

经济地质

76 卷 第 六 期

美国

ECONOMIC GEOLOGY

and

the Bulletin of the Society of Economic Geologists

1981

85年6月24日

九月——十月

地 质 出 版 社

281-61

美国《经济地质》

中译本、半季一期

1981年9月—10月

76卷 第6期

统一书号: 15038·新1058 定价: 6.80元

编辑者: 美国《经济地质》中译本编辑部

出版者: 地质出版社
(北京西四)

印刷者: 地质出版社印刷厂
(北京海淀区学院路29号)

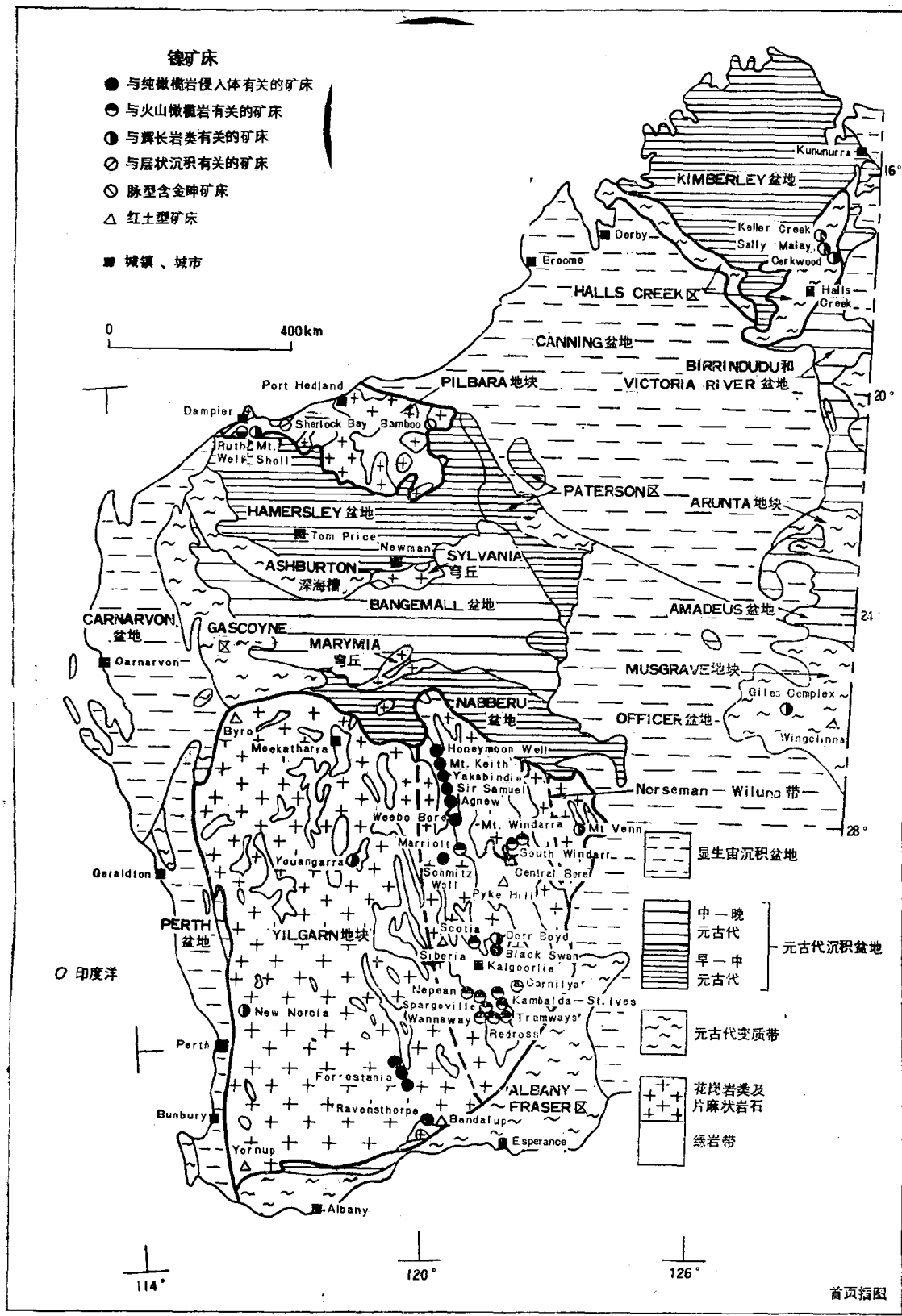
发行者: 新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本: 787×1092.1/16 印张: 29 1/2 字数: 698,000

目 录

序言	D. I. Groves, D. R. Hudson, R. J. Marston和J. R. Ross (2)
从全球观点看西澳大利亚的硫化镍矿床	J. R. Ross和G. A. Travis (4)
西澳大利亚的硫化镍矿床: 述评	R. J. Marston, D. I. Groves, D. R. Hudson和J. R. Ross (39)
西澳大利亚主要硫化镍矿床的大地构造特征	E. S. T. O'Driscoll (64)
西澳大利亚Kambalda镍矿田地质	J. J. Gresham和G. D. Loftus-Hills (72)
西澳大利亚Widgiemoooltha穹丘周围与火山岩伴生的镍矿床	K. G. McQueen (107)
西澳大利亚Wannaway镍矿床的特征和变质历史	K. G. McQueen (135)
Scotia镍矿床附近的火山环境	M. L. Page和M. L. Schmulian (156)
Scotia地区科马提岩中硫化镍的共生组合: 成矿环境的岩石化学研究	G. W. Stolz和R. W. Nesbitt (166)
与火山橄榄岩共生的Langmuir镍矿床: 与西澳大利亚矿床同类型的加拿大实例	A. H. Green和A. J. Naldrett (185)
西澳大利亚Forrestania地区硫化镍矿化和变质背景	D. J. Porter和K. G. Mc Kay (204)
西澳大利亚Honeymoon Well硫化镍矿床	M. J. Donaldson和G. J. Bromley (227)
西澳大利亚Halls Creek活动带中与辉长岩类伴生的Sally Malay镍铜硫化物矿床	J. R. Thornett (241)
西澳大利亚Pilbara地区Mt. Sholl侵入体中Ni-Cu硫化物及其镁铁质-超镁铁质主岩	C. I. Mathison和A. E. Marshall (254)
西澳大利亚Cowarna Rocks富含镍-铜硫化物的元古代岩墙	A. C. Purvis和P. G. Moeskops (268)
Kambalda含硫化物变质沉积物的特征及其与共生的超镁铁岩和镍矿的主要关系	O. A. Bavinton (276)
西澳大利亚与Kambalda穹丘有关的镍矿化作用中化学和矿物的变化	P. Woolrich, A. Cowden和N. E. Giorgetta (296)
西澳大利亚与橄榄岩共生的火山型硫化镍矿床中的贵金属II: 在Kambalda矿石及容矿岩石中的分 布	R. R. Keays, J. R. Ross和P. Woolrich (310)
Kambalda地区Lunnon和Juan Main富矿体内Fe-Ni-Cu硫化物矿石中硫化物的共生次序和硫的活 动性: 结构和硫同位素的证据	P. K. Seccombe, D. I. Groves, R. J. Marston和F. M. Barrett (336)
西澳大利亚Clifford山的自然镍-六方硫镍矿-铁镍磁铁矿矿物组合	D. R. Hudson和G. A. Travis (346)
西澳大利亚某些太古代纯橄榄岩蛇纹石化及滑石-碳酸盐蚀变过程中造矿元素的再分配	M. J. Donaldson (357)
西澳大利亚Kambalda科马提岩的地球化学: I. 亲铜元素的亏损——硫化物液体从科马提质岩浆 中分离的结果	C. M. Leshner, R. F. Lee, D. I. Groves, M. J. Bickle和M. J. Donaldson (371)
西Pilbara地区Ruth Well镍-铜探区镁铁质和超镁铁质熔岩喷发作用的控制机制	E. G. Nisbet和G. A. Chinner (383)
西澳大利亚Keith山浸染状硫化物矿床风化作用的矿物学和地球化学特征	C. R. M. Butt和E. H. Nickel (389)
Perseverance镍矿床铁帽中的贵金属和挥发性金属及它们在风化地区对勘察工作的意义	P. J. Mc Goldrick和R. R. Keays (403)
西澳大利亚Perseverance硫化镍矿床中铁帽的地球化学变化: 描述和实验研究	M. R. Thornber, P. D. Allchurch和E. H. Nickell (413)
西澳大利亚Kalgoorlie附近红土型镍-钴矿床的地质、矿物和化学特征	M. Elias, M. J. Donaldson和N. Giorgetta (423)
参考文献目录	(431)
第七期目录 (预告)	(封三)

