

内蒙古别鲁乌图铜矿区电气石岩的发现及其意义

聂凤军

张洪涛

孙浩

樊建廷

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

(内蒙古地质矿产局一〇三地质队)



笔者通过二年多的野外地质调查和室内研究, 首次确认了别鲁乌图铜硫多金属矿区火山喷气成因条纹状电气石岩的存在。电气石岩产出地质环境、全岩化学成分和矿物学特征均与世界范围内火山成因硫化物矿床中电气石岩相类似, 这一发现不仅有助于人们对矿床形成过程的了解, 而且对于在华北地台北缘古生代大陆边缘进一步寻找火山岩型硫化物矿床具有重要意义。

别鲁乌图矿床是内蒙古中部地区一处规模较大的铜-硫-铅-锌-银矿床, 自70年代中期发现和勘探以来, 长期被认为是同海西期岩浆活动有关的中-低温热液充填型矿床。近几年来, 笔者通过详细的野外地质观察和室内研究不仅确定了成矿区范围内大面积分布的中酸性火山岩系, 而且发现了沿一定层位连续或断续出露的条纹状电气石岩。电气石岩及其电气石的地质地球化学研究, 为该矿床火山成因模式和本区找矿勘探标志的建立提供了理论依据, 并增添了新的内容。

一、电气石岩产出的地质环境

别鲁乌图成矿区大地构造位置属天山-阴山内蒙古海西晚期地槽褶皱带中段, 温都尔庙复背斜北翼(图1)。成矿围岩为上石炭统阿木山组火山喷发沉积岩系, 地层出露厚度4358m, 主要由英安-流纹质凝灰熔岩、含角砾熔结凝灰岩、层状英安斑岩、流纹斑岩、火成碎屑岩、变凝灰质细砂岩、硬砂岩和含硅质结核的粉砂岩组成, 依据岩性组合和岩石结构构造、从南向北, 由老到新, 成矿围岩可划分为五个岩性段, 主矿体大都在二、三岩性段变凝灰质细砂岩和硬砂岩与中酸性火山岩的过渡带上呈层状或透镜体产出, 具有明显的层位控制特点。矿石结构构造多为块状、条带状、胶状、角砾状和斑杂状, 矿石矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和闪锌矿, 其它金属矿物尚见有毒砂、胶黄铁矿和雌黄、雄黄和重晶石等, 脉石矿物有绿泥石、黑云母、石英、方解石、绢云母和斜长石等。

矿区范围内电气石岩的主要产出形态有三类: 1) 在矿体顶、底板火山-沉积岩围岩中呈稳定层状分布, 厚度变化3—20m, 东西延伸达700m, 从其产状来看, 上、下盘与变凝灰质细砂岩或中酸性火山岩接触界限清楚, 走向上可过渡为磁铁石英岩或外貌上极似角闪质岩的富电气石硅质岩; 2) 在矿体内部沿一定层位呈不规则状透镜体或团块状断续分布, 其规模变化范围 $0.5 \times 2 - 2 \times 5$ m, 电气石岩多具变晶结构; 3) 电气石单晶或集合体可在成矿围岩中以浸染状或条带状方式出现, 构成富电气石的火山岩或变沉积岩, 矿物组合为硫化物+石英+碳酸盐类矿物。需要提及的是上述三种不同产状电气石岩的电气石矿物学特征极为相似, 反映了之间的同源演化关系。

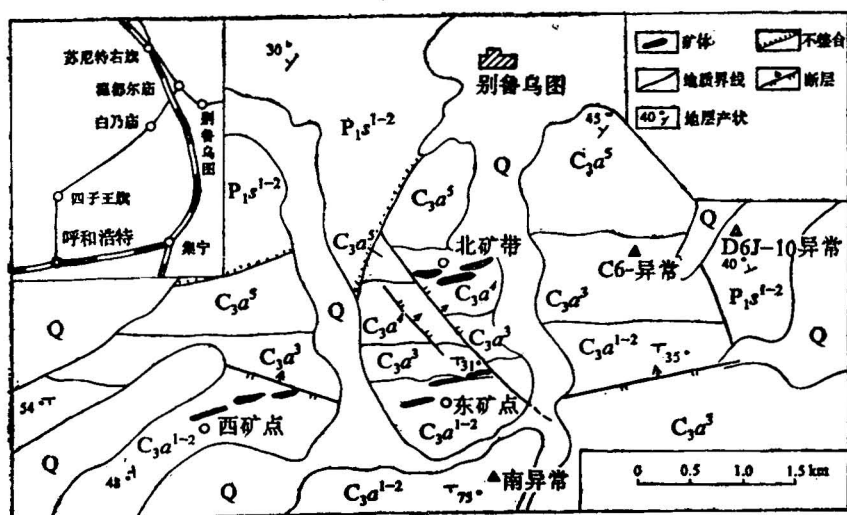


图 1 内蒙古别鲁乌图铜硫多金属矿区地质略图

Fig. 1 Diagrammatic geological map of the copper-sulfur polymetallic deposit at Biehuwuto, Nei Mongol

