

五大连池火山区水文地球化学背景^{*}

孙如波

(黑龙江省五大连池地震火山监测站, 五大连池 164155)

杜建国

(国家地震局分析中心, 北京 100036)

关键词 地下水 地球化学 五大连池

五大连池火山群是我国较年轻的火山群之一, 火山喷发时间为 2. 076 Ma 至公元 1721 年, 火山喷发可分为 7 个旋回^[1]。研究表明, 该区火山岩为富钾碱性玄武岩, 岩浆来源于上地幔^[2, 3]; 五大连池泉、井中气体以 CO₂ 为主, He、Ar 等气体部分来自地壳深部与上地幔^[4], 水中的 CO₂ 为岩浆分异的产物^[5]。刘振义等^[6]提出了古冻土层使地下水温度降低的认识, 企图解释该区低温矿水的成因。区内特殊的水资源在医疗、饮食等行业越来越得到广泛的应用。但是, 目前对区域水文地球化学特征的研究极少。本文根据大量水化学分析资料和氡观测数据, 讨论火山区水文地球化学特征、水化类型以及水中氡的来源。

1 水文地质概况

大五连池火山群发育在松辽裂谷系的西北端, 大兴安岭隆起带和小兴安岭隆起带的交汇部位, 区内断裂发育, NE45°方向断裂为主干断裂, 规模较大, 切割很深, 北西向断裂也很发育, 以上两组断裂几乎成 90°相交, 呈“井”字型格局^[7]。区内还有近东西向和近南北向的两组断裂, 规模较小。由于断裂的控制及岩浆的侵入, 形成了北北东向的花岗岩隆起及凹陷构造。自早更新世以来火山频频喷发, 形成了面积达八百余平方公里的玄武岩台地^[8]。公元 1719~1721 年间老黑山和火烧山喷发, 熔岩堵塞了白河古道, 形成了近南北分布、且相连的堰塞湖, 即五大连池。区内有火山锥 14 座, 耸立在五大连池两侧。地表水系有石龙河、药泉河、张通世沟及五大连池、月牙泡、温泊和药泉湖。石龙河源于五池, 流经四、三、二、一池后, 沿石龙东侧南流注入讷莫尔河。药泉河源于药泉湖, 沿石龙西侧南流后与石龙河汇合。张通世沟流经东北部的丘陵注入三池。湖泊面积较大, 接纳地表径流, 通过石龙河和药泉河排泄(图 1)^[1]。

区内主要地层有石炭系板岩、片岩, 白垩系泥岩、砂岩及第四系玄武岩、亚粘土, 三者均呈不整合接触。侵入岩为海西晚期花岗闪长岩及燕山期的白云母花岗岩。第四纪玄武岩和白垩系泥岩、砂岩, 总厚度 100~150 m, 而在药泉山西侧的断陷盆地中的白垩系厚度达 400 m。

收稿日期: 1998-1-14 修改稿: 1998-4-20

第一作者简介: 孙如波 1953 年生 工程师 水文地质学

^{*} 国家地震局资助项目(编号: 95-11-02-04-02)

1) 黑龙江省黑河地区科委、德都县科委. 黑龙江德都五大连池火山地质和矿产资源的综合利用. 1974.

