

# 钨棒百科全书

中钨智造科技有限公司  
CTIA GROUP LTD

中钨智造® | 硬科技·智未来  
全球钨钼稀土产业数字化智能化服务领航者

[版权与免责声明](#)

## 中钨智造简介

中钨智造科技有限公司（简称“中钨智造”CTIA GROUP）是中钨在线科技有限公司（简称“中钨在线”CHINATUNGSTEN ONLINE）设立的具有独立法人资格的子公司，致力于在互联网时代推动钨钼材料的智能化、集成化和柔性化设计与制造。中钨在线成立于1997年，以中国首个顶级钨制品网站 [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) 为起点，系国内首家专注钨、钼及稀土行业的电子商务公司。依托近三十年在钨钼领域的深厚积累，中钨智造传承母公司卓越的设计制造能力、优质服务及全球商业信誉，成为钨化学品、金属钨、硬质合金、高比重合金、钼及钼合金领域的综合应用解决方案服务商。

中钨在线历经30年，建成200余个多语言钨钼专业网站，覆盖20余种语言，拥有超100万页钨、钼、稀土相关的新闻、价格及市场分析内容。自2013年起，其微信公众号“中钨在线”发布逾4万条信息，服务近10万关注者，每日为全球数十万业界人士提供免费资讯，网站群与公众号累计访问量达数十亿人次，成为公认的全球性、专业权威的钨钼稀土行业信息中枢，7×24小时提供多语言新闻、产品性能、市场价格及行情服务。

中钨智造承接中钨在线的技术与经验，聚焦客户个性化需求，运用AI技术与客户协同设计并生产符合特定化学成分及物理性能（如粒度、密度、硬度、强度、尺寸及公差）的钨钼制品，提供从开模、试制到精加工、包装、物流的全流程集成服务。30年来，中钨在线已为全球超13万家客户提供50余万种钨钼制品的研发、设计与生产服务，奠定了客制化、柔性化与智能化的制造基础。中钨智造以此为依托，进一步深化工业互联网时代钨钼材料的智能制造与集成创新。

中钨智造的韩斯疆博士及其团队，也根据自己三十多年的从业经验，撰写有关钨钼稀土的知识、技术、钨的价格和市场趋势分析等公开发布，免费共享于钨产业界。韩斯疆博士自1990年代起投身钨钼制品电子商务、国际贸易及硬质合金、高比重合金的设计与制造，拥有逾30年经验，是国内外知名的钨钼制品专家。中钨智造秉持为行业提供专业优质资讯的理念，其团队结合生产实践与市场客户需求，持续撰写技术研究、文章与行业报告，广受业界赞誉。这些成果为中钨智造的技术创新、产品推广及行业交流提供坚实支撑，推动其成为全球钨钼制品制造与信息服务的引领者。



### 版权与法律责任声明

中钨智造科技有限公司  
钨棒产品介绍

### 一、钨棒概述

钨棒是一种以高纯度钨粉（纯度 $\geq 99.95\%$ ）为原料，通过粉末冶金工艺（压制、烧结、旋锻等）制成的高性能金属棒材。凭借其超高的熔点、优异的力学性能和化学稳定性，钨棒被广泛应用于高温、高强度、高密度等极端工况的工业领域。

### 二、钨棒的特性

- ✓ 超高熔点：高达  $3410^{\circ}\text{C}$ ，适用于各种极端高温环境
- ✓ 优异强度和硬度：在高温下仍保持良好的机械性能
- ✓ 导热导电性能优良：适合电子、电热等精密应用
- ✓ 高密度材料：密度约  $19.3\text{ g/cm}^3$ ，适用于配重、防辐射
- ✓ 抗腐蚀抗磨损：使用寿命长，稳定性好
- ✓ 热膨胀系数小：热变形小，适用于精密结构件

### 三、钨棒的主要应用领域

- ✓ 航空航天与军工：火箭喷嘴、穿甲弹芯、高温结构件
- ✓ 电子工业：阴极发射极、散热片、电极、触点材料
- ✓ 高温炉和冶金：真空炉加热棒、钨坩埚、支撑部件
- ✓ 医疗科技：防辐射部件、精密手术工具
- ✓ 机械工程：配重块、模具嵌件、振动吸收器
- ✓ 科研实验设备：超高温反应器、物理性能测试组件

### 四、钨棒基本数据

项目	参数
密度	$19.3\text{ g/cm}^3$
硬度（维氏 HV）	340 - 400 HV
电导率（ $20^{\circ}\text{C}$ ）	$\sim 30\%$ IACS
热导率	$\sim 170\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
热膨胀系数	$\sim 4.5 \times 10^{-6}\text{ /K}$
直径范围	$\text{Ø}1.0\text{ mm} - \text{Ø}100\text{ mm}$ （可定制）
长度范围	标准长度 $100\text{ mm} - 1000\text{ mm}$ （最长可达 $2000\text{ mm}$ ）
表面状态	黑皮、磨光、抛光

### 五、采购信息

邮箱：[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨棒资讯，请访问中钨在线网站（[www.tungsten.com.cn](http://www.tungsten.com.cn)）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



#### 版权与免责声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

## 目录

### 第一章 引言

- 1.1 钨棒的定义与概述
- 1.2 钨棒在工业中的重要性
- 1.3 历史背景与发展

### 第二章 钨棒的种类

- 2.1 钨棒按成分分类
  - 2.1.1 纯钨棒
  - 2.1.2 高纯钨棒 ( $\geq 99.95\%$ )
  - 2.1.3 掺杂钨棒 (稀土掺杂、氧化物掺杂)
- 2.2 钨棒按制造工艺分类
  - 2.2.1 烧结钨棒
  - 2.2.2 锻造钨棒
  - 2.2.3 轧制钨棒
  - 2.2.4 拉拔钨棒
  - 2.2.5 挤压钨棒
- 2.3 钨棒按用途分类
  - 2.3.1 工业用钨棒
  - 2.3.2 电子用钨棒
  - 2.3.3 军工用钨棒
  - 2.3.4 其他特殊用途钨棒
- 2.4 钨棒按规格分类
  - 2.4.1 小直径钨棒 ( $< 5\text{mm}$ )
  - 2.4.2 中直径钨棒 ( $5\text{--}20\text{mm}$ )
  - 2.4.3 大直径钨棒 ( $> 20\text{mm}$ )
- 2.5 钨棒按表面状态分类
  - 2.5.1 黑皮棒
  - 2.5.2 车光棒
  - 2.5.3 抛光棒
- 2.6 特种钨棒
  - 2.6.1 钎钨棒
  - 2.6.2 掺钍钨棒
  - 2.6.3 掺铈钨棒
  - 2.6.4 掺镧钨棒
  - 2.6.5 掺锆钨棒
  - 2.6.6 掺钇钨棒
  - 2.6.7 复合稀土钨棒
- 2.7 国际通行型号及牌号对照
  - 2.7.1 纯钨棒牌号
  - 2.7.2 掺杂钨棒牌号

#### 版权与免责声明

## 2.7.4 国内外牌号对照表（GB/T, ASTM, ISO）

### 第三章 钨棒的特性

- 3.1 钨棒的物理特性
  - 3.1.1 钨棒的高熔点
  - 3.1.2 钨棒的高密度
  - 3.1.3 钨棒的低热膨胀系数
  - 3.1.4 钨棒的导热性与导电性
  - 3.1.5 钨棒的低蒸汽压
- 3.2 钨棒的化学特性
  - 3.2.1 钨棒的耐腐蚀性
  - 3.2.2 钨棒的化学稳定性
  - 3.2.3 钨棒与其他元素的反应性
- 3.3 钨棒的机械特性
  - 3.3.1 钨棒的高强度与硬度
  - 3.3.2 钨棒的抗蠕变性能
  - 3.3.3 钨棒的韧性与可加工性
- 3.4 不同种类钨棒的特性对比
  - 3.4.1 纯钨棒与高纯钨棒
  - 3.4.2 掺杂钨棒的特殊性能
- 3.5 中钨智造钨棒 MSDS

### 第四章 钨棒的制备生产工艺与技术

- 4.1 钨棒的原材料准备
  - 4.1.1 钨矿石的开采与提纯
  - 4.1.2 钨粉的制备
  - 4.1.3 合金元素与掺杂剂的添加
- 4.2 钨棒的粉末冶金技术
  - 4.2.1 粉末混合与压制
  - 4.2.2 高温烧结
  - 4.2.3 烧结态钨棒的性能优化
- 4.3 钨棒的变形加工技术
  - 4.3.1 热锻（锤锻、旋锻）
  - 4.3.2 热挤压
  - 4.3.3 轧制
  - 4.3.4 拉拔
- 4.4 大规格钨棒的制备
  - 4.4.1 技术难点与挑战
  - 4.4.2 高致密度钨棒的制备方法
  - 4.4.3 工艺优化与创新
- 4.5 钨棒的后处理技术
  - 4.5.1 热处理

- 4.5.2 表面处理（抛光、清洗）
- 4.5.3 精密加工与切割
- 4.6 不同种类钨棒的工艺特点
  - 4.6.1 纯钨棒工艺
  - 4.6.2 高纯钨棒工艺
  - 4.6.3 掺杂钨棒工艺

## 第五章 钨棒的用途

- 5.1 钨棒的工业应用
  - 5.1.1 石英连熔炉用钨芯杆
  - 5.1.2 单晶硅晶圆制备
  - 5.1.3 稀土元素提纯
  - 5.1.4 蓝宝石长晶炉用钨坩埚
- 5.2 钨棒应用于军事与国防
  - 5.2.1 穿甲弹芯
  - 5.2.2 高爆炸性钨棒
- 5.3 钨棒应用于电子与照明
  - 5.3.1 钨丝（灯丝、支持线）
  - 5.3.2 电极（钨电极、稀土钨电极）
  - 5.3.3 溅射靶材
- 5.4 钨棒应用于汽车与航空航天
  - 5.4.1 汽车自动化部件
  - 5.4.2 航空航天高温部件
- 5.5 钨棒应用于医疗与科研
  - 5.5.1 医疗器械（辐射屏蔽）
  - 5.5.2 实验设备（高温实验）
- 5.6 钨棒应用于其他领域
  - 5.6.1 体育用品（钨钢镖）
  - 5.6.2 首饰（钨钢首饰）
  - 5.6.3 特殊工具与模具

## 第六章 钨棒的生产设备

- 6.1 钨棒的粉末冶金设备
  - 6.1.1 混合机
  - 6.1.2 压机
  - 6.1.3 高温烧结炉
- 6.2 钨棒的变形加工设备
  - 6.2.1 空气锤与电液锤
  - 6.2.2 旋锻机
  - 6.2.3 热挤压机
  - 6.2.4 轧机与拉拔机
- 6.3 钨棒的后处理设备

- 6.3.1 热处理炉
- 6.3.2 抛光与清洗设备
- 6.3.3 精密加工设备（车床、磨床）
- 6.4 钨棒的先进生产设备
  - 6.4.1 等离子烧结设备
  - 6.4.2 真空熔炼炉
  - 6.4.3 自动化控制与监测系统
- 6.5 钨棒的设备选型与维护
  - 6.5.1 不同种类钨棒的设备需求
  - 6.5.2 设备维护与寿命管理

## 第七章 钨棒的国内外标准

- 7.1 钨棒的国际标准
  - 7.1.1 ISO 标准（ISO 24370: 钨及钨合金）
  - 7.1.2 ASTM 标准（ASTM B777: 高密度钨合金）
  - 7.1.3 RWMA Class 13（纯钨标准）
  - 7.1.4 其他国际标准
- 7.2 钨棒的中国标准
  - 7.2.1 GB/T 4187-2017（钨棒国家标准）
  - 7.2.2 GB/T 3459-2017（钨及钨合金制品）
  - 7.2.3 行业标准（YS/T 695-2009: 钨电极）
- 7.3 钨棒的标准对比与适用性
  - 7.3.1 国内外标准的差异
  - 7.3.2 不同种类钨棒的标准要求
  - 7.3.3 标准对生产与检测的指导意义

## 第八章 钨棒的检测

- 8.1 钨棒的物理性能检测
  - 8.1.1 钨棒的密度测试
  - 8.1.2 钨棒的硬度测试（维氏、布氏）
  - 8.1.3 钨棒的抗拉强度与韧性测试
  - 8.1.4 钨棒的热膨胀与导热性测试
- 8.2 钨棒的化学成分分析
  - 8.2.1 光谱分析（ICP-MS、XRF）
  - 8.2.2 微量元素与杂质检测
- 8.3 钨棒的微观结构分析
  - 8.3.1 显微镜观察（SEM、TEM）
  - 8.3.2 晶粒尺寸与组织均匀性
- 8.4 钨棒的无损检测
  - 8.4.1 超声波检测
  - 8.4.2 X 射线检测
  - 8.4.3 磁粉探伤

- 8.5 钨棒的性能验证
  - 8.5.1 高温性能测试
  - 8.5.2 耐腐蚀性测试
  - 8.5.3 导电性与抗蠕变测试
- 8.6 不同种类钨棒的检测重点
  - 8.6.1 纯钨棒检测
  - 8.6.2 高纯钨棒检测
  - 8.6.3 掺杂钨棒检测

## 第九章 钨棒的行业现状与发展趋势

- 9.1 钨棒的中国市场概况
  - 9.1.1 市场需求与供给分析
- 9.2 钨棒的国际市场概况
  - 9.2.1 主要出口国家与地区
  - 9.2.2 进口依赖与供应链现状
- 9.3 钨棒的技术发展趋势
  - 9.3.1 新材料与合金化技术
  - 9.3.2 绿色制造与节能技术
  - 9.3.3 智能化与自动化生产
- 9.4 钨棒的挑战与机遇
  - 9.4.1 技术瓶颈与突破
  - 9.4.2 市场竞争与全球化
  - 9.4.3 环保与可持续发展的要求

## 第十章 结论

- 10.1 钨棒的核心价值与应用前景
- 10.2 钨棒的未来发展方向
- 10.3 对行业发展的建议

## 附录

- A. 术语表
- B. 参考文献

## 第一章 引言

### 1.1 钨棒的定义与概述

**钨棒**是一种以钨（化学元素符号 W，原子序数 74）或其合金为主要成分，经过粉末冶金、锻造、拉拔或挤压等工艺制成的棒状金属材料。钨棒以其卓越的物理、化学和机械性能而闻名，包括极高的熔点（ $3410^{\circ}\text{C}$ ）、高密度（ $19.25\text{ g/cm}^3$ ）、优异的抗腐蚀性和出色的机械强度。这些特性使得钨棒在众多高要求工业领域中成为不可或缺的材料，如航空航天、电子、军事、医疗和高温制造等。

### 钨棒的基本组成

钨棒根据其成分可分为三类：纯钨棒、高纯钨棒和掺杂钨棒。

**纯钨棒**：以高纯度钨（纯度 $\geq 99.9\%$ ）为主要成分，适用于高温、高强度和耐腐蚀环境，如电子工业的真空管阴极、X 射线管靶材和高温炉芯杆。

**高纯钨棒（ $\geq 99.95\%$ ）**：钨纯度达到或超过 99.95%，杂质含量极低（ $< 50\text{ ppm}$ ），专为半导体、医疗和高端电子设备设计，满足高洁净度和高精度要求，如离子植入设备部件和溅射靶材。

**掺杂钨棒（稀土掺杂、氧化物掺杂）**：在钨基体中添加稀土元素（如铈、镧、钇）或氧化物（如氧化钽、氧化锆），改善电弧稳定性、抗蠕变性和加工性能，广泛用于焊接电极（如氩弧焊电极）和高温炉元件。

### 钨棒的形态与规格

钨棒的形态多样，直径范围从微米级（如用于细丝的拉拔钨棒）到几十毫米（如大规格工业用钨棒）。其长度通常根据应用需求定制，从几厘米到数米不等。表面状态也因加工工艺不同而异，包括黑皮棒（未经精加工，表面带有氧化层）、车光棒（机械加工后表面平滑）和抛光棒（表面光洁度极高，适合精密应用）。

### 钨棒的制备工艺

钨棒的制备通常采用粉末冶金技术，其基本流程包括：

**钨粉制备**：从钨矿石（如黑钨矿或白钨矿）中提纯得到高纯度钨粉。

**粉末压制与烧结**：将钨粉压制成坯料，并在高温（ $2000\text{--}3000^{\circ}\text{C}$ ）下烧结形成致密的烧结钨棒。

**变形加工**：通过热锻、旋锻、轧制或拉拔进一步加工，提高材料致密度和机械性能。

**后处理**：包括热处理、表面抛光或清洗，以满足特定应用需求。

### 钨棒的独特性能

钨棒因其独特的性能组合而备受青睐：

**高熔点**：钨是所有金属中熔点最高的元素，适合极端高温环境，如石英连熔炉和蓝宝石长晶炉。

**高密度**：接近黄金的密度使其在需要高质量配重的领域（如航空航天平衡件）中具有优势。

**耐腐蚀性**：钨在常温下对大多数酸碱具有极佳的抗腐蚀性，仅在高温强氧化环境中（如硝酸）

#### 版权与免责声明

会缓慢反应。

机械强度：钨棒在高温下仍保持高强度和抗蠕变性能，适合长期受力部件。

导电导热性：尽管导电性低于铜等金属，但其在高温下的稳定性使其在电极和灯丝中表现优异。

## 钨棒的分类与命名

钨棒的命名通常基于其成分、用途或国际标准。例如：

国际标准：如 ASTM B760（纯钨棒）。

掺杂钨棒牌号：如 WT20（2%掺钍钨棒）、WL15（1.5%掺镧钨棒），符合 AWS A5.12 标准。

国内标准：如 GB/T 4187-2017，规定了钨棒的化学成分、尺寸公差和性能要求。这些命名系统便于全球贸易和应用，确保材料规格的统一性和可追溯性。

## 钨棒的全球市场概况

钨棒作为高性能材料，广泛应用于全球工业体系。中国是世界上最大的钨资源国和钨制品生产国，占全球钨产量的 80% 以上，主要出口至美国、欧洲和日本等地。钨棒的生产集中于少数专业企业，市场需求主要由半导体制造、新能源、航空航天和国防工业驱动。

## 钨棒的环保与可持续性

钨棒生产涉及钨矿开采和高温加工，能源消耗较高，且可能产生废气和废渣。近年来，绿色制造技术（如低能耗烧结、废料回收）逐渐被采用，以减少环境影响。此外，钨棒的高耐用性和可回收性使其在生命周期中具有较好的可持续性。

## 1.2 钨棒在工业中的重要性

钨棒因其卓越的性能在全球工业中扮演着关键角色，被广泛应用于高技术、高要求领域，如半导体制造、航空航天、国防、能源、医疗和照明工业。其重要性体现在其独特性能满足了极端环境下的材料需求，推动了技术进步和工业效率的提升。以下从多个角度详细探讨钨棒在工业中的重要性。

### 高温环境中的核心应用

钨棒的高熔点（ $3410^{\circ}\text{C}$ ）使其成为高温环境下不可替代的材料。在石英连熔炉中，钨棒用作芯杆，承受超过  $2000^{\circ}\text{C}$  的极端温度，用于生产高纯度石英玻璃，广泛应用于光学纤维和半导体行业。同样，在蓝宝石长晶炉中，钨棒被加工成坩埚或支撑件，用于生产人造蓝宝石晶体，应用于 LED 基板和光学窗口。钨棒的抗蠕变性能确保了在长期高温受力下仍能维持结构稳定性，这是其他金属材料（如镍、钼）无法比拟的。

### 半导体与电子工业的支柱

半导体制造对材料纯度和性能要求极高，钨棒在其中发挥了重要作用。例如，在单晶硅生产过程中，钨棒被用作高温炉的加热元件或支撑结构，保障晶体生长的稳定性和均匀性。此外，掺杂钨棒（如掺钍或掺镧钨棒）被广泛用作氩弧焊电极，用于半导体设备的精密焊接，其优异的电弧稳定性和耐磨性提高了焊接质量和效率。钨棒还被加工成溅射靶材，用于物理气相沉积（PVD）工艺，制造集成电路和显示器的薄膜层。

#### 版权与免责声明

## 国防与军事领域的战略材料

钨棒的高密度和高硬度使其成为军事工业的战略材料。钨合金棒（如钨镍铁合金，密度可达  $18.5 \text{ g/cm}^3$ ）被加工成穿甲弹芯，用于反坦克和装甲目标的打击，其高动能和穿透力远超传统钢材。此外，钨棒在“动能武器”概念中被设想为高密度动能弹头，尽管尚未实际部署，但其潜力显示了钨棒在未来军事技术中的重要性。钨棒的耐高温和抗腐蚀性也使其适用于导弹喷嘴和装甲部件。

## 航空航天工业的可靠选择

航空航天领域对材料的重量、强度和耐高温性能要求极高，钨棒在其中有广泛应用。钨合金棒因其高密度被用作飞机和卫星的平衡配重件，确保精确的重量分配和飞行稳定性。例如，在直升机旋翼和航天器姿态控制系统中，钨棒配重件显著减少了体积需求。此外，钨棒被加工成高温部件，如火箭发动机喷嘴衬里和再入飞行器的热防护部件，其抗烧蚀性能延长了部件使用寿命。

## 照明与能源行业的关键元件

在照明工业中，钨棒是传统白炽灯和卤素灯的核心材料。钨棒被拉拔成细丝（直径可小至几微米），用作灯丝，因其高熔点和低蒸汽压可在高温下长时间发光。尽管 LED 技术逐渐取代传统照明，但钨丝在特种照明（如摄影灯、舞台灯）中仍不可或缺。在新能源领域，钨棒被用于核反应堆的控制棒和高温实验装置，保障安全性和实验精度。

## 医疗与科研领域的独特贡献

钨棒的高密度和辐射屏蔽能力使其在医疗领域大放异彩。钨合金棒被加工成放射治疗设备的准直器和屏蔽件，用于精确引导 X 射线或伽马射线，保护患者和医务人员免受不必要辐射。在科研领域，钨棒被用作高温实验炉的加热元件或电极，支撑材料科学、物理学和化学的前沿研究。例如，在高温超导实验中，钨棒的稳定性确保了实验环境的可靠性。

## 推动工业效率与创新

钨棒的多样化应用不仅满足了现有工业需求，还推动了技术创新。例如，在汽车工业中，钨棒被用于制造自动化生产线的耐磨工具和模具，提高生产效率和产品一致性。在体育用品（如高尔夫球杆、飞镖）和珠宝行业，钨合金棒因其高密度和耐磨性被加工成精密部件，满足消费者对高性能产品的需求。这些新兴应用展示了钨棒在传统与现代工业中的广泛适应性。

## 经济与供应链的重要性

钨棒作为稀有金属制品，在全球经济中具有重要地位。中国是全球最大的钨生产国，控制了约 80% 的钨资源和制品市场，钨棒的出口对国际供应链至关重要。钨棒的高附加值和不可替代性使其成为许多国家工业体系的战略储备材料。例如，美国和欧盟将钨列为关键矿产，确保其供应链安全以支持国防和高端制造。

## 面临的挑战与持续重要性

尽管钨棒在工业中不可或缺，但其生产面临高能耗、环境污染和资源稀缺等挑战。开发绿色制造技术和钨废料回收技术成为行业重点。然而，这些挑战并未削弱钨棒的重要性，反而促

### 版权与免责声明

使技术进步，使其在未来工业中继续发挥核心作用。

### 1.3 历史背景与发展

钨棒作为现代工业的重要材料，其发展历程与钨的发现、提纯技术和工业应用密切相关。从 18 世纪末钨元素的发现到 21 世纪钨棒的广泛应用，钨棒的历史反映了材料科学、冶金技术和工业需求的演变。以下详细追溯钨棒的历史背景及其技术与应用的发展轨迹。

#### 钨的发现与早期研究

钨的发现可追溯至 1781 年，瑞典化学家卡尔·威廉·舍勒（Carl Wilhelm Scheele）通过分析黑钨矿（wolframite）发现了钨酸的存在。1783 年，西班牙兄弟胡安·何塞（Juan José）和法乌斯托·埃尔胡亚尔（Fausto Elhuyar）首次从钨酸中分离出金属钨，并命名为“tungsten”（瑞典语“重石”之意），因其高密度而得名。早期钨的研究主要集中在化学性质上，限于实验室规模，因钨的高熔点和难加工性，工业应用尚未展开。

19 世纪中期，随着冶金技术进步，钨的潜在工业价值逐渐显现。1850 年代，钨开始被尝试用于合金钢的生产，增强钢的硬度和耐磨性。然而，纯钨的提纯和成型技术仍不成熟，限制了其广泛应用。

#### 钨棒的初步工业化

钨棒的工业化始于 20 世纪初，与照明工业的需求密切相关。1904 年，匈牙利工程师桑多尔·贾斯特（Sandor Just）和弗朗茨·汉纳曼（Franz Hanaman）开发了钨丝白炽灯，取代了低效的碳丝灯。钨的高熔点和低蒸汽压使其成为理想的灯丝材料，但早期钨丝易脆化，难以加工成棒状或丝状。

1909 年，美国通用电气公司（General Electric）的威廉·库利奇（William D. Coolidge）发明了延性钨的制备工艺，通过粉末冶金和高温锻造技术生产出韧性更好的钨棒和钨丝。这一突破使钨棒的大规模生产成为可能，显著降低了白炽灯成本，推动了照明工业的革命。库利奇的工艺奠定了现代钨棒生产的基础，包括粉末压制、烧结和变形加工等核心步骤。

