

南极中山站区电气石及其 与变质作用的关系*

任留东

(地质矿产部地质研究所, 北京 100037)

刘小汉

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

关键词 电气石 硼硅酸盐 变质作用 中山站

摘要 南极中山站区的巨晶“电气石”实际上是柱晶石。电气石的确存在, 但颗粒细小, 含量较低。根据其颜色、成分和产出特征, 至少可分为三种类型, 不同的电气石与变质作用发展的不同阶段有关。电气石在麻粒岩相变质作用条件下能够稳定存在, 与其它硼硅酸盐矿物(即硅硼镁铝矿和柱晶石)的缓冲作用有关。

一般说来, 电气石在中低级变质作用条件下保持稳定, 当温压进一步升高至麻粒岩相时, 电气石便逐渐分解并消失^[1]。但是, 在我国南极中山站所在地东南极拉兹曼丘陵(Larsemann Hills), 长英质片麻岩虽经历了麻粒岩相变质作用(0.45 GPa, 750°C), 并伴随强烈的部分熔融作用^[2], 其中的电气石却能稳定存在, 根据其成分等特征还可区分出多种类型。该区变质地体最显著的特点是具有富硼岩石层位, 富硼岩石高级变质作用的研究对于了解深熔作用及变质作用中流体的行为非常有益^[3]。需要指出的是, Stüwe等^[4]在该区发现的“放射状电气石(radial tourmaline)”, 并非电气石, 而是柱晶石^[5]。电气石含量很低, 并且颗粒较为细小。

1 地质背景

中山站地区位于东南极广泛存在的中晚元古代活动带上^[2], 但其主期麻粒岩相变质作用却发生在550 Ma之前^[6]。详细的变质作用研究表明^[6], 区内岩石主要为一套富铝副片麻岩, 少量基性麻粒岩, 长英质正片麻岩, 局部出露花岗岩。该区首先经历了中晚元古代的中压麻粒岩相变质作用, 之后, 在早古生代(550 Ma)发生了主期低压麻粒岩相变质作用。经研究, 主期变质作用可细分为四个阶段。第一阶段形成黑云母-夕线石-长石-石榴子石(变泥砂岩), 即角闪岩相组合; 第二阶段(升温降压)出现峰期组合, 如: 二辉石-斜长石, 夕线石-石榴子石-尖晶石-堇青石组合, 温压条件为0.45 GPa, 750°C; 第三阶段, 发生隆起并伴随强烈的部分熔融, 形成巨晶自形矿物, 如: 石榴子石、辉石和柱晶石等; 最后阶段, 原地冷却(等压降温)形成一些黑云母-夕线石和角闪石-斜长石反应边。

* 中国地质科学院青年基金和国家南极考察委员会资助。
本文于1993年9月13日收到, 1994年2月26日改回。

电气石及有关硼矿物组合即产于变泥砂质岩中,露头上主要表现为富含巨晶柱晶石薄层(0.1—0.5m),延伸较稳定。硅硼镁铝矿含量较高者(5%—10%)多呈长透镜状,伴以较多的磁铁矿和尖晶石,但柱晶石稀少。较早期的研究提到^[4-6],富硼岩石(最显著的特征是产出巨晶柱晶石)仅限于拉兹曼丘陵的西部——Stornes 半岛,但通过近期的调查及与国外学者的交流^①得知,这种岩石在研究区内广泛存在,只是各处硼矿物含量不同而已。这也说明了拉兹曼丘陵各处岩石同属一个序列,并经历类似的构造演化史。

2 硼硅酸盐矿物的矿物学特征

通过笔者的研究发现,含硼矿物除电气石外,尚有硅硼镁铝矿和柱晶石,其中硅硼镁铝矿系在南极地区首次发现^[5],柱晶石则是在国外学者错误鉴定(误认为电气石^[4])的基础上予以纠正的^[5]。