Q—第四系； P_{1s}^{1-2} —下二叠统三面井组灰岩、碳质板岩和含砾砂岩； C_{3a}^5 —上石炭统阿木山组凝灰质细砂岩； C_{3a}^4 —上石炭统阿木山组含矿凝灰质细砂岩、火成碎屑岩和电气石岩； C_{3a}^3 —上石炭统阿木山组酸性火山岩； C_{3a}^{1-2} —上石炭统阿木山组含硅质结核的凝灰质细砂岩、粉砂岩和热液沉积岩

Q—Quaternary; P_{1s}^{1-2} —limestone, carbonaceous slate and gravel-bearing sandstone of Lower Permian Sannian-jin Group; C_{3a}^5 —tuffaceous lutite of Upper Carboniferous Amushan Group; C_{3a}^4 —Ore-bearing tuffaceous lutite, pyroclastic rocks and tourmalinite of Upper Carboniferous Amushan Group; C_{3a}^3 —Acidic volcanic rocks of Upper Carboniferous Amushan Group; C_{3a}^{1-2} —Siliceous nodule-bearing tuffaceous lutite, siltstone and hydrothermal sediments of Upper Carboniferous Amushan Group;

二、电气石岩地质地球化学特征

条纹状电气石岩在外貌上与该区出露的磁铁石英岩相类似，为黑—黑灰色，层纹或条纹构造明显，深、浅色条纹（1—3mm）相间排列，交替出现，呈现出韵律性变化（见图2）。深色条纹（或条带）由电气石40—60%（体积）和石英15—35%（体积）以及少量绿泥石、黑云母和黄铁矿组成，浅色条纹（或条带）主要含石英60—85%（体积）和少许绢云母、斜长石、电气石等矿物，需要指出的是：深、浅条纹（或条带）之间并无截然不同的界限，只是电气石含量不同。镜下观察结果表明：电气石多呈半自形柱状或粒状、多色性与吸收性明显， N_0 ：棕黄色—中等程度蓝棕黄色， N_2 ：淡黄色—无色， $N_0=1.661-1.673$ ， $N_2=1.625-1.642$ ， $N_0-N_2=1.682-1.701$ 。弧线三角形或等轴形切面常可见及，粒径变化0.4—0.8mm，局限可达3mm，电气石岩透镜体中的电气石斑状变晶结构极明显，晶体长达0.6cm，此外，电气石的筛状和穿孔结构亦较发育，石英一般呈他形粒状结构，粒径略大于与其共生的电气石并且常与电气石构成柱粒状变晶结构。

二件电气石岩全岩化学分析结果平均值（表1）为 $SiO_2=75.85\%$ ， $Al_2O_3=12.07\%$ ， $TFeO=2.97\%$ ， $MgO=3.42\%$ ， $CaO=0.41\%$ ， $Na_2O=0.69\%$ 和 $B_2O_3=1.60\%$ 。全岩化学成分主要受电气石和石英含量控制，以富硅、镁、铁、铝和硼为特征，同世界范围内许多火山成因块状硫化物矿床发现的电气石岩类似^[1,2]，为一富硼的化学沉积岩。

电气石电子探针分析是采用JEOL-733电子探针仪，在加速电压15kV，样品电流 $2 \times 10^{-8}A$ ，

束斑5 μm 条件下进行的,为了检查电子探针分析结果的可靠性,利用化学分析方法对二件电气石样品进行了测定。分析结果(表1)证实:成矿区范围内电气石岩中的电气石均为镁电气石-黑电气石矿物固溶体系列中的富镁电气石,电气石的 $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})=0.46-0.66$ (平均值0.55),均低于花岗岩类岩石中电气石的同类比值(0.86—0.91)^[1]。在 $\text{Al}-\text{Fe}_{50}\text{Al}_{50}-\text{Mg}_{50}\text{Al}_{50}$ 和 $\text{Fe}-\text{Mg}-\text{Ca}$ 三角图解中(图3),其投绘点全部落在一般火山喷气成因电气石岩的电气石成分区内。以31个氧原子为依据计算得到的电气石结构式见表2。

