

中国地质科学院

天津地质矿产研究所所刊

第 16 号

地质出版社

J
251.11
362

中 国 地 质 科 学 院

天津地质矿产研究所所刊

第 16 号

地 质 出 版 社

目 录

河南舞阳赵案庄铁矿的成因探讨.....	蒋永年、陈勇华 (1)
内蒙古白乃庙群和温都尔庙群宇宙尘表面形态及结构的扫描电镜研究	李增慧、赵燕玲 (65)
鄂东北前寒武纪地层地质年代学研究.....	陶 铨、董济时、袁晓儒、管俊龙 (75)
蓟县大红峪组火山-沉积岩系的基本特征	任富根 (91)
蓟县长城纪火山-侵入岩浆活动问题	任富根 (109)
贵州普安沙子塘组珊瑚化石新资料兼论石炭系-二叠系的界线	丁蕴杰 (123)
蓟县下马岭组的管状藻类化石.....	阎玉忠 (165)
五台山早前寒武纪地质.....	白 瑾 (171)

中国地质科学院
天津地质矿产研究所所刊
第 16 号

责任编辑：汪玉麟、薛淑芸
地质出版社出版
(北京西四)
地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：11³/₈ 插页3 字数：304,000
1987年7月北京第一版·1987年7月北京第一次印刷
印数：1—2400 国内定价：3.45 元
统一书号：13038·新369

河南舞阳赵案庄铁矿的成因探讨

A DISCUSSION ON THE GENESIS OF ZAOANZHUANG IRON ORE DEPOSIT IN WUYANG COUNTY, HENAN PROVINCE

蒋永年 陈勇华

摘要 赵案庄铁矿位于河南舞阳八台。由于矿体埋藏深, 矿物组成复杂, 有关它的成因问题, 至今仍在探讨中。

该铁矿产于变质超基性岩中, 岩体的围岩是晚太古中基性变质岩。它们均遭受区域变质作用。此外, 矿体及其围岩还经历了蛇纹石化作用。

根据综合研究所取得的成因信息, 我们认为: (1) 橄榄石、辉石、角闪石、石榴石、金云母、磷灰石、磁铁矿等均属正变质矿物, 碳酸盐是正变质矿物——钙辉石和钙闪石的蚀变矿物, 矿体中不存在大理岩, 这就排除了沉积变质和接触交代成矿的可能性。(2) 矿体围岩是富含挥发分的铁质超基性岩, 系玄武岩浆分异的产物。(3) 原生矿石类型主要是蛇纹石化橄榄磁铁矿、辉石磁铁矿、角闪石磁铁矿以及它们的过渡类型。因此, 赵案庄铁矿系与超基性岩有关的岩浆矿床, 以后经历了热液交代作用、区域变质作用和蛇纹石化作用, 使矿床中的物质成分复杂化。

一、前言

赵案庄铁矿产于河南舞阳八台一带的蛇纹岩中, 为矿物成分复杂的富铁矿盲矿体。1976年以来, 先后有河南冶金四队、河南冶金勘探公司、湖北地质研究所、西北大学地质系等单位来此进行勘探、科研工作, 曾提出勘探报告和科研论文多份, 各家对矿床成因的认识很不一致。作者认为查明矿床的成因类型是至关重要的, 因为它涉及到这种特殊富铁矿类型的找矿方向。本文试图探讨这一问题。

众所周知, 矿物是成因信息的载体, 它记录了矿体和岩体形成的全过程。通过成因矿物学的研究, 辅以其它学科, 有可能解决矿床的成因问题。作者于1983年7月去赵案庄铁矿区踏勘, 并采集了一些样品。本文就是在前人工作的基础上, 分析研究所取得的资料完成的。但由于矿体、岩体埋藏深, 不能直接观察它们的形态、产状, 加之岩心大多散失, 无论在研究深度上还是广度上都受到限制。

二、矿区地质概况

如前所述, 我们掌握的岩心资料较少。为了讨论问题的需要, 这里仅根据河南冶金四队的研究成果⁽¹⁾概述如下(图1):

(一) 地层和岩石

本矿区位于秦岭东西复杂构造带上, 含矿地层和岩石属上太古太华群赵案庄组。兹自上而下简述如下:

1. 震旦系

2. 上太古太华群

(1) 杨树湾组 主要岩性为石墨更长片麻岩、更长角闪片麻岩和条带状混合岩。厚度>960m。与上覆震旦系为不整合接触, 与下伏铁山庙组接触关系不明。分布于矿区西南部。

(2) 铁山庙组 主要岩性如下:

条带状混合岩, >500m。

石英辉石磁铁矿夹白云质大理岩、次透辉石岩(D矿组), 厚114m。

条带状混合岩, >200m。

铁铝榴角闪片麻岩夹60—120m蛇纹岩, 厚度>500m。

条带状混合岩, >100m。

铁铝榴角闪片麻岩, 60m。

蛇纹石化白云质大理岩, 51m。

石英辉石磁铁矿、次透辉石岩与白云质大理岩互层(C矿组), 108m。

白粒岩、条带状混合岩夹白云质大理岩、角闪片麻岩薄层, >460m。

与下伏地层为断层接触。

(3) 赵案庄组

条带状混合岩, >500m。

透辉更长片麻岩, 厚56.2m

磷灰石蛇纹石磁铁矿夹磁铁蛇纹岩、古铜辉石岩、角闪岩(B矿组), 厚57m。

更长角闪片麻岩, 厚38.9m。

铁铝榴金云更长片麻岩夹薄层白云质大理岩、混合花岗岩, 厚106—365m。

透辉更长片麻岩, 厚25—100m。

磷灰石蛇纹石磁铁矿夹磁铁蛇纹岩、角闪岩(A矿组), 厚>100m。

与下伏地层为断层接触。

(二) 褶皱和断裂

矿区范围内有三个背斜和两个向斜。

1. 王道行背斜 为北陡南缓的不对称背斜, 轴向近东西, 至西段转向南西。

2. 曾庄向斜 位于王道行矿和赵案庄矿之间, 轴向近东西。

3. 赵案庄背斜 位于赵案庄矿之北, 轴向近东西, 西部略偏北西, 东部略偏南东。

4. 虎狼洼向斜 位于赵案庄矿中部, 平缓, 轴向近东西。

5. 老柴庄背斜 位于赵案庄矿南部边缘, 轴向近东西。

断层可分盖层断层和基底断层。盖层断层有近东西向和近南北向两组。前者较早, 且规模较大, 为大型的逆掩断层和逆断层, 导致太华群超覆出露。后者较晚, 横断前者。基

底断层只在详勘区有所发现。在矿床与矿床之间以及地层接触的关键部位,多有断层存在,但断层的性质不明。此外,钻孔深部往往发现破碎带。无疑,以上断裂破坏岩体和矿体,并对后期蚀变起着重要作用。

