

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

Ni

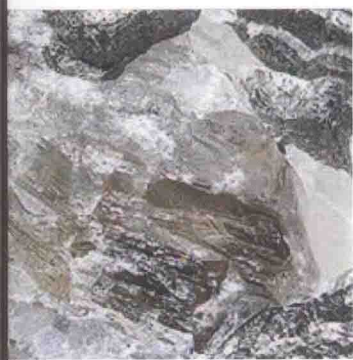
Sn

Co

Sb



镍钴锡铋采选行业 重金属污染与防治



赵志龙 何孟常 王建兵 林海 王芳 等著



清华大学出版社

镍钴锡铋采选行业 重金属污染与防治

赵志龙 何孟常 王建兵 林海 王芳 等 著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

镍、钴、锡、锑等有色金属矿多为复杂伴生矿,采选过程产生的废水、废石、尾矿中含有镍、钴、锡、锑、砷、汞、铜、铅、镉、铬等大量重金属,对环境构成严重威胁。本书通过对我国镍钴锡锑采选行业重金属污染状况的系统调查和深入分析,建立镍钴锡锑采选行业污染源清单,确定重金属污染特征和防控重点;分析镍钴锡锑采选行业废石、尾矿中重金属形态,提出重金属污染防治的环境监督和管理方案,为我国镍钴锡锑采选行业重金属污染控制与管理提供技术支撑。

本书可供矿山、环保等部门从事项目建设管理、环境保护教学、科学研究、设计的科技人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

镍钴锡锑采选行业重金属污染与防治/赵志龙等著.--北京:清华大学出版社,2015
ISBN 978-7-302-41705-7

I. ①镍… II. ①赵… III. ①重金属污染—污染防治 IV. ①X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 238012 号

责任编辑:柳 萍

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:17

字 数:413 千字

版 次:2015 年 11 月第 1 版

印 次:2015 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~1500

定 价:68.00 元

产品编号:063531-01

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

编著编委会

顾 问：吴晓青

组 长：熊跃辉

副组长：刘志全

成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

本书编委会

主 编：赵志龙

副 主 编：何孟常 王建兵 林 海

王 芳 黄羽飞 董颖博

编写人员：(按汉语拼音排序)

董颖博 北京科技大学

何连生 中国环境科学研究院

何孟常 北京师范大学

黄羽飞 北京矿冶研究总院

李泽熙 北京矿冶研究总院

林 海 北京科技大学

卢 然 环境保护部环境规划院

孟繁华 中国环境科学研究院

孙 宁 环境保护部环境规划院

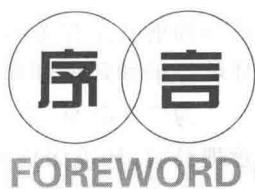
王 芳 北京矿冶研究总院

王建兵 中国矿业大学(北京)

许 永 北京矿冶研究总院

赵云皓 环境保护部环境规划院

赵志龙 北京矿冶研究总院



我国作为一个发展中的人口大国,资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作,提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下,“十一五”环境保护工作成效显著,在经济增长超过预期的情况下,主要污染物减排任务超额完成,环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长,资源环境约束进一步强化,环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减,环境质量改善的压力不断加大,防范环境风险的压力持续增加,确保核与辐射安全的压力继续加大,应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点,解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题,确保环保工作不断上台阶出亮点,必须充分依靠科技创新和科技进步,构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年,我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》(以下简称《规划纲要》),提出了建设创新型国家战略,科技事业进入了发展的快车道,环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求,原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会,出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》,确立了科技兴环保战略,建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来,在广大环境科技工作者的努力下,水体污染控制与治理科技重大专项启动实施,科技投入持续增加,科技创新能力显著增强;发布了502项新标准,现行国家标准达1263项,环境标准体系建设实现了跨越式发展;完成了100余项环保技术文件的制修订工作,初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构,支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动,“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署,环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题,立足环境管理中的科技需求,积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间,环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目234项,涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域,共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与,逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前,专项取得了重要研究成果,提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案,形成一批环境监测预警和监督管理技术体系,研发出一批与生态环境保护、国际履约、

