

什么是钼片

中钨智造（厦门）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

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

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

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 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、钨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

目录

第一章 钼片概述

- 1.1 钼片定义
- 1.2 钼片的规格
- 1.3 钼片的特点
 - 1.3.1 钼片的外观特征
 - 1.3.1.1 钼片黑褐色外观及成因
 - 1.3.1.2 钼片碱洗后银灰色光泽及处理原理
 - 1.3.1.3 钼片的平整度

第二章 钼片的性能

- 2.1 钼片的物理性能
 - 2.1.1 钼片的密度
 - 2.1.2 钼片的熔点
 - 2.1.3 钼片的沸点
 - 2.1.4 钼片的导电性
 - 2.1.5 钼片的导热性
 - 2.1.6 钼片的热膨胀系数
- 2.2 钼片的力学性能
 - 2.2.1 钼片的高强度
 - 2.2.2 钼片的延展性
 - 2.2.3 钼片的抗高温蠕变性能
 - 2.2.4 钼片的硬度
 - 2.2.5 钼片的韧性
 - 2.2.6 钼片的耐疲劳性能
- 2.3 钼片的化学性能
 - 2.3.1 钼片的耐腐蚀性
 - 2.3.2 钼片的抗氧化性
- 2.4 中钨智造钼片 MSDS

第三章 钼片的分类方式

- 3.1 按纯度分类钼片
 - 3.1.1 高纯钼片（ $\geq 99.95\%$ 纯度）
 - 3.1.2 普通纯度钼片（ $99\% - 99.9\%$ 纯度）
- 3.2 按制造工艺分类钼片
 - 3.2.1 粉末冶金法制造的钼片
 - 3.2.2 轧制工艺制造的热轧钼片
 - 3.2.3 轧制工艺制造的冷轧钼片
- 3.3 按应用领域分类钼片
 - 3.3.1 在电子领域应用的钼片
 - 3.3.2 在冶金工业领域应用的钼片

版权与免责声明

- 3.3.3 在化工领域应用的钼片
- 3.3.4 在航空航天领域应用的钼片
- 3.3.5 在其他领域应用的钼片

第四章 钼片生产制备工艺

- 4.1 钼片生产前的原料准备
 - 4.1.1 钼矿石的种类与特性
 - 4.1.1.1 辉钼矿的特性与分布
 - 4.1.2 钼矿石的开采与选矿方法
 - 4.1.2.1 钼矿石露天开采流程与要点
 - 4.1.2.2 钼矿石地下开采方式
 - 4.1.2.3 钼矿的浮选法原理与流程
 - 4.1.2.4 钼矿的重选法原理与流程
 - 4.1.2.5 钼矿的磁选法原理与流程
 - 4.1.3 钼精矿的提炼与转化
 - 4.1.3.1 钼精矿的氧化焙烧-氨浸法提炼工艺
 - 4.1.3.2 钼精矿的氧化焙烧-酸浸法提炼工艺
 - 4.1.3.3 钼精矿提炼产物制备钼粉
- 4.2 钼片的成型工艺
 - 4.2.1 粉末冶金法制备钼片
 - 4.2.2 轧制工艺制备钼片
 - 4.2.2.1 热轧工艺制备钼片
 - 4.2.2.2 冷轧工艺制备钼片

第五章 钼片的生产及性能测试设备

- 5.1 钼矿石的开采设备
 - 5.1.1 钼矿石的露天开采设备
 - 5.1.2 钼矿石的地下开采设备
- 5.2 钼矿石的选矿设备
 - 5.2.1 钼矿石的破碎设备
 - 5.2.2 钼矿石的研磨设备
 - 5.2.3 钼矿石的分级设备
 - 5.2.4 钼矿石的浮选设备
- 5.3 钼片的成型设备
 - 5.3.1 钼片的粉末冶金设备
 - 5.3.1.1 钼片的粉末压制设备
 - 5.3.1.2 钼片的烧结设备
 - 5.3.2 钼片的轧制设备
 - 5.3.2.1 钼片的热轧机
 - 5.3.2.2 钼片的冷轧机
- 5.4 钼片的性能测试设备
 - 5.4.1 钼片的密度测量设备

- 5.4.2 钼片的熔点测试设备
- 5.4.3 钼片的导电性测试设备
- 5.4.4 钼片的导热性测试设备
- 5.5 钼片的力学性能测试设备
- 5.5.1 万能材料试验机测试钼片的力学性能
- 5.5.2 硬度计测试钼片的力学性能
- 5.5.3 冲击试验机测试钼片的力学性能

第六章 钼片性能的测试方法

- 6.1 钼片密度的测试方法
- 6.2 钼片熔点的测试方法
- 6.3 钼片热稳定性的测试方法
- 6.4 钼片导电性的测试方法
- 6.5 钼片导热性的测试方法
- 6.6 钼片热膨胀系数的测试方法
- 6.7 钼片强度的测试方法
- 6.8 钼片硬度的测试方法
- 6.9 钼片韧性的测试方法
- 6.10 钼片延展性的测试方法
- 6.11 钼片疲劳性能的测试方法
- 6.12 钼片耐腐蚀性的测试方法
- 6.13 钼片抗氧化性的测试方法

第七章 钼片的应用领域

- 7.1 钼片在电子信息领域的应用
- 7.1.1 钼片在半导体中的应用
- 7.1.2 钼片在电极材料中的应用
- 7.1.3 钼片在引线框架中的应用
- 7.2 钼片在蓝宝石晶体生长炉中的应用
- 7.2.1 钼片生产蓝宝石晶体生长炉内的反射屏
- 7.2.2 钼片生产蓝宝石晶体生长炉内的盖板
- 7.3 钼片在真空炉中的应用
- 7.3.1 钼片生产真空炉内的反射屏
- 7.3.2 钼片生产真空炉内的发热带
- 7.3.3 钼片生产真空炉内的连接件
- 7.4 钼片在等离子镀膜中的应用
- 7.4.1 钼片作等离子镀膜用的溅射靶材
- 7.5 钼片在冶金工业领域的应用
- 7.5.1 钼片作为炼钢添加剂的应用
- 7.6 钼片在高温炉结构件中的应用
- 7.6.1 钼片在隔热屏中的应用
- 7.6.2 钼片在发热元件中的应用

- 7.7 钼片在化工设备防腐中的应用
- 7.7.1 钼片在反应釜内衬中的应用
- 7.7.2 钼片在管道部件中应用
- 7.8 钼片在卫星部件中的应用
- 7.8.1 钼片在天线部件中的应用
- 7.8.2 钼片在热控系统辐射器中的应用

第八章 钼片生产存在的安全与环保问题

- 8.1 钼片生产存在的安全问题
- 8.2 钼片生产存在的环保问题

第九章 钼片的国内外标准

- 9.1 钼片的中国国家标准
- 9.2 钼片的国际标准
- 9.3 欧美日韩等世界各国的钼片标准

第十章 钼片的事实与数据

- 10.1 钼片的主要事实有哪些
- 10.2 钼片的所有数据（性能、生产与应用技术参数）

附录：钼片多语言术语表（中英日韩语）

参考文献

中钨智造科技有限公司 钼片产品介绍

一、钼片概述

钼片是由高纯度钼材经过轧制加工而成的金属薄片，具有良好的耐高温性、导热性和机械强度。常用于电子、冶金、真空设备、航天和照明等领域，作为加热元件、隔热屏或结构材料。钼片表面平整、尺寸精确，根据需求定制不同规格，广泛应用于各类高端制造和科研设备中。

二、钼片特性

高纯度原材：纯度高达 99.95% 以上，杂质含量极低

耐高温性能：熔点高达 2610° C，稳定工作于极端环境

优良的加工性：平整度高，表面光洁，便于冲压、剪切及焊接

多种规格可选：支持定制尺寸、厚度，满足不同工艺需求

三、钼片规格

参数	规格范围
纯度	≥99.95%
厚度	0.01 毫米-3.00 毫米
宽度	50 毫米-600 毫米
长度	定制长度或卷材形式
表面处理	抛光面、碱洗面、喷砂面
厚度公差	±0.005 毫米- ±0.2 毫米
表面粗糙度	Ra 0.8 微米- Ra 3.2 微米

四、钼片生产流程

钼坯(原材料)-检验-热轧-校平及退火-碱洗-检验-温扎-真空退火-检验-冷轧-校平-剪切真空退火-检验-包装

五、采购信息

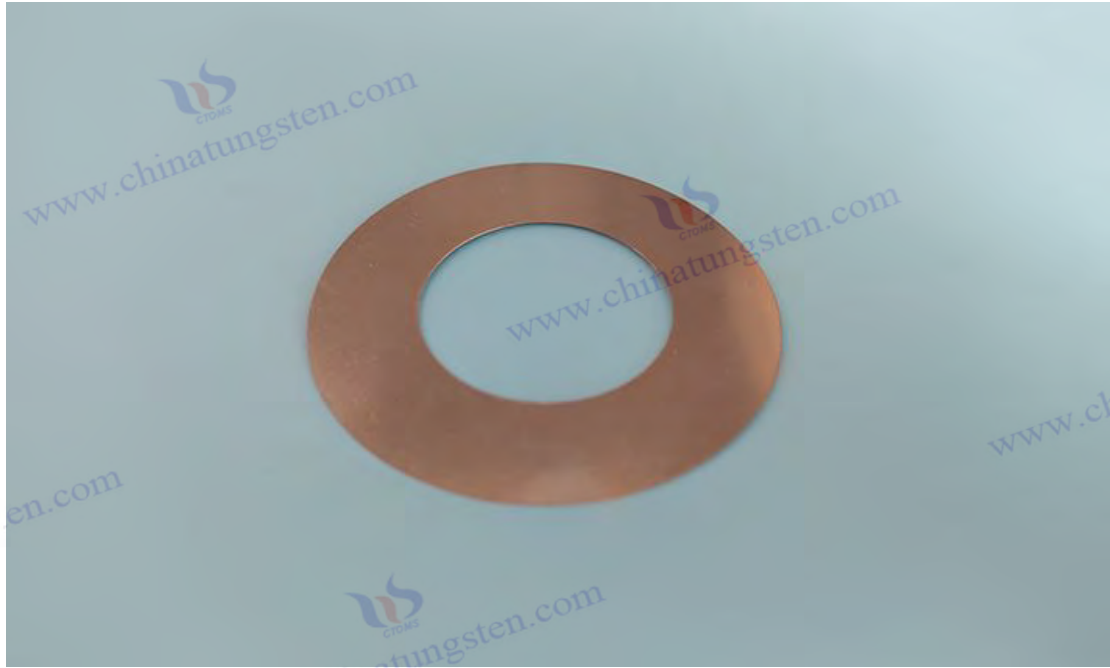
邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595; 592 5129696

更多钼片资讯，请访问中钨在线网站（molybdenum.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”。





中钨智造钼片

第一章 钼片概述

1.1 钼片定义

钼片是一种由高纯度钼金属（纯度通常达到 99.95%以上）通过粉末冶金、轧制或锻造等工艺制成的薄片状材料，其外观呈现出银灰色的金属光泽。钼（Molybdenum，化学符号 Mo，原子序数 42）是一种稀有的过渡金属，因其独特的物理和化学特性在工业和科技领域中占据重要地位。

钼片作为钼金属的一种加工形态，通常以极薄的厚度（从 0.01 毫米到 3 毫米不等）呈现，广泛应用于航空航天、电子工业、核能、医疗设备以及高温炉具等领域。其高熔点（约 2620℃）和高强度使其在极端环境下表现出色，尤其是在需要耐高温、耐腐蚀的场景中。钼片的制造过程通常包括从辉钼矿（ MoS_2 ）中提取钼，然后通过多道工序如烧结、热轧、冷轧和退火等，制成具有特定性能的薄片。这种材料不仅在传统工业中扮演重要角色，还在新兴技术领域，如半导体制造和新能源设备中，展现出不可替代的价值。

1.2 钼片的规格

钼片的规格因应用需求而异，其尺寸、厚度和表面处理方式均可根据具体用途进行定制。一般来说，钼片的厚度范围从 0.01 毫米（超薄箔）到 3 毫米，宽度通常在 10 毫米至 600 毫米之间，长度则可根据客户需求裁剪或以卷材形式提供。根据表面处理的不同，钼片可分为抛光面、酸洗面和喷砂面三种类型，其中抛光面钼片表面光滑，适合高精度电子元件的制造；酸洗面钼片经过化学处理，表面清洁度高，适用于真空环境；喷砂面则通过机械处理增加表面粗糙度，适合特定粘接或涂层应用。此外，钼片的力学性能也因加工工艺和退火状态而异。

版权与法律声明

例如，经过特殊退火处理的钼片（退火温度通常在 1100–1300℃）可显著提升其延展性，降低加工过程中的脆性。市场上，诸如中钨智造钼片等品牌产品，通常提供符合 ASTM B386 标准的钼片，厚度公差控制在±0.005 毫米以内，表面粗糙度 Ra 值可低至 0.4 微米，以满足高端应用的严格要求。不同规格的钼片还可能根据合金成分（如 TZM 钼合金）或掺杂元素（如镧或钛）进行性能优化，以适应特定工业场景。

以下以表格形式详细列出钼片的常见规格参数，涵盖厚度、宽度、长度、表面处理类型及相关性能指标，以满足不同工业场景的需求：

参数	规格范围	备注
厚度	0.01 毫米 – 3 毫米	超薄箔（0.01–0.1 毫米）用于高精度电子元件；较厚片（>1 毫米）用于结构件
宽度	50 毫米 – 600 毫米	可根据客户需求定制，部分宽幅钼片需特殊轧制设备
长度	定制长度或卷材形式	卷材形式用于连续生产，裁剪长度视应用而定
表面处理	抛光面、酸洗面、喷砂面	抛光面（Ra≤3.2 微米）适合半导体；酸洗面用于真空环境；喷砂面增强粘接性
厚度公差	±0.005 毫米–±0.2 毫米	符合 ASTM B386 标准，视厚度而定
材料纯度	≥99.95%	高纯钼片可掺杂镧、钛等元素（如 TZM 合金）以提升性能
退火状态	应力消除退火、完全退火	退火温度 1100–1300℃，提升延展性，降低加工脆性
表面粗糙度	Ra 0.8 微米 – Ra 3.2 微米	抛光面粗糙度最低，喷砂面粗糙度较高

市场上，诸如中钨智造钼片等品牌产品，严格遵循 ASTM B386 标准，厚度公差可控制在±0.005 毫米以内，表面粗糙度 Ra 值低至 0.4 微米，满足高端应用的严格要求。钼片的规格还可根据合金成分（如 TZM 钼合金）或掺杂元素（如镧或钛）进行性能优化，以适应航空航天、核工业或半导体制造等领域的特殊需求。例如，TZM 钼合金片在高温强度和抗蠕变性能上优于纯钼片，适用于更高温度环境（1500℃ 以上）。

1.3 钼片的特点

钼片因其独特的材料特性在众多高性能材料中脱颖而出。首先，钼片具有极高的熔点（2620℃），仅次于钨、铼等少数金属，使其在高温环境下仍能保持优异的机械强度，例如在 1200℃ 时抗拉强度可达 700MPa 以上。其次，钼片的热膨胀系数较低（约 $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ），与许多陶瓷材料和半导体基材的热膨胀系数相匹配，这使其在热障涂层和电子封装中具有重要应用。此外，钼片具有出色的导热性能（导热系数约为 $138\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ），能够有效散热，适合用于高温炉具的热屏蔽或电子器件的散热基板。然而，钼片在常温下的脆性较大，其体心立方晶体结构使其在低温时延展性有限，但在加热至再结晶温度（1000–1200℃）后，延展性显著提高，便于进一步加工。钼片还展现出优异的耐腐蚀性，尤其对酸性环境和非氧化性气氛具有良好的抵抗力，但在氧化性气氛中易形成挥发性氧化物（如 MoO_3 ），因此常需在真空或惰性气体保护下使用。此外，钼片的电导率较高（电阻率约为 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ），使其在

电子工业中被用作电极材料或靶材。综合来看，钼片的高强度、耐高温、低热膨胀和优异的导热导电性能，使其成为航空航天、核工业和半导体制造等领域不可或缺的材料。

1.3.1 钼片的外观特征

1.3.1.1 钼片黑褐色外观及成因

未经处理的钼片在生产过程中常呈现出黑褐色外观，这一特征主要源于其表面形成的氧化物层。在钼片的加工过程中，如轧制或退火，钼金属暴露在空气中时，其表面会与氧气反应生成氧化钼（ MoO_3 或 MoO_2 ）。这些氧化物通常呈现黑褐色或深灰色，覆盖在钼片表面，形成一层薄而致密的氧化膜。氧化反应的发生与加工环境中的温度和氧气浓度密切相关。例如，在高温退火（800–1000℃）过程中，若未在真空或惰性气体（如氩气或氮气）保护下进行，钼表面极易氧化。此外，钼片的黑褐色外观还可能受到轧制过程中使用的润滑剂残留或表面微量杂质的影响。这些润滑剂在高温下可能发生碳化，形成微量的碳基化合物，进一步加深表面颜色。黑褐色氧化层虽然在一定程度上能保护钼片免受进一步腐蚀，但在高精度应用（如半导体靶材或电子元件）中，这种氧化层往往需要通过后续处理去除，以确保表面清洁度和性能一致性。

1.3.1.2 钼片碱洗后银灰色光泽及处理原理

通过碱洗处理，钼片表面可呈现出标志性的银灰色金属光泽，这一外观不仅是钼金属的本征特征，也是其高纯度和表面清洁度的体现。碱洗过程通常使用氢氧化钠（ NaOH ）或氢氧化钾（ KOH ）等强碱溶液，在特定温度（50–80℃）下浸泡钼片，以去除表面的氧化物、油脂和有机残留物。碱洗的化学原理基于氧化钼与碱性溶液的反应，例如， MoO_3 与 NaOH 反应生成可溶性的钼酸钠（ Na_2MoO_4 ），从而剥离表面氧化层，露出钼金属的本色。此外，碱洗后通常会辅以去离子水冲洗和干燥工艺，以防止二次氧化并确保表面无残留化学物质。碱洗后的钼片表面粗糙度可低至 R_a 0.4 微米，呈现出镜面般的银灰色光泽，这种光泽不仅提升了美观性，还显著改善了钼片在真空环境下的性能，例如降低气体释放率，适合用于真空炉或溅射靶材。碱洗工艺的精确控制对于高端钼片产品尤为重要，例如中钨智造钼片通过优化碱洗工艺，确保表面光洁度和一致性，满足 ASTM B386 标准对高精度钼片的要求。

1.3.1.3 钼片的平整度

钼片的平整度是其外观特征和应用性能的重要指标，尤其在薄膜沉积、电子封装和精密机械组件等高精度应用中。平整度通常通过表面波纹度或平面度偏差来量化，优质钼片的平面度偏差可控制在 ± 0.01 毫米/米以内。

钼片的平整度受多种因素影响，包括轧制工艺、退火处理和材料厚度。

超薄钼片（厚度 <0.1 毫米）在冷轧过程中容易产生内应力，导致表面轻微起伏或波纹，因此需通过精确的应力消除退火（1100–1300℃）来改善晶粒结构和释放应力。较厚的钼片（ >1 毫米）则因材料刚性较高，平整度相对容易控制，但需避免轧制过程中的过度变形或不均匀

冷却。先进的轧制设备和多道次退火工艺能够显著提升钼片的平整度，例如通过真空退火炉控制温度梯度和冷却速率，可使钼片表面波纹度降至最低。此外，平整度还与表面处理相关，抛光或酸洗后的钼片因表面应力分布更均匀，通常具有更高的平整度。在实际应用中，高平整度的钼片可确保在薄膜沉积过程中靶材与基板的贴合度，或在电子封装中减少热应力集中，从而延长组件使用寿命。



中钨智造钨片

第二章 钨片的性能

2.1 钨片的物理性能

中钨智造钨片以其卓越的物理性能在航空航天、电子工业和高温应用中备受青睐，其性能涵盖密度、熔点、沸点、导电性、导热性和热膨胀系数等关键特性。这些性能源于钨金属的体心立方晶体结构和高原子结合能，使其在极端环境下展现出优异的稳定性和功能性。以下将详细探讨钨片的热膨胀系数，以及其力学性能中的高强度、延展性和抗高温蠕变性能，结合专业数据和工艺背景进行深度分析，以揭示其在高精度和高温场景中的应用价值。

2.1.1 钨片的密度

钨片的密度是其物理性能的重要指标，通常在 10.22 g/cm^3 左右（ 20°C 时），略低于钨（ 19.25 g/cm^3 ）但高于许多常见金属如铁（ 7.87 g/cm^3 ）或铝（ 2.70 g/cm^3 ）。这一密度值反映了钨金属的紧实原子排列，使其在保持较高强度的同时具有相对轻的质量，适合用于需要兼顾强度和重量的应用场景，如航空航天部件或高温炉的热屏蔽材料。钨片的密度受其纯度和微量掺杂元素的影响。例如，高纯度钨片（纯度 $\geq 99.95\%$ ）的密度接近理论值，而掺杂钼或钛的 TZM 钨合金片因添加了少量其他元素，密度可能略有变化（通常在 $10.16\text{--}10.20 \text{ g/cm}^3$ 之间）。在生产过程中，钨片的密度通过粉末冶金和后续轧制工艺得到精确控制。初始钨粉的粒度和烧结条件（如温度 $1800\text{--}2000^\circ\text{C}$ ，真空或氢气保护）会影响坯料的致密度，而多道次冷轧和退火进一步消除内部孔隙，确保钨片密度均匀。密度的一致性对于薄膜沉积或靶材应用尤为关键，因为任何微小密度偏差都可能导致溅射速率不均或材料性能不稳定。在实际测量中，钨片的密度通常通过阿基米德排水法或 X 射线密度计进行验证，误差控制在 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 以内，以满足高精度应用需求。

2.1.2 钼片的熔点

钼片的熔点是其最为突出的物理性能之一，约为 2620℃ (2893K)，在常见金属中仅次于钨 (3422℃) 和铼 (3180℃)。这一极高的熔点使钼片在高温环境下表现出色，广泛应用于真空炉、核反应堆和航空航天发动机的耐热部件。钼的高熔点源于其强的金属键和体心立方晶体结构，赋予其在高温下仍能维持较高的机械强度。例如，在 1200℃ 时，钼片的抗拉强度仍可保持在 700 MPa 以上，远超许多其他金属材料。熔点的稳定性还与钼片的纯度密切相关，高纯度钼片 (≥99.95%) 因杂质含量极低，其熔点更接近理论值，而微量杂质 (如碳、氧或氮) 可能略微降低熔点或引发局部性能变化。在生产过程中，钼片的熔点特性通过严格控制原料提纯和加工环境得以保留。例如，辉钼矿 (MoS₂) 提纯后需在真空或还原气氛下进行高温烧结，以避免氧化物夹杂影响材料性能。此外，钼片在高温应用中需注意其氧化倾向，在高于 600℃ 的氧化性气氛中，钼会迅速生成挥发性氧化物 (如 MoO₃)，因此通常在真空或惰性气体 (如氩气或氮气) 保护下使用，以充分利用其高熔点优势。钼片的这一特性使其成为高温炉内热屏蔽、溅射靶材和高温合金基材的理想选择。

