

国外有色冶金工厂

—— 镍 与 钴

冶金工业出版社

76.35
348

国外有色冶金工厂

镍 与 钴

《国外有色冶金工厂》编写组 编

冶金工业出版社

国外有色冶金工厂
镍 与 钴
《国外有色冶金工厂》编写组 编

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 17 1/4 字数 408 千字
1977年8月第一版 1977年8月第一次印刷
印数00,001~2,900册
统一书号: 15062·3256 定价(科三) 1.40元

毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

古为今用，洋为中用。

独立自主、自力更生、艰苦奋斗、勤俭建国。

编 者 说 明

在伟大领袖毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国冶金工业战线上广大革命职工坚决贯彻党的“**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**”的总路线，高举“**鞍钢宪法**”的光辉旗帜，不断地取得了革命和生产的新胜利。

为了适应我国冶金工业发展的需要，我们遵循毛主席关于“**洋为中用**”的教导，编写了《国外有色冶金工厂》一书，目的在于让有色冶金战线上的各级领导同志、广大工人和技术人员了解国外有色冶金的生产现状及发展趋势，从中吸取对我国有用的一些经验。

本书是根据十多年来国外各种期刊文献中发表的有关资料编写的。全书按金属品种、按地区、按国家编排，分册出版。由于苏联和某些国家发表的工厂生产资料较少，本书中未予收入。

此分册是该书的镍、钴部分，阐述了国外镍、钴冶金工业的现状与发展趋势，介绍了国外60多个镍、钴冶金工厂的生产历史及其现状，详细地叙述了各个冶炼厂的生产流程、设备操作情况、生产特点及附属设施，也叙述了某些工厂的综合回收状况，列举了各个冶炼厂的一些主要的技术经济指标。

参加本书编写工作的人员有陈维东、谭迎春、董庆和与林礼藩同志，袁曙航和李庆芬同志参加了审校。在编写过程中，得到了潘傅瑛、彭景勋、陈红芳、房可凤等同志的热情协助，在此表示谢意。

由于我们的思想水平及业务能力所限，书中难免还存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

1975年12月于北京

目 录

第一篇 镍

第一章 国外镍冶金现状及发展趋势	1
一、概述	1
二、硫化矿的处理	3
1. 硫化矿的处理现状	3
2. 硫化矿的火法冶金	4
3. 硫化镍矿的湿法冶金	8
三、氧化矿的处理	10
1. 氧化矿的处理现状	10
2. 氧化矿的火法冶金	11
3. 氧化镍矿的湿法冶金	12
四、镍的气化冶金	13
1. 常压羰基法	14
2. 高压羰基法	14
五、国外镍冶金技术发展趋势	14
第二章 国外镍冶金工厂	19
亚洲地区	19
日本	19
第1节 志村镍冶炼厂	19
第2节 伊丹镍铁冶炼厂	23
第3节 别子镍冶炼厂	23
第4节 日向镍铁冶炼厂	26
第5节 富山镍铁冶炼厂	29
第6节 佐贺关镍铁冶炼厂	31
第7节 大江山镍铁冶炼厂	34
第8节 新发田镍铁冶炼厂	37
第9节 八户镍铁冶炼厂	40
第10节 东京镍公司(氧化镍的生产)	40
菲律宾	41
第11节 诺诺克岛镍冶炼厂	41
非洲地区	42
博茨瓦纳	42
第12节 皮克威镍冶炼厂	42
南非(阿扎尼亚)	43
第13节 沃特瓦尔高冰镍冶炼厂	43
津巴布韦	49

第14节	津巴布韦的镍铁生产	49
	欧洲地区	51
	西 德	51
第15节	路得维希港镍厂	51
	法 国	52
第16节	哈维尔镍精炼厂	52
	英 国	53
第17节	布利姆斯通冶炼厂	53
第18节	克莱达契镍精炼厂	55
	芬 兰	60
第19节	哈里雅伐尔塔镍冶炼厂	60
第20节	哈里雅伐尔塔镍精炼厂	64
	挪 威	68
第21节	克里斯蒂安松镍精炼厂	68
	希 腊	76
第22节	拉瑞姆纳镍冶炼厂	76
	美洲地区	81
	加 拿 大	81
第23节	汤普森镍冶炼厂	81
第24节	康尼斯顿镍冶炼厂	89
第25节	铜崖冶炼厂镍的生产	90
第26节	鹰桥镍冶炼厂	96
第27节	汤普森镍精炼厂	101
第28节	科尔鲍恩港镍精炼厂	111
第29节	铜崖镍精炼厂	115
第30节	贝坎考特镍精炼厂	119
第31节	萨斯喀彻温堡镍精炼厂	122
第32节	铜崖铁矿回收厂	129
第33节	鹰桥磁黄铁矿精矿处理厂	141
	美 国	145
第34节	利得镍铁冶炼厂	145
第35节	镍港精炼厂	150
第36节	珀思·安博依铜厂硫酸镍的生产	153
	古 巴	156
第37节	毛阿湾镍厂	156
第38节	尼加罗镍厂	161
	多 米 尼 加	168
第39节	博纳阿镍铁冶炼厂	168
	巴 西	169
第40节	帕苏斯镍铁冶炼厂	169
	大洋洲及太平洋岛屿	169
	澳大利亚	169

