

有色金属行业职业技能培训用书

电解精炼工岗位培训系列教材

镍电解精炼工

NIEDIANJIE JINGLIANGONG

主 编 陈自江

副主编 张树峰 郑军福 卢建波

陈 涛 张本军



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

有色金属行业职业技能培训用书

电解精炼工岗位培训系列教材

镍电解精炼工

主 编 陈自江

副主编 张树峰 郑军福 卢建波

陈 涛 张本军

冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本书讲述了镍及其主要化合物的物理化学性质, 电化学, 湿法冶金电解过程, 镍电解精炼, 始极片的制作与加工, 镍电解精炼阴阳极出装, 镍电解精炼溶液循环, 镍电解精炼电熔造液, 镍电解精炼洗涤, 镍电解精炼铜棒除锈, 设备故障及维护, 镍湿法精炼基础知识, 电解镍产品质量标准, 镍电解精炼主要经济技术指标。

本书可作为电解精炼工岗位培训教材, 也可供有色金属冶炼企业工程技术人员、管理人员、企业实习的大学生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

·镍电解精炼工/陈自江主编. —北京: 冶金工业出版社, 2016. 1

有色金属行业职业技能培训用书 电解精炼工岗位
培训系列教材

ISBN 978-7-5024-7156-9

I. ①镍… II. ①陈… III. ①镍—电解精炼
IV. ①TF815. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 319504 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区高碑院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmip.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 杨盈园 美术编辑 杨帆 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7156-9

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 固安华明印业有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版, 2016 年 1 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 11.25 印张; 269 千字; 167 页

38.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgcb.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

《电解精炼工岗位培训系列教材》 编委会

主任 陈自江

副主任 张树峰 郑军福 卢建波 陈涛

委员 赵重 苏兰伍 周通 李金利 张兴学

赵秀花 焦永超 张本军 章毅 李瑞基

张鹏 丁丰荣 宗鹏飞

· 前 言 ·

金川集团股份有限公司是集采矿、选矿、冶金、化工为一体的特大型跨国经营的企业集团。镍电解生产系统是公司最主要镍产品生产单元。镍电解一期工程于1964年开始建设，1966年7月建成投产。1978年以后，在金川科技联合攻关的推动下，对镍电解进行大量的技术革新和改造，尤其是1980年“硫化镍阳极提高电流密度、提高pH值”工艺试验成功，使镍精炼生产发生质的飞跃，跨入一个新的历史发展时期，1983年电解镍产量首次突破10000t，1990年初达到24400t。随着1990年5月一期镍电解扩建工程，1995年10月二期新建镍电解工程，2005年5月二期扩建工程，2007年7月新建三期镍电解工程，2012年新建成的6万吨镍电解项目先后投产，到2013年电镍生产能力达到14万吨。

为了培训职工，提高职工镍电解精炼理论知识水平、操作技能和工程技术人员技术能力，公司集中镍电解生产系统技术力量，编写了镍电解培训教材——《镍电解精炼工》，全书由镍的基础理论知识、电化学基础知识和镍电解各工序的工艺流程、基本原理、工艺配置、生产实践、常见故障及其处理、产品标准和技经指标等内容组成。全书用通俗的语言，讲述了镍电解精炼的基本知识，具有一定的实践性和应用性，能够较好地巩固和充实职工基础理论知识，从而达到指导生产、服务生产的目的。

本书是在公司镍电解精炼实际生产控制和操作实践经验基础上借鉴参考了相关培训教材编写完成的。主编陈自江，副主编张树峰、郑军福、卢建波、陈涛、张本军。其中工艺部分由郑军福、卢建波、陈涛、张本军、章毅、李瑞基编写，设备部分由赵重、丁丰荣、张鹏、宗鹏飞编写。参与本书编写工作的还有苏兰伍、周通、焦永超、赵秀花、张兴学。全书由卢建波统稿。

