

⑦ 128-134

第17卷第2期  
Vol. 17 No. 2辽宁地质  
LIAONING GEOLOGY2000年6月  
June, 2000

文章编号:1000-6273(2000)02-0128-07

## 论控制铬铁矿矿石质量的因素

刘劲鸿

(吉林省地质矿产勘查开发局, 吉林 长春 130061)

**摘要:** 从铬的地球化学性状、铬铁矿的形成过程,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  对  $\text{Cr}^{3+}$  的制约机制及矿石矿物共生组合特征讨论了控制铬铁矿矿石质量的因素, 这一研究对评价矿石质量有重要意义。

**关键词:** 铬铁矿; 地球化学性状; 矿石质量; 控制因素

**中图分类号:** P618.330.4 **文献标识码:** A

## 0 引言

铬铁矿一直是我国最短缺的矿产之一。其原因是铬铁矿矿床规模小, 产量低, 而且矿床大多处于西藏、新疆、内蒙古等边远地区。

我国的铬铁矿产出有远景的成矿岩浆构造带主要有: ①西藏南部的冈底斯-雅鲁藏布成矿构造带; ②藏北日土-丁青成矿构造带; ③新疆准格尔北缘成矿构造带; ④内蒙古索伦山-贺根山成矿构造带; ⑤祁连山隆起两侧成矿构造带; ⑥天山中隆-北山成矿构造带; ⑦华北地台北缘成矿构造带; ⑧秦岭中段成矿构造带。其中①和②成矿带成矿条件较好, 已找到萨尔托海、罗布莎、大道尔吉、松树沟、玉石沟等中小型铬铁矿矿床, 据预测还有一定远景。但就现在探明的储量仅 880 万 t。随着国民经济快速发展, 对铬铁矿的需求不断增长, 资源短缺问题日益突出, 进口量加大, 使铬铁矿产消差距增大。据冶金部门预测, 在 2005 年产量达到 22 万 t 之后将开始下降, 2010 年产量 18 万 t, 2015 年产量 15 万 t。而在需求方面却急速生长 (主要为不锈钢工业、铬铁、硅铬铁和耐火材料工业)。预测 2005 年需求量为 184 万 t, 2010 年为 200 万 t, 2015 年为 230 万 t<sup>[1]</sup>。因此, 铬资源保证程度越来越低, 生产能力远不能满足需要, 长期依赖大量进口铬铁矿是难免的。这样对判断铬铁矿的质量和应指问题就显得十分重要了, 特别是到国外进行风险勘探就更应

重视这个问题 (以往多侧重成矿条件、矿床成因和矿床规模等方面的研究, 很少研究控制矿石质量的因素)。

## 1 铬元素地球化学性状

在门捷列夫周期表中 Cr 属于查氏分类的铁族元素, 张本仁分类的第一过渡族元素<sup>[2]</sup>。其电离层结构为内层 d 亚层充填层 ( $d=1\sim 8$ )。电负性为 1.4, 离子半径  $\text{Cr}^{3+}$  为  $0.6407 \times 10^{-10} \text{ m}$  (鲍基), 具有亲硫、亲氧过渡性, 常与  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  共生, 富集于基性-超基性岩浆岩中。 $\text{Cr}^{3+}$  与  $\text{O}^{2-}$  的配位数为 6, 有时为 4, 所以常呈八面体晶形 {111}, 有时呈八面体与四面体的聚形晶体 {111} + {100}, 符合尖晶石族矿物的晶体结构特点。由其晶体化学性质决定  $\text{Cr}^{3+}$  可与  $\text{Fe}^{2+}$  ( $r=0.80$ ),  $\text{Fe}^{3+}$  ( $r=0.61$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r=0.78$ ),  $\text{Al}^{3+}$  ( $r=0.57$ ) 形成类质同缘。又因  $\text{Cr}^{3+}$  与  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  半径差与较小元素半径比分别为  $4.9 \times 10^{-2}$  和  $12.3 \times 10^{-2}$ , 可以形成完全类质同缘, 端元组分间无限混溶;  $\text{Cr}^{3+}$  可与  $\text{Fe}^{2+}$  ( $r=0.80$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r=0.78$ ) 的半径差与小离子半径之比分别为  $26.2 \times 10^{-2}$  和  $21.9 \times 10^{-2}$ , 所以在高温下可以形成完全类质同像, 但在降温下可分解, 有限混溶。

$\text{Cr}^{3+}$  与  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  的类质同像替换程度还受岩浆演化不同阶段组分中浓度的控制, 如铁多可形成铁铬铁矿, 铝多可形成铬尖晶石或铝铬铁矿等。另外它们的置换也遵循在异价类质同像情

收稿日期: 2000-03-16.

