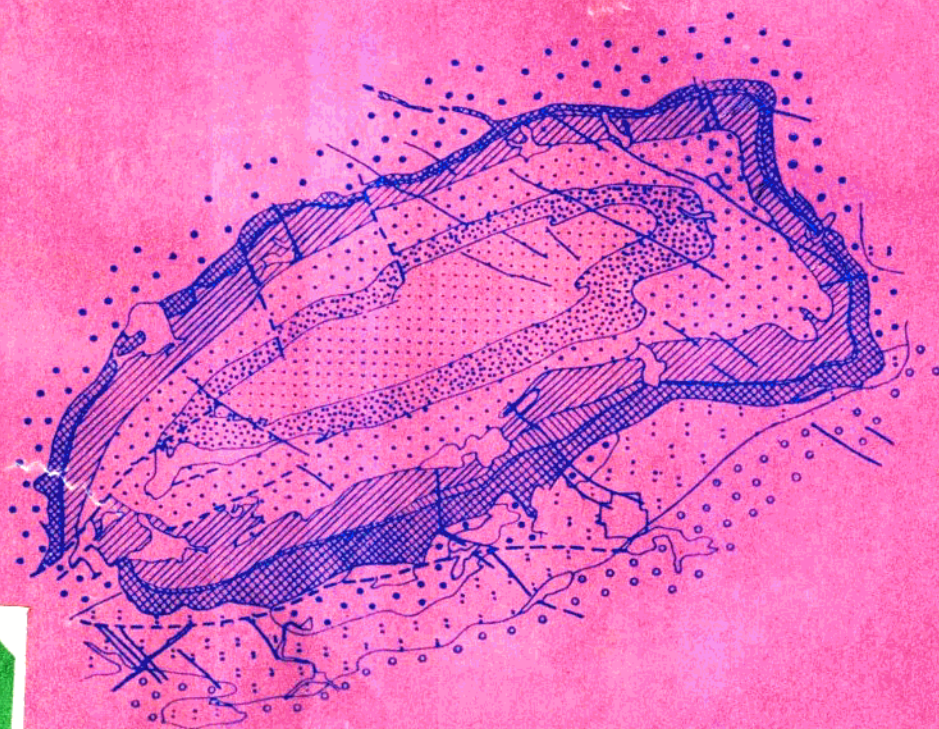


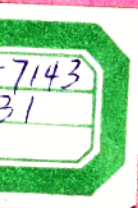
国外矿床地质丛书

镍矿床

陈浩疏 吴水波 傅德彬 编著
钟宝兴 傅泰治



地质出版社



国外矿床地质丛书

镍 矿 床

陈浩疏 吴水波 傅德彬 编著
钟宝兴 傅泰治

地质出版社

(京)新登字 085 号

内 容 提 要

本书根据大量国外有关岩浆硫化镍矿床和红土型镍矿床的实际资料,对镍矿的地理分布、成矿时代、成矿地质构造条件、矿床类型、矿床地质特征、成矿作用等方面进行了全球性的综合论述。书中还分别以亚洲、欧洲、南、北美洲、非洲和大洋洲为独立单元,对各洲内各成矿区(带)的地质环境及其中具代表性的大(中)型镍矿床的地质特征、成矿作用与矿床成因等进行了综合描述。全书共介绍大(中)型硫化镍矿床 21 个,红土型镍矿床 13 个,其中有些是世界上著名的镍矿床。

本书可供从事地质矿产工作的生产、科研人员,以及地质院校的师生们参考。

国外矿床地质丛书

镍 矿 床

陈浩璇 吴水波 傅德彬 编 著
钟宝兴 傅泰治

责任编辑:沈文彬

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路 29 号)

新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 12.875 插页: 2 页 字数: 303000

1993 年 5 月北京第一版·1993 年 5 月北京第一次印刷

印数: 1—410 册 国内定价: 8.75 元

ISBN 7-116-01211-7/P·1025

前 言

镍是重要的有色金属原料之一，在钢铁、军工、航天、机械制造、化学工业、通讯器材等方面，均有广泛的用途。因此，金属镍是国民经济发展不可缺少的一种战略资源。

镍矿床的成矿作用虽然有多种，但具有经济意义的主要是硫化物型和红土型镍矿床。前者可有两种类型：（1）纯橄榄岩—橄榄岩型镍矿床，包括主要与太古代科马提质岩石有关的镍矿床，并可进一步划分为侵入橄榄岩组合中的矿床与火山橄榄岩组合中的矿床；

（2）辉长岩型镍矿床，根据容矿岩石的性质可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中的矿床。至于红土型镍矿床，由于风化作用条件的差异，可以形成以褐铁矿为主的红土型镍矿床和以硅酸镍为主的红土型镍矿床。应当指出，红土型镍矿床虽然产出范围广，储量大，易开采，在世界镍资源量中占有重要地位，但由于其冶炼技术复杂，耗能大，因而目前仍未得到充分开采利用。然而，毋庸置疑，随着冶炼技术的不断提高与改进，这类矿床将是金属镍的巨大潜在来源，因而不容忽视。

书中，根据大量国内外资料对有关镍矿的时代、分布、成矿地质构造环境、矿床类型以及成矿作用等方面，分别以洲及其成矿区（带）为单位，对有代表性的大（中）型硫化镍矿床（21个），红土型镍矿床（13个）进行了论述。关于矿床成因，成矿规律等方面注意结合了原作者的意见加以论述。

本书的编写采取了集体讨论，分工执笔的方式。前言由陈浩疏执笔；第一章概论，由吴水波编写；第二章亚洲镍矿床，由傅德彬编写；第三章欧洲镍矿床，由钟宝兴编写；第四章南、北美洲镍矿床、第五章非洲镍矿床由傅泰治编写，并分别经吴水波、钟宝兴补充与修改。第六章大洋洲镍矿床，由吴水波编写。全书由陈浩疏审改、定稿。钟宝兴对全书的编排进行了技术处理，傅德彬承担了书稿的出版联系事宜，傅德彬、钟宝兴与傅泰治还承担了国外镍矿文献的微机检索工作。在本书编写中得到了各方面的大力协助，图件清绘绝大部分由吉林省地质科学研究所绘图室高湘清、于瑞杰、徐承铨、姜珊承担，《吉林地质》编辑部关立荣清绘了部分图件，李月琪、王殿祥帮助清抄了部分文稿，特此一并致谢。

