

中国地质科学院院报

矿床地质研究所分刊

第1卷 第1号

1980年

矿床地质研究所 编

地质出版社 出版

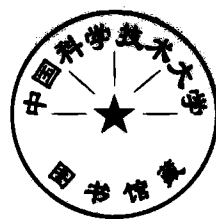
中国地质科学院院报

矿床地质研究所分刊

第1卷 第1号

1980年

矿床地质研究所 编



中国地质科学院院报

矿床地质研究所分刊

第1卷 第1号

1980年

矿床地质研究所 编

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版
(北京西四)

地质印刷厂印刷
(北京安德路47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: 9³/₈·字数: 228,000

1980年4月北京第一版·1980年4月北京第一次印刷

印数1—3,435册·定价1.50元

统一书号: 15038·新518



四川红格层状钒钛磁铁矿床 铬的分布和状态

卢记仁 张承信 顾光先 高学东 方业龙 周剑雄

自从月球上发现钛铬铁矿以来,地球上陆续发现钛磁铁矿—钛铬铁矿系列矿物。虽然它们的规模甚小或以副矿物零星产出,形成条件多种多样。但是这类矿物的发现在布什维尔型层状铬铁矿和钛磁铁矿之间架设了一座桥梁。

红格钒钛磁铁矿床中含有大量铬。最近几年,这部分铬的综合利用价值越来越得到肯定。因此,无论从工业上,还是从理论上考虑,查明红格矿床中铬的空间分布和赋存状态都是很有意义的。

研究证明,红格钒钛磁铁矿床中的铬以钛磁铁矿—钛铬铁矿和镁铁尖晶石—镁铁铬尖晶石两个矿物系列形式产出,有一定富集层位和规模。初步认为它属于层状铬铁矿与一般钛磁铁矿之间的一种过渡类型。

本文在红格矿区大量物质成分研究工作的基础上,经补充研究写成。在以往的研究工作中,中国地质科学院地矿所、四川省地质局106地质队、西昌实验室、成都地质学院等单位的许多同志曾先后参加了部分工作。在这次补充研究中又承王建国、施泽民、杨龙、朱中一等同志协助,朱念秀、杨云同志清绘图件,在编写文稿过程中曾得到王恒升教授的指教,在此一并致谢。

一、岩体地质概况

红格岩体南北长16公里,东西宽6—7公里,面积超过100平方公里。尚保存的最大厚度1500—2000米。它分布在川滇南北向断裂带的昔格达断裂与元谋断裂之间,似呈岩床状。对于其侵入部位和褶皱形成,一种意见认为它顺层侵入在震旦系灯影组之中,侵入之前该组已形成轴向北西的舒缓褶曲。另一种意见认为,该岩体侵入在灯影组底部的不整合面上。不整合面以下的会理群是一套变质岩系,形成一系列东西向的复式褶曲。

红格矿区位于岩体南段,南北长5公里,东西宽1—3公里,面积约12平方公里。它分为南北两个矿区,北矿区以45号断层为界分为东西两部分;南矿区以23、38两个断层为界分为马松林、铜山和路枯三个矿段。矿区北部是玄武岩,西部为正长岩,东部为花岗岩。矿区内后期断裂发育,并分布有一套暗色岩脉和一套碱性岩脉。

矿区所见岩体分异良好,自上而下可分出四个韵律层。上部的第Ⅳ韵律层(ν_{2-3})出露不全,主要由辉长岩构成,最大厚度超过700米。矿化差,底部出现少量辉长岩型矿条,仅在南矿区西部的路枯矿段出现从含长辉石,岩型到橄榄岩型的矿层。第Ⅲ韵律层($\nu_3 - \varphi_1$)

上部是辉长岩，含长辉石岩，往下出现辉石岩型到橄榄岩型矿层。层位稳定，仅北矿区东北部橄榄岩型矿石减少，矿层变薄，有尖灭趋势。厚度 20—106 米。第 II 韵律层(φ_{2+3})厚度 60—210 米，由两大层组成：上层(φ_2)是中粒辉石岩，北矿区东北部相变为细粒橄榄岩，矿很贫；下层(φ_3)由橄辉岩型到辉橄岩型矿石构成。第 I 韵律层厚度 0—550 米，分异较差，可分为上下两部分：上部($\sigma\varphi_1$)为中细粒或不等粒辉石岩夹含长橄辉岩薄层，细粒橄辉岩，角闪辉石类；下部($\sigma\varphi_2$)为角闪橄辉岩，夹角闪橄岩、角闪辉石岩薄层，其底部为粗-伟晶角闪辉石岩，不稳定。本层矿体主要分布在矿区东半部，以马松林矿段为主。

上述各韵律层的共同点是自上而下逐渐过渡，基性程度增高，含矿率增大，矿石变富，矿石结构从海绵陨铁状变到嵌晶状。各韵律层之间呈实变接触。韵律层底部常发育有粗伟晶状的辉石岩，有些韵律层上部出现细粒橄辉岩相。矿区西部各韵律层呈超覆接触，上部层位展布面积越来越大。在平面上，各层矿体位置不完全重合，岩相变化亦相当明显。

二、铬的平面分布

本节用趋势面分析方法研究各个韵律层 Cr_2O_3 的平面分布。利用 162 个钻孔矿石中 Cr_2O_3 的层平均值，通过电算得到趋势面图，有关数据列于表 1。

趋势面图的有关数据

表 1

矿层	ν_3		φ_1		φ_{2+3}		$\sigma\varphi_1$		$\sigma\varphi_2$	
矿石品级(TFe%)	>20	15—20	>20	15—20	>20	15—20	>20	15—20	>20	15—20
钻孔数	62	80	80	57	90	93	83	96	55	52
方程次数	5	4	5	5	4	5	5	5	4	5
拟合度%	13.0	13.3	47.5	47.8	24.6	31.0	17.3	23.7	37.9	44.5

