

内 容 简 介

本书为 1999 年 9 月在北京举行的中国和巴西双边学术会议的论文集,共收集论文 16 篇,其中有来自巴西、美国、德国的著名教授、专家撰写的论文 6 篇,来自中国大型钢铁公司和钢铁研究总院专家撰写的论文 10 篇。本书对世界铌微合金钢,如管线钢、汽车薄板 IF 钢和铁素体不锈钢、建筑用钢、微合金铸锻件钢、工程机械用钢等的最新技术发展和应用进行了综合论述,对含铌和铌基高温用合金也做了综述;同时详细介绍了中国宝钢、武钢、鞍钢、攀钢等开发生产管线钢、IF 钢、桥梁钢、钢轨钢和工程机械用钢的最新技术进展;对 16Mn 钢铌微合金化的冶金原理研究和生产应用概况也做了介绍。

本论文集对于相关专业的高校教师、研究生和研究所、钢厂及用户厂的工程技术人员都有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

铌钢和铌合金:中国—巴西学术研讨会论文集/
章洪涛,王瑞珍,庞干云主编.—北京:冶金工业出版社,
2000.11
ISBN 7-5024-2682-5

I. 铌... II. ①章...②王...③庞... III. ①铌-合金钢-国际学术会议-文集②铌合金-国际学术会议-文集
IV. TG146.4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 49730 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)
责任编辑 李培禄 美术编辑 李 心 责任校对 白 迅
北京源海印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销
2000 年 11 月第 1 版,2000 年 11 月第 1 次印刷
787mm×1092mm 1/16;14 印张;246 千字;210 页;1—1000 册
39.80 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893
冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

铌钢和铌合金

——中国—巴西学术研讨会论文集

中国—巴西关于铌钢和铌合金学术研讨会于1999年9月在北京召开,以庆祝钢铁研究总院和中国钢铁企业界与巴西矿冶公司技术合作20周年。

KA111/01

前 言 (一)

本书为钢铁研究总院和巴西矿冶公司联合召开的中巴关于铌钢和铌合金的学术研讨会的论文集中文版。这次研讨会于 1999 年 9 月 28 日在北京举行,是钢铁研究总院以及中国钢铁工业界与巴西矿冶公司技术合作 20 周年的庆祝活动之一。

该书共收入论文 16 篇。其中有来自美国、德国和巴西知名教授、专家撰写的论文 6 篇,有来自中国钢铁公司和钢铁研究总院教授、专家和工程技术人员撰写的论文 10 篇。来自国外的 6 篇论文均为综述性论文,如 Gray J. M. 博士关于管线钢最新进展的论文, Hulka K. 专家关于欧洲铌微合金钢最新进展的论文, DeArdo A. J. 教授关于北美 IF 钢和铁素体不锈钢最新进展的论文,以及 Tither G. 博士关于北美铸锻件钢、建筑型钢和工程机械用钢最新进展的论文都是水平很高、内容丰富的综述文章。Carneiro T. 专家和 Stuart H. 博士关于铌在高温材料中的应用的论文是一篇既回顾历史发展又展望未来的内容丰富的综述论文。Bordignon P. 等专家的论文介绍了巴西矿冶公司的概况、铌的生产和应用的发展历史与发展前景。

中国的论文包括有关宝钢集团公司的管线钢和 IF 钢、攀枝花钢铁集团公司的管线钢、武汉钢铁集团公司的桥梁用钢、鞍山钢铁集团公司的工程机械用钢、钢轨钢和控轧控冷高强度钢的论文,还包括钢铁研究总院和南京钢铁有限责任公司关于 16Mn 钢铌微合金化的研究开发的论文。这些论文的作者都是来自相应单位的多年从事这方面工作的资深的专家、教授和年轻的工程技术人员。这些论文反映了当前中国含铌钢最重要领域的最新进展。

所有论文都是经预先特约而征集的,作者们经过长时间准备和精心撰写,原文以英文发表。考虑到这些论文对于中国冶金材料和各应用领域科技界有很高的参考价值,编者决定正式出版论文集。