第41节	卡尔古利镍冶炼厂	169
第42节	雅布卢镍冶炼厂	173
第43节	克维拉纳镍精炼厂	176
	新喀里多尼亚	178
第44节	多尼阿博镍冶炼厂	178

第二篇 钴

第三章	钴的冶炼现状	185
一、	概述	185
二、	砷钴矿的处理	186
三、	氧化矿和硫化矿的处理	186
四、	从黄铁矿中提取钴	187
五、	从红土矿中提取钴	187
✓ 六、	从转炉渣中回收钴	187
✓ 七、	其他方法	188
第四章	国外钴冶金工厂	189
	亚洲地区	189
	日本	189
第1节	北海道下川矿山钴的生产	189
	非洲地区	192
	扎伊尔	192
第2节	潘达钴冶炼厂	192
第3节	卢依卢钴电解厂	193
第4节	希土鲁钴电解厂	200
	赞比亚	210
第5节	奇布卢玛钴厂	210
第6节	恩卡拉钴厂	214
	欧洲地区	216
	西德	216
第7节	杜依斯堡铜厂钴的生产	216
第8节	哥斯拉钴厂	218
	法国	219
第9节	尤琴钴厂	219
第10节	诺贝尔·鲍杰尔钴厂	220
	意大利	222
第11节	马格拉锌电解厂钴的生产	222
	比利时	224
第12节	奥兰精炼厂钴的生产	224
	英国	225
第13节	克莱达契精炼厂钴的生产	225
	芬兰	226

第14节	科科拉钴冶炼厂.....	226
	挪威.....	230
第15节	克里斯蒂安松镍精炼厂钴的生产.....	230
	美洲地区.....	231
	加拿大.....	231
第16节	萨斯喀彻温堡精炼厂钴的生产.....	231
第17节	科尔鲍恩港钴厂.....	243
第18节	德洛诺钴厂.....	247
	美国.....	249
第19节	加菲尔德钴精炼厂.....	249
第20节	威尔明顿钴厂.....	252
第21节	纽伯钴厂.....	253
第22节	弗雷德里克城钴厂.....	255
第23节	斯帕罗斯·波因特钴厂.....	257
第24节	镍港精炼厂钴的生产.....	259
	大洋洲地区.....	260
	澳大利亚.....	260
第25节	里斯顿锌电解厂钴的回收.....	260
附 录		
	附表 1. 国外一些镍的生产厂家.....	261
	附表 2. 国外一些钴的生产厂家.....	265

第一篇 镍

第一章 国外镍冶金现状及发展趋势

一、概述

很早以前，人们就开始以合金的形式使用镍。我国早在汉朝（公元前 206 年）以前，就已掌握冶炼白铜的技术。但是，提炼出纯金属镍并在工业上得到应用是从 1824 年才开始的，而大规模的工业生产镍却还不到一百年的历史。

镍还是一种“年轻的”金属，但由于镍具有良好的延展性、抗腐蚀性、耐高温及高强度等特点，成为制取各种高温高强度合金、耐热材料以及不锈钢等的重要金属之一。到目前为止，镍基合金的品种已达 3000 种以上，广泛地应用于宇宙航行、火箭、航空、航海、石油与化工以及其它许多工业部门。

1973 年，国外镍的总产量为 62.54 万吨，其中加拿大 15 万多吨，苏联 13 万吨，日本 8.77 万吨（见表 1）。国外约有 90% 的镍消耗于军备生产中。1973 年，世界镍的消耗量为 65.64 万吨。1974 年国外镍产量为 76.67 万吨。

世界上工业发达的国家镍的消耗量与其钢铁产量有着相应的比例关系，如美国，镍与钢铁的比例约为千分之一。1973 年，世界镍的消耗中以美国为最多，约占 27.2%，日本占 17%，英国占 4.6%，法国占 4.6%，西德占 8.3%，苏联占 22%。

世界上已发现的镍矿床基本上可分为硫化矿和氧化矿两大类。现已查明的储量最大的是氧化矿，约占总储量的 87%，而已发现的硫化矿仅占 13% 左右。已知的镍矿物有 60 余种，但有开采价值的却不多。

硫化矿中最有经济价值的是镍黄铁矿 $[(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8]$ 和镍磁黄铁矿 $[(\text{Ni}, \text{Fe})_7\text{S}_8]$ 。由于硫化矿易于浮选富集，也易于用一般的冶炼方法予以处理，所以，尽管硫化矿的储量比氧化矿少得多，但世界镍产量中却约有 70% 以上（1970 年统计数，见表 2）是从硫化矿中提取的。