作者简介: 刘劲鸿 (1944-), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 长期致力于成因矿物学、岩石学和矿床学研究。

况下,其置换能力主要取决于正负电荷平衡的规律。

由上可见,  $\text{Cr}^{3+}$  在基性-超基性岩浆中在不同演化阶段对  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  结合的优先取向是受其地球化学性状决定的,即决定着形成何种铬尖晶石类矿物,也即决定着矿石的  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\langle\text{FeO}\rangle$  大小。

## 2 判别基性-超基性岩体含矿性的化学成分比值特征

基性-超基性岩体的含矿性及其矿石质量与成分类型有密切关系。据魏文中(1980)对我国29个工作程度较高的含铬尖晶石基性-超基性岩体的757个岩石化学分析资料,按岩体内不同岩相的相对数量计算了每个岩体的岩浆成分。统计结果  $\text{MgO}/\text{FeO}$  比值最高频率有3个,分别是3, 6, 10。按这种客观规律将含铬超基性岩分为3种成分类型:(1)镁质岩浆,  $\text{MgO}/\text{FeO}=7.5\sim 12.0$ ; (2)铁镁质岩浆,  $\text{MgO}/\text{FeO}=5.0\sim 7.5$ ; (3)铁质岩浆,  $\text{MgO}/\text{FeO}$  小于5,一般为2~5。

属铁质岩浆的岩体化学成分变化很大,基显著特点是组成岩石的透明矿物均富含铬,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  含量  $(0.3\sim 4.11)\times 10^{-2}$ ,也相对富钛  $\text{TiO}_2$  含量  $(0.35\sim 2.48)\times 10^{-2}$ 。多数情况下  $\text{MgO}/\text{FeO}$  比值高含矿性好,矿石质量也较好,比值小于2.0的通常无铬铁矿工业矿体。

下面以实例说明超基性岩浆成分对铬铁矿成矿和其质量的控制<sup>①</sup>。

### 例1:内蒙古东西向超基性岩带

该含铬铁矿超基性岩带分布于阴山纬向构造带中段,长达千余公里,侵入于走向东西的石炭纪和泥盆纪地层中,与地层走向一致。岩性主要有3种:斜辉橄榄岩、单斜辉橄榄岩和纯橄岩。

经对西部亚带的赫区乙、丙岩体的研究,根据  $\text{MgO}/\text{FeO}$  比值,分为 Mg 组 ( $\text{MgO}/\text{FeO}=10\sim 12$ ) 和镁铁组 ( $\text{MgO}/\text{FeO}=4.7\sim 9.8$ ) 两组。属第一组的有丙岩体、阿、索、土岩体等4个,属第二组的有乌岩体及小、平等岩体,其中除阿和平岩体外,均具有较好的分异分带性。据实际勘查结果看,含矿岩体主要是 Mg 组岩体。镁铁组岩体亦含铬铁矿,特点是矿化规模大,但较少形成工业矿体,矿石质量也差。

东部亚带也同样,造矿铬铁矿富集和质量好的 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3/\langle\text{FeO}\rangle=3.0\sim 5.0$ ) 均与镁组 ( $\text{MgO}/\text{FeO}=10\sim 13$ ) 岩体有关,而镁铁组 ( $\text{MgO}/\text{FeO}=6.25\sim 9.8$ ) 岩体中的铬铁矿质量相对较差 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3/\langle\text{FeO}\rangle=2.0\sim 2.5$ )。

### 例2:天山东向西向超基性岩带

该带由阿尔泰山、天山、昆仑和准噶尔界山海西褶皱带以及阿尔金山断块组成,共有数百个岩体组成岩体群。岩体类型有以下3种:①斜辉辉橄岩型:其中斜辉辉橄岩占80%以上,其次有少量纯橄岩、橄榄岩及二辉岩。岩石化学成分:  $\text{MgO}/\text{FeO}=5\sim 12$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=0.6\%\sim 6.0\%$ ,属镁-镁铁组岩体。在西准噶尔百余处铬矿床(点)中,该类岩体占80%。②纯橄岩-斜辉辉橄岩型:以斜辉辉橄岩为主,含纯橄岩15%~41%。岩石化学成分  $\text{MgO}/\text{FeO}=10$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  低,属镁组岩体,成矿性较好。③二辉橄橄岩-二辉辉橄岩型:以二辉辉橄岩和二辉橄橄岩为主,含少量斜辉辉橄岩、纯橄岩、辉石岩,岩体中部偏酸性。岩石化学成分,  $\text{MgO}/\text{FeO}=7\sim 9$ 。矿化极差。