为了节省篇幅，这里只列出四个主矿层的趋势面图（图 1—4）。它们所依据的样品， $\text{TFe} > 20\%$ 。趋势面图反映出两个特点：

第一个特点， Cr_2O_3 的变化趋势呈北西—南东向和南北向，其与成矿前构造有关。

根据 106 队的研究成果^①，成矿前在南北向压扭性大断裂控制下，矿区形成穿洞河—岩上田多字型构造。它是一组南北向排列、轴向北西的舒缓褶曲，自南而北由穿洞河背斜，白泥巴包包背斜，岩上田背斜，以及相应的向斜和断层组成。南、北矿区分别位于多字型构造的向斜处。这样， Cr_2O_3 的分布方向恰好与区域断裂构造以及矿区的多字型构造相一致。它表明岩体中铬的分布受成矿前构造影响。

第二个特点：各个韵律层高值区的平面位置既不重合，也没有补偿关系，向斜部位大多是低值区，不是高值区。南矿区第 I 韵律层的高值区在矿区东部，西部为低值区，第 IV 韵律层的西部则为高值区。II、III 韵律层的 Cr_2O_3 东高西低。它们均与超基性岩型钒钛磁

① 据红格矿区 1977 年勘探报告。

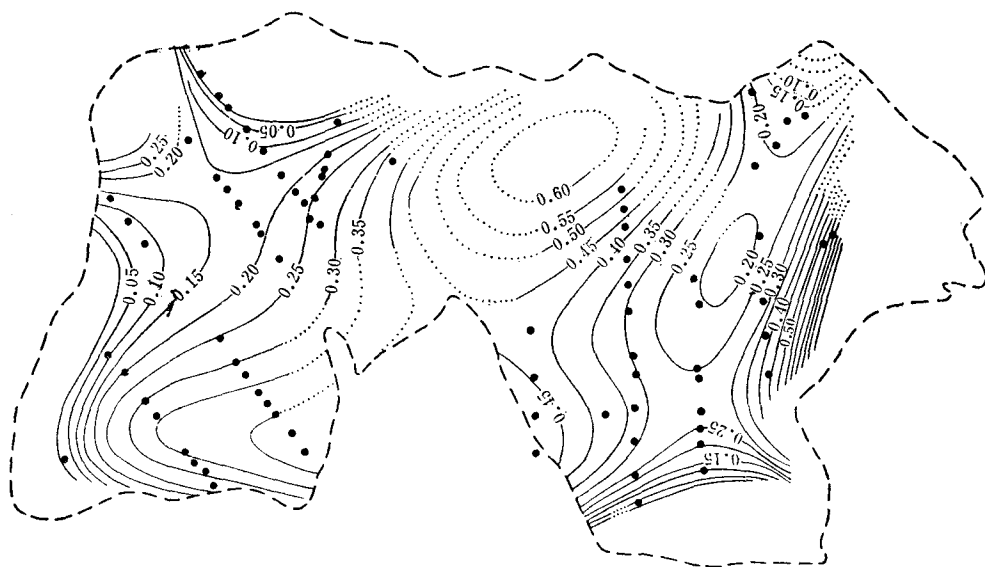


图2 1#矿层 Cr_2O_3 的五次趋势面图

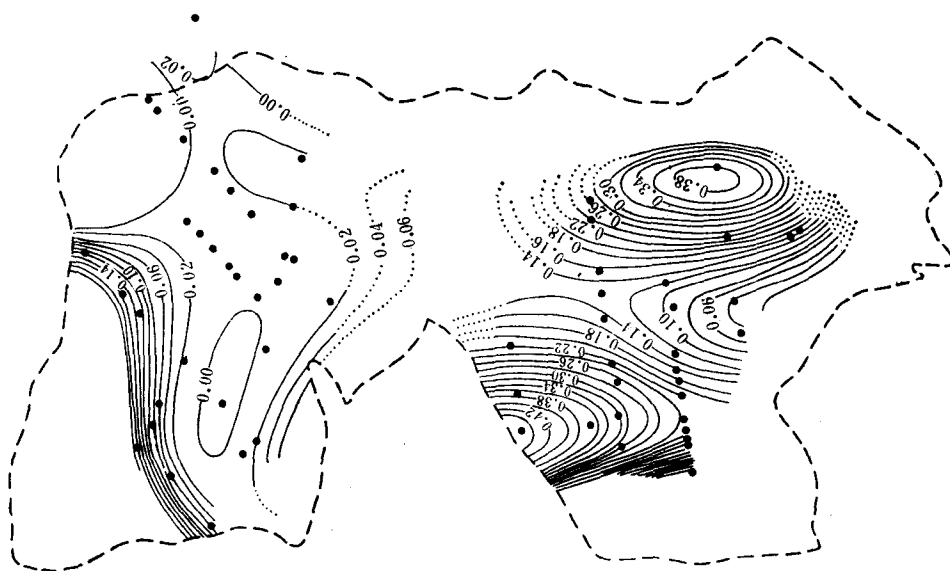
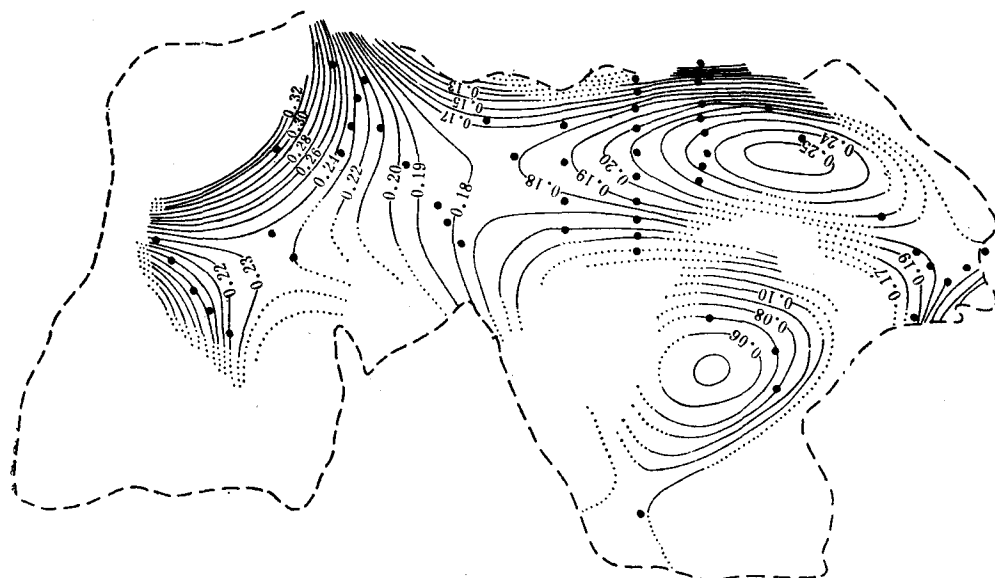
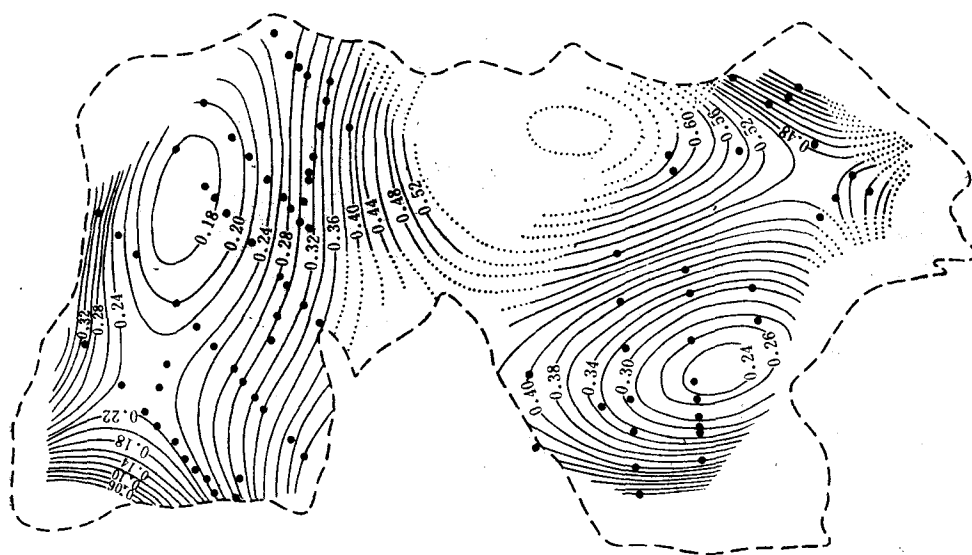


