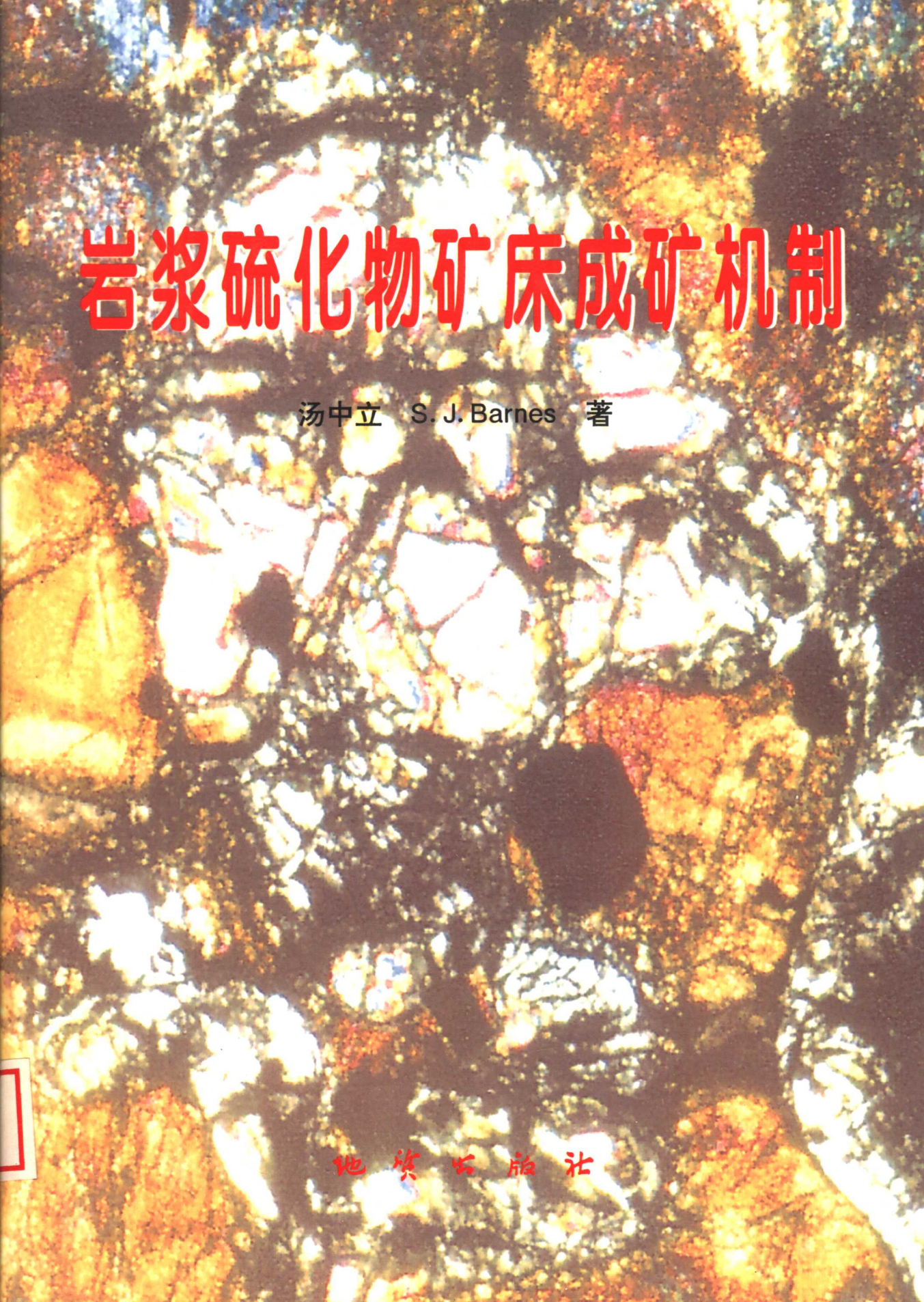




岩浆硫化物矿床成矿机制

汤中立 S. J. Barnes 著

地质出版社

岩浆硫化物矿床成矿机制

汤中立 S. J. Barnes 著

地质出版社
· 北 京 ·

内 容 简 介

本书是有关岩浆硫化物矿床成矿机制研究等方面的一部专著,是在地质矿产部和甘肃省科委“七五”至“八五”重要基础项目等成果的基础上编写而成的。书中论述了岩浆硫化物矿床的重要成矿机制,即深部熔离-(复式)贯入成矿作用,中国岩浆硫化物矿床类型,金川镍-铜矿床成因模式和深熔-贯入矿床的组合成矿模式等,并在此基础上阐述了“小岩体成大矿”的观点。本书首次发表了金川和外围的超镁铁质-镁铁质岩体中副矿物铬铁矿的科研新成果。金川矿床中有一种低 Cr、高 Fe^{3+} 的铬铁矿,且分布在一个特定的范围内。由于这种铬铁矿的抗风化性,因此散布于地表成为一种“找矿指示剂”。随着不同岩区、岩带铬铁矿矿物化学资料的积累与对比,将会形成一种实际有效的找矿方法。