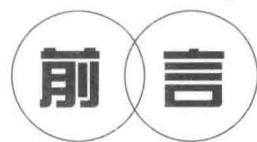
核与辐射安全相关的关键技术,提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议,为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果,及时总结项目组织管理经验,环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果,具有较强的学术性和实用性,可以说是环境领域不可多得的资料文献。丛书的组织出版,在科技管理上也是一次很好的尝试,我们希望通过这一尝试,能够进一步活跃环保科技的学术氛围,促进科技成果的转化与应用,为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011年10月



我国重金属污染重点防控五大行业(金属制品业、皮革及其制品业、有色金属冶炼及压延加工业、化学原料及化学制品制造业和有色金属矿采选业)的重金属排放量占工业行业总排放量的 95.24%。有色金属矿采选业是我国重点防控的五大行业之一,其重金属污染物的排放节点多,排放量很大,对环境构成严重威胁。镍、钴、锡、锑、铜、铅、锌等有色金属矿多为复杂伴生矿,采选产生的废水、废石、尾矿中含大量重金属。

长期以来,由于有色金属采选行业众多,各个行业的资源分布、生产工艺、规模不一,重金属污染物未经有效处理排放,引起了矿区地表水、地下水、土壤的重金属污染。有色金属采选行业重金属污染规律不清,导致防控重点至今仍不明确,给重金属污染防治工作造成了极大的困难。针对该突出问题,2012 年国家环保公益性科研专项经费启动了“有色金属采选重点行业(镍钴锡锑)重金属污染控制与管理支撑技术研究”项目(201209013),开展我国镍钴锡锑采选行业的污染源解析,阐明重金属污染特征,确定重金属污染防控重点,是实现上述行业重金属防控和有效监管的基础。

本项目课题组由北京矿冶研究总院、中国矿业大学(北京)、北京师范大学、中国环境科学研究院、环境保护部环境规划院、北京科技大学组成,在课题组的团结协作下,圆满完成了课题规定的研究任务,提出了预期的研究成果,为我国镍钴锡锑采选行业重金属污染控制与管理提供技术支撑,本书是该研究的主要成果。

本书共分 7 章,第 1 章论述了镍钴锡锑行业的资源分布、主要生产工艺、技术水平和发展趋势;第 2 章通过调查与实测典型镍钴采选企业产排污节点,完成重金属污染源识别;第 3 章研究了行业废水、固体废物和废气的重金属污染物排放特征;第 4 章通过取样实测进行了废石和尾矿中重金属淋溶特征及释放规律的研究;第 5 章明确了镍钴锡锑采选行业废水、固体废物和废气重金属防控重点;第 6 章对重金属污染防控技术进行了评估、建立了污染源防控技术清单;第 7 章基于课题的研究成果给出了镍钴锡锑采选行业重金属污染防治环境监督和管理对策建议。

本书的编写得到了环境保护部科技标准司和镍钴锡锑采选行业多家单位的大力支持,在此对各位领导和专家的支持和帮助表示感谢。受时间、条件与资料的诸多限制,本书尚有很多需要补充完善的地方,疏漏在所难免,请各位读者不吝赐教。

赵志龙

2015 年 10 月于北京



CONTENTS

1 镍钴锡铋采选行业发展现状	1
1.1 镍钴采选行业发展现状	1
1.1.1 镍钴矿储量与资源分布	1
1.1.2 镍钴采选行业主要生产工艺	4
1.1.3 技术水平与发展趋势	11
1.2 锡采选行业发展现状	13
1.2.1 锡矿储量与资源分布	13
1.2.2 锡采选行业主要生产工艺	15
1.2.3 技术水平与发展趋势	18
1.3 铋采选行业发展现状	20
1.3.1 铋矿储量与资源分布	20
1.3.2 铋采选行业主要生产工艺	21
1.3.3 技术水平与发展趋势	28
2 镍钴锡铋采选行业重金属污染源识别	30
2.1 镍钴采选行业重金属污染源识别	30
2.1.1 调查范围	30
2.1.2 调查与实测方法	30
2.1.3 典型企业产排污节点	33
2.2 锡采选行业重金属污染源识别	46
2.2.1 调查范围	46
2.2.2 调查与实测方法	46
2.2.3 典型企业产排污节点	49
2.3 铋采选行业重金属污染源识别	60
2.3.1 调查范围	60
2.3.2 调查与实测方法	60
2.3.3 典型企业产排污节点	62
3 镍钴锡铋采选行业重金属污染物排放特征	71
3.1 镍钴采选行业重金属污染物排放特征	71