图1 2#矿层 Cr_2O_3 的五次趋势面图

图 4 6002矿层 Cr_2O_3 的四次趋势面图图 3 6003矿层 Cr_2O_3 的四次趋势面图

铁矿体是否发育有关。北矿区第Ⅰ韵律层东北部 Cr_2O_3 有增高的趋势,Ⅱ、Ⅲ韵律层 Cr_2O_3 自南西往北东降低,恰与第Ⅰ韵律层相反。

这些事实可以用岩浆多次脉动侵入解释。设想一个韵律层是一次岩浆侵入的产物。由于各次岩浆的性质,侵入时的地质环境和动力条件等方面不同,因此 Cr_2O_3 的平面分布型式便有所差别。各韵律层的超覆接触和实变接触关系都与此有关。

如果这些推论正确,那么岩浆的多次脉动侵入以及成矿前的地质构造条件控制着各个韵律层 Cr_2O_3 的平面分布。

三、铬的韵律分布

铬在垂直层面方向表现出四次韵律性变化。每一韵律层的中、上部 Cr_2O_3 含量都很低,但在下部或底部比较富集。从图5看,岩体中、上部的三个韵律层, Cr_2O_3 的含量曲线常常是突变的,一般在韵律层底部 Cr_2O_3 突然增高。岩体下部第Ⅰ韵律层的 Cr_2O_3 则具有逐渐升高的特征。这同岩相有关。前三个韵律层的中、上部都属于辉长岩相和辉石岩相,它们之下很快为橄榄岩相或辉橄岩相代替,作为过渡相的橄辉岩甚薄或者缺失。第Ⅰ韵律层却不同,上部辉石岩相与下部角闪橄辉岩、角闪橄榄岩相之间有一层厚大的细粒橄辉岩相。因此, Cr_2O_3 的含量变化与岩相是突变还是渐变有明显关系。相反, Cr_2O_3 与TFe的关系就不很确定。从图上看,第Ⅱ韵律层的 Cr_2O_3 、TFe峰值比较一致,其它几个韵律层都差别较大。

在韵律层底部,含铬最高的一件样品 Cr_2O_3 3.3%,长度2.3米。据统计,5%的钻孔出现 $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 2\%$ 的矿石,厚度1.65—15.04米。61%的钻孔出现 $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 1\%$ 的矿石,一般厚度10—30米,最大厚度50余米。图5的含量曲线以及柱状图的分布位置表明, $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 1\%$ 的层位是比较稳定的。

以上资料说明, Cr_2O_3 和其它元素一样,在岩体中有四个富集层位,但富集程度尚不足以形成铬铁矿层。这里出现的韵律性变化可能是岩浆的多次侵入以及各次岩浆侵位后的重力分异作用造成的。

四、铬的分配关系

矿石中的 Cr_2O_3 主要分布在钛磁铁矿之中,其它矿物含铬甚低。根据人工重砂单矿物的化学分析结果,钛磁铁矿中的 Cr_2O_3 约为钛铁矿和脉石矿物的30倍(表2)。此外,15件普通辉石样品 Cr_2O_3 的平均值为0.016%。因此,根据辉长岩型矿石和橄辉岩、橄榄岩型矿石的脉石矿物分析结果判断,斜长石和橄榄石的含铬量也是很低的(表3)。黑云母的 Cr_2O_3 为0.016%(1件),磷灰石为0.001—0.002%(2件)。