56.5
2734
76:6



标有镍矿床位置的西澳大利亚地质略图

序 言

西澳大利亚的镍矿开采是一个比较年轻的工业，它是在西部采矿公司于1966年在Kambalda地区发现了与火山橄榄岩有关的硫化镍矿床，以及后来澳大利亚固体矿产局 (Australian Consolidated Minerals) 于1969年在Mount Keith发现了与纯橄榄岩侵入体有关的硫化镍矿床的基础上，成功地运用了各种勘探方法发展起来的。目前西澳大利亚的镍产量占世界镍矿山总产量的大约7%，是世界上第三个最大的硫化镍生产国，硫化镍的产量约占世界矿山产量的12%，含镍 $\geq 0.8\%$ 的硫化物矿石中的镍占世界总查明资源 (Identified Resources) 的14.5%。早期的这些发现不仅激起了狂热的勘探活动，而且就在Viljoens通过对南非Barberton绿岩带的研究，认识到科马提质岩石的科学意义的大致同一时期内，对硫化镍矿床及其科马提质容矿岩石的研究有所促进。主要研究计划是由勘探公司和采矿公司与联邦科学和工业研究机构矿物学部及澳大利亚几所大学合作制订的；现有资料的整理和全部矿床的再调查是最近由西澳大利亚地质调查所承担的。目前关于太古代绿岩区硫化镍矿床的大部分认识都是根据这些研究而得出的，而且正是这些认识促进了最近对津巴布韦和加拿大境内类似的、即使是经济价值不大的矿床的研究。

虽然1980年曾发表了有关这些矿床的大量文献，但是大部分研究成果尚未发表，而且在地质上和(或)经济上具有重要意义的几个矿床还缺乏完善的资料予以阐明。为执行国际地质对比计划 (IGCP) 第91号“前寒武纪的成矿规律”和第161号“镁铁质和超镁铁质岩石中的硫化物矿床”而成立的澳大利亚工作组，同致力于西澳大利亚硫化镍矿床及其容矿岩石研究的《经济地质》专刊编辑Brain Skinner的大力合作，有助于弥补这种不足。这本专辑是这次研究的一个初步成果，并且是作为国际地质对比计划第91号和第161号项目的一部论文集而提出的。

在该专辑开头一部分里，Ross和Travis从全球观点出发，根据地质组合和经济意义两个方面评价了全世界硫化镍矿床，O'Driscoll论述了太古代主要矿床的区域构造特征。Marston、Groves、Hudson以及Ross论述了西澳大利亚矿床的主要特征，并着重论述与火山橄榄岩有关的小型(小于五百万吨)高品位

(含Ni品位2—4%)矿床和与纯橄榄岩有关的品位较低的大型矿床(例如，Agnew矿床的储量为四千五百万吨，Ni品位为2.05%；Mount Keith矿床的储量为二亿九千万吨，Ni品位为0.6%)的特征及它们之间的差别。这些作者还提供了一份关于西澳大利亚硫化镍矿床论文的文献目录。

在Kambalda穹丘周围有一些与火山橄榄岩有关的镍矿床的典型实例。Gresham和Loftus-Hills利用西澳大利亚采矿公司对一个大型矿区进行编录和评价所作的一份很详细的说明书里的资料对这些矿床进行了论述。关于Kambalda矿区成矿环境的更多专门问题，Woolrich、Cowden和Giorgetta；Keays、Ross和Woolrich；Seccombe、Groves、Marston和Barrett；以及Bavinton都有专门论述。其它一些研究过的与火山橄榄岩有关的矿床包括Widgiemooltha穹丘周围的一些矿床 (McQueen, 1980, 未刊资料) 及保存很好的Scotia矿床 (Page和Schmulian；Stolz和Nesbitt)。Green和Naldrett论述了加拿大与火山橄榄岩有关的矿床，并推出它们与西澳大利亚矿床的相似性。

多数意见认为，与火山橄榄岩有关的硫化镍矿床是被变质作用改造了的岩浆矿床，它们是在超镁铁质岩系底部或附近，由富含橄榄石和富含硫化物的科马提质岩浆的喷出作用形成的。喷出作用被认为是发生在无沉积的火山口里或火山口附近的环境里，或者是发生在补给裂隙附近。上覆的超镁铁质岩系与两侧的显然同时代的超镁铁岩层序显著不同，而两侧超镁铁质岩层序的典型特征是向上富含MgO的岩层逐渐减少，并且存在着硫化物物质的岩硫间沉积物。然而，围绕着富含硫或硫化物的岩浆上升到地壳里的机理，硫的来源，喷出作用以及块状矿石相对于基质和浸染状矿石的结晶作用时间，以及矿石所显示出的组分变化的原因等问题尚有争论。Marston、Groves、Hudson和Ross几个人正是针对这些问题进行了专门论述。

虽然目前在Agnew地区(一直在开采)所开采的与纯橄榄岩侵入体有关的主要矿床的原始特征在本专辑里未予论述，但是，Porter和McKay以及Donaldson和Bromley分别对Forrestania和Honeymoon Well矿床作了论述；Hudson和Travis还论述了Mount Clifford地区纯橄榄岩里的一个独特的贫硫矿床。Donald-

son 还探讨了在无矿的或只有微弱矿化的纯橄榄岩的不同蚀变过程中成矿元素的再分配。

大多数人认为, 和与火山橄榄岩有关的镍矿床的情况一样, 与纯橄榄岩有关的矿床也是经过变质改造了的岩浆硫化物矿床。这些矿床被认为是在含硫化物液滴的富 MgO 岩浆侵入过程中形成的, 其间大多数人认为它们是作为同火山岩床侵位的, 尽管也有一些人认为它们是在继火山堆积初期变形之后作为岩墙侵位的。关于它们与上覆超镁铁质熔岩堆积的成因关系, 以及关于岩浆作用和变质作用对形成现存硫化物富集的相对作用仍有很大争论。然而, 蚀变作用在改造先前存在的浸染状硫化物方面显然具有重要作用。关于这些问题Marston、Groves、Hudson和Ross都作了论述。

与辉长岩类有关的镍矿床在西澳大利亚的经济意义较小, 但是, 它们为人们更深入地了解相对未变质的岩浆硫化物的性质和成因提供了条件。最重要的Sally Malay矿床已由Thornett作了论述。Mathison和Marshall论述了Pilbara地块同火山的Mount sholl层状侵入体里的矿床, 而Purvis和Moeskops研究了Cowan Rocks地区元古代岩墙里不同成分的岩浆硫化物。关于在更复杂矿床中区分原始岩浆的不均质性与由变质作用产生的不均质性的问题也被提了出来。

由于发现镍及由此引起的勘探和采矿活动, 提供了大量有关科马提岩类(包括具有鬣刺结构的科马提岩本身)中超镁铁-镁铁岩套的性质和成因方面的资料。关于与一些特殊矿床有关的这些岩石的资料是由Gresham和Loftus-Hills, Mc Queen, Stolz和Nesbitt, 以及Keays、Ross和Woolrich提供的。Nisbet和Chinner研究了Pilbara地块里Ruth Well地区科马提岩类中超镁铁质和镁铁质熔岩之间的重要关系。Leshner, Lee, Groves, Bickle和Donaldson研究了在Kambalda地区具有鬣刺结构的科马提岩里所见到的亲铜元素的贫化, 研究结果表明, 这种贫化是由于从科马提质岩浆里分离出硫流体的结果。

大部分镍矿床是通过正确识别它们的表层铁帽而

发现的, 而且对硫化物矿石的风化作用和铁帽形成的研究提供了有关硫化物矿体氧化过程的基础材料以及对识别铁帽有用的资料。作为硫化物氧化作用的电化模式是由Thornber, Allchurch和Nickel研究的, 通过研究, 他们提供了一些新的实验数据, 这些数据有助于了解发育在块状硫化物和基质硫化物上方铁帽的地球化学特征。关于风化产物的复杂而且往往又是很独特的性质由Butt和Nickel以及McGoldrick和Keays作了进一步研究。

西澳大利亚还产有低品位的红土型镍矿床, 但是没有象硫化物矿床那样受到足够的重视。近将钴价上涨才使人们对红土矿化重新产生了兴趣, 最近把红土矿石用来作为钴的一种补充来源, 而且在Kalgoorlie还被用来作为熔炼硫化镍精矿时的一种耐火材料。Elias, Donaldson和Giorgetta还论述了这些矿床中研究程度较好的一些矿床的性质和成因。

要把这26篇具有同一主题的论文汇集在一起, 需要许多个人和团体给予大力合作和热情支持。在这里, 我们想借此机会对给予秘书事务上和邮政方便条件的西澳大利亚大学、西部采矿公司、联邦科学和工业研究机构矿物学部、西澳大利亚地质调查所以及Aurex Pty. 有限公司表示感谢。由于西部采矿公司的慷慨和R. Woodll的支持, 使我们得到了这几份金色图。西澳大利亚大学地质图书馆C. Phillips夫人对在西澳大利亚大学图书馆里所得到的全部引用的参考资料的准确性进行了检验。

我们期望, 这本专辑能够为研究象西澳大利亚这样的前寒武纪地质区的硫化镍矿床的勘探工作者提供全面的基础资料, 并对研究硫化镍矿床及其主要的科马提质容矿岩石(特别是太古代绿岩带里的岩石)的特性和成因感兴趣的地质工作者能够有所启发和帮助。