本书可供从事矿物学、岩石学、岩浆矿床、地球化学的勘查、科研和教学人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

岩浆硫化物矿床成矿机制/汤中立等著. -北京:地质出版社,1998. 12

ISBN 7-116-02738-6

I. 岩… II. 汤… III. 岩浆矿床:硫化物矿床-矿床成因论-研究 N. P618. 201

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 39738 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:白 铁 江晓庆

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 $1/16$ 印张:9.25 彩图:16 页 字数:300000

1998 年 12 月北京第一版·1998 年 12 月北京第一次印刷

印数:1—600 册 定价:35.00 元

ISBN 7-116-02738-6

P·1968

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

本书由汤中立所著的两篇论文和汤中立与 S. J. Barnes 的一篇研究报告组成。前两篇论文是在地质矿产部和甘肃省科委“七五”至“八五”的重要基础项目等所取得成果的基础上编写成的；后一篇报告是甘肃省地矿局和澳大利亚联邦科学与工业研究机构 (CSIRO) 于 1994~1995 年的合作研究成果。

文中阐述的诸如“深部熔离-贯入成矿作用”、“小岩体成大矿”、“深熔-贯入的组合成矿模式”、“中国硫化镍矿床类型”以及“金川矿床成矿模式”等一系列认识和观点，是从我国几十年对这类矿床的勘查和研究中总结出来的。这些认识和观点符合我国这类矿床的地质实际，是我国甚至世界上岩浆硫化物矿床的重要成矿观点之一。

中澳合作，利用铬铁矿在超镁铁质-镁铁质岩中广泛分布和这种矿物成分对不同成矿条件、成矿环境的变化反映以及在风化或变质条件下具有相对稳定性的特征，对金川岩体不同矿化岩石与非矿岩石以及区域上弱矿化与非矿化岩体开展系统的矿物化学测定对比研究，探索寻找金川这类矿床的有效指示剂，这在我国尚属首次。这是一项重要的新成果。

总之此书是我国矿床学领域近年来的一本重要论著，以中、英文出版，有利于促进国内外矿床学术交流和矿产勘查工作。

值得提及的是，世界最大的产镍国加拿大，1994 年在其北部的 Voisey's Bay 又发现了一个百万吨级的巨型岩浆镍-铜-钴矿床。这一发现与加拿大萨德贝里矿床的发现，相隔了一个多世纪，说明重大的发现，往往需要较长期的探索，才能获得突破。因此具有启迪作用的本书的及时出版，必将受到欢迎。

宋叔和

1998 年 3 月

前 言

迄今为止,岩浆硫化物矿床仍然是世界镍产量的主要来源。由于这类矿床除产镍外,还共生有丰富的铜、钴、铂族、金等多种金属,具有极大的经济价值而为世人所瞩目。中国是世界重要的产镍国之一,而镍矿工业储量的85%以上存在于甘肃金川镍-铜矿床中,其余约15%的工业储量,存在于吉林的“红旗岭”和新疆的“喀拉通克”以及四川、云南、广西、青海、河北等地的一些较小的矿床中。金川矿床由于超镁铁质容矿母岩体积小(平面面积1.34 km²)、镍储量大(>5 Mt)、品位富($w(\text{Ni})$ 值>1%)而倍受国内外地学专家所关注。长期以来,到金川现场考察研究矿床地质的中外学者络绎不绝。除了这一矿床的典型性和学术性之外,考察研究者们还有一个共同的兴趣,就是要了解和掌握这类矿床的主要地质背景和成矿规律,以便解决在各自的国家或各自的工作区内,有没有这类矿床存在,以及如何找到这类矿床的问题。

从80年代中期至今,笔者等对“中国镍矿”和“金川矿床”进行了新一轮的研究,其研究成果以《中国镍矿床》(汤中立、任端进、薛增瑞、毋耀开等,1989);《金川铜镍硫化物(含铂)矿床成矿模式及地质对比》(汤中立、李文渊,1995)等著作和一系列论文出版。在这些论著中,曾反复阐述了“深部熔离-贯入成矿作用”机制和“小岩体成大矿”的观点,并且指出,正是由于这种成矿作用机制才导致了“小岩体成大矿”,这是中国岩浆硫化物矿床的主要成矿机制。

近些年来,笔者注意到国际上这一领域的一些文献,也从不同矿床的地质背景出发,论述了岩浆在深部岩浆房中,由于混染作用等原因,形成一种“带有不混熔硫化物岩浆”再上侵成矿(A. J. Naldrett, 1992; Chusi Li 和 A. J. Naldrett, 1997; A. J. Naldrett, Chusi Li 和 Sasa Krstic, 1997)。这些文献涉及俄罗斯 Noril'sk 的镍-铜矿床,加拿大拉普拉多 Voisey's Bay 镍-铜-钴矿床等。由此可见,“岩浆深部熔离-贯入成矿作用”不仅是中国岩浆硫化物矿床的主要成矿机制,也是世界岩浆硫化物矿床的一种重要成矿机制。由于认识的发展,促使笔者感到有必要运用中国的矿床资料和实例,集中反映一下“岩浆硫化物矿床的主要成矿机制”问题。与此同时,笔者与 S. J. 巴恩斯博士还合作完成了有关金川矿床副矿物铬铁矿的研究报告。