钛磁铁矿中铬的变化范围很大,根据125件人工重砂单矿物化学分析结果表明, Cr_2O_3 0.008—3.20%。它的变化与产出环境关系如下:第一,同矿石含铁量的关系。从表2可以看出,TFe20—30%的一类矿石中钛磁铁矿的 Cr_2O_3 最高,矿石TFe增高或者降低,钛磁铁矿的 Cr_2O_3 都变低。钛铁矿中的铬亦有类似变化。第二,同岩相的关系。表3说明

不同品级矿石的矿物平均含铬量 (Cr_2O_3 %重量)

表 2

矿石品级(TFe%)	15—20		20—30		30—45		>45		总平均值
	含量	件数	含量	件数	含量	件数	含量	件数	
钛磁铁矿	0.55	20	0.82	45	0.62	57	0.49	3	0.68
钛铁矿	0.023	15	0.027	44	0.021	52	0.019	3	0.024
脉石矿物	0.025	11	0.024	16	0.021	21	0.004	1	0.022

不同类型矿石的矿物平均含铬量 (Cr_2O_3 %重量)

表 3

矿石类型	辉长岩型		辉石岩型		橄辉岩型		橄橄岩型	
	含量	件数	含量	件数	含量	件数	含量	件数
钛磁铁矿	0.025	9	0.18	37	0.65	14	1.03	52
钛铁矿	0.001	8	0.010	35	0.015	14	0.036	49
脉石矿物	0.004	3	0.008	15	0.020	7	0.034	24

矿物含铬量是随基性程度增而增高的。钛磁铁矿的 Cr_2O_3 与矿石的 MgO 呈线性正相关。根据87件样品计算结果, $\text{Cr}_2\text{O}_3=0.151$, $\text{MgO}=0.824$ ($r=0.737$, $s=0.503$)。第三, 同层位的关系。钛磁铁矿和钛铁矿中的 Cr_2O_3 均表现出韵律性变化, 韵律层上部较低, 往下逐渐增高^①。上述三种关系中, 钛磁铁矿的 Cr_2O_3 与岩相的关系最密切。

五、钛磁铁矿的溶矿试验

为了确定钛磁铁矿中 Cr_2O_3 的赋存状态, 曾先后两次对钛磁铁矿单矿物做了盐酸溶矿试验。其中一次的实验条件: 样品粒度—0.154毫米, 每份样取0.5克, 用60毫升1:5HCl在沸水浴中溶解, 20分钟一个间隔, 用5—10%的HCl洗残渣后测定, 结果如表4。另一次的实验条件不同^②, 但结果一致(图6)。

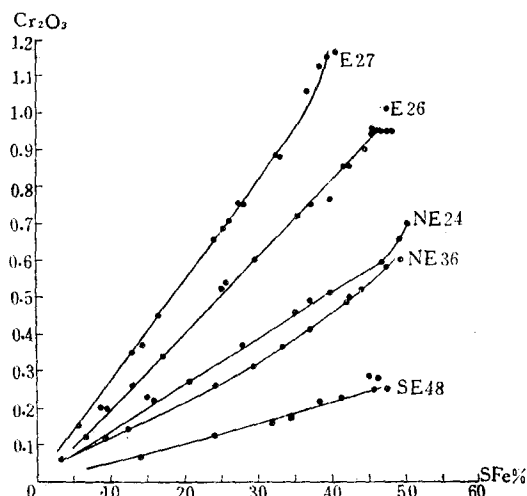
钛磁铁矿盐酸溶矿结果表 (重量%)

表 4

样号	组份	溶解时间 (分)											全溶
		20	40	60	80	100	120	140	160	200	220	250	
NE24	SFe	3.38	9.35	15.85	20.52	27.80	35.07	37.15	39.75	46.76	49.12	50.40	54.65
	Cr_2O_3	0.06	0.12	0.22	0.27	0.37	0.46	0.49	0.51	0.59	0.65	0.70	0.78
NE36	SFe	12.47	24.16	29.36	33.25	37.15	42.09	42.61	43.91	47.54	—	49.62	54.08
	Cr_2O_3	0.14	0.26	0.31	0.37	0.41	0.48	0.50	0.52	0.58	—	0.60	0.74
SE48	SFe	13.90	23.90	32.22	34.68	—	38.45	41.31	45.72	46.37	45.08	47.41	53.17
	Cr_2O_3	0.07	0.13	0.16	0.18	—	0.22	0.23	0.25	0.28	0.29	0.25	0.37

① 梅厚钧等: 含钒钛磁铁矿的L基性—超基性侵入岩的韵律层 (1972年)。

② 陈廷愚: 四川会理红格钒钛磁铁矿床铬的赋存状态溶矿试验报告 (1971年)。

图6 钛磁铁矿中 Cr_2O_3 、SFe的溶解关系图

试验结果表明,在一定范围内溶解的 Cr_2O_3 和Fe成正比,比值近于某一常数,不随溶解时间而变化或者变化甚小。它说明铬比较均匀地分布在钛磁铁矿之中,不是以典型的铬铁矿混入物或包体形式出现的。用德荣徐麦岩体的铬铁矿对比实验证明,在同样条件下铬铁矿基本上是不溶解的。

从图6还可以看出,NE36号嵌晶状钛磁铁矿的 $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Fe}$ 比值随溶解时间加长而逐渐地略有提高。有两件样品的最后几个比值有迅速增高的趋势。这是不同颗粒含铬量差别引起的。 Cr_2O_3 高的颗粒比较难溶解,它们的溶解将使比值逐渐地或比较突然地改变。

六、两个含铬矿物系列

人工重砂样品的单矿物化学分析结果仍然是一种平均含量,与单颗钛磁铁矿的成份不完全一样,韵律层底部的样品更是如此。根据75件钛磁铁矿的电子探针分析结果, Cr_2O_3 0.53—40.17%。它包括两个矿物系列:钛磁铁矿—钛铬铁矿和镁铁尖晶石—镁铁铬尖晶石。它们是多组份的复杂固溶体系矿物,含铬量与产出特点关系密切。

