

# 中国夕卡岩矿床中的角闪石\*

赵一鸣 李大新

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘 要** 文章综合分析研究了中国 21 个夕卡岩矿床中的 130 个角闪石的成分分析数据。根据夕卡岩类型及其伴生金属矿化的不同,把角闪石分为 4 大类:钙夕卡岩中的角闪石多属钙角闪石,包括绿钙闪石、铁角闪石、镁绿钙闪石、铁浅闪石、阳起石、铁阳起石、铁镁钙闪石和铁韭闪石等;镁夕卡岩中的角闪石以透闪石为主,局部有浅闪石或韭闪石;锰质夕卡岩中的角闪石有锰质阳起石、锰质透闪石、锰直闪石和锰镁闪石;碱质夕卡岩中的角闪石属钠-钙角闪石或钠角闪石类,包括钠透闪石、镁亚铁钠闪石、亚铁钠闪石、镁铝钠闪石和镁钠闪石。碳酸盐围岩和有关侵入岩的成分对角闪石的类型、成分及其伴生金属矿化起重要的作用。

**关键词** 矿物学 闪石类型 成分特征 夕卡岩矿床 中国

**中图分类号**:P578.955

**文献标识码**:A

有关夕卡岩矿物的成分,在国内外文献中,对石榴石和辉石等矿物的分析数据报道较多,而角闪石方面则较少,角闪石单矿物的化学分析数据就更少。笔者在长期从事我国夕卡岩矿床的研究工作中,积累了大量的角闪石分析数据。本文从中国 21 个重要夕卡岩矿床中的 130 个角闪石分析数据中,选择出有代表性的 47 个(包括 24 个单矿物化学分析数据),其中包括国内学者已发表的或未公开发表过的部分角闪石分析数据,并对各角闪石种族的矿物学特征、产出地质环境及其与金属矿化之间的成因联系,加以讨论。这 21 个夕卡岩矿床大多分布在中国东部地区,少数分布于西部地区(图 1),其简要地质特征和矿物共生组合见表 1。

赵一鸣等(1990;1992)曾把夕卡岩建造按其矿物共生组合的不同及其所反映的围岩岩性的差别划分为 4 类,即:钙夕卡岩、镁夕卡岩、锰质夕卡岩和碱质夕卡岩。不同含矿夕卡岩中角闪石的类型各不相同,伴生的金属矿化也不一样,因此,可以作为鉴别夕卡岩含矿性的重要标志之一。下面,将分别对上述 4 类夕卡岩建造中的角闪石特征进行讨论。

## 1 钙夕卡岩中的角闪石

钙夕卡岩主要由透辉石-钙铁辉石系列辉石、钙

铝-钙铁榴石系列石榴石、硅灰石、符山石、方柱石和角闪石等矿物组成,其围岩为灰岩或大理岩。角闪石在夕卡岩中属于退化热液交代阶段的产物,常由交代早期的石榴石或单斜辉石而成。因此,其生成一般晚于早期钙夕卡岩矿物。

在中国的钙夕卡岩矿床中,角闪石的类型很多,按国际矿物学协会新矿物及矿物命名委员会角闪石专业委员会规定的角闪石命名法(Leake et al., 1997),它们大多属钙角闪石类,包括绿钙闪石、铁角闪石、镁绿钙闪石、氯质绿钙闪石、氯质铁角闪石、铁浅闪石、阳起石、铁阳起石、硼铁镁钙闪石、氟质铁镁钙闪石、氟质铁浅闪石和铁韭闪石(表 2,图 2)。个别矿区(内蒙古浩布高)的闪石样品属 Mg-Fe-Mn-Li 组角闪石类(Leake et al., 1997)中的铁闪石(表 2)。

氯质绿钙闪石和氯质铁角闪石主要和基性或中基性侵入岩有关,如新疆磁海、福建马坑和挂山等铁矿床。与成矿有关的侵入岩主要为辉绿-辉长岩和辉绿闪长岩类(盛继福, 1985; 赵一鸣等, 1983; 1990)。有些矿区虽无中基性侵入岩产出,但也有高铝的绿钙闪石和铁浅闪石(如内蒙古浩布高和黄冈)。这可能是由于围岩除灰岩外,还发育下二叠统凝灰质粉砂岩和安山岩类(表 1)所致。显然,高铝围岩的存在为绿钙闪石和铁浅闪石的产出创造了有利

\* 本文得到国家自然科学基金项目(编号:40073016)的资助

第一作者简介 赵一鸣,男,1934 年生,研究员,博士生导师,长期从事金属矿床地质地球化学研究。

收稿日期 2003-05-14; 改回日期 2003-07-24。李 岩编辑。

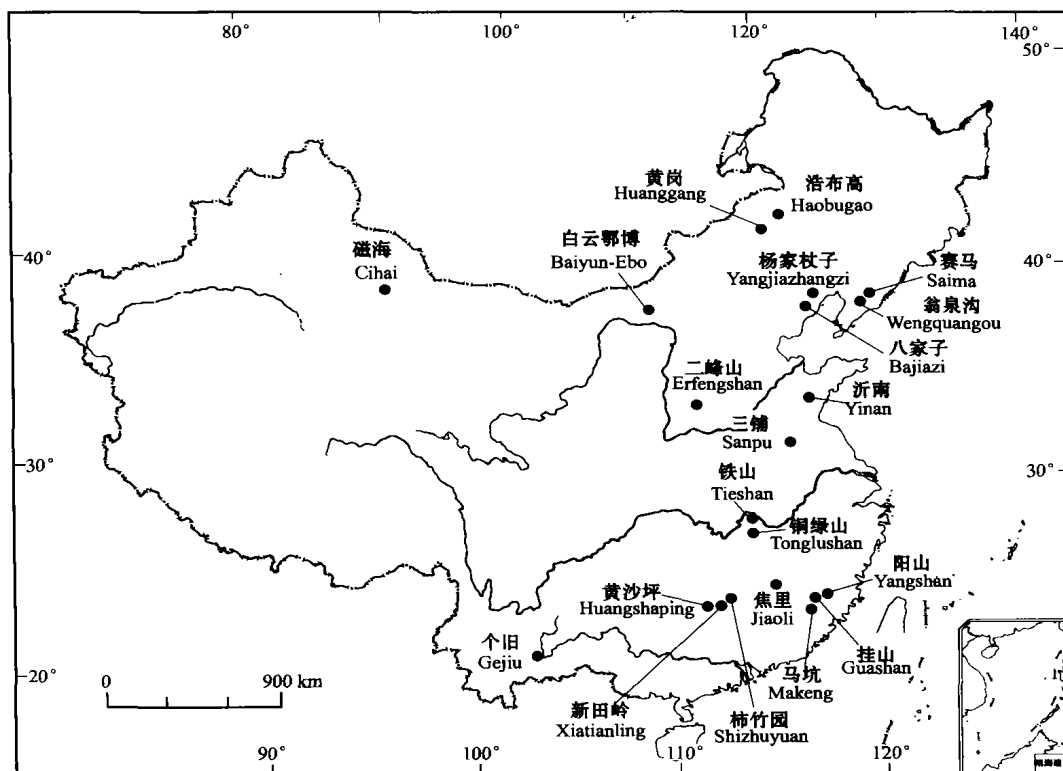


图 1 中国已有角闪石分析数据的夕卡岩矿床分布略图

Fig. 1 Distribution of skarn deposits having amphibole analyses in China

的条件。

氯质绿钙闪石、绿钙闪石、镁绿钙闪石、氯质铁角闪石和铁镁钙闪石等在单偏光下,具有鲜艳的蓝绿色(图 3-1, 3-2),多色性十分明显: $N_g$  浓蓝绿色, $N_m$  蓝绿色或浅蓝绿色, $N_p$  淡黄绿色;吸收异向性强: $N_g > N_m > N_p$ ,部分样品的折光率经测定为: $N_g$  1.704~1.728, $N_p$  1.680~1.703, $C \wedge N_g$  23~25°。光轴角比其他角闪石小: $2V(-)$  16~48°。

这些钙角闪石的成分(原子系数)为:Si 5.702~7.965, $^{IV}Al$  0.035~2.298, $Ca_B$  1.286~2.375, $Fe^{2+} > Mg$ , $Ti < 0.1$ , $(Na + K)_A$  为 0.054~1.009,其中绿钙闪石、镁绿钙闪石和铁浅闪石的 $(Na + K)_A$  为 0.536~1.009(即  $> 0.5$ ),而铁角闪石为 0.189~0.470( $< 0.5$ )。绿钙闪石和镁绿钙闪石的 $^{VI}Al < Fe^{3+}$ ,而铁非闪石和非闪石 $^{VI}Al \geq Fe^{3+}$ (表 2,图 2)。

关于含氯角闪石,在国外某些夕卡岩矿床中已有过报道。Krutov(1936)对塔什干山夕卡岩铁矿床进行研究后,发现一种含氯非常高的氯绿钙闪石, $w_{Cl}$  为 5.59%~7.24%,光性特点是消光角和光轴角均较小[ $C \wedge N_g = 11^\circ$ , $2V(-) \approx 15^\circ$ ]。Krutov 把

它命名为“塔什干山石”,并认为它的生成同与基性岩浆相关的喷气接触交代作用有关。据 Павлов(1964)报道,在哈萨克斯坦的安查斯夕卡岩磁铁矿床中,氯质绿钙闪石的 $w_{Cl}$ 最高可达 1.31%~2.39%;它和钠长石、方柱石和磁铁矿等伴生,并交代早期的阳起石。Dick 和 Robinson(1979)也报道过在加拿大南 Yukon 夕卡岩闪锌矿矿床中存在含氯钾质绿钙闪石,其 $w_{Cl}$ 高达 1.15%~3.09%。

