专家论坛

超大型 Ni－Cu(Pt)岩浆矿床的划分与找矿

汤中立
(甘肃省地质矿产勘查局,兰州 730000)

[摘 要]提出超大型 Ni－Cu(Pt)岩浆硫化物矿床的划分标准为:Ni 储量≥50 万 t,Ni 品位≥1%,若 Ni 品位<1%其中共生元素 Cu 或 Pt 族达到经济品位者;超巨型矿床的划分标准为:Ni 储量≥500 万 t,Ni 品位≥1%,若 Ni 品位<1%其中共生元素 Cu 或 Pt 族达到经济品位者。按照这种标准全世界有超大型矿床9个、超巨型矿床3个。

确定并论述了超大(巨)型 Ni－Cu(Pt)岩浆硫化物矿床的五种类型和它们的地质定位条件和特征。这五种类型为(1)元古宙与古陨石坑有关的苏长岩—辉长岩型矿床,如萨德伯里(Sudbury);(2)元古宙与大陆边缘裂解有关的小侵入体矿床,如金川、沃依塞湾(Voisey Bay);(3)显生宙与大陆裂谷有关的相当于溢流玄武岩的侵入体矿床,如诺里尔斯克(Noril'sk)、十月(Oktyabri'skiy)、塔尔纳赫(Talnakh)、太梅尔(Tamyr)等;(4)太古宙绿岩带与科马提岩有关的矿床,如西澳阿格纽(Agnew)、康巴尔达(Kconbalda)、基斯山(Mt. Keith),加拿大汤普逊(Thompson)带的矿床;(5)早元古代大陆层状侵入杂岩体中硫化物与铂族元素,如布什维尔德(Bushveld)等。

预测中国最有找矿前景的是(2)类型矿床,(3)(4)两种类型在我国亦具有形成超大型矿床的地质条件。

[关键词]超大型 岩浆硫化物矿床 划分 找矿
[中图分类号]P618.63;P618.41 [文献标识码]A [文章编号]0495－5331(2002)03－0001－07

矿产勘查越来越依赖于新的成矿理论和找矿理论的指导以及新技术、新方法的运用。因此近20年来,成矿与找矿新理论和新思维的探索一直为地质学家们所关注。80年代中期以来在世界范围内对超大型矿床的形成机制和背景进行了广泛而深入的研究,取得了一系列重要进展(Whiting,1990;翟裕生,1997;涂光炽,1998;裴荣富,1999),有力地推动了对矿产资源的认识和发现。由于岩浆硫化物矿床的巨大经济效益,所以这类超大型矿床的研究,一直是国内外的热点之一。

1 超大型岩浆硫化物矿床的划分

1.1 岩浆硫化物矿床概念

所谓岩浆硫化物矿床,是指与超镁铁质岩、镁铁质岩的岩浆成矿作用有关而形成的以硫化物为主的矿床,按照主要成矿元素组合和富集浓度可分4类:(1)以 Ni、Cu 为主含 Co、Pt 族的矿床;(2)以 Ni 为主含 Cu、Co、Pt 族的矿床;(3)以 Pt 族为主含 Ni、Cu 的矿床;(4)以 Cu、Zn 为主的矿床。

第(4)类矿床目前发现极少,仅在中国和芬兰有报导。最著名的一个实例是中国青海德尔尼矿床。关于这个矿床究竟属岩浆成因还是与火山作用有关,还存在不同认识。因此这里的讨论,主要针对前3类矿床。

1.2 超大型岩浆硫化物矿床的划分

涂光炽(1989)提出"储量为国际上公认的大型矿床的3倍~5倍者才能叫做超大型矿床,并且不仅仅是量,质即品位也应该是富的"。汤中立(1991)对超大型岩浆硫化物矿床进行了具体划分,提出三条划分标准:

1)以硫化镍储量为基础,凡储量达到大型矿床(中国标准10万t)的5倍(50万t)以上者;

2)矿石品位 Ni≥1%;

3)若矿石品位 Ni<1%,但共生元素 Cu 或 Pt 族等达到经济利用品位者。

现将世界主要岩浆硫化物矿床(Ni>50万t)列于表1,由表1可见:

[收稿日期]2001－12－20;[修订日期]2002－02－01;[责任编辑]曲丽莉。
[作者简介]汤中立(1934年－),男,1956年毕业于北京地质学院,中国工程院院士,现主要从事矿床地质尤其是岩浆矿床地质研究工作。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 世界主要岩浆硫化物矿床一览表