电气石的微量元素分析结果表明:铈142—143ppm,镍15—45ppm,钴40—55ppm,铜10—328ppm,钼19—16ppm和锌25—420ppm,其中铜、锌含量变化范围较大。实验研究认为^[1];

由于在适宜的物理化学条件下,铜和锌可与铁和镁进行置换,因此,部分贱金属元素可呈离子态参予电气石的结晶作用,所以从某种意义上讲,富铜、锌的电气石反映了有关矿床成矿元素地球化学特征。此外,该区电气石岩中电气石的 F/Cl 比值为3.5—3,低于世界范围内火山成因块状硫化物矿床电气石同类比值变化范围的下限(5—500),而同长英质火成岩中电气石变化值相一致(0.4—50)^[4],暗示了电气石形成过程的复杂性。

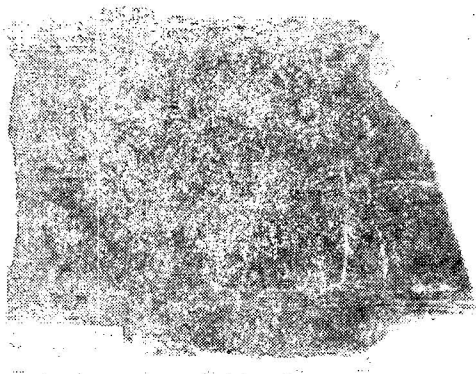


图2 电气石岩的条带状构造

Fig. 2 Ribbon structure of the tourmalinite

表1 电气石岩和电气石化学和电子探针分析结果(重量%)
Table 1 Chemical and electron microprobe analyses of the
tourmalinites and tourmalines (wt%)

组 分	电 气 石 单 矿 物					电 气 石 岩	
	别8801*	别8720	别8724	别87241	别87201*	别8801*	别8724*
SiO_2	38.00	36.24	35.70	35.48	43.51	74.25	77.45
TiO_2	0.80	0.51	1.64	0.57	0.86	0.34	0.36
Al_2O_3	24.43	31.47	30.43	28.04	21.40	12.85	11.28
TFeO	11.17	6.69	8.47	9.72	13.53	3.04	2.89
MnO	0.06	0.11	0.03	0.00	0.01	0.01	0.02
MgO	9.25	7.77	7.10	7.67	6.75	3.72	3.12
CaO	1.28	0.38	0.54	1.50	1.64	0.40	0.41
Na_2O	1.75	2.92	2.83	2.37	1.47	0.68	0.71
K_2O	0.53	0.00	0.03	0.00	0.27	0.06	0.05
B_2O_3	9.63	—	—	—	8.66	1.70	1.50
F	0.05	—	—	—	0.03	—	—
Cl	0.014	—	—	—	0.01	—	—
H_2O	2.50	—	—	—	1.89	1.35	2.40
总 量	99.46	86.09	86.77	85.35	100.03	98.40	100.19

注: * 为中国地质科学院岩矿测试所化学分析结果; 其余为中国地质科学院矿床地质研究所电子探针分析结果, 分析者: 王文瑛。

三、电气石岩的成因及其地质意义

众所周知, 电气石是由铝、钠、钙、铁和镁以及挥发性组分构成的含水硼酸盐, 由于其具有

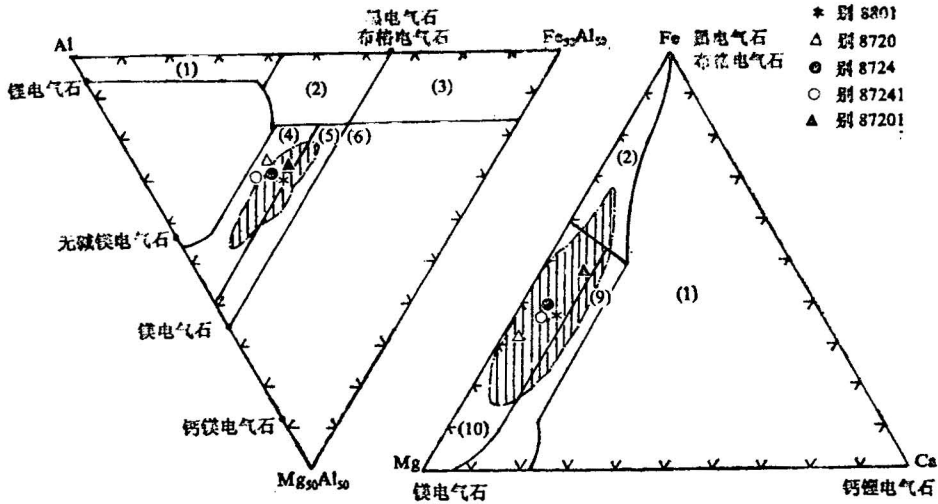


图 3 别鲁乌图铜矿区电气石的成分范围

(据 I. R. Plimer, 1986)⁽²⁾

Fig. 3 Compositional field of tourmalines from the Bieluwoto copper metallogenic district

