

张家口南部地区活动断裂带气体地球化学特征

王基华 孙风民

(国家地震局地质研究所)

摘 要

本文从实际观测资料出发,阐述了张家口南部地区活动断裂带气体地球化学特征,讨论了活动断裂带以温泉形式释放的气体成分与区域地质、水文地质条件等因素的关系,对选择地震观测点和观测项目提出了看法。

活动断裂带气体地球化学特征的研究已引起各国学者的重视。因为这一研究对于探索活断层的运动和地震的发生之间的相互关系有着十分重要的意义,并且成为活断层研究的有效方法之一。我们从1984年开始在张家口南部(包括京西北)地区几条活动断裂带上选择了12个温泉,观测其溶解气体组分,研究该区活动断裂带气体地球化学特征。本文根据实际观测资料就该区的活动断裂带的水热活动分布特征、断裂带气体的溢出以及它们与构造活动、地质、水文地质条件等的关系进行探讨。

一、研究区内构造概况及水热活动分布特征

张家口南部地区位于阴山纬向构造带燕山段西部南侧。本文涉及的范围是北纬 $39^{\circ}40'$ — $41^{\circ}00'$,东经 $114^{\circ}00'$ — $116^{\circ}00'$ 。从行政区划看主要包括赤城、宣化、怀来、涿鹿、蔚县、阳原、延庆等地(图1)。

该区地质构造复杂,断裂十分发育。主要活动断裂规模较大,有较长期的活动历史。有资料表明^[1],晚第三纪以来该区断裂活动仍十分强烈。区内发育着北东向、北北东向,北西向及东西向四组构造线(图1)。这些断裂构造经历了漫长的、复杂的构造变动。北东向构造虽然发育较晚,但晚近期活动却十分强烈,是山西地震带上规模大、影响深而广的构造体系。由于北东向构造的晚近期活动,区内形成了一系列呈北东方向展布的断陷盆地;北北东向构造在该区具有一定的规模,此构造带内伴生有大量的中酸性岩浆岩侵入,影响地壳较深;东西向构造发育规模大,切割深,如赤城—尚义断裂是一条切割了莫霍面的深断裂,对

*岑浩、金晓微、张培仁、王亮、马枚丽参加了野外取样工作。

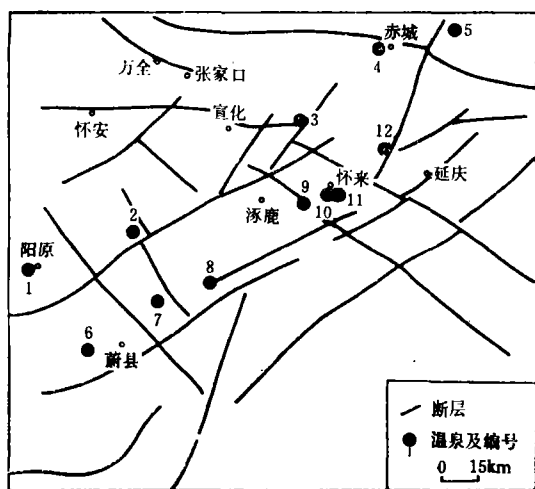


图1 研究区活动断裂及温泉分布
Fig.1 Distribution of active faults and hot springs in studied area

该区影响较大；北西向断裂构造密集成带或组合成雁列式排列，是一组具有一定规模、一定切割深度以及新构造活动明显的断裂构造带。

由图1可见，区内温泉都沿活动断裂分布，呈北东方向带状排列，明显分为南、北两个带，并与中生代以来的火山岩和中酸性岩浆岩的分布有着极为密切的关系。在断裂交汇处或其附近出露地表。这些都表明区内地下热水的生成与运移受构造体系的制约。由于区内断裂活动的差异，出露地层的岩性及水文地质条件的不同，因而受其控制和影响的水热异常分布特征也有明显的差异（表1）。

