

对大道尔吉铬铁矿床成因的新认识

鲍佩声 王希斌

(中国地质科学院地质研究所)

内容提要: 大道尔吉岩体为一肢解的蛇绿岩残片,由两个单元组成,一为堆晶杂岩,另一为地幔橄榄岩。堆晶杂岩包括三个岩浆旋回,每一旋回均表现出由超镁铁质向镁铁质演化的特点。工业铬铁矿产于堆晶杂岩第三旋回底部的纯橄岩-含辉纯橄岩中,而产于地幔橄榄岩中的铬铁矿为数甚微。矿体主要由各种浸染状的铬铁矿石组成。矿体的围岩为纯橄岩且两者逐渐过渡。副矿物铬尖晶石与造矿铬尖晶石的成分相似。上述特征表明大道尔吉铬铁矿床系堆积成因,明显地区别于地幔橄榄岩中的豆荚状铬铁矿。大道尔吉铬铁矿床为我国一个与蛇绿岩堆晶杂岩有关的典型铬铁矿床。

主题词: 蛇绿岩 堆晶杂岩 堆积铬铁矿分离结晶作用 大道尔吉

前言

大道尔吉铬铁矿床为我国知名的铬铁矿床之一。曾一度引起许多地质学家前来参观和研究。普遍认为大道尔吉岩体为多期侵入的复合侵入体,铬铁矿全部赋存于后成岩相偏南部的纯橄岩-含辉纯橄岩中^{①②}。也有少数人把大道尔吉铬铁矿床与西藏、新疆、内蒙等地的铬铁矿床同等看待。作者近年来通过对蛇绿岩及有关铬铁矿的研究,认为大道尔吉岩体应属肢解的蛇绿岩残片,其中的工业铬铁矿主要产于蛇绿岩堆晶杂岩内的纯橄岩-含辉纯橄岩带中,而产于该岩块地幔橄榄岩中的铬铁矿为数甚微。作者未补做系统的矿物测试,仅在综合以往资料的基础上撰写此文,目的是阐明大道尔吉工业铬铁矿在产出层位、含矿围岩、矿石类型以及成因机制等方面均不同于西藏、新疆、内蒙等地的豆荚状铬铁矿的新认识。从而指出在我国存在着与蛇绿岩有关的堆积成因的铬铁矿床,大道尔吉工业铬铁矿床就是一个典型实例。

一、概述

大道尔吉岩体位于祁连中间隆起带西端南缘,沙拉果河断裂的北侧。岩体呈长透镜状,面积 8km^2 。岩体面积的80%以上被第四系覆盖。岩体北侧分别与中震旦统和下石炭统呈断层接触,断面总体向SW陡倾;南界与石英闪长岩呈断层接触,断面总体向SW陡倾或直立。据

① 大道尔吉铬铁矿成矿规律与找矿方向研究报告,1975,地质科学院地质研究所大道尔吉组

② 大道尔吉铬铁矿矿区地质勘探报告,1977,甘肃地质局第二地质队

物探综合剖面,岩体中东段延深1.4km,中段垂深1km以下变窄,而西端延深1.8km尚未封闭。由此可见,大道尔吉岩体为一近楔状的陡倾单斜构造岩片。

地幔橄榄岩内混杂有下石炭统的围岩碎块(结晶灰岩),其中尚可找到维宪期的腕足类化石。在岩体东端钻孔内的中下侏罗统砂岩中含有滑石碳酸盐化超基性岩砾石及斧足类介形虫化石。在岩体西端钻孔中见侏罗系紫红色砂砾岩不整合覆盖于岩体之上。该砂岩中含有孢粉化石^①。

由此可见,大道尔吉岩体是在早石炭世以后和早中侏罗世以前发生构造侵位的。对岩体形成的时代尚缺乏可靠的同位素资料。

二、堆晶杂岩的组合及其特征

1. 堆晶杂岩的岩石组合

大道尔吉蛇绿岩为一解体的岩片,由两部分组成:一为堆晶杂岩,另一为地幔橄榄岩。堆晶杂岩构成岩片的主要部分,出露于地幔橄榄岩的南侧,呈310°方向断续出露达5km以上,宽约400—600m不等。堆晶杂岩主要由纯橄岩、透辉石岩、异剥橄榄岩和辉长岩组成。这些岩石在空间上呈现出规律的带状分布(图1)。由北向南依次可划分出三个旋回,每一旋回均表现出由超镁铁质岩石向镁铁质岩石演化的特点。三个旋回的岩石组合如表1所示。

从岩体横剖面图(图2)可看出,各岩带、各种分凝体以及铬铁矿体均呈陡倾斜产出。在岩浆房中形成的堆晶杂岩其原始产状应是水平的,如堆晶杂岩柱状剖面(图3)所示。显然,现今陡倾斜的产状为岩体后期构造侵位的结果。

各岩浆旋回的岩石组合特征如下:

第一旋回(I):位于堆晶岩的最下部,包括底部的纯橄岩带(I₁)和上部的透辉石岩带(I₂)两部分。I₁带厚60—70m,由全蛇纹石化纯橄岩和含辉纯橄岩组成,并常见少量透辉石分凝体;I₂出露宽度200—300m,边部可见由浅灰绿色透辉石岩和黑色异剥橄榄岩组成的深浅相间的层状杂岩,层厚1m至数米不等。I₂带内常见硅化碳酸盐化纯橄岩分凝体及含单辉古铜辉石岩-二辉岩分凝体。

须指出,异剥橄榄岩包括由橄榄石和单斜辉石以不同比例组成的各种岩石,如含单辉纯橄岩、单辉辉橄岩、单辉橄橄岩和单辉橄辉岩等(照片1),取决于单斜辉石无规律的变化。故该类岩石的化学成分变化较大,有时其化学成分近于含单辉纯橄岩。异剥橄榄岩常显示层状构造。

因纯橄岩和异剥橄榄岩普遍蛇纹石化,透辉石岩常不同程度受次闪石化,故原始堆积结构常被破坏,而代之以网环结构和交代残余结构。

第二旋回(II):包括下部的纯橄岩带(II₁)和上部的透辉石岩-异剥橄榄岩-辉长岩带(II₂)。II₁带出露宽10—170m,东宽西窄(图1、图2),全由蛇纹石化纯橄岩组成,透辉石岩分凝体少量;II₂带为层状杂岩,宽3—100m不等,透辉石岩、层状辉长岩和异剥橄榄岩三者间互成层,单层厚度由数十厘米至数米不等,常显示由异剥橄榄岩→透辉石岩→辉长岩