国 别	矿床或矿带	采前储量（万吨）	矿石品位（Ni%）	已采储量（万吨）	保有储量（万吨）	时 代	地质环境
加拿大	萨德伯里	1250	1.60	690	560	Pt_1	内 陆
	Dumont	136.5	0.30	未采	136.0	Ar	绿岩带
	Moak 湖	75	0.75	未采	75	Ar	绿岩带
	Mystery 湖	135	0.45	未采	135	Ar	绿岩带
	汤普逊带	242	1.80	92.0	150	Ar	绿岩带
	Voisey Bay	89.6	2.80	未采	89.6	Pt_2	陆 缘
中 国	金 川	545	1.06	40.0	505	Pt_2	陆 缘
	黄山区	80	0.45	未采	80	PH	陆 缘
俄罗斯	诺里尔斯克	83.1	0.50	63.1	20	PH	陆 内
	十 月	220	3.65	20	200	PH	陆 内
	塔尔纳赫（两个矿床）	106.8	1.50	56.8	50	PH	陆 内
	太梅尔	100	2.50	不详		PH	陆 内
澳大利亚	阿格纽	92.2	2.05	2	90.2	Ar	绿岩带
	Honeymoon Well	72	0.90	未采	72	Ar	绿岩带
	Mt Keith	174	0.60	未采	174	Ar	绿岩带
	Leonora－阿格纽	240	0.06	未采	240	Ar	绿岩带
	康巴尔达	131	3.23	48.8	82.5	Ar	绿岩带
南 非	布什维尔德	2300	0.35	29.0	2271	Pt_1	陆 内
	大岩墙	560	0.25	未采	560	Ar	陆 内
美 国	Brady Giacier	75	0.50	未采	75		
	Duluth	1238	0.20		1238	Pt_2	陆 内

注：Voisey Bay 资料据 A J Naldrett(1997)；其它国外资料据 J R Rosse 等(1981)[4]；金川和黄山储量统计到 1900 年；Kambalda 据 D R Hudson 和 M J Donaldson[5]，储量统计到 1982 年。Ar—太古宙（>2400Ma）；Pt_1—古元古代（2400～1800 Ma）；Pt_2—中元古代（1800～>1200 Ma）；Pt_3—新元古代（1200～600 Ma）；PH—显生宙（<600Ma）。

1）全世界 Ni≥50 万 t 的矿床约有 21 个；

2）Ni≥1% 的矿床（区）有 9 个，其中 8 个都已开采，只有 Voisey Bay（沃依塞湾）一处，由于 1994 年才发现，现在尚未开采；

3）Ni<1% 的矿床（区）有 12 个，绝大部分都未开采，显然是由于矿石品位低、经济效益相对较差而未予利用。其中只有俄罗斯的诺里尔斯克和南非的布什维尔德早已开采利用。前者是由于矿石中 Cu 品位比 Ni 高 1.2 倍～2.5 倍，且富含铂族元素；后者是由于低镍矿石中富含大量铂族元素和金。还有澳大利亚的 Mt. keith（基斯山）矿床于 90 年代以后亦已开采利用，该矿床 Ni 品位虽然较低（0.6%），但规模大，地表出露面积大，适合露天大规模开采，因此经济效益较好。

综上所述，本文提出以下两条超大、超巨型岩浆硫化物矿床的划分标准：

①超大型矿床是指足以改变一个国家的矿业结构，并对世界矿业结构产生影响者：Ni≥50 万 t，Ni 品位≥1%；若 Ni 品位<1%，其中共生元素 Cu 或 Pt 族达到经济品位者；或因开采条件优越而经济效益良好者。

②超巨型矿床是指能够改变世界矿业结构者：Ni≥500 万 t，Ni 品位≥1%；若 Ni 品位<1%，其中共生元素 Cu 或 Pt 族达到经济利用品位者。

按照这两条标准，可将以下 3 个矿床（区）确定为超巨型岩浆硫化物矿床，即萨德伯里（Sudbury）、金川和布什维尔德（Bushveld）。另 9 个矿床确定为超大型矿床，即汤普逊（Thompson）、诺里尔斯克（Noril′sk）、塔尔纳赫（Talnakh）、十月（Oktyabri′skiy）、太梅尔（Taimyr）、阿格纽（Agnew）和康巴尔达（Kambalda）、基斯山（Mt. Keith）和沃依塞湾（Voisey Bay）。

2 超大型岩浆硫化物矿床的分类

关于全球背景的岩浆硫化物矿床的分类，A J Naldrett 于 1973、1976、1979、1984 几次提出过划分方案。J R Ross 和 G A Travis 于 1981 年也提出过划分意见。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

A J Naldrett(1984)将世界岩浆硫化物矿床分为五大类:

1)与古陨石坑有关的苏长岩—辉长岩型矿床,唯一实例即加拿大的萨德伯里;