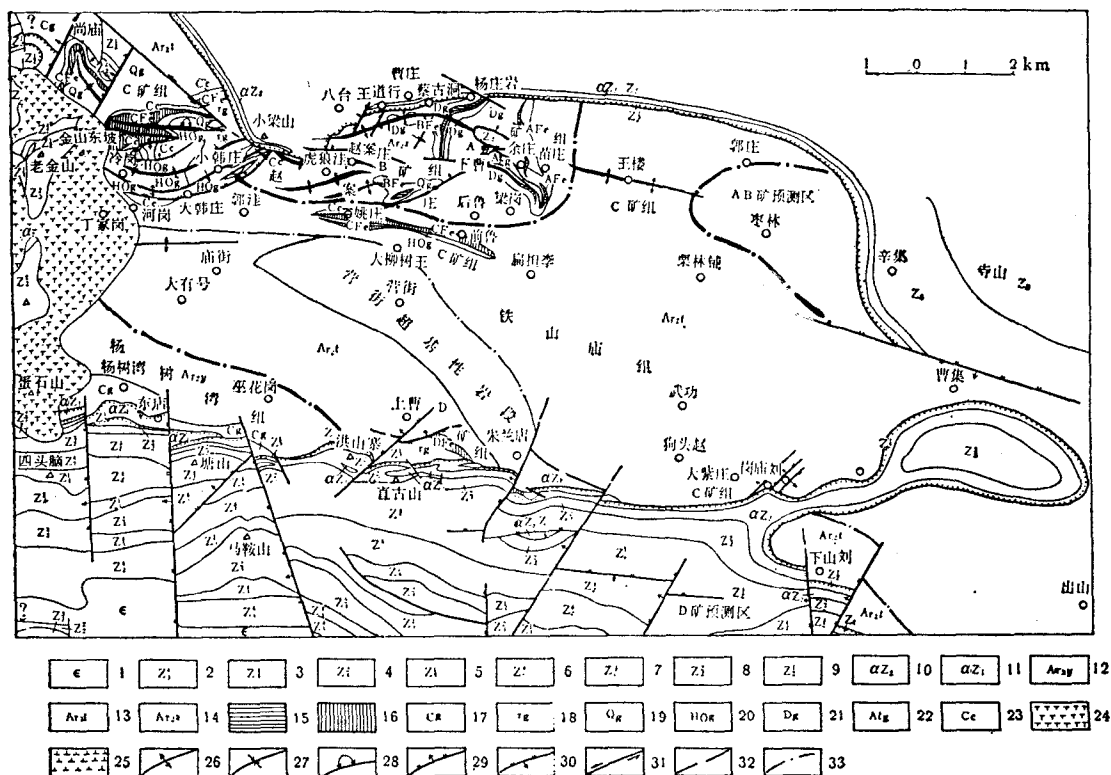


图1 舞阳铁矿区基岩地质略图

(据河南冶金地质四队,1978)

Fig. 1 Geologic schematic map of basement of Wuyang Iron Ore district (after Team 4, Henan Exploration Corporation of Metallurgy and Geology)

1—寒武系页岩、灰岩;震旦系;2—石英岩及砾状石英岩;3—砂质灰岩及页岩;4—细至中粒石英岩;5—页岩及砂岩;6—石英砂岩及白云岩;7—石英岩及页岩;8—石英岩页岩互层;9—底砾岩、磁铁矿;10—云梦山组安山玢岩;11—熊耳群安山玢岩;上太古界;12—杨树湾组;13—铁山庙组;14—赵案庄组;15—磷灰石蛇纹磁铁矿(AFe, BFe);16—石英辉石磁铁矿(CFe, DFe);17—石墨更长片麻岩;18—条带状混合岩;19—白粒岩;20—角闪片麻岩;21—透辉更长片麻岩;22—铁铝榴角闪更长片麻岩;23—白云质大理岩;岩浆岩;24—正长岩;25—闪长岩;构造:26—背斜轴;27—向斜轴;28—倒转向斜;29—正断层;30—逆断层;31—平推断层;32—岩段界线;33—岩组界线

三、主要矿物的基本特征

本矿区矿体和岩体的矿物组成复杂,经前人研究,共鉴定出96种矿物种和亚种^①。本文侧重矿体成因类型的探讨,仅涉及29种矿物种和亚种。它们的基本特征如下:

① 湖北地质研究所二室舞阳铁矿区,1974年资料。

(一) 磁铁矿

磁铁矿是本矿床的主要金属矿物,前人曾做了比较详细的研究工作,定出磁铁矿、钛磁铁矿等矿物。本文7个样品的测试结果, TiO_2 含量均低,定为磁铁矿。

1. 形态和产状 镜下观察磁铁矿有两种形态:(1)呈较粗的粒状、粒状集合体。但也有自形的,常见正方形、长方形、三角形切面。晶体中常有辉石等包体。这种磁铁矿多分布于橄榄石(蛇纹石化)、古铜辉石、磷灰石颗粒之间。由于矿体和岩体蛇纹石化的关系,它们多与蛇纹石、碳酸盐等矿物伴生。(2)呈细粒状或尘埃状,它们是原生硅酸盐矿物蚀变(如蛇纹石化)的析出物。由贵橄榄石蚀变析出的铁质多分布在晶体的边缘,构成网格状(图版I-1)、云雾状。辉石和闪石蚀变形成的磁铁矿除了分布于原矿物的周边外,还沿解理分布。从上述磁铁矿的形态和分布来看,前者为岩浆成因,而后者是岩浆矿物蚀变的产物。它们的形成似乎不宜用沉积变质或接触交代作用来解释。