本书在编写过程中，承蒙各级领导和各位工程技术人员的大力支持，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中若有不妥之处，诚望各界人士不吝赐教。

编 者
2015年12月

· 目 录 ·

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 世界镍资源	1
1.1.2 国内镍资源	1
1.2 镍及其主要化合物的物理化学性质	2
1.2.1 金属镍的性质	2
1.2.2 镍的化合物及性质	3
1.3 炼镍原料	4
1.3.1 镍的矿物	4
1.3.2 镍的矿石	4
1.3.3 镍精矿	5
1.4 镍的用途及其消费量	6
1.4.1 镍的用途	6
1.4.2 镍的消费量	7
1.5 生产纯镍的主要工艺流程	8
1.5.1 硫化镍可溶阳极电解工艺流程	8
1.5.2 不溶硫酸电积工艺流程	9
1.5.3 不溶氯化电积工艺流程	10
1.5.4 其他生产纯镍产品的工艺流程	11
复习题	13
2 电化学概述	17
2.1 电化学研究的对象和意义	17
2.2 冶金电化学的主要任务及研究方法	18
2.3 法拉第电解定律	18
2.4 电解质溶液的电导	19
2.4.1 电导率	19
2.4.2 影响电导率的因素	21
2.4.3 原电池	21
2.4.4 原电池符号写法	22
2.4.5 电极(半电池)的种类	23
2.4.6 电池反应	23

2.4.7 可逆电池与不可逆电池	24
2.5 电极电势	24
2.5.1 电动势的产生	24
2.5.2 氢标的电极电位	25
2.5.3 标准电极电势	27
2.6 电极的极化	28
2.6.1 电极的极化	28
2.6.2 过电势产生的原因	28
2.6.3 极化曲线	29
2.6.4 极限电流	30
2.7 分解电压与离子的共同放电	31
2.7.1 分解电压与槽电压	31
2.7.2 离子的析出顺序和共同放电	32
2.8 冶金电化学基本概念	33
复习题	35
3 湿法冶金电解过程	38
3.1 阴极过程	38
3.1.1 氢在阴极上的析出	38
3.1.2 金属在阴极上的析出	41
3.1.3 阳离子在阴极上的共同放电	44
3.2 阳极过程	48
3.2.1 金属的阳极溶解	49
3.2.2 阳极钝化	49
3.2.3 合金阳极的溶解	51
3.2.4 不溶性阳极及其在其上进行的过程	52
3.2.5 硫化物的阳极行为	55
3.2.6 电解过程	55
3.3 槽电压、电流效率和电能效率	57
3.3.1 槽电压	57
3.3.2 电流效率	59
3.3.3 电能效率	60
复习题	61
4 镍电解精炼	64
4.1 镍电解精炼工艺	64
4.1.1 镍电解精炼概述	64
4.1.2 镍电解精炼工艺流程	66

4.2 镍电解精炼基本原理	66
4.2.1 镍电解阳极过程	66
4.2.2 镍电解阴极过程	67
4.2.3 镍电解造液过程	68
4.3 镍电积精炼工艺	69
4.3.1 镍电积精炼概述	69
4.3.2 镍电积精炼工艺流程	70
4.4 镍电积精炼基本原理	71
4.4.1 硫酸电积基本原理	71
4.4.2 氯化电积基本原理	71
复习题	72
5 始极片的制作与加工	85
5.1 始极片的制作与加工过程	85
5.1.1 始极片制作与加工原理及流程图	85
5.1.2 始极片制作与加工主要设备设施	86
5.1.3 始极片制作与加工生产操作实践	87
5.2 始极片制作与加工常见故障判断与处理	88
5.2.1 成张率低	88
5.2.2 始极片尺寸不符合要求	88
5.2.3 始极片表面油污	88
复习题	88
6 镍电解精炼阴阳极出装	92
6.1 阳极出装	92
6.1.1 可溶阳极电解	92
6.1.2 不溶阳极电积	93
6.2 阴极出装	93
6.2.1 阴极出装工艺流程	93
6.2.2 阴极出装主要设备	93
6.3 镍精炼阴阳极出装生产操作实践	94
6.3.1 可溶阳极电解	94
6.3.2 不溶阳极电积	94
6.4 出装常见故障判断与处理	94
6.4.1 电解液 pH 值波动	94
6.4.2 气孔的产生及排除	94
6.4.3 疙瘩的产生及消除	95
6.4.4 电镍分层的产生及预防	95
6.4.5 其他工艺故障的形成及预防	96
复习题	97

