

· 工艺材料进展 ·

## 我国不锈钢原料资源和生产进展

张友平 周渝生 李肇毅

(宝钢研究院炼铁新技术研究所, 上海 201900)

**摘要** 近年来我国不锈钢产能增长迅速,对铬铁和金属镍的需求不断增加。分析了我国铬铁矿和镍矿的资源状况以及碳素铬铁和镍的生产工艺;基于我国铬铁矿和镍矿资源严重短缺的情况,提出在利用国外铬铁矿资源的同时开发新工艺,拓宽国内铬铁矿资源,充分利用廉价铬矿粉,并加强综合利用研究;采用新工艺利用不含或含微量贵金属的硫化镍矿,并开发利用红土矿生产镍的新工艺以保证镍资源的供应。

**关键词** 不锈钢 原料资源 生产进展

## Raw Material Resource for Stainless Steel Production and Its Progress in China

Zhang Youping, Zhou Yusheng and Li Zhaoyi

(Ironmaking Research Department, Baosteel Research Institute, Shanghai 201900)

**Abstract** With the rapid increasing stainless steel output in recent years, the demand for ferrochromium and metallic nickel continuously increased at home. The resource situation of ferrochromium mineral and nickel mineral in china and production process for carbon ferrochrome and nickel are analyzed, based on the scarcity status of domestic chromite and nickel ore, it is proposed that besides using overseas chromite resource, it is available to develop new process, exploit domestic chromite resource, fully utilize cheap chromite sand, and enhance comprehensive utilization research; and use new process to utilize nickel sulfide ore without or with minor noble-metal, and exploit laterite ore assuring supply of nickel resource.

**Material Index** Stainless Steel, Row Material Resource, Production Progress

我国目前已掌握了高炉铁水冶炼不锈钢的工艺技术<sup>[1,2]</sup>,作为不锈钢主要合金元素,镍和铬在不锈钢生产成本中仍占相当的比重,例如在冶炼 18Cr-8Ni 不锈钢时,原料占不锈钢成本的约 70%。因此降低不锈钢原料成本,是降低不锈钢生产成本,提高企业竞争力的重要措施。

### 1 我国不锈钢生产状况

近年来国内不锈钢的消费量大幅度增长,2001年为 225 万 t,超过美国和日本,成为世界最大不锈钢消费国。2006 年我国不锈钢产量为 560 万 t,居世界第一。近年来我国不锈钢供应和进口情况见图 1<sup>[3]</sup>。

图 1 表明,我国不锈钢产量和新增产能逐年增长,但社会实际需求量增长更快。据统计,经过近几年的建设,我国不锈钢产能已超过 1 000 万 t,随着这些产能的逐步释放,不锈钢原料的需求缺口将进一步加大。因此,保证镍、铬资源供应,是我国不锈钢企业所面临的重要课题。

### 2 铬铁矿和镍矿的资源状况

#### 2.1 铬铁矿资源状况

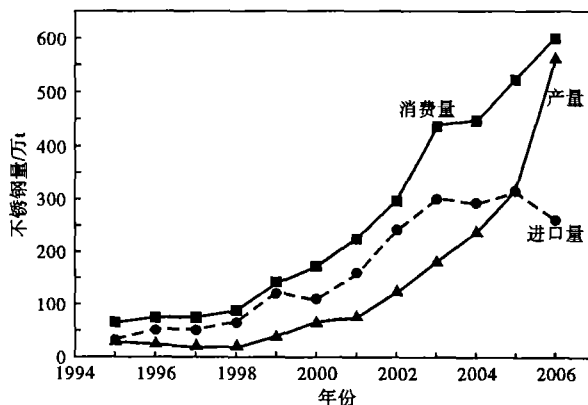


图 1 近年我国不锈钢产量、消费量和进口量变化

Fig. 1 Change of production, consumption and import of stainless steel in China in recent years

