院士论坛

# 中国钽铌工业的进步与展望

何季麟
（宁夏有色金属冶炼厂、西北稀有金属材料研究院，宁夏 石嘴山 753000）

**[摘要]** 文章简要地回顾了九〇五厂钽铌工业发展历程，并与世界钽铌工业作了对比分析。以详实的资料和基础数据，清晰地描述了我国钽铌工业发展现状和技术发展历程及其在世界钽铌工业发展中所处的地位和竞争能力；充分阐明了我国稀有金属钽铌资源及其在冶炼、加工技术领域中所存在的问题和面临的形势。从国家安全角度及行业整体发展的高度，提出了对国内稀有金属钽铌行业进行重组整合和积极开发国外资源的可持续发展的战略构想。

**[关键词]** 钽铌工业；技术；可持续发展；市场

**[中图分类号]** TG146.4+16；F403.6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009－1742(2003)05－0040－07

## 1 企业简介

宁夏有色金属冶炼厂、西北稀有金属材料研究院（代号为九〇五厂）是 1965 年作为三线建设项目，由北京有色金属研究院的有关研究室搬迁到宁夏石嘴山市创建而成，主要从事稀有金属钽、铌、铍的研究与生产。

钽铌金属是电子、冶金、化工、航空航天、机械、超导技术等领域的重要功能材料；金属铍主要服务于原子能、核武器、宇航卫星、惯性导航及国防军事工业。近年来，含铍的各类合金也广泛应用于电子、电器、计算机、精密仪器等领域。

九〇五厂经过 30 多年的发展，由当时充其量是一个半工业规模的中型试验室，发展成为集钽、铌、铍冶炼、加工及其延伸制品的门类齐全的专业化工厂和研究院，成为我国钽、铌、铍工业的重要研究与生产基地，属于该领域的国家队与排头兵，代表着我国钽、铌、铍工业的整体水平。特别是近十几年来，依靠技术进步，使厂院研究开发水平、生产规模、产品质量、产品档次、经营产品结构、研究与生产装备水平、企业经济效益等方面均发生了巨大的变化，实现了跨越式的快速发展。目前，九〇五厂钽、铌主导产品国内市场占有率已达 70 %以上；电容器级钽粉、钽丝的世界市场占有率分别达 18 %和 40 %以上，成为世界钽金属材料供应商三强之一。九〇五厂经历了艰苦创业——业为主、多种经营—融入国际大市场参与竞争，实现了第二次创业的三步曲发展战略。九〇五厂的发展，实现了由小到大、由弱到强、由军到民、由内到外的四个重大转变，尤其自 1989 年以后，实施了钽铌湿法冶炼、火法冶炼、钽丝加工、钽铌精炼、LT 及 LN 晶体等多项扩能性的技改工作，使其综合实力在国际化经营竞争中得到极大增强。

## 2 钽、铌金属的发展

### 2.1 钽、铌金属的发现、应用与发展现状

钽、铌金属分别于 1802 年和 1801 年由瑞典化学家埃克贝格（A.G.Ekeberg）和英国化学家哈特契特（C.Hatchelt）发现，1922 年、1955 年分别实现了钽、铌工业化规模的生产。经历半个多世纪的发展，世界钽、铌工业现已达到了相当高的水平。目前，世界钽材料生产企业有美国 Cabot 集团、德

[收稿日期] 2002－06－28

[作者简介] 何季麟（1945－），男，河南开封市人，中国工程院院士，宁夏有色金属冶炼厂、西北稀有金属材料研究院教授级高工

国 HCST 集团和中国宁夏九〇五厂三大体系。有关钽产品结构如图 1 所示。铌材料的主要生产企业有巴西冶金矿产公司（CBMM）、卡塔拉矿产公司（Catalao Goias）和加拿大的奈奥贝克公司（Niobec）三大体系。有关钽、铌产品结构、销售以及发展，见表 1 和表 2。