3.1.1	含重金属废水污染物排放特征	71
3.1.2	含重金属固体废物污染物排放特征	75
3.1.3	含重金属废气污染物排放特征	77
3.2	锡采选行业重金属污染物排放特征	79
3.2.1	含重金属废水污染物排放特征	79
3.2.2	含重金属固体废物污染排放特征	83
3.2.3	含重金属废气污染物排放特征	86
3.3	铟采选行业重金属污染物排放特征	87
3.3.1	含重金属废水污染物排放特征	87
3.3.2	含重金属固体废物污染排放特征	90
3.3.3	含重金属废气污染物排放特征	93
4	镍钴锡铟采选行业废石和尾矿中重金属淋溶特征及释放规律	95
4.1	镍钴采选行业废石和尾矿中重金属淋溶特征及释放规律	95
4.1.1	样品来源及实验方法	95
4.1.2	淋溶特征及释放规律	96
4.1.3	废石和尾矿中重金属风险分析	105
4.2	锡采选行业废石和尾矿中重金属淋溶特征及释放规律	105
4.2.1	样品来源及实验方法	105
4.2.2	淋溶特征及释放规律	107
4.2.3	废石尾矿中重金属风险分析	108
4.3	铟采选行业废石和尾矿中重金属淋溶特征及释放规律	130
4.3.1	样品来源及测定方法	130
4.3.2	毒性浸出实验	131
4.3.3	淋溶实验方法	133
4.3.4	淋溶实验结果分析	133
4.3.5	废石尾矿中铟淋滤释放分析	143
4.3.6	结论	147
5	镍钴锡铟采选行业重金属污染源防控重点	149
5.1	镍钴采选行业重金属污染源防控重点	149
5.1.1	含重金属废水防控重点的确定	149
5.1.2	含重金属废气防控重点的确定	151
5.1.3	含重金属固废防控重点的确定	151
5.2	锡采选行业重金属污染源防控重点	154
5.2.1	含重金属废水防控重点	154
5.2.2	含重金属固废防控重点	159
5.3	铟采选行业重金属污染源防控重点	163
5.3.1	含重金属废水防控重点	163

5.3.2 含重金属固废防控重点	166
6 镍钴锡铋采选行业重金属污染防治技术与评估	171
6.1 镍钴采选行业重金属污染防治技术评估	171
6.1.1 镍钴采选行业重金属污染源防控技术调查	171
6.1.2 采选行业重金属污染源防控备选技术库	173
6.1.3 镍钴采选行业重金属污染源防控技术清单的建立	185
6.2 锡采选行业重金属污染源防控技术评估	188
6.2.1 锡采选行业重金属污染源防控技术调查	188
6.2.2 锡采选行业重金属污染源防控备选技术库的建立	191
6.2.3 锡采选行业重金属污染源防控技术清单建立	212
6.3 铋采选行业重金属污染源防控技术评估	224
6.3.1 铋采选行业重金属污染源防控技术调查	224
6.3.2 铋采选行业重金属污染源防控备选技术库的建立	230
6.3.3 铋采选行业重金属污染源防控技术清单建立	246
7 镍钴锡铋采选行业重金属污染防治存在的问题及对策建议	251
7.1 镍钴锡铋采选行业重金属污染防治政策、法规和标准方面存在的 问题及对策建议	251
7.2 镍钴锡铋采选行业重金属污染源监管存在的问题及对策建议	253
7.3 镍钴锡铋采选行业重金属污染防治措施和方法存在的问题及对策建议	254
参考文献	258