D. I. Groves

D. R. Hudson

R. J. Marston

J. R. Ross

从全球观点看西澳大利亚的硫化镍矿床

J. R. Ross和G. A. Travis

摘 要

本文对全世界 145 个硫化镍矿床的地质和经济特征作了评价,其中包括西澳大利亚产于太古代和早元古代岩层中的 56 个硫化镍矿床。所有矿床基本上可以划分为两种类型:(1) 纯橄榄岩-橄辉岩类,这种类型包括与科马提质岩石(通常为太古代)的容矿岩石有关的矿床,并且进一步可划分为侵入纯橄榄岩组合和火山橄辉岩组合;(2) 辉长岩类,这种类型可以根据容矿岩石的性质进一步划分为镁铁质-超镁铁质侵入杂岩,大型层状侵入体以及萨德伯里侵入体。即使不考虑萨德伯里侵入体,辉长岩类中的矿床也是镍的最重要来源。

大部分镍硫化的原始资源(original resources)是产在稳定地台区,但是,当考虑到含 $Ni \geq 0.8\%$ 的非萨德伯里型矿石时,则前寒武纪活动带就是最重要的了,然后则依次是前寒武纪(主要是太古代)绿岩带和显生宙褶皱带。品位最高的矿床是产在绿岩带里(与火山橄辉岩有关的矿床)和显生宙褶皱带里(苏联 Noril'sk 地区产于辉长岩类镁铁质-超镁铁质侵入体里的矿床)。显生宙褶皱带里的矿床分布最广,它们产于除稳定地台之外的所有环境里。西澳大利亚大约 95% 的原始镍资源是产在太古代绿岩带里,约占世界含 $Ni \geq 0.8\%$ 矿石的原始镍资源总量的 11.4%,其中与纯橄辉岩侵入体有关的矿床和与火山橄辉岩有关的矿床几乎各占一半,并且具有有利的品位分配。

硫化镍矿床在整个地质时期里都有产出,但大部分资源是产在早元古代。然而,就含 $Ni \geq 0.8\%$ 的非萨德伯里型矿石而论,太古代矿床是最重要的,然后依次为早元古代和显生宙矿床。辉长岩类镁铁质-超镁铁质侵入杂岩里的矿床则在每一个时间间隔中都有产出。

原始资源的吨位-品位分布清楚地表明,与火山橄辉岩有关的矿床具有较高的品位(特别是西澳大利亚的矿床)。辉长岩类镁铁质-超镁铁质侵入杂岩里的矿床由于考虑到其中含有大量的铜,因而其品位也大大提高,而这类矿床中的铂族元素和钴的回收就为进一步提高其品位提供了更大领域。与纯橄辉岩侵入体有关的矿床其特点是规模较大,但是,同较小的高品位的与火山橄辉岩有关的矿床相比则通常品位较低。

自 1900 年以来,镍硫化的矿山产量主要是来自萨德伯里,但是,由于 1960 年以来与纯橄辉岩侵入体和与火山橄辉岩有关的矿床的大量产额,以及苏联 Noril'sk 地区产量的重大增长,就使得镍矿的矿石来源变得更加多样化了。辉长岩类镁铁质-超镁铁质侵入杂岩里的矿床是目前镍硫化产量的主要来源。目前西澳大利亚的矿山产量大约占世界硫化镍矿山总产量的 12%,等于在世界含 $Ni \geq 0.8\%$ 的矿石中查明资源里的 14.5%。

据估计,含 $Ni \geq 0.8\%$ 的矿石中硫化镍的总查明资源,按目前硫化镍的世界矿山产量计算,足以维持大约 40 年的开采。大部分含 $Ni < 0.8\%$ 的矿石中的查明资源显示出镍储量随品位降低而增长的趋势,并且很可能,在今后一个很长时期内,硫化镍的产量将受到经济因素而不是受到资源可获量的限制。

澳大利亚是世界第四个最大的产镍国,镍产量仅次于加拿大、苏联和新喀里多尼亚;1979 年镍的矿山产量为 66,100 吨,约占世界硫化物矿石和红土矿石中镍矿山产量的 10% (图 1)。其中产自西澳大利亚硫化物矿石中的镍估计为 45,000 吨(约占 68%),其余部分是产自昆士兰州的 Greenvale 红土矿床(Fletcher 和 Couper, 1975)。如果将世界硫化物矿石和红土矿石的

矿山产量分开来看(图 2),那么西澳大利亚就是 1979 年世界第三个最大的硫化镍产地,仅次于加拿大和苏联,其产量约占世界估计总产量(373,000 吨)的 12%,而昆士兰州则是世界第六个最大的红土型镍矿产地,其产量约占世界估计总产量(281,000 吨)的 7.5%。红土矿石在世界镍矿山产量中所占的比例从 1950 年时的大约 11.5% 增加到 1975 年时的大约 40%。这种快速