伴随着世界经济的发展，世界钽工业呈 5 年一个周期攀升发展。依据世界高科技发展进程，今后 5～10 年，钽工业仍将会保持 12 %以上的增幅持续发展。

近几年，世界各电容器厂家都相继开发出了耐电压 6～10V，电容量大于 100 μf 的铌电容器，并在线性开关变压器上成功应用。铌电容器的开发，进一步带动了铌冶炼工业新一轮的技术进步[3]。

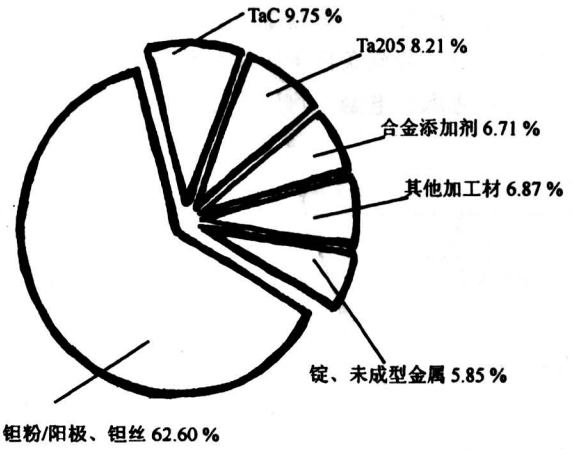


**图 1　近几年来钽产品比例结构**

Fig.1　The structure of tantalum product in recent years

**表 1　世界钽产品（以 Ta 计）结构、应用、销售量及发展[1]**

Table 1　The structure, application, consumption and development of tantalum products in the world

| 产品 | 指标 | 1994 年 | 1998 年 | 1999 年 | 2000 年 | 2001 年 | 应用 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Ta_2O_5$ 及其它化合物 | 总销量/t | 63.12 | 159.90 | 112.67 | 146.99 | 171.36 | 化合物晶体；溅射靶材；涂层材料；光学玻璃；催化剂 |
| | 平均增长/% | | | 15.33 | | | |
| 合金添加剂（以 Ta 计） | 总销量/t | 57.79 | 72.23 | 145.02 | 127.81 | 139.16 | 耐腐蚀、耐高温合金；超合金添加组份 |
| | 平均增长/% | | | 13.38 | | | |
| TaC | 总销量/t | 115.59 | 140.36 | 127.66 | 175.60 | 197.80 | 硬质合金添加组份 |
| | 平均增长/% | | | 7.98 | | | |
| 钽电容器用粉/阳极 | 总销量/t | 492.76 | 795.33 | 1 013.26 | 1 359.33 | 750.32 | 通讯机站；手机、电脑、汽车、电子、数码电器等领域用钽电容器 |
| | 平均增长/% | | | 18.43（2001 年除外） | | | |
| 钽电容器用钽丝 | 总销量/t | 78.84 | 146.01 | 158.30 | 209.21 | 115.34 | 钽电容器用阳极引线 |
| | 平均增长/% | | | 17.66（2001 年除外） | | | |
| 其他加工制品 | 总销量/t | 116.00 | 80.07 | 98.26 | 121.64 | 100.78 | 冶金、化工、航空航天、电子等领域 |
| | 平均增长/% | | | 0.77（2001 年除外） | | | |
| 锭、未成型金属 | 总销量/t | 92.61 | 84.55 | 80.94 | 94.48 | 86.41 | 钽加工品用料 |
| | 平均增长/% | | | 0.33（2001 年除外） | | | |
| 总计 | 总销量/t | 1 061.74 | 1 478.48 | 1 736.11 | 2 235.08 | 1 561.59 | |
| | 平均增长/% | | | 13.21（2001 年除外） | | | |
| 钽电容器用粉/阳极、钽丝 | 总销量/t | 571.60 | 941.34 | 1 171.56 | 1 568.54 | 865.66 | |

## 2.2　电容器级钽粉发展概述

钽金属除具有熔点高、延展性好、热导率大、蒸气压低、化学稳定性好、抗腐蚀性强等优良特性外，最重要的一个性能就是钽经阳极氧化处理后，其表面可以形成致密、稳定、介电常数高的无定性氧化膜，经专门冶炼加工后，可以制成每克达几平方米比表面积的高比容钽粉。用这种钽粉制作的电容器，可以做到体积小、容量大、可靠性高、寿命