磁铁矿的产状见表1。

2. 化学成分特点和成因意义 7个磁铁矿的化学成分和计算的离子数见表1。 Fe_2O_3 在66.82—73.87%, FeO 在23.01—31.82%。个别样品的 FeO 含量较低和 Fe_2O_3 含量较高,这是受氧化作用的结果。其它组份如 TiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、 V_2O_5 等均有一定的含量。尽管样品中不可避免地混有微量杂质(指分选的样品),但相对来说,本文磁铁矿的化学成分中类质同象置换还是比较复杂的,它们反映成因信息。据前人研究,岩浆矿床中的磁铁矿含 TiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 、 V_2O_5 、 NiO 较多,矽卡岩型磁铁矿除了 MgO 、 Al_2O_3 外, TiO_2 、 V_2O_5 、 NiO 较低,沉积变质成因的磁铁矿中的上述组份更低^[5]。本矿区磁铁矿的上述组份都远远高于沉积变质磁铁矿的相应含量(表2),显然它们不是沉积变质成因。如与岩浆型磁铁矿比较,上述元素又过于偏低,例如 V_2O_5 和 MgO 的含量低,仅属于岩浆型磁铁矿的含量范围或含量范围的下限,而 TiO_2 则明显低于岩浆型磁铁矿的含量范围。考其原因,我们认为以下两点是值得注意的。

(1) 前面已经提到,磁铁矿除原生者外,还有部分是次生的,即矿石中硅酸盐矿物蛇纹石化析出的产物。这部分磁铁矿的 TiO_2 含量低。本文部分样品是用磁选法从矿石中分选的,其中混有一部分次生磁铁矿,影响了样品的 TiO_2 含量。

(2) 据湖北地研所舞阳铁矿组的资料(1974),赵案庄铁矿的矿石矿物主要是钛磁铁矿,这种钛磁铁矿在变质过程中往往遭到分解。例如在讨论矿石变质现象时就是这样论述的:“由于变质影响,常使钛磁铁矿中板状、叶片状钛铁矿片晶一端变大,一端尖灭,有时变大的一端已部分伸出钛磁铁矿颗粒之外,进一步变质,就把这种钛铁矿片晶排除磁铁矿颗粒之外,重结晶形成细粒钛铁矿”。这说明本文样品为什么钛含量如此偏低,仅属于一般磁铁矿中的钛含量范围,同时磁铁矿石中 TiO_2 含量远远高于磁铁矿中的 TiO_2 含量(表32)的矛盾也可以得到解释。因为矿石中除了磁铁矿外,还混杂着从钛磁铁矿中分解出来的钛铁矿。

根据以上分析,并结合磁铁矿的形态、产状、矿物组合以及标志组份 $\text{NiO} > \text{CoO}$ 等特点,我们认为本矿区的磁铁矿应属于与超基性岩有关的岩浆作用的产物。

表 1 磁铁矿化学成分
Table 1 Chemical compositions of magnetites (wt%)

Table 1 Chemical compositions of ...

序号 组 份 样 号	1		2		3		4		5		6		7		产出岩 (矿) 石
	83CZ-7		83B-118M		83B-119M		83CZ-6		83B-116M		83BZ-119-1M		83BZ-187M		
SiO ₂	0.85		0.62		1.04	0.66	0.28		0.00		0.73		0.18		1. 蛇纹石磁铁矿
TiO ₂	0.49	0.50	0.15	0.15	0.64	0.66	0.34	0.36	0.18	0.19	0.68	0.736	0.13	0.14	矿石
Al ₂ O ₃	1.44	1.47	0.58	0.59	1.05	1.08	1.30	1.38	0.08	0.086	0.34	0.37	0.26	0.28	2. 蛇纹方解磁
V ₂ O ₅	0.078	0.08	0.093	0.094	0.244	0.25	0.25	0.265	0.25	0.268	0.029	0.031	0.46	0.50	铁矿石
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.025	0.026	0.09	0.096	0.23	0.247	0.10	0.108	0.08	0.086	3. 蛇纹石磁铁矿
Fe ₂ O ₃	66.89	68.12	68.11	69.03	66.05	67.72	90.68*	96.26	90.84*	97.56	90.35*	97.75	90.72*	98.07	4. 含磷灰石蛇
FeO	27.41	27.91	27.84	28.22	28.52	29.24	0.28	0.30	0.08	0.086	0.31	0.34	0.09	0.097	纹石磁铁矿
MnO	0.17	0.17	0.29	0.29	0.17	0.17	1.27	1.04	1.38	1.48	1.25	0.53	0.95	0.82	5. 蛇纹石磁铁矿
MgO	2.19	1.33	1.60	0.96	1.68	0.62	0.05	0.053	0.025	0.027	0.025	0.027	0.01	0.01	6. 磁铁矿纹岩
CaO	0.0076	0.0077	0.01	0.01	0.0088	0.009	0.23	0.244	0.05	0.054	0.11	0.12	0.00		7. 蛇纹石磁铁矿
NiO	0.031	0.032	0.019	0.019	0.023	0.024									矿石
CaO	0.37	0.38	0.61	0.62	0.21	0.22									
Na ₂ O	0.03		0.04		0.02										
K ₂ O	0.01		0.01		0.01										
H ₂ O ⁺	0.72		0.38		0.58										
总 和	100.687	100.00	100.352	99.983	100.27	100.019	94.77	99.998	93.115	99.998	93.924	100.012	92.88	100.003	
Ti	0.0143		0.0043		0.0189		0.0096		0.0051		0.0197		0.0039		
Al	0.0651		0.0265		0.0483		0.0574		0.0034		0.0154		0.0116		
V	0.0018		0.0023		0.0064		0.0064		0.0064		0.0009		0.0116		
Cr					0.0009		0.0026		0.0068		0.0030		0.0026		
Fe ³⁺	1.9294		1.9730		1.9305		1.9014		1.9604		1.9395		1.9430		
Fe ²⁺	0.8785		0.8965		0.9265		0.9480		0.9341		0.9777		0.9807		
Mn	0.0054		0.0094		0.0055		0.0089		0.0026		0.0103		0.0030		
Mg	0.0746		0.0543		0.0351		0.0549		0.0782		0.0281		0.0435		
Co	0.0002		0.0002		0.0002				0.0009		0.0009		0.0002		
Ni	0.0009		0.0007		0.0007		0.0015		0.0021		0.0045				
Ca	0.0154		0.0253		0.0089		0.0094								