秦祁昆超基性岩、苏联萨拉洛夫斜辉辉橄岩-橄榄岩型(Mg型,特大型)等实例,在此不详叙了。

## 3 铬铁矿矿体直接围岩与矿石质量的关系

铬铁矿矿体赋矿岩性质不仅决定矿体规模而且制约造矿铬尖晶石类矿物的亚种,即控制矿石质量的  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\langle\text{FeO}\rangle$  的比值。

先研究几个矿床实例:

### 例1:苏联肯皮尔赛特大型铬矿床

肯皮尔赛特铬矿床属非层状铬铁矿矿体。岩体走向南北,出露面积达1000 km<sup>2</sup>,呈岩盆状分布在前寒武系和奥陶系层间。据岩体东南穹隆的横剖面及有关资料证明该岩体具有明显的分异分带现象(见图1)。从图1可以清楚看到肯皮尔赛特岩体具有(地表线以下):外部为二辉橄橄岩-斜辉橄橄岩-纯橄岩,中部为富矿体粗粒纯橄岩,内部为二辉橄橄岩-纯橄岩分带;从上至下分带为上带细粒二辉橄橄岩-斜辉橄橄岩-纯橄岩,中带为纯橄岩-斜辉橄橄岩杂岩,中下带为纯橄岩为主的富矿体带,下带为富含析离体纯橄橄岩带。

矿体和矿石矿物种类受上述岩体的分带控制:

①桂林冶金地质研究所,岩浆矿床学,1973。

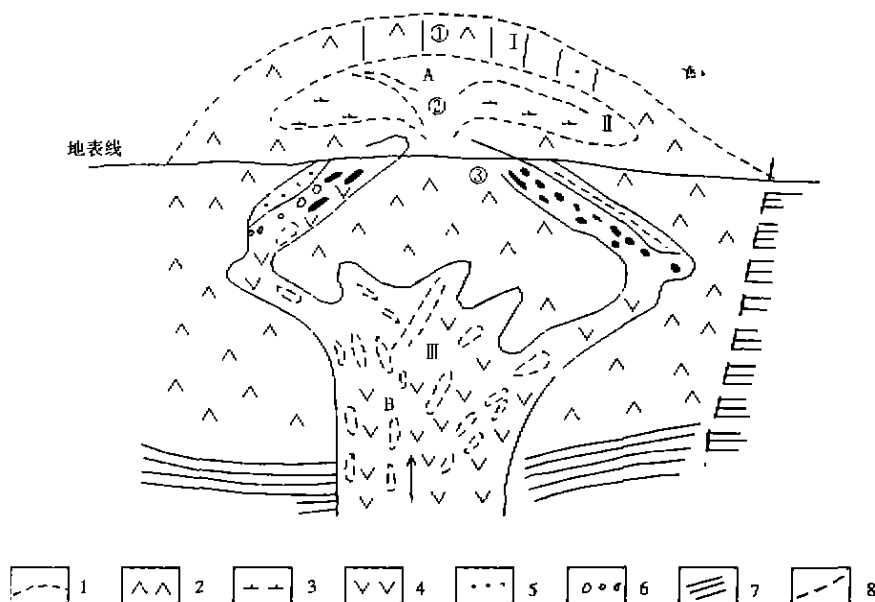


图 1 肯皮尔赛岩体及铬铁矿分带示意图

(据 G. A. 索科洛夫等资料修改)

Fig. 1 The sketch showing Kempirsay rock body and chromite zoning

(revised from data of G. A. Sokolow, et al.)

A——第一次侵入的岩相; B——岩浆通道及第二次侵入的富铬纯橄岩;

I——上带及脉状矿体①; II——中带及浸染状矿体②; III——下部带及巨型似层状矿体和分凝体③, 矿体群向通道侧伏;

1. 穹窿构造; 2. 二辉橄橄岩-斜方辉石橄橄岩-纯橄岩; 3. 纯橄岩-斜方辉石橄橄岩杂岩; 4. 纯橄岩, 具顽火斜方辉石橄橄岩拉长条带和少量斜方辉橄橄岩; 5. 蛇纹石化作用; 6. 橄橄石化作用; 7. 角闪岩和火山沉积岩层; 8. 构造接触

A—lithoface of the first time intrusion; B—pathway of magma and the second time intruding chromite-rich dunite;