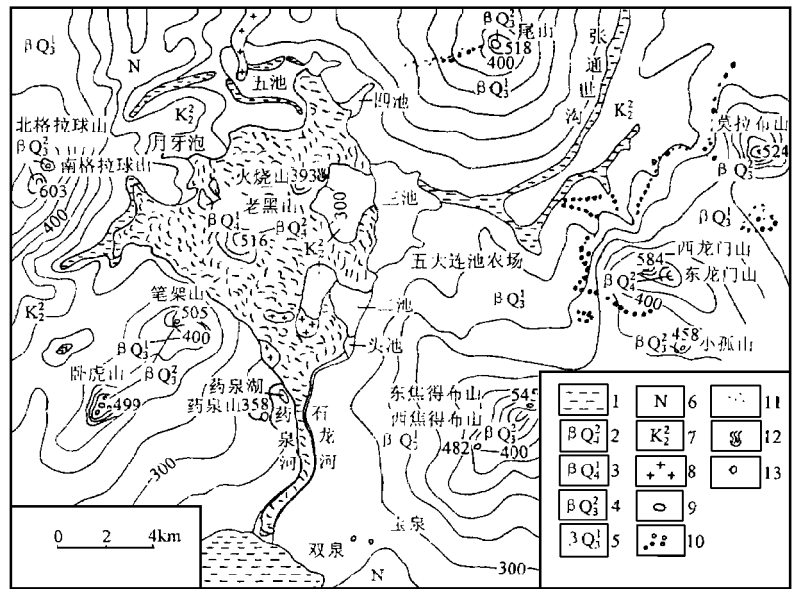


图 1 五大连池火山群地质图

Fig. 1 Geological map of Wudalianchi volcanoes

- 1. 湿地; 2. 新时期火山锥熔岩; 3. 石龙熔岩; 4. 旧期火山锥熔岩; 5. 玄武岩; 6. 松散砂砾层;
- 7. 砂岩、页岩; 8. 花岗岩; 9. 火山口; 10. 石塘; 11. 火山砾; 12. 矿泉; 13. 泉

2 地下水水化学特征

根据含水介质、埋藏条件等水文条件将研究区的自然水分为地表水、浅层地下水(浅层淡水)、白垩系中承压水(深层次生矿水)和变质岩、花岗岩中的承压水(深层原生矿水)。四种类型水的化学分析结果见表 1。

2.1 地表水化学特征

区内东西向分布着透水性良好的玄武岩台地,北部地势高,南部开阔,中部承受着来自北部及玄武岩台地的地下水。由于本区水文网发育,沟谷切割地形起伏较大,地下水常流经较短的途径便以泉群形式溢于地表,形成山前溪流注入五大连池。因而地表水的化学类型比较单一,以 HCO_3-Ca 型为主,矿化度也低,可溶性固形物均小于 0.5 g/L ,为低矿化度淡水。 pH 值普遍比地下水高,呈中性—偏碱性。

2.2 浅层地下水化学特征

浅层地下水中阴离子以 HCO_3^- 为主,含量超过 70%,主要阳离子为 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ ,不同地区含量不同。可溶性固形物含量为 $0.1\sim 0.2\text{ g/L}$, pH 值为 $6.5\sim 8$,水温为 $3\sim 5^\circ C$,属冷重碳酸型弱碱性淡水。按阳离子变化规律,可划分为 HCO_3-Ca 、 $HCO_3-Mg-Ca-Na$ 、 $HCO_3-Ca-Na$ 和 HCO_3-Na 四种水化学类型。 HCO_3-Ca 型水主要分布在尾山及东北和东部的玄武岩地层中; $HCO_3-Mg-Ca-Na$ 与 $HCO_3-Ca-Mg$ 型水分布在火烧山、老黑山、大庆农场一带和团结乡附近的

表 1 五大连池地区地下水化学成分表^[9]
Table 1 Compositions of underground waters in Wudalianchi area

位置		Cl ⁻ /mg·L ⁻¹	CO ₂ /mg·L ⁻¹	固形物 /mg·L ⁻¹	pH	δ ¹⁸ O (SMOW)	³ H (TU)	水化学 类型
地表水	二池	6.0	0.5	107.9	7.5	-9.18	103.84	HCO ₃ ⁻ Na-Ca
	温泊	6.4	0.5	109.6	7.15	-8.93	160.45	HCO ₃ ⁻ Ca
浅层淡水	场部民井	51.4	2.0	339.6	7.75	-10.95		HCO ₃ ⁻ Ca
	面粉厂泉	9.2	10.0	139.1	7.0	-11.76	315.28	HCO ₃ ⁻ Na-Ca
	5号井	6.0	5.0	333.5	7.95	-11.75	20.25	HCO ₃ ⁻ Na-Ca
	宝龙泉	20.2	3.1	274.1	7.54	-11.06	224.98	HCO ₃ ⁻ Na-Ca
	清龙泉	4.6	0.9	127.42	7.52	-11.85	216.26	HCO ₃ ⁻ Na-Ca
	农中民井	6.7	2.0	144.0	7.5	-12.15	217.37	HCO ₃ ⁻ Na-K
	养马场泉	9.9	28.0	163.0	7.7	-12.02	230.48	HCO ₃ ⁻ Na-K
	二龙眼泉	5.7	6.6	149.0	7.51	-11.81	233.01	HCO ₃ ⁻ Na-K
	省疗南泉	8.1	12.0	114.2	7.89	-11.90	232.58	HCO ₃ ⁻ Na-K
	28号井	199.6	0.2	824.5	8.2	-12.41	134.24	Cl-HCO ₃ ⁻ Na
深层次生矿水	北泉	18.4	689.3	1097.5	7.75	-12.25	190.06	HCO ₃ ⁻ Mg
	南泉	14.2	820.0	929.4	6.25	-12.19	111.07	HCO ₃ ⁻ Mg-Ca
	南洗泉	22.0	277.5	795.8	7.1	-11.83	78.07	CHO ₃ ⁻ Ca-Mg
	翻花泉	17.7	60.9	409.0	7.76	-12.38	178.68	HCO ₃ ⁻ Na-Ca
	抗大泉	5.7	604.5	211.8	7.45	-12.33	179.72	HCO ₃ ⁻ Mg-Ca
	35号孔	53.9	906.4	1626.1	7.18	-11.83	185.33	HCO ₃ ⁻ Ca
深层原生矿水	24号孔	93.3	710.0	5167.8	6.85	-12.66	2.53	HCO ₃ ⁻ Na
	26号孔	61.8	699.6	4900.1	7.49	-13.55	2.47	HCO ₃ ⁻ Na-Mg
	32号孔	55.3	1255.1	4371.8	6.6	-13.45	3.36	HCO ₃ ⁻ Mg-Ca
	43号孔	86.9	537.3	2977.4	6.85	-13.35	41.76	HCO ₃ ⁻ Na