长、耐压性能好、功能稳定，并且能够在其它电容器不能满足的苛刻条件下正常工作。因而，钽电容器在当代通讯、电脑、汽车电子、数码电器等方面得到了极其广泛的应用。钽粉、钽丝在电容器方面的应用，多年来一直是钽金属的第一大应用领域，约占钽用量的60 %～70 %。

**表2 1998—2000年世界铌产品结构、销售量及应用[2]**

Table 2 The structure, consumption and application of niobium products during 1998—2000 in the world

| 产品 | 指标 | 1998年 | 1999年 | 2000年 | 应用 |
|---|---|---|---|---|---|
| $Nb_2O_5$（以Nb计） | 总销量/t | 2 207.93 | 2 188.41 | 2 864.94 | 陶瓷电容器、人工晶体、光学玻璃、化工原料、铌合金原料 |
| | 增幅/% | | 13.91 | | |
| 铌及铌合金（以Nb计） | 总销量/t | 556.58 | 927.24 | 954.92 | 超导、原子能、化工、航空航天工业等结构材料 |
| | 增幅/% | | 30.98 | | |
| 钢铁用铌添加剂 | 总销量/t | 24 067.34 | 20 940.31 | 20 369.23 | 汽车、桥梁、输油管等用高强度低合金钢、各牌号不锈钢、显微合金锻造钢 |
| | 增幅/% | | | | |
| 总计（以Nb计） | 总销量/t | 26 831.86 | 24 056.19 | 23 989.10 | |
| | 增幅/% | | | | |

近年来，世界钽电容器的发展大约每年以17.3 %以上的速度递增，虽经2001年的低潮，但从世界经济发展的规模和速度预测，今后仍会以15 %左右的速度增长（图2）。

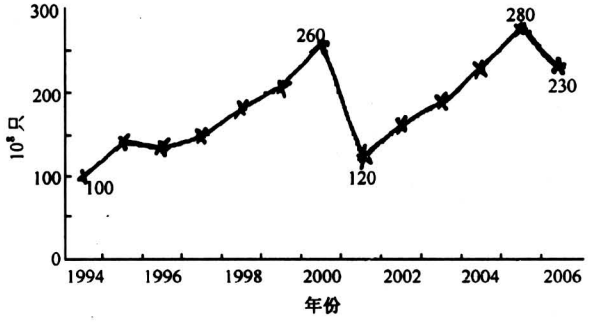


**图2 近年世界钽电容器的增长[4]**

Fig.2 The growth of tantalum capacitor in recent years in the world

通讯基站、移动电话、个人电脑、工业计算机及其元器件等是驱动钽电容器高速发展的重要领域。近几年来移动电话和个人电脑的产量年增长率分别在119 %和12 %左右（图3）。

由于受电子设备集成度不断增加和性能要求不断提高的驱动，钽电容器呈现快速小型化和片式化发展（表3，图4），因而对钽粉的比电容量也提出了更高的要求。近几年，九〇五厂和国际的高比容钽粉的开发以每年增加10 000 μFV/g的速度攀升（图5）。1990年钽电容器单只耗粉量为64.9 mg/只，2000年则降至39 mg/只[5]。

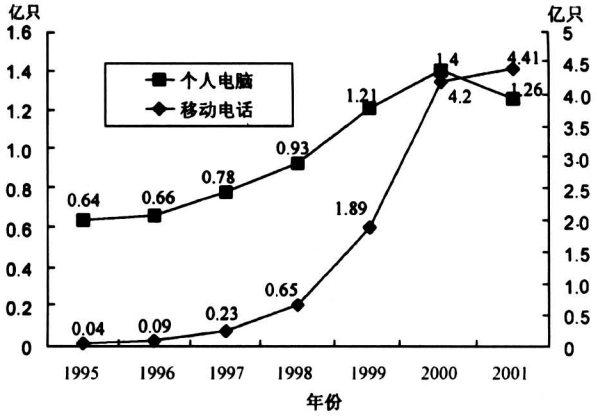


**图3 近几年移动电话和个人电脑用钽电容器的数量**

Fig.3 The quantity of tantalum capacitor used in mobile phone and personal computer in recent years