文集的出版得到了巴西矿冶公司(CBMM)市场开发经理 P.J. Bordinon 先生的支持以及该公司对出版费用的资助,在此表示衷心感谢。

中国钢铁研究总院

章洪涛

王瑞珍

庞平云

2000 年 8 月

前 言 (二)

中国已经向世界表明其在钢铁工业领域的重要性。自 1996 年中国钢产量达到 1 亿 t 以来,中国一直保持其作为最大产钢国的地位。巴西矿冶公司代表团曾于 1978 年访华,当时中国钢产量接近 3000 万 t。中国钢铁工业近 20 年的发展给人以深刻的印象。

中国钢产量已经成功地达到了很高的水平。正如中国政府和钢铁公司的经理们所认识的那样,现在已经到了提高产品级别的时候了。对于中国冶金工作者来说,这将是一个开发和生产包括含铌钢在内的新钢种和高附加值钢材的大好时机。以含铌钢的情况为例,我们可以参考其他传统的工业国家,如日本、德国、法国和美国的铌铁消耗量。这些国家的铌铁消耗量为每吨粗钢 60 ~ 80g FeNb(这个数值为总铌铁消耗量与粗钢总产量的比值)。这一比值在中国要小得多,说明在中国存在的生产新的附加值高的钢材的机遇和潜力很大。

本论文集收入的中方论文说明这方面的工作已经在进行并已取得很大的进步。这本论文集对我们巴西矿冶公司的人来说具有很特殊的意义,这是我和钢铁研究总院及中国钢铁工业界过去 20 年合作的象征。钢铁研究总院曾是巴西矿冶公司和中国冶金界的连结桥梁。在此桥梁的许多个桥墩中有两个很特别的和很强的桥墩。其中一个,很不幸,现在只存在我们心中(并将永远在我们心中)——吴宝榕博士。另一个是我的兄长——章洪涛先生。

还有许多工作要我们来做。我们期望着我们的合作项目将继续下去,直至将来许多年。愿未来继续带给我们成功!我们将进一步加强友谊,并给伟大的国家——中国作出重要贡献。

巴西矿冶公司

鲍迪德 帕斯卡

2000 年 7 月 20 日

PREFACE

China has been demonstrating to the world its importance in the steelmaking sector, having reached and maintained the mark of largest producer since 1996, when a total of 100 million ton of steel was produced. Progress in the last 20 years has been impressive. When CBMM first visited China, in 1978, steel production was close to 30 million ton.

High volume output has been successfully achieved. As recognised by the Chinese authorities and by executives of the steel industry, it is now time to give priority to upgrading of the product mix. It will be a stimulating period for Chinese metallurgists because of the opportunities to develop and produce new steels and value added steel products, which include niobium containing steels.

In the case of niobium containing steels, one can refer to the levels of ferroniobium consumption in other traditional steelmaking countries like Japan, Germany, France and USA, which are in the range of 60 to 80 g FeNb per ton of raw steel produced in each of those areas (this figure is the ratio Total FeNb consumption/Total raw steel production). The figure for China is smaller, indicating the existing potential and opportunities for the production of new value added steels.

Work is already being done in this direction, and the content of the Chinese papers in this Proceedings is a good indication of significant progresses being achieved.

This proceedings is of very special significance to us at

CBMM. It is a symbol of our cooperation with CISRI and with the Chinese Steel Industry during the last 20 years. CISRI was the bridge that linked us at CBMM with the Chinese metallurgical community. Among many, two are very special and very strong pillars sustaining this bridge. One, unfortunately, is now only in our minds (and will be for ever)-Dr. Wu Baorong. The other, who became my elder brother-Mr. Zhang Hongtao.

Much has still to be done and we will be looking forward to the continuation of our cooperation programme for many many years in the future. And may this future bring continuous success, further strengthening of friendship, and an important contribution to this great nation-China.