氧化矿又可分为硅酸镍矿和红土矿。红土矿含铁高、硅镁低，而含镍约为 0.9~1.5%。硅酸镍矿含铁低、硅镁高，含镍量约为 1.6~4.0%。由于氧化矿含镍量低，而且矿石中的镍都呈浸染状存在，使得选矿困难，处理成本高。所以，到目前为止，从氧化矿中提取的镍仅占世界镍产量的 28% 左右（见表 2）。但是，由于炼镍技术的不断发展和镍消耗量的增加，也由于硫化矿资源的逐渐减少，氧化矿的开采和利用也就日益为人们所重视。据文献报导，目前从露天开采的红土矿生产 1 磅（1 磅 = 0.4536 公斤）镍的费用为 3 美元，而从硫化矿生产 1 磅镍的费用达 8 美元，所以，开采和利用氧化矿资源比硫化矿还合算得多。

至于砷镍矿（主要含镍矿物为红镍矿），其储量很少，已属次要。目前仅印度和加拿

大有几处小型矿床在开采。

国外镍的生产量①

(1963—1973) 单位: 万吨

表 1

国家或地区	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
亚 洲											
日 本	1.91	2.75	2.65	2.98	4.16	5.37	6.85	8.98	10.26	7.95	8.77
非 洲											
南 非③	0.25②	0.25②	0.30②	0.54②	0.57	0.75	0.80②	0.90②	1.00②	1.30	1.50
其 他	—	—	—	—	—	—	0.20	0.50	0.80②	1.00	1.00
欧 洲											
西 德	0.19	0.08	0.03	0.03	0.03	0.06	0.08	0.06	0.02	0.02	—
法 国	0.96	0.81	0.82	1.28	1.27	1.03	0.96	1.10	0.99	1.31	1.09
英 国	3.81	3.80	4.05	3.75	3.86	4.17	2.97	3.67	3.87	3.19	3.68
挪 威	2.64	3.01	3.18	3.22	2.82	3.22	3.56	3.85	4.18	4.33	4.27
芬 兰	0.27	0.29	0.28	0.30	0.30	0.33	0.37	0.40	0.39	0.55	0.58
希 腊	—	—	—	0.01	0.25	0.47	0.56	0.86	1.07	1.13	1.39
苏 联	8.00	8.00	8.00	8.50	9.50	10.30	10.50	11.00	12.00	12.60	13.00
波 兰	0.11	0.12	0.11	0.15②	0.15②	0.15②	0.15②	0.15②	0.15②	0.15②	0.15②
美 洲											
加 拿 大	12.12	13.95	16.04	12.97	16.20	15.45	13.22	18.95	16.53	13.17	15.02
美 国	1.08	1.15	1.26	1.24	1.33	1.38	1.43	1.41	1.42	1.42	1.40
古 巴	2.16	2.41	2.58	2.54	3.09	3.50	3.50	3.80②	3.40②	1.6	1.6
多米尼加	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02	1.74	3.01
巴 西	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.16	0.25	0.25	0.28	0.30
大 洋 洲											
澳大利 亚	—	—	—	—	—	—	—	0.10	1.40	1.65	2.20
新喀里多尼亚岛	0.83	1.33	1.56	2.03	2.07	2.24	2.39	2.80	2.99	3.91	3.58
合 计②	34.43	38.06	40.97	39.65	45.71	48.53	47.70	58.78	60.74	57.30	62.54

① 镍的产量包括精镍量和镍铁与氧化镍中的镍量;

② 估计数值;

③ 南非(阿扎尼亚)(在白人种族主义者统治下), 后同。

资料来源: 1. 《矿物与金属》(法国), 1973年。2. 《世界金属统计》1974, No.7, No.8。

加拿大是世界镍矿资源最丰富的国家之一。安大略省的苏德贝里地区是世界上已发现的最大的硫化铜镍矿床, 长58公里, 宽42公里, 厚1.6~3.2公里, 矿石储量达2.62亿吨, 平均含镍1.25%, 含铜1.5%。该矿由国际镍公司和鹰桥镍矿公司经营, 而前者占有该矿全部资源的90%。米斯多利-蒙阿克的低铜硫化镍矿, 估计约1亿吨, 已证实的储量约2,500万吨, 平均含镍2.5%, 铜0.15%。此外, 还有林湖矿床及北朗基矿床, 也属于硫化矿体。由于加拿大享有得天独厚的天然资源, 所以成为世界上产镍最多的国家, 1973年其镍产量占资本主义国家及发展中国家总产量的24%。