2.1.3 钼片的沸点

钼片的沸点是其物理性能的另一关键特性，约为 4639℃ (4912K)，在金属材料中位居前列，仅次于少数高熔点金属如钨 (5555℃) 和铼 (5596℃)。这一极高的沸点使得钼片在极端高温条件下仍能保持结构稳定性，特别适合用于需要超高温操作的场景，如等离子体喷涂、真空蒸发或高温熔炼设备。钼的高沸点与其强的金属键和低蒸气压 (在 3000℃ 时蒸气压仅约为 10⁻⁷ Pa) 密切相关，这意味着即使在接近熔点的温度下，钼片的挥发损失也极低，能够长期维持其物理形态。沸点的稳定性受钼片纯度的影响，高纯度钼片 (≥99.95%) 因杂质含量低，沸点更接近理论值，而微量杂质 (如氧或碳) 可能引发局部挥发或表面缺陷。在生产过程中，钼片的沸点特性通过高纯度原料的选择和真空环境下的加工工艺得以优化。例如，在真空烧结或退火过程中 (温度通常控制在 1800-2000℃)，可有效减少氧化物或氮化物的生成，确保材料在高温下的稳定性。钼片的高沸点使其在航空航天领域 (如火箭喷嘴衬里) 或半导体工业 (如高温蒸发舟) 中具有独特优势，但在氧化性气氛中需避免高温暴露，以防止氧化物挥发导致材料损耗。

2.1.4 钼片的导电性

钼片的导电性是在电子工业中广泛应用的重要基础，其电阻率约为 5.2×10⁻⁸ Ω·m (20℃ 时)，对应电导率为 1.92×10⁷ S/m，表现出良好的导电性能。相较于铜 (电阻率 1.68×10⁻⁸ Ω·m) 或银 (1.59×10⁻⁸ Ω·m)，钼片的导电性稍逊，但其在高温下的导电稳定性远超许多常见导体材料。例如，在 1000℃ 时，钼片的电阻率仅增加至约 2.5 倍，而铜的电阻率可能增加 5 倍以上。这种高温导电稳定性使钼片成为电极材料、溅射靶材和高温电路元件的理想选择。钼片的导电性与其晶体结构和纯度密切相关，体心立方结构的钼金属具有较高的电子迁移率，而高纯度 (≥99.95%) 可减少晶界散射和杂质电阻。在生产过程中，钼片的导电性能通过控制轧制工艺和退火条件进一步优化。例如，应力消除退火 (1100-1300℃) 可改善晶粒结构，降低晶界电阻，从而提升导电性。此外，表面处理 (如抛光或酸洗) 能减少表

面氧化层对导电性的影响，确保钼片在真空或惰性环境下具有稳定的电学性能。钼片的导电性在半导体制造中尤为重要，例如作为溅射靶材用于沉积导电薄膜，或在 X 射线管中作为阳极材料。

2.1.5 钼片的导热性

钼片的导热性是其高温散热和热管理应用中的关键优势，其导热系数约为 $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ (20°C 时)，接近于铝 ($237 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) 但远高于不锈钢 (约 $16 \text{ W/m} \cdot \text{K}$)。这一优异的导热性能使钼片能够快速传递热量，广泛应用于高温炉的热屏蔽、电子器件的散热基板以及航空航天部件的热管理。钼片的导热性与其电子结构和晶体规整性密切相关，体心立方结构的钼金属具有较高的自由电子密度，有助于热量的快速传导。导热系数随温度升高略有下降，例如在 1000°C 时降至约 $100 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，但仍足以满足大多数高温应用需求。钼片的导热性能还受其纯度和微观结构影响，高纯度钼片 ($\geq 99.95\%$) 因晶界和杂质散射较少，导热性更优，而掺杂合金 (如 TZM) 可能因添加元素略降低导热系数 (约为 $120\text{--}130 \text{ W/m} \cdot \text{K}$)。在生产过程中，钼片的导热性通过优化烧结和轧制工艺得以提升，例如通过真空烧结减少内部孔隙，或通过冷轧和退火控制晶粒尺寸，以最小化热阻。在实际应用中，钼片的导热性使其在半导体封装中作为热沉材料，或在高温炉中作为热屏蔽层，能够有效降低温度梯度，延长设备寿命。

2.1.6 钼片的热膨胀系数

钼片的热膨胀系数是其高温应用中至关重要的物理性能，平均值为约 $4.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ($20\text{--}1000^\circ\text{C}$ 范围内)，远低于铜 ($16.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) 和铝 ($23.1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)，但与许多陶瓷材料 (如氧化铝，约 $7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) 和半导体基材 (如硅，约 $2.6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) 的热膨胀系数相近。这种低热膨胀系数使得钼片在高温环境下能够有效减少热应力，特别适合用于电子封装、薄膜沉积和热障涂层等需要热匹配的场景。低热膨胀系数源于钼金属的体心立方晶体结构，其原子间结合力强，限制了高温下晶格的膨胀。

钼片的热膨胀性能还受其纯度和加工工艺影响，高纯度钼片 ($\geq 99.95\%$) 的热膨胀系数更稳定，而掺杂合金 (如 TZM，含钛和锆) 可能略增加热膨胀系数 (约为 $5.0\text{--}5.3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)。在生产过程中，热膨胀系数的均匀性通过精确的轧制和退火工艺控制，例如通过真空退火 ($1100\text{--}1300^\circ\text{C}$) 优化晶粒结构，减少微观应力集中，确保热膨胀行为一致。钼片的低热膨胀系数在半导体制造中尤为关键，例如作为芯片封装的基板材料，能够有效降低因温度变化引起的热失配应力，从而提高器件可靠性。此外，在高温炉或航空航天部件中，钼片的低热膨胀特性有助于维持结构稳定性，延长使用寿命。

2.2 钼片的力学性能

钼片的力学性能，包括高强度、延展性和抗高温蠕变性能，是其在苛刻工况下应用的核心优势。钼金属的体心立方晶体结构赋予其优异的机械强度，但也带来一定的低温脆性。通过先进的加工工艺，如冷轧、热轧和退火，可以优化钼片的力学性能，使其在常温和高温下均表现出色。以下将详细分析钼片的高强度、延展性和抗高温蠕变性能，结合专业数据揭示其在航空航天、核工业和高温炉具等领域的适用性。

2.2.1 钼片的高强度

钼片的高强度是其在高负荷和高温环境下的重要特性，其抗拉强度在室温下可达 800–1000 MPa，远高于许多常见金属如铝（约 200 MPa）或不锈钢（约 500 MPa）。在高温条件下，例如 1200℃，钼片的抗拉强度仍可保持在 700 MPa 以上，展现出卓越的强度稳定性。这种高强度源于钼金属的强金属键和高弹性模量（约 320 GPa），使其能够承受显著的机械应力。钼片的强度受其纯度和加工工艺的影响，高纯度钼片（≥99.95%）因晶界杂质少，强度更高，而掺杂合金（如 TZM）通过添加钛、锆等元素进一步提升高温强度（可达 1200 MPa 以上）。在生产过程中，钼片的强度通过多道次轧制和应力消除退火进行优化。冷轧工艺通过引入位错和晶粒细化显著提高强度，而退火（1100–1300℃）可平衡强度和韧性，避免过度脆化。钼片的高强度使其在航空航天领域（如涡轮叶片的支撑结构）或核工业（如反应堆容器衬里）中具有重要应用，能够承受极端机械负荷和高温应力。

2.2.2 钼片的延展性

钼片的延展性是其力学性能的重要方面，尽管其体心立方晶体结构在常温下表现出一定脆性，但在适当条件下可实现较好的延展性。室温下，钼片的断裂伸长率通常在 5–10% 之间，低于铜（约 50%）等高延展性金属，但通过高温加工或退火可显著改善其延展性。例如，在 1000–1200℃ 的再结晶温度下，钼片的断裂伸长率可提高至 20% 以上，适合用于复杂形状的成型加工。延展性的提升与晶粒结构的优化密切相关，冷轧后的钼片因高位错密度而较脆，但通过真空退火（1100–1300℃）可促进晶粒再结晶，降低内应力和位错密度，从而增强延展性。高纯度钼片（≥99.95%）因杂质少，延展性更优，而掺杂合金（如 TZM）在高温下延展性略有下降，但仍优于纯钼在低温时的表现。在生产过程中，钼片的延展性通过精确控制轧制道次和退火工艺得以优化，例如采用多道次小变形量轧制结合低温退火，可在保持强度的同时提升延展性。钼片的延展性使其在薄膜沉积、冲压成型和精密加工中具有广泛应用，例如在半导体行业中作为柔性基板或靶材。

2.2.3 钼片的抗高温蠕变性能

钼片的抗高温蠕变性能是其在高温长期载荷下的关键优势，尤其在航空航天和高温炉具等应用中表现突出。蠕变是指材料在高温和持续应力下发生的缓慢形变，钼片在高温下（1000–1500℃）的蠕变速率极低，例如在 1200℃ 和 100 MPa 应力下，其蠕变速率可低至 10^{-6} /s，远优于不锈钢（约 10^{-4} /s）。这种优异的抗蠕变性能源于钼金属的高熔点和强金属键，以及其体心立方晶体结构在高温下的稳定性。掺杂合金（如 TZM）通过添加钛、锆和碳元素形成析出相，进一步增强抗蠕变性能，其蠕变强度可比纯钼提高 30–50%。在生产过程中，抗蠕变性能通过优化晶粒尺寸和掺杂工艺得以提升，例如通过控制烧结温度（1800–2000℃）和冷却速率，可形成细小且均匀的晶粒结构，减少晶界滑移和蠕变形变。此外，钼片的抗蠕变性能还与其表面状态和使用环境相关，在真空或惰性气氛下，钼片可避免氧化物形成，从而维持长期高温稳定性。钼片的抗高温蠕变性能使其在高温炉内构件、核反应堆支撑结构和航空航天高温部件中具有不可替代的作用，能够在极端条件下保持形状和强度。

2.2.4 钼片的硬度

中钨智造钼片的硬度是其力学性能的重要体现，使其在耐磨和高负荷应用中具有显著优势。钼片的硬度通常以维氏硬度(HV)或布氏硬度(HB)表示，室温下高纯度钼片(纯度 $\geq 99.95\%$)的维氏硬度范围为 220–250 HV，相当于布氏硬度约 230–260 HB，远高于铝(约 30 HV)并接近于某些低合金钢。这种高硬度源于钼金属的体心立方晶体结构及其强的原子结合力，能够有效抵抗表面划伤和形变。硬度受加工工艺和掺杂元素的影响，冷轧钼片因位错密度增加，硬度可提升至 280 HV 以上，而退火处理(1100–1300℃)会略降低硬度至 200–220 HV，以平衡韧性。掺杂合金如 TZM(含钛、锆和碳)通过析出强化机制，硬度可达 300–350 HV，特别适合高温高负荷环境。在生产过程中，硬度通过控制轧制变形量和退火工艺精确调节，例如多道次冷轧结合低温退火可优化晶粒尺寸，保持高硬度同时避免脆性。钼片的高硬度使其在溅射靶材、切削工具涂层基材和高温模具中表现出色，能够承受机械磨损和表面应力。

2.2.5 钼片的韧性

钼片的韧性是指其在受力时吸收能量并抵抗断裂的能力，尽管其体心立方晶体结构在常温下表现出一定脆性，但通过适当工艺优化，钼片可展现出适中的韧性。在室温下，钼片的断裂韧性(K_{IC})通常在 10–15 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 之间，低于高韧性金属如铜(约 50 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)，但在高温(1000–1200℃)下，韧性显著提高，断裂韧性可达 20 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 以上。这得益于高温下晶界滑移和位错运动的增强，降低了脆性断裂倾向。钼片的韧性受纯度和微观结构影响，高纯度钼片($\geq 99.95\%$)因杂质少，晶界较清洁，韧性更优，而掺杂合金如 TZM 通过析出相强化可在高温下保持韧性与强度的平衡。在生产中，韧性通过控制晶粒尺寸和退火工艺优化，例如通过真空退火(1100–1300℃)形成均匀细小的晶粒，可有效提高韧性并减少裂纹扩展。钼片的韧性使其在航空航天部件(如高温喷嘴)和电子基板中具有优势，能够承受热冲击和机械振动而不易断裂。

2.2.6 钼片的耐疲劳性能

钼片的耐疲劳性能反映了其在循环应力下抵抗疲劳裂纹萌生和扩展的能力，是其在动态载荷应用中的关键特性。在室温下，钼片的疲劳极限(即在 10^7 次循环下不发生断裂的应力)约为 400–500 MPa，约为其抗拉强度的 50%。在高温(1000℃)下，疲劳极限略降至 300–400 MPa，但仍优于许多金属材料。钼片的耐疲劳性能与其晶体结构和表面质量密切相关，体心立方结构的钼金属具有较高的疲劳裂纹扩展阻力，而高纯度钼片($\geq 99.95\%$)因晶界杂质少，疲劳性能更佳。掺杂合金如 TZM 通过析出强化可进一步提高疲劳寿命。在生产过程中，耐疲劳性能通过优化轧制和表面处理工艺提升，例如抛光表面($R_a \leq 0.4$ 微米)可减少表面微裂纹的萌生点，而应力消除退火(1100–1300℃)能降低残余应力，延长疲劳寿命。钼片的耐疲劳性能使其在航空航天(如涡轮叶片支撑)和高温振动环境(如核反应堆部件)中表现出色，能够承受长期循环载荷而不失效。

2.3 钼片的化学性能

钼片的化学性能，包括耐腐蚀性和抗氧化性，决定了其在苛刻化学环境中的适用性。钼金属

因其稳定的化学性质和低反应活性，在非氧化性酸、碱和多种化学介质中表现出优异的耐腐蚀性，但在氧化性气氛中需特别注意其表面保护。以下将详细探讨钼片的耐腐蚀性和抗氧化性，结合专业数据揭示其在化学环境中的表现。

2.3.1 钼片的耐腐蚀性

钼片的耐腐蚀性是在化学工业和极端环境中的重要优势，尤其在非氧化性酸和碱性环境中表现突出。钼片对盐酸、硫酸和氢氟酸等非氧化性酸具有极佳的耐蚀性，例如在浓度为 10% 的盐酸（20℃）中，其腐蚀速率低于 0.01 mm/年，远优于不锈钢（约 0.1 mm/年）。在碱性环境（如氢氧化钠溶液）中，钼片同样表现出色，腐蚀速率在 0.005 mm/年以下。这得益于钼金属的化学惰性和高电极电位，使其不易与非氧化性介质发生电化学反应。然而，在氧化性酸（如浓硝酸）中，钼片的耐腐蚀性较差，因易形成可溶性钼酸盐。钼片的耐腐蚀性与其表面状态和纯度密切相关，高纯度钼片（≥99.95%）因杂质少，晶界腐蚀倾向低，而抛光或酸洗表面（ $R_a \leq 0.4$ 微米）可进一步减少腐蚀点。在生产中，耐腐蚀性通过优化提纯工艺和表面处理得以增强，例如通过真空烧结去除氧和氮杂质，或采用碱洗去除表面氧化物。钼片的耐腐蚀性使其在化学反应器衬里、电极材料和海洋工程中具有广泛应用。

2.3.2 钼片的抗氧化性

钼片的抗氧化性在高温环境下是其化学性能的限制因素，因钼金属在氧化性气氛中易生成挥发性氧化物。低于 600℃ 时，钼片表面可形成一层薄而致密的氧化物层（如 MoO_2 ），提供一定保护，但在 600℃ 以上，钼迅速氧化生成挥发性三氧化钼（ MoO_3 ），其挥发速率在 800℃ 时可达 0.1 g/cm² · h，导致材料快速损耗。这一特性使得钼片在氧化性气氛中的高温应用受限，通常需在真空或惰性气体（如氩气或氮气）保护下使用，以避免氧化损失。在真空环境中，钼片的抗氧化性显著提高，即使在 1500℃ 也能保持表面稳定。抗氧化性受钼片纯度和表面处理影响，高纯度钼片（≥99.95%）因杂质少，氧化速率较低，而掺杂合金（如 TZM）通过添加钛和锆可略改善抗氧化性。在生产中，抗氧化性通过表面涂层（如硅化物或氧化铝涂层）或真空退火工艺优化，例如在 1200℃ 真空退火可减少表面氧吸附。钼片的抗氧化性限制了其在空气高温环境中的直接使用，但在真空炉、半导体制造和核工业中，其高温稳定性使其成为理想选择。

2.4 中钨智造钼片 MSDS

中钨智造钼片作为一种高纯度金属材料，其材料安全数据表（Material Safety Data Sheet, MSDS）或安全数据表（Safety Data Sheet, SDS）是确保其安全使用、储存和运输的重要文件，符合国际危险化学品分类与标签全球协调系统（GHS）的要求。尽管钼片本身在常规条件下被视为非危险物质，但其 MSDS 提供了详细的理化特性、健康与环境风险、安全操作指南以及应急措施等信息，以保障职业安全和合规性。以下从理化特性、健康与环境影响、操作与储存、防护措施和应急处理等方面，详细阐述中钨智造钼片的 MSDS 内容。

中钨智造钼片的理化特性是 MSDS 的核心部分，为用户提供材料的基本物理和化学信息。其化学成分为高纯度钼（纯度 ≥ 99.95%），化学符号 Mo，原子序数 42，密度约为 10.22 g/cm³

版权与免责声明

(20°C)，熔点约为 2620°C，沸点约为 4639°C。钼片呈银灰色金属光泽，通常以薄片或箔的形式存在，厚度范围从 0.01 毫米到 3 毫米。表面处理（如抛光或酸洗）会影响其外观和粗糙度 (Ra 0.4-1.6 微米)。钼片在常温下化学性质稳定，不溶于水，与非氧化性酸（如盐酸、硫酸）和碱性溶液反应性低，但在高温氧化性气氛(>600°C)中易生成挥发性三氧化钼(MoO₃)。MSDS 明确指出，钼片的闪点和自燃点不适用，因其为固态金属，且在常规条件下不具有爆炸或易燃风险。这些特性为安全操作提供了基础，确保用户了解其物理行为和潜在化学反应。

健康与环境影响是 MSDS 的重要内容，旨在评估钼片对人体和环境的潜在风险。钼片在正常使用条件下对人体无显著健康危害，其毒性极低，急性口服毒性 (LD50) 数据通常不可用，因纯钼不被视为毒性物质。然而，加工过程中（如切割、研磨或焊接）可能产生钼粉尘或烟雾，吸入高浓度粉尘可能引发轻度呼吸道刺激，长期暴露可能导致肺部不适。MSDS 建议避免吸入粉尘，并确保工作场所通风良好。皮肤和眼睛接触钼片通常无害，但锋利边缘可能导致机械性划伤，需注意操作安全。从环境角度看，钼片本身对水体、土壤和空气无直接污染风险，但加工产生的钼粉尘或废料若未经妥善处理，可能对局部环境造成影响。MSDS 强调，钼片废弃物应按当地法规分类回收，避免直接排放到环境中，以符合环保要求。

安全操作与储存是 MSDS 的关键指导部分，确保钼片在工作场所的安全使用。中钨智造钼片应储存在干燥、通风良好的环境中，避免高温 (>600°C) 和氧化性气氛，以防止表面氧化。储存区域需远离强氧化剂(如浓硝酸)或高温火源，因钼在高温下可能与氧气反应生成 MoO₃。MSDS 建议使用适当的个人防护装备 (PPE)，如防护手套、安全眼镜和防尘口罩，特别是在切割、研磨或焊接时，以防止粉尘吸入或机械伤害。操作设备时，应配备局部排气通风系统，确保粉尘浓度低于职业暴露限值（如 OSHA PEL 或 ACGIH TLV，推荐钼粉尘暴露限值约为 10 mg/m³）。运输方面，钼片不属于国际海事危险货物 (IMDG) 或国际航空运输协会 (IATA) 的危险品类别，但需妥善包装以避免物理损伤或污染。MSDS 还建议定期检查储存设施，确保无潮湿或高温环境影响材料性能。

应急措施是 MSDS 的另一核心内容，为意外情况提供快速响应指导。若发生钼片加工产生的粉尘吸入，MSDS 建议将受影响人员移至新鲜空气处，如症状持续需就医。皮肤接触钼片导致划伤时，应立即用清水冲洗伤口并进行适当的伤口处理；若钼粉尘进入眼睛，需用大量清水冲洗至少 15 分钟，并寻求医疗建议。火灾情况下，钼片本身不易燃，但若涉及高温氧化，应使用干粉或二氧化碳灭火剂，避免使用水基灭火剂以防反应加剧。泄漏或废弃物处理方面，MSDS 要求使用吸尘设备或湿式清洁方法收集钼粉尘，避免扬尘，并将废料送至授权的回收设施处理，禁止随意丢弃。应急联系信息通常包括制造商（中钨智造）的紧急电话和地址，以便在事故发生时获取技术支持。

中钨智造钼片的 MSDS 还需符合国际和地区法规要求，如 OSHA 危险沟通标准 (29 CFR 1910.1200)、欧盟 REACH 法规 (EC No 1907/2006) 和中国 GB/T 16483-2008 标准。文档采用 GHS 标准的 16 节格式，包括物质标识、危险分类、成分信息、急救措施、消防措施、泄漏应急处理、操作与储存、暴露控制、理化特性、稳定性和反应性、毒理信息、生态信息、废弃处置、运输信息、法规信息及其他信息。MSDS 需每三年更新一次，或在发现新危险信息时及时修订，确保信息的准确性和合规性。用户可通过中钨智造官方网站或联系其客户服务部门获取最新的 MSDS 文件，以确保操作符合职业安全和环保法规。

版权与法律责任声明

中钨智造科技有限公司
钼片产品介绍

一、钼片概述

钼片是由高纯度钼材经过轧制加工而成的金属薄片，具有良好的耐高温性、导热性和机械强度。常用于电子、冶金、真空设备、航天和照明等领域，作为加热元件、隔热屏或结构材料。钼片表面平整、尺寸精确，根据需求定制不同规格，广泛应用于各类高端制造和科研设备中。

二、钼片特性

高纯度原材：纯度高达 99.95% 以上，杂质含量极低

耐高温性能：熔点高达 2610° C，稳定工作于极端环境

优良的加工性：平整度高，表面光洁，便于冲压、剪切及焊接

多种规格可选：支持定制尺寸、厚度，满足不同工艺需求

三、钼片规格

参数	规格范围
纯度	≥99.95%
厚度	0.01 毫米-3.00 毫米
宽度	50 毫米-600 毫米
长度	定制长度或卷材形式
表面处理	抛光面、碱洗面、喷砂面
厚度公差	±0.005 毫米- ±0.2 毫米
表面粗糙度	Ra 0.8 微米- Ra 3.2 微米

四、钼片生产流程

钼坯(原材料)-检验-热轧-校平及退火-碱洗-检验-温扎-真空退火-检验-冷轧-校平-剪切真空退火-检验-包装

五、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595; 592 5129696

更多钼片资讯，请访问中钨在线网站（molybdenum.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

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



中钨智造钨片

第三章 钨片的分类方式

钨片的分类方式多样，通常根据其纯度、合金成分、加工工艺或应用场景进行划分，以满足不同工业领域的需求。纯度是钨片分类的重要依据之一，因为纯度直接影响其物理、化学和力学性能，进而决定其在高温、电子、航空航天等领域的适用性。中钨智造钨片以其高品质和多样化的分类标准，在市场上具有广泛应用。以下将重点探讨按纯度分类的钨片，详细分析高纯钨片（ $\geq 99.95\%$ 纯度）和普通纯度钨片（ $99\% - 99.9\%$ 纯度）的特性、制备工艺及应用场景。

3.1 按纯度分类钨片

按纯度分类是钨片最常见的分级方式之一，通常基于钨金属的纯度水平分为高纯钨片（纯度 $\geq 99.95\%$ ）和普通纯度钨片（纯度 $99\% - 99.9\%$ ）。纯度的差异主要源于原料提纯工艺和生产过程中的杂质控制，影响钨片的性能参数，如导电性、导热性、耐腐蚀性和高温稳定性。不同纯度的钨片在生产工艺、成本和应用领域上存在显著差异，高纯钨片通常用于高精度和苛刻环境，而普通纯度钨片则更适合成本敏感的通用场景。