我国新疆磁海和福建马坑、阳山及挂山等夕卡岩铁矿床中氯质绿钙闪石或氯质铁角闪石中的含氯量虽比上述塔什干山铁矿床中的角闪石稍低,但也相对较高,可达 0.65%~2.25%。

上述资料表明,氯在成因上可能主要与中基性岩浆活动有关,而且对铁质的萃取、搬运和富集起了积极作用。推测铁质主要是呈氯化物( $FeCl_2$ , $FeCl_3$ )或络合物( $Na_2[Fe^{2+}Cl_4]$ , $Na_3[Fe^{3+}Cl_6]$ )的形式进行搬运的。

阳起石和铁阳起石均产于外夕卡岩带,如在湖南柿竹园 W-Sn 多金属矿床、新田岭 W 矿床和山东沂南 Au(Cu)矿床所见。在沂南矿区阳起石主要交

表1 中国已有角闪石分析数据的夕卡岩矿床的主要地质特征  
Table 1 Main geological characteristics of skarn deposits having amphibole analyses in China

矿床	矿化组合和品位( $w_B$ )	规模	围岩	岩	有关岩浆岩	夕卡岩矿物	退化蚀变矿物	金属矿物	资料来源
新疆磁海	TFe 45.6%, Co 0.06%	大型	中元古代片岩、千枚岩、大理岩、白云质大理岩	辉绿-辉长岩、闪长岩、石英闪长岩	华力西期辉绿-辉长岩、闪长岩、石英闪长岩	Gr, Di, Sc, Ab	Cl-Hast, Act, Ep, Pre, Cal, Qz, Chl	Mt, Po, Py, 辉砷钴矿, 斜方砷钴矿	盛继福, 1985
湖北铁山	TFe 53.8%, Cu 0.75%, Co 0.025%	大型	中下三叠统灰岩、白云质灰岩	燕山期 (128 ~ 165 Ma) 石英闪长岩	燕山期 (128 ~ 165 Ma) 石英闪长岩	Gr, Di, Sc, Ab, Woll	Mg-Hast, Act, Phl, Ep, Chl, Anh, Qz	Mt, Py, Cp, Sid, Po, He, Bn, Cha	赵一鸣等, 1990
湖北铜绿山	Cu 1.61%, Au 1.15 g/t, TFe 46.2%	大型	中三叠统白云质灰岩	燕山期 (137 ~ 150 Ma) 石英二长闪长岩	燕山期 (137 ~ 150 Ma) 石英二长闪长岩	Di, Gr, Pl, Ves	Phl, Ep, Par, Serp, Cal, Qz, Ze	Mt, Py, Cp, Bn, Mol, Au, Cha, El	赵一鸣等, 1999
福建马坑	TFe 38.1%, Mo 0.07%	大型	石炭纪灰岩、砂岩	燕山期 (112 ~ 164 Ma) 辉绿-闪长岩、花岗岩	燕山期 (112 ~ 164 Ma) 辉绿-闪长岩、花岗岩	Di, Gr, Ves, Woll, Mn-Hd, Bust	Ep, Cl-Fe-Hrb, Flu, Mn-Act	Mt, Py, Mol, Sph, Gn	赵一鸣等, 1983
福建阳山	TFe 42.2%	大型	石炭纪灰岩、粉砂岩	燕山期花岗岩	燕山期花岗岩	Di, Gr, Woll	Ep, Fe-Hrb, Qz	Mt, Py, He, Sid, Sph	赵一鸣等, 1983
福建挂山	TFe 31.7%	中型	二叠—三叠纪碎屑岩、灰岩	燕山期 (119 Ma) 辉绿-闪长岩	燕山期 (119 Ma) 辉绿-闪长岩	Gr, Di	Hast, Cl-Fe-Hrb, Ep, Act, Flu, Qz	Mt, Py	赵一鸣等, 1983
内蒙古黄岗	TFe 45.0%, Sn 0.31%	大型	下二叠统凝灰质粉砂岩、大理岩、安山岩	燕山期 (146 Ma) 花岗岩	燕山期 (146 Ma) 花岗岩	Ad, Di, Hd, Ves, Woll, Ab	Fe-Tsc, Fe-Ed, Flu, Qz, Chl, Cal	Mt, Py, Cas, Sph, Cp, Mol, Gn	李鹤年等, 1989 <sup>①</sup>
湖南柿竹园	WO <sub>3</sub> 0.32%, Sn 0.11%, Mo 0.06%, Bi 0.12%	超大型	上泥盆统灰岩	燕山期 (162 ~ 172 Ma) 花岗岩	燕山期 (162 ~ 172 Ma) 花岗岩	Di, Hd, Ad, Gros, Ves, Woll	Act, Ep, 铁韭闪石, Flu, Mc, Top, Qz	Sch, Wolf, Cas, Gn, Mol, Bis, Py, Sph	赵一鸣等, 1990
湖南新田岭	WO <sub>3</sub> 0.41%	大型	下石炭统大理岩	印支-燕山期 (223 ~ 158 Ma) 花岗岩、花岗岩闪长岩	印支-燕山期 (223 ~ 158 Ma) 花岗岩、花岗岩闪长岩	Di, Gr, Pl, Or	Act, Flu, Qz, Ep, Cal, Mc, Chl	Sch, Po, Py, Cp, Mol, Bis, Sph, Gn	赵一鸣等, 1990
云南个旧	Sn 0.53%, Cu 0.9%, Pb 4.2%, Zn 2.1%	超大型	中三叠统灰岩、白云质灰岩	燕山期 (100 ~ 103 Ma) 花岗岩	燕山期 (100 ~ 103 Ma) 花岗岩	Di, Hd, Gr, Ves, Sc, Woll	Hast, Fe-Tsc, Flu, Tr, Chon, Phl, Tour	Cas, Sch, Cp, Sph, Gn, Mol, Py	赵一鸣等, 1990
山东沂南	Au 7g/t, Cu 1.3%	中型	寒武纪灰岩	燕山期闪长玢岩、二长花岗岩斑岩	燕山期闪长玢岩、二长花岗岩斑岩	Di, Ad, Ves	Act, Ep, Anh, Qz, Cal, Chl	Mt, Cp, Py, Mol, Au, Bn, El, Cve	赵一鸣等, 1992
山西二峰山	TFe 40%	中型	中奥陶统白云质灰岩	燕山期 (138 Ma) 正长闪长岩、石英二长岩	燕山期 (138 Ma) 正长闪长岩、石英二长岩	Gr, Di, Sc, Per, Ab	Par, Phl, Serp, Tr, Chon, Ep, Ta, Chl	Mt, Py, Cp, Bn, Po	真允庆等, 1975
辽宁杨家杖子	Mo 0.13%	大型	寒武、奥陶纪灰岩、白云质灰岩	燕山期 (108 ~ 160 Ma) 花岗岩	燕山期 (108 ~ 160 Ma) 花岗岩	Gr, Di, Ves, Woll	Tr, Ep, Phl, Act, Flu, Chl, Qz, Cal	Mol, Py, Gn, Sph, Cp, Mt	赵一鸣等, 1990

① 李鹤年等, 1989. 内蒙古黄岗锡铁矿床研究(内部报告)

续表 1

Table 1 (cont.)

矿床	矿化组合和品位(wt%)	规模	围岩	有关岩体	夕卡岩矿物	退化蚀变矿物	金属矿床	资料来源
安徽三铺	Au 2.98 g/t, Cu 0.77%, TFe 46.7%	中型	中上寒武统白云质大理岩	燕山期(128~180 Ma)石英二长闪长岩	Di, For, Gr, Sc, Or	Tr, Serp, phl, Ep, Chu, Ta, Chl, Cal	Mt, Py, Cp, Bn, Au, Bi, Lud, 镁铁矿	赵一鸣等, 1999
辽宁翁泉沟	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 8.5%, TFe 30.7%	大型	古元古代白云质大理岩, 角闪岩, 变粒岩	混合岩	Di, For	Sz, Tr, Serp, Phl, Chon, 透闪石	Mt, Py, Po, Cp, Lud, Ur	赵一鸣等, 1990
内蒙古浩布高	Zn 4.9%, Pb 2.2%, Fe, Cu, Sn, Ag	大型	下二叠统变粉砂岩、大理岩	燕山期(136 Ma)花岗岩	Ad, Di, Hd, Ves	Ep, Hast, Gru, Fe Ed, Fe-Htb, Qz, Cn	Mt, Py, Cp, Cas, Sph, Gn	本文
湖南黄沙坪	Zn 7.77%, Pb 4.52%, WO <sub>3</sub> 0.25%, Mo 0.04%, Ag 80g/t	大型	下石炭统灰岩	燕山期花岗岩、石英斑岩	Gr, Di, Hd	Hast, Flu, Qz, Cal	Mt, Py, Ar, As, Cp, Sph, Gn, Sch, Cas, Mol	赵一鸣等, 1990
辽宁八家子	Ag 186g/t, Zn 2.32%, Pb 1.79%, Cu 0.3%	大型	中元古代白云质大理岩、砂岩	燕山期(170~177.4 Ma)石英二长闪长岩	Di, For, Ad, Sp, Py, Rho	Tr, Mn-Tr, Phl, Serp, Mn-Ant, Mn-Cum, 锰热泉石	Mt, Py, Po, Cp, Sph, Gn, Arg, Ag, 硫锰矿	董永观, 1986; 本文
江西焦里	Ag 154g/t, Pb 2.02%, Zn 1.19g/t, WO <sub>3</sub> 0.3%	中型	寒武纪变粉砂岩、大理岩	燕山期(173~193 Ma)花岗闪长岩	Gr, Di, Woll, Mn-Hd, Mn-Gro, Mn-Ves, Bust	Mn-Aet, Flu, Qz, Cal, Chl	Sch, Sph, Gn, Py, Po, Arg, Ag, Hes, El, Bi	李赞春等, 1990; 本文
辽宁赛马	U, Th, REE	大型	古元古代白云质大理岩, 早古生代灰岩	印支期(213~240 Ma)正长岩	Aeg, Nph, Or, Ab, Di, For, 针钠钙石	Phl, Mg-Aet, Rich, 钠闪石, 钠质透闪石, 钠闪石	绿帘透闪石, 辉绿角闪石, 钠闪石, 钠质透闪石, 钠闪石	陈肇博等, 1996; 本文
内蒙古白云鄂博	TFe 34.01%, REE 4.9%, Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0.13%	超大型	中元古代砂岩、页岩、灰岩、白云岩	华力西期(246~270 Ma)碱性花岗岩	Di, Gr, Sc, Ves, Aeg	Phl, Rich, Mg-Aet, Art, Flu	Mt, 氟碳铈矿, Pyc, Fel, Aet	中科院地化所, 1988