新喀里多尼亚也是著名的镍矿产地, 矿床为硅镁镍矿, 含镁较高, 矿石中NiO+CoO平均为3.5%~4.1%。其储量之大, 尚可开采80年。

菲律宾群岛的红土矿储量约为10亿吨, 尚未全部勘探清楚, 平均含镍为0.75~1.7%。

澳大利亚氧化矿的储量约5千万吨以上, 含镍1.35%。

古巴红土矿储量丰富，平均含 Ni 1.3%、Co 0.1% 者约 3.56 亿吨，含 Ni < 0.87 者约 16 亿吨。

巴西的硅酸镍矿，估计总储量约 2,200 万吨，含镍 1~4.5%。

印度尼西亚有丰富的硅酸镍矿和含镍红土矿，总储量约 5.1 亿吨，含镍 0.9% 到 3%。

二、硫化矿的处理

1. 硫化矿的处理现状

如上所述，目前世界镍产量中约有 70% 以上是从硫化矿中提取的。硫化矿的处理方法可分为火法与湿法，其中以火法为主。

火法冶金处理硫化镍矿已有较久的历史了，直到四十年代止，火法冶金是处理镍矿石的唯一方法。火法冶炼硫化镍矿的基本流程是：焙烧或烧结 → 造锍熔炼 → 吹炼 → 电解精炼，这就是所谓的传统流程。直到五十年代末，芬兰奥托昆普公司的哈里雅伐尔塔厂采用了在铜冶炼工业中发展起来的闪速熔炼法来处理硫化镍矿后，才突破了熔炼硫化镍矿的传统流程。

与硫化铜精矿的火法冶炼传统流程类似，硫化镍精矿的传统熔炼流程也有三类：1) 烧结 → 鼓风炉熔炼 → 吹炼；2) 焙烧 → 反射炉熔炼 → 吹炼；3) 焙烧 → 电炉熔炼 → 吹炼。

所采用的烧结和焙烧设备有烧结机、多膛焙烧炉和沸腾焙烧炉。沸腾焙烧在镍冶金中应用的时间虽不长，但与硫化锌精矿采用的沸腾焙烧一样，强化了生产过程，克服了多膛焙烧炉所固有的许多缺点。熔炼设备有鼓风炉、反射炉及电炉。熔炼过程产出的低冰镍通常是在侧吹式转炉中用空气吹炼成高冰镍的。

用闪速熔炼法处理硫化镍精矿时，只需要将矿石干燥到含水低于 1%，便可直接进行熔炼，而且能产出含 Ni + Cu 为 35% 的低冰镍，省去了焙烧过程。近几年来，奥托昆普公司在闪速熔炼炉内将低品位硫化镍精矿成功地处理成含 Ni + Cu 约 73% 的冰镍，比一般高冰镍的品位还高，这样，就可能省去低冰镍的吹炼过程。

1944 年以前，高冰镍的处理方法一直采用分层熔炼法（即 Orford 法），此后，国际镍公司在铜崖冶炼厂首先采用高冰镍细磨-浮选的流程来分离铜与镍。

无论是分层熔炼法还是高冰镍磨浮法，所得到的均为高品位硫化镍精矿。多年来，这种产品一直是在多膛炉内经死烧脱硫后产出氧化镍，随后在电炉内还原成粗镍，最后铸成粗镍阳极进行电解精炼。近几年来，铜崖冶炼厂采用了将高冰镍分离浮选出来的硫化镍经制粒后在沸腾炉内氧化脱硫的方法取代了多膛焙烧炉。

许多年来，冶金工作者一直在探求将硫化镍或者是低冰镍直接吹炼成金属镍的办法，但多遭失败。1971 年，国际镍公司新投产的铜崖精炼厂成功地采用了在回转式氧气顶吹转炉（即卡尔多型炉）内直接将高冰镍吹炼成粗镍的新技术，然后将粗镍熔体水碎，继之进行高压羰基法精炼，产出高品位的金属镍粉。铜崖精炼厂的流程革新了高冰镍的处理和镍的精炼流程。

硫化镍矿的湿法冶金发展较快。加拿大舍利特·高尔顿公司的萨斯喀彻温堡精炼厂采用直接加压氨浸法处理硫化镍精矿，此法取消了一切火法冶金过程。国际镍公司的铜崖冶炼厂采用沸腾炉氧化焙烧 → 回转窑还原焙烧 → 常压氨浸法处理含镍磁黄铁矿；回收镍、铜、钴、硫酸铵及铁。鹰桥镍矿公司的鹰桥冶炼厂则采用硫酸化沸腾焙烧 → 浸出法

从磁黄铁矿中回收镍、铜、钴、硫及铁。

表2列出各种冶炼方法产镍量的统计资料。

2. 硫化矿的火法冶金

(1) 各种熔炼方法

目前,国外处理硫化矿的熔炼流程有:烧结→鼓风炉熔炼→吹炼;焙烧→反射炉熔炼→吹炼;焙烧→电炉熔炼→吹炼;闪速熔炼→吹炼。

鼓风炉熔炼 目前世界上仍有一些厂家采用鼓风炉熔炼硫化矿(如在加拿大和苏联),而且,其镍产量仍占有一定比例(约占16%,1970年统计数)。但是,由于富块矿逐渐减少及鼓风炉烟气含 SO_2 仅1~2%,不能制酸,污染环境,有的由于焦炭价格变贵等原因,所以,采用此法的工厂均为老厂。从表2可见,近几年来鼓风炉熔炼硫化矿基本没有发展。南非鲁斯丹伯格矿业公司的瓦特范尔镍厂也基于上述原因废弃了鼓风炉,于1969年起改用电炉熔炼。

