

什么是钼铜片

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

版权与法律责任声明

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、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

目录

第1章 引言

- 1.1 钼铜片的概述
- 1.2 钼铜复合材料的组成与结构
- 1.3 钼铜片在材料科学中的重要性

第2章 钼铜片的材料特性

- 2.1 钼与铜的基本性质
- 2.2 钼铜片的密度
- 2.3 钼铜片的力学性能
 - 2.3.1 钼铜片的硬度
 - 2.3.2 钼铜片的韧性
 - 2.3.3 钼铜片的延展性
 - 2.3.4 钼铜片的机械强度
 - 2.3.5 钼铜片的耐疲劳性能
- 2.4 钼铜片的化学特性
 - 2.4.1 钼铜片的耐腐蚀性
 - 2.4.2 钼铜片的抗氧化性能
 - 2.4.3 钼铜片的耐酸碱性能
- 2.5 钼铜片的热学性能
 - 2.5.1 导热系数与热扩散率
 - 2.5.2 热膨胀行为与稳定性
 - 2.5.3 耐高温性能
- 2.6 钼铜片的电学性能
 - 2.6.1 电导率与电阻特性
 - 2.6.2 电接触性能
 - 2.6.3 电化学稳定性
- 2.7 钼铜片与其他材料的对比
- 2.8 中钨智造钼铜片 MSDS

第3章 钼铜片的分类方式

- 3.1 按牌号分类（典型）钼铜片
 - 3.1.1 Mo85Cu15
 - 3.1.2 Mo80Cu20
 - 3.1.3 Mo70Cu30
 - 3.1.4 Mo60Cu40
 - 3.1.5 Mo50Cu50
- 3.2 按制造工艺分类钼铜片
 - 3.2.1 粉末冶金法制造的钼铜片
 - 3.2.2 熔渗法制造的钼铜片
- 3.3 按应用领域分类钼铜片

版权与法律责任声明

- 3.3.1 通用型钼铜片
- 3.3.2 高频型钼铜片
- 3.3.3 航空航天型钼铜片
- 3.3.4 光电器件型钼铜片

第4章 钼铜片的制备工艺

- 4.1 粉末冶金技术制备钼铜片
 - 4.1.1 粉末冶金技术的工艺流程
 - 4.1.2 粉末冶金技术的优势与局限
- 4.2 熔渗法制备钼铜片
 - 4.2.1 熔渗法的工艺流程
 - 4.2.2 熔渗法的优势与局限
- 4.3 3D 打印技术在钼铜片制备中的应用

第5章 钼铜片的主要生产设备

- 5.1 钼铜片粉末冶金技术的生产设备
 - 5.1.1 粉末制备设备
 - 5.1.1.1 球磨机
 - 5.1.1.2 雾化设备
 - 5.1.2 粉末成型设备
 - 5.1.2.1 液压机（用于冷压成型钼铜坯料）
 - 5.1.2.2 等静压机
 - 5.1.3 烧结设备
 - 5.1.3.1 真空烧结炉（用于高温烧结，控制气氛防止氧化）
 - 5.1.3.2 热压烧结炉
 - 5.1.4 后处理设备
 - 5.1.4.1 热处理炉
 - 5.1.4.2 精密磨床
- 5.2 钼铜片熔渗法的生产设备
 - 5.2.1 液压机（用于压制钼粉成型）
 - 5.2.2 真空烧结炉（用于钼骨架的烧结和铜的熔渗）

第6章 钼铜片性能测试方法与设备

- 6.1 钼铜片的密度测试
 - 6.1.1 阿基米德排水法原理与操作
- 6.2 钼铜片的孔隙率测试
 - 6.2.1 金相显微镜观察与计算
- 6.3 钼铜片的拉伸测试
 - 6.3.1 万能材料试验机使用
- 6.4 钼铜片的弯曲测试
 - 6.4.1 三点弯曲法
 - 6.4.2 四点弯曲法

- 6.5 钼铜片的冲击韧性测试
- 6.5.1 摆锤冲击试验操作要点
- 6.6 钼铜片的热导率测试
- 6.6.1 激光闪射法原理及应用
- 6.7 钼铜片的热膨胀系数测试
- 6.7.1 热机械分析仪（TMA）使用
- 6.8 钼铜片的电阻率测试
- 6.8.1 四探针法测量流程
- 6.9 钼铜片的接触电阻测试
- 6.9.1 直流压降法操作规范

