

长白山的矿泉水资源及其开发利用前景*

宋 德 人

(中国科学院长春地理研究所)

长白山绵延于我国吉林省的东部,素以山势雄伟、风光绮丽、资源丰富闻名中外。其中矿泉水资源,蕴藏量丰富,类型繁多,有的有一定的医疗价值,有的有较高的温度,赋存巨大的热能。本文就矿泉水资源类型、形成、分布和开发利用问题作初步探讨。

一、长白山矿泉水资源赋存的自然条件

长白山呈北东—南西延伸于吉林省东南部,纵横分布近八千余平方公里,为我国典型的火山区之一。按地貌成因类型可分为:山前熔岩台地、山麓倾斜高原和火山锥;山前熔岩台地海拔高度600~1,000米之间,主要由厚层多孔玄武岩构成,台面平坦宽阔,其上常有沼泽发育;山麓倾斜高原,具有明显的斜坡,坡度一般 $3\sim 10^\circ$,海拔高度1,000~1,800米之间,岩性多由杏仁状玄武岩、硷性粗面岩、凝灰岩组成;火山锥是海拔1,800米以上部分,山势陡峭,坡度一般在 30° 以上,岩性组成主要为硷性粗面岩、集块岩、黑曜岩、浮岩及火山灰、火山砾、火山弹等火山抛出物。火山锥顶部,有一近似椭圆形的火山口,现已积水成湖,习称天池。

长白山水系以天池为中心呈放射状分布,河谷下切幅度大,多呈“V”字型,常形成直立的隘谷,落差大,水流湍急,水量丰富,是图们江、鸭绿江、第二松花江三大水系的发源地。

长白山具有明显的山地气候特征。冬季漫长而寒冷,夏季短暂而湿润,年平均气温 $3\sim -7^\circ\text{C}$,年降水量一般在700~1,000毫米之间,海拔1,800米以上的高山区,降水量在1,500毫米左右,多为固体雪。降水量季节分配不均,85%的降水量集中在6~9月。

上述山川形势和气候特征,直接影响着本区矿水的出露条件、补给状况和动态变化。

长白山在大地构造单元上属新华夏构造系第二隆起带——长白山隆起^[2]。是以前震旦纪古老结晶岩为基底,中生代末期至第四纪沉积物及火山熔岩为盖层的隆起区,地貌上构成北北东向排列的山地。其构造特点是以断裂为主,伴随多次岩浆侵入和频繁的火山活动。其区域地质历史历经沧桑,构造形迹多种多样。

历次构造运动和火山活动,对本区矿水的形成、赋存和运移起着决定性的作用。

本区因多次受构造运动的影响,构造裂隙发育,地下水类型主要为基岩裂隙水,岩石的富水性与断裂性质及发育程度密切相关,故含水不均匀,埋深变化大,地下水常以

* 长白山矿泉水考察始于六十年代初期,1970年及1983年笔者对重点矿水又做了补充调查。成文过程中引用了魏永田、符国录、关连成等同志一些调查分析数据。在此一并致谢

泉的形式出露,涌水量一般为0.01~2公升秒,水化学类型多为 $\text{HCO}_3\text{—Na—Ca}$ 型或 $\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Na}$ 型水,总矿化度一般小于0.5克/升,属低矿化的溶滤水。本区裂隙水是矿水的重要补给来源,也是矿水水化学成分、气体及热能传递到地表的媒介。一些深断裂地带,由于补给水达一定循环深度,获得高温,并富集某些元素和气体,形成矿水。