地球上铬铁矿分布大部分集中在发展中国家,如南非(占世界铬铁矿资源的 83%)、津巴布韦、印度等,而英国、法国、德国、意大利、瑞典和挪威等则完全没有铬铁矿资源,美国和加拿大仅有贫铬铁矿,而我国仅有极少量铬铁矿<sup>[4]</sup>。

我国所具有工业价值的铬铁矿床均属于晚期岩浆矿床型,矿体均以纯橄榄岩及其变质的蛇纹岩或

滑石的碳酸岩为围岩。铬铁矿主要分布在西藏、新疆等西部地区。到 1995 年末,探明的铬铁矿总量仅为  $1 \times 10^7$  t,当年我国铬铁矿总产量约  $2.0 \times 10^5$  t,而同年需求量约为  $7.2 \times 10^5$  t,供需缺口巨大。

我国从 1990 年以来年均消费 100 多万吨铬铁矿,由于供需严重失衡,近几年铬铁矿进口量增长显著(表 1)<sup>[5]</sup>。

表 1 我国铬铁矿进口情况  
Table 1 Import of chromite ore in China

年份	进口量/万 t	年份	进口量/万 t
1996	76.44	2002	114.3
1997	89.40	2003	177.9
1998	71.16	2004	216.6
1999	81.62	2005	302.5
2000	111.28	2006	432.1
2001	109.04	2007	500.0

针对国内铬铁矿资源短缺,主要依靠进口的情况,国家已采取措施,促进与资源国合作开发,保证铬铁矿原料供应,同时开展我国贫矿利用方案的研究。

## 2.2 镍矿的资源状况

镍在地壳中平均含量为 0.01%,但成开采矿床的并不多。目前开采的有硫化镍和氧化镍(表 2)。

目前,全球已经探明的镍储量约为 1.6 亿 t,其中硫化镍矿约占 30%,红土镍矿约占 70%。由于硫化镍矿成熟的提取工艺,现约 60% 的镍产量来源于硫化镍矿。红土矿虽然储量很大,其中 50% 的红土矿储量分布在我国周边西南太平洋的新喀里多尼亚、澳大利亚、印尼、菲律宾,但由于技术和经济等原因,许多红土矿并没有得到大规模开发。因此,从长远来看,红土矿将是未来镍的主要来源。目前,品

表 2 镍的硫化矿和氧化矿的特点  
Table 2 Characteristics of nickel sulfide and oxide ore

项目	硫化镍矿	氧化镍矿
地理位置	绝大多数处于南北回归线以外高纬度地区	绝大多数处于赤道线南北 30° 以内地区
矿石品位	0.3% ~ 2%, 采用浮选方法很容易提高精矿品位	0.3% ~ 2.5%, 一般选矿方法很难富集, 只能直接处理
矿石成分	伴有黄铜矿和不同数量的 Co 和贵金属	成分比较单一, 一般不含铜和贵金属, 但含少量 Co 和 Cr
采矿条件	大多埋藏地下, 采矿成本高	采用露天开采, 采矿成本低, 因地势偏僻, 可利用设施少, 投资较高
冶炼产品	为电解镍, 同时回收 Cu、Co 和贵金属	主要为镍铁, 很少有副产品
冶炼能耗	能耗较低	能耗较高, 为硫化矿的 2 ~ 3 倍