镍钴锡锑采选行业发展现状

1.1 镍钴采选行业发展现状

1.1.1 镍钴矿储量与资源分布

1. 世界镍矿储量与资源分布

镍是银白色金属,硬而有延展性并具有铁磁性的金属元素,它能够高度磨光和抗腐蚀,主要用于合金(如镍钢和镍银)及用作催化剂(如兰尼镍,尤指用作氢化的催化剂),在国民经济和国防建设各个领域中都有广泛的应用。

世界上可开采的镍资源有两类,一类是硫化镍矿,另一类是氧化镍矿。硫化镍矿床普遍含铜,常称硫化铜镍矿床。氧化镍矿资源为硫化镍矿岩体风化-淋滤-沉积形成的地表风化壳性矿床,由于铁的氧化,矿石呈红色,所以统称为红土镍矿。

全球已探明的镍矿储量约 230 亿 t,平均品位 0.97%,镍总量大约为 2.2 亿 t,其中硫化镍矿储量约为 105 亿 t,平均品位为 0.58%,镍含量约为 6200 万 t,约占镍矿总资源量的 28%;氧化镍矿约为 126 亿 t,平均品位为 1.28%;镍含量约为 1.6 亿 t,约占镍矿总资源的 72%。

据美国地质调查局统计,2012 年全世界镍储量约 7486.7 万 t(表 1-1),储量具有较高的集中度,澳大利亚、新喀里多尼亚、俄罗斯、古巴和巴西 5 个镍资源大国的镍储量占世界比重达 58%。硫化镍矿主要分布在加拿大、俄罗斯、澳大利亚、中国、南非等国家。红土镍矿主要分布在赤道附近的古巴、新喀里多尼亚、印度尼西亚、菲律宾、巴西、哥伦比亚和多米尼加等国。此外,在深海(特别是在太平洋深海)的锰结核中也蕴藏着丰富的镍资源。^[1]

表 1-1 全球镍矿资源储量分布

万 t

国家	美国	澳大利亚	博茨瓦纳	巴西	加拿大	中国	哥伦比亚	古巴
储量	0.7	2000.0	49.0	750.0	330.0	300.0	110.0	550.0
国家	多米尼加共和国	印度尼西亚	马达加斯加	新喀里多尼亚	菲律宾	俄罗斯	南非	其他国家
储量	97.0	390.0	160.0	1200.0	110.0	610.0	370.0	460.0

数据来源:《2013—2018 年中国镍产业全景调研及投资前景评估报告》。

2. 世界钴矿储量与资源分布

钴是具有光泽银灰色金属,熔点 1493℃、比重 8.9,比较硬而脆,具有铁磁性,加热到 1150℃时磁性消失。在硬度、抗拉强度、机械加工性能、热力学性质、电化学行为方面与铁和镍相类似。钴的物理、化学性质决定了它是生产耐热合金、硬质合金、防腐合金、磁性合金和各种钴盐的重要原料。钴基合金或含钴合金钢用作燃汽轮机的叶片、叶轮、导管、喷气发动机、火箭发动机、导弹的部件和化工设备中各种高负荷的耐热部件以及原子能工业的重要材料。钴作为粉末冶金中的黏结剂能保证硬质合金有一定的韧性。钴是永久磁性合金的重要组成部分,磁性合金是现代化电子和机电工业中不可缺少的材料,用来制造声、光、电和磁等器材的各种元件。在化学工业中,钴除用作高温合金和防腐合金的材料外,还用于有色玻璃、颜料、珐琅及催化剂、干燥剂等。

钴矿一般很少以独立矿床的形式存在,绝大多数都以伴生元素的形态与其他元素伴生在一起。铜钴矿床主要分布在非洲,刚果南部和赞比亚北部集中了全世界将近二分之一的钴,是目前世界钴的主要来源;含钴的硫化铜镍矿床也是钴的主要来源之一,主要分布在加拿大、俄罗斯、澳大利亚;钴镍红土矿选矿处理起来比较困难,需要直接冶金,品位较低;还有一些含钴的多金属矿,主要分布在摩洛哥、加拿大,中国金川公司主要处理这一类的矿石,在高硫磨浮选矿过程中实现镍钴和铜的分离,并从镍电解过程中得到含钴渣,经冶炼得到钴产品。