Pascoal Bordignon

CBMM

July 20, 2000

目 录

巴西矿冶公司和铌	(1)
中厚板和管线钢的近期发展	(11)
铌在宝钢管线钢中的应用	(39)
攀钢管线钢的发展	(47)
武钢高性能桥梁钢的研制及应用	(53)
欧洲铌微合金化的最新进展	(61)
控制轧制和控制冷却对 HQ60K 钢的微观组织和力学性能的影响	(93)
低碳锰铌钢热轧条件对组织和性能的影响	(99)
北美 IF 钢和铁素体不锈钢的最新进展	(109)
铌在宝钢 IF 冷轧薄板钢中的应用	(125)
✓ 铌微合金化 16Mn 钢板的生产实践	(132)
板坯加热温度对含铌 16Mn 钢组织和性能的影响	(139)
✓ 工业试生产含铌 16Mn 钢板非金属夹杂的分析	(152)
✓ 北美铸锻件钢、建筑型钢和工程机械用钢的最新进展	(162)
Si-Cr-Nb 高强度钢轨钢的研究	(185)
铌在高温合金中的应用	(192)

巴西矿冶公司和铌

Pascoal Bordignon, José Isildo de Vargas, Clóvis
Antonio de Faria Sousa

CBMM——巴西矿冶公司, 巴西圣保罗

摘要 本文对铌金属的发展作了介绍。铌元素于 1801 年被发现,最初是作为一种稀有金属来应用的。在大型铌矿被发现和开发以后,铌成为可以大量供应的金属,在微合金钢中得到大量的应用。由此,铌就改变了原来作为稀有金属的地位,成为目前具有可开采数百年的蕴藏量、市场大量供应和价格稳定的金属。本文对铌的供需情况进行了分析,描述了作为世界上最大的铌铁供应厂家的巴西矿冶公司的工业发展概况,其中包括 1999 年提高铌铁产量 50% 的发展计划。中国自 1996 年开始成为世界上最大的产钢大国,但铌的用量仍然很少,说明中国的铌市场有很大的潜力。

1 引言

在不到 200 年的时间内,铌从不为人们所知的元素变成一种价格很高的稀有金属。然后情况发生了变化,铌现在已经是容易得到、供大于求和价格不高的金属。

在 1801 年,英国化学家 Charles Hatchett 发现了一个新元素,他当时称之为钶(Columbium)。这是因为他当时采用的矿物样品来自美国的新英格兰州。然而,Hatchett 没有提取出这个元素。一个名为 Heinrich Rose 的德国人在 1844 年从钽铁矿中分离出不纯的 Nb_2O_5 。Rose 认为他发现了一个新元素,他称之为铌(Niobium)。1948 年国际化学家联合会决定采纳铌作为这个元素的名称。然而北美冶金界至今还广泛采用钶这个原来的名称。在近 100 年的时期内,铌一直是试验室探索的对象。大约在 1925 年才开始铌的应用,将铌加到工具钢中以代替钨。其后在 1933 年铌开始被用在不锈钢中以稳定钢中的间隙元素。20 世纪 40 年代铌开始被用于燃气轮机的高温合金中。20 世纪 30 年代就有人对铌在普通碳素钢中的应用感兴趣。但由于当时铌的价格很高,每公斤所含铌高于 25 美

元,并且难以得到,直至 20 世纪 50 年代末 60 年代初才开始实现铌在普碳钢中的应用。在此以前,铌的来源主要是铌钽铁矿。其加工主要是提选钽,铌为副产品,提选过程成本很高。

20 世纪 50 年代中期,由于巴西米纳斯捷拉斯州 Araxá 城和加拿大魁北克省 Oka 城的大型烧绿石矿被发现和其后的开发,铌成为储量丰富的金属,因而其价格亦大幅度下降(见图 1)。这一事实促使许多人开始探索铌在碳素钢中的应用。