本区新构造运动属强烈上升区,河谷侵蚀切割作用强烈,对矿水出露地表有重要作用。因此,本区矿水出露部位,皆在河谷两岸。

二、矿泉水资源类型

经初步调查,全区目前共发现七处矿泉,于长白山两侧,按北东—南西向构造线分布。多以泉群出露,少则3~5个,多则达百个。

1. 二道白河硫化氢热水泉

位于长白山瀑布北900米处二道白河右岸,出露标高海拔1,976米,泉涌自北北东向中更新统硷性粗面岩破碎带上,为承压上升泉。有主要泉眼32个,大小涌水口103〔4〕个,天然涌水量大于1公升/秒的有6个,最大一孔涌水量为6.827公升/秒,其余均在1公升/秒以下,最小者涓涓细流;水温最低的40℃,最高78℃(据有关资料记载,最高曾达82℃)〔8〕以60~70℃居多。泉水呈淡绿色,味涩,有强烈的硫化氢嗅,泉水出口处一般可见到黄绿色、棕红色的凝华,水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{—Na}$ 型水,pH值7.5左右。总矿化度1.29~1.47克/升,含可溶性 SiO_2 84~104毫克/升,总硫化氢10.3毫克/升,并含有B、F、Be、Cu、Mn、Ni、As多种微量元素。

2. 锦江硫化氢热水泉

位于天池西南坡的锦江上游梯子河谷两岸,距天池林场12公里。出露标高海拔1,756米,泉涌自中更新统火山角砾岩、粗面岩的北东向张性裂隙带。泉附近裂隙幽深,俗称“梯子河”,“只闻水流声,不见水流影”。沿河谷两岸有15个涌水口,其中最大天然涌水量3.5公升/秒,其余各涌水口涌水量一般均在0.1~0.5公升/秒左右,但水温恒定,均为60℃,常年不变。泉水呈淡绿色,苦涩味,具浓烈的硫化氢嗅,水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{—Na}$ 型水,总矿化度1.27克/升,pH值8.4,含可溶性 SiO_2 52~75毫克/升,总硫化氢8.3毫克/升。

3. 十八道沟硫化氢温泉

位于长白朝鲜族自治县十八道沟村南一公里的山脚下。泉出露标高海拔760米,涌自下奥陶系石灰岩与新第三系玄武岩接触破碎带上。共有4个涌水口,其中最大一孔天然涌水量为1.53公升/秒,其余一般涌水量为0.1~0.5公升/秒,水温38~39.5℃,泉水呈浅绿色,味涩,具硫化氢嗅,水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{—Na}$ 型水,总矿化度1.2克/升,pH值8.6,含可溶性 SiO_2 30毫克/升,总硫化氢2.7毫克/升。

4. 大营放射性氡热水泉

位于抚松县大营疗养院的汤河两岸。出露标高海拔630米,泉涌自侏罗系流纹岩与燕山期花岗斑岩岩脉接触破碎带上,有七个涌水口,最大一孔天然涌水量7.8公升/秒,为承压上升泉,水柱喷高0.5~1米,目前已建立了四眼生产井,总开采量1141.2吨/

日〔4〕, 水温 $57\sim 62^{\circ}\text{C}$, 泉水呈淡绿色, 味稍涩, 有硫化氢嗅, 水化学类型为 $\text{SO}_4\text{—HCO}_3\text{—Na}$ 型水, 总矿化度 1.43克/升 , pH值 8, 含可溶性 SiO_2 50毫克/升 , 含总硫化氢 3.6毫克/升 , 含氨 $52.45\sim 64.53\text{埃曼}$ 〔4〕。

七十年代起, 在这里建立林业、煤矿、铁路及通化地区四个疗养院, 每年接待疗养者千人以上; 该矿水对各种风湿性疾病、皮肤病和神经系统疾病, 有显著疗效。

5. 头道沟温泉

位于临江县花山公社老三队村头道沟河两岸。出露标高海拔 650 米, 泉涌自前震旦系大理岩北东向与南西向两组断裂的复合部位。泉沿河谷两岸呈线状分布, 有涌水口 26 个, 最大一泉天然涌水量 2.6公升/秒 , 诸孔流量为 2036.95吨/日 〔4〕, 泉水有承压性, 水头高出地表 $1\sim 1.5\text{米}$; 泉水清澈透明、无色、无味、无嗅, 不停冒汽泡。水温 $33\sim 34.5^{\circ}\text{C}$, 化学类型 $\text{HCO}_3\text{—Mg—Ca}$ 型水, 总矿化度 0.23克/升 , pH 8.5, 可溶性 SiO_2 14.2毫克/升 。