7 镍电解精炼溶液循环	109
7.1 镍电解精炼溶液循环工艺流程	109
7.2 镍电解精炼溶液循环基本原理	109
7.3 镍电解精炼溶液循环主要设备	111
7.3.1 电解槽	111
7.3.2 隔膜架	112
7.3.3 母线	112
7.4 镍电解精炼溶液循环生产操作实践	113
7.4.1 溶液输送	113
7.4.2 打火、检查循环	113
7.4.3 碳酸钡浆化加入	113
7.5 电调常见故障判断与处理	114
7.5.1 电解槽新液温度	114
7.5.2 烧板的判断与处理	114
7.5.3 氢氧化镍的判断与处理	115
7.5.4 海绵镍的判断与处理	115
7.5.5 反析铜的判断与处理	115
7.5.6 阳极冒烟的判断与处理	115
复习题	115
8 镍电解精炼电溶造液	124
8.1 电溶造液工艺流程	124
8.2 电溶造液基本原理	124
8.3 电溶造液主要设备	125
8.4 电溶造液生产操作实践	125
8.4.1 电溶造液的调酸配液	125
8.4.2 添加剂加入	126
8.4.3 阳极出装	126
8.4.4 阴极制备	126
8.4.5 阴极抖板	126
8.4.6 电溶造液槽掏槽	126
8.5 电溶造液常见故障判断与处理	127
8.5.1 低酸出口液指标的判断与处理	127
8.5.2 海绵铜指标的判断与处理	128
复习题	129
9 镍电解精炼洗涤	136
9.1 镍电解精炼洗涤工艺流程	136

9.2 镍电解精炼洗涤主要原理	136
9.3 镍电解精炼洗涤主要设备	137
9.3.1 阳极泥洗涤的主要设备	137
9.3.2 海绵铜洗涤主要设备	137
9.4 镍电解精炼洗涤生产操作实践	138
9.4.1 阳极泥洗涤	138
9.4.2 海绵铜洗涤	139
9.5 洗涤常见故障判断与处理	140
9.5.1 阳极泥含镍高	140
9.5.2 洗后海绵铜含镍高	140
复习题	140
10 镍电解精炼铜棒除锈	143
10.1 镍电解精炼铜棒除锈工艺流程	143
10.2 镍电解精炼铜棒除锈主要原理	143
10.3 镍电解精炼铜棒除锈生产操作实践	143
10.3.1 备棒	144
10.3.2 晃棒	144
10.3.3 送棒	144
10.4 铜棒除锈常见故障判断与处理	144
复习题	144
11 设备故障及维护	146
12 镍湿法精炼基础知识	151
12.1 阳极液净化的流程	151
12.2 电解液的循环	151
12.3 净化方法及流程的选择	151
12.3.1 氧化中和除铁	152
12.3.2 净化除铜	153
12.3.3 净化除钴	154
12.3.4 共沉淀法除微量铅锌	156
13 电解镍产品质量标准	157
复习题	158
14 镍电解精炼主要经济技术指标	160
14.1 电解主要经济技术指标	160
14.1.1 镍回收率	160