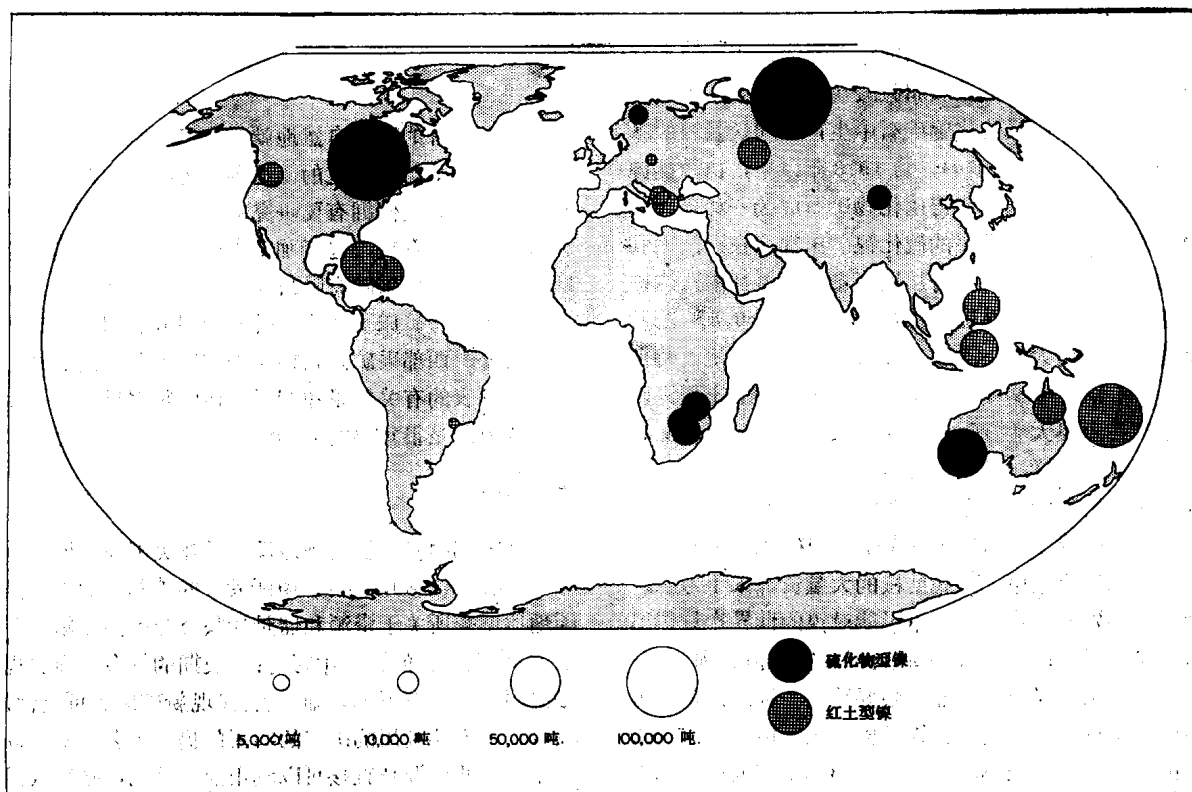


图 1 1979 年全世界硫化物型镍和红土型镍矿山产量的分布情况

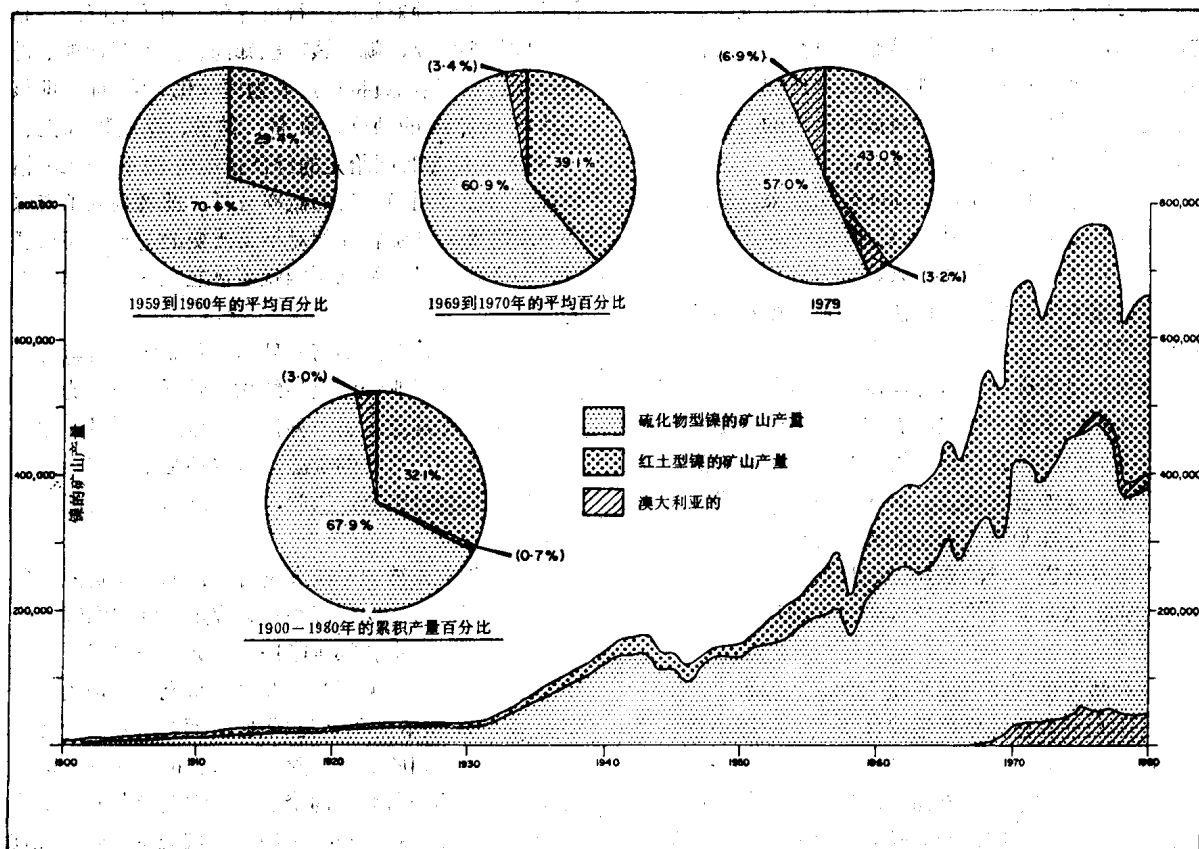


图 2 1900—1980 年间全世界硫化镍和红土镍的矿山产量。影线部分表示的是澳大利亚

发展在很大程度上归功于低价格能源的使用,一直到1973年,因为从红土矿石和硅酸盐矿石中生产镍通常消耗的能量要比从硫化物矿石中生产相同数量镍的多2—5倍(Dasher, 1976)。自1973年以来,由于能源价格的大幅度上涨,使得硫化物矿石成为一种更理想的来源。澳大利亚重要的硫化镍矿床都产在西澳大利亚的太古代和早元古代岩层里(参见首页插图),这些矿床目前相当于世界硫化镍资源(含 $\text{Ni} \geq 0.8\%$ 的矿石的资源)的大约14%。有关这些矿床的地质特征Marston等人(1981)已有论述。重要的红土型镍矿床也产在西澳大利亚(Elias等人, 1981; Sprigg和Rochow, 1975),但在本文中不予考虑。

这一研究的目的在于把西澳大利亚的五十六个硫化镍物矿床置于全球性145个硫化镍矿床的地质和经济特征的评价之中。洋底结核的大量资源未予考虑,因为这种资源在本世纪内不可能对镍的世界产量作出有意义的贡献,加拿大萨斯喀彻温省北部Key湖的U-Ni矿床也未予考虑。虽然有必要采用一种比以前所提出的分类更为简单的硫化镍矿床分类,但是,这一研究的几个方面却是Naldrett(1973)工作的继续和发展。所提出的全球性数据带有某些假定成分,特别是有关苏联的数字,但是,为了避免对西方世界的估价造成曲解,这种大胆的假设是必不可少的。所得结果必须根据某种认识加以处理,而这种认识在下一个重大发现之后大部分定量数据将成为无用的。希望一些基本结论将证明是能经得起考验的。

自1966年发现了Kambalda矿床以来,西澳大利亚硫化镍工业的发展情况已由Woodall和Travis(1979)作了论述。简单说来,大力宣传在Kambalda地区的重大发现促进了西澳大利亚集中在镍矿勘探的大规模发展。1966—1971年间,在Yilgarn地块东半部绿岩带里所进行的硫化镍勘探取得了不平常的结果,发现了三十多个独立的矿床。许多矿床是高品质的(含 $\text{Ni} > 2\%$),并且基本上都是与火山成因的和侵入的富镁超镁铁质岩有关。这些发现就促进了在其它地方,特别是在加拿大和南非的太古代绿岩带里的类似岩石中开展进一步的勘探,而且这些发现还促进了对硫化镍矿床及其科马提质岩岩石地质意义的研究。

这种情况就诱使许多地质工作者(包括作者在内)去研究世界超镁铁质透镜体里的非萨德伯里型硫化镍资源,可以预期,这一种研究将能使上述研究得到加强并使其定量化。然而,应该指出的是,即使不考虑萨德伯里型矿床,与辉长岩类容矿岩石有关的矿床也会成为镍的最重要来源。

方 法

这次评价的范围自然地就产生了资料的不足,而且这种评价是与新报道的使这种不足减小到最低限度的基数有关。我们拥有要研究的145个矿床中60多个矿床的第一手资料,包括加拿大的8个矿床和南非的12个矿床。西部采矿有限公司的地质工作者最近考察了北欧的一些矿床及中华人民共和国的金川大型镍矿床。另外,西部采矿公司15年来在镍工业方面的经历也为新发表的有关储量和产量方面的数据提供了一些含糊的但却是很重要的原始资料。

资源分类

著者们的观点已明确地反映了在美国地质调查所831号通报(1980, P.1)中所发表的美国矿业局—美国地质调查所关于资源和储量的联合分类的最新修订版本里。在他们的论述中写道:“长期的社会和商业规划必须是建立在下列基础之上:发现新矿床的可能性,改进目前无法利用的矿床的实用的提炼工艺技术,以及了解哪些资源是直接可以利用的。因此,必须根据新的地质认识,科学技术的进步,以及经济和政治条件的改变不断地对资源进行再评价。为了更好地适合于这些规划需要,就应该对已知的资源按两种观点进行分类:(1)纯地质特征,或物理—化学特征,即该地段矿物原料的品位、质量、储量、厚度和深度;(2)根据在给定时间给定的经济措施情况下提取和销售原料所需费用而进行的概率分析。前者构成了资源的重要客观科学资料和相对不易改变的基础,而后者较容易变化的经济轮廓可能就是建立在这种基础之上的”。

我们主要是牵涉到第一种标准和规定,也就是作为世界硫化镍工业经济上层结构相对不易改变的地质基础的标准和规定。第二种标准牵涉到了储量、边界储量以及次经济意义的资源,这些都是不适用于进行全球研究的相对概念,因此,这些术语只要可能就避免采用。

这次研究牵涉到了两大类资源:即查明资源和累积产量(图3);查明资源被用来表示1980年的现有资源。大多数查明资源都可以进一步分为跨越三个经济亚类的证实资源(见图3)。在这次研究中采用的原始资源这一术语是沿用了美国地质调查所831号通报(1980)里所用的定义,除了已采完的矿床外,原始资源通常指的是所剩下的资源(通常为储量)和矿山总产量的总和。在这里,矿山产量被规定为矿石经过初步富选后所得到的产品的金属量,对硫化物矿石来

累积产量	查明资源		未经发现的资源	
	探明的		可能(或)范围	
	确定的	推定的	确定的	推定的
有经济意义的	储量	推定储量		
在一定程度上具有经济意义的	边界储量	推定的边界储量	+	
次经济意义的	已证实的次经济意义的资源	推定的次经济意义的资源	+	

地质上的可靠程度

图3 美国矿业局—美国地质调查所(1980)所提出的矿物资源联合分类的主要要素,该图表示出了这次研究时所涉及的资源的分布情况(点状区)

说,矿山产量一般是指浮选精矿里的镍含量。在这里矿床(deposit)这一术语是应用于那些需要单独揭露的地质体,也就是说,这些地质体与相邻矿床有足够的空间间隔,而在正常情况下,在第一个矿床进行常规评价和技术经济条件确定的过程中阻碍了发现第二个矿床。资源分类的另一个因素是将低品位资源与剩余资源分开,以便使累积数据不受大量低品位资源的支配。虽然对Ni来说,1%的品位通常被用来将储量与次经济意义的资源分开(见图3),但是也有一些矿山一直在开采着低品位矿石,因此,含Ni0.8%这一品位已被采纳作为比较适当的值。

数据的一致性

可得到的数据受三种不同级别下的不一致性的支配:即地区,单个矿床以及矿床里所含的组分。就地区这一级别来说,数据的不一致性是由于全球不同地区不同程度的勘探以及对确定低品位矿床所采取的经济刺激因素有很大不同所造成。就矿床这一级别讲,数据的不一致性是由于使用了萨德伯里和Thompson两种类型矿床的综合数据,并且在缺乏单个矿床资料情况下可能还使用了苏联几个生产中心的数据造成的。在这个级别下,一个另外的不一致性是与低品位资源有关。虽然许多低品位矿床也被包括了进去,但高品位矿床的资源计算通常并不考虑任何伴生的低品位矿化。矿石储量计算方法的不同,以及可加于现有储量的潜在储量的不同,就造成了矿床级别下更多的不一致性。不一致性的第三个级别是由采矿过程中可利用矿石以及选矿过程中硫化镍回收量的可变性所造成的金属计算结果的不同引起的。矿山产量通常相当于原始资源80%左右,但回收量在不同矿山是不同的,并且是随时间而变化的,因此,利用累积产量来确定开采矿床的原始资源也会造成不一致性。

