

## 与镁铁质-超镁铁质岩有关的矿床

本世纪岩浆硫化镍矿床勘查  
和主要成就

汤中立\*

徐璋华

(甘肃省地质矿产局, 兰州)

(中国地质大学北京研究生部, 北京)

提 要: 该文简要介绍本世纪五类最大的岩浆硫化镍矿床的发现和地质概况; 截止现在, 世界镍金属产量仍然主要来自硫化镍, 所以这5类超大型矿床, 是世界镍金属的支撑性矿源; 不难看出, 除了萨德贝里和西澳镍矿分别与特殊的爆炸事件和科马提岩浆有关之外, 其余矿床成因大多和“深部熔离-贯入成矿作用”有密切的关系。

关键词: 硫化镍矿 爆炸事件 深熔-贯入 科马提岩

## 1 萨德贝里

加拿大的萨德贝里是世界最大的硫化镍矿, Ni储量约1600万吨。早在19世纪50年代, 地质学家A Murray指出, 该区存在镍矿, 但未引起重视。直到1883年, 由于修加拿大太平洋铁路, 穿过镍矿露头, 从此多家矿业公司蜂拥而至, 于上个世纪80年代至90年代, 形成了探采高潮。但大量的探采和科研工作, 还是本世纪进行的, 直到1993年, 在镍环深部2400 m之下, 还取得了找矿突破(图1)。

萨德贝里由三个主要部分组成<sup>[4]</sup>。

(1) 萨德贝里角砾岩: 常见于太古宙基底和萨德贝里盆地周边的元古宇盖层中;

(2) 萨德贝里盆地: 长约60 km, 宽约23 km。包含由Onaping组(构造角砾岩), Onwatin组(黄铁矿页岩)和Chelmsford组(硬砂岩)构成的怀特沃特沉积岩。

(3) 萨德贝里火成杂岩体: 杂岩体由下而上为几乎与盆地一致的苏长岩和文象斑岩组成的盆状侵入体, 镍、铜、铂族矿床空间上与杂岩体密切相关, 尤其与杂岩体底部称为亚层(Sublayer)苏长岩的特殊岩相层的关系更为密切。该亚层苏长岩包含了从苏长岩深部延伸到底板围岩中的含矿石英闪长岩脉。

目前, 多数研究者认为, 萨德贝里矿床的形成与一次爆炸事件有关, 至于这次爆炸事件是陨石撞击? 还是火山爆发再塌陷? 仍然存在争议。

\* 汤中立, 男, 1934年生, 1956年毕业于北京地质学院, 中国工程院院士。长期从事矿产勘查和岩浆岩岩石学、岩浆矿床研究工作。邮政编码: 730000

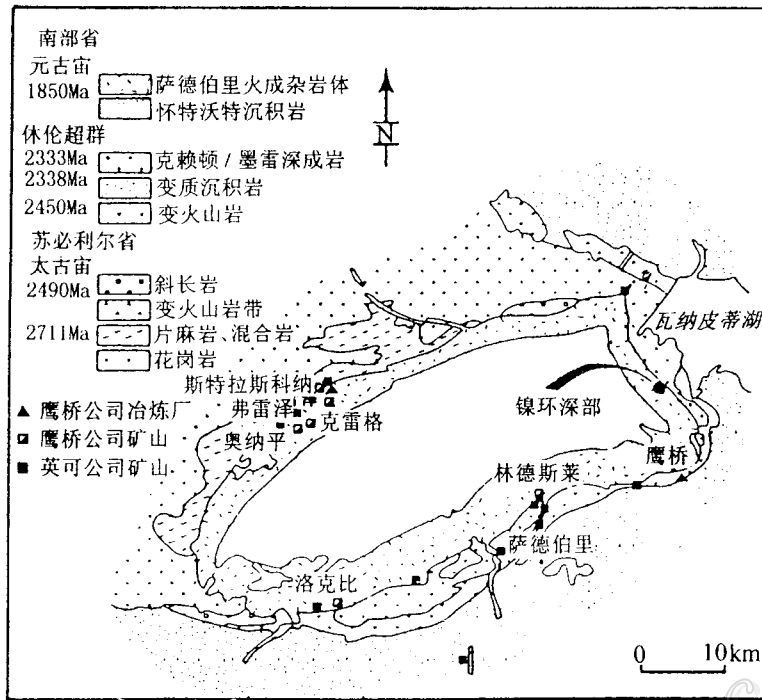


图1 萨德贝里盆地位置和区域地质图

关于萨德贝里事件的程序表述如下:

(1) 主要爆炸事件大约发生在  $1850 \times 10^6$  a, 导致产生了广泛而强烈的角砾岩化作用(萨德贝里角砾岩), 巨大的环状凹陷盆地构造, 围岩中由冲击诱发的多种特征广泛发育, 盆地周边的震裂锥和 Onaping 建造中广泛含有围岩碎屑等都与冲击变质作用相吻合。这时期 Onaping 构造角砾岩填充了盆地, 既视为陨石冲击的回落碎石, 也可认为是内力爆炸的角砾岩化作用产物。

(2) 怀特沃特群的 Onwatin 组和 Chelmsford 组以随后的正常沉积作用连续堆积, 仅保存在盆地内部。

(3) 萨德贝里地质事件初期的冲击和深部碎裂导致火成杂岩体沿着 Onaping 组和强烈角砾岩化围岩之间的界面侵入成岩成矿。

## 2 诺里尔斯克—塔尔纳赫

位于俄罗斯西伯利亚地台的西北角。已经有半个世纪以上的发现研究史。该区的镍含量约 900 万吨, 铜和铂族亦很富集 (A J Naldertt, 1996)。

诺里尔斯克—塔尔纳赫矿区是沿诺里尔斯克—哈拉耶拉赫深断裂发育于平伸的侵入体内, 这些侵入体侵入于一厚 365 km 的火山盆地中下部的泥质板岩、蒸发岩和煤系地层中。该区出露的沉积岩系被体积非常大(近 100 万平方公里)的晚二叠纪和三叠纪 ( $250 \times 10^6$  a) 溢流玄武岩及凝灰岩所覆盖, 上覆这种溢流玄武岩厚度达 3.8 km, 其中约有 500 m 厚的玄

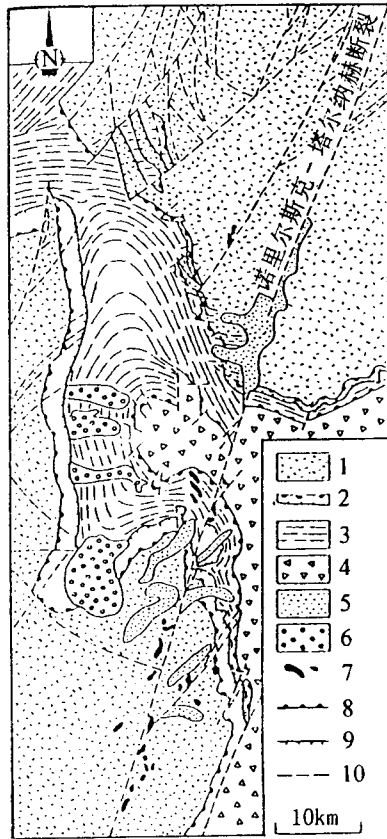


图 2 诺里尔斯克—塔尔纳赫地区  
侵入体分布图

(据杰金等, 1981)

- 1—上萨莫埃德斯基和纳杰日斯基凝灰岩和熔岩；
- 2—下古贾科赫斯基和伊瓦斯基凝灰岩和熔岩；
- 3—沉积岩；
- 4—沉积岩；
- 5—完全分异侵入岩（北段是塔尔纳赫区，南段是诺里尔斯克区）；
- 6—分异的淡色侵入岩；
- 7—分异的暗色侵入岩；
- 8—沉积间断；
- 9—沉积岩与凝灰岩熔岩接触带；
- 10—断层