#### 钨棒在 20 世纪的应用扩展

20 世纪上半叶，钨棒的应用从照明扩展到多个工业领域。

**电子工业：**1920 年代，钨棒被用于真空管和 X 射线管的阴极和电极，因其高熔点和导电性在高温电子设备中表现优异。

**军事工业：**第一次世界大战期间，钨被用于制造高强度合金钢，增强坦克装甲和炮弹的性能。第二次世界大战中，钨合金棒开始被加工成穿甲弹芯，显著提升了反坦克武器的效能。

**焊接技术：**1940 年代，钨棒被开发为氩弧焊（TIG 焊）电极，掺钍钨棒（含 2%氧化钍）因其优异的电弧稳定性成为焊接行业的标准材料。

这一时期，钨棒的生产技术不断改进。粉末冶金工艺的优化提高了钨棒的致密度和机械性能，

#### 版权与法律责任声明

而旋锻、拉拔等变形加工技术的引入使钨棒的尺寸精度和表面质量大幅提升。

### 冷战与钨棒的战略地位

冷战期间，钨棒因其在国防和航空航天领域的应用成为战略材料。1950–1970 年代，钨合金棒被广泛用于喷气发动机涡轮叶片、导弹部件和航天器配重件。美国和苏联均将钨列为关键资源，建立储备以确保供应链安全。中国的钨产业也在这一时期迅速发展，依托丰富的钨矿资源，成为全球主要钨棒供应商。

1960 年代，掺杂钨棒的研发取得突破。钾掺杂钨棒（WK）通过添加微量钾元素改善了高温抗蠕变性能，适用于高温炉元件。掺稀土钨棒（如掺铈、掺镧）则提高了电极的耐用性和电弧稳定性，逐渐取代掺钽钨棒，因后者具有轻微放射性。

### 现代钨棒技术与全球化

进入 21 世纪，钨棒的应用和生产技术进入全新阶段。

半导体与新能源：钨棒在单晶硅、蓝宝石晶体和薄膜太阳能电池制造中的应用激增。例如，钨棒被用作高温炉芯杆和溅射靶材，支撑了半导体和光伏产业的快速发展。

绿色制造：随着环保要求提高，钨棒生产开始采用低能耗烧结技术和废料回收工艺。例如，废旧钨棒可通过化学提纯重新制成钨粉，降低资源消耗。

新型合金与掺杂：钨镍铜合金棒因其无磁性和高密度被用于医疗设备，掺镧钨棒（WL20）因其环保性成为焊接电极的主流选择。

全球化的钨棒市场以中国为中心，占全球产量的 80% 以上。部分国际企业在高端钨棒市场占有一席之地，专注于高精度和特种钨棒的生产。国际标准（如 ASTM B777、ISO 24370）和国内标准（如 GB/T 4187–2017）的制定促进了钨棒的规范化贸易。

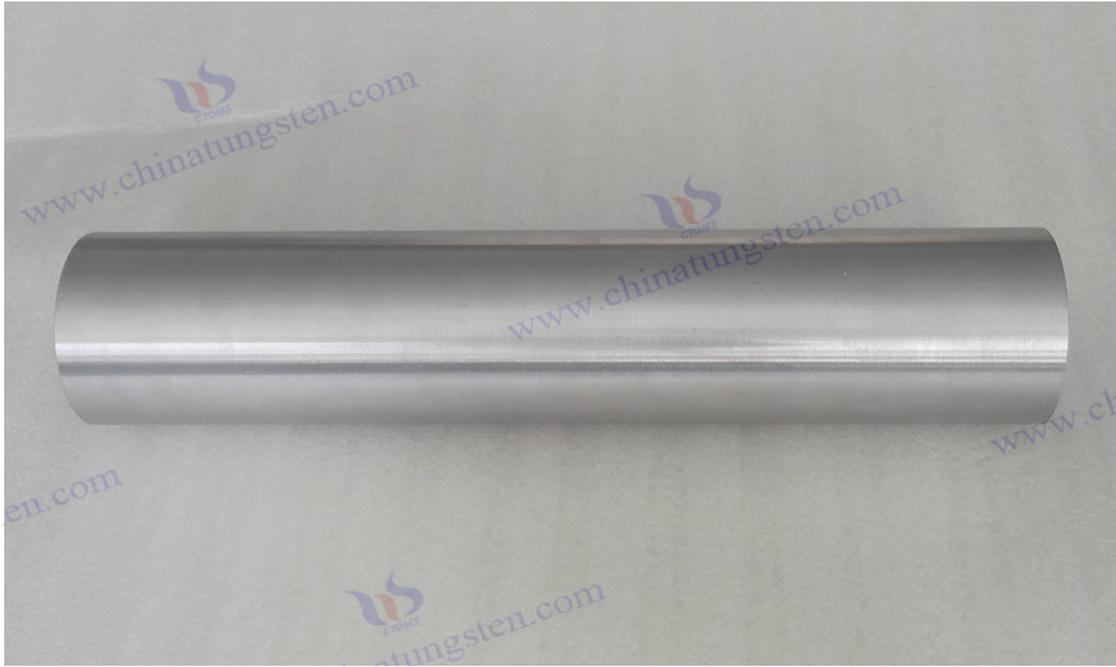
### 钨棒发展的挑战与未来

钨棒的发展面临资源稀缺、环境压力和高成本等挑战。钨矿开采对环境的破坏促使各国加强监管，而钨的高熔点和硬度增加了加工难度和能耗。未来，钨棒行业的发展方向包括：

新工艺：如等离子烧结和增材制造（3D 打印）技术，用于生产复杂形状的钨棒部件。

新材料：开发低毒性掺杂钨棒，彻底替代掺钽钨棒。

循环经济：提高钨的回收率，减少对原矿的依赖。



中钨智造钨棒

## 第二章 钨棒的种类

钨棒作为一种高性能金属材料，因其卓越的物理、化学和机械性能，在工业、电子、军事、医疗和科研领域中应用广泛。其种类繁多，可根据成分、制造工艺、用途、规格、表面状态、特种类型及国际标准进行分类。本章旨在提供一个系统、全面的分类框架，深入探讨每种钨棒的定义、特性、生产工艺、应用场景、行业挑战及发展趋势。

### 2.1 钨棒按成分分类

钨棒的成分是决定其性能和应用的关键因素。根据主要成分及添加元素的差异，钨棒可分为纯钨棒、高纯钨棒和掺杂钨棒三大类。以下逐一详细分析。

#### 2.1.1 纯钨棒

##### 定义与概述

纯钨棒是以钨（纯度通常 $\geq 99.9\%$ ）为主要成分，通过粉末冶金及变形加工工艺制成的棒状材料。钨（化学符号 W，原子序数 74）以其极高的熔点（ $3410^{\circ}\text{C}$ ）、高密度（ $19.25\text{ g/cm}^3$ ）和优异的抗腐蚀性著称，使纯钨棒成为高温、高强度和耐腐蚀环境的理想选择。纯钨棒通常含微量杂质（如铁、镍、碳），但严格控制在 ppm 级，以确保化学稳定性和高温性能。

##### 特性

**物理特性：**钨的熔点是所有金属中最高的，仅次于碳的升华点（约  $3550^{\circ}\text{C}$ ）。纯钨棒密度接近理论值  $19.25\text{ g/cm}^3$ ，与黄金相当，适合高质量配重应用。热膨胀系数极低（ $4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ），确保高温下尺寸稳定性。热导率约为  $173\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，电导率为 18% IACS（国际退火铜标准），适合高温导电应用。

**化学特性：**纯钨棒在常温下对酸、碱及大多数氧化剂具有极佳抗腐蚀性。例如，在室温下，

#### 版权与免责声明

盐酸、硫酸和氢氟酸对其几乎无影响，仅在高温浓硝酸或熔融碱中缓慢反应。低蒸汽压（ $3000^{\circ}\text{C}$ 时 $<10^{-4}\text{Pa}$ ）使其在真空高温环境中表现优异。

机械特性：硬度高（维氏硬度 350 - 450 HV），抗拉强度 700 - 1000 MPa，但韧性较低，加工时易产生微裂纹。抗蠕变性能出色，在  $2500^{\circ}\text{C}$  仍能承受长期应力，适合高温受力部件。

微观结构：烧结后晶粒尺寸 10 - 50  $\mu\text{m}$ ，经变形加工可细化至 5 - 20  $\mu\text{m}$ ，减少孔隙率，提高强度。

## 生产工艺

纯钨棒的生产主要采用粉末冶金工艺，流程如下：

钨粉制备：从黑钨矿（ $\text{FeMnWO}_4$ ）或白钨矿（ $\text{CaWO}_4$ ）提取钨酸盐，通过氢气还原制得高纯钨粉（粒径 0.5 - 5  $\mu\text{m}$ ，纯度  $\geq 99.9\%$ ）。还原过程需控制温度（600 -  $900^{\circ}\text{C}$ ）和气氛，避免氧化或碳污染。

压制：钨粉在 100 - 200 MPa 下通过冷等静压或模压成棒状坯料，坯料密度约 50 - 60%理论密度。

烧结：在氢气保护或真空炉中于  $2000 - 2800^{\circ}\text{C}$  烧结 1 - 3 小时，坯料致密度达 90 - 95%。烧结温度和保温时间需精确控制，平衡晶粒生长与孔隙消除。

变形加工：通过热锻（旋锻或锤锻， $1200 - 1500^{\circ}\text{C}$ ）或热轧提高致密度（接近  $19.25\text{g/cm}^3$ ），改善机械性能。旋锻实现多道次小变形量（10 - 20%），减少裂纹风险。

后处理：退火（ $1000 - 1200^{\circ}\text{C}$ ）消除内应力，车削或抛光提高表面质量，表面粗糙度通常为 Ra 1.6 - 3.2  $\mu\text{m}$ ，满足工业精度要求。

## 应用

纯钨棒广泛应用于高温和高纯度场景：

电子工业：用作真空管阴极、X 射线管靶材及电火花加工（EDM）电极。

照明工业：拉拔成钨丝（直径 0.01 - 0.1 mm），制造白炽灯、卤素灯及特种光源（如摄影灯）的灯丝。

高温炉：用作石英连熔炉芯杆，承受  $2000^{\circ}\text{C}$  以上高温，生产光学纤维用石英玻璃；或作为蓝宝石长晶炉支撑件，生长 LED 基板用晶体。

科研：在高温实验设备中用作加热元件或电极，如高温超导研究中的热源。

航空航天：加工成小型配重件，用于卫星姿态控制系统。

其他：用于高温模具和耐磨工具，如玻璃成型模具。

## 挑战与趋势

挑战：韧性低，加工时易开裂，尤其在小直径拉拔中需多次退火，增加成本。高温加工设备（如真空烧结炉）能耗高，维护复杂。杂质控制难度大，微量氧或碳可能导致性能下降。

趋势：

采用等离子烧结（SPS）技术，降低烧结温度至  $1800^{\circ}\text{C}$ ，节能 30%，减少晶粒过大。

使用纳米级钨粉（粒径  $<100\text{nm}$ ），提高烧结致密度至 98%，增强机械性能。

开发自动化烧结控制系统，通过传感器监测温度和气氛，提高产品一致性。

研究低氧钨粉制备技术（如等离子还原），将氧含量降至 10 ppm 以下。

### 版权与免责声明

## 优缺点

优点：极高熔点和化学稳定性，适合极端环境；高密度适用于配重；无放射性，环保性好。

缺点：韧性低，加工难度大；生产成本低，尤其在高精度应用中。

## 市场与标准

纯钨棒占全球钨制品市场约 30%。符合标准包括 ASTM B760、GB/T 4187-2017 和 ISO 24370。2023 年全球纯钨棒市场规模约 10 亿美元，预计 2030 年增长至 15 亿美元，驱动因素为半导体和航空航天需求。

## 2.1.2 高纯钨棒 (≥99.95%)

### 定义与概述

高纯钨棒是指钨纯度达到或超过 99.95% 的钨棒，杂质含量（如 Fe、Ni、C、O）控制在 50 ppm 以下，通过多次提纯和特殊工艺制备。高纯钨棒专为半导体、医疗和高端电子设备设计，满足对纯度和洁净度的严苛要求。其性能接近钨的理论极限，广泛用于洁净室和高精度应用。

### 特性

物理特性：密度 19.2 - 19.3 g/cm<sup>3</sup>，接近理论值；熔点 3410° C，热膨胀系数 4.5×10<sup>-6</sup>/° C。由于杂质极低，晶体结构更均匀，表面质量优异。

化学特性：化学稳定性极高，几乎不与常温化学物质反应。在高温下，仅与氟气或强氧化剂（如熔融硝酸钠）缓慢反应。低蒸汽压确保真空环境下的稳定性。

机械特性：晶粒细小（5 - 15 μm），维氏硬度 400 - 500 HV，抗拉强度 800 - 1100 MPa。韧性仍较低，加工需避免微裂纹。

导电导热性：电阻率约 5.3 μΩ·cm，略优于纯钨棒（5.5 μΩ·cm），因杂质减少。热导率 173 W/m·K，适合高温热传导。

### 生产工艺

高纯钨棒的生产在纯钨棒基础上增加提纯和洁净控制：

高纯钨粉制备：采用化学气相沉积（CVD）或多次氢气还原，杂质含量降至 50 ppm 以下。还原炉使用高纯氢气（99.999%），避免氮、氧污染。

真空烧结：在超高真空（10<sup>-5</sup> Pa）炉中于 2600 - 2800° C 烧结 2 - 4 小时，孔隙率 < 1%。真空环境防止氧化物形成。

精密加工：多道次旋锻或轧制，加工温度 1200 - 1400° C，变形量 10 - 15%。表面车削或抛光，粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm。

质量控制：使用 ICP-MS（电感耦合等离子体质谱）检测杂质，GD-MS（辉光放电质谱）分析痕量元素。洁净室（ISO 5 级）包装，避免表面污染。

### 应用

高纯钨棒用于对纯度和洁净度要求极高的领域：

半导体工业：用作离子植入设备（如离子源电极）的部件，直径 5 - 20 mm，确保晶圆洁净度。

溅射靶材：加工成靶材（直径 50 - 100 mm），用于物理气相沉积（PVD），生产集成电路、OLED 显示器和太阳能电池的薄膜层。

医疗设备：用于 X 射线和 CT 扫描设备靶材，减少杂质引起的辐射干扰，直径 10 - 30 mm。

#### 版权与免责声明

航空航天：用作高温实验设备的精密部件，如热电偶保护套或高温风洞实验元件。

科研：在粒子加速器和等离子体研究中用作高纯电极，承受高能环境。

新兴应用：用于 EUV（极紫外光刻）设备部件，满足 7nm 以下芯片制造需求。

### 挑战与趋势

挑战：高纯钨粉制备成本高，CVD 设备投资大；超高真空烧结对设备密封性和稳定性要求极高；洁净室加工增加运营成本。

趋势：

开发电解提纯技术，替代 CVD 降低成本，目标杂质 < 20 ppm。

采用激光表面处理，提高表面质量，减少机械抛光依赖。

研究超高纯钨（99.9999%），用于下一代半导体设备，如 3nm 光刻机。

引入 AI 质量控制系统，实时监测杂质和晶体缺陷，提高良率。

### 优缺点

优点：极高纯度确保性能稳定，适合洁净环境；晶体均匀，减少缺陷。

缺点：生产成本低，加工难度大；对设备和环境要求严格。

### 市场与标准

高纯钨棒市场集中在高端制造。符合 ASTM B760 高纯度要求、SEMI 标准（半导体行业）和 GB/T 4187-2017。2023 年全球高纯钨棒市场约 3 亿美元，主要由半导体和光伏行业驱动。

### 2.1.3 掺杂钨棒（稀土掺杂、氧化物掺杂）

#### 定义与概述

掺杂钨棒是在钨基体中添加少量稀土元素（如铈、镧、钇）或氧化物（如氧化钍、氧化锆）制成的特殊钨棒，掺杂量通常为 0.5 - 2 wt%。掺杂改善了钨的电弧稳定性、抗蠕变性、可加工性和电极寿命，广泛用于焊接电极、高温炉元件和电子设备。掺杂钨棒因其定制化性能成为现代工业的关键材料。

#### 特性

物理特性：熔点和密度与纯钨接近（ $3410^{\circ}\text{C}$ ， $19.0 - 19.2\text{ g/cm}^3$ ），掺杂元素细化晶粒（ $5 - 15\ \mu\text{m}$ ），提高均匀性。

化学特性：保持钨的抗腐蚀性，但在高温氧化环境中，某些掺杂元素（如钍）可能略微降低稳定性。氧化钍掺杂引入轻微放射性，需特殊处理。

机械特性：晶粒细化和掺杂剂强化提高抗拉强度（ $1000 - 1200\text{ MPa}$ ）和韧性，减少加工裂纹。抗蠕变性能提升，适合高温长期使用。

导电导热性：掺杂降低电阻率（如掺钍钨棒约  $5.0\ \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ），提高电弧稳定性。热导率略低于纯钨（约  $160\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）。

#### 主要类型

稀土掺杂钨棒：添加氧化铈（ $\text{CeO}_2$ ）、氧化镧（ $\text{La}_2\text{O}_3$ ）或氧化钇（ $\text{Y}_2\text{O}_3$ ），改善电弧性能和耐久性，无放射性，符合环保要求。

氧化物掺杂钨棒：添加氧化钍（ $\text{ThO}_2$ ）、氧化锆（ $\text{ZrO}_2$ ），增强高温性能和电极寿命，部分类

#### 版权与免责声明

型（如掺钍）逐渐被淘汰。

复合掺杂钨棒：结合多种掺杂剂（如  $\text{La}_2\text{O}_3+\text{CeO}_2$ ），优化电弧稳定性、寿命和抗烧损性。

钾掺杂钨棒：添加微量钾（50 - 100 ppm），提高抗蠕变性，专为高温炉设计。

## 生产工艺

掺杂剂添加：在钨粉中均匀混入稀土氧化物或金属盐（如硝酸铈），通过球磨或喷雾干燥确保分布均匀。

压制与烧结：在氢气保护炉中于 2300 - 2600° C 烧结，低于纯钨烧结温度，防止掺杂剂挥发。

烧结后致密度达 95 - 98%。

变形加工：旋锻（1200 - 1400° C）或拉拔（800 - 1000° C）形成棒状，掺杂剂减少加工裂纹。

表面处理：车削或抛光，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu\text{m}$ ，满足电极或高温元件要求。

质量控制：XRF（X 射线荧光光谱）检测掺杂剂含量，SEM（扫描电镜）分析晶粒分布。

## 应用

焊接电极：掺钍（WT20）、掺铈（WC20）、掺铈（WL20）钨棒用于氩弧焊（TIG）和等离子焊，电弧启动快，烧损率低。

高温炉元件：掺钾或掺稀土钨棒用于真空炉和氢气炉的加热元件，耐受 2500° C 以上。

电子设备：掺杂钨棒用于阴极射线管、微波设备和激光器的发射极。

航空航天：掺稀土钨棒用于高温实验设备，如等离子推进器电极。

新兴应用：用于 3D 打印金属设备的高温喷嘴，耐受高温金属熔体。

## 挑战与趋势

挑战：掺杂剂均匀性难以控制，高温烧结可能导致挥发；掺钍钨棒的放射性限制其应用，需开发环保替代品。

趋势：

研发新型复合稀土掺杂（如  $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$ ），提升综合性能，目标寿命提高 20%。

采用纳米掺杂技术，降低掺杂量（ $<0.5\text{ wt}\%$ ），提高效果。

开发无放射性高性能电极，满足全球环保标准，如欧盟 RoHS 指令。

使用 AI 优化掺杂配方，预测电弧性能和寿命。

## 优缺点

优点：定制化性能，电弧稳定性和寿命优于纯钨；适合高要求应用。

缺点：生产工艺复杂，成本较高；部分掺杂（如钍）有环保限制。

## 市场与标准

掺杂钨棒占焊接电极市场 70% 以上。符合 AWS A5.12、YS/T 695-2009 和 ISO 24370。2023 年全球掺杂钨棒市场约 5 亿美元，主要由焊接和航空航天行业驱动。

## 2.2 钨棒按制造工艺分类

钨棒的制造工艺对其性能、精度和应用有显著影响。以下根据主要加工工艺分类，详细探讨烧结、锻造、轧制、拉拔和挤压钨棒的特点。

### 版权与免责声明

中钨智造科技有限公司  
钨棒产品介绍

### 一、钨棒概述

钨棒是一种以高纯度钨粉（纯度 $\geq 99.95\%$ ）为原料，通过粉末冶金工艺（压制、烧结、旋锻等）制成的高性能金属棒材。凭借其超高的熔点、优异的力学性能和化学稳定性，钨棒被广泛应用于高温、高强度、高密度等极端工况的工业领域。

### 二、钨棒的特性

- ✓ 超高熔点：高达  $3410^{\circ}\text{C}$ ，适用于各种极端高温环境
- ✓ 优异强度和硬度：在高温下仍保持良好的机械性能
- ✓ 导热导电性能优良：适合电子、电热等精密应用
- ✓ 高密度材料：密度约  $19.3\text{ g/cm}^3$ ，适用于配重、防辐射
- ✓ 抗腐蚀抗磨损：使用寿命长，稳定性好
- ✓ 热膨胀系数小：热变形小，适用于精密结构件

### 三、钨棒的主要应用领域

- ✓ 航空航天与军工：火箭喷嘴、穿甲弹芯、高温结构件
- ✓ 电子工业：阴极发射极、散热片、电极、触点材料
- ✓ 高温炉和冶金：真空炉加热棒、钨坩埚、支撑部件
- ✓ 医疗科技：防辐射部件、精密手术工具
- ✓ 机械工程：配重块、模具嵌件、振动吸收器
- ✓ 科研实验设备：超高温反应器、物理性能测试组件

### 四、钨棒基本数据

项目	参数
密度	$19.3\text{ g/cm}^3$
硬度（维氏 HV）	340 - 400 HV
电导率（ $20^{\circ}\text{C}$ ）	$\sim 30\%$ IACS
热导率	$\sim 170\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
热膨胀系数	$\sim 4.5 \times 10^{-6}\text{ /K}$
直径范围	$\varnothing 1.0\text{ mm} - \varnothing 100\text{ mm}$ （可定制）
长度范围	标准长度 $100\text{ mm} - 1000\text{ mm}$ （最长可达 $2000\text{ mm}$ ）
表面状态	黑皮、磨光、抛光

### 五、采购信息

邮箱：[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨棒资讯，请访问中钨在线网站（[www.tungsten.com.cn](http://www.tungsten.com.cn)）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



#### 版权与免责声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

## 2.2.1 烧结钨棒

### 定义与概述

烧结钨棒是通过粉末冶金中的压制和高温烧结直接形成的钨棒，致密度为 90 - 95%理论密度，表面粗糙，带有氧化层（黑皮）。作为半成品，烧结钨棒是后续锻造、轧制或拉拔的基础，适合粗加工或高温应用。

### 特性

物理特性：密度 17.5 - 18.5 g/cm<sup>3</sup>，表面粗糙度 Ra 3.2 - 6.4 μm，带有黑色氧化层。

机械特性：维氏硬度 300 - 400 HV，抗拉强度 500 - 800 MPa，韧性差，易产生微裂纹。

微观结构：晶粒较大（10 - 50 μm），孔隙率 5 - 10%，影响强度和导电性。

### 生产工艺

钨粉压制：高纯钨粉或掺杂钨粉在 100 - 200 MPa 下冷等静压成棒状坯料。

高温烧结：在氢气保护或真空炉中于 2000 - 2800° C 烧结 1 - 3 小时，颗粒结合形成致密结构。

冷却与检验：缓慢冷却（10 - 20° C/min）减少内应力，超声波检测孔隙率和裂纹。

### 应用

半成品：供锻造、轧制或拉拔加工，生产高精度钨棒。

高温炉：直接用作石英炉支撑件，承受 2000° C 高温。

电火花加工：粗加工后用作低精度 EDM 电极。

其他：用于高温实验炉的临时部件，如坩埚支撑。

### 挑战与趋势

挑战：孔隙率高限制机械性能；烧结能耗大，氢气保护需严格安全控制；大规格烧结棒易产生内部缺陷。

趋势：

采用微波烧结技术，降低温度至 1800° C，节能 30%。

开发热等静压（HIP）烧结工艺，提高致密度至 97%。

使用数字孪生技术模拟烧结过程，优化温度和气氛控制。

### 优缺点

优点：工艺简单，成本低；适合大规格钨棒。

缺点：致密度和性能较低，表面质量差，需进一步加工。

## 2.2.2 锻造钨棒

### 定义与概述

锻造钨棒通过热锻（锤锻或旋锻）对烧结钨棒进行变形加工，致密度接近理论值（19.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>），机械性能显著提升。锻造细化晶粒，增强强度和抗蠕变性，适合高精度和高强度应用。

#### 版权与法律责任声明

## 特性

物理特性：密度 19.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm（车光后）。

机械特性：晶粒尺寸 5 - 20 μm，抗拉强度 1000 - 1400 MPa，韧性略优于烧结钨棒。

微观结构：晶粒取向性强，孔隙率<1%，抗蠕变性能提升。

## 生产工艺

预热：在氢气或氩气保护下，将烧结钨棒加热至 1200 - 1500° C，防止氧化。

热锻：使用空气锤或旋锻机进行多道次锻造，每次变形量控制在 10 - 20%，减少裂纹风险。

退火：在 1000 - 1200° C 进行应力消除退火，防止裂纹扩展。

表面处理：车削或抛光，达到表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm，满足精度要求。

## 应用

工业部件：用于石英连熔炉芯杆或蓝宝石长晶炉坩埚。

航空航天：加工成配重件或高温部件，如推进器喷嘴。

电极：高精度锻造钨棒用于等离子切割和焊接。

其他：用于高温模具，如陶瓷烧结模具。

## 挑战与趋势

挑战：高温锻造需专用设备；大直径棒（>50 mm）易开裂；锻造能耗高。

趋势：

使用有限元模拟优化锻造参数，减少缺陷。

开发混合锻造-轧制工艺，提高效率，降低成本。

采用感应加热技术，精确控制锻造温度，节能 20%。

## 优缺点

优点：高密度和机械强度；适合高要求应用；晶粒细化提升性能。

缺点：加工成本高；设备要求严格；大规格加工难度大。

### 2.2.3 轧制钨棒

#### 定义与概述

轧制钨棒通过热轧或冷轧工艺对烧结或锻造钨棒进一步加工，尺寸精度高，表面质量好，适合中小直径（5 - 20 mm）钨棒的批量生产。

## 特性

物理特性：密度接近理论值（19.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>），表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm。

