

编号: 0258-7106(2011)04-0742-05

西藏谢通门县邦弄含铁电英岩脉的地质特征及成因分析*

夏祥标, 郑来林, 李军敏, 李再会

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘要 文章介绍了西藏谢通门县邦弄地区含铁电英岩脉的地质特征。电英岩脉的延伸方向大致与区内的断层平行, 围岩为中粒斑状角闪黑云二长花岗岩。电英岩脉中见有不同程度的铁矿化, 共有 23 条矿化较好的含铁电英岩脉。含铁电英岩脉中矿石矿物为赤铁矿(镜铁矿)脉石矿物为石英、电气石及少量的白云母和长石。矿石具叶片状、鳞片状结构, 块状构造, 矿石类型为致密块状、浸染状、细脉状。氧同位素测试表明 5 件样品的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{v-SMOW}}$ 平均值为 6.8‰, 氢-氧同位素组成图显示, 成矿流体以大气水为主, 但岩浆流体也可能也对矿床的形成起了重要作用。

关键词 地质学, 含铁电英岩脉, 地质特征, 氢、氧同位素, 成矿流体, 谢通门

中图分类号: P618.31

文献标志码: A

Geological characteristics and genetic analysis of the iron-bearing tourmalite dikes in Bangnong area, Xaitongmoin County, Tibet

XIA XiangBiao, ZHENG LaiLin, LI JunMin and LI ZaiHui

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China)

Abstract

This paper describes geological characteristics of the iron-bearing tourmalite dikes in Bangnong area, Xaitongmoin County, Tibet. The iron-bearing tourmalite dikes extend roughly parallel to the fault. The wall rock is medium-grained porphyritic hornblende biotite monzogranite. The tourmalite dikes have experienced different degrees of iron mineralization. Statistics reveal 23 promising mineralized veins. Ore minerals include hematite(specularite), whereas gangue minerals are quartz, tourmaline, and a small amount of muscovite and feldspar. Ores are of scaly and flaky textures and massive structure. Ore types include massive form, dissemination and veinlets. Oxygen isotope analysis shows that the average of $\delta^{18}\text{O}_{\text{v-SMOW}}$ from 5 samples is 6.8‰. Oxygen and hydrogen isotopic analysis of the fluid indicates that the ore-forming fluids were dominated by meteoric water, with the probable participation of magmatic water.

Key words: geology, iron-bearing tourmalite dike, geological characteristics, oxygen and hydrogen isotopes, ore-forming fluid, Xaitongmoin

前人对含电气石的岩石有大量的研究, 如对电气石岩、电英岩、西藏岩(沈敢富等, 1999, 2000)等, 这些岩石均以含大量电气石为显著特征。上世纪 80 年代以前有关电气石岩的研究主要是与伟晶岩脉、

* 本文得到“西藏普达亚地区矿产远景调查(任务书编号: 矿调[2004]1-3)”项目资助

第一作者简介: 夏祥标, 男, 1982 年生, 工程师, 从事地质矿产、物化探方面的工作。Email: cdxiangbiao@163.com

收稿日期: 2010-07-04; 改回日期: 2011-04-01。张绮玲编辑。

交代岩、花岗岩体、矿化角砾岩筒及蒸发岩有关(聂凤军,1993),最近20年,随着电气石岩在层状金、钨、锡和贱金属块状硫化物矿床及周边不断被发现,学者们广泛认为其与喷流沉积型块状硫化物矿床有着密切的关系,并视它为层状金、钨、锡和贱金属块状硫化物矿床找矿勘探的标志岩性单元(孙海田等,1989;沈建忠等,1992;聂凤军,1993;夏学惠,1995a;1995b;1995c;1997;叶松等,1997)。某些特殊环境产出的电气石岩具有重要的成因意义(夏学惠,1995a;1997;叶松等,1997)和找矿意义,其常与喷气、喷流、热水沉积型块状硫化物矿床密切相关(聂凤军,1993;沈建忠等,1992;夏学惠,1995a)。

本文介绍了冈底斯成矿带中的含铁电英岩脉的地质特征,铁矿产在黑色隐晶质电气石石英岩脉中,岩脉以含有大量电气石为显著标志,暂定其名为电英岩脉。对含铁电英岩脉的研究,旨在向大家介绍一种新型的矿床类型,对于矿床学研究和认识该成矿带的成矿流体有一定的价值,同时电气石作为稀缺资源,也具有较高的经济价值。