钛磁铁矿—钛铬铁矿系列矿物有如下几种产出形式:

第一种 海绵陨铁状钛磁铁矿—铬钛磁铁矿。含铬量可以表2、3的平均含量为代表,通常 $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 1\%$,很少超过2%的。它们与粒状钛铁矿呈他形集合体充填在早晶出的橄榄石、辉石、斜长石之间,粒度0.1—1.0毫米。金属矿物很少时呈填隙状,含量近于或小于粒状钛铁矿。当金属矿物比例逐渐增加时,形成典型的海绵陨铁结构(图版I—1)。当金属矿物显著地超过脉石矿物时出现假斑状结构(图版I—2)。随着这种变化,钛磁铁矿粒度增大,自形程度变好,粒中的钛铁矿片晶增多,而且钛磁铁矿的比例大大地超过粒状钛铁矿。致密块状矿石中的钛磁铁矿为半自形粒状镶嵌结构。这种钛磁铁矿一般分布在韵律层的中、上部,亦出现在上部几个韵律层的下部或底部。

第二种 嵌晶状铬钛磁铁矿。12件全分析(表5,1—12号)和25件单项分析结果,

尖晶石类矿物的电子探针分析结果 (重量%)

表 5

顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
样品号	94-100	220-16a	71-66	171-424a	262-35a	175-93a	136-186	64-247	171-424b	262-40	175-81a	180-553a	668-56	88-234	105-195a	88-377a
TiO ₂	5.21	4.38	12.08	10.35	7.98	7.70	7.63	9.85	7.72	14.65	7.52	9.10	9.79	9.45	4.64	14.80
Cr ₂ O ₃	0.53	2.92	2.66	3.29	3.89	4.36	4.39	5.06	5.56	5.64	5.95	7.62	9.13	9.74	9.78	11.11
Al ₂ O ₃	1.83	2.29	2.29	3.30	2.03	1.25	1.61	3.64	3.63	3.38	1.93	0.95	4.67	3.86	3.99	4.69
V ₂ O ₅	0.81	0.89	0.74	0.83	0.69	0.85	1.50	0.86	0.88	0.78	0.91	未测	0.79	0.44	0.66	未测
Fe ₂ O ₃	57.09	55.38	40.70	42.91	46.80	49.41	48.48	40.56	45.09	31.05	46.40	43.73	35.45	36.34	45.18	24.88
FeO	34.70	33.65	39.39	35.43	36.32	36.51	37.65	38.59	34.13	40.03	34.11	37.20	36.63	38.16	33.81	41.22
MgO	1.28	1.21	2.16	3.51	1.37	1.27	0.68	1.09	2.91	2.92	2.41	1.54	2.42	1.53	1.29	2.89
MnO	未测	0.41	未测	0.50	0.36	0.64	0.44	0.48	0.46	0.51	0.59	0.36	0.59	未测	0.54	未测
合计	101.45	101.13	100.03	100.12	99.44	101.99	100.63	100.03	100.38	98.96	99.82	100.50	99.47	99.52	99.89	99.59
Ti	1.16	0.98	2.68	2.27	1.80	1.71	1.72	2.15	1.89	3.24	1.68	2.04	2.16	2.10	1.03	3.22
Cr	0.12	0.68	0.63	0.76	0.92	1.01	1.11	1.18	1.28	1.31	1.40	1.80	2.11	2.28	2.29	2.52
Al	0.64	0.80	0.80	1.13	0.72	0.43	0.57	1.27	1.25	1.17	0.68	0.34	1.61	1.35	1.39	1.60
V	0.19	0.21	0.17	0.19	0.17	0.20	0.36	0.23	0.20	0.18	0.21	—	0.18	0.10	0.16	—
Fe ³⁺	12.72	12.35	9.04	9.32	10.57	10.86	10.47	8.96	9.82	6.78	10.28	9.80	7.71	8.08	10.08	5.42
Fe ²⁺	8.59	8.34	9.72	8.71	9.12	9.11	9.42	9.64	8.40	9.92	8.58	9.27	9.06	9.43	8.39	9.97
Mg	0.57	0.53	0.95	1.52	0.61	0.56	0.28	0.48	1.26	1.31	1.07	0.69	1.06	0.67	0.57	1.25
Mn	—	0.10	—	0.12	0.09	0.16	0.11	0.12	0.11	0.13	0.15	0.09	0.14	—	0.08	—