表中矿物名称缩写: Ab—钠长石, Act—阳起石, Ad—钙铁榴石, Aeg—霓石, Aet—硬石膏, Anb—硬石膏, Art—亚铁钠闪石, Arg—辉银矿, Au—自然金, Bi—自然铋, Bus—辉砷矿, Bn—斑铜矿, Bust—钙蔷薇辉石, Cal—方解石, Cas—锡石, Cha—辉铜矿, Chl—绿泥石, Chon—粒柱钠石, Chu—斜柱钠石, Cl-Fe-Htb—氟质铁角闪石, Cl-Hast—氟质绿角闪石, Cp—黄铜矿, Cre—磷金矿, Di—透辉石, El—银金矿, Ep—绿帘石, Fe-Ed—铁角闪石, Fe-Hd—铁角闪石, Fel—钨铁矿, Fe-Tsc—铁钠钙闪石, Flu—萤石, For—透闪石, Gr—石榴石, Gros—钙铝榴石, Gru—铁闪石, Hast—绿角闪石, Hd—钙铁辉石, Hes—硬银矿, Lud—透闪石, Mc—白云母, Mg-Aet—亚铁钠闪石, Mg-Hast—镁绿角闪石, Mn-Aet—锰质阳起石, Mn-Ant—锰直闪石, Mn-Cum—锰铁闪石, Mn-Gro—锰质钙榴石, Mn-Hd—锰质钙铁辉石, Mn-Tr—锰质透闪石, Mn-Ves—透闪石, Mol—辉钠矿, Mt—磁铁矿, Nph—霞石, Or—钾长石, Par—方钠石, Per—方钠石, Phl—金云母, Pl—斜长石, Po—磁黄铁矿, Pre—葡萄石, Py—黄铁矿, Pyc—辉绿石, Pyr—磁三斜辉石, Qz—石英, Rho—蔷薇辉石, Rich—钠透闪石, Sc—方柱石, Sch—白钠闪石, Serp—蛇纹石, Sid—菱铁矿, Sp—锰铝榴石, Sph—闪锌矿, Ss—磁铁矿, Ta—滑石, Top—黄玉, Tho—柱石, Tour—电气石, Tr—透闪石, Ur—晶质钠闪石, Ves—符山石, Wolf—黑钨矿, Woll—透闪石, Ze—沸石

表 2 中国钙夕卡岩中的代表性角闪石成分

Table 2 Representative compositions of amphiboles in calcic skarns of China

成分	1 Ci-1	2 Ci-2	3 35-2-5-9	4 M66-430	5 46-3-19	6 G-16	7 G01-409	8 2155-14	9 025-18	10 HG-1	11 HG-2
	新疆磁海		湖北铁山	福建马坑	福建阳山	福建挂山		云南个旧		内蒙古黄岗	
	Fe		Fe, Cu	Fe, Mo	Fe	Fe		Sn		Fe, Sn	
	w(B)/%										
SiO <sub>2</sub>	35.03	38.07	37.62	42.17	40.77	43.10	38.10	37.52	42.05	39.77	41.70
TiO <sub>2</sub>	0.62	0.18	0.05	0.27	0.54	0.05	0.40	0.25	0.17	0.24	0.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.70	12.15	14.13	8.78	6.78	8.98	11.32	12.05	5.51	10.20	5.87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.79	5.68	10.94	11.95	14.91	9.53	10.23	—	5.10	8.08	7.63
FeO	24.52	21.22	9.05	18.45	18.77	19.22	21.98	27.99	18.60	22.97	23.83
MnO	0.31	0.42	0.22	1.60	1.78	0.52	0.36	1.11	1.37	0.96	1.10
MgO	2.75	4.41	11.41	1.16	0.76	1.40	3.69	1.13	5.10	2.00	3.13
CaO	13.10	10.57	10.75	10.48	12.17	7.77	9.39	10.93	14.95	10.50	11.86
Na <sub>2</sub> O	1.65	1.67	2.22	1.13	0.81	0.70	1.26	1.01	0.31	1.00	0.96
K <sub>2</sub> O	2.34	1.40	1.56	1.63	1.63	1.64	1.55	1.92	0.17	1.25	1.13
SnO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	0.42	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.50	1.60	1.77	1.44	1.40	3.25	1.15	—	3.50	2.15	1.43
F	0.04	0.02	0.17	0.09	—	0.72	0.05	—	0.14	0.53	0.26
Cl	2.25	1.33	0.03	1.12	0.65	1.18	0.12	—	—	—	—
合计	101.60	98.72	99.92	100.25	100.74	98.06	99.76	94.33	97.97	99.65	99.12
-O=F, Cl	-0.54	-0.32	-0.04	-0.30	-0.15	-0.57	-0.05	—	-0.06	-0.22	-0.11
总和	101.06	98.40	99.88	99.95	100.59	97.49	99.71	94.33	97.91	99.43	99.01
	原子系数										
氧原子数	24	24	24	24	24	24	24	23	24	24	24
Si	5.721	6.113	5.702	6.655	6.528	6.660	6.137	6.313	6.234	6.309	6.769
<sup>IV</sup> Al	1.868	1.887	2.298	1.345	1.280	1.340	1.863	1.687	0.964	1.691	1.124
ΣT	7.589	8.000	8.000	8.000	7.808	8.000	8.000	8.000	7.198	8.000	7.893
<sup>VI</sup> Al	0.000	0.413	0.226	0.288	0.000	0.296	0.286	0.703	0.000	0.215	0.000
Ti	0.075	0.022	0.005	0.003	0.064	0.006	0.048	0.031	0.019	0.029	0.026
Fe <sup>3+</sup>	0.959	0.607	1.248	1.419	1.797	1.108	1.241	—	0.568	0.964	0.931
Mg	0.669	1.056	2.577	0.272	0.181	0.322	0.886	0.283	1.127	0.472	0.757
Fe <sup>2+</sup>	3.349	2.850	1.146	2.439	2.513	2.484	2.961	3.938	2.306	3.047	3.235
Mn	0.043	0.057	0.028	0.213	0.242	0.068	0.049	0.158	0.172	0.128	0.151
Ca	2.292	1.742	1.746	1.772	2.088	1.286	1.620	1.971	2.375	1.784	2.063
Na	0.000	0.253	0.024	0.345	0.115	0.210	0.000	0.000	0.089	0.307	0.000
Σ(B+C)	7.387	7.000	7.000	6.751	7.000	5.780	7.091	7.084	6.656	6.946	7.163
Na	0.522	0.267	0.628	0.000	0.137	0.000	0.393	0.330	0.000	0.000	0.302
K	0.487	0.287	0.300	0.328	0.333	0.323	0.320	0.412	0.032	0.253	0.234
ΣA	1.009	0.554	0.928	0.328	0.470	0.323	0.713	0.742	0.032	0.253	0.536
OH	1.633	1.714	1.788	1.515	1.495	3.348	1.235	—	3.459	2.274	1.547
F	0.021	0.010	0.081	0.045	—	0.309	0.033	—	0.066	0.266	0.134
Cl	0.622	0.362	0.007	0.300	0.176	0.352	0.025	—	—	—	—
矿物名称	氟质绿 钙闪石	氟质绿 钙闪石	镁绿钙 闪石	氟质铁 角闪石	铁角闪石	氟-氟质铁 角闪石	绿钙闪石	绿钙闪石	铁镁钙 闪石	氟质铁镁 钙闪石	铁角闪石
资料来源	盛继福, 1985	本文	本文	本文	赵一鸣等, 1980	本文	本文	赵一鸣等, 1990	李鹤年等, 1989 <sup>①</sup>	李鹤年等, 1989 <sup>①</sup>	李鹤年等, 1989 <sup>①</sup>

① 李鹤年等. 1989. 内蒙古黄岗锡铁矿床研究(内部报告).

续表 2  
Table 2(cont.)