① 大道尔吉铬铁矿矿区地质勘探报告,1977,甘肃地质局第二地质队

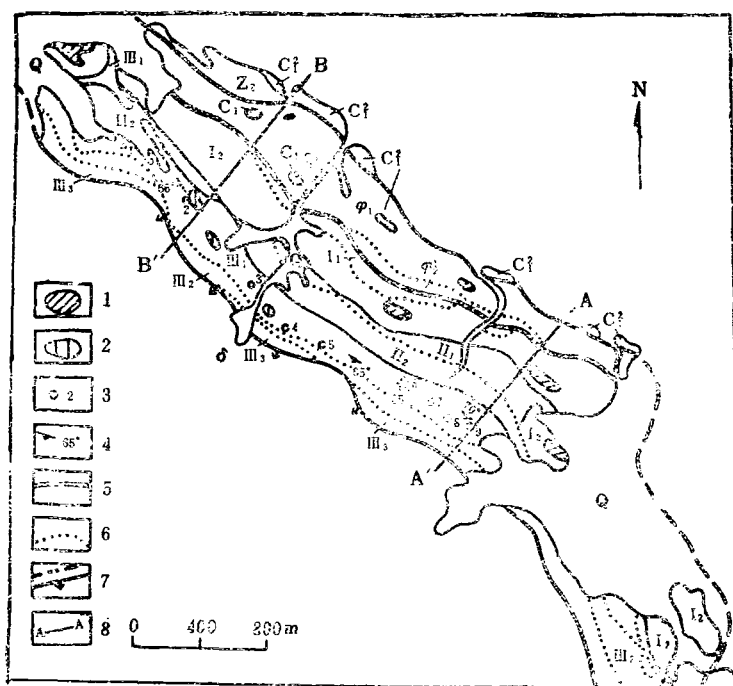


图1 大道理吉蛇绿岩地质简图

φ_1 —地幔纯橄岩; φ_2 —地幔斜辉辉橄岩; 第一旋回: I₁—堆积纯橄岩带; I₂—透辉石岩带; 第二旋回: II₁—堆积纯橄岩带; II₂—透辉石岩-异剥橄榄岩-辉长岩带; 第三旋回: III₁—堆积纯橄岩带; III₂—透辉石岩-异剥橄榄岩带; III₃—辉长岩带; Q—第四系; C₁²—下石炭统砂岩、砾岩; Z₂—中震旦统硅质灰岩; δ—石英闪长岩; 1—斜方辉石岩分凝体; 2—透辉石岩分凝体; 3—矿群及编号; 4—铬尖晶石层状构造; 5—岩石莫霍面; 6—岩相界线; 7—实测及推测断层; 8—剖面线

Fig. 1. Schematic geological map of Dadao Erji ophiolite.

φ_1 —Mantle dunite; φ_2 —Harzburgite; First cycle: I₁—Cumulus dunite zone; I₂—Diopsidite zone; Second cycle: II₁—Cumulus dunite zone; II₂—Diopsidite-wehrlite-gabbro zone; Third cycle: III₁—Cumulus dunite zone; III₂—Diopsidite-wehrlite zone; III₃—Gabbro zone; Q—Quaternary; C₁²—Lower Carboniferous sandstone and conglomerate; Z₂—Middle Sinian silicic limestone; δ—Quartz diorite; 1—Orthopyroxenite segregation lens; 2—Diopsidite segregation lens; 3—Ore cluster and its number; 4—Layered structure of chrome-spinel; 5—Petrologic Moho; 6—Boundary of Petrofacies; 7—Fault (surveyed and inferred); 8—Section line.

的次一级韵律层, 含古铜辉石岩-二辉岩分凝体。除可见辉长岩的正堆积结构和部分异剥橄榄岩的中堆积结构外, 余均为交代残余结构。

透辉石岩(照片2)和层状辉长岩均蚀变较强, 如绿泥石化、次闪石化和黝帘石化等。

第三旋回(III): 位于堆晶杂岩的最顶部, 包括下部的纯橄岩-含辉纯橄岩带(III₁)和中部的透辉石岩-异剥橄榄岩(III₂)以及上部的均质辉长岩带(III₃)。III₁带为大道尔吉的主要含矿带, 出露宽度50—250m不等, 纯橄岩占90%, 其余为含辉纯橄岩(照片3), 普遍蛇纹石化, 故以网环结构为特征, 可见若干透辉石岩和异剥橄榄岩分凝体。III₂带以透辉石岩为主, 局部见透辉石岩与异剥橄榄岩和层状辉长岩组成的层状杂岩(包括透辉石岩、均质辉长岩、层状辉长岩、古铜透辉辉长岩和异剥橄榄岩等)。除层状辉长岩的正堆积结构外, 余均显示交代残余结构, 并含有顽火辉石岩和橄榄顽火辉石岩分凝体。III₃带为单一的均质辉长岩带, 宽数十米至数百米, 主要为黝帘石化次闪石化均质辉长岩, 以辉长结构为特征(照

表 1 大道尔吉堆晶杂岩岩石组合
Table 1. Rock assemblage of the Dadao Erji cumulates

	岩带	岩石组合	原生造岩矿物	结构构造	矿化	旧岩带号①
第三旋回堆积岩(Ⅲ)	辉长岩带(Ⅲ ₃)	辉长岩	透辉石、倍长石, 少量古铜辉石	辉长结构		Ⅵ
	透辉石岩-异剥橄榄岩带(Ⅲ ₂)	透辉石岩为主, 局部见透辉石岩与异剥橄榄岩、辉长岩组成层状杂岩	透辉石-次透辉石、橄榄石, 少量古铜辉石	交代残余结构、碎斑结构、正堆积结构、局部层状构造		Ⅵ
	纯橄岩-含辉纯橄岩带(Ⅲ ₁)	纯橄岩为主, 次为含辉纯橄岩	橄榄石为主, 透辉石少量, 可见斜方辉石(绢石)	网环结构, 可见蛇皮状构造	为主要含矿带, 包括10个矿群, 300余个矿体	V
第二旋回堆积岩(Ⅱ)	透辉石岩-异剥橄榄岩-辉长岩带(Ⅱ ₂)	层状杂岩内深色者为异剥橄榄岩, 浅色者为透辉石岩和变辉长岩	橄榄石、透辉石、次透辉石、古铜辉石(或绢石)	中堆积结构、正堆积结构、局部糜棱结构, 层状构造、眼球片状构造		Ⅳ
	纯橄岩带(Ⅱ ₁)	纯橄岩	未见残晶	网环结构	局部见弱矿化	Ⅲ
第一旋回堆积岩(Ⅰ)	透辉石岩带(Ⅰ ₂)	透辉石岩为主, 橄榄透辉石岩次之, 局部见透辉石岩与异剥橄榄岩互层	透辉石、次透辉石, 少量橄榄石和斜方辉石	中堆积结构、交代残余结构, 可见层状构造		Ⅱ
	纯橄岩带(Ⅰ ₁)	纯橄岩为主, 少量含辉纯橄岩	透辉石、橄榄石, 少量斜方辉石(绢石)	网环结构	见小矿体10余个	V ¹
地幔橄榄岩(M)	纯橄岩-斜辉辉橄岩带	纯橄岩为主, 少量斜辉辉橄岩和斜辉橄榄岩	橄榄石, 少量斜方辉石(绢石)	网环结构	较差, 见少数贫的铬铁矿体, 矿条多见	I

①地质科学院地质矿产研究所大道尔吉组1975年“大道尔吉铬铁矿成矿规律与找矿方向研究报告”和甘肃地质局第二地质队1977年“大道尔吉铬铁矿矿区地质勘探报告”

片4)。

综上所述, 上述三个旋回为镁铁质岩浆发生周期性堆积作用的产物。

位于堆晶杂岩底部的地幔橄榄岩由全蛇纹石化纯橄岩和少量全蛇纹石化斜辉辉橄岩或斜辉橄榄岩组成, 并含有中震旦统和下石炭统的围岩块体, 具混杂岩特征。地幔橄榄岩以不含单斜辉石以及铬尖晶石富铬而区别于堆晶岩。

2. 堆晶杂岩的矿物学特征

组成堆晶杂岩的原生矿物主要为橄榄石、单斜辉石、斜方辉石, 次为斜长石, 及少量副矿物铬尖晶石和(钛)磁铁矿。主要矿物的堆晶顺序为: Ol(橄榄石) + Sp(铬尖晶石) → Ol + Cpx(单斜辉石)(+少量斜方辉石) → Cpx + Pl(斜长石), 这一堆晶顺序的重复出现使岩石呈现出清晰的韵律特征。

