

# 与镁铁-超镁铁质岩石有关的矿床类型

王玉往<sup>1,2</sup> 王京彬<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 北京矿产地质研究院, 北京 100012)

**提要:**本文综述了近年来的研究成果,介绍了与镁铁质-超镁铁质岩有关的矿床类型和成矿作用。重点讨论的矿种有钒钛磁铁矿、铜-镍-铬铁矿、磁铁矿、铂族、钴、金、镁、磷灰石、金刚石、石棉、蛭石、宝玉石等,涉及的矿床成因类型主要有:岩浆型(包括岩浆熔离、贯入、分异和爆发型)、热液型、矽卡岩型、变质型、火山喷溢型、风化型(包括风化壳和砂矿)以及复合型等。从勘查找矿考虑,可从含矿镁铁-超镁铁质岩石类型入手,结合矿床成因类型和产出构造环境因素,将矿床分为与深成岩、浅成岩和喷出岩有关的三大类和若干亚类矿床,并详细介绍了各类的主要矿床类型、成矿地质特征、成因特点和矿床实例。在此基础上,对与镁铁-超镁铁质岩有关的成矿作用进行了 4 个层次讨论,包括单一矿床的复合成矿作用、杂岩体本身的不同矿床类型和矿种的组合、不同镁铁-超镁铁质岩套之间的伴生,以及与非超镁铁质岩套的共生与组合。

**关键词:**镁铁-超镁铁质岩石;岩石类型;矿床类型;成矿系列

**中图分类号:**P619.14 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)03-0656-10

与镁铁-超镁铁质岩有关的矿床由于其巨大的经济价值和形成地质环境的特殊性,历来为广大矿床学家所重视。以往对该类矿床的研究多从矿床成因类型角度入手进行矿床类型划分和成矿系列研究,并较注重岩浆矿床的(金属)成矿作用。事实上,与该类岩石有关的其他成因类型,如热液矿床、风化壳矿床、红土型矿床等等也是非常重要的成矿类型,此外,非金属矿床和金矿床也在该类矿床中占重要地位,但以往对该领域的研究则相对零散和不够系统。笔者将从勘查找矿考虑,按含矿镁铁-超镁铁岩的地质体类型的划分介绍有关的矿床类型、成矿地质背景、成矿地质特征、成矿机制和成矿系列,以便对该类矿床的成矿作用有更深入的认识,从而有利于综合找矿。

## 1 镁铁-超镁铁质岩石及有关的分类

超镁铁质岩一般指铁镁矿物含量>90%的岩石,包括各种深成、浅成和喷出的岩浆岩。笔者所述镁铁-超镁铁质岩石,是指超镁铁质岩及其与之有成因联系的部分镁铁质岩石或超基性岩( $\text{SiO}_2 < 45\%$ )。而独立的非超镁铁质超基性岩体,如(火成)碳酸岩类、霞石岩类,不属于本文讨论范畴。

与成矿有关的岩石类型划分如下:

(1)以岩石产状分类有深成岩、浅成岩和喷出岩类。在此基础上按 1972 年第 24 届国际地科联推荐的岩石学分类命名方案进行种属划分。如深成岩有橄榄岩类、辉石岩类、角闪石岩类、辉长岩类,浅成岩有金伯利岩、煌斑岩类、辉绿岩类,火山喷出岩有玻基纯橄岩(麦镁奇岩)、玻基辉橄岩、苦橄岩、科马提岩类等。

(2)以岩石系列进行的分类,有橄榄拉斑玄武岩系列、钙碱性系列和碱性系列。

(3)以铁镁比值可分为铁质、镁质和镁铁质 3 类。

(4)根据岩石化学及含矿性因素进行的分类,如根据酸度和碱钙富集度分为偏镁系列和碱钙系列等<sup>[1]</sup>。

(5)构造分类。由于超镁铁岩的形成对判别大地构造环境具有特殊的指示意义,人们在对其进行分类时往往考虑大地构造环境的因素。如董显扬等<sup>[2]</sup>将中国超镁铁岩划分成 5 类、19 个亚类建造。矿床学家则常把超镁铁质岩分为产于造山带、稳定地块、过渡带等类型<sup>[3-5]</sup>,或克拉通地区、造山活动期间、同火山期等类型<sup>[7]</sup>。

(6)岩体组合类型。根据产出环境、产状及岩石组合划

收稿日期:2005-12-04;改回日期:2006-04-20

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409806)资助。

作者简介:王玉往,男,1965年生,教授级高级工程师,博士生,主要从事矿床学、成矿预测及有关岩石学方面研究;

E-mail: yuwangw@hotmail.com.

分,如阿尔卑斯型、阿拉斯加型、层状侵入体;暗色岩、蛇绿岩、绿岩、金伯利岩等。

## 2 与镁铁-超镁铁质岩石有关的矿床类型

与镁铁-超镁铁质岩石有关的矿产种类较为丰富。常见和重要的矿种有钒钛磁铁矿、铜-镍-铬铁矿、磁铁矿、铂族、钴、金、镁、磷灰石、金刚石、石棉、蛭石、宝玉石等等。

从矿床成因类型来看,与镁铁-超镁铁质岩有关的矿床主要类型有:岩浆型(包括岩浆熔离、贯入、分异和爆发型)、热液型、矽卡岩型、变质型、火山喷溢型、风化型(包括风化壳和砂矿)以及复合型等。本文拟从镁铁-超镁铁质岩地质体类型入手,考虑矿床成因类型,结合岩体的产状和产出构造环境,将该类矿床分为与深成岩、浅成岩和喷出岩有关的3大类矿床(表1):

### 2.1 与深成岩有关的矿床

#### 2.1.1 产于阿尔卑斯型岩体中的矿床

阿尔卑斯型超镁铁岩是一个广义的定义,目前一般是泛指产于岛弧和大陆地槽褶皱造山带内以纯橄岩和斜方辉橄岩为主的超基性杂岩,它们常呈陡倾的长条状、透镜状岩体产出,平行于构造线成群成带分布。岩石具有高镁特征,其 $m/f$ 比值 $>7$ ,多介于 $7\sim 11$ ,个别岩体可以高达 $14$ 以上,属于镁质超镁铁岩体。按张旗等<sup>[4]</sup>的研究,可分为蛇绿岩型、义敦型和山根型。其产出的矿床有铬铁矿、金、铂族、钴-多金属、石棉、菱镁矿等。

豆荚状铬铁矿。有较大工业意义的豆荚状铬矿床都赋存在蛇绿岩套的超镁铁岩建造中,主要岩相组合<sup>[4]</sup>为:(1)纯橄岩型岩体,如青海绿梁山;(2)纯橄岩-方辉橄岩型,如内蒙索伦山和贺根山;(3)纯橄岩-方辉橄岩-二辉橄岩型,如西藏罗布莎和内蒙崇根山;(4)纯橄岩-方辉橄岩-橄长岩型,如古巴Camaquey岩体,另外,尚有部分为方辉橄岩型,如中国祁连山地区。少数蛇绿岩套的堆积建造中也产出豆荚状铬铁矿矿体,如加拿大的纽芬兰蛇绿岩带和新疆北部洪古勒楞蛇绿岩带。除此之外,“义敦型”超镁铁岩体内也有具工业开采价值的铬矿床。