成分	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	HB-23	HI-8	HI-14	HI-19	S-136	S-245	S-277	S-281	440-14-2	Y150-4	56-20
	内蒙古浩布高				湖南柿竹园				湖南新田岭	山东沂南	湖南黄沙坪
	Pb,Zn,Cu,Sn,Fe(Ag)				W,Sn,Bi,Mo (Pb,Zn)				W	Au,Cu	Pb,Zn,Ag,W,Sn
	w(B)/%										
SiO <sub>2</sub>	47.58	42.27	41.85	39.88	54.25	48.71	40.86	39.82	51.49	53.17	36.93
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.25	0.04	0.22	0.00	0.00	0.11	0.00	0.02	0.10	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.82	7.45	8.73	11.32	1.14	3.12	10.35	10.60	1.86	2.44	12.54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	23.54	32.75	29.93	27.10	11.20	23.18	18.45	19.56	15.22	14.87	30.21
MnO	1.08	0.26	0.92	0.18	1.50	1.33	3.20	3.16	2.77	0.31	1.69
MgO	10.64	0.98	1.92	3.59	15.80	7.37	8.50	7.86	12.04	14.67	0.53
CaO	3.20	12.05	12.44	12.65	12.25	12.27	11.83	11.67	11.06	11.96	11.37
Na <sub>2</sub> O	0.64	0.56	0.39	0.83	0.15	0.35	1.50	1.69	0.32	0.36	0.89
SnO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	0.56	0.89	0.32	1.44	0.07	0.25	1.77	1.87	0.09	0.00	2.56
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0.17	-	-	-	0.14	0.15	1.04	1.20	-	-	-
Cl	0.17	-	-	-	0.02	0.02	0.28	0.40	-	-	-
-O=F,Cl	-0.11	-	-	-	-0.06	-0.06	-0.50	-0.59	-	-	-
总和	99.81	97.47	96.51	97.21	96.46	96.69	97.39	97.24	94.87	97.88	96.72
	原子系数										
氧原子数	24	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Si	7.037	6.886	6.787	6.388	7.965	7.566	6.417	6.340	7.816	7.718	6.148
<sup>IV</sup> Al	0.845	1.114	1.213	1.612	0.035	0.434	1.583	1.660	0.184	0.282	1.852
ΣT	7.918	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
<sup>VI</sup> Al	0.000	0.317	0.455	0.524	0.064	0.137	0.335	0.328	0.148	0.135	0.609
Ti	0.008	0.030	0.005	0.027	0.000	0.000	0.013	0.000	0.003	0.011	0.000
Fe <sup>3+</sup>	0.434	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	2.357	0.238	0.464	0.856	3.456	1.705	1.992	1.865	2.723	3.174	0.131
Fe <sup>2+</sup>	2.926	4.462	4.060	3.630	1.375	3.011	2.427	2.604	1.932	1.805	4.206
Mn	0.135	0.032	0.127	0.024	0.186	0.174	0.426	0.435	0.356	0.038	0.238
Ca	0.510	2.104	2.162	2.171	1.927	2.042	1.993	1.990	1.799	1.861	2.028
Na	0.184	-	-	-	-	-	-	-	-	0.039	-
Σ(B+C)	6.554	7.183	7.273	7.232	7.008	7.069	7.186	7.222	7.000	7.024	7.212
Na	-	0.176	0.123	0.258	0.042	0.104	0.457	0.520	0.056	0.073	0.278
K	0.105	0.184	0.066	0.294	0.012	0.048	0.355	0.379	0.018	0.000	0.544
ΣA	0.105	0.360	0.189	0.552	0.054	0.152	0.812	0.899	0.074	0.073	0.822
OH	3.528	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0.079	-	-	-	0.065	0.074	0.517	0.642	-	-	-
Cl	0.043	-	-	-	0.005	0.006	0.074	0.108	-	-	-
矿物名称	铁闪石	铁角闪石	铁角闪石	钾质绿 钙闪石	阳起石	铁阳起石	钾质铁 韭闪石	钾质铁 韭闪石	阳起石	阳起石	钾绿钙 闪石
资料来源	赵一鸣等,1997				毛景文等,1998				本文	赵一鸣等, 1992	本文

本表化学分析由中国地质科学院岩矿测试技术研究所刘兰芬、谢秀英和原中国地质科学院宜昌地质矿产研究所完成,使用方法包括重量法、容量法、比色法、原子吸收和气体体积法等,测试精度为±0.1%~0.3%。本文电子探针分析(表中未测 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的数据)由中国地质科学院矿产资源所王文瑛和余静协助完成,仪器型号为 JEOL JXA 8800R EPMA,实验条件:电压 20 kV,电流 2×10<sup>-8</sup>A,电子束斑直径 1 μm,测试精度 0.0 n%~0. n%。注:“-”为未测。

## 钙角闪石

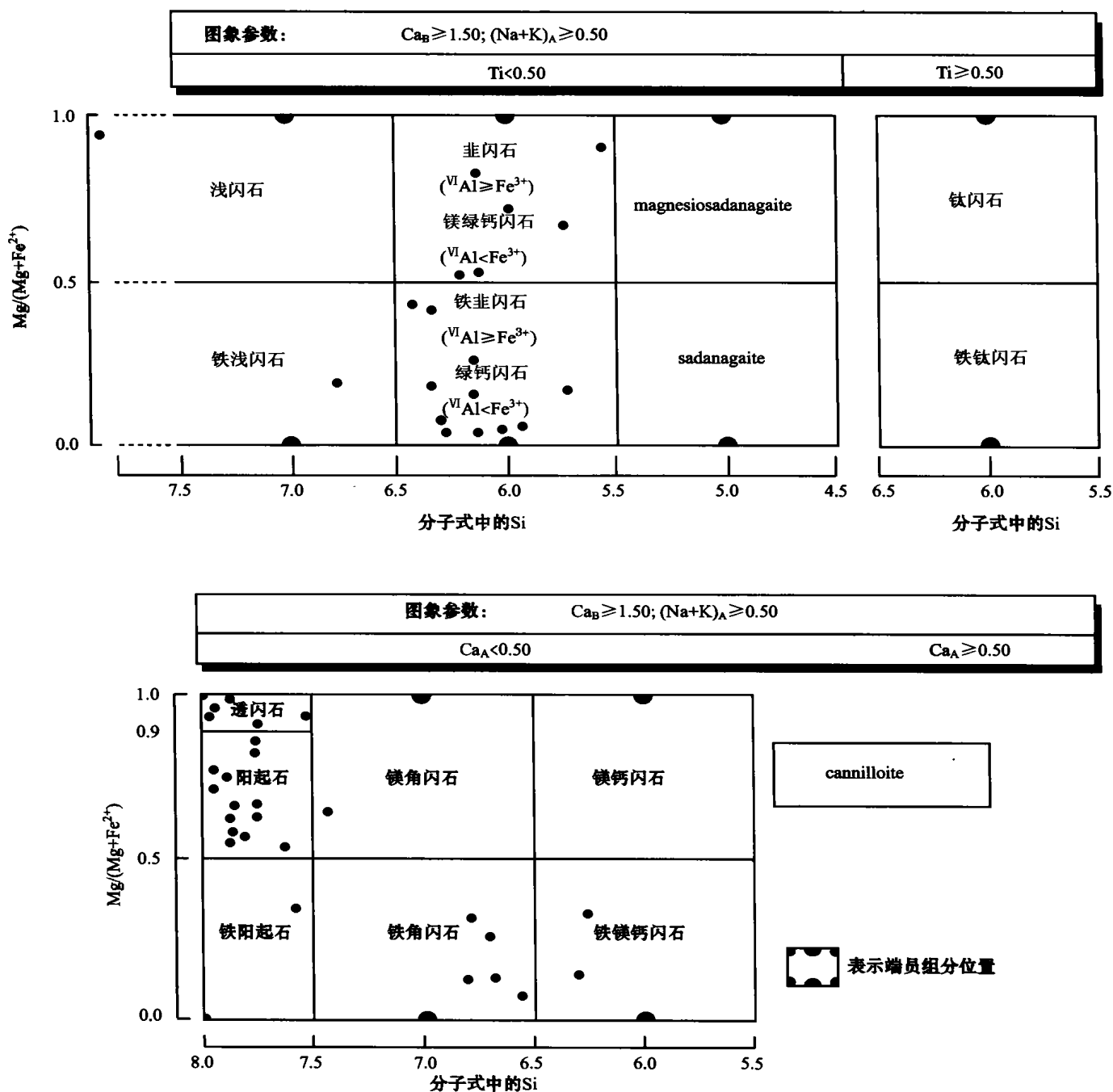


图 2 中国主要夕卡岩矿床中钙角闪石的分类(底图据 Leake et al., 1997; 数据见表 2)

图中元素符号均代表分子式中的原子系数, 端员矿物: 透闪石 (Tremolite),  $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ ; 铁阳起石 (Ferro-actinolite),  $Ca_2Fe_3^{2+}Si_8O_{22}(OH)_2$ ; 浅闪石 (Edenite),  $NaCa_2Mg_5Si_7AlO_{22}(OH)_2$ ; 铁浅闪石 (Ferro-edenite),  $NaCa_2Fe_3^{2+}Si_7AlO_{22}(OH)_2$ ; 韭闪石 (Pargasite),  $NaCa_2(Mg_4Al)Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$ ; 铁韭闪石 (Ferropargasite),  $NaCa_2(Fe_4^{3+}Al)Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$ ; 镁绿钙闪石 (Magnesiohastingsite),  $NaCa_2(Mg_4Fe^{3+})Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$ ; 绿钙闪石 (Hastingsite),  $NaCa_2(Fe_4^{3+}Fe^{3+})Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$ ; 镁钙闪石 (Tshermakite),  $Ca_2(Mg_3AlFe^{3+})Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$ ; 铁镁钙闪石 (Ferrotschermakite),  $Ca_2(Fe_3^{2+}AlFe^{3+})Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$ ; 镁角闪石 (Magnesiohornblende),  $Ca_2[Mg_4(Al, Fe^{3+})_2]Si_7AlO_{22}(OH)_2$ ; 铁角闪石 (Ferrohornblende),  $Ca_2[Fe_4^{3+}(Al, Fe^{3+})_2]Si_7AlO_{22}(OH)_2$

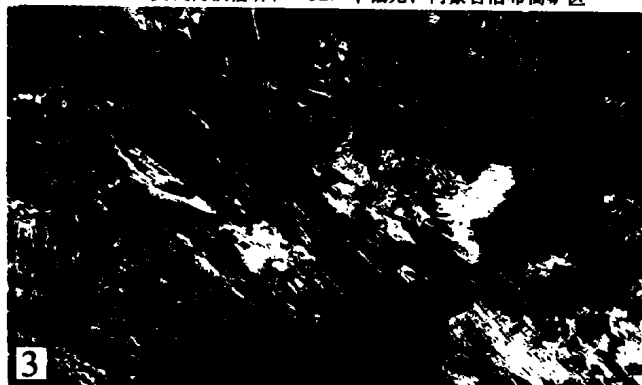
Fig. 2 Classification of calcic amphiboles in major skarn deposits of China