橄榄石: 在纯橄岩、异剥橄榄岩中作为主要堆积相, 在透辉石岩和顽火辉石岩中作为堆

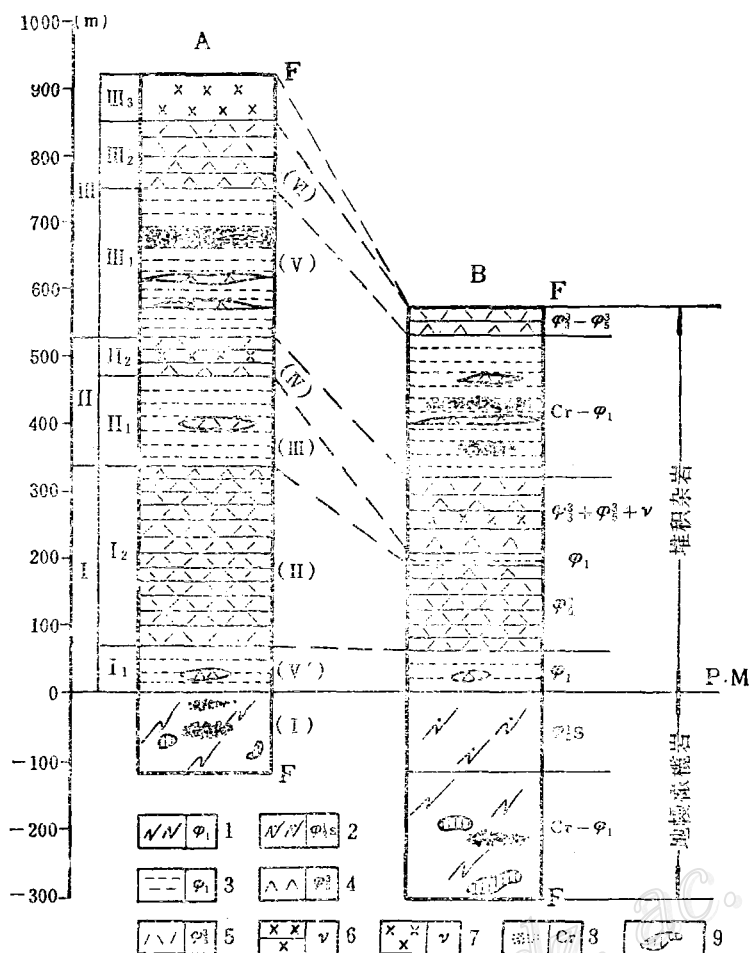


图 3 堆晶杂岩柱状剖面

A. 岩体东段; B. 岩体西段; 1—地幔纯橄岩; 2—斜辉辉橄岩; 3—堆积纯橄岩; 4—异剥橄岩; 5—透辉石岩; 6—层状辉长岩; 7—均质辉长岩; 8—铬铁矿; 9—围岩岩块; P. M.—岩石莫霍面; F—断层; (I)(II)(III)(IV)(V)(V')(VI) 原使用岩带号

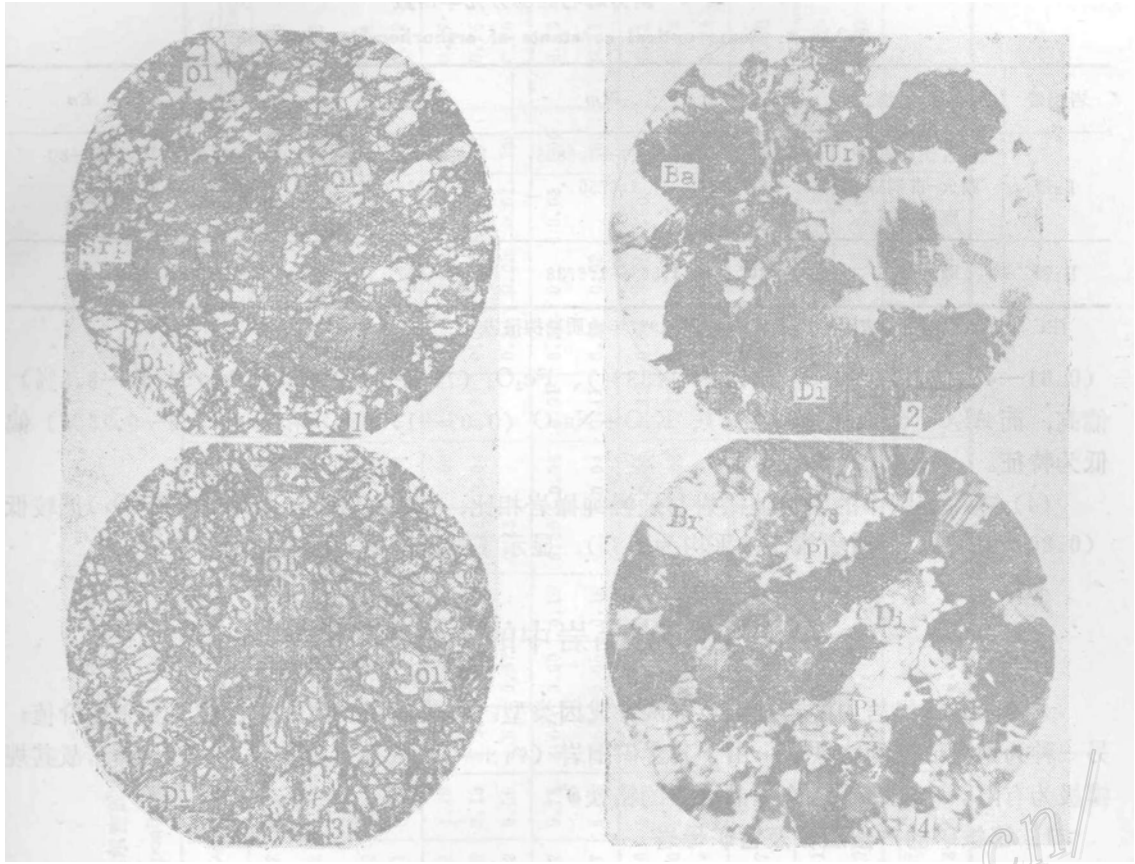
Fig. 3. Columnar section of cumulates in Dadao Erji.

1-Mantle dunite; 2-Harzburgerite; 3-Cumulus dunite; 4-Wehrllite; 5-Diopside; 6-Layered gabbro; 7-Isotropic gabbro; 8-Chromite; 9-Block of country rock; P. M.-Petrographic Moho; F-Fault; (I)(II)(III)(IV)(V)(V')(VI)-Original serial number of petrographic facies.