机械特性：轧制诱导晶粒取向，抗拉强度 1200 - 1500 MPa，韧性略优于锻造钨棒。

微观结构：晶粒细小均匀（5 - 15 μm），孔隙率<1%，强度和导电性优异。

## 生产工艺

预热：烧结或锻造钨棒加热至 1000 - 1300° C，提高延展性。

热轧：通过多道次轧制，逐步减小直径，变形量 15 - 25%。

冷轧（可选）：对小直径钨棒进行冷轧，提高尺寸精度。

#### 版权与免责声明

退火：在 900 - 1100° C 退火，消除加工硬化。

## 应用

电子工业：轧制钨棒拉拔成钨丝，制造灯丝和电极。

医疗设备：加工成 X 射线靶材或辐射屏蔽件。

精密部件：用于高精度机械零件，如模具和工具。

其他：用于高温实验设备，如热电偶支撑。

## 挑战与趋势

挑战：轧制设备昂贵；大直径 (>20 mm) 轧制均匀性差；冷轧增加成本。

趋势：

采用连续轧制线，提高生产效率 30%。

使用自动化轧制控制系统，确保尺寸一致性。

开发高温合金轧辊，延长设备寿命。

## 优缺点

优点：尺寸精度高，表面质量好，适合批量生产。

缺点：设备成本高；限于中小直径；冷轧能耗大。

### 2.2.4 拉拔钨棒

#### 定义与概述

拉拔钨棒通过拉拔工艺将烧结或锻造钨棒通过金刚石模具逐步减小直径，通常 < 5 mm，表面质量高，尺寸精度优异，适合钨丝和精密电极。

#### 特性

物理特性：密度接近理论值 (19.2 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>)，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm。

机械特性：纤维状晶体结构，抗拉强度 1500 - 2000 MPa，韧性低。

微观结构：晶粒沿拉拔方向高度取向，孔隙率接近 0%。

#### 生产工艺

坯料准备：选用锻造或轧制钨棒 (直径 5 - 10 mm)。

拉拔：在 800 - 1000° C 通过金刚石模具多道次拉拔，减径 5 - 10%。

润滑与退火：使用石墨或二硫化钼润滑，定期退火 (900 - 1100° C) 消除应力。

清洗与抛光：化学清洗去除润滑剂，抛光至 Ra 1.6 - 3.2 μm。

## 应用

钨丝生产：拉拔钨棒制造白炽灯、卤素灯和特种光源钨丝。

焊接电极：用于氩弧焊和等离子焊电极，尺寸精度高。

微电子：加工成微型电极或探针，用于半导体测试。

其他：用于激光设备的高精度部件。

#### 版权与免责声明

## 挑战与趋势

挑战：金刚石模具磨损快，成本高；多次退火增加能耗；小直径拉拔易断裂。

趋势：

使用多晶金刚石（PCD）模具，延长寿命 50%。

开发连续拉拔工艺，提高产量 20%。

采用激光加热拉拔，精确控制温度，减少断裂。

## 优缺点

优点：极高精度和表面质量；强度高；适合微细加工。

缺点：工艺复杂；模具磨损大；限于小直径。

## 2.2.5 挤压钨棒

### 定义与概述

挤压钨棒通过热挤压工艺将烧结钨坯料通过模具挤压成型，适合大直径（>20 mm）或复杂截面钨棒，致密度和强度优异。

### 特性

物理特性：密度 19.0 - 19.2 g/cm<sup>3</sup>，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm（加工后）。

机械特性：抗拉强度 1000 - 1300 MPa，晶粒取向性强，抗冲击性好。

微观结构：晶粒均匀（10 - 20 μm），孔隙率 < 2%，适合高强度应用。

### 生产工艺

坯料预热：烧结坯料加热至 1300 - 1600° C，采用氢气或氩气保护。

热挤压：通过液压挤压机（500 - 1000 MPa）挤压成型。

冷却与矫直：控制冷却速度（10 - 20° C/min），矫正形变。

表面处理：车削或抛光，达到 Ra 1.6 - 3.2 μm。

### 应用

航空航天：大直径挤压钨棒用于飞机和卫星配重件。

军事：加工成穿甲弹芯或高密度动能部件。

工业：用于高温炉支撑件和大型模具。

其他：用于核反应堆控制棒基材。

## 挑战与趋势

挑战：高压挤压需大型设备；模具磨损严重；工艺控制复杂。

趋势：

开发陶瓷涂层模具，减少磨损 30%。

使用模拟软件优化挤压参数，提高成品率。

研究增材制造与挤压结合，生产复杂形状钨棒。

## 优缺点

优点：适合大规格和复杂截面；高密度和强度。

### 版权与法律责任声明

缺点：设备投资大；表面质量逊于拉拔钨棒；工艺复杂。

### 2.3 钨棒按用途分类

钨棒用途多样，涵盖工业、电子、军事及其他特殊领域。以下详细分类。

#### 2.3.1 工业用钨棒

##### 定义与概述

工业用钨棒用于高温、高强度或高耐磨环境，如石英连熔炉、蓝宝石长晶炉和稀土提纯设备，包括纯钨棒、钨合金棒和掺杂钨棒。

##### 特性与应用

石英连熔炉：锻造或挤压纯钨棒（直径 20 - 50 mm）用作芯杆，承受 2000° C 以上高温，生产光学纤维用石英玻璃。

蓝宝石长晶炉：钨棒加工成坩埚或支撑件，用于生长 LED 基板用蓝宝石晶体。

稀土提纯：钨棒作为高温容器或电极，用于稀土元素熔炼和精炼。

模具与工具：钨合金棒（W-Ni-Fe）因高硬度和耐磨性用于冲压模具和切削工具。

其他：用于高温陶瓷烧结炉支撑件。

##### 生产与要求

锻造或挤压确保高致密度，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu\text{m}$ ，尺寸公差  $\pm 0.1\text{ mm}$ 。

#### 2.3.2 电子用钨棒

##### 定义与概述

电子用钨棒用于制造灯丝、电极和溅射靶材，包括纯钨棒、高纯钨棒和掺杂钨棒。

##### 特性与应用

灯丝：拉拔纯钨棒制成钨丝，用于白炽灯、卤素灯和特种光源。

电极：掺杂钨棒（如 WT20、WC20）用于氩弧焊和等离子焊电极。

溅射靶材：高纯钨棒加工成靶材，用于半导体和显示器薄膜沉积。

真空管与 X 射线管：高纯钨棒用于阴极和靶材。

其他：用于激光器发射极。

##### 生产与要求

拉拔和抛光达到 Ra 1.6 - 3.2  $\mu\text{m}$ ，高纯度符合 ASTM B760 和 SEMI 标准。

#### 2.3.3 军工用钨棒

##### 定义与概述

军工用钨棒以钨合金棒为主，用于高密度、高强度的军事部件，如穿甲弹芯和动能武器。

##### 特性与应用

穿甲弹芯：钨镍铁合金棒（密度 18.0 - 18.5  $\text{g}/\text{cm}^3$ ）用于反坦克弹药，穿透力强。

动能武器：大直径钨合金棒用于高能弹头，理论上用于“上帝之杖”概念武器。

#### 版权与免责声明

装甲部件：钨棒加工成导弹喷嘴衬里或装甲防护件。

其他：用于核武器部件的辐射屏蔽。

## 生产与要求

挤压或锻造确保高密度，符合 ASTM B777 标准，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu\text{m}$ 。

### 2.3.4 其他特殊用途钨棒

#### 定义与概述

其他特殊用途钨棒包括医疗、科研和消费品领域，如辐射屏蔽件、实验设备和体育用品。

#### 特性与应用

医疗：钨合金棒用于 X 射线和 CT 设备屏蔽件和准直器。

科研：掺杂钨棒用于高温实验炉加热元件。

消费品：钨合金棒加工成飞镖、高尔夫球杆配重和钨钢首饰。

其他：用于地质钻探工具的耐磨部件。

## 生产与要求

根据用途选择拉拔、挤压或锻造工艺，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu\text{m}$ 。

### 2.4 钨棒按规格分类

钨棒的规格以直径为主要依据，分为小直径、中直径和大直径三类。

#### 2.4.1 小直径钨棒 (<5mm)

##### 定义与概述

小直径钨棒（直径 < 5 mm）通过拉拔工艺制备，尺寸精度高，表面质量好。

##### 特性与应用

特性：直径 0.1 - 5 mm，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu\text{m}$ ，抗拉强度 1500 - 2000 MPa。

应用：钨丝原料、焊接电极、微电子探针、激光器部件。

生产拉拔工艺为主，需高精度模具和多次退火。

#### 2.4.2 中直径钨棒 (5-20mm)

##### 定义与概述

中直径钨棒（5 - 20 mm）通过锻造或轧制制备，兼顾强度和加工性。

##### 特性与应用

特性：密度 19.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu\text{m}$ 。

应用：高温炉元件、配重件、焊接电极、医疗靶材。

生产锻造或轧制工艺，适合批量生产。

#### 版权与免责声明

### 2.4.3 大直径钨棒 (>20mm)

#### 定义与概述

大直径钨棒 (>20 mm) 通过挤压或锻造制备，适合大规格部件。

#### 特性与应用

特性：密度 19.0 - 19.2 g/cm<sup>3</sup>，抗冲击性强，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm。

应用：军工弹芯、航空配重件、大型模具、核部件。

生产挤压工艺为主，需大吨位设备。

## 2.5 钨棒按表面状态分类

表面状态影响钨棒的应用和加工性，分为黑皮棒、车光棒和抛光棒。

### 2.5.1 黑皮棒

#### 定义与概述

黑皮棒是烧结或初步加工后的钨棒，表面带有氧化层，未经精加工。

#### 特性与应用

特性：表面粗糙度 Ra 3.2 - 6.4 μm，密度 17.5 - 18.5 g/cm<sup>3</sup>。

应用：半成品，用于后续锻造或轧制；高温炉粗加工部件。

生产烧结后直接冷却，保留氧化层。

### 2.5.2 车光棒

#### 定义与概述

车光棒通过车削或磨削去除黑皮，表面平滑，尺寸精度高。

#### 特性与应用

特性：表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm，尺寸公差±0.05 mm。

应用：焊接电极、高温炉元件、精密配重。

生产车削或磨削工艺，需高精度机床。

### 2.5.3 抛光棒

#### 定义与概述

抛光棒通过精细抛光达到高表面质量，适合高精度和洁净环境。

#### 特性与应用

特性：表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm，尺寸公差±0.02 mm。

应用：半导体设备电极、溅射靶材、医疗部件。

生产多道次抛光，使用金刚石砂轮或化学抛光。

#### 版权与免责声明

## 2.6 特种钨棒

特种钨棒通过特定掺杂或工艺优化，满足特殊应用需求。

### 2.6.1 钾钨棒

#### 定义与概述

钾钨棒（WK）通过添加微量钾（50 - 100 ppm）改善高温抗蠕变性，用于高温炉元件。

#### 特性与应用

特性：晶粒细化，抗蠕变性强，寿命延长 20 - 30%。

应用：高温炉加热元件、真空炉支撑件。

生产在钨粉中添加钾盐，烧结后拉拔或锻造。

### 2.6.2 掺钍钨棒

#### 定义与概述

掺钍钨棒（WT20，含 2% ThO<sub>2</sub>）因电弧稳定性好，曾是焊接电极标准材料。

#### 特性与应用

特性：电弧启动快，寿命长，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm，但有轻微放射性。

应用：氩弧焊电极，逐渐被环保型电极替代。

生产添加氧化钍，烧结后拉拔成型。

### 2.6.3 掺铈钨棒

#### 定义与概述

掺铈钨棒（WC20，含 2% CeO<sub>2</sub>）无放射性，电弧性能优异。

#### 特性与应用

特性：电弧稳定，低烧损率，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm，适合低电流焊接。

应用：TIG 焊、等离子焊电极。

生产添加氧化铈，烧结后拉拔。

### 2.6.4 掺镧钨棒

#### 定义与概述

掺镧钨棒（WL15/WL20，含 1.5 - 2% La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）是环保型焊接电极的首选。

#### 特性与应用

特性：电弧稳定性高，寿命长，无放射性，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm。

应用：高精度焊接、半导体设备电极。

生产添加氧化镧，烧结后拉拔或抛光。

#### 版权与免责声明

### 2.6.5 掺锆钨棒

#### 定义与概述

掺锆钨棒 (WZ8, 含 0.8%  $ZrO_2$ ) 适合交流焊接, 抗污染性强。

#### 特性与应用

特性: 耐电极污染, 适合铝和镁焊接, 表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu m$ 。

应用: 交流 TIG 焊电极。

生产添加氧化锆, 烧结后拉拔。

### 2.6.6 掺钇钨棒

#### 定义与概述

掺钇钨棒 (WY20, 含 2%  $Y_2O_3$ ) 因高电子发射率用于特殊焊接。

#### 特性与应用

特性: 高电子发射率, 适合高频焊接, 表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu m$ 。

应用: 等离子切割、特殊电极。

生产添加氧化钇, 烧结后拉拔。

### 2.6.7 复合稀土钨棒

#### 定义与概述

复合稀土钨棒 结合多种稀土氧化物 (如  $La_2O_3+CeO_2$ ), 优化综合性能。

#### 特性与应用

特性: 电弧稳定性、寿命和抗烧损性优异, 表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu m$ 。

应用: 高要求焊接、航空航天电极、3D 打印喷嘴。

生产添加复合稀土, 烧结后拉拔或抛光。

## 2.7 国际通行型号及牌号对照

钨棒的型号和牌号基于国际和国内标准, 便于贸易和应用。

### 2.7.1 纯钨棒牌号

#### 概述

纯钨棒牌号包括 WP (AWS A5.12)、W1 (GB/T 4187-2017) 和 ASTM B760 指定的纯钨棒。

#### 牌号与要求

WP: 纯度  $\geq 99.9\%$ , 用于焊接电极和灯丝。

W1: 纯度  $\geq 99.95\%$ , 杂质严格控制。

ASTM B760: 规定纯度和机械性能。

#### 版权与免责声明

### 2.7.2 掺杂钨棒牌号

概述掺杂钨棒牌号基于 AWS A5.12 和 YS/T 695-2009，常见型号包括：

WT20：2%掺钍，红色标识，焊接电极。

WC20：2%掺铈，灰色标识，环保型电极。

WL15/WL20：1.5 - 2%掺镧，金色或蓝色标识，高性能电极。

WZ8：0.8%掺锆，白色标识，交流焊接。

WY20：2%掺钇，青色标识，特殊焊接。

### 2.7.3 国内外牌号对照表 (GB/T, ASTM, ISO)

类型	GB/T 标准	ASTM 标准	ISO 标准	AWS A5.12
纯钨棒	W1	ASTM B760	ISO 24370	WP
掺钍钨棒	WT	ASTM B776	ISO 24370	WT20
掺铈钨棒	WC	ASTM B776	ISO 24370	WC20
掺镧钨棒	WL	ASTM B776	ISO 24370	WL15/WL20
掺锆钨棒	WZ	ASTM B776	ISO 24370	WZ8
钨合金棒	W-Ni-Fe/Cu	ASTM B777	ISO 24370	-

#### 说明

GB/T 4187-2017 和 YS/T 695-2009 规定国内钨棒的化学成分和性能。

ASTM B760 和 B777 是国际通用的纯钨和钨合金标准。

ISO 24370 规范钨及钨合金的通用要求。

AWS A5.12 针对焊接电极，规定掺杂钨棒的牌号和色标。



中钨智造钨棒

#### 版权与免责声明

## 第三章 钨棒的特性

钨棒作为一种高性能难熔金属材料，因其卓越的物理、化学和机械特性，在工业、电子、航空航天、医疗和科研领域具有广泛应用价值。本章详细探讨钨棒的物理特性（包括高熔点、高密度、低热膨胀系数、导热导电性及低蒸汽压）、化学特性（耐腐蚀性、化学稳定性及与元素反应性）、机械特性（高强度硬度、抗蠕变性能、韧性与可加工性），并对比不同类型钨棒（纯钨棒、高纯钨棒、掺杂钨棒）的特性差异，最后提供中钨智造钨棒的 MSDS（材料安全数据表）信息。

### 3.1 钨棒的物理特性

钨棒的物理特性是其在极端环境下广泛应用的基础，包括高熔点、高密度、低热膨胀系数、良好的导热导电性和低蒸汽压。这些特性使钨棒在高温、高负荷和真空环境中表现出色。

#### 3.1.1 钨棒的高熔点

钨的熔点为  $3410^{\circ}\text{C}$ ，是所有金属中最高的，仅次于碳的升华点（约  $3550^{\circ}\text{C}$ ）。这一特性使钨棒成为高温环境下不可替代的材料，适合承受极端热负荷的应用场景。钨的高熔点源于其体心立方（BCC）晶格结构，原子间金属键能高，结合力强，使钨棒在接近熔点的温度下仍能保持结构稳定性。

#### 应用场景：

高温炉元件：钨棒用作石英连熔炉芯杆，承受  $2000 - 2500^{\circ}\text{C}$  高温，生产光学纤维用石英玻璃。

蓝宝石长晶炉：钨棒作为坩埚或支撑件，用于生长 LED 基板用蓝宝石晶体，工作温度高达  $2200^{\circ}\text{C}$ 。

航空航天：钨棒用于高温推进器喷嘴衬里，如等离子推进器，耐受高温等离子体冲击。

照明工业：钨棒拉拔成钨丝，用于白炽灯、卤素灯和特种光源，工作温度可达  $2800^{\circ}\text{C}$ 。

#### 技术挑战：

高温下钨棒可能与炉内气氛（如氧气或氮气）发生微量反应，需采用氢气或真空保护。

高熔点要求专用高温设备（如真空烧结炉），能耗高，增加生产成本。

长期高温运行可能导致晶粒生长，影响机械性能。

#### 发展趋势：

开发先进高温炉设计，结合感应加热和惰性气氛，降低能耗并提高效率。

研究钨基复合材料，通过添加耐高温相（如氧化锆）进一步提升高温稳定性，目标耐温达  $3000^{\circ}\text{C}$ 。

采用等离子烧结（SPS）技术，降低烧结温度至  $1800^{\circ}\text{C}$ ，减少晶粒过大和能耗。

#### 3.1.2 钨棒的高密度

钨棒的密度接近理论值  $19.25\text{ g/cm}^3$ ，与黄金相当，仅低于铱和锇。高密度源于钨原子的紧密堆积和较高的原子量（ $183.84\text{ u}$ ），使其在小体积内具有较大质量，适合高质量配重和辐射屏蔽应用。

#### 版权与免责声明

#### 应用场景：

航空航天配重：钨棒加工成卫星或无人机配重件，优化空间利用和重心调节。

军工：钨合金棒（W-Ni-Fe 或 W-Ni-Cu）用于穿甲弹芯或动能武器，增强穿透力和动能。

医疗：钨棒用于 X 射线和 CT 设备屏蔽件，吸收高能辐射，保护操作人员。

消费品：钨合金棒用于高尔夫球杆配重、飞镖或高端钨钢首饰，增强稳定性和手感。

#### 技术挑战：

高密度增加加工难度，需高精度设备控制尺寸公差，特别是在小直径拉拔中。

大规格钨棒（直径>50 mm）在挤压或锻造过程中易产生内部缺陷，如孔隙或裂纹。

钨合金棒中添加镍、铁等元素可能降低耐腐蚀性，需优化合金配比。

#### 发展趋势：

开发高密度钨基复合材料（如 W-Ni-Cu），优化密度与韧性平衡，提升加工性能。

采用增材制造技术（如 3D 打印），生产复杂形状配重件，减少材料浪费和加工成本。

使用有限元模拟优化大型钨棒的锻造和挤压工艺，减少内部缺陷，提高成品率。

### 3.1.3 钨棒的低热膨胀系数

钨棒的热膨胀系数极低，为  $4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ （20 - 1000 $^{\circ}\text{C}$ ），远低于钢（ $11 - 13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）和铜（ $16 - 18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）。低热膨胀系数使钨棒在高温下保持优异的尺寸稳定性，减少热应力和变形，适合高精度和高温环境。

#### 应用场景：

半导体设备：高纯钨棒用于离子植入设备电极，尺寸稳定性确保晶圆加工精度。

高温炉：钨棒作为石英炉芯杆或蓝宝石炉支撑件，承受 2000 $^{\circ}\text{C}$  以上高温不变形。

光学工业：钨棒用于激光设备部件，保持光学系统对齐，防止热变形影响光路。

航空航天：钨棒用于高温风洞实验部件，抵抗热变形，维持实验精度。

#### 技术挑战：

低热膨胀系数与低韧性结合，使钨棒对热冲击敏感，快速温变可能引发微裂纹。

高温下与其他材料的热膨胀失配可能导致界面应力，影响复合部件性能。

精密加工需考虑热膨胀差异，确保公差控制。

#### 发展趋势：

研究钨基复合材料，调整热膨胀系数以匹配其他材料（如陶瓷或合金），减少界面应力。

采用有限元模拟优化部件设计，预测热应力分布，减少热变形风险。

开发高温涂层技术（如氧化锆涂层），增强钨棒的热冲击抗性。

### 3.1.4 钨棒的导热性与导电性

钨棒具有良好的导热性和适中的导电性，导热系数约为  $173 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ （20 $^{\circ}\text{C}$ ），电导率为 18% IACS（国际退火铜标准，约  $9.8 \text{ MS/m}$ ）。这些特性源于钨的金属键结构和电子迁移率，使其适合高温导电和热传导应用。尽管导电性低于铜（100% IACS），钨棒在高温下的稳定性和低电阻变化率使其在特定场景中更具优势。

#### 版权与免责声明

#### 应用场景：

电子工业：钨棒用于真空管阴极、X 射线管靶材和电火花加工（EDM）电极，结合导电性和高温稳定性。

焊接电极：掺杂钨棒（如掺铈或掺钨）用于氩弧焊（TIG）和等离子焊，电弧稳定性依赖其导电性。

高温炉：钨棒作为加热元件，利用导热性快速传递热量，工作温度可达 2500° C。

科研：钨棒用于高温超导实验的电极，导电性和耐高温性确保实验可靠性。

#### 技术挑战：

导电性低于铜和银，限制了钨棒在低电阻应用中的竞争力。

高温下电阻率略有增加（约 0.004/° C），需优化电路设计以补偿。

导热性在极高温度（>2000° C）下略有下降，需考虑热管理设计。

#### 发展趋势：

开发掺杂钨棒（如掺钨或掺铈），降低电阻率，提高电弧稳定性。

研究纳米结构钨材料，通过晶界工程 SNOWFLAKE 优化导电性。

采用表面导电涂层（如石墨烯涂层），提升钨棒表面的导电性能，用于特殊电极。

### 3.1.5 钨棒的低蒸汽压

钨棒在高温下具有极低的蒸汽压（3000° C 时 $<10^{-4}$  Pa），使其在真空或高温环境中保持稳定，不易挥发或污染环境。这一特性源于钨的高熔点和强金属键，减少了高温下原子的蒸发。

#### 应用场景：

真空炉：钨棒用于真空高温炉的加热元件或支撑件，防止材料挥发污染炉内环境。

半导体制造：高纯钨棒用于离子植入设备和溅射靶材，低蒸汽压确保洁净室环境无污染。

航空航天：钨棒用于高温真空实验设备，如等离子体研究装置，保持长期稳定性。

电子设备：钨棒用于真空电子管（如 X 射线管），防止高温下材料挥发影响性能。

#### 技术挑战：

微量杂质（如氧或碳）可能增加蒸汽压，需严格控制原料纯度。

真空系统需超高真空（ $10^{-5}$  Pa 以下），对设备密封性要求高。

长期高温运行可能导致表面氧化，需保护气氛或涂层。

#### 发展趋势：

开发超高纯钨（99.9999%），进一步降低蒸汽压，满足下一代半导体需求。

研究高温抗氧化涂层（如 SiC 或  $Al_2O_3$ ），减少表面挥发。

优化真空炉设计，结合低温等离子烧结，降低运行温度。

### 3.2 钨棒的化学特性

钨棒的化学特性包括优异的耐腐蚀性、化学稳定性和有限的元素反应性，使其在苛刻化学环境中表现出色，适合多种工业和科研应用。

### 3.2.1 钨棒的耐腐蚀性

钨棒在常温下对酸、碱及大多数氧化剂（如盐酸、硫酸、氢氟酸）具有极佳的耐腐蚀性，仅在高温浓硝酸或熔融碱（如氢氧化钠）中缓慢反应。耐腐蚀性源于钨表面形成的致密氧化物层（ $WO_3$ ），有效隔离外界化学物质。

#### 应用场景：

化学工业：钨棒用于耐腐蚀电极或容器，如电化学加工设备。  
高温炉：钨棒在氢气或惰性气氛中作为加热元件，耐受腐蚀性气体。  
医疗设备：钨棒用于 X 射线设备靶材，抵抗高温氧化环境。  
海洋工程：钨合金棒用于海水环境中的配重件，抗盐雾腐蚀。

#### 技术挑战：

高温下氧化物层可能变厚或剥落，需保护气氛（如氢气或氩气）。  
某些强氧化剂（如王水）在高温下可能腐蚀钨棒，限制应用范围。  
钨合金棒中添加的镍或铁可能降低耐腐蚀性，需优化合金配比。

#### 发展趋势：

开发抗腐蚀涂层（如氧化锆或氮化硅），增强高温耐腐蚀性。  
研究钨基复合材料，添加耐蚀元素（如铬），提升性能。  
优化表面处理工艺（如等离子喷涂），形成更致密的保护层。

### 3.2.2 钨棒的化学稳定性

钨棒在常温和中等温度（ $<500^{\circ}C$ ）下化学稳定性极高，几乎不与氧气、氮气或其他常见气体反应。在高温下（ $>1000^{\circ}C$ ），钨棒可能与氧气缓慢形成  $WO_3$ ，或与碳、氮形成硬质化合物（如 WC、WN），但反应速率低，需特定条件触发。