加拿大国际镍公司的康尼斯顿镍厂于1913年投产,处理安大略省苏德贝里的低硅富矿石。细的矿石在6台 16.1×1.1 米的烧结机上烧结后,与富块矿、返料、石灰石及焦炭一起装入4座水套鼓风炉内熔炼(鼓风炉风口断面积为 1.27×6.1 米)。焦率占炉料量的8~10%。产出的低冰镍含 $\text{Ni} + \text{Cu}$ 12%,在4台 $\phi 3.9 \times 9.14$ 米的卧式转炉内吹炼成高冰镍。高冰镍含 $\text{Ni} + \text{Cu}$ 77%及 Fe 0.5%,经浇铸、冷却与破碎后,送铜崖冶炼厂分离镍和铜。

加拿大鹰桥镍公司的鹰桥冶炼厂于1930年投产,镍产量达40000吨/年,是世界大型镍厂之一。该厂早期也是处理富块矿,以后由于矿石品位降低而处理浮选精矿。物料经 $\phi 1.5 \times 9.1$ 米的圆筒制粒机制粒后,送给5台 9.7×1.1 米的烧结机进行烧结。烧结块与团矿、返料、矿石及焦炭一起装入四座鼓风炉内熔炼(使用两座),鼓风炉风口区尺寸为 6.1×1.27 米和 7.6×1.27 米。焦率占炉料量的10.1%。低冰镍成分为: Ni 8.5%, Cu 5.0%, Fe 53.7%, S 24.7%, SiO_2 0.6%;炉渣成分为: Ni 0.13%, Cu 0.13%。低冰镍在六台卧式转炉内吹炼成高冰镍。转炉规格为:三台 $\phi 4.0 \times 7.3$ 米,三台 $\phi 4.0 \times 9.1$ 米,其中两台备用。高冰镍成分为: Ni 48.6%, Cu 27.96%, Fe 0.92%, S 24.5%。高冰镍经破碎后送往挪威的克里斯蒂安松精炼厂处理。

反射炉熔炼 从表2可以看出:六十年代前,反射炉熔炼法在镍冶金中一直占有很重要的地位,但是,从七十年代起,此法基本上没有发展,产镍比重下降较快。

加拿大国镍公司的铜崖冶炼厂于1888年投产,是世界上炼镍历史长、生产规模大的工厂,生产能力达55000吨镍/年。该厂采用多膛炉焙烧→反射炉富氧熔炼流程,处理苏德贝里的硫化镍精矿,其平均成分为: $\text{Ni} + \text{Cu}$ 6%, Fe 42%, S 28%, H_2O 12%。精矿在最高温度约815°C下,经42台 $\phi 6.5$ 米、高12米的十层多膛焙烧炉(以后将用沸腾炉代替)焙烧后,脱硫到12.5%左右。焙烧炉用重油或天然气作补充燃料,每吨炉料消耗0.2~0.4加仑重油。焙砂在七座 33.5×9.14 米的反射炉内进行熔炼,反射炉用粉煤加热,粉煤发热量为13050英热单位/磅。燃烧用含氧25%的富氧空气,这不仅改善了燃料燃烧,降低了燃料消耗,而且使反射炉的处理能力提高了30%。此外,二次空气也预热到94°C,使燃料消耗降低8%。每座反射炉每天处理1500吨物料和700吨转炉渣,粉煤消耗量占炉料量的12.5%。产出的冰镍含: Ni 9.15%, Cu 4.85%;炉渣含: Ni 0.2%, Cu 0.08%, Co 0.1%。反射炉的低冰镍送往十九台 $\phi 3.96 \times 10.66$ 米的卧式转炉吹炼成低铁的高冰镍,

其成分为：Ni 47%，Cu 30%，Fe 0.5%，S 22%，微量的金、银和铂族金属，以及少量的硅与其他杂质。转炉渣含：Ni + Cu 2.3%，Fe 50%，SiO₂ 25%，返回反射炉或鼓风炉处理。

国外各种冶炼方法产镍量的统计

表 2

	冶 炼 方 法	1966年		1970年		1975年	
		万 吨	%	万 吨	%	万 吨	%
硫 化 矿	鼓风炉熔炼	3.311	10.8	7.620	16.00	7.620	8.2
	反射炉熔炼	12.36	40.5	17.690	37.4	17.690	19.1
	电炉熔炼	4.309	14.1	5.443	11.5	8.210	8.9
	闪速炉熔炼	0.318	1.4	0.363	0.7	4.627	5.1
	其 他	0.998	3.3	1.134	2.4	1.361	1.5
	湿法冶炼	1.225	4.0	1.814	3.8	3.175	3.4
	未定方法的设计	—		—		9.979	10.8
	合 计	22.521	74.1	34.064	71.8	52.662	56.9
氧 化 矿	造钼熔炼（鼓风炉或电炉）	2.177	7.1	2.495	5.3	5.217	5.6
	镍铁熔炼：鼓风炉	0.272	0.9	0.68	1.4	0.907	1.0
	电 炉	4.808	15.6	8.844	19.1	15.377	16.6
	其 他	0.726	2.3	1.134	2.4	1.134	1.2
	还原焙烧—浸出					10.206	11.0
	湿法冶炼（无火法步骤）					4.082	4.4
	未定方法的设计					3.039	3.3
	合 计	7.983	25.9	13.153	28.2	39.962	43.1
总 计		30.504	100.0	47.217	100.0	92.624	100.0