I—upper belt and vein orebodies ①; II—middle belt and disseminated orebodies ②; III—lower belt, macroscopic bedded orebodies and segregated bodies ③, all the orebodies plunging to pathway side;

1. dome; 2. hornblende-harzburgite-dunite; 3. dunite-harzburgite complex; 4. dunite, containing enstatite harzburgite labrador banding and a little harzburgite; 5. serpentinization; 6. olivinitization; 7. hornblende and volcanic sedimentary beds; 8. structural contact

上部为蛇纹石化二辉辉橄岩和斜辉辉橄岩, 出现脉状铬铁矿矿体, 规模小, 矿石矿物为镁质铝铬铁矿, 含  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  38% ~ 42%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  28% ~ 30%,  $\text{FeO}$  34% ~ 28%, 矿石  $\text{Cr}_2\text{O}_3 / <\text{FeO}> = 2.0 \sim 3.0$ 。中带为纯橄岩-斜方辉橄岩, 出现浸染状铬铁矿体。中、下带岩石以纯橄岩为主, 厚度大, 达 1000 m 以上, 产出似层状矿体, 规模巨大, 质量特好, 出现的矿石矿物为铬铁矿, 矿石中  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  61% ~ 64%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  6.0% ~ 11%,  $\text{MgO} / \text{FeO} = 2.28$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 / \text{FeO} = 4 \sim 5$ 。

#### 例 2: 苏联萨兰诺夫特大型铬铁矿矿床

萨兰诺夫超基性岩体为贯入岩墙状。它的分带十分清楚 (图 2)。其下部为巨厚的具半自形结构的变斜方辉橄岩的蛇纹岩; 中部为具嵌晶状结构的变斜方辉橄岩的蛇纹岩; 上部则是辉长岩。铬铁矿矿体均产于下部, 规模大, 呈似层状, 特别在下部与中部过渡带上形成厚度大的矿体, 在辉长岩中无矿化。因其产于斜方辉橄岩中, 虽然规模大, 但矿石矿

物因富铝铁而为富铬尖晶石, 矿石的  $\text{Cr}_2\text{O}_3 / \text{FeO} < 2.4$ , 属质量较差的矿石。

#### 例 3: 马达加斯加某地铬铁矿矿床

马达加斯加超基性岩分布于前寒武纪变质岩中, 岩石仍较新鲜。此次对吉林地勘局去考察取回来的矿石样品作者进行了光薄片鉴定和电子能谱定量分析。

矿石经简项分析,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  44.45% ~ 44.61%, 铬铁比小于 2.0。

矿石具有块状构造, 铬铁矿呈稠密浸染状分布于岩体中。铬铁矿为微细粒 0.10 ~ 0.5 mm。在光薄片上统计含量占 90% 以上。铬铁矿为自形, 晶体为八面体, 少见 {111} + {100} 的聚型晶体。结晶较差的矿石中, 仍可识别出原始球状形态。光片中反射色为灰色, 微带棕色调, 反射率约为 14%, 内反射可见。薄片下黑色、不透明, 只在晶粒边缘显褐红色。无磁铁矿。矿石中的透明矿物较复杂, 主要透明矿物是斜

图2 萨兰诺夫铬铁矿主矿床地质剖面图<sup>[3]</sup>

Fig. 2 Geological section showing the main Salannow chromite deposit

1. 半自形结构的变斜方辉岩(蛇纹岩); 2. 嵌晶状结构的变斜方辉岩(蛇纹岩); 3. 辉长岩; 4. 辉长-辉绿岩; 5. 辉绿岩; 6. 石英-绢云母-绿泥石片岩; 7. 铁矿; 8. 构造位移  
1. subhedral meta-harzburgite (serpentinite); 2. poikilotopic meta-harzburgite (serpentinite); 3. gabbro; 4. gabbro-diabase; 5. diabase; 6. quartz-sericite-chlorite schist; 7. iron ore; 8. structural displacement

方辉石, 含量占透明矿物的90%以上, 占矿石的3%~5%。斜方辉石晶体较大(0.1~5.0 mm), 其中包含有数十个铬铁矿晶体。具两组近正交解理、高正突起, 双折射率低, 为一级灰至黄白色。正光性,  $2V=80^\circ\pm$ 。横断面为对称消光, 柱面, 轴面均为平行消光。除上述斜方辉石和铬铁矿之外, 还有极少量橄榄石(细微粒)。矿石发生弱蚀变作用, 在局部地方形成滑石, 经电子显微镜扫描还发现白云石、菱