很可能,所得到的数据未能充分的如实反映出含Ni小于0.5%的那部分资源,但是,这个差额可由与

超镁铁质容矿岩石中低品位矿石中含Ni较高的硅酸盐组分伴生的少量的回收Ni得到补偿。上述的一些不一致性就可能造成根据已发表的数据所估算的原始资源的误差至少为±10%。较大程度的误差是随着根据不完全的资料估算而来的,如根据苏联资料所作的估算就是这样。

数据基数

1900年以来,硫化镍的矿山产量被用来估算原始资源。这个时期主要包括了来自萨德伯里的产量,但未包括1861—1899年间来自挪威、加拿大和美国的不到25,000吨镍的估计产量。1900年以来的矿山产量、查明资源以及原始资源的概要列于附录中。所有矿床被分为8个地理区,下面简单地论述一下每个地理区的数据基数。概括的数据列于表1中的A栏里。

澳大利亚:澳大利亚的基数包括了西澳大利亚的56个矿床,并且基本上是以证实资源的形式表示的。含Ni≥0.8%的原始资源占世界资源总量的11.4%。每个矿床的品位和储量数据被插入到有关的图表里,虽然这种资料大部分是不适于发表的。

加拿大:加拿大的基数包括32个矿床,但是,如果萨德伯里盆地和Thompson地区的单个矿床的数据可以利用的话,则这个数字将会大大增加。含Ni≥0.8%的原始资源占世界资源总量的51.6%,而加拿大的矿山产量约占目前世界矿山产量的35.3%。还有15个小型矿山及Thompson地区的产量(分别占加拿大累积产量的4.7%和11.1%)也有足够的数据可以利用,这些地区的产量是根据萨德伯里地区的总产量(约七百万吨Ni)与加拿大产量的几乎全部统计数字的差额推算出来的。这个资料对估算萨德伯里地区原始资源是很重要的。加拿大矿床查明资源的统计数字几乎是完全,其原始资源的估计也是有把握的。

北欧:北欧的基数包括20个矿床,其中芬兰7个,挪威6个,瑞典7个,这些矿床占世界原始资源不到1%,占目前世界矿山产量的1.7%。这些矿床所含的Ni的大约94%是产在品位小于0.8%的矿石中。关于查明资源和产量已有发表的综合数据(可参见附录)。

中华人民共和国:已发表的数据(Wang, 1980)表明,虽然中华人民共和国只是一个较小的硫化镍生产国(每年大约生产一万吨Ni),但是该国含Ni≥0.8%的矿石中的原始资源占世界资源总量的19.1%。这些资源(被列为储量)的90%是产在甘肃省的金川矿床里。关于其余10%的资源似乎目前尚无资料,虽然在概总汇编里被包括进去,但未包括在专门小计内。

南非:这一地区包括17个矿床,其中博茨瓦纳6

个, 南非(阿扎尼亚) 1个, 津巴布韦 10 个, 镍产量约占目前世界矿山产量的 13%。虽然该区含 $\text{Ni} \geq 0.8\%$ 的矿石中的原始资源不到世界总量的 3%, 但是它拥有大量含 $\text{Ni} < 0.8\%$ 的原始资源(约占世界总量的 55%, 主要是产在布什维尔德杂岩(Bushveld complex) 和大岩墙(Great Dyke)里)。有关单个矿床的产量和查明资源的资料几乎是完全的, 含 $\text{Ni} \geq 0.4\%$ 的大部分矿石可以被列为证实资源。累积矿山产量的一半以上是来自布什维尔德杂岩, 自 1939 年以来一直是作为铂族金属生产的一种副产品。津巴布韦在本世纪三十年代曾是一个较小的产镍国, 但是一度生产中, 直到 1961 年还没有恢复生产; 博茨瓦纳的生产是在 1973 年开始的。

美国: 已发表的数据记载了美国 10 个矿床的情况, 这些矿床中含 $\text{Ni} \geq 0.8\%$ 的原始资源总共不到世界总量的 1%, 而含 $\text{Ni} < 0.8\%$ 的原始资源约占世界的 26%。这些资源以完全证实了的 Duluth 辉长岩中的低品位矿化占优势(占 90%)。目前尚未从硫化物矿石中生产镍, 但是 1853—1893 年间曾从 GaP 矿山生产出了大约 2,000 吨镍。

苏联: 苏联于 1940 年以前就已开始生产硫化镍, 目前其产量仅次于加拿大, 居世界第二位(据估计, 加拿大 1979 年的矿山产量占世界总产量的 35%)。这种生产水平就需要有雄厚的资源基础, 苏联含 $\text{Ni} \geq 0.8\%$ 的矿石中的 Ni 的原始资源估计占世界总量的 14.6%, 而含 $\text{Ni} < 0.8\%$ 的矿石中的 Ni 资源估计占世界总量的 2.2%。这些估量与 6 个生产中心有关, 这 6 个生产中心可能包括了比附录中所列举的 7 个“矿床”更多的矿床。这些估计可能是很保守的, 特别是在一些已知为辅助矿床的低品位矿床方面尤其如此, (Glazkovsky 等人, 1977), 但是它们的资源还不可能估计。包括硫化镍查明资源和矿山产量的估计值在内的假设数字已详列于附录中。

其它国家: 据报道缅甸有 75,000 吨低品位镍资源 (Brobst 和 pratt, 1973), 但未得到有关的地质资料。自 1930 年以来, 缅甸断断续续的生产了不到二万吨镍 (Schmitz, 1979), 但详细情况尚不清楚。低品位硫化物资源产在捷克斯洛伐克 (Misär, 1979), 但具体的资源数据未见报道。虽然可能也查明了一些别的硫化镍资源, 但资料的明显缺乏表明, 大部分可能都是一些小型的和(或)低品位的。

硫化镍矿床的分类

近 10 年来在 Ni-Cu-铂族元素硫化物矿床及其地质环境的研究方面所出现的高潮大大促进了改进分类系

统的发展。在这方面 Naldrett 做出了显著贡献; 他在 1973 年提出一种分类系统 (Naldrett, 1973) 于 1976 年做了补充修改 (Naldrett 和 Cabri, 1976), 随后又根据 1979 年开始执行的国际地质对比计划第 161 号做了进一步的修正和发展 (Naldrett, 1979)。在这个分类系统的整个发展过程中, 可以看到构造环境和镁铁质-超镁铁质容矿岩石的性质始终作为该分类系统的两个基础被保留了下来。在最后一个试行方案中 (Naldrett, 1979), 将矿床分为三大类型: 即同火山矿床、与在克拉通地区侵位的侵入岩体有关的矿床以及造山作用过程中侵位的镁铁质-超镁铁质岩体有关的矿床。

每个大类包括三个或四个亚类, 而每个亚类又进一步划分为三个小类。该方案对 Ni-Cu-铂族元素矿床总共提出了十六种构造环境与伴生的镁铁质-超镁铁质岩体的可能组合。由于地质资料不足, 因而这次研究中涉及到的许多矿床都没有按这个系统划分, 而只采用了一个比较简单的分类系统, 以便与所利用的资料的质量和我们的研究目的相适应。将所有矿床按照容矿岩石的岩石特征划分为两大类, 并将每一大类根据容矿岩体的形态或地质环境划分为一些亚类。第三类包括少数几个无法划入上述两大类里的矿床。具体划分是: (1) 纯橄榄岩-橄榄岩类, 该类包括产于侵入的纯橄榄岩组合 (IDA) 中的矿床和产于火山橄榄岩组合 (VPA) 中的矿床; (2) 辉长岩类, 这种类型包括产于镁铁质-超镁铁质侵入杂岩 (GI), 大型层状侵入体 (G2) 和萨德伯里侵入体 (G3) 中的矿床; (3) 其它类型。

这个分类可以认为是 Marston (正在印刷中) 和 Marston 等人 (1981) 对西澳大利亚矿床所采用的分类的定形和发展。含 $\text{Ni} \geq 0.8\%$ 和含 $\text{Ni} < 0.8\%$ 这两种品位范畴的原始资源的 75% 以上被归入辉长岩类这一大类里 (见图 4 和表 1 的 B 栏), 而其它类型所占的比例不到 1%。辉长岩类这一大类中含 $\text{Ni} \geq 0.8\%$ 的原始资源在镁铁质-超镁铁质侵入杂岩 (占 37.7%) 和萨德伯里侵入体 (占 39.4%) 中差不多各占一半。纯橄榄岩-橄榄岩这一大类中的矿床占 22.8% (其中纯橄榄岩侵入体中的矿床占 14.6%, 火山橄榄岩中的矿床占 8.2%)。如果不考虑独特的萨德伯里矿床, 那么辉长岩类中的镁铁质-超镁铁质侵入杂岩矿床就占原始资源的 62%, 而纯橄榄岩-橄榄岩这一大类中的矿床则占 37.5%。含 $\text{Ni} < 0.8\%$ 的矿石的原始资源主要是辉长岩类的大型层状侵入体中的矿床 (占 78%)。其余资源的大部分是产在侵入的纯橄榄岩组合 (占 15.2%) 和辉长岩类中的镁铁质-超镁铁质侵入杂岩 (占 5.4