一般认为豆荚状铬矿床的形成方式为:板块间深断裂带张裂时地幔难熔残留物以底辟方式上侵到下部地壳重新发生部分熔融产生富铬熔体,这种富铬熔体在局部聚集后,固液体不混溶作用而分离出铬铁矿矿浆,最终冷凝成铬矿体,因此该类型矿床属于岩浆熔离成矿作用。

铂族元素。阿尔卑斯型岩体可形成岩浆型、热液型和表生的铂族元素矿床。岩浆型铂族矿床与豆荚状铬铁矿的产出环境和成矿机制相似,并经常伴生。主要岩相组合为纯橄岩-单辉岩(如中国大道尔吉和松树沟)和纯橄岩-方辉橄岩型(如中国的玉石沟)。但一般产于含异离体的岩相中,如方辉橄岩中的纯橄岩异离体或条带。矿化类型属钌(钶)型,而铂钯含量较低。热液型矿床较为少见,矿化产于

蛇绿岩底部滑石化碳酸盐蚀变带中,元素组合以Pt-Pd-Au-As-Sb-Te为特征,如英国Shetland群岛的铂矿床<sup>[9]</sup>。上述2种类型铂矿风化后可形成表生砂铂矿,一般产于河流及阶地中各次沉积旋回的砂砾层底部。

钴-多金属。矿床产于蛇绿岩套强烈蛇纹石化的斜方辉橄岩中。矿体呈脉状、扁豆状,主要有用元素组合为硫化物型Co-Cu-Zn-Ni,属热液型矿床。如新疆库米什108中型Co-多金属矿床。

金矿。主要是超镁铁岩侵入于围岩地层引起的多阶段蚀变而产生的热液型金矿化,如云南墨江的金厂金矿<sup>[10]</sup>、新疆萨尔托海、甘肃鹰嘴山金矿等。除此之外,砂矿型金矿也是值得重视的矿床类型之一,它常与铂族、金刚石等一起构成多种有用成分形成综合性砂矿。另外,风化壳型金矿也可能是一种潜在的矿床类型。

风化壳型矿床。一般形成铁、镍(钴)矿床,也称红土型矿床。该类矿床分布于板块的活动带,成矿作用一般发生在中、新生代,与热带、亚热带气候条件有关。矿化主要是由于纯橄岩、橄岩、辉石岩或蛇纹岩裸露地表,经长期强烈的风化和侵蚀作用形成富含铁、镍、钴的红土。代表矿床是云南元江-墨江镍钴矿<sup>[11]</sup>。红土型镍矿是除岩浆型镍矿之外的最重要镍矿类型,古巴、新喀里多尼亚、菲律宾的大部分矿床即属此类<sup>[12]</sup>。此外,风化壳型矿床还有红土型残积-冲积铬铁矿,亦主要分布于菲律宾、巴布亚新几内亚、新喀里多尼亚等热带岛屿国家。

非金属。有岩浆结晶阶段生成的金刚石和以蛇纹石化为特征的多种热液蚀变型矿床。

金刚石矿化多见于蛇绿岩套中的橄岩和铬铁矿。如1938年在俄罗斯萨彦岭橄岩中找到的金刚石。中国西藏的罗布莎和东巧铬铁矿中也发现有金刚石颗粒产出。虽然目前尚未在蛇绿岩带超镁铁岩中找到具有工业意义的金刚石矿床,但具有经济价值的是在蛇绿岩带可形成砂矿型金刚石,以及铂矿、黄金、铁铝榴石、锆石及刚玉等<sup>[13]</sup>。

热液蚀变成矿作用是该类超镁铁岩中非金属成矿的主体。所生成的非金属矿床除温石棉、滑石、菱镁矿、纤维水镁石、蛇纹岩等常见的镁质矿产外,还有一些宝石矿床(如翠榴石),以及因叠加构造活动造成的动热变质所引起的成矿事件而生成的玉石矿床(如玛纳斯软玉)<sup>[14]</sup>。典型矿床产区如中国阿尔金山温石棉-蛇纹岩-蛇纹玉-滑石-菱镁矿-玉石成矿带、天山地区的温石棉-蛇纹岩-滑石-软玉成矿带等;国外如前苏联巴热诺夫,加拿大魁北克地区等。

世界上所有翡翠矿床均产于蛇绿岩套中的超镁铁岩中,并在蛇绿岩套附近有蓝闪石片岩相伴产出。翡翠的原岩为呈脉状、透镜状产于超镁铁岩中的钠长岩等<sup>[15]</sup>,应属高压低温条件下的区域变质成因。翡翠是最珍贵的玉石品种,目前主要产于缅甸、哈萨克斯坦等国,至今未在中国找到有规模的翡翠矿床。

表 1 与镁铁-超镁铁质岩石有关的矿床类型  
Table 1 Metallogenic types related to ultramafic-mafic rocks

### 2.1.2 层状杂岩体中有关的矿床

镁铁-超镁铁质层状侵入体多呈几至数万平方千米的岩盆、岩床状产于稳定的构造环境,具清楚的垂直分带和韵律层,由堆积形成,在化学成分上属富碱的铁质系列( $m/f < 2$ ),与其他类型杂岩体相比总成分偏基性,以辉长质为主体。世界上著名的大型层状杂岩体有美国的 Stillwater、南非的 Bushveld、津巴布韦的 Great Dyke、格陵兰的 Skaergaard,以及加拿大的 Muskox 等。中国华北地台北缘、攀西地区等也广泛发育该类岩体。从岩体大小来看,有大型岩体和普通岩体(中国一般较小);从岩相组成看也有 2 类:橄辉岩(辉橄岩)-辉石岩-辉长岩型,还有一类偏酸性,为斜长岩-辉长岩(或橄长岩)型。与该类杂岩体有关的矿床主要为钒钛磁铁矿、铬铁矿、磷灰石矿、铂族和铜镍矿。

钒钛磁铁矿矿床。该类矿床主要有南非的 Bushveld、俄罗斯乌拉尔地区的卡奇卡纳尔、中国的攀西等。其特点是,矿床与作为母岩的辉长岩-苏长岩-斜长岩共生<sup>[6]</sup>。矿体呈似层状、透镜状、脉状产出。矿石以浸染状为主,主要由(含钒)钛磁铁矿、钛铁矿和金红石组成。按成矿机制可分为岩浆晚期分异型和岩浆晚期贯入型(以中国河北大庙为代表),部分矿床可同时存在上述 2 种形式成矿,少数矿床甚至出现岩浆热液型成矿作用(如新疆尾亚)<sup>[7]</sup>。