**表3 近年钽电容器小型化进程**

Table 3 Miniaturization process of chip tantalum capacitor in recent years

| 壳型 | 长/mm | 宽/mm | 高/mm |
|---|---|---|---|
| A | 3.2 | 1.6 | 1.6 |
| P | 2.0 | 1.2 | 1.2 |
| S | 1.6 | 0.8 | 0.8 |
| J | 1.0 | 0.5 | 0.5 |

### 2.3 钽资源的供需矛盾

20世纪90年代以后高科技的快速发展，使钽

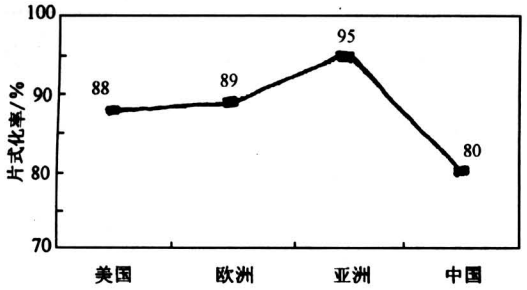


**图 4　2000 年钽电容器的片式化率**

Fig.4　The occupation proportion of chip tantalum capacitor in all the tantalum capacitors

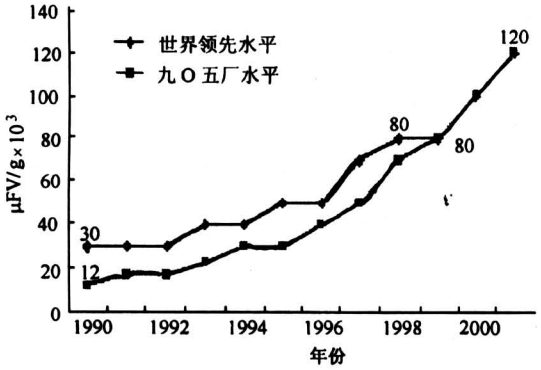


**图 5　1990—2000 年世界及九○五厂电容器级钽粉发展**

Fig.5　The tantalum powder development of NNMS and the world during 1990 - 2000

金属的应用更加广泛且呈现供不应求的紧张局面（图 6）。2000 年钽金属需求骤增近 30 %，致使钽原料（$Ta_2O_5$）在该年度 8 个月内暴涨 600 %，高达每磅 364 美元[6]。多年来，钽原料供应的短缺主要靠人造精矿、分解残渣回收、工艺过程中废边角料的回收及产业链条各环节的库存予以补充。

世界已探明钽、铌工业储量分别为 $30.64\times10^4$t（$Ta_2O_5$）和 $3\,245.9\times10^4$t（$Nb_2O_5$），我国已探明储量为 $3.98\times10^4$t（$Ta_2O_5$）和 $11.65\times10^4$t（$Nb_2O_5$），分别占世界已探明储量的 12.98 % 和 0.36 %。钽资源储量占世界第 5 位。但我国钽、铌资源原矿品位低、粒度细、结构复杂、可选性差且回收率低。九○五厂钽原料国内国外采购比例为 3:7，基本上属两头在外，充分利用了自身的技术优势将资源转化为高科技含量、高附加值的产品。近几年来，九○五厂又实施了建立自己的原料基地的发展战略，先后在国内外分别以投资或合作的方式建立了原料供应基地和稳定的供货渠道，以全面提升九○五厂国际市场的竞争力。