1 地质背景

谢通门地区处于著名的冈底斯山脉中段南缘,

南邻雅鲁藏布江,位于著名的冈底斯铜-铅-锌-钼-铬-铁-金-银成矿带中的谢通门-墨竹工卡铜-金-多金属次级成矿带内,矿产资源丰富,历来受到地质学家的关注(李光明等,2002a)。成矿带自晚古生代以来经历了特提斯多岛弧盆系统演化到亚洲-印度大陆碰撞与青藏高原隆升的构造演化过程,可大致划分出石炭纪—三叠纪活动大陆边缘、侏罗纪—早白垩世特提斯多岛-弧盆系统、白垩纪末—始新世亚洲-印度大陆碰撞造山和中新世以来后碰撞伸展等多个构造演化阶段(李光明等,2000;2002b;潘桂堂等,2006;侯增谦等,2006a;2006b;2006c)。研究区位于冈底斯-念青唐古拉地块南部的燕山晚期—喜马拉雅期陆缘火山-岩浆弧上,南部为雅鲁藏布板块结合带(邢俊兵等,2003)。研究区所处的冈底斯成矿带以斑岩型Cu-Mo矿化和矽卡岩型Cu-Pb-Zn矿化为特征,构成了一条长350 km、宽30~50 km的矿带(图1)。

邦弄区内侵入岩分布广泛(图2),以酸性花岗岩类为主,主要岩性有中粒斑状角闪黑云二长花岗岩,另有少量中细粒角闪黑云二长花岗岩,此外还零星散布有电英岩脉。前人研究资料表明,花岗质岩浆侵入活动的主要时间介于145~10 Ma之间,其中以55~42 Ma为中酸性侵入岩浆活动的高峰期(李光明等,2002b;莫宣学等,2005;潘桂堂等,2006;

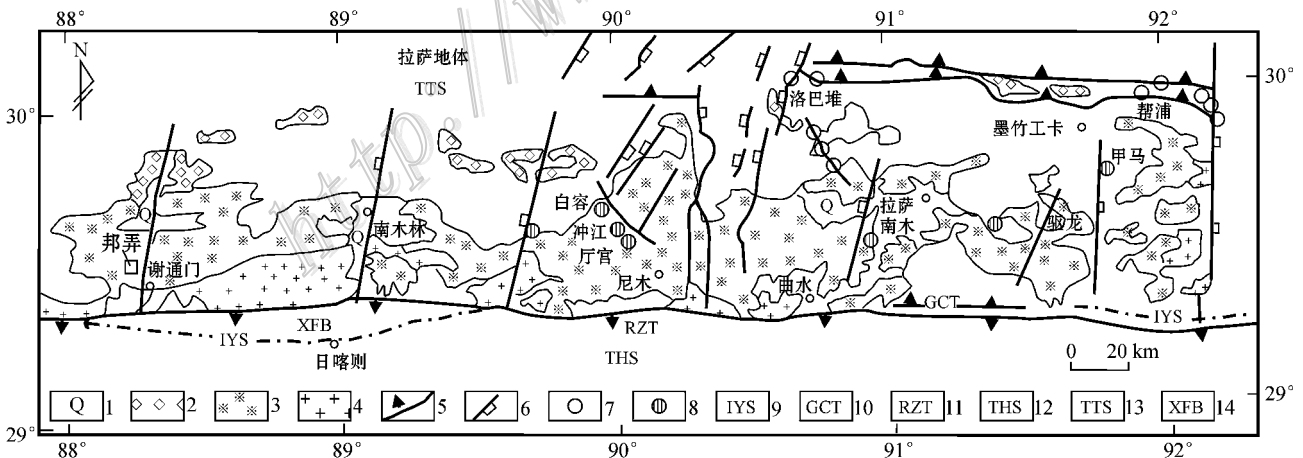


图1 冈底斯斑岩铜矿带地质简图(据Hou et al., 2004修改)

1—第四系;2—渐新世花岗岩;3—早喜马拉雅花岗岩;4—中晚燕山期花岗岩;5—逆冲带;6—正断层;7—铅锌铜矿床;8—铜钼矿床;9—印度河-雅鲁藏布江缝合带;10—冈底斯中央逆冲带;11—任布-泽当逆冲带;12—特提斯喜马拉雅岩系;13—三叠系—第三系;14—日喀则弧前盆地

Fig. 1 Simplified geological map of the Gangdise porphyry copper belt(modified from Hou et al., 2004)

1—Quaternary; 2—Oligocene granite; 3—Early Himalayan granite; 4—Middle-late Yanshanian granite; 5—thrust belt; 6—Normal fault; 7—Pb-Zn-Cu deposit; 8—Cu-Mo deposit; 9—Indian River-Brahmaputra suture zone; 10—Gangdise central thrust belt; 11—Buze-Rendang thrust belt; 12—Tethys-Himalayan rock series; 13—Triassic-Tertiary rock series; 14—Xigaze forearc basin