武岩系，表现出强烈的 Cu、Ni、PGE 亏损，它丢失了 75% 的 Cu、Ni 和 90% 以上的 PGE (A J Naldrett, 1996)。

矿化侵入体可以分为两种不同的情况 (图 2)，即相对受限制的主体部分和向周围延伸的岩床，这些岩床产于主体部分边缘上的一个或多个地层层位上，有些岩床可从边缘延伸 10 多公里。

矿化有三种主要的类型：① 苦橄辉长粒玄武岩和下部斑杂状辉长粒玄武岩内的浸染型矿；② 块状矿石；③ 铜矿石或浸染状矿石，构成块状矿石的外壳或者占据角砾岩带 (图 3)。

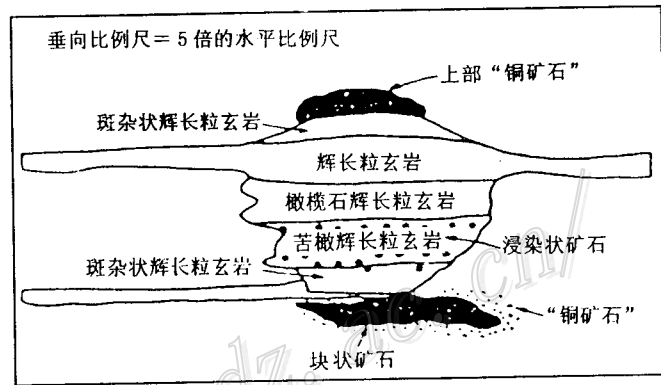


图 3 主要矿石类型及其与矿化侵入体关系图解

块状矿石是塔尔纳赫地区开采的最重要的矿石类型。这类矿石厚从几十厘米到 50 m，直接产在主岩体下面，它向上没有渐变为浸染状矿石，因为几乎总是有一个含较少浸染状硫化物的橄辉石辉长岩冷凝边和厚度常常为几米的未矿化围岩将这两种矿石隔开。浸染状硫化物是苦橄辉长粒玄武岩和斑杂状辉长粒玄武岩的组成部分。野外关系不支持块状矿石是从上覆侵入体中原地沉淀的，矿山地质研究人员广泛认为这类矿石是从单独的硫化物岩浆侵入体中形成的。为什么块状矿石全都发育于主岩体

之下仍然是个谜。

### 3 中国硫化镍矿

我国百万吨级的矿区有甘肃金川、新疆黄山；10 万吨级的矿区有吉林红旗岭、新疆喀拉通克。由于黄山矿区的镍矿品位较低 (约 0.45%)，目前还不能工业利用，所以我国的工

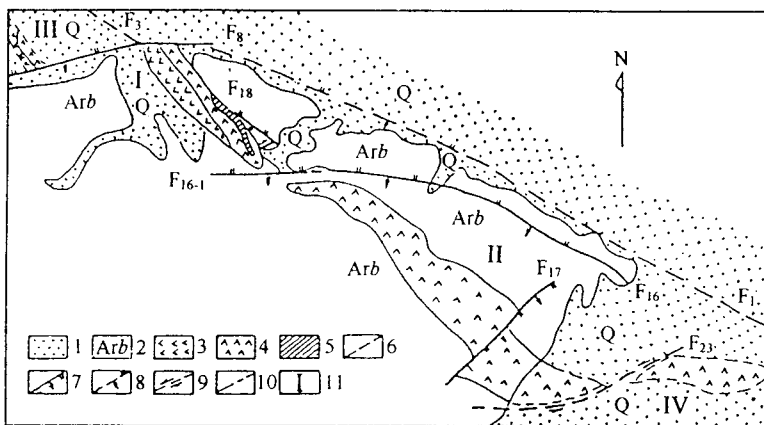


图4 金川含矿超基性岩体地质略图

- 1—第四系；2—太古宇白家嘴子组；3—第一次侵入体；4—第二次侵入体；  
5—第三次侵入体；6—推覆大断裂；7—正断层；8—逆断层；9—平移断层；  
10—实测及推断地质界线；11—I、II、III、IV，矿区编号