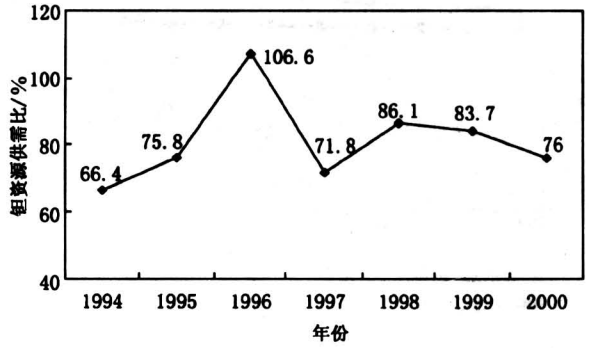


**图 6　世界钽资源供应占总需求百分比**

Fig.6　The proportion of supply versus demand for tantalum resource

## 3　九○五厂钽产业的发展

### 3.1　九○五厂进步、发展概况

九○五厂长期坚持“科学技术是第一生产力”的指导思想；长期坚持集中人力、物力、财力，尤其是各级干部的精力大力推进钽铌冶炼、加工的工艺技术进步；不断坚持技术创新和以我为主、博采众长、消化吸收融为一体的技术路线；坚持融入国际大市场参与竞争，争占市场份额的发展战略。近 10 年来九○五厂技术经济取得了持续性进步和跨越式发展。

九○五厂以钽、铌金属主导产品和不断开发的新产品，在美国、欧洲、亚洲等国际市场上实施了全方位开拓的战略，先后与 Kemet、AVX、Vishay、Epcos、NEC、三星等全世界 95 %以上的钽电容器制造商建立了商务关系。NNMS（即九○五厂）已成为广大客商信赖的世界钽材料供应商三强之一，经营规模总量自 1993 年以来呈现每两年翻一番的速度稳步发展。见图 7、图 8。

### 3.2　九○五厂钽粉技术、产品发展进程

九○五厂的几代科技人员即使在封闭的国策时期也始终未放松技术进步工作，80 年代初我国的钽工业产品水平同世界差距约 20 年，在从世界同行全套引进的技术路线受阻之后（当时美国同行一致答复“针对钽金属这么一个小产业，绝对不会在东方再培植一个竞争对手”），九○五厂完全依靠自己的技术能力不断创新。到 90 年代末已将钽粉的工艺技术水平推进到与世界水平同步，并同时赢得了世界市场（图 9）。2000 年 6 月 16 日江泽民总书

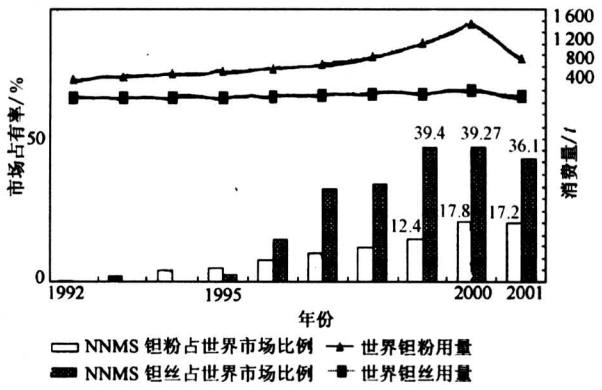


**图7 1992—2001年世界电容器级钽粉、钽丝消费量及九○五厂钽粉、钽丝的世界市场占有率**

Fig.7 The consumption of capacitor grade tantalum powder and wire during 1992—2001 in the world and the world market proportion of NNMS' tantalum powder and wire

