矿物辅料材料、功能矿物材料、矿物与微生物作用、矿物复合材料、纳米矿物材料、矿物改性及深加工、稀土与核素矿物处置等。此外,专家们还对矿物科学与工程未来的发展和应用进行了广泛深入的讨论。

这是我国第一次以“矿物科学与工程”作为大会主题召开的全国性会议,它是基于矿物科学与天、地、生、数、理、化以及材料科学、环境科学、生态学、医学、信息学等到学科都有密切的联系,通过与相关学科知识的运用与融合,使矿物科学的研究与应用领域不断拓展,产生众多的交叉分支学科。另一方面,矿物作为人类赖以生存的三大自然物质资源之一,在材料、化工、冶金、农业、地质、环境、航天、医疗、生态等到各个领域都有十分广泛的用途,这就决定了矿物科学同时也是一门应用性很强的科学,涉及工程技术问题也相当广泛,其经济与社会效益的前景十分光明。

与会代表建议整合矿物学界的有生力量,凝炼矿物的科学问题,集中成果显示度,力争在大科学工程上有一席之地,在矿物材料、环境矿物、纳米矿物技术、矿物与微生物、矿物核技术应用、特色矿物工程等方面开展重点研究。

矿物科学与工程大会的深远意义还在于,大会以在新世纪矿物学的发展和直接纳入国民经济中的主战场,从研究矿物、性能、应用和开发矿物的新用途等技术支撑着眼,落脚于提升矿物资源学科在国民经济中的作用和地位,拓宽矿物的领域视野和活力空间。

(董发勤 供稿)