硅硼镁铝矿颗粒一般较小(大约0.2mm),且含量较低(<10%),个别样品颗粒较大(3—5mm)。其结晶与夕线石密切相关,常常包裹于堇青石或柱晶石中(照片2),偶尔包裹于电气石中。柱晶石常呈自形巨晶(最大颗粒长15cm),含量从较低(<10%)到很高(可达90%以上)。柱晶石一般与堇青石、斜长石呈嵌晶,与黑云母有时共生,有时呈包裹关系。巨晶柱晶石内常见大量其它矿物包裹体,如:黑云母、电气石、硅硼镁铝矿、石英、夕线石、钛铁矿、磁铁矿、锆石和独居石等。柱晶石成分富铝贫硅,与电气石有明显区别(表1)。

根据电气石镜下颜色、成分及结构特征,可识别出三种类型:

呈棕绿色的电气石(Trn_1),一般呈浑圆状(照片1和2),含量1%—2%。包裹于钾长石中的电气石可见六方断面,这类电气石常产于堇青石、柱晶石、夕线石和钾长石颗粒之中,在钾长石中的电气石的周围,可出现斜长石(照片1)。该电气石的成分最富Ti,贫Mg(表1)。结构上可与黑云母呈平直接触并一起构成区域片麻理,由于后来物理化学条件的变化,形成了切穿片麻理的硅硼镁铝矿、柱晶石等其它硼硅酸盐矿物。因此,电气石在硼硅酸盐矿物的演化中出现最早。

蓝绿色电气石(Trn_2),半自形—他形(照片2和3),含量0.5%—1%,一般见于柱晶石颗粒内部,并与黑云母、石英、斜长石相伴产出,偶尔与硅硼镁铝矿接触并包围后者(照片3)。成分上最大特征是贫Ti, Al, 但富Si(表1)。

绿色电气石(Trn_3),含量<0.5%,在柱晶石和钛铁矿之间,与磁铁矿呈交晶出现(照片4),有时产出在蓝绿色电气石(Trn_2)的边缘或裂隙内。成分上较贫Fe、Ca,而Ti含量则介于 Trn_1 和 Trn_2 之间(表1)。

通过硼硅酸盐矿物之间的结构关系(照片1—4),可以判断出它们之间存在以下结晶序列:

电气石(Trn_1)→硅硼镁铝矿→电气石(Trn_2)→柱晶石→电气石(Trn_3)。

① 与澳大利亚墨尔本大学 C. Carson 通讯交流。

表 1 拉兹曼丘陵硼硅酸盐矿物及有关矿物的电子探针分析

Table 1 Electron microprobe analyses of borosilicates and related minerals

矿物 分析	样号									
	Gdd	Krn	Crd	Trn ₁	Trn ₂	Trn ₃	Trn ₁	Trn ₂	Trn ₃	Bt
	20203	20202	20614	20614	20614	20614	20202	20202	20202	20202
SiO ₂	20.80	30.37	49.85	36.10	37.18	36.67	35.74	36.26	34.92	37.52
Al ₂ O ₃	50.40	38.35	34.32	31.83	31.27	31.59	30.81	30.07	31.74	15.76
TiO ₂	—	0.27	—	1.57	0.26	1.00	1.36	0.19	0.74	3.37
MnO	—	0.11	—	—	0.14	0.11	—	—	—	0.15
FeO	5.82	10.36	3.98	5.62	5.67	5.15	5.98	6.01	5.26	10.68
MgO	9.37	13.75	11.19	8.21	8.97	8.47	8.72	9.10	8.79	17.51
K ₂ O	0.03	0.02	—	0.04	0.02	—	—	—	—	9.76
CaO	0.04	0.07	—	1.36	1.30	1.08	0.82	0.97	0.66	—
Na ₂ O	—	—	0.02	1.95	1.91	2.05	1.70	1.69	1.47	0.21
合计	86.46	93.30	99.36	86.68	86.72	86.12	85.13	84.29	83.58	94.96
O	7.5	20	18	24.5	24.4	24.5	24.5	24.5	24.5	11
Si	1.042	3.837	4.974	5.833	6.012	5.912	5.894	6.031	5.831	2.760
Al ^Ⅵ	—	0.163	1.026	0.167	—	0.088	0.106	—	0.169	1.240
Al ^Ⅳ	2.976	5.547	3.010	5.894	5.960	5.915	5.881	5.894	6.075	0.126
Ti	—	0.026	—	0.191	0.032	0.121	0.168	0.024	0.093	0.186
Mn	—	0.012	—	—	0.020	0.015	—	—	—	0.009
Fe	0.244	1.095	0.332	0.760	0.767	0.695	0.824	0.836	0.735	0.657
Mg	0.700	2.590	1.664	1.978	2.162	2.035	2.143	2.258	2.189	1.919
K	0.004	0.008	—	0.009	0.004	—	—	—	—	0.916
Ca	0.002	0.009	—	0.235	0.224	0.187	0.145	0.173	0.118	—
Na	—	—	0.002	0.611	0.598	0.642	0.542	0.545	0.476	0.030