铬铁矿。该类矿床主要有津巴布韦 Great Dyke、南非 Bushveld 等,但目前在中国尚未发现具有工业价值的层状铬矿床。该类矿床只赋存在层状杂岩内,呈层状,具层位性和多韵律性,延深稳定,规模巨大。含矿杂岩体可呈整合、半整合或不整合接触,一般下部为超镁铁质岩系,中上部为镁铁质岩系。铬铁矿层位于每个层韵律旋回的开始层位,各矿层由条带状、层纹状或块状矿石组成,但无豆状或瘤状矿石。矿石多由细粒自型铬尖晶石组成,与之共生的脉石矿物为堆晶橄辉石、辉石或斜长石。矿床属岩浆房内就地结晶形成,直接围岩为:斜长岩(如西格陵兰)、斜长岩-苏长岩-辉石岩、辉石岩、斜辉橄辉岩-纯橄岩(分别为布什维尔德上矿组、中矿组和下矿组)等<sup>[6]</sup>。

磷矿床。以中国河北矾山磷矿为典型实例。矾山杂岩体为一环状中心型岩盆状侵入体,具富碱(主要是富钾)、富钡、镁铁比值低( $m/f < 1.5$ )。由 3 期侵入岩组成,从早到晚为:钾质偏碱性层状超镁铁岩、似层状辉石正长岩和正长辉石岩、似粗面状辉石正长岩。其中含磷矿及铁矿的第一期岩石是一套层状超镁铁岩系,包括辉石岩、黑云母辉石岩、伟晶状正长黑云母辉石岩、磁铁磷灰石岩、磷灰石岩及正长辉石岩等。层状岩系具有良好的韵律层构造。矿体呈层状与辉石岩构成韵律层。矿体内以浸染状矿石为主,块状矿石次之。矿石的主要矿物组成为次透辉石、黑云母、正长石、磷灰石和磁铁矿。目前认为矿床属原地分离结晶作用形成<sup>[8]</sup>。

铜镍矿。层状杂岩体中的铜镍硫化物矿床仅为次要地位。在南非 Bushveld 杂岩的 Merensky 矿层、Stillwater、津巴布

韦 Great Dyke、加拿大 Muskox 侵入体等产有铜镍硫化物矿化,并常与铂族矿化伴生,但以铂族矿化为主,铜镍品位均较低,多不构成独立矿床。中国攀西地区新街也产有铂族-铜镍硫化物伴生的含矿岩体<sup>[9]</sup>。

铂族矿床。含铂层状杂岩是世界上铂族元素矿床最重要的成矿类型之一,著名含铂侵入体有: Bushveld 杂岩的 Merensky 矿层、Stillwater、Great Dyke、Muskox 侵入体等<sup>[9]</sup>,中国攀西地区亦报道在艾义、兴结有含铂层状岩体<sup>[9]</sup>。层状杂岩体中铂族元素矿化有 2 种:一是位于下部第一旋回近底部的铬铁矿层中,二是位于钛磁铁矿层中。此外在单辉岩的伟晶岩相中也有微弱矿化,并与铜硫化物伴生。铂族元素矿化多为岩浆分异或岩浆熔离型,以铂族硫化物形式与铬铁矿或硫化物伴生。但在岩浆期后的伟晶岩阶段或热液阶段更为富集。往往是早期岩浆型铜镍矿化品位较低,但晚期的热液作用可形成工业矿体,如北美 Peter 湖杂岩体<sup>[9]</sup>。

风化壳型矿床。层状杂岩风化形成的表生矿床有红土型和砂土型钛砂矿,中国江西的车步、上坑等地<sup>[9]</sup>和云南滇中地区<sup>[10]</sup>均产有工业钛砂矿。

### 2.1.3 环状杂岩中的矿床

环状杂岩常具有环带状分布,从核部向边缘大致为橄辉岩(以纯橄岩为主)、单辉岩和辉长岩类,具多次侵入特征,岩体多具有热变质带。可包括狭义的阿拉斯加型岩体和广义的环状、似环状杂岩体。

狭义的阿拉斯加型岩体是指同期岩浆作用(岛弧或活动大陆边缘岩浆作用)下具环带构造的岩体,岩体以富铁质为特征。因此不能将一些具环带构造的岩体都认为是阿拉斯加型,也不是所有同构造期岩浆作用产生的镁铁-超镁铁质岩都是阿拉斯加型<sup>[11]</sup>。依此标准,目前在中国尚未发现该类型典型岩体和矿床。目前滇西的吉岔和半坡岩体可能最具阿拉斯加型特征<sup>[11]</sup>。除此之外,高寺台、罗圈沟等铂族矿床也被认为与此类岩体矿化有很大程度的相似<sup>[11]</sup>。从成矿专属性考虑,与阿拉斯加型杂岩有关的主要是铂矿,如俄罗斯乌拉尔的 Tagili 和 Tulameen 地区,产有岩浆型铂矿和砂铂矿。与该类型杂岩有关的还有钒钛磁铁矿化、似层状铬铁矿化,以及铜镍矿化<sup>[12]</sup>。

广义的环状、似环状杂岩体指同心式、似同心式镁铁-超镁铁杂岩体。一般产于稳定地块及边缘,也可产于造山带(如新疆喀拉通克、黄山矿带等)。可以呈几百至上千平方千米的岩盆(国外矿床多如此,如加拿大的 Sudbury),也可呈小于 1 km<sup>2</sup> 或几平方千米的小岩株、岩墙等(如中国金川岩体仅 1.34 km<sup>2</sup>,喀拉通克 1 号岩体仅 0.1 km<sup>2</sup>),中国所有含铜镍硫化物岩体均不超过 100 km<sup>2</sup>,为典型“小岩体成大矿”<sup>[12]</sup>。该类杂岩体主要产有(铂-)铜镍硫化物矿床。

铜镍(-钴-铂族)硫化物矿床。(似)同心环状杂岩是最重要的铜镍硫化物矿床类型。

含铜镍矿的杂岩一般为铁质拉斑玄武岩系列, $m/f$  比值多较低(2~6.5)。杂岩体常有 2~4 个岩相组合,如 Sudbury 为 3

个岩相:主体岩相(由上而下)的微文象岩、石英辉长岩、苏长岩、富石英苏长岩;亚层苏长岩相的含有各种外来的和就地派生的包体;底盘角砾岩相<sup>[25-29]</sup>。以上3个岩相为依次侵入形成。金川为二辉橄榄岩—橄橄榄二辉岩相、含辉橄橄榄岩—二辉橄橄榄岩—二辉岩相、纯橄橄榄岩相<sup>[27]</sup>。喀拉通克为闪长岩相、辉长苏长岩相、橄橄榄苏长岩相、辉长辉绿岩相<sup>[28]</sup>。铜镍硫化物在含矿岩体中呈透镜状、呈囊状、似层状、脉状、不规则状,有时为全岩矿化(整个岩体即为矿体),矿石一般为浸染状、块状构造,具特征的海绵陨铁结构、珠滴状结构、粒状结构。一般认为铜镍硫化物矿床由岩浆熔离成矿作用形成。即铜镍硫化物在基性、超基性岩中的富集是由于岩浆不混熔液态分离作用所致,这种熔离作用基本上是岩浆侵入后发生的。岩浆熔离包括就地熔离和岩浆深渊2种形式<sup>[6,25,29]</sup>。Sudbury则趋于认为属陨石撞击成因<sup>[20]</sup>。在岩浆期后伟晶岩和热液阶段仍可形成一定的脉状矿体<sup>[30]</sup>。表生作用还可形成风化壳型镍(钴)矿床(热带、亚热带地区)和砂铂矿等类型。