第7章 钼铜片的应用领域

- 7.1 钼铜片在电子工业领域的应用
 - 7.1.1 封装材料
 - 7.1.2 集成电路基板
 - 7.1.3 微波器件中的散热部件
 - 7.1.4 微波器件中的结构支撑部件
 - 7.1.5 热沉材料
 - 7.1.6 射频模块
 - 7.1.7 LED 散热基板
- 7.2 钼铜片在航空航天领域的应用
 - 7.2.1 飞机的金属构件
 - 7.2.2 航天器的热防护材料
 - 7.2.3 导弹与航天器组件
 - 7.2.4 雷达系统散热器
 - 7.2.5 军用电子封装
- 7.3 钼铜片在能源与热管理中应用
 - 7.3.1 电力电子器件
 - 7.3.2 核能设备
 - 7.3.3 可再生能源系统
 - 7.3.4 电动汽车电池热管理
- 7.4 钼铜片在其他新兴应用领域
 - 7.4.1 医疗设备
 - 7.4.2 7G 通信基站
 - 7.4.3 激光器与光学系统
 - 7.4.4 增材制造与定制化组件

第八章 钼铜片的市场与产业现状

- 8.1 全球钼铜片市场概况
- 8.2 钼铜片主要生产厂商——中钨智造
- 8.3 钼铜片市场需求与发展趋势
- 8.4 钼铜片市场面临的挑战与机遇

第九章 钼铜片的未来发展

- 9.1 钼铜片新型制备技术的潜力
- 9.2 钼铜片性能优化的研究方向
- 9.3 钼铜片跨行业应用的扩展

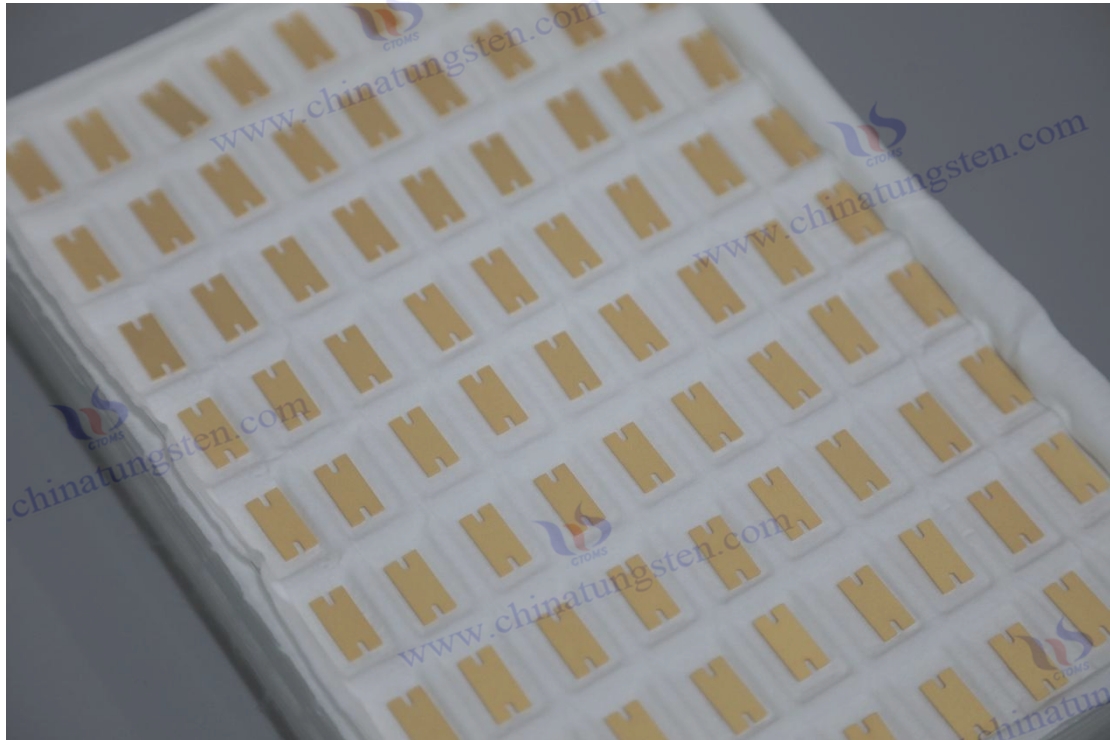
第十章 钼铜片的国内外标准

- 10.1 钼铜片的中国国家标准
- 10.2 钼铜片的国际标准
- 10.3 欧美日韩等世界各国的钼铜片标准

附录：

钼铜片术语表

参考文献



中钨智造钼铜片

1

中钨智造科技有限公司
钼铜片产品介绍

一、钼铜片概述

钼铜片是一种由钼和铜组成的复合材料，其凭借着独特的热电性能、机械性能和可调性，广泛应用于热管理、高性能电子器件、半导体和航空航天等领域，常用作封装材料、集成电路基板、热沉材料、LED 散热基板等。中钨智造可根据用户的需求，定制具有特定尺寸及成分的钼铜产品。