本书的编写与出版也得到了吉林省地质科学研究所领导和吉林省地质矿产局科技处的大力支持，特此致以衷心的感谢。

编著者 于长春

1991.12

目 录

第一章 概 论	1
引 言	1
一、国外镍矿资源概况	3
二、镍矿床类型	7
三、镍矿床的成矿地质时代	16
四、国外镍矿成矿区	17
第二章 亚洲镍矿床	22
一、概 述	22
二、成矿区及其特征	25
三、诺里尔斯克铜镍矿床	26
四、塔尔纳赫与“十月”镍矿床	38
五、诺里尔斯克—塔尔纳赫矿田铜镍矿床的成矿作用与成因模式	41
六、北滨贝加尔成矿区的镍矿床	43
七、红土型镍矿床	50
第三章 欧洲镍矿床	58
一、概 述	58
二、成矿时代	58
三、矿带的划分	60
四、贝辰加铜镍矿田	64
五、芒切哥尔斯克铜镍矿床	73
六、科塔拉赫蒂铜镍矿床	78
七、瓦马拉镍矿床	85
八、布鲁万镍矿床	90
九、东南欧镍矿床	93
第四章 美洲镍矿床	96
第一节 北美镍矿床	96
一、概 述	96
二、成矿时代	98
三、矿床类型	99
四、成矿区(带)的划分	99
五、萨德伯里铜镍矿田	101
六、汤普森镍矿带	112
七、林恩湖镍矿带	116
八、德鲁斯杂岩体内的铜镍矿床	119
第二节 中、南美洲镍矿床	123
一、概 述	123
二、古巴镍矿床	125

三、巴西镍矿床	127
第五章 非洲镍矿床	133
一、概 述	133
二、成矿时代	133
三、矿床类型	134
四、布什维尔德镍矿田	136
五、塞莱比-皮奎铜镍矿田	142
六、特罗津镍矿床	147
七、因西兹瓦镍矿床	151
八、穆桑加堤镍矿床	154
第六章 大洋洲镍矿床	157
第一节 概 述	157
一、矿床分布概况	157
二、成矿时代	157
三、成矿区(带)的划分	158
第二节 西澳大利亚硫化镍矿成矿带	158
一、地质背景	158
二、矿床类型	160
三、卡姆巴尔达镍矿床	162
四、福利斯坦尼亚镍矿床	170
五、珀西维尔兰斯镍矿床	176
六、谢洛克湾镍-铜矿床	181
第三节 澳大利亚—新喀里多尼亚红土型镍矿成矿区	186
一、地质背景	186
二、红土型镍矿床的分类	186
三、新喀里多尼亚镍矿床	187
四、格林维尔镍矿床	189
主要参考文献	195

第一章 概 论

引 言

镍是一种有色金属，银白色，比重 8.8—8.9，硬度 5，熔点 1452℃，沸点 3075℃，延伸率 25—45%，导电率 12.9，具有良好的机械强度和延展性，难熔、抗侵蚀、不易氧化等特性。因此，在工业上有广泛的用途。镍金属主要用于制造不锈钢、高镍合金钢和合金结构钢，被广泛用于飞机、导弹、宇宙飞船、坦克、车辆、轮船等机械制造业。镍还可作陶瓷颜料和防腐镀层，在电子工业、化学工业方面应用也极为广泛。目前，镍金属已成为工业上不可缺少的重要原料。

镍的开发利用已有 2000 多年的历史。早在公元前 200 年，俄国巴特里王朝就开始用镍合金模压金币。但是，广泛的开采利用是在工业革命之后。在 18 世纪，镍矿产地主要集中于挪威南部和波罗的海周围的一些硫化镍矿床。直到 19 世纪，世界镍金属主要还都来自挪威南部^[6]。

1864 年法国在新喀里多尼亚发现了大量的红土型镍矿。1875 年以后，开始从红土中提取镍，为人类的镍生产翻开了新的一页。该类镍矿床储量大，埋藏浅，易于开采。因此，引起人们普遍重视。之后不久，在一些近赤道及低纬度的国家和地区，如古巴、巴西、印度尼西亚、菲律宾、希腊、非洲象牙海岸等，相继发现了很多大矿床，世界镍矿资源量为之大增。红土型镍矿成为镍资源中最主要的类型。但由于该类矿石冶炼技术复杂，产量一直不及硫化镍矿床。

1883 年在加拿大发现了萨德伯里镍矿，这对世界镍矿的开发利用起了很大的推进作用。从 1900 年到现在，它一直是世界镍矿最大的产地。

20 世纪上半叶，前苏联相继在科拉半岛及西伯利亚诺里尔斯克地区找到了重要的硫化镍矿，并迅速进行了勘探和开采，使前苏联一跃而成为镍资源和镍生产大国。

20 世纪 50 年代以前，拥有重要镍矿山生产的国家只有加拿大，前苏联和新喀里多尼亚（法）3 个国家或地区。50 年代以后，世界范围的镍生产发展很快，最重要的事件是澳大利亚耶尔岗地块太古代科马提型硫化镍矿的发现；中国金川、红旗岭镍矿的发现；以及前苏联诺里尔斯克地区一些新的硫化镍富矿体的发现等。此外，由于冶炼技术的进步，一些含有贵金属的低品位镍矿石也引起了人们的兴趣。诸如南非的布什维尔德，加拿大的萨德伯里、汤普逊、阿比提比，美国的德卢斯等矿床都被重新评价，得到开发利用。因此，硫化镍的经济储量和产量又有大幅度的增长。这些事件大大改变了世界镍生产的布局（图 1—1）。

近年来，世界上经济上可采的镍资源量近 1 亿吨（表 1—1 中的 R1E）^[18]。拥有重要镍矿山生产的国家和地区增加到 25 个，产镍公司达到 44 家。1982 年全世界主要镍矿山产量约 63 万 t。其中产量最多的七个国家和地区为前苏联（17 万 t）、加拿大（8.9 万 t）、澳