玄武岩台地边缘; HCO₃⁻Ca-Na 型水分布在五大连池及石龙河西岸与南部的低洼地带; HCO₃⁻Na 型水分布于笔架山以西的六号地、大庆农场二队一带。

根据水化学类型的分布, 东以 HCO₃⁻Ca 为主, 西以 HCO₃⁻Na 为主, Ca²⁺ 含量向东增高, Na⁺ 向西增高。河谷及洼地中浅层地下水 Na⁺ 含量高, 玄武岩台地中地下水 Ca²⁺ 含量高。

2.3 白垩系地层中承压水化学特征

钻孔资料^[2]表明, 三连及卧虎山凹陷盆地中承压水化学类型为 HCO₃⁻Na 和 HCO₃⁻Na-Ca 型, Na⁺ 较富集, 水中可溶性固形物的含量为 0.10~0.33 g/L, pH 值为 7.15~7.95。在药泉山隆起构造部位的白垩系承压水, 其化学类型为 HCO₃⁻Ca 型, Ca²⁺ 较富集, 水中可溶性固形物的含量为 0.1~0.3 g/L, pH 值为 7.7。除三连、卧虎山凹陷盆地及药泉山隆起外, 其它地区白垩系承压水化学类型为 HCO₃⁻Ca-Na 型, 阳离子以 Ca²⁺ 为主, Na⁺ 次之, 为上述二区的过渡区, 可溶性固形物含量为 0.1~0.25 g/L, pH 值为 7.5~8。从地下水水化学类型分布规律看, 研究区北部和中部为承压水补给径流区, 尤其是药泉山隆起构造带, 白垩系地层薄, 埋藏浅, 其水化学类型为 HCO₃⁻Ca 型, 表现出明显的补给区特征, 在三连及卧虎山凹陷盆地中为承压水汇集区。因而在补给径流区, 由于地下水的长期溶滤作用, Na⁺ 被迁移, Ca²⁺ 较富集, 在承压水汇集区 Na⁺ 富集(图 2)。

2) 黑龙江省水文工程地质队. 五大连池地区矿水水文地质普查报告, 1976.