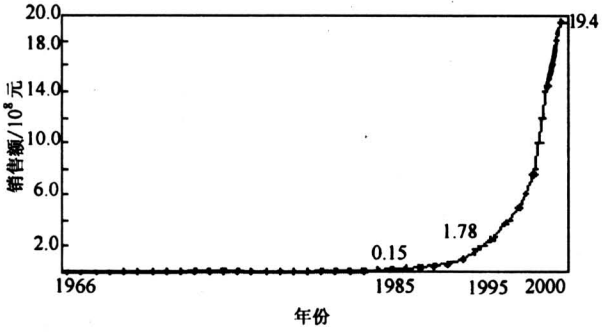


**图8 九○五厂销售额增长图**

Fig.8 Growth of NNMS' sales

记视察工厂时题词“科技创新、再攀高峰、为国争光”予以勉励。

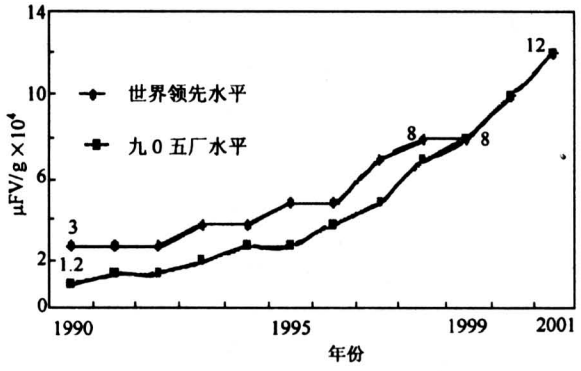


**图9 九○五厂钽粉开发进程[7]**

Fig.9 The tantalum powder development of NNMS

## 4 九○五厂钽铌冶炼技术的发展

### 4.1 氟钽酸钾钠还原制取钽粉方法及反应机理

九○五厂钽冶炼工艺在引进日本静态汽-液还原工艺基础上进行创新性改革，先后提出并直接开发出四种从汽-液控料还原到双向进料可控搅拌钠还原工艺的新方法，并将这四种生产工艺技术应用于规模化生产的转产工作（图10）。通过对钽粉后续处理工艺技术的研究开发，使钽粉一次粒子的粒径在6~0.1 μ宽范围内自由调控，并实现了物料供给和还原过程的微机自动化控制。随着上述四种创新型还原工艺方法的改进和完善，我国高比容钽粉的发展上升到世界先进水平的行列，形成了九○五厂钽粉系列产品的主体还原工艺[8]。

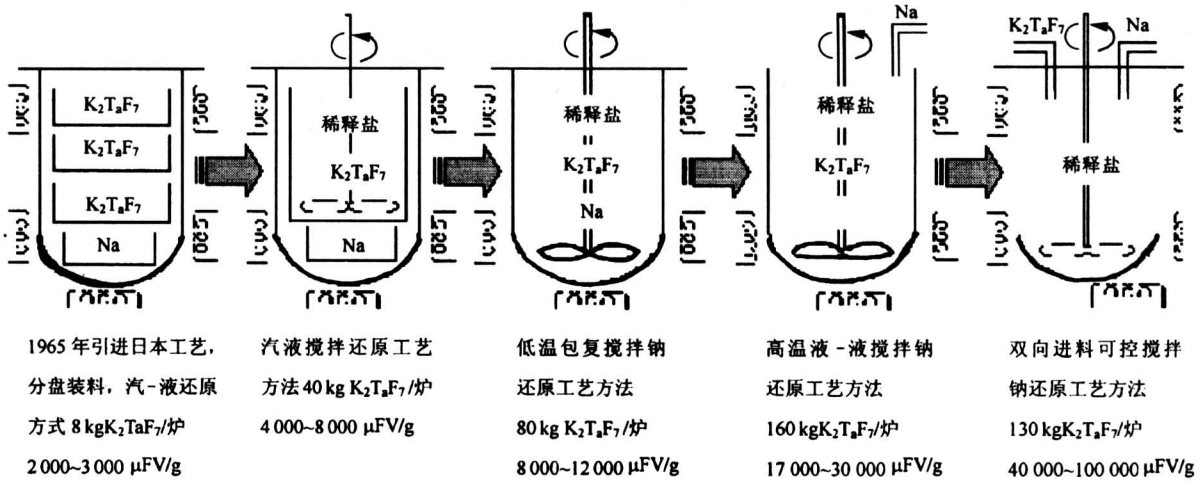


**图10 钽粉还原工艺的演变**

Fig.10 The process of tantalum powder's reduction process

### 4.2 电容器级钽粉制取过程对氧、氮的有效调控

钽和氧的亲合力很强，极易在钽粉和钽阳极的制作过程中造成增氧，当氧含量大于氧在钽中的溶解极限时，就会在钽表面出现氧化物沉积相，这些沉积相在阳极化形成的无定性氧化膜内表面形成晶化导电区，发生晶化时无定性氧化膜遭到了破坏，从而造成漏电流增大，电容器性能降低，甚至击穿失效。所以，在钽粉制取过程中氧的控制是十分重要的，如对水酸洗除氧、镁补充还原降氧、钽粉热团化处理控氧，尤其是以一定的方式掺入适量的氮使钽颗粒表面发生钝化，从而起到阻止氧原子向钽粉颗粒内层迁移的掺氮工艺技术的开发与应用（图11），使九〇五厂高比容钽粉产品的进步又一次迈上了一个大台阶。目前九〇五厂钽粉产品中氧含量指标呈现出低于竞争对手的水平，这是九〇五厂钽粉产品的一大特征。

