内蒙古阿尔山温泉热结构

韩湘君 金 旭 孙春晖

(吉林大学朝阳校区地球探测与信息技术学院,长春)

摘 要 首先通过对阿尔山温泉区的热源研究,确定阿尔山温泉为中低温对流型地热系统。继而在对温泉区进行 地球物理、地球化学综合勘探的基础上,研究阿尔山地热区的热储温度、温泉水循环深度、水热资源规模及温泉在 阿尔山地堑中的空间展布,最后根据各种研究方法所获得的数据建立了阿尔山温泉概念性地热系统模型。 关键词 阿尔山 大地热流 中低温地热系统 地热模型

在我国东北地区广泛分布着新生代玄武岩,但 是 除了吉林长白山地区以及内蒙古阿尔山地区,该 区活跃的地热系统非常少。它们均属于中低温地热 系统(热源为干热岩、地压地热或岩浆热,水温 80~ 150 ℃)。在此次研究中,通过物化探综合研究结果 建立了阿尔山地热系统模型,描绘了地热系统的补 给、径流、排泄条件和热水循环深度等,该结果有助 于认识整个系统的形成、演化和历史变迁过程,从而 将对阿尔山温泉的开发利用起到指导性作用。同 时,中国有半数以上的温泉分布在燕山期岩浆活动 区内,此类温泉绝大部分为中低温温泉,与阿尔山温 泉区地热系统类似。所以对阿尔山温泉的研究也将 有助于中国同类型地热系统的研究。

1 阿尔山温泉区概况

阿尔山温泉位于内蒙古自治区兴安盟科右前旗 阿尔山市内,地理坐标为东经120°4′46″,北纬 47°2′17″(图1)。该区中晚侏罗世曾发生强烈的火 山活动,并在其邻近地区新生代火山活动也甚为频 繁。在阿尔山温泉 NE 向 30 km 处有第四纪更新世 玄武岩质火山——伊尔施火山。

1.1 温泉区构造地质

从构造位置上看,该区处于阿尔山高勒河谷中 NNW 向断裂带的东侧断裂带内,处于 EW 向和 NNE 向 2 个裂隙式火山管道的交汇部位(吴玉民, 1983)。在长度只有 700 m,宽度仅 40~60 m 的狭 弯节围内,共出露矿泉 49 个(其中一个现已停止涌 分布走向受 345°张扭性断裂及其一组低次序 的扭-压性羽裂的控制(唐守贤,1983,1984)。

羽裂上的温泉呈线性展布,斜列出现,主要集中 在南北两处出露。南部地段有 16 个热矿温泉点,成 片分布在长 60 m,宽 40 m 的范围内,热水温度相对 较高。温泉温度变化较大,最高温度达 48.5 ℃,最 低温度为 3 ℃,其中大于 40 ℃的有 4 个;30~40 ℃ 的有 13 个;20~30 ℃的有 11 个;10~20 ℃的有 12 个;小于 10 ℃的有 8 个。这些热矿泉水点单泉流量 大多小于 100 m³/d,但其中的 34 号井泉流量达 220 m³/d。温泉区总涌水量达 720 m³/d。在整个温泉 区没有高温水热系统特有的地表热显示,如沸泉、喷 泉、喷气孔、泉化及蚀变带等。从温泉的地表迹象上 看,阿尔山温泉属于中低温型地热系统。





1.2 温泉热储温度

温泉的热储温度是根据 Na-K-Ca 温标法及 Na-

本文由日本国文部省中(长春科技大学)日(九洲大学)合作项目"大陆内部玄武岩火山活动区地热系统研究"资助。

改回日期:2001-3-15 责任编辑: 宫月萱。

第一作者 薄消毒效素,1974年生,博士生,主要从事地热及固体地球物理方面研究,邮编:130026。

K-Ca-Mg体系平衡图解地热温度计估算的。得出 的平均热储温度为 84.67 ℃。

Na-K-Ca-Mg 体系平衡图解法通过测地下热流 体与围岩达到平衡状态时的 Na/1 000、K/100 和 √Mg的数值,估算出热储温度为 120 ℃。阿尔山温 泉水样除冷泉外,几乎都落在部分平衡(混合水)范 围内,水样与围岩达到完全化学平衡状态的温度为 120 ℃。这两种方法得出的平均热储温度估算为 105 ℃。