据美国地质调查局统计,截至 2013 年的勘探显示,全球钴的储量 720 万 t。全球钴资源主要集中在刚果、赞比亚、加拿大、俄罗斯和澳大利亚等国家和地区,其中刚果、澳大利亚、古巴三国钴矿资源占世界储量的 68%,见表 1-2。

表 1-2 全球钴资源储量分布 万 t

国家	美国	澳大利亚	巴西	加拿大	中国	刚果(金沙萨)
储量	3.6	100	8.9	26	8	340
国家	古巴	摩洛哥	新喀里多尼亚	俄罗斯	赞比亚	其他国家
储量	50	1.8	20	25	27	110

数据来源: USGS 2014。

3. 我国镍矿储量与资源分布

我国镍矿资源主要是硫化镍矿,氧化镍矿极少。截至 2010 年,我国镍储量约为 760 万 t,其中硫化矿约占 91%,其余为氧化矿。数据显示,2010 年我国镍消费量约占世界总消费量的 30%,而镍矿储量仅占世界总储量 10%左右,对外依存压力较高。

我国镍矿储量分布于 19 个省区。如图 1-1 所示,主要集中在甘肃(占全国总储量 62.2%),其次分布在新疆、云南、吉林、湖北、四川、陕西和青海等 7 个省(自治区),合计保有储量占总储量的 34.5%,其余省合计储量占总储量的 3.3%。

4. 我国钴矿储量与资源分布

我国钴矿资源不多,独立钴矿床尤少,已探明钴的地质储量约 140 万 t,矿山保有储量约 47 万 t,相对贫乏。矿床类型有岩浆型、热液型、沉积型、风化壳型 4 类。以岩浆型硫化铜镍钴矿和矽卡岩铜铁钴矿为主,占总量的 65%以上;其次为火山沉积与火山碎屑沉积型钴矿,

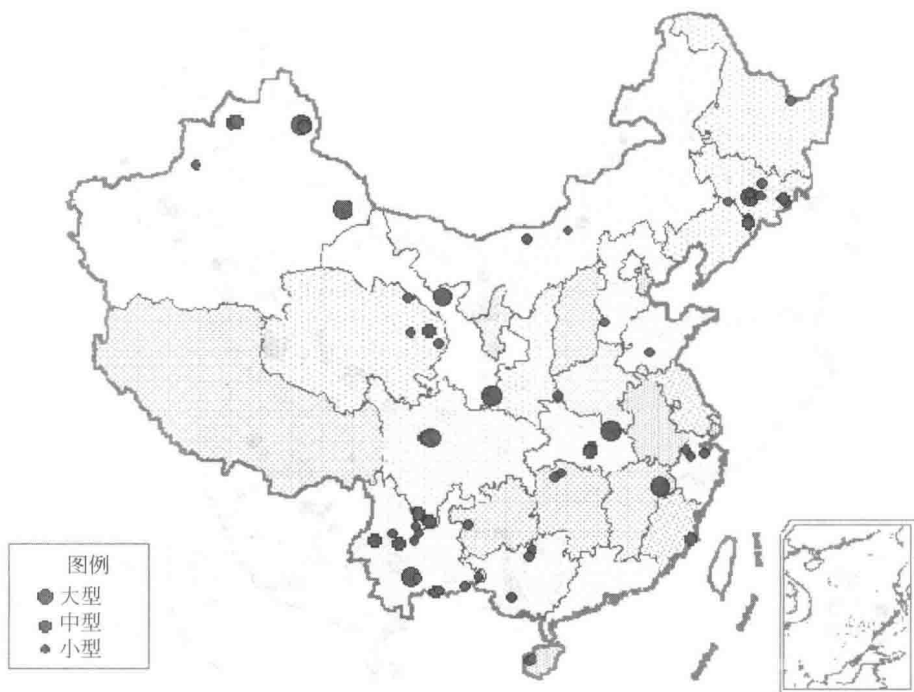


图 1-1 我国镍矿资源分布图

约占总储量 17%。我国已探明的钴资源主要有四大特点：

(1) 绝大多数是伴生矿，主要有硫化铜镍矿、铜铁钴矿和钴土矿。钴品位一般较低，主要作为副产品回收。根据对全国钴储量大于 1000t 的 50 多个矿床的统计分析得知，钴的评估品位仅为 0.2%，因而生产过程中金属回收率较低，工艺复杂，生产成本较高。