#### 2.1.4 深成岩包体中的非金属矿床

主要是碱性玄武岩中的深源超镁铁岩包体;尖晶石二辉橄橄榄岩、橄橄榄二辉岩、石榴二辉橄橄榄岩等。这些超镁铁岩包体主要是幔源成因,产有镁橄橄榄石、镁铝榴石等宝石矿物。与这一类超镁铁岩有关的非金属矿床,主要在中国吉林蛟河—河北万全等地的镁橄橄榄石(宝石)—镁铝榴石—普通辉石(含宝石级)成矿带,另外苏皖地区、海南,以及福建、辽宁等地也有类似的宝石矿床产出<sup>[4]</sup>。

### 2.2 与浅成—超浅成岩有关的矿床

该类镁铁—超镁铁质岩可以是没有喷出地表的次火山相的岩筒或岩管等隐爆产物,也可以是细粒浅成的岩脉、岩墙、岩株等,以前者较为重要。与之有关的矿床可分为2类:

#### 2.2.1 与次火山岩筒有关的矿床

铜镍(—铂)硫化物矿床。著名矿床有俄罗斯的 Noril'sk 铜镍(铂)矿、南非东 Bushveld 的含铂纯橄橄榄岩筒等。Noril'sk 含矿镁铁质岩石呈延深很大的缓倾斜岩浆柱,上部为具辉长结构的浅色相,含矿较差,下部为深色苦橄质岩石,具斑杂状辉绿嵌晶结构,构成主要含矿层<sup>[25]</sup>。南非的含铂纯橄橄榄岩筒,包括 Onverwacht、Mooihoek、Driekop 等著名产铂岩筒,呈不整合穿切 Bushveld 杂岩,主要由不同比例的橄橄榄石、单斜辉石、钛铁矿和钛磁铁矿组成<sup>[31]</sup>。中国四川的杨柳坪镍铂族元素矿床亦属此类,含矿镁铁—超镁铁岩体形成于晚二叠世,为浅成岩体,是大石包组玄武岩浆的通道,岩体本身为岩浆分异残留体<sup>[32]</sup>。

该类矿床属与大陆溢流玄武岩有关的地幔柱成矿系列<sup>[33-34]</sup>。硫化铜镍(铂)矿体赋存于镁铁—超镁铁质次火山岩相中,其含矿岩石的岩石地球化学特征与深成侵入岩有关的铜镍硫化物矿床较为相似,亦属拉斑系列的铁质岩石,其成矿作用亦主要为岩浆熔离—贯入式成矿作用<sup>[25,35]</sup>。

金刚石矿床。原生金刚石矿床一般形成于金伯利岩。金

伯利岩是一种不含长石的偏碱性超基性次火山岩,常含有橄橄榄岩、榴辉岩等深源包体。其化学成分特点是  $\text{SiO}_2$  低,  $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ , 富含挥发份( $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  较高)。金伯利岩具块状和角砾状构造,细粒及斑状结构,其原生矿物为橄橄榄石、金云母、铬铁矿、锆石、金刚石和石墨。一般认为,原生金刚石为高压条件下形成(深度为 150~250 km),碳来自地幔,属岩浆爆发型矿床<sup>[6,37]</sup>。这类矿床多分布于稳定地块边缘之深断裂带,岩筒常位于多组断裂交汇处,成群出现。以南非 Kimberley 地区最为重要和著名。在中国山东蒙阴、辽宁复县、贵州马坪等地也相继发现多处金刚石矿产地。以前认为含金刚石的金伯利岩不与其他超基性岩共生或存在过渡类型,然而,梅厚钧等<sup>[3]</sup>认为金伯利岩与富钾超镁铁岩类存在一个连续过渡的岩石系列。

除金伯利岩外,钾镁煌斑岩也是一种重要的原生金刚石含矿岩石。钾镁煌斑岩是一种接近超基性成分的“二分脉岩”,矿物成分以黑云母、金云母为主,斑晶为橄橄榄石或辉石,一般不含似长石,可含少量透长石、磷灰石和角闪石。这类岩石中的金刚石矿床如澳大利亚 Argyle、俄罗斯地台北缘和东北缘,以及中国贵州白坟、湖南云影窝等。

在金伯利岩和钾镁煌斑岩区可形成较大的金刚石砂矿,如俄罗斯地台北缘和东北缘<sup>[30]</sup>。

#### 2.2.2 与次火山岩脉(岩株)有关的矿床

主要为磁铁矿矿床。该类磁铁矿矿床一般产于辉绿岩—辉长岩组合的杂岩中,在其与含碳酸盐地层接触部形成砂卡岩型磁铁矿矿床。如新疆的磁海<sup>[40]</sup>、美国的 Cornwall<sup>[40]</sup>等。

### 2.3 与喷出岩有关的矿床

#### 2.3.1 与科马提岩有关的硫化物矿床

世界上与科马提岩有关的硫化物矿床已在西澳大利亚、津巴布韦、加拿大等太古代地盾区和加拿大的 Wakeham Bay 和 Thompson 元古代区<sup>[7]</sup>发现。中国广西的宝坛矿床<sup>[41]</sup>和青海德尔尼矿床<sup>[42]</sup>也可能属于此类(尚存在争议)。这类矿床可分为3类:与岩流伴生、与侵入体有关的底部堆积和富含纯橄橄榄岩的大透镜体<sup>[43]</sup>。该类型矿床与火山成因的块状硫化物矿床有相似的成矿模式,如西澳大利亚 Kambalda 等矿床产于超镁铁质岩流序列的底部或靠近底部,该序列本身就是镁铁质到长英质火山旋回底部的镁铁质部分。含矿岩石的化学成分以拉斑玄武岩类为主,少量富镁玄武岩,以及薄层状(变)沉积岩夹层。硫化铜镍矿体即产于火山岩与变沉积岩之间。矿石一般具有块状、网脉状、条带状、浸染状等构造<sup>[44]</sup>。

#### 2.3.2 与绿岩带有关的金、镍矿

该类矿床的火山喷发层序与科马提型铜镍矿床相似,含矿层为镁铁—超镁铁质火山岩层之上的沉积盖层(主要为含滑石和镁质碳酸盐),科马提岩提供了重要的矿源。原始成矿作用为火山沉积作用,但更主要的与变质作用有关,一般为绿片岩相—低角闪岩相,更准确地讲,应属于绿岩型金(镍)矿<sup>[44]</sup>。如南非 Witwatersrand 盆地、美国 Homestake、澳大利亚 Kambalda 等著名金矿。