#### 应用场景：

真空环境：钨棒用于真空炉加热元件，化学稳定性确保长期运行无污染。  
半导体制造：高纯钨棒用于离子植入设备，防止化学反应污染晶圆。  
高温实验：钨棒用于高温超导或等离子体研究，保持化学惰性。  
电子设备：钨棒用于真空管阴极，防止化学反应影响性能。

#### 技术挑战：

高温下与氧气或碳的微量反应可能导致表面劣化，需严格控制气氛。  
掺杂钨棒中的添加剂（如氧化钽）可能降低化学稳定性，需优化配方。  
长期高温运行可能引发表面化合物积累，影响导电性。

#### 发展趋势：

开发超高纯钨（99.999%），减少杂质引发的化学反应。  
采用化学气相沉积（CVD）涂层，形成稳定保护层，延长寿命。  
研究自修复涂层技术，自动修复高温下的表面损伤。

#### 版权与免责声明

### 3.2.3 钨棒与其他元素的反应性

钨棒在常温下与其他元素反应性极低，仅在特定高温条件下与氧、碳、氮、氟等元素发生有限反应。例如，在 $>1000^{\circ}\text{C}$  时与氧气形成  $\text{WO}_3$ ，在 $>1500^{\circ}\text{C}$  时与碳形成碳化钨（WC），在 $>2000^{\circ}\text{C}$  时与氮气形成氮化钨（WN）。这些反应需高能量激活，反应产物通常为高硬度化合物，部分可用于增强钨棒性能。

#### 应用场景：

硬质涂层：利用钨与碳的反应性，在钨棒表面形成 WC 涂层，增强耐磨性。

高温实验：钨棒在惰性气氛中用于高温反应器，控制与碳或氮的反应。

焊接电极：掺杂钨棒在高温电弧中与氧气反应可控，保持电弧稳定性。

化学工业：钨棒用于特殊化学反应容器，耐受特定气体腐蚀。

#### 技术挑战：

高温反应可能改变钨棒表面性质，影响导电或导热性能。

反应产物（如  $\text{WO}_3$ ）可能降低表面质量，需定期清洗或保护。

掺杂元素可能引发复杂反应，需精确控制掺杂量和工艺条件。

#### 发展趋势：

研究选择性反应技术，控制高温下钨与特定元素的反应，形成功能性涂层。

开发多层复合涂层（如  $\text{WC}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ），兼顾耐腐蚀性和功能性。

优化气氛控制技术，减少不必要的高温反应，提高钨棒寿命。

## 3.3 钨棒的机械特性

钨棒的机械特性包括高强度与硬度、优异的抗蠕变性能以及有限的韧性与可加工性，使其在高负荷和高温受力环境下表现优异，但加工难度较大。

### 3.3.1 钨棒的高强度与硬度

钨棒具有极高的强度和硬度，维氏硬度（HV）范围为 350 - 500，抗拉强度在 700 - 2000 MPa 之间（视加工工艺和掺杂情况而定）。高强度源于钨的强金属键和体心立方晶格，高硬度使其耐磨且适合高负荷应用。

#### 应用场景：

高温模具：钨棒用于玻璃成型或陶瓷烧结模具，抵抗高压和磨损。

军工：钨合金棒用于穿甲弹芯，结合高硬度和密度，增强穿透力。

工业工具：钨棒加工成切削刀具或冲压模具，耐受高应力。

航空航天：钨棒用于高温推进器部件，承受机械负荷。

#### 技术挑战：

高硬度增加切削和磨削难度，需金刚石工具或激光加工。

强度高但脆性大，加工过程中易产生微裂纹。

大规格钨棒（ $>50\text{ mm}$ ）锻造或挤压时内部应力集中，需优化工艺。

#### 发展趋势：

采用纳米晶钨材料，细化晶粒至 $<100\text{ nm}$ ，提升强度和硬度。  
开发等离子辅助加工技术，减少加工裂纹，提高精度。  
研究钨基复合材料，添加韧性增强相（如镍），平衡强度和韧性。

#### 3.3.2 钨棒的抗蠕变性能

钨棒在高温下（ $>2000^\circ\text{C}$ ）具有优异的抗蠕变性能，能够长期承受应力而不发生显著形变。抗蠕变性能源于钨的高熔点和稳定的晶体结构，掺杂钨棒（如掺钾或掺稀土）通过晶界强化进一步提升性能。

#### 应用场景：

高温炉：钨棒作为石英炉或蓝宝石炉的支撑件，承受长期高温应力。  
航空航天：钨棒用于高温风洞实验部件，抵抗蠕变变形。  
科研：钨棒用于高温实验设备，保持长期尺寸稳定性。  
工业：钨棒用于高温模具，抵抗长期应力下的形变。

#### 技术挑战：

极高温（ $>2500^\circ\text{C}$ ）下晶粒生长可能降低抗蠕变性，需控制微观结构。  
长期运行可能导致表面氧化或掺杂剂挥发，影响性能。  
掺杂钨棒需优化掺杂剂分布，避免局部性能不均。

#### 发展趋势：

开发掺杂技术（如复合稀土掺杂），进一步提升抗蠕变性，目标寿命延长 30%。  
采用热等静压（HIP）工艺，减少晶界缺陷，提高高温稳定性。  
研究高温原位监测技术，实时评估蠕变行为，优化设计。

#### 3.3.3 钨棒的韧性与可加工性

钨棒的韧性较低，表现为脆性，尤其在常温下易发生断裂。体心立方晶格结构和高硬度导致其延展性差，加工需高温（ $800 - 1500^\circ\text{C}$ ）或多次退火以提高可塑性。掺杂钨棒通过添加稀土或氧化物（如氧化铈、氧化镧）可略微改善韧性，但加工难度仍较高。

#### 应用场景：

拉拔加工：钨棒拉拔成钨丝（直径  $0.01 - 0.1\text{ mm}$ ），需高温和多次退火，用于灯丝生产。  
精密部件：钨棒加工成半导体探针或电极，需高精度加工工艺。  
焊接电极：掺杂钨棒（WC20、WL20）加工成电极，韧性优化提升使用寿命。  
模具制造：钨棒加工成复杂形状模具，需激光或电火花加工。

#### 技术挑战：

常温下脆性高，加工易产生微裂纹，降低成品率。  
高温加工需专用设备，如真空炉或感应加热器，增加成本。  
小直径钨棒（ $<1\text{ mm}$ ）拉拔断裂风险高，需精确控制变形量。

#### 版权与免责声明

### 发展趋势:

开发纳米级钨粉烧结技术，细化晶粒，提高韧性和可加工性。  
采用激光加工或电火花加工，减少机械应力，提高加工精度。  
研究新型掺杂剂（如复合稀土），提升常温韧性，降低加工难度。

### 3.4 不同种类钨棒的特性对比

不同种类钨棒（纯钨棒、高纯钨棒、掺杂钨棒）在物理、化学和机械特性上存在显著差异，影响其应用领域和性能表现。

#### 3.4.1 纯钨棒与高纯钨棒

##### 物理特性对比:

纯钨棒（纯度 $\geq 99.9\%$ ）：密度  $19.0 - 19.25 \text{ g/cm}^3$ ，熔点  $3410^\circ \text{C}$ ，热膨胀系数  $4.5 \times 10^{-6}/^\circ \text{C}$ ，导热系数  $173 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，电导率  $18\% \text{ IACS}$ 。晶粒尺寸  $10 - 50 \text{ }\mu\text{m}$ ，微量杂质（ $100 - 500 \text{ ppm}$ ）可能影响高温性能。

高纯钨棒（纯度 $\geq 99.95\%$ ）：密度接近理论值  $19.25 \text{ g/cm}^3$ ，晶粒更细小（ $5 - 15 \text{ }\mu\text{m}$ ），杂质含量 $< 50 \text{ ppm}$ ，导电性略优（电阻率约  $5.3 \text{ }\mu\Omega \cdot \text{cm}$  vs.  $5.5 \text{ }\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ），蒸汽压更低，适合洁净环境。

##### 化学特性对比:

纯钨棒：耐腐蚀性强，但在高温下对氧气或碳的微量反应更明显，需保护气氛。

高纯钨棒：化学稳定性更高，几乎不与常温化学物质反应，高温下  $\text{WO}_3$  形成速率更低，适合真空或洁净室应用。

##### 机械特性对比:

纯钨棒：维氏硬度  $350 - 450 \text{ HV}$ ，抗拉强度  $700 - 1000 \text{ MPa}$ ，韧性较低，加工需高温退火。

高纯钨棒：硬度稍高（ $400 - 500 \text{ HV}$ ），抗拉强度  $800 - 1100 \text{ MPa}$ ，晶粒细化提高强度，但韧性仍有限，需精密加工。

##### 应用差异:

纯钨棒：适用于通用高温应用，如石英炉芯杆、灯丝原料、配重件。

高纯钨棒：专为高精度和洁净环境设计，如半导体离子植入设备电极、溅射靶材、EUV 光刻机部件。

##### 技术挑战:

纯钨棒成本较低，但杂质可能影响性能一致性。

高纯钨棒生产需 CVD 提纯和洁净室加工，成本高，设备要求严格。

### 发展趋势:

纯钨棒：优化烧结工艺，降低杂质，提高性能稳定性。

高纯钨棒：开发超高纯钨（ $99.9999\%$ ），满足  $3\text{nm}$  以下芯片制造需求。

中钨智造科技有限公司  
钨棒产品介绍

### 一、钨棒概述

钨棒是一种以高纯度钨粉（纯度 $\geq 99.95\%$ ）为原料，通过粉末冶金工艺（压制、烧结、旋锻等）制成的高性能金属棒材。凭借其超高的熔点、优异的力学性能和化学稳定性，钨棒被广泛应用于高温、高强度、高密度等极端工况的工业领域。

### 二、钨棒的特性

- ✓ 超高熔点：高达  $3410^{\circ}\text{C}$ ，适用于各种极端高温环境
- ✓ 优异强度和硬度：在高温下仍保持良好的机械性能
- ✓ 导热导电性能优良：适合电子、电热等精密应用
- ✓ 高密度材料：密度约  $19.3\text{ g/cm}^3$ ，适用于配重、防辐射
- ✓ 抗腐蚀抗磨损：使用寿命长，稳定性好
- ✓ 热膨胀系数小：热变形小，适用于精密结构件

### 三、钨棒的主要应用领域

- ✓ 航空航天与军工：火箭喷嘴、穿甲弹芯、高温结构件
- ✓ 电子工业：阴极发射极、散热片、电极、触点材料
- ✓ 高温炉和冶金：真空炉加热棒、钨坩埚、支撑部件
- ✓ 医疗科技：防辐射部件、精密手术工具
- ✓ 机械工程：配重块、模具嵌件、振动吸收器
- ✓ 科研实验设备：超高温反应器、物理性能测试组件

### 四、钨棒基本数据

项目	参数
密度	$19.3\text{ g/cm}^3$
硬度（维氏 HV）	340 - 400 HV
电导率（ $20^{\circ}\text{C}$ ）	$\sim 30\%$ IACS
热导率	$\sim 170\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
热膨胀系数	$\sim 4.5 \times 10^{-6}\text{ /K}$
直径范围	$\text{Ø}1.0\text{ mm} - \text{Ø}100\text{ mm}$ （可定制）
长度范围	标准长度 $100\text{ mm} - 1000\text{ mm}$ （最长可达 $2000\text{ mm}$ ）
表面状态	黑皮、磨光、抛光

### 五、采购信息

邮箱：[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨棒资讯，请访问中钨在线网站（[www.tungsten.com.cn](http://www.tungsten.com.cn)）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



#### 版权与免责声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

### 3.4.2 掺杂钨棒的特殊性能

物理特性：掺杂钨棒（含 0.5 - 2 wt% 稀土或氧化物，如氧化铈、氧化镧、氧化钽）密度略低于纯钨棒（19.0 - 19.2 g/cm<sup>3</sup>），因掺杂剂密度较低。晶粒细化至 5 - 15 μm，热膨胀系数和导热系数（约 160 W/m·K）略低于纯钨棒，但电导率略高（电阻率约 5.0 μΩ·cm），因掺杂剂改善电子迁移率。

化学特性：掺杂钨棒保持钨的耐腐蚀性和化学稳定性，但在高温下，某些掺杂剂（如氧化钽）可能引发轻微反应，降低稳定性。稀土掺杂（如掺铈、掺镧）无放射性，符合环保要求，化学稳定性更优。

机械特性：掺杂钨棒通过晶界强化提高抗拉强度（1000 - 1200 MPa）和韧性，抗蠕变性显著提升，适合高温长期受力。维氏硬度 400 - 500 HV，加工性能优于纯钨棒，但仍需高温加工。

#### 应用场景：

焊接电极：掺杂钨棒（如 WC20、WL20）用于氩弧焊和等离子焊，电弧稳定性高，烧损率低。

高温炉：掺铈或掺稀土钨棒用于真空炉加热元件，耐受 2500° C 以上。

电子设备：掺杂钨棒用于阴极射线管、微波设备和激光器发射极。

新兴应用：用于 3D 打印金属设备的高温喷嘴，耐受高温金属熔体。

#### 技术挑战：

掺杂剂均匀性难以控制，高温烧结可能导致挥发，影响性能。

掺铈钨棒的轻微放射性限制应用，需开发环保替代品。

掺杂工艺增加生产复杂性和成本，需优化配方和流程。

#### 发展趋势：

研发复合稀土掺杂（如 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>），提升电弧稳定性、寿命和抗烧损性。

采用纳米掺杂技术，降低掺杂量（<0.5 wt%），提高性能效率。

开发无放射性高性能电极，满足全球环保标准（如欧盟 RoHS 指令）。

### 3.5 中钨智造钨棒 MSDS

以下为中钨智造钨棒的 MSDS（材料安全数据表）概要，基于钨棒的通用特性和行业标准，涵盖安全、健康和环境信息。由于钨棒为固态金属材料，其 MSDS 内容相对简洁，主要聚焦于加工和使用中的潜在风险。

#### 材料安全数据表（MSDS）

产品名称：钨棒（纯钨棒、高纯钨棒、掺杂钨棒）

化学成分：

纯钨棒：钨（W）≥99.9%，微量杂质（Fe、Ni、C、O 等，100 - 500 ppm）。

高纯钨棒：钨（W）≥99.95%，杂质 <50 ppm。

掺杂钨棒：钨（W）97 - 99.5%，掺杂剂（如 CeO<sub>2</sub>、La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ThO<sub>2</sub>、K）0.5 - 2 wt%。

物理形态：固态金属棒，密度 19.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm。

危险性概述：

#### 版权与免责声明

常温下无显著危险，化学稳定性高，不易燃烧或爆炸。

加工（如切割、磨削、焊接）可能产生金属粉尘或烟雾，吸入可能引起呼吸道刺激。

掺钍钨棒（WT20）含氧化钍，具有轻微放射性，需特殊防护。

#### 健康危害：

吸入：钨粉尘可能刺激呼吸道，长期暴露可能导致肺部不适。

皮肤接触：固态钨棒无毒，但加工粉尘可能引起轻微皮肤刺激。

眼睛接触：粉尘可能引起机械性刺激，需冲洗眼睛。

摄入：误食可能性低，少量摄入无显著毒性，但需避免。

掺钍钨棒：长期暴露于氧化钍粉尘可能增加辐射风险，需控制接触。

#### 安全措施：

个人防护：加工时佩戴防尘口罩（N95 或更高）、防护眼镜和手套。

通风：加工区域需配备局部排风或除尘系统，控制粉尘浓度。

放射性防护（掺钍钨棒）：使用专用通风柜，定期监测辐射水平，遵守当地法规（如中国 GB 18871-2002）。

#### 处理与储存：

储存于干燥、通风良好的仓库，避免与强氧化剂（如浓硝酸）接触。

加工设备需接地，防止静电积聚引发粉尘爆炸。

废弃钨棒按金属废料回收处理，掺钍钨棒需按放射性废物法规处置。

#### 急救措施：

吸入：将人员移至新鲜空气处，必要时就医。

皮肤接触：用肥皂和水清洗皮肤，必要时就医。

眼睛接触：用大量清水冲洗至少 15 分钟，必要时就医。

摄入：立即漱口，饮水稀释，必要时就医。

#### 环境影响：

钨棒本身对环境无毒，但加工粉尘可能污染空气或水体，需妥善收集。

掺钍钨棒的废弃物需按放射性废物法规处理，避免环境污染。

#### 法规信息：

符合中国 GB/T 4187-2017（钨棒标准）、YS/T 695-2009（钨电极标准）。

掺钍钨棒需遵守国际原子能机构（IAEA）放射性物质安全规范和中国 GB 18871-2002（电离辐射防护标准）。

#### 运输信息：

非危险品运输，符合国际海事组织（IMO）和国际航空运输协会（IATA）要求。

掺钍钨棒需标示放射性警告，按法规包装和运输。

#### 供货商信息

#### 版权与免责声明

供货商:中钨智造（厦门）科技有限公司

电话:0592-5129696/5129595



中钨智造钨棒

## 第四章 钨棒的制备生产工艺与技术

钨棒作为一种高性能难熔金属材料，其制备工艺涉及复杂的原材料处理、粉末冶金、变形加工、后处理及针对不同种类钨棒的定制化技术。钨的高熔点（ $3410^{\circ}\text{C}$ ）、高密度（ $19.25\text{ g/cm}^3$ ）和独特的机械化学特性对生产设备和工艺控制提出严苛要求。本章将详细探讨钨棒的制备生产工艺，包括原材料准备、粉末冶金技术、变形加工技术、大规格钨棒制备、后处理技术及不同种类钨棒（纯钨棒、高纯钨棒、掺杂钨棒）的工艺特点。

### 4.1 钨棒的原材料准备

钨棒的制备始于高质量原材料的获取和处理，涉及钨矿石的开采与提纯、钨粉的制备以及合金元素或掺杂剂的添加。这些步骤直接影响钨棒的纯度、性能和生产效率。

#### 4.1.1 钨矿石的开采与提纯

钨棒的原材料主要来源于钨矿石，常见类型包括黑钨矿（ $\text{FeMnWO}_4$ ）和白钨矿（ $\text{CaWO}_4$ ）。开采过程通常采用露天或地下采矿方法，视矿床地质条件而定。采出的矿石需经过多步提纯以获得高纯度钨化合物。

工艺流程：

矿石破碎与磨矿：将原矿破碎至小颗粒（ $<10\text{ mm}$ ），通过球磨或棒磨进一步细化至微米级（ $10 - 100\ \mu\text{m}$ ），提高后续选矿效率。

选矿：采用重力选矿（如跳汰机、摇床）、浮选或磁选技术，分离钨矿石与脉石，获得高品位钨精矿（ $\text{WO}_3$ 含量  $60 - 70\%$ ）。

#### 版权与免责声明

化学提纯：钨精矿通过焙烧（500 - 800° C）去除硫和砷等杂质，随后用碱（氢氧化钠）或酸（盐酸）浸出，生成钨酸钠（ $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ）或钨酸（ $\text{H}_2\text{WO}_4$ ）。

结晶与精炼：通过溶剂萃取或离子交换进一步纯化，生成高纯钨酸铵（APT， $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ ），纯度达 99.9% 以上，适用于后续钨粉制备。

关键点：

选矿过程需精确控制以减少杂质（如硅、磷、铁）。

碱浸出法适合黑钨矿，酸浸出法适合白钨矿，需根据矿石类型优化工艺。

高纯 APT 是制备高纯钨棒的关键原料，需严格控制碳、氧等杂质。

#### 4.1.2 钨粉的制备

钨粉是钨棒制备的核心原料，通过氢气还原钨酸铵或氧化钨（ $\text{WO}_3$ ）获得，粒径和纯度直接影响钨棒的性能。

工艺流程：

氧化物制备：钨酸铵在空气中煅烧（400 - 600° C），分解为氧化钨（ $\text{WO}_3$ ）或  $\text{WO}_2.9$ ，颜色呈黄色或蓝绿色。

氢气还原：氧化钨在多管炉或旋转炉中于 600 - 900° C 用高纯氢气（99.999%）还原，分两阶段进行：先还原为  $\text{WO}_2$ （棕色），再进一步还原为金属钨粉（灰色）。还原气氛需严格控制，避免氧或氮污染。

筛分与分级：通过振动筛或气流分级，获得粒径均匀的钨粉（0.5 - 5  $\mu\text{m}$ ），适用于不同类型钨棒（如纯钨棒需较大粒径，高纯钨棒需更细小粒径）。

质量控制：使用 X 射线荧光光谱（XRF）或电感耦合等离子体质谱（ICP-MS）检测杂质，确保纯度  $\geq 99.9\%$ （高纯钨粉  $\geq 99.95\%$ ）。

关键点：

还原温度和氢气流量需精确调节，以控制钨粉粒径和形貌。

高纯钨粉需在洁净环境中生产，避免粉尘污染。

钨粉储存需密封，防止氧化或吸湿。

#### 4.1.3 合金元素与掺杂剂的添加

为制备掺杂钨棒或钨合金棒，需在钨粉中添加合金元素或掺杂剂，以改善电弧稳定性、抗蠕变性或加工性能。

工艺：

掺杂剂选择：常见掺杂剂包括稀土氧化物（如氧化铈  $\text{CeO}_2$ 、氧化镧  $\text{La}_2\text{O}_3$ 、氧化钇  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ，0.5 - 2 wt%）、氧化物（如氧化钍  $\text{ThO}_2$ 、氧化锆  $\text{ZrO}_2$ ）或微量钾（50 - 100 ppm）。合金元素包括镍、铁、铜，用于制备高密度钨合金棒。

混合方法：通过高能球磨或喷雾干燥将掺杂剂与钨粉均匀混合，确保掺杂剂分布均匀。球磨时间控制在 4 - 8 小时，避免粉末过细或污染。

溶液掺杂：将掺杂剂以硝酸盐形式（如硝酸镧）溶于水，喷雾至钨粉表面，干燥后形成均匀掺杂。

质量控制：使用扫描电镜（SEM）分析掺杂剂分布，XRF 检测掺杂量，确保符合设计要求（如  $\text{CeO}_2$  含量  $2\% \pm 0.1\%$ ）。

关键点：

掺杂剂粒径需与钨粉匹配（通常  $< 1 \mu\text{m}$ ），避免团聚。

掺杂钨棒需特殊防护，因氧化钍具有轻微放射性。

合金元素添加需控制比例，防止降低钨的熔点或耐腐蚀性。

## 4.2 钨棒的粉末冶金技术

粉末冶金是钨棒制备的核心技术，通过粉末混合、压制和高温烧结将钨粉转化为致密的棒状坯料，为后续变形加工提供基础。

### 4.2.1 粉末混合与压制

粉末混合：钨粉（或掺杂钨粉）通过机械混合或喷雾干燥与粘结剂（如聚乙烯醇 PVA）混合，确保流动性与成型性。混合设备包括行星球磨机或 V 型混合机，混合时间 2 - 4 小时，避免粉末氧化或污染。

压制工艺：

冷等静压（CIP）：将混合好的钨粉装入柔性模具，在 100 - 200 MPa 压力下压制成棒状坯料，密度约 50 - 60% 理论密度。CIP 适合大规格坯料，均匀性好。

模压：使用钢模在液压机上压制，适合小批量或小直径坯料，压力 50 - 150 MPa。

工艺控制：压制速度需缓慢（0.5 - 1 mm/s），防止坯料裂纹。坯料需在真空或惰性气氛中脱脂，去除粘结剂。

关键点：

模具表面需光滑，减少坯料表面缺陷。

压制压力需根据粉末粒径和掺杂剂类型调整。

洁净环境（如 ISO 7 级）避免粉尘污染。

### 4.2.2 高温烧结

高温烧结是粉末冶金的关键步骤，通过高温使钨粉颗粒结合，形成高致密度坯料。

工艺流程：

烧结设备：采用氢气保护炉或真空烧结炉，温度 2000 - 2800° C，保温 1 - 3 小时。

烧结过程：钨粉坯料在高温下发生颗粒扩散和结合，孔隙率降至 5 - 10%，密度达 90 - 95% 理论密度。烧结分预烧结（1000 - 1500° C，去除挥发性杂质）和主烧结（2000 - 2800° C，致密化）。

气氛控制：氢气保护防止氧化，流量 0.5 - 2 m<sup>3</sup>/h；真空烧结（10<sup>-3</sup> - 10<sup>-5</sup> Pa）适合高纯钨棒，减少气体吸附。

冷却：缓慢冷却（10 - 20° C/min），防止热应力导致裂纹。

关键点：

烧结温度需根据钨粉粒径和掺杂剂类型优化，过高可能导致晶粒过大。

炉内气氛需高纯度（99.999%），避免碳或氧污染。

烧结坯料需超声波检测，检查内部孔隙和裂纹。

#### 4.2.3 烧结态钨棒的性能优化

烧结态钨棒（黑皮棒）需进一步优化以满足应用要求。

优化方法：

二次烧结：在真空炉中于 2200 - 2600° C 进行短时二次烧结（0.5 - 1 小时），进一步降低孔隙率至 <2%，提高密度至 19.0 g/cm<sup>3</sup> 以上。

热等静压（HIP）：在 2000° C、100 - 200 MPa 下处理，消除微孔隙，密度接近理论值 19.25 g/cm<sup>3</sup>。

表面清理：用化学清洗（盐酸或氢氟酸）去除表面氧化层，初步达到粗糙度 Ra 3.2 - 6.4 μm。

微观结构调整：通过控制烧结时间和冷却速率，优化晶粒尺寸（10 - 50 μm），提高强度。

关键点：

HIP 工艺需专用设备，适用于高性能钨棒。

表面清理需在通风环境中进行，避免酸液危害。

性能优化需平衡晶粒尺寸与孔隙率，防止强度下降。

#### 4.3 钨棒的变形加工技术

变形加工通过热锻、热挤压、轧制和拉拔进一步提高钨棒的致密度、强度和尺寸精度，满足不同应用需求。

##### 4.3.1 热锻（锤锻、旋锻）

热锻通过高温机械变形将烧结钨棒加工成高密度棒材，分为锤锻和旋锻。

锤锻工艺：

设备：空气锤或液压锻机，锻造温度 1200 - 1500° C，氢气或氩气保护。

过程：烧结钨棒预热至 1200° C，分多道次锻造，每次变形量 10 - 20%，逐步减小直径并提高致密度（19.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>）。