镁矿、水镁石和重晶石等矿物。鉴定结果证明马达加斯加该处铬铁矿矿床产于斜方辉石岩相中。电子能谱测定铬铁矿和斜方辉石的化学成分及晶体化学式列于表1。从表1可以看出铬铁矿发生较强的铁、镁和铝的类质同像置换; 斜方辉石中不含铬, 铁和铝也很少, 接近标准的斜方辉石(顽火辉石)的化学成分。该造矿铬尖晶石类矿物在H. 帕甫洛夫Al-Fe-Cr分类图(图3)和Г. 索科洛夫 $Al_2O_3-Fe_2O_3-$

表1 铬铁矿和斜方辉石能谱定量分析结果(%)

Table 1 Results of spectral quantitative analysis on chromite and enstatite

矿物名称	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
铬铁矿	0.00	14.21	30.42	8.75	0.00	0.00	0.00	0.00	46.62
斜方辉石	57.68	0.84	3.78	37.47	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
矿物名称	晶体化学式								
铬铁矿	$(Fe^{2+}_{0.5409}Mg_{0.4591})_{1.000}(Cr_{1.2399}Al_{0.7601}Fe^{3+}_{0.2941})_2O_4$								
斜方辉石	$(Mg_{1.9032}Fe_{0.1075}Ca_{0.0083})_2O_3(Si_{1.9453}Al_{0.0547})_2O_6$								

注:表中数据由长春科技大学贺义兴教授测定,1999。

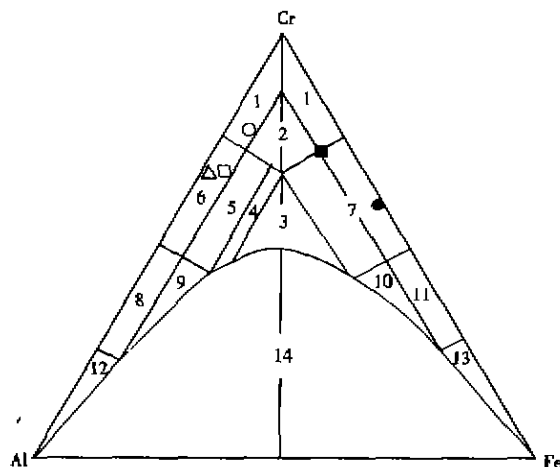


图3 铬尖晶石类矿物分类图

(据H. 帕甫洛夫)

Fig. 3 Classification of picotite minerals

1. 铬铁矿; 2. 亚铁铬铁矿; 3. 亚铁铝铬铁矿; 4. 铝铁铬铁矿; 5. 亚铝铁铬铁矿; 6. 铝铬铁矿; 7. 铁铬铁矿; 8. 硬铬尖晶石; 9. 亚铁铝铬尖晶石; 10. 亚铝铬磁铁矿; 11. 铬磁铁矿; 12. 铬尖晶石; 13. 磁铁矿; 14. 类质同象极限区; ● 马达加斯加; ■ 罗布沙; ○ 肯皮尔赛; △ 大道尔吉(鲍佩声, 1980); □ 玉石沟(温应江, 1980)  
1. chromite; 2. ferri-chromite; 3. ferri-alumo-chromite; 4. alumo-ferro-chromite; 5. meta-alumo-ferro-chromite; 6. alumo-chromite; 7. ferro-chromite; 8. chromopicitite; 9. ferri-alumo-chrome-spinel; 10. meta-alumo chrome-magnetite; 11. chrome-magnetite; 12. picotite; 13. magnetite; 14. isomorph limiting zone; ● Madagascar; ■ Lobusa; ○ Kempirsay; △ Dadaoerji; □ Yushigou

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  分类图(图 4)中均为镁质铁铬铁矿<sup>[4-5]</sup>。

马达加斯加某地铬铁矿矿床中造矿铬尖晶石种类是镁质铁铬铁矿,在矿石中含量大于  $90 \times 10^{-2}$ ,其  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 1.53$ ,造岩矿物斜方辉石无  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,铁也低,蚀变矿物白云石、滑石、菱铁矿、蛇纹石等均不含或极少  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ , 所以造矿镁质铁铬铁矿的  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  值基本可代表矿石的  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  比值。