锑矿化见于南非 Murchison 绿岩带。“锑矿化线”为含滑石和碳酸盐的层状片岩层,但认为是由科马提岩的热液蚀变作用产生的<sup>[49]</sup>。

与之有关的还有红土型金矿。虽然目前红土型金矿多发育在酸性基岩之上,但世界上已知与金产出有关的红土剖面都是发育于绿岩带单元的镁铁质-超镁铁质序列基底之上,显然,绿岩带中高的金含量背景值是红土壳中金富集的根本因素<sup>[49]</sup>。

### 3 与镁铁-超镁铁质岩石有关的矿床组合和成矿作用

#### 3.1 矿床的复合成矿作用

世界上大多数矿床,特别是大型、超大型矿床,很少仅存在单一的成矿方式,矿床的最终形成往往是多种成矿作用的结果。就岩浆铜镍矿床来讲,岩浆熔离作用多形成较贫的浸染状矿石,而具有较佳经济意义的是贯入式的块状矿石(如喀拉通克、金川)。进入上世纪 80 年代以来,人们相继发现岩浆深部液态重力分异、岩浆同化混染、矿浆成矿、岩浆分离结晶作用,以及热液作用对铜镍硫化物成矿均具有一定的影响<sup>[46,47]</sup>。如四川杨柳坪铜镍铂族元素硫化物矿床可存在岩浆熔离型、矿浆贯入型、热液交代型、热液脉型和矽卡岩型等 5 种矿化类型<sup>[32]</sup>。近年来铜镍硫化物矿床的热液成矿作用已受广泛关注,特别是镁铁-超镁铁质岩浆成岩期所形成的稀疏微细浸染状矿化的岩石,在后期热液作用下,发生金属硫化物的活化、迁移,并在合适地段沉淀富集成矿,使原来的矿体叠加改造,也可使原来含少量硫化物的岩石重新富集成矿,形成新的富矿体。对应的矿石中往往含有较高的 Au、PGE 等有用组分。矽卡岩型矿体有时也会使金属硫化物进一步富集,形成高品位矿体,如金川铜镍硫化物矿床的矽卡岩型矿体主要发育于含矿岩体下盘的接触带上。该类型矿体品位高,并且与岩浆熔离型富矿相伴产出,开采方便,越来越受到地质界及矿业公司的重视<sup>[30]</sup>。

如前文所述,钒钛磁铁矿矿床除岩浆分异作用外,某些矿床还存在岩浆贯入型(矿浆型)和岩浆热液型成矿作用,如尾亚矿床,可供开采的高品位矿体(10 号和 7 号)均为网脉状的复合型矿石。此外,镁铁-超镁铁杂岩的热液活化和后期浅变质作用对于铂族元素、金等的富集成矿亦较重要。近年来,人们对于镁铁-超镁铁岩的热液成矿作用,特别是铂族元素的成矿作用越来越重视,发现与科马提岩相关的水热交代作用、铜镍矿床的水热交代作用、镁铁-超镁铁质岩筒的水热交代作用等均可导致铂族元素的矿化叠加<sup>[48]</sup>。因此在找矿勘查工作中寻找小而富的工业矿体时,应注意不同成矿作用的叠加。

另外,超镁铁岩区的表生成矿作用,对于砂铂矿、砂金矿和金刚石的找矿也是应当注意的,它们常与原生矿相伴出现。

#### 3.2 杂岩体不同类型和矿种的组合

与各类镁铁-超镁铁质杂岩体内常常是 2 种以上矿床类

型共生,组成不同类型和矿种的矿床组合,例如阿拉斯加型含铂岩体也可以含有豆荚状铬铁矿体(乌拉尔的 Tagili 岩体)<sup>[16]</sup>。较为常见的不同类型杂岩体如下:

阿尔卑斯型杂岩体中铂族元素矿床常与豆荚状铬铁矿矿床伴生。另外,在蛇绿岩组系中不仅有超镁铁构造岩建造,也常常伴有具韵律性层理的超镁铁-镁铁质堆积岩建造,并且已知在很少数蛇绿岩带的堆积岩建造里也可以产出铬铁矿矿体。例如加拿大的纽芬兰蛇绿岩带和中国新疆的洪古勒楞蛇绿岩带<sup>[9]</sup>。

层状杂岩中铂族元素矿化可与层状铬铁矿矿床、钒钛磁铁矿矿床、铜镍硫化物矿床等伴生。大型层状杂岩体不仅产出巨大的钒钛磁铁矿,而且形成可观的铬铁矿矿床和铂族矿床,南非 Bushveld 杂岩体由上部带、主带、关键带和下部带等 4 个岩带构成,上部带和主带为钒钛磁铁矿的含矿层,关键带和下部带则产有大型铬铁矿和铂族(-硫化物)矿床<sup>[19,10]</sup>。

岩浆型铜镍硫化物矿床和钒钛磁铁矿矿床可产出在相邻的构造带,也可以相互伴生在同一矿床,例如攀西地区的新街钒钛磁铁矿矿床中就伴生有硫化铜镍矿化<sup>[49]</sup>。二者在特殊条件下甚至可形成共生矿床,并出现过类型<sup>[50]</sup>,如新疆哈密地区的香山西矿床,其钒钛矿已达大型规模,铜镍矿已圈出独立工业矿体,目前为小型规模,同时,赋存于同一杂岩体的香山中铜镍矿则为中型规模,大型远景。

#### 3.3 不同镁铁-超镁铁质岩套之间的伴生

由于不同镁铁-超镁铁质岩套产于特定的构造背景和时代,有成因联系的不同类型超镁铁杂岩伴生的情况并不多见,较典型的是蛇绿岩与暗色岩建造伴生。主要为中国新疆地区,如准噶尔北缘的扎河坝-阿尔曼太蛇绿岩带与其北侧平行分布的喀拉通克-布尔根角闪橄榄苏长岩带伴生、西天山南坡的米斯布拉克蛇绿岩带与其北侧的筭布拉克橄榄辉长岩带伴生、东天山南坡的红柳河-小红泉蛇绿岩带与其北侧的黄山-镜儿泉橄榄岩-辉长岩-闪长岩带伴生<sup>[8]</sup>。这 3 组“类暗色岩”与蛇绿岩紧密相伴产出的造山带皆为海西期造山带,每一组中两者相距不过数十千米。据研究,这一现象可能表明在典型蛇绿岩与典型暗色岩之间可以有过渡型岩石建造,两者之间成岩成矿作用也可能有联系和过渡。例如,蛇绿岩带中的铬铁矿床特征介于豆荚状铬矿床与层状铬矿床类型之间<sup>[8]</sup>。

此外,科马提岩建造中与喷出岩有关的铜镍块状硫化物矿床,和侵入的纯橄质岩石内形成的铂族硫化物矿床之间也属于有密切成因联系的一类。

#### 3.4 与非超镁铁质岩套的共生与组合

超镁铁质岩与非超镁铁岩的共生组合,最具成矿意义的是暗色岩建造。通常认为,暗色岩是大陆板块内部稳定区大规模玄武岩岩浆活动产物。世界各地完整的暗色岩组系应包括 3 种岩石建造:大陆溢流玄武岩建造、大面积分布的粒玄武岩体群建造和镁铁堆积岩建造。可见,暗色岩的形成与所