· VI · 目 录

14.1.2	镍直收率	160
14.1.3	残极率	161
14.1.4	电能消耗	161
14.2	电溶造液主要经济技术指标	161
14.2.1	残极率	161
14.2.2	海绵铜产率	161
14.2.3	电溶造液能耗	162
14.3	电积主要经济技术指标	162
14.3.1	回收率	162
14.3.2	直收率	162
14.3.3	电流效率	162
14.3.4	电流密度	163
14.3.5	电镍品级率	163
14.3.6	直流电单耗	163
14.3.7	材料消耗	163
	复习题	163
	参考文献	167

1 绪 论

1.1 概 述

镍在世界物质文明发展中有着十分重要的作用。人类发现镍的时间不长,但使用镍的时间可一直追溯到公元前300年左右。我国最迟在春秋战国时期就已经出现了含镍成分的兵器及合金器皿。古代云南出产的一种“白铜”中,也含有很高的镍。1751年,瑞典科学家克朗斯塔特首次制取到了金属镍。直到19世纪末,由于产量有限,镍被人们视为贵金属,用以制作首饰。20世纪以来,人们发现了镍的多种用途及其在改善钢的性能方面所具有的独特功能,现代镍工业由此诞生并得到了迅速发展。

镍是一种银白色的金属。在公元前我国就知道使用镍锌、镍铜合金。国外于1775年制得纯镍,在1825~1826年间瑞典开始了镍的工业生产。当时,由于技术条件等因素的限制,镍的生产长期未得到显著的发展。直到发现将镍炼制成合金钢以后,镍工业才有了较快的发展,产量也迅速上升。1910年世界镍产量只有2.3万吨、1960年为32.55万吨、1980年为74.28万吨,2014年全球原生镍产量194万吨;消费量为190万吨。2014年中国原生镍产量预计为70万吨,消费量93万吨。随着我国经济发展速度的进一步加快和国民经济结构的调整,不锈钢行业、电池、电镀、触媒行业对镍的需求量将进一步增加。

1.1.1 世界镍资源

镍的矿物资源主要有硫化镍矿和氧化镍矿,再就是储存于深海底部的含镍锰结核。有关统计资料表明,至1990年,全世界已发现的陆地镍储量为5800万吨,储量基础为1.23亿吨,海洋锰结核矿的镍资源若以准边界品位估计,约有689万吨。在全世界镍储量中,硫化镍矿占了30%~40%,氧化硫矿占了60%~70%。主要分布在古巴、加拿大、俄罗斯、新喀里多尼亚、印度尼西亚、南非、澳大利亚、巴西、哥伦比亚、多米尼加、希腊、菲律宾和中国等国。在世界各国所产镍金属中,70%左右来源于硫化镍矿。

1.1.2 国内镍资源

我国已探明的镍矿点有70余处,储量为800万吨,储量基础为1000万吨,在世界上占第八位。其中硫化镍矿占总储量的87%,氧化镍矿占13%,主要分布在甘肃、四川、云南、青海、新疆、陕西等15个省、自治区中。其中甘肃省最多,甘肃省的金川镍矿已探明的镍储量为548万吨,占全国总储量的68.5%,其次为云南、新疆、吉林和四川,其镍储量分别占全国总储量的9.1%、7.5%、5.2%和4.5%。中国主要镍矿资源见表1-1。

金川镍矿则由于镍金属储量集中、有价稀贵元素多等特点，成为世界同类矿床中罕见的、高级别的硫化镍矿床。

表 1-1 中国主要镍矿资源

名 称		镍金属储量/万吨	矿石平均品位/%
含 $w(\text{Ni}) > 0.8\%$ 的硫化镍矿	甘肃金川镍矿	548.60	1.06
	吉林磐石矿	24.00	1.30
	四川会理镍矿	2.75	1.11
	青海化隆镍矿	1.54	3.99
	云南金平镍矿	5.30	1.17
	新疆喀拉通克铜镍矿	60.00	3.20
含 $\text{Ni} < 0.8\%$ 的硫化镍矿	陕西煎茶岭镍矿	28.30	0.55
	四川胜利沟镍矿	4.93	0.53
	云南元江镍矿	52.60	0.80
	其 他	72.08	
总 计		800.00	