(1)—富锂花岗岩、伟晶岩和细晶岩中电气石；(2)—贫锂花岗岩、伟晶岩和细晶岩中电气石；(3)—热液蚀变花岗岩中电气石；(4)—富铝质变砂屑岩和泥质岩中电气石；(5)—变泥质岩和变砂屑岩中电气石；(6)—富铁石英-电气石岩、钙-硅酸盐岩和变泥质岩中电气石；(9)—富钙变泥质岩中电气石；(10)—贫钙变泥质岩、变砂屑岩和石英电气石岩中电气石；图中阴影区为澳大利亚布罗肯希尔 (Broken Hill) 和戈登代克 (Golden Dyke)⁽²⁾火山喷气成因电气石岩中电气石成分投绘区

(1)—Li-rich granite, pegmatite and aplite; (2)—Li-deficient granite, pegmatite and aplite; (3)—hydrothermal altered granite; (4)—metamorphic mudstone and psammite containing Al-saturated minerals; (5)—metamorphic mudstone and psammite; (6)—ferric tourmalite, calc-siliceous rocks and metamorphic mudstone; (9)—Ca-rich metamorphic mudstone; (10)—Ca-deficient metamorphic mudstone and psammite and tourmalite. The cross-hatched area represents tourmaline composition of volcanic-exhalogenic tourmalinites from Broken Hill and Golden Dyke⁽²⁾ mineralized districts, Australia

表 2 电气石结构式 (以31个氧原子数为据)

Table 2 Structural formulae on the basis of 31 oxygen for some tourmalines

样品号	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	B	F ⁻	Cl ⁻	OH	总计
别8801	6.53	0.10	4.95	1.61	0.01	2.37	0.24	0.58	0.12	2.86	0.03	0.01	2.84	22.25
别8720	7.52	0.08	7.69	1.16	0.02	2.40	0.09	1.17	0.00	—	—	—	—	20.13
别8724	7.44	0.26	7.48	1.48	0.01	2.21	0.12	1.18	0.01	—	—	—	—	20.15
别87241	7.59	0.09	7.07	1.74	—	2.45	0.34	0.98	—	—	—	—	—	20.26
别87201	7.50	0.11	4.35	1.95	0.001	1.73	0.30	0.49	0.06	2.58	0.02	0.01	2.17	21.27

广泛的稳定范围和多种阴、阳离子复杂置换的晶体化学特性，所以电气石不仅是地壳中硼的主要载体 (B_2O_3 9—11%)，而且可作为副矿物和次级宝石在各种地质环境和不同岩石类型中产出，但是将电气石岩及其有关的地质地球化学特征作为层状金属矿床成因探讨的依据和找矿勘探标志，只是近几年来出现的一种学术思想，正在为矿床地质学家所关注。

别鲁乌图铜硫多金属成矿区电气石岩与中酸性火山岩和层状矿体密切的时空分布关系，结合其产出的地质环境以及与世界范围内火山成因块状硫化物矿床电气石岩的可对比性，有理由认

为：条纹状电气石岩的成岩过程与海相火山喷发引起的热泉活动有关。在别鲁乌图矿区，电气石岩的 B_2O_3 含量变化范围1.50—1.70%（重量），电气石含量均大于20%（体积），其硼含量远高于新鲜的中酸性火山岩和变质凝灰质细砂岩或粉砂岩，另外有资料表明^[3]：现代大洋盆地富硼粘土岩的硼含量也仅有2000ppm，因此，即便变质作用可促使所有粘土岩中硼元素全部参与电气石的结晶，也只能形成电气石岩中电气石含量的9%（体积），所以富硼沉积岩（或火山岩）^[5]和富硼胶体的变质作用并不能构成目前所见到的电气石岩，电气石岩条纹状构造和同地层的整合产出关系同样排除了晚期热液交代成因的可能性。另外，普通海水中硼含量仅为4.6ppm，所以从海水中直接沉淀形成电气石岩也是不可能的。综合性对比发现：火山喷发作用引起的富硼热泉活动是电气石岩形成的可能途径。