动侵位复合形成。

第一次侵入体，长约1400 m，由北西端向南东连续分布，岩相由中心向边部为二辉橄榄石-橄榄二辉岩，局部为斜长二辉橄榄岩。较普遍含硫化物，但富集程度不高。

第二次侵入体，长约6000 m，岩相几乎纵贯整个岩体。主要由二辉橄榄岩-斜长二辉橄榄岩-橄榄二辉岩-二辉岩组成，岩相分布类似第一次侵入体，由中心向两侧基性程度降低。形成浸染状局部海绵状贫矿体。

第三次侵入体，以富含硫化物和橄榄石为特征，硫化物含量达15%~30%，橄榄石一般都占硅酸盐矿物90%以上，其次有少量辉石，偶见斜长石。此岩相本身全部构成海绵陨铁状富矿。这次侵入体形成3个膨大体依次分布于岩体的中西部、中部、中东部，它们和第二次侵入体之间一般呈突变接触。

在上述3次侵入岩石、矿石中，硫化物集合体散布或以网状充填于大量橄榄石单晶、少量橄榄石、辉石及极少斜长石集合体颗粒之间，且发现有橄榄石包含滴状硫化物，这暗示液态硫化物的存在可追溯到橄榄石结晶之前，而它们结晶固化却远在各类造岩矿物结晶之后。

第四次侵入体为硫化物矿浆贯入，形成块状矿体，它们沿构造裂隙穿插第二、第三次侵入体及围岩地层，块状矿石含硫化物达95%以上。在矿体边部往往过渡为半块状或角砾状矿石。

通过对93个矿石化学分析资料的处理，计算出第一、第二两次浸染状矿石的 $Ni/S = 0.223 \pm 0.046$ ，第三次海绵状富矿石 $Ni/S = 0.236 \pm 0.038$ ，第四次块状矿 $Ni/S = 0.22 \pm 0.010$ ，在Ni-S变异图中各类矿石的数据点沿共同的相关直线分布，说明第四次贯入的硫化物矿浆同前几次侵入体有密切的关系。

Cu/S不像Ni/S那样稳定。第三次侵入形成的矿石Cu/S在0.05~0.30之间， $Ni/Cu = 1.50 \pm 0.52$ ；第四次晚期贯入型块状矿石Cu/S稳定在0.005~0.10的低值范围， $Ni/Cu = 3.00 \pm 0.28$ 。

业镍储量主要集中于其余3个矿区和云南、四川等省的一些较小矿床中。

金川矿床发现于1958年，镍储量545万吨，我国85%以上的工业镍储量都集中于此矿床中。金川容矿岩体上部已经剥蚀，存留部分长6500 m，宽20~500 m，垂深最大处超过1100 m，走向 $NW50^\circ$ ，倾向南西，倾角 $50^\circ \sim 80^\circ$ ，出露面积 $1.34 \text{ km}^2$ （图4）。

大量观测资料表明，含矿岩体是由多相熔体4次脉

Ni 具有比 Cu 更容易置换早期镁铁矿物中阳离子的趋势，已知金川岩体的橄榄石平均含 NiO 0.22%，而几乎不含 Cu，且在深部就已开始结晶，不难想像，随着橄榄石结晶，必定使岩浆中 Ni/Cu 比值降低。有关实验 (Rajmani 等, 1978) 证明, Ni 和 Cu 在不混熔硫化物液与玄武岩熔体之间的分配系数随温度降低而增大, 但 Ni 不如 Cu 的增值效应显著。显然, 上述两种效应均说明较早分凝的硫化物液具有较高的 Ni/Cu 比值。据此证明, 晚期贯入型矿体的硫化物矿浆是岩浆在深部最早分凝的产物。