3.1.1 高纯钨片（ $\geq 99.95\%$ 纯度）

高纯钨片是指钨金属含量达到或超过 99.95% 的薄片材料，通常通过多级提纯工艺从辉钨矿（ MoS_2 ）中提取，并采用先进的真空熔炼或电子束精炼技术去除氧、碳、氮等杂质。其杂质含量极低（总杂质 $< 500 \text{ ppm}$ ），如铁、镍、硅等元素含量通常控制在 $10-50 \text{ ppm}$ 以内。这种高纯度赋予钨片优异的电学、热学和机械性能，例如电阻率低至 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ，导热系数约为 $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，抗拉强度在室温下可达 $800-1000 \text{ MPa}$ 。高纯钨片的表面质量也更优，

经过抛光或酸洗处理后，表面粗糙度可低至 Ra 0.4 微米，适合高精度应用。在生产过程中，高纯钼片需在真空或高纯惰性气体（如氩气）环境下进行烧结（1800–2000℃）和轧制，以防止氧化和杂质引入。退火工艺（1100–1300℃）进一步优化其晶粒结构，提升延展性和韧性。高纯钼片的典型应用包括半导体行业的溅射靶材，用于沉积高精度薄膜；航空航天领域的高温部件，如火箭喷嘴衬里；以及核工业中的辐射屏蔽材料，因其低杂质含量可减少中子捕获截面。此外，高纯钼片在 X 射线管阳极和高温真空炉热屏蔽中也表现出色，其高熔点（2620℃）和低热膨胀系数（ $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）确保了在极端条件下的稳定性。然而，高纯钼片的制备成本较高，提纯和加工工艺复杂，使其主要用于高端应用。

3.1.2 普通纯度钼片（99% – 99.9%纯度）

普通纯度钼片是指钼含量在 99%至 99.9%之间的薄片材料，其杂质含量（1000–10,000 ppm）高于高纯钼片，常见杂质包括铁、镍、碳、氧等，含量可能在 100–500 ppm 范围内。普通纯度钼片的性能略低于高纯钼片，例如电阻率略高（约 $5.5\text{--}6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ），导热系数略低（约 $130\text{--}135 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ），抗拉强度在室温下为 700–900 MPa。尽管如此，其性能仍足以满足许多工业需求，且生产成本较低，适合大规模生产和成本敏感的应用。普通纯度钼片的制备工艺相对简化，通常采用常规粉末冶金技术，通过焙烧辉钼矿得到氧化钼（ MoO_3 ），再经氢气还原制成钼粉，随后进行烧结和轧制。烧结过程可在氢气保护下进行（1600–1800℃），以降低氧化风险，但对杂质控制要求不如高纯钼片严格。表面处理多采用酸洗或喷砂，表面粗糙度一般在 Ra 0.8–1.6 微米之间，满足通用应用需求。普通纯度钼片广泛应用于高温炉的热屏蔽、化工设备的耐腐蚀衬里以及电子行业的低精度电极材料。例如，在电阻加热炉中，普通纯度钼片作为加热元件或支撑结构，能承受 1000–1500℃ 的高温环境。在某些机械部件中，其适中的强度和延展性也使其成为经济型选择。尽管普通纯度钼片在耐腐蚀性和高温稳定性上略逊于高纯钼片，但在非氧化性环境或中等精度要求的场景下，其性价比优势显著。

3.2 按制造工艺分类钼片

钼片的制造工艺对其性能、微观结构和应用场景具有重要影响，因此按制造工艺分类是钼片分类的另一重要方式。制造工艺主要包括粉末冶金法和轧制工艺，其中轧制工艺进一步分为热轧和冷轧两种方式。不同工艺生产的钼片在晶粒结构、表面质量、机械性能和成本等方面存在显著差异，满足从高温工业到精密电子的多样化需求。中钨智造钼片通过优化制造工艺，确保产品性能符合特定应用场景的要求。以下将详细探讨粉末冶金法制造的钼片、热轧钼片和冷轧钼片的工艺特点、性能表现及应用领域。

3.2.1 粉末冶金法制造的钼片

粉末冶金法是生产钼片的基础工艺，适用于制备高纯度和复杂形状的钼片材料。其工艺流程包括从辉钼矿（ MoS_2 ）提取氧化钼（ MoO_3 ），通过氢气还原生成高纯钼粉（纯度 $\geq 99.95\%$ ），随后进行压制、烧结和后续加工。钼粉通常在高压下（100–200 MPa）压制成药料，并在真空或氢气保护气氛下烧结（温度 1800–2000℃），以形成致密的钼坯。烧结过程中，钼粉颗粒通过扩散结合，晶粒尺寸通常控制在 10–50 微米，致密度可达 98%以上。粉末冶金法制造的钼片具有均匀的微观结构和较高的纯度，杂质含量（如氧、碳）可控制在 50 ppm 以内，适

合高精度应用。所得钼片的密度接近理论值 (10.22 g/cm^3)，抗拉强度在室温下约为 700–900 MPa，表面粗糙度 ($Ra \text{ } 0.8\text{--}1.6 \text{ 微米}$) 可通过后续抛光优化。粉末冶金法的优势在于能够生产超薄钼片 (厚度 $0.01\text{--}0.1 \text{ 毫米}$) 以及定制形状的坯料，适用于半导体行业的溅射靶材和高温炉的热屏蔽。然而，该工艺成本较高，且生产周期较长，限制了其在大规模低成本应用中的使用。粉末冶金法制造的钼片广泛应用于电子工业、核工业和航空航天领域，例如作为 X 射线管阳极材料或高温真空炉构件。

3.2.2 轧制工艺制造的热轧钼片

热轧工艺是通过在高温下 (通常 $1000\text{--}1400^\circ\text{C}$) 对钼坯进行轧制加工，制备厚度一般在 $0.5\text{--}3 \text{ 毫米}$ 的钼片。热轧过程通常在真空或惰性气体 (如氩气) 保护下进行，以防止钼在高温下氧化。钼坯首先通过粉末冶金法制备，然后在高温轧机中经过多道次轧制，每次变形量控制在 $20\text{--}30\%$ ，以逐步减薄并改善晶粒结构。热轧钼片的晶粒尺寸较大 ($50\text{--}100 \text{ 微米}$)，因高温加工促进了晶粒再结晶，赋予其较好的延展性 (断裂伸长率约 $10\text{--}15\%$) 和较低的内应力。热轧钼片的抗拉强度在室温下约为 $600\text{--}800 \text{ MPa}$ ，略低于冷轧钼片，但其高温强度 (1000°C 时约 500 MPa) 表现优异，适合高温环境。表面质量方面，热轧钼片表面粗糙度一般在 $Ra \text{ } 1.0\text{--}2.0 \text{ 微米}$ ，可通过酸洗或喷砂处理优化。热轧工艺的优点是生产效率高，适用于制造较厚钼片，成本相对粉末冶金法较低，但厚度控制精度 ($\pm 0.05 \text{ 毫米}$) 稍逊于冷轧工艺。热轧钼片广泛应用于高温炉的加热元件、航空航天结构件 (如涡轮叶片支撑) 和化工设备的耐腐蚀衬里，因其兼具强度和高温稳定性，满足中等精度和耐用性要求。

3.2.3 轧制工艺制造的冷轧钼片

冷轧工艺是在室温或接近室温条件下对钼坯或热轧钼片进行进一步轧制，生产厚度通常在 $0.01\text{--}1 \text{ 毫米}$ 的超薄钼片。冷轧过程通过高精度轧机实现，每次变形量控制在 $10\text{--}20\%$ ，以避免过度应力导致裂纹。冷轧钼片的晶粒尺寸较小 ($5\text{--}20 \text{ 微米}$)，因加工硬化效应显著，位错密度增加，使其抗拉强度在室温下可达 $900\text{--}1200 \text{ MPa}$ ，远高于热轧钼片。然而，冷轧钼片的延展性较低 (断裂伸长率约 $5\text{--}8\%$)，常需通过应力消除退火 ($800\text{--}1100^\circ\text{C}$) 改善韧性，退火后强度略降至 $800\text{--}1000 \text{ MPa}$ ，但断裂伸长率可提高至 $10\text{--}12\%$ 。冷轧钼片的表面质量优异，抛光后表面粗糙度可低至 $Ra \text{ } 0.4 \text{ 微米}$ ，厚度公差控制在 $\pm 0.005 \text{ 毫米}$ 以内，满足高精度应用需求。冷轧工艺的优点在于能够生产超薄、高强度的钼片，适合电子行业的高精度溅射靶材、半导体封装基板和柔性电子元件。然而，冷轧工艺对设备要求高，加工过程中需严格控制润滑和温度，以防止表面缺陷或裂纹。冷轧钼片因其高强度、优异表面质量和尺寸精度，广泛应用于薄膜沉积、微电子器件和医疗设备 (如 X 射线管组件)，是高端制造领域的首选材料。

3.3 按应用领域分类钼片

钼片的多样化性能使其在多个工业领域中具有广泛应用，根据具体应用场景的不同，可将其分为电子领域、冶金工业领域、化工领域、航空航天领域及其他领域的钼片。不同应用领域对钼片的纯度、厚度、表面质量和性能要求各异，促使制造商优化生产工艺以满足特定需求。中钨智造钼片凭借其高品质和定制化特性，在各领域中均表现出色。以下将详细探讨钼片在

电子、冶金工业、化工、航空航天及其他领域的应用特点、性能要求及典型用途。

3.3.1 在电子领域应用的钼片

在电子领域，钼片因其优异的导电性（电阻率约 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ）、导热性（约 $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）和低热膨胀系数（约 $4.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ）而被广泛使用，特别是在半导体制造和微电子器件中。高纯度钼片（ $\geq 99.95\%$ ）是电子领域的首选，因其低杂质含量可减少晶界电阻和气体释放，确保器件可靠性。

钼片常用于溅射靶材，生产薄膜晶体管（TFT）、太阳能电池和集成电路的导电层，厚度通常在 $0.01\text{--}0.1$ 毫米，表面粗糙度要求低至 $R_a 0.4$ 微米，以保证薄膜均匀性。此外，钼片在电子封装中用作散热基板，与硅（热膨胀系数约 $2.6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ）和陶瓷材料热匹配良好，能有效降低热应力，延长芯片寿命。在 X 射线管中，钼片作为阳极或支撑材料，因其高熔点（ 2620°C ）和良好的导电性，可承受高能电子轰击。生产中，电子领域钼片需采用冷轧和真空退火工艺（ $1100\text{--}1300^\circ\text{C}$ ），确保高精度和表面质量。钼片的这些特性使其在半导体、显示器和光电子行业中不可或缺。

3.3.2 在冶金工业领域应用的钼片

在冶金工业领域，钼片主要用于高温炉的构件和冶炼设备的部件，凭借其高熔点（ 2620°C ）和优异的高温强度（ 1200°C 时抗拉强度约 700 MPa ）。普通纯度钼片（ $99\%\text{--}99.9\%$ ）因成本较低，常用于制造热屏蔽、加热元件和坩埚衬里，厚度范围通常在 $0.5\text{--}3$ 毫米。热轧钼片因其良好的延展性（断裂伸长率约 $10\%\text{--}15\%$ ）和较低的内应力，适合高温炉内复杂形状构件的加工。在真空或惰性气氛（如氩气或氮气）下，钼片可耐受 1500°C 以上的高温而不变形，广泛应用于高温烧结炉、单晶生长炉和玻璃熔炼设备。钼片的抗高温蠕变性能（蠕变速率在 1200°C 下低至 $10^{-6}/\text{s}$ ）确保其在长期高温载荷下保持稳定性。生产中，冶金用钼片多采用粉末冶金和热轧工艺，表面可通过酸洗处理以提升耐腐蚀性。钼片在冶金工业中的应用显著提高了设备耐用性和工艺效率，例如在钨、钼和其他难熔金属的冶炼过程中作为关键部件。

3.3.3 在化工领域应用的钼片

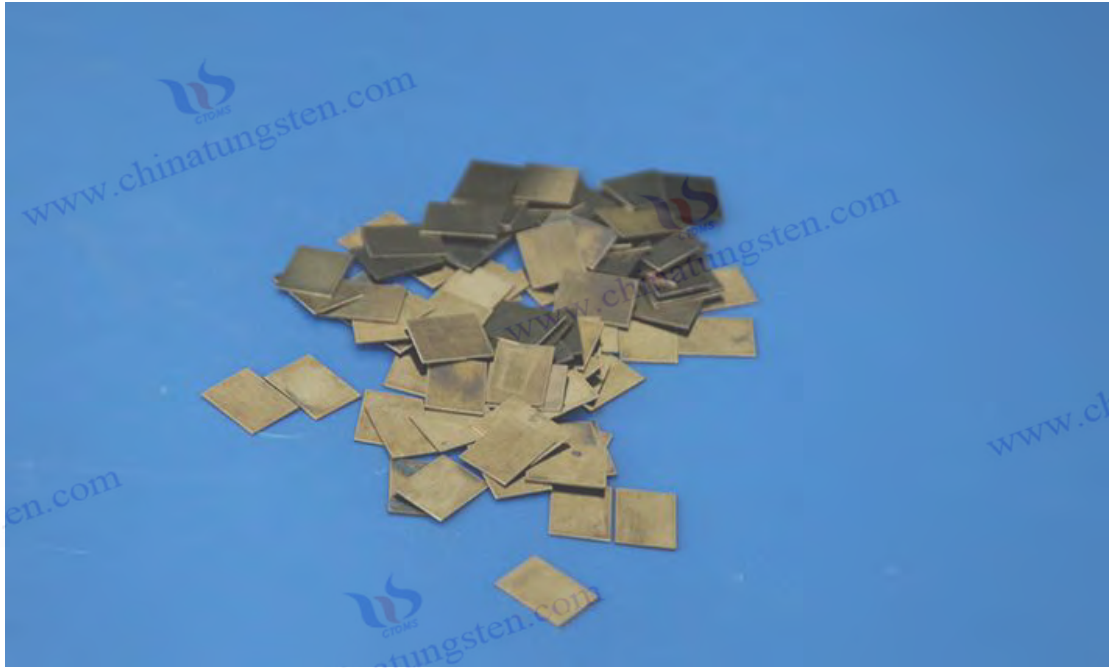
在化工领域，钼片因其优异的耐腐蚀性而被广泛用于反应器衬里、电极材料和耐蚀构件，尤其在非氧化性酸（如盐酸、硫酸）和碱性环境中表现突出，其腐蚀速率在 10% 盐酸（ 20°C ）中低于 0.01 mm/年 。普通纯度钼片（ $99\%\text{--}99.9\%$ ）因成本效益高，常用于化工设备，厚度一般在 $0.2\text{--}2$ 毫米，表面多采用酸洗处理（ $R_a 0.8\text{--}1.6$ 微米）以确保清洁度。钼片在电化学工业中用作电极材料，例如在电解制备氯气或氢气的过程中，因其高导电性和化学稳定性能承受腐蚀性电解液的侵蚀。然而，在氧化性酸（如浓硝酸）或高温氧化性气氛中，钼片易形成挥发性 MoO_3 ，需通过表面涂层（如硅化物）或在惰性气氛下使用以增强保护。生产中，化工用钼片通过粉末冶金和轧制工艺优化，严格控制氧和氮杂质（ $<100 \text{ ppm}$ ）以提升耐蚀性。钼片在化工领域的应用，如耐腐蚀反应器内衬和管道支撑材料，显著提高了设备在苛刻化学环境下的寿命。

3.3.4 在航空航天领域应用的钼片

在航空航天领域，钼片因其高强度（室温抗拉强度 800–1000 MPa）、高熔点（2620℃）和低热膨胀系数（ $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）而被用于高温结构件和耐热部件。高纯度钼片（ $\geq 99.95\%$ ）或 TZM 合金钼片（含钛、锆）因其优异的高温性能（1500℃时抗拉强度可达 800 MPa）和抗蠕变能力（蠕变速率 $10^{-6}/\text{s}$ ），常用于火箭喷嘴衬里、涡轮叶片支撑和再入飞行器的热屏蔽。钼片的低密度（ 10.22 g/cm^3 ）相比钨（ 19.25 g/cm^3 ）更具重量优势，适合航空航天对轻量化的要求。冷轧钼片因其高精度（厚度公差 ± 0.005 毫米）和表面质量（ $R_a \leq 0.4$ 微米），在精密部件如卫星热控系统中有广泛应用。生产中，航空航天用钼片需通过真空烧结和多道次轧制工艺，确保晶粒细小（5–20 微米）以提升强度和韧性。钼片在航空航天领域的应用显著提高了部件在极端高温和机械应力下的可靠性，例如在火箭发动机和高温推进系统中。

3.3.5 在其他领域应用的钼片

在其他领域，钼片因其多功能性被应用于医疗、能源和科研等场景。在医疗领域，高纯度钼片（ $\geq 99.95\%$ ）用于 X 射线和 CT 设备的阳极靶材，因其高熔点和导电性可承受高能电子轰击，厚度通常在 0.1–1 毫米，表面需抛光至 $R_a 0.4$ 微米以确保辐射均匀性。在能源领域，钼片用于太阳能薄膜电池的背电极和核反应堆的辐射屏蔽，因其低热中子捕获截面和高温稳定性（1500℃下仍稳定）。在科研领域，钼片作为高温实验的样品基板或电极材料，广泛用于材料科学和物理实验，其厚度可低至 0.01 毫米以满足高精度实验需求。其他应用还包括珠宝加工（作为高温模具）和照明行业（作为灯丝支撑材料）。生产中，这些钼片多采用冷轧和真空退火工艺，优化晶粒结构和表面质量以适应特定需求。尽管应用场景多样，这些钼片通常需在真空或惰性气氛下使用，以避免高温氧化，确保性能稳定。



中钨智造钨片

第四章 钨片生产制备工艺

4.1 钨片生产前的原料准备

钨片的生产制备工艺始于高质量原料的获取和处理，原料准备是确保钨片性能的关键环节，直接影响其纯度、微观结构和最终应用效果。钨片的原料主要来源于钨矿石，其中辉钨矿（ MoS_2 ）是主要的钨源。原料准备过程包括矿石的开采、选矿和初步提纯，为后续粉末冶金和轧制工艺提供高纯度钨粉。中钨智造钨片通过严格的原料准备流程，确保原料的高纯度和一致性，满足航空航天、电子和高温工业的苛刻要求。以下将详细探讨钨矿石的种类与特性、开采及选矿方法，重点分析辉钨矿的特性与分布以及露天开采的流程与要点。

4.1.1 钨矿石的种类与特性

钨矿石是钨片生产的基础原料，主要以硫化物形式存在，辉钨矿（ MoS_2 ）是最常见的钨矿物，占全球钨资源的主要部分。其他钨矿石类型包括钨酸盐（如钨酸钙 CaMoO_4 ）和氧化钨矿（如 MoO_3 ），但因储量较少或开采难度大，使用较少。辉钨矿因其高钨含量（约 60%钨）和易选别特性，成为钨片生产的主要原料。钨矿石的特性直接影响提纯工艺和最终钨片的性能，例如矿石中的杂质（如铜、铁、硅）会影响钨粉纯度，需通过选矿和化学处理去除。此外，钨矿石的物理性质，如硬度和晶体结构，也影响破碎和选矿效率。钨矿石通常与斑岩铜矿或其他硫化物矿伴生，需通过复杂的分选工艺提取高品位钨精矿。

4.1.1.1 辉钨矿的特性与分布

辉钨矿（ MoS_2 ）是一种层状结构的硫化物矿物，具有银灰色至黑色金属光泽，摩氏硬度为 1-

1.5，密度约 4.7-5.0 g/cm³。其化学组成主要为钼（59.94%）和硫（40.06%），晶体结构为六方晶系，层间结合力较弱，赋予其良好的润滑性和易剥离性。辉钼矿在自然界中常呈片状或鳞片状，易于通过浮选法分离。其热稳定性较好，在空气中加热至 600℃开始氧化生成 MoO₃，但在惰性气氛下可耐受更高温（约 1200℃）。辉钼矿的化学稳定性使其耐酸碱侵蚀，但易与氧化剂（如硝酸）反应，需在选矿和提纯过程中注意环境控制。全球辉钼矿资源分布集中，主要产地包括中国（占全球储量约 40%，主要在河南、陕西、吉林等地）、美国（科罗拉多、蒙大拿）、智利、加拿大和澳大利亚。中国洛阳栾川地区是全球最大的辉钼矿产区，矿石品位一般在 0.1%-0.3%（钼含量），高品位矿可达 0.5%以上。辉钼矿常与铜、铅、锌等硫化物矿伴生，伴生元素（如铁、铜）含量需通过选矿严格控制，以确保后续提纯钼粉的纯度（≥99.95%）。

4.1.2 钼矿石的开采与选矿方法

钼矿石的开采与选矿是原料准备的核心步骤，旨在从低品位矿石中提取高品位钼精矿，为后续冶金提纯提供优质原料。开采方法根据矿床地质条件分为露天开采和地下开采，露天开采因成本低、效率高而占主导地位，适用于大型浅层矿床。选矿方法主要采用浮选工艺，结合重选、磁选等辅助手段，将钼矿石中的辉钼矿与伴生矿物分离，获得钼含量≥50%的精矿。选矿过程中需严格控制磨矿粒度（通常至-200 目，约 74 微米）、浮选药剂（如黄药、起泡剂）和 pH 值（8-10），以提高辉钼矿的回收率（通常 85-95%）。选矿后的钼精矿需进一步焙烧生成氧化钼（MoO₃），为后续氢气还原制备钼粉奠定基础。选矿效率和精矿纯度直接影响钼片的性能，例如杂质（铁、铜）含量过高可能降低钼片的导电性和耐腐蚀性。

4.1.2.1 钼矿石露天开采流程与要点

露天开采是辉钼矿开采的主要方式，适用于矿体埋藏浅、储量大的矿床，如中国栾川和美国克莱马克斯矿。其流程包括勘探、剥离、爆破、采装、运输和堆矿。勘探阶段通过地质钻探和地球物理方法确定矿体位置、品位（通常 0.1%-0.3%钼）和储量，制定开采计划。剥离阶段移除覆盖矿体的表土和废岩，剥离比（废岩与矿石体积比）通常在 3:1 至 10:1，需优化以降低成本。爆破采用精确控制的炸药（如硝酸铵）破碎矿体，爆破孔径一般为 100-250 毫米，爆破后矿石粒度控制在 0.1-1 米以便后续破碎。采装使用大型挖掘机（斗容 10-30 立方米）和自卸车（载重 50-200 吨）将矿石运至选矿厂。堆矿阶段需按品位分类堆放，避免高低品位矿石混杂。

露天开采的关键要点包括：一是优化爆破设计，减少矿石稀释率（目标<10%），提高品位一致性；二是采用高效设备，如电铲和重型卡车，提升生产效率（日产矿石可达 10 万吨）；三是环境保护，控制爆破粉尘（通过喷雾抑尘）和废水排放（循环利用率>80%），符合环保法规。露天开采的辉钼矿经初步破碎后进入选矿流程，为钼片生产提供高质量原料。

4.1.2.2 钼矿石地下开采方式

中钨智造钼片的生产依赖于高质量的钼矿石原料，而地下开采是获取深层或复杂地质条件下辉钼矿（MoS₂）的重要方式，适用于矿体埋藏较深或地表条件不适合露天开采的矿床，如中

国吉林或加拿大部分钼矿。地下开采的流程包括矿井建设、巷道掘进、爆破采矿、矿石提升和地面运输。矿井建设首先通过竖井或斜井打通矿体，配备通风、排水和提升系统，确保作业安全。巷道掘进采用掘进机或爆破方式，沿矿体分布布设水平或倾斜巷道，巷道尺寸通常为 3-5 米宽、3-4 米高。采矿阶段主要采用房柱法或充填法，房柱法通过保留矿柱支撑顶板，采出率约为 70-80%；充填法以尾砂或水泥填充采空区，采出率可达 90%以上，但成本较高。爆破使用精准装药（如乳化炸药）将矿石破碎至 0.1-0.5 米粒度，随后通过装载机和矿车提升至地面。