*FeO为全铁 磁铁矿的主要伴生矿物是蛇纹石, 化学分析中的SiO₂和部分MgO应为蛇纹石的组份。这里是把这部分组份扣除后计算的。
No.1-3系天津地矿所岩矿测试室分析, 4-7系桂林中国有色金属总公司矿产地质研究所岩矿分析。

表 2 磁铁矿的标型组份与成因的关系
Table 2 The relations between the guide elements and genesis of magnetites

成因类型	TiO ₂	V ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	Cr ₂ O ₃	NiO	CoO
岩浆型	1	$\frac{3.55-21.72}{10.22}$	0.05-0.78	0.11-1.57	0.38-7.32			
	2	5.95(18)	0.73(18)	0.22(18)	1.82(18)			
接触交代型	1	$\frac{0.07-0.4}{0.183}$	0.05	0.095-2.15	0.35-11.51			
	2	0.22(98)	0.03(84)	0.28(96)	0.59(100)			
热液型	1	$\frac{0.107-0.88}{0.334}$	0.3-0.60	0.06-0.227	1.29-13.24			
	2	0.15(7)		0.21(7)	4.52(7)			
沉积变质型	1	$\frac{0-1.2}{0.0887}$	0-0.04	0.017-0.14	0.19-0.55			
	2	0.09(38)	0.013(25)	0.04(37)	0.22(45)			
赵家庄型	89CZ-7	0.50	0.08	0.17	1.33	0.000	0.032	0.0076
	83B-118M	0.15	0.094	0.29	0.96	0.000	0.019	0.01
	83B-119M	0.66	0.25	0.17	0.82	0.026	0.024	0.009
	89CZ-6	0.36	0.265	0.30	1.04	0.096	0.053	
	83B-116M	0.19	0.268	0.086	1.48	0.247	0.027	
	83BZ-119-1M	0.736	0.031	0.34	0.53	0.108	0.027	
	83BZ-187M	0.14	0.50	0.097	0.82	0.086	0.010	
		0.39	0.213	0.21	0.37	0.000	0.027	0.009
平均								

1. 据徐国凤(1977, 1979), 2. 据王文斌(1980), 转引自陈光远等, 1984⁽³⁾

(二) 绿尖晶石

绿尖晶石的数量较少, 为超基性岩中的副矿物, 与金云母、贵橄榄石、斜硅镁石、顽火辉石或古铜辉石等矿物共生。本文的一个样品经电子探针测试, 其化学成分与前人确定的镁铁尖晶石类似, 也与苏联乌拉尔希斯基姆斯克(Shiskimsk)的绿尖晶石类似, 故定为绿尖晶石。

1. 形态和物性概述 细粒状, 镜下才能见及。自形, 断面为三角形, 但也有呈不规则粒状的。镜下呈草绿、深绿色, 高突起, 均质体。

2. 化学成分特点 一个绿尖晶石(83B-122M)的电子探针分析(桂林中国有色金属总公司矿产地质研究院郑巧荣分析)与计算的晶体化学式如下:

TiO₂ 0.05, Al₂O₃ 59.41, Cr₂O₃ 0.04, FeO 16.36

MnO 0.05, NiO 0.076, ZnO 0.137, MgO 24.10

CaO 0.04, Na₂O 0.02, K₂O 0.00, 总和100.83

(Mg_{0.8979} Fe²⁺_{0.0952} Zn_{0.0026} Ni_{0.0015} Mn_{0.0011} Ca_{0.0011}

Na_{0.0009})_{1.0003} (Al_{1.7511} Fe³⁺_{0.2469} Cr_{0.0009} Ti_{0.0009})_{1.9998} O_{4.0000}

与尖晶石的理论化学式比较, Mg被少量的Fe²⁺及微量的Zn、Ni、Mn、Ca、Na代替, Al³⁺被Fe³⁺、Cr³⁺、Ti置换, 其中以Fe³⁺的置换量为最多。

在微量元素方面, 含Cr₂O₃ 0.04%, 从产出岩石——变质超基性岩来说, Cr₂O₃的含量偏低, 此与本矿区的变质超基性岩的成分特点有关。

3. 成因 绿尖晶石产于蛇纹石化斜硅镁石橄榄顽火辉石岩中。就其形成条件来说, 除了高温、原岩低硅外, 氧化还原电位也是比较高的。

(三) 贵橄榄石

贵橄榄石产于本矿区超基性变质岩(如磁铁蛇纹岩、蛇纹石化斜硅镁石橄榄顽火辉石岩、蛇纹石化金云橄榄角闪古铜辉石岩)和蛇纹石磁铁矿石中。因岩石遭受强烈蚀变(主要是蛇纹石化), 只能见到残留体或蚀变后的遗迹。例如83BZ-119-1M磁铁蛇纹岩, 除了少量磁铁矿外, 几乎全为蛇纹石(按橄榄石成假象)。贵橄榄石的晶体遗迹非常清楚, 即粉尘状磁铁矿沿晶体边缘(有的也沿裂隙)分布, 显示了完整的贵橄榄石晶体轮廓(图版I, 1—2)。但也有的贵橄榄石蛇纹石化未彻底, 残留部分被包于蛇纹石中(图版I—3)。本文两个贵橄榄石就是这种残留部分, 产状见表3。