二、钼铜片特性

良好的导电性：可满足电路连接等导电场景的需求。

高导热性：可快速传导热量，适用于需要高效散热的电子器件等领域。

低膨胀系数：与硅等半导体材料匹配度高，能在温度变化时减少因热胀冷缩产生的应力，避免器件变形或损坏。

加工性能良好：可通过切割等工艺进行加工，制成不同尺寸和形状的零件，满足多样化的应用需求。

三、典型钼铜合金性能

材料成分	密度(g/cm ³)	导热系数 W/moK 25°C	热膨胀系数 (10 ⁻⁶ /°C)
Mo85Cu15	10.00	160-180	6.8
Mo80Cu20	9.90	170-190	7.7
Mo70Cu30	9.80	180-200	9.1
Mo60Cu40	9.66	210-250	10.3
Mo50Cu50	9.54	230-270	11.5

四、钼铜片生产方式

钼铜片的制备主要通过熔渗法，利用钼的高熔点和铜的良好流动性，通过高温熔渗的方式将铜渗入钼坯体中，形成致密的钼铜复合材料。

五、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595; 592 5129696

更多钼铜片资讯，请访问中钨在线网站（molybdenum-copper.com）。

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”。



第 1 章 引言

1.1 钼铜片的概述

钼铜片是一种由钼和铜组成的复合材料，通常以薄片或板材形式应用于电子、航空航天、能源及高温工业领域。它结合了钼的高熔点、耐腐蚀性和优异热稳定性，以及铜的高导电性和导热性，形成了一种兼具出色力学性能和热电性能的先进材料。钼铜片的制备主要通过粉末冶金技术，将钼粉与铜粉按特定比例混合、压制成型并烧结，或采用熔渗法将液态铜渗入钼基体中形成复合结构。

钼铜片具有以下显著特性：高导热性使其在热管理中表现优异，适用于散热片和热沉；低热膨胀系数确保其在高温环境下的尺寸稳定性；通过调整钼铜比例，可定制导热性、导电性和机械强度，以适应多样化的应用需求；钼的高熔点（约 2623° C）和耐腐蚀性使其能在极端环境中长期服役。典型应用包括电子封装中的散热基板、功率半导体器件、微波器件以及航空航天热管理组件。自 20 世纪中后期以来，随着高性能电子器件和高温应用需求的增长，钼铜片的研发和生产技术得到了显著提升。

1.2 钼铜复合材料的组成与结构

钼铜复合材料由钼和铜两种金属通过特定工艺复合而成，其性能直接受组成比例和微观结构的影响。材料的组成通常以重量或体积百分比表示，例如 Mo70Cu30（钼占 70%，铜占 30%）或 Mo85Cu15 等常见牌号。钼含量的增加提升了材料的强度、耐高温性和低热膨胀特性，但可能略微降低导热性和导电性；而铜含量的提高则显著增强导热性和导电性，但会削弱机械强度和耐高温性能。微量添加剂（如镍或银）有时用于改善烧结性能或界面结合，但含量严格控制以避免性能劣化。

在微观结构上，钼铜复合材料呈现两相结构：钼形成连续或半连续的骨架，提供机械强度和耐高温性能，颗粒尺寸通常在 1-10 微米之间；铜则填充于钼骨架孔隙中，形成连续的导热和导电网络。两相的界面结合主要依赖物理嵌合和烧结过程中的扩散作用，良好的界面结合能有效降低热阻和电阻。扫描电子显微镜（SEM）和 X 射线衍射（XRD）分析显示，钼颗粒通常被铜基体均匀包裹，铜相的连续性随铜含量增加而增强。

制备工艺对材料结构有显著影响。粉末冶金法通过混合钼铜粉末、压制和烧结，能精确控制成分比例，适合生产高致密度钼铜片；熔渗法通过将液态铜渗入多孔钼骨架，适用于高铜含量材料，但工艺控制要求较高；热压烧结法则在高温高压下直接成型，适合高性能需求但成本较高。不同工艺导致颗粒尺寸、相分布和界面结合强度的差异，从而影响材料性能。