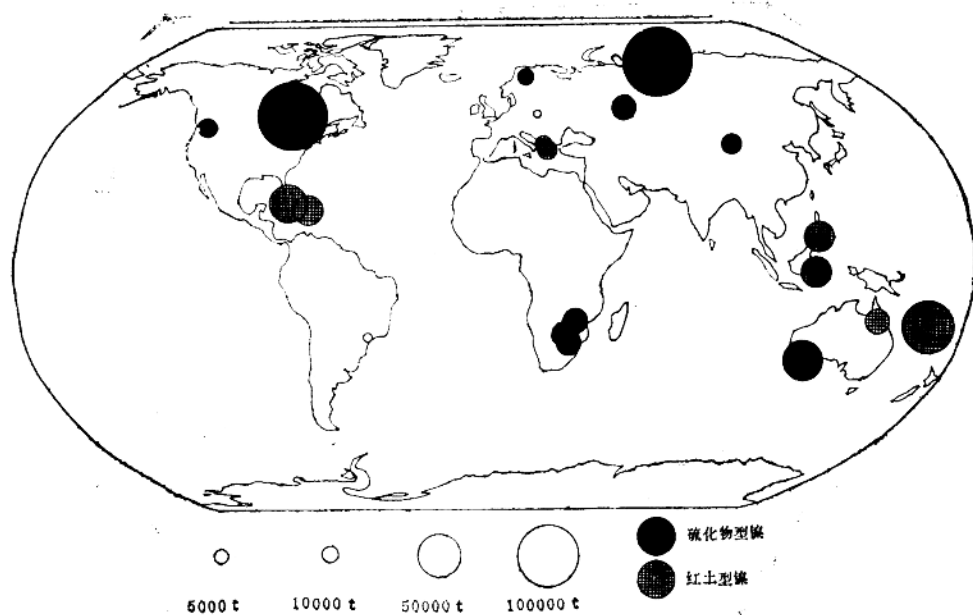


图 1—1 1979 年全世界硫化物型镍和红土型镍矿山产量分布情况
(据 J. R. Ross 和 G. A. Travis, 1981)

表 1—1 世界镍矿资源及累积产量⁽¹⁾

单位: Mt

矿床地质类型	统计数目	资 源 种 类		累积产量
		R1E	其余的R1和R2	
红土型镍矿	52(43)	39.9(72)	16.1(61)	4.97(35)
岩浆硫化物镍矿	69(57)	27.4(28)	10.4(39)	9.40(65)
合 计	121(100)	97.4(100)	26.5(100)	14.4(100)

注: 1. R1E 为经过可靠计算经济上可采的已知矿床的资源量; 2. 其他的 R1 和 R2, 包括已知矿床的次经济意义的资源, 已知矿床外延和新发现的矿床经初步计算的可采资源及次经济意义的资源量的总和; 3. 本统计数字不包括推测的未发现资源(潜在资源); 4. 括号内数字为矿床数、资源量、累积产量占相应科目数的百分数。

大利亚 (8.9 万 t)、新喀里多尼亚 (6 万 t)、印度尼西亚 (5.5 万 t)、古巴 (3.8 万 t) 和南非 (2.2 万 t)。这七个国家的产量占世界镍总产量的 80% 以上 (表 1—2)。

前苏联的镍产量从 50 年代以来稳步增长, 目前已成为世界上最大的镍生产国。从其硫化镍资源量判断, 在一定时期内, 它将继续保持领先地位。

加拿大从 40 年代以后, 镍产量逐年下降。70 年代以后已退居第二位。但国内很多镍公司正积极开发新的镍矿产地, 充分利用贫镍矿石, 因此, 其生产潜力仍然相当大。

澳大利亚镍矿的生产开始于 1967 年, 到 1970 年就成为世界第三大的镍生产国, 产量有继续增长的趋势。

从发展趋势看, 产镍的国家愈来愈多, 特别是一些发展中的国家, 如中国、东南亚各

表 1—2 世界各国镍矿储量⁽¹⁷⁾累积产量及年产量⁽¹⁸⁾

单位: 万t

国家或地区	经济储量	基本储量	累积产量	年产量
			(1875—1982)	(1982)
加拿大	726	1342	870(1)	8.9(2)
前苏联	662	735	330(2)	17(1)
新喀里多尼亚	181	1542	250(3)	6(4)
澳大利亚	209	481	84(4)	8.9(3)
古巴	1814	2268	84(5)	3.8(6)
印度尼西亚	390	520	39(6)	5.3(5)
美国	27	254	35(7)	0.29(18)
南非	254	263	34(8)	2.2(7)
希腊	236	254	27(9)	1.5(10)
菲律宾	181	463	23(10)	2.1(8)
多米尼亚	73	99	23(11)	0.6(17)
津巴布韦	18	172	18(12)	1.3(11)
博茨瓦纳	41	45	14(13)	1.8(9)
布隆迪	—	118	—	—
中国	500	—	13(14)	1.1(13)
芬兰	4	5	12(15)	0.62(15)
巴西	82	462	6.4(16)	0.7(14)
巴布亚新几内亚	—	127	—	—
阿尔巴尼亚	—	—	5.2(17)	0.58(16)
前南斯拉夫	—	—	1.9(18)	1.2(12)
危地马拉	—	81	1.5(19)	—
哥伦比亚	59	63	0.1(20)	0.1(19)
印度	—	54	—	—
其他	272	650	—	—

括号内的数字为产量的名次。

国和非洲南部诸国, 镍的产量将会有较大幅度的增长。

尽管世界镍资源中红土型镍矿占三分之二以上, 而硫化镍占不到三分之一, 但在镍产量中却有三分之二来自硫化镍, 红土矿仅占三分之一, 说明硫化镍是镍的主要来源。自 20 世纪以来, 红土型镍矿的产量占镍产量的比例已逐渐增加。但近期, 由于前苏联及澳大利亚硫化镍产量增长幅度较大, 加上红土矿冶炼耗能多, 成本较高, 因此, 上述的生产比例可能还会持续一个时期, 世界镍生产的重心还不可能很快向红土型镍矿转移。拥有硫化镍资源的大国, 如前苏联、加拿大、澳大利亚, 在世界镍生产上将继续起主导作用。

一、国外镍矿资源概况

世界镍矿资源比较丰富, 但其分布不均衡, 主要集中于加拿大、前苏联、澳大利亚、新喀里多尼亚、古巴、印度尼西亚、菲律宾、中国和南非等国家。美国及北欧诸国也有少量分布。其他的如西欧、西亚、南美洲、北非诸国都属贫镍国家和地区 (图 1—2)。