注：① 电子探针分析无法测定 B₂O₃、H₂O，故总量不足 100%。

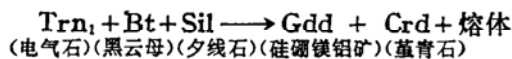
② 矿物代号：Bt—黑云母；Crd—堇青石；Gdd—硅硼镁铝矿；Krn—柱晶石；Trn—电气石；Trn₁，Trn₂及 Trn₃ 分别代表早、中、晚世代的电气石。

③ 测试者：地矿部矿床地质研究所 王五一

3 电气石的成因

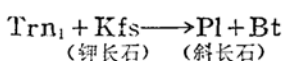
结合硼硅酸盐矿物之间的相对顺序及其与其它变质矿物的结构关系，可以推断出，上述不同硼矿物分别对应于该区主期变质作用的不同阶段，即：棕绿色电气石 (Trn₁) 产于早期角闪岩相变质阶段，蓝绿色电气石 (Trn₂) 产于峰期麻粒岩相变质阶段，而绿色电气石 (Trn₃) 则与最后降温阶段的角闪岩相变质作用相对应。

在初始的角闪岩相变质时期，在富硼岩石中出现电气石 (Trn₁)，并与黑云母、夕线石等一起构成区域片麻理。当温度进一步升高，岩石开始部分熔融，岩石中水的活动相对减弱，使得 B₂O₃/H₂O 比值较大，促使电气石向硅硼镁铝矿转化^[3]。根据结构及成分关系，推测发生了如下反应：



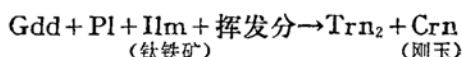
熔体结晶形成钾长石、斜长石等。

残留的早期电气石在晚期降温过程中与周围的钾长石反应,出现斜长石、黑云母等(照片1):

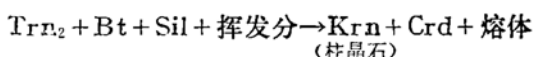


代表了以扩散为主引起的反应。

随着熔体组分的逐渐增多, $\text{B}_2\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}$ 比值降低, 硅硼镁铝矿(Gdd)不再形成, 以至局部转化成电气石(Trn_2):

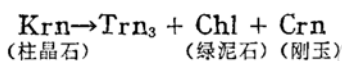


由于熔体中硅质组分的稀释作用, 钛、铝组分降低, 硅组分增加, 在电气石(Trn_2)旁边可以出现石英^[7](照片2、3), 且该期电气石的Ti含量最低(表1)。当深熔作用进一步增强, $\text{B}_2\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}$ 比值逐渐降低时, 柱晶石开始形成:

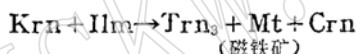


因熔体及有关挥发分的参与, 在适宜的构造条件下组分较易迁移, 形成巨晶柱晶石。此时形成的柱晶石、堇青石和自熔体结晶的长石呈嵌晶, 斜长石和石英沿黑云母解理缝贯入^[5], 钾质组分则向外迁移, 形成富钾长石和黑云母的岩石。

最后在变质作用的降温阶段, 挥发分活动减弱, 在柱晶石内部或边缘(照片4)形成极少量的电气石(Trn_3), 据Ackerman等^[8], 有如下反应:

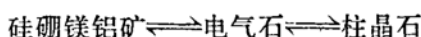


但本区柱晶石周围并未见到绿泥石(Chl), 相反, 在柱晶石和钛铁矿之间发现电气石和磁铁矿交晶:



电气石中Ti含量较高(表1), 也与此反应一致。

一般说来, 硼主要存在于硼硅酸盐矿物中, 有时也可以结构代换形式赋存于夕线石中^[9], 但本区夕线石中未检测到明显的硼^①。如果不考虑具体反应, 仅从硼组分含量的变化来考虑, 则可有如下转变关系:



自左至右, 矿物中硼的含量逐渐降低, 有的地区柱晶石中甚至不含硼^[10]。上述转变中, 当 $\text{B}_2\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}$ 比值增大, 且硼组分浓度较大时, 形成硅硼镁铝矿; 若比值降低, 则向电气石和柱晶石方向转化。

一般认为电气石在角闪岩相及其以下的条件才稳定^[1], 而实验表明电气石的稳定范围可达麻粒岩相^[11]。电气石在高温变质作用中易分解的原因是挥发分硼极难保留^[1]。硅硼镁铝矿和柱晶石的稳定区间为高角闪岩相-麻粒岩相^[1], 正是这两种含硼矿物为电气石在高温条件下仍能稳定存在提供了缓冲条件: 当硼组分浓度变化以致电气石分解时, 由于硅硼镁铝矿和柱晶石的缓冲作用, 使硼浓度不至于过低, 电气石得以保存。与这种缓冲作用相似, 蓝硅硼钙石和硼铝镁石也可作为电气石高温稳定的缓冲剂^[1]。

① 与澳大利亚墨尔本大学C. Carson个人交流。

4 结论

通过对南极中山站地区(拉兹曼丘陵)电气石的分类、成因及其稳定条件分析,初步得出如下认识:

(1) 前人所谓的巨晶“电气石”实际上是柱晶石,电气石的颗粒细小且含量较低。

(2) 根据镜下颜色、成分及结构特征,本区电气石至少可分为三种类型(世代),不同类型的电气石与变质作用发展的不同阶段有关。

(3) 通过电气石成分及有关矿物组合的变化,可以揭示出变质作用演化过程中挥发组分(如:硼、水)的浓度变化及部分熔融过程中熔体的组成,如硅、钾组分的一些变化特征。

(4) 电气石在麻粒岩相条件下的稳定是由于硅硼镁铝矿和柱晶石的存在而造成的,即其它含硼矿物对电气石的稳定存在提供了缓冲条件。

致谢: 写作过程中得到刘国惠研究员的精心指导和修改,在此表示谢意。

参 考 文 献

- 1 Grew E S, Yates M G, Swihart J H, Moore P B and Marquez N. The paragenesis of serendibite at Johnsbury, New York, USA: An example of boron enrichment in the granulite facies. In: *Metamorphic and magmatic petrology*, Perchuk J. J. (ed). 1991. 247—285. Cambridge University Press; Great Britain.
- 2 Stüwe K and Powell R. Low-pressure granulite facies metamorphism in the Larsemann Hills area, East Antarctica; Petrology and tectonic implications for the evolution of the Prydz Bay area. *Journal of Metamorphic Geol.* 1989, 7: 465—483.
- 3 Manning D A C and Pichavant M. The role of fluorine and boron in the generation of granitic melts. In: Atherton M P and Gribble C D (eds). *Migmatites, melting, and metamorphism*. 1983. 94—109. Cheshire; Shiva.
- 4 Stüwe K, Braun H M and Peer H. Geology and structure of the Larsemann Hills, Prydz Bay, East Antarctica. *Austral. J. Earth Scis.*, 1989, 36: 219—241.
- 5 任留东, 赵越. 硅硼镁铝矿在南极的首次发现及其地质意义. *地学探索*. 1992, 7: 1—6.
- 6 Ren L, Zhao Y, Liu X and Chen T. Re-examination of the metamorphic evolution of the Larsemann Hills, East Antarctica. In: Yoshida Y, Kaminuma K and Shiraishi K (eds). *Recent Progress in Antarctic Earth Sciences*. 1992. 145—153. TERRAPUB, TOKYO.
- 7 Fortey N J and Cooper D C. Tourmalinization in the Skiddaw Group around Crummock Water, English Lake District. *Mineral. Mag.* 1986, 50: 17—26.
- 8 Ackermann D, Herd R K and Windley B F. Kornerupine replacement reactions involving tourmaline, Fiskenaeset region, W Greenland. *N. Jb. Miner. Mh.*, 1984, 11: 490—500.
- 9 Grew E S and Hinthore J R. Boron in sillimanite. *Science*, 1983, 221: 547—549.
- 10 Grew E S, Chernosky J V, Werdning G, Abraham K, Marquez N and Hinthorne J R. Chemistry of kornerupine and associated minerals, a wet chemical, ion microprobe, and X-ray study emphasizing Li, Be, B and F contents. *J. Petrol.*, 1990, 31: 1025—1070.
- 11 Lonker S W. An occurrence of grandidierite, kornerupine and tourmaline in southeastern Ontario, Canada. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1988, 92: 502—516.