位高、开采条件好的硫化镍矿资源渐趋紧张乃至枯竭,红土矿的开发利用大有加快之势。

我国镍资源(主要为硫化矿)储量 360 万 t,主要集中在甘肃,其次分布在新疆、云南、吉林、四川和青海等 5 省(区)。

因此,从世界镍资源分布和我国的镍资源状况分析,积极开发红土矿利用技术,充分利用我国周边国家(菲律宾和印尼等)丰富的红土矿资源,是我国镍资源长期供应的战略选择。

## 3 碳素铬铁和镍的生产工艺

### 3.1 碳素铬铁生产工艺

铬铁矿主要用于冶炼碳素铬铁,进而生产不锈钢、耐热钢及其它合金钢。由于铬的还原温度比较高,大多数企业采用矿热电炉冶炼高碳铬铁合金。以焦炭作为还原剂,电能通过电极在矿热炉内产生 2000 °C 以上的高温还原区并提供还原和炉料熔化所需的热量。该工艺矿石粒度要求较严格,粒度为 10 ~ 70 mm 的块矿不应少于 80%,粉矿的利用受到限制。同时矿热炉电效率较低,能耗高达 2372 ~ 4024 kWh/t。生产中低碳铬铁和微碳铬铁,能耗更高。

在碳素铬铁生产中,若粉矿直接加入矿热炉内冶炼,将造成炉料透气性变差、操作困难和电耗高等不利后果。为了保证炉况正常和提高经济效益,铬铁矿粉的利用受到一定限制。随着电炉容量的不断增大,允许的铬铁矿粉使用比例将逐渐下降。而世界上的铬铁矿资源以粉状铬铁矿为主,适合冶金要求的块状铬铁矿仅占铬铁矿总量的 20% ~ 25%,国际市场上每吨块状铬铁矿价格比粉状铬铁矿高 25.5 美元以上。因此,铬铁矿粉的预处理技术是各铬铁生产厂家必须解决的问题。

### 3.2 金属镍的生产工艺

硫化镍矿的传统处理流程,最终产品主要为电解镍,并能有效回收 Cu、Co、Au 和 Pt 等元素,是一种成熟的复合矿综合利用先进工艺。由于我国镍矿的资源条件和镍产品的高度集中,使我国的镍产品比较单一,主要为电解镍,国内氧化镍和镍铁产量极少,镍的消费以电解镍板为主,由于近几年我国不锈钢产能的不断增加,对金属镍的需求缺口不断增大。图 2 为我国镍的产量和消费量变化情况<sup>[3]</sup>。

发达国家烧结氧化镍和镍铁的产量比重已占到 40% 以上,有的特殊钢企业用烧结氧化镍和镍铁代替昂贵的电解镍、镍丸和镍粉,用于生产不锈钢和合

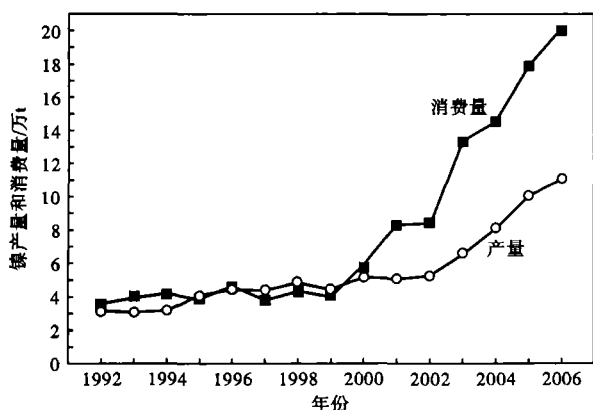


图2 近年我国镍产量和消费量增加情况

Fig. 2 Increase situation of domestic nickel output and consumption in recent years

金钢,显著地提高了经济效益。

目前,红土矿的主要处理工艺为矿热炉碳热法生产镍铁,随后进行精炼。矿石在回转窑内经干燥预热到750℃左右。在经预热的热矿石加入约4%的焦粉,然后将这种混合料,放在还原电炉中冶炼得到粗镍铁,经精炼后得到含镍约30%的铁合金。这种传统红土矿处理方法所需块矿要经干燥和预热等过程,用焦粉作还原剂,尤其在处理粉时仍需要造块。在还原电炉中冶炼每吨矿耗电600 kWh,按红土矿含镍2.5%计,生产1 t金属镍要处理40 t红土矿,包括精炼每吨金属镍总耗电量达30 000 kWh,本工艺仅适合于电价极低电力供应过剩的地区。