目前全世界已探明镍储量约 12390 万 t (表 1—1)。其中硫化镍矿约 3780 万 t, 占镍总资源量 30.5%; 红土型镍矿约 8600 万 t, 占镍总资源量 69.5%。此外, 尚有大约 2240

万 t 的低品位硫化镍，和约 6160 万 t 的红土型镍矿的潜在资源。估计全世界镍的蕴藏量可达 2 亿 t 以上。另外，大洋底部的含镍锰结核估计有金属镍 6.9 亿 t。硫化镍储量最丰富的国家为加拿大、前苏联、中国、澳大利亚和南部非洲；红土型镍矿最丰富的为古巴、新喀里多尼亚、印度尼西亚及希腊。菲律宾的红土矿资源潜力相当可观，但大部分矿床尚未进行系统勘探及开采。

现将国外几个镍资源大国的镍矿分布概况介绍如下：

(一) 加拿大

加拿大已探明镍经济储量^① 726 万 t，绝大部分是硫化镍，加上潜在的低品位镍矿，总资源量约 1637 万 t^[17]。主要镍矿分布于安大略省的萨德贝里，曼尼托巴省的汤普逊及莱恩 (Lynn) 湖地区。近年来在阿比提比绿岩带陆续发现一些重要的硫化镍矿，成为当前加拿大镍矿区的重要产区之一。

萨德伯里地区是目前世界上最大的硫化镍产地，已发现的铜镍矿床达 50 余处，开采前总储量 1250 万 t。各矿床主要沿一大的椭圆形基性岩体边缘分布。岩体的长轴呈东北走向，长达 60 km，宽约 30 km，延深 3 km，呈岩盆状产出。岩相分异明显，自下而上为苏长岩、似伟晶状苏长岩和文象伟晶岩 (Micropegmatite)，并有分异的后期花岗岩和石英闪长岩侵入。硫化镍矿体主要赋存于苏长岩的下部，呈似层状或透镜体状。矿石有致密块状及浸染状。矿石含 Ni 0.7—2%、Cu 0.8—1.9%。还含有钴、金、银、硒、碲和铂族元素，这些都可回收综合利用。该地区现有矿山 20 余个，镍产量占加拿大总产量的 75%。目前开采的主要在 200—600 m 深的区段，估计岩盆深部资源潜力还相当可观^[13]。

汤普逊地区的镍矿主要与太古代绿岩带中超基性岩体有关。矿带长 5.5 km，已探明镍储量 150 万 t。镍矿有两种类型：一种为侵入的橄榄岩内呈浸染状或脉状产出的矿石；另一种为喷出的科马提岩中呈块状或浸染状矿石。该区矿石平均含 Ni 2.5%，部分角砾状或致密块状矿石镍平均含量可达 3%，是目前加拿大重要的镍矿产地之一。

莱恩湖、阿比提比地区的镍矿以低品位浸染状矿石为主，但资源量较大，也都是很有远景的地区。

(二) 前苏联

前苏联已探明镍经济储量 662 万 t。估计总资源量 900 万 t 以上。其中硫化镍约 720 万 t，仅次于加拿大，居世界第二位，集中分布于西伯利亚诺里尔斯克地区及科拉半岛贝辰加地区；红土型镍矿约 180 万 t，主要分布于乌拉尔中部及南部，北哈萨克斯坦也有少量分布。

诺里尔斯克地区是当前前苏联镍资源量及产量最大的地区。全区已发现大型硫化镍矿床 4 处。矿区位于西伯利亚地台西北边缘。矿床的生成与基性岩浆侵入有关。含矿岩体一般沿区域性大断裂成带状分布。主要含矿岩相为辉长岩、辉绿岩。围岩为泥盆纪—三叠纪的碳酸盐岩和砂泥质沉积岩。富矿体一般产于侵入体的底部。矿石含 Ni 0.5—1.5%，伴生铜、钴及铂族元素。

科拉半岛地区的镍矿均属硫化镍矿^[4]。已发现含矿岩体 20 余个。矿床赋存于前寒武纪的贝辰加岩系内。含镍的基性—超基性岩体一般呈整合状侵入于沉积变质的板岩、千枚岩

① 相当于工业储量。

与火山岩之间的接触带内。硫化物矿体主要产于岩体的边部或接触带附近强烈破碎的地段。含矿岩体分异较好，从下而上的岩序是：细粒边缘相→蛇纹岩→辉石岩→辉长岩，偶而见到更酸性的分异物。矿石类型以浸染状、角砾状为主。围岩千枚岩中也常见浸染状矿化。一般含Ni 0.7—1.0%。重要的矿床有贝辰加及芒切哥尔斯克镍矿床。

乌拉尔和北哈萨克斯坦地区大部分为红土型镍矿。红土型镍矿集中分布于奥尔斯克—哈利洛沃地区和北哈萨克斯坦阿克纠宾斯克州的穆戈德扎雷山北部；在中乌拉尔发列伊等地也见少量分布。该地区的红土型镍矿一般直接产于超基性岩（特别是蛇纹岩）风化壳之中，矿体露出或接近地表，多数可露天开采。矿石中镍含量较高（1.8—2.5%），钴的含量也较高，经常形成镍钴矿床。该区已发现红土型镍矿十余处，探明镍金属储量180万t，推测尚有次经济储量100万t以上。多数矿床均已投产，年产镍1万t以上，是前苏联重要的镍矿产地之一。

（三）澳大利亚

澳大利亚在本世纪60年代以前还是个贫镍的国家。1966年以来先后在西澳耶尔岗地块东部发现了50余处硫化镍矿床，其中卡姆巴尔达、阿格纽、凯瑟山等都成为世界著名的大镍矿。除硫化镍矿之外，在东部格林维尔地区红土型镍矿也相当丰富。目前澳大利亚已探明镍经济储量209万t，此外，尚有680万t以上的潜在资源，总资源量已迅速跃居世界前列，成为镍资源大国^[9]。