后处理：锻后退火（1000 - 1200° C）消除应力，表面车削至粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm。

旋锻工艺：

设备：旋锻机，配备高频感应加热器，温度 1200 - 1400° C。

过程：钨棒在旋转模具中受多向压力，变形均匀，适合中小直径棒（5 - 50 mm）。

优势：旋锻比锤锻更均匀，裂纹风险低，适合高精度应用。

关键点：

锻造温度需精确控制，避免过热导致晶粒过大。

#### 版权与免责声明

变形量需分步控制，防止内部应力集中。  
保护气氛（如氩气）防止表面氧化。

#### 4.3.2 热挤压

热挤压用于大规格或复杂截面钨棒的成型，密度和强度高。

工艺流程：

预热：烧结钨棒加热至 1300 - 1600° C，采用氢气或氩气保护。

挤压：通过液压挤压机（500 - 1000 MPa）将钨棒通过模具挤压成型，直径 20 - 100 mm，致密度达 19.0 - 19.2 g/cm<sup>3</sup>。

矫直与冷却：挤压后缓慢冷却（10 - 20° C/min），使用矫直机调整形状。

表面处理：车削或磨削，达到粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm。

关键点：

模具需耐高温材料（如钼或陶瓷），减少磨损。

挤压速度（0.1 - 0.5 mm/s）需缓慢，防止裂纹。

大直径挤压需高吨位设备，控制成本。

#### 4.3.3 轧制

轧制通过热轧或冷轧将钨棒加工成中小直径（5 - 20 mm），尺寸精度高，表面质量好。

工艺流程：

热轧：烧结或锻造钨棒加热至 1000 - 1300° C，通过多道次轧制（变形量 15 - 25%），逐步减小直径。

冷轧（可选）：小直径钨棒（<10 mm）在室温或低温（<500° C）轧制，提高精度。

退火：在 900 - 1100° C 退火，消除加工硬化，防止裂纹。

表面处理：抛光至粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm。

关键点：

热轧需高温轧辊（如钼合金），耐受钨的硬度。

冷轧限于小直径，需高精度设备。

退火气氛需纯净，防止表面污染。

#### 4.3.4 拉拔

拉拔用于生产小直径钨棒（<5 mm），是制造钨丝和精密电极的关键工艺。

工艺流程：

坯料准备：选用锻造或轧制钨棒（直径 5 - 10 mm）。

拉拔：在 800 - 1000° C 通过金刚石模具多道次拉拔，每次减径 5 - 10%，最终直径可达 0.01 mm（钨丝）。

润滑与退火：使用石墨或二硫化钼润滑，定期退火（900 - 1100° C）消除应力。

清洗与抛光：化学清洗去除润滑剂，抛光至粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm。

#### 版权与免责声明

关键点：

金刚石模具需定期更换，保持精度。

拉拔速度（1 - 5 m/min）需控制，避免断裂。

高温拉拔需惰性气氛，防止氧化。

#### 4.4 大规格钨棒的制备

大规格钨棒（直径>20 mm）因其高密度和高强度广泛用于航空航天、军工和工业领域，制备工艺复杂，需解决多项技术难点。

##### 4.4.1 技术难点与挑战

大规格钨棒的制备面临以下技术难点：

高密度要求：需接近理论密度（19.25 g/cm<sup>3</sup>），烧结和变形加工需严格控制孔隙率。

内部缺陷：大直径坯料易产生孔隙、裂纹或应力集中，影响强度。

设备限制：挤压或锻造需大吨位设备（>1000吨），对模具材料和加热系统要求高。

均匀性：大规格棒材在烧结和加工过程中易出现晶粒不均或成分偏析。

成本控制：高温高吨位加工能耗高，模具磨损快，增加生产成本。

##### 4.4.2 高致密度钨棒的制备方法

工艺流程：

大规格坯料压制：采用冷等静压（200 - 300 MPa）制备大直径坯料（直径 50 - 100 mm），密度 50 - 60%理论密度。

高温烧结：在真空或氢气炉中于 2200 - 2800° C 烧结 2 - 4 小时，密度达 90 - 95%。

热等静压（HIP）：在 2000° C、150 - 200 MPa 下处理 1 - 2 小时，消除微孔隙，密度接近 19.25 g/cm<sup>3</sup>。

热挤压：在 1300 - 1600° C、800 - 1200 MPa 下挤压成型，直径 20 - 100 mm，表面粗糙度 Ra 3.2 - 6.4 μm。

后处理：退火（1000 - 1200° C）消除应力，车削至粗糙度 Ra 1.6 - 3.2 μm。

关键点：

HIP 工艺是高致密度的关键，需超高压设备。

挤压模具需耐高温材料（如钼合金），减少磨损。

烧结和挤压需分段加热，确保温度均匀。

##### 4.4.3 工艺优化与创新

优化措施：

分级烧结：采用多段升温（1000° C 预烧，2500° C 主烧），减少晶粒过大。

复合模具：使用钼基或陶瓷涂层模具，延长模具寿命。

自动化控制：通过传感器监测温度、压力和气氛，提高工艺一致性。

连续挤压：开发连续热挤压线，减少中间冷却和再加热，提高效率。

#### 版权与免责声明

晶粒控制：通过添加微量掺杂剂（如钾或稀土），优化晶粒尺寸（10 - 30  $\mu\text{m}$ ），提高强度。

关键点：

自动化控制需集成温度和压力传感器，确保实时监控。

复合模具需定期维护，防止变形或磨损。

掺杂剂添加需精确，防止影响高温性能。

#### 4.5 钨棒的后处理技术

后处理技术包括热处理、表面处理和精密加工，用于优化钨棒的性能、表面质量和尺寸精度。

##### 4.5.1 热处理

热处理通过退火或时效处理消除加工应力，优化微观结构，提高钨棒的机械性能。

工艺流程：

应力消除退火：在真空或氢气炉中于 1000 - 1200° C 保温 1 - 2 小时，冷却速率 10 - 20° C/min，减少内部应力。

再结晶退火：在 1400 - 1600° C 保温 0.5 - 1 小时，调整晶粒尺寸（10 - 30  $\mu\text{m}$ ），提高韧性。

时效处理（掺杂钨棒）：在 800 - 1000° C 保温 2 - 4 小时，稳定掺杂剂分布，增强电弧性能。

关键点：

退火气氛需高纯度（99.999%氢气或  $10^{-5}$  Pa 真空），防止氧化。

温度和保温时间需根据钨棒类型（纯钨或掺杂）调整。

冷却需缓慢，避免热应力导致裂纹。

##### 4.5.2 表面处理（抛光、清洗）

表面处理提高钨棒的表面质量和洁净度，满足高精度应用需求。

抛光工艺：

机械抛光：使用金刚石砂轮或氧化铝磨料，抛光至粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu\text{m}$ ，适用于焊接电极或半导体部件。

化学抛光：采用氢氟酸和硝酸混合液（比例 1:3），浸泡 10 - 30 秒，去除表面氧化层，达到镜面效果。

电解抛光：以钨棒为阳极，磷酸基电解液处理，表面粗糙度可达 Ra 1.6  $\mu\text{m}$  以下。

清洗工艺：

化学清洗：用稀盐酸或碱液（氢氧化钠）清洗，去除表面油污和氧化物。

超声清洗：在去离子水中加入清洗剂，超声波清洗 5 - 10 分钟，确保洁净度。

等离子清洗：在真空等离子设备中去除微量污染物，适合高纯钨棒。

关键点：

抛光需在洁净环境（ISO 5 级）进行，防止二次污染。

#### 版权与免责声明

化学清洗需控制酸碱浓度，避免腐蚀钨棒。  
等离子清洗适合高精度应用，需专用设备。

#### 4.5.3 精密加工与切割

精密加工和切割用于生产特定形状和尺寸的钨棒，满足高精度要求。

工艺流程：

车削：使用数控车床，配备金刚石刀具，加工直径公差 $\pm 0.05$  mm，表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu$  m。

磨削：采用中心磨床或无心磨床，加工小直径钨棒 ( $< 5$  mm)，公差 $\pm 0.02$  mm。

电火花切割 (EDM)：用于复杂形状或大规格钨棒切割，精度达 $\pm 0.01$  mm，适合军工部件。

激光切割：采用高功率激光器，切割小直径钨棒或微型部件，热影响区小，精度高。

关键点：

金刚石刀具需定期更换，保持切削精度。

EDM 需控制放电参数，防止表面烧伤。

激光切割需惰性气体保护，减少氧化。

#### 4.6 不同种类钨棒的工艺特点

不同种类钨棒（纯钨棒、高纯钨棒、掺杂钨棒）因成分和应用差异，制备工艺有所不同。

##### 4.6.1 纯钨棒工艺

工艺特点：

原材料：选用纯度 $\geq 99.9\%$ 的钨粉，粒径 0.5 - 5  $\mu$  m，杂质（如 Fe、C、O）控制在 100 - 500 ppm。

粉末冶金：冷等静压（100 - 200 MPa）制坯，氢气保护烧结（2000 - 2800 $^{\circ}$  C），密度 90 - 95%。

变形加工：热锻或轧制（1200 - 1500 $^{\circ}$  C），多道次变形，致密度达 19.0 - 19.25 g/cm $^3$ 。

后处理：退火（1000 - 1200 $^{\circ}$  C）消除应力，车削或抛光至粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu$  m。

应用导向：工艺注重成本控制，适合通用高温应用（如石英炉芯杆、灯丝原料）。

关键点：

烧结温度需平衡晶粒生长和孔隙消除。

加工工艺简单，设备要求相对较低。

表面处理以机械抛光为主，满足工业精度。

##### 4.6.2 高纯钨棒工艺

工艺特点：

原材料：选用纯度 $\geq 99.95\%$ 的钨粉，粒径 0.1 - 1  $\mu$  m，杂质 $< 50$  ppm，通过化学气相沉积（CVD）提纯。

粉末冶金：在超高真空（ $10^{-5}$  Pa）烧结（2600 - 2800 $^{\circ}$  C），密度达 98%以上，孔隙率 $< 1\%$ 。

变形加工：旋锻或轧制（1200 - 1400 $^{\circ}$  C），变形量 10 - 15%，确保晶粒细小（5 - 15  $\mu$  m）。

#### 版权与免责声明

后处理：电解抛光或等离子清洗，粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu\text{m}$ ，洁净室（ISO 5 级）包装。

应用导向：工艺强调高纯度和洁净度，适合半导体、医疗和 EUV 光刻机部件。

关键点：

提纯和烧结需超高纯度设备，防止污染。

加工需洁净环境，控制粉尘和杂质。

后处理以化学或电解抛光为主，确保表面质量。

#### 4.6.3 掺杂钨棒工艺

工艺特点：

原材料：在钨粉中添加 0.5 - 2 wt% 掺杂剂（如  $\text{CeO}_2$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ThO}_2$ 、K），通过球磨或溶液掺杂均匀混合。

粉末冶金：烧结温度 2300 - 2600° C（低于纯钨棒），防止掺杂剂挥发，密度 95 - 98%。

变形加工：拉拔或旋锻（800 - 1400° C），掺杂剂改善韧性，减少裂纹风险。

后处理：退火（800 - 1000° C）稳定掺杂剂，抛光至粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu\text{m}$ ，掺钷钨棒需放射性防护。

应用导向：工艺优化电弧稳定性和抗蠕变性，适合焊接电极和高温炉元件。

关键点：

掺杂剂分布需均匀，避免性能不均。

掺钷钨棒需特殊防护，符合放射性法规。

拉拔工艺需多次退火，提高加工成功率。



中钨智造钨棒

中钨智造科技有限公司  
钨棒产品介绍

### 一、钨棒概述

钨棒是一种以高纯度钨粉（纯度 $\geq 99.95\%$ ）为原料，通过粉末冶金工艺（压制、烧结、旋锻等）制成的高性能金属棒材。凭借其超高的熔点、优异的力学性能和化学稳定性，钨棒被广泛应用于高温、高强度、高密度等极端工况的工业领域。

### 二、钨棒的特性

- ✓ 超高熔点：高达  $3410^{\circ}\text{C}$ ，适用于各种极端高温环境
- ✓ 优异强度和硬度：在高温下仍保持良好的机械性能
- ✓ 导热导电性能优良：适合电子、电热等精密应用
- ✓ 高密度材料：密度约  $19.3\text{ g/cm}^3$ ，适用于配重、防辐射
- ✓ 抗腐蚀抗磨损：使用寿命长，稳定性好
- ✓ 热膨胀系数小：热变形小，适用于精密结构件

### 三、钨棒的主要应用领域

- ✓ 航空航天与军工：火箭喷嘴、穿甲弹芯、高温结构件
- ✓ 电子工业：阴极发射极、散热片、电极、触点材料
- ✓ 高温炉和冶金：真空炉加热棒、钨坩埚、支撑部件
- ✓ 医疗科技：防辐射部件、精密手术工具
- ✓ 机械工程：配重块、模具嵌件、振动吸收器
- ✓ 科研实验设备：超高温反应器、物理性能测试组件

### 四、钨棒基本数据

项目	参数
密度	$19.3\text{ g/cm}^3$
硬度（维氏 HV）	340 - 400 HV
电导率（ $20^{\circ}\text{C}$ ）	$\sim 30\% \text{ IACS}$
热导率	$\sim 170\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
热膨胀系数	$\sim 4.5 \times 10^{-6} /\text{K}$
直径范围	$\text{Ø}1.0\text{ mm} - \text{Ø}100\text{ mm}$ （可定制）
长度范围	标准长度 $100\text{ mm} - 1000\text{ mm}$ （最长可达 $2000\text{ mm}$ ）
表面状态	黑皮、磨光、抛光

### 五、采购信息

邮箱：[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨棒资讯，请访问中钨在线网站（[www.tungsten.com.cn](http://www.tungsten.com.cn)）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



#### 版权与免责声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

## 第五章 钨棒的用途

钨棒凭借其高熔点（3410° C）、高密度（19.25 g/cm<sup>3</sup>）、优异的机械强度、耐腐蚀性和化学稳定性，在多个领域展现出不可替代的应用价值。从工业生产到军事国防，从电子照明到航空航天，再到医疗科研和日常生活，钨棒及其衍生产品广泛应用于高性能场景。本章将详细探讨钨棒在工业、军事与国防、电子与照明、汽车与航空航天、医疗与科研及其他领域的具体用途，包括石英连熔炉芯杆、穿甲弹芯、钨丝电极、航空高温部件、辐射屏蔽、体育用品等。

### 5.1 钨棒的工业应用

钨棒在工业领域的应用主要集中在高温、高负荷和精密制造环境中，其高熔点和尺寸稳定性使其成为极端工况下的理想材料。

#### 5.1.1 石英连熔炉用钨芯杆

石英连熔炉用于生产高纯石英玻璃，主要服务于光学纤维、半导体和光伏行业。钨棒作为炉内芯杆，承受 2000 - 2500° C 高温，保持结构稳定，确保石英熔体均匀流动。

应用特点：

材质要求：纯钨棒（纯度≥99.9%）或高纯钨棒（≥99.95%），直径 10 - 50 mm，防止粘附石英。

功能：芯杆固定在炉体中心，引导石英坯料熔融成管状或棒状，耐受高温和轻微氧化气氛。

优势：钨的高熔点和低热膨胀系数（ $4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）确保长期运行不软化或变形；低蒸汽压减少炉内污染。

典型场景：生产光纤预制棒或石英管，用于 5G 通信基站或太阳能电池基板。

关键点：

芯杆需定期清洗，避免石英残留影响表面质量。

氢气或惰性气氛保护延长使用寿命。

精密加工确保芯杆的圆度和直线度，满足高精度石英制品要求。

#### 5.1.2 单晶硅晶圆制备

单晶硅晶圆是半导体芯片制造的核心材料，钨棒在直拉法（Czochralski 法）单晶炉中用作加热元件、支撑件或籽晶夹持杆。

应用特点：

材质要求：高纯钨棒（纯度≥99.95%），直径 5 - 20 mm，防止污染硅熔体。

功能：作为籽晶夹持杆，固定硅籽晶并引导单晶生长；作为加热元件，承受 2300° C 高温，提供稳定热场。

优势：高化学稳定性确保不污染高纯硅；高强度和抗蠕变性支持长时间高温运行；低蒸汽压适合真空环境。

典型场景：生产 8 - 12 英寸单晶硅晶圆，应用于 5nm 芯片制造。

#### 版权与免责声明

关键点:

钨棒需在洁净室中加工和储存，避免杂质引入。  
夹持杆需高精度加工，确保与籽晶的完美对齐。  
定期更换加热元件，防止晶粒生长影响性能。

### 5.1.3 稀土元素提纯

稀土元素（如镧、铈、钕）在新能源、磁性材料和催化剂领域至关重要，钨棒在稀土提纯的电解炉或高温熔炼炉中用作电极或坩埚支撑件。

应用特点:

材质要求: 纯钨棒或掺杂钨棒（掺铈或掺镧，0.5 - 2 wt%），直径 10 - 30 mm。

功能: 作为电极，钨棒在电解提纯中提供稳定电流；作为支撑件，承受 1600 - 2000° C 高温，保持结构完整。

优势: 耐腐蚀性强，抵抗稀土熔体侵蚀；掺杂钨棒提高电弧稳定性，延长电极寿命；高密度确保机械稳定性。

典型场景: 生产高纯镧（La）或铈（Ce），用于风电永磁体或汽车尾气催化剂。

关键点:

掺杂钨棒需均匀掺杂，确保电弧性能一致。

电极表面需抛光，减少稀土残留。

电解炉需惰性气氛，防止钨棒氧化。

### 5.1.4 蓝宝石长晶炉用钨坩埚

蓝宝石晶体（ $Al_2O_3$ ）是 LED 基板和光学窗口的关键材料，钨棒在蓝宝石长晶炉中加工成坩埚或支撑件，承受 2200 - 2400° C 高温。

应用特点:

材质要求: 高纯钨棒（纯度  $\geq 99.95\%$ ），直径 20 - 100 mm，加工成坩埚后表面粗糙度 Ra 1.6 - 3.2  $\mu m$ 。

功能: 钨坩埚盛装熔融氧化铝，支撑件固定坩埚或籽晶，保持热场稳定，促进单晶生长。

优势: 高熔点和抗蠕变性确保坩埚不变形；低热膨胀系数减少热应力；高密度提供机械支撑。

典型场景: 生产 4 - 6 英寸蓝宝石晶体，应用于 LED 照明或智能手机屏幕。

关键点:

坩埚需精密加工，确保内壁光滑，减少晶体缺陷。

真空或氢气保护防止钨坩埚氧化。

坩埚需定期检查，防止裂纹影响晶体质量。

## 5.2 钨棒应用于军事与国防

钨棒的高密度和高强度使其在军事与国防领域具有重要应用，尤其在穿甲弹芯和高爆炸性钨棒中发挥关键作用。

### 5.2.1 穿甲弹芯

穿甲弹芯用于坦克炮或反装甲武器，钨合金棒因其高密度和硬度成为理想材料。

应用特点：

材质要求：钨合金棒（W-Ni-Fe 或 W-Ni-Cu，钨含量 90 - 95 wt%），密度 18.0 - 18.5 g/cm<sup>3</sup>，直径 10 - 30 mm。

功能：弹芯在高速冲击（>1500 m/s）下穿透装甲，依靠高密度提供动能，高硬度确保不碎裂。

优势：比贫铀弹芯更环保，密度接近铀（19.1 g/cm<sup>3</sup>）；优异的抗拉强度（800 - 1200 MPa）确保冲击稳定性；加工性能好，易于成型。

典型场景：用于 120 mm 坦克炮弹或反坦克导弹弹头。

关键点：

合金比例需优化，确保密度与韧性平衡。

弹芯需高精度加工，控制直径公差±0.05 mm。

表面抛光减少空气阻力，提高射程。

### 5.2.2 高爆炸性钨棒

高爆炸性钨棒（也称“动能棒”或“上帝之杖”概念）是一种假想的高速动能武器，利用钨棒从太空或高空投掷，依靠重力加速度和密度产生巨大破坏力。

应用特点：

材质要求：纯钨棒或钨合金棒，密度 19.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>，直径 50 - 100 mm。

功能：钨棒从高空（>100 km）以超音速（>Mach 10）撞击目标，释放相当于小型核弹的动能，破坏地下堡垒或军事设施。

优势：高密度提供巨大动能；高熔点耐受再入大气时的摩擦热（>2000° C）；无放射性，符合国际法规。

典型场景：理论上用于精确打击高价值目标，如指挥中心或核设施。

关键点：

钨棒需耐高温涂层，防止再入烧蚀。

尺寸和重量需精确设计，确保轨迹稳定。

投掷系统需高精度制导，控制落点误差。

## 5.3 钨棒应用于电子与照明

钨棒在电子与照明领域的应用主要基于其高熔点、导电性和低蒸汽压，广泛用于钨丝、电极和溅射靶材。

### 5.3.1 钨丝（灯丝、支持线）

钨丝是白炽灯、卤素灯和特种光源的核心部件，由钨棒拉拔制成。

应用特点:

材质要求: 纯钨棒 (纯度 $\geq 99.9\%$ ), 拉拔成直径 0.01 - 0.1 mm 钨丝。

功能: 灯丝在 2500 - 2800 $^{\circ}$ C 高温下发光, 提供高效光源; 支持线固定灯丝, 保持结构稳定。

优势: 高熔点确保灯丝不熔化; 低蒸汽压减少蒸发, 延长寿命; 良好的导电性 (18% IACS) 支持高效发光。

典型场景: 汽车卤素大灯、投影仪灯泡、舞台照明。

关键点:

钨丝需多次退火, 提高延展性。

灯丝需均匀拉拔, 防止局部过热断裂。

惰性气体 (如氩气) 填充灯泡, 减少钨蒸发。

### 5.3.2 电极 (钨电极、稀土钨电极)

钨棒加工成电极, 广泛用于氩弧焊 (TIG)、等离子焊和电子设备。

应用特点:

材质要求: 掺杂钨棒 (如掺铈 WC20、掺镧 WL20、掺钨 WT20), 直径 1 - 5 mm。

功能: 电极在高温电弧 ( $>6000^{\circ}$ C) 中提供稳定电流, 点燃和维持电弧, 适用于焊接或等离子切割。

优势: 掺杂钨棒提高电弧稳定性, 减少烧损; 高熔点耐受电弧高温; 稀土掺杂 (如  $CeO_2$ ) 无放射性, 环保性优于掺钨电极。

典型场景: 不锈钢或铝合金焊接, 半导体设备制造中的等离子加工。

关键点:

电极尖端需磨削成锥形, 优化电弧集中度。

掺杂剂需均匀分布, 确保性能一致。

掺钨电极需防护, 遵守放射性法规。

### 5.3.3 溅射靶材

钨棒加工成溅射靶材, 用于物理气相沉积 (PVD) 涂层, 生产半导体和光学器件。

应用特点:

材质要求: 高纯钨棒 (纯度 $\geq 99.95\%$ ), 直径 50 - 100 mm。

功能: 靶材在真空腔体中被高能离子轰击, 释放钨原子沉积在基板上, 形成导电或保护涂层。

优势: 高纯度确保涂层无杂质; 低蒸汽压适合真空环境; 高密度提高靶材寿命。

典型场景: 生产 3 - 5nm 芯片的互连层, 制造抗反射光学涂层。

关键点:

靶材需超高纯度, 防止污染芯片。

表面需电解抛光, 减少颗粒缺陷。

靶材需定期更换, 回收残余钨。

#### 版权与免责声明

## 5.4 钨棒应用于汽车与航空航天

钨棒在汽车与航空航天领域的应用主要利用其高密度、高强度和耐高温性，满足复杂工况需求。

### 5.4.1 汽车自动化部件

钨棒在汽车制造中用于配重件、焊接电极和自动化部件，提高效率和性能。

应用特点：

材质要求：钨合金棒（W-Ni-Fe，密度 18.0 - 18.5 g/cm<sup>3</sup>）或掺杂钨棒（WC20），直径 5 - 20 mm。

功能：配重件（如曲轴平衡块）优化发动机振动；钨电极用于电阻点焊，连接车身钢板；高密度部件用于自动变速器，增强耐磨性。

优势：高密度减少部件体积；高硬度（350 - 500 HV）耐受磨损；掺杂钨电极提高焊接稳定性。

典型场景：新能源汽车电池包焊接，发动机配重优化。

关键点：

配重件需精密加工，控制重量公差±0.1 g。

焊接电极需定期磨削，保持尖端形状。

部件需耐腐蚀涂层，抵抗湿气和盐雾。

### 5.4.2 航空航天高温部件

钨棒在航空航天领域用于高温推进器、风洞实验部件和配重件，满足极端环境要求。

应用特点：

材质要求：纯钨棒或钨合金棒，密度 19.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>，直径 10 - 50 mm。