(1) 堆晶岩剖面由底部向上, 岩石的 $MgO/(MgO + \langle FeO \rangle)$ 比值依次由 $0.82 \rightarrow 0.72 \rightarrow 0.81 \rightarrow 0.77 \rightarrow 0.86 \rightarrow 0.82$ (表 4), 显现出三次由高向低的变化, 代表了三个岩浆旋回, 提示了岩浆的脉动补给^[7]和岩浆房在开放系统中分离结晶作用的演化模式^[11]。

(2) 每一岩浆旋回由底部向上, 岩石的 $MgO/(MgO + \langle FeO \rangle)$ 比值依次降低, 反映了拉斑玄武质岩浆的分异特点, 尤以第三旋回岩浆分异较充分。

(3) 大道尔吉堆晶岩的化学成分与世界某些典型蛇绿岩堆晶岩 (表 4) 相比, 以其 MgO



照片 1 异剥橄榄岩

橄榄石 (Ol) 和透辉石 (Di) 均碎裂, 分布于蛇纹石 (Srp) 中 (+) 6.3×3.2

照片 2 含斜辉透辉石岩

由透辉石 (Di)、具辉石假象的纤闪石 (Ur) 和少量绢石 (Ba) 组成 (+) 6.3×6

照片 3 含透辉石纯橄岩

透辉石 (Di) 及橄榄石 (Ol) 残晶分布于蛇纹石间 (-) 6.3×6

照片 4 均质辉长岩

由透辉石 (Di)、斜长石 (Pl) 及少量古铜辉石 (Br) 组成 (+) 8×3.2

表 2 单斜辉石的部分光学常数

Table 2. Some optical constants of monoclinic pyroxene

	单斜辉石	2V	C∧Ng	Nm	Ng	Np	Di
Ⅲ ₁ 带	异剥橄榄岩分凝体	+54°—+56°	35°—40°	1.6755—1.6765	1.6920—1.6992	1.6682—1.6705	95—96
	透辉石岩分凝体	+56°—+58°	39°—40°	1.6758—1.6785	1.6948—1.6989	1.6690—1.6702	92—95
Ⅰ ₂ 带、Ⅱ ₂ 带、 Ⅲ ₂ 带	异剥橄榄岩	+56°	37°—41°	1.6755—1.6761	1.6954—1.6955	1.6700—1.6713	95—96
	透辉石岩	+56°—+58°	37°—41°	1.6811—1.6935	1.7004—1.7100	1.6734—1.6843	70—90

注: 表中数据来自甘肃省地质局第二地质队1977年地质勘探报告

表 3 斜方辉石的部分光学常数

Table 3. Some optical constants of orthorhombic pyroxene

岩相带	矿 物	2V	N _m	N _g	N _p	En
I ₂ 带	古铜辉石	-71°	1.6877—1.6895	1.6920—1.6943	1.6813—1.6820	79—80
	顽火-古铜辉石	-87°	1.6755	1.6800	1.6668	88
	顽火辉石	+82°				92
II ₁ 带	顽火辉石	+86°	1.665—1.6738	1.667	1.6752—1.6814	91

注：表中数据来自甘肃省地质局第二地质队1977年地质勘探报告

(0.61—46.15%)、Cr₂O₃ (0.10—1.33%)、Fe₂O₃ (1.12—9.75%)、FeO (2.81—8.3%) 偏高，而 Al₂O₃ (0.37—18.82%)、K₂O + Na₂O (0.07—1.60%) 和 TiO₂ (0—0.13%) 偏低为特征。

(4) 三个旋回中的堆积纯橄岩与地幔纯橄岩相比，前者的 MgO/(MgO + <FeO>) 值较低 (0.80—0.82)，而后者较高 (平均为0.85)，显示了堆晶纯橄岩更富铁的特点。

三、堆晶岩中的铬铁矿

大道尔吉蛇绿岩中的铬铁矿包括两种成因类型：一为堆积成因的铬铁矿，具工业价值；另一种为地幔成因的铬铁矿，由于其含矿围岩 ($\varphi_1 + \varphi_2^1$) 现存厚度小 (100—200m)，故其规模极为有限。本文着重讨论堆晶岩中的铬铁矿。

1. 铬铁矿的产出层位及含矿母岩

堆晶岩三个旋回中的纯橄岩 (I₁、II₁、III₁) 内均有铬铁矿产出。其中 I₁ 带矿化甚差，仅见十余个长数十米，厚仅数米的小矿体，II₁ 带仅局部见弱矿化，III₁ 带为主要含矿带。带内的矿体在同一含矿层位上常表现出成群分布的特点，在长2km宽80m的范围内构成了10个矿群 (图1)。每个矿群由大小不等的几个至几十个矿体所组成。矿群断续出露组成矿带，其产状与岩带产状和展布方向一致。

从图2、图3中可以看出，矿体大多产于III₁带的中上部位，表明在大部分橄榄石发生堆晶作用后，铬尖晶石方得以富集。主要矿体分布于纯橄岩厚度较大且异剥橄榄岩和透辉石岩分凝体较少的地段。

堆晶岩各旋回的铬铁矿均产于纯橄岩中，故矿体的直接围岩均为纯橄岩。第三旋回堆晶岩显示了较充分的分离结晶作用，III₁带宽度较大，且 MgO/(MgO + <FeO>) 值偏高，故形成工业矿体。纯橄岩与铬铁矿之间有如下制约关系：

(1) 铬铁矿多集中在纯橄岩带较厚的部位及异剥橄榄岩和透辉石岩分凝体较少的地段，说明铬铁矿受偏基性纯橄岩的制约。

(2) 纯橄岩内副矿物铬尖晶石与造矿铬尖晶石成分 (表5、表6) 的相似性说明，铬铁矿即由纯橄岩中分散的铬尖晶石堆积富集而成。

(3) 矿石主要为浸染状，且多与围岩逐渐过渡，部分块状矿石与围岩接触界线截然。

上述制约关系表明，矿体围岩纯橄岩即是含矿母岩。

表 4 大道尔吉蛇纹岩岩石化学成分(%)
Table 4. Chemical composition of the Dadao Erji ophiolite

旋回	岩相带	岩石	样品数	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	NiO	TiO ₂	CoO	总计	MgO MgO + (FeO)
第三 旋回 (III)	辉长岩带(III ₃)	辉长岩	3	48.61	10.61	18.82	1.12	4.47	0.10	0.12	14.43	0.17	1.43	0.03	0.06	0.01	100	0.66
	透辉石岩-异剥 橄榄岩带(III ₂)	异剥橄榄岩	3	50.02	28.67	2.82	3.89	7.79	0.40	0.14	5.84	0.04	0.14	0.12	0.12		100	0.72
	纯橄岩-含辉 纯橄岩带(III ₁)	蛇纹石化含辉纯橄岩 蛇纹石化纯橄岩	6 8	42.85 40.17	42.08 45.92	1.62 0.61	8.04 3.15	2.81 2.84	1.33 1.27	0.14 0.29	0.57 0.28	0.05 0.04	0.09 0.07	0.27 0.23	0.13 0.04	0.02 0.02	100 100	0.81 0.82
第二 旋回 (II)	透辉石岩-异剥 橄榄岩-辉长岩 带(II ₂)	蚀变辉长岩 异剥橄榄岩 含单辉纯橄岩	4 3 3	43.31 52.50 44.63	17.40 30.53 41.42	13.21 0.80 1.72	1.79 2.13 6.56	3.63 8.30 4.51	0.29 0.64 0.57	0.13 0.24 0.33	19.74 4.58 0.33	0.03 0.04	0.35 0.13	0.05 0.03	0.05 0.07		100 100 100	0.77 0.75 0.80
	纯橄岩带(II ₁)	蛇纹石化含单辉纯橄岩 蛇纹石化纯橄岩	1 5	42.87 40.61	42.45 46.15	0.22 0.37	9.75 8.03	3.07 3.56	0.90 0.65	0.16 0.18	0.20 0	0.06 0.04	0.01 0.11	0.30 0.29	0 0.02	0.02	100 100	0.78 0.81
第一 旋回 (I)	透辉石岩带(I ₂)	透辉石岩 次闪石化透辉石岩 异剥橄榄岩	3 4 2	52.33 53.58 43.44	22.50 24.25 39.33	1.79 2.00 0.88	2.05 2.77 9.44	6.93 6.59 5.64	0.35 0.33 0.53	0.22 0.20 0.13	13.55 9.94 0.25	0.06 0.03	0.10 0.18 0.14	0.04 0.06 0.16	0.06 0.047 0.021	0.009 0.009 0.012	100 100 100	0.72 0.73 0.74
	纯橄岩带(I ₁)	蛇纹石化纯橄岩	3	40.49	45.94	0.57	8.51	2.43	1.32	0.11	0.08	0.02	0.20	0.28	0.01	0.02	100	0.82
地幔 橄榄岩	纯橄岩-斜辉 辉橄岩带(M)	蛇纹石化纯橄岩 蛇纹石化斜辉辉橄岩	2 5	41.26 43.68	47.31 46.40	0.31 0.29	7.14 6.45	1.96 2.26	1.24 0.43	0.13 0.09	0.16 0	0.11 0.03	0.02 0.05	0.31 0.29	0.02 0.02	0.02 0.01	100 100	0.85 0.85
	世界典型蛇纹岩堆晶岩 (R. G. Coleman, 1977)			37.90 53.00	3 42.80	1.5 27.2	0.21 6.80	1.74 7.96	0 0.36		1.8 17.48		0.20 2.60		0.10 0.45			