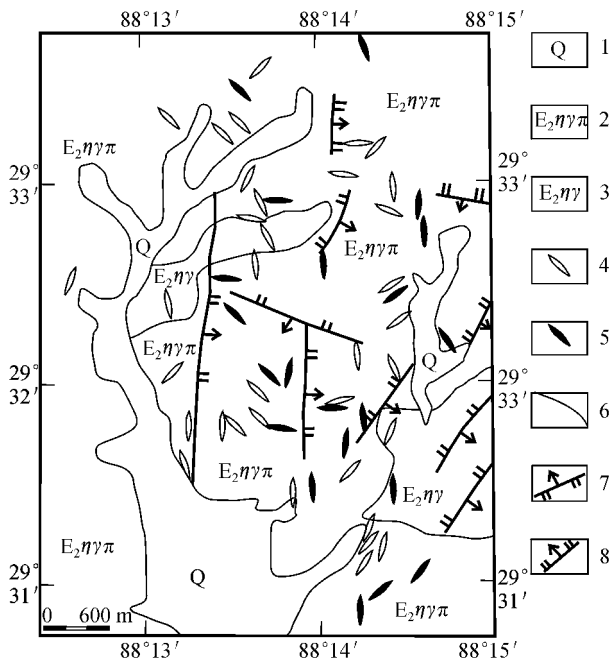


图2 邦弄地区地质简图

1—第四系；2—中粒斑状角闪黑云二长花岗岩；3—中细粒角闪黑云二长花岗岩；4—电英岩脉；5—含铁电英岩脉；6—地质界线；7—逆断层；8—正断层

Fig. 2 Simplified geological map of Bangnong area

1—Quaternary；2—Medium-grained porphyritic hornblende biotite monzogranite；3—Medium- to fine-grained hornblende biotite monzogranite；4—Tourmalite dike；5—Iron-bearing tourmalite dike；6—Geological boundary；7—Reversed fault；8—Normal fault

朱弟成等(2006)。

区内断层较多,按走向大致分为4组。北东向断层组为南倾的逆冲断层,形成时间最早。近东西向断层组为南倾的逆冲断层,在形成时间上可能略晚于北东向的断层。近南北向断层组为高角度的正断层,是区内形成最晚的一组断层。北西向断层组性质多变,在形成时间上可能略晚于近东西向的断层。

2 地质及矿化特征

邦弄地区侵入岩内发育有大量电英岩脉(图2),电英岩脉多数产在中粒斑状角闪黑云二长花岗岩($E_2\eta\gamma\pi$)内,少量产在中细粒角闪黑云二长花岗岩($E_2\eta\gamma$)内。斑状二长花岗岩具中粒半自形粒状结构,似斑状结构,块状构造。斑晶由灰白色、大小5~6 mm的半自形板条状长石组成,分布不均。基

质具细至中粒半自形粒状结构,主要矿物有长石、石英及少量黑云母和角闪石。角闪石呈黑色,半自形针柱状,大小1~2 mm,分布不均匀。黑云母呈褐黑色,自形鳞片状、集合体状,单片0.5~1.5 mm,分布较均匀。长石呈灰白色,半自形板条状,大小1.5~3 mm,分布较均匀。石英为无色,他形粒状,大小1.5~3 mm,分布较均匀。岩石节理发育,风化表面易破碎。

区内电英岩脉的走向大致与区内的断层平行,根据走向不同大致可以分为4组:近南北向、近东西向、北东向和北西向。

电英岩多呈灰黑色,隐晶质,致密块状构造,质地十分坚硬。电英岩脉中见有不同程度的铁矿化,有些岩脉仅具轻微铁染色,有些岩脉全岩铁矿化。区内共发现23条矿化较好的含铁电英岩脉(表1),个别岩脉全岩矿化。含矿岩脉的厚度变化很大,从厘米级到数十米,沿围岩中的裂隙分布。目前观察到的矿脉平均厚约1 m,地表连续出露长度1~80 m。

电英岩脉与围岩呈截然侵入接触关系,接触面附近围岩未见蚀变现象。局部在边界附近见有深色的隐晶质电气石及石英共生组合胶结浅色的棱角状围岩角砾,黑白分明(图3a)。图3b中可以看出斑状二长花岗岩、花岗细晶岩脉、电英岩脉三者的穿插关系:约20 cm宽的花岗细晶岩脉穿过表面风化强烈的斑状二长花岗岩,黑色电英岩脉穿过花岗细晶岩脉。由此可见斑状二长花岗岩形成时间最早,电英岩脉形成时间最晚。

