

四川宜宾金沙江河谷区地热资源成藏条件分析

闫秋实, 高志友, 尹 观

(成都理工大学地球化学系, 四川成都 610059)

[摘 要] 本文从地热地质背景、水文地质条件、构造条件、热储条件等几方面对金沙江宜宾段河谷区的地热成藏条件及开发潜力进行了较为深入的论述。研究表明: 该区的古地理环境有利于地表水向深部补给、运移、往更纵深循环以及形成与深部热储充分进行热交换, 有利于形成保持相对封闭的热水构造, 使深部地热水处于承压状态; 热储层盖层对地下水具有良好的保温隔热扩散作用, 且阻隔浅层地表水向下运移; 东西向断裂与南北向断裂或与 NE、NW 向断裂的多方向构造的交切复合部位为深部地热水向上运移排泄的极为有利构造部位; 区内地下水其热源主要是地热增温, 大气降水经由深循环加热, 与深部热储层岩石进行充分的热交换, 温泉水以补给地高、运移途径长、循环深、滞留时间长为特征。

[关键词] 叠合盆地 地热资源 成藏条件 热储温度

[中图分类号] P345

[文献标识码] A

[文章编号] 0495-5331(2012)04-0847-5

Yan Qiu-shi, Gao Zhi-you, Yin Guan. Analysis of geothermal resource formation conditions in the Jinsha River valley of the Yibin area, Sichuan Province[J]. Geology and Exploration, 2012, 48(4): 0847-0851.

四川省南部地区地处印度板块与欧亚板块的碰撞带东南缘, 该边界及其邻近区域是当今世界上构造运动最为活跃的地区之一, 具有产生强烈水热活动和孕育高温水热系统必要的宏观地质构造背景(梁云甫等, 1997)。金沙江宜宾段河谷区处于上述地质构造和热背景邻近地域, 蕴藏着丰富的地热资源, 沿该河谷两岸均有温泉零星出露, 并早在 1959 年于向家坝水电站坝基勘测所布置的 4 钻孔中见有承压地热水溢出^①。后据此成功投资开发了一处旅游疗养型地热资源——“西部大峡谷温泉”。

地热资源的成藏受多方面地质条件影响, 如热源状况、地壳深部地质条件、地质构造、岩石性质和水文地质条件等, 为了更好的开发金沙江宜宾段河谷区的地热资源, 本文围绕以上因素及地质地球化学相关资料, 并结合前人的研究成果^{②③④}(冯志文, 1987), 对该区的地热成藏条件和开发潜力进行较为深入的分析和评价。

1 区域自然地理及区域地热地质概况

金沙江宜宾段河谷区西连大、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, 形成了四周地势高, 倾

向河谷区的地形地貌特征。岷江、金沙江由西向东贯穿全区, 是区内最低侵蚀基准面。区西南为中山山地, 标高一般在 1000 ~ 1300m 左右, 最高点五指山七星包标高达 1958.0m。山势呈北西—南东向延伸, 高耸雄伟, 多深切峡谷。中部及东部为广阔的丘陵地形, 连绵起伏, 标高一般为 350 ~ 500m, 丘陵多圆缓、宽平的坳谷发育。东南角有关斗山、挂弓山、青山岭三条条形低山山垅, 相互平行, 呈北东—南西向雁行排列于丘陵之中, 山岭标高 400 ~ 600m, 山形瘦长狭窄, 金沙江横穿其间, 最低水位标高 251m(南溪)。

河谷区属亚热带潮湿气候, 降水充沛, 但分配不均, 山区多, 丘陵区少, 地表水系发育。

降水大部分形成地表径流由江河排走, 仅小部分渗入地下补给地下水。由于沟谷发育, 第四系残坡积物厚度小, 地形坡降大, 所以地下水循环排泄条件良好, 具有循环交替急剧, 矿化度低, 动态随降水和季节变化明显等特点。

河谷区处于四川盆地南部边缘地带。区内以沉积基底为主。据地震资料和航磁资料显示, 四川盆地川中威远—武胜地区为结晶基底隆起区, 最高处在威远区; 宜宾—泸州地区为结晶基底凹陷区, 位处地温高值区的前缘地段。

[收稿日期] 2011-05-04; [修订日期] 2011-06-15; [责任编辑] 郝情情。

[第一作者] 闫秋实(1976 年—), 男, 2004 年毕业于成都理工大学, 获硕士学位, 讲师, 长期从事地球化学勘查工作。E-mail: yanqiushi@cdut.cn。