注: 资料来源同表1

表 5 造矿铬尖晶石的主要化学成分(%)

Table 5. Principal chemical composition of the ore-forming chrome spinels

岩带	样号	矿石类型	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	TiO ₂	$\frac{Cr \times 100^*}{Cr + Al}$	$\frac{Mg \times 100^*}{Mg + Fe^{2+}}$
I ₁	E ₃ i-50	Cr ₃	0.18	11.55	50.89	15.54	4.60	16.65	0.31	0.23	69	54
	-61	Cr ₃		11.30	48.25	19.37	2.78	15.96		0.07	63	54
	-212	Cr ₃	0.29	13.48	49.97	16.99	5.68	13.25	0.12	0.17	66	62
	西i-40	Cr ₄	0.17	10.69	53.40	13.60	3.18	17.70	0.00	0.21	73	51
III ₁	E ₃ i-3	Cr ₃	微	10.44	49.35	16.04	3.88	18.15	1.27		67	51
	-4	Cr ₁	0.50	10.39	50.33	17.70	0.57	18.17	1.89		66	49
	-5	Cr ₅	0.60	10.22	49.66	15.64	3.30	18.13	1.33		68	48
	-6	Cr ₁	微	11.43	51.22	16.97	2.23	16.44	1.64		67	55
	-7	Cr ₂ -Cr ₃	微	10.57	52.76	15.31	2.67	17.39	1.39		70	51
	-8	Cr ₂		10.83	52.62	15.10	3.66	16.14	1.52		70	53
	-9	Cr ₂	微	8.57	52.23	14.22	3.87	18.92	0.63		71	43
	-10	Cr ₅	微	9.35	50.22	15.79	3.58	18.73	0.63		68	46
	-17	Cr ₂	0.14	11.51	51.87	16.52	2.96	16.07	0.95		68	55
	-18	Cr ₁ -Cr ₂	0.12	12.31	53.05	16.23	0.99	15.90	0.21		69	58
	-19	Cr ₁	0.18	9.59	53.72	15.37	1.59	18.02	0.07		70	46
	-21	Cr ₁ -Cr ₂	0.21	10.89	49.78	18.35	1.29	17.77	0.13		65	52
	-22	Cr ₁	0.18	11.14	51.87	17.67	0.81	17.04	0.03		66	53
	-24	Cr ₁ -Cr ₂	0.11	11.49	50.67	17.11	3.39	16.71	0.09		67	54
	-36	Cr ₂	0.05	11.93	55.51	15.16	5.61	16.05		0.24	70	56
	-38	Cr ₂	0.17	8.68	51.93	13.58	4.92	18.30		0.28	72	43
	-42	Cr ₂	0.38	11.57	50.63	16.04	3.53	16.71	0.47		68	54
	-43	Cr ₄ -Cr ₅	0.77	9.61	48.01	13.79	7.48	17.91	0.50		70	45
	-44	Cr ₄	0.65	9.68	48.38	15.39	7.08	18.26	0.64		68	45
	-45	Cr ₁ -Cr ₂	0.71	9.75	50.95	14.44	4.24	18.79	0.52		70	45
	-46	Cr ₁	0.45	10.19	47.67	15.97	1.46	19.98	0.76	0.31	67	49
	-47	Cr ₄ -Cr ₅	0.11	10.16	47.58	14.90	5.42	19.57	0.40	0.25	68	49
	-48	Cr ₄ -Cr ₅	0.16	11.70	50.40	15.56	3.59	16.84	0.30	0.18	68	56
	-51	Cr ₄ -Cr ₅	0.21	11.00	50.18	15.90	2.63	18.43	0.30		68	49
	-52	Cr ₂	0.08	11.87	51.09	11.63	4.23	16.32	0.14		69	56
	-53	Cr ₄ -Cr ₅	0.06	9.89	48.36	16.10	5.16	19.19	0.14		67	48
	-54	Cr ₃ -Cr ₅	0.06	9.53	48.65	15.80	4.76	19.98	0.09		67	46
	-214	Cr ₅	0.20	10.70	48.85	16.64	5.07	18.34	0.12	0.25	66	51
	-215	Cr ₂	0.20	10.45	50.95	14.79	5.66	17.48	0.12	0.24	70	50
	-216	Cr ₁ -Cr ₂	0.39	11.18	50.95	16.12	3.29	17.74		0.29	68	52

注: 分析数据来源同表1

*按铬尖晶石单位晶胞阳离子数计算得出

矿石类型: Cr₁为块状; Cr₂为稠密浸染状; Cr₃为中等浸染状; Cr₄为稀疏浸染状; Cr₅为星散浸染状

2. 铬铁矿体的形态、产状及矿石类型

矿体形态变化多样, 大多为透镜状、扁豆状, 次为囊团状、串珠状、似脉状等, 并可见不规则枝叉状。矿体规模一般较小, 长20—80m, 宽40m左右, 厚0.8—3m。大者长60—160m, 宽40—80m (最宽150m以上), 厚4—10m。

表6 纯橄岩中副矿物铬尖晶石的主要化学成分(%)

Table 6. Principal chemical composition of the accessory chrome spinels in dunites

岩带	样号	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	$\frac{Cr \times 100^*}{Cr + Al}$	$\frac{Mg \times 100^*}{Mg + Fe^{2+}}$
M	Esi-29	0.28	10.36	62.02	7.69	2.63	16.80		84	50
	-206	0.54	9.93	59.25	10.31	7.28	10.70		80	49
	-207	0.08	10.94	48.46	16.67	5.67	17.30	0.19	66	52
	-208	0.09	11.69	56.03	12.80	3.18	16.16	0.13	75	56
	H ₂ -103	0.16	9.92	46.88	17.54	6.18	18.36	0.20	64	47
	TL-148	0.07	11.16	58.25	11.58	0.85	18.45	0.07	77	54
	西i-17	0.18	8.95	61.20	8.04	1.71	18.71	0.03	84	45
	TL-158	0.04	9.75	49.28	16.82	6.00	18.87	0.12	66	46
	Esi-56	0.07	8.86	69.29	2.26	3.74	16.31	0.01	88	47
	-63		9.72	55.26	11.92	2.23	18.98	0.08	75	52
	TL-103		9.68	65.47	5.28	2.10	17.15	0.07	89	40
	-129	0.16	9.13	62.39	8.34	2.50	17.12	0.09	84	45
	-133	0.07	8.86	69.52	2.26	3.74	16.31	0.01	95	45
I ₁	TL-143	0.19	10.56	47.13	18.68	5.23	18.27	0.25	63	50
	西i-12	0.20	9.41	59.76	16.15	2.97	19.96	0.15	68	45
II ₁	西i-7	0.19	9.77	44.81	19.06	5.90	19.41	0.18	61	46
	TL-119	0.19	9.69	46.99	16.60	6.27	9.69	0.19	68	46
III ₁	Esi-25	0.16	10.49	47.32	19.45	2.58	18.72		62	44
	-26	0.12	10.66	48.85	18.55	1.75	18.87		64	51
	-209	0.09	9.23	42.22	17.14	11.02	18.14	0.12	62	45
	-210	0.10	8.97	45.97	16.08	8.43	19.33	0.15	66	44
	-211	0.11	10.03	47.58	18.11	4.44	19.12	0.27	64	48
	TL-111	0.08	10.22	48.51	18.87	3.18	18.56	0.24	63	49
	-113	0.05	9.44	44.04	21.67	4.80	19.93	0.24	58	44
	-118	0.13	8.47	49.41	15.60	5.27	20.82	0.19	68	41
	-121	0.20	8.20	49.40	17.49	3.10	21.81	0.24	65	39
	-124	0.05	11.50	47.29	21.10	2.50	17.54	0.25	60	53