澳大利亚的硫化镍矿集中分布于西澳耶尔岗地块东部诺斯曼—维鲁纳一带。镍矿床沿太古代绿岩层序下部的镁铁质—超镁铁质火山岩系内呈带状分布。主要有三种矿床类型：（1）科马提质熔岩流底部的矿床，如卡姆巴尔达一带的矿床。硫化镍矿主要产于科马提岩单元的底部及底板的凹槽内。以富矿石为主，平均含Ni达3.28%，Ni/Cu=10—16，Ni/Co=40—65。（2）与绿岩带内纯橄榄岩侵入体有关的矿床。岩体多数呈岩床产出，矿化出现在岩体最厚地段的下部，以浸染状矿石为主，但矿床规模大，如阿格纽及福利斯坦尼亚地区的矿床。（3）与辉长岩类侵入体有关的矿床，如卡博依德矿床。镍矿化与杂岩体内超基性岩相有关，矿床规模小，在西澳不具重要经济意义。

除硫化镍矿之外，澳大利亚的红土型镍矿也很重要。主要分布于昆士兰的格林维尔和南澳的文吉利地区。估计全澳红土型镍矿的资源量达200万t以上。矿石中含镍较高，往往形成很有价值的红土型镍钴矿床。

（四）新喀里多尼亚

新喀里多尼亚已发现的镍矿床全部属红土型镍矿。探明的镍金属经济储量181万t，但潜在的资源量很大，估计达4540万t，占世界镍资源总量近四分之一。按目前世界的消费量，足够供应全世界消费50a以上。

新喀里多尼亚是世界上超镁铁岩分布最广泛的地区之一。全岛总面积18648 km²中约有三分之一为橄榄岩所覆盖。在大面积的超镁铁岩（主要是蛇纹岩）风化壳上发育有1500多个矿床。

该区的红土型镍矿有两种类型：一种是含铁的红土，以氧化镍为主；另一种为风化基岩及风化壳下部的腐泥，以硅酸镍为主。目前主要开采的是硅酸镍矿。矿石一般含Ni 1.5—3%，该类矿床多数分布于山顶，极易开采，是镍生产的重要来源。

(五) 古巴

古巴是目前世界镍资源大国之一,已探明镍经济储量 1814 万 t。总资源量估计在 2268 万 t 以上。

古巴目前已发现的镍矿床均属红土型矿床。大部分矿床分布在该岛东部海湾区奥尔金省内的莫亚湾、尼卡罗和莱维萨湾。少部分分布在该岛西端比那尔—德里奥省的卡雅尔班。奥尔金省勘探的主要矿床均位于该岛的北岸,沿东西向海滨分布,矿带长达 120 km。

1. 莱维萨湾镍矿区:位于奥尔金省北部海滨区。矿石为蛇纹石化橄榄岩遭受化学风化作用而形成的镍—铁红土矿。镍矿层厚 1.8—3.4 m,呈被状覆盖在平均厚 1.8 m 的高铁、低镍红土矿之上。矿区已探明矿石储量 1 亿多吨。

2. 莫亚湾镍矿区:位于奥尔金省海湾区东段镍矿呈红土覆盖层产出,是下伏蛇纹岩的风化残余物,富集有铁、镍、钴,厚度 2.4—24.4 m,平均 10.7 m,已探明含 Ni>1% 的矿石储量 9500 万 t。

3. 尼卡罗矿床:位于尼卡罗地区的奥克杰尔。通常为贫镍的覆盖层。矿层由上部的含镍褐铁矿石和下部的含镍蛇纹岩组成,矿层与底部未风化的蛇纹岩呈不规则接触。含镍的褐铁矿中 Ni 1.3% 左右,Fe 50%,Co 0.12%,Cr 2.4%。蛇纹石矿石平均含 Fe 18%,Ni 1.0%,Co 0.07%,Cr 1%。

此外,沿古巴的北海岸还分布有广泛的超基性岩风化壳,除西段的卡雅尔班之外,还有大量的贫镍矿石 (Ni<0.8%),估计储量可达 1200 万 t。

古巴含镍风化壳特点是上部为铁红土,下部为破碎蛇纹岩带。镍矿体主要产于红土带中,属氧化矿石,平均含铁 30%、镍 1.2—1.5%、钴 0.08—0.1%。在风化壳底部也产有硅镍矿,但不占主要地位。

(六) 南部非洲

系指非洲南部并包括赤道附近的一些国家。该地区硫化镍矿和红土型镍矿都有分布。硫化镍矿主要分布于博茨瓦那、津巴布韦和南非。已探明镍经济储量 313 万 t,资源量 5983 万 t。其中南非的布什维尔德杂岩体金属镍潜在资源量达 2270 万 t,矿石含 Ni 0.35%,为当前世界上最大的低品位浸染状硫化镍矿床。

南部非洲硫化镍矿最主要特点是矿体产于克拉通内或其周边的断裂活动带附近。可分为两种类型:一种为太古代绿岩型矿床,镍矿化与绿岩层序下部的镁铁质—超镁铁质岩有关,如津巴布韦的特罗津 (Trojan)、尚加尼 (Shangani) 等矿床。矿石以浸染状为主,含 Ni 平均 0.7%,伴生铜、钴等元素;另一种为与侵入基性杂岩或层状岩体有关的矿床,如布什维尔德、津巴布韦大岩墙。以低品位矿石为主,伴有重要的铂、铜等矿产。在布什维尔德杂岩的麦伦斯基矿带镍是作为开采铂的副产品,矿石中含铂 5—9 g/t,镍 0.18%。

红土型镍矿主要沿赤道两侧分布,如布隆迪和象牙海岸南部的一些矿床。该地区由于气候炎热多雨,红土化很发育。在超镁铁质岩体之上一般可见很完整的红土剖面,由上而下分为铁砾岩带、褐铁矿带和腐泥土带。镍富集于下部的腐泥土带和褐铁矿带的底部。以硅酸镍为主,一般含 Ni 1.2%,规模都相当大,估计潜在金属储量可达 500 万 t 以上。

近十几年来在各大洋底部发现的锰结核中含有大量的镍,平均品位达 0.99%,估计镍资源量可达 6.9 亿 t,这也是镍金属很重要的潜在资源。

二、镍矿床类型

镍是亲铁元素，它在地壳中的丰度为 58×10^{-6} ，主要集中于基性超基性岩中。在自然界镍常呈 Ni^{2+} 存在，其离子半径为 $0.69 \text{ \AA}$ (10^{-10} m)，具有很强的亲硫性。因此在基性、超基性岩浆中，当含硫很丰富时，镍优先与硫结合，与部分的铁、铜、钴等亲硫元素一起形成硫化物熔浆，并从硅酸盐岩浆中分离出来，在一定的条件下形成硫化镍矿床。当岩浆中硫的含量不足时，镍则作为镁的类质同像混入物，进入富镁的硅酸盐矿物中。在后期较酸性的岩浆中，镍往往与砷、钴、硫一起进入热水溶液，生成镍和钴的砷化物和硫化物的脉状矿床。在表生条件下，镍不易氧化，但活动性强。当富含镍的岩石受风化淋滤时，镍可以从中析出，并在一定的层位富集成红土型镍矿床。