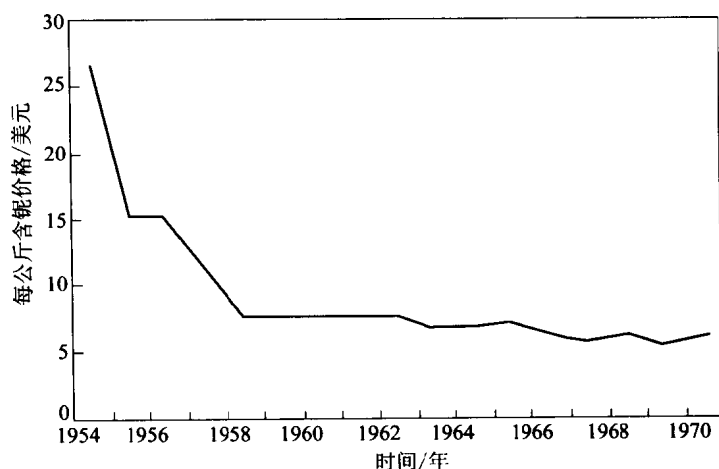


图 1 烧绿石矿发现前后铌铁价格的变化

巴西 Araxá 矿是世界上最大的铌矿。该矿由巴西矿冶公司(CBMM)开采。该公司在保证铌的稳定可靠的供应方面起着重要的作用。以下将对 CBMM 对铌市场的稳定所作的贡献加以叙述。

2 Araxá 铌矿的能力

从地质学的观点看,碳酸岩几乎是烧绿石矿的惟一来源。全世界铌矿的分布情况见图 2。

世界上正在开采的铌矿资源估计总量为 11.5 百万 t 铌。此外,还有已探明的铌矿蕴藏 19.8 百万 t 铌。目前全世界铌的消耗量为每年 2 万 t。对于铌的蕴藏量和正在开采的铌矿的生产能力来说,目前的消耗量太少了。表-1 概括了三个正在开采的铌矿,其中两个在巴西,一个在加拿大。

图 3 为正在开采的 Araxá 露天矿的照片。这个矿自 1961 年开始由 CBMM 公司经营。值得指出的是,从实际意义上说这个矿是取之不尽的。该矿的风化

矿石储量为 456 百万 t, 平均 Nb_2O_5 含量(质量分数)为 2.5%。Araxá 矿的数量如按目前的需求量计算, 则可供应世界市场数百年。上述数字还不包括尚有 936 百万 t 的未风化的岩石矿。这种岩石矿分布在风化层的下层, 平均含 Nb_2O_5 (质量分数)1.57%。

表 1 正在开采的主要铌矿

项目	Araxá 巴西		Catalão 巴西	St. Honoré 加拿大
烧绿石矿	风化矿	岩石矿	风化矿	岩石矿
Nb_2O_5 的质量分数/%	2.50	1.57	1.34	0.69
储量/百万 t	456	936	18	15
开采方式	露天矿		露天矿	地下开采
产品	标准 FeNb 铌氧化物, NiNb 真空级 FeNb 铌金属		标准 FeNb	标准 FeNb