*按铬尖晶石单位晶胞阳离子数计算得出;数据来源同表5

矿体的产状与围岩层状构造方向基本一致, 均向SW陡倾(图2)。

铬铁矿石主要有两种类型, 以稀疏—稠密浸染状矿石为主, 边部为稀疏浸染状矿石, 并逐渐过渡到围岩; 另一种是稠密—块状矿石, 与围岩界线截然。上述两种类型矿石常相伴产出, 构成本区工业矿体。此外, 尚有由准块状—块状矿石组成的脉状矿体, 如1、10矿群所见, 矿体与围岩界线截然, 并与围岩的层状构造斜交, 显示了晚期贯入的特点。

3. 矿石的组分及其结构构造

(1) 矿石的组分

矿石中的金属矿物以造矿铬尖晶石为主, 并含有少量磁铁矿、微量硫化物和铂族矿物。矿石中的脉石矿物以橄榄石和蛇纹石为主, 并可见绿泥石、水镁石。稠密浸染和块状矿石中的脉石矿物比较复杂, 有铬绿泥石、滑石等, 次为铬石榴石、铬透辉石、铬云母等。这里仅

讨论铬尖晶石的成分。

各带不同类型矿石中34个造矿铬尖晶石主要化学成分如表5。为了对比,现将各带纯橄岩中27个副矿物铬尖晶石的成分一并列于表6,并根据其单位晶胞阳离子数计算所得的 $\frac{\text{Cr} \times 100}{\text{Cr} + \text{Al}}$ 及 $\frac{\text{Mg} \times 100}{\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}}$ 比值标绘于图4上,可以看出:①各旋回纯橄岩中副矿物铬尖晶石的基础晶胞阳离子数大多为 $\text{Fe} > \text{Mg}$; ②从副矿物铬尖晶石 $\rightarrow (\text{Cr}_4 - \text{Cr}_3) \rightarrow (\text{Cr}_2 - \text{Cr}_1)$, 显示出 $\frac{\text{Mg} \times 100}{\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}}$ 和 $\frac{\text{Cr} \times 100}{\text{Cr} + \text{Al}}$ 比值逐渐递增; ③地幔纯橄岩中副矿物铬尖晶石多以较高的 $\frac{\text{Cr} \times 100}{\text{Cr} + \text{Al}}$ 比值而区别于堆积纯橄岩中者。

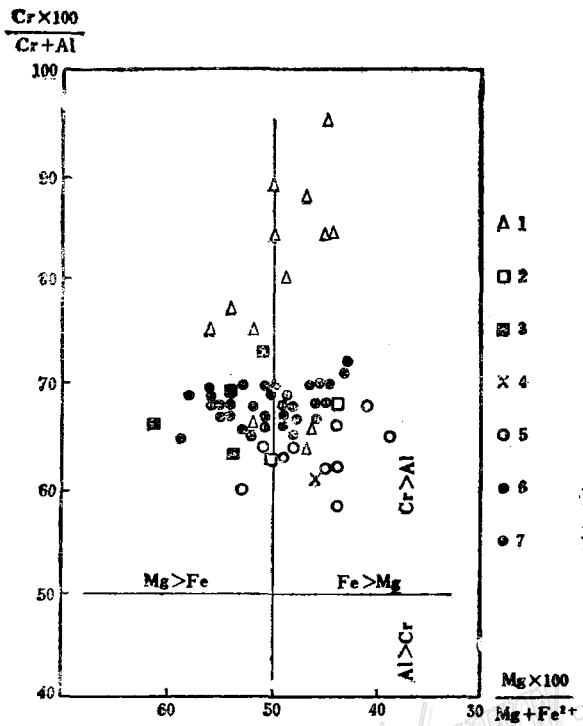


图4 铬尖晶石的 $\frac{\text{Cr} \times 100}{\text{Cr} + \text{Al}}$ 对 $\frac{\text{Mg} \times 100}{\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}}$ 相关图

1—地幔纯橄岩中副矿物铬尖晶石; 2—I₁带副矿物铬尖晶石; 3—I₁带造矿铬尖晶石 ($\text{Cr}_3 - \text{Cr}_4$); 4—II₁带副矿物铬尖晶石; 5—III₁带副矿物铬尖晶石; 6—III₁带造矿铬尖晶石 ($\text{Cr}_3 - \text{Cr}_4$); 7—III₁带造矿铬尖晶石 ($\text{Cr}_1 - \text{Cr}_2$)

Fig. 4. $\frac{\text{Cr} \times 100}{\text{Cr} + \text{Al}}$ versus $\frac{\text{Mg} \times 100}{\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}}$ diagram of the chrome spinels.

1—Accessory spinel of mantle dunite; 2—Accessory spinel of I₁ Zone; 3—Ore-forming spinel of I₁ zone; 4—Accessory spinel of II₁ zone; 5—Accessory spinel of III₁ zone; 6—Ore-forming spinel ($\text{Cr}_3 - \text{Cr}_4$) of III₁ zone; 7—Ore-forming spinel ($\text{Cr}_1 - \text{Cr}_2$) of III₁ zone.

在 MgO 和 Cr_2O_3 对 NiO 的相关图 (图5) 上可明显看出, 大道尔吉堆积铬铁矿以 MgO 和 Cr_2O_3 的明显偏低而区别于地幔成因的罗布莎和东巧铬铁矿。