续表 5

顺序号	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
样品号	20—240	159—114a	112—292a	67—103a	148—375a	180—553b	175—81b	67—270a	159—114b	131—160	114—331	159—114c	97—(10)	105—195b	190—169	105—195c
TiO ₂	8.33	7.42	5.90	6.70	6.35	7.88	8.29	5.23	4.69	2.66	6.21	3.64	3.67	5.34	5.06	5.64
Cr ₂ O ₃	11.40	12.24	12.61	13.27	13.84	14.05	14.38	14.82	16.66	18.02	18.18	18.47	19.27	19.29	19.50	19.61
Al ₂ O ₃	1.72	6.58	5.35	6.39	2.11	4.06	5.61	7.54	6.63	0.58	7.64	6.12	11.93	4.62	10.39	7.05
V ₂ O ₅	未测	0.49	0.77	0.59	0.72	未测	0.67	0.46	0.56	2.21	0.41	0.52	0.37	0.59	0.53	0.59
Fe ₂ O ₃	39.28	34.24	39.19	35.56	40.02	36.24	32.66	34.78	35.10	43.77	32.51	36.10	28.41	33.19	28.77	29.32
FeO	35.71	36.68	33.13	34.53	35.29	33.50	34.61	35.32	33.90	33.01	30.25	32.48	31.03	35.01	31.13	33.67
MgO	1.99	1.36	2.64	2.57	1.10	3.54	3.00	1.28	1.66	0.43	5.30	2.01	3.24	0.77	4.02	2.18
MnO	未测	0.31	0.50	未测	0.54	0.16	0.71	未测	0.18	0.67	0.27	0.25	0.27	0.80	0.53	0.34
合计	98.43	99.32	100.09	99.61	99.97	99.43	99.93	99.43	99.38	101.35	100.77	99.59	98.19	99.61	99.94	98.40
Ti	1.89	1.63	1.28	1.46	1.42	1.72	1.80	1.14	1.03	0.60	1.30	0.78	0.78	1.19	1.06	1.24
Cr	2.71	2.83	2.89	3.04	3.27	3.23	3.28	3.41	3.84	4.25	4.00	4.26	4.32	4.51	4.30	4.52
Al	0.61	2.27	1.83	2.18	0.74	1.39	1.90	2.59	2.28	0.21	2.51	2.10	3.98	1.61	3.42	2.42
V	—	0.12	0.18	0.14	0.17	—	0.16	0.11	0.13	0.53	0.10	0.12	0.09	0.14	0.12	0.14
Fe ³⁺	8.90	7.53	8.47	7.74	8.90	7.93	6.99	7.61	7.70	9.82	6.81	7.92	6.06	7.26	6.04	6.44
Fe ²⁺	8.99	8.96	8.12	8.35	8.90	8.15	8.45	8.59	8.26	8.23	7.04	7.86	7.35	8.80	7.26	8.22
Mg	0.89	0.59	1.14	1.11	0.49	1.53	1.29	0.56	0.72	0.19	2.20	0.87	1.37	0.34	1.67	0.95
Mn	—	0.08	0.12	—	0.14	0.04	0.17	—	0.04	0.17	0.07	0.06	0.06	0.20	0.12	0.08

续表 5

顺序号	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
样品号	108-102	148-383a	67-270b	220-18b	159-67a	175-81c	175-98b	175-101a	387-32	175-101b	67-272a	148-375b	67-272b	175-89a	175-89b	209-132
TiO ₂	0.64	3.09	2.77	3.57	5.70	0.94	3.11	2.85	4.15	3.20	2.12	3.48	5.63	8.98	3.09	4.75
Cr ₂ O ₃	19.73	20.61	20.69	20.90	21.63	21.95	22.72	23.50	23.64	24.22	25.67	28.12	20.73	22.92	27.18	30.96
Al ₂ O ₃	7.32	12.40	11.11	9.61	8.70	14.83	11.65	9.92	12.71	8.78	12.80	3.26	4.20	6.93	17.53	7.05
V ₂ O ₅	0.54	0.43	未测	0.55	0.67	0.47	0.58	0.50	0.59	0.49	0.31	0.40	0.53	2.00	1.30	1.24
Fe ₂ O ₃	39.87	29.39	31.56	30.54	27.19	28.85	27.29	28.93	23.73	28.79	24.62	24.87	31.22	18.24	14.82	19.32
FeO	29.32	26.43	31.65	28.82	31.56	28.03	30.03	29.21	28.65	30.83	33.79	27.11	35.35	37.96	32.60	33.82
MgO	2.14	5.92	2.89	4.37	3.95	3.96	3.67	3.72	5.25	2.86	1.35	5.53	1.03	1.74	3.05	1.47
MnO	0.70	0.47	未测	0.45	0.54	0.62	0.51	0.63	0.56	0.64	未测	0.48	未测	0.75	0.53	0.98
合计	100.26	98.74	100.67	98.81	99.94	99.65	99.56	99.26	99.28	99.81	100.66	99.25	98.69	99.52	100.10	99.59
Ti	0.14	0.64	0.58	0.76	1.21	0.19	0.65	0.60	0.86	0.68	0.45	0.73	1.26	1.95	0.63	1.03
Cr	4.49	4.50	4.56	4.67	4.81	4.76	5.02	5.25	5.13	5.44	5.67	6.20	4.88	5.22	5.80	7.05
Al	2.49	4.04	3.66	3.20	2.89	4.80	3.83	3.30	4.11	2.94	4.21	3.04	1.47	2.35	5.58	2.40
V	0.12	0.09	—	0.12	0.15	0.10	0.13	0.11	0.13	0.11	0.07	0.09	0.12	0.48	0.28	0.29
Fe ³⁺	8.53	6.04	6.63	6.42	5.67	5.87	5.66	6.05	4.90	6.06	5.17	5.15	7.00	3.96	3.01	4.19
Fe ²⁺	7.18	6.18	7.38	6.89	7.52	6.54	7.10	7.00	6.58	7.43	7.89	6.40	8.80	9.15	7.37	8.17
Mg	0.92	2.44	1.21	1.84	1.66	1.62	1.53	1.57	2.15	1.21	0.57	2.30	0.46	0.75	1.23	0.63
Mn	0.17	0.11	—	0.11	0.13	0.14	0.12	0.15	0.13	0.15	—	0.11	—	0.18	0.12	0.24