1.3 温泉区地温梯度

该区所处的大兴安岭地区属于低地温梯度区, 地温梯度一般低于 2.0 ℃/100m,要达到 105 ℃的 热储温度,热储深度需要达到近 5.5 km,也就是说 阿尔山温泉的热水在循环到地下 5.5 km 深处达到 约 105 ℃温度之后,热水沿构造有利部位开始上升, 在上升过程中,由于热传导作用及相对低温的地下 水不断混入使热水温度逐渐降低,直至降到涌出地 表时的温度。我们测得温泉涌出量为 13.9 kg/s,根 据目前温泉区热量排放量与补给量基本平衡的情 况,估算出地下 5.5 km 深处 105 ℃热储温度的热水 上涌量为 3.6 kg/s。

2 阿尔山温泉区的构造位置及区域大 地热流背景值

阿尔山温泉区的区域构造位置处于蒙古弧形构 造的东翼与大兴安岭 NE 向隆起构造带的斜接部 位,位于兴蒙块体上。从板块构造位置上看,属板内 隆起断裂型地热系统也就是中低温对流型地热系 统。该区构造线方向 NE 30 km 处有伊尔施第四纪 玄武岩质火山活动,但没有现代火山活动。

通过对东北地区大地热流值的统计分析,尽管 阿尔山温泉区附近没有热流测点存在,但是可以通 过邻区热流分布得到该区的估算值为 40 mW/m², 为低热流区。另外,在该区附近的满洲里—绥芬河 地学断面上,通过二维稳态有限元法计算的地温分 布可知,莫霍面附近的温度大约在 600~800 ℃之间 变化(深度为 30~40 km),热流值为 33.2 mW/m² (金旭等,1993)。在此基础上,进一步进行了一维稳 态温度分布的计算,结果表明,高温岩浆均活动在深 度大于 150 km 以下的地区。

从地热学的观点上看,年青的酸性浅成岩浆活动或正在冷却中的大型岩基是岩浆活动型高温水热系统的必要条件据 阿尔山温泉的板块构造位置及阿

尔山热构造表明,温泉区不具备年青的酸性浅成岩 浆活动或正在冷却中的大型岩基条件,所以说阿尔 山温泉地热系统不可能是岩浆活动型地热系统。

3 地球物理方法与地球化学方法综合 研究

本次研究在阿尔山温泉区的具体勘查工作主要 有:1 m 深测温、浅层大地电测深法、自然电位法、土 壤中气汞测量、土壤中气体 CO₂ 测量法、土壤吸附 汞测量法、土壤空气中氡及钍射气混合浓度测量 利 用这些方法确定断裂构造位置、地下热水贮留层的 分布范围。结果表明,阿尔山温泉热水贮留层就分 布在已经探明的地堑东侧断裂带长 700 m、宽 100 m 的范围内 基本上否定了西侧断裂为地热远景区的 可能性。

3.1 土壤空气中 CO₂ 的浓度分布

在调查区内,共布了 A、B、C、D 4 条测线(如图 2 所示)。浓度分布结果如图 3 所示,区内 CO₂ 浓度 平均值为 0.7%,位于调查区北部的 B、D2 测线上的 CO₂ 浓度低于平均值,而位于调查区南部的 A、C2 测线上的土壤空气中 CO₂ 浓度基本上都高于 1%, 特别是在 A 测线断层带上,明显显示 CO₂ 浓度高, 跨过断层线后 CO₂ 浓度显著下降。通过水质分析 已知,温泉水为重碳酸型水,在温泉区南部土壤空气 中测得较高的 CO₂ 浓度,可以推断,热水是从温泉 区南部五脏泉(第7号泉一带)附近地下深处上升 的,土壤空气中浓度较高的 CO₂ 就是热水在这个上 升过程中释放的,之后受破碎带中的水文地质条件 的限制,地下热水向温泉出露区北部及东侧涌动。