6. 头道白河碳酸泉 (俗名药水泉)

位于安图县二道白河乡药水屯头道白河左岸陡壁上。出露高程海拔 810 米, 泉涌自第三系玄武岩北东向张性裂隙中。沿头道白河陡岸共有五处泉群出露, 涌水口一般都高出河水位 $40\sim 80\text{米}$ 的河谷陡岸峭壁上, 各泉群水流量大小不一, 水温一般为 $7.7\sim 9^{\circ}\text{C}$, 各泉群间直线距离 $1\sim 2\text{公里}$, 因此、碳酸泉分布面积很可观。其中最大一处泉群在药水屯延边朝鲜族自治州疗养院后院。主孔天然流量 1.27公升/秒 , 水温 7.7°C , 泉水无色, 具酸辣味, 饮之凉爽可口, 当地称为“天然汽水”。泉水的水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{—Mg—Ca}$ 型水, 总矿化度 0.86克/升 , pH 值 6.5, 含游离 CO_2 $1500\sim 1800\text{毫克/升}$ 。

1953年, 延边朝鲜族自治州在此建立了疗养院, 经临床实践证明, 泉水对消化系统和心血管系统的疾病具有十分显著的疗效, 据一些肠胃病患者反映, 在历时 $2\sim 3\text{月}$ 内, 每天饮泉水 500 毫升, 疾病大都得到痊愈¹⁾。即使对无病的健康人, 饮后也有解疲生津、增强食欲的作用, 因此, 每年前来疗养和观光者应接不暇。

7. 风口碳酸泉

位于二道白河右岸天池风口峡谷断岸下。泉涌自中更新统霓石粗面岩裂隙中, 有涌水口 3 个, 出露标高海拔 1,900 米, 泉水清澈, 具酸辣味, 饮之清凉可口, 水温 12°C , 其主孔天然涌水是 0.35公升/秒 , 水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{—Ca—Na}$ 型水, 总矿化度 0.23克/升 , pH 值 6.6, 可溶性 SiO_2 14.1毫克/升 , 含游离 CO_2 600毫克/升 。

除上述七处矿泉以外, 长白山区还有白岩峰温泉、天文峰温泉、松江屯碳酸泉等。

三、矿水的形成及其分布规律

(一) 矿水的形成特征

1. 矿水水化学特征: 从全区水化学分析资料看, 阴离子以 HCO_3 占绝对优势, Cl 、 SO_4 次之, 含量变幅较大; 阳离子以 Na 、 Ca 为主, Mg 次之, 水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\text{—Na}$ 型或 $\text{HCO}_3\text{—Ca}$ 型。矿水中普遍富含可溶性 SiO_2 , 其含量随温度的增高而增多 (见图 1)。可溶性 SiO_2 的含量可做为本区标型化学成分, 为寻找热水的标志。本区矿

1) 延边朝鲜族自治州头道白河疗养院, 《药水泉简介》, 1967。

水化学成分另一个显著特征是含有大量气体成分，温泉都含有 H_2S 气体，低温碳酸泉都富含游离 CO_2 气，除此之外，抚松大营硫化氢温泉还含有可贵的放射性氡气。

上述矿水水化学特征的形式，主要取决于如下几种因素：

(1) 溶滤作用 本区矿水的补给来源主要是大气降水(雨、雪水)，其次是地表水(主要为天池水)大气降水或地表水沿构造裂隙渗入、循环过程中，不断地对围岩溶滤，长期的溶滤作用，使矿水中的化学成分得以富集。

溶滤作用，受温度影响较大(图1)，随着温度的增高不仅使溶滤作用增强，而且也加快反应速度。因此，本区高温矿水总矿化度比低温矿水总矿化度高。

(2) 火山活动和热变质作用 本区多次火山活动时期的各种分异产物以及岩浆热变质作用所产生的各种物质，是本区矿水化学组分的重要来源。特别是对本区矿水的气体成分的形成有直接关系，其中 H_2S 、 CO_2 主要来源于岩浆分异的挥发成分，同时岩石的热变质作用的产物也是某些矿水气体成分重要来源。