功能：喷嘴衬里承受等离子体推进器高温（>2000° C）；配重件（如卫星平衡块）优化重心；风洞实验部件抵抗热变形。

优势：高熔点和抗蠕变性确保高温稳定性；高密度提供高效配重；低热膨胀系数减少热应力。

典型场景：离子推进器喷嘴，航天器姿态控制配重。

关键点：

部件需耐高温涂层，防止氧化。

配重件需高精度加工，确保重心精确。

风洞部件需抛光，减少气流干扰。

## 5.5 钨棒应用于医疗与科研

钨棒在医疗与科研领域的应用主要基于其高密度、耐高温性和化学稳定性，满足高精度和特殊环境需求。

### 5.5.1 医疗器械（辐射屏蔽）

钨棒加工成辐射屏蔽件，广泛用于 X 射线、CT 和放疗设备，保护医护人员和患者。

#### 版权与免责声明

应用特点：

材质要求：钨合金棒（W-Ni-Cu，密度 18.0 - 18.5 g/cm<sup>3</sup>），直径 10 - 50 mm。

功能：屏蔽件吸收高能 X 射线或伽马射线，替代铅屏蔽，提供更高防护效率。

优势：高密度提供优异屏蔽性能，体积比铅小 30%；无毒性，符合医疗环保要求；高强度耐受长期使用。

典型场景：CT 机准直器，肿瘤放疗设备屏蔽罩。

关键点：

屏蔽件需精密加工，确保缝隙最小化。

表面需抛光，防止粉尘污染医疗环境。

合金需无铅配方，符合 RoHS 标准。

### 5.5.2 实验设备（高温实验）

钨棒在科研领域用于高温实验设备，如真空炉、超导实验和等离子体研究。

应用特点：

材质要求：高纯钨棒（纯度 ≥99.95%）或掺杂钨棒，直径 5 - 20 mm。

功能：作为加热元件，承受 2500° C 以上高温；作为电极，提供稳定电流；作为支撑件，保持实验装置稳定。

优势：低蒸汽压确保真空环境洁净；高熔点支持极端温度；化学稳定性防止实验污染。

典型场景：高温超导材料测试，核聚变等离子体实验。

关键点：

钨棒需超高纯度，防止杂质干扰实验。

电极需抛光，减少电弧不稳定性。

真空炉需定期维护，防止钨棒氧化。

## 5.6 钨棒应用于其他领域

钨棒在体育用品、首饰和特殊工具等领域也有独特应用，体现其多功能性。

### 5.6.1 体育用品（钨钢镖）

钨合金棒用于制造高端飞镖，提升竞技性能。

应用特点：

材质要求：钨合金棒（W-Ni-Cu，密度 18.0 - 18.5 g/cm<sup>3</sup>），直径 5 - 10 mm。

功能：飞镖主体利用高密度实现小体积、高重量，优化投掷稳定性和精准度。

优势：高密度比传统黄铜飞镖更细小，适合密集靶面；高硬度耐受反复撞击；可定制化加工，满足个性化需求。

典型场景：职业飞镖比赛，高端娱乐设备。

关键点：

飞镖需精密车削，控制重量分布。

#### 版权与免责声明

表面需抛光或电镀，提升美观性和手感。  
合金配比需优化，确保韧性防止断裂。

### 5.6.2 首饰（钨钢首饰）

钨合金棒加工成戒指、手镯等首饰，兼具美观和耐用性。

应用特点：

材质要求：钨合金棒（W-Ni-Cu 或 W-C，密度 18.0 - 18.5 g/cm<sup>3</sup>），直径 5 - 20 mm。

功能：首饰利用高硬度和耐腐蚀性，提供抗刮擦和耐久性；高密度赋予沉稳手感。

优势：比不锈钢或钛更耐磨；可抛光至镜面效果；无毒性，适合皮肤敏感人群。

典型场景：婚戒、纪念手镯、高端时尚首饰。

关键点：

首饰需高精度加工，控制尺寸公差±0.05 mm。

表面需电镀或 CVD 涂层，增强抗氧化性。

设计需考虑重量，防止过重影响佩戴舒适度。

### 5.6.3 特殊工具与模具

钨棒加工成切削刀具、冲压模具或耐磨部件，用于高强度工业加工。

应用特点：

材质要求：纯钨棒或钨合金棒，密度 19.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>，直径 5 - 30 mm。

功能：刀具切割硬质材料（如陶瓷、合金钢）；模具冲压汽车零件或电子元件；耐磨部件用于采矿设备。

优势：高硬度（350 - 500 HV）耐受磨损；高强度支持高负荷；耐腐蚀性延长寿命。

典型场景：航空零件加工，电子芯片模具制造。

关键点：

刀具需金刚石磨削，确保刃口锋利。

模具需热处理，消除加工应力。

表面需抛光或涂层，减少材料粘附。



中钨智造钨棒

## 第六章 钨棒的生产设备

钨棒的生产涉及从原材料处理到成品加工的复杂工艺链，对设备性能要求极高，因钨的高熔点（ $3410^{\circ}\text{C}$ ）、高密度（ $19.25\text{ g/cm}^3$ ）和硬度（ $350 - 500\text{ HV}$ ）需要专用设备以实现高精度、高效率 and 高质量生产。本章聚焦钨棒生产所需的关键设备，包括粉末冶金设备（混合机、压机、高温烧结炉）、变形加工设备（空气锤、电液锤、旋锻机、热挤压机、轧机、拉拔机）、后处理设备（热处理炉、抛光清洗设备、精密加工设备）、先进生产设备（等离子烧结设备、真空熔炼炉、自动化控制系统）以及设备选型与维护的实践指南。

### 6.1 钨棒的粉末冶金设备

粉末冶金是钨棒生产的基础工艺，涉及钨粉的混合、压制和高温烧结，所用设备需确保粉末均匀性、坯料致密性和高温稳定性。

#### 6.1.1 混合机

混合机用于将钨粉与掺杂剂（如氧化铈、氧化镧）或粘结剂（如聚乙烯醇）均匀混合，为后续压制提供高质量原料。

设备特点：

类型：常见为V型混合机、行星式球磨机或三维混料机，容积  $50 - 500\text{ L}$ ，适合中小批量生产。

操作原理：通过旋转或振动使粉末在容器内翻滚，行星式球磨机通过高速研磨实现微米级混合，混合时间  $2 - 8$  小时。

工艺适配：V型混合机适合纯钨粉或低掺杂量（ $<1\text{ wt}\%$ ）；球磨机适合高掺杂（如  $2\text{ wt}\% \text{ CeO}_2$ ）或纳米级粉末，需控制研磨介质（钨球或氧化锆球）以避免污染。

#### 版权与免责声明

关键参数：转速 50 - 300 rpm，洁净度（ISO 7 级环境），惰性气体（如氮气）保护防止氧化。

工业实践：

混合机内壁需采用不锈钢或钨合金衬里，减少铁污染。

配备粉尘收集系统，防止钨粉飞扬。

定期检测混合均匀性（如 SEM 分析），确保掺杂剂分布一致。

### 6.1.2 压机

压机将混合好的钨粉压制成棒状坯料，为烧结提供初始形状和密度。

设备特点：

类型：冷等静压机（CIP）为主，液压模压机为辅，压力范围 100 - 300 MPa。

操作原理：CIP 通过柔性模具（橡胶或聚氨酯）在液体介质（水或油）中施加均匀压力，压制直径 20 - 100 mm 坯料；模压机通过钢模直接压制，适合小直径（ $< 20$  mm）。

工艺适配：CIP 适合大规格或复杂形状坯料，密度 50 - 60%理论密度；模压机适合高精度小批量生产，公差  $\pm 0.1$  mm。

关键参数：压力控制精度  $\pm 1$  MPa，压制速度 0.5 - 1 mm/s，模具表面光滑以减少缺陷。

工业实践：

CIP 模具需定期更换，防止变形影响坯料质量。

模压机需配备真空脱气装置，去除粉末间空气。

压制后坯料需 X 射线检测，检查内部裂纹或孔隙。

### 6.1.3 高温烧结炉

高温烧结炉将压制坯料加热至 2000 - 2800° C，使钨粉颗粒结合，形成高致密度棒材。

设备特点：

类型：氢气保护炉、真空烧结炉或感应加热炉，炉膛容积 0.1 - 1 m<sup>3</sup>。

操作原理：通过电阻或感应加热，炉内通入高纯氢气（99.999%）或保持真空（ $10^{-3}$  -  $10^{-5}$  Pa），坯料在高温下发生颗粒扩散，密度达 90 - 95%。

工艺适配：氢气炉适合纯钨棒，成本较低；真空炉适合高纯钨棒，减少杂质吸附；感应炉适合快速烧结，保温时间 1 - 3 小时。

关键参数：温度控制精度  $\pm 10^{\circ}$  C，冷却速率 10 - 20° C/min，炉膛材质为钼或石墨。

工业实践：

炉膛需定期清洗，去除钨蒸气沉积物。

配备气氛监控系统，实时检测氧含量（ $< 10$  ppm）。

烧结后棒材需超声波检测，确保无内部缺陷。

## 6.2 钨棒的变形加工设备

变形加工设备通过高温机械变形提高钨棒的致密度和强度，涉及锻造、挤压、轧制和拉拔。

## 中钨智造科技有限公司

### 钨棒产品介绍

#### 一、钨棒概述

钨棒是一种以高纯度钨粉（纯度 $\geq 99.95\%$ ）为原料，通过粉末冶金工艺（压制、烧结、旋锻等）制成的高性能金属棒材。凭借其超高的熔点、优异的力学性能和化学稳定性，钨棒被广泛应用于高温、高强度、高密度等极端工况的工业领域。

#### 二、钨棒的特性

- ✓ 超高熔点：高达  $3410^{\circ}\text{C}$ ，适用于各种极端高温环境
- ✓ 优异强度和硬度：在高温下仍保持良好的机械性能
- ✓ 导热导电性能优良：适合电子、电热等精密应用
- ✓ 高密度材料：密度约  $19.3\text{ g/cm}^3$ ，适用于配重、防辐射
- ✓ 抗腐蚀抗磨损：使用寿命长，稳定性好
- ✓ 热膨胀系数小：热变形小，适用于精密结构件

#### 三、钨棒的主要应用领域

- ✓ 航空航天与军工：火箭喷嘴、穿甲弹芯、高温结构件
- ✓ 电子工业：阴极发射极、散热片、电极、触点材料
- ✓ 高温炉和冶金：真空炉加热棒、钨坩埚、支撑部件
- ✓ 医疗科技：防辐射部件、精密手术工具
- ✓ 机械工程：配重块、模具嵌件、振动吸收器
- ✓ 科研实验设备：超高温反应器、物理性能测试组件

#### 四、钨棒基本数据

项目	参数
密度	$19.3\text{ g/cm}^3$
硬度（维氏 HV）	340 - 400 HV
电导率（ $20^{\circ}\text{C}$ ）	$\sim 30\% \text{ IACS}$
热导率	$\sim 170\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
热膨胀系数	$\sim 4.5 \times 10^{-6} /\text{K}$
直径范围	$\varnothing 1.0\text{ mm} - \varnothing 100\text{ mm}$ （可定制）
长度范围	标准长度 $100\text{ mm} - 1000\text{ mm}$ （最长可达 $2000\text{ mm}$ ）
表面状态	黑皮、磨光、抛光

#### 五、采购信息

邮箱: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

电话: +86 592 5129595; 592 5129696

更多钨棒资讯，请访问中钨在线网站（[www.tungsten.com.cn](http://www.tungsten.com.cn)）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



#### 版权与免责声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

### 6.2.1 空气锤与电液锤

空气锤和电液锤用于热锻钨棒坯料，初步成型并提高密度。

设备特点：

类型：空气锤（0.5 - 5 吨），电液锤（1 - 10 吨），适合直径 20 - 100 mm 棒材。

操作原理：空气锤通过压缩空气驱动锤头，电液锤通过液压系统提供更高精度和力（50 - 200 kN），在 1200 - 1500° C 下多道次锻造，每次变形量 10 - 20%。

工艺适配：空气锤适合中小规模生产，成本低；电液锤适合大规格棒材，控制精度高，减少裂纹。

关键 parameters：锻造频率 10 - 30 次/min，加热采用氢气保护，模具材质为钼合金。

工业实践：

配备感应加热器，保持恒定锻造温度。

锤头需定期磨平，防止棒材表面凹痕。

锻后退火（1000 - 1200° C）消除应力。

### 6.2.2 旋锻机

旋锻机通过旋转模具实现钨棒的高精度锻造，适合中小直径棒材。

设备特点：

类型：数控旋锻机，加工直径 5 - 50 mm，配备高频感应加热。

操作原理：钨棒在 1200 - 1400° C 下旋转，模具施加多向压力，逐步减径，变形均匀，致密度达 19.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>。

工艺适配：适合高纯钨棒或掺杂钨棒，公差 ±0.05 mm。

关键参数：旋转速度 100 - 500 rpm，压力 10 - 50 kN，模具寿命约 1000 次。

工业实践：

模具需钼基或陶瓷涂层，耐受高温磨损。

配备冷却系统，防止设备过热。

旋锻后棒材需矫直，保持直线度。

### 6.2.3 热挤压机

热挤压机用于大规格或复杂截面钨棒的成型，密度和强度高。

设备特点：

类型：液压挤压机，压力 500 - 1200 MPa，适合直径 20 - 100 mm。

操作原理：钨棒坯料在 1300 - 1600° C 预热，通过模具挤压成型，挤压比 5:1 - 10:1。

工艺适配：适合钨合金棒或大规格纯钨棒，需氢气或氩气保护，防止氧化。

关键参数：挤压速度 0.1 - 0.5 mm/s，模具材质为钼或陶瓷，温度控制精度 ±20° C。

工业实践：

模具需定期润滑（石墨或二硫化钼），减少磨损。

#### 版权与免责声明

配备自动送料系统，提高生产效率。  
挤压后棒材需缓慢冷却，防止裂纹。

#### 6.2.4 轧机与拉拔机

轧机和拉拔机用于生产中小直径钨棒或钨丝，精度高，表面质量优。

轧机特点：

类型：热轧机（1000 - 1300° C）或冷轧机（<500° C），加工直径 5 - 20 mm。

操作原理：钨棒通过多道次轧辊（钨合金或硬质合金）减径，每次变形量 15 - 25%。

工艺适配：热轧适合纯钨棒，冷轧适合高精度掺杂钨棒，公差±0.02 mm。

关键参数：轧辊转速 50 - 200 rpm，退火温度 900 - 1100° C。

拉拔机特点：

类型：多模拉拔机，加工直径 0.01 - 5 mm，配备金刚石模具。

操作原理：钨棒在 800 - 1000° C 通过模具拉拔，减径 5 - 10%，润滑剂为石墨或二硫化钼。

工艺适配：适合钨丝或小直径电极。

关键参数：拉拔速度 1 - 5 m/min，模具寿命约 500 kg 钨棒。

工业实践：

轧辊和模具需定期更换，保持精度。

配备在线检测系统，监控直径和表面质量。

拉拔需多次退火，防止断裂。

### 6.3 钨棒的后处理设备

后处理设备优化钨棒的性能、表面质量和尺寸精度，涉及热处理、抛光清洗和精密加工。

#### 6.3.1 热处理炉

热处理炉用于退火或时效处理，消除加工应力和优化微观结构。

设备特点：

类型：真空热处理炉或氢气保护炉，炉膛容积 0.05 - 0.5 m<sup>3</sup>。

操作原理：通过电阻或感应加热，温度 800 - 1600° C，保温 0.5 - 4 小时，冷却速率 10 - 20° C/min。

工艺适配：应力消除退火（1000 - 1200° C）适合锻造或挤压棒；再结晶退火（1400 - 1600° C）适合拉拔棒；时效处理（800 - 1000° C）适合掺杂钨棒。

关键参数：温度精度±5° C，真空度 10<sup>-5</sup> Pa 或氢气纯度 99.999%。

工业实践：

炉膛材质为钨或石墨，耐高温腐蚀。

配备气氛控制系统，防止氧化。

热处理后棒材需硬度测试，验证性能。

### 6.3.2 抛光与清洗设备

抛光和清洗设备提高钨棒表面质量，满足高精度应用需求。

抛光设备：

类型：机械抛光机（金刚石砂轮）、化学抛光槽、电解抛光设备。

操作原理：机械抛光通过磨料去除表面缺陷；化学抛光使用氢氟酸/硝酸混合液（1:3）浸泡 10 - 30 秒；电解抛光以钨棒为阳极，磷酸基电解液处理，达到镜面效果。

工艺适配：机械抛光适合工业级棒材；化学和电解抛光适合高纯钨棒或电极。

清洗设备：

类型：超声清洗机、等离子清洗设备。

操作原理：超声清洗通过 40 kHz 超声波和去离子水（含清洗剂）去除油污，清洗时间 5 - 10 分钟；等离子清洗在真空腔体中使用氩气等离子体，清除微量污染物。

工艺适配：超声清洗适合常规棒材；等离子清洗适合半导体用高纯钨棒。

工业实践：

抛光需在 ISO 5 级洁净室，防止粉尘污染。

化学抛光槽需通风系统，处理废液。

清洗后棒材需干燥密封，防止吸湿。

### 6.3.3 精密加工设备（车床、磨床）

车床特点：

类型：数控车床（CNC 机床）适合高精度加工，配备金刚石刀具。

操作原理：通过旋转切削加工钨棒，直径公差  $\pm 0.05$  mm。

工艺适配：适合大规格棒材或复杂形状加工，如航空配重件。

关键参数：转速 500 - 1500 rpm，进给量 0.1 mm/转。

磨床特点：

类型：无心磨床、中心磨床，适合小直径棒材。

操作原理：通过砂轮（金刚石或陶瓷）磨削，直径公差  $\pm 0.02$  mm。

工艺适配：无心磨床适合电极或钨丝坯料，中心磨床适合高精度模具部件。

关键参数：砂轮速度 2000 - 3000 rpm，冷却液为油基或水基。

工业实践：

刀具和砂轮需定期更换，防止磨损影响精度。

配备冷却系统，减少热变形。

加工后需超声清洗，去除残屑。

### 6.4 钨棒的先进生产设备

先进生产设备提升钨棒的质量和效率，代表行业技术前沿，包括等离子烧结、真空熔炼和自动化控制。

#### 6.4.1 等离子烧结设备

设备特点：

类型：火花等离子体烧结炉（SPS），炉容积 0.01 - 0.1 m<sup>3</sup>。

操作原理：通过直流脉冲（1000 - 5000 A）产生等离子体，结合 1800 - 2200° C 高温和 50 - 100 MPa 压力，快速烧结（5 - 15 分钟），密度达 98% 以上。

工艺适配：适合高纯钨棒或纳米掺杂钨棒，晶粒细小（5 - 10 μm），减少能耗。

关键参数：电流脉冲频率 50 - 100 Hz，真空度 10<sup>-4</sup> Pa，模具为石墨或钨。

工业实践：

配备在线监测，实时控制电流和温度。

模具需抗高温高压，定期检查。

SPS 后棒材需检测孔隙率，确保致密性。

#### 6.4.2 真空熔炼炉

设备特点：

类型：真空电弧炉（VAR）或电子束熔炼炉（EBM），容积 0.05 - 0.5 m<sup>3</sup>。

操作原理：VAR 通过电弧（10 - 30 kV）在真空（10<sup>-5</sup> Pa）中熔化钨锭；EBM 使用高能电子束（50 - 100 kW）熔炼，适合超高纯钨。

工艺适配：VAR 适合钨合金棒，EBM 适合高纯钨棒（纯度 ≥ 99.999%），减少气体夹杂。

关键参数：熔炼功率 20 - 100 kW，冷却水流量 10 - 50 L/min。

工业实践：

配备真空泵，保持超高真空。

熔炼坯料需 X 射线检测，排除夹杂物。

定期维护电极或电子枪，延长寿命。

#### 6.4.3 自动化控制与监测系统

设备特点：

类型：PLC 控制系统、SCADA 监控平台，集成传感器（温度、压力、气氛）。

操作原理：通过传感器实时采集烧结、锻造或加工数据，PLC 调整参数，SCADA 提供远程监控和数据分析。

工艺适配：适合全流程自动化，覆盖烧结、挤压、抛光等工序，提高一致性和效率。

关键参数：温度精度 ± 1° C，压力精度 ± 0.1 MPa，数据采集率 1 Hz。

工业实践：

系统需防尘防水，适应高温环境。

定期校准传感器，确保数据准确。

数据存储需加密，保护工艺参数。

#### 6.5 钨棒的设备选型与维护

设备选型需根据钨棒类型和生产需求优化，维护管理延长设备寿命。

#### 版权与免责声明

### 6.5.1 不同种类钨棒的设备需求

#### 纯钨棒：

需求：标准氢气烧结炉（2000 - 2800° C）、空气锤或热轧机，成本低，适合大批量生产。

设备特点：CIP 压机（150 MPa），机械抛光机，强调耐用性和高产量。

适用场景：石英炉芯杆、配重件。

#### 高纯钨棒：

需求：真空烧结炉（ $10^{-5}$  Pa）、SPS 或 EBM，旋锻机或数控车床，确保高洁净度和高精度。

设备特点：洁净室（ISO 5 级）操作，电解抛光和等离子清洗设备。

适用场景：半导体电极、溅射靶材。

#### 掺杂钨棒：

需求：行星球磨机（均匀掺杂）、真空热处理炉（800 - 1200° C），拉拔机（0.01 - 5 mm）。

设备特点：掺钽钨棒需配备放射性管理设施，强调电弧性能优化。

适用场景：焊接电极、高温炉元件。

#### 工业实践：

根据产量选择设备规模（如小型炉用于研发，大型炉用于量产）。

高纯钨棒设备需洁净室隔离。

掺杂钨棒需兼容多种掺杂剂的混合设备。

### 6.5.2 设备维护与寿命管理

#### 维护措施：

定期检查：每月检查模具、砂轮、刀具磨损情况；每季度校准温度和压力传感器。

清洁保养：烧结炉需每半年清洗，移除钨蒸气沉积物；抛光设备需每周清洗，防止磨料残留。

润滑管理：挤压机和拉拔机需每月补充高温润滑剂（如二硫化钼）；定期检查液压系统油质。

预防性维护：通过振动监测预测轴承故障；使用红外测温仪检测设备过热点，防止过热损坏。

备件管理：储备关键部件（如金刚石模具、钨电极），减少停机时间。

#### 寿命管理：

模具寿命：钨或挤压模具约 1000 - 5000 次，需定期涂抹耐高温涂层（如  $ZrO_2$ ）。

炉膛寿命：钨或石墨炉膛约 2000 - 3000 次烧结，需定期更换衬里。

设备升级：老旧设备（如传统空气锤）可升级为数控系统，提高精度和效率。

数据分析：通过 SCADA 系统分析设备运行数据，优化维护周期，延长寿命 20 - 30%。

#### 工业实践：

建立维护日志，记录每次保养和故障。

培训操作员识别早期故障迹象，如异常振动或温度波动。

与供应商合作，定期更新设备固件，优化性能。



中钨智造钨棒

## 第七章 钨棒的国内外标准

钨棒作为高性能难熔金属材料，其生产、检测和应用需遵循严格的国内外标准，以确保质量一致性、性能可靠性和市场竞争力。这些标准涵盖钨棒的化学成分、物理性能、尺寸公差、表面质量及检测方法，适用于纯钨棒、高纯钨棒、掺杂钨棒及钨合金棒。本章系统介绍钨棒的国际标准（ISO、ASTM、RWMA 等）、中国标准（GB/T、YS/T 等），并对比分析其差异、适用性及对生产检测的指导意义。

### 7.1 钨棒的国际标准

国际标准为钨棒的全球贸易和应用提供统一规范，主要由国际标准化组织（ISO）、美国材料与试验协会（ASTM）及电阻焊制造协会（RWMA）等制定，覆盖钨及钨合金的成分、性能和用途。

#### 7.1.1 ISO 标准（ISO 24370: 钨及钨合金）

标准概述：ISO 24370:2005《精细陶瓷及难熔金属材料》是国际标准化组织制定的难熔金属标准，包含钨及钨合金棒的规范，适用于高温、高强度应用。

核心条款：

范围：规定纯钨及钨合金棒的化学成分、机械性能和尺寸要求，适用于航空航天、电子和工业领域。

化学成分：纯钨棒钨含量 $\geq 99.9\%$ ，杂质（如 Fe、C、O）需控制在微量水平；钨合金棒（如 W-Ni-Fe）需明确合金元素比例。

物理性能：规定密度（纯钨 $\geq 19.0 \text{ g/cm}^3$ ）、抗拉强度和硬度，强调高温抗蠕变性。

尺寸与公差：直径范围 1 - 100 mm，公差依应用分为普通级和高精度级。

#### 版权与免责声明

检测方法：推荐 X 射线荧光光谱（XRF）分析成分，超声波检测内部缺陷，硬度计测试机械性能。

适用场景：

主要用于航空航天高温部件（如喷嘴衬里）、电子溅射靶材及焊接电极。  
强调国际化一致性，适合跨国供应链和出口贸易。

关键点：

标准对高纯钨棒的杂质控制要求严格，需洁净生产环境。  
检测方法与国际接轨，便于全球认证。  
需定期更新以适应新材料技术。

### 7.1.2 ASTM 标准（ASTM B777：高密度钨合金）

标准概述：ASTM B777-15《高密度钨基合金标准规范》由美国材料与试验协会制定，针对钨合金棒（如 W-Ni-Fe、W-Ni-Cu）的性能和应用，广泛用于军事和医疗领域。

核心条款：

范围：涵盖高密度钨合金棒的分类（Class 1 - 4），根据钨含量（90 - 97 wt%）和性能分级。  
化学成分：规定钨、镍、铁或铜的比例，杂质（如 S、P）需低于指定限值。  
物理性能：密度范围 17.0 - 18.5 g/cm<sup>3</sup>，抗拉强度 600 - 1200 MPa，硬度 300 - 400 HV。  
尺寸与公差：直径 5 - 50 mm，长度可定制，公差符合精密加工要求。  
检测方法：采用电感耦合等离子体质谱（ICP-MS）分析成分，磁粉探伤检测表面裂纹，拉伸试验验证强度。

适用场景：

主要用于穿甲弹芯、辐射屏蔽件和航空配重件。  
适合北美市场及军事工业，强调高密度和机械性能。

关键点：

标准按密度和强度分级，便于选材。  
对合金元素的环保性（如无铅配方）有明确要求。  
检测需专用设备，成本较高。

### 7.1.3 RWMA Class 13（纯钨标准）

标准概述：电阻焊制造协会（RWMA）制定的 Class 13 标准针对纯钨棒，专用于电阻焊接电极和高温电极应用。

核心条款：

范围：规定纯钨棒（钨含量 ≥ 99.9%）的成分、导电性和耐高温性。  
化学成分：严格控制碳、氧、氮等杂质，防止电弧不稳定。  
物理性能：导电率约 18% IACS，硬度 350 - 450 HV，高温下抗烧损。  
尺寸与公差：直径 1 - 10 mm，公差 ± 0.05 mm，适合电极尖端加工。