2)与大陆裂谷有关的相当于溢流玄武岩的侵入体矿床,如俄罗斯诺里尔斯克—塔尔纳赫带上的一些矿床和美国明尼苏达的 Duluth;

3)前寒武纪绿岩带构造环境与科马提岩浆有关的矿床,实例如西澳康巴尔达区的矿床;

4)显生宙造山带中与侵入体有关矿床,如挪威的 Moxie,Maine;

5)大型层状杂岩体中硫化物矿床,如布什维尔德。

J R Ross 和 G A Travis(1981)将这类矿床分为三大类:

1)与科马提岩系有关的纯橄榄岩—橄榄岩类矿床,如西澳的镍矿床;

2)辉长岩类矿床,进一步分为 3 个亚类;

①与超镁铁质—镁铁质侵入杂岩有关的矿床,如金川、诺里尔斯克;

②大型层状侵入体矿床,如布什维尔德;

③萨德伯里侵入体。

3)其它类型矿床,如层状沉积矿床、脉型含砷矿床等。

前一种是按"构造岩石组合"的分类,这种分类强调了矿床形成的构造环境和母岩特征,但是这一方案没有阐述金川矿床的归属,不能认为是全面的。第二种分类只能看作按母岩岩石的一种粗略的划分。这两种分类都是以全部岩浆硫化物矿床为背景提出的。

汤中立(1995)提出过一个超大型、大型岩浆硫化矿床分类方案,在那个分类的基础上,针对上述 12 个超巨型和超大型矿床,本文将这类矿床修改划分为五种类型:

1)元古宙与古陨石坑有关的苏长岩—辉长岩型矿床,如萨德伯里;

2)元古宙以后与大陆边缘裂解有关的小型侵入体矿床,如金川、沃依塞湾;

3)显生宙与大陆裂谷有关的相当于溢流玄武岩的侵入体矿床,如诺里尔斯克—塔尔纳赫带上的十月、诺里尔斯克、塔尔纳赫、太梅尔;

4)太古宙绿岩带与科马提岩有关的矿床,如西澳阿格纽、康巴尔达基斯山、加拿大汤普逊带中的矿床;

5)早元古代大陆层状侵入杂岩体中硫化物与铂族矿床,如布什维尔德等。

以上这种分类既考虑"构造岩石组合"因素,但又不拘泥于这种因素。如第 2)种类型突出了"小型侵入体"这一成岩成矿特征,各类矿床都注入了成岩成矿时代的因素等。总之,这是以突出矿床主要特征为原则的分类。

3　矿床地质与矿床定位

为了简明地阐述这类超大型(含超巨型)矿床的地质和定位问题,每种类型选择一代表性矿床,对它们的岩体和矿床情况分别列于表 2 和表 3。与绿岩带有关的类型,由于变化较大,所以选择了西澳和汤普逊带 2 个实例。

综上所述,这类超大(巨)型矿床的定位主要受制于以下方面的条件:

1)特定的时空和丰富的矿质来源

这种类型的超大(巨)型矿床主要产出于太古宙和古—中元古代以及三叠纪。整个新元古代和古生代还没发现这类超大(巨)型矿床。

以镍铜为主的超大(巨)型岩浆硫化物矿床仅仅分布于全球的 6 个地区,即金川、萨德伯里、诺里尔斯克—塔尔纳赫、西澳耶尔岗东部绿岩带、沃依塞湾和汤普逊带。以铂族为主的超大型矿床只确定了布什维尔德这一个地区。由于这类矿床的矿质主要来自不均匀的上地幔,因此可以认为,上述这些特定的时空条件以及这些特定地区所具有的重大构造岩浆事件和丰富的深部矿质来源,导致这些超大(巨)型矿床的形成。

2)巨大的破裂性构造

萨德伯里的陨击构造直径达 190 km;耶尔岗东部古裂谷带长约 800 km,宽约 200 km;诺里尔斯克—塔尔纳赫深断裂延伸可达 375 km 以上;金川北祁连裂谷带延伸也在 1000 km 以上;还有马尼托巴、汤普逊构造带,规模都很巨大。所有这些构造都是深部岩浆和矿质得以上升和储存于现存空间的控制因素,是形成这类超大(巨)型矿床的必要条件。

3)断续重现和分段重现是普遍的分布型式

"断续重现"是指像萨德伯里和布什维尔德这样巨大的侵入岩体,沿着岩体周边或一定的含矿层位断续出现同一类型的矿床,如萨德伯里沿周边约 150 km 长度内,分布了约 49 座镍铜矿山;布什维尔德沿近 1000 km 长的梅林斯基层,亦分布了近 20 个铂族矿床。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表2 超大型 Ni－Cu(Pt)岩浆硫化物矿床岩体地质