续表 5

顺序号	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
样品号	175—102a	175—89c	67—272c	262—35b	67—103b	112—292b	88—377b	67—270c	67—270c	159—1140i	159—114e	SII—1B	S—IV	SI—IB	SI—lc
TiO ₂	4.96	2.80	7.07	0.71	0.44	0.00	0.44	0.50	0.50	0.47	0.82	1.84	2.80	2.78	2.93
Cr ₂ O ₃	32.10	40.17	7.96	11.98	12.75	12.99	13.97	17.54	17.54	20.78	21.02	14.60	19.15	23.46	26.20
Al ₂ O ₃	9.33	9.09	5.61	50.27	46.78	47.79	50.37	45.93	45.93	42.39	34.29	5.66	3.78	6.40	6.41
V ₂ O ₅	1.36	1.30	0.31	0.01	0.09	0.87	未测	0.50	0.50	0.18	0.29	0.67	0.78	0.64	0.58
Fe ₂ O ₃	14.09	11.66	41.84	4.89	8.87	5.80	6.03	4.33	4.33	2.38	14.81	43.92	39.41	32.51	31.25
FeO	33.46	30.60	33.49	11.77	21.01	17.73	18.04	30.22	30.22	27.43	18.49	30.37	31.58	30.00	33.47
MgO	1.91	2.75	3.32	18.41	12.80	13.99	15.47	1.03	1.03	7.49	13.36	1.91	1.69	2.87	1.24
MnO	0.79	0.75	未测	0.01	未测	0.18	未测	0.00	0.00	0.12	0.09	0.51	0.27	0.40	0.83
合 计	98.00	99.12	99.60	98.05	102.74	99.35	104.32	100.05	100.05	101.24	103.17	99.48	99.46	99.06	102.91
Ti	1.08	0.60	1.54	0.12	0.08	0.00	0.07	0.09	0.09	0.08	0.14	0.41	0.62	0.60	0.62
Cl	7.31	9.00	1.82	2.06	2.22	2.29	2.34	3.29	3.29	3.81	3.82	3.38	4.48	5.38	5.85
Al	3.17	3.02	1.91	12.90	12.15	12.57	12.57	12.83	12.83	11.58	9.29	1.96	1.32	2.18	2.13
V	0.32	0.30	0.07	0.00	0.02	0.16	—	0.10	0.10	0.03	0.05	0.16	0.18	0.15	0.13
Fe ³⁺	3.05	2.49	9.11	0.80	1.47	0.97	0.96	0.78	0.78	0.42	2.56	9.88	8.74	7.03	6.64
Fe ²⁺	8.06	7.25	8.10	2.14	3.87	3.31	3.20	5.99	5.99	5.32	3.55	7.44	7.86	7.34	7.90
Mg	0.82	1.16	1.43	5.97	4.21	4.65	4.88	0.37	0.37	2.74	4.57	0.84	0.74	1.24	0.52
Mn	0.19	0.18	—	0.00	—	0.03	—	0.00	0.00	0.02	0.02	0.13	0.07	0.10	0.20

注：表中的 Fe₂O₃、FeO 是根据测定的 Fe 换算的。

表的下半部数字是单位晶胞阳离子数。

1—12号块层状铬钛磁铁矿，其中有出熔的尖晶石和钛铁矿。

13—44号团粒状铬钛磁铁矿—钛铬铁矿。13—26号、28、29、38、39号有出熔尖晶石。14—16、26号矿物中尚见少量钛铁矿片晶。25、28号为同一个环带状颗粒，外带铬低。

45—50号他形粒状钛铬铁矿和钛钼铬铁矿，47、50号为同一个环带状颗粒，外带铬低。

51号橄榄石中的片状铬钛磁铁矿。

52—59号镁铁尖晶石—镁铁铬尖晶石。

60—63号新衍岩体的铬钛磁铁矿—钛铬铁矿、有出熔的尖晶石和钛铁矿。

Cr_2O_3 : 0.53—9.37%。它的特点是相当自形, 粒度一般为0.1—0.4毫米 (图版 I—3)。常常含有圆粒状辉石、角闪石包体, 出熔物为钛铁矿片晶和尖晶石, 偶可见到钛铁晶石。部分连生钛铁矿呈宽板状横贯整个晶粒, 或出现在晶粒的一侧或一角, 甚至被钛磁铁矿包裹 (图版 I—4)。它们可能是同时结晶的。包裹铬钛磁铁矿的矿物主要为普通辉石和钛角闪石, 亦有少量黑云母和磷灰石, 其中辉石和角闪石粒度粗大, 10—30毫米。嵌晶状铬钛磁铁矿一般分布在韵律层底部或者下部。

第三种 团粒状铬钛磁铁矿—钛铬铁矿。32件全分析结果 (表 5, 13—44号) Cr_2O_3 : 9.13—28.12%。它们和细粒的次透辉石构成团粒, 嵌布在中粗粒的透铁橄榄石晶体之中。团粒直径一般为0.3—0.5毫米, 较大者0.8毫米。组成团粒的金属矿物常为自形或半自形的单晶或聚晶 (图版 II—1)。有的外形呈不规则状, 分出许多小枝伸入辉石外壳之中, (图版 II—2, 3)。当团粒中的辉石含量超过金属矿物时, 后者分布比较均匀或分布在团粒外缘 (图版 II—4)。构成团粒外壳的辉石和包裹团粒的橄榄石成份如下表 (表6)。它们相当于: Wo 46—56、 En 32—38、 Fs 12—17 和 Fo 55—65。

辉石和橄榄石的电子探针分析结果 (重量%)

表 6

矿 物	辉 石				橄 榄 石			
样 品 号	175—101d	148—383c	159—67c	112—292d	175—101c	148—383b	159—67b	112—292c
MgO	16.19	15.61	19.65	15.30	35.70	40.75	40.23	40.60
FeO	6.49	4.58	6.40	5.91	22.90	17.26	19.68	17.15
CaO	20.14	22.92	20.59	21.32				
Al_2O_3	2.66	2.08	1.92	3.50				
SiO_2	53.98	54.27	48.82	53.43	39.35	39.60	39.85	40.74
合 计	99.64	99.46	97.68	99.46	97.95	97.61	99.76	98.49

团粒状铬钛磁铁矿—钛铬铁矿晶粒偶可见到环带结构 (图版 III—1)。大多数含铬较高的颗粒放大 1250 倍后未发现出熔矿物, 可能是均匀的类质同像固熔体。 $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 18\%$ 的颗粒均有出熔物。出熔物以尖晶石为主, 部分颗粒兼有钛铁矿片晶, 但未发现钛铁晶石 (图版 III—2)。 $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 18\%$, 无出熔物的颗粒, Al_2O_3 较高, 有些亦可称为钛铝铬铁矿。这种铬矿物只出现在各韵律层底部。

第四种 他形粒状钛铬铁矿。6件全分析结果 (表 5, 45—50号), Cr_2O_3 : 20.73—40.17%。数量很少, 粒度 < 0.2 毫米。颗粒内无出熔物, 但边缘有少量粒状钛铁矿密切共生。其中同样有一部分可称为钛铝铬铁矿。它们直接接触的硅酸盐矿物均已受蚀变 (图版 III—3, 4)。见于第 III 韵律层底部。