Tourmaline and Its Relationship with Metamorphism, Zhongshan Station, Antarctica

Ren Liudong

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological
Sciences, Beijing 100037)

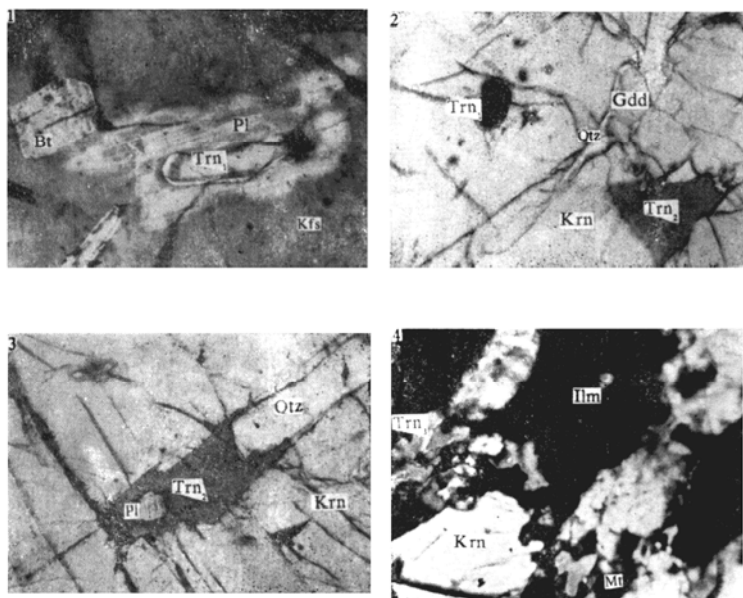
Liu Xiaohan

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing 100029)

Key words: tourmaline; borosilicate; metamorphism;
Zhongshan Station

Abstract

Megacrystalline "tourmaline" at the Zhongshan Station, Antarctica, is in fact kornerupine. The tourmaline is fine-grained and minor in amount and can be classified at least into three types according to its optical properties, composition and textural relations, with the types corresponding with the stages of metamorphism. The mineral is stable in the granulite facies in the area because it is buffered by grandierite and kornerupine on boron. Some compositional features of the melt and volatiles in metamorphism and incongruent melting can be reflected by the changes in the composition of tourmaline and the components of the mineral assemblages.



图版说明

- 照片 1 电气石 (Trn₁) 包裹于钾长石 (Kfs) 中, 并在其间出现斜长石 (Pl)。10×10, 正交偏光
照片 2 柱晶石 (Krn) 包裹电气石 (Trn₁, Trn₂)、硅硼铁铝矿 (Gdd) 和石英 (Qtz)。10×10, 单偏光
照片 3 柱晶石 (Krn) 包裹电气石 (Trn₂) 和石英, 电气石中包裹斜长石 (Pl)。10×10, 单偏光
照片 4 柱晶石 (Krn) 和钛铁矿 (Ilm) 之间的电气石 (Trn₃) 与磁铁矿 (Mt), 4×10, 单偏光

www.yskw.ac.cn