本书由两篇论文和一篇科研报告组成。前两篇论文既是对“岩浆硫化物矿床主要成矿机制及其典型实例——金川矿床地质的阐述”,又可视为后一科研报告的地质背景材料,三者既互相独立又相互联系。

第一篇“中国岩浆硫化物矿床的主要成矿机制”,1996年发表于《地质学报》第70卷第3期。此文明确提出并论证了“小岩体成大矿”的观点。中国镍矿床和铂族元素的工业资源主要来自这种小岩体大矿床,这一点与其它主要产镍国家的矿床有所不同,因此中国的这类矿床自然成为世界主要镍矿类型之一。本文围绕这一观点阐述了以下主要内容:(1)“深部熔离-贯入成矿作用”是“小岩体成大矿”的主要成矿机制,并对这一成矿机制作

了具体表述；(2) 选用金川、红旗七、喀拉通克和铜硼子 4 个包含超大型、大型、中小型不同规模的小岩体铜镍硫化物矿床成矿模式，组成这类矿床的“组合成矿模式”；(3) 修订并提出了“中国硫化镍矿床类型”等。

第二篇“金川镍-铜矿床成因模式”，是笔者 1990 年参加在加拿大召开的“第八届国际矿床成因协会专题讨论会”时提交宣读的论文。该文首次向国外介绍了金川矿床的地质背景和“深部熔离-复式贯入”的成矿模式，也首次报道了金川岩体的钐钕同位素年龄（ $1508 \text{ Ma} \pm 31 \text{ Ma}$ ）等。会后加拿大地质学会从这次大会的论文中，选定了 40 篇，“金川镍-铜矿床成因模式”是其中之一，由 P. V. Kirkham 等编辑成《成矿模式》一书，于 1993 年出版。

第三篇“中国甘肃省金川、野苳里、藏布台侵入体中的铬铁矿”是笔者与澳大利亚联邦科学工业研究机构（CSIRO）的 S. J. 巴恩斯博士合作完成的一份研究报告。这份报告是 1995 年完成的，由于有关的规定和协议，在研究报告完成之后的相当一段时间内，双方和资助单位可以使用，但不能发表，因此报告的出版延至现在。这项研究依据铬铁矿是超镁铁质-镁铁质岩体中广泛存在的矿物，它的化学成分变化很大，影响变化的因素有母岩浆成分、氧逸度以及硅酸盐与硫化物的再平衡，铬铁矿还能不受风化作用的影响作为残留矿物留在地表，所以铬铁矿可能具有化学找矿的价值。因此在金川矿区三个不同部位，即井下主矿体金川矿石带（主要为海绵陨铁结构矿体）、含浸染硫化物的金川浸染矿（相当于浸染状、星点状贫矿体）、含极少或不含硫化物的金川贫硫岩石（相当于非矿的各类超镁铁岩）和金川外围不含矿（藏布台）和弱矿化（野苳里）岩体中分别采样，对铬铁矿的矿物化学分别进行测定和对比研究，发现在金川矿石带中发育的一种低 Cr 高 Fe^{3+} 尖晶石，在 Cr-Al- Fe^{3+} 三角图上有一个特定的分布范围，这一重要成果，具有指导找矿的潜在价值。“报告”的结论中已经强调指出，在金川附近以及金川成矿带上都可运用这一方法，对成矿前景作出评价。笔者认为在其它有成矿前景的超镁铁质-镁铁质岩区或岩带上，选择代表性岩体进行铬铁矿矿物化学研究，然后与金川对比，判断其成矿前景，亦不失为一可利用的找矿方法。

综上所述，本书的出版对“岩浆矿床”的研究和实践可能带来以下的启迪：

1. 以“岩浆深部熔离-（一般为复式）贯入成矿”机制为主形成的岩浆硫化物矿床将会受到更大的关注，有助于这类成因的矿床被确定、被发现。

2. 金川矿石带中，低 Cr 高 Fe^{3+} 铬铁矿范围的圈定，显然是一重要科研新成果。随着对比矿带和矿床中铬铁矿资料的积累，有可能发展成为一种有效的勘查这类矿床的新方法。

3. 深部熔离-贯入成矿作用机制的实质，就是岩浆在侵入现存空间之前，在深部已经发生了矿质的“预富集作用”。这种预富集之后再贯入现存空间的成矿作用不仅对镍-铜硫化物矿床十分重要，而且对铬铁矿、钒钛磁铁矿等岩浆矿床也不失为一重要的成矿作用。例如我国河北大庙钒钛磁铁矿矿床、俄罗斯乌拉尔萨拉诺夫铬铁矿矿床等都具有岩体小、品位富或储量大等特征。由此可见，“岩浆在侵入现存空间之前，在深部发生过矿质的预富集作用，然后再一次或多次侵入现存空间成矿”，对所有“岩浆矿床”来说，都是一种重要的成矿作用。但是，对于不同的矿种，这种深部“预富集”机制可能有所不同。