地下开采的关键要点包括：一是安全管理，需严格控制通风（风量 $\geq 3 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{人}$ ）和支护（锚杆、钢网）以防塌方；二是优化采矿顺序，优先开采高品位矿体（钼含量 0.2-0.5%），减少稀释率（目标 $<15\%$ ）；三是节能环保，采用低能耗设备（如电动装载机）和尾矿回填，降低环境影响。地下开采的辉钼矿经初步破碎后进入选矿流程，为钼片生产提供稳定原料。

4.1.2.3 钼矿的浮选法原理与流程

浮选法是钼矿选矿的核心方法，广泛用于从低品位辉钼矿中提取高品位钼精矿，其原理基于辉钼矿的疏水性和伴生矿物的亲水性差异。辉钼矿（ MoS_2 ）表面天然疏水，易被捕收剂（如黄药或硫醇）吸附并附着于气泡，而伴生矿物（如石英、长石）亲水性强，留在矿浆中。浮选流程包括破碎、磨矿、调浆、浮选和脱水五个阶段。破碎将原矿（粒度 0.1-1 米）粉碎至 10-50 毫米，磨矿进一步将矿石研磨至 -200 目（约 74 微米），使辉钼矿单体解离度达 80%以上。调浆阶段加入捕收剂（如丁基黄药，0.1-0.3 kg/t）、起泡剂（如松油醇，0.05-0.1 kg/t）和抑制剂（如硅酸钠，0.5-1 kg/t），调节矿浆 pH 至 8-10 以优化浮选效果。浮选在浮选机中进行，气泡（空气或氮气）通过搅拌将辉钼矿带至泡沫层，产出钼精矿（钼含量 50-60%），回收率通常为 85-95%。尾矿经多级浮选进一步回收残余钼。脱水通过浓缩机和压滤机将精矿水分降至 10%以下。浮选法的优点是高效、适应性强，可处理低品位矿石（钼含量 0.1-0.3%），但需严格控制药剂用量和废水处理（循环利用率 $>80\%$ ），以降低环境污染。浮选得到的钼精矿为后续焙烧和提纯提供优质原料。

4.1.2.4 钼矿的重选法原理与流程

重选法是钼矿选矿的辅助方法，利用辉钼矿（密度 4.7-5.0 g/cm^3 ）与伴生矿物（如石英，密度 2.65 g/cm^3 ）的密度差异进行分离，适用于粗粒辉钼矿或伴生重矿物的回收。重选原理基于重力沉降或离心力，辉钼矿因密度较高在重选设备中快速沉降，而轻质脉石矿物被冲走。重选流程包括破碎、磨矿、分级、重选和脱水。原矿首先破碎至 50-100 毫米，磨矿至 0.5-2 毫米以释放辉钼矿颗粒。分级通过螺旋分级机或水力旋流器将矿浆分为粗细粒级，粗粒（ >0.5 毫米）进入重选设备。重选常用跳汰机或摇床，跳汰机通过脉动水流使矿粒按密度分层，辉钼矿沉至底层，产出粗精矿（钼含量 20-40%）；摇床利用横向水流和振动，回收率可达 70-85%。细粒矿浆（ <0.5 毫米）通常转入浮选流程。脱水将重选精矿水分降至 10%以下。重选法的优点是设备简单、成本低，适合处理高品位粗粒矿石（钼含量 $>0.3\%$ ），但对细粒矿石效率较低，常与浮选结合使用。重选精矿需进一步浮选提纯，为钼片生产提供高质量原料。

4.1.2.5 钼矿的磁选法原理与流程

磁选法是钼矿选矿的辅助手段，用于去除辉钼矿中的磁性杂质（如磁铁矿、 Fe_3O_4 ）或伴生磁性矿物，改善钼精矿纯度。磁选原理基于矿物的磁性差异，辉钼矿为非磁性物质（磁化率 $<10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ ），而磁铁矿具有强磁性（磁化率 $10^2-10^3 \text{ cm}^3/\text{g}$ ），在磁场中易被吸附。磁选流程包括破碎、磨矿、磁选和脱水。原矿破碎至 50-100 毫米，磨矿至-200 目（约 74 微米），使磁性杂质与辉钼矿解离。磁选采用湿式磁选机，磁场强度通常为 0.1-0.6 T，磁性杂质被吸附到磁滚筒上，非磁性辉钼矿随矿浆流出，产出预精矿（钼含量 10-30%）。磁选后的矿浆通常进入浮选流程进一步提纯。脱水通过浓缩机和压滤机降低精矿水分至 10% 以下。磁选法的优点是能有效去除铁磁性杂质（如铁含量从 1% 降至 0.1% 以下），提高钼精矿质量，但对非磁性杂质（如石英）无效，需与其他选矿方法结合使用。磁选设备需定期维护以确保磁场稳定，废水循环利用率需达 80% 以上以符合环保要求。磁选预处理的钼精矿为后续提纯和钼片生产提供低杂质原料。

4.1.3 钼精矿的提炼与转化

钼精矿的提炼与转化是将选矿获得的钼精矿（主要为辉钼矿， MoS_2 ）转化为高纯度钼化合物或金属钼粉的关键步骤，为后续钼片生产提供优质原料。提炼过程主要通过氧化焙烧结合湿法冶金（如氨浸或酸浸）去除硫、铁等杂质，获得高纯氧化钼（ MoO_3 ）或钼酸铵（ $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ ），最终通过还原制备钼粉。提炼工艺的选择直接影响钼粉的纯度（需 $\geq 99.95\%$ 以满足高纯钼片需求）、粒度分布和生产成本。中钨智造钼片通过先进的提炼工艺，确保原料的高纯度和一致性，满足电子、航空航天等高端应用需求。以下详细探讨钼精矿的氧化焙烧-氨浸法、氧化焙烧-酸浸法提炼工艺及钼粉制备过程。

4.1.3.1 钼精矿的氧化焙烧-氨浸法提炼工艺

氧化焙烧-氨浸法是提炼钼精矿的主流工艺，适用于生产高纯度钼化合物，广泛用于高纯钼片原料制备。其原理是将辉钼矿（ MoS_2 ）通过高温焙烧氧化为氧化钼（ MoO_3 ），再用氨水溶解生成可溶性钼酸铵，随后通过结晶提纯。工艺流程包括焙烧、氨浸、过滤、结晶和干燥五个阶段。焙烧阶段在回转窑或多膛炉中进行，温度控制在 550-650℃，通入空气使 MoS_2 氧化为 MoO_3 ，同时硫转化为 SO_2 （需尾气处理以符合环保标准， SO_2 回收率 $>95\%$ ）。焙烧后钼精矿（钼含量 50-60%）转化为粗氧化钼（钼含量 $>95\%$ ），杂质如铁、铜部分挥发或氧化。氨浸阶段将粗氧化钼与氨水（浓度 10-15%）在 50-70℃、pH 8-9 条件下反应，生成钼酸铵溶液，铁、硅等不溶性杂质被过滤分离。过滤后的钼酸铵溶液通过蒸发结晶，得到高纯钼酸铵晶体（纯度 $\geq 99.5\%$ ），最后在 120-150℃ 干燥。氨浸法的优点是提纯效率高，可将杂质（如铁、铜）含量降至 50 ppm 以下，适合生产高纯钼片原料。然而，氨水使用需严格控制废液处理（氨回收率 $>90\%$ ）以减少环境污染。该工艺生产的钼酸铵为后续钼粉制备提供高纯原料。

4.1.3.2 钼精矿的氧化焙烧-酸浸法提炼工艺

氧化焙烧-酸浸法是另一种常用的钼精矿提炼工艺，适用于处理含复杂杂质的钼精矿，特别是在伴生铜、铅等金属较多时。其原理是通过焙烧将辉钼矿氧化为氧化钼（ MoO_3 ），再用酸

性溶液溶解杂质，保留高纯氧化钼。工艺流程包括焙烧、酸浸、过滤、洗涤和干燥。焙烧阶段与氨浸法类似，在 550–650℃ 空气气氛下进行，辉钼矿氧化为 MoO_3 ，硫转化为 SO_2 （需高效尾气吸收装置， SO_2 去除率 >95%）。酸浸阶段将粗氧化钼与稀盐酸（浓度 5–10%）或硫酸在 60–80℃ 反应，溶解铁、铜、钙等杂质，而 MoO_3 因不溶于稀酸而保留。过滤分离杂质溶液后，氧化钼固体经去离子水洗涤多次，确保杂质含量（如铁、铜）降至 100 ppm 以下。洗涤后的氧化钼在 150–200℃ 干燥，得到高纯氧化钼（纯度 ≥99.5%）。酸浸法的优点是能有效去除多种金属杂质，工艺适应性强，适合处理低品位或复杂矿石，但酸性废液处理成本较高（需中和至 pH 6–8 后排放）。与氨浸法相比，酸浸法操作更简单，但纯度略低，适用于普通纯度钼片（99%–99.9%）的原料生产。所得氧化钼为后续钼粉制备提供可靠基础。

4.1.3.3 钼精矿提炼产物制备钼粉

钼精矿提炼产物（氧化钼或钼酸铵）通过氢气还原工艺转化为高纯钼粉，为钼片生产提供最终原料。其原理是利用氢气在高温下将 MoO_3 或 $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 还原为金属钼，同时去除氧和残余杂质。工艺流程包括还原、筛分和质量控制。还原阶段在管式炉或回转炉中进行，分两步完成：第一步在 400–600℃，氢气流（纯度 ≥99.99%，流量 1–2 m^3/h ）将 MoO_3 或钼酸铵还原为 MoO_2 ，同时释放水蒸气和氨气（需尾气处理）；第二步在 900–1100℃ 进一步还原为金属钼粉，粒度通常在 1–10 微米，纯度可达 99.95% 以上。还原过程中需严格控制氢气纯度和炉内气氛，避免氧气残留导致氧化（氧含量 <50 ppm）。筛分阶段使用振动筛（100–200 目）去除大颗粒或团聚物，确保钼粉粒度均匀（D50 约 2–5 微米）。质量控制通过 ICP-MS 检测杂质（如铁、铜 <20 ppm），X 射线衍射确认晶体结构（体心立方）。钼粉的性能直接影响钼片质量，例如细小均匀的粒度有利于烧结致密度（>98%），高纯度确保导电性和耐腐蚀性。制备的钼粉通过粉末冶金和轧制进一步加工为钼片，满足航空航天、电子等领域的需求。

4.2 钼片的成型工艺

钼片的成型工艺是将其从高纯钼粉或钼坯转化为具有特定厚度、尺寸和性能的薄片材料的关键步骤，直接决定了钼片的机械性能、表面质量和应用适应性。成型工艺主要包括粉末冶金法和轧制工艺，其中轧制工艺进一步分为热轧和冷轧两种方式。这些工艺通过精确控制温度、变形量和环境条件，优化钼片的晶粒结构、强度和延展性，以满足电子、航空航天和高温工业等领域的需求。中钨智造钼片通过先进的成型工艺，确保产品的高精度和一致性。以下将详细探讨粉末冶金法制备钼片、热轧工艺制备钼片和冷轧工艺制备钼片的工艺特点、性能影响及应用优势。

4.2.1 粉末冶金法制备钼片

粉末冶金法是钼片生产的基础成型工艺，适用于制备高纯度、均匀结构的钼片，尤其适合超薄钼片（厚度 0.01–0.1 毫米）或复杂形状构件的生产。其工艺流程包括钼粉压制、烧结和后续加工。高纯钼粉（纯度 ≥99.95%，粒度 1–10 微米）通过冷等静压（压力 100–200 MPa）压制成坯料，坯料形状可根据需求定制（如板状或棒状）。压制后的坯料在真空或氢气保护气氛下烧结，温度控制在 1800–2000℃，烧结时间 2–6 小时，使钼粉颗粒通过扩散结合形成致密坯体，致密度达 98% 以上。烧结过程中，晶粒尺寸控制在 10–50 微米，以平衡强度和韧

性。烧结坯料的抗拉强度约为 500–700 MPa，密度接近理论值（10.22 g/cm³）。为进一步制备薄片，烧结坯料需经过轧制或锻造加工，表面通过酸洗或抛光处理，粗糙度可达 Ra 0.8–1.6 微米。粉末冶金法的优点是能生产高纯度、均匀结构的钼片，杂质含量低（铁、铜<20 ppm），适合半导体靶材和高温炉构件。然而，其工艺复杂、成本较高，适用于高精度应用，如电子行业中的溅射靶材或核工业中的辐射屏蔽。

4.2.2 轧制工艺制备钼片

轧制工艺是钼片生产中最常用的成型方法，通过对烧结钼坯施加机械压力，逐步减薄至所需厚度，同时改善其机械性能和表面质量。轧制分为热轧和冷轧两种方式，分别适用于不同厚度和性能要求的钼片。轧制工艺需在真空或惰性气氛（如氩气）中进行，以防止高温氧化，确保钼片表面不生成挥发性 MoO₃。轧制过程中，变形量、轧制温度和退火工艺直接影响钼片的晶粒尺寸、强度和延展性。热轧适合生产较厚钼片（0.5–3 毫米），冷轧则用于超薄钼片（0.01–0.1 毫米）。轧制钼片的抗拉强度可达 800–1200 MPa，表面粗糙度通过抛光可低至 Ra 0.4 微米，满足电子、航空航天等领域的精度要求。

4.2.2.1 热轧工艺制备钼片

热轧工艺通过在高温（1000–1400℃）下对钼坯进行多道次轧制，制备厚度一般在 0.5–3 毫米的钼片，适用于高温炉构件和航空航天结构件。钼坯（通常由粉末冶金法制备）在真空或惰性气体保护的热轧机中加工，每次轧制变形量控制在 20–30%，以避免裂纹。热轧过程中，钼的晶粒发生动态再结晶，晶粒尺寸较大（50–100 微米），赋予钼片较好的延展性（断裂伸长率 10–15%）和较低的内应力。热轧钼片的抗拉强度在室温下约为 600–800 MPa，高温（1200℃）下仍可达 500 MPa，适合高温环境。表面粗糙度一般为 Ra 1.0–2.0 微米，可通过酸洗或喷砂优化。热轧工艺的优点是生产效率高，适合大批量生产，成本较粉末冶金法低，但厚度公差（±0.05 毫米）略逊于冷轧。热轧钼片广泛应用于高温炉的加热元件、化工设备的耐腐蚀衬里和航空航天的高温支撑结构，其高温强度和抗蠕变性能（蠕变速率 10⁻⁶/s）确保长期稳定性。

4.2.2.2 冷轧工艺制备钼片

冷轧工艺是在室温或接近室温条件下对热轧钼片或烧结钼坯进一步轧制，生产厚度在 0.01–1 毫米的超薄钼片，适用于高精度电子和微电子应用。冷轧使用高精度四辊或多辊轧机，每次变形量控制在 10–20%，以防止因加工硬化导致的裂纹。冷轧钼片的晶粒尺寸较小（5–20 微米），位错密度高，抗拉强度可达 900–1200 MPa，但延展性较低（断裂伸长率 5–8%）。为改善韧性，冷轧后需进行应力消除退火（800–1100℃），使断裂伸长率提高至 10–12%，强度略降至 800–1000 MPa。冷轧钼片的表面质量优异，抛光后粗糙度可达 Ra 0.4 微米，厚度公差控制在 ±0.005 毫米，满足半导体靶材和柔性基板的需求。冷轧工艺的优点是能生产超薄、高强度的钼片，适合高精度应用，但对设备要求高，需严格控制润滑剂（通常用油基润滑）以避免表面缺陷。冷轧钼片广泛用于薄膜沉积、半导体封装和医疗设备（如 X 射线管阳极），其高强度和优异表面质量显著提升器件性能。

中钨智造科技有限公司
钼片产品介绍

一、钼片概述

钼片是由高纯度钼材经过轧制加工而成的金属薄片，具有良好的耐高温性、导热性和机械强度。常用于电子、冶金、真空设备、航天和照明等领域，作为加热元件、隔热屏或结构材料。钼片表面平整、尺寸精确，根据需求定制不同规格，广泛应用于各类高端制造和科研设备中。

二、钼片特性

高纯度原材：纯度高达 99.95% 以上，杂质含量极低

耐高温性能：熔点高达 2610° C，稳定工作于极端环境

优良的加工性：平整度高，表面光洁，便于冲压、剪切及焊接

多种规格可选：支持定制尺寸、厚度，满足不同工艺需求

三、钼片规格

参数	规格范围
纯度	≥99.95%
厚度	0.01 毫米-3.00 毫米
宽度	50 毫米-600 毫米
长度	定制长度或卷材形式
表面处理	抛光面、碱洗面、喷砂面
厚度公差	±0.005 毫米- ±0.2 毫米
表面粗糙度	Ra 0.8 微米- Ra 3.2 微米

四、钼片生产流程

钼坯(原材料)-检验-热轧-校平及退火-碱洗-检验-温扎-真空退火-检验-冷轧-校平-剪切真空退火-检验-包装

五、采购信息

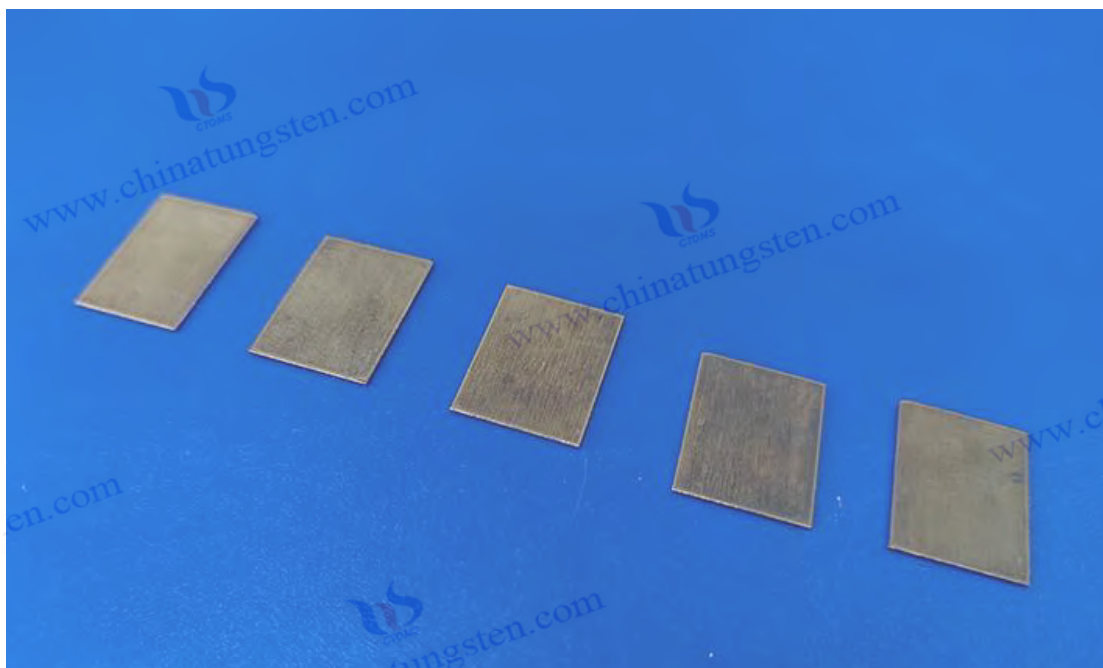
邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595; 592 5129696

更多钼片资讯，请访问中钨在线网站（molybdenum.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”。





中钨智造钼片

第五章 钼片的生产及性能测试设备

5.1 钼矿石的开采设备

钼矿石的开采是钼片生产的第一步，其设备选择直接影响原料的获取效率和成本。开采设备根据矿床地质条件分为露天开采设备和地下开采设备，分别适用于浅层大型矿床和深层复杂矿床。中钨智造钼片依托高效的开采设备，确保辉钼矿（ MoS_2 ）原料的高质量和稳定供应。以下详细探讨露天开采和地下开采设备的类型、功能及应用要点。

5.1.1 钼矿石的露天开采设备

露天开采设备用于处理埋藏较浅、储量大的辉钼矿矿床，如中国洛阳栾川或美国克莱马克斯矿，主要包括钻机、爆破设备、挖掘机、自卸车和装载机。钻机（如旋转式或潜孔钻机）用于爆破前的钻孔作业，孔径通常为 100-250 毫米，钻进速度可达 20-50 米/小时，配备高精度 GPS 定位系统以优化爆破布局。爆破设备采用硝酸铵或乳化炸药，通过电子雷管精确控制爆破，破碎矿石至 0.1-1 米粒度，减少稀释率（目标<10%）。挖掘机（如电铲或液压挖掘机，斗容 10-30 立方米）负责剥离废岩和采掘矿石，生产效率可达 5000-10,000 吨/小时。自卸车（载重 50-200 吨，如卡特彼勒 797F）用于将矿石运至选矿厂，配备自动导航系统以提高运输效率。装载机（如轮式装载机，斗容 5-15 立方米）用于矿石和废岩的堆放与转运。关键要点包括：设备需具备高耐磨性以应对辉钼矿的硬度（摩氏硬度 1-1.5）；爆破和挖掘需优化以降低剥采比（3:1 至 10:1）；环保措施如喷雾抑尘（粉尘浓度<10 mg/m^3 ）和废水循环利用（>80%）需严格执行。这些设备的高效协同确保露天开采提供高品位钼矿石（钼含量 0.1-0.5%）。

5.1.2 钨矿石的地下开采设备

地下开采设备适用于深层或复杂地质条件的辉钨矿矿床，如中国吉林或加拿大部分矿区，主要包括掘进机、凿岩机、装载机、矿车和提升系统。掘进机（如全断面掘进机或掘锚一体机）用于开凿巷道，掘进速度约 5-10 米/天，配备激光导航确保巷道精度（偏差<5 厘米）。凿岩机（如液压凿岩台车）用于爆破钻孔，孔径 50-100 毫米，钻进效率 10-20 米/小时，适合房柱法或充填法采矿。装载机（如铲运机，斗容 2-5 立方米）负责破碎矿石（粒度 0.1-0.5 米）的装载，配备防滑链以适应湿滑巷道。矿车（载重 10-30 吨）通过轨道或无轨系统将矿石运至提升井，提升系统（如卷扬机或绞车，功率 500-2000 kW）将矿石提升至地面，效率可达 1000-5000 吨/天。关键点包括：设备需紧凑以适应狭窄巷道（宽 3-5 米，高 3-4 米）；通风系统（风量 $\geq 3 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{人}$ ）确保作业安全；自动化控制（如远程操作凿岩机）提高效率并降低人工风险。地下开采设备需定期维护以应对高磨损，确保矿石采出率（70-90%）和品位一致性，为钨片生产提供稳定原料。

5.2 钨矿石的选矿设备

选矿设备用于将低品位钨矿石（钨含量 0.1-0.3%）加工为高品位钨精矿（钨含量 50-60%），是钨片生产原料准备的核心环节。选矿设备包括破碎设备、研磨设备、分级设备和浮选设备，通过物理和化学方法分离辉钨矿与伴生矿物（如石英、磁铁矿）。以下详细分析这些设备的功能、性能及操作要点。