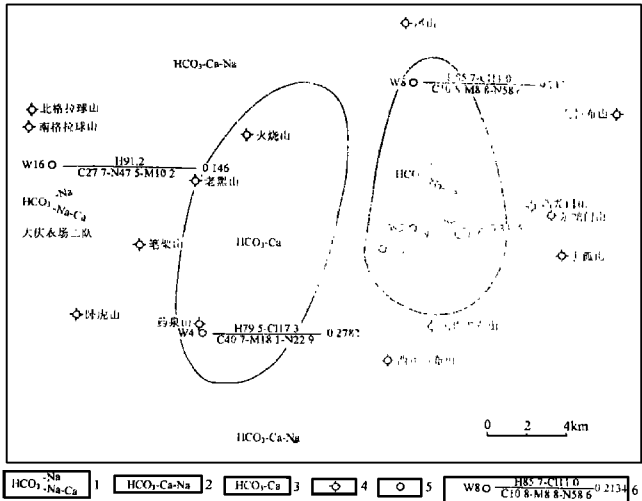


图2 五大连池地区白垩系承压水水化学图

Fig. 2 Hydrochemical diagram of confined water in Cretaceous system
1. 重碳酸钠(钠 钙型水); 2. 重碳酸钙钠型水; 3. 重碳酸钙型水; 4. 火山; 5. 钻孔; 6. 分数前为钻孔编号, 分子为 $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$ 的含量, 分母为 $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na}$ 的含量, 分数后为固形物(离子组为摩尔分数)

量呈正相关关系。笔架山—火烧山一带花岗岩裂隙承压水水化学类型为 $\text{SO}_4\text{HCO}_3\text{Na}$ 或 $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Na}$ 型水。特征是 SO_4^{2-} 含量高, 可达 136 mg/L, 可溶性固形物含量为 0.336 g/L, pH 值为 7.1~8.2。 SO_4^{2-} 含量高可能与火山活动所带来的组分加入地下水有关。东、西部变质岩和花岗岩中裂隙水, 其水化学类型为 HCO_3Na 或 HCO_3NaCa 型, 可溶性固形物含量 0.146~4.1 g/L, pH 值为 7.48~7.85。在药泉山附近和东焦得布山以南及尾山南部等地的变质岩中含有原生矿泉水, 水化学类型为 HCO_3Na 或 HCO_3NaCa 型, 可溶性固形物最高达 6.847 g/L, pH

2.4 变质岩及花岗岩中承压水化学特征

药泉山—温泊以南, 由北往南, 地下水反映出由 $\text{HCO}_3 \rightarrow \text{SO}_4 \rightarrow \text{Cl}$ 型水的分布规律。药泉山附近为 HCO_3NaCa 型水, 水中可溶性固形物的含量最高达 6.847 g/L, 富含 CO_2 气体, 为原生矿泉水区。龙泉村附近为 ClHCO_3Na 型水, 可溶性固形物含量为 1.09 g/L。氦含量高达 986 Bq/L, 同时 F^- 含量也增高, 达 6.5 mg/L。在药泉山到龙泉村之间, 向南由 HCO_3 型逐渐过渡为 SO_4 型和 Cl 型水。 Cl^- 含量向南逐渐增高, 氦、氟含量也随之增高。药泉山附近小区内花岗岩和变质岩中 Cl^- 、 F^- 含量与 Rn 含

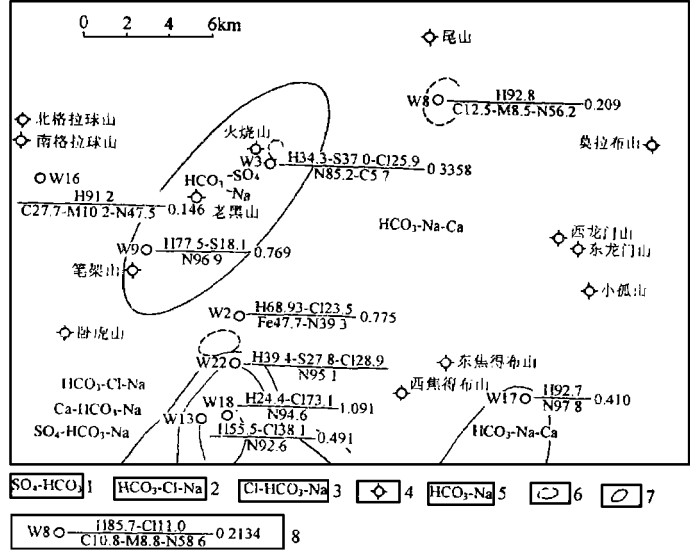


图3 五大连池地区变质岩及花岗岩裂隙承压水水化图

Fig. 3 Hydrochemical diagram of artesian waters in metamorphic rock and granite in Wudalianchi area
1. 硫酸-重碳酸钠型水; 2. 重碳酸钠氯化钠型水; 3. 氯化物-重碳酸钠型水; 4. 火山; 5. 重碳酸钠型水; 6. 碳酸-重碳酸盐矿水; 7. 碳酸-重碳酸盐矿水; 8. 分数前为钻孔编号, 分子: $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$ 的含量, 分母: $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na}$ 的含量, 分数后为固形物(离子组为摩尔百分数)