河谷区内地层从二叠系到白垩系均有出露。二叠系-三叠系以海相为主,侏罗系-白垩系为红色陆相沉积。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}),其顶底皆为泥质页岩建造,为保证区内热储层热水的高温条件和承压特征提供了良好的封闭条件。

河谷区位于川东褶皱束之赤水凹褶皱束与川东南褶皱束和川中台拱、自贡台凹的交接部位,北东向、北西向、近东西向、近南西向构造发育,构成了区内构造的基本格局(图1),构造叠加现象明显,形成了研究区构造的基本特色。

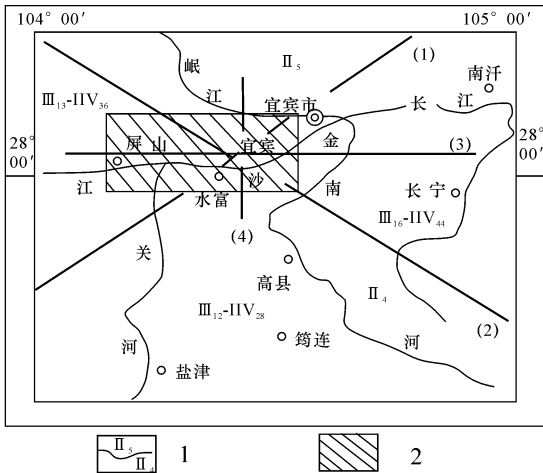


图1 金沙江宜宾段大地构造位置图

Fig.1 Map showing tectonic setting of the Yinbin section of the Yinsha River
1-II 级单元界线;2-研究区;II₅-四川台拗;III₁₃~IIV₃₆-川中台拱-自贡台凹;III₁₆~IIV₄₄-川东陷皱束-赤水凹褶皱束;II₄-上扬子台凹;III₁₂~IIV₂₈-川东南陷皱束-筠连凹褶皱束;(1)-华蓥山基底断裂带(NE向);(2)-峨眉山-宜宾基底断裂带(NW向);(3)-宜宾-合江构造带(EW向);(4)-楼东-鸡罩山构造带(SN向)
I-the secondary tectonic boundary; 2-research area; II₅-Sichuan Platform depression; III₁₃~IIV₃₆-Platform uplift in central Sichuan-Zigong Platform depression; III₁₆~IIV₄₄-Depression fold belt in eastern Sichuan-Chishui depression fold belt; II₄-Upper Yangtze area platform depression; III₁₂~IIV₂₈-Depression fold belt in south-eastern Sichuan-Junlian depression fold belt;(1)-Huayingshan basement faults(NE);(2)-Emei-Yibin basement faults(NW);(3)-Yibin-Hejiang structural belt(EW);(4)-Loudong-Jizhaoshan structural belt(SN)

本区区域发育的东西向褶皱属宜宾-合江东西向构造带的组成部分,在区内主要分布在宜宾-屏山一线。由西向东分别由鸡罩山背斜、新滩坝背斜、安迪向斜和豆坝背斜组成,但褶皱多呈弧形南凸或北凸的背向斜,显属早期东西向褶皱,后期在东西向挤压应力场作用下,普遍发生重褶现象。褶皱轴与金沙江一致或近于一致。重褶皱轴为南北向,并导

致构造热储向重褶轴部规律迁移及热储空间的进一步扩展,是本区主要的构造热储层。

断裂构造是区内和区域的主要控水构造系统,它们在方向上不但与褶皱构造协调一致,而且在力学性质及其演变特征上两者依控关系清晰,共同构成了有序变形及演变的构造图象,且研究区又地处华蓥山、峨眉山-宜宾基底断裂带与东西向宜宾-合江构造带及南北向构造带多方向构造的交接复合部位(见图1),构造破碎强度范围大、切割深、多期次活动明显,是构造热储发育的有利地段。