矿石的结构构造变化较大,具叶片状、鳞片状结构,块状构造,矿石类型为致密块状(图3d)、浸染状、细脉状。局部富铁的电英岩因晶洞中矿物被氧化剥蚀掉,局部酷似炉渣。

含铁电英岩脉中矿石矿物主要为赤铁矿,少量褐铁矿,仅在一条含铁电英岩脉中见有磁铁矿。赤铁矿通常呈块状,局部呈片状集合体、肾状或土状等,呈红褐色、钢灰色,条痕均为樱红色,具金属光泽,无磁性。块状矿石中局部常见赤铁矿的完美金属闪光菱面体晶体,称为镜铁矿。

含铁电英岩脉中脉石矿物主要为石英、电气石,另有微量的白云母和长石。石英和电气石多成黑色隐晶质与致密块状赤铁矿共同胶结在一起。黑色隐晶质成分质地坚硬,难以辨认矿物成分,经室内鉴定为电气石石英岩。在电英岩脉局部气孔-晶洞构造发育,空隙内发育有电气石、石英晶簇(图3c),呈放

表 1 含铁电英岩脉情况简表

Table 1 Summary of iron-bearing tourmalite dikes

编号	点位(DMS)	矿石矿物	规模/m		控矿构造
			长	宽	
1	881335.26 293327.89	镜铁矿、赤铁矿	80	0.5	断层和电英岩脉
2	881345.37 293255.28	赤铁矿	20	5	电英岩脉
3	881344.19 293202.04	褐铁矿	30	6	电英岩脉
4	881445.26 293211.21	褐铁矿、磁铁矿	30	0.5	电英岩脉
5	881407.09 293152.26	赤铁矿、镜铁矿	8	5	电英岩脉
6	881412.56 293149.74	镜铁矿	>16.7	16	断层和电英岩脉
7	881346.04 293146.43	镜铁矿、褐铁矿	8	4	电英岩脉
8	881409.28 293142.19	褐铁矿	20	5	电英岩脉
9	881424.47 293126.51	镜铁矿	5	4	电英岩脉
10	881240.70 293723.19	黄铁矿、褐铁矿	>20	10	断层和电英岩脉
11	881358.06 293128.47	赤铁矿化	20	2	断层和电英岩脉
12	881357.40 293720.99	黄铁矿、褐铁矿、镜铁矿			断层和电英岩脉
13	880843.55 293247.45	褐铁矿、赤铁矿	<1	0.03	断层和电英岩脉
14	881416.86 293340.59	镜铁矿	1	0.03~0.05	电英岩脉
15	881434.46 293258.39	褐铁矿	<1	0.05~0.08	电英岩脉
16	881322.15 293234.56	赤铁矿	>1	1	电英岩脉
17	881402.12 293237.46	赤铁矿、镜铁矿	3~6	0.8~1.5	电英岩脉
18	881331.09 293220.45	镜铁矿	4	0.3	电英岩脉
19	881426.20 293224.83	镜铁矿	5	0.03~0.05	电英岩脉
20	881356.43 293141.03	褐铁矿、赤铁矿			断层和电英岩脉
21	881434.96 293102.46	赤铁矿	8	0.4~0.6	电英岩脉
22	881420.32 293056.97	褐铁矿			电英岩脉
23	881412.72 293050.64	褐铁矿		0.01~0.02	电英岩脉

射状。

铁矿物在电英岩脉体中的分布也不甚均匀。从脉体的中间部位至边缘,矿化具减弱的趋势。赤铁矿被隐晶质电英质成分紧密胶结,共同组成致密块状矿体。矿脉中含铁最高达 $w(\text{TFe})44.90\%$,对其最大的一条矿脉进行连续的刻槽取样,分析结果是 $w(\text{TFe})24.76\%$,基本达到了可选矿石的品位。电气石本身所含的铁显然达不到这么高的含量。电英岩脉体并未见明显的蚀变和强烈的氧化。赤铁矿与电英质应是共生关系。

3 氧同位素分析

本文分析的样品为含铁电英岩(铁矿石)。氧同位素分析采用 BrF_3 法(Clayton, 1963),氧同位素分析精度为 $\pm 0.2\%$,分析结果以 SMOW 为标准。测试工作在国土资源部西南矿产资源监督检测中心实验室完成,测试仪器为 MAT-251EM 型质谱计(Finnigan 公司)。