绿钙闪石交代钙铁榴石,  $\times 32$ , 单偏光, 内蒙古浩布高矿区



氢质铁角闪石,  $\times 50$ , 单偏光, 内蒙古浩布高矿区



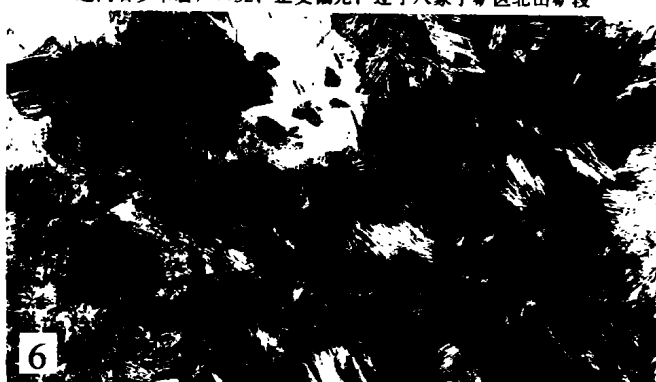
阳起石交代钙铁榴石 (黑色),  $\times 50$ , 正交偏光, 湖南新田岭矿区



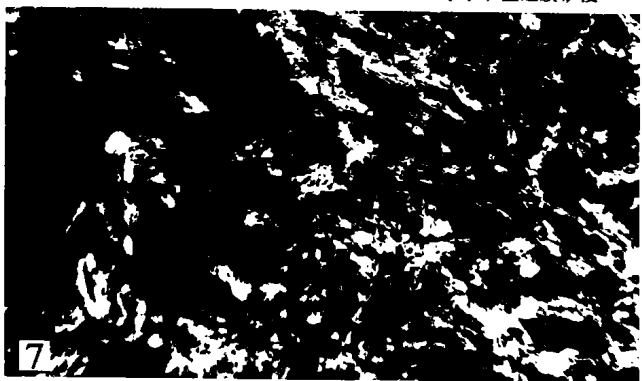
透闪石夕卡岩,  $\times 32$ , 正交偏光, 辽宁八家子矿区北山矿段



锰质透闪石夕卡岩,  $\times 50$ , 正交偏光, 辽宁八家子矿区红旗矿段



锰质阳起石夕卡岩, 灰 (白) 色矿物为石英,  $\times 50$ , 正交偏光, 江西焦里矿区



锰铁闪石夕卡岩 (黑色矿物为黄铁矿),  $\times 32$ , 正交偏光, 辽宁八家子矿区红旗矿段



放射状亚铁钠闪石夕卡岩,  $\times 50$ , 正交偏光, 辽宁赛马矿区

图 3 我国重要夕卡岩矿床中代表性角闪石的显微照片

Fig. 3 Micrographs of the representative amphiboles in the major skarn deposits of China



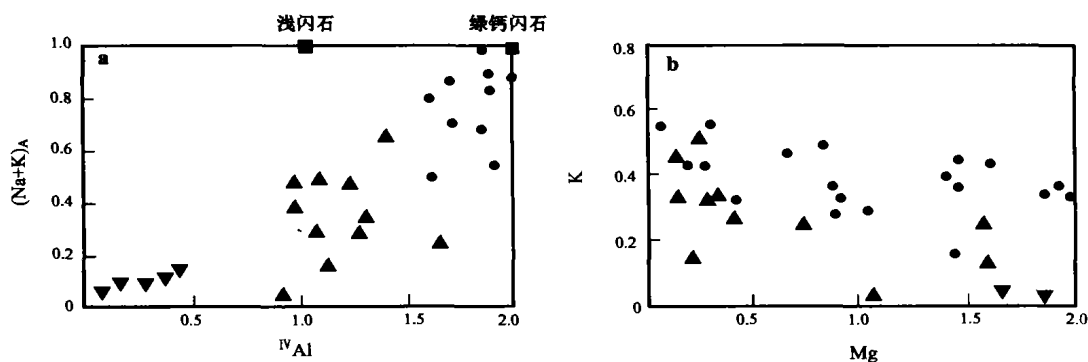


图 4 中国重要夕卡岩矿床钙角闪石成分中(a)  $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}} - \text{IVAl}$  和(b)  $\text{K} - \text{Mg}$  关系图

图例说明:黑方块表示端员组分位置;黑圆点为绿钙闪石、镁绿钙闪石和铁非闪石;黑三角为铁角闪石、铁浅闪石和铁镁钙闪石;倒黑三角为阳起石和铁阳起石。数据来源同图 3。图中元素符号代表分子式中的原子系数

Fig. 4  $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}}$  versus  $\text{IVAl}$  (a) and  $\text{K}$  versus  $\text{Mg}$  (b) diagrams for compositions of calcic amphiboles in major skarn deposits of China

代早期透辉石 ( $\text{Di}_{82.2} \text{Hd}_{17.2} \text{Jo}_{0.6}$ ) 和钙铁榴石 ( $\text{Ad}_{95.7} \text{Gr}_{3.8} \text{Sp}_{0.5}$ ), 并和镜铁矿、硬石膏伴生(赵一鸣等, 1992)。在新田岭钨矿床, 与阳起石(图 3-3)伴生的透辉石含钙铁辉石和锰钙辉石分子稍高 ( $\text{Di}_{56.2} \text{Hd}_{38.6} \text{Jo}_{5.2}$ ) (赵一鸣等, 1990)。

比较特殊的是在内蒙古浩布高 Pb-Zn (Fe, Cu, Sn) 多金属矿床的钙夕卡岩中, 局部有铁闪石产出, 其成分(原子系数)特点是, 高铁 ( $\text{Fe}^{2+} = 2.926$ )、低钙 ( $\text{Ca}_{\text{B}} = 0.510$ ),  $\text{Si} = 7.073$ ,  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) = 0.446$  (表 2)。

图 4 反映了中国重要的夕卡岩矿床内钙角闪石成分中  $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}} - \text{IVAl}$  和  $\text{K} - \text{Mg}$  的相关关系。从中可以看出,  $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}}$  和  $\text{IVAl}$  大致呈正相关, 而  $\text{K}$  和  $\text{Mg}$  的相关性不如前者好, 只稍具负相关趋势。

## 2 镁夕卡岩中的角闪石

镁夕卡岩主要由镁橄榄石(或其蚀变矿物蛇纹石)、透辉石、尖晶石、金云母、透闪石、硅镁石族矿物组成, 其围岩为白云岩或白云质大理岩。产于其中的角闪石以透闪石为主, 部分矿区见有浅闪石或非闪石。它们都属钙角闪石类。

透闪石(图 3-4)一般见于外接触带, 往往交代早期的透辉石, 或呈单矿物透闪石夕卡岩产出, 伴生金属矿化有 Fe、Cu、Mo、Sn、B、Au 等。就是说透闪石常与磁铁矿、黄铜矿、辉钼矿、锡石和自然金等金属矿物共生。

透闪石的成分较简单(表 3), 以富镁低铝为特征:  $\text{Si}$  (原子系数, 下同) 为  $7.492 \sim 7.996$ ,  $\text{Ca}_{\text{B}}$  为  $1.783 \sim 1.999 (> 1.50)$ ,  $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}}$  为  $0.018 \sim 0.137 (< 0.5)$ ,  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  为  $0.924 \sim 0.980 (> 0.9)$ ,  $\text{IVAl}$  为  $0 \sim 0.022$ 。

韭闪石见于山西二峰山铁矿和湖北铜绿山 Cu (Au, Fe) 矿床。其成分与透闪石有一定区别(表 3), 主要表现为  $\text{Si} 5.557 \sim 6.173$ ;  $\text{IVAl} (0.54 \sim 0.85) \geq \text{Fe}^{3+} (0.537 \sim 0.716)$ ,  $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}}$  为  $0.907 \sim 0.926 (> 0.5)$ ,  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  在  $0.841 \sim 0.914$  之间。浅闪石的成分和韭闪石相似, 但  $\text{Si}$  的含量较高, 为  $7.856$ 。

## 3 锰质夕卡岩中的角闪石

锰质夕卡岩是笔者等通过对辽宁八家子, 福建马坑、大排及内蒙古白音诺等 Pb-Zn (Ag) 多金属夕卡岩矿床的研究, 并和国外同类矿床对比研究后, 划分出的一个新的夕卡岩建造(赵一鸣等, 1983; 1990; Zhao, 1991)。它有一套不同于钙夕卡岩和镁夕卡岩的特殊的 Mn (Ca, Mg, Fe, Al) 硅酸盐矿物, 主要有锰质钙铁辉石、锰钙辉石、锰质透辉石、钙蔷薇辉石、蔷薇辉石、锰三斜辉石、锰铝榴石、锰钙铝榴石、锰质阳起石、锰质透闪石、锰质黑柱石和锰橄榄石等。个别矿区还发现有日光榴石、锰镁闪石、锰直闪石和锰热臭石。由于锰夕卡岩仅产于夕卡岩型 Pb-Zn 矿床或 Ag-Pb-Zn 矿床中, 因此, 是夕卡岩型 Pb-Zn (Ag) 矿床