电炉熔炼 近几年来，电炉熔炼有所发展。一般说来，熔炼一吨干硫化镍精矿大约需要27.7万千卡的热量。对于每天处理1500吨镍精矿的炉子，每吨精矿的电耗约为 400 度。对于熔炼热焙砂的炉子，电耗稍低一些，如熔炼 550°C 的焙砂时，理论上每吨焙砂大约耗电170度，实际上对于上述规模的炉子来说，约为350度。

国际镍公司汤普森冶炼厂，于1961年 3 月投产，原设计能力为3.0万吨镍/年，也是世界大型镍厂之一。该厂采用沸腾炉半氧化焙烧—电炉熔炼流程处理含有少量黄铜矿的辉镍铁矿石，经选矿后产出的精矿成分为（按干量计）：Ni 7.5%，Cu 0.25%，Fe 41%，S 28%，SiO₂ 12%，Al₂O₃ 4~5%，CaO + MgO 5~6%，Na₂O + K₂O 5~6%，C 2%。由于原料中含铜很低，经电炉熔炼与转炉吹炼后，可产出含铜低于 2.6% 的高冰镍，无需进行铜的分离便可以铸成阳极直接进行电解精炼。

含水10~11%的精矿与熔剂一起在三台 $\phi 4.27 \times 4.87$ 米的沸腾炉内于565~675°C下进行半氧化焙烧，使精矿中 35~45% 的硫被脱除。沸腾炉空气利用率高达 100%。烟气经收尘后，由150米高的烟囱放空。

沸腾炉产出的焙砂再配入15~20%的熔剂后，加入三台 18000 千伏安的电炉内进行熔炼。电炉内部尺寸为 27.5 × 6.7 × 4 米，有 6 根 $\phi 1220$ 毫米的自焙电极。当炉子处理量为 700~750吨焙砂/日时，每吨炉料耗电约400度，消耗电极糊 1.75~1.9 公斤。电炉产出的低冰镍成分为：Ni 16%，Cu 1%，Fe 50%，S 25%；炉渣成分为：Ni 0.17%，Co 0.06%，Cu 0.01%，S 1%，SiO₂ 35%，FeO 47~50%，Al₂O₃ 6%，CaO 4%，MgO 5%。

低冰镍在四台 $\phi 4.12 \times 10.7$ 米卧式转炉内吹炼成高冰镍。高冰镍的成分为 Ni 75%，Co 0.6%，Cu < 2.6%，Fe 0.5%，S 19%；转炉渣的成分为 Ni 2~3%，Cu 0.15~0.2%，FeO 50%，SiO₂ 20~23%。转炉渣呈液态返回电炉。高冰镍装入两台 $\phi 4.12 \times 7.62$ 米、用重油加热的保温炉，然后浇铸成高冰镍阳极。

闪速熔炼 四十年代末期在铜冶炼工业中发展起来的闪速熔炼法，也成功地应用到了镍的熔炼中。

1952年，加拿大国际镍公司铜崖冶炼厂曾利用纯氧闪速熔炼法处理硫化铜镍精矿，产出品位为59.68%的冰铜和含Cu+Ni 0.76%的炉渣。烟气中SO₂浓度高达75%，用于生产液态SO₂。可是这几年来，该厂仅采用闪速熔炼炉处理含镍低的硫化铜精矿。

芬兰奥托昆普公司的哈里雅伐尔塔厂，从1949年就开始采用闪速熔炼炉处理硫化铜精矿。由于此法显示出过程强化、燃料消耗少、烟气中SO₂浓度高、冰铜品位高、投资节省等优点，所以，该厂于1959年首先用此法来处理硫化镍精矿，该厂所处理的镍精矿的典型成分为：Ni 5.5~6%，Co 0.2%，Cu 0.5%，S 26%，Fe 37~39%，SiO₂ 15~16%，H₂O 6%。

精矿经配料后，在规格 $\phi 2.8 \times 5.75$ 米的回转窑内干燥脱水到1%以下，然后送往闪速炉进行熔炼。闪速炉反应室内径3.6米、高7.8米。1971年以前，该厂是将干燥后的精矿和预热到500℃的空气经喷嘴混合后，喷入闪速炉的反应室并用重油作补充燃料进行熔炼的。产出的冰镍成分为：Ni 35%，Cu 14%，Fe 23%，S 24%。闪速炉渣含Ni 0.6~0.9%，Cu 0.4~0.8%，与转炉渣一起在6000千伏安的电炉内进行贫化以回收镍和铜。贫化后的废渣含镍0.1~0.3%，铜很低；产出的冰镍含镍40%，铜15%，送往转炉吹炼成高冰镍。