谓大火成岩省或地幔柱成矿作用有一定关系。涂光焱<sup>①</sup>在总结地幔柱成矿时指出,地幔柱虽体积很大,但快速结晶(1~3 Ma);岩石组合从超基性-基性-中性-酸性-碱性,包括喷溢岩和侵入岩,但多以超基性-基性为主;层状杂岩发育,存在韵律层;对围岩作用不剧烈;与暗色岩成矿有关的元素几乎全部落入查瓦里次基分类的铁族元素一栏中。目前对其成矿作用研究较为深入的是中国西南地区 and 俄罗斯西伯利亚的地幔柱成矿作用。与之有关的矿床系列为:基性-超基性层状杂岩中的钒钛磁铁矿-铬铁矿-铂族元素(铜镍硫化物)矿床,基性-超基性小型侵入体或次侵入体中的铜镍硫化物-铂族元素矿床,基性次火山侵入体中的磁铁矿矿床(如攀西地区矿山梁子矿床、新疆磁海铁钴矿床),与玄武岩喷气作用有关的自然铜和氧化铜矿床(如攀西地区的乌坡、黑山坡、铜厂沟等)<sup>[9]</sup>,以及碱性(花岗岩)中的钼铋-稀土矿床(如攀西茨达)等。另外,部分金伯利岩和碳酸岩也被认为与地幔柱作用有关,与之相关联的有金刚石矿床,稀有、稀土元素矿床。随着峨眉山地幔柱及其与成矿关系研究的不断深入,越来越多的资料显示,川滇黔铅锌多金属成矿域成矿作用与地幔柱活动也存在密切的成因联系<sup>[9]</sup>。

#### 参考文献(References):

- [1] 梅厚钧.西南暗色岩系深源分异两个系列的岩石化学特征与铁镍矿化的关系[J].地球化学,1973,(4):219~253.  
Mei Houjun. The relationship between the petrochemical characteristics of two trap series in southwestern China and related iron and nickel mineralizations [J]. *Geochimica*, 1973, (4):219~253 (in Chinese with English abstract).
- [2] 董显扬,李行,叶良和,等.中国超镁铁质岩[M].北京:地质出版社,1995.1~329.  
Dong Xianyang, Li Hang, Ye Lianghe, et al. *Ultramafic Rocks in China* [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1995. 1~329 (in Chinese with English abstract).
- [3] 中国科学院地球化学研究所.中国含铂地质体铂族元素地球化学及铂族矿物[M].北京:科学出版社,1981.1~239.  
Institute of Geochemistry, CAS. *PGE Geochemistry and PGE Minerals of PGE-bearing Geologic Bodies in China* [M]. Beijing:Science Press, 1981. 1~239 (in Chinese).
- [4] 张旗.镁铁-超镁铁岩与威尔逊旋回[J].岩石学报,1992,8(2):168~176.  
Zhang Qi. Mafic-ultramafic rocks and Wilson cycles [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1992, 8(2):168~176 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘月星,唐红松,吴厚则.中国铜镍硫化物矿床类型及控矿条件[J].矿产与地质,1998,12(2):86~91.  
Liu Yuexing, Tang Hongsong, Wu Houze. Types and ore-control factors of Cu-Ni sulfide deposits in China [J]. *Mineral Resources and Geology*, 1998, 12(2):86~91 (in Chinese with English abstract).
- [6] 汤中立.中国镁铁、超镁铁岩浆矿床成矿系列的聚集与演化[J].地质学前沿,2004,11(1):113~119.  
Tang Zhongli. The accumulation and evolution of metallogenic series of the mafic-ultramafic magmatic deposits in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(1):113~119 (in Chinese with English abstract).
- [7] Naldrett A J. Classification, composition and genesis of nickel sulfide deposits[J]. *Econ. Geol.* 75th Anniversary Volume, 1981, 628~685.
- [8] 梅厚钧.蛇绿岩铬矿床的分布与成因及中国铬矿床的类型[J].岩石学报,1995,11(增刊):42~61.  
Mei Houjun. Distribution and genesis of podiform chromite deposits in ophiolites in the world and the types of the chromite deposits in China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11(sup.):42~61 (in Chinese with English abstract).
- [9] Hulbert L J, et al. Geological Environments of Platinum Group Elements [M]. 沈承珩等译(1991),北京:地质出版社,1988.  
Hulbert L J, et al. *Geological Environments of Platinum Group Elements* [M]. Shen Chengheng et al. (trans.), Beijing:Geological Publishing House, 1988 (in Chinese).
- [10] 江永宏,李胜荣,王吉中.云南墨江金厂金矿床黄铁矿标型特征研究[J].矿物岩石,2003,23(2):22~26.  
Jiang Yonghong, Li Shengrong, Wang Jizhong. The typomorphism of pyrite of Jinchang gold deposit in Mojiang county, Yunnan Province [J]. *J. Mineral. Petrol.*, 2003, 23(2):22~26 (in Chinese with English abstract).
- [11] 潘彤.我国钴矿矿产资源及其成矿作用[J].矿产与地质,2003,17(4):516~518.  
Pan Tong. Cobalt resources and its mineralization in China [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2003, 17(4):516~518 (in Chinese with English abstract).
- [12] 中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所.国外主要有色金属矿产[M].北京:冶金工业出版社,1987.  
Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, CNNC. *Overseas Major Nonferrous-metallic Mineral Resources* [M]. Beijing:Metallurgical Industry Press, 1987 (in Chinese).
- [13] 梁日暄,杨凤英,方青松,等.西藏蛇绿岩带中含金刚石超镁铁岩及其地质意义[J].中国地质,1984,(2):26~28.  
Liang Rixuan, Yang Fengying, Fang Qingsong, et al. Diamond-bearing ultramafic rock in the Tibet ophiolite belt and its geological significance [J]. *Geology in China*, 1984, (2):26~28 (in Chinese).
- [14] 万朴,彭同江,董发勤,等.超镁铁岩建造中的非金属矿床组合及其形成条件研究[J].地质学报,1997,71(4):297~305.  
Wan Pu, Peng Tongjiang, Deng Faqin, et al. Association of non-metallic mineral deposits in ultramafic formations and their genetic conditions [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1997, 71(4):296~305 (in

① 涂光焱在“第二届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会”上的报告:《地幔柱成岩成矿若干问题讨论》,2004.