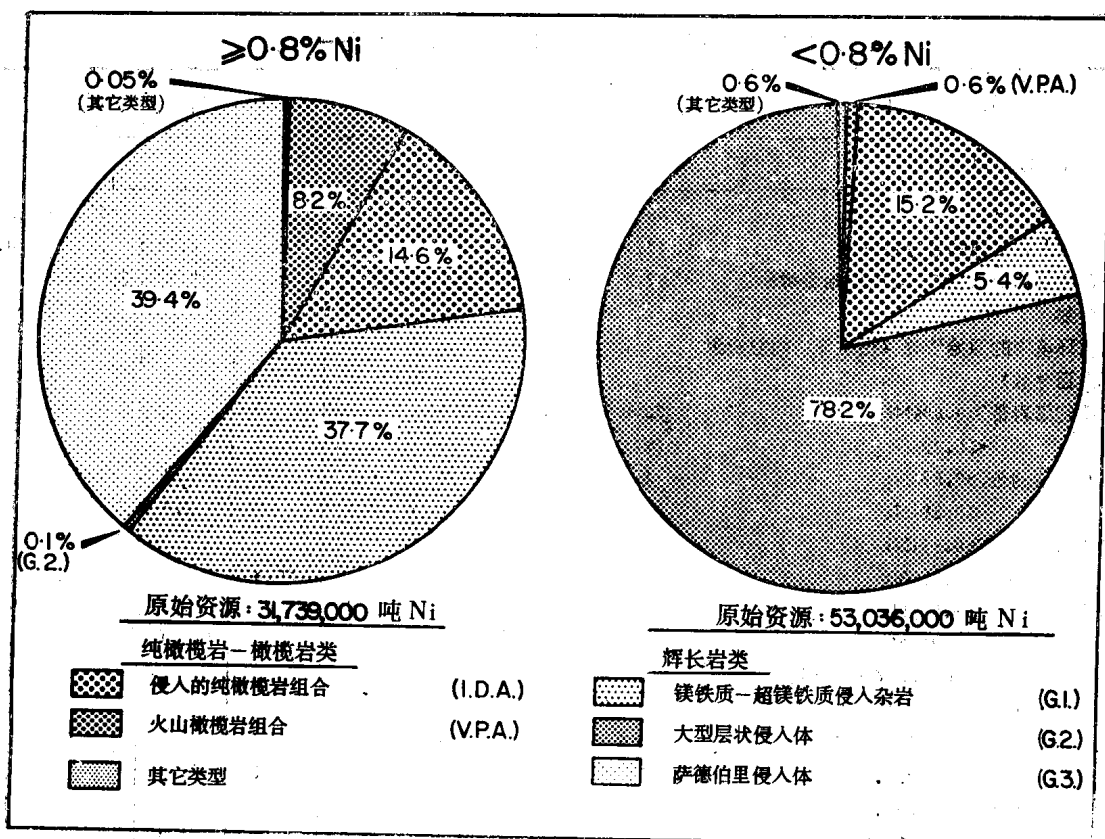


图 4 含Ni $\geq$ 0.8%和含Ni $<$ 0.8%的矿石中不同矿床类型硫化镍的原始资源在世界总资源中所占的比例

%) 这两种类型的矿床里。当将这两种品位的资源合并在一起时 (见表1), 则辉长岩类这一大类就占大约81% (其中大型层状侵入体矿床占49%), 而纯橄榄岩—橄榄岩这一大约占18.5% (其中与侵入的纯橄榄岩有关的矿床占15%)。

纯橄榄岩—橄榄岩类

纯橄榄岩—橄榄岩类里的矿床和那些“与科马提岩套有关的矿床”这一类里的矿床相当, 这一类型是国际地质对比计划第161号所提出的分类方案里的同火山矿床组的一个亚类 (Naldrett, 1979)。大部分矿床是产在太古代绿岩带里, 并且是与通常被认为是科马提岩套组成部分的岩石有关 (Arndt和Brooks, 1980)。侵入的纯橄榄岩组合与火山橄榄岩组合之间的区别主要在于容矿岩石的体积、容矿岩石中非挥发性MgO的含量以及紧接矿床的围岩里是否存在喷出的超镁铁质岩石。主要地质特征在本期的其它文章中 (例如, Marston等人在本期新发表的题为“西澳大利亚的硫化镍矿床”一篇述评中) 已有详细论述, 而下面的论述只是着重于不太肯定组合的那些矿床的分类。

侵入的纯橄榄岩组合: 这些矿床产在蛇纹石化纯

橄榄岩的巨大侵入体里, 在这种侵入体里, 硫化物或者在岩体内部呈低品位浸染体产出, 或者在靠近接触带处呈高品位富集体 (局部地段可以是块状矿石) 产出。容矿岩石可以厚达1,000米, 通常呈弯曲的岩体以及在构造上被肢解了的不连续岩块产在太古代绿岩带范围内的曲线形地带里。Ni/Cu比值较高, 一般为15:1到30:1, 容矿超镁铁质岩石的MgO含量 (指非挥发性MgO) 通常超过45%。

这种类型包括20个矿床 (其中Thompson, Birch-tree, pipe和Soab矿床作单独考虑), 其中西澳大利亚 (大部分是产在Leonora-Wiluna带和Forrestania带里; Marston等人, 1981) 和加拿大 (主要是产在安大略省的Dumont和马尼托巴省的Thompson-Wabowden活动带里) 各占一半。将马尼托巴省的矿床包括在内是建立在下列观察的基础之上, 即矿石和容矿岩石具有许多在遭受过多期高级变质作用和构造活化的纯橄榄岩—橄榄岩类的矿床里所能见到的特征。Peredery (1979) 已证实在马尼托巴省的Thompson-Wabowden带里存在着科马提质火山岩, 但是还没有资料能够说明这些岩石与硫化物有着密切的共生关系。然而, 存在着找到新的证迹的广阔前景, 并且马尼托巴镍矿带

表 1 按地理区和矿床类型表示的硫化镍资源数据一览表

项 目	澳大利亚	加拿大	南非	北欧	美国	苏联	中国	其它
A. 按地理区								
矿床数目	56	32 ¹	17	20	10	7 ²	1 ³	2
原始资源 (占总资源的百分数)	10.1	23.6	35.4	0.6	16.2	6.9 ⁴	7.1	0.1
该区内含Ni $\geq 0.8\%$ 的矿石里的原始资源所占的百分数	42.3	81.8	3.1	6.0	0.7	79.9 ⁵	100.0 ⁶	
不同地质环境中的原始资源 (指该环境内总资源中所占百分数)								
前寒武纪绿岩带 $\geq 0.8\%Ni$	72.2	17.6	10.2					
$< 0.8\%Ni$	72.1	21.4	6.5					
前寒武纪活动带 $\geq 0.8\%Ni$	1.1	31.8	4.7	0.3		3.8	58.3	
$< 0.8\%Ni$	9.8	62.6	2.7	15.1		9.8		
稳定地台 $\geq 0.8\%Ni$		100						
$< 0.8\%Ni$		0.3	68.9		30.8			
显生宙褶皱带 $\geq 0.8\%Ni$		0.7		0.1		99.2		
$< 0.8\%Ni$						100.0		
不同地质时期内的原始资源 (指该时期及不同品位在总资源中所占百分数)								
> 2.400 百万年前 $\geq 0.8\%Ni$	44.5	43.7	11.8					
$< 0.8\%Ni$	33.1	23.4	40.9		2.5			
$2,400$ 至 $1,800$ 百万年前 $\geq 0.8\%Ni$	0.5	68.5				1.9	29.0	
$< 0.8\%Ni$			97.1	1.5		1.4		
$1,200$ 至 600 百万年前 $\geq 0.8\%Ni$				100				
$< 0.8\%Ni$		1.1			98.9			
< 600 百万年前 $\geq 0.8\%Ni$		0.8				99.2		
$< 0.8\%Ni$				14.6		85.4		
查明资源在各地地理区里所占的百分数	11.0	16.0	40.2	0.6	18.7	5.3	8.1	
该地理区里含Ni $\geq 0.8\%$ 的矿石里的查明资源所占的百分数	38.3	69.0	1.6	2.5	0.7	92.3 ⁵	100.0 ⁶	
B. 按矿床类型								
	IDA	VPA	G1	G2	G3	其它	所有矿床	除萨德伯里外的所有矿床
矿床数目	17	59	54	8	1	3	142 ⁷	
原始资源 (在总资源中所占的百分数)	12.7	3.4	17.5	49.1	14.8	0.4		
该矿床类型里含Ni $\geq 0.8\%$ 的矿石里的原始资源所占的百分数	36.4	88.4	80.9	0.1	100	4.9	37.4	
不同地质环境里的原始资源 (指该矿床类型的这一品位在总资源中所占的百分数)								
前寒武纪绿岩带 $\geq 0.8\%Ni$	100	100	3.1	100			15.7	26.3
$< 0.8\%Ni$	100	100	4.2				12.3	42.3
前寒武纪活动带 $\geq 0.8\%Ni$			58.7				30.1	50.5
$< 0.8\%Ni$			51.6				6.5	6.5
稳定地台 $\geq 0.8\%Ni$					100		40.3	
显生宙褶皱带 $\geq 0.8\%Ni$			38.2				79.6	79.6
$< 0.8\%Ni$			44.2				15.9	23.2
							1.6	1.6