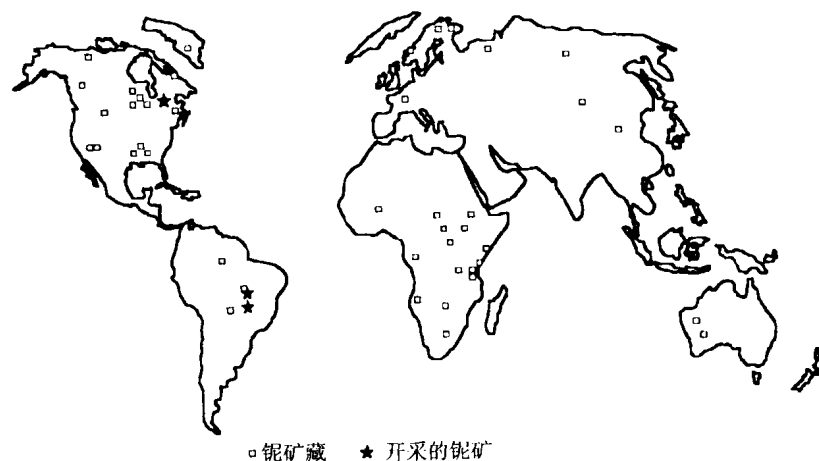


图 2 世界铌矿的分布

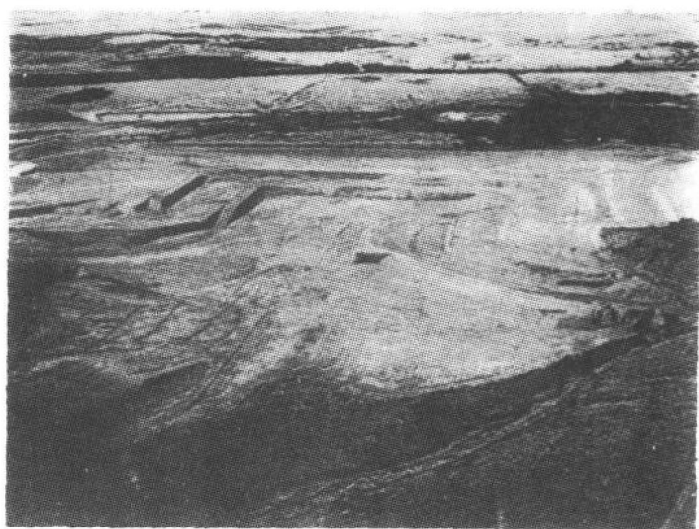


图3 CBMM Araxá 铌矿——可用数百年的储量

3 CBMM 的铌铁和其他铌产品

CBMM 铌矿的极高品位和巨大储量使得该公司自然成为铌铁和其他铌产品的世界领先的生产厂家。不断的战略规划和投资更有利于该公司巩固其领先地位。

自 1961 年投产以来, CBMM 不断进行技术革新和发展生产, 使得其铌铁生产上了好几个台阶。1980 年 CBMM 开始生产高纯铌氧化物。这使得该公司的产品系列中增加了几种附加值高的产品。同年, 该公司停止销售作为铌铁和铌氧化物生产原料的铌精矿。

CBMM 历年来完成的技术革新和扩大生产的主要项目归纳如下:

- 1961 年 开始生产铌精矿, 年产 6000t。
- 1964 年 开始生产标准铌铁, 在开口反应器中用铝热还原法生产, 年产标准铌铁 2400t。
- 1968 年 沥滤车间投产, 除去铌精矿中的磷、硫和铅等杂质元素, 年产 6000t 铌精矿。
- 1970 年 铌精矿的生产能力扩大为 15000t/a。
- 1976 年 新的沥滤车间投产, 满足钢厂对杂质元素更严格的要求, 生产能力为 33000t/a。
- 1980 年 高纯铌氧化物车间投产, 生产能力 1800t/a, 铌氧化物由于不再只

是钽加工的副产品,市场供应充足,价格下降。

1981年 新选矿厂投产,生产能力 42000t/a。

1982年 真空级铌铁和铌镍投产,总生产能力为 200t/a。

1989年 高纯铌金属开始生产,电子束炉精炼能力为 50t/a。

1991年 半连续自热还原法生产标准铌铁车间投产,生产能力 22800t/a。

1994年 电炉生产标准铌铁车间投产,生产能力 22800t/a。

1997年 真空级铌铁和铌镍车间生产能力扩大至 1000t/a。

1998年 整个公司生产能力的扩大:选矿车间达 50000t/a;沥滤车间达 50000t/a;标准铌铁车间达 30000t/a;高纯氧化物车间达 2400t/a。

1998年 特纯铌氧化物车间投产,生产能力为 150t/a。

上述内容只是说明 CBMM 为提高铌的生产而不断努力的情况。

表 2 汇总了 CBMM 目前的各种产品及其典型铌含量和生产能力。

表 2 CBMM 产品及其生产能力

产 品	含量(质量分数)/%	生产能力/t·a ⁻¹
标准铌铁	65 ~ 67(Nb)	30000
高纯铌氧化物	99(Nb ₂ O ₅)	2400
真空铌铁和铌镍	65(Nb)	1000
光学用铌氧化物	99.9(Nb ₂ O ₅)	150
铌金属	99.9(Nb)	50

下面介绍一下 CBMM 的近期发展项目。

由于世界市场对铌的需求的增加已经达到了一个新的水平,CBMM 为了继续保证将来也有超额的生产能力,进行了新的投资。全部投资将达 82.5 百万美元。标准铌铁生产能力提高 50%,1999 年从 30000t/a 提高到 45000t/a。

投资项目有:

(1)新建混料场,其目的是提高浮选的效果。

(2)新建第二台球磨机,磨矿能力增加 60%,从 50000t/a 提高到 80000t/a。

(3)用于精矿除去杂质元素,新建新的火法冶金工艺设备,代替原来的焙烧和沥滤车间,生产能力提高 60%,达到 80000t/a。

(4)新建铌铁破碎、筛分和包装设备,现已投产。

(5)新建第二台电弧炉,用于生产标准铌铁,生产能力提高 50%,由 30000t/a 增至 45000t/a。

4 质量和环境

在生产设施不断现代化的改造过程中,始终对产品质量的提高和环境保护加以重视。为了达到质量的要求目标,1994 年 CBMM 获得了 ISO9002 标准认证,得到了 ABS-QE(美国船舶局质量认证公司)颁发的认证书。

CBMM 铌产品的生产过程都做到符合巴西环境保护法规。在 1997 年,CBMM 作为世界上第一家采矿冶金公司获得了 ISO14001 认证。这一成绩又向 CBMM 提出了技术、工艺和环境保护方面不断改进的要求。ABS-QE 认可的环境管理系统包括从采矿到最终产品的整个生产过程。

5 市场需求

从 1965 年开始世界市场对铌需求量的变化情况示于图 4。铌的最大用量是在钢铁工业,占总用量的 87%左右。在钢铁工业中铌主要用于微合金钢的生产。图 4 所示的铌需求量的变化与下面所述的钢铁工业的发展有关。

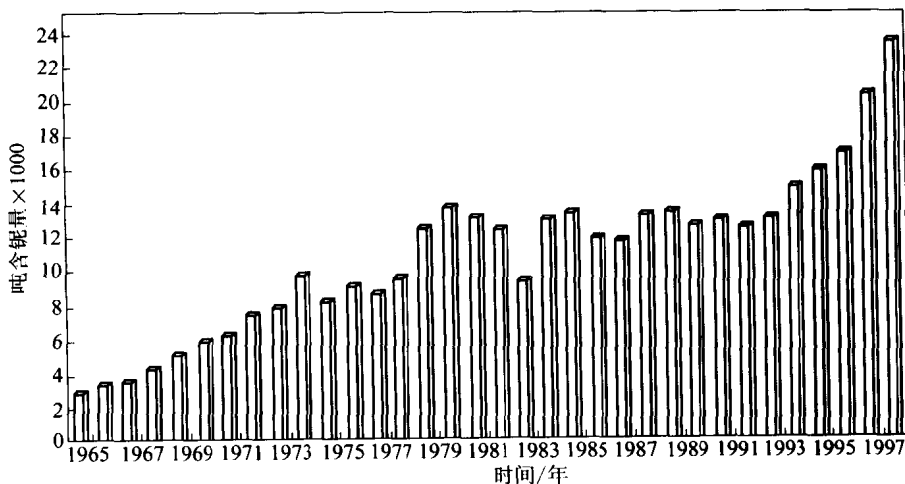


图 4 世界铌需求量的变化

20 世纪 50 年代末 60 年代初,铌作为微合金元素在钢铁工业得到应用,但当时用量很小。70 年代时,由于微合金化技术的开发和控轧工艺在钢厂得到推广,铌的用量增长很快。

在 20 世纪 80 年代和 90 年代初期,铌的需求经历了一个稳定时期。控轧工艺已经成熟。除此,由于连铸技术的大量采用以及其他技术如中厚板的加速冷

却技术的采用,降低了单位成品钢材的原材料消耗。

自 1994 年以来,铌的需求量又开始新的增长,其原因是多方面的,现分述如下:

(1)含铌新钢种开发成功并大量生产,如汽车工业用无间隙原子钢和铁素体不锈钢大量代替原来不含铌的钢种。

(2)世界经济发展强劲导致每一个用铌的部门都增加铌的消耗。最近 5 年来,汽车制造、飞机制造和管线的兴建成为最主要的 3 个铌用户。

(3)近年来钒的高价位和供应紧张,导致单独含铌钢种代替原来含钒为主和含少量铌的钢种。

(4)许多钢厂都调整了其产品系列,增加附加值高的品种,其中包括含铌钢。

(5)CBMM 自从 1971 年以来实施的市场开发项目也是导致铌需求增加的一个有影响的因素。此项市场开发项目是在产钢多的国家开展技术工作。CBMM 年销售总额的 5% 投资于此项工作,其中包括新含铌钢和含铌合金的研究开发课题、学术会议、学术讲座、技术访问、出版物和圆桌讨论会。