岩体名称	萨德伯里	金　川	诺里尔斯克塔尔纳赫	西澳大利亚	汤普逊带	布什维尔德
构造环境	加拿大地盾区萨德伯里盆地	中朝古地块西南边缘裂谷	西伯利亚地块西北边缘诺里尔斯克塔尔纳赫深断裂	西澳耶尔岗地块东部古裂谷	加拿大前前武纪地盾区绿岩构造带	
分布型式	沿盆地周边呈环带分布	沿推覆大断裂上盘呈带分布	沿深断裂呈带分布	沿古裂谷绿岩带呈带分布	沿绿岩构造带呈带状分布	呈单个规模巨大的层状 侵入体
岩体(流)规模、形态	60×25 km^2,盆状	1.34 km^2,岩墙状	单个含矿岩体可达 12×2 km^2,岩盘状	南段主要为喷发岩流,呈层状,长几百米,厚25~75 m;北段主要为侵入相,透镜状长0.5~10 km,厚50~100 m	岩体规模250 m×70 m×150 m,地表有的岩体长达4 km,厚200~300 m	东西长463 km,南北宽246 km,岩体厚7~9 km
岩浆系列	拉斑玄武岩系列	铁质超基性岩(拉斑玄武岩系列)	拉斑玄武岩系列	科马提岩系列	科马提岩系列	拉斑玄武岩系列
岩石组合	主体岩相(由上而下):微文象岩、石英辉长岩、苏长岩、富石英苏长岩。亚层苏长岩相:含有各种外来的和就地派生的包体。底盘为角砾岩相。以上三相为依次侵入形成。主体岩相本身亦属多次侵入形成。亚层苏长岩并以岩枝状插入底板围岩之中。	中细粒二辉橄榄岩—橄榄二辉岩;中粗粒含二辉橄榄岩—二辉橄榄岩—斜长二辉橄榄岩—橄榄二辉岩—二辉岩;中粒纯橄榄岩。以上三种粒度相以三期侵入形成,中细粒相—中粗粒相—中粒相呈依次侵入的顺序。	如诺里尔斯克岩体由上而下为:边缘相:浅色辉长岩,最先结晶。上岩组:石英闪长岩、磁铁辉长岩、柱状辉长岩。中岩组:含橄榄石辉长粗玄岩、橄榄石辉长粗玄岩。下岩组:苦橄质粗粒辉长粗玄岩、斑杂状粗粒辉长粗玄岩。接触带:其中和下部为块状矿体贯入,中下岩组之间为突变接触其余皆渐变关系。	喷发相为科马提质火山堆积,底部的科马提蚀变岩流(MgO 36%~45%)和分异的矿化岩流富含橄榄石;侵入相为科马提纯橄榄岩(MgO 45%~51%),为不整合侵入体。边缘镁量减低,围岩有所变化。	蛇纹石化橄榄岩,矿化主要产于黑云母片麻岩中,只在一处见矿带伸进到蛇纹石化橄榄岩中。	由上而下岩体分为:上部带(橄榄闪长岩);主带(辉长岩、苏长岩、斜长岩);临界带(古铜辉石岩、苏长岩、斜长岩);下部带(方辉橄榄岩、纯橄榄岩)。由于超镁铁质岩浆和斜长岩浆多次注入,互相混合和结晶分异,形成了岩体的层次构造和岩浆的反复旋回。
围岩	顶板为Onaping角砾岩;底板为花岗质巨砾岩、角砾岩。	顶板为花岗片麻岩、混合岩、斜长角闪岩、大理岩;底板为大理岩、黑云母片麻岩等。	顶板为三叠纪暗色玄武岩;底板为石炭纪煤系地层。	喷发相顶板缺,底板为变玄武岩流。侵入相顶底板皆为变沉积岩(阿格纽)。	顶板为矽卡岩和片麻岩,底板为石英岩。	顶底板为元古宙沉积岩和德兰士瓦熔岩系。
成岩时代	1849Ma	(1508±31)Ma	三叠纪	2800Ma	>1800Ma,可能属太古宙	2049~2058 Ma

所谓"分段重现",是指沿断裂构造带或线性构造带,同一类型的超大型、大中小型矿床分段重现。如诺里尔斯克和塔尔纳赫相隔数十千米,在两区都分别产出一群矿床,其中包括多个超大型矿床。另外,此带向北延伸达375 km,又有新的矿化岩体发现。再如耶尔岗东部裂谷带和汤普逊构造带,都是在延伸百千米至几百千米以上的带上,分布着十来个至几十个岩浆硫化物矿床,其中包含1至几个超大型矿床。