续表

项 目	澳大利亚	加拿大	南非	北欧	美国	苏联	中国	其它
不同地质时期里的原始资源 (指该矿床类型的这一品位在总资源中所占的百分数)								
>2400百万年前 $\geq 0.8\% \text{Ni}$	100	85.5	9.2	100			25.5	42.8
<0.8%Ni	100	100	11.0	14.4			28.6	28.6
2,400至1,800百万年前 $\geq 0.8\% \text{Ni}$		14.5	52.6		100		60.6	34.0
<0.8%Ni			36.2	55.4			45.5	45.5
1,200至600百万年前 $\geq 0.8\% \text{Ni}$			0.05				0.02	0.03
<0.8%Ni			1.0	30.2			24.1	24.1
<600百万年前 $\geq 0.8\% \text{Ni}$			38.2				13.9	23.2
<0.8%Ni			51.8				1.8	1.8
查明资源 (在总资源中所占的百分数)	16.1	2.8	16.7	38.3	7.7	0.4		
该矿床类型里含 $\text{Ni} \geq 0.8\%$ 的矿石里的查明资源所占百分数	31.0	82.0	84.2	0.1	100	4.9	29.0	

1. 不包括 Thompson 地区的某些矿床。

缩写词: IDA = 侵入的纯橄岩组合;

2. 还包括其它矿床, 但它们的资源无法估计出来。

VPA = 火山橄辉岩组合;

3. 这里只能得到金川矿床的资料。

G1 = 辉长岩类镁铁质—超镁铁质侵入杂岩;

4. 因为缺乏含 $\text{Ni} < 0.8\%$ 的矿床的资料, 故这种估计偏低。

G2 = 辉长岩类大型层状侵入体;

5. 无疑有些偏高。见注解4。

G3 = 萨德伯里侵入体。

6. 除金川地区外, 在含 $\text{Ni} \geq 0.8\%$ 的矿石中估计还有60万吨的Ni资源。

7. 这里的总数比A栏少了三个, 因为有三个矿床由于资料不足而未能归类。

表 2 不同矿床类型的硫化镍原始资源的地理分布

地理区	辉长岩类			纯橄岩—橄辉岩类		其它类型	总计
	G1	G2	G3	VPA	IDA		
A. $\geq 0.8\% \text{ Ni (t Ni} \times 10^3)$							
加拿大	368.64	42.84	12,502.61	714.44	2,741.0		16,369.52
北欧	32.74						32.74
苏联	4,628.50						4,628.50
中华人民共和国	6,050.0 ¹						6,050.0
澳大利亚	111.50			1,617	1,885	16	3,629.50
美国	93.54 ²						93.54
南非	680			255			935
总计	11,964.92	42.84	12,502.61	2,586.44	4,626.0	16	31,738.80
B. $< 0.8\% \text{ Ni (t Ni} \times 10^3)$							
加拿大	33.53	132.0			3,465.0		3,630.53
北欧	511.01						511.01
苏联	1,162.8						1,162.8
澳大利亚	20				4,615	310	4,945
美国	847.7 ³	12,758.07					13,605.77
缅甸	75.0						75.0
南非	168	28,600		338.0			29,106
总计	2,818.05	41,490.07		338.0	8,080.0	310	53,036.12

1. 这里假定除了金川之外的那部分资源 (即600,000吨Ni) 也是 产在G1中的含Ni $\geq 0.8\%$ 的矿石里。

2. 这里假定所有资源都是产在G1里。

3. 这里还包括了被假定是产在G1里的52,000吨Ni。

缩写词见表1。

表 3 不同地质环境、矿床类型和地理区硫化镍原始资源的分布

矿床类型	前寒武纪绿岩带	前寒武纪活动带	稳定地台	显生宙褶皱带	总计
A. 按矿床类型 : $\geq 0.8\% \text{ Ni (t Ni} \times 10^3)$					
IDA	1,885	2,741			4,626
VPA	2,586.44				2,586.44
G1	355.67	6,614.54		4,301.19	11,271.40 ¹
G2	42.84				42.84
萨德伯里			12,502.6		12,502.6
其它类型	16				16
总计	4,885.94	9,355.54	12,502.6	4,301.19	31,045.27
<0.8% Ni (t Ni $\times 10^3$)					
IDA	5,980	2,100			8,080
VPA	338				338
G1	79	971.11		831.4	1,881.51 ¹
G2			41,490.07		41,490
其它类型		310			310
总计	6,397	3,381.11	41,490.07	831.4	52,099.58
B. 按地理区 : $\geq 0.8\% \text{ Ni (t Ni} \times 10^3)$					
澳大利亚	3,529.5	100			3,629.5
加拿大	859.44	2,978.8	12,502.6	28.69	16,369.52
南非	497	438			935
中华人民共和国		5,450			5,450 ¹
苏联		360		4,268.5	4,628.5
北欧		28.74		4	32.74
总计	4,885.94	9,355.54	12,502.6	4,301.19	31,045.27
<0.8% Ni (t Ni $\times 10^3$)					
澳大利亚	4,615	330			4,945
加拿大	1,369	2,115.7	132		3,616.7 ¹
南非	413	93	28,600		29,106
苏联		331.4		831.4	1,162.8
北欧		511.01			511.01
美国			12,758.07		12,758.07
总计	6,397	3,381.11	41,490.07	831.4	52,099.58

一与表2相比, 这里总值偏低反映出没有将下列资源包括进去: 中华人民共和国其它地区的600,000吨Ni, 除了Duluth和Stillwater之外美国的所有资源, 缅甸的75,000吨Ni, 及加拿大(Renzy)的大约14,000吨Ni; 未计入其内的这部分资源是包含在由于资料不足而无法对其进行分类的那些矿床里。

缩写词参见表1。

里的某些资源最终有可能会被重新归入与火山橄榄岩有关的矿床。

火山橄榄岩组合: 这种类型包括了西澳大利亚的一些典型矿床, 在这些矿床里, 块状和浸染状硫化物的薄层产在厚度通常小于100米的橄榄岩蚀变岩流的底部。这些岩流通常产在太古代绿岩带里的超镁铁质火山岩层的底部或底部附近 (Marston等人, 1981)。该类型还包括产在这些超基性岩层里的贯层橄榄岩内部或与该橄榄岩紧密伴生的几个矿床。贯层橄榄岩 (transgressive peridotites) 被解释为火山颈或火山

口, 例如在 Langmuir2 号 (Green和Naldrett, 1981) 和津巴布韦 (Williams, 1979) 所见。Ni/Cu 比值通常为 10:1 到 16:1, 但也可变化到 27:1 (如在 Longmuir) 或下降到 3:1 左右。这次研究包括了 59 个矿床, 其中有澳大利亚 39 个, 加拿大 13 个, 津巴布韦 7 个。除了 Ungava 地区产于 Cape Smith-Wakeham 湾褶皱带的元古代绿岩里的 4 个矿床外, 所有矿床都只限于太古代绿岩带里。这 4 个矿床产在与包含有科马提质超镁铁质岩石在内的火山岩层紧密伴生的橄榄岩侵入体里 (Arndt等人, 1979; Schwarz和Fujiwara, 1977)。它