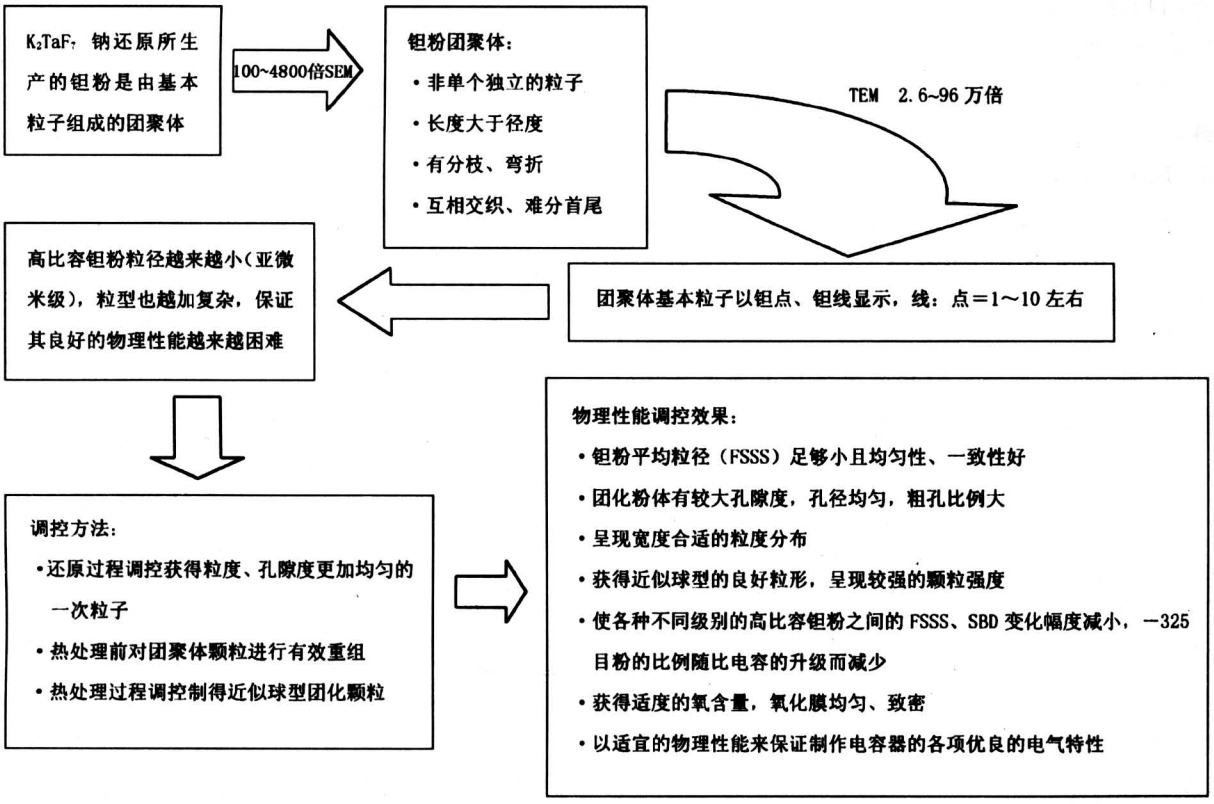


**图 11　钠还原钽粉微观形态研究及对其物理性能调控效果[9]**

Fig.11　Micromorphology research and effects on regulating and controlling physical properties of sodium reduction tantalum powder