1. 形态和物性概述 贵橄榄石呈短柱状(多已成假象)、不规则粒状或浑圆状残留体。淡草绿色, 解理不发育。裂隙明显。

镜下无色, 不显多色性, 高突起, 二级干涉色, 平行消光。

2. 化学成分特点 两个贵橄榄石的电子探针分析结果及按阳离子法计算的离子数列于表3中。从表3可以看出, 两个贵橄榄石富镁、贫硅。虽然Mg、Fe²⁺可以类质同象方式完全取代, 但Fe²⁺的含量却较低。此外, Fe³⁺/TF_{Fe}在0.5—0.77, 推测部分Fe³⁺可能因Si、Al不足而进入硅氧四面体中。所有这些特点都是原岩成分和成矿条件决定的。

3. 成因及意义 从化学成分来看, 本文两个贵橄榄石的F₀分别为85.05%和88.43%,

表 3 贵橄榄石的化学成分
Table 3 Chemical compositions of chrysolites

样号 组份	83CZ-5	83B-122M	样号 组份	83CZ-5	83B-122M	产 出 岩 石
SiO ₂	37.31	37.30	Si	0.9233	0.9079	83CZ-5 产于蛇纹石化金 云橄榄古铜辉石岩。
TiO ₂	0.07	0.02	Al	0.0000	0.0018	
Al ₂ O ₃	0.00	0.06	Fe ³⁺	0.0767	0.0903	
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	Ti	0.0013	0.0004	83B-122M 产于蛇纹石化 斜硅镁石橄榄顽火辉石岩。
FeO	14.94	11.85	Fe ³⁺	0.0765	0.0959	
MnO	0.16	0.08	Fe ²⁺	0.1559	0.0550	
MgO	47.68	50.84	Mn	0.0034	0.0016	桂林中国有色金属总公司矿 产地质研究院郑巧棠分析。
CaO	0.08	0.04	Mg	1.7584	1.8443	
Na ₂ O	0.05	0.04	Ca	0.0021	0.0010	
K ₂ O	0.00	0.00	Na	0.0024	0.0018	
总 和	100.29	100.23				

Fa分别为14.95%和11.57%。这样的成分特点符合超基性变质岩中橄榄石的成分范围，而与产在夕卡岩和大理岩中橄榄石的成分(Fa<5%)完全不同，故该两个贵橄榄石应为超基性变质岩的组成矿物。

从共生矿物来说，贵橄榄石与古铜辉石或顽火辉石、金云母、斜硅镁石共生。虽然金云母、斜硅镁石也见于接触变质的白云质大理岩中，但是古铜辉石或顽火辉石却不产在这种岩石中。另外，产在接触变质碳酸盐岩石中的橄榄石应有大量的碳酸盐矿物与之共生，但本文两个贵橄榄石的产出岩石却不存在大量碳酸盐矿物。尽管有些样品中含有一定量的碳酸盐矿物（方解石、白云石），但它们的形态和结构与大理岩中的不同，它们是钙镁硅酸盐矿物（辉石、闪石）蚀变而成的。关于这方面的问题将在碳酸盐矿物章节中详细讨论。

总之，本文的两个贵橄榄石是超基性变质岩的组成矿物，原岩为超基性岩。这类矿物成因类型的确定，对矿床成因类型的研究将起着重要的作用。

(四) 石榴石

本矿区的石榴石有两种：铁铝榴石见于岩体的围岩——中基性变质岩（斜长角闪岩和斜长片麻岩）中，而钙铁榴石则只产于超基性变质岩（磁铁蛇纹岩）中。

1. 形态和物性概述 一般为半自形—自形，但多半呈聚斑状产出。无解理，但有不规则的裂隙。铁铝榴石晶体中常有单斜辉石、斜长石、石英等矿物包体，其中石英包体除呈浑圆状者外，有的呈不规则的尖棱角状。包体常常定向排列。镜下铁铝榴石无色或微带淡红色调，钙铁榴石的颜色稍深。铁铝榴石为均质体，而钙铁榴石则显示明显的光性异常现象。其它物理性质如折光率、比重见表4。

2. 化学成分特点与成因意义 五个石榴石的化学成分及计算的离子数和端员矿物含量百分比见表4。从端员矿物含量百分比来看，四个铁铝榴石中的端员矿物铁铝榴石在54.35—62.64%，平均59.10%，其次为镁铝榴石和钙铝榴石。这说明在铁铝榴石形成时的物质成分未经充分分异，铁质未能大量集中，以致端员矿物铁铝榴石的含量只能达到59.10%。显然，这与沉积变质作用形成的石榴石中端员矿物铁铝榴石达到90%的情况大不相同，因

表 4 石榴石的化学成分
Table 4 Chemical compositions of garnets

序号 样号 组份 名称	1	2	3	4	5	产 状
	83BZ-118M	83BZ-121-2M	83B-126M	83BZ-156-1M	83CZ-9	
	铁铝榴石	铁铝榴石	铁铝榴石	铁铝榴石	钙铁榴石	
SiO ₂	38.37	38.37	38.30	38.66	35.56	1. 产于含榴黑云斜长片麻岩 2. 产于含榴斜长角闪岩 3. 产于含榴透辉斜长角闪岩 4. 产于蚀变石榴斜长角闪岩 5. 产于磁铁蛇纹岩 • 为全铁
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.09	0.12	
Al ₂ O ₃	21.86	20.83	20.96	21.26	3.02	
Fe ₂ O ₃	0.00	0.72	2.59	—	—	
Cr ₂ O ₃	0.007	0.012	0.008	0.05	0.01	
FeO	28.81	25.87	25.94	24.64*	26.40*	
MnO	0.47	1.31	1.13	2.38	0.07	
NiO	0.00	0.00	0.00	—	—	
CoO	0.004	0.004	0.004	—	—	
MgO	8.90	4.35	3.60	4.37	0.41	
CaO	1.50	7.15	6.90	8.08	33.83	
Na ₂ O	0.12	0.21	0.12	0.03	0.03	
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	
H ₂ O*	0.04	0.52	0.00	—	—	
总 和	100.081	99.346	99.552	99.58	99.49	
a ₀ (nm)	1.1511	1.1587	1.1582			
N	1.790	1.782	1.785			
D	4.055	4.016	4.033			
Mg/Fe ²⁺	0.55	0.30	0.25	0.32	0.96	
按 12 (0) 计 算 的 离 子 数						
Si	2.9730	3.0390	3.0212	3.0334	2.9140	
Ti	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	0.0074	
Al ^{IV}	0.0270				0.0860	
Al ^{VI}	1.9696	1.9448	1.9490	1.9669	0.2055	
Cr	0.0000	0.0010	0.0009	0.0028	0.0010	
Fe ³⁺	0.0000	0.0428	0.1536	0.0037	1.7578	
Fe ²⁺	1.8671	1.7139	1.7111	1.6129	0.0522	
Mn	0.0307	0.0881	0.0754	0.1579	0.0049	
Co	0.0005	0.0005	0.0005	—	—	
Mg	1.0276	0.5136	0.4233	0.5111	0.0502	
Ca	0.1243	0.6069	0.5830	0.6794	2.9701	
Na	0.0177	0.0324	0.0180	0.0047	0.0049	
铁榴石	62.64	58.33	61.08	54.35	1.75	
镁榴石	33.08	17.48	15.11	17.22	1.68	
锰榴石	1.03	3.00	2.69	5.32	0.16	
钙榴石	0.00	2.23	8.27	0.59	88.81	
钙榴石	3.25	18.96	12.85	22.52	7.59	