#### 例 4:宁夏小松山铬铁矿矿床

小松山超基性岩体侵入于寒武—奥陶纪灰岩与前震旦纪花岗片麻岩不整合接触带处。岩体由基性和超基性岩体复合组成。超基性岩主要为含钛单斜橄榄岩、橄榄岩和辉石岩。铬矿体产于复合岩体的中部和中上部,它的直接围岩为富钛单斜橄榄岩。造矿铬尖晶石呈自形晶八面体被包裹于橄榄石和单斜辉石中<sup>[6]</sup>。由于受赋矿围岩性质影响,造矿铬尖晶石的化学成分出现类质同象广泛,富铝、铁和钛,而铬和镁低,在降温降压时出熔铁铬铁矿页片。造矿铬尖晶石的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  27.6%~37.1%,  $\langle\text{FeO}\rangle$  27.1%~37.4%,  $\text{TiO}_2$  12.26%~15.66%。在图 4 中投入 5 区即铁硬铬尖晶石(富钛)。形成劣质或不合格的铬铁矿石。按统计造矿铬尖晶石的  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 1.0$ 。

一些重要的资料(表 2、表 3)反映了铬铁矿矿体

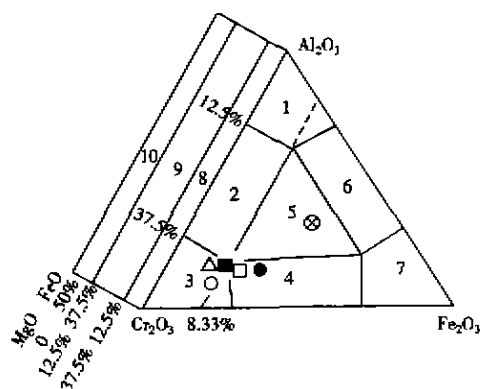


图 4  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  三角图中铬尖晶石类矿物的分布区域

(据 Г. 索科洛夫)

Fig. 4 Distribution of picotite minerals in  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  diagram

1. 铬尖晶石; 2. 硬铬尖晶石; 3. 铬铁矿; 4. 铁铬铁矿; 5. 铁硬铬尖晶石; 6~7. 类质同象极限区; 8. 镁铬尖晶石; 9. 镁铁铬尖晶石; 10. 铁铬尖晶石; ● 马达加斯加; ■ 罗布莎; ○ 肯皮尔赛; △ 大道尔吉; □ 玉石沟; ⊗ 小松山 (罗布莎、肯皮尔赛、小松山投点为转引文献<sup>[6]</sup>)

1. picotite; 2. chromopicotite; 3. chromite; 4. ferro-chromite; 5. ferro-chromopicotite; 6~7. isomorph limiting zone; 8. magnochromite; 9. magno-ferro-chromite; 10. ferrichromspinel; ● Madagascar; ■ Lobusa; ○ Kempirsay; △ Dadaoerji; □ Yushigou; ⊗ Xiaosongsan

表 2 铬尖晶石类矿物化学成分(%)

Table 2 Chemical composition of chrome-ceylonite minerals(%)

矿物名称	铬尖晶石矿物	氧 化 物					元 素			
		$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\langle\text{FeO}\rangle$	$\text{MgO}$	总 量	Al	Cr	Fe	Mg
大道尔吉	镁质铝铬铁矿	16.25(12)	50.74(12)	22.37(12)	10.59(12)	99.95	0.62	1.30	0.61	0.51
玉石沟	镁质铝铬铁矿	13.52(8)	55.51(8)	17.17(8)	13.80(8)	100.00	0.51	1.41	0.46	0.66
马达加斯加	镁质铁铬铁矿	14.21(1)	46.62(1)	300.42(1)	8.75(1)	100.00	0.56	1.24	0.86	0.44

直接围岩性质对矿石质量影响的规律性。

从上述实例和表 2 及表 3 中可以看出赋矿围岩性质对矿石质量具有决定性的制约作用,其规律性是:(1)产于纯橄岩中,特别是纯橄岩分凝体中(无斜辉辉橄岩)的铬铁矿矿床,造矿铬尖晶石为铬铁矿,铬矿石多具有块状构造或稠密浸染状构造,质量最佳,  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 4 \sim 5$ ,其规模常为中大型,有的为特大型。(2)产于纯橄岩—斜辉辉橄岩相或其过渡带中的铬铁矿矿床(直接围岩岩石组合中无辉石岩、辉长岩等),造矿铬尖晶石为镁质铝铬铁矿,铬矿石多