(2) 可利用的钴资源主要伴生在硫化铜镍矿床中，占全国钴资源探明总储量 50% 左右。硫化铜镍矿床已开发的有甘肃金川公司、吉林磐石的红旗岭、新疆的喀拉通克等矿。甘肃金川为我国主要的钴资源所在地，其伴生钴储量为 14.42 万 t。

(3) 可利用的钴资源其次伴生在铜铁钴矿中，目前已经开发的有四川拉拉铜矿、山东金岭铁矿、山西中条山铜矿、湖北大冶铁矿和海南石碌铜矿等。

(4) 单一的钴矿为钴土矿，钴土矿矿石的矿物成分包括：含钴、镍、铜的偏锰酸矿、锂硬锰矿、钾硬锰矿和褐铁矿，一般呈片状、葡萄状、球状或珊瑚状，粒度为 5~30mm。其储量只占全国储量的 2% 左右，且基本不能直接获得钴精矿。新中国成立初期曾采用鼓风炉或电弧炉还原熔炼成钴铁，湖南长沙戏楼坪钴土矿目前由乡镇企业开采，衡阳冶炼厂回收。海南安定县居丁钴土矿矿石品位高，钴品位为 1.632%，目前正筹备开采。它的含钴矿物主要为氢氧化物和含水氧化物。

我国钴矿主要分布在甘肃、山东、云南、河北、青海、山西等 24 个省(自治区)，它们各自保有储量占全国保有总储量的百分比依次为 30.7%、10.4%、8.5%、7.3%、7.1%、6%，其储量之和占全国总储量的 70%，其余 30% 的储量分布在新疆、四川、湖北、西藏、海南、安徽等省(自治区)，如图 1-2 所示。