1, 2, 3 天津地质矿产研究所岩矿测试室分析

4, 5 桂林有色金属总公司矿产地质研究院郑巧荣分析

表5 矿 物 的
Table 5 Spectral analysis

样号	83CZ-7	83B-119 M	83BZ- -119M	83BZ- 115-1M	83BZ- 118M	83BZ- 148M	83BZ- 121-2M	83BZ- 122-1M	83B- 126M	83BZ- 141-1M	83BZ- 152-1M
元 素	利蛇纹石	利蛇纹石	利蛇纹石	金云母	金云母	金云母	镁-普通 角闪石	镁-普通 角闪石	镁-普通 角闪石	浅闪碳普 通角闪石	低铁阳起 石普通 角闪石
Be	0.0002	0.0003	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008
Cr	0.000	0.000	0.000	0.003	0.006	0.007	0.005	0.01	0.009	0.02	0.001
Sn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Co	0.001	0.003	0.003	0.004	0.005	0.004	0.01	0.006	0.008	0.006	0.005
Ni	0.007	0.006	0.005	0.003	0.007	0.006	0.008	0.007	0.009	0.009	0.006
Cu	0.007	0.005	0.003	0.005	0.003	0.002	0.008	0.002	0.003	0.003	0.003
Pb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Bi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.001	0.001	0.007	0.5	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.07
V	0.005	0.004	0.002	0.02	0.01	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.004
Sc	0.000	0.000	0.000	<0.001	0.000	0.000	0.002	0.002	0.001	0.003	0.000
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.006	0.007	0.006	0.07	0.003	0.02	0.04	0.06	0.04	0.04	0.07
Zn	0.006	0.002	0.001	0.007	0.008	0.007	0.006	0.004	0.007	0.002	0.006
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
B	0.01	0.005	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
La	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Th	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

天津地矿所岩矿测试室解兰秀分析

为形成后者的物质成分经历了高度分异过程。

钙铁榴石的端员矿物组成中,端员矿物钙铁榴石占绝对优势(88.81%),其它端员矿物含量极少。考虑到钙铁榴石产于少数磁铁蛇纹岩(图版I—1)中,化学成分中的 Fe_2O_3 含量较高,推测可能是超基性岩与围岩接触交代的产物。这与文献记载的产于蛇纹岩和绿泥片岩中的钙铁榴石的密黄色变种(Topazolite)比较类似。

微量元素种类和含量(表4和表5)反映成因信息。从部分样品的光谱分析结果可以看出,铁铝榴石不含Li、Th、La、Nb、W、P、B、As、Sb、Bi、Sn、Cd等元素,表明本矿区铁铝榴石的形成与酸碱性侵入岩及其相关的热液作用无关,然而它们的Cr或(Cr_2O_3)、Ti、V、Co、Sc的含量却较高,这说明这些铁铝榴石的形成与基性火山岩有成因的联系。钙铁榴石缺光谱分析资料,但从含Cr较高、产于蛇纹岩中等特点来看,它的形成与超基性岩有关。

3. X射线衍射分析^① 三个铁铝榴石做了X射线衍射分析(表6)。晶胞参数 a_0 的大小

^① 天津地矿所岩矿测试室侯秀分析。

光谱分析
data of selected minerals

83CZ-10	83B-132 M	83B-132 M	83BZ- 141-1M	83BZ- 148M	83BZ- 152-1M	83B-117 M	83BZ- 118M	83BZ- 121-2M	83BZ- 116M	83B-118 M	83BZ- 120M
镁-普通 角闪石	阳起石	透辉石	次透辉石	透辉石	透辉石	磷灰石	铁铝榴石	铁铝榴石	方解石	方解石	白云石
0.001	0.0006	0.0003	0.0000	0.0003	0.0006	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.001	0.001	0.002	0.008	0.006	0.001	0.000	0.003	0.004	0.001	0.001	0.001
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.01	0.005	0.005	0.007	0.002	0.003	0.000	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000
0.008	0.006	0.004	0.01	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.002	0.002	0.004	0.004	0.001	0.003	0.002	0.004	0.004	0.001	0.002	0.003
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.005	0.002	0.006
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.08	0.04	0.02	0.08	0.04	0.003	0.003	0.01	0.02	0.000	0.000	0.002
0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	>10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.04	0.08	0.10	0.2	0.2	0.2	0.01	0.1	0.3	0.5	0.2	0.4
0.001	0.006	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.008	0.003	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