具稠密浸染状构造,有时出现脉状,矿石质量好,其  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 2.0 \sim 3.8$ ,其规模多为中大型。(3)直接围岩为斜辉辉橄岩—橄榄岩(无辉石岩、斜长岩、苏长岩)的铬铁矿矿床,造矿铬尖晶石为镁质铝铬铁矿,矿石常具稠密浸染状构造和浸染状构造,矿石的质量较好,其  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 2.4 \sim 3.0$ ,矿床规模以中型为主。(4)矿体产于斜方辉石岩—斜辉辉橄岩(有斜长岩、苏长岩出现)的铬铁矿矿床,造矿铬尖晶石为镁质铁铬铁矿,矿石具稠密浸染状构造,条带状构造、层状构造等,矿石的  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 1.0 \sim 2.0$ 。矿

表3 铬铁矿矿体直接围岩岩性矿石质量关系

Table 3 Relationship between direct wall rocks of chromite orebodies and quantity of ores

矿床实例	岩体类型	岩体产状	矿体构造类型	矿体直接围岩	与围岩关系	矿石类型	铬尖晶石种类及矿石 $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	矿床规模
阿扎尼亚 布什维尔德	基性-超基性杂岩 (斜长岩、苏长岩、古 铜辉岩、斜辉辉橄岩、 辉石岩)	岩盆状	层状	古铜辉岩为 主下部带	整合	以块状为主	富铁铬铁矿 $\geq 1.0$	特大型
马达加斯加	斜方辉岩	-	似层状	斜方辉岩	整合	块状-稠密 浸染状	镁质铁铬铁矿 1.5~2.0	大中型
宁夏小松山	基性-超基性岩杂岩 (含钛单斜橄辉岩、橄 辉岩、辉石岩)	脉状	-	富钛单斜橄 辉岩中上部	-	稠密浸染状	富铁硬铬尖晶石 0.1(部分小于0.1)	小型
云南新平芭	斜辉辉橄岩	-	-	斜辉辉橄岩	-	浸染状	镁质富铁铝铬铁矿 1.0~2.0	中小型
燕山岩带 铬矿	辉橄岩-纯橄岩-辉 石岩杂岩(斜长岩)	岩墙状 单斜状	浸染状	辉橄岩、橄 辉岩中上部	整合	均匀稠密浸 染状	富铁铬铁矿 1.5±	中小型
甘肃 大道理吉	纯橄岩-辉橄岩	-	似层状	纯橄岩	整合	块状-稠密 浸染状	镁质铝铬铁矿 2.26(2.02~2.59)	中型
乌拉尔 萨拉诺夫	斜辉辉橄岩-橄辉岩 (上部有辉长岩)	岩墙状	似层状 脉状	纯橄蛇纹岩	整合穿插	块状-密浸 染状	亚铁铝铬铁矿、 铁铝铬铁矿 2.0±	特大型
青海玉石沟	纯橄辉岩-斜辉辉橄 岩-斜辉橄辉岩(蛇 绿岩带)	岩盆状 单斜状	似层状	南亚带纯橄 岩-含辉纯 橄岩	整合	浸染状-块 状	镁质铝铬铁矿 3.23(2.51~4.09)	中型
西藏罗布沙	纯橄岩、斜辉辉橄岩	-	脉状 似层状	纯橄岩-斜 辉辉橄岩	整合穿插	块状-稠密 浸染状	亚铁铬铁矿铬铁矿 2.6~4.8	中型
苏联 肯皮尔赛	纯橄岩-斜辉辉橄岩	岩盘状	似层状	纯橄岩下部带	受穹窿构造 控制整合	块状-稠密 浸染状	铬铁矿 4~5	特大型

床规模呈双峰式、大型或小型、也有特大型。(5)产于单斜辉橄岩或单斜辉石岩中铬铁矿矿床,造矿铬尖晶石中类质同象强,富铝、铁、镁和钛,常为铁硬铬尖晶石,有的在铬尖晶石分类中已超出混溶区,矿石为浸染状构造,矿石质量差,局部组成不合格的铬铁矿岩,矿床规模为小型。

#### 4 控制铬铁矿矿石质量的地球化学机制

如前所述,铬矿体的产出对超镁铁质岩体类型是有特定要求的,即是有专属性的,几乎专属于纯橄岩、斜辉橄辉岩和斜方辉岩。常见的由含铝硅酸盐矿物组成的辉岩、辉长岩、角闪岩、橄辉岩、苏长岩等岩石中不见有工业铬矿体。这是为什么呢?主导作用是铬和铝、铁的亲石和亲氧两重性<sup>[7]</sup>。

在超镁铁岩中都或多或少含有铝和铁等元素。它们常有3种存在形式:(1)镁铁硅酸盐矿物的外阳离子,占据6次配位;(2)硅酸盐矿物中络阳离子代替硅占据4次配位;(3)岩石中造矿铬尖晶石或副矿