值为 7.22~7.85, Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 含量高, F^- 、 Cl^- 及 Rn 含量都很低(图 3)。由于地下水的埋藏条件不同, 所以各层水的混合程度也不同, 在垂直方向上矿水由深层至浅层显示了逐渐淡化的趋势(表 1)。

3 地下水的动力学特征及其成因

根据地下水化学成分的变化情况, 结合水文地质条件, 可以分析地下水运移途径。玄武岩裂隙潜水是由笔架山一带及北部养马场方向, 沿北西和南北向断裂裂隙, 向药泉山方向流动, 在药泉山东侧的东西向与北东向断裂交汇处出露几个流量较大的淡水泉。如二龙眼泉、市医院东南泉和翻花泉。当地下水流至南北向的石龙河断裂时, 与深层上溢的矿泉水同时溢出地表, 形成三个次生矿泉。深层地下水是由北部山区补给, 补给时间大约为 40a^[9]。此地下水沿北东向断裂向南西运移, 而该断裂带又是 CO_2 气体的溢出带, 地下水运移过程中, CO_2 逐渐溶解于水而形成原生矿泉水。当原生矿泉水运移到石龙河断裂时, 受阻上溢形成次生矿水(图 4)。

玄武岩裂隙潜水是由笔架山一带及北部养马场方向, 沿北西和南北向断裂裂隙, 向药泉山方向流动, 在药泉山东侧的东西向与北东向断裂交汇处出露几个流量较大的淡水泉。如二龙眼泉、市医院东南泉和翻花泉。当地下水流至南北向的石龙河断裂时, 与深层上溢的矿泉水同时溢出地表, 形成三个次生矿泉。深层地下水是由北部山区补给, 补给时间大约为 40a^[9]。此地下水沿北东向断裂向南西运移, 而该断裂带又是 CO_2 气体的溢出带, 地下水运移过程中, CO_2 逐渐溶解于水而形成原生矿泉水。当原生矿泉水运移到石龙河断裂时, 受阻上溢形成次生矿水(图 4)。

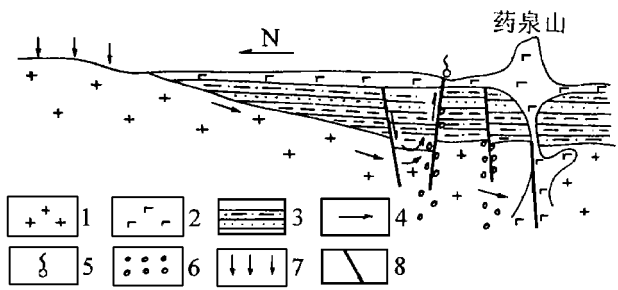


图 4 矿水形成模式

Fig. 4 The genetic model of the formation of mineral water
1. 花岗闪长岩; 2. 玄武岩; 3. 泥岩、砂岩; 4. 地下水流向;
5. 矿泉; 6. CO_2 气体; 7. 大气降水; 8. 断裂

4 氡的形成及其分布特征

Rn 是 U、Th 放射系中 Ra 衰变的子体。自然界中由于母体分布不均匀和运移介质的差异等因素造成 Rn 浓度的非均匀性。研究区内氡的分布很不均匀。由于镭在表生过程中活性差, 易富集于沉积物中, 所以沉积岩中一般 Rn 含量较高。Rn 扩散、渗流进入地下水, 使地下水中 Rn 浓度增高。比如 33 号孔, 其 Rn 含量为 112.9~239.8 Bq/L, 孔深 80 m 时地下水中 Rn 含量为 112.9 Bq/L, 中部 170 m 时地下水中 Rn 含量为 239.8 Bq/L, 底部 210 m 时 Rn 含量只有 24.4 Bq/L。33 号孔井水为区内含氧量特别高的地下水。另外 Rn 分布较广的地区主要在龙泉村、石龙村和青石村一带, 还有邻泉村和粮库一带。较富含 Rn 的水主要富