3.2 氡与钍射气的合计浓度分布

其测线与 CO₂ 浓度分布的测线相同(图 2),其 测量结果如图 4 所示。除 A 测线外,所有测点的浓 度合计值都在 20 cpm 以下,这个浓度是相当低的。 一般认为,温泉水中氡的含量普遍较高,最高达 224 ∂μ,一般 40~100 ∂μ,并且在低温热水和冷泉水中 氡含量较高,而中温热水氡含量较低(唐守贤, 1984)。这样可以认为是氡在沿断层上升过程中逐 渐被低温水溶存了。

更进一步还可假设为:热水顺着温泉区南部断 裂通道上升进入阿尔山地堑东侧断裂带后,由于在 温泉区南侧地堑中存在着充沛的由南向北涌动的断 层脉状裂隙水,促使地热水往北涌动,而在温泉区北 部存在火山岩脉挡水墙,地下热水沿有利构造部位





Fig.2 Measure route of CO2 and radioactive gas and location of shallow MT measure point



出露于地表形成温泉。另外,从南部地堑中渗透过来的地下冷水已经被往南涌动的热水形成的热锋面挡 万方数据

住,这样,虽然温泉区北部地下深处不是热水上升的 通道所在地,也可以在此处形成温泉的相对高温区。 而在温泉区南部热水上升通道的近地表附近由于地 下冷水的混入促使热水温度迅速下降,使温泉区南 部涌出地表的泉水温度有较大幅度的下降,并往南 逐渐过渡到地下冷水占主导地位的低温泉出露区。

3.3 浅层大地电磁测深

本次研究在横穿阿尔山市中心部位的 A 测线 上设置了 5 个测点,在横穿温泉区的 B 测线上设 4 个测点(如图 2 所示)。

A 测线 测点 1、2 地表附近的电阻值大于 1 000 Ω·m; 油测点 3 往西(测点 3、4、5),除深度 0~200 m 及 400~800 m 电阻值小于 1 000 Ω·m 外,其余都为 高阻区;仅在测点 2、3 地表往下 0~50 m 显示电阻 值小于 30 Ω·m,及在测点 5 地下 50~100 m 范围内 存在电阻值介于 30~100 Ω·m 的低阻区(图 5a)。 在这条测线上没有温泉涌出等地热迹象,且电阻很 高,可以认为,该测线地下不存在温泉涌出构造。在 测点3附近(靠近铁路)地下构造变化比较大。

B 测线结果(图 5b)表明,在测点7、8 之间有断 层存在。根据土壤中气体 CO₂ 浓度检测分析,此处 是深部热水的上升通道。

北侧的 A 测线得出的电阻高,然而泉温分布明显北高南低,从此处往南,泉温迅速降低,可以考虑温泉浅处贮留层北部边界局限于此处。

大地电磁测深结果显示,在地堑中央,地下有一 断层通过(3号点与7、8号点之间的连线),该断层 位置正处于前人资料中的火山管道位置(徐双普等, 1996),认为是 NNE 向裂隙式火山管道^①。由于这 个挡水的火山管道的存在,使地下热水无法渗透至







阿尔山地堑西侧,可以认为地堑西侧不是热远景区, 这也解释了地堑西侧虽然具有良好的储水构造却没 有地表热迹象的原因。

4 讨论与概念性地热模型

本次研究中 根据一维热传递原理 对阿尔山地

[●] 吉林省地质局区调大队,1981,阿尔山-五岔沟幅1:20万区域地质调查报告.