表 3 中国镁夕卡岩中的代表性角闪石成分

Table 3 Representative compositions of amphiboles in magnesian skarns of China

成分	1	2	3	4	5	6	7	8
	35-6	Bt12-67	BB10-1	Yn-1	1870-11	07-466	R601-9	A103-125
	辽宁翁泉沟	辽宁八家子		辽宁杨家杖子	云南个旧	安徽三铺	山西二峰山	湖北铜绿山
	Fe,B	Fe		Mo	Sn	Au(Cu,Fe)	Fe	Cu,Au,Fe
				w(B)/%				
SiO <sub>2</sub>	55.94	56.20	58.68	56.61	54.75	57.73	40.80	37.80
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.06	0.00	0.02	0.11	0.08	0.29	0.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.09	1.08	0.04	0.30	0.21	0.14	13.27	19.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.78	0.31	—	—	0.46	—	6.30	4.85
FeO	2.09	3.21	1.23	1.97	2.29	0.90	5.11	2.76
MnO	0.04	0.85	0.21	1.08	0.17	0.06	0.27	0.35
MgO	23.41	21.88	23.96	21.92	24.76	25.56	15.11	16.52
CaO	11.72	12.96	13.31	13.25	13.27	12.18	12.35	12.69
Na <sub>2</sub> O	2.07	0.06	0.13	0.04	0.26	0.41	2.27	2.03
K <sub>2</sub> O	0.60	0.10	0.08	0.04	0.21	0.17	1.25	1.86
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.30	2.78	—	—	3.14	—	0.03	1.02
F	0.08	0.20	—	—	0.31	—	1.43	0.07
Cl	—	—	—	—	—	—	0.07	—
—O=F,Cl	99.88	99.70	97.64	95.23	99.94	97.23	98.55	99.75
总和	-0.34	-0.08	—	—	-0.13	—	-0.63	-0.03
	99.54	99.62	97.64	95.23	99.81	97.23	97.92	99.72
				原子系数				
氧原子数	24	24	23	23	24	23	24	24
Si	7.856	7.721	7.996	7.972	7.492	7.887	6.173	5.557
<sup>IV</sup> Al	0.144	0.175	0.004	0.028	0.034	0.023	1.827	2.443
ΣT	8.000	7.896	8.000	8.000	7.526	7.910	8.000	8.000
<sup>VI</sup> Al	0.037	0.000	0.003	0.022	0.000	0.000	0.540	0.850
Ti	0.004	0.006	0.000	0.002	0.011	0.008	0.033	0.088
Fe <sup>3+</sup>	0.187	0.031	—	—	0.047	—	0.716	0.537
Mg	4.900	4.480	4.866	4.601	5.050	5.204	3.407	3.619
Fe <sup>2+</sup>	0.246	0.369	0.140	0.232	0.262	0.102	0.646	0.307
Mn	0.005	0.099	0.025	0.129	0.020	0.006	0.035	0.043
Ca	1.764	1.907	1.943	1.999	1.946	1.783	2.002	1.999
Na	0.000	0.016	0.023	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
Σ(B+C)	7.143	6.908	7.000	6.996	7.176	7.103	7.379	7.443
Na	0.564	0.000	0.011	0.000	0.069	0.108	0.665	0.578
K	0.108	0.018	0.013	0.007	0.036	0.029	0.242	0.348
ΣA	0.672	0.018	0.024	0.007	0.105	0.137	0.907	0.926
OH	0.280	2.546	—	—	2.865	—	0.031	1.000
F	0.711	0.086	—	—	0.134	—	0.685	0.033
Cl	—	—	—	—	—	—	0.036	—
矿物名称	浅闪石	透闪石	透闪石	透闪石	透闪石	透闪石	非闪石	非闪石
资料来源	中科院地化所, 1974	董永观, 1986	本文	赵一鸣等, 1990	本文	赵一鸣等, 1999	据沈保丰, 1976 <sup>②</sup>	据俞志杰, 1964 <sup>②</sup>

① 私人交流; ② 俞志杰, 1964. 湖北大冶铜绿山铜(铁)矿床地质特征(内部报告); 注: “—”为未测。

的重要找矿标志之一。

产于锰质夕卡岩中的角闪石类型主要决定于碳酸盐围岩的岩性。当围岩为灰岩或大理岩时, 一般均为锰质阳起石(图 3-6), 伴生矿物可能有锰质钙铝榴石、锰质钙铁辉石、钙蔷薇辉石等, 如江西焦里 Ag-Pb-Zn-W 矿床和福建马坑铁矿边缘的 Pb-Zn 矿体; 当围岩岩性为白云质大理岩时, 则主要是锰质透闪石(图 3-5)、锰直闪石和锰镁闪石(图 3-7), 局部也有少量锰质阳起石。伴生的夕卡岩矿物有锰质透辉

石、锰铝榴石、锰三斜辉石和蔷薇辉石等, 如辽宁八家子 Ag-Pb-Zn 矿床所见。

锰直闪石在单偏光下无色透明, 晶形为长柱状或针状, 平行消光。其成分特点是:  $\text{Si} = 8.041$ ,  $^{\text{VI}}\text{Al} = 0.015$ ,  $(\text{Ca} + \text{Na})_{\text{B}} = 0.168 (< 1.0)$ ,  $\text{Mn} = 1.342 (> 1.0)$ (表 2)。在 Leake 等(1997)关于斜方晶系角闪石的分类中, 直闪石被分为 4 个亚类, 即直闪石、铁直闪石、铝直闪石和铁铝直闪石, 而没有考虑锰直闪石。在其他有关角闪石的文献中, 也无锰含量如

此高的直闪石的报道。因此,笔者认为锰直闪石可能是一个直闪石的新变种。

锰镁闪石的镜下特征和锰直闪石相似,并可与锰直闪石共生,但与锰直闪石不同的是斜消光,属单斜晶系。消光角比一般的镁铁闪石大, $C \wedge Ng$  为  $26 \sim 30^\circ$ , 其成分特点(表 4)是:  $\text{Si}$  8.078~8.156,  $^{\text{VI}}\text{Al}$  = 0.002 和 0.009,  $(\text{Ca} + \text{Na})_{\text{B}}$  为 0.243~0.067 ( $< 1.0$ ),  $(\text{Mg}, \text{Mn}, \text{Fe})_{\text{B}}$  = 6.467 和 6.769, 其中  $\text{Mn}$  =

1.439 和 1.607。锰镁闪石在中国属首次发现。

在八家子夕卡岩 Ag-Pb-Zn 多金属矿床中,矿化夕卡岩分带十分明显,从东南部的石英二长闪长岩接触带到北西向断裂带方向的白云质大理岩中,矿化夕卡岩的类型依次是:磁铁矿化镁夕卡岩→黄铜矿化、磁黄铁矿化、磁铁矿化和黄铁矿化锰质镁夕卡岩→银铅锌矿化锰质夕卡岩。角闪石的类型也逐渐相应发生变化,依次为:透闪石→锰质透闪石→锰直

表 4 我国锰质夕卡岩中的代表性角闪石成分

Table 4 Representative compositions of amphiboles in manganian skarns of China

成分	1	2	3	4	5	6	7	8
	BH2-1	BH11-18	BH4-3	BP-1	BL4-4	380-17	380-5-3	M571-677
	辽宁八家子 Ag,Pb,Zn,Cu,S					江西焦里 Ag,Pb,Zn,W		福建马坑 Pb,Zn
	w(B)/%							
SiO <sub>2</sub>	56.77	53.18	56.11	56.35	54.47	53.56	52.74	50.55
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.07	0.00	0.01	0.05	0.03	0.04	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	1.69	0.01	0.05	0.71	0.66	1.00	0.76
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	0.55	—	—	0.66	—	—	5.37
FeO	5.97	3.07	10.22	10.72	6.00	16.09	17.08	9.25
MnO	11.19	4.60	11.69	13.23	4.83	6.05	7.16	8.00
MgO	22.22	20.84	17.48	18.15	17.38	11.29	10.83	12.55
CaO	0.85	10.46	1.39	0.35	12.66	10.52	9.30	9.18
Na <sub>2</sub> O	0.16	0.18	0.09	0.05	0.09	0.17	0.22	0.22
K <sub>2</sub> O	0.00	0.64	0.00	0.00	0.12	0.14	0.11	0.15
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	—	2.90	—	—	2.52	—	—	1.58
F	—	0.50	—	—	0.30	—	—	1.00
Cl	—	0.00	—	—	0.01	—	—	0.05
合计		98.68			99.80			98.67
-O=F,Cl		-0.21			-0.13			-0.43
总和	97.26	98.47	96.99	98.91	99.67	98.51	98.48	98.24
	原子系数							
氧原子数	23	24	23	23	24	23	23	24
Si	8.041	7.493	8.156	8.078	7.801	7.933	7.871	7.633
<sup>IV</sup> Al	0.000	0.272	0.000	0.000	0.012	0.067	0.129	0.134
ΣT	8.041	7.765	8.156	8.078	7.813	8.000	8.000	7.767
<sup>VI</sup> Al	0.015	0.000	0.002	0.009	0.000	0.048	0.047	0.000
Ti	0.001	0.008	0.000	0.001	0.005	0.003	0.004	0.001
Fe <sup>3+</sup>	—	0.057	—	—	0.070	—	—	0.610
Mg	4.690	4.375	3.786	3.877	3.710	2.492	2.409	2.824
Fe <sup>2+</sup>	0.707	0.419	1.242	1.285	0.718	1.993	2.132	1.168
Mn	1.342	0.548	1.439	1.607	0.586	0.759	0.905	1.009
Ca	0.129	1.578	0.217	0.053	1.942	1.670	1.487	1.485
Na	0.039	0.015	0.026	0.014	0.000	0.035	0.016	0.000
Σ(B+C)	6.923	7.000	6.172	6.846	7.031	7.000	7.000	7.097
Na	0.000	0.034	0.000	0.000	0.026	0.013	0.047	0.064
K	0.000	0.115	0.000	0.000	0.022	0.026	0.021	0.029
ΣA	0.000	0.149	0.000	0.000	0.048	0.039	0.068	0.093
OH	—	2.724	—	—	2.406	—	—	1.592
F	—	0.222	—	—	0.136	—	—	0.477
Cl	—	0.000	—	—	0.002	—	—	0.013
矿物名称	锰直闪石	锰质透闪石	锰镁闪石	锰镁闪石	锰质透闪石	锰质阳起石	锰质阳起石	氟-锰质阳起石
资料来源	本文	董永观,1986	本文	本文	董永观,1986	本文	本文	赵一鸣等,1983