综上所述, 金川岩体在侵入现存空间之前, 就发生了深部熔离和结晶分异作用。在橄榄石结晶以前, 发生了硅酸盐和硫化物液相不混熔, 且在上升过程中或在过渡岩浆房中, 发生重力沉降, 如果长期稳定, 再无构造动力干扰, 将可能形成具有层状特征的矿床。但岩矿体复合穿插关系表明, 在成岩成矿期间, 构造动力仍在间隙性发生, 导致成矿熔体多次脉动上侵, 这样重复进行到熔体完成固结失去活力为止。

#### 4 西澳镍矿

西部矿业公司于 1966 年在 Kambalda (康巴尔达) 地区发现了与火山橄榄岩有关的硫化镍矿, 后来澳大利亚固体矿产局又于 1969 年在 Mount Keith 发现了与纯橄榄岩侵入体有关的硫化镍矿, 从而激起了狂热的勘探活动。差不多在同一时期, 维尔乔因 (Viljoens) 通过对南非巴伯顿 (Barberton) 绿岩带的研究, 认识到科马提质岩石的科学意义, 促使西澳硫化镍矿床与其科马提质容矿岩石的结合, 大大提高了对太古宙绿岩区硫化镍矿成矿的认识。这些研究成果, 又促进了对加拿大和津巴布韦等其它地区太古宙绿岩带中这类矿床的研究。

现在西澳这类镍矿已达 50 多个, 其产量达到世界硫化镍产量的 12%, 镍资源占世界查明资源的 14.5% (J R Ross & G A Travis, 1981)。

这类矿床进一步分为与侵入纯橄榄岩伴生的矿床, 如 Agnew, Mount Keith, 和与火山橄榄岩伴生的矿床, 如 Kambalda 等。前者以整合或局部不整合纯橄榄岩-辉闪橄榄岩透镜体产出 (MgO 45%~51%), 长 500~10000 m, 厚 50~1100 m, 橄榄石  $Fo_{87-95}$ , 顶盘可能为镁铁质、超镁铁质火山岩。核部及以上为浸染状矿石, 下部边缘可能产块状、角砾状富矿体。Ni/Cu = 19~70, 有一种认为它们可能是上覆科马提质火山岩的岩床状通道岩浆房。

与火山橄榄岩伴生的矿床, 都局限于 Norseman-Wuluna 带南段约 150 km 的范围内。火山橄榄岩建造厚 100~800 m, 一般说 MgO 含量向上减少。通常上部为苦橄岩 (MgO 15%~28%) - 橄榄岩 (MgO 28%~36%) 下部以橄榄岩 (MgO 28%~36%) - 橄榄石橄榄岩 (MgO 36%~45%) 占优势, 90% 的块状、浸染状富矿体位于岩流的底部, 富矿体局限于底部接触带的弯曲部位, 大部分 Ni/Cu 为 7~19, Ni/Co 为 40~60。

#### 5 沃伊塞湾 (Voisey's Bay) 矿床

位于加拿大拉布拉多东北海岸, 该矿床是 40 年来加拿大意义最大的发现之一。1993 年, 勘查人员在直升飞机上发现一个出露良好的铁帽 (现称发现山), 几天后, C 弗比斯基等人返回露头, 发现黄铜矿化, 经追索, 该带几乎长达 800 m, 最初的抓样分析, Cu 高达 6%, Ni 高达 3%。

1994 年电磁法显示了一个长达 1200 m 的连续良导体。1994 年 10 月至 1995 年进行了较

系统的钻探,在称作“卵形矿段”的地表圈定了矿石储量,随后在东深部又获得第二个大发现,即现称的东深矿段。现在该区控制的 Ni 储量 116.3 万吨, Ni 1.17%。