在本书付印之际，感谢梁达仁博士和李文渊高级工程师，他们曾参加过“中国甘肃省金川、野苳里、藏布台侵入体中的铬铁矿”项目前期准备或野外采样工作，为此项研究作

出了宝贵贡献。白铁同志翻译了序及前言等。

十分感谢宋叔和院士在百忙中审阅书稿并作“序”，给作者以很大鼓励。

衷心感谢甘肃省科委、地质矿产部科技司、甘肃省地质矿产局的领导和陶炳昆、葛丽君高级工程师，对项目执行和本书出版给予了大力支持。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '宋叔和' (Song Shouhe), written in a cursive style.

1998年3月

目 录

岩浆硫化物矿床的主要成矿机制.....	(1)
一、深部熔离-贯入成矿作用，是小岩体成大矿的理论基础	(1)
二、深部熔离-贯入矿床的组合成矿模式	(2)
三、深部熔离-贯入矿床分类	(5)
四、岩浆硫化物矿床的主要类型及实用意义.....	(5)
参考文献.....	(6)
金川镍-铜矿床的成因模式	(8)
一、地质背景.....	(8)
二、金川含镍-铜硫化物侵入体的地质特征	(9)
三、矿床地质特征	(13)
四、矿床的成因模式	(16)
参考文献（略）	(19)
中国甘肃省金川、野苳里、藏布台侵入体中的铬铁矿	(20)
一、引言	(20)
二、氧化物矿物学和岩石学	(22)
三、铬尖晶石化学	(23)
四、结论	(25)
参考文献	(25)
附录	(26)
图版说明及图版	(60)

岩浆硫化物矿床的主要成矿机制

汤 中 立

深部熔离-贯入成矿机制,即指母岩浆侵入现存空间之前,在深部就发生了熔离作用和部分结晶作用,使母岩浆分离为不含矿岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆几部分,然后对现存空间一次或多次上侵贯入成矿。一般来说,经过深部熔离后的不含矿岩浆的体积,比含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆的体积要大得多。在上侵过程中,不含矿岩浆大部分都侵入到不同的空间或喷溢出地表,形成岩群或岩流;剩余的岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆可以多次贯入同一空间成岩、成矿(金川),也可以分别贯入不同的空间成岩、成矿(红旗岭)。比照就地熔离的矿床,这种深部熔离-贯入矿床的岩体体积就小得多,含矿率和矿石品位也高得多,所以这种成矿作用导致小岩体成大矿。

关于深部熔离-贯入成矿作用,从70年代前期以来,笔者等曾先后在多种期刊和著作中论述过^[1-5]。最近十年,作者通过对中国镍矿床和金川矿床的进一步研究,更加明确认识到:正是这种成矿机制,导致了“小岩体成大矿”。目前中国镍矿工业的资源保证,主要来源于这类“小岩体-大矿床”。

本文对深部熔离-贯入成矿机制以及由于这种机制引发的小岩体成大矿、矿床组合成矿模式、矿床类型等诸多问题,作一概括论述。目的是想说明:按照“小岩体成大矿”的观点,不仅镍矿仍有很大勘查潜力,对于铂矿,也可能是一个取得突破的途径,值得进行探索。

一、深部熔离-贯入成矿作用,是小岩体成大矿的理论基础

早在上个世纪,人们发现了世界第一大硫化镍矿,即加拿大萨德贝里(Sudbury)矿床。该矿产于一椭圆形岩盆中。岩盆长大于50 km,宽大于20 km,面积约1000 km²以上;岩盆由上而下发育花斑岩(granophyre)、石英辉长岩、苏长岩、镁铁质苏长岩;铜镍硫化物矿主要产于底部苏长岩(sublayer)和底盘角砾岩中^[6]。弗吉特(J. H. L. Vogt, 1923)极力主张以熔离作用解释这一矿床的成因,直到本世纪50~60年代,世界上仍然流行着:侵入体必须巨大但产出要浅,这样才能构成硫化物熔融体适宜聚积的底层;玄武岩质、辉长岩质、苏长岩质的岩浆演化有利于矿质的析离^[7]。

50年代末期,中国发现并勘探了金川镍矿。金川岩体的面积只有1.34 km²,但却容有世界第二大硫化镍矿,岩体的47.8%都是矿体。这么巨大的储量,怎么能从这样小的岩

① 甘肃省地质局第六地质队,某硫化铜镍矿床成矿特征及找矿方向,地质科技,1975,(4)。

(浆)体中熔离出来呢? 后来在中国吉林又发现了红旗七矿床, 这个岩体的 96% 都是由海绵陨铁状富矿石组成的。所有这些事实, 使人们认识到这些矿床都不是就地熔离作用形成的, 因此提出了“深部熔离-贯入成矿作用”。这种成矿作用可简要表述于下: “母岩浆侵入现存空间之前, 在深部就发生了熔离作用和部分结晶作用, 使母岩浆分离为不含矿岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆几部分, 然后对现存空间一次或多次上侵贯入成矿。”