1.2 镍及其主要化合物的物理化学性质

镍是元素周期表中第Ⅷ族的元素，其在元素周期表中的位置决定了镍及其化合物的一系列物理化学特性，镍的许多物理化学特性与钴、铁近似；由于与铜比邻，因此在亲氧和亲硫性方面又较接近铜。

1.2.1 金属镍的性质

1.2.1.1 物理性质

镍是一种银白色的金属，其物理性质与金属钴、铁有相当一致的地方，重要表现在如下几个方面：

(1) 镍的密度：在 20°C 时为 $8.908\text{g}/\text{cm}^3$ ，可靠数值为 $8.9 \sim 8.908\text{g}/\text{cm}^3$ ，熔点时液体镍的密度为 $7.9\text{g}/\text{cm}^3$ 。

(2) 镍的比热容：在 $0 \sim 1000^\circ\text{C}$ 的温度范围内变动于 $420 \sim 620\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ，在居里点或其附近有一显著的高峰，此温度下失去铁磁性。

(3) 镍的电阻：在 20°C 时镍的比电阻为 $6.9 \times 10^{-6}\Omega/\text{cm}$ 。镍基合金虽然广泛用于热电元件，但由于氧化关系纯镍实际上无此用途。

(4) 镍的热电性与铁、铜、银、金等金属不同，较铂为负，所以在冷端的电流由铂流向镍，因此，以镍作为热电元件时可产生高的电动势。

(5) 镍具有磁性，是许多磁性物料（由高导磁率的软磁合金至高矫顽力的永磁合金）

的主要组成部分，其含量常为 10% ~ 20%。

1.2.1.2 化学性质

金属镍是元素周期表第Ⅷ副族铁磁金属之一，原子序数 28，相对原子质量为 58.71，熔点 $1453 \pm 1^\circ\text{C}$ ，沸点 2800°C 。天然生成的金属镍有五种稳定的同位素： Ni^{58} 67.7%、 Ni^{60} 26.2%、 Ni^{61} 1.25%、 Ni^{62} 3.66%、 Ni^{64} 1.66%。其主要化学性质有：

(1) 在大气中不易生锈以及能抵抗苛性碱的腐蚀。大气实验结果，99% 纯度的镍在 20 年内不生锈痕，无论在水溶液或熔盐内镍抵抗苛性碱的能力都很强，在 50% 沸腾苛性钠溶液中每年的腐蚀性速度不超过 $25\mu\text{m}$ ，对盐类溶液只容易受到氧化性盐类（如氯化高铁或次氯酸铁盐）的侵蚀。镍能抵抗所有的有机化合物。

(2) 在空气中或氧气中，镍表面上形成一层 NiO 薄膜，可防止进一步氧化，含硫的气体对镍有严重腐蚀，尤其在镍与硫化镍 Ni_3S_2 共晶温度在 643°C 以上时更是如此。在 500°C 以下时镍对于氯气无显著作用。

(3) 20°C 时镍的电极电位为 -0.227V ， 25°C 镍的电极电位为 -0.231V ，若溶液中有少量杂质，尤其是有硫存在时，镍即显著钝化。

1.2.2 镍的化合物及性质

镍的化合物在自然界里有三种基本形态，即镍的氧化物、硫化物和砷化物。

1.2.2.1 镍的氧化物

镍有三种氧化物：即氧化亚镍 (NiO)，四氧化三镍 (Ni_3O_4) 及三氧化二镍 (Ni_2O_3)。三氧化二镍仅在低温时稳定，加热至 $400 \sim 450^\circ\text{C}$ ，即离解为四氧化三镍，进一步提高温度最终变成氧化亚镍。