沃伊塞湾含矿橄长岩体侵位于西部元古宙丘吉尔区和东部太古宙奈因区的缝合带上,矿床由三个紧密相关的部分组成(图 5)。

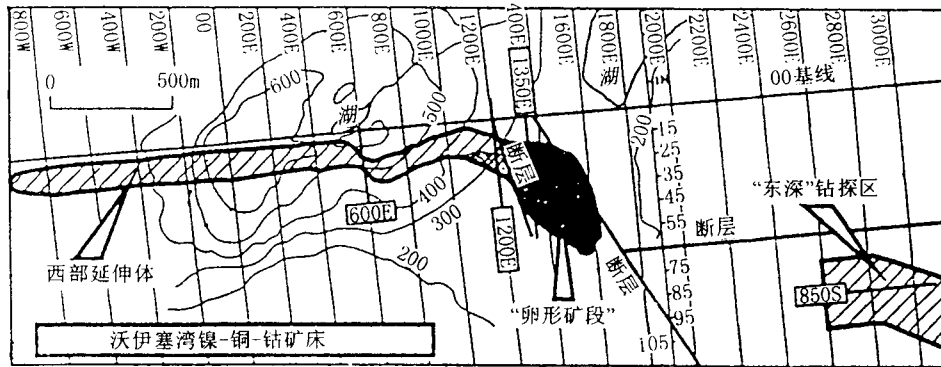


图 5 沃伊塞湾镍-铜-钴矿床

“卵形矿段”: 出现于 1250E 至 1600E 剖面, 覆盖于 10~20 m 厚的冰川风化层之下, 由  $31.4 \times 10^6$  t 块状矿石 (品位: Ni 2.83%, Cu 1.68%, Co 0.12%) 组成。与下盘围岩石英斜长黑云片麻岩之间被一薄层含片麻岩包体的橄长岩 (底部角砾岩) 所隔开。

“西部延伸体”: 由卵形矿段向西为一侵入于紫苏花岗闪长质片麻岩中的席状橄长岩, 由上而下发育通道橄辉长岩, 含硫化物 < 5%, 橄辉石  $Fo$  40~55, Ni <  $600 \times 10^{-6}$  ~  $100 \times 10^{-6}$  具明显 Ni 亏损。豹斑橄长岩, 黑色斑点状橄辉石主晶包含于黄色硫化物和斜长石基质内, 含硫化物达 20%~65%, 橄辉石  $Fo$  45~65, Ni 含量 >  $600 \times 10^{-6}$  ~  $1200 \times 10^{-6}$  不具 Ni 亏损。基底角砾岩, 含硫化物 5%~20%。

“东深矿段”: 在卵形矿段以东, 橄长岩出露地表, 该橄长岩的底接触带从卵形矿段开始一直向东南倾斜, 倾角 25°, 该区从上而下发育橄辉长岩, 其橄辉石的  $Fo$  55~62, 含 Ni  $200 \times 10^{-6}$  ~  $500 \times 10^{-6}$ , 比其它岩系具有类似  $Fo$  的橄辉石含 Ni 量的一半还要少, 表现出明显的 Ni 亏损; 正常橄长岩, 橄辉石  $Fo$  65~72; 可变结构橄辉岩, 橄辉石  $Fo$  60~70; 基底角砾岩系, 橄辉石  $Fo$  52~60, 在此岩系中含一块状和侵染状矿带, 矿石量 >  $50 \times 10^6$  t, 含 Ni 1.36%, 后三种岩石中的橄辉岩含镍  $700 \times 10^{-6}$  ~  $1800 \times 10^{-6}$ , 没有 Ni 亏损。

实际上, 沃伊塞湾就是一个“小岩体大矿床”。

### 参 考 文 献

- 1 汤中立. 中国岩浆硫化物矿床的主要成矿机制. 地质学报, 1996, 70 (3): 237~243.
- 2 纳尔德雷特 A J 等. 加拿大拉布拉多地区沃伊塞湾镍-铜-钴矿床地质. 国外地质科技, 1997, 2: 1~7.
- 3 Ross J R 等. 从全球观点看西澳大利亚的硫化镍矿床. 经济地质, 1981, 76 (6): 4~39.
- 4 Peredery W V. Geology and ore deposits of the sudbury structure, Ontario, 8Th Iagod Symposium [Field Trip 7], 1990, 9~22.
- 5 Naldrett A J et al. Controls on the Composition of Ni-Cu Sulfide Deposits as Illustrated by Those at Noril'sk, Siberia, Economic Geology, 1996, 91: 751~773.