- Chinese with English abstract).
- [15] 鱼海麟,陈学明.试论世界主要翡翠矿床特征及在我国找矿的可能性[J].建材地质,1996,(2):22~26.  
Yu Hailin, Chen Xueming. On the characteristics of main emerald deposits in the world and prospecting possibilities in China [J]. Building Materials, 1996, (2):22~26 (in Chinese).
- [16] 沈承珩,王守伦,陈森煌,等.世界黑色金属矿产资源[M].北京:地质出版社,1995.  
Shen Chengheng, Wang Shoulun, Chen Senghuang, et al. Ferrous-metallic Mineral Resources in the World [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995 (in Chinese).
- [17] 王玉往,王京彬,王莉娟,等.新疆尾亚钒钛磁铁矿:一个岩浆分异-贯入-热液型复成因矿床[J].矿床地质,2005,24(4):349~359.  
Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. Weiya vanadium-bearing titanomagnetite deposit, Xinjiang—A polygenetic magmatic differentiation—magmatic injection—magmatic hydrothermal deposit [J]. Mineral Deposits, 2005, 24(4):349~359 (in Chinese with English abstract).
- [18] 程春.矾山磷铁矿成因新解[J].化工矿产地质,2001,23(4):223~228.  
Chen Chun. The origin of Fanshan apatite-magnetite deposit [J]. Geology of Chemical Minerals, 2001, 23(4):223~228 (in Chinese with English abstract).
- [19] 骆耀南.攀枝花地区辛阶含钛铬铁矿的层状超镁铁-镁铁岩体的矿化特征[J].地球化学,1981,(1):66~73.  
Luo Yaonan. The Characteristics of Ti-chromite mineralization in Xinjie layered ultramafic-mafic intrusion in Panzhihua area, China [J]. Geochemica, 1981, (1):67~73 (in Chinese with English abstract).
- [20] 全淦.江西定南车步钽铁矿田地质特征[J].江西地质科技,1997,24(3):101~106.  
Quan Gan. Geological characteristics of the Chebu ilmenite orefield in Dingnan county, Jiangxi [J]. Geological Science and Technology of Jiangxi, 1997, 24(3):101~106 (in Chinese with English abstract).
- [21] 薛步高.云南钛铁矿地质特征及开发探讨[J].化工矿产地质,2001,23(1):53~58.  
Xue Bugao. Geological characteristics of ilmenite placers in Yunnan and their development [J]. Geology of Chemical Minerals, 2001, 23(1):53~58 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张魁武,张旗,李达周.阿拉斯加型镁铁-超镁铁杂岩的研究历史和现状[J].地球科学进展,1990,(6):48~51.  
Zhang Kuiwu, Zhang Qi, Li Dazhou. History and current research on Alaskan-type mafic-ultramafic complex [J]. Advance in Earth Sciences, 1990, (6):48~51 (in Chinese).
- [23] 简平,刘敦一,孙晓猛.滇西吉岔阿拉斯加型辉长岩 SHRIMP 测年早二叠世俯冲事件的证据[J].地质学报,2004,78(2):166~170.  
Jian Ping, Liu Dunyi, Sun Xiaomeng. SHRIMP dating of Jicha Alaskan-type gabbro in West Yunnan Province: evidence of the early Permian subduction [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(2):166~170 (in Chinese with English abstract).
- [24] 汤中立.中国的小岩体岩浆矿床[J].中国工程科学,2002,4(6):9~12.  
Tang Zhongli. Magmatic ore deposits in small rockbody in China [J]. Engineering Science, 2002, 4(6):9~12 (in Chinese with English abstract).
- [25] Naldrett A J. Key factors in the genesis of Noril'sk, Sudbury, Jinchuan, Voisey's Bay and other world-class Cu-Ni-PGE deposits: Implication for exploration [J]. Australian J. Earth Sci., 1997, 44:281~315.
- [26] Naldrett A J, Asif M, Schandl E, et al. Platinum-group elements in the Sudbury ores: Significance with respect to the origin of different ore zones and to the exploration for footwall orebodies [J]. Econ. Geol., 1999, 94, 185~210.
- [27] 汤中立,李文渊.金川铜镍硫化物矿床模式及地质特征对比[M].北京:地质出版社,1995.  
Tang Zhongli, Li Wenyuan. Jinchuan Cu-Ni Sulphide Deposit Model and Geological Contrast [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995 (in Chinese).
- [28] Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. REE characteristics of the Kalatongke Cu-Ni deposit, Xinjiang, China [J]. Acta Geologica Sinica. 2004, 78 (2):396~403.
- [29] 汤中立.超大型岩浆硫化物矿床的类型及地质对比意义[J].甘肃地质学报,1992,1(1):24~47.  
Tang Zhongli. Classification and geological contrastable significance of super large magmatic sulfide deposits [J]. Acta Geologica Gansu, 1992, 1(1):24~47 (in Chinese with English abstract).
- [30] 韦延光,冯本智,邓军,等.铜镍硫化物矿床研究进展[J].吉林地质,2004,23(3):20~25.  
Wei Yanguang, Feng Benzhi, Deng Jun, et al. The study development of Cu-Ni sulfide ore deposit [J]. Jilin Geology, 2004, 23(3):20~25 (in Chinese with English abstract).
- [31] Maier W D, Barnes S J, De Waal S A. Exploration for magmatic Cu-Ni-PGE sulphide deposits: A review of recent advances in the use of geochemical tools, and their application to some south African ores [J]. South African Geol., 1998, 101(3):237~253.
- [32] 宋谢炎,曹志敏,罗辅勋,等.四川丹巴杨柳坪铜镍铂族元素硫化物矿床成因初探[J].成都理工大学学报(自然科学版),2004,31(3):256~266.  
Song Xieyan, Cao Zhimin, Luo Fuxun, et al. Origin of Yangliuping Ni-Cu-PGE sulfide deposit in Danba, Sichuan [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2004, 31(3):256~266 (in Chinese with English abstract).
- [33] Lightfoot P C, Hawkesworth C J. Flood basalts and magmatic Ni, Cu and PGE sulphide mineralization: Comparative geochemistry of the Noril'sk (Siberian Trap) and West Greenl and sequences [A]. In: Mahoney J J and Coffin M F (eds), Large Igneous Province [C]. Washington D C: American Geophysical Union, 1997, 357~380.
- [34] 宋谢炎,张成江,胡瑞忠,等.峨眉山火成岩省省岩浆矿床成矿作用与地幔柱动力学过程的耦合关系[J].矿物岩石,2005,25(4):35~44.  
Song Xieyan, Zhang Chengjiang, Hu Ruizhong, et al. Genetic