壳中可能存在的几种热源做了理论分析。首先假设 在地壳 Δz = z₂ - z₁的深度内,热流的增量为:

$$\Delta q = A\Delta Z + \rho' c' v\Delta T + \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \Delta Z$$
 (1)

式中 Δ_q 为上地壳对热流值的贡献;A为岩石 放射性生热率; $\rho'c'$ 为地壳中上涌物质的热容量;v为上涌物质的体积流率; ΔT 为 $\Delta z = z_2 - z_1$ 深度范 围内的温差。

式 1 法明 热流增量 Δ_q 或地表热流的变化可 由 ①放射性热源 $A\Delta Z$ ②地壳内部物质流 $\rho c \nu \Delta T$; ③地下温度骤变 $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} \Delta Z$ 所引起(汪集 ,1993)。 4.1 放射性热源

假设地壳最上部 10 km 的厚度范围内,放射性 元素均匀分布,其衰变所产生的热量 Δq_1 可由方程 (1)右边的第1项确定,即

$$\Delta q_1 = A \cdot \Delta z \tag{2}$$

取 A 为最大值 5HGU = 2.09 μ W/m³ 时,则 $\Delta q_1 = 21 \text{ mW/m}^2$ 。

表明,即使在将放射性热源参数取得足够大的 情况下,放射性衰变产生的热亦构不成特殊热源。 4.2 地下温度的骤变

这种情况常发生在岩浆活动的地区。当岩浆上 涌至地壳一定部位,必然引起该深度处温度的骤然 变化,它对热流增量或地表热流的影响由方程(1)右 边第3项确定,即

$$\Delta q_3 = \rho c \, \frac{\partial T}{\partial t} \Delta Z \tag{3}$$

如果不考虑物质对流热传递,在 30 km 深处因 温度骤变而由纯传导引起的变化只有在 2 Ma 后才 能观测到 & Ma 后整个地壳温度场趋于新的平衡。

由于岩浆侵入体在地壳浅部可看作为一个瞬态 热源,它对围岩温度场的影响随时间逐渐减弱。根 据 Smith 等(1975)的计算,100 Ma以前侵入深度小 于 10 km 的岩体,即使体积为 10⁶ km³,其温度也已 恢复到围岩的环境温度,不可能构成地热系统的热 源,并形成有开采价值的热田。

阿尔山火山机构的基底碱长花岗岩 K-Ar 法同 位素年龄测定为 147 Ma,宝石组上部凝灰熔岩 K-Ar 法同位素年龄测定为 120 Ma。由于阿尔山地热 系统内较大的岩体距今已在 100 Ma 以上,根据上 述讨论已不可能成为该地热系统的特殊热源。

4.3 地壳内部的物质流

地壳内部物质流对热流增量显著高于传导热传 递。地壳内南物质流可分为岩浆的对流和地下水的 对流 2 种情况。根据前面讨论,阿尔山温泉区上地 壳不存在岩浆对流,这样在阿尔山温泉地热系统中, 地下水的对流对热传递起着主导作用。阿尔山温泉 区上地壳大地热增量主要是由地下水深循环提供 的。

另外,这次研究水样是从阿尔山温泉区的温泉 及1个冷泉采集的,水化学分析表明,阿尔山温泉水 质类型为重碳酸钠型。由此可得知,阿尔山温泉水 质为标准的中低温对流型地热系统的水质。进一步 排除了前人认为温泉热源为岩浆房余热(徐双普等, 1996)的可能性。

根据上述讨论,阿尔山温泉的热源不是岩浆房 余热,而应是由地下水通过深循环,在地下深处被正 常区域大地热流加热后提供的。可以认为,阿尔山 温泉没有特殊的附加热源,即阿尔山温泉主要靠正 常的区域大地热流量供热和维持,阿尔山温泉为中 低温对流型地热系统。

4.4 地热系统模型

通过对上述的讨论以及地球物理和地球化学综 合勘探结果整理分析,建立了阿尔山温泉的概念性 地热系统模型(图6)。简述如下:

(1)温泉的涌出区域局限在东侧断层带上宽100 m,长 700 m的范围内。

(2)根据地温分布特征,地下热水沿断层上升,



Fig.6 Sketch map of conceptual model of Aershan hot springs geothermal system

在断层带地表以下 400~800 m 与地下水混合形成 1 个规模不是很大的浅层热水储集区,最后沿断层 带中的次级 NNE 向羽裂构造涌出地表。

(3) 温泉的化学成份分析表明, 温泉的热源不是 火山性热源。

(4)温泉涌出量为 13.9 kg/s ,平均温度 27.2 ℃ (最高温度 48 ℃),1995 年所钻水井 288.7 m 深 ,水 头高出地面 2.78 m 水温 49.5 ℃ 经抽水试验自流 量为 489 t/d。