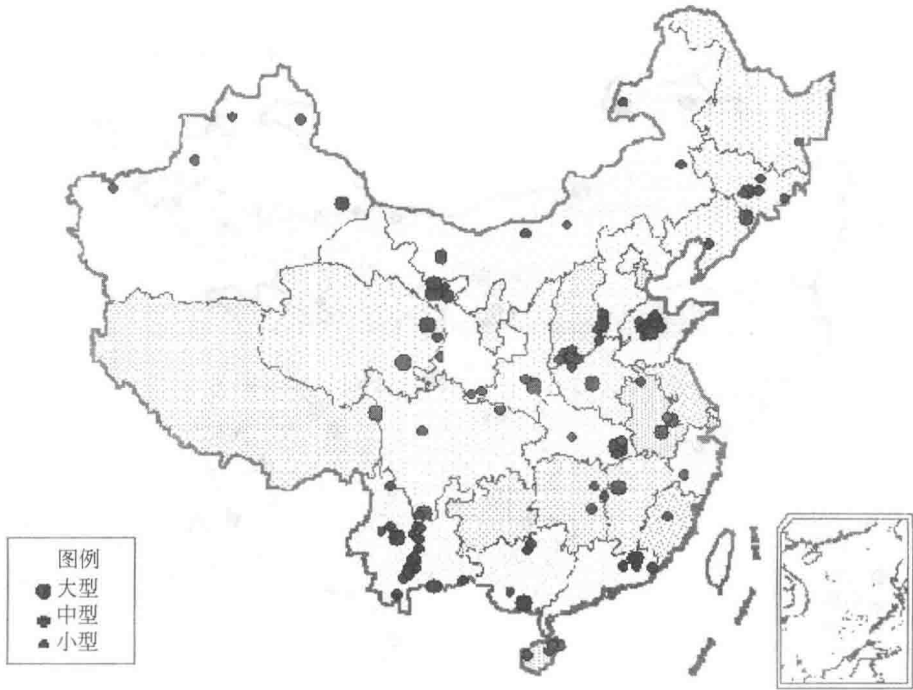


图 1-2 我国钴资源分布图

1.1.2 镍钴采选行业主要生产工艺

1.1.2.1 主要原料

在我国,镍矿的开发利用主要以硫化铜镍矿为主,红土镍矿的开采规模较小。硫化铜镍矿也称铜镍硫化矿,由于矿石中一般伴生有钴,也可记为铜镍(钴)硫化矿。同样,红土镍矿中也伴生有钴,也可记为红土镍(钴)矿。钴采选的原料主要有铜镍(钴)硫化矿、红土镍(钴)矿、铜铁(钴)矿,我国虽有钴土矿,但是目前只有个别乡镇企业在开采,开采后送冶炼厂回收,不是钴采选行业的主要原料。

1. 硫化铜镍(钴)矿

我国铜镍(钴)硫化矿成分复杂,代表性的有甘肃金川公司二矿区矿石,矿物种类较多,常见的金属矿物主要有镍黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、紫硫镍矿、方黄铜矿、墨铜矿、四方硫铁矿、磁铁矿、铬尖晶石等;另外,还有少量的钛铁矿、赤铁矿、白铁矿、碲铋矿、碲铋镍矿、碲铅矿、碲铋钨矿、碲铂矿等。脉石矿物主要有蛇纹石、橄榄石、辉石、透闪石、碳酸盐、滑石、绿泥石、云母等^[2]。矿石含镍品位平均为 1.29%,矿石的矿物组成和相对含量见表 1-3,矿石中镍矿物物相分析结果如表 1-4 所示。

甘肃金川硫化铜镍矿床,主要含钴矿物有磁黄铁矿、黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、紫硫镍矿、镍辉砷钴矿、铁镍辉钴矿等。矿石中钴的品位为 0.021%~0.038%,该矿为我国最大的镍钴生产矿山,钴产量约占全国的 70%。

表 1-3 甘肃金川镍矿二矿区矿石组成和相对含量

%

金属矿物				脉石矿物	
矿物	含量	矿物	含量	矿物	含量
镍黄铁矿	3.85	银金矿	微	橄榄石	18.73
紫硫镍矿	少量	金银矿	微	蛇纹石	46.45
磁黄铁矿	10.73	自然金	微	透闪石	3.44
四方硫铁矿	0.25	碲银矿	微	辉石	1.29
黄铜矿	1.82	叶碲铋矿	微	碳酸盐	1.76
方黄铜矿	少量	碲铋镍矿	微	滑石	0.88
墨铜矿	0.95	碲铋钼矿	微	绿泥石	1.87
铜镍铁矿	0.15	碲铋钼(铂矿)	微	云母	1.87
羟镁硫铁矿	少量	碲铅矿	微		
磁铁矿	6.61	碲铂矿	微		
钛铁矿	少量	赤铁矿	0.14		
黄铁矿(白铁矿)	0.73	铬尖晶石	0.35		

表 1-4 甘肃金川镍矿二矿区矿石中镍主要物相分析结果

%

相别	硫镍矿	氧化镍	硅酸盐中镍	全镍
含量	1.30	0.17	0.06	1.29
占有率	96.08	20.00	7.06	100.0

矿石中钴多与铜、镍呈类质同象存在于同种矿物中,在选矿过程中镍钴不能分离,选出的精矿为含钴铜镍精矿和含钴镍的硫精矿,钴是在电解阳极泥和炉渣中回收的。

2. 红土镍(钴)矿

目前我国红土镍矿的开采规模较小。红土镍矿体产在热带雨林覆盖下的橄榄岩风化形成的红土剖面中,赋存标高集中在 20~380m 范围内,沿山脊与山坡分布,矿体平面形态呈不规则状,受地形和剥蚀程度控制,矿体的厚度变化则受红土风化壳发育深度的控制。

矿区内由橄榄岩风化形成的红土风化壳,属自然风化结构,未见有异地迁移的堆积相组分,矿床应属原地自生的由蛇纹石化橄榄岩风化淋滤形成的硅酸盐型红土镍矿床。

各矿层红土矿化学成分如表 1-5 所示。

表 1-5 各矿层红土矿化学成分及处理工艺

%

矿层	化学成分					
	Ni	Co	Fe	Cr ₂ O ₃	MgO	特点
褐铁矿层	0.8~1.5	0.1~0.2	40~50	2~5	0.5~5	高铁低镁
过渡层	1.5~1.8	0.02~0.1	25~40	1~2	5~15	/
腐殖土层	1.8~3	0.02~0.1	10~25	1~2	15~35	低镁高铁