然而在 1999 年,由于东南亚、日本、俄罗斯和其他地区的经济不景气,导致铌市场扩展的下降。

6 市场供应

铌生产厂家过去实行、将来还要继续实行的一项有特点的全力实施的政策是保持超市场需求的供货能力,保持铌的供应稳定和价格稳定。铌不是作为商品来推销的。其销售渠道均为有稳固基础的企业。

CBMM 厂内保持有相当于 3~4 个月产量的库存。除此之外,其市场系统还备有相当数量的战略性的库存。这样让用户能得到及时的供货,同时在工业界不可控制事件发生时也可保证供应。在中国也有库存。

图 5 说明自 1980 年以来世界铌铁生产能力的发展概况,同时也标出了前述的世界铌需求量的变化。

图 5 清楚地表明,多年来世界铌铁生产能力超出需求量,其中主要是 CBMM 大量投资的结果。近年来需求量不断提高使得生产能力的余量缩小。但这种情况只出现在一个很短的时期内,这是因为,如上所述 CBMM 在 1999 年年底前将完成提高生产能力 50% 的任务,达到年产 45000t 铌铁的生产能力。图 5 中 1998 年和 1999 年两次生产能力的扩大反映了 CBMM 投资项目的效果。

即使在发生全新的科技突破,铌的用量大幅度跃升的时候,铌的供应亦可得到保证,这是因为 CBMM 的生产设施的设计允许在短时间内将其生产能力

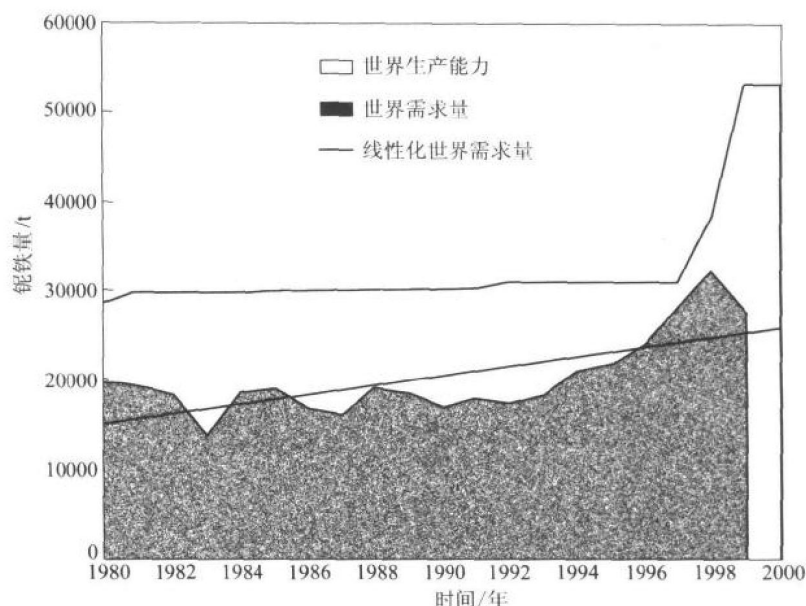


图5 世界铌铁生产能力和需求量的比较

提高一倍。

图5还示出了1999年需求量的预计数。可以看出,该年有一市场需求的下降。如前所述,这是东南亚、日本、俄罗斯和其他地区经济不景气的结果。

7 价格

上述扩大生产投资使得生产能力超出市场需求,同时还保证价格稳定政策的实行。同样,生产现代化的投资保证了更好的产品质量和更好的环境保护,同时提高了效率和降低了生产成本。

30多年来,CBMM通过铌生产技术诀窍的积累,已经在改善生产上取得了专业知识,同时降低了生产成本。近期在扩展生产和现代化方面的投资也是为了进一步降低生产成本。

如图6所示,1977年以来三种特殊的铁合金的价格变化清楚地说明了铌铁价格的稳定性。由于图中表示的是一个历史阶段的价格变化,从一个长时期的角度来看,可以看出有一定的价格上升,然而这种上升低于美元在此期间的通胀贬值。