研究区不仅为多方向构造带的交接复合部位,而且是多属多期次活动的构造系统,并显示各自不同的力学特征与运动方式,形成了变形有序的构造热储系统。其中尤其是北东-北北东向华蓥山基底断裂带,北西向峨眉山-宜宾基底断裂,自晋宁运动以来的各个主要地质时期,不但是各级大地构造单元的主要分界断裂,控制着不同地质时期各类建造的形成与分布,而且由于其多期次不同运动方式的活动特征及与其它方向构造系统的复合叠加关系,大幅度地提高了不同深度构造热储层的破碎空间。尤其是新生代以来和晚近时期的明显活动,又为不同深度的热储构造和热储层的沟通及深层热水的上渗提供了有效的构造前提。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,决定着金沙江南北两侧构造热储的形成与发育。而且由于前喜马拉雅期-喜马拉雅期经历了由压-张的变形过程,使得构造带宽度大,延深加深,构造热储规模大。

四川省境内已查明的地热水点(带)和地热异常带(区)大多出露和分布在构造断裂带,特别是近期活动断裂带上,温、热泉多出现在沿裂隙相对更发育的两组不同方向的断裂带的交接密集带上(梁云甫等,1997)。金沙江河谷为当地切割最深最低的侵蚀面,河道顺东西向断裂带走向发育,具有构造条件和地形条件完全一致的优势。沿河道两侧是地下热储的隔热盖层最薄和地热水最低、最易外泄的窗口。客观的地质事实表明河谷区已出露的各泉水点,无一例外地位于东西向断裂与南北向断裂或与NE、NW向断裂的多方向构造的交切复合部位。而且发育于作为上覆隔水层的侏罗系下统自流井组(J_{1z})泥质岩系和三叠系上统须家河组(T_{3x})煤系地层及其下伏隔水层下三叠统铜街子组(T_{1t})和飞仙关组(T_{1f})保证了热储层中的热水高温产出。

2 热储条件与水文地球化学特征

我们近期于现场分别采集了金沙江宜宾段河谷

区雨季和旱季的地表及地下水样,水样分析由西南冶金地质测试所承担,样品分析结果见表 1。

表 1 研究区各水体主要离子含量表(单位:mg/L)
Table 1 Main ion contents of water in the study area (mg/L)

样品	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Li	H ₃ BO ₃	I	偏硅酸
W1	0.2	8.7	76.9	17.5	0.23	11.2	288	25	0.001	0.031	0.031	16.0
W2 [#]	0.8	6.6	53.0	5.2	0.10	3.0	155	34	<0.001	0.031	0.015	10.2
W3	0.9	27.6	77.5	24.1	0.10	16.3	352	36	0.007	0.059	<0.010	15.5
w3	1.46	20.4	64.5	19.6	0.35	6.02	292	33.3	0.012	0.18	<0.010	21.8
W4	0.8	13.7	38.2	6.4	<0.10	2.2	127	39	0.004	0.042	0.046	18.0
w4	1.36	19.3	35.7	6.67	0.22	5.10	137	38.1	0.010	0.12	<0.010	15.9
W5	0.3	28.0	66.1	21.2	0.13	2.2	330	28	0.006	0.073	0.015	11.6
w5	0.95	26	61.0	20.7	0.30	14.6	285	35.7	0.009	0.16	<0.010	9.58
W6	1.2	20.6	63.2	18.8	<0.10	13.3	280	29	0.004	0.055	0.062	14.8
W7	0.8	29.9	66.0	20.8	0.10	3.0	335	29	0.004	0.048	0.138	13.5
W8	0.033	23.6	58.6	19.0	<0.10	4.3	288	36	0.006	0.053	0.138	14.0
w8	0.82	21.2	58.3	18.7	0.30	4.17	268	36.7	0.011	0.12	<0.010	11.7
W9	0.6	23.7	66.1	17.7	<0.10	6.0	294	43	0.002	0.040	0.123	9.82
W10	0.3	18.9	69.0	19.2	<0.10	9.9	295	42	0.002	0.043	0.007	10.0
W11	0.2	24.3	58.9	22.1	<0.10	7.7	288	37	0.009	0.054	0.092	17.0
W12	1.4	16.9	54.4	21.3	0.10	3.4	281	30	0.010	0.090	0.108	16.7
w12	1.39	19.2	50.3	20.7	0.14	4.2	253	31.0	0.012	0.12	<0.010	15.5
W13	0.3	5.6	55.5	14.1	<0.10	6.9	168	57	0.003	0.061	0.138	8.15
W15 [*]	4.0	53.9	55.8	9.3	5.78	64.5	207	16	0.029	0.074	0.323	72.2
W16	0.8	13.1	45.2	16.5	0.13	9.9	225	11	0.008	0.035	0.092	52.6
w16	0.92	12.7	22.4	8.25	0.26	10.2	106	15.0	0.011	0.080	<0.010	45.1
W18	0.3	15.2	109.0	15.6	<0.10	26.2	309	79	0.003	0.040	0.185	19.9
W18	3.61	25.1	107.0	22.2	0.22	47.2	248	145.2	0.007	0.097	<0.010	21.8
W19	0.2	14.9	107.0	9.7	0.17	21.1	274	73	<0.001	0.055	0.154	9.82
W20	3.5	14.9	74.9	9.9	<0.10	21.5	240	41	<0.001	0.035	0.169	16.5
w20	4.86	42.6	52.6	8.99	5.00	70.4	195	9.5	0.01	0.22	<0.010	77.0
W21	5.7	32.5	53.8	16.6	<0.10	28.0	188	79	0.003	0.026	0.262	29.2
w25	1.24	17.8	99.7	13.2	0.18	31.5	268	78.3	0.008	0.078	<0.010	17.0