以上说明,这一类型矿床的普遍分布型式是线型延伸,局部地段呈面形分布,唯有金川矿床和沃依塞湾矿床目前还呈孤立的岩浆中心式点状分布。

4)两种岩浆系列两类元素浓度组合

这类超大型矿床分属科马提岩和拉斑玄武岩两种岩浆系列。前者包括西澳和汤普逊带的超大型矿床;后者包括金川、布什维尔德、萨德伯里、沃依塞湾和诺里尔斯克—塔尔纳赫矿床。金川是这一岩浆系列的超镁铁质端员;布什维尔德是这一系列镁铁质—超镁铁质杂岩的代表;萨德伯里和诺里尔斯克—塔尔纳赫是这一系列的镁铁质端员。这一岩浆系列相当于我国的铁质超基性—基性岩浆。

科马提岩岩浆矿床的 Cu/(Ni+Cu)为0.04~0.06;Pt/(Pt+Pd)为0.38~0.36;(Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os)为0.44~<1.44。拉斑玄武岩岩浆矿床的 Cu/(Ni+Cu)为0.25~0.59;Pt/(Pt+Pd)一般为0.28~0.72;(Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os)为7.54~19.27。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　超大型 Ni - Cu(Pt)硫化物矿床对比

矿床名称	萨德伯里	金　川	诺里尔斯克塔尔纳赫	西澳大利亚	汤普逊带	布什维尔德
分布形式	沿盆地周边岩带断续产出,形成矿床达数十个。	在区域岩带呈点状单独产出。	沿区域岩带于诺里尔斯克区和塔尔纳赫区分段集中,呈群分布,两段相距数十公里,延伸将近 375 km。	沿 800 km 长的古裂谷岩带的南北两段分布,南段主要与喷发岩流有关,北段主要与侵入纯橄榄岩体有关,形成矿床达 20 多个,两段相距约 200km。	沿构造绿岩带断续分布,岩体达数百个,已有 9 个矿床投入开采。	主要沿岩体中梅林斯基层和 Platreef 分布。
矿体类型	①亚层苏长岩中浸染状、角砾状、块状矿体;②底盘角砾岩中不规则粒状、大斑杂浸染状和块状矿体;③底板片麻岩(花岗巨砾岩)中脉状、块状矿体;④富铜矿脉,铜矿带;⑤底部围岩的石英闪长岩岩枝中的浸染状、块状矿体。	①就地熔离矿体:与第 1、2 两期侵入相有关,以星点(浸染)状矿石为主。②深熔—贯入矿体:与第 3 期侵入相有关,由海绵状矿石组成。③晚期贯入矿体:由块状矿石组成。④接触交代矿体:由稠密浸染状、脉状、块状矿石组成。⑤热液叠加矿体:由星云状、云雾状、毛毡状变海绵状矿石组成。	①苦橄辉长—辉绿岩中浸染状矿体;②斑杂辉长辉绿岩中浸染状(局部海绵状)矿体;③下接触带脉状和致密块状矿体;④上伏岩石中浸染和交代矿体。	喷发岩流底部致密块状富矿小透镜体,下凹部位伴有浸染状矿体。纯橄榄岩侵入体下侧部块状、浸染状矿体,近边部为脉状、角砾状矿体。	沿矿带分布,层状岩体中分布有透镜状、角砾状块状致密硫化物矿石,向外过渡为浸染状矿石。	硫化物呈稀疏浸染状,共生有各铂族矿物组成的浸染状矿体(层)。
主要矿石类型	块状、浸染状矿石	海绵陨铁状矿石	块状、浸染状矿石	块状、浸染状矿石	块状、浸染状矿石	稀疏浸染状矿石
主要金属矿物和铂族矿物	磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、黄铁帮、磁铁矿、方黄铜矿等。铂族矿物有锑铋钯矿、黄碲钯矿、碲钯矿、砷碲钯矿、等轴铋碲钯矿、碲铂矿、六方锡铂矿、砷铂矿、六方锑钯矿。	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、自然铂、金铂钯矿、锡铂钯矿、碲铂矿、铋钯矿、碲铋铂矿、碲铋钯矿、锑铂矿、锑铂钯矿。	磁黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿、硫铁铜矿、富铁镍黄铁矿、富铁磁黄铁矿、陨硫铁等。铂族矿物:自然金属、Pt、Pd 的铅锌固熔体,Pd 和 Zn、Pb、Cu、Ni、S、Bi、As 的金属互化物,Pt、Pd 的砷化物、锑化物、铋化物、硫化物、碲化物。	磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿和少量铜矿和富铁铬铁矿等。铂族矿物在康巴尔达有砷铂矿、钯碲镍矿、Pd - Bi 碲化物,等轴铋碲钯矿、等轴碲锑钯矿。	磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿,少量黄铜矿、白铁矿、方硫镍钴矿、红镍矿,偶有辉钼矿。	镍、铜硫化物;铂族矿物各个地段不尽相同,大体有砷铂矿、碲铂矿、硫铂矿、硫镍钯铂矿,硫钌锇矿和 Pt—Fe 合金等。
Cu/Ni + Cu	0.25	0.39	0.59	喷出相 0.06,侵入相 0.05	0.04	0.30
Pt/Pt + Pd	0.45	0.49	0.28	喷出相 < 0.36,侵入相 0.05	0.32	0.72
Pt + Pd/Ru + Ir + Os	19.27	7.54	12.58	喷出相 < 1.44	0.44	12.5