物尖晶石中,成铬矿的超镁铁岩中由于有大量的造矿铬尖晶石存在,使铝铁含量明显增多。

超镁铁质岩浆结晶成矿过程从早到晚存在明显规律(表4)。

由  $\text{Cr}^{3+}$  地球化学性质决定,  $\text{Cr}^{3+}$  不替代4次配

表4 超镁铁质岩浆结晶演化产物与铬铁矿矿石质量制约关系

Table 4 Controlling relationship of crystallization evolution results of ultramafic magma on quantity of chromite ores

结晶 顺序	外阳离子 系列	对应造岩 矿物	对应造矿 矿物	铬矿石质量 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ )
早	Mg-Fe 系列	橄辉石 斜方辉石	铬铁矿 铝铬铁矿	3~5
中	Ca-Mg- Fe±-Al± 系列	斜方辉石 橄辉石 透辉石	镁质铁铬铁矿 铁铬铁矿 铁硬铬尖晶石	1~3
晚	Ca-Mg- Fe-Al 系列 (Ti, P, Cu, Ni 等)	普通辉石 普通角闪石 斜长石	钒钛磁铁矿 铬磁铁矿 磷灰石 铜镍硫化物	转化为 Fe, P, Cu, Ni 成矿

位的铝(铁),而只能替代 6 次配位的铝、铁。橄榄石和斜方辉石中不含或极少 6 次配位的铝铁,所以早期含铬的纯橄岩-斜辉辉橄岩岩体中  $\text{Cr}^{3+}$  便富集成以铬铁矿或铝铬铁矿组成的优质铬矿体。中期结晶出斜方辉石、橄榄石和透辉石等。这些矿物中都含有一些铬或铁,存在少量的 6 次配位铝、铁,这些亲石的铝和铁使  $\text{Cr}^{3+}$  分散,但岩浆中  $\text{Cr}^{3+}$  的含量(浓度)仍能形成相对富铁、铝、镁的富铁铬铁矿、镁质铁铬铁矿和铁硬铬尖晶石,构成中、差质量的矿体。晚期岩浆由于富 Fe, Ti, Ca, Al, Mg, 便结晶出大量的普通辉石、普通角闪石、斜长石等,由于存在较多的 6 次配位的铝、铁,导致  $\text{Cr}^{3+}$  极度分散,不能富集成铬铁矿,而转化形成富 Cr 磁铁矿、钒钛磁铁矿、铜镍硫化物,如属碱性还可使磷灰石成矿。

以上说明在铬铁矿成矿过程中,元素之间的地球化学制约因素是不容忽视的,Al, Fe 对 Cr 成矿具有主导作用。 $\text{Cr}^{3+}$  与  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  无论在亲氧亲石状态下,都可以以类质同像形式相共生,表现出相关元素

晶体化学的依存性,是在动态下的对立统一。

### 参考文献:

- [1] 吴智慧, 奚生生, 吴初国, 等. 我国短缺矿产问题和对策——铬铁矿[J]. 中国地质, 1999(11): 47~49.
- [2] 赵伦山, 张本仁. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1988. 51~80.
- [3] Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. Издание четвертое переработанное и дополненное Москва [J]. НЕДРА, 1982. С80~20.
- [4] Соколов Г. А. Фромиты Урала, ИФ состав, условия кристаллизации и закономерности распространения [J]. Труды ИГН, вып. 97, 1948.
- [5] Соболева Н. Д. Фромиты Урала, Казакстана и Дальнего Востока [J]. Под ред. Издво ВИМС, 1974, 205С.
- [6] 王安平. 宁夏小公山铬尖晶石中钛铁矿出溶研究[A]. 见: 长春地质学院建院 40 周年科研论文集(勘查技术方法). 长春: 吉林科技出版社, 1992.
- [7] 戚长谋. 铝对铬成矿地球化学的依存性和对抗性[J]. 吉林地质, 1998(1): 32~35.

## THE FACTORS CONTROLLING ORE QUALITY OF CHROMITE

LIU Jin-hong

(Jilin Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Changchun 130061, China)

**Abstract:** From the geochemical behaviour of chromium, forming process of chromite, controlling mechanism of  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  on  $\text{Cr}^{3+}$ , and mineral association characteristics of chromite ores, the factors controlling ore quality of chromite are discussed in the paper. It has great significances to valuating quality of ores.

**Key words:** Chromite; geochemical behaviour; ore quality; controlling factors