#### 版权与免责声明

检测方法：电导率测试仪验证导电性，显微镜检查表面质量，耐高温试验模拟电弧环境。

适用场景：

用于汽车制造中的电阻点焊电极、电子设备装配。

适合高频焊接场景，强调电极寿命。

关键点：

标准聚焦电极性能，忽略其他应用。

对表面质量要求高，需精密抛光。

检测方法简单，适合中小型企业。

#### 7.1.4 其他国际标准

概述：除 ISO、ASTM 和 RWMA 外，其他国际标准也涉及钨棒，如：

**AWS A5.12:** 美国焊接学会制定的钨及掺杂钨电极标准（如 WT20、WC20），规定掺杂剂含量（如 2%  $\text{ThO}_2$  或  $\text{CeO}_2$ ）和电弧性能。

**JIS Z 3211:** 日本工业标准，针对钨电极的成分和尺寸，适用于亚洲市场。

**DIN EN 26848:** 欧洲标准，规定钨棒的通用要求，强调高温应用。

核心内容：

AWS A5.12 注重掺杂钨棒的焊接性能，检测包括电弧稳定性和烧损率。

JIS Z 3211 与 ISO 24370 类似，但尺寸公差更严格，适合精密电子。

DIN EN 26848 覆盖纯钨和合金棒，强调航空和国防应用。

适用场景：

AWS A5.12 用于全球焊接行业，JIS Z 3211 服务于日本电子市场，DIN EN 26848 适用于欧洲航空企业。

这些标准互补 ISO 和 ASTM，满足区域化需求。

关键点：

需根据目标市场选择适用标准。

掺杂钨棒标准（如 AWS）对放射性掺杂剂（如  $\text{ThO}_2$ ）有特殊管理要求。

检测需跨标准验证，增加认证成本。

## 7.2 钨棒的中国标准

中国标准体系包括国家标准（GB/T）和行业标准（YS/T），覆盖钨棒的成分、性能、尺寸及检测，适应国内生产和应用需求。

### 7.2.1 GB/T 4187-2017（钨棒国家标准）

标准概述：GB/T 4187-2017《钨棒》是中国国家标准，规定纯钨棒和高纯钨棒的性能和用途，适用于工业、电子和科研领域。

**核心条款：**

范围：涵盖纯钨棒（钨含量 $\geq 99.9\%$ ）和高纯钨棒（ $\geq 99.95\%$ ），直径 1 - 100 mm。

化学成分：杂质（如 Fe、C、O）限值严格，高纯钨棒氧含量 $< 50$  ppm。

物理性能：密度 $\geq 19.0$  g/cm<sup>3</sup>，抗拉强度依直径和加工状态变化，硬度 300 - 450 HV。

尺寸与公差：公差分普通级（ $\pm 0.1$  mm）和精密级（ $\pm 0.05$  mm），长度可定制。

检测方法：XRF 或 ICP-MS 分析成分，超声波检测内部质量，维氏硬度计测试硬度。

**适用场景：**

用于石英连熔炉芯杆、单晶硅夹持杆、半导体靶材。

适用于国内市场及出口，强调高纯度和尺寸精度。

**关键点：**

标准对高纯钨棒的洁净生产要求高，需无尘环境。

检测方法与国际标准接轨，便于出口认证。

定期修订以适应新工艺。

### 7.2.2 GB/T 3459-2017（钨及钨合金制品）

标准概述：GB/T 3459-2017《钨及钨合金制品》是中国国家标准，涵盖钨棒、钨合金棒及其他钨制品，适用于航空、军事和工业领域。

**核心条款：**

范围：包括纯钨棒、掺杂钨棒及钨合金棒（如 W-Ni-Fe），钨含量 90 - 99.9%。

化学成分：规定合金元素（如 Ni、Fe）比例，杂质限值与用途相关。

物理性能：密度 17.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>，抗拉强度 600 - 1000 MPa，延伸率适中。

尺寸与公差：直径 5 - 50 mm，公差 $\pm 0.2$  mm，特殊要求可定制。

检测方法：ICP-AES 分析成分，磁粉探伤检测表面，拉伸试验验证性能。

**适用场景：**

用于穿甲弹芯、航空配重件、辐射屏蔽品。

服务国内军工和重工业，强调高密度和强度。

**关键点：**

标准覆盖多种钨制品，灵活性高。

对合金棒的环保性要求严格，需无毒配方。

检测需综合设备支持。

### 7.2.3 行业标准（YS/T 695-2017：钨电极）

标准概述：YS/T 695-2017，《钨电极》是中国有色金属行业标准，针对纯钨及掺杂钨电极（如 WC20、WL20、WT20）的性能和生产。

**核心条款：**

范围：规定钨电极的成分、尺寸和电弧性能，直径 0.5 - 10 mm。

**版权与免责声明**

化学成分：纯钨含量 $\geq 99.9\%$ ，掺杂钨含稀土氧化物（如 2%  $CeO_2$ ）或氧化钍，杂质限值低。

物理性能：导电性优异，耐高温烧损，电弧稳定性高。

尺寸与公差：公差 $\pm 0.05$  mm，尖端需符合焊接要求。

检测方法：电弧试验机测试点燃性和稳定性，XRF 分析掺杂剂含量，显微镜检查表面。

应用场景：

用于钨弧焊（TIG）、等离子切割，服务于汽车、船舶制造。

适用于国内焊接行业，强调电极性能。

关键点：

掺杂钨电极需符合放射性管理法规。

检测需模拟实际焊接环境，验证电弧性能。

标准更新频繁，需关注最新版本。

### 7.3 钨棒的标准对比与适用性

标准对比和适用性分析：国内外标准在制定目标、要求和应用场景上存在差异，需根据钨棒类型和市场选择合适规范。

#### 7.3.1 国内外标准的差异

对比分析：

制定目标：

国际标准（如 ISO、ASTM）强调全球通用性，条款宽泛，适合跨国贸易；中国标准（GB/T、YS/T）结合国内工艺和市场需求，条款更具体。

ASTM B777 专注于高密度钨合金棒，适合军工和医疗；GB/T 3459 覆盖多种钨制品，灵活性更广。

RWMA Class 13 和 YS/T 695 专精于电极，国际标准更注重导电性和电弧性能。

技术要求：

国际标准成分：国际标准（如 ISO 24370）对杂质（如氧、碳）控制更严格，适合高纯钨棒；中国标准（如 GB/T 4187）对普通钨棒要求稍宽松，降低生产成本。

物理性能：ASTM B777 对钨合金的强度和密度抗拉强度要求更高（600 - 1200 MPa）；GB/T 3459 强调密度范围（17.0 - 19.25 g/cm<sup>3</sup>）。

尺寸公差：ISO 和 JIS 标准公差更严格（ $\pm 0.05$  mm），适合高精度；GB/T 公差分级（ $\pm 0.1 - 0.2$  mm），适用多样化需求。

检测方法：

国际标准推荐 XRF、ICP-MS、磁粉探伤，与中国标准一致，但 ASTM 要求拉伸试验更复杂。

YS/T 695 的电弧试验更具行业针对性，AWS A5.12 类似但要求更严格。

关键点：

国际标准更适合出口和高高端市场，中国标准更贴合国内生产实际。

#### 版权与免责声明

检测设备需兼容两种标准，需考虑成本与效率平衡。  
掺钽钨电极的放射性管理在国际标准中要求更严格。

### 7.3.2 不同类型钨棒的标准要求

纯钨棒：

适用标准：ISO 24370、GB/T 4187、RWMA Class 13。

要求：钨含量 $\geq 99.9\%$ ，杂质低（如氧 $< 100$  ppm），密度 $\geq 19.0$  g/cm<sup>3</sup>，公差 $\pm 0.1$  mm。

适用场景：石英炉芯样、配重件，强调高温稳定性和成本控制。

高纯钨棒：

适用标准：ISO 24370、GB/T 4187（高纯级）、ASTM B760（钨板延伸参考）。

要求：钨含量 $\geq 99.95\%$ ，杂质极低（如氧 $< 30$  ppm），需洁净生产，公差 $\pm 0.05$  mm。

适用场景：半导体靶材、医疗器械，强调高密度和纯度。

掺杂钨棒：

适用标准：AWS A5.12、YS/T 695、GB/T 3459。

要求：掺杂剂（如 2% CeO<sub>2</sub>）分布均匀，电弧稳定性高，掺钽棒需放射性管控。

适用场景：焊接电极、高温炉元件，强调电性能。

钨合金棒：

适用标准：ASTM B777、GB/T 3459。

要求：钨含量 90 - 97%，密度 17.0 - 18.5 g/cm<sup>3</sup>，抗拉强度 600 - 800 MPa，无毒配方。

适用场景：穿甲弹芯、辐射屏蔽，强调高强度和环保性。

关键点：

标准选择需匹配钨棒类型和应用领域。

高纯和掺杂钨棒需更高精度设备支持生产和检测。

钨合金棒需关注环保法规。

### 7.3.3 标准对生产与检测的指导意义

生产指导：

成分控制：标准明确杂质和掺杂剂限值，指导原材料选择和提纯工艺（如 ISO 要求氧 $< 50$  ppm，需优化氢还原）。

工艺优化：公差和性能要求（如 GB/T 的 $\pm 0.1$  mm）指导压制、烧结和加工设备精度。

质量管理：标准要求推动 ISO 9001 等体系认证，规范生产流程，减少缺陷率。

检测指导：

成分分析：XRF、ICP-MS 确保化学符合标准，需定期校准仪器。

性能验证：拉伸试验、硬度测试和电弧试验验证机械和电性能，需标准化的样品制备。

缺陷检查：超声波和磁粉探伤技术检测内部和表面缺陷，确保产品安全。

工业实践：

#### 版权与免责声明

企业需建立标准化的质量控制实验室，配备多功能检测设备。  
定期培训员工，熟悉国内外标准差异，提升合规性。  
出口产品需优先满足目标市场标准，提前准备认证。



中钨智造钨棒

## 第八章 钨棒的检测

钨棒作为高性能难熔金属材料，其质量直接影响应用性能，需通过全面的检测手段评估物理性能、化学成分、微观结构及特殊性能。检测涵盖从宏观到微观的多种技术，包括物理性能测试、化学分析、微观观察、无损检测及性能验证，针对纯钨棒、高纯钨棒和掺杂钨棒有不同侧重。本章将详细阐述钨棒的检测方法，包括密度、硬度、抗拉强度、热性能、化学成分、微观结构、无损探伤及高温、耐腐蚀、导电性等性能测试，分析不同种类钨棒的检测重点。

### 8.1 钨棒的物理性能检测

物理性能检测评估钨棒的密度、硬度、强度及热学特性，确保其满足设计要求，适用于航空航天、电子和工业应用。

#### 8.1.1 钨棒的密度测试

检测目的：密度是钨棒质量的关键指标，反映烧结和加工的致密性，纯钨棒理论密度为  $19.25 \text{ g/cm}^3$ ，钨合金棒为  $17.0 - 18.5 \text{ g/cm}^3$ 。

检测方法：

阿基米德法：将钨棒浸入去离子水中，测量干重和水中重量，计算密度。使用高精度电子天平（精度  $\pm 0.001 \text{ g}$ ）和恒温水槽（ $25^\circ \text{C}$ ）。

X 射线密度计：通过 X 射线吸收测量密度，适合快速非接触检测，精度  $\pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ 。

#### 版权与免责声明

**操作要点：**

样品表面需清洁，去除油污或氧化层。  
阿基米德法需校准液体密度，排除气泡干扰。  
X 射线法需定期校准仪器，验证标准样品。

**结果解读：**

密度低于理论值可能表明孔隙或烧结不足。  
钨合金棒密度需与合金比例匹配，偏差可能源于成分不均。

### 8.1.2 钨棒的硬度测试（维氏、布氏）

检测目的：硬度反映钨棒的机械强度和耐磨性，纯钨棒硬度约 350 - 450 HV，钨合金棒约 300 - 400 HV。

**检测方法：**

维氏硬度（HV）：使用金刚石压头施加 10 - 50 kgf 载荷，测量压痕对角线长度，计算硬度。适合小直径棒或高精度测试。  
布氏硬度（HB）：使用硬质合金球压头施加 500 - 3000 kgf 载荷，测量压痕直径，适合大规格棒。

**操作要点：**

样品需抛光至镜面，避免表面缺陷影响结果。  
维氏测试需选择适当载荷，防止压痕过小或过大。  
布氏测试需确保压头与样品垂直，多次测量取平均值。

**结果解读：**

硬度过高可能表明晶粒过细或掺杂剂过量。  
硬度偏低可能源于孔隙或加工应力不足。

### 8.1.3 钨棒的抗拉强度与韧性测试

检测目的：抗拉强度和韧性评估钨棒在拉伸载荷下的承载能力和断裂行为，纯钨棒抗拉强度约 600 - 1000 MPa，钨合金棒更高。

**检测方法：**

拉伸试验：使用万能材料试验机，夹持钨棒样品（标准尺寸如直径 5 mm，长度 50 mm），以 0.5 - 1 mm/min 速率拉伸，记录断裂载荷和延伸率。  
冲击试验：采用夏比冲击试验机，测试钨棒在低温或室温下的冲击韧性，测量吸收能量。

**操作要点：**

样品需按标准（如 ASTM E8）加工，避免表面划痕。  
拉伸试验需控制环境温度（23±5° C），记录应力-应变曲线。  
冲击试验需选择适当缺口类型（如 V 型），确保重复性。

**版权与免责声明**

结果解读：

抗拉强度不足可能表明内部缺陷或晶粒过大。

韧性低可能源于掺杂不当或烧结不均，需优化工艺。

#### 8.1.4 钨棒的热膨胀与导热性测试

检测目的：热膨胀系数（约  $4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）和导热性（约  $170 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）影响钨棒在高温环境中的尺寸稳定性和热传导能力。

检测方法：

热膨胀测试：使用热膨胀仪（如膨胀计），在  $100 - 1000^{\circ}\text{C}$  范围内测量样品长度变化，计算热膨胀系数。

导热性测试：采用激光闪光法，加热钨棒一端，测量热扩散速率，计算导热系数。

操作要点：

热膨胀测试需在惰性气氛（如氩气）中进行，防止氧化。

导热性测试需校准仪器，使用标准样品（如铜）验证精度。

样品尺寸需统一（如直径 10 mm，厚度 2 mm）。

结果解读：

热膨胀系数偏高可能表明杂质或合金元素影响。

导热性偏低可能源于孔隙或微观结构不均。

## 8.2 钨棒的化学成分分析

化学成分分析确保钨棒的纯度和掺杂剂含量符合标准，检测杂质对性能至关重要。

### 8.2.1 光谱分析（ICP-MS、XRF）

检测目的：定量分析钨棒中钨、掺杂剂（如 Ce、La、Th）及杂质（如 Fe、C、O）的含量。

检测方法：

电感耦合等离子体质谱（ICP-MS）：将样品溶解于酸液（如硝酸+氢氟酸），通过等离子体激发和质谱分离，检测元素含量，灵敏度达 ppb 级。

X 射线荧光光谱（XRF）：用 X 射线激发样品表面，分析荧光光谱，快速测定元素含量，适合非破坏性分析。

操作要点：

ICP-MS 需高纯试剂和洁净实验室（ISO 5 级），避免污染。

XRF 需抛光样品表面，确保平整，校准仪器以提高精度。

两种方法需结合使用，ICP-MS 验证微量元素，XRF 用于快速筛查。

结果解读：

钨含量低于标准（如 99.9%）可能表明提纯不足。

掺杂剂含量偏差可能影响电弧性能或高温稳定性。

#### 版权与免责声明

## 中钨智造科技有限公司

### 钨棒产品介绍

#### 一、钨棒概述

钨棒是一种以高纯度钨粉（纯度 $\geq 99.95\%$ ）为原料，通过粉末冶金工艺（压制、烧结、旋锻等）制成的高性能金属棒材。凭借其超高的熔点、优异的力学性能和化学稳定性，钨棒被广泛应用于高温、高强度、高密度等极端工况的工业领域。

#### 二、钨棒的特性

- ✓ 超高熔点：高达  $3410^{\circ}\text{C}$ ，适用于各种极端高温环境
- ✓ 优异强度和硬度：在高温下仍保持良好的机械性能
- ✓ 导热导电性能优良：适合电子、电热等精密应用
- ✓ 高密度材料：密度约  $19.3\text{ g/cm}^3$ ，适用于配重、防辐射
- ✓ 抗腐蚀抗磨损：使用寿命长，稳定性好
- ✓ 热膨胀系数小：热变形小，适用于精密结构件

#### 三、钨棒的主要应用领域

- ✓ 航空航天与军工：火箭喷嘴、穿甲弹芯、高温结构件
- ✓ 电子工业：阴极发射极、散热片、电极、触点材料
- ✓ 高温炉和冶金：真空炉加热棒、钨坩埚、支撑部件
- ✓ 医疗科技：防辐射部件、精密手术工具
- ✓ 机械工程：配重块、模具嵌件、振动吸收器
- ✓ 科研实验设备：超高温反应器、物理性能测试组件

#### 四、钨棒基本数据

项目	参数
密度	$19.3\text{ g/cm}^3$
硬度（维氏 HV）	340 - 400 HV
电导率（ $20^{\circ}\text{C}$ ）	$\sim 30\%$ IACS
热导率	$\sim 170\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
热膨胀系数	$\sim 4.5 \times 10^{-6}\text{ /K}$
直径范围	$\text{Ø}1.0\text{ mm} - \text{Ø}100\text{ mm}$ （可定制）
长度范围	标准长度 $100\text{ mm} - 1000\text{ mm}$ （最长可达 $2000\text{ mm}$ ）
表面状态	黑皮、磨光、抛光

#### 五、采购信息

邮箱：[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨棒资讯，请访问中钨在线网站（[www.tungsten.com.cn](http://www.tungsten.com.cn)）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



#### 版权与免责声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

### 8.2.2 微量元素与杂质检测

检测目的：微量元素（如 O、C、N）和杂质（如 Fe、Si）可能降低钨棒性能，需严格控制。

检测方法：

惰性气体熔融法：将样品在氩气中高温熔融，释放氧、氮、碳，通过红外或热导检测器分析，灵敏度达 ppm 级。

辉光放电质谱（GD-MS）：用辉光放电激发样品表面，质谱分析微量杂质，适合高纯钨棒。

操作要点：

样品需超声清洗，去除表面污染物。

惰性气体熔融法需高纯氩气（99.999%），校准标准气体。

GD-MS 需真空环境（ $10^{-6}$  Pa），定期维护放电源。

结果解读：

氧含量过高可能导致高温脆性，需优化烧结气氛。

杂质超标可能源于原材料污染，需加强质量控制。

### 8.3 钨棒的微观结构分析

微观结构分析揭示钨棒的晶粒尺寸、组织均匀性和缺陷分布，影响机械和热性能。

#### 8.3.1 显微镜观察（SEM、TEM）

检测目的：观察钨棒的表面形貌、断口特征及内部结构，识别裂纹、孔隙或掺杂剂分布。

检测方法：

扫描电子显微镜（SEM）：用电子束扫描样品表面，成像分辨率达纳米级，配备能谱仪（EDS）分析元素分布。

透射电子显微镜（TEM）：电子束穿透超薄样品（ $<100$  nm），观察晶体结构和位错，适合高分辨率分析。

操作要点：

SEM 样品需抛光或断口处理，镀碳或金提高导电性。

TEM 样品需离子减薄制备，保持洁净避免污染。

需校准显微镜，记录放大倍率和成像条件。

结果解读：

SEM 显示孔隙或裂纹表明烧结或加工缺陷。

TEM 揭示掺杂剂团聚或晶界异常，需优化混合工艺。

#### 8.3.2 晶粒尺寸与组织均匀性

检测目的：晶粒尺寸（通常  $10 - 50 \mu\text{m}$ ）和组织均匀性影响钨棒的强度、韧性和高温性能。

**检测方法:**

光学显微镜: 样品经抛光和化学腐蚀 (如  $\text{HNO}_3$  溶液), 观察晶粒边界, 测量平均晶粒尺寸。  
X 射线衍射 (XRD): 分析晶体取向和晶粒尺寸, 计算晶粒大小 (通过 Scherrer 公式)。

**操作要点:**

腐蚀时间需精确控制 (10 - 30 秒), 避免过度腐蚀。  
XRD 需高纯钨标准样校准, 扫描角度 10 - 80°。  
多次测量不同区域, 确保组织均匀性评估准确。

**结果解读:**

晶粒过大可能降低强度, 需调整烧结温度。  
组织不均可能源于压制或掺杂不当, 需优化工艺。

## 8.4 钨棒的无损检测

无损检测 (NDT) 用于评估钨棒内部和表面缺陷, 保持样品完整性, 适用于质量控制。

### 8.4.1 超声波检测

检测目的: 检测钨棒内部孔隙、裂纹或夹杂物, 确保结构完整性。

**检测方法:**

使用超声波探伤仪, 发射 5 - 10 MHz 超声波, 接收反射信号, 分析缺陷位置和大小。  
纵波或横波探头结合水耦合剂, 扫描棒材全长。

**操作要点:**

样品表面需平整, 清洁去除油污。  
需校准探头, 使用标准缺陷样品验证灵敏度。  
记录缺陷回波高度和位置, 绘制 C 扫描图。

**结果解读:**

强回波表明较大缺陷 (如孔隙  $>0.5$  mm), 需返工。  
连续回波可能源于层状裂纹, 需切片验证。

### 8.4.2 X 射线检测

检测目的: 识别钨棒内部孔隙、夹杂物或裂纹, 适合大规格棒材。

**检测方法:**

使用工业 X 射线机 (100 - 300 kV), 穿透钨棒, 记录透射图像, 分析缺陷特征。  
配合数字成像 (DR) 或计算机断层扫描 (CT), 提高分辨率。

**操作要点:**

需防护辐射, 操作需专业资质。  
调整 X 射线能量, 确保穿透厚样品 ( $>20$  mm)。

**版权与免责声明**

使用标准缺陷样校准，记录图像灰度值。

结果解读：

暗区表明孔隙或夹杂物，需结合超声波验证。

CT 重建可量化缺陷体积，指导质量评估。

### 8.4.3 磁粉探伤

检测目的：检测钨合金棒（如 W-Ni-Fe）表面及近表面裂纹，纯钨棒因非磁性不适用。

检测方法：

在磁化设备中施加磁场（交流或直流），喷洒荧光磁粉，紫外灯下观察磁痕。

纵向或横向磁化，检测不同方向裂纹。

操作要点：

样品表面需清洁，磁化电流需根据直径调整（500 - 2000 A）。

磁粉需均匀喷洒，观察时间控制在 1 - 2 分钟。

记录磁痕长度和分布，拍照存档。

结果解读：

线性磁痕表明表面裂纹，需抛光或返工。

磁痕密集可能源于加工应力，需热处理消除。

## 8.5 钨棒的性能验证

性能验证测试模拟实际工况，评估钨棒在高温、腐蚀和电学环境中的表现。

### 8.5.1 高温性能测试

检测目的：评估钨棒在高温（1000 - 2500° C）下的抗氧化、抗蠕变和强度，适用于航空航天和炉内应用。

检测方法：

高温拉伸试验：在真空或氩气炉中加热样品至指定温度，使用高温试验机测试抗拉强度。

蠕变测试：施加恒定载荷（如 100 MPa），记录 100 - 1000 小时的形变量，计算蠕变速率。

操作要点：

需高纯氩气（99.999%）保护，防止氧化。

样品需标准尺寸（如直径 5 mm），夹具为钨或陶瓷。

温度控制精度 ±10° C，记录应变曲线。

结果解读：

高温强度下降可能源于晶粒生长，需优化烧结。

蠕变速率过高可能表明掺杂不足，需调整配方。

### 8.5.2 耐腐蚀性测试

检测目的：评估钨棒在酸、碱或高温气体环境中的耐腐蚀性，适用于化工和电极应用。

检测方法：

浸泡试验：将样品浸入腐蚀介质（如 10%  $\text{HNO}_3$  或  $\text{NaOH}$ ），恒温（25 - 80° C）浸泡 24 - 168 小时，测量重量损失。

气体腐蚀试验：在高温炉中暴露于氧化或硫化气氛（如  $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ ），记录表面变化。