对含矿电英岩脉的全岩进行了氧同位素测试

(表 2) 5 件样品的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{v-smow}}$ 值在 $4.7\text{‰} \sim 9\text{‰}$ 之间,平均值为 6.8‰ 。 $w(\text{TFe})$ 较高的样品中 $\delta^{18}\text{O}_{\text{v-smow}}$ 值反而较低, $w(\text{TFe})$ 与 $\delta^{18}\text{O}_{\text{v-smow}}$ 值呈负相关。与石英平衡的水的氧同位素组成根据石英-水氧同位素分馏方程(张理刚, 1985)计算,计算结果为 $-1.0\text{‰} \sim -5.2\text{‰}$ 。由 $\delta\text{D} = 1.27\delta^{18}\text{O}_{\text{水}} - 74.2$ (张作衡等, 1998)计算的 δD 值也一并列于表 2 中,其值域为 $-75.5\text{‰} \sim -80.9\text{‰}$ 。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 组成图(图 4)上可以看出邦弄含铁电英岩的成矿流体氢、氧同位素组成落在雨水线右侧,与邻近的雄村浅层热液矿床较为接近。氢、氧同位素组成反映出邦弄成矿流体以大气降水为主,但不能排除岩浆水的参与。

4 讨论和结论

含铁电英岩的氢、氧同位素组成(图 4)显示出成矿流体以大气降水为主,但显著不同于以大气降水为主的西藏现代地热水(张理刚, 1985),氢-氧同位素组成相对雨水线显著右偏,不能排除岩浆流体的参与,而且很可能这对成矿非常关键。加之电英岩