镍可形成多种盐类，但与钴不同，只生成两价镍盐，因此，不稳定的三氧化二镍常作为较负电金属（如 Co 、 Fe ）的氧化剂，用于镍电解液净化除 Co 之用。

氧化亚镍的熔点为 $1650 \sim 1660^\circ\text{C}$ ，很容易被 C 或 CO 所还原。

氧化亚镍与 CoO 、 FeO 一样，可形成 $\text{MeO} \cdot \text{SiO}_2$ 和 $2\text{MeO} \cdot \text{SiO}_2$ 两类硅酸盐化合物，但 $\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ 不稳定。

氧化亚镍具有触媒作用，可使 SO_2 转变为 SO_3 ，而 SO_3 与 NiO 又可以形成稳定的硫酸盐，并较铜、铁的硫酸盐稳定，加热到 $750 \sim 800^\circ\text{C}$ 才显著离解。

氧化亚镍能溶于硫酸、亚硫酸、盐酸和硝酸等溶液中形成绿色的两价镍盐。当与石灰乳发生反应时，形成绿色的氢氧化镍 ($\text{Ni}(\text{OH})_2$) 沉淀。

1.2.2.2 镍的硫化物

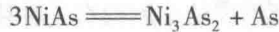
镍的硫化物有： NiS_2 、 NiS_5 、 Ni_3S_2 、 NiS 。硫化亚镍 (NiS) 在高温下不稳定，在中性和还原气氛下受热时按下式离解：



在冶炼温度下，低硫化镍 (Ni_3S_2) 是稳定的，其离解压比 FeS 小，但比 Cu_2S 大。

1.2.2.3 镍的砷化物

镍的砷化物有砷化镍 (NiAs) 和二砷化三镍 (Ni_3As_2)。前者在自然界中为红砷镍矿, 在中性气氛中可按式离解:



在氧化气氛中红砷镍矿的砷一部分形成挥发性的 As_2O_3 , 一部分则形成无挥发性的砷酸盐 ($\text{NiO} \cdot \text{As}_2\text{O}_3$)。因此, 为了更完全地脱砷, 在氧化焙烧后还必须再进行还原焙烧, 使砷酸盐转变为砷化物, 进一步氧化焙烧中再使砷呈 As_2O_3 形态挥发, 即进行交替的氧化还原焙烧以完成脱砷过程。

镍在 50 ~ 100℃ 温度下, 可与一氧化碳形成羰基镍 [$\text{Ni}(\text{CO})_4$], 如下式所示:



$$\Delta_r H_m^\circ = -50.7 \text{ kcal/mol}$$

当温度提高至 180 ~ 200℃ 时, 羰基镍又分解为金属镍。这个反应是羰基法提取的理论基础。

1.3 炼镍原料

镍在地壳中的含量估计约为 0.02%, 相当于铜、铅、锌三种金属加起来的两倍之多, 但富集成可供开采的镍矿床则寥寥无几。炼镍原料按冶炼方法不同而略有差异, 但无论是镍的何种矿物, 大多都必须经过选矿得到镍精矿才能用来冶炼。

1.3.1 镍的矿物

镍矿通常分为三类: 即硫化镍矿、氧化镍矿和砷化镍矿。砷化镍矿的含镍矿物为红砷镍矿 (NiAs)、砷镍矿 (NiAs_2)、辉砷镍矿 (NiAsS), 此类矿物只有北非摩洛哥有少量产出。

1.3.2 镍的矿石

1.3.2.1 镍的硫化矿石

自然界广泛存在的镍硫化矿是 $(\text{Ni}, \text{Fe})\text{S}$, 密度为 5 g/cm^3 , 硬度为 4。其次是针硫镍矿 NiS (密度 5.3 g/cm^3 , 硬度 2.5)。另外还有辉铁镍矿 $3\text{NiS} \cdot \text{FeS}$ (密度 4.8 g/cm^3 , 硬度 4.5), 钴镍黄铁矿 $(\text{NiCO})_3\text{S}_4$ 或闪锑镍矿 (Ni, SbS) 等。