一般来说, 经过深部熔离后的不含矿岩浆的体积, 比含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆的体积要大得多。在上侵过程中, 不含矿岩浆大部分都侵入到不同的空间或喷溢出地表, 形成岩群或岩流; 剩余的岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆可以多次贯入同一空间成岩、成矿(金川), 也可以分别贯入不同的空间成岩、成矿(红旗岭)。比照就地熔离的矿床, 这种深部熔离-贯入矿床的岩体体积就小得多, 含矿率和矿石品位也高得多。所以这种成矿作用导致小岩体成大矿。

二、深部熔离-贯入矿床的组合成矿模式

选择了金川、红旗七、喀拉通克和铜铜子四个矿床作为此类矿床不同型的代表, 它们的地质和矿床情况见表 1、2, 成矿过程见图 1。

表 1 深部熔离-贯入矿床岩体地质对比

岩体名称	金 川	红 旗 七	喀 拉 通 克	铜 铜 子
构造背景	华北古地块西南边缘裂谷	华北古地块东北边缘与张广才岭褶皱带接壤的褶皱带一侧	阿尔泰褶皱带与准噶尔褶皱带接壤的准噶尔褶皱带一侧	华北古地块燕山沉降带南缘
分布型式	沿推覆大断裂上盘成带分布	沿北西向次级断裂成群分布	沿加善萨尔背斜北翼成带分布	沿擦崖子口断裂成带分布
岩体规模形态	1.34 km ² , 岩墙状	约 0.02 km ² , 岩墙状	<0.2 km ² , 透镜状	<0.03 km ² , 脉状
岩石组合	中细粒二辉橄辉岩-橄辉二辉岩、中粗粒含辉橄辉岩-二辉橄辉岩-斜长二辉橄辉岩-橄辉二辉岩-二辉岩、中粒纯橄辉岩, 以上三相为三期侵入形成, 中细粒相一中粗粒相一中粒相呈依次侵入的顺序	顽火辉石岩-苏长岩、橄辉岩(脉), 顽火辉石岩占岩体体积 96%, 边缘少量苏长岩, 后期为橄辉岩脉	闪长岩(边缘)-辉长苏长岩-橄辉苏长岩-辉长辉绿岩(下部边缘), 各岩相为岩浆侵入分异、同化作用形成	辉长辉绿岩岩脉边缘粒度变细
围 岩	顶板为花岗岩片麻岩、混合岩、斜长角闪岩、大理岩; 底板为大理岩、黑云母片麻岩等	顶板为角闪片岩、黑云母片麻岩; 底板为黑云母片麻岩	顶板为沉凝灰岩、泥板岩; 底板为沉凝灰岩	顶底板均为变粒岩、混合岩、斜长角闪岩
成岩时代	(1508 ± 31) Ma	华力西期	(291 ± 27.3) Ma	燕山期?

表 2 深部熔离-贯入矿床地质对比

矿床名称	金 川	红 旗 七	喀 拉 通 克	铜 硼 子
分布型式	在区域岩带中呈点状单独产出	在一个岩群中, 出现两个以上矿床, 如红旗七、红旗一	在岩带中呈点状产出	岩群中呈多个矿化点产出
矿体类型	①就地熔离矿体 (以星点状矿石为主); ②深熔贯入矿体 (以海绵状矿石为主); ③晚期贯入矿体 (以块状矿石为主); ④接触交代矿体 (以浸染状、稠密浸染状矿石为主); ⑤热液叠加矿体 (以变海绵状矿石为主)	①深熔贯入矿体 (占岩体 96% 以上, 为海绵状矿石); ②晚期贯入矿体 (为块状矿石)	①就地熔离矿体 (浸染状、稠密浸染状矿石); ②晚期贯入矿体 (块状、稠密浸染状矿石)	①深熔贯入矿体 (浸染状矿石); ②晚期贯入矿体 (块状矿石)
主要矿石类型	海绵陨铁状矿石	海绵陨铁状矿石	稠密浸染状矿石、块状矿石	块状矿石
主要金属矿物	磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、方黄铜矿、马基诺矿、墨铜矿、紫硫镍铁矿、褐硫钾镍铁矿等; 铂族矿物有砷铂矿、金铂钨矿、锡铂钨矿、碲铂矿、自然铂等	磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿、紫硫镍铁矿、白铁矿、黄铁矿、针镍矿、磁铁矿等	磁黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿、白铁矿、紫硫镍铁矿、方黄铜矿、斑铜矿、马基诺矿、方钴矿等	磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、微量紫硫镍铁矿等
$\frac{w(\text{Cu})}{w(\text{Ni}+\text{Cu})}$	0.39	0.24	稠密浸染状矿石为 0.57, 块状 (细脉) 浸染状矿石为 0.54	
$\frac{w(\text{Pt})}{w(\text{Pt}+\text{Pd})}$	0.49		稠密浸染状矿石为 0.50, 块状矿石为 0.51	
$\frac{w(\text{Pt}+\text{Pd})}{w(\text{Ru}+\text{Ir}+\text{Os})}$	7.54			