(2) 矿石的结构构造

矿石的结构特点是铬尖晶石大多为半自形晶和它形晶, 少数为自形晶, 且粒度变化大 (0.1—5mm 以上), 但不同

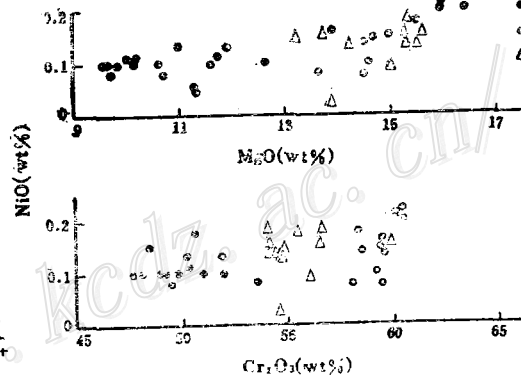


图5 造矿铬尖晶石的 MgO 和 Cr_2O_3 与 NiO 的相关图

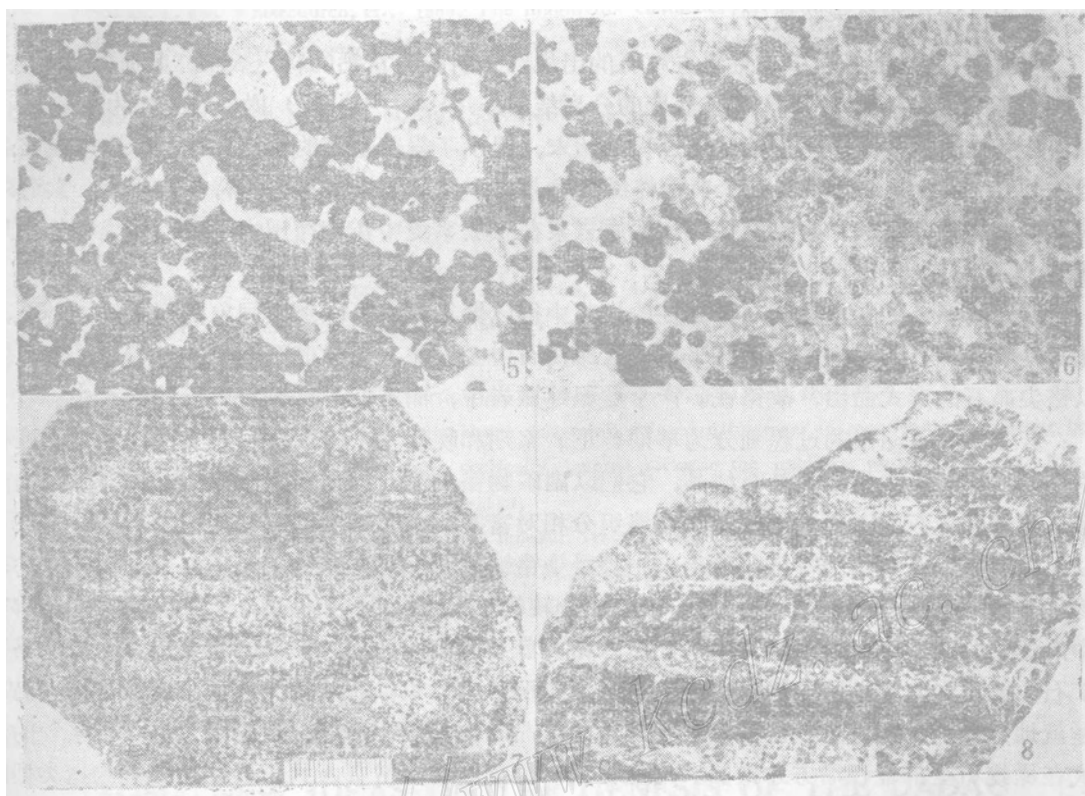
1—大道尔吉铬铁矿; 2—罗布莎铬铁矿; 3—东巧铬铁矿

Fig. 5. MgO and Cr_2O_3 - NiO diagram for the ore-forming chrome spinels.

1—Dadao Erji chromite; 2—Luobo Sa chromite; 3—Dong Qiao chromite.

类型矿石的结构不同。如块状矿石为半自形—它形中粗粒结构, 粒径在0.5—3mm以上; 稠密浸染状矿石以半自形—它形中粒结构为主, 粒径0.5—4mm(照片5); 中等浸染矿石中常见它形—半自形中细粒结构, 粒径0.5—1.5mm(照片6); 稀疏—中等浸染矿石为它形—半自形细粒结构, 粒径0.3—1mm, 且常显示层状构造(照片7)。可见, 由稀疏浸染→块状矿石, 铬尖晶石的粒度逐渐变大, 自形程度逐渐降低。

堆积铬铁矿中最特征的是层状(或称条带状)构造, 且常见于稀疏浸染—中等浸染状矿石中(照片8)。层(带)的宽窄不一, 一般为1cm至数厘米, 条带之间逐渐过渡。此外,



照片5 稠密浸染铬铁矿石的半自形—它形中粒结构, 脉石(浅色)为网环结构蛇纹石

照片6 中等浸染铬铁矿石的它形—半自形中细粒结构 (-) ×5.5

照片7 中等浸染铬铁矿石的层状构造

照片8 细粒中等浸染铬铁矿(浅色)与蛇纹石化纯橄岩(深色)组成相间条带

在中等—稠密浸染状矿石中常发育有斑杂状及反斑杂状构造, 反映了橄榄石与铬尖晶石的共结晶作用。

四、堆积铬铁矿的成因

大道尔吉铬铁矿主要产于堆晶杂岩各旋回底部的堆积纯橄岩中, 工业铬铁矿产于第三旋

回堆积纯橄岩中。因此, 铬铁矿与纯橄岩应属同成因。

堆晶杂岩从底部超镁铁质堆积纯橄岩, 向上变为镁铁质和超镁铁质互层的异剥橄榄岩—透辉石岩—辉长岩层状杂岩, 最终变为单一的镁铁质均质辉长岩。这种韵律单元的出现以及岩石发育层状构造均表明, 它们是由岩浆经过晶体堆积作用而形成的。层状岩系中周期性层有力地证明岩浆在重力上是成层的^[6,12], 而晶体的堆积作用就是在重力分层的基础上进行的。晶体因密度不同而产生差异沉降, 致使下沉过程中矿物相的相对含量产生了差异, 从而形成层状构造^[2,6,10]。矿物堆积顺序重复出现从而显示韵律层。韵律层暗示了岩浆的周期性脉动补给^[5,7]。每一韵律单元代表开放系统分离结晶作用的一个单一韵律, 预示从液体中形成的层状层序已演化到稳态阶段^[10]。

须指出: (1) 堆晶岩中少量斜方辉石的出现以及斜长石富钙的特点表明, 其原始液体在较高的压力 (0.3GPa) 下产生了低度的分离结晶作用^[3,4,7,9]。(2) 橄榄石或作为主要堆积相或作为堆积间相贯穿于岩浆结晶过程的始末, 提示了岩浆富镁的特点; (3) 大道尔吉堆晶岩中的 Cr_2O_3 含量高于世界几个典型蛇绿岩堆晶岩, 显示了岩浆富铬的特点。可见, 大道尔吉堆晶杂岩是较富镁和富铬的拉斑玄武质岩浆在开放系统中在较高压力下由晶体堆积作用形成的。

铬元素亲镁的特点使其在最基性的岩浆中得以聚集。铬可以类质同象的形式进入辉石, 尤其是单斜辉石的晶体中, 而几乎不进入橄榄石中。因此, 在橄榄石堆积的过程中, 铬只能以铬尖晶石的形式晶出, 故铬铁矿产于堆积纯橄岩中, 而不产于富单斜辉石的岩石中。

若将橄榄石晶出的过程划分为早期、正岩浆期和晚期三个阶段, 可以看出在橄榄石堆积的早期, 仅有极少量铬尖晶石结晶, 它们以副矿物铬尖晶石的形式分散于堆晶橄榄石的间隙。随着橄榄石的不断晶出, 熔浆中铬组分相对富集, 此时铬尖晶石与橄榄石共结, 形成了以半自形中细粒结构为特征的稀疏—中等浸染铬铁矿石, 这些铬铁矿属正岩浆早期阶段的产物, 矿体与围岩呈过渡关系。脉石矿物成分较简单。随着岩浆不断的分离结晶, 残余熔浆中的挥发分使造矿组分更加富集, 此时以铬尖晶石的晶出为主, 形成的稠密浸染一块状铬铁矿石, 属正岩浆晚期阶段的产物, 矿石以半自形—它形中粗粒结构为特征, 反映了铬尖晶石是就地结晶的。挥发分的出现延长了熔体的结晶时间, 使一小部分造矿组分以“矿浆”的形式在橄榄石全部堆积后方才结晶。这些铬铁矿呈细脉状, 常贯入到正岩浆期各种构造类型的矿体中, 应属岩浆晚期矿床, 在本区占次要。