硫化镍矿通常含有主要以黄铜矿形态存在的铜, 所以镍硫化矿又常称为铜镍硫化矿, 另外硫化矿中含有钴 (其量为镍量的 3% ~ 4% 和铂族金属)。

铜镍硫化矿可以分为两类: 致密块矿和浸染碎矿。含镍高于 1.5%, 而脉石量少的矿称作致密块矿; 含镍量低, 而脉石量多的贫矿称作浸染碎矿。从工艺观点来看, 这种分类便于对各类矿石进行下一步的处理。贫镍的浸染碎矿直接送往选矿车间处理, 而含镍高的致密块矿直接送去熔炼或者经过磁选。

铜镍硫化矿的特点是很坚硬, 难以破碎, 其次是受热时不爆裂, 其原因是矿石中的硫化物主要是磁硫铁矿。

铜镍硫化矿石中的平均含镍量变动很大,由十万分之几到5%~7%或者更高。一般是矿石可能含量比较低,但在个别情况下铜的含量可能与镍的含量相等或比镍高。

1.3.2.2 镍的氧化矿石

镍的氧化矿石由含镍在0.2%的蛇纹石经风化而产生的硅酸盐矿石。与铜矿石不同,一般氧化镍矿并不与硫化矿相连在一起。

氧化镍矿分为三类:位于石灰岩与蛇纹石之间的接触矿床的矿石;位于石灰岩上的层状矿石;含少量镍的铁矿(即镍铁矿)。第一类矿的特点是含镍高,但矿石成分变化很大。第二类矿的特点是矿床规模大,成分较均匀,但含镍量很低。第三类是当镍铁矿含铁较高时,则直接送往高炉内熔炼得到铁合金。

在氧化矿石中镍主要以含水的镍镁、硅镁、硅酸盐存在,镍与镁由于其两价离子直径相同,常出现类质同晶现象。

在氧化矿中几乎不含铜和铂族元素,但常常含有钴,其中镍与钴的比例一般为(25~30):1。

氧化镍矿的特点之一是矿石中含镍量和脉石成分非常不均匀。由于大量黏土的存在,氧化镍矿的另一特点是含水分很高,通常为20%~25%,最大到40%。氧化镍矿通常含镍很低,只有0.5%~1.5%,在极少量的富矿中含镍才达到5%~10%。

1.3.2.3 镍的砷化矿石

含镍砷化矿发现很早(1865年),而且在炼镍史上起过重要作用,但是后来没有发现这一类型的大矿床,因而现在从含镍砷化矿中提炼镍仅限于个别国家。

含镍的砷矿物有红砷镍矿 NiAs , 自毒砂或砷镍矿 (NiAs_2) 和辉砷镍矿 (NiAsS)。

1.3.3 镍精矿

与其他金属冶炼相比,进入镍冶炼厂的精矿品位要低得多,而且脉石成分复杂,因此镍冶炼的技术难度较大。

我国最大的镍生产企业金川集团公司冶炼厂所用的原料主要是自产的铜镍精矿,还有部分外购原料作为补充,以保证镍产品产量逐年提高的需要。

1.3.3.1 铜镍精矿的化学成分

金川公司使用的精矿原料一般可分为前期精矿和后期精矿两种类型。前期精矿主要是指1983年以前来自一矿区龙首矿和露天矿所产原料经选矿得到的精矿,此类精矿(质量分数)含镍3.5%~5%、铜1.6%~2.5%、钴0.14%~0.2%。此外还含有金、银及铂族金属,在冶炼过程中进行综合回收。后期精矿主要是指现在一矿区龙首矿和三角矿柱(龙首矿和露天矿之间)及二矿区井下开采的矿石,经选矿供给电炉和闪速炉熔炼用的精矿,其成分可见表1-2。