表1 研究区内水热活动异常分布特征

温泉名称	暖泉	阳原	莲花池	三马坊	桃花	文明村	后郝天 ₃	后郝天 ₄	白庙	佛峪口	赤城	东万口
水温(℃)	20	20	20	40	20	40	87	86	42	41	68	68.5
流量(t/h)	590	10	0.65	16	0.22	11	3.6	13.0	7	0.36	45	16

从表1可以看出，区内温泉出露温度从西南向东北方向呈逐渐增高的趋势。西南部为20℃，东北部为60℃以上。

二、研究区内活动断裂带气体地球化学特征

地下深部气体沿活动断裂带不断地向外扩散、释放是断层活动的一个重要的地球化学标志。它们或从断裂带内的岩石和土壤直接向外释放或溶解在经过深循环的地下热水中而被带出地表。本文着重讨论后一种形式释放的气体的地球化学特征。

活动断裂带是地球深部与地表相互沟通的主要通道。大气降水和地表水可沿断裂带渗入地下，随着循环深度的增加，温度不断增高，同时又捕获了不同地层的化学组分和气体组分，在特定的构造条件下经过深循环的地下热水以温泉的形式流出地表。因此研究沿活动断裂或其附近的温泉的分布及其化学组成和气体组分是探讨活动断裂的地球化学特征的有效途径。

含气体组分（特别是稀有气体组分）是地下热水的重要特征。我们在研究区内沿活动断裂选择了12个温泉（井、孔），观测其溶解气体组分。观测结果列于表2。

由表2可以看出，区内温泉气体组分主要含N₂、O₂、CO₂，大部分温泉He含量达几百ppm，最高的（阳原）达3700多ppm，同时普遍缺少CH₄。这与杉崎隆一等报导的通过温泉释放的断层气富含He、CH₄，而往往缺乏CO₂有所差异[2]。

由表2还可知，区内温泉气体的He/Ar比值均较高，较高的He/Ar比值是深部气体

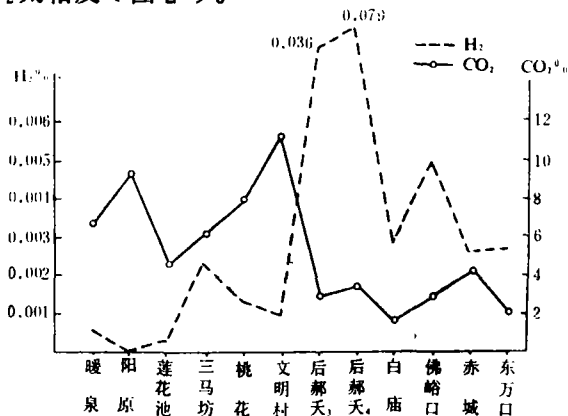
表 2 研究区温泉释放的断层气体组分含量

分带	温泉名称	温泉编号	主要气体组分 (%)							PH	矿化度 (mg/l)
			He	H ₂	Ar	N ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂		
北带	阳原	1	0.3736	—	1.60	81.6	—	9.3	5.7	7.7	2780
	三马坊	2	0.1777	0.0034	1.60	81.6	—	6.2	7.6	7.5	1380
	白庙	8	0.0080	0.0029	1.45	73.9	—	1.6	19.6	8.1	670
	赤城	4	0.0300	0.0026	1.58	80.2	0.23	4.1	12.1	7.7	900
	东万口	5	0.0232	0.0027	1.37	76.9	0.08	1.8	18.6	8.4	780
南带	暖泉	6	0.0150	0.0005	1.50	71.9	0.04	6.7	19.9	7.5	570
	莲花池	7	0.0061	0.0003	1.50	73.4	0.23	4.5	17.7	7.4	650
	桃花	8	0.0004	0.0013	1.40	70.5	0.04	7.9	19.4	7.6	580
	文明村	9	0.0068	0.0009	1.50	78.4	—	11.4	6.9	7.6	627
	后郝天 ₃	10	0.1404	0.0355	1.60	87.0	1.70	2.8	4.5	8.5	1060
	后郝天 ₄	11	0.1126	0.0788	1.90	87.3	1.98	3.4	4.5	8.4	971
	佛峪口	12	0.0199	0.0050	1.76	81.8	0.02	2.8	12.6	8.7	530