不难看出, 大道尔吉工业铬铁矿床为正岩浆阶段的堆积铬铁矿床。铬铁矿形成的机制是超镁铁质岩浆的分离结晶作用。堆晶杂岩第三旋回经历了较充分的分离结晶作用, 出现了较多的富镁质熔体, 故堆晶岩层序中纯橄岩的厚度较大, 从而生成了具有工业意义的铬铁矿矿床。

结 论

大道尔吉堆积铬铁矿床产于蛇绿岩内的堆积纯橄岩中, 矿体主要为由各种浸染状矿石组成的贫矿, 且与围岩纯橄岩呈过渡关系。矿床的成因机制是超镁铁质岩浆的分离结晶作用。因此, 它区别于产在蛇绿岩基底的地幔橄榄岩中的豆荚状铬铁矿^[1]。

参 考 文 献

- [1] 王希斌、鲍佩声 1987 豆荚状铬铁矿床的成因 地质学报 第2期
- [2] Delistayn, L. M. and Meleutyev, B. N., 1980, A mechanism for the formation of banded rocks. *International Geology Review*, Vol. 22, No. 11, pp. 1346-1354.
- [3] Flower, M. F. L., Robinson, P. T., Schmincke, H. U. and Ohnmacht, W., 1977, Magma fractionation systems beneath the Mid-Atlantic ridge at 36°-37°N. *Cont. Miner. Petrol.*, Vol. 64, No. 2, pp. 176-195.
- [4] Hall, J. M. and Robinson, P. T., 1979, Deep crustal drilling in the North Atlantic Oceanic. *Sciences*, Vol. 204, No. 4397, pp. 573-586.
- [5] Juteau, T. and Whitechurch, H., 1980, The magmatic cumulates of Antalya (Turkey): Evidence of multiple intrusions in an ophiolitic magma chamber (Ophiolites Proc. Inter. Symp. Cyprus). pp. 377-390.
- [6] McBirney, A. R. and Noyes, R. M., 1979, Crystallization and layering of the Skaergaard intrusion. *Jour. Petrol.*, Vol. 20, No. 3, pp. 487-554.
- [7] Pallister, J. S. and Hopson, C. A., 1981, Semail ophiolite plutonic suite: Field relation, phase variation, cryptic variation and layering and a model of a spreading ridge magma chamber. *Jour. Geophy. Res.*, Vol. 86, No. B4, pp. 2593-2644.
- [8] Saunderson, A. D., Tarney, J., Marsh, N. G. and Wood, D. A., 1980, Ophiolites as ocean crust or marginal basin crust: A geochemical approach (Ophiolites Proc. Inter. Symp. Cyprus), pp. 193-202.
- [9] Sun Shensu and Nisbitt, R. W., 1977, Chemical heterogeneity of the Archaean mantle, composition of the Earth and mantle evolution. *Earth Plan. Sci. Lett.*, Vol. 35, No. 3, pp. 429-448.
- [10] Smewing, J. D., 1981, Mixing characteristics and compositional differences in mantle-derived melts beneath spreading axes: Evidence from cyclically layered rocks in the ophiolite of North Oman. *Jour. Geophy. Res.*, Vol. 86, No. B4, pp. 2645-2659.
- [11] Stern, C., 1979, Open and closed system igneous fractionation within the Chilean ophiolites and the tectonic implication. *Cont. Miner. Petrol.*, Vol. 68, No. 3, pp. 243-258.
- [12] Wager, L. R., 1963, Symposium of layered intrusions, The mechanism of cumulus growth in the layer series of Skaergaard intrusion. *Miner. Soc. Amer. Spec.*, pp. 1-8.

SOME NEW IDEAS ON THE GENESIS OF THE DADAO ERJI CHROMITE DEPOSIT

Bao Peisheng and Wang Xibin

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

Abstract

The Dadao Erji rock body is a depleted ophiolitic relic slice and consists of two suites called cumulates and mantle peridotite respectively. The cumulates include three magma cycles, each showing a magmatic evolution trend from ultramafic to mafic, and are composed of dunite, diopsidite, wehrilite and gabbro. The cumulus sequence of the major minerals is Ol (olivine) + Sp (spinel)

$\rightarrow \text{Ol} + \text{Cpx}(\text{clinopyroxene}) + \text{minor Opx}(\text{orthopyroxene}) \rightarrow \text{Cpx} + \text{Pl}(\text{plagioclase})$, and the repetition of this cumulus sequence exhibits distinct cyclothems. The petrochemistry and mineralogy of the cumulates indicate that they were formed by crystal accumulation of the MgO - and Cr_2O_3 -rich tholeiitic magma in an opening system under a higher pressure.

The industrial chromite deposit in the Dadao Erji rock body occurs in the dunite-pyroxene-bearing dunite on the bottom of the third cycle cumulates, and only a few lean orebodies of chromite are seen in the mantle peridotite. The orebodies of chromite consist mainly of various disseminated ores, while their country rocks are all dunite, with a gradual contact between them. The accessory spinel is similar to ore-forming spinel in composition. All of these features suggest that the chromite deposit in Dadao Erji rock body is part of the cumulus deposit formed in the orthomagmatic stage. The genetic mechanism of the cumulus chromite deposit is characterized by fractional crystallization of an ultramafic magma. The authors hence hold the opinion that the Dadao Erji chromite deposit is a typical chromite deposit related to the cumulates of ophiolite in China and that it is distinctly different from the chromite deposit occurring in the mantle peridotites.

消息报道

第五届东南亚和西太平洋钨锡花岗岩

(IGCP-220项) 国际科学讨论会简介

第五届IGCP-220项科学讨论会于1988年10月14日至23日由日本岛根大学和南朝鲜能源和资源研究院以及南朝鲜科学和工程基金会共同主持召开。会议议程包括:

1. 会前(10月15日至16日)野外考察日本本州西南部,由大阪经津山至松山一带典型的白垩纪一早第三纪长英质岩浆作用,以及花岗岩类由I型钛铁矿系列至I型磁铁矿系列的演化特征。

2. 学术讨论会(10月17日至19日)在日本松江市岛根大学举行。会议全部论文69篇(已由岛根大学正式出版了扩大的论文摘要),其中大会宣读19篇(中国代表2篇),分会宣读41篇(中国代表4篇)。另外,会议期间张贴展示论文5篇。

3. 会后(10月21日至23日)野外考察南朝鲜南部,由釜山沿海岸的庆州至白岩、太白经顺镜和原州,穿越南朝鲜中央山脉至西海岸汉城一线的前寒武纪和白垩纪的花岗岩类,以及与之有关的日光含钨铜矿、双田和玉房白钨矿、顺镜锡矿和南朝鲜最大的上东白钨矿。

参加会议的有来自泰国、马来西亚、南朝鲜、越南、日本、中国、美国、英国、法国、加拿大、澳大利亚、西德、苏联和阿根廷等14个国家的118位地质学家。向会议提交的全部论文中,以讨论花岗岩类的分类及其演化、花岗岩侵位的地质环境、花岗岩的岩石学和地球化学、花岗岩区(带)及其矿化分布规律、花岗岩成岩成矿模式、矿和非矿花岗岩的判别、花岗岩的同位素地质和流体包体等为主,另外也讨论

(下转64页)