(3) 放射性元素的蜕变作用 如抚松大营含氡热水泉中，经测定，矿水中含放射性铀为 7.5×10^{-6} 克/升¹⁾，比附近汤河水铀的含量高近百倍。因此该矿水中氡气是放射性铀—镭—氡蜕变过程的产物。

(4) 混合作用 混合作用对本区矿水水化学成分的形成有重要作用，如二道白河硫化氢热水泉和天池水及其附近其他冷水泉的主要离子成分，在奥吉尔维混合图上呈直线关系(如图2所示)，其关系式为： $y = ax + b$ ，说明天池水及其裂隙地下水不仅是矿水的重要补给来源，其水化学成分，对矿水也有混合作用的影响。表明天池水与温泉水之间有内在联系^[8]。天池水与矿水的混合量，可按奥弗琴尼科夫公式估算，即

$$h = \frac{Q_M}{Q_N} = \frac{P_c - P_b}{P_a - P_c}$$

式中 Q_M ——矿水流量， Q_N ——淡水流量 P_a ——矿水中离子浓度(ppm) P_b ——淡水中离子浓度 P_c ——混合水中离子浓度。其中 P_a 、 P_b 为已知量， P_c 可根据奥吉尔维混合方程 $y = ax + b$ 求得。

计算结果表明，三份矿水中，有一份天池水补给混合。

2. 矿水的温度特征

本区矿水的温度，除碳酸泉属低温泉外，其余均属中、高温泉，最低 34.5°C ，最高 82°C ，其水温主要取决于矿水沿构造裂隙的循环深度。据计算，长白十八道沟硫化氢温泉的最小循环深度为1,373.5米。因为矿水在沿裂隙上升过程中，受其周围的岩石吸热

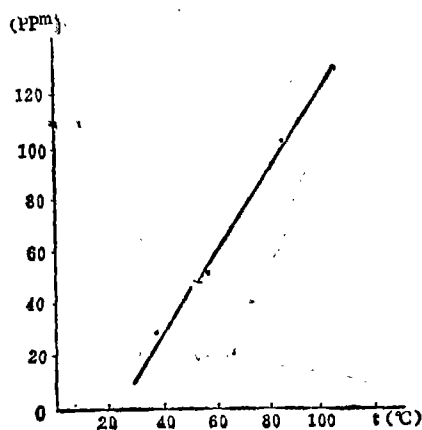


图1 长白山矿水温泉与 SiO_2 含量关系

1) 据1974年通化地区地震监测站资料。

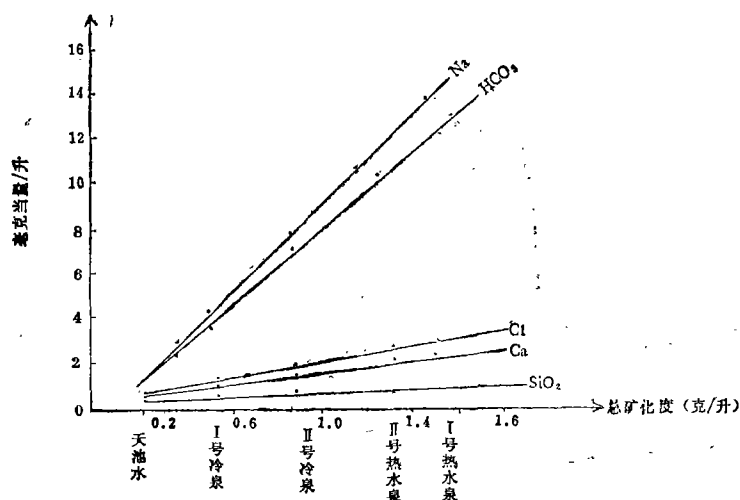


图2 二道白河硫化氢热水泉与天池水、冷泉各主要组分含量关系图

作用，热量有损失。在火山活动地带，地壳深处常积有大量余热，如水在循环过程中，达到一定的深度，易将火山活动余热传送到地表。长白山是一休眠火山，深部的热能是本区矿水获得高温的重要源泉。此外，放射热对本区某些温泉的温度也有一定的影响。如抚松大营含氡热水泉，除矿水沿深裂隙循环获得一定的热量外，放射热也是热源之一。