5.2.1 钨矿石的破碎设备

破碎设备用于将原矿（粒度 0.1-1 米）粉碎至适合选矿的粒度（10-50 毫米），为后续研磨和浮选奠定基础。主要设备包括颚式破碎机、圆锥破碎机和反击式破碎机。颚式破碎机（如 PE 系列，功率 75-200 kW）用于初级破碎，处理能力 100-1000 吨/小时，将矿石破碎至 50-150 毫米，适合高硬度辉钨矿。圆锥破碎机（如 HP 系列，功率 200-500 kW）用于二级破碎，产出粒度 10-50 毫米，破碎比可达 4:1，配备液压调节系统确保粒度均匀。反击式破碎机用于细碎，适合含脉石较多的矿石，产出粒度 5-20 毫米。关键点包括：设备需配备耐磨衬板（如高锰钢）以应对辉钨矿的磨蚀性；振动筛（筛孔 10-50 毫米）与破碎机联用，确保粒度符合要求；粉尘控制（喷雾或布袋除尘，粉尘浓度 $<10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ）满足环保标准。破碎设备的高效运行确保矿石充分解离，为选矿提供优质输入。

5.2.2 钨矿石的研磨设备

研磨设备将破碎后的矿石进一步细化至-200 目（约 74 微米），使辉钨矿单体解离度达 80%以上，满足浮选要求。主要设备为球磨机和棒磨机。球磨机（如 MQG 系列，功率 200-1000 kW）通过钢球（直径 20-100 毫米）与矿石碰撞研磨，处理能力 50-500 吨/小时，磨矿细度可达 70-80%-200 目，配备自动控制系统优化给矿量和转速（20-30 rpm）。棒磨机用于粗磨或含黏土矿石，钢棒（长度 2-3 米）减少过磨，产出粒度 0.5-2 毫米。关键点包括：研磨介质需定期更换以维持效率（钢球消耗 0.5-1 kg/t）；湿式研磨（水矿比 1:1-2:1）降低粉尘并提高解离度；闭路磨矿与分级设备联用，确保粒度分布均匀（D50 约 50-100 微米）。研磨设

备的高效性直接影响浮选回收率（85-95%）。

5.2.3 钨矿石的分级设备

分级设备用于将研磨后的矿浆按粒度分离，优化浮选效率，常用设备包括螺旋分级机和水力旋流器。螺旋分级机（如 FG 系列，功率 5-15 kW）通过螺旋叶片将粗粒（>0.15 毫米）与细粒（<0.15 毫米）分离，处理能力 20-200 吨/小时，分级效率 70-85%。水力旋流器（如 FX 系列，入口压力 0.1-0.3 MPa）利用离心力分级，适合细粒矿浆（<0.1 毫米），分级精度高（误差<5%），处理能力 10-100 m³/小时。关键点包括：分级设备需与磨机形成闭路循环，返砂比（100-300%）需优化以减少过磨；设备内衬（如聚氨酯）提高耐磨性；废水循环利用效率>80%以降低水耗。分级设备确保辉钨矿粒度适合浮选，提高精矿品位。

5.2.4 钨矿石的浮选设备

浮选设备利用辉钨矿的疏水性分离钨精矿，核心设备为浮选机。机械搅拌式浮选机（如 SF 或 XCF 系列，功率 15-100 kW）通过叶轮（转速 200-400 rpm）产生气泡（空气或氮气，流量 1-2 m³/min），辉钨矿附着气泡形成泡沫层，产出钨精矿（钨含量 50-60%）。浮选机槽体容积 4-20 m³，配备自动加药系统（黄药 0.1-0.3 kg/t，松油醇 0.05-0.1 kg/t），pH 控制在 8-10。关键点包括：浮选机需多槽串联（6-12 槽）进行粗选、精选和扫选，回收率达 85-95%；气泡尺寸（0.5-2 毫米）和矿浆浓度（20-30%）需精确控制；尾矿和废水需处理（循环利用效率>80%）以符合环保标准。浮选设备的高效运行确保钨精矿的高品位和低杂质，为钨片生产提供优质原料。

5.3 钨片的成型设备

钨片的成型设备是将其从高纯钨粉或钨坯加工成薄片材料的核心工具，直接影响钨片的厚度精度、表面质量和机械性能。成型设备主要包括粉末冶金设备和轧制设备，其中粉末冶金设备用于制备高纯度、均匀结构的钨坯，是钨片生产的基础环节。中钨智造钨片依托先进的成型设备，确保产品的高精度和一致性，满足电子、航空航天和高温工业的需求。以下详细探讨粉末冶金设备中的粉末压制设备和烧结设备的功能、性能及操作要点。

5.3.1 钨片的粉末冶金设备

粉末冶金设备用于将高纯钨粉（纯度≥99.95%，粒度 1-10 微米）加工成致密钨坯，为后续轧制或直接成型钨片提供基础。粉末冶金工艺包括粉末压制和烧结两个主要步骤，涉及冷等静压机、液压机和真空烧结炉等设备。这些设备通过精确控制压力、温度和气氛，确保钨坯的高致密度（>98%）和低杂质含量（铁、铜<20 ppm），为生产高性能钨片奠定基础。

5.3.1.1 钨片的粉末压制设备

粉末压制设备用于将钨粉压制成具有一定形状和强度的坯料，常用设备包括冷等静压机（CIP）和液压机。冷等静压机（如 CIP-400 系列，压力 100-400 MPa）通过液体介质（如水或油）

对钼粉施加均匀压力，压制成板状或棒状坯料（尺寸 100–500 毫米），致密度达 60–70%。其优点是压力分布均匀，避免坯料内部应力集中，适合生产大尺寸或复杂形状的钼坯。液压机（如四柱液压机，功率 200–1000 kW）用于单向压制，压力 50–200 MPa，适用于小型坯料（厚度 10–50 毫米），生产效率高（每分钟 1–3 件）。压制过程中，钼粉需预先筛分（100–200 目）并加入少量粘结剂（如聚乙烯醇，0.1–0.5%）以提高坯料强度。关键点包括：模具需采用高强度钢或硬质合金以耐受高压；压制参数（如压力保持时间 10–30 秒）需优化以确保坯料均匀性；设备配备防尘系统（粉尘浓度 $<5\text{ mg/m}^3$ ）以保护操作环境。压制后的钼坯为烧结提供高质量输入，确保后续钼片的性能一致性。

5.3.1.2 钼片的烧结设备

烧结设备用于将压制钼坯在高温下固结为高致密度的坯体，是粉末冶金法的核心步骤。常用设备包括真空烧结炉和氢气保护烧结炉。真空烧结炉（如 VSF 系列，功率 100–500 kW）在真空度 10^{-3} – 10^{-5} Pa、温度 1800–2000°C 下操作，烧结时间 2–6 小时，使钼粉颗粒通过扩散结合，晶粒尺寸控制在 10–50 微米，致密度达 98–99%。真空环境有效防止氧化，氧含量降至 $<50\text{ ppm}$ ，适合生产高纯钼片（ $\geq 99.95\%$ ）原料。氢气保护烧结炉（温度 1600–1900°C，氢气纯度 $\geq 99.99\%$ ，流量 1–2 m^3/h ）通过还原气氛去除微量氧化物，适用于普通纯度钼片（99–99.9%）。烧结后钼坯的抗拉强度约为 500–700 MPa，密度接近理论值（10.22 g/cm^3 ）。关键点包括：精确控制升温速率（5–10°C/min）以避免坯料开裂；炉内气氛监控确保无氧气泄漏；冷却速率（10–20°C/min）优化晶粒结构。烧结设备的高性能确保钼坯的高致密度和低杂质，为后续轧制加工提供优质基础，满足电子靶材和高温构件的需求。

5.3.2 钼片的轧制设备

轧制设备是钼片成型工艺中的核心工具，用于将烧结钼坯加工成特定厚度、尺寸和性能的薄片，广泛应用于电子、航空航天和高温工业领域。轧制设备分为热轧机和冷轧机，分别用于生产较厚（0.5–3 毫米）和超薄（0.01–0.1 毫米）钼片，通过精确控制变形量、温度和气氛，优化钼片的晶粒结构、强度和表面质量。中钨智造钼片依托先进的轧制设备，确保产品的高精度和一致性，满足高端应用需求。以下详细探讨钼片的热轧机和冷轧机的功能、性能及操作要点。

5.3.2.1 钼片的热轧机

热轧机用于在高温（1000–1400°C）下对钼坯进行多道次轧制，生产厚度在 0.5–3 毫米的钼片，适用于高温炉构件和航空航天结构件。常用设备为四辊热轧机或可逆式热轧机（如 SMS 集团设备，功率 500–2000 kW），配备真空或惰性气体（如氩气）保护系统，以防止钼在高温下氧化生成挥发性 MoO_3 。热轧机的工作辊直径为 300–600 毫米，轧制速度 1–5 米/分钟，每次变形量控制在 20–30%，以避免裂纹。钼坯（通常由粉末冶金法制备，厚度 10–50 毫米）在预热炉中加热至 1100–1300°C 后进入轧机，多道次轧制（6–10 道次）逐步减薄，晶粒尺寸达 50–100 微米，赋予钼片较好的延展性（断裂伸长率 10–15%）和高温强度（1200°C 时约 500 MPa）。表面粗糙度一般为 $R_a\ 1.0$ – 2.0 微米，可通过酸洗优化。关键点包括：精确控制辊缝和温度（偏差 $<10^\circ\text{C}$ ）以确保厚度公差（ ± 0.05 毫米）；保护气氛纯度（ $\geq 99.99\%$ ）防止氧

化；配备在线测厚仪和冷却系统（冷却速率 10–20°C/min）以优化晶粒结构。热轧机的优点是生产效率高（日产 10–50 吨），适合大批量生产，广泛用于制造化工设备衬里和高温炉加热元件。

5.3.2.2 钼片的冷轧机

冷轧机在室温或接近室温条件下对热轧钼片或烧结钼坯进行进一步轧制，生产厚度在 0.01–1 毫米的超薄钼片，适用于半导体靶材和微电子基板。常用设备为高精度四辊或多辊冷轧机（如 Sendzimir 轧机，功率 200–1000 kW），配备高强度工作辊（直径 100–300 毫米，硬度 HRC 60–65）和自动辊缝控制系统（精度 ±0.001 毫米）。冷轧每次变形量控制在 10–20%，轧制速度 0.5–3 米/分钟，避免加工硬化导致的裂纹。冷轧钼片的晶粒尺寸较小（5–20 微米），抗拉强度达 900–1200 MPa，但延展性较低（断裂伸长率 5–8%），需通过应力消除退火（800–1100°C）提高韧性（断裂伸长率 10–12%）。表面质量优异，抛光后粗糙度可达 Ra 0.4 微米，厚度公差控制在 ±0.005 毫米。

关键点包括：使用油基润滑剂（粘度 10–20 cSt）减少表面缺陷；配备在线缺陷检测（如激光扫描）确保表面质量；退火炉需真空或氢气保护（纯度 ≥99.99%）以防止氧化。冷轧机的优点是能生产超薄高精度钼片，适合电子行业的高要求应用，如薄膜沉积和 X 射线管组件，但设备成本高，需定期维护辊面 and 控制系统。

5.4 钼片的性能测试设备

钼片的性能测试设备用于评估其物理和化学性能，确保产品满足电子、航空航天和高温工业等领域的严格要求。测试设备涵盖密度、熔点、导电性和导热性等关键参数，通过高精度仪器提供可靠数据，验证钼片的纯度、结构和功能性。中钨智造钼片通过先进的测试设备，确保性能参数符合 ASTM B386 标准，如密度 10.22 g/cm³、电阻率约 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 和导热系数约 138 W/m·K。以下详细探讨钼片的密度测量设备、熔点测试设备、导电性测试设备和导热性测试设备的类型、功能及操作要点。

5.4.1 钼片的密度测量设备

密度测量设备用于确定钼片的密度（理论值 10.22 g/cm³），以评估其致密度和纯度，适用于质量控制和材料认证。常用设备包括阿基米德排水法装置和 X 射线密度计。阿基米德排水法装置（如 Mettler Toledo 密度计，精度 ±0.001 g/cm³）通过测量钼片在空气和液体（通常为去离子水）中的质量，计算密度，测试范围 0.1–20 g/cm³，适合厚度 0.01–3 毫米的钼片。操作时，钼片需清洁（超声波清洗，去除油污），浸入液体时避免气泡，测量误差控制在 ±0.01 g/cm³。X 射线密度计（如 PANalytical X'Pert，精度 ±0.005 g/cm³）通过 X 射线吸收分析材料密度，无需破坏样品，适合高精度检测。关键点包括：校准设备以确保精度（使用标准样品，如纯钼块）；测试环境需恒温（20 ± 1°C）以消除热膨胀影响；多次测量取平均值以提高可靠性。密度测量设备可检测钼片的微观缺陷（如孔隙率 < 2%），确保其适合半导体靶材和高温构件。

5.4.2 钼片的熔点测试设备

熔点测试设备用于验证钼片的熔点（约 2620℃），以确认其高温性能和纯度，适用于航空航天和高温炉应用。常用设备为高温差示扫描量热仪（DSC）和激光闪熔设备。高温 DSC（如 Netzsch STA 449，温度范围 25-2800℃，精度±5℃）通过加热钼片样品（质量 5-10 mg）并记录吸热峰，确定熔点，配备钨质坩埚和氩气保护（纯度≥99.99%）以防止氧化。激光闪熔设备（如 LFA 467，温度范围 1000-3000℃）通过激光脉冲加热钼片表面，结合红外测温仪记录熔化温度，测试时间短（<1 分钟），适合快速检测。关键点包括：样品需高纯（≥99.95%）以避免杂质降低熔点；测试气氛需严格控制（氧含量<10 ppm）；设备需定期校准（使用钨标准样，熔点 3422℃）。熔点测试设备确保钼片在高温环境（如真空炉）中的稳定性，误差控制在±10℃以内。

5.4.3 钼片的导电性测试设备

导电性测试设备用于测量钼片的电阻率（约 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ），评估其电学性能，适用于电子行业中的电极和靶材应用。常用设备为四探针测试仪和电导率仪。四探针测试仪（如 Keithley 2635B，精度±0.01%）通过四个等距探针（间距 1-2 毫米）施加恒定电流（1-100 mA）并测量电压，计算钼片的电阻率，测试范围 10^{-9} - $10^{-6} \Omega \cdot m$ ，适合厚度 0.01-3 毫米的钼片。电导率仪（如 Sigmascope SMP350，频率 10-100 kHz）通过涡流法非接触测量电导率（单位 S/m），适合快速检测大面积钼片。关键点包括：钼片表面需抛光（ $R_a \leq 0.4$ 微米）以减少接触电阻；测试环境需恒温恒湿（ $20 \pm 1^\circ C$ ，湿度<50%）以避免干扰；多次测量（至少 5 次）取平均值以确保精度。四探针测试仪可检测钼片的晶界电阻和杂质影响，确保其在半导体薄膜沉积中的导电稳定性。

5.4.4 钼片的导热性测试设备

导热性测试设备用于测量钼片的导热系数（约 138 W/m·K），评估其热管理性能，适用于散热基板和高温炉构件。常用设备为激光闪射热导仪和稳态热流法设备。激光闪射热导仪（如 Netzsch LFA 467，精度±3%）通过激光脉冲加热钼片一侧（样品尺寸 10×10×0.5-3 毫米），红外测温仪记录另一侧温升，计算导热系数，测试温度范围 20-1500℃，配备氩气保护（纯度≥99.99%）防止氧化。稳态热流法设备（如 Hot Disk TPS 2500S，精度±2%）通过在钼片中嵌入热探头，测量稳定热流下的温度梯度，适合大尺寸样品（20×20 毫米）。关键点包括：样品表面需平整（ $R_a \leq 0.4$ 微米）以确保热接触；测试需在真空或惰性气氛下进行以避免氧化影响；设备校准使用标准样品（如不锈钢，导热系数 16 W/m·K）。导热性测试设备可验证钼片的热传导能力，确保其在电子封装和高温热屏蔽中的性能，误差控制在±5 W/m·K。

5.5 钼片的力学性能测试设备

力学性能测试设备用于评估钼片的强度、硬度、韧性和耐疲劳性能，确保其满足航空航天、电子和高温工业等领域的苛刻要求。这些设备通过施加机械载荷或冲击，测量钼片的抗拉强度、硬度、断裂韧性等关键参数，为质量控制和材料认证提供数据支持。中钨智造钼片通过

先进的力学性能测试设备，确保其抗拉强度（800-1200 MPa）、硬度（220-250 HV）和韧性（断裂韧性 $10-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ）符合 ASTM B386 标准。以下详细探讨万能材料试验机、硬度计和冲击试验机在测试钼片力学性能中的功能、性能及操作要点。

5.5.1 万能材料试验机测试钼片的力学性能

万能材料试验机（UTM）是测试钼片力学性能的核心设备，用于测量抗拉强度、屈服强度、断裂伸长率和弹性模量，适用于厚度 0.01-3 毫米的钼片。常用设备如 Instron 5982 或 MTS Criterion 系列（载荷范围 1-100 kN，精度 $\pm 0.5\%$ ），通过拉伸、压缩或弯曲测试评估钼片的性能。拉伸测试中，钼片样品（标准尺寸如 ASTM E8，宽度 5-10 毫米）固定在夹具间，以恒定速率（1-10 mm/min）拉伸至断裂，记录应力-应变曲线，得出抗拉强度（800-1200 MPa）、屈服强度（约 600-900 MPa）和断裂伸长率（5-15%）。高温拉伸测试（1000-1500°C）需配备高温炉（氩气保护，纯度 $\geq 99.99\%$ ）以模拟实际工况，测试高温强度（1200°C 时约 500-700 MPa）。关键要点包括：样品表面需抛光（ $R_a \leq 0.4$ 微米）以避免应力集中；夹具对中精度（ < 0.1 毫米）确保测试一致性；测试环境需恒温（ $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ）或严格控制高温气氛（氧含量 $< 10 \text{ ppm}$ ）。万能材料试验机可精确评估钼片的力学性能，确保其在航空航天结构件和高温炉构件中的可靠性。

5.5.2 硬度计测试钼片的力学性能

硬度计用于测量钼片的硬度，反映其抗变形和耐磨能力，是评估其机械性能的重要工具。常用设备包括维氏硬度计（如 Wilson VH3300，载荷 0.1-10 kgf，精度 $\pm 1 \text{ HV}$ ）和布氏硬度计（如 ZwickRoell ZHU250，载荷 5-3000 kgf）。维氏硬度测试在钼片表面（抛光至 $R_a \leq 0.4$ 微米）施加 1-5 kgf 载荷，通过金刚石压头（ 136° 锥角）压入样品，测量压痕对角线长度，计算硬度值（高纯钼片 220-250 HV，TZM 合金 300-350 HV）。布氏硬度测试使用硬质合金球压头（直径 2.5-10 毫米），适合较厚钼片（ > 1 毫米），硬度值约 230-260 HB。测试需在恒温环境（ $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ）下进行，至少测量 5 个点取平均值，以减少晶粒不均匀性影响。关键要点包括：样品表面需清洁无氧化层（酸洗或超声清洗）；压头和载荷需根据厚度选择（薄片 < 0.1 毫米用低载荷）；设备需定期校准（使用标准硬度块）。硬度计测试结果可验证钼片的加工硬化效果和耐磨性能，适用于电子靶材和切削工具涂层基材。

5.5.3 冲击试验机测试钼片的力学性能

冲击试验机用于评估钼片的韧性和抗冲击能力，通过测量断裂韧性（ K_{IC} ）或冲击吸收能量，验证其在动态载荷下的性能。常用设备为夏氏冲击试验机（如 ZwickRoell HIT 系列，能量范围 5-300 J，精度 $\pm 0.1 \text{ J}$ ）和落锤冲击试验机（如 Instron Dynatup，能量 50-1000 J）。夏氏冲击试验在标准样品（如 ASTM E23，尺寸 $10 \times 10 \times 55$ 毫米，带 V 型缺口）上施加瞬时冲击，记录断裂吸收能量（钼片约 5-15 J），反映其韧性（断裂韧性 $10-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ）。落锤试验适合薄钼片（厚度 0.01-1 毫米），通过自由落体冲击（高度 0.5-2 米）测量抗冲击能力，适用于模拟航空航天部件的振动环境。高温冲击测试（1000°C）需配备氩气保护炉（纯度 $\geq 99.99\%$ ），以防止氧化。关键要点包括：样品缺口需精确加工（深度 2 毫米，角度 45° ）；测试温度需控制（ $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 或高温 $\pm 10^\circ\text{C}$ ）；多次测试（至少 3 次）取平均值以确保可靠性。

中钨智造科技有限公司
钼片产品介绍

一、钼片概述

钼片是由高纯度钼材经过轧制加工而成的金属薄片，具有良好的耐高温性、导热性和机械强度。常用于电子、冶金、真空设备、航天和照明等领域，作为加热元件、隔热屏或结构材料。钼片表面平整、尺寸精确，根据需求定制不同规格，广泛应用于各类高端制造和科研设备中。

二、钼片特性

高纯度原材：纯度高达 99.95% 以上，杂质含量极低

耐高温性能：熔点高达 2610° C，稳定工作于极端环境

优良的加工性：平整度高，表面光洁，便于冲压、剪切及焊接

多种规格可选：支持定制尺寸、厚度，满足不同工艺需求

三、钼片规格

参数	规格范围
纯度	≥99.95%
厚度	0.01 毫米-3.00 毫米
宽度	50 毫米-600 毫米
长度	定制长度或卷材形式
表面处理	抛光面、碱洗面、喷砂面
厚度公差	±0.005 毫米- ±0.2 毫米
表面粗糙度	Ra 0.8 微米- Ra 3.2 微米

四、钼片生产流程

钼坯(原材料)-检验-热轧-校平及退火-碱洗-检验-温扎-真空退火-检验-冷轧-校平-剪切真空退火-检验-包装

五、采购信息

邮箱: sales@chinatungsten.com

电话: +86 592 5129595; 592 5129696

更多钼片资讯，请访问中钨在线网站 (molybdenum.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”。





中钨智造钨片

第六章 钨片性能的测试方法

钨片的性能测试方法用于精确评估其物理和化学特性，确保满足电子、航空航天和高温工业等领域的严格要求。测试方法涵盖密度、熔点和热稳定性等关键参数，通过标准化流程和设备提供可靠数据，验证钨片的纯度、结构和功能性。中钨智造钨片采用国际标准（如 ASTM B386）指导测试，确保性能参数如密度（ 10.22 g/cm^3 ）、熔点（ 2620°C ）和高温稳定性达到预期。

6.1 钨片密度的测试方法

钨片密度的测试方法用于测量其密度（理论值 10.22 g/cm^3 ），以评估材料致密度和纯度，适用于质量控制和认证。常用方法为阿基米德排水法和 X 射线密度分析法。

阿基米德排水法基于浮力原理，测量钨片在空气和液体中的质量差，计算密度，精度可达 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ ，适合厚度 0.01-3 毫米的钨片。测试流程包括：1) 样品准备，超声波清洗钨片（5 分钟，去除油污），烘干（ 60°C ，10 分钟）；2) 称重，使用高精度电子天平（如 Mettler Toledo XS205，精度 $\pm 0.1 \text{ mg}$ ）测量空气中质量（ m_1 ）；3) 浸液测量，将钨片悬浮于去离子水（密度 $\rho_0 = 1 \text{ g/cm}^3$ ， 20°C ）中，确保无气泡附着，记录水中质量（ m_2 ）；4) 计算密度，公式为 $\rho = m_1 / (m_1 - m_2) \cdot \rho_0$ ，重复测量 3-5 次取平均值。

X 射线密度分析法使用 X 射线密度计（如 PANalytical X'Pert），通过 X 射线吸收强度计算密度，精度 $\pm 0.005 \text{ g/cm}^3$ ，无需破坏样品，适合高精度检测。关键要点包括：测试环境需恒温（ $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ）以消除热膨胀影响；样品表面需平整（ $R_a \leq 0.4 \text{ 微米}$ ）以减少误差；校准设备使用标准样品（如纯钨块）。密度测试可检测孔隙率（目标 $< 2\%$ ）和杂质影响，确保钨片适