分析单位:西南冶金地质测试所,分析人:赵平,郑忠莲。
说明:“*”为温泉水;“#”为河水或池水;其余为泉水。样号大写字母者(W)为雨季采样点;字母小写者(w)为旱季采样点。

表 2 研究区主要泉水及温泉地球化学温标估算的热储温度表
Table 2 Temperature values of geothermal reservoirs calculated by geothermometers

样品号		W3	W4	W6	W7	W9	W12	W15 [*]	W16	W20	W21 [*]
热储温度(℃)	K/Mg	48.7	57.8	55.5	48.0	44.8	57.1	84.3	49.9	81.0	85.6
	K/Na	192.3	228.7	228.6	181.2	178.2	253.7	245.6	231.8	347.1	317.5

根据表 1 水化学分析数据,参考 Henley 建立的地下水主要化学类型(Henley 等,1983),可大致将区内地下水分为两大类型:重碳酸水型(W2、W4、W5、W7、W8、W10、W11、W12、W16 等 9 个样品点)和氯化物-重碳酸水类型(其他样品点)。河谷区温泉水与地表泉水在矿化度、总硬度、总碱度方面没有

明显的差别和特征变化规律(见图 2),可能为该两类型地下水受热水储层主要岩性控制在 Ca²⁺、HCO₃⁻等主体化学成分含量上差异不大所致。Cl⁻/Na⁺则出现明显异常,推测可能与水体在上升通道的滞留时间长短有关,即矿化度相对较低、Cl⁻/Na⁺比较高,说明该水体的来源较深但径流速度快、水/

岩作用影响小;而矿化度较高、 Cl^-/Na^+ 比相对较低, 则说明其滞留时间长, 水/岩作用充分。

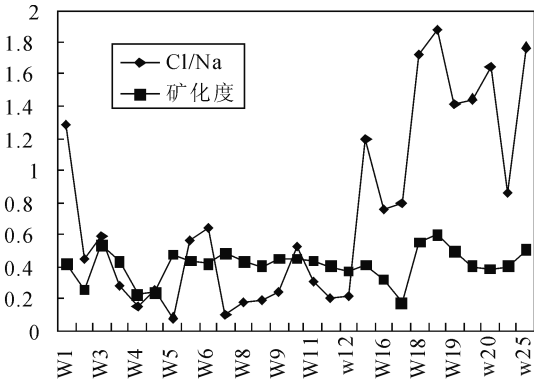


图2 各水样点 Cl^-/Na^+ 、矿化度 (g/L) 变化趋势图
Fig.2 Variation trends of Cl^-/Na^+ and salinity (g/L) for different water samples

根据四川省 2km 深度最高温度异常区 (90°C , 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°C 。采用 Giggenbach 提出的 (Giggenbach 等, 1984) K/Mg 地球化学温标对“西部大峡谷温泉”水样估算出的热储温度为 84.3°C (见表 2), 井口喷水实测温度为 73°C 。其他采样泉点的热储温度值在 $44.8 \sim 85.6^\circ\text{C}$ 间变化, 且旱季都比雨季高, 应为大气降水混入导致热储温度降低所致。