本区碳酸泉的水温较低，其原因可能是矿水中 CO_2 气体的物理化学性质影响有关。

另外，矿水的温度，受矿水沿裂隙运动状况的影响。载热矿水沿倾斜或较陡的裂隙上涌时，一般速度较快，热量失散少，与围岩不能达到热平衡，携带出大量热量；反之，如果载热矿水沿平缓曲折的裂隙上涌时，一般速度较慢，热量失散较多，易与围岩达到热平衡，所以上升至地表时，热能失散几乎殆尽，形成低温矿水。本区头道白河碳酸泉水温较低，除含大量 CO_2 气体外，其矿水产状平缓、上涌速度较慢也是重要原因之一。

(二) 矿水的分布规律

1. 矿水与构造断裂的关系

本区在长期地质历史中，受构造运动影响，随岩浆活动同时，形成许多构造断裂。这些构造断裂常成大气降水和地表水渗入、循环的通道和场所。本区矿水的形成和分布主要受北东向断裂带所控制，区内矿水一般沿北东向断裂带分布。

2. 矿水与近期火山活动的关系

长白山是火山活动强烈地带。频繁的火山活动，不仅使老构造复活，同时也产生许多新断裂，为矿水的形成提供新的场所；火山喷发时所产生的巨大热能和各种挥发成分，常成为矿水的重要物质来源。本区大多数矿水较集中的分布在近期火山活动频繁的白头山周围，愈靠近白头山，矿水分布的密度愈大，温度愈高。

3. 矿水与新构造运动的关系

本区新构造运动表现为强烈上升，地势陡峭、基岩裸露、裂隙发育、河谷深切。如二道白河硫化氢热水泉，附近河谷下切幅度最大达 115 米，强烈的下切作用，使矿泉水容易被揭露出来，致使该泉出水口竟达百余个。本区绝大多数矿水都出露在新构造运动强烈上升，下切幅度较大的河谷地带。

可见，长白山矿水的形成和分布，是在一定区域地质历史环境发展过程中，多种自然因素综合作用的结果，其中各时期的构造断裂和火山活动，是本区矿水形成、赋存、运移的主导因素，新构造运动是本区矿水出露必要的外在条件。

四、矿泉水资源评价及其开发利用前景

本区矿水有如下特点：

1. 类型多、水质好 目前发现的七处矿水，就温度而言，有冷水型（头道白河碳酸泉），温水型（头道沟温泉），热水型（大营放射性氡热水泉）和极热型（二道白河硫化氢泉）。如按所含气体成分分类，既有硫化氢泉、碳酸泉，又有放射性氡水泉。各类矿水的总矿化度一般均在 1 克/升左右，属低矿化的溶滤水，其杂质和有害成分均低于饮用水标准。而有效成分，特别是气体成分的含量，均高于实用标准。如按矿水标准含量（游离 CO_2 含量 250 毫克/升，硫化氢含量 1 毫克/升，放射性氡含量 10 埃曼/升，都有实用价值），本区矿水各种气体成分皆高于矿水标准含量的 5~10 倍，有较高的实用价值。

2. 矿水储藏量和热能赋存量十分可观 区内矿水多以泉群出露，分布面积大，主要涌水口的天然流量一般大于 1 公升/秒，诸泉总涌水量都很可观。头道沟温泉总天然流量为 2,036.95 吨/日，二道白河硫化氢热水泉总天然流量 4,531.32 吨/日。二道白河硫化氢热水泉最低温度 40℃，最高水温 82℃，以平均水温 61℃ 计，经换算，其每天逸出的热量相当于 39.49 吨标准煤燃烧所释放的热量。