版权与法律责任声明

合半导体靶材和高温构件。

6.2 钼片熔点的测试方法

钼片熔点的测试方法用于验证其熔点（约 2620℃），以确认高温性能和纯度，适用于航空航天和高温炉应用。常用方法为差示扫描量热法（DSC）和激光闪熔法。DSC 法通过高温差示扫描量热仪（如 Netzsch STA 449，温度范围 25-2800℃，精度±5℃）测量钼片在加热过程中的吸热峰。测试流程包括：1) 样品准备，切割钼片（5-10 mg，厚度 0.1-1 毫米），抛光（Ra≤0.4 微米）并超声清洗；2) 装样，将样品置于钨质坩埚，置于氩气保护气氛（纯度≥99.99%，氧含量<10 ppm）；3) 加热，以 5-10℃/min 速率升温至 2800℃，记录吸热峰温度作为熔点；4) 数据分析，重复测试 3 次取平均值。激光闪熔法使用激光闪熔设备（如 LFA 467，温度范围 1000-3000℃），通过激光脉冲快速加热钼片表面（面积 5×5 毫米），红外测温仪记录熔化温度，测试时间<1 分钟。关键点包括：样品需高纯（≥99.95%）以避免杂质降低熔点；测试气氛需严格控制以防止氧化；设备校准使用标准样品（如钨，熔点 3422℃）。熔点测试误差控制在±10℃，确保钼片在真空炉或高温构件中的稳定性。

6.3 钼片热稳定性的测试方法

钼片热稳定性的测试方法用于评估其在高温环境下的结构和性能稳定性，特别是在氧化或真空气氛下的表现，适用于高温炉和航空航天应用。热稳定性测试主要通过热重分析法（TGA）和高温退火测试法进行。TGA 法使用热重分析仪（如 TA Instruments Q500，温度范围 25-1500℃，精度±0.1%）测量钼片在高温下的质量变化，评估氧化倾向和挥发性损失。测试流程包括：1) 样品准备，切割钼片（10-20 mg，厚度 0.1-1 毫米），超声清洗并烘干；2) 测试环境，设置氩气（纯度≥99.99%）或空气气氛，升温速率 5-10℃/min 至 600-1500℃；3) 记录数据，测量质量损失率（目标<0.1%在 1000℃氩气中，氧化气氛中 600℃以上可能生成 MoO₃）；4) 分析氧化起始温度和挥发速率。高温退火测试法在真空退火炉（如 Carbolite Gero，温度 1000-2000℃，真空度 10⁻⁵ Pa）中进行，将钼片加热至 1200-1500℃，保温 1-4 小时，检查表面形貌（SEM 观察）和晶粒变化（X 射线衍射）。关键点包括：样品表面需抛光（Ra≤0.4 微米）以减少氧化点；测试气氛需严格控制（氧含量<10 ppm）；多次测试（3-5 次）验证稳定性。热稳定性测试可确认钼片在高温下的抗氧化性和结构完整性，确保其在真空炉热屏蔽或火箭喷嘴衬里中的可靠性。

6.4 钼片导电性的测试方法

钼片导电性的测试方法用于测量其电阻率（约 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ），以评估电学性能，确保其适用于电子行业中的电极和溅射靶材。常用方法为四探针法和涡流法。四探针法通过四探针测试仪（如 Keithley 2635B，精度±0.01%）测量钼片的电阻率，适合厚度 0.01-3 毫米的样品。测试流程包括：1) 样品准备，切割钼片（尺寸 10×10 毫米），抛光至 Ra≤0.4 微米，超声清洗去除表面油污；2) 测试设置，四探针等距排列（间距 1-2 毫米），施加恒定电流（1-100 mA），测量电压降；3) 计算电阻率，使用公式 $\rho = (V/I) \cdot (A/L)$ ，其中 V 为电压，I 为电流，A 为样品横截面积，L 为探针间距，重复测量 5 次取平均值；4) 数据校正，考虑样品厚度和温度影响（20±1℃）。涡流法使用电导率仪（如 Sigmascope SMP350，频率 10-100

kHz)，通过非接触式涡流测量电导率（单位 S/m），适合快速检测大面积钼片。关键点包括：样品表面需无氧化层；测试环境需恒温恒湿（湿度<50%）以减少干扰；设备校准使用标准导体（如铜，电阻率 $1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ）。四探针法精度高，适用于高精度靶材；涡流法效率高，适合批量检测。导电性测试确保钼片在半导体薄膜沉积中的电学稳定性。

6.5 钼片导热性的测试方法

钼片导热性的测试方法用于测量其导热系数（约 $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ），评估热管理性能，适用于散热基板和高温炉构件。常用方法为激光闪射法和稳态热流法。激光闪射法通过激光闪射热导仪（如 Netzsch LFA 467，精度 $\pm 3\%$ ）测量导热系数，适合厚度 0.5-3 毫米的钼片。测试流程包括：1) 样品准备，切割钼片（ 10×10 毫米），抛光至 $Ra \leq 0.4$ 微米，超声清洗；2) 测试设置，样品置于氩气保护环境（纯度 $\geq 99.99\%$ ，氧含量 $< 10 \text{ ppm}$ ），激光脉冲加热一侧，红外测温仪记录另一侧温升；3) 计算导热系数，使用公式 $k = \alpha \cdot \rho \cdot C_p$ ，其中 α 为热扩散率（通过仪器测得）， ρ 为密度， C_p 为比热容（约 $0.25 \text{ J/g} \cdot \text{K}$ ）；4) 重复测试 3-5 次取平均值。稳态热流法使用热流计（如 Hot Disk TPS 2500S，精度 $\pm 2\%$ ），通过热探头测量稳定热流下的温度梯度，适合大尺寸样品（ 20×20 毫米）。关键点包括：样品需均匀厚度以确保热流一致；测试温度控制在 $20-1500^\circ\text{C}$ ；校准使用标准样品（如不锈钢， $16 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）。激光闪射法适合高温测试，稳态法适合室温大样品。导热性测试确保钼片在电子封装中的热传导效率，误差控制在 $\pm 5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 。

6.6 钼片热膨胀系数的测试方法

钼片热膨胀系数的测试方法用于测量其线膨胀系数（约 $4.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ， $20-1000^\circ\text{C}$ ），以评估热匹配性能，适用于半导体封装和高温构件。常用方法为热膨胀仪法和 X 射线晶体分析法。热膨胀仪法使用热膨胀仪（如 Netzsch DIL 402，精度 $\pm 0.1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ），通过测量钼片在加热过程中的长度变化计算热膨胀系数。测试流程包括：1) 样品准备，切割钼片（长度 10-25 毫米，厚度 0.1-1 毫米），抛光至 $Ra \leq 0.4$ 微米；2) 测试设置，样品置于氩气保护环境（纯度 $\geq 99.99\%$ ），以 $2-5^\circ\text{C}/\text{min}$ 升温至 1000°C ，记录长度变化（分辨率 0.1 微米）；3) 计算热膨胀系数，公式 $\alpha = \Delta L / (L_0 \cdot \Delta T)$ ，其中 ΔL 为长度变化， L_0 为初始长度， ΔT 为温度变化；4) 重复测试 3 次取平均值。X 射线晶体分析法使用 X 射线衍射仪（如 Bruker D8，精度 $\pm 0.05 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ），通过测量高温下晶格常数变化推算热膨胀系数，适合微小样品。关键点包括：样品需无表面缺陷；测试温度需精确控制（ $\pm 1^\circ\text{C}$ ）；校准使用标准样品（如氧化铝， $7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ）。热膨胀系数测试确保钼片与硅或陶瓷的热匹配性，误差控制在 $\pm 0.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

6.7 钼片强度的测试方法

钼片强度的测试方法用于测量其抗拉强度（ $800-1200 \text{ MPa}$ ）和屈服强度（ $600-900 \text{ MPa}$ ），以评估机械性能，适用于航空航天和高温结构件。常用方法为拉伸测试法，使用万能材料试验机（如 Instron 5982，载荷范围 1-100 kN，精度 $\pm 0.5\%$ ）。测试流程包括：1) 样品准备，切割钼片（ASTM E8 标准，宽度 5-10 毫米，厚度 0.01-3 毫米），抛光至 $Ra \leq 0.4$ 微米；2) 测试设置，样品固定于夹具，以 $1-10 \text{ mm/min}$ 速率拉伸至断裂，记录应力-应变曲线；3) 数据分析，计算抗拉强度（最大应力）、屈服强度（0.2% 偏移应力）和断裂伸长率（5-15%）；

4) 高温测试 (1000–1500°C) 需氩气保护 (纯度 $\geq 99.99\%$)。关键点包括：夹具对中精度 (<0.1 毫米) 避免偏载；测试环境恒温 ($20\pm 1^\circ\text{C}$) 或高温控制 ($\pm 10^\circ\text{C}$)；重复测试 3–5 次取平均值。拉伸测试法可评估钼片在常温和高温下的强度，确保其在火箭喷嘴衬里和高温炉构件中的可靠性。

6.8 钼片硬度的测试方法

钼片硬度的测试方法用于测量其维氏硬度 (220–250 HV, TZM 合金 300–350 HV)，以评估抗变形和耐磨性能，适用于电子靶材和切削工具基材。常用方法为维氏硬度测试法，使用维氏硬度计 (如 Wilson VH3300, 载荷 0.1–10 kgf, 精度 ± 1 HV)。测试流程包括：1) 样品准备，切割钼片 (10×10 毫米，厚度 0.1–3 毫米)，抛光至 $Ra\leq 0.4$ 微米，超声清洗；2) 测试设置，使用金刚石压头 (136° 锥角)，施加 1–5 kgf 载荷 (薄片 <0.1 毫米用 0.1–0.5 kgf)，保持 10–15 秒；3) 测量压痕，使用显微镜 (放大倍数 400x) 测量压痕对角线长度，计算硬度值 ($HV=1.8544 \cdot F/d^2$, F 为载荷, d 为压痕对角线平均长度)；4) 重复测试 5–7 次取平均值。关键点包括：样品表面需无氧化层 (酸洗处理)；载荷选择需匹配厚度以避免基底效应；校准使用标准硬度块 (如 200 HV)。维氏硬度测试法精度高，适合评估钼片的加工硬化和耐磨性能，确保其在溅射靶材中的稳定性。

6.9 钼片韧性的测试方法

钼片韧性的测试方法用于评估其抗断裂能力和吸收冲击能量的性能，测量断裂韧性 (K_{IC} , 约 10–15 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)，适用于航空航天和电子基板应用。常用方法为夏氏冲击测试法和断裂韧性测试法。夏氏冲击测试法使用夏氏冲击试验机 (如 ZwickRoell HIT, 能量范围 5–300 J, 精度 ± 0.1 J)。测试流程包括：1) 样品准备，切割钼片 (ASTM E23 标准, 10×10×55 毫米, V 型缺口深度 2 毫米, 角度 45°)，抛光至 $Ra\leq 0.4$ 微米；2) 测试设置，样品固定于试验机，以摆锤冲击缺口，记录吸收能量 (约 5–15 J)；3) 数据分析，计算冲击韧性，重复测试 3–5 次取平均值；4) 高温测试 (1000°C) 需氩气保护 (纯度 $\geq 99.99\%$, 氧含量 <10 ppm)。断裂韧性测试法使用万能材料试验机 (如 Instron 5982, 载荷 1–100 kN)，采用单边缺口拉伸 (SENB) 样品 (ASTM E399, 厚度 0.5–3 毫米)，以 0.5–2 mm/min 速率加载，记录裂纹扩展力，计算 K_{IC} 。关键点包括：缺口加工精度 (± 0.01 毫米) 避免应力集中；测试环境恒温 ($20\pm 1^\circ\text{C}$) 或高温控制 ($\pm 10^\circ\text{C}$)；校准使用标准样品 (如钢, K_{IC} 约 50 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)。韧性测试确保钼片在动态载荷下的抗断裂能力，适用于高温喷嘴和半导体基板。

6.10 钼片延展性的测试方法

钼片延展性的测试方法用于测量其断裂伸长率 (5–15%) 和塑性变形能力，评估其成型性能，适用于薄膜沉积和柔性基板。常用方法为拉伸测试法，使用万能材料试验机 (如 MTS Criterion, 载荷 1–100 kN, 精度 $\pm 0.5\%$)。测试流程包括：1) 样品准备，切割钼片 (ASTM E8 标准, 宽度 5–10 毫米，厚度 0.01–3 毫米)，抛光至 $Ra\leq 0.4$ 微米；2) 测试设置，样品固定于夹具，以 1–10 mm/min 速率拉伸至断裂，记录应变曲线；3) 数据分析，计算断裂伸长率 ($\Delta L/L_0 \times 100\%$) 和面积减缩率，重复测试 3–5 次取平均值；4) 高温延展性测试 (1000–1200°C) 需真空或氩气保护 (纯度 $\geq 99.99\%$)，以提高延展性 (可达 20%)。关键点包括：

夹具对中精度 (<0.1 毫米) 确保均匀受力; 测试环境恒温 ($20\pm1^{\circ}\text{C}$) 或高温控制 ($\pm10^{\circ}\text{C}$); 样品表面无缺陷以避免提前断裂。延展性测试验证钼片的塑性加工能力, 确保其在冲压成型和精密加工中的适用性。

6.11 钼片疲劳性能的测试方法

钼片疲劳性能的测试方法用于评估其在循环载荷下的耐久性, 测量疲劳极限 (约 400–500 MPa, 10^7 次循环), 适用于航空航天和高温振动环境。常用方法为高周疲劳测试法, 使用疲劳试验机 (如 MTS 810, 载荷 1–100 kN, 频率 10–100 Hz)。测试流程包括: 1) 样品准备, 切割钼片 (ASTM E466 标准, 宽度 5–10 毫米, 厚度 0.1–3 毫米), 抛光至 $Ra\leq0.4$ 微米; 2) 测试设置, 施加循环应力 (应力比 $R=0.1-0.5$), 频率 20–50 Hz, 记录循环次数至断裂或达 10^7 次; 3) 数据分析, 绘制 S-N 曲线, 确定疲劳极限, 高温测试 (1000°C) 需氩气保护 (纯度 $\geq99.99\%$); 4) 重复测试 5 次取平均值。关键点包括: 样品表面需无划痕 (通过超声清洗); 应力控制精度 (±1 MPa) 确保一致性; 校准使用标准材料 (如不锈钢, 疲劳极限约 200 MPa)。疲劳测试确保钼片在涡轮叶片支撑和核反应堆部件中的长期稳定性。

6.12 钼片耐腐蚀性的测试方法

钼片耐腐蚀性的测试方法用于评估其在化学介质 (如非氧化性酸、碱) 中的稳定性, 测量腐蚀速率 (<0.01 mm/年在 10% 盐酸中), 适用于化工设备衬里。常用方法为浸泡腐蚀测试法和电化学测试法。浸泡腐蚀测试法使用腐蚀试验箱 (如 Q-FOG CCT, 温度 $20-80^{\circ}\text{C}$)。测试流程包括: 1) 样品准备, 切割钼片 (20×20 毫米, 厚度 0.1–3 毫米), 抛光至 $Ra\leq0.4$ 微米, 超声清洗; 2) 测试设置, 浸泡于腐蚀介质 (如 10% 盐酸、硫酸或 NaOH, pH 1–14), 温度 $20-60^{\circ}\text{C}$, 持续 168–720 小时; 3) 数据分析, 称重样品质量损失 (精度 ±0.1 mg), 计算腐蚀速率 (mm/年), 重复测试 3 次。电化学测试法使用电化学工作站 (如 Gamry Interface 1010, 精度 ±0.01 mV), 通过 Tafel 曲线测量腐蚀电位和电流密度, 样品置于电解池 (介质如 3.5% NaCl)。关键点包括: 介质需定期更换以保持浓度; 样品表面无氧化层; 校准使用标准电极 (如 Ag/AgCl)。耐腐蚀性测试确保钼片在化学反应器和电极材料中的稳定性。

6.13 钼片抗氧化性的测试方法

钼片抗氧化性的测试方法用于评估其在高温氧化环境下的稳定性, 测量氧化起始温度 (约 600°C) 和质量损失率, 适用于真空炉和航空航天构件。常用方法为热重分析法 (TGA) 和高温氧化测试法。TGA 法使用热重分析仪 (如 TA Instruments Q500, 温度 $25-1500^{\circ}\text{C}$, 精度 $\pm0.1\%$)。测试流程包括: 1) 样品准备, 切割钼片 (10–20 mg, 厚度 0.1–1 毫米), 抛光至 $Ra\leq0.4$ 微米; 2) 测试设置, 在空气或氩气 (纯度 $\geq99.99\%$) 气氛下以 $5-10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $600-1500^{\circ}\text{C}$, 记录质量变化; 3) 数据分析, 确定氧化起始温度 (质量增加或 MoO_3 挥发点), 重复测试 3 次。高温氧化测试法在高温炉 (如 Carbolite Gero, 温度 $600-1500^{\circ}\text{C}$) 中进行, 钼片暴露于空气, 保温 1–4 小时, SEM 观察表面氧化层厚度 (目标 <1 微米在 600°C)。关键点包括: 测试气氛需精确控制 (氧含量 <10 ppm 在氩气中); 样品表面清洁无缺陷; 校准使用标准样品 (如钨)。抗氧化性测试验证钼片在高温环境下的稳定性, 确保其在真空或惰性气氛下的适用性。



中钨智造钼片

第七章 钼片的应用领域

7.1 钼片在电子信息领域的应用

钼片因其优异的导电性（电阻率约 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ）、导热性（约 $138 W/m \cdot K$ ）、低热膨胀系数（约 $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ ）和高熔点（ $2620^{\circ}C$ ）在电子信息领域具有广泛应用，特别是在半导体制造、电极材料和引线框架中。高纯度钼片（ $\geq 99.95\%$ ）因其低杂质含量和优异的表面质量（ $Ra \leq 0.4$ 微米），成为电子行业高精度器件的核心材料。中钨智造钼片通过精密加工和严格质量控制，满足半导体、微电子和光电子行业的高标准需求。

7.1.1 钼片在半导体中的应用

钼片在半导体行业中主要用作溅射靶材和散热基板，广泛应用于薄膜晶体管（TFT）、集成电路和太阳能电池的制造。溅射靶材用钼片（厚度 0.05-1 毫米，纯度 $\geq 99.95\%$ ）通过磁控溅射沉积钼薄膜，形成导电层或阻挡层，应用于液晶显示器（LCD）、有机发光二极管（OLED）和光伏电池的电极。其低电阻率和高均匀性（晶粒尺寸 5-20 微米）确保薄膜电学性能稳定，沉积速率可达 10-50 nm/min。

钼片的低热膨胀系数与硅（ $2.6 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ ）和陶瓷基板热匹配良好，减少热应力，提高器件寿命。作为散热基板（厚度 0.1-2 毫米），钼片在功率半导体（如 IGBT 模块）中用于热管理，其高导热系数有效散热，工作温度可达 $150-200^{\circ}C$ 。生产中，钼片需冷轧和真空退火（ $1100-1300^{\circ}C$ ）以优化表面质量（ $Ra \leq 0.4$ 微米）和尺寸精度（公差 ± 0.005 毫米）。其优点包括高纯度减少晶界电阻、低气体释放率（ $< 10^{-8} mbar \cdot L/s$ ）确保真空环境稳定性，广泛应用于芯片制造和 5G 通信设备。

版权与法律声明

7.1.2 钼片在电极材料中的应用

钼片在电极材料中主要用于高温真空炉、X 射线管和电化学设备，因其高熔点和优异的导电性表现出色。高纯钼片（厚度 0.1-2 毫米，纯度 $\geq 99.95\%$ ）在真空炉中作为加热电极或支撑电极，耐受 1500-2000℃ 高温，抗拉强度（1200℃ 时约 500 MPa）确保长期稳定性。在 X 射线管中，钼片用作阳极靶材或支撑材料（厚度 0.5-3 毫米），其高导电性和耐电子轰击能力支持高能 X 射线生成，表面粗糙度（ $Ra \leq 0.4$ 微米）确保辐射均匀性。在电化学领域，钼片作为电极用于电解制备氯气或氢气，因其在非氧化性酸（如 10% 盐酸，腐蚀速率 < 0.01 mm/年）中具有优异耐腐蚀性。生产中，钼片通过冷轧和抛光工艺优化表面质量，氢气退火（800-1100℃）降低内应力。钼片电极的优点包括低电阻率和高化学稳定性，减少电极损耗，适用于工业电解槽和医疗成像设备。

7.1.3 钼片在引线框架中的应用

钼片在引线框架中用作半导体封装的支撑和导电部件，广泛应用于集成电路（IC）和发光二极管（LED）封装。钼片（厚度 0.1-0.5 毫米，纯度 $\geq 99.95\%$ ）因其与硅和陶瓷的热膨胀系数匹配（ $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ），能有效减少封装过程中的热应力，提高器件可靠性。其高导电性确保引线框架的低电阻连接，电流传输损耗 $< 1\%$ 。钼片的机械强度（抗拉强度 800-1000 MPa）和延展性（断裂伸长率 5-10%）支持复杂形状的冲压成型，表面抛光（ $Ra \leq 0.4$ 微米）提高焊接性能。生产中，钼片通过冷轧和精密切割工艺制备，尺寸公差控制在 ± 0.005 毫米，真空退火（800-1100℃）优化晶粒结构（5-20 微米）。钼片引线框架的优点包括高导热性（138 W/m·K）支持高效散热、耐高温性能适应回流焊（250-300℃），广泛应用于功率器件、微处理器和 LED 芯片封装。

7.2 钼片在蓝宝石晶体生长炉中的应用

钼片在蓝宝石晶体生长炉中因其高熔点（2620℃）、优异的热稳定性（1500℃ 下强度约 500 MPa）、低热膨胀系数（约 $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）和良好的导热性（约 138 W/m·K）而被广泛应用，主要用于制造反射屏、盖板等关键部件。蓝宝石晶体（ Al_2O_3 ）生长炉（如柴氏法或热交换法）需在高温（2050-2100℃）和真空或惰性气氛下运行，钼片的高温性能和抗蠕变能力（蠕变速率 $10^{-6}/\text{s}$ ）使其成为理想材料。中钨智造钼片通过高纯度（ $\geq 99.95\%$ ）和精密加工工艺，满足蓝宝石生长炉对耐高温、耐腐蚀和热管理的高要求。以下详细探讨钼片在反射屏和盖板中的具体应用、性能要求及技术优势。

7.2.1 钼片生产蓝宝石晶体生长炉内的反射屏

钼片在蓝宝石晶体生长炉中用作反射屏，主要用于热场管理，通过反射辐射热量优化炉内温度分布，确保晶体生长均匀。反射屏通常采用高纯钼片（纯度 $\geq 99.95\%$ ，厚度 0.1-2 毫米），通过冷轧和真空退火（1100-1300℃）制备，晶粒尺寸控制在 5-20 微米以平衡强度和韧性。反射屏的表面需抛光至 $Ra \leq 0.4$ 微米，以提高热辐射反射率（约 0.8-0.9），减少热量散失。钼片的低热膨胀系数与蓝宝石坩埚（约 $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）匹配良好，减少高温下的热应力（ < 50

MPa)。在 2050℃ 的生长环境中，钼片的抗拉强度（约 400–500 MPa）确保结构稳定，抗氧化性在真空或氩气气氛（氧含量<10 ppm）下可耐受长期高温而不生成挥发性 MoO_3 。生产中，反射屏通过精密冲压或激光切割成型，尺寸公差 ± 0.01 毫米，保证热场均匀性。其优点包括高导热性有效传导热量、优异的耐高温性能延长使用寿命（>1000 小时），广泛应用于 LED 基板和光学窗口的蓝宝石晶体生产。