目前,国内一些企业利用红土矿烧结-小高炉生产低镍生铁,其经济性很差,生产1 t含镍约5%低镍生铁焦比达2 t以上,电耗150 kWh,折合每生产1 t金属镍要耗30~40 t焦炭,耗电3 000 kWh,技术经济上都不合理,也不符合国家产业政策。当每吨电解镍的市场销售价格低于20万元时,使用高炉法生产的低镍生铁就无法与传统工艺的电解镍板竞争。

#### 4 不锈钢原料问题的对策

##### 4.1 铬铁原料

利用国外铬矿资源,除了从国际市场上采购以外,还可在铬矿资源丰富的国家,通过合作勘查、开发,建立相对稳定可靠的原料供应基地<sup>[6]</sup>。

对于国际上廉价的粉状铬铁矿,建议采用转底炉-竖炉联合流程生产不锈钢母液,并直接冶炼成不锈钢<sup>[7,8]</sup>。

由于冶金级铬铁矿石一般要求铬铁矿含 $\text{Cr}_2\text{O}_3 \geq 46\%$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO} > 2.5$ ,对于我国贫铬铁矿山,由

于交通运输不便,应选择采、选、冶相结合的方式,以拓宽铬铁矿资源,提高综合经济效益。

##### 4.2 镍原料

针对我国镍矿资源以硫化矿为主的现状,对于不含或含微量贵金属的硫化镍矿,可考虑采用氧化焙烧-直接还原工艺生产镍铁合金或直接合金化,为不锈钢冶炼提供原料<sup>[9]</sup>。

对于世界上资源丰富的红土矿,开发利用红土矿生产镍铁的新工艺,以保证其长期供应<sup>[10]</sup>。

#### 5 结论

随着我国不锈钢产能迅速增长,对原料铬铁和金属镍的需求不断增加,鉴于我国铬铁矿和镍矿资源的严重短缺,不锈钢产业所面临的原料问题将日益严峻。

由于我国铬铁矿资源短缺,供需矛盾在不断加大,对外依存度在不断升高,因此必需利用国外铬铁矿资源来满足我国经济社会发展。同时开发新工艺,拓宽铬铁矿资源,充分利用廉价的铬矿粉,并加强我国贫铬矿的综合利用研究。

对于不含或含微量贵金属的硫化镍矿,可采用新工艺生产镍铁,同时,开发利用红土矿生产镍铁的新工艺,以保证镍资源的长期供应。

#### 参考文献

- 王一德,徐芳泓. 铁水为主要原料的不锈钢冶炼新工艺的开发. 特殊钢, 2006, 27(3): 35
- 伏中哲,史国敏,朱孔林. 高炉铁水冶炼不锈钢的新工艺技术. 上海金属, 2006, 28(5): 14
- 张友平. 红土矿生产低成本镍铁新工艺技术研究[博士后研究报告]. 上海: 上海交通大学, 2007
- 《化工百科全书》编委会. 化工百科全书. 北京: 化学工业出版社, 2000
- 张友平. 煤基二步法冶炼含铬铁水的应用基础研究[博士学位论文]. 北京: 钢铁研究总院, 2005
- 杨志忠,初广军. 中国铁合金工业的发展态势. 铁合金, 2002(3): 41
- 周渝生,徐汉明. 一种铬铁冶炼竖炉及冶炼方法. 中国专利申请号: 200610023696. 5
- 张友平,周渝生. 利用铬矿粉和煤直接生产铬铁合金的方法. 中国专利申请号: 200610031068. 1
- 刘岩,翟玉春,张纪谦. 从镍精矿中提取镍铁合金的还原工艺. 过程工程学报, 2005, 5(6): 626
- 周渝生,张友平. 利用红土矿和煤直接生产含镍铁合金的方法. 中国专利申请号: 200610031071. 3

张友平(1968-),男,博士,高级工程师,2005年钢铁研究总院毕业,直接还原和熔融还原炼铁。