变化与钙榴石的含量呈正相关，即铁铝榴石中端员矿物钙榴石含量增高，则其 a_0 值增大。实际上与 Ca^{2+} 半径较大有关（表 6和图 2）。

4. 红外吸收光谱 铁铝榴石的红外吸收光谱及波数测定值见图 3和表 7。图谱中出现 $634-638cm^{-1}$ 和 $564-570cm^{-1}$ 谱带，说明它们的端员组份是以铁铝榴石为主。但是它们之间也存在某些差异，这些差异具体表现在吸收波数变化的规律性上。这种规律性的变化是由铁铝榴石中某些端员组份决定的。如果端员组份钙铁榴石和(或)钙铝榴石增多，则吸收带波数向低频位移，反之，则波数向高频位移。例如谱带 3和 5的波数就是与钙榴石的含量成负相关（图 4和图 5）。

谱带波数的变化，主要是阳离子半径大小所决定的。 Ca^{2+} 的半径大， Fe^{3+} 的半径也比

表 6 铁铝榴石的 a_0 和端员矿物钙榴石含量
Table 6 Cell parameter a_0 data and end-member —ugrandite contents

样 号	a_0 (nm)	钙榴石含量(%)
83 B Z -118M	1.1511	3.25
83 B -126M	1.1582	21.12
83 B Z -121-2M	1.1587	21.19

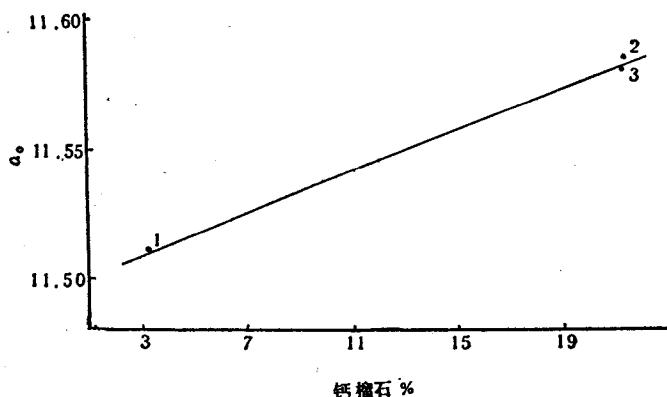
图 2 铁铝榴石中钙榴石含量与 a_0 的关系Fig. 2 Relation between contents of ugrandite in almandine and cell parameter a_0

表 7 铁铝榴石红外吸收光谱波数测定值

Table 7 Experimental vibrational frequencies (cm^{-1}) of garnets

样 号	吸 收 带								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
83 B Z-118M	1082		968	902	876	638	570	478	458
83 B-126M	1088	989	960	894	874	634	564	498	450
83 BZ-121-2M	1088		958	894	872	634	566	480	458

天津地矿所岩矿测试室赵人芳、张来春分析

Al^{3+} 的半径大。 Ca 参加石榴石晶格使十二面体增大, Fe^{3+} 参加晶格可使八面体增大, 同时也能使硅氧四面体变形。多面体愈大, 振动频率愈低, 故钙铁榴石和(或)钙铝榴石含量增高, 吸收带波数向低频位移。

5. 成因

(1) 从上节化学成分与成因的讨论中得知, 铁铝榴石的端员组份中, 铁铝榴石含量在 59.10%, 和一般沉积变质形成的端员组份铁铝榴石占绝对优势的铁铝榴石不同, 且含 Cr、Ti、V、Co 等元素较高, 说明该铁铝榴石的形成与中基性火山岩有关。钙铁榴石中的端员矿物钙铁榴石在 88% 以上, 产于蛇纹岩中, 其形成可能与超基性岩浆与围岩接触交代有关。

(2) 变质程度 本文一个铁铝榴石—金云母矿物对和一个铁铝榴石—普通角闪石矿物对, 按彼尔丘克(Perchuk, L. L., 1966)^[9] 相图估测的温度分别为 661℃ 和 600℃ (表 8)。上述温度值大致与角闪岩相变质温度相当。乌沙柯娃认为, 变质岩中石榴石—黑云母矿物对的 $K_D(\text{Fe}) = 2-4$, 反映较高的变质作用 (麻粒岩相和角闪岩相), $K_D(\text{Fe}) = 4-8$, 反映较低的变质作用 (绿帘角闪岩相)。本文 83BZ-118M 铁铝榴石—金云母矿物对的 $K_D(\text{Fe}) = 3.95$, 该值位于 2—4 范围的下限, 应属于角闪岩相。如在索波列夫 (1964) 的各变