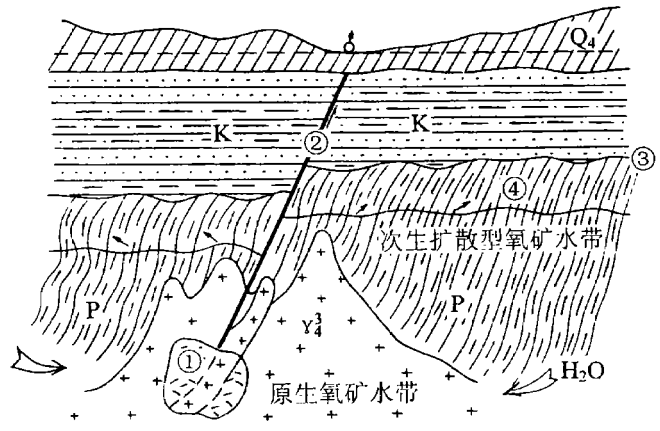


图 5 原生型和次生扩散型氡矿水形成示意图

Fig. 5 Diagram of the formation of primary and secondary radon-diffusion mineral water
① 储气构造; ④ 导气断层; ③ 隔气层; 1/4 风化壳; ⑤ 氡气渗流运移方向; 氡气扩散方向

存于黑云母花岗岩风化裂隙承压水体和二叠系板岩风化裂隙承压水层中。这种类型的 R_n 矿水形成主要是由于花岗岩岩石中的 R_n 进入地下水形成的。U、Th 是不相容元素, 易富集于花岗岩和花岗斑岩中。氡气来源于深部 U、Th 的子体 R_a 的衰变, R_a 及其衰变产物 R_n 可着附在裂隙壁上或沿裂隙缓慢上升, 并溶于地下水中运移(图 5)。

5 结 论

五大连池地表水以 HCO_3^-Ca 型为主, 可溶性固形物小于 0.5 g/L, 属低矿化度淡水, 中性—偏碱性。浅层地下水为重碳酸型弱碱性淡水, 根据阳离子含量可分为四个亚类, 分布于不同的位置。白垩系中承压水为 HCO_3^-Na 和 HCO_3^-Na-Ca 型水, 补给区在研究区的北部和中部。结晶岩中的承压水富含 CO_2 , 主要类型有 HCO_3^-Na-Ca , $Cl-HCO_3^-Na$, $SO_4-HCO_3^-Na$ 和 HCO_3^-Na , 分布于不同深度的含水层中, 补给区在研究区的北部。地下水中 R_n 的含量与含水层的性质和水流途径有关, 浓度范围为 20~240 Bq/L。

致谢 感谢张耀德高级工程师在调查过程中给予的大力支持。

参 考 文 献

- 1 王允鹏, 穆丽霞, 刘 文. 五大连池火山活动规律及特征. 黑龙江地质, 1996, 7(4): 1~7.
- 2 邱家骥等. 五大连池—科洛—二克山富钾火山岩. 北京: 中国地质大学出版社, 1991.
- 3 刘若新. 中国新生代火山岩年代学与地球化学. 北京: 地震出版社, 1992.
- 4 孔令昌, 赵 谊. 五大连池火山地区某些惰性气体同位素比值的研究. 地震地质, 1993, 15(1): 88~89.
- 5 巩杰生. 论五大连池火山的活动性. 黑龙江地质, 1996, 7(3): 3~9.
- 6 刘振义, 李鸿业. 五大连池火山区低温矿水的成因. 黑龙江地质, 1997, 8(3): 55~62.
- 7 吕宗文. 老黑山、火烧山(1719~1721)火山地质. 见: 刘若新主编. 火山作用与人类环境. 北京: 地震出版社, 1995. 44~54.
- 8 任锦章, 赵 谊. 五大连池火山群及其火山地质和地震活动研究. 见: 任锦章主编. 火山研究与发展. 北京: 地震出版社, 1990. 118~128.
- 9 赵继昌. 黑龙江五大连池药泉山形成特征. 水文地质工程地质, 1985, (3): 55~59.

The Hydro-geochemical Background of the Wudalianchi Volcanic Area

Sun Rubo

(Monitoring Station of Volcano and Seismology, Wudalianchi 164155)

Du Jianguo

(Center of Analysis and Prediction SSB, Beijing 100036)

Abstract The hydro-chemical types and distribution of waters in the Wudalianchi volcanic area were discussed based on a lot of hydro-chemical data. Deep ground water in crystallizing rocks has higher mineralization and is rich in HCO_3^- , SO_4^{2-} and Cl^- . The source areas of the ground water are located in the north part and central part of the study district.

Key words: hydrology; geochemistry; Wudalianchi