的一个特征。这表明该区断裂带释放出的气体有岩石圈气体的混入。岩石圈气体的 He/Ar 比值 (≈ 10) 大约是大气圈气体 (6×10^{-5}) 的 2×10^5 倍, 而且不受其它气体稀释的干扰, 所以 He/Ar 比值对检测岩石圈气体是有效的。

不同断裂带上的温泉水中的气体组分有所差异。分布在北带的温泉从1984年至1985年期间没有检测出 H₂, 从1986年开始才检测出 H₂ (阳原孔除外, 至今仍未测出 H₂)。断裂带气体的释放能够迅速地反映深部的应力应变状态的变化。笔者认为 H₂ 的这种明显变化是该区地壳处于活动期的一种显示, 是1987年11月11日在宣化西南发生的4.2级地震的中期前兆异常反映。

活动断层的不同地段, 所释放的气体组分有明显的差异。从区内西南部向东北部 H₂ 呈逐渐增高的趋势, 而 CO₂ 则相反 (图 2)。

图 2 研究区内从西南向东北方向温泉释放的 H₂、CO₂ 的变化Fig. 2 Changes of gases H₂ and CO₂ in hot springs from SW to NE direction in studied area

按地下热水气体成分分类标准〔9〕，区内温泉水中 N_2 的含量均在70%以上，属于 N_2 水。说明与大气降水的深循环有关，其中 N_2 是大气成因的，因为岩石本身含 N_2 极少，而生物化学成因的 N_2 又多发生于表层土壤中。大多数温泉 O_2 含量在10%以上，有的接近大气中的 O_2 含量，表明地下热水出露至地表时与浅层水混合。

采集的大多数温泉水样He含量达几百ppm。有的温泉如阳原虽然出露于灰岩，但He含量达3700多ppm，氧含量在区内也是最高的，高达1850Bg/L，这意味着有放射性元素的参与。

三、气体组分与地质、水文地质条件的关系

温泉带内释放的断裂带气体的组分与温泉所处的地质、水文地质条件等因素有明显的关系。区内西南部温泉多出露于灰岩（如阳原、暖泉、莲花池、桃花、文明村），东北部温泉则出露于火成岩或变质岩（后郝天₃、后郝天₄、三马坊、赤城、东万口、白庙、佛峪口）。从观测的结果看，前者释放的气体含 CO_2 较高，而 N_2 、 H_2 等相对较少，后者则含 H_2 、 N_2 、He较高，而 CO_2 相对较低（图3、4）。这也是区内从西南到东北方向 H_2 和 CO_2 呈相反变化趋势的主要原因。在灰岩地区，随着地下水循环深度的增加，水温不断升高，可以引起碳酸盐的脱酸作用，因此导致温泉水中 CO_2 的含量增高。在火成岩地区，较高的 H_2 显然不是来自生物起源。生物作用形成的 H_2 伴有 CO_2 和 CH_4 ，而区内火成岩地区的温泉水中 CO_2 和 CH_4 含量很少，笔者认为，封存在火成岩中的原始 H_2 及水化作用形成的 H_2 是活动断裂带 H_2 的主要来源。区内温泉释放的 N_2 虽同属大气成因，但火成岩或其变质岩地区的温泉还可能混入少量的由火成岩或其变质岩分离出来的无机 N_2 ，因此导致 N_2 的含量比灰岩地区的高。

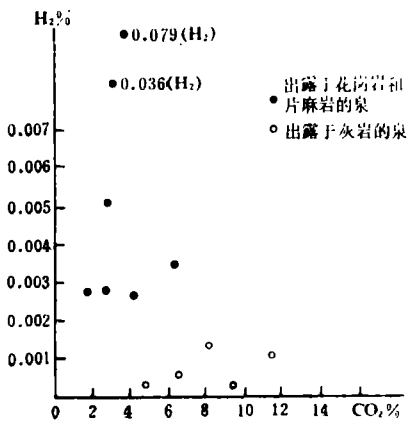


图 3 研究区内出露于不同含水层的温泉中 H_2 与 CO_2 的关系

Fig. 3 Relationship between gas H_2 and CO_2 in hot spring coming out different aquifers in studied area