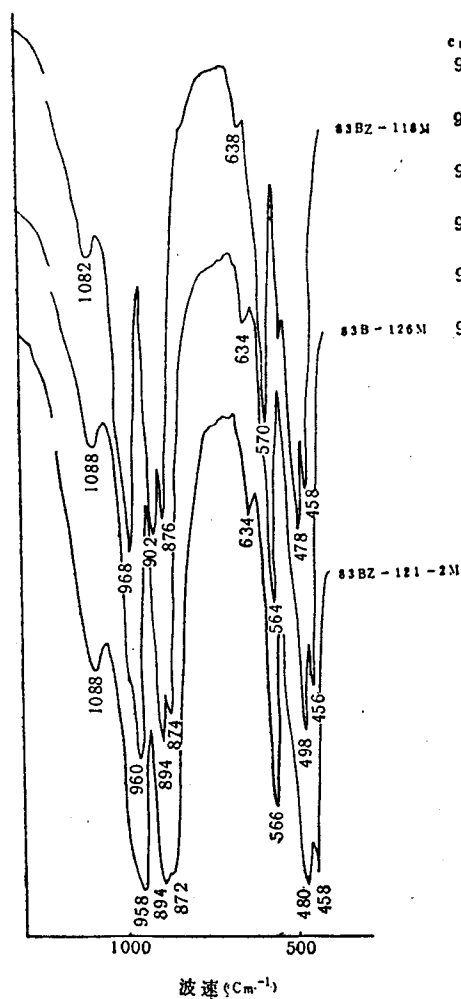


图3 铁铝榴石的红外吸收光谱

Fig. 3 Infra-red absorption spectra of almandines

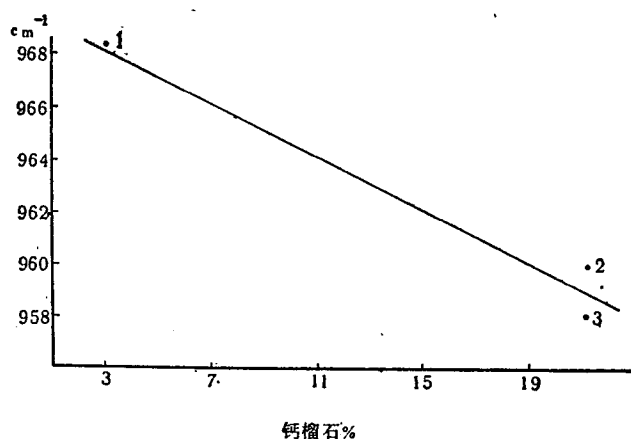


图4 谱带3与钙榴石含量的关系

Fig. 4 Relation between band 3 and ugrandite contents

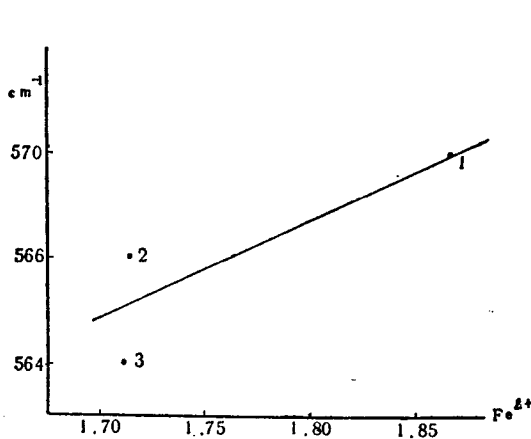


图5 谱带5与钙榴石含量的关系

Fig. 5 Relation between band 5 and ugrandite contents

质相中石榴石成分区间图(图6)上投点,一个(83BZ—118M)落在角闪岩相区,并且是属于黑云母片麻岩区的铁铝榴石,三个铁铝榴石分布在角闪岩相与榴辉岩相的重叠区。根

表8 按彼尔丘克相图估测的平衡温度

Table 8 Equilibrium temperatures of some mineral pairs (after L. L. perchuk, 1966)

样 号	X _{Mg}			温度 (°C)	K _D (Fe)
	角 闪 石	石 榴 石	金 云 母		
83 B Z-118M		0.35	0.68	661	3.95
83 B Z-121-2M	0.57	0.22		600	

据与铁铝榴石共生的矿物不难判断, 上述的三个铁铝榴石应属于角闪岩相, 并且与含钙矿物共生(BB₁线之上)。

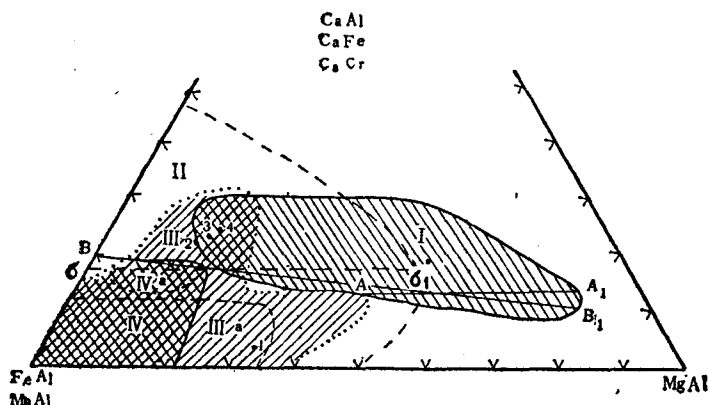


图 6 不同变质相中石榴石的成分区间图

AA₁线以下为超基性岩中石榴石区, $\sigma\sigma_1$ 线之上为与单斜辉石共生的石榴石区, BB₁线之上为与含钙矿物共生的石榴石区。I—榴辉岩相, II—麻粒岩相, III—角闪岩相(IIIa—黑云母片麻岩和花岗岩) IV—角闪(IVa—酸性火山岩)(据索波列夫1964, 转引自靳是琴, 李鸿超, 1984)^[6]

Fig. 6 Compositional fields of garnets from rocks of different metamorphic facies

I—eclogite facies II—granulite facies III—amphibolite facies (IIIa—biotite gneiss and granite) IV—hornfel (IVa acidic volcanic rocks)(after Sobolev, N. V., 1964)

总之, 本文四个铁铝榴石是中基性火山岩经区域变质的产物, 变质温度为600—661℃, 属角闪岩相。钙铁榴石可能是超基性岩浆与围岩接触交代的产物, 但其后也经受了区域变质作用。

(五) 斜硅镁石

斜硅镁石产于蛇纹石化斜硅镁石橄榄顽火辉石岩中, 另在蛇纹石磁铁矿石中也有发现。

1. 形态和物性概述 粒状、粒状集合体, 有的呈板状, 与辉石等矿物的接触界线比较平直(图版I—4)。褐红色、红色。镜下呈淡黄色、金黄色。多色性比较明显: Ng无色, Nm淡黄色, Np黄色、金黄色。干涉色绿至红色。N_pAc=9°。N_g'=1.6760, N_m'=1.6600, N_p'=1.6510

2. 化学成分特点 一个样品的电子探针分析^①结果及计算的晶体化学式如下:

83B-122M SiO₂ 33.24 TiO₂ 1.38 Al₂O₃ 0.02 FeO 8.57 MnO 0.06 MgO 50.20 CaO 0.02 Na₂O 0.03 K₂O 0.00 总和 93.52。

(Mg_{0.8839} Ti_{0.1161})_{1.0000} (OH, F)_{2.4} (Mg_{1.8675} Fe³⁺_{0.0869} Fe²⁺_{0.1132}

Mn_{0.0014} Ca_{0.0007} Na_{0.0016} Al_{0.0007})_{2.0720} [Si_{0.9280}O₄]

斜硅镁石的化学成分以MgO为主。TiO₂虽不高于文献的记录, 但比共生矿物贵橄榄石的TiO₂含量高得多(贵橄榄石的TiO₂为0.02—0.07%)。尽管本文的斜硅镁石中的SiO₂含量

① 桂林中国有色金属总公司矿产地质研究院郑巧荣分析。