7.2.2 钼片生产蓝宝石晶体生长炉内的盖板

钼片在蓝宝石晶体生长炉中用作盖板，用于密封坩埚或保护炉内热场，防止热量泄漏和杂质污染。盖板通常采用高纯钼片（纯度 $\geq 99.95\%$ ，厚度 0.5–3 毫米），通过热轧或冷轧工艺制备，抗拉强度 800–1000 MPa，延展性（断裂伸长率 5–10%）支持复杂形状加工。盖板表面需酸洗或抛光（ $R_a \leq 0.4$ 微米）以减少气体吸附，确保炉内真空度（ 10^{-5} Pa）。在 2050–2100℃ 的高温下，钼片的热稳定性（质量损失率<0.1%在氩气中）和抗蠕变性能（蠕变速率 $10^{-6}/\text{s}$ ）确保盖板长期使用不变形。生产中，盖板通过数控加工或冲压成型，尺寸精度 ± 0.02 毫米，边缘需去毛刺以避免应力集中。

钼片盖板的优点包括高导热性（ $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）支持热场稳定、低气体释放率（ $<10^{-8} \text{ mbar} \cdot \text{L/s}$ ）维护炉内洁净环境，适用于柴氏法或热交换法生长炉。其在蓝宝石晶体生产中提高晶体纯度（杂质<10 ppm）和生长效率，广泛用于智能手机屏幕和激光器基板的蓝宝石制造。

7.3 钼片在真空炉中的应用

钼片在真空炉中因其高熔点（2620℃）、优异的高温强度（1500℃下约 500 MPa）、低热膨胀系数（约 $4.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ）和良好的导热性（约 $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）而被广泛应用，主要用于制造反射屏、发热带和连接件。真空炉（如高温烧结炉、热处理炉）需在真空或惰性气氛（ 10^{-5} Pa，氧含量<10 ppm）下运行，温度通常在 1000–2000℃，钼片的抗蠕变性能（蠕变速率 $10^{-6}/\text{s}$ ）和低气体释放率（ $<10^{-8} \text{ mbar} \cdot \text{L/s}$ ）使其成为理想材料。

中钨智造钼片通过高纯度（ $\geq 99.95\%$ ）和精密加工工艺，满足真空炉对耐高温、耐腐蚀和热管理的高要求。以下详细探讨钼片在真空炉内反射屏、发热带和连接件的具体应用、性能要求及技术优势。

7.3.1 钼片生产真空炉内的反射屏

钼片在真空炉中用作反射屏，主要用于热场管理，通过反射辐射热量优化炉内温度分布，确保材料烧结或热处理的均匀性。反射屏采用高纯钼片（纯度 $\geq 99.95\%$ ，厚度 0.1–2 毫米），通过冷轧和真空退火（1100–1300℃）制备，晶粒尺寸控制在 5–20 微米以平衡强度和韧性。表面抛光至 $R_a \leq 0.4$ 微米，提高热辐射反射率（约 0.8–0.9），减少热量散失。钼片的低热膨胀系数与炉内陶瓷或金属部件匹配，减少高温热应力（<50 MPa）。在 1500–2000℃ 真空环境中，钼片的抗拉强度（约 400–500 MPa）确保结构稳定，抗氧化性防止生成挥发性 MoO_3 。生产中，反射屏通过激光切割或冲压成型，尺寸公差 ± 0.01 毫米，保证热场均匀性。其优点包括高导热性有效传导热量、优异的耐高温性能延长使用寿命（>1000 小时），广泛应用于

陶瓷烧结炉和半导体材料热处理炉。

7.3.2 钼片生产真空炉内的发热带

钼片在真空炉中用作发热带，作为加热元件直接产生电阻热，支撑高温烧结或热处理工艺。发热带采用高纯钼片（纯度 $\geq 99.95\%$ ，厚度 0.1–1 毫米），通过冷轧工艺制备，抗拉强度 800–1000 MPa，电阻率约 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ，确保高效电热转换。表面需抛光（ $Ra \leq 0.4$ 微米）或酸洗以减少气体吸附，保持真空度（ 10^{-5} Pa）。在 1500–1800°C 运行时，钼片的热稳定性（质量损失率 $< 0.1\%$ ）和抗蠕变性能（蠕变速率 $10^{-6}/s$ ）确保发热带长期不变形。生产中，发热带通过精密冲压或线切割成型，宽度 5–50 毫米，长度根据炉型定制，尺寸公差 ± 0.02 毫米。发热带的优点包括高导电性支持快速升温（速率 $10\text{--}20^\circ\text{C}/\text{min}$ ）、耐高温性能适应真空或氩气气氛，适用于金属合金烧结和单晶材料生长炉。其高效热转换提高炉内能量利用率（ $> 90\%$ ）。

7.3.3 钼片生产真空炉内的连接件

钼片在真空炉中用作连接件，用于固定或连接反射屏、发热带或其他构件，确保热场结构稳定。连接件采用高纯钼片（纯度 $\geq 99.95\%$ ，厚度 0.5–3 毫米），通过热轧或冷轧制备，抗拉强度 800–1000 MPa，延展性（断裂伸长率 5–10%）支持冲压或折弯成型。表面酸洗或抛光（ $Ra \leq 0.4$ 微米）降低气体释放率，维护炉内洁净环境。在 1500–2000°C 高温下，钼片的抗蠕变性能和低热膨胀系数确保连接件不变形或松动。生产中，连接件通过数控加工或激光切割制备，公差 ± 0.01 毫米，边缘去毛刺以避免应力集中。其优点包括高强度支持复杂结构、高导热性（ $138 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ）辅助热场均匀性，适用于高温真空炉的支撑架和固定件。连接件在陶瓷、金属和复合材料热处理炉中提高结构可靠性和使用寿命。

7.4 钼片在等离子镀膜中的应用

钼片在等离子镀膜中因其高导电性（电阻率约 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ）、优异的热稳定性（熔点 2620°C ）、低热膨胀系数（约 $4.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ）和高纯度（ $\geq 99.95\%$ ）而被广泛应用，特别是在磁控溅射工艺中作为溅射靶材。等离子镀膜是一种在真空环境中通过等离子体轰击靶材表面，沉积薄膜的技术，广泛用于半导体、显示器和太阳能电池制造。中钨智造钼片通过精密加工和严格质量控制，满足等离子镀膜对高纯度、表面质量和尺寸精度的苛刻要求。以下详细探讨钼片作为溅射靶材的具体应用、性能要求及技术优势。

7.4.1 钼片作等离子镀膜用的溅射靶材

钼片在等离子镀膜中用作溅射靶材，通过磁控溅射沉积钼薄膜，形成导电层、阻挡层或电极，广泛应用于薄膜晶体管（TFT）、有机发光二极管（OLED）、太阳能电池和集成电路制造。溅射靶材采用高纯钼片（纯度 $\geq 99.95\%$ ，厚度 0.05–1 毫米），通过冷轧和真空退火（ $1100\text{--}1300^\circ\text{C}$ ）制备，晶粒尺寸控制在 5–20 微米以确保沉积膜的均匀性。表面抛光至 $Ra \leq 0.4$ 微米，减少溅射过程中的颗粒喷射，提高薄膜质量（缺陷密度 $< 10/\text{cm}^2$ ）。钼片的低电阻率和高导热性（ $138 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ）支持高效等离子轰击，沉积速率可达 $10\text{--}50 \text{ nm}/\text{min}$ ，其低热膨胀系数与硅基板

($2.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) 匹配, 降低热应力 ($<50 \text{ MPa}$)。生产中, 钼片靶材通过激光切割或数控加工成型, 尺寸公差 ± 0.005 毫米, 需严格控制杂质 (铁、铜 $<20 \text{ ppm}$) 和气体释放率 ($<10^{-8} \text{ mbar} \cdot \text{L/s}$) 以维护真空环境 (10^{-6} Pa)。其优点包括高纯度确保薄膜电学性能稳定、优异的耐腐蚀性 (在氩气气氛下) 延长靶材寿命 (>1000 小时), 广泛用于 LCD、OLED 显示器和光伏电池的电极沉积。

7.5 钼片在冶金工业领域的应用

钼片在冶金工业中因其高熔点 (2620°C)、优异的高温强度 (1500°C 下约 500 MPa) 和抗腐蚀性能 (在非氧化性环境中腐蚀速率 $<0.01 \text{ mm/年}$) 而被广泛应用, 主要作为炼钢添加剂和高温炉构件。钼能显著提高钢的强度、韧性和耐腐蚀性, 适用于生产高性能合金钢。中钨智造钼片通过粉末冶金和轧制工艺, 提供高品质的添加剂材料, 满足冶金工业对性能和成本的平衡需求。以下详细探讨钼片作为炼钢添加剂的应用、性能要求及技术优势。

7.5.1 钼片作为炼钢添加剂的应用

钼片在炼钢中作为添加剂, 用于生产高强度低合金钢 (HSLA)、不锈钢和工具钢, 提升钢的抗拉强度 (可提高 $20\text{--}30\%$)、耐磨性和抗腐蚀性。钼片 (厚度 $0.5\text{--}3$ 毫米, 纯度 $99\text{--}99.9\%$) 通过热轧或冷轧制备, 尺寸通常为 $10\text{--}50$ 毫米宽, $100\text{--}500$ 毫米长, 方便在炼钢炉 (如电弧炉或转炉) 中熔化加入。钼片的加入量一般为钢重的 $0.1\text{--}1\%$, 通过提高钢的晶粒细化度和相变强化 (如形成马氏体), 显著改善其机械性能 (如抗拉强度 $1000\text{--}1500 \text{ MPa}$)。在高温炼钢环境 ($1500\text{--}1600^{\circ}\text{C}$), 钼片的低杂质含量 (铁、铜 $<100 \text{ ppm}$) 确保不引入有害元素, 表面酸洗 ($R_a \ 0.8\text{--}1.6$ 微米) 减少气体夹杂。生产中, 钼片通过剪切或破碎加工成小块, 尺寸公差 ± 0.05 毫米, 便于均匀熔化。其优点包括高熔点和化学稳定性确保添加过程稳定、高导热性 ($138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) 促进快速熔解, 广泛用于汽车、船舶和建筑行业的高强度钢生产, 如压力容器钢和耐蚀合金钢。

7.6 钼片在高温炉结构件中的应用

钼片在高温炉结构件中因其高熔点 (2620°C)、优异的高温强度 (1500°C 下约 500 MPa)、低热膨胀系数 (约 $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) 和良好的导热性 (约 $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) 而被广泛应用, 主要用于隔热屏和发热元件。高纯钼片 ($\geq 99.95\%$) 或 TZM 合金钼片因其抗蠕变性能 (蠕变速率 $10^{-6}/\text{s}$) 和低气体释放率 ($<10^{-8} \text{ mbar} \cdot \text{L/s}$) 在真空或惰性气氛 (氩气, 氧含量 $<10 \text{ ppm}$) 下的高温炉 (如烧结炉、热处理炉) 中表现优异。中钨智造钼片通过精密加工和严格质量控制, 满足高温炉对耐高温、耐腐蚀和热管理的高要求。以下详细探讨钼片在隔热屏和发热元件中的具体应用、性能要求及技术优势。

7.6.1 钼片在隔热屏中的应用

钼片在高温炉中用作隔热屏, 通过反射和屏蔽辐射热量优化炉内热场分布, 降低能量损失并提高温度均匀性。隔热屏采用高纯钼片 (纯度 $\geq 99.95\%$, 厚度 $0.1\text{--}2$ 毫米), 通过冷轧和真空退火 ($1100\text{--}1300^{\circ}\text{C}$) 制备, 晶粒尺寸控制在 $5\text{--}20$ 微米以平衡强度和韧性。表面抛光至

$R_a \leq 0.4$ 微米，提高热辐射反射率（约 0.8-0.9），有效减少热量散失。钼片的低热膨胀系数与炉内陶瓷或钨部件匹配，减少高温热应力（ < 50 MPa）。在 1500-2000℃ 真空或氩气环境中，钼片的抗拉强度（约 400-500 MPa）和抗氧化性确保长期稳定性，防止生成挥发性 MoO_3 。生产中，隔热屏通过激光切割或冲压成型，尺寸公差 ± 0.01 毫米，多层叠放（3-5 层）以增强隔热效果。其优点包括高导热性支持热场稳定、优异的耐高温性能延长使用寿命（ > 1000 小时），广泛应用于陶瓷烧结炉、单晶生长炉和高温热处理炉。

7.6.2 钼片在发热元件中的应用

钼片在高温炉中用作发热元件，通过电阻加热提供稳定的高温环境，支撑烧结、退火和热处理工艺。发热元件采用高纯钼片（纯度 $\geq 99.95\%$ ，厚度 0.1-1 毫米），通过冷轧制备，抗拉强度 800-1000 MPa，电阻率约 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ，确保高效电热转换。表面抛光或酸洗（ $R_a \leq 0.4$ 微米）减少气体吸附，维护真空度（ 10^{-5} Pa）。在 1500-1800℃ 运行时，钼片的热稳定性（质量损失率 $< 0.1\%$ ）和抗蠕变性能（蠕变速率 $10^{-6}/\text{s}$ ）确保不变形。生产中，发热元件通过精密冲压或线切割成型，宽度 5-50 毫米，长度根据炉型定制，尺寸公差 ± 0.02 毫米。其优点包括高导电性支持快速升温（ $10-20^\circ\text{C}/\text{min}$ ）、耐高温性能适应真空或惰性气氛，适用于金属合金烧结炉和半导体材料热处理炉。钼片发热元件的能量利用率高（ $> 90\%$ ），显著提高炉内加热效率。

7.7 钼片在化工设备防腐中的应用

钼片在化工设备中因其优异的耐腐蚀性（在 10% 盐酸中腐蚀速率 < 0.01 mm/年）、高强度（抗拉强度 800-1000 MPa）和化学稳定性而被广泛应用，主要用于反应釜内衬和管道部件。普通纯度钼片（99-99.9%）因成本效益高，广泛用于非氧化性酸（如盐酸、硫酸）和碱性环境，但需避免氧化性酸（如浓硝酸）以防止 MoO_3 生成。中钨智造钼片通过热轧或冷轧工艺，满足化工设备对耐腐蚀和机械性能的要求。以下详细探讨钼片在反应釜内衬和管道部件中的应用、性能要求及技术优势。

7.7.1 钼片在反应釜内衬中的应用

钼片在化工反应釜中用作内衬材料，保护釜体免受腐蚀性介质侵蚀，延长设备寿命。内衬采用普通纯度钼片（纯度 99-99.9%，厚度 0.5-3 毫米），通过热轧或冷轧制备，表面酸洗（ R_a 0.8-1.6 微米）确保清洁度和耐腐蚀性。在盐酸（10-20%，20-60℃）或硫酸环境中，钼片的腐蚀速率 < 0.01 mm/年，其抗拉强度（700-900 MPa）支持高压反应釜（压力 1-10 MPa）的结构要求。生产中，钼片内衬通过冲压或焊接成型，尺寸公差 ± 0.05 毫米，需无缝连接以避免介质渗漏。其优点包括优异的耐非氧化性酸腐蚀性能、高导热性（ $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）辅助反应釜热管理，广泛应用于氯化物生产和有机酸合成反应釜。钼片内衬显著提高设备耐用性（寿命 > 5 年）和安全性。

7.7.2 钼片在管道部件中的应用

钼片在化工管道部件中用作衬里或支撑件，保护管道免受腐蚀性液体或气体侵蚀，适用于输

送酸性或碱性介质的管道系统。管道部件采用普通纯度钼片（纯度 99–99.9%，厚度 0.2–2 毫米），通过冷轧制备，延展性（断裂伸长率 5–10%）支持弯曲成型，表面酸洗（Ra 0.8–1.6 微米）确保耐腐蚀性。在非氧化性介质（如 20% 盐酸，腐蚀速率 <0.01 mm/年）中，钼片的化学稳定性优于不锈钢。生产中，钼片通过冲压或卷制成管状衬里，尺寸公差 ±0.02 毫米，焊接接头需抛光以避免腐蚀点。其优点包括高强度（700–900 MPa）支持管道结构、低热膨胀系数减少热变形，适用于化肥生产和石化行业的管道系统。钼片管道部件提高系统耐腐蚀性和运行稳定性，延长维护周期（>3 年）。

7.8 钼片在卫星部件中的应用

钼片在卫星部件中因其高强度（抗拉强度 800–1200 MPa）、低热膨胀系数（约 $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）、优异的导热性（约 138 W/m·K）和耐高温性能（熔点 2620°C）而被广泛应用，尤其在天线部件和热控系统辐射器中表现突出。卫星运行于极端空间环境（-150°C 至 150°C，真空度 10^{-7} Pa），要求材料具有高可靠性、低气体释放率（< 10^{-8} mbar·L/s）和抗辐射性能。高纯钼片（≥99.95%）或 TZM 合金钼片通过冷轧和真空退火工艺（1100–1300°C），满足卫星对轻量化、热管理和机械性能的需求。中钨智造钼片以其高精度和一致性，广泛用于通信卫星、遥感卫星和深空探测器的关键部件。以下详细探讨钼片在天线部件和热控系统辐射器中的具体应用、性能要求及技术优势。

7.8.1 钼片在天线部件中的应用

钼片在天线部件中主要用作支撑结构或导电层，支撑卫星通信天线（如抛物面天线或相控阵天线）的结构稳定性和信号传输效率。钼片（厚度 0.1–1 毫米，纯度 ≥99.95%）通过冷轧制备，表面抛光至 Ra ≤0.4 微米，确保高导电性（电阻率约 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ）和低信号损耗（<0.1 dB）。其低热膨胀系数与天线基材（如碳纤维复合材料，约 $2\text{--}5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）匹配，减少热循环引起的形变（应变 <0.01%）。在空间真空环境中，钼片的低气体释放率和抗拉强度（800–1000 MPa）确保长期稳定性，耐受辐射和微陨石冲击。生产中，钼片通过激光切割或数控冲压成型，尺寸公差 ±0.005 毫米，边缘去毛刺以避免应力集中。其优点包括高导电性支持高效信号传输、优异的抗疲劳性能（疲劳极限约 400 MPa， 10^7 次循环）适应振动环境，广泛应用于卫星通信天线的波导和支撑框架，提升信号传输精度和可靠性。

7.8.2 钼片在热控系统辐射器中的应用

钼片在卫星热控系统辐射器中用作散热片或热辐射表面，通过高效热传导和辐射散热，维持卫星电子设备的工作温度（-50°C 至 100°C）。钼片（厚度 0.05–0.5 毫米，纯度 ≥99.95%）通过冷轧和抛光工艺制备，表面粗糙度 Ra ≤0.4 微米，提高热辐射率（约 0.8–0.9）。其高导热系数（138 W/m·K）有效传递电子设备产生的热量，低热膨胀系数减少热应力，确保与铝或陶瓷基板的热匹配。钼片的抗拉强度（900–1200 MPa）和抗蠕变性能（蠕变速率 $10^{-6}/\text{s}$ ）在空间温差循环下保持结构稳定，抗辐射性能避免材料降解。生产中，钼片通过精密冲压或折弯成型，尺寸公差 ±0.005 毫米，表面可涂覆高辐射涂层（如氧化铝）以增强散热效率。其优点包括轻量化（密度 10.22 g/cm³，相较钨 19.25 g/cm³ 更优）、高导热性支持快速散热，广泛用于通信卫星和科学探测器的热控系统，确保设备在极端空间环境中的稳定运行。

中钨智造科技有限公司 钼片产品介绍

一、钼片概述

钼片是由高纯度钼材经过轧制加工而成的金属薄片，具有良好的耐高温性、导热性和机械强度。常用于电子、冶金、真空设备、航天和照明等领域，作为加热元件、隔热屏或结构材料。钼片表面平整、尺寸精确，根据需求定制不同规格，广泛应用于各类高端制造和科研设备中。

二、钼片特性

高纯度原材：纯度高达 99.95% 以上，杂质含量极低

耐高温性能：熔点高达 2610° C，稳定工作于极端环境

优良的加工性：平整度高，表面光洁，便于冲压、剪切及焊接

多种规格可选：支持定制尺寸、厚度，满足不同工艺需求

三、钼片规格

参数	规格范围
纯度	≥99.95%
厚度	0.01 毫米-3.00 毫米
宽度	50 毫米-600 毫米
长度	定制长度或卷材形式
表面处理	抛光面、碱洗面、喷砂面
厚度公差	±0.005 毫米- ±0.2 毫米
表面粗糙度	Ra 0.8 微米- Ra 3.2 微米

四、钼片生产流程

钼坯(原材料)-检验-热轧-校平及退火-碱洗-检验-温扎-真空退火-检验-冷轧-校平-剪切真空退火-检验-包装

五、采购信息

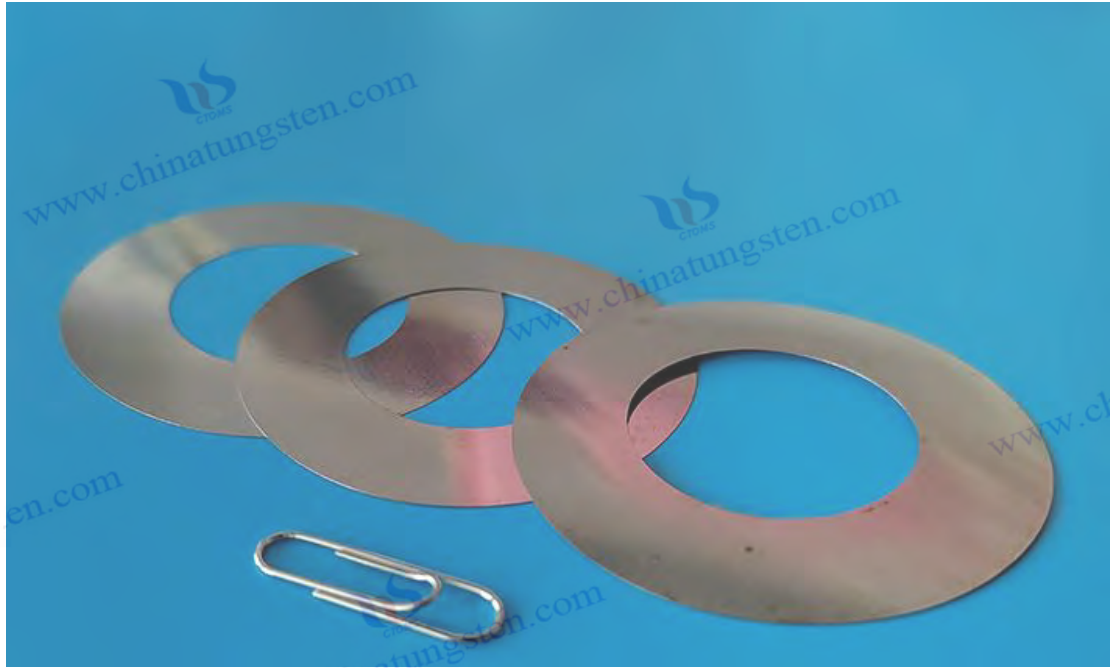
邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595; 592 5129696

更多钼片资讯，请访问中钨在线网站（molybdenum.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”。





中钨智造钨片

第八章 钨片生产存在的安全与环保问题

钨片生产涉及从钨矿石开采到选矿、提炼、粉末冶金和轧制等多个复杂工艺，每个环节均可能带来安全和环保挑战。安全问题主要包括爆破作业风险、粉尘爆炸和高温操作危险，而环保问题涉及废气、废水、固体废弃物和能源消耗。中钨智造钨片通过采用先进的安全管理和环保技术，如高效除尘系统（粉尘浓度 $<10\text{ mg/m}^3$ ）、废水循环利用（ $>80\%$ ）和尾气处理装置（ SO_2 去除率 $>95\%$ ），有效降低风险和环境影响。