1971年后，该厂为使生产过程自动化进行了改建，并建立了制氧厂，因而采用预热到200℃的富氧（含O₂ 27~35%）空气进行熔炼，过程基本上可自热进行。由于采用了富氧空气，炉子熔炼能力从400吨/日增加到700吨/日，强化了熔炼过程；同时，烟气含SO从10~11%提高到17~18%，有利于制取液体SO₂或元素硫；此外，可用低品位镍精矿产出含Ni+Cu约50%的冰镍，但与此同时，闪速炉渣含镍却升高到3%左右，增加了贫化电炉的焦炭消耗和电能消耗。近几年来，该厂为了提高冰镍品位，在反应室的底部喷入还原剂，如轻质挥发油，结果可产出含Ni+Cu>73%、Fe<3%的高冰镍，提高了冰镍的品位，而渣含镍并无明显增加。这样高的冰镍品位就可以省去吹炼过程。

采用闪速熔炼法处理硫化镍精矿的另一工厂是澳大利亚的卡尔古利镍厂。该厂于1971年开始兴建，1972年底投产，年产20000吨高冰镍（品位为Ni+Cu=50~75%），冶炼回收率达97.5%。据报导，该厂采用奥托昆普法的原因是因为其燃料费用低。

（2）高冰镍的处理

无论是采用何种方法熔炼硫化矿，也无无论在何种设备中用造锬熔炼法来处理氧化矿，结果都产出低品位冰镍。各镍厂按其所处理的原料含镍量和特点，产出的低冰镍品位均波动很大：从8~9%到35%左右。这种低品位冰镍需经过吹炼提高品位后，才利于进一步经济地、有效地处理。传统的吹炼设备是沿用铜冶金中的卧式侧吹转炉。低冰镍经吹炼后，除去了大量铁及部分硫，产出所谓的高冰镍。高冰镍的品位不一，镍和铜的含量波动在46%到75%。

高冰镍的处理方法分述如下。

分层熔炼法 这是一种古老的分离方法。此法是基于：在温度 $1090^{\circ}\text{C}\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 下，硫化铜非常容易溶于硫化钠中；当硫化镍的溶解度不大而且温度降低时，由于硫化镍在硫化钠中的溶解度降低而被分离出来。此外，基于硫化铜—硫化钠的化合物与硫化镍的比重不同而达到分离。此法开创于加拿大国际镍公司铜崖冶炼厂，沿用约50年之久，直到1944年后，才被高冰镍磨浮法所取代。

目前，英国的布利姆斯通镍厂仍用此法处理高冰镍。

高冰镍磨浮法 此法的原理是：当互溶的 Cu_2S 和 Ni_3S_2 溶体冷却到温度 720°C 时，有一个共晶点并开始分离出 β 型 Ni_3S_2 ，此时， Cu_2S 在 β 型 Ni_3S_2 中的溶解度为 $6\sim 7\%$ 。当温度继续下降到 532°C 时， β 型 Ni_3S_2 开始转变成 β' 型 Ni_3S_2 ， Cu_2S 的溶解度降低一半以上。基于这一原理，控制高冰镍的冷却温度和冷却速度，经磨细后，就可用浮选方法使 Ni_3S_2 和 Cu_2S 分离。

此法于1944年最先被铜崖冶炼厂所采用。转炉产出的高冰镍铸锭后，控制冷却速度，经三天缓冷后，使其结晶增大，并形成明显的三部分：硫化镍、硫化铜和含贵金属的铜镍合金。然后，破碎并磨细，先用磁选分离出磁性部分——含贵金属的铜镍合金，而非磁性部分——镍与铜的硫化物——进行优先浮选分离之。产出的硫化镍含镍73%，含铜低于0.6%，并且几乎无贵金属。这种含铜低的硫化镍一部分经熔化后铸成阳极送往科尔鲍恩港精炼厂进行直接电解，一部分则进行沸腾焙烧，产出高品位的氧化镍粉。

该厂是采用沸腾炉将硫化镍死烧脱硫的唯一厂家。硫化镍制成6毫米的颗粒后，在温度 1100°C 下，采用按 Ni_3S_2 氧化成 NiO 所需空气量的 $1.2\sim 1.3$ 倍进行沸腾死烧，物料在炉内停留8小时，产出焙砂含硫达0.2%。当采用含 O_2 25% 的富氧空气、在温度 1230°C 下焙烧时，可使焙砂中残硫降至0.05%。将这种焙砂再进行一次焙烧，残硫可降至0.01%。如果继而用氯气进行一次焙烧，则焙砂含铜量可降到0.25%。氯化焙烧后的焙砂，经沸腾炉用氢气还原焙烧后，可除去75%的氧，使焙砂含镍达90%，硫小于0.005%。

废电解液浸出高冰镍 奥托昆普公司的哈里雅伐尔塔镍精炼厂采用将高冰镍磨细后用废电解液浸出、净液及电解沉积的流程处理高冰镍。高冰镍磨细到80%小于270目，在有氧存在的条件下，进行两段逆流浸出。浸出后的富液经净化后作为阴极电解液送去电解沉积，最后产出电解镍。