1. 岩体和矿床的产出特征

这类岩体多产于古大陆边缘裂谷或褶皱带、沉降带边缘, 一般都成带、成群分布, 这些成带、成群的岩体, 往往全部或一部分具有同源的性质; 在这种岩带或岩群中, 成矿的岩体可以呈点状单独产出, 也可以呈两个或多个矿床、矿化点产出, 但成矿的岩体规模都

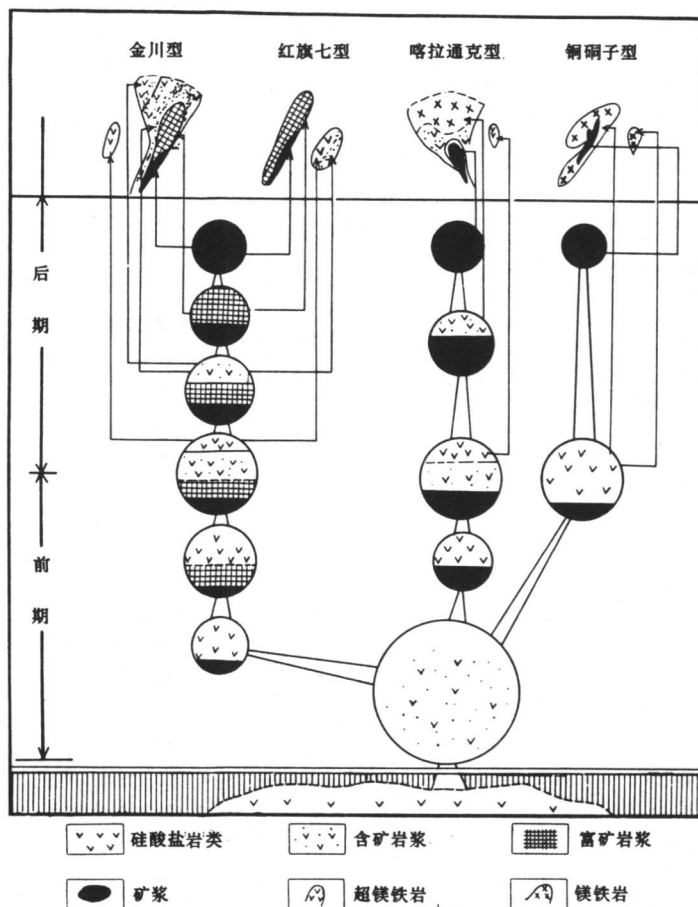


图 1 组合成矿模式示意图

很小，一般岩体面积 $0.0n \sim 0. n \text{ km}^2$ 之间，最大不超过几平方公里。

2. 组合成矿模式

金川成矿模式 是这类矿床成矿机制最完整的体现，由图 1 可见：岩石圈下部局部熔融的母岩浆，因地幔岩密度差上浮到达地幔上部，由于地壳拉张或深断裂作用而进入地壳下部岩浆房。地壳拉张与应力释放往往是间歇性的，致使岩浆的上侵也应是脉动性的。应力释放时岩浆上侵，相对停止时岩浆就停留下来，这样岩浆就遵循了上侵—停留—再上侵这种脉动式规律，直到侵入地壳浅部 $10 \sim 15 \text{ km}$ 深度，达到应力平衡，温度逐渐下降，固结成岩成矿。

岩浆上侵过程中每次停留，就是一个中途岩浆房，每次再上侵，由于滞后作用，就会在岩浆的头部、中部和尾部分布着轻的、中等的和重的岩浆。所谓岩浆的轻重，主要取决于它携带熔离硫化物熔融体的多少，携带多则重，少则轻，以纯硫化物熔融体为主组成的矿浆最重，往往分布于上侵岩浆的尾部。当上侵岩浆每进入一个中途岩浆房，就会按照进入的先后和岩浆的轻重由上而下依次分布，逐渐形成了岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆

这种四层结构的岩浆房，然后再由上而下依次侵入到地壳浅部的现存空间成岩、成矿。对金川矿床来说，上层岩浆的大部分都侵入到矿床外围的不同空间，形成侵入岩体群，只有少量岩浆和下部的含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆，分次侵入到同一现存空间，固结形成了金川矿床。

实验证明^[8]，岩浆在 1400~1500℃ 的高温状态下，就开始发生熔离作用，由此说明，在岩浆上侵过程中，熔离作用是连续的，较早熔离出来的液态硫化物主要聚集于底部矿浆中，较晚的液态硫化物则依次聚集于富矿岩浆和含矿岩浆中。此外，还发生了部分结晶作用，早期结晶的橄榄石和少量辉石，主要聚集于富矿岩浆中，与液态硫化物形成海绵陨铁构造。