操作要点：

样品需称重（精度  $\pm 0.0001 \text{ g}$ ），表面需统一抛光。

腐蚀介质需定期更换，确保浓度稳定。

气体试验需控制流量（0.1 - 1 L/min）和湿度。

结果解读：

重量损失  $> 0.1\%$  表明耐腐蚀性不足，需改进配方。

表面氧化层厚可能源于杂质，需优化提纯。

### 8.5.3 导电性与抗蠕变测试

检测目的：导电性（约 18% IACS）和抗蠕变性是电极和高温部件的关键性能，影响电弧稳定性和寿命。

检测方法：

导电性测试：使用四探针法，施加恒定电流，测量电压降，计算电导率。

抗蠕变测试：与高温蠕变测试类似，但侧重掺杂钨棒（如 WC20），测试电弧环境下的变形。

操作要点：

导电性测试需接触良好，探针为铜或银。

抗蠕变测试需模拟焊接条件（如 6000° C 电弧），记录变形量。

样品需多次测试，取平均值。

结果解读：

导电性偏低可能源于掺杂剂分布不均。

抗蠕变性不足可能表明稀土掺杂不足，需优化混合。

## 8.6 不同种类钨棒的检测重点

不同种类钨棒（纯钨棒、高纯钨棒、掺杂钨棒）因成分和用途差异，检测侧重不同。

### 8.6.1 纯钨棒检测

检测重点：

物理性能：密度（ $\geq 19.0 \text{ g/cm}^3$ ）、硬度（350 - 450 HV）和抗拉强度，确保高温稳定性。

化学成分：钨含量  $\geq 99.9\%$ ，氧、碳等杂质  $< 100 \text{ ppm}$ ，防止高温脆性。

无损检测：超声波检测内部孔隙，X 射线验证大规格棒材质量。

适用场景：

石英炉芯杆、配重件，要求成本低、性能稳定。

关键点：

密度测试优先采用阿基米德法，经济高效。

杂质检测需关注氧含量，优化烧结气氛。

无损检测覆盖全批次，确保一致性。

### 8.6.2 高纯钨棒检测

检测重点：

化学成分：钨含量 $\geq 99.95\%$ ，微量杂质（如 O、N） $< 30$  ppm，使用 ICP-MS 和 GD-MS。

微观结构：SEM 和 TEM 观察晶粒尺寸（ $5 - 15 \mu\text{m}$ ）和掺杂剂分布，确保洁净度。

性能验证：导电性和耐腐蚀性测试，满足半导体要求。

适用场景：

溅射靶材、医疗器械，要求高纯度和洁净生产。

关键点：

检测需在洁净室（ISO 5 级）进行，防止污染。

微量元素分析需高灵敏度仪器，定期校准。

性能测试需模拟实际工况，如真空环境。

### 8.6.3 掺杂钨棒检测

检测重点：

化学成分：掺杂剂（如  $2\% \text{CeO}_2$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ ）含量均匀，掺钍棒需放射性检测。

性能验证：导电性和电弧稳定性测试，使用电弧试验机模拟焊接。

微观结构：SEM-EDS 分析掺杂剂分布，XRD 验证晶体取向。

适用场景：

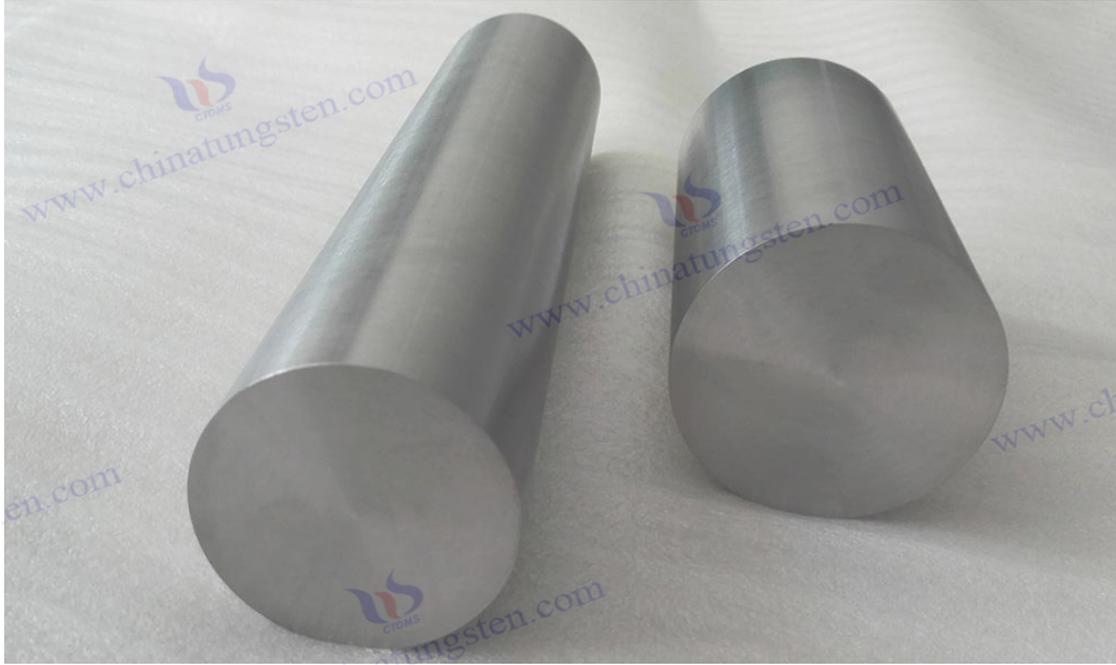
焊接电极、高温炉元件，要求电弧性能优异。

关键点：

电弧测试需标准焊接条件，记录烧损率。

掺杂剂分布不均需优化混合工艺。

掺钍钨棒检测需符合放射性法规。



中钨智造钨棒

## 第九章 钨棒的行业现状与发展趋势

钨棒作为战略性难熔金属材料，凭借高熔点、高密度和优异机械性能，在航空航天、电子、焊接和军工领域具有不可替代的作用。近年来，全球钨棒市场受供需变化、技术进步和环保政策驱动，呈现快速增长态势。本章分析钨棒的中国和国际市场概况，探讨技术发展趋势（新材料、绿色制造、智能化生产），并评估行业面临的挑战与机遇（技术瓶颈、市场竞争、可持续发展）。

### 9.1 钨棒的中国市场概况

中国是全球最大的钨资源国和钨棒生产国，市场规模快速扩大，供需格局受政策调控和下游需求驱动。

#### 9.1.1 市场需求与供给分析

##### 市场需求：

中国钨棒市场需求主要来自航空航天、电子制造、焊接和硬质合金工具领域。

**航空航天：**钨棒用于高温部件（如喷嘴衬里）和配重件，受国产大飞机（如 C919）和航天项目（如空间站）推动，需求稳定增长。

**电子制造：**高纯钨棒是半导体溅射靶材和电极的关键材料，随着芯片国产化和 5G 设备发展，需求激增。

**焊接与切割：**掺杂钨棒（如 WC20、WT20）广泛用于氩弧焊和等离子切割，受益于汽车、船舶和建筑行业，市场持续扩大。

**硬质合金：**钨棒作为硬质合金刀具原料，受数控机床和高端制造需求驱动，市场占比显著。

#### 版权与免责声明

### 供给分析:

资源优势: 中国钨储量占全球 51%，产量占 83%，主要产地为江西、湖南和河南。

生产能力: 国内主要企业拥有完整产业链，覆盖从钨矿开采到棒材加工，产能集中度高。

政策调控: 政府通过出口配额和环保政策限制钨矿开采，2023 年起加强再生钨利用，推动供给侧改革。

挑战: 原材料价格波动和环保成本上升压缩中小企业利润，高端钨棒（如高纯度、纳米级）仍依赖进口。

### 趋势预测:

市场需求预计以年均 5 - 7% 增长，高端制造和新能源（如光伏、风电）将成为新增长点。

供给将向高附加值产品转型，中小企业需技术升级以应对成本压力。

## 9.2 钨棒的国际市场概况

全球钨棒市场竞争激烈，中国主导供给，欧美日韩主导高端需求，供应链重构和地缘政治影响市场格局。

### 9.2.1 主要出口国家与地区

出口现状:

中国主导: 2022 年中国钨制品出口量达 2.49 万吨，占全球供给主导地位，主要出口至日本（23%）、韩国（19%）、欧洲（35%）和美国（11%）。

产品结构: 出口以原料级钨棒和低附加值产品为主，硬质合金棒占 8.9 千吨，同比增长 7.23%。

出口趋势:

增长驱动: 欧美航空航天和国防需求增长推动出口，尤其是钨合金棒。

区域变化: 对欧美的出口量 2022 年分别增长 18.03% 和 46.75%，对日韩下降，反映全球产业链调整。

挑战: 贸易摩擦和出口配额限制低端产品出口，高端市场被欧美企业占据，附加值较低。

### 9.2.2 进口依赖与供应链现状

进口依赖:

中国: 高端钨棒（如高纯钨棒、掺杂电极）部分依赖进口，进口额约为出口额的 90%，主要来自美国、德国和日本，反映技术差距。

欧美: 依赖中国钨原料，2022 年中国占全球钨矿供给 83%，欧美本土矿山开发缓慢，短期难自给。

日本和韩国: 高度依赖中国钨棒进口，加工后出口高附加值产品（如半导体靶材）。

供应链现状:

集中风险: 全球钨供应链高度依赖中国，地缘政治和疫情导致供应链中断风险上升。

重构尝试: 欧美加速海外钨矿开发（如澳大利亚、越南），但资金和成本约束限制进展，短期内中国主导地位稳固。

再生钨: 全球废钨回收率提升至 30%，欧美和中国推动再生钨产业链，缓解原料依赖。

#### 版权与免责声明

趋势预测：

全球供应链将多元化，越南和澳大利亚可能成为新兴供应商，但中国仍占主导。  
进口国将加大高端钨棒研发，减少对中国的技术依赖。

### 9.3 钨棒的技术发展趋势

技术进步驱动钨棒行业向高性能、低成本和可持续发展转型，涵盖材料、工艺和生产方式。

#### 9.3.1 新材料与合金化技术

技术方向：

高纯钨棒：通过化学气相沉积（CVD）和等离子烧结（SPS）提高纯度至 99.99%，满足半导体和航空需求。

掺杂优化：开发非钽掺杂钨棒（如 W-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、W-CeO<sub>2</sub>），提升电弧稳定性和环保性，替代放射性 WT20 电极。

钨合金：研发 W-Ni-Fe、W-Cu 等高密度合金，优化强度和导电性，应用于军工和电子。

纳米技术：纳米晶钨棒通过球磨和 SPS 制备，晶粒尺寸降至 5 - 10 μm，提升韧性和高温性能。

进展与挑战：

进展：中国企业如厦门钨业已实现部分高纯钨棒国产化，纳米钨棒研发进入试点阶段。

挑战：高纯提炼和纳米加工成本高，设备依赖进口，需突破核心技术。

趋势预测：

非钽掺杂和纳米钨棒将成为主流，市场占比预计 2030 年达 40%。

合金化技术将聚焦多功能化，满足新能源和国防需求。

#### 9.3.2 绿色制造与节能技术

技术方向：

再生钨利用：通过湿法冶金和电解回收废钨，降低原矿开采依赖，回收率目标 2030 年达 50%。

低能耗烧结：采用微波烧结和 SPS 技术，缩短烧结时间（5 - 15 分钟），能耗降低 30%。

清洁生产：开发无氟提纯工艺，减少氢氟酸使用，降低废水排放。

废气处理：配备高效除尘和脱硫系统，满足排放标准（如 SO<sub>2</sub><50 mg/m<sup>3</sup>）。

进展与挑战：

进展：中国出台政策支持再生钨产业，2023 年再生钨产量占总供给 20%。

挑战：绿色技术初期投资高，中小企业难以承担，需政策补贴。

趋势预测：

绿色制造将成为行业准入门槛，2030 年节能技术普及率预计达 80%。

再生钨将占全球供给 30% 以上，缓解资源压力。

#### 9.3.3 智能化与自动化生产

技术方向：

智能控制：采用 PLC 和 SCADA 系统，实时监控烧结、锻造和加工参数，提高一致性。

自动化设备：引入数控旋锻机、自动拉拔机和机器人装配线，生产效率提升 20%。

数字孪生：构建钨棒生产数字模型，优化工艺参数，减少试错成本。

质量追溯：通过区块链技术记录从原料到成品的全链条数据，确保质量可控。

进展与挑战：

进展：中国龙头企业已部署智能生产线，2023 年自动化率达 50%。

挑战：智能化设备成本高，中小企业普及率低，技术人才短缺。

趋势预测：

2030 年，中国钨棒行业自动化率预计达 70%，智能化将重塑竞争格局。

数字孪生和质量追溯将成为高端市场标配。

## 9.4 钨棒的挑战与机遇

钨棒行业在快速发展中面临技术、市场和环保等多重挑战，同时蕴含巨大机遇。

### 9.4.1 技术瓶颈与突破

挑战：

高端技术差距：高纯钨棒和纳米钨棒的核心设备（如 SPS 炉）依赖进口，成本高，限制国产化。

掺杂均匀性：稀土掺杂剂分布不均影响电弧性能，需改进混合工艺。

研发投入不足：中小企业研发资金有限，难以突破关键技术。

机遇：

国产化加速：国家“十四五”规划支持钨新材料研发，2025 年高纯钨棒国产化率预计达 80%。

产学研合作：高校和企业联合攻关，加速技术转化。

政策支持：政府提供研发补贴和税收优惠，降低创新成本。

应对策略：

加大核心设备研发，突破进口依赖。

建立产学研平台，加速技术迭代。

优化掺杂工艺，提升产品性能。

### 9.4.2 市场竞争与全球化

挑战：

国际竞争：欧美企业主导高端市场，中国企业以低附加值产品为主。

贸易壁垒：美欧对钨制品加征关税，影响出口竞争力。

产业集中度：中小企业技术落后，面临被并购或淘汰风险。

机遇：

全球化需求：航空航天、半导体和新能源需求增长，全球市场 2030 年预计达数十亿美元。

“一带一路”：中国企业可拓展东南亚和非洲市场，输出技术和产能。

#### 版权与免责声明

品牌建设：通过技术升级，中国企业有望在中高端市场占据一席之地。

应对策略：

提升产品附加值，开发高纯和掺杂钨棒。

加强国际合作，规避贸易壁垒。

推动产业整合，提升集中度。

#### 9.4.3 环保与可持续发展的要求

挑战：

环保压力：钨矿开采和冶炼产生废水、废气，环保成本占生产成本 20%。

碳中和目标：2030 年碳达峰要求企业降低能耗，传统工艺难以达标。

放射性管理：掺钷钨棒需严格管控，增加合规成本。

机遇：

绿色市场：环保型钨棒（如非钷电极）需求增长，市场前景广阔。

再生钨潜力：废钨回收技术成熟，成本低于原矿开采。

政策红利：政府补贴绿色制造项目，降低转型成本。

应对策略：

推广再生钨和低能耗工艺，降低环保成本。

开发非钷掺杂电极，满足环保法规。

建立碳足迹管理体系，响应碳中和目标。



中钨智造钨棒

## 中钨智造科技有限公司

### 钨棒产品介绍

#### 一、钨棒概述

钨棒是一种以高纯度钨粉（纯度 $\geq 99.95\%$ ）为原料，通过粉末冶金工艺（压制、烧结、旋锻等）制成的高性能金属棒材。凭借其超高的熔点、优异的力学性能和化学稳定性，钨棒被广泛应用于高温、高强度、高密度等极端工况的工业领域。

#### 二、钨棒的特性

- ✓ 超高熔点：高达  $3410^{\circ}\text{C}$ ，适用于各种极端高温环境
- ✓ 优异强度和硬度：在高温下仍保持良好的机械性能
- ✓ 导热导电性能优良：适合电子、电热等精密应用
- ✓ 高密度材料：密度约  $19.3\text{ g/cm}^3$ ，适用于配重、防辐射
- ✓ 抗腐蚀抗磨损：使用寿命长，稳定性好
- ✓ 热膨胀系数小：热变形小，适用于精密结构件

#### 三、钨棒的主要应用领域

- ✓ 航空航天与军工：火箭喷嘴、穿甲弹芯、高温结构件
- ✓ 电子工业：阴极发射极、散热片、电极、触点材料
- ✓ 高温炉和冶金：真空炉加热棒、钨坩埚、支撑部件
- ✓ 医疗科技：防辐射部件、精密手术工具
- ✓ 机械工程：配重块、模具嵌件、振动吸收器
- ✓ 科研实验设备：超高温反应器、物理性能测试组件

#### 四、钨棒基本数据

项目	参数
密度	$19.3\text{ g/cm}^3$
硬度（维氏 HV）	340 - 400 HV
电导率（ $20^{\circ}\text{C}$ ）	$\sim 30\%$ IACS
热导率	$\sim 170\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
热膨胀系数	$\sim 4.5 \times 10^{-6}\text{ /K}$
直径范围	$\text{Ø}1.0\text{ mm} - \text{Ø}100\text{ mm}$ （可定制）
长度范围	标准长度 $100\text{ mm} - 1000\text{ mm}$ （最长可达 $2000\text{ mm}$ ）
表面状态	黑皮、磨光、抛光

#### 五、采购信息

邮箱：[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨棒资讯，请访问中钨在线网站（[www.tungsten.com.cn](http://www.tungsten.com.cn)）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



#### 版权与免责声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

## 第十章 结论

钨棒作为高性能难熔金属材料，因其卓越的物理、化学和机械性能，在航空航天、电子、焊接、军工和新能源等领域具有不可替代的作用。本章总结钨棒的核心价值与应用前景，展望其未来发展方向，提出行业发展建议，并反思本研究的局限性与未来研究展望。

### 10.1 钨棒的核心价值与应用前景

#### 核心价值：

钨棒凭借高熔点、高密度、优异硬度和耐高温抗腐蚀性，成为关键工业材料的代表。其核心价值体现在以下方面：

**高性能保障：**钨棒在极端环境下（如高温、高压、电弧）保持稳定，满足航空航天（如喷嘴衬里）、半导体（溅射靶材）和军工（穿甲弹芯）的高要求。

**功能多样性：**纯钨棒、高纯钨棒和掺杂钨棒（如 WC20、WL20）分别服务于不同场景，掺杂优化提升电弧性能，合金化增强强度和导电性。

**战略重要性：**钨是稀缺战略资源，钨棒产业链涉及国家安全和高端制造，全球供应链依赖中国（占 83% 产量），凸显其地缘经济价值。

**可持续潜力：**再生钨技术和绿色制造工艺的进步，降低资源消耗和环境影响，增强行业长期竞争力。

#### 应用前景：

**航空航天：**随着全球航天项目（如中国空间站、SpaceX 星舰）推进，钨棒用于高温部件和配重件的需求将持续增长，预计 2030 年市场占比提升至 20%。

**电子与半导体：**5G、AI 芯片和量子计算驱动高纯钨棒需求激增，溅射靶材和电极市场年均增长预计达 8%。

**新能源：**钨棒在光伏（单晶硅夹持杆）和风电（高强度部件）中的应用扩展，受益于全球碳中和目标，市场潜力显著。

**焊接与制造：**掺杂钨电极在汽车、船舶和建筑行业的广泛应用，伴随高端制造升级，需求稳定增长。

**军工与医疗：**钨合金棒在穿甲弹芯和辐射屏蔽件中的需求受全球国防现代化和医疗设备更新驱动，市场前景稳健。

### 10.2 钨棒的未来发展方向

#### 技术创新：

**高纯与纳米技术：**提升钨棒纯度至 99.99% 以上，开发纳米晶钨棒（晶粒尺寸 5 - 10  $\mu\text{m}$ ），增强韧性和高温性能，满足半导体和航空需求。

**非钽掺杂电极：**研发环保型掺杂钨棒（如 W-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、W-CeO<sub>2</sub>），替代放射性 WT20 电极，提升电弧稳定性和市场接受度。

**新型钨合金：**优化 W-Ni-Fe、W-Cu 等合金配方，平衡强度、导电性和环保性，拓展军工和电子应用。

**绿色制造：**推广微波烧结、等离子烧结（SPS）和无氟提纯工艺，降低能耗 30%，减少废水废气排放。

#### 版权与免责声明

智能化生产：集成数字孪生、PLC 控制和区块链追溯技术，提升生产效率 20%，实现全链条质量管理。

#### 市场拓展：

高端市场突破：加大高纯钨棒和掺杂电极研发，抢占欧美日韩高端市场，降低进口依赖。

新兴市场开发：通过“一带一路”倡议，拓展东南亚、非洲和南美市场，输出钨棒技术和产能。

多元化应用：探索钨棒在新能源（如氢能设备）、生物医药（如高精度手术工具）和量子技术中的新用途。

#### 供应链优化：

再生钨利用：提升废钨回收率至 50%，构建循环经济模式，缓解资源压力。

多元化供给：支持越南、澳大利亚等新兴钨矿开发，降低全球供应链集中风险。

区域合作：加强与日韩、欧盟的技术和贸易合作，规避地缘政治影响。

#### 政策与标准：

国际标准制定：推动中国主导钨棒国际标准（如 ISO 24370 更新），提升全球话语权。

环保法规强化：制定更严格的排放和回收标准，促进行业绿色转型。

产业支持政策：扩大研发补贴和税收优惠，鼓励技术创新和中小企业升级。

### 10.3 对行业发展的建议

#### 企业层面：

加大研发投入：重点攻关高纯钨棒、纳米技术和非钨掺杂工艺，突破核心设备（如 SPS 炉）进口依赖，建议研发占比提升至营收的 5 - 8%。

推进智能化转型：部署数控设备和 SCADA 系统，建设智能生产线，2025 年实现自动化率 50% 以上，降低人工成本并提高一致性。

加强品牌建设：通过国际展会（如德国汉诺威工业展）和认证（如 ISO 9001），提升中国钨棒品牌在高端市场的竞争力。

深化产业链整合：通过并购或合作，整合中小型企业资源，提升产业集中度，优化从矿石到成品的供应链效率。

布局再生钨产业：投资湿法冶金和电解回收技术，2025 年再生钨产量占比提升至 30%，降低原料成本。

#### 政府层面：

完善政策支持：出台专项基金支持钨新材料研发和绿色制造，延长中小企业税收减免至 2030 年。

强化资源管理：优化钨矿开采配额，鼓励再生钨利用，2030 年实现原矿开采量下降 20%。

推动国际合作：通过“一带一路”倡议，建立钨资源国际联盟，扩大技术输出和市场份额。

加强环保监管：制定钨冶炼排放标准（如  $SO_2 < 30 \text{ mg/m}^3$ ），对高污染企业限产，促进行业绿色转型。

支持产学研协同：资助高校和企业联合实验室（如清华大学与厦门钨业），加速技术转化，2025 年实现 10 项关键技术突破。

#### 版权与法律声明

**行业协会层面：**

制定行业标准：修订钨棒生产和检测标准（如 GB/T 4187），与国际标准接轨，提升产品质量。

搭建交流平台：组织年度钨业论坛，促进企业、高校和政府间合作，分享绿色制造和智能化经验。

开展市场调研：定期发布全球钨棒市场报告，指导企业精准布局新兴市场。



中钨智造钨棒

## 附录

### A. 术语表

- 钨棒 (Tungsten Rod):** 以钨或其合金为主要成分的棒状材料, 通常采用粉末冶金工艺制备。
- 粉末冶金 (Powder Metallurgy):** 通过混合、压制和烧结金属粉末制备材料的工艺。
- 热膨胀系数 (Thermal Expansion Coefficient):** 材料在温度变化时体积或长度的变化率。
- 高致密度 (High Density):** 指材料内部结构紧实, 孔隙率低, 通常与高强度相关。
- 烧结 (Sintering):** 在高温下使金属粉末颗粒结合成固体材料的工艺。
- 热锻 (Hot Forging):** 在高温下对金属进行锻造以改变其形状和性能。
- 旋锻 (Rotary Forging):** 通过旋转和压力加工金属的工艺, 适用于棒材生产。
- 热挤压 (Hot Extrusion):** 在高温下将金属通过模具挤压成型的工艺。
- 钨合金 (Tungsten Alloy):** 以钨为基体, 添加镍、铁、铜等元素的复合材料。
- 掺杂钨棒 (Doped Tungsten Rod):** 通过添加稀土或其他元素改善性能的钨棒。
- 耐腐蚀性 (Corrosion Resistance):** 材料抵抗化学侵蚀的能力。
- 导热性 (Thermal Conductivity):** 材料传导热量的能力。
- 导电性 (Electrical Conductivity):** 材料传导电流的能力。
- 抗蠕变性能 (Creep Resistance):** 材料在高温和持续应力下抵抗形变的能力。
- 无损检测 (Non-Destructive Testing):** 不破坏材料结构的前提下检测其性能和缺陷的方法。
- ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry):** 用于分析材料中微量元素的仪器。
- SEM/TEM (Scanning/Transmission Electron Microscopy):** 用于观察材料微观结构的显微镜技术。
- RWMA (Resistance Welding Manufacturers' Association):** 电阻焊制造协会, 制定钨材料相关标准。

### B. 参考文献

- [1] ASTM E8-21, 金属材料拉伸试验标准, 美国材料与试验协会, 2021 年。
- [2] ISO 6892-1:2019, 金属材料室温拉伸试验, 国际标准化组织, 2019 年。
- [3] GB/T 4187-2017, 钨棒, 国家标准, 2017 年。
- [4] GB/T 3459-2017, 钨及钨合金制品, 国家标准, 2017 年。
- [5] YS/T 695-2009, 钨电极, 有色金属行业标准, 2009 年。
- [6] 国际钨业协会, 钨材料检测技术指南, 2023 年。
- [7] 中国钨工业协会, 钨棒质量控制规范, 2022 年。
- [8] AWS A5.12, 电弧焊用钨及氧化物掺杂钨电极规范, 美国焊接协会, 2009 年。
- [9] JIS Z 3211-2008, 钨电极, 日本工业标准, 2008 年。
- [10] DIN EN 26848, 钨及钨合金制品, 欧洲标准协会, 1991 年。
- [11] YS/T 695-2017, 钨电极, 有色金属行业标准, 2017 年。
- [12] ASTM B760-07, 钨板、片和箔标准规范, ASTM 国际, 2007 年。
- [13] ISO 24370:2005, 精细陶瓷和难熔金属, 国际标准化组织, 2005 年。
- [14] Yih, S. W. H., & Wang, C. T., Tungsten: Sources, Metallurgy, Properties, and Applications, Plenum Press, 1979.

#### 版权与法律责任声明

- [15] Coolidge, W. D., The Development of Ductile Tungsten, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 1910.
- [16] U.S. Geological Survey, Tungsten: A Strategic Metal, 2018.
- [17] Lassner, E., & Schubert, W. D., Tungsten: Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys, and Chemical Compounds, Springer, 1999.
- [18] European Commission, Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU, 2020.
- [19] ASTM B760-07, Standard Specification for Tungsten Plate, Sheet, and Foil, ASTM International, 2007.
- [20] AWS A5.12, Specification for Tungsten and Oxide Dispersed Tungsten Electrodes for Arc Welding, American Welding Society, 2009.

en.com

  
www.chinatungsten.com

  
www.chinatungsten.com

  
www.chinatungsten.com

  
www.chinatungsten.com

  
www.chinatun

1

  
www.chinatungsten.com

  
www.chinatungsten.com