此法与高冰镍直接电解相比具有如下优点：省去了高冰镍的阳极铸型；不必从电解槽收集阳极泥；不需制备特殊镍粉来脱铜并减少了化学试剂的消耗等。

盐酸浸出法 据报导，加拿大鹰桥镍矿公司的贝坎考特镍厂计划于1974年投产，设计能力为13600吨镍/年。该厂用盐酸浸出高冰镍使生成氯化镍，然后，在新设计的沸腾反应器内氧化成氧化镍，最后将氧化镍还原成金属镍。

高冰镍直接吹炼成粗镍——卡尔多法 近年来，镍冶金技术方面的重大发展是用氧气顶吹回转炉将高冰镍直接吹炼成金属镍。这一成就为从低冰镍直接吹炼成金属镍开辟了前景，革新了镍的熔炼流程。

多年来，冶金工作者一直在探求将硫化镍直接吹炼成金属镍的方法，以省去产生高冰镍的过程，但是，在普通的侧吹转炉内无法实现。

国际镍公司从1940年就开始进行研究，1959~1960年在瑞典杜纳尔维特钢厂，用容量3吨的卡尔多转炉进行了试验，并于1973年在铜崖镍精炼厂得到了应用。

铜崖镍精炼厂有两台容量为50吨的氧气顶吹回转炉，其中一台备用。所处理的原料为：铜崖冶炼厂高冰镍分选出来的含贵金属的铜镍合金，科尔鲍恩港精炼厂的硫化镍残极，汤普森镍厂的硫化镍和硫化镍残极等。这些物料经制团后装入转炉加热熔化。当温度达1370°C时，开始用高压氧气进行吹炼，直到溶体含硫降到~4%为止（这部分硫是有意保存作为羰基化时的触媒剂用的），此时熔体温度达1600°C。然后，将粗镍铁加入保温感应电炉，最后水碎成镍铁粒，作为加压羰基法精炼的原料。

氧气顶吹回转炉可用于吹炼低冰镍、低镍冰铜、镍的火法精炼和生产粗镍阳极。这一技术的应用，革新了镍的熔炼流程，省去了高冰镍处理的过程，强化了生产，对降低成本、提高回收率都有好处。由于用氧气顶吹，减少了吹炼的烟气量，提高了烟气中SO₂浓度，有利于回收SO₂。

（3）镍的电解精炼

镍的电解精炼法可分为粗镍阳极电解法及硫化镍直接电解法。

粗镍阳极电解法 传统的镍电解是用粗镍作阳极和用纯镍作阴极进行的。

加拿大鹰桥镍矿公司在挪威的克里斯蒂安桑精炼厂就是采用传统的电解精炼流程处理鹰桥冶炼厂的高冰镍。高冰镍的成分为：Ni 48%，Cu 27%，Co 0.8%，S 22%，Fe 0.9%，As 0.13%，Pb 0.06%，Se 0.04%。

高冰镍磨细后，在多膛炉于800°C下进行死烧脱硫，然后将焙砂用铜电解废液在巴丘卡槽中连续浸出，使铜进入溶液。分离出来的浸出渣则经干燥后，在电炉中还原熔炼成粗镍，随后浇铸成重220公斤阳极送去进行电解。电解镍的成分为：Ni 99.95%，Co 0.009%，Cu 0.0015%，Fe 0.0009%，S 0.0007%，As 0.0002%，Pb 0.0007%。电流密度为216安/米²。

硫化镍直接电解法 硫化镍直接电解技术开始于五十年代，与传统的电解法比较，省去了高冰镍的氧化焙烧和氧化镍的还原熔炼，从而简化了精炼流程，并且还副产元素硫。

如前所述，汤普森镍精炼厂处理铜崖冶炼厂的低铜高冰镍。高冰镍阳极在室温下冷却到538°C后装入冷却箱内，经25小时后冷却到204°C，然后取出并在室温下冷却。

典型的阳极成分为：Ni 76%，Cu 2.6%，Co 0.5%，Fe 0.5%，S 20%；其尺寸为：724×1105×46毫米。

电解车间有608个电镍生产槽和76个氢氧化镍生产槽。全部槽子与整流器串联，每个槽的阴极、阳极为并联。每个电解槽装有29块阳极和28块阴极，阴极置于隔膜袋中，其电流密度为207安/米²。

送入阴极隔膜袋的新电解液成分为：Ni 60克/升，SO₄²⁻100克/升，NaCl 100克/升，H₃BO₃ 20克/升，PH 3.5，H₃BO₃作缓冲剂用。每个电解槽电解液的给入速度为637升/小时；隔膜袋内外液面差为19~25.4毫米。经电解九天后，取出阴极，其平均厚度约12.7毫米，重66公斤。阳极电解周期为22天，残极率为20~25%。

3. 硫化镍矿的湿法冶金

到四十年代止，火法冶金是处理镍矿石的唯一方法。由于湿法冶金能充分地利用资源，回收有价值金属以及不易污染环境，所以近年来硫化矿的湿法冶金也有进展。

硫化矿湿法冶金的方法如下：

（1）硫化镍精矿加压氨浸