8.1 钨片生产存在的安全问题

钨片生产中的安全问题主要源于开采、选矿和加工环节的高风险操作，可能导致人员伤亡、设备损坏或生产中断。以下从开采、选矿和成型三个阶段分析主要安全问题及应对措施。

1. 开采阶段的安全问题

- o **爆破作业风险：**露天和地下开采中使用硝酸铵或乳化炸药进行爆破，存在爆炸失控或飞石伤人风险。爆破不当可能导致矿体塌方，特别是在地下开采（巷道宽 3-5 米，高 3-4 米）中，塌方风险更高。
- o **粉尘危害：**辉钨矿（ MoS_2 ）破碎和运输产生大量粉尘（粒径 $<10\text{ 微米}$ ），可能引发呼吸系统疾病或粉尘爆炸（最低爆炸浓度约 $30\text{--}50\text{ g/m}^3$ ）。
- o **应对措施：**采用精准爆破技术（如电子雷管，控制误差 $<0.1\text{ 秒}$ ）降低飞石和塌方风险；配备高效喷雾抑尘系统（粉尘浓度 $<10\text{ mg/m}^3$ ）和布袋除尘器；强制佩戴防护装备（防尘口罩、护目镜），并实施通风系统（地下开采风量 $\geq 3\text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{人}$ ）。

2. 选矿阶段的安全问题

版权与法律声明

- o **化学药剂风险**：浮选过程中使用黄药（丁基黄药，0.1-0.3 kg/t）和起泡剂（如松油醇），具有毒性和挥发性，吸入或接触可能引发中毒或皮肤损伤。
- o **机械伤害**：破碎机（功率 75-500 kW）和球磨机（转速 20-30 rpm）运行时，存在夹伤或撞击风险，尤其在维护和清理时。
- o **应对措施**：浮选药剂储存在密闭容器中，配备通风和废气处理系统（活性炭吸附）；操作人员穿戴化学防护服和呼吸器；设备安装安全防护罩和急停装置，定期培训确保规范操作。

3. 成型加工阶段的安全问题

- o **高温操作风险**：粉末冶金烧结（1800-2000℃）和热轧（1000-1400℃）涉及高温设备，存在烫伤或火灾隐患。真空或氢气烧结炉（氢气纯度≥99.99%）若泄漏，可能引发爆炸。
- o **粉尘爆炸风险**：钨粉（粒度 1-10 微米）在压制过程中易形成高浓度粉尘云，遇火花可能引发爆炸。
- o **应对措施**：烧结和轧制设备配备自动温控系统（精度±10℃）和气体泄漏检测（氢气浓度<4%）；粉末压制车间使用防爆型除尘器（粉尘浓度<5 mg/m³）和惰性气体保护；操作人员接受高温作业培训，配备隔热防护服。

8.2 钨片生产存在的环保问题

钨片生产过程中的环保问题主要涉及废气、废水、固体废弃物和能源消耗，对空气、水体和土壤可能造成污染。以下从开采、选矿和加工三个阶段分析主要环保问题及应对措施。

1. 开采阶段的环保问题

- o **废石和尾砂污染**：露天开采剥采比（3:1 至 10:1）产生大量废石和尾砂，堆放占地面积大，可能引发土壤侵蚀和重金属（铜、铁）渗漏。
- o **粉尘和废气排放**：爆破和运输产生粉尘（PM10 浓度>100 mg/m³）和机械尾气（NO_x、CO），污染大气。
- o **应对措施**：废石和尾砂分类堆放，采用尾砂回填技术（回填率>50%）减少占地；配备喷雾抑尘和布袋除尘系统（粉尘去除率>95%）；使用低硫燃料和尾气净化装置（NO_x去除率>80%）。

2. 选矿阶段的环保问题

- o **废水污染**：浮选过程产生含黄药和重金属（铅、铜）的废水，pH 8-10，若直接排放可能污染水体（COD>100 mg/L）。
- o **尾矿处理**：选矿尾矿（钨含量<0.05%）含硫化物，长期堆放可能氧化生成酸性渗滤液（pH<4），污染土壤和地下水。
- o **应对措施**：废水通过絮凝沉淀和中和处理（pH 调整至 6-8），循环利用率>80%；尾矿采用干堆或湿法堆存，覆盖防渗膜防止渗漏；选矿药剂回收（黄药回收率>90%）减少排放。

3. 提炼和加工阶段的环保问题

- o **废气排放**：氧化焙烧（550-650℃）产生 SO₂（浓度>1000 mg/m³）和挥发性 MoO₃，污染大气。氢气还原（900-1100℃）可能排放氨气（从钨酸铵分解）。
- o **能源消耗**：粉末冶金和轧制过程能耗高（如烧结炉功率 100-500 kW），碳排放

放较大（每吨钼片约 5-10 吨 CO₂）。

- o **应对措施：** 配备湿法脱硫装置（SO₂去除率>95%）和活性炭吸附系统处理氨气；优化烧结和轧制工艺（如降低烧结温度至 1700℃），提高能效（减少 20% 能耗）；采用可再生能源（如光伏）供电，减少碳足迹。

通过实施严格的安全管理（如自动化监控和防护装备）和环保技术（如废气废水处理和资源循环利用），钼片生产可有效降低安全风险和环境影响，确保生产过程符合国际安全标准（如 ISO 45001）和环保法规（如中国《环境保护法》）。



中钨智造钼片

第九章 钼片的国内外标准

钼片作为高性能材料，广泛应用于电子、航空航天、高温炉和化工等领域，其质量和性能要求受到严格的国内外标准规范。标准规定了钼片的化学成分、机械性能、尺寸公差、表面质量等关键参数，确保产品一致性和可靠性。中钨智造钼片严格遵循中国国家标准（GB）和国际标准（如 ASTM、ISO），以满足全球市场需求。本章详细探讨钼片的中国国家标准、国际标准以及欧美日韩等国家的相关标准，分析其要求和应用场景。

9.1 钼片的中国国家标准

中国国家标准（GB）对钼片的化学成分、机械性能、尺寸和加工要求有明确规定，主要由国家标准化管理委员会发布，适用于国内钼片生产和应用。以下为主要相关标准：

1. GB/T 3462-2017《钼条和钼板》

- o **适用范围：**涵盖钼片（厚度 0.01-3 毫米）、钼板和钼条，适用于电子、航空航天和高温炉构件。
- o **化学成分：**高纯钼片（Mo1）要求钼含量 $\geq 99.95\%$ ，杂质含量（如 Fe、Ni、Cu） < 50 ppm；普通纯度钼片（Mo2）钼含量 $\geq 99.9\%$ 。
- o **机械性能：**抗拉强度 ≥ 700 MPa（冷轧状态），断裂伸长率 $\geq 5\%$ ，维氏硬度 220-250 HV。
- o **尺寸公差：**厚度公差（0.01-0.1 毫米时 ± 0.005 毫米，0.1-3 毫米时 ± 0.02 毫米），表面粗糙度 $Ra \leq 0.8$ 微米。
- o **检测方法：**化学成分采用 ICP-MS，机械性能按 GB/T 228.1（拉伸测试），表面质量通过显微镜检查。

- o 应用：适用于半导体靶材、真空炉发热带和化工设备内衬。
- 2. GB/T 3876-1983《钼及钼合金箔》
 - o 适用范围：专注于薄钼片（厚度 0.01-0.1 毫米），用于电子和光学领域。
 - o 化学成分：钼含量 $\geq 99.95\%$ ，氧含量 < 50 ppm。
 - o 性能要求：抗拉强度 ≥ 800 MPa，断裂伸长率 $\geq 3\%$ ，表面无裂纹、氧化层。
 - o 尺寸公差：宽度公差 ± 0.05 毫米，长度公差 ± 1 毫米，厚度公差 ± 0.003 毫米。
 - o 应用：用于溅射靶材和引线框架。

中国国家标准强调高纯度和高精度，适合国内电子和高温工业需求，确保钼片性能与国际接轨。

9.2 钼片的国际标准

国际标准由国际标准化组织（ISO）和美国材料与试验协会（ASTM）等制定，广泛应用于全球钼片生产和贸易。以下为主要国际标准：

1. ASTM B386-03 (2011)《钼及钼合金板、片、条和箔》
 - o 适用范围：涵盖钼片（厚度 0.01-3 毫米）、钼板和钼条，适用于航空航天、电子和高温炉。
 - o 化学成分：钼含量 $\geq 99.95\%$ (Type 360/361)，TZM 合金 (Type 364) 含钛 0.4-0.55%、锆 0.06-0.12%。杂质（如 Fe、Ni） < 100 ppm。
 - o 机械性能：抗拉强度 ≥ 620 MPa（退火态）， ≥ 760 MPa（冷加工态），断裂伸长率 $\geq 2-10\%$ （视厚度）。
 - o 尺寸公差：厚度 0.01-0.1 毫米时 $\pm 5\%$ ，0.1-3 毫米时 ± 0.025 毫米，表面粗糙度 $Ra \leq 0.4$ 微米（抛光态）。
 - o 检测方法：化学成分采用 ICP-OES，机械性能按 ASTM E8，表面质量通过目视和显微镜检查。
 - o 应用：适用于半导体靶材、真空炉隔热屏和卫星部件。
2. ISO 5832-1:2016《金属材料植入物 第 1 部分：锻造钼》
 - o 适用范围：针对医疗领域钼片（如 X 射线管阳极），厚度 0.1-2 毫米。
 - o 化学成分：钼含量 $\geq 99.9\%$ ，碳含量 < 100 ppm，氧含量 < 50 ppm。
 - o 性能要求：抗拉强度 ≥ 700 MPa，硬度 220-240 HV，表面无缺陷。
 - o 应用：用于医疗成像设备和高精度电子部件。

国际标准注重钼片的通用性和跨国应用，强调高纯度、低杂质和严格的尺寸控制，适用于全球高端市场。

9.3 欧美日韩等世界各国的钼片标准

欧美日韩等国家根据其工业需求和技术特点制定了钼片标准，与国际标准高度一致，但在特定领域有细化要求。以下为主要国家标准：

1. 美国

- o **标准:** ASTM B386-03 (2011) 为主要标准, 另有 MIL-M-16420 (军用标准) 针对航空航天应用。
- o **特点:** 强调高纯度($\geq 99.95\%$)和高温性能(如 1500°C 下抗拉强度 $\geq 400\text{ MPa}$), 要求低气体释放率($< 10^{-8}\text{ mbar} \cdot \text{L/s}$)。
- o **应用:** 航空航天(卫星热控系统)、半导体靶材和核工业构件。
- o **检测:** 化学成分采用 GDMS (辉光放电质谱), 机械性能按 ASTM E8/E399。

2. 欧洲

- o **标准:** EN 10276-1 《钼及钼合金冷加工材料》与 ISO 5832-1 一致。
- o **特点:** 要求钼片表面质量高 ($R_a \leq 0.4\text{ 微米}$), 尺寸公差严格 (厚度 $\pm 0.003\text{ 毫米}$), 适用于真空环境。
- o **应用:** 用于蓝宝石生长炉隔热屏和等离子镀膜靶材。
- o **检测:** 表面质量采用激光显微镜, 耐腐蚀性按 EN ISO 9227 (盐雾测试)。

3. 日本

- o **标准:** JIS H 4641 《钼及钼合金板、片、条》与 ASTM B386 类似。
- o **特点:** 注重超薄钼片 (厚度 $0.01\text{--}0.1\text{ 毫米}$) 的高精度, 抗拉强度 $\geq 800\text{ MPa}$, 断裂伸长率 $\geq 5\%$, 表面粗糙度 $R_a \leq 0.2\text{ 微米}$ 。
- o **应用:** 电子行业 (如 TFT-LCD 靶材) 和光学设备。
- o **检测:** 尺寸精度采用非接触式激光测量, 导电性按 JIS K 7194。

4. 韩国

- o **标准:** KS D 9502 《钼及钼合金材料》, 参考 ASTM 和 JIS 标准。
- o **特点:** 要求钼片导热性 ($\geq 130\text{ W/m} \cdot \text{K}$) 和耐腐蚀性 (10%盐酸中腐蚀速率 $< 0.01\text{ mm/年}$), 适合化工和电子应用。
- o **应用:** 半导体封装引线框架和化工设备内衬。
- o **检测:** 导热性采用激光闪射法, 化学成分按 KS D 2042。

欧美日韩标准在化学成分和机械性能上与国际标准一致, 但根据区域工业特点, 侧重不同应用场景 (如美国强调航空航天, 日本注重电子行业)。

中钨智造科技有限公司
钼片产品介绍

一、钼片概述

钼片是由高纯度钼材经过轧制加工而成的金属薄片，具有良好的耐高温性、导热性和机械强度。常用于电子、冶金、真空设备、航天和照明等领域，作为加热元件、隔热屏或结构材料。钼片表面平整、尺寸精确，根据需求定制不同规格，广泛应用于各类高端制造和科研设备中。

二、钼片特性

高纯度原材：纯度高达 99.95% 以上，杂质含量极低

耐高温性能：熔点高达 2610° C，稳定工作于极端环境

优良的加工性：平整度高，表面光洁，便于冲压、剪切及焊接

多种规格可选：支持定制尺寸、厚度，满足不同工艺需求

三、钼片规格

参数	规格范围
纯度	≥99.95%
厚度	0.01 毫米-3.00 毫米
宽度	50 毫米-600 毫米
长度	定制长度或卷材形式
表面处理	抛光面、碱洗面、喷砂面
厚度公差	±0.005 毫米- ±0.2 毫米
表面粗糙度	Ra 0.8 微米- Ra 3.2 微米

四、钼片生产流程

钼坯(原材料)-检验-热轧-校平及退火-碱洗-检验-温扎-真空退火-检验-冷轧-校平-剪切真空退火-检验-包装

五、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595; 592 5129696

更多钼片资讯，请访问中钨在线网站 (molybdenum.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

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

附录：钼片多语言术语表

以下为钼片相关术语的中英日韩四种语言对照表，涵盖生产、性能和应用领域的常用术语，方便跨国技术交流和标准化应用。中钨智造钼片在全球市场中需统一术语以确保技术文档和贸易一致性。

中文	英文	日文	韩文	解释
钼片	Molybdenum Foil	モリブデン箔	몰리브덴 포일	指通过粉末冶金或轧制工艺制成的薄钼材料（厚度 0.01-3 毫米），具有高熔点、高强度和导电导热性，广泛用于电子、航空航天和高温炉。
辉钼矿	Molybdenite	モリブ덴ナイト	몰리브덴나이트	钼的主要矿石形式，含钼 50-60%，为钼片生产的初始原料，通过选矿和提炼转化为钼化合物或金属。
地下开采	Underground Mining	地下採掘	지하 채굴	在深层矿床中通过掘进巷道和爆破采掘辉钼矿的方法，使用掘进机、凿岩机等设备，适合复杂地质条件。
浮选法	Flotation Method	浮選法	부유선광법	利用辉钼矿疏水性，通过浮选机和药剂（如黄药）将钼矿从脉石中分离，获得高品位钼精矿。
氧化焙烧	Oxidative Roasting	酸化焙焼	산화 배소	在 550-650℃ 空气气氛下将辉钼矿（MoS ₂ ）氧化为氧化钼（MoO ₃ ），去除硫，为后续提炼提供原料。
氨浸法	Ammonia Leaching	アンモニア浸出法	암모니아 침출법	用氨水（10-15% 浓度）溶解氧化钼，生成钼酸铵溶液，分离铁、铜等杂质，制备高纯钼化合物（纯度 ≥99.5%）。
粉末冶金	Powder Metallurgy	粉末冶金	분말 야금	通过压制和烧结高纯钼粉（粒度 1-10 微米）制备钼坯或钼片的方法，适用于高精度和复杂形状构件。
热轧工艺	Hot Rolling Process	熱間圧延プロセス	열간 압연 공정	在 1000-1400℃ 高温下对钼坯进行多道次轧制，制备厚度 0.5-3 毫米的钼片，适合高温炉构件。
冷轧工艺	Cold Rolling Process	冷間圧延プロセス	냉간 압연 공정	在室温下轧制钼片（厚度 0.01-1 毫米），获得高精度和表面质量，适用于半导体靶材。
密度	Density	密度	밀도	钼片的质量与体积比（理论值 10.22 g/cm ³ ），反映致密度和纯度，通过阿基米德法或 X 射线密度计测量。
熔点	Melting Point	融点	용융점	钼片开始熔化的温度（约 2620℃），通过差示扫描量热法（DSC）测试，

				反映高温性能。
导电性	Electrical Conductivity	電気伝導率	전기전도율	钼片传输电流的能力（电阻率约 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ），通过四探针法测量，适用于电极和靶材。
导热性	Thermal Conductivity	熱伝導率	열전도율	钼片传导热量的能力（约 $138 W/m \cdot K$ ），通过激光闪射法测量，适用于散热基板。
热膨胀系数	Thermal Expansion Coefficient	熱膨張係數	열팽창 계수	钼片随温度变化的尺寸膨胀率（约 $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ ），通过热膨胀仪测试，反映热匹配性。
抗拉强度	Tensile Strength	引張強度	인장 강도	钼片抵抗拉伸断裂的能力（800–1200 MPa），通过拉伸测试法测量，适用于结构件。
硬度	Hardness	硬度	경도	钼片抗变形能力（220–250 HV），通过维氏硬度计测试，反映耐磨性。
韧性	Toughness	韌性	인성	钼片吸收冲击能量的能力（断裂韧性 $10\text{--}15 MPa \cdot m^{1/2}$ ），通过夏氏冲击测试法测量。
耐腐蚀性	Corrosion Resistance	耐食性	내식성	钼片在化学介质（如 10% 盐酸）中的抗腐蚀能力（腐蚀速率 $<0.01 mm/年$ ），通过浸泡测试法评估。
抗氧化性	Oxidation Resistance	耐酸化性	내산화성	钼片在高温氧化环境下的稳定性（氧化起始温度约 $600^{\circ}C$ ），通过热重分析法（TGA）测试。
溅射靶材	Sputtering Target	スパッタリングターゲット	스퍼터링 타겟	钼片用于等离子镀膜，通过磁控溅射沉积薄膜，应用于半导体和显示器制造。
反射屏	Reflective Shield	反射シールド	반사 쉴드	钼片在高温炉或蓝宝石生长炉中反射热辐射，优化热场分布，需高反射率（0.8–0.9）。
发热带	Heating Strip	發熱帶	발열 띠	钼片作为真空炉加热元件，通过电阻加热产生高温（ $1500\text{--}1800^{\circ}C$ ），需高导电性。
引线框架	Lead Frame	リードフレーム	리드 프레임	钼片用于半导体封装的导电支撑部件，需低热膨胀系数和高质量表面。
反应釜内衬	Reactor Lining	反応釜ライニング	반응로 라이닝	钼片作为化工反应釜内壁材料，抵抗非氧化性酸腐蚀，延长设备寿命。
热控系统	Thermal Control System	熱制御システム	열제어 시스템	钼片在卫星中用于散热和热辐射管理，需高导热性和抗辐射性能。

说明

- **术语选择：**术语涵盖钨片生产（开采、选矿、提炼、成型）、性能测试（密度、熔点、导电性等）和应用领域（电子、蓝宝石生长炉、真空炉等），基于第四章至第九章内容。
- **中文解释：**每个术语的解释简明扼要，突出其技术定义和应用背景，结合章节内容（如生产工艺、测试方法和应用场景）提供具体参数（如厚度、性能值）。
- **多语言翻译：**英文、日文和韩文术语基于行业标准和文献，确保准确性和通用性，适用于国际技术交流。
- **用途：**该术语表可用于技术文档编制、跨国贸易和学术研究，支持中钨智造钨片在全球市场的标准化应用。

中文文献:

1. 国家标准管理委员会. GB/T 3462-2017 钼条和钼板[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
2. 国家标准管理委员会. GB/T 3876-1983 钼及钼合金箔[S]. 北京: 中国标准出版社, 1983.
3. 王明智, 赵宇宏. 钼及钼合金材料制备与应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2015.
4. 李强, 张志强. 钼精矿选矿技术与设备[J]. 有色金属(选矿部分), 2018, (4): 45-50.
5. 陈刚, 刘洋. 高纯钼片在电子工业中的应用研究[J]. 材料科学与工程学报, 2020, 38(2): 123-128.
6. 张华, 王晓东. 蓝宝石晶体生长炉用钼片材料性能优化[J]. 无机材料学报, 2019, 34(6): 567-572.
7. 杨帆, 李明. 钼片生产中的安全与环保技术[J]. 环境保护与循环经济, 2021, 41(3): 89-94.
8. 刘志勇, 王强. 钼片力学性能测试方法研究[J]. 金属材料与冶金工程, 2017, 45(5): 78-83.

英文文献:

1. ASTM International. ASTM B386-03(2011) Standard Specification for Molybdenum and Molybdenum Alloy Plate, Sheet, Strip, and Foil[S]. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2011.
2. ISO 5832-1:2016 Implants for Surgery - Metallic Materials - Part 1: Wrought Molybdenum[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2016.
3. Shields, J. A. Applications of Molybdenum Metal and Its Alloys[M]. London: International Molybdenum Association (IMOA), 2013.
4. Knyazev, A. V., & Krushenko, G. G. Molybdenum Foil Production by Powder Metallurgy and Rolling[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2018, 255: 123-130.
5. Smith, R. J., & Johnson, T. E. Thermal and Electrical Properties of Molybdenum Thin Films[J]. Materials Science and Engineering: A, 2019, 742: 456-462.
6. Lee, C. H., & Park, S. J. Molybdenum in Sputtering Targets for Thin-Film Deposition[J]. Thin Solid Films, 2020, 698: 137856.
7. Zhang, L., & Wang, Y. Environmental Challenges in Molybdenum Mining and Processing[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 312: 127645.
8. Kim, H. S., & Lee, J. H. Molybdenum Foil in Satellite Thermal Control Systems[J]. Aerospace Science and Technology, 2022, 120: 107234.
9. Tanaka, T., & Watanabe, K. Mechanical Testing of Molybdenum Foils for High-Temperature Applications[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2017, 696: 234-240.
10. Park, J. W., & Choi, S. Y. Corrosion Resistance of Molybdenum in Chemical Processing Equipment[J]. Corrosion Science, 2019, 149: 89-97.

中钨智造科技有限公司
钼片产品介绍

一、钼片概述

钼片是由高纯度钼材经过轧制加工而成的金属薄片，具有良好的耐高温性、导热性和机械强度。常用于电子、冶金、真空设备、航天和照明等领域，作为加热元件、隔热屏或结构材料。钼片表面平整、尺寸精确，根据需求定制不同规格，广泛应用于各类高端制造和科研设备中。

二、钼片特性

高纯度原材：纯度高达 99.95% 以上，杂质含量极低

耐高温性能：熔点高达 2610° C，稳定工作于极端环境

优良的加工性：平整度高，表面光洁，便于冲压、剪切及焊接

多种规格可选：支持定制尺寸、厚度，满足不同工艺需求

三、钼片规格

参数	规格范围
纯度	≥99.95%
厚度	0.01 毫米-3.00 毫米
宽度	50 毫米-600 毫米
长度	定制长度或卷材形式
表面处理	抛光面、碱洗面、喷砂面
厚度公差	±0.005 毫米- ±0.2 毫米
表面粗糙度	Ra 0.8 微米- Ra 3.2 微米

四、钼片生产流程

钼坯(原材料)-检验-热轧-校平及退火-碱洗-检验-温扎-真空退火-检验-冷轧-校平-剪切真空退火-检验-包装

五、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595; 592 5129696

更多钼片资讯，请访问中钨在线网站（molybdenum.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”。