表1-2 金川后期铜镍精矿的化学成分 (质量分数/%)

炉型	Ni	Cu	Fe	Co	S	SiO_2	CaO	MgO
电炉	6.09	3.02	35.36	0.17	25.43	10.29	1.76	8.29
闪速炉	6.605	2.81	39.57	0.19	27.19	8.13	1.09	6.10

1.3.3.2 铜镍硫化精矿的矿物组成

金川公司硫化镍精矿的主要金属矿物成分是镍黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、墨铜矿等；脉石矿物主要为蛇纹石、滑石、绿泥石等。脉石矿物都是高铁镁的硅酸盐类，在电炉或闪速炉熔炼中变为渣相矿物而被废弃。

金川公司一矿区矿源所选出的镍精矿与二矿区矿源所出的镍精矿的矿物成分略有不同，与国外几个著名矿所产的镍精矿也有差异，这种差异不仅表现在数量上，而且也表现在金属矿物种类和脉石种类上，其差异对冶炼工艺有一定的影响。

综上所述，炼镍资源可分为硫化精矿和氧化精矿两大类。硫化精矿由于组成不同又可进一步分为含氧化镁高和含氧化镁低的精矿；镍铜比高和低的精矿；富铂精矿或贫铂精矿。同理，氧化精矿也可进一步划分为含铁高的红土矿和含镍低含硅高的硅酸镍矿等。

1.4 镍的用途及其消费量

1.4.1 镍的用途

镍与铂、钯相似，具有高度的化学稳定性，加热到 700 ~ 800℃ 时仍不氧化。镍在化学试剂（碱液和其他试剂）中稳定。镍系磁性金属，具有良好的韧性，有足够的机械强度，能经受各种类型的机械加工（压延、压磨、焊接等）。

纯镍特别是镍合金在国民经济中获得广泛的应用。镍具有良好的磨光性能，故纯镍用于镀镍技术中。特别值得指出的是纯镍还用在雷达、电视、原子工业，远距离控制等现代新技术中。在火箭技术中，超级的镍或镍合金用作高温结构材料。

镍粉是粉末冶金中制造各种含镍零件的原料，在化学工业中广泛用作催化剂。

镍的化合物也有重要用途。硫酸镍主要用于制备镀镍的电解液，蚁酸镍则用于油脂的氢化，氢氧化亚镍用于制备碱性电池。硝酸镍还可以在陶瓷工业中用作棕色颜料。但是，纯镍金属和镍盐在现代工业用途中消耗不多，而主要是制成合金使用。全世界耗镍最多的国家是美国和英国，占总产量的 60% ~ 70%。其中用于合金的镍量达到 80% 以上。随着我国改革开放，工业技术飞速发展，电气工业、机械工业、建筑业、化学工业等对镍的需求也愈来愈大，因此近十年我国镍的工业有了很大的发展。

概括起来镍的用途可分为六类：

(1) 制作金属材料，包括制作不锈钢，耐热合金钢和各种合金等 3000 多种，占镍消费量的 70% 以上，其中典型的金属材料有：

1) 镍 - 铬合金，如康镍合金，质量分数含镍 80%、铬 14%。能耐高温，断裂强度大，专用于制作燃气涡轮机、喷气发动机等。

2) 镍 - 铬 - 钴合金，如 IN - 939，含 $w(\text{Ni}) = 50\%$ 、 $w(\text{Cr}) = 22.5\%$ 、 $w(\text{Co}) = 19\%$ 。其机械强度大，耐海水腐蚀性强，故专用于制作海洋舰船的涡轮发动机。

3) 镍 - 铬 - 钼合金，如 IN - 586，含 $w(\text{Ni}) = 65\%$ 、 $w(\text{Cr}) = 25\%$ 、 $w(\text{Mo}) = 10\%$ 。为耐高温合金，如在 1050℃ 时仍不氧化发脆，特别是焊接性能较佳。