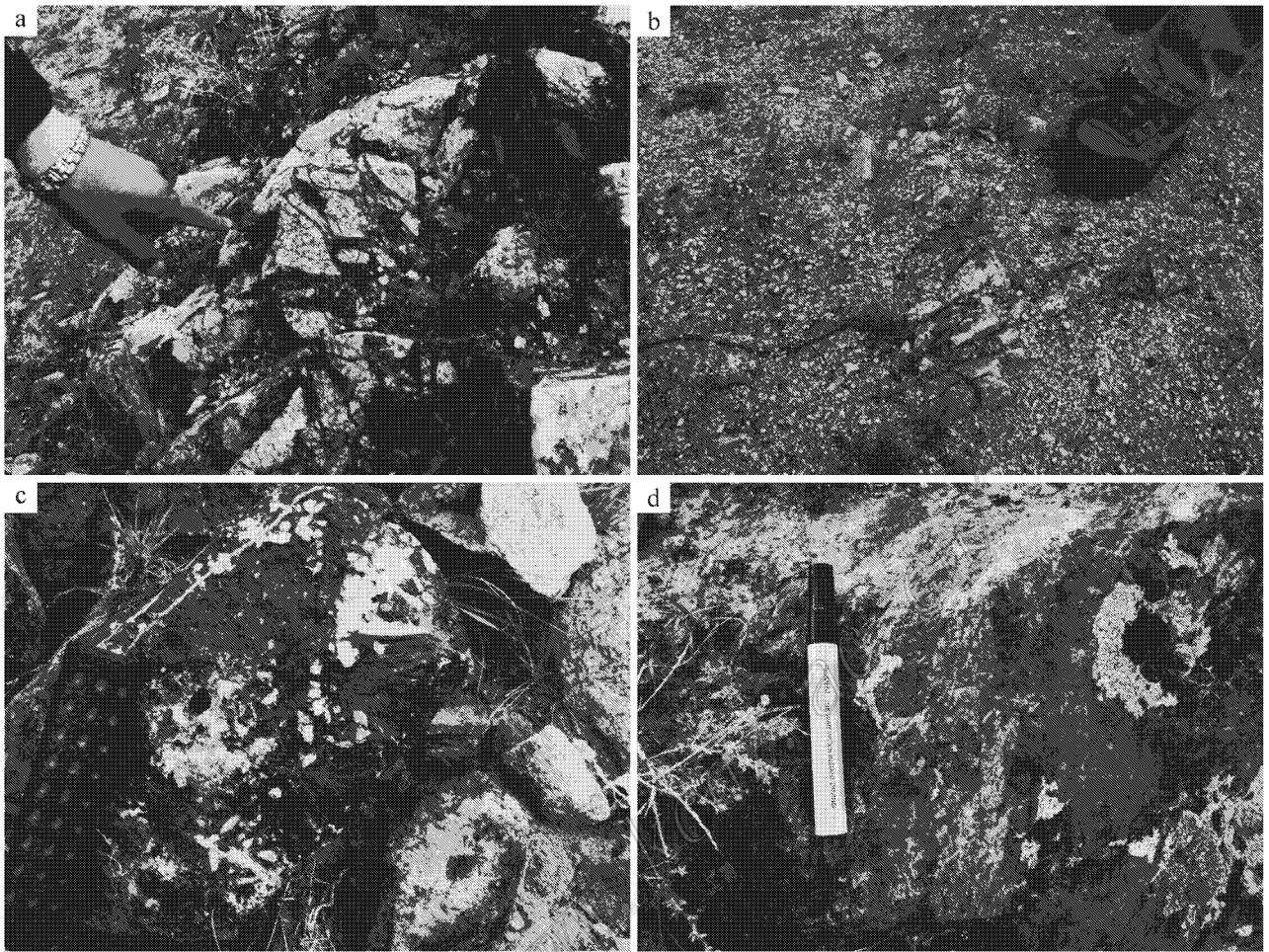


图3 含铁电英岩脉照片

a. 隐晶质电英岩胶结围岩角砾; b. 斑状二长花岗岩、花岗细晶岩、电英岩脉三者之间的穿插关系; c. 电气石、石英晶簇; d. 致密块状矿石

Fig. 3 Photographs of iron-bearing tourmalite dike

a. Aphanitic tourmalite cementing wall-rock breccia; b. Penetrating relationship between monzogranite, granite aplite and tourmalite dike; c. Tourmaline druse and quartz druse; d. Dense massive ore

表2 硅酸盐氧同位素分析结果

Table 2 Analytical results of silicate oxygen isotopes

原编号	Fe ^T /%	$\delta^{18}\text{O}_{\text{v-snow}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}/\text{‰}$
Fe13	13.24	9	-1.0	-75.5
D1670H1	29.67	4.7	-5.2	-80.9
D0560H1	34.58	6.8	-3.2	-78.2
D0795H2	25.80	6	-4.0	-79.2
YN3H13-1	17.97	7.6	-2.4	-77.2

本身就是一种岩浆岩(沈敦富等,1990)。在岩浆电英岩的分异演化晚期,成为富硼(氟)、锂和水的低熔岩浆-流体,聚集在花岗岩浆侵入体的顶部,越来越多的大气降水加入到了成矿热液中,并与之发生反应,在流体的上涌过程中因近地表和内压远大于

外压,岩体隆起部位产生裂隙,成矿流体沿裂隙向减压方向运移,形成大量电英岩脉。Fe的固结温度高,先结晶固化,富硼的低熔流体沿裂隙快速充填、骤然冷凝,形成隐晶质电英质成分。这也解释了含铁电英岩脉多分布在断层的附近的裂隙中,且脉体中间部位矿化较好的原因。成矿流体没有足够的时间与围岩进行反应,与围岩呈截然的侵入关系。邦弄含铁电英岩的形成是岩浆流体和循环地下水共同作用的结果,推测矿床成因为岩浆-热液型。

通过以上研究,认为含铁电英岩脉应为岩浆热液成因。铁矿目前地表规模有限,暂无太大的经济价值。从矿床学研究角度来说,其形成演化及与矿化的关系,值得深入工作。同时,电英岩脉中伴生的

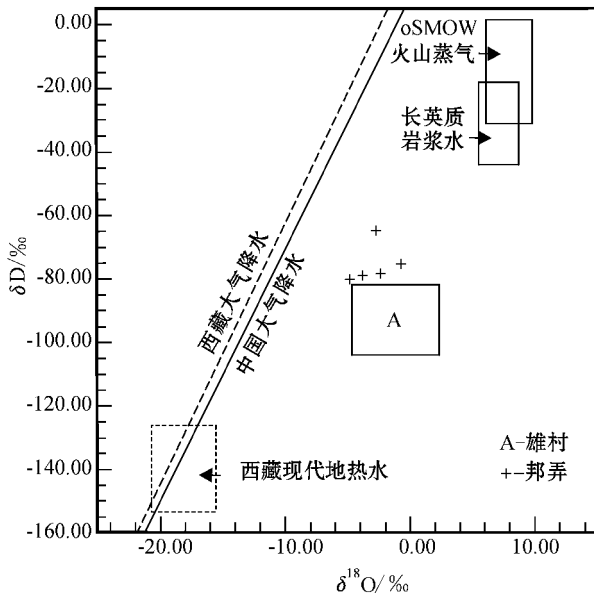


图4 邦弄铁矿成矿流体氢、氧同位素组成图

西藏和中国雨水线据沈渭洲,1987;西藏现代地热水资料据张理刚,1985;火山喷气资料据Giggenbach,1992;长英质初始岩浆水资料据Taylor,1992;雄村浅成热液矿床资料据徐文艺等,2006

Fig. 4 Measured δD values of fluid inclusions versus calculated $\delta^{18}O$ values from Bangnong area

Data sources: the present day meteoric water lines of Tibet and China after Shen, 1987; the isotopic signatures of modern geothermal fluids of Tibet after Zhang, 1985; low-salinity vapor discharge from volcanic fumaroles after Giggenbach, 1992; the water of initially dissolved in felsic melts after Taylor, 1992; Xiongcu low-sulfidation epithermal deposit after Xu et al., 2006

电气石作为稀缺资源,也有一定的经济价值。

References

Clayton R N and Mayeda T K. 1963. The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 27(1): 43-52.