- links of magmatic deposits in the Emeishan large igneous province with dynamics of mantle plume [J]. *J. Mineral. Petrol.*, 2005, 25 (4):35~44 (in Chinese with English abstract).
- [35] 宋谢炎,李士彬,王玉山,等.含矿岩浆通道对于岩浆铜镍硫化物矿床找矿工作的意义[J].*矿物岩石地球化学通报*,2005,24(4):293~298.
- Song Xieyan, Li Shibin, Wang Yushan, et al. Significance of conduit of sulfide-bearing magma for exploration of magmatic sulfide deposit [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2005, 24(4):293~298 (in Chinese with English abstract).
- [36] 路凤香,郑建平,陈美华.有关金刚石形成条件的讨论[J].*地学前缘*,1998,5(3):125~131.
- Lu Fengxiang, Zheng Jianping, Chen Meihua. Discussion on formation condition of diamonds [J]. *Earth Science Frontiers*, 1998, 5 (3):125~131 (in Chinese with English abstract).
- [37] 张培元.有关金刚石成因等若干重大问题的新认识[J].*湖南地质*, 1998,17(3):204~210.
- Zhang Peiyuan. New knowledge of some important questions about diamond deposit genesis [J]. *Hunan Geology*, 1998, 17(3): 204~210 (in Chinese with English abstract).
- [38] Mei Houjun, Tang Chunjing, Li Xunrong, et al. Lamproites and kimberlites in China and the genesis of diamond deposit [J]. *Science in China (SeriesD)*, 1998, 28 (Supp.):83~92.
- [39] Makeev A B, Bryanchaninova N I. Curve facet diamond of the north and northeast of the Russian platform [J]. *Geoscience*, 2001, 15(2):124~130.
- [40] 薛春纪,姬金生,杨前进.新疆磁海铁(钴)矿床次火山热液成矿学[J].*矿床地质*,2000,19(2):156~164.
- Xue Chunji, Ji jinsheng, Yang Qianjin. Subvolcanic hydrothermal metallogeny of the Cihaiiron (cobalt) deposit, Xinjiang [J]. *Mineral Deposits*, 2000, 19(2):156~164 (in Chinese with English abstract).
- [41] Mao Jingwen, Du Andao. The 982 Ma Re-Os age of copper-nickel sulfide ores in the Baotan area, Guangxi and its geological significance [J]. *Science in China (Series D)*, 2002, 45(10):911~920.
- [42] 王玉往,秦克章.VHMSD 矿床系列最基性端员——青海德尔尼铜钴矿床的地质特征和成因类型[J].*矿床地质*,1997,16(1):1~10.
- Wang Yuwang, Qin Kezhang. The extremely basic member of VAMSD deposit series—the Deemi large copper-cobalt deposit of Qinghai province:its geological characteristics and genetic type [J]. *Mineral Deposits*, 1997, 16(1):1~10 (in Chinese with English abstract).
- [43] Arndt N T, Nisbet E G. Komatiites[M]. London:George Allen and Unwin (Publishers) Ltd, 1982.
- [44] 姜福芝,王玉往.海相火山岩与金属矿床[M].北京:冶金工业出版社,2005.
- Jiuang Fuzhi, Wang Yuwang. Marine Volcanic Rocks and Related Metallic Ore Deposits [M]. Beijing:Metallurgical Industry Press, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [45] 陈大经,杨明寿.红土型金矿床的地质特征、成矿条件及找矿评价标志[J].*矿产与地质*,1996,10(2):73~80.
- Chen Dajing, Yang Mingshou. Geological characters, mineralizing setting and prospecting criteria of laterite gold deposit [J]. *Mineral Resources and Geology*, 1996, 10(2):73~80 (in Chinese with English abstract).
- [46] 刘凤山.铜镍硫化物矿床成矿理论的新进展[J].*地质科技情报*, 1993,12(2):77~81.
- Liu Fengshan. New advances in the ore-forming theory of Cu-Ni sulfide deposits[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1993,12(2):77~81 (in Chinese).
- [47] 王玉往,王京彬,王莉娟,等.新疆黄山地区铜镍硫化物矿床的稀土元素特征及意义[J].*岩石学报*,2004,20(4):935~948.
- Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. REE characteristics of Cu-Ni sulfide deposits in the Huang area, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(4):935~948 (in Chinese with English abstract).
- [48] 苏尚国,邓晋福,汤中立,等.镁铁质—超镁铁质岩浆作用与成矿作用的新进展[J].*现代地质*,2004,18(4):454~459.
- Su Shangguo, Deng Jinfu, Tang Zhongli, et al. Advances in mineralization associated with mafic-ultramafic igneous rocks [J]. *Geoscience*, 2004, 18(4):454~459 (in Chinese with English abstract).
- [49] 李存帅,徐盛林.四川攀西地区新街岩体的岩浆分异作用与金属矿物的成因[J].*岩石矿物及测试*,1983,2(3):161~174.
- Li Cunshuai, Xu Shenglin. The magmatic differentiation and the origin of metallic minerals of the Xinjie basic-ultrabasic rocks in the Panzhihua-Xichang area, Sichuan [J]. *Acta Petrologica Mineralogica et Analytica*, 1983, 2(3):161~174 (in Chinese with English abstract).
- [50] 王玉往,王京彬,王莉娟,等.岩浆铜镍矿与钒钛磁铁矿的过渡类型——新疆哈密香山西矿床[J].*地质学报*,2006,80(1):61~73.
- Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. A intermediate type of Cu-Ni sulfide and V-Ti magnetite deposit: Xinjiang Xiangshanxi deposit, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(1): 61~73 (in Chinese with English abstract).
- [51] 张成江,刘家铎,刘显凡,等.峨眉火成岩省成矿效应初探[J].*矿物岩石*,2004,24(1):5~9.
- Zhang Chengjiang, Liu Jiaduo, Liu Xianfan, et al. Primary discussion on ore-forming effect of Emei igneous province [J]. *J. Mineral. Petrol.*, 2004, 24(1):5~9 (in Chinese with English abstract).
- [52] 胡瑞忠,陶琰,钟宏,等.地幔柱成矿系统:以峨眉山山地幔柱为例[J].*地学前缘*,2005,(1):42~53.
- Hu Ruizhong, Tao Yan, Zhong Hong, et al. Mineralization systems of a mantle plume: A case study from the Emeishan igneous province, southwest China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(1): 42~54 (in Chinese with English abstract).

## Ore deposit types related to mafic-ultramafic rocks

WANG Yu-wang<sup>1,2</sup>, WANG Jing-bin<sup>1,2</sup>

(1. School of Geosciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China)

**Abstract:** This paper summarizes recent research results and introduces ore deposit types and mineralization related to mafic-ultramafic rocks. The dominant minerals under discussion are vanadic-titanomagnetite, copper-nickel, chromite, magnetite, PGE, cobalt, gold, magnesium, apatite, diamond, asbestos, vermiculite, gemstone and jade. The genetic types of ore deposit involved are mainly the magmatic type (including magmatic differentiation, magmatic injection, magmatic liquation and magmatic explosion), hydrothermal type, skarn type, metamorphic type, volcanic eruption type, supergene type (including weathering crust and placer deposits) and composite type. For convenience of mineral exploration and based on types of ore-bearing mafic-ultramafic bodies, combined with the genetic types and tectonic setting of ore deposits, the ore deposits related to mafic-ultramafic rocks may be classified into three major ore deposit types, i.e. those associated with plutonic rocks, hypabyssal rocks and extrusive rocks, and several subtypes. The major types, geological characteristics, genetic features and case histories of the ore deposits are introduced in details. Finally, on that basis, the mineralization related to the mafic-ultramafic rocks are discussed at the following four levels: (a) polymineralization of single deposits, (b) different deposit types and mineral assemblages of one complex, (c) association of different mafic-ultramafic rock suites, and (d) paragenetic relationships with non-ultramafic rock suites.

**Key words:** mafic-ultramafic rocks, rock type; deposit type; metallogenic series

**About the first author:** WANG Yu-wang, male, born in 1965, professor, engages in the study of metallogenic prognosis, mineral deposits and related petrology; E-mail: yuwangw@hotmail.com.