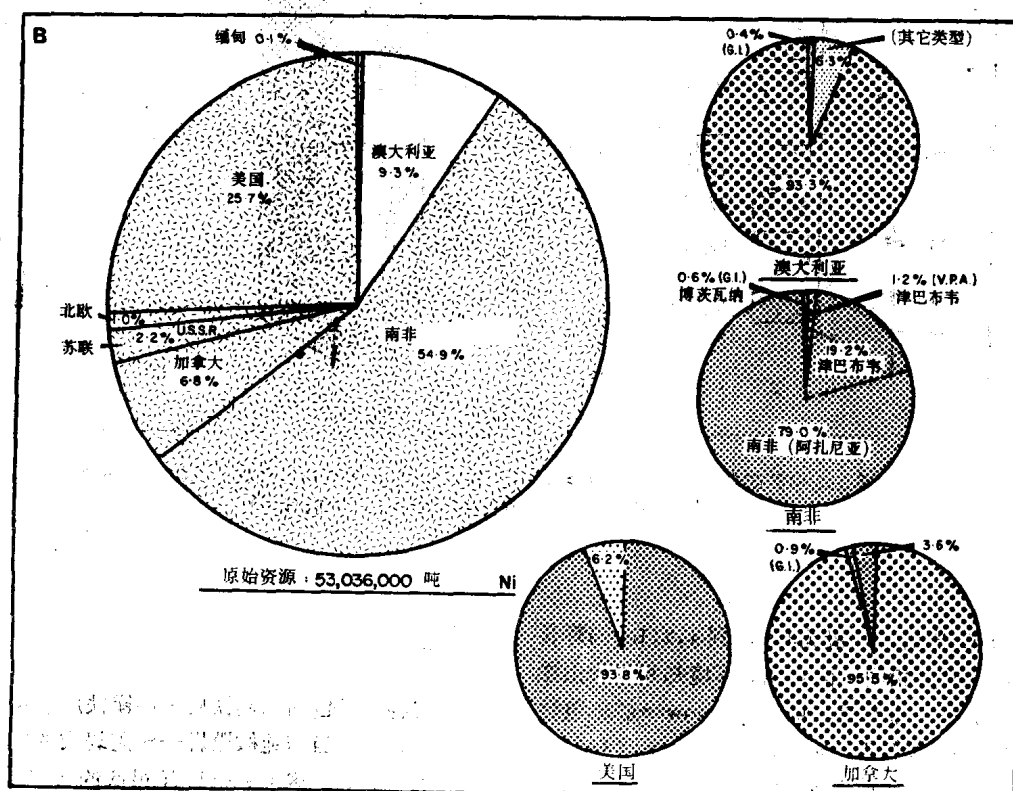
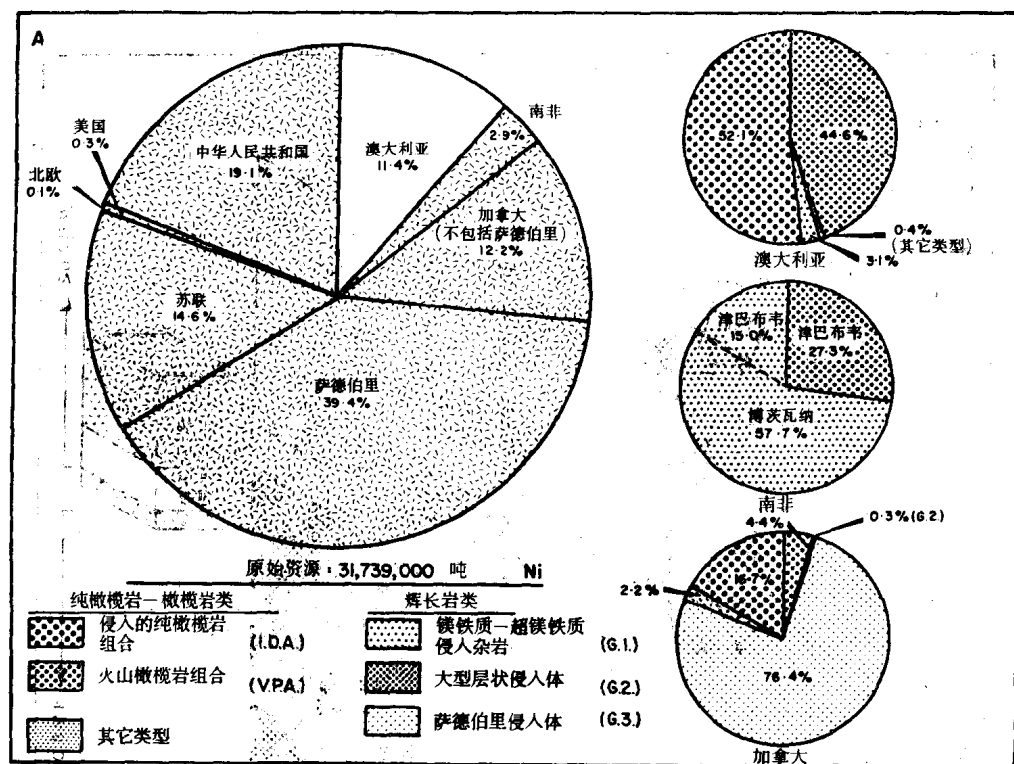


图 5

A. 含 $Ni \geq 0.8\%$ 的矿石中硫化镍原始资源的地理分布及按矿床类型表示的澳大利亚、南非和加拿大资源分布的详细情况。矿床类型的补充说明列于表 2

B. 含 $Ni < 0.8\%$ 的矿石中硫化镍原始资源的地理分布及按矿床类型表示的澳大利亚、南非、加拿大和美国资源分布的详细情况。矿床类型的补充说明列于表 2

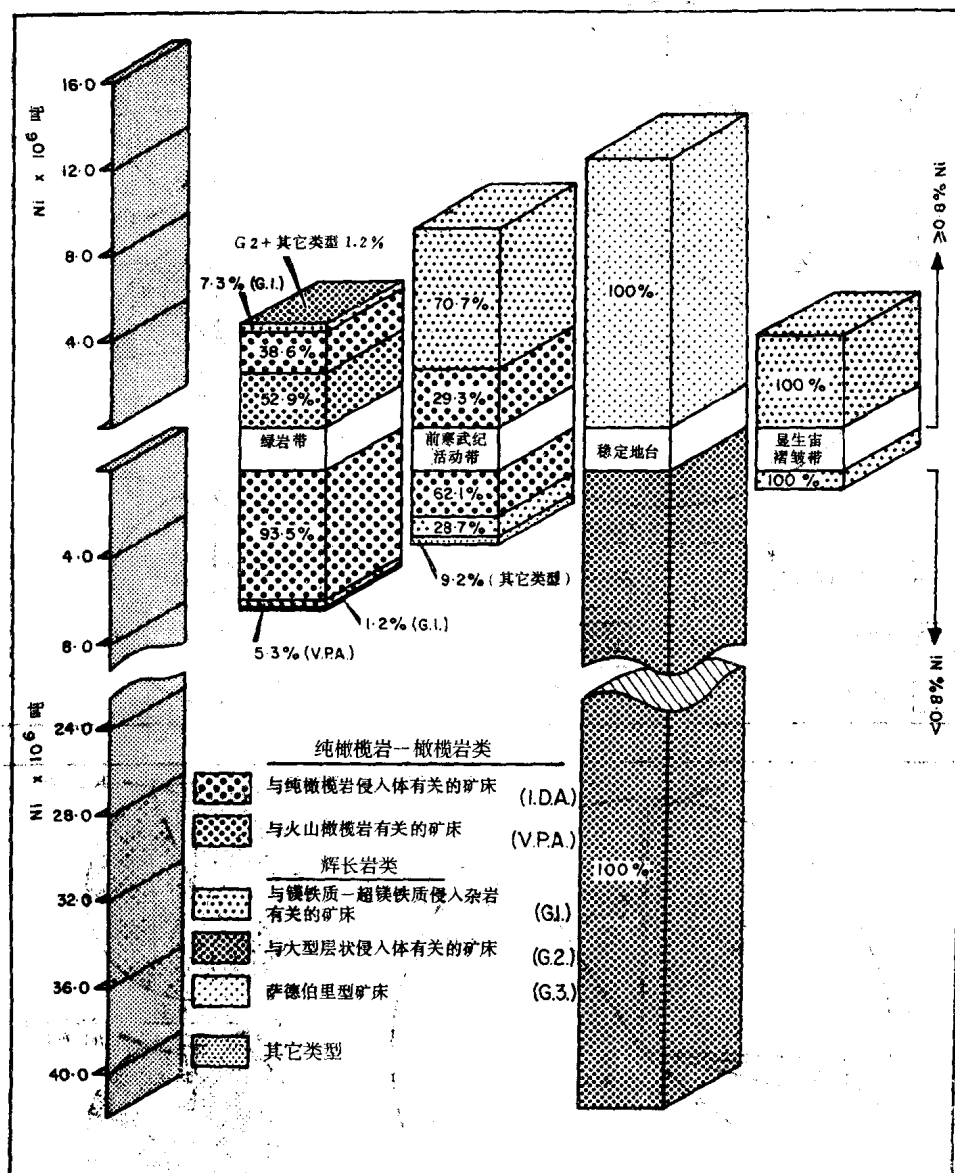


图 6 按地质环境和矿床类型表示的含 $Ni \geq 0.8\%$ 和含 $Ni < 0.8\%$ 的矿石里硫化镍原始资源的分布 (图中的显生宙褶皱带原文为古生代褶皱带, 可能有误)

们较低的 Ni/Cu 比值, 一般为 3.4:1 到 4.2:1, 与辉长岩类里的某些矿床相同, 但其地质环境却和与火山橄辉岩有关的矿床极为类似。将 Shebandowan 矿床包括进去就带来了某些疑问, 但是, J. R. Ross (1973) 观察到的特征却与和构造火山橄辉岩有关的矿床一致。Ungava 地区的矿床和 Shebandowan 矿床构成了与火山橄辉岩有关的矿床里含 $Ni \geq 0.8\%$ 的原始资源的 19%, 而且由于将它们包括了进去, 就在这个类型的的数据里掺入了额外的不定因素。

辉长岩类

这种类型包括与镁铁质—超镁铁床侵入杂岩有关的所有矿床。当与纯橄岩—橄辉岩类的典型矿床对比时则可见到, 这类矿床具有很低的 Ni/Cu 比 (通常 $< 3:1$, 很少 $> 5:1$), 铂族元素的含量很高 (Naldrett 等人, 1979), 并且 Ni/Co 比值较低。这些差别大致反映了与不混溶硫化物熔体共存的原 始熔体的 MgO 含量 (例如, Rajamani 和 Naldrett, 1978); 然