Giggenbach W F. 1992. Isotopic shifts in water from geothermal and volcanic systems along convergent plate boundaries and origin [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 113: 495-510.

Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, Rui Z Y and Mo X X. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 220: 139-155.

Hou Z Q, Mo X X and Yang Z M. 2006a. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, temporal distribution and ore deposit types [J]. *Chinese Geology*, 33(2): 348-359 (in Chinese with English abstract).

Hou Z Q, Qu X M and Yang Z S. 2006b. Metallogenesis in Tibetan col-

lisional orogenic belt: III. Mineralization in post-collisional extension setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(6): 629-651 (in Chinese with English abstract).

Hou Z Q, Yang Z S and Xu W Y. 2006c. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post-collisional extension setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(6): 629-651 (in Chinese with English abstract).

Li G M, Feng X L and Huang Z Y. 2000. The multiple island arc-basin systems and their evolution in the Gangdise tectonic belt, Tibet [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 20(4): 38-46 (in Chinese with English abstract).

Li G M and Pan G T. 2002a. Mineral resources in Tibet autonomous region and its developmental prospect [J]. *Resources Science*, 24(7): 17-19 (in Chinese with English abstract).

Li G M, Wang G M and Gao D F. 2002b. The tectonic framework and metallogenic systems in southern Gangdise metallogenic belt, Xizang [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 22(2): 1-7 (in Chinese with English abstract).

Mo X X, Dong G C, Zhao Z D, Zhou S, Qiu R Z and Zhang F Q. 2005. Spatial and temporal distribution and characteristics of granitoids in the Gangdise, Tibet and implication for crustal growth and evolution [J]. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 281-290 (in Chinese with English abstract).

Nie F J. 1993. Tourmalinite — a latency exploration symbol for Au, W and base metal sulfide deposits [J]. *Mine Exploration*, 22-28 (in Chinese with English abstract).

Pan G T, Mo X X and Hou Z Q. 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdise orogenic belt and its evolution [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521-533 (in Chinese with English abstract).

Shen G F. 1990. Various causes of tourmalinites [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, (3): 169-171 (in Chinese).

Shen G F and Yao P. 1999. Tourmalinitic volcanic rocks — Xizangite 'discovered' [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 18(3): 174-178 (in Chinese with English abstract).

Shen G F and Yao P. 2000. Tourmaline from Xizangite, Eastern Tibet [J]. *Geological Journal of China Universities*, 6(2): 356-363 (in Chinese with English abstract).

Shen J Z and Han F. 1992. Tourmaline—a mineralization-related rock type [J]. *Mineral Deposits*, 11(4): 384-388 (in Chinese).

Shen W Z. 1987. *Geology of stable isotopes* [M]. Beijing: Atomic Energy Pub. House. 78-83 (in Chinese).

Sun H T, Ge Z H and Ji S K. 1989. Features of tourmaline and its mineralization tracing in copper mining, Zhongtiaoshan [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 8(3): 232-242 (in Chinese).

Taylor B E. 1992. Degassing of H_2O from rhyolite magma during eruption and shallow intrusion, and the isotopic composition of magmatic water in hydrothermal systems [J]. *Japan Geol. Surv. REP.*, 279: 190-194.

Xia X H. 1995a. Sedimentogenic tourmaline rock suggestive of hot water deposition responsible for the pyrite deposits in Fengcheng region of Liaoning: Discovery and implication [J]. *Geology of Chemical Miner-*