①Gerald K. czamanske, et al. (1995)。②喷出相矿床以康巴尔达为代表,侵入相矿床以西澳大利亚阿格纽为代表。③以汤普逊带(Pepe)矿床为例。

5)多期成岩成矿以晚期岩浆成矿为主

表 2、3 表明,这一特征在金川、萨德伯里、诺里尔斯克—塔尔纳赫几个以镍铜为主的矿床都有明显的体现。需要说明的是"晚期岩浆成矿"为主,是指诸如金川第 3 期中粒纯橄榄岩伴生的矿体,金属储量占到全矿区的 85% 以上;萨德伯里最晚侵入的亚层(Sublayer)苏长岩相及其底盘角砾岩相中赋存的块状矿体和诺里尔斯克晚期的块状矿体都是各矿床的主要矿体。

6)深熔—多期贯入作用是主要的成矿机制

金川、萨德伯里、诺里尔斯克—塔尔纳赫以及西澳镍矿的研究者们都分别提出,在这些超大型矿床的深部存在着岩浆房(岩浆库)。笔者认为,硫化物的熔离和预富集作用主要是在岩浆房中和上侵途中完成后再依次贯入到现存的储岩、储矿空间的(图 1)。

7)布什维尔德层状岩体的两大成矿特征

第一个特征是,巨大的铂族储量(约 60000 t)都与低品位(Ni 0.15% ~0.36%,Cu0.03% ~0.18%)、低密度的硫化物层共生。这一点已经发挥了重大的地质对比作用,许多重要铂族矿床(美国斯蒂尔沃特、芬兰北部 Penikat 等)因此而得以发现。

第二个特征是,具有完整的层序和矿化部位,下部带和临界带产有多层铬铁矿,其中的 UG2 铬铁矿层和临界带顶部梅林斯基层是主要含铂层,主带中

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

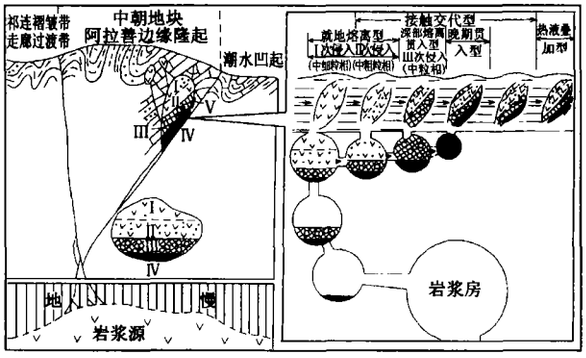

图1　金川成矿带矿床模式图(据汤中立,1995)
Ⅰ—硅酸盐岩浆;Ⅱ—含矿硅酸盐岩浆(硫化物);Ⅲ—富矿岩浆;Ⅳ—矿浆;Ⅴ—接触交代矿化

还有多层铂矿化,而上部带只产磁铁矿。这一层序和矿化部位,是这一岩浆侵入演化的产物,不仅可用于其它地方层状岩体的对比,还可作为类似镁铁质—超镁铁质岩带上岩浆演化和成矿组合的对比。

4　预测与找矿

1)预测与找矿的阶段

自从上个世纪 80 年代加拿大的萨德伯里被发现以来,这类矿床已经有一个世纪以上的勘查开发史,全世界发现了数以百计的成型的这类矿床。因此,在那些已知或预测可能有这类超大型矿床产出的地区,其预测与找矿一般都应经历三个阶段:①地质理论预测阶段。地质与矿产信息的理论分析,判断矿床类型、产出与成矿环境的关系,预测形成超大型矿床的最有利的部位,本文所论述的意见是属于这一阶段性质;②方法技术实施阶段。部署并运用现代高新技术方法如地球物理、地球化学、遥感等综合方法手段,探索有利成矿条件,圈定矿体可能的产出位置;③工程验证阶段。布置必需的工程验证。必需指出,以上阶段划分不排除在那些空白新区,依据地表露头直接发现超大型矿床的可能性。