表 2 中 W15* 为“西部大峡谷温泉”, 其余水体均为一般泉水。表 2 列热储温度为雨季采样样品分析数据计算所得。

我们还选择部分样品送桂林岩溶地质研究所进行了 δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 T 的同位素组成测定。作为本区典型的可开发地热资源, “西部大峡谷温泉” (W15*) 地热水主要赋存于中、下三叠统和二叠系石灰岩中, 温度、水量稳定。该样品点的同位素组成 δD 为 $-64.2\text{‰} \sim -65.7\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-10.03\text{‰} \sim -10.42\text{‰}$, 不含氦 ($< 2\text{Tu}$, 为测量本底值)。氢氧同位素组成落在全球大气降水线的尾部区域 (见图 3), 其 δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 T 近乎区内各水体的最低值, 这既说明该温泉水来源于大气降水, 又显示它的补给区为区内最高, 且运移途径长, 循环深度大, 水在含水层内的滞留时间较长, 水与地温层的能量交换充分、彻底 (尹观等, 1988; 王恒纯, 1991)。赋存于中、下三叠统和二叠系的含水层中温泉水 (W22、W12 等) 的同位素地质信息表明, 温泉水主要来自于西部、西南高山区或拗陷区周边缘高地形处大气降水的补给, 经深部循环、汇聚, 充分吸取热储层的能量。部分深层地下水

显然受到浅层地下水及其露头临近区域大气降水下渗混入的影响, 而在旱雨两季具有截然不同氢氧同位素组成 (如 W20 和 w20)。

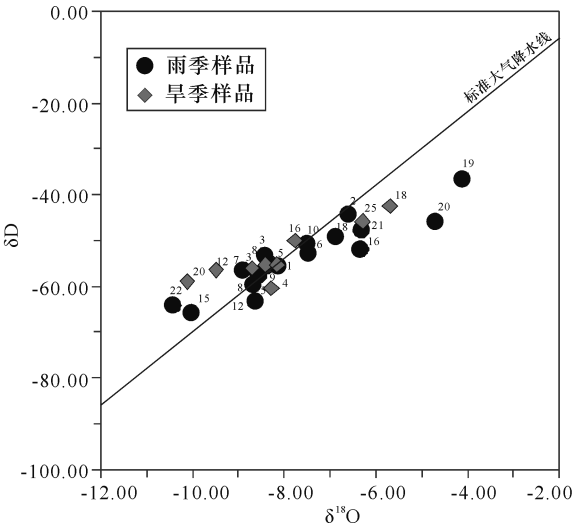


图3 研究区各水体的 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图形及分布规律
Fig.3 Distribution of $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ in water in the study area

综上所述, 以上地下水化学分析数据结果表明河谷区地热体系属中低温对流型地热系统 (汪集旻等, 1993; 汪集旻, 1996; 孙春晖, 1999), 结合研究区所处的地质背景及地理环境, 整个地热系统可以看作一个相对独立的水文地质单元。在该系统内有独立的补给区、径流区和排泄区。补给区位于边缘的山区, 具有较高的地形和水头压力, 岩石渗透性良好, 主要接受大气降水补给; 排泄区位于拗陷区的河谷地带, 或两组断裂的交汇处, 具有较低的地形和水头压力。补给区和排泄区的压差是地下热水运动的主要驱动力, 属于地下水的被迫对流。在补给区、径流区和排泄区地下水的运动各具有不同的特点—地下水的运动在补给区以垂向的下渗运动为主, 地下水吸收围岩的热量; 径流区地下水以水平运动为主, 并在流动过程中不断吸收围岩的热量, 将热量带至排泄区; 在排泄区, 地下水以垂向的上升运动为主, 被围岩加热的地下水将深部的热量传递至浅部, 储集在渗透性良好的岩层中形成热储, 或者溢出地表形成温泉 (或温泉群)。

3 结论

(1) 金沙江宜宾段河谷区一带地热资源应属于沉降盆地型中的沉积拗陷这一类。热储目标层处在泸州古隆起区西前缘边坡带上, 或川南凹陷区, 这样的古地理环境有利于地表水向深部补给、运移, 往更

纵深循环,以及与深部热储充分进行热交换,有利于形成保持相对封闭的热水构造,使深部地热水处于承压状态。

(2) 三叠系上统须家河组、侏罗系-白垩系砂板岩组成本区地热储层盖层。对地下热水具有良好的保温隔热扩散作用,且阻隔浅层地表水向下运移。

(3) 金沙江河谷沿河道两侧是地下热储的隔热盖层最薄和地热水最低、最易外泄的窗口。东西向断裂与南北向断裂或与 NE、NW 向断裂的多方向构造的交切复合部位为深部地热水向上运移排泄的极为有利构造部位。