### 4.3 钽粉物理性能的改进

钽粉的物理性能对最终的电气性能有着重要的相关性。在钽粉的技术开发中应十分重视钽粉的物理性能研究。多年来，九〇五厂对不同还原工艺的钽粉基本粒子采用透射电子显微镜（TEM）、扫描电子显微镜（SEM）等方法进行研究，从理论和实践的角度全面认识电容器级钽粉的物理性能及其影响因素。在国际第 41 届钽铌研究中心年会上发表的《对钠还原钽粉微观形态的观察研究及对其物理性能的调控改进》论文得到了世界同行的高度评价，更加使世界钽电容器行业众多客户认同了 NNMS 的产品、技术能力和水平。

## 5 我国钽、铌发展中的问题与对策

### 5.1 存在的问题

面对高科技主导世界经济发展的新形势及入世后钽铌材料产业的竞争对手和下游客户有可能涌入中国投资建厂的机遇和挑战，应清醒地认识到我国钽铌材料产业存在的主要问题。

1）产品结构不尽齐全、冶炼产品钽强铌弱；我国的钽、铌行业的技术创新能力还不平衡，技术

装备和管理水平与国际水平尚有差距，科技和管理人才的综合素质还有待提高，人才机制还缺乏改革力度。

2）我国钽、铌冶炼加工国有、集体、民营企业成分俱全，数量渐多且大多数是以初级产品为主，形成了国内行业间的无序竞争。有色金属机构解体后，行业整合发挥整体优势的矛盾并未解决。

3）我国钽铌品位的质量相对较差，也有滥采乱挖的趋象，无论是从现实还是长远发展来看，资源问题是一项涉及国家安全的战略问题。

4）我国钽、铌行业自主知识产权的保护意识不强，对申请专利还缺乏认识，重视不够。

**5.2 应采取的对策**

1）钽、铌行业要把改善产品结构，提高技术创新能力、装备水平、管理水平，加快人力资源开发等高质化进程作为我国钽、铌行业继续前进的方向和基本任务。

2）通过国家政府干预和政策导向及企业运用市场机制实现行业有效整合，促进我国钽、铌工业良性、高水平、高效的持续进步与发展。

3）国家进一步加大钽铌资源勘探力度，制定相关政策支持企业到国外从事优质钽铌资源的开发。

4）全面提高钽铌行业对自主知识产权保护的认识，建立有效的保护措施和管理机制。

参考文献

[1] The Economics of Tantalum [M]. Roskill Information Services Ltd, 1999, the 7th Edition. 41～43

[2] The Economics of Niobium [M]. Roskill Information Services Ltd,1999, the 8th Edition. 25～27

[3] Stuart H, Tither G. The niobium market and the effect of recent innovations in technology [J]. TIC Bulletin, 1997, 74: 6

[4] Millmam W A. Tantalum and niobium technology roadmap [R]. CARTS Reports, 2002, the 22nd Edition. 20

[5] Knabe W, Keck H G. Processing high-cap tantalum powders for extreme high CV tantalum capacitors [R]. CARTS Reports, 2002, the 22nd Edition. 33～34

[6] William A S. Tantalum availability-2000 and beyond [R]. CARTS Reports, 2002, the 22nd Edition. 17～18

[7] George J K. Development in tantalum and niobium during the last year [J]. TIC Bulletin, 1997, 76: 4～6

[8] 何季麟. 世界钽粉生产工艺的发展 [J]. 中国工程科学, 2001, 3 (12): 85～89

[9] 何季麟, 潘伦桃, 卢振达. 对钠还原钽粉微观形态的观察研究及对其物理性能的调控改进[J]. TIC Bulletin, 2000, 100: 8

# Progress of Tantalum & Niobium Industry in China

He Jilin

(*Ningxia Nonferrous Metals Smelter*, *Northwest Rare Metal Material Research Institute*, *Shizuishan*, *Ningxia* 753000, *China*)

[**Abstract**] This article introduces the development of tantalum & niobium industry in China and in the world, especially reviews the metallurgical and working technology development of tantalum & niobium in China. Inview of the development condition and economic status of Chinese tantalum & niobium industry in world trade, the existing problems, development direction and measures that should be taken are pointed out.

[**Key words**] tantalum & niobium industry; technology; continuative development; market