2)预测矿床类型

从世界范围来说,前述五种超大(超巨)型矿床类型,仍然具有很大的找矿潜力。第(1)类型矿床的成矿条件特殊,除萨德伯里之外,全世界再没找到第二个矿床。它的潜力主要表现在矿区本身的深部,直到 1993 年,在矿区镍环深部 -2400 m 之下,还取得了找矿的重大突破[8]。第(2)和第(5)类型矿床的潜力主要表现于新区找矿有重大发现。如 1994 年在加拿大拉普拉多区发现的沃依塞湾矿床。母岩体长 3000 m,厚仅 30 ~ 100 m,在这样小的橄长岩体中却赋含 89.6 万 t 镍矿,据了解实际储量比公布的储量数还要大得多,是典型的小侵入体超大型矿床。第(5)类型先后在美国 Stillwater 和芬兰的 Penikaat 都发现了同类矿床;第(3)和第(4)类型矿床的潜力主要反映在已知矿区外围同一矿带找矿的重大突破。现在的俄罗斯诺里尔斯克—塔尔纳赫矿带和西澳镍矿带都是由先后发现的许多个甚至达几十个矿床组成的世界级大镍矿带。

对中国来说具有找矿前景的是第(2)、第(3)、第(4)三种类型。第(2)类型在中国已发现超巨型金川矿床,此外大型矿床红旗七、喀拉通克以及力马河、白马寨等许多中小型矿床亦属这种类型。在金川矿床的深部及外围矿带仍然具有很大的找矿潜力。其它已知大、中、小型矿床的深部和外围,也都应当研究或部署新一轮找矿。总之,这是我国最有前景的找矿类型。第(3)、第(4)两种类型,在我国还未发现超大型矿床,但西南区广泛发育的二叠纪峨眉玄武岩以及桂北地区存在的前寒纪科马提质喷发岩等这样的地区为这类超大型矿床的形成提供了条件,尤其应当注意研究这类火山岩的管道相和岩席状侵入体相中成矿的可能性。

3)坚持就矿找矿

"就矿找矿"就是在已知矿集区和矿集区外围找矿。由于已知矿床的存在,充分证明该矿集区具有成矿的条件,因此这种找矿部署比较容易凑效。

在已知矿集区再找矿,需要充分考虑这类矿床的以下特征:①矿质来源很深(来自地幔),成矿场所亦就可能很深。如萨德伯里在 -2400 m 以下仍然取得找矿的重大突破。相比之下,金川一矿区只勘探到 -500 m,二矿区勘探到 -1000 m 矿体尚未尖灭。因此,一矿区 -500 ~ -1000 m 仍然是很有希望的成矿区,整个金川矿区 -1000 ~ -2000 m 的范围同样是有希望的成矿区;②小岩体成大矿的机制是深部熔离—多期(次)贯入成矿[1]。先期贯入的岩浆较轻,不含矿或含矿质很少,侵入后分布范围较广。后来贯入的岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆,它们的比重逐次增大,矿质越来越多,分布亦较集中,越重的浆体分布越靠下,以致产生"下盘"成矿好、下伏地层中成矿好的结果。所以要特别重视下盘和下伏地层中找矿。

"矿区外围"找矿应当充分考虑以下特点:①在已知矿集区存在的同一构造成矿带部署找矿;②充分研究并运用该区矿床"分段重现"的构造控制规律,寻找新矿床;③充分研究并搞清该构造成矿带同种容矿岩石组合的分布及与成矿的关系。因为不同

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

成矿带的容矿岩石组合可能是不同的,但同一成矿带容矿岩石组合却往往是相同的或相似的。④搞清老地层(较岩体成矿早)的分布发育情况,对该区老地层中存在的物、化探成岩成矿异常,要特别重视检查验证。⑤在区域背景分析的基础上,注意寻找新的岩浆成岩成矿中心等。

4)重视新区找矿

所谓新区是指以往未曾调查或调查研究程度很低的地区。如我国的这类矿床主要分布于华北古陆和杨子古陆的周边及其外侧造山区,塔里木的北东边缘以及阿尔泰和准噶尔接壤地带也有重要发现。而塔里木的北、西、南边缘带和柴达木的周边地区以及不同时期造山带的接触地带等,由于以往工作程度很低,直接发现这类超大型矿床的可能性是不能排除的。

5　结 论

由于超大(巨)型 Ni—Cu(Pt)岩浆硫化物矿床的经济价值极高,这类矿床所产的镍、铜、钴、铂族等十几种矿产大部分是我国当前和今后一段时间内的紧缺资源,加强和部署对这类矿产资源的科研和勘查,具有重要的战略意义和经济意义。