(4) 区内地下热水其热源主要是地热增温,大气降水经由深循环加热,与深部热储层岩石进行充分的热交换,温泉水以补给地高,运移途径长,循环深,滞留时间长为特征。

以上所述均表明金沙江宜宾段河谷区一带拥有良好的地热成藏条件,其地热资源开发颇具潜力。

[注释]

- ① 四川省地质局水文工程地质大队. 1960. 金沙江流域规划阶段向家坝水利枢纽 1 : 10000 工程地质勘查报告[R].
- ② 四川省地质局水文工程地质大队. 1977. 区域水文地质普查报告 (宜宾幅) 1 : 200000 [R].
- ③ 四川省地质局航空区域地质调查队. 1980. 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].

[References]

Feng Zhi-wen. 1987. The formation of tectono-dynamic hydrothermal solution and metallogenesis; A superficial veiw [J]. Geology and Prospecting, (08) : 6-8 (in Chinese)

Giggenbach W F. 1984. Mass transfer in hydrothermal alteration systems; A conceptual approach [J]. Geochemica et Cosmo-chimica Acta, 48 (12) : 2693-2711

Henley R W, Ellis A J. 1983. Geothermal systems ancient and modern; A geological review [J]. Earth Sci. Rev, 19:1-50

Liang Yun-fu, Huang Shi-ying, Zhang Yun-ming. 1997. Geothermal water resources in Sichuan [J]. Acta Geologica Sichuan, 17 (2) : 136-141 (in Chinese)

Sun Chun-hui. 1999. Introduction to low-medium temperature geothermal system of convective type and the research methods [J]. World Geology, 18 (1) : 96-102 (in Chinese)

Wang Heng-chun. 1991. General outline of isotope hydrogeology [M]. Beijing: Geological Publishing Press; 46-50, 78-83 (in Chinese)

Wang Ji-yang, Xiong Liang-ping, Pang Zhong-he. 1993. Low medium temperature geothermal system of convective type [M]. Beijing: Science Press; 67-74 (in Chinese)

Wang Ji-yang. 1996. Low-medium temperature geothermal system of convective type [J]. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing), 3 (3-4) : 96-102 (in Chinese)

Yin Guan. 1988. Isotope Hydrology geochemistry [M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press; 76-99 (in Chinese)

[附中文参考文献]

冯志文. 1987. 试谈构造动力热液的成生与成矿 [J]. 地质与勘探, (08) : 6-8

梁云甫, 黄世英, 张允明. 1997. 四川的地热水资源 [J]. 四川地质学报, 17 (2) : 136-141

孙春晖. 1999. 中低温对流型地热系统及其研究方法简介 [J]. 世界地质, 18 (1) : 96-102

汪集旻, 熊亮萍, 庞中和. 1993. 中低温对流型地热系统 [M]. 北京: 科学出版社; 67-74

汪集旻. 1996. 中低温对流型地热系统 [J]. 地学前缘 (中国地质大学, 北京), 3 (3-4) : 96-102

王恒纯. 1991. 同位素水文地质概论 [M]. 北京: 地质出版社; 46-50, 78-83

尹 观. 1988. 同位素水文地球化学 [M]. 成都: 成都科技大学出版社; 76-99

Analysis of Geothermal Resources Formation Conditions in the Jinsha River Valley of the Yibin Area, Sichuan Province

YAN Qiu-shi¹, GAO Zhi-you¹, YIN Guan¹

(1. Department of Geochemistry, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059)

Abstract: Taking the Yibin section of the Jinsha River as an example, this paper studied its geothermal resources and potential from geological background, hydrogeology, tectonics and heat-storage conditions. It is indicated that the paleo-geographic environment is favorable for migration and cycling of underground thermal water as well as exchanging heat with the deep heat-storage reservoir. This helps to form relatively closed thermal structures, making the deep thermal water be in pressurized situation. The cap rocks can increase thermal insulation and control thermal diffusion, and prevent the surface water from migrating downward. And this region is located at the junction of several faults which provide conduits for the thermal water convection at depth. The water precipitated downwards from higher places in this area, passing over a long distance and to a big depth. Extensive thermal exchange with hot wall-rocks occurred when the water was resorted at depth for a long time. The geothermal resources in this area have a big economic potential.

Key words: Jinsha River valley, geothermal resources, formation conditions, temperature of geothermal reservoir