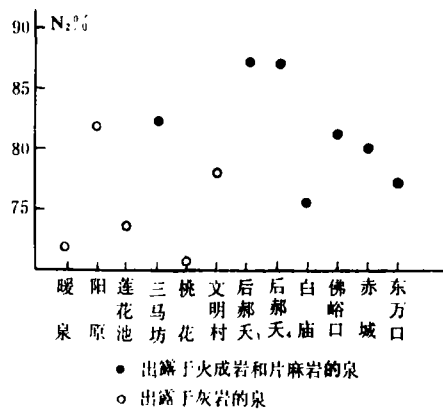


图 4 研究区内出露于不同含水层的温泉中 N_2 的变化

Fig. 4 Change of gas N_2 in hot springs coming out different aquifers in studied area

研究区内12个温泉,其中后郝天₃、后郝天₄、白庙、三马坊、阳原为钻孔,其余的为天然露头的温泉。后者含O₂普遍较高,这是由于有些温泉是地下热水涌出基岩后,赋存在第四系泥河湾期砂砾石层中(如暖泉、莲花池、桃花),在特定的构造条件下流出地表;有的则是直接从基岩流出地表,这样都会混入较多的浅层水。止水较好的后郝天₃、后郝天₄两钻孔的水温最高,He、H₂含量都很高,O₂含量最少,在该区最能代表深部气体的组成。1988年7月23日阳原4.8级地震后郝天₄孔观测到H₂的明显异常变化¹⁾。震后一个多月,即8月30日取样观测,H₂浓度仍高达2303ppm(正常值为788ppm)。该井位于从张家口径怀来、北京至渤海这一条北西向断裂带上,该断裂带是地幔物质强烈上涌活动的结果,对该区地震活动的影响很大^[1]。而资料表明该带又是He、H₂富集带^[4]。后郝天₄井地震前后H₂的这种异常变化,可能表明在地震活动期,该断裂带深部岩石破裂,新老裂隙沟通,使贮藏在地壳深部的H₂沿断裂带上涌。像后郝天₄这样的温泉点是研究区内观测深部来源的地震前兆信息的最佳选择点之一。

小 结

以上各种论述,是根据几年来的观测结果而得出的。研究区内活动断裂气体地球化学特征表明:

1. 该区断裂活动仍十分强烈,特别是北西向和北东向这两组断裂构造。
2. 活动断裂以温泉形式释放的气体组分与区域地质、水文地质条件等因素有密切的关系。
3. 作为地震监测点应选择止水好的热水钻孔,在观测项目的选择上,观测H₂的点应选择在火成岩地区,特别是玄武岩地区,而观测CO₂最好在灰岩地区。

(本文1989年8月9日收到)

参 考 文 献

- [1]李志义等,河北平原及其周围地区新构造图说明书,地震出版社,1985.
- [2]Sugisaki,R., et al., Geochemical features of gases and rocks along active faults, *Geochem. J.*, Vol. 14, No. 8, 1980.
- [3]侯定远,水文地质工程地质, No. 1, 1987.
- [4]华北地球化学背景场课题组,华北地震水文地球化学研究,上海科学技术文献出版社,1990.

**GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF GASES ALONG
THE ACTIVE FAULT ZONES IN THE SOUTHERN ZHANGJIAKOU AREA**

Wang Jihua, Sun Fengmin

(*Institute of Geology, SSB, Beijing, China*)

Abstract

On the basis of observation data, geochemical characteristics of gases along the active fault zones in the southern Zhangjiakou area (including the northwestern Beijing) are studied. The relationship between releasing gases in the hot spring form of the active fault zones and regional geology, hydrogeological condition is discussed. The optimal selection of observation point and observation components for earthquake prediction is also suggested.