我国最具勘查远景的是小侵入体矿床类型。其次是相当溢流玄武岩的次火山岩侵入体矿床类型和与科马提岩有关的矿床类型。

这类矿床的找矿,一般都应经历三个阶段:即①地质理论预测阶段,②高新方法技术实施阶段,③工程验证阶段。但并不排除新区勘查依据露头直接发现矿床的可能。

新一轮找矿应当针对三种地区部署:①有找矿潜力的已知矿集区及深部,②找矿远景好的已知矿集区外围,③有成矿条件的新区。

[参考文献]

[1] 涂光炽.关于超大型矿床的寻找和理论研究[J].矿物岩石地球化学通讯,1989.

[2] 汤中立,李文渊.金川铜镍硫化物(含铂)矿床成矿模式及地质对比[M].北京:地质出版社,1995.

[3] 裴荣富,等.中国矿床模式[M].北京:地质出版社,1995,331~336.

[4] 翟裕生,张　湖,宋鸿林,等.大型构造与超大型矿床[M].北京:地质出版社,1997.

[5] 裴荣富,吴良士,熊群尧,等.超大型矿床偏在性和构造聚敛场[M].北京:地质出版社,1999.

[6] 涂光炽.试论非常规超大型矿床物质组成、地质背景、形成机制的某些独特性——初谈非常规超大型矿床[M].中国科学(D辑),1998,(增刊):1~6.

[7] J R Ross ,G A Travis. 从全球观点看西澳大利亚的硫化镍矿床[J].经济地质,1981,76(6).

[8] Hudson,D R & Donaldson,M J ,Mineralogy of platinum group elements in the Kambalda nickel deposits,Western Australia,sulfide deposits in the mofic and ultramafic rocks[M].1982,55~60.

[9] Naldrett,A J ,Magmatic sulfide deposit[Z]. X XⅦth IGC Abstracts,1984,4:219.

[10] Whiting B H,Hodgson C J,Mason R. Giant ore deposits[Z].Special Pub Number 2,Society of Economic Geologists,1990.

[11] Gerald K czamanske. Petrographic and Geochemical Characterization of Ore－bearing Intrusions of the Noril'sk Type,Siberia;With Discussion of Their Origin[J].Resource Geology Special Issue.1995,18:1~48.

[12] Naldrett A J .Controls on the Composition of Ni－Cu Sulfide Deposits as Illustrated by Those at Noril'sk,Siberia[J].Economic Geology,1996,91:751~773.

DIVIDING AND PROSPECTING FOR SUPER－LARGE SCALE Ni－Cu(Pt) MAGMATIC SULFIDE DEPOSITS

TANG Zhong－li

(*Geology, Mineral Exploration and Development Bureau of Gansu Province, Lanzhou*　730000)

Abstract:The classification of world scale Ni－Cu(Pt) magmatic sulfide deposit can be defined as follows. Super－large scale deposit: metallic Ni reserve ≥500000 t and Ni grade ≥1% ,or Ni grade <1% but the grade of coexisting Cu or PGE reaches economic grade; Super－huge scale deposit: metallic Ni reserve ≥5000000 t, Ni grade≥1% ,or Ni grade <1% but the grade of coexisting Cu or PGE reaches economic grade. Based on this classification, 9 super－large scale and 3 super－huge scale Ni－Cu (Pt) magmatic sulfide deposits can be identified presently in the world. Five types of super－large scale and super－huge scale Ni－Cu (Pt) magmatic sulfide deposits are defined and their positioning geological conditions and features are expounded. The five types include: (1) Proterozoic norite－gabbro type deposits associated with paleo－meteorite crater like Sudbury deposit; (2) Post－Proterozoic small intrusive type deposits associated with continental marginal rifting like Jinchuan and Voisey's Bay deposits; (3) Phanerozoic flood basalt－equivalent intrusive type deposits associated with continental rift, such as Noril'sk, Oktyabri'skiy, Tainakh, Tamyr deposits; (4) Komatiite－associated type deposits in Archean greenstone belt, such as Western Australian Agnew, Kambalda, Mt. Keith, Canadian Thompson deposits, and (5) Sulfide and PGE type deposits in the layered intrusive complex of early Proterozoic continent, such as Bushveld deposit. It can be forecasted that the type (2) deposit is of most potential perspective in prospecting in China, and there also exist geological conditions and factors for forming type (3) and type (4) deposits in China.

Key words:super－large scale,Ni－Cu magmatic sulfide deposit,dividing,prospecting

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net