已知镍矿物共有 50 多种，其中比较常见的具有工业意义的含镍矿物如表 1—3。

表 1—3 常见含镍矿物

矿物名称	矿物分子式	含镍量 (%)
镍黄铁矿	$(Fe, Ni)_9S_8$	22—42
紫硫镍(铁)矿	FeS, Ni_2S_3 或 $(Fe, Ni)_3S_4$	38.9
针镍矿	NiS	64.7
辉(铁)镍矿	Ni_3S_4 或 $(Ni, Fe)_3S_4$	57.9 42—54
方硫镍矿	NiS_2	47.8
红砷镍矿	$NiAs$	43.9
砷镍矿	Ni_3As_2	54.0
	接近于 $Ni_{11}As_9$	51.9
辉砷镍矿	$NiAsS$	35.4
暗绿蛇纹石	$(Ni, Mg)O \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$	含 NiO 2—47
镍绿泥石	$(Ni, Mg)_3Si_2O_5(OH)_4$	含 NiO 20—40.2
绿高岭石	$RO \cdot R_2O_3 \cdot (4+n)SiO_2$	含 NiO 1.1—1.8

根据已知镍矿床产出的地质环境、围岩的性质、矿石的物质组分以及矿床成因，可以把镍矿床分为岩浆硫化镍矿床、热液砷镍矿床、红土型镍矿床及沉积镍矿床四大类型。岩浆硫化镍矿床与基性、超基性岩有关，它以分布广泛、资源丰富、品级较高、选冶技术条件较简单而成为当前镍生产的主要来源。红土型镍矿床为超基性岩风化而成，具有埋藏浅、规模大的特点，但冶炼技术较复杂，成本较高，还不能广为利用。然而随着冶炼技术的改进，这种类型的矿床已逐渐显示出极大的经济潜力，也是当前镍生产的重要来源。热液砷镍矿床及沉积镍矿床资源量很少，不具重要经济意义。此外，某些火山喷气成因的硫化物矿床及沉积变质的铀矿床往往伴生有一定数量的镍，也具有一定经济意义。

(一) 岩浆硫化镍矿床

1. 岩浆硫化镍矿床的分类

由于这类矿床直接与基性和(或)超基性岩浆作用有关，因此，长期以来很多学者都企图通过对镁铁质和超镁铁质岩的分类来研究硫化镍矿床与不同类型的镁铁质和超镁铁质

岩体的关系。在这方面 A. J. Naldrett 作出了重要的贡献^[19]。1979 年国际地质对比计划第 161 项 (与镁铁质和超镁铁质岩有关的岩浆硫化物矿床), 建议以 Naldrett 和 Gabri 的分类为基础, 由七个国家的地质学家代表提出了一个新的分类方案。该方案以岩体产出的构造环境和镁铁质—超镁铁质母岩的性质作为分类的基本依据, 把镁铁质和超镁铁质岩体分为三大类 16 种组合^[20]:

(1) 同火山期岩体

① 科马提岩套: a. 熔岩流; b. 层状岩床; c. 纯橄榄岩—橄榄岩透镜体; d. 类型未定的再改造岩体。

② 拉斑玄武岩套: a. 同火山期层状苦橄拉斑玄武岩侵入体; b. 斜长岩体。

③ 亲缘不明或没有证实的岩体: a. 层状侵入岩; b. 构造再变形改造的岩体。

(2) 克拉通地区的侵入体

① 与溶流玄武岩有关的侵入体。

② 大型层状杂岩, 但未证实与溶流玄武岩有关: a. 带状岩体: i) 有重复分层现象的岩体; ii) 无重复分层现象的岩体; b. 似脉状岩体。

③ 其他中、小规模侵入体。

④ 碱性超镁铁质岩。

(3) 造山运动期间侵入的岩体

① 同造山期间侵入体。

② 构造侵位的岩体: a. 蛇绿岩杂岩; b. 可能的地幔物质挤入的岩体。

③ 阿拉斯加型杂岩体。

在这些分类中有些类型是重要的硫化镍矿床的母岩, 而有些类型则是很少含矿的。Naldrett (1973) 指出, 蛇绿岩体、阿拉斯加型岩体和诸如金伯利岩及含碳酸盐的环状杂岩体之类的碱性岩体即使赋存有矿床也是极少数^[19]。实际上占硫化镍资源总量 95% 的只不过是以下四种类型: 即克拉通区与溢流玄武岩有关的侵入体; 大型层状侵入杂岩; 萨德伯里型和科马提型。

1981 年西澳的一些地质学家 (J. R. Ross, G. A. Travis 等) 在评价西澳及世界硫化镍矿资源远景时, 考虑到当前很多矿床地质资料不充分, 按上述分类难于确定其类属。因此, 采用了一个比较简单的分类法^[8]:

(1) 与纯橄榄岩—橄榄岩类有关的矿床

① 与纯橄榄岩侵入体有关的矿床; ② 与火山橄榄岩有关的矿床。

(2) 与辉长岩类有关的矿床: ① 与镁铁质—超镁铁质侵入杂岩有关的矿床; ② 与大型层状侵入体有关的矿床; ③ 萨德伯里型矿床。

(3) 其他类型

以上各家的分类实际上有很多共同之处。如果把那些成矿机会很少的类型暂不考虑, 而把成矿条件相似的类型合并一下, 那么目前已知的岩浆型硫化镍矿床主要的可归为前寒武纪绿岩型矿床, 与大陆裂谷作用有关的矿床和显生宙造山带内的矿床三大类。

(1) 前寒武纪绿岩型矿床

该类矿床的基本特征是矿床均产于前寒武纪绿岩带内, 含矿岩体与科马提岩套或镁铁质岩系紧密伴生, 根据岩体的岩石类型和侵位的方式又可分为三种类型;