本区矿水具有广泛的开发利用前景：

1. 用于医疗保健和发展旅游事业 本区各类矿水，以其水化学和气体成分的药物作用及其温度、压力、浮力等物理作用，对治疗多种疾病和改善人体新陈代谢都有一定的效果。如大营放射性氡泉，根据该地温泉疗养院多年临床观察，对各种风湿性疾病和皮肤病有显著疗效，对神经系统疾病和外伤后遗症也有较好的疗效。据延边朝鲜族自治州头道白河疗养院临床观察，头道白河碳酸泉通过饮用疗法，对于胃肠消化不良、慢性胃炎、便秘、慢性肾炎、膀胱炎、低色素贫血症疗效显著。因此，长白山矿水为今后发展医疗保健事业提供了得天独厚的条件。况且，本区所有矿泉都出露在山青水秀、景物宜人之地，是发展医疗保健和旅游事业的理想之地。

2. 用于工农业生产 ①取暖、发电：长白山地处林区，长期以来，当地唯一的能源以烧木材为主，每年消耗大量木材，随着该区的开发和各种事业的发展，对能源的需求量日益增长，如果利用地热取暖、发电，既不用锅炉和燃料又不污染空气，可以实现就地取能用能、节约木材，改善能源布局、保护环境。如用热水流量 188.8 吨/小时的二道白河硫化氢热水泉发电，据计算，发电容量可达 375 瓩。②多种经营：本区硫化氢泉和碳

酸泉, 气体含量较高, 可以利用硫化氢泉提取国家急需的硫磺, 利用碳酸泉发展饮料生产。如头道白河碳酸泉, 游离 CO_2 含量高, 水质又好, 稍加糖, 宛如汽水一般, 既有治病的功效, 又是难得的天然饮料, 因此, 可建立饮料加工工厂, 销售国内外市场。③农副业生产: 长白山地区是我国山货养殖业(如木耳、灵芝、蘑菇、人参等)和水稻重要产区之一, 结合当地生产, 利用矿水的热能, 建立地热温室、浸种、育秧、及热水灌溉等。如用于地热温室, 不仅温度稳定, 可控性好, 成本低, 也便于管理。用地热育秧、灌溉, 能提前播种期, 促进高产。根据当地条件, 综合开发这些宝贵资源, 前景十分广阔。

目前, 必须进一步组织有关专业进行综合考查、摸清资源的数量、质量以及演变规律; 建立矿水点的技术档案。应加强矿水资源的管理和保护。建议有关部门统管起来。对已开发利用的, 应注意一水多用, 综合开发, 防止资源浪费和水质污染。

参 考 文 献

- [1] A.M. 奥弗琴尼科夫, 矿水, 地质出版, 1958年。
- [2] 地矿部水文地质所, 地下热水普查勘探方法, 地质出版社, 1973年。
- [3] 朱颜明等, 长白山天池水化学, 地理科学, 1 卷, 1 期, 1981年。
- [4] 符国录等, 吉林省地热资源形成特点及其开发利用的初步意见, 吉林地质, 4 期 1982年。

THE MINERAL WATER RESOURCES AND PROSPECTS FOR EXPLOITATION AND UTILIZATION IN THE CHANGBAI MOUNTAIN

Shong Deren

(Changchun Institute of Geography, Academia Sinica)

ABSTRACT

The Changbai mountain area is rich in mineral water resources. A preliminary investigation shows that there are various types of mineral water in Changbai mountain, and the reserves of the mineral water and the potentials of the thermal energy are considerably plentiful. At present, seven types of mineral water which are mostly spilled out as spring groups have been found.

Based on the investigations and observations as well as collections and analysis of the related informations, the paper presented the forming conditions, types and distributional regularities of mineral water resources as well as its physical and chemical characteristics.

In addition, the paper has preliminarily evaluated the quantity and quality of the mineral water resources and provided a valuable basis for exploitation and utilization of them