通常情况下，海底张性构造环境内，中酸性火山喷发作用可引起热卤水喷溢，区域热流值也随之升高，由此构成的热泉或热流体循环体系开始对早期形成的火成岩或沉积岩进行大规模淋滤，进而促使硼、氟、氯和贱金属元素富集，为电气石岩和矿石的沉淀创造条件。当富硼、金属元素流体体系物理化学条件发生改变时，即可形成条纹状电气石岩和贱金属硫化物矿体。

一般来讲，电气石岩的规模与成岩时的地热梯度呈正比关系，成矿初期火山活动较弱，地热梯度较低，只在矿体底板围岩中形成薄层状或透镜体状电气石岩，随着大规模火山喷发活动的开始，地热梯度骤然增高，热液淋滤范围扩大，因此，有大规模电气石岩和块状硫化物矿石出现，在此之后，随着火山活动减弱，地热梯度下降和热液淋滤作用的停止，电气石岩也就不复存在了，因此，在矿区外围上石炭统阿木山组和下二叠统三面井组没有中酸性火山岩出露的地层单元内，很难找到上述类型的电气石岩。

参 考 文 献

- [1] Taylor, B. E. and Slack, J. F., 1984, Tourmalines from Appalachian—Caledonian massive sulfide deposits: textural, chemical and isotopic relationships. *Econ. Geol.*, Vol. 79, pp. 1703—1726.
- [2] Slack, J. F., Herriman, N., Barnes, R. G. and Plimer, I. R., 1984, Stratiform tourmalinites in metamorphic terranes and their geological significance. *Geology*, Vol. 12, pp. 713—716.
- [3] Plimer, I. R., 1986, Tourmalinites from the Golden Dyke Dome, Northern Australia. *Mineral Deposita*, 21, pp. 263—270.
- [4] 吴振寰, 1987, 电气石及其在找矿勘探中的意义. 找矿矿物学与矿物学填图. 第316—325页, 福建科学技术出版社.
- [5] Stubican, V. and Roy, R., 1962, Boron substitution in synthetic micas and clays. *Amer. Mineral.*, Vol. 47, PP. 1166—1173.

DISCOVERY OF TOURMALINITES IN THE BIELUWUTO COPPER METALLOGENIC DISTRICT, NEI MONGOL, AND THEIR GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

Nie Fengjun and Zhang Hongtao

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

Sun Hao and Fan Jianting

(No. 103 Geological Party of Inner Mongolian Autonomous Region)

Abstract

Tourmalinites associated with volcanogenic sulfide deposits have been discovered for the first time in the Bieluwuto area, Nei Mongol. Most of the tourmalinites

nites occur in ore-bearing volcanic-sedimentary rocks as concordant beds 3.0—20 m wide and 50—700 m long. Discontinuous irregular lenses of tourmalinites are found in ore bodies distributed along a certain stratigraphic horizon. Tourmalinites associated with Cu-Pb-Zn-Ag ore consist of tourmaline and quartz and minor amount of plagioclase, biotite, chlorite, sericite, calcite, pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, galena and sphalerite. Both of chemical and electron microprobe analyses show that the tourmalines from the bedded tourmalinites are Mg-rich dravite, with $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO}) = 0.46 - 0.66$ (avg. 0.55), which is the same as the tourmaline in other submarine exhalative deposits. The range of some trace elements is as follows: Cu 10—328 ppm, Sr 143—142 ppm, Ni 45—15 ppm, Co 40—55 ppm, Zn 25—420 ppm, and Mo 19—16 ppm. The whole-rock composition of the tourmalinites is characterized by high contents of SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , MgO and FeO.

The geological setting, rock association, sedimentary structures and tourmaline chemistry suggest that tourmalinites were deposited in areas where volcanism resulted in the formation of a high geothermal gradient in abyssal basins. The boron and metal-rich fluids might be submarine hot spring waters which leached a thick pile of volcanic-sedimentary rocks. Studies show that the geochemical and petrological characters of the tourmalinites may serve as a valuable prospecting guide in search for volcanogenic base metal sulfide deposits on the northern margin of the North China Platform.

作者简介

聂凤军, 1956年生。1979年毕业于河北地质学院。1982年获中国地质科学院硕士学位。从事矿床地质研究, 现任中国地质科学院矿床所助理研究员。