- als, 17(3):191-197(in Chinese with English abstract).
- Xia X H. 1995b. The REE of sedimentogenic tourmaline rock[J]. *Geology-Geochemistry*, 6: 57-59(in Chinese).
- Xia X H. 1997. H, O and Si isotope geochemistry of tourmalinite in massive sulfide deposit from east Liaodong rift[J]. *Acta Geoscientia Sinica*(Supp.), 18: 214-216(in Chinese with English abstract).
- Xia X H and Guo Y T. 1995c. Tourmaline Series mineralogy and Prospecting relations in Liaodong rift zone Sulfide deposits[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 15(4): 62-72(in Chinese with English abstract).
- Xing J B, Ge L S, Zou Y L and Li Z H. 2003. Geological geochemical character of Dongga gold deposit in Xietongmen County, Tibet[J]. *Gold Geology*, 9(2):28(in Chinese with English abstract).
- Xu W Y, Qu X M, Hou Z Q, Yang D, Yang Z S, Cui Y H, Chen W S. 2006. Ore-forming fluid characteristic and genesis of Xiongcu copper-gold deposit in central Gandese, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 25(3):243-251(in Chinese with English abstract).
- Ye S, Zhu Q W, Zhong Z Q, Ye D L and Kong L J. 1997. Tourmaline and Tourmaline bearing Rocks in the Zhongtiao Mountain Copper Field, Shanxi Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 16(2):160-169(in Chinese with English abstract).
- Zhang L G. 1985. The application of the stable isotope to geology: The hydrothermal mineralization of metal activation and it's prospecting[M]. Xi'an: Shanxi Sci. & Techn. Pub. House. 24-31(in Chinese).
- Zhang Z H, Mao J W, Yang J M, Wang Z L and Zhang Z C. 1998. Fluid and Hydrogen, oxygen and sulfur isotope of wolframite tungsten deposit in Ta'ergou Gansu Province[J]. *Mineral Deposits*, 17(Supp.): 791-794(in Chinese).
- Zhu D C, Pan G T, Mo X X, Wang L Q, Liao Z L, Zhao Z D and Zhou C Y. 2006. Late Jurassic-early Cretaceous geodynamic setting in middle-northern Gangdese: New insights from volcanic rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 534-546(in Chinese with English abstract).
- 李光明, 王高明, 高大发. 2002b. 西藏冈底斯南缘构造格架与成矿系统[J]. *沉积与特提斯地质*, 22(2): 1-7.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 周肃, 王亮亮, 邱瑞照, 张风琴. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. *高校地质学报*, 11(3): 281-290.
- 聂凤军. 1993. 电气石岩一层状金、钨和贱金属硫化物矿床的潜在找矿标志[J]. *找矿勘探*, 22-28.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. *岩石学报*, 22(3): 521-533.
- 沈敢富. 1990. 电英岩的多成因论[J]. *矿物岩石地球化学通报*, (3): 169-171.
- 沈敢富, 姚鹏. 1999. 电英质火山岩-西藏岩的发现[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 18(3): 174-178.
- 沈敢富, 姚鹏. 2000. 藏东西藏岩的电气石[J]. *高校地质学报*, 6(2): 356-363.
- 沈建忠, 韩发. 1992. 电气石岩——一种和矿化有关的岩石类型[J]. *矿床地质*, 11(4): 384-388.
- 沈渭洲. 1987. 稳定同位素地质[M]. 北京: 原子能出版社. 78-83.
- 孙海田, 葛朝华, 冀树楷. 1989. 中条山铜矿区电气石特征及其对成矿作用的示踪意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 8(3): 232-242.
- 夏学惠. 1995a. 凤城地区硫铁矿床中热水沉积电气石岩的发现及其找矿意义[J]. *化工矿产地质*, 17(3): 191-197.
- 夏学惠. 1995b. 热水沉积电气石岩稀土元素地球化学特征[J]. *地质地球化学*, 6: 57-59.
- 夏学惠, 郭玉亭. 1995c. 辽东裂谷带硫化物矿床内电气石系列矿物学与找矿关系[J]. *矿物岩石*, 15(4): 62-72.
- 夏学惠. 1997. 辽东裂谷块状硫化物矿床中电气石岩的H、O和Si同位素地球化学[J]. *地球学报*, 18(增刊): 214-216.
- 邢俊兵, 葛良胜, 邵依林, 李振华. 2003. 西藏谢通门县洞嘎金矿床地质地球化学特征[J]. *黄金地质*, 9(2): 28.
- 徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 杨丹, 杨竹森, 崔艳合, 陈伟十. 2006. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床成矿流体特征与成因探讨[J]. *矿床地质*, 25(3): 243-251.
- 叶松, 朱勤文, 钟增球, 叶德隆, 孔东军. 1997. 山西省中条山铜矿田电气石与电气石岩的研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 16(2): 160-169.
- 张理刚. 1985. 稳定同位素在地质科学中的应用-金属活化热液作用及找矿[M]. 西安: 陕西科学技术出版社. 24-31.
- 张作衡, 毛景文, 杨建民, 王志良, 张招崇. 1998. 甘肃塔儿沟石英脉型钨矿流体及氢、氧、硫同位素研究[J]. *矿床地质*(增刊), 17: 791-794.
- 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 王立全, 廖忠礼, 赵志丹, 董国臣, 周长勇. 2006. 冈底斯中北部晚侏罗世-早白垩世地球动力学环境: 火山岩约束[J]. *岩石学报*, 22(3): 534-546.

附中文参考文献

- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明. 2006a. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. *中国地质*, 33(2): 348-359.
- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森. 2006b. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(6): 629-651.
- 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺. 2006c. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(4): 337-358.
- 李光明, 冯孝良, 黄志英. 2000. 西藏冈底斯构造带中段多岛弧-盆系及其演化[J]. *沉积与特提斯地质*, 20(4): 38-46.
- 李光明, 潘贵棠. 2002a. 西藏矿产资源远景评价与展望[J]. *资源科*