红旗七模式 和金川模式具有类似的深部熔离和岩浆上侵过程，亦形成了四层结构岩浆房。但是上部的岩浆和含矿岩浆全部贯入了其它现存空间，形成了红旗岭岩群和红旗一矿床，只有下部的富矿岩浆一次贯入现存空间成矿，因此几乎全部空间都由这类矿体占据，还应指出，晚期矿浆贯入作用是存在的，但量甚微，是次要的。

喀拉通克模式 与前述两种模式不同，母岩浆是辉长苏长质基性岩浆，从深部上侵过程中，除熔离作用外，结晶作用并不发育，或者虽有部分结晶作用，但因岩浆粘度相对较大，不利于结晶矿物与液态硫化物聚集形成“富矿岩浆”层，因此只形成了岩浆、含矿岩浆和矿浆三层结构岩浆房，然后大部分岩浆上侵形成岩带上的侵入体，少量岩浆和含矿岩浆及矿浆依次贯入现存空间形成矿床。

铜铜子模式 比较简单，当早期熔离的液态硫化物聚集于底部之后，由于矿质近乎枯竭或者由于其它原因，致使熔离作用比较微弱，因此只形成了岩浆（含微量硫化物熔体）和矿浆两层结构岩浆房，然后岩浆上侵到达不同空间成岩，矿浆再沿现存岩体内的构造裂隙贯入成矿。在围岩裂隙十分发育的情况下，矿浆亦可贯入岩体之外的围岩裂隙中成矿，如青海拉水峡矿床。

三、深部熔离-贯入矿床分类

作者等曾提出过一个中国硫化镍矿床分类^[2]，多年的勘查实践证明，这个分类是基本符合实际的（表 3）。但需说明：

（1）关于宝坛矿床，作者等曾提出属科马提岩的顺层侵入岩床原地熔离矿床^[2]。后来毛景文等提出属科马提岩喷发岩流熔离矿床^[9]，究竟是岩床还是岩流？还有待进一步研究。

（2）本文重新发表这张表曾作了纯文字的修改；在复式贯入矿床的实例中，除金川矿床之外，补充了喀拉通克矿床、赤柏松矿床和力马河矿床。岩内贯入矿床的实例，杏山矿床又名铜铜子矿床，现统一称为“铜铜子”矿床。

四、岩浆硫化物矿床的主要类型及实用意义

从上述分类和矿床实例便可以确定，岩浆深部熔离-贯入矿床，是中国岩浆硫化物矿床的主要类型。这类矿床的镍、铜储量可达数十万吨（红旗七、喀拉通克）至近千万吨（金川）的大型、超大型规模；矿石品位较富，一般镍含量高于 1%；含矿岩体规模小，一般只有 $0.0n \sim 0.n \text{ km}^2$ ，最大不超过几平方公里。

表 3 中国硫化镍矿床类型

类 别	成矿作用和方式	成 矿 特 征	实 例
一、岩浆原地熔离矿床 (I)	在岩浆侵入现存空间后,发生岩浆熔离和结晶分异作用,使硫化物从岩浆中分离富集成矿床	矿体多赋存于含矿岩体的底部或中下部,与基性程度较高的岩相关系密切,产状一致,与围岩一般呈渐变过渡关系	宝坛矿床
二、岩浆深部熔离-贯入矿床	在岩浆侵入现存空间前,在地壳深部就发生了岩浆熔离作用,把岩浆分离为非含矿、含矿、富矿岩浆和矿浆等不同部分,然后一次或多次上侵贯入成矿	由于岩浆深部熔离程度、上侵贯入的期次、时间间隔、贯入方式等不同,所形成的矿床特征亦不尽相同	
1. 单式贯入矿床 (I)	熔离形成的含矿或富矿岩浆一次贯入形成矿床	含矿岩体本身几乎全部构成矿体	红旗七矿床
2. 复式贯入矿床 (II)	熔离形成的非含矿岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆两次或两次以上上侵贯入形成矿床	一般岩石形成在前,矿体形成在后,其间界线清楚,有的见穿插关系。矿体所在部位和形态与成矿时的围岩条件等有关	金川矿床 喀拉通克矿床 赤柏松矿床 力马河矿床
3. 脉冲式贯入矿床 (IV)	熔离形成的非含矿岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆等分别依次以脉冲式上侵贯入成矿	岩相和矿体的分布类似于热液脉冲形成不同成分的脉的分布,一般先成岩相在外,后成岩相和矿体在内,有时穿插外部岩相	白马寨矿床
4. 晚期贯入矿床	岩浆侵入岩体现存空间之前所形成的矿浆在岩体形成后的晚期阶段贯入成矿	一般为脉状或不规则矿体	
(1) 岩内贯入矿床 (V)	深部熔离形成的矿浆,贯入到同源岩浆形成的侵入体中成矿	矿床往往穿切早期形成的各种岩相界限,形态受岩体原生构造或其它构造裂隙的控制	铜硼子矿床
(2) 岩外贯入矿床 (VI)	深部熔离形成的矿浆,直接贯入到侵入体附近地层中成矿	矿体受地层层面或其它构造裂隙的控制	拉水峡矿床