(5)根据温泉水的化学成份推断,化学平衡温度为105℃左右。在较低的大地热流背景下(不高于40 mW/m²),一般化学平衡温度要达到105℃所需循环深度约为5.5 km。

从上述各项参数可知,温泉温度及水化学平衡 温度都不高,由水化学成份分析还推断出温泉热源 不是火山性热源,而是大气降水及浅层地下水沿断 裂渗入地下深处,接受正常的大地热流供热后,在阿 尔山断裂交汇的良好热水通道处上升并接受地下冷 水的混入后涌出地表,形成温度不高的温泉。

5 结论

根据地球物理勘探,地球化学勘探方法的研究 可以得出,阿尔山温泉不是由特殊的热源(如玄武岩 等岩浆侵入体,加热形成的,而是在正常的区域大地 热流背景值下,地表水断裂构造渗透至地下 5.5 km 深处,在下渗过程中,随着深度的增加,地下水受到 地温的加热,水温逐步升高,最终达到热储层的温度 105 ℃。由于水力压差的作用,以 3.6 kg/s 的流量 通过阿尔山 2 个深大断裂(NNE 向及 EW 向断裂) 交汇于所形成的热水上升通道并上升至阿尔山地堑 东侧断裂带内,在地堑东侧断裂带内接受地下冷水 10.3 kg/s 的混合后涌出地表形成中低温温泉。 另外,由于阿尔山地堑中具有充沛的地下水资 源,在阿尔山温泉的开发过程中,随着热水的大量抽 出,当热能补给量小于排出量时,地下浅部热储将会 因为冷水的不断混入而使热储温度逐渐降低,促使 抽取的热水温度持续下降,造成地热资源枯竭。因 此,在地热开发前,必须对地热资源进行详查,探明 阿尔山温泉的热水资源规模,从而制定出科学的开 采量。

致谢 在野外勘探和论文完成期间,日本九州 大学江原幸雄教授及吉林省地震局张良怀总工程师 给予了热心的帮助和大力的支持,在此一并致谢。

参考文献

- 金 旭,江原幸雄,许惠平.1993.满洲里—绥芬河地学断面域内地体 划分的热流证据.见:中国满洲里—绥芬河地学断面地球物理场 及深部构造特征研究.北京 地震出版社.149~160.
- 唐守贤.1983.内蒙兴安盟科右前期阿尔山—五岔沟一带新生代火山 岩.吉林地质(1)31~42.
- 唐守贤.1984.阿尔山晚侏罗世火山机构特征及阿尔山温泉的成因机制.吉林地质(1)54~64.
- 汪集 .1993.中低温对流型地热系统.北京 科学出版社.201~204.
- 吴玉民.1983.内蒙五岔沟地区构造体系 近活动点滴.吉林地质, (1)80~83.
- 徐双普,王维吾.1996.阿尔山地热田物探工作及效果.吉林地球物 理.长春:吉林科学技术出版社,159~164.

Geothermal Structure of Aershan Hot Springs, Inner Mongolia

Han Xiangjun Jin Xu Sun Chunhui

(College of Geoexploration and Information Technology, Chaoyang Campus, Jilin University, Changchun)

Abstract According to an analysis of the thermal source for Aershan hot springs, the authors drew the conclusion that the springs constitute a typical convective low-medium temperature geothermal system. In the light of the data of one-meter-depth ground temperature measurement, soil Hg surveys, soil-gas Hg, CO₂ and radiometric surveys and MT methods, the arthors revealed the distribution of shallow thermal water reservoirs within Aershan fault trough, the thermal water 's temperature, discharge rate and other parameters. Based on the results obtained, this paper sets up a concept model for Aershan hot springs.

Keywords Aershan terrestrial heat flow low – medium temperature geothermal system geothermal model