注: “—” 为未测。

闪石→锰镁(铁)闪石,反映了从高温到中温热液演化的过程。

#### 4 碱质夕卡岩中的角闪石

碱质夕卡岩产于碱性正长岩类或碱性花岗岩类岩体和前寒武纪镁质大理岩的接触带,主要组成矿物有霓石、霓辉石、霞石、钾长石、钠长石、钠透闪石、

镁亚铁钠闪石、氟质镁铝钠闪石、氟质镁钠闪石和含铁金云母等。在与正长岩类有关的辽宁赛马矿床,伴生金属矿化为 U、Th、Nb 和稀土,而在与碱性花岗岩类有关的白云鄂博矿区,则为 Fe、REE 和 Nb。

上述钠质闪石均产于外接触带碱质夕卡岩中,呈长柱状或针状集合体产出。钠透闪石属钠-钙角闪石类(Sodic-calcic amphiboles),其成分特点(表5)

表 5 我国碱质夕卡岩中的代表性角闪石成分

Table 5 Representative compositions of amphiboles in alkaline skarns of China

成分	1	2	3	4	5	6	7	8
	Sa-21	134-1	Sa-26	Sa-27	B-55	BH-31	B2-233	BZ-19
	辽宁赛马 U,Th,REE				内蒙古白云鄂博 REE,Fe,Nb			
	w(B)/%							
SiO <sub>2</sub>	55.46	56.12	54.53	48.00	52.74	56.09	53.77	53.38
TiO <sub>2</sub>	0.53	1.01	0.58	1.34	0.92	0.02	0.06	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.38	1.18	2.43	2.00	1.02	0.15	0.53	0.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	8.78	5.66	71.24	5.12	—	—	—
FeO	6.26	5.56	4.37	8.06	5.54	14.26	19.77	30.62
MnO	1.60	1.77	1.50	2.34	2.50	0.57	0.51	0.19
MgO	19.04	9.73	13.12	7.41	17.09	16.09	12.00	6.28
CaO	5.59	2.62	3.61	4.27	3.76	0.36	1.43	0.26
Na <sub>2</sub> O	6.88	7.70	6.41	6.44	7.06	8.54	7.80	8.57
K <sub>2</sub> O	2.64	3.80	3.98	2.18	1.64	0.98	1.78	0.33
Li <sub>2</sub> O	—	—	0.11	0.25	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	—	0.62	1.22	2.27	1.20	—	—	—
F	—	—	1.82	1.58	0.73	—	—	—
			99.34	97.38	99.32			
—O=F			—0.76	—0.66	—0.31			
总和	98.38	98.89	98.58	96.72	99.01	97.06	97.65	99.75
	原子系数							
氧原子数	23	24	24	24	24	23	23	23
Si	7.888	8.213	7.925	7.328	7.719	8.156	8.046	8.134
<sup>IV</sup> Al	0.063	0.000	0.075	0.359	0.176	0.000	0.000	0.000
ΣT	7.951	8.213	8.000	7.687	7.895	8.156	8.046	8.134
<sup>VI</sup> Al	0.000	0.204	0.325	0.000	0.000	0.026	0.093	0.015
Ti	0.056	0.111	0.063	0.154	0.101	0.003	0.006	0.004
Fe <sup>3+</sup>	—	1.244	0.618	1.291	0.563	—	—	—
Mg	4.035	2.122	2.842	1.686	3.727	3.487	2.676	1.426
Fe <sup>2+</sup>	0.744	0.680	0.531	1.028	0.678	1.733	2.474	3.903
Mn	0.192	0.219	0.184	0.302	0.309	0.070	0.065	0.024
Ca	0.852	0.410	0.562	0.698	0.589	0.056	0.229	0.042
Na	1.121	2.010	1.806	1.841	1.033	1.625	1.457	1.586
Σ(B+C)	7.000	7.000	6.934	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
Na	0.776	0.175	0.000	0.065	0.970	0.781	0.805	0.947
K	0.478	0.709	0.714	0.424	0.306	0.182	0.340	0.064
ΣA	1.254	0.884	0.714	0.489	1.276	0.963	1.145	1.011
OH	—	0.605	1.182	2.312	1.171	—	—	—
F	—	—	0.836	0.762	0.306	—	—	—
矿物名称	钠透闪石	镁亚铁钠 闪石	氟—钾质 镁铝钠闪石	氟质镁钠 闪石	氟质钠透 闪石	镁亚铁钠 闪石	钠透闪石	亚铁钠闪石
资源来源	本文	陈肇博等, 1996	本文	本文	中国科学院地球化学研究所,1988			

注:“—”为未测。

是:  $\text{Si } 7.719 \sim 8.046$ ,  $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}} 0.805 \sim 1.254 (> 0.5)$ ,  $(\text{Ca} + \text{Na})_{\text{B}} 1.622 \sim 2.106 (> 1.0)$ ,  $0.50 < \text{Na}_{\text{B}} < 1.50$  为  $1.033 \sim 1.457$ ,  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) 0.520 \sim 0.919 (> 0.5)$ 。在单偏光下, 矿物为淡蓝绿色, 消光角  $C \wedge Ng = 24^\circ$ 。部分钠透闪石含氟较高,  $F = 0.306$  和  $1.171$ , 可进一步命名为氟质钠透闪石和氟钠透闪石。

镁亚铁钠闪石、亚铁钠闪石(图 3-8)、镁铝钠闪石和镁钠闪石均属钠角闪石类。它们的成分特点(表 5)是:  $\text{Si } 7.328 \sim 8.213$ ,  $\text{Na}_{\text{B}} 1.586 \sim 2.010 (> 1.50)$ ,  $(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}^{2+}) 3.016 \sim 5.353 (> 2.5)$ ,  $(\text{Mg} \text{ 或 } \text{Fe}^{2+}) > \text{Mn}^{2+}$ , 镁亚铁钠闪石、亚铁钠闪石和镁铝钠闪石的  $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}}$  为  $0.714 \sim 1.011 (> 0.5)$ , 而镁钠闪石的  $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}} = 0.489 (< 0.5)$ 。上述钠质闪石和钠透闪石在光性上的不同点是消光角不同, 其中镁钠闪石  $C \wedge Np$  为  $25 \sim 28^\circ$ , 镁铝钠闪石  $C \wedge Np$  为  $31 \sim 36^\circ$ , 而镁亚铁钠闪石的  $C \wedge Np$  则为  $10 \sim 20^\circ$ 。

## 5 讨论和结论

### 5.1 围岩对夕卡岩中角闪石成分的影响

形成夕卡岩的围岩包括侵入岩和碳酸盐岩。它们不但决定了夕卡岩的类型, 而且也对角闪石的成分有明显的影响。

在以钙质碳酸盐岩(灰岩或大理岩)为围岩的钙夕卡岩中, 当流体交代辉绿-辉长岩、辉绿-闪长岩、安山岩、内夕卡岩或变凝灰质粉砂岩(角页岩)时, 可能形成绿钙闪石、镁绿钙闪石、铁角闪石、铁镁钙闪石和铁韭闪石等高铝的角闪石, 如新疆磁海, 福建马坑、挂山、阳山, 湖北铁山, 云南个旧, 湖南柿竹园和内蒙古浩布高、黄岗等矿区所见。众所周知, 铝在夕卡岩形成过程中属惰性元素, 一般不易在流体中迁移, 因此, 上述角闪石中的铝主要是从其被交代的中基性侵入岩、内夕卡岩或富铝的角页岩围岩中就地取材的。Shimazaki (1982) 通过对日本 Sasano 夕卡岩铜矿床中绿钙闪石的研究, 曾指出 Sasano 夕卡岩及产于其中的绿钙闪石的形成与铝质沉积岩围岩有关, 而钙和铁则主要由热液提供。

产于外接触带钙夕卡岩中的角闪石主要为阳起石或铁阳起石, 而在以白云岩类为围岩的镁夕卡岩中则多为透闪石, 局部有韭闪石或浅闪石。产于锰质夕卡岩中的角闪石, 可能有锰质阳起石、锰质透闪

石、锰直闪石、锰镁闪石等, 其中锰质阳起石仅产于以灰岩(或大理岩)为围岩的锰质夕卡岩中, 而其他锰质角闪石则产于以白云岩(或白云质大理岩)为围岩的锰质夕卡岩内, 反映了钙质碳酸盐围岩和镁质碳酸盐围岩所形成的锰质闪石类型的差别。

当侵入岩为正长岩类或碱性花岗岩类时, 形成碱质夕卡岩, 产于其中的碱性角闪石均富含 Na 和 K, 特别是 Na, 属钠-钙角闪石类或钠角闪石类。显然, Na 和 K 主要来源于与碱性岩、碱性花岗岩类侵入岩有关的热流体或碱性岩类本身。

角闪石中的氟、氯等挥发组分含量的高低, 可能主要与侵入岩的类型有关。交代辉绿-辉长岩和辉绿闪长岩类及其内夕卡岩的角闪石一般含氯较高, 形成氯质绿钙闪石或氯质铁角闪石, 其中氯的含量( $w_{\text{Cl}}$ )可达  $0.65\% \sim 2.25\%$ (表 2)。与花岗岩类、碱性岩类和碱性花岗岩类有关的夕卡岩中的角闪石大多富含氟,  $w_{\text{F}}$  可达  $0.26\% \sim 2.5\%$ (表 2)。