如果运用深部熔离-贯入作用的观点以及小岩体成大矿的观点,对与大陆边缘裂陷和造山带晚期作用有关的镁铁-超镁铁岩带或岩群进行或重新进行研究和勘查,预计会有新的、重大的发现。

本篇得以成文,特别感谢程裕淇院士的热情支持。

参 考 文 献

1. 甘肃省地质局第六地质队, 白家咀子硫化铜镍矿床地质, 北京: 地质出版社, 1984, 202~207.
2. 汤中立, 任端进, 中国硫化镍矿床类型及成矿模式, 地质学报, 1987, 61 (4): 350~360.
3. Tang Zhongli and Ren Duanjin, Types and metallogenic models of nickel sulfide deposits of China, Acta Geol. Sin. 1988, 1 (2): 193~206.

4. Tang Zhongli et al. Nickel deposits of China. Mineral Deposits of China. Geological Publishing House, 1992, 2. 60~88.
5. Tang Zhongli. Genetic model of the Jinchuan nickel-copper deposit, in Kirkham R. V., Sinclair W. D., Thorpe R. I. and Duke J. M. eds., Mineral Deposit Modeling, Geological Association of Canada, Special Paper 40, 1993. 389~401.
6. Peredery W. V. Geology and ore deposits of the sudbury structure, Ontario, 8th Iagod Sympostum [Field Trip 7]. 1990. 9~22.
7. 戈尔德施密特 V. M. 地球化学. 北京: 科学出版社, 1959, 406~407.
8. 戈德列夫斯基 M. H. 含矿超基性岩浆的形成条件及演化. 古方译. 地质科技情报, 1981, 62~67.
9. 毛景文等. 桂北地区火成岩系列和锡多金属矿床成矿系列. 北京: 科学技术出版社, 1988, 8~18.

金川镍-铜矿床的成因模式

汤 中 立

金川镍-铜矿床位于中朝克拉通西南边缘龙首山隆起带。含硫化物侵入体是由多次岩浆贯入而形成的，其形成时代为 (1508 ± 31) Ma。

富硫化物铁质超基性岩浆起源于地幔，侵位于下地壳岩浆房里。这种岩浆在岩浆房里通过不混溶硫化物熔体分离作用及橄榄石的结晶作用，从而使其分异，形成重力分层现象 (gravity-generated stratification)。该重力分层自下而上由金属硫化物熔离体、富硫化物岩浆、含硫化物岩浆和硅酸盐岩浆组成。在构造应力的驱动下，这 4 种岩浆沿同一通道依次分别脉动式上侵于现在的位置（上地壳）。晚期次脉动上升的岩浆侵位于早先形成的侵入体之底部，且伴随有交代矿物及热液叠加矿物的形成。

研究金川有关岩石及矿石单元的时空配置过程，可归纳出镍-铜硫化矿床的综合成因模式。

一、地质背景

金川镍-铜矿床位于前寒武纪早期中朝克拉通西南龙首山隆起带（汤中立等，1987）。其南侧与祁连加里东褶皱带相毗连。

龙首山隆起带所出露的地层主要为前寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系及侏罗系。古元古代地层呈 NW 条带状分布于边缘隆起带之北部，主要由较老的白家嘴子组 (Pt_1^1) 及较新的塔马子沟组 (Pt_1^2) 组成。前者主要由混合岩、片麻岩及蛇纹石大理岩组成；后者主要由各种片麻岩、片岩及条带状大理岩组成。上述两组岩石呈不整合或假整合接触。侵位于塔马子沟组里的白色伟晶花岗岩脉的 K-Ar 同位素年龄为 1719 Ma。新元古代地层也呈 NW 向展布，主要由墩子沟组和韩母山群组成。前者主要由砾岩、砂岩和结晶灰岩组成；后者主要由绢英片岩、钙质片岩及灰质角砾岩组成，两者为不整合或断层接触。古元古代地层组成一个单斜构造，倾向 SW，它们被形成复背斜的新元古代地层超覆。上古生界、中生界及新生界地层形成同斜褶皱。

龙首山隆起带走向在西部为 NW 向，在东部为 EW 向，线性构造特征十分明显。边缘隆起带之两侧为深断裂，断裂的相对倾角为 $60^\circ \sim 70^\circ$ （图 1）。次级断裂与两个边界构造同时发生。

本区岩浆岩丰富多彩。新元古代吕梁期（1700 Ma）岩浆岩为伟晶花岗岩到斜长角闪石岩，常呈小透镜体产出，往往被加里东早期镁铁质岩脉所切割。加里东期岩浆岩分布普遍，主要为规模不等的花岗质侵入体，当然也可见到少量的超镁铁岩、辉长岩、粒玄岩、闪长岩和花岗闪长岩。