第五种 某些橄榄石晶粒中的片晶状铬钛磁铁矿 (表 5, 51号)。它们是固熔体分解产物, 量极少。

镁铁尖晶石—镁铁铬尖晶石系列矿物产状比较简单, 主要以固熔体分解物形式出现。它们呈片状或粒状, 分布在钛磁铁矿—钛铬铁矿颗粒之中、边缘或铬钛磁铁矿与粒状钛铁矿之间 (见图版 III—1, 2)。8件全分析 (表 5, 52—59号) 和 12 件单项分析结果, Cr_2O_3 : 0.40—21.02%。它们的 Cr_2O_3 与母晶相近, 随母晶含铬量增高而增高。

值得注意的是, 本区米易县新街岩体的铬亦以这类矿物产出。第一韵律层底部 8 件样

品的电子探针分析结果, Cr_2O_3 : 7.31—26.20%, 其中4件分析结果列于(表5, 60—63号)。它们呈浸染状条带或细脉、网脉状。条带宽度几厘米至几十厘米, 比较稳定; 细脉宽仅1—2厘米或数毫米, 延长数十厘米至数米。两者分布在同一层位中。

总之, 红格岩体中的 Cr_2O_3 以两个含铬矿物系列形式产出, 其中钛磁铁矿—钛铬铁矿

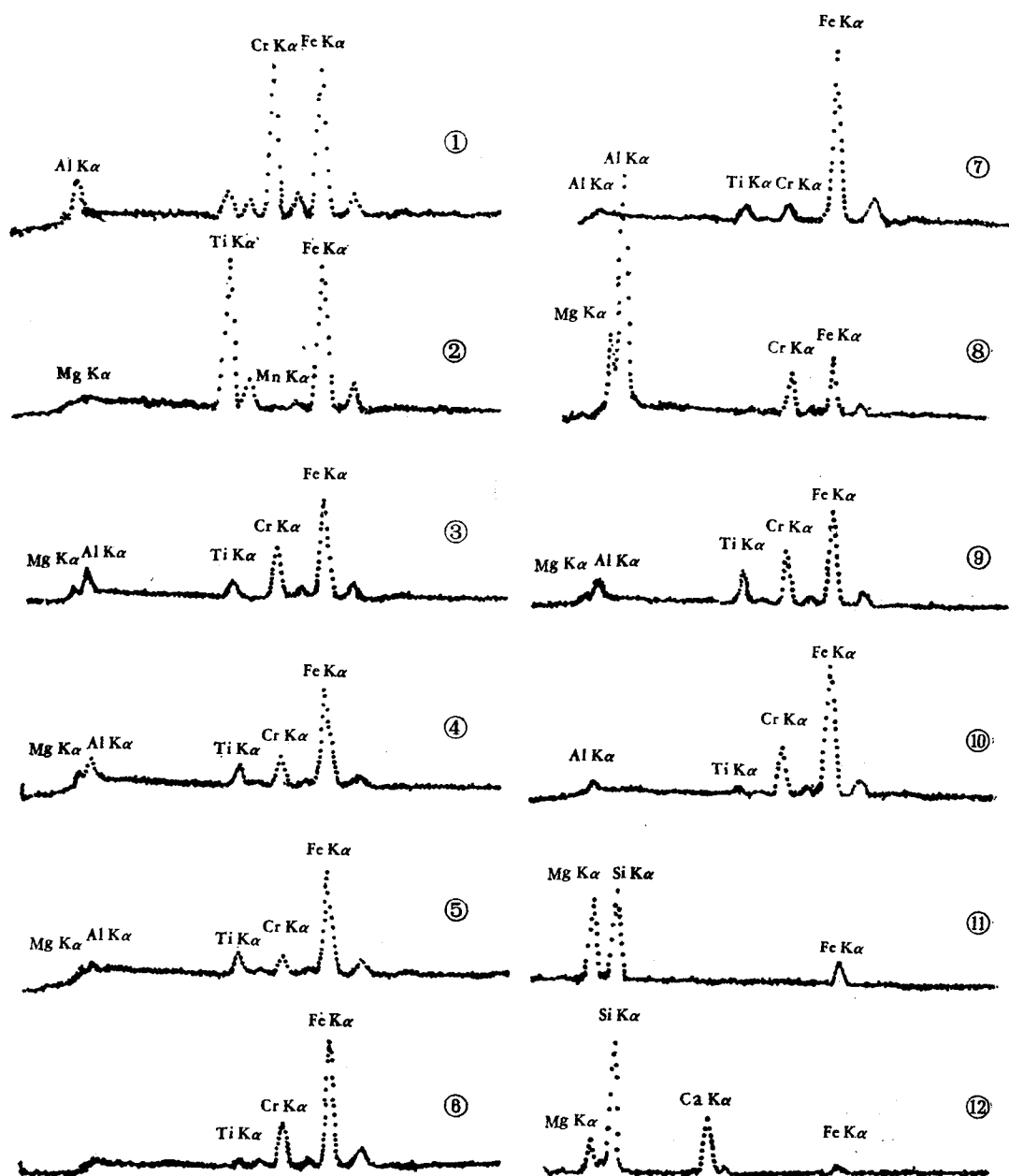


图7 矿物的X射线能谱图

①175—102 a 他形粒状钛铬铁矿; ②175—102 b 钛铁矿; ③159—67a; ④387—32; ⑤668—559; ⑥131—160团粒状铬钛磁铁矿—钛铬铁矿; ⑦262—35 a 嵌晶状铬钛磁铁矿; ⑧262—35b 铬镁铁尖晶石; ⑨SI—IC; ⑩S—IV 新街岩体的铬钛磁铁矿—钛铬铁矿; ⑪112—292 c 透铁橄榄石; ⑫112—292 d 次透辉石