① 与超镁铁质熔岩流有关的矿床

含矿岩体一般产于科马提岩套的下部。主要岩石类型为辉闪苦橄岩、橄榄岩、辉石岩，岩石含 $MgO > 15\%$ ，最高可达 40% ，局部保存有科马提岩特征的鬃刺结构或枕状构造。矿体呈似层状、透镜状，产于熔岩流的底部或底板的沟槽内。镍矿层横向上可相变为燧石和泥质岩。矿石矿物组合为黄铁矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿，含少量铂族元素。矿石有浸染状和块状，多为富矿，镍铜比值 $10-16$ 。典型矿床有西澳的卡姆巴尔达，津巴布韦的丹巴、加拿大的隆格莫尔 (Langmuir) 等，多为中、小规模。

② 与超镁铁质侵入体有关的矿床

矿体产于太古代绿岩带内科马提岩套的下部。含矿岩体为蛇纹石化纯橄榄岩、橄榄岩，呈岩床或透镜体整合或不整合侵入到火山岩或沉积岩之中。岩石含 MgO 很高，可达 45% 。矿石以浸染状为主，少量块状、角砾状或填隙状，品位较低， $Ni\ 0.4-1\%$ ， $Ni/Cu = 19-30$ ，最高可达 70 ，含 Co 、 Cr 及铂族元素。典型矿床如西澳的阿格纽、凯思山和福利率斯坦尼亚等，矿床规模较大。

以上两种矿床的共同点是都与科马提岩套有关，分别为同一的科马提岩浆的喷出相和侵入相。因此，又可合称为科马提型镍矿床。

③ 与拉斑玄武岩有关的矿床

这种类型的矿床包括前苏联贝辰加地区的矿床和加拿大莱恩湖 (Lynn Lake) 区的矿床。这类矿床多数产于太古代克拉通内或边缘的早元古代活动带内，与拉斑玄武质火山作用有关。含矿岩体由橄榄岩、辉石岩、辉长岩组成，呈岩床或透镜体侵入到火山岩与沉积岩的接触带中。岩石的基性度较低，矿石有浸染状、块状、角砾状和细脉状， $Ni/Cu = 1-2$ ， $Ni/Co = 50$ 。本类矿床与科马提型矿床相比，以岩体 MgO 含量较低，以及矿石中含铜较高为特征。

(2) 与大陆裂谷作用有关的矿床

本类矿床的成矿构造环境为克拉通内的裂谷，克拉通之间或边缘的活动带。岩体是在拉张的环境沿大断裂带或裂谷带侵入的，形成巨大的多旋回的层状侵入体，或单旋回多岩相侵入体。根据岩体类型和成矿背景不同可分为两种类型。

① 与溢流玄武岩有关的侵入体内的矿床

最典型的实例为前苏联的诺里尔斯克、美国的德卢斯和南非的因西兹瓦矿床。在稳定的地台区，在拉张的环境下，地壳内大规模的裂谷作用产生一些大的断裂带。地壳下伏的玄武岩浆沿这些断裂带上涌，溢出地表，构成厚度大、面积广阔的玄武岩流。在岩浆通道或周围伴有基性岩浆侵入，伴生有铜镍硫化物矿化。含矿侵入体的岩石类型在诺里尔斯克有苦橄岩、橄榄辉长岩、苏长岩、粗玄岩等；在德卢斯主要为橄榄岩、苏长岩、辉石岩。矿体呈透镜状、脉状、似层状。矿石组分较复杂，除 Cu 、 Ni 外，尚含有 Co 、 Pt 、 Pd 等有用元素，矿石的 $Ni/Cu = 0.5-1.5$ ， $Ni/Co = 16$ 。矿床规模很大，多为大型或超大型。

② 大型层状侵入杂岩体的矿床

本类矿床以南非布什维尔德火成杂岩为代表，美国的斯蒂尔沃特和津巴布韦大岩墙也属此类。杂岩体是在稳定克拉通环境，沿某些大的断裂带侵入的。它以规模大，岩石类型复杂，并呈层状多次重复出现为特征。在布什维尔德的岩石类型有苏长岩、橄榄岩、辉石岩、辉长岩和斜长岩等。岩石的矿物层理及粒级层理都很发育。硫化镍矿化主要与其中的

辉石岩、橄榄岩相有关,品位较低,含Ni 0.35%,镍铜与铂族元素伴生。估计镍资源量达2270万t,是目前世界上最大的低品位硫化镍矿床。

(3) 显生宙造山带内与镁铁质-超镁铁质侵入体有关的矿体

这种类型的矿床分布很广,但成大矿者不多。较重要的为中国的红旗岭、挪威的Rana和美国缅因州的Moxie和Katahdin矿床。岩体多数是在造山运动期间沿某些区域性大断裂带侵入的,受到造山晚期的构造变形和变质作用。岩石类型复杂,由超基性、基性到中性。常见的有橄榄岩、辉橄岩、辉石岩、苏长岩、辉长岩及闪长岩。其中一般以辉长岩为主体相,超基性岩出现于岩体的下部。镍矿化主要与其中的较基性的岩相有关。矿石为浸染状、块状或角砾状,含Ni 0.6—5%,Ni/Cu=2—10,伴有Co。含矿岩体一般具多次侵入的特点。

除上述外,还有当前世界最大的硫化镍矿床——萨德伯里。它被认为是一个特殊的类型。岩体大地构造上位于苏必利尔克拉通南缘元古代活动带内,沿着上覆的白水系与下伏的早元古代绿岩和花岗质片麻岩之间的接触带侵入,形成东西长60km,南北宽约30km的巨大的岩盆状侵入体。主要岩相由下而上为苏长岩、辉长岩、文象斑岩及闪长岩,总体成分为基性岩。镍矿体产于岩体边缘,或与岩体外围的贯入的基性岩墙伴生。成矿地质背景和矿床特点类似于上述的大型层状侵入体矿床。但近时期很多人认为岩体属陨石冲击成因。最初Speers (1957)认为萨德伯里构造为一破火山口。随后,Dietz (1964)研究了侵入体南缘石英岩中的震裂锥,认为是陨石碰撞区。之后,很多人研究了岩石的碰撞结构,较完整地提出,萨德伯里构造的发育和岩体的侵位是在20亿a前由一个巨大的陨石的冲击诱发的,含矿岩体的生成是一种罕见的地外事件的结果^[12]。因此,有人把萨德伯里矿床作为宇宙源成矿的代表。由于该矿床储量很大,估计镍金属量可达1250万t,约占世界硫化镍资源量的四分之一,因此,一般被作为一个特殊的类型。