我国典型的红土矿有云南省元江-墨江红土镍(钴)矿,该矿床为红土风化型矿床,原岩为喜马拉雅期(推断)的超基性岩体,主要由蛇纹石化斜辉橄榄岩及少量蛇纹石化二辉橄榄岩、纯橄榄岩组成。风化壳剖面分为 6 个带:①覆土层(1~2m);②褐铁矿带(0.5~1m),主要矿物为针铁矿、赤铁矿,混有少量绿高岭石和石英;③褐铁矿-绿高岭石带(5~6m),主

要矿物为绿高岭石、针铁矿、赤铁矿，是主要矿石带之一；④绿高岭石带(3~7m)，由绿高岭石组成，是主要矿层；⑤淋滤蛇纹石带(15~25m)，由蛇纹石、石英、蛋白石、蜡蛇纹石和镍绿泥石等组成。矿石的钴品位 0.03%~0.036%。

3. 铜铁钴矿

铜铁钴矿的主要含钴矿物为黄铜矿、黄铁矿和磁黄铁矿等硫化物矿物。生产这种矿石的典型矿山有四川会理拉拉铜矿、山东金岭铁山、湖北大冶有色公司铜录山。

四川会理拉拉厂铜钴矿的矿石矿物以黄铜矿、黄铁矿为主，少量斑铜矿。含钴矿物为黄铁矿、硫铜钴矿、硫镍钴矿、辉砷钴矿和辉砷镍矿等。钴平均品位约为 0.02%^[3]。

金岭铁矿为高温接触交代矽卡岩矿床。矿石为自熔性磁铁矿矿石。金属矿物绝大部分为磁铁矿，次为赤铁矿和褐铁矿。尚有少量硫化矿物——黄铜矿、辉铜矿、含钴黄铁矿和黄铁矿、磁黄铁矿等。脉石矿物以辉石、云母、方解石、绿泥石较多，其中以云母和绿泥石与金属矿物关系最密切。矿石中有用成分除铁外，尚有硫、铜、钴，主要以磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿(含钴黄铁矿)三种形态出现。原矿含铁 50%~55%，含铜一般 0.08%~0.25%，含硫 1%~2%，含钴 0.018%~0.028%。钴金属大部分含在黄铁矿晶格中，少部分含在磁铁矿晶格中，黄铜矿中也含有一定量的钴。

湖北大冶有色公司铜录山矽卡岩型铜铁(钴)矿床的矿石矿物以黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿和黄铁矿为主，其次为辉钼矿、白铁矿、胶状黄铁矿。黄铁矿为含钴矿物，钴平均品位为 0.0154%。

4. 镍钴采选辅料

镍钴采选的辅助原材料有选矿药剂、石英石、河砂等。燃料有煤和重油等。选矿药剂包括调整剂、捕收剂和起泡剂，常采用的药剂及用量如表 1-6 所示。

表 1-6 镍钴选矿常用的选矿药剂

		药剂名称		分子式
		碱	氢氧化钠 纯碱 石灰	NaOH Na ₂ CO ₃ CaO
调整剂	pH	酸	硫酸	H ₂ SO ₄
		抑制剂	水玻璃	Na ₂ O · nSiO ₂
			羧甲基纤维素	—
	活化剂		胆矾	CuSO ₄ · 5H ₂ O
			硫化钠	Na ₂ S
			氟硅酸钠	Na ₂ SiF ₆
			草酸	(COOH) ₂
捕收剂	黄药		乙基黄药	C ₂ H ₅ OCSSNa
			丁基黄药	C ₄ H ₉ OCSSNa
			异戊基黄药	C ₅ H ₉ OCSSNa
	黑药		丁铵黑药	(C ₄ H ₉ O) ₂ PSSNH ₄
起泡剂	2#油		松醇油	—