### 5.2 角闪石类型与夕卡岩类型之间的关系

从前述可以清楚地看到, 每类夕卡岩都伴生特定的角闪石组合: 钙夕卡岩中大多为钙角闪石, 可能有绿钙闪石、氯质绿钙闪石、铁角闪石、氯质铁角闪石、镁绿钙闪石、铁浅闪石、氟质铁浅闪石、阳起石、铁阳起石、硼铁镁钙闪石、氟质铁镁钙闪石和铁韭闪石, 个别矿区还有铁闪石。镁夕卡岩中的角闪石亦属钙角闪石, 但主要为透闪石, 部分矿区有韭闪石, 个别矿区还有浅闪石。锰质夕卡岩中的角闪石可能有锰质阳起石、锰质透闪石、锰直闪石和锰镁闪石, 碱质夕卡岩中的角闪石则大部分属钠角闪石, 包括亚铁钠闪石、镁亚铁钠闪石、氟质镁钠闪石和氟镁铝钠闪石, 部分则属钠-钙角闪石类, 为钠透闪石和氟钠透闪石。

### 5.3 夕卡岩中角闪石类型与伴生金属矿化的关系

角闪石类型不仅与其产出的夕卡岩类型有关, 而且也与伴生的金属矿化关系密切。从表 1 和表 2 可以清楚地看出, 产于钙夕卡岩和镁夕卡岩中的钙质闪石类可能伴生 Fe、Cu、W、Sn、Mo、Bi、Au、B 等矿化; 锰质夕卡岩中的角闪石仅伴生 Pb、Zn 或 Ag-Pb-Zn 矿化, 而碱质夕卡岩则可能伴生 U、Th、REE、Nb 矿化(赛马)和 Fe、REE、Nb 矿化(白云鄂博)。因此, 夕卡岩及产于其中的角闪石类型, 是判别夕卡岩含矿性的重要标志之一。

致 谢 本文和赵一鸣等(1980; 1983; 1992;

1997;1999)所提供的角闪石化学分析资料的分析者为国家地质测试中心刘兰芬、谢秀英等同志和原中国地质科学院宜昌地质矿产研究所,电子探针分析主要由中国地质科学院矿产资源研究所王文瑛研究员和余静同志协助完成。显微照片摄影由沙俊生同志协助完成。表2中还引用了沈保丰研究员、李鹤年教授和俞志杰研究员的内部资源或内部研究报告的资料。在此,笔者对上述同志的大力支持和辛勤劳动表示衷心的感谢。

## References

- Chen Z B, Fan J, Guo Z T, et al. 1996. Saima alkaline rocks and relevant metallogenesis[M]. Beijing: Atomic Energy Press. 1~305(in Chinese).
- Deer W A, Howie R A and Zussman J. 1997. Rock-forming minerals. Volume 2B. Double-chain silicates[M]. 2nd ed. London: Geological Society of London. 1~764.
- Dick L A and Robinson G W. 1979. Chlorine-bearing potassium hastingsite from a sphalerite skarn in south Yukon[J]. Can. Min., 17: 25~26.
- Dong Y G. 1986. Characteristics of alteration and mineralization zoning in the Bajiazi skarn lead-zinc deposit[J]. Mineral Deposits, 5(4): 83~93(in Chinese with English abstract).
- Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. 1974. Mineralogical composition of endogenic boron deposits in the northeastern China and metallogeny study[M]. Beijing: Science Press. 1~218(in Chinese).
- Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. 1988. Geochemistry of the Baiyun-Obo deposit[M]. Beijing: Science Press. 1~550(in Chinese).
- Krutov G A. 1936. Dashkesanite—a new chlorine amphibole of the hastingsite group[J]. Bull. Acad. Sci. USSR, (2~3): 341~374.
- Leake B E, Woolley A R, Arps C E S, et al. 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names[J]. Canad. Mineral., 35: 219~246.
- Li Z C and Tang S X. 1990. Geological characteristics of the Jiaoli Ag-polymetallic deposit, Shangyou, China[J]. Jiangxi Geology, 4(4): 357~369(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li H Y, Song X X, et al. 1998. Geology and geochemistry of the Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi-polymetallic deposit, Hunan, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~215(in Chinese).
- Sheng J F. 1985. Mineralization and alteration of the Cihai iron deposit[M]. Bulletin of the Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, (3). Beijing: Geol. Pub. House. 89~107(in Chinese).
- Shimazaki H. 1982. The Sasano hastingsite-bearing copper skarn deposit formed in aluminous sediment, at the Yoshioka mine Japan[J]. Econ. Geol., 77: 868~876.
- Zhao Y M, Tan H J, Yuan R G, et al. 1980. Discovery of the Cl-bearing amphibole in the iron skarn deposits of southwestern Fujian, and its geological significance[J]. Geol. Rev., 26(4): 300~306(in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M, Tan H J, Xu Z N, et al. 1983. The calcic skarn iron ore deposits of Makeng type in southwestern Fujian[M]. Bulletin of the Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences. Beijing: Geol. Pub. House. 1~141(in Chinese).
- Zhao Y M, Lin W W, Bi C S, et al. 1990. skarn deposits of China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~354(in Chinese with English summary).
- Zhao Y M. 1991. Manganoan skarn formation[A]. In: "Skarn—their genesis and metallogeny[C]. Athens: Theophrastus Publications, S A. 165~180.
- Zhao Y M, Lin W W, Zhang D Q, et al. 1992. Metasomatic mineralization and its ore-searching significance—study of some ore-bearing metasomatic formations[M]. Beijing: Beijing Sci. & Techn. Pub. House. 1~156(in Chinese).
- Zhao Y M, Zhang D Q and others. 1997. Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions[M]. Beijing: Seismological Press. 1~318(in Chinese).
- Zhao Y M, Zhang Y N and Bi C S. 1999. The metallogenic geological setting, zonation, and fluid evolution of the Au(Cu, Fe)magnesian skarn deposits in the Sanpu area, Anhui Province[J]. Mineral Deposits, 18(1): 1~10(in Chinese with English abstract).
- Zhen Y Q, Lin F, Wang Z Y, et al. 1975. Skarn iron mineralization characteristics and exploration forecast of the Erfengshan deposit, Shanxi Province[A]. In: Special Issue of Iron and Copper Resources, 4[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 28~49(in Chinese).
- Павлов Д. Н. 1964. Анзасское магнетитовое месторождение и участие хлора в его формирование[M]. Издат. "Наука", М. 1~128.

## 附中文参考文献

- 陈肇博, 范军, 郭智添, 等. 1996. 赛马碱性岩与成矿作用[M]. 北京: 原子能出版社. 1~305.
- 董永观. 1986. 八家子夕卡岩铅锌矿矿化蚀变分带特征[J]. 矿床地质, 5(4): 83~93.
- 李赞春, 唐尚喜. 1990. 上犹焦里银多金属矿床地质特征[J]. 江西地质, 4(4): 357~369.
- 毛景文, 李红艳, 宋学信, 等. 1998. 湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿床地质与地球化学[M]. 北京: 地质出版社. 1~215.
- 盛继福. 1985. 新疆磁海铁矿蚀变特征[M]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 第3号. 北京: 地质出版社. 89~107.
- 赵一鸣, 谭惠静, 袁润广, 等. 1980. 含氯角闪石在闽西南夕卡岩铁矿床中的发现及其地质意义[J]. 地质论评, 26(4): 300~306.
- 赵一鸣, 谭惠静, 许振南, 等. 1983. 闽西南地区马坑式钙夕卡岩型铁矿床[M]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊(专辑). 北京: 地质出版社. 1~141.

- 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 等. 1990. 中国夕卡岩矿床[M]. 北京: 地质出版社. 1~354.
- 赵一鸣, 林文蔚, 张德全, 等. 1992. 交代成矿作用及其找矿意义——几个重要含矿交代建造的研究[M]. 北京: 北京科学技术出版社. 1~156.
- 赵一鸣, 张德全, 等. 1997. 大兴安岭及邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价[M]. 北京: 地震出版社. 1~318.
- 赵一鸣, 张铁男, 毕承思, 等. 1999. 安徽淮北三铺地区镁夕卡岩金(铜、铁)矿床生成地质环境、分带和流体演化[J]. 矿床地质, 18

(1): 1~10.

- 真允庆, 林 枫, 王振玉, 等. 1975. 山西二峰山夕卡岩铁矿矿化特征及其找矿预测[A]. 铁铜矿产专辑, 第 4 集[C]. 北京: 地质出版社. 28~49.
- 中国科学院地球化学研究所. 1974. 东北内生硼矿床的矿物组成和矿床成因研究[M]. 北京: 科学出版社. 1~218.
- 中国科学院地球化学研究所. 1988. 白云鄂博矿床地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 1~550.

## Amphiboles in Skarn Deposits of China

Zhao Yiming and Li Daxin

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

### Abstract

Based on 130 analyses of amphiboles from 21 skarn deposits in China, the authors have studied their types, optical properties, composition characteristics, and parageneses. Different skarn types have different definite amphibole varieties and associated mineralizations: amphiboles in calcic skarns mostly belong to calcic amphiboles such as hastingsite, chlorian hastingsite, potassian hastingsite, potassic hastingsite, magnesiohastingsite, ferrohornblende, chlorian ferrohornblende, fluorian ferrotschermakite, ferro-edenite, actinolite, and potassian ferropargasite. The associated mineralizations may have such components as Fe, Cu, Au, Sn, Mo and B. Amphiboles in magnesian skarns are mainly tremolite and locally edenite and pargasite associated with Fe, Cu, Au, Sn, Mo, B mineralizations. In manganoan skarns, amphiboles may have manganoan actinolite, manganoan tremolite, mangano-anthophyllite, and manganocummingtonite associated with Pb-Zn-Ag mineralization. Amphiboles in alkaline skarns are of sodic-calcic and sodic types and consist of richterite, fluororichterite (fluorian richterite), arfvedsonite, magnesio-arfvedsonite, potassic magnesio-arfvedsonite, fluorian magnesioriebeckite and fluorian-potassic eckermannite associated with U, Th, REE, Fe, Nb mineralizations. The compositions of carbonate wall rocks and related intrusions must have played important roles in determining types and compositions of amphiboles as well as their associated mineralizations.

**Key words:** mineralogy, amphibole types, composition characteristics, skarn deposits, China