2. 岩浆硫化镍矿床的物质成分

硫化镍矿床的矿物成分和化学成分比较简单。最主要的硫化物矿物有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿及黄铁矿;在某些浅成(或表生)矿床中经常见到紫硫镍铁矿、针镍矿、辉镍矿等矿物;在一些与基性程度较低的岩体相伴生的矿床中还经常见到有闪锌矿、方铅矿、方黄铜矿、斑铜矿、硫钴矿、斜方砷钴矿、碲金矿;此外尚有少量铂族元素硫化物,如硫铂矿、砷铂矿、硫镍钼铂矿、硫钨钼矿、铋钼矿等。伴生的氧化物常见的为磁铁矿、铬铁矿、钛铁矿、含钛磁铁矿及赤铁矿等。最主要的有用元素为镍、铜、钴及铂族元素(铂、钯、铑、铁、铈、钕),有些矿床还含有金、银、硒、碲等。

铜镍硫化物矿石的含矿岩都是基性或超基性岩,其化学成分的一般特点是:

- (1) 对铜、镍、铁金属来说其金属原子数与硫原子数的比值较稳定。
- (2) 与镁铁质岩伴生的矿床相比,与超镁铁质岩伴生的矿床一般镍的含量高,铜的含量低。
- (3) 一些矿床在某些组分的含量上呈现出明显的垂向变化。铜、铂钯、金及镍向下逐渐增加,一直到矿体底部有的形成分凝的块状硫化物和下盘下面的细脉;而铁、钴、铈、钕、钨和钼则呈相反的分布趋向。

(4) 铅、锌一般不对硅酸盐母岩浆具有选择性。

(5) 矿体母岩浆中的MgO含量与硫化物中(Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os)的比率大致

呈正相关关系。

(6) 矿石中的硫主要来源于地壳, 因此, 在岩浆作用过程中地壳硫的混染是形成硫化物富集的一个重要因素。但一些与科马提岩伴生的矿床, 其中的硫究竟是来自富硫化物的地幔抑或来自地壳尚不清楚。

3. 岩浆硫化镍矿床成因的几种理论

关于硫化镍矿床的成因理论很多, 比较流行的有结晶分异说、熔离说、同化说、堆积说及矿浆说等。

结晶分异说认为岩体的成层构造(组分层理)和硫化物的富集是结晶分异和重力沉降的结果。侵入地壳的岩浆当温度和压力降低时就开始结晶。一般镁铁质矿物(包括尖晶石族)首先晶出。由于这些早期结晶的矿物密度较未结晶的岩浆大, 所以它们就下降, 并在靠近岩浆体的底部集中。随着温度下降和剩余岩浆组分的变化, 各种矿物依次晶出, 形成不同的岩相带。金属硫化物由于比重大、结晶温度低, 先是呈液态从岩浆中分离出来并向下沉降, 然后在比较冷却的情况下晶出, 从而形成了具有分异岩相的岩体和硫化物矿层。

熔离说的基本观点是岩浆中的成矿物质(金属硫化物熔浆)是在液体状态下从硅酸盐熔浆中分离出来的。岩浆中不同的组分在一定的高温、高压条件下是互相混熔的, 但当温度压力下降到一定的范围则可以是不相混熔的。较重的金属硫化物熔浆就会透过较轻的硅酸盐熔浆向下沉降, 从而在岩浆房中形成液态的层状硫化物矿浆和硅酸盐熔浆。这些不同组分的熔体在压力作用下, 分期分批侵入(或喷出)地壳, 便形成含矿的层状岩体或者重复分层的杂岩体。多相组分熔浆的不混溶性在自然界及实验室均已得到证实。例如, 1950年 R. Fischer 关于高铁氧化物、硅酸盐、磷酸盐不相混溶性试验; 1967年 A. R. Philpotts 关于富含磷灰石液体磁铁矿-磷灰石熔浆与硅酸盐熔浆不相混溶性试验; 1962, Hawlyty 关于硫化物-硅酸盐系统的实验。这些试验都说明硫化物或氧化物矿浆可以从硅酸盐熔体中熔离出来。在自然界很多高温条件下形成的矿物, 如金伯利岩、橄榄岩中的橄榄石可以含有硫化物微滴; 甚至球陨玄武岩也都是不相混熔的例证。基性超基性岩中镍的含量各地所见相差无几, 但有的能成矿, 有的则不能成矿, 关键在于母岩浆是否经过充分的熔离作用。没有充分的熔离作用就不可能形成金属硫化物的大量富集。

熔离说在中国是比较盛行的。早在 60 年代就习惯地把岩浆硫化镍矿分为就地熔离矿床, 深部熔离贯入矿床和晚期贯入矿床。这种分类的理论基础是熔离说。就地熔离矿床中的硫化物熔浆是在岩浆侵位之后分离出来的, 并因重力作用在岩体下部聚集成富矿体, 少部分悬浮于岩体的一定部位成浸染状矿体。深部熔离贯入矿床指的是熔离作用是在岩浆未就位之前在深部岩浆库内进行的, 硫化物熔浆与硅酸盐岩浆是分别侵入的, 有些全矿岩体(满贯式)即属这种成因。晚期贯入矿床是岩浆作用晚期通过压滤作用把硫化物液体排挤出来, 并沿岩体的原生节理或围岩的断裂构造侵位而成的。

同化说也认为岩浆熔离作用是成矿的主要因素。但强调慢源的岩浆一般是贫硫的, 矿石中的硫主要来自地壳。岩浆在侵入过程中吸收了围岩中的硫, 并与岩浆中的金属元素结合, 形成硫化物熔浆, 然后从原始硫酸盐熔浆中分离出来, 形成矿床。因此, 在岩浆生成之后的运移过程中是否有大量硫的加入是成矿的关键。这种理论能较好地解释为什么时代较新的大洋生成的超基性、基性岩岩浆(蛇绿岩套)缺乏镍硫化物的原因。就目前所知, 很多大的硫化镍矿床矿石中重硫的含量普遍偏高。Л. Н. 格里年科(1985)研究了前苏联