1.3 钼铜片在材料科学中的重要性

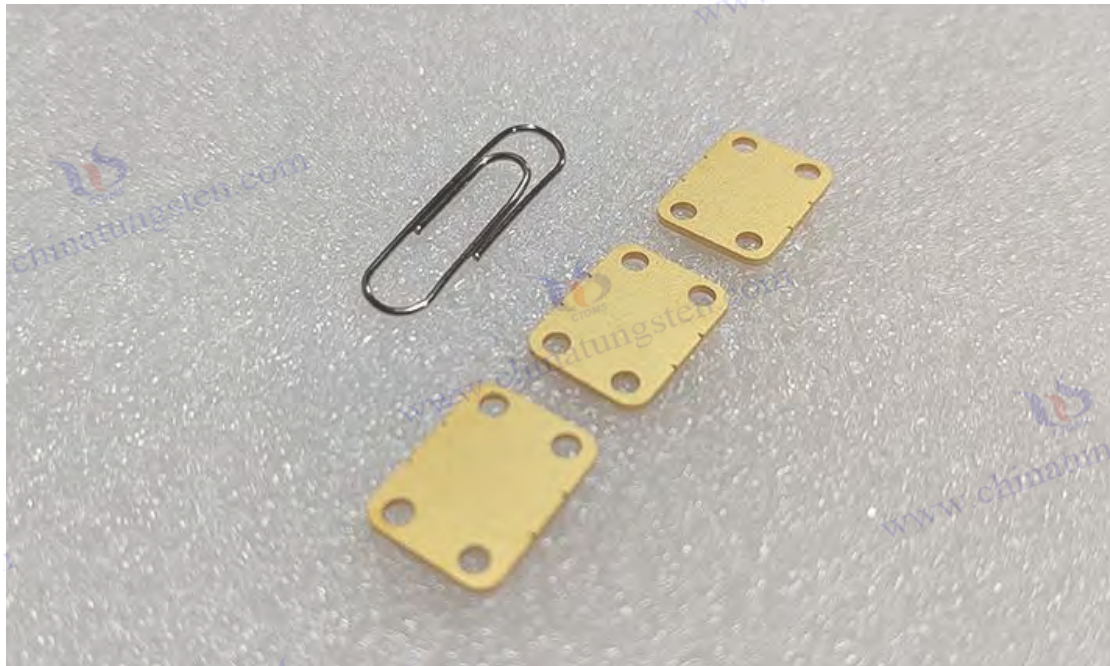
钼铜片作为一种高性能复合材料，在材料科学和工程应用中具有重要价值。其在热管理领域的表现尤为突出。随着电子器件向高功率密度和小型化发展，热管理成为制约性能和寿命的关键。钼铜片凭借优异的导热性和与陶瓷材料（如氧化铝、氮化硅）相近的热膨胀系数，成

为电子封装、功率半导体器件（如 IGBT、MOSFET）、微波器件和激光器热沉的理想材料。它能有效传导热量、减少热应力引起的界面开裂，从而提升器件可靠性和寿命。

在高性能电子器件领域，钼铜片的导电性和导热性使其成为 5G 通信设备和新能源汽车功率模块的核心材料。其可调性能支持不同器件设计需求，推动了电子器件向更高性能和小型化方向发展。此外，钼铜片的高熔点和耐腐蚀性使其在极端环境中具有显著优势，如核工业高温反应堆的热交换组件和航空航天喷气发动机的高温部件，展现了其在苛刻条件下的可靠性和稳定性。

钼铜片的研究还推动了复合材料设计和制备技术的进步。针对界面优化、微观结构调控和新型制备工艺的探索，不仅提升了钼铜片性能，还为其他金属基复合材料（如钨铜、铝硅）的开发提供了理论和实践参考，助力多功能材料设计理念的跨学科融合。此外，钼铜片的制备工艺成熟，原材料钼和铜储量丰富且可回收，成本相对较低，具备较高的经济性和可持续性，适合大规模生产和应用。

综上，钼铜片凭借其独特的热电性能、机械性能和可调性，在热管理、高性能电子器件和极端环境应用中发挥关键作用。其研究和应用不仅满足了现代工业对高性能材料的需求，还推动了材料科学的创新发展。随着技术进步，钼铜片的性能优化和应用领域将进一步拓展，为科技和工业进步提供重要支撑。



中钨智造钼铜片图片

第 2 章 钼铜片材料特性

2.1 钼与铜的基本性质

钼和铜是钼铜复合材料的主要成分，其各自的物理和化学性质决定了复合材料的性能表现。钼是一种高熔点过渡金属，熔点约为 2623°C ，具有优异的耐高温性和抗腐蚀性，其热膨胀系数低（约 $4.8 \times 10^{-6}/\text{K}$ at 25°C ），能在高温环境下保持尺寸稳定性。钼的强度较高，但导电性（约 18% IACS）和导热性（约 $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）相对较低。铜则以高导电性（接近 100% IACS）和高导热性（约 $401 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）著称，熔点为 1085°C ，是理想的热管理和电传输材料，但其热膨胀系数较高（约 $16.5 \times 10^{-6}/\text{K}$ at 25°C ），高温下强度下降。

钼和铜在原子尺度上不完全互溶，形成两相结构：钼构成骨架，提供结构支撑和耐高温性；铜填充孔隙，形成导热导电网络。这种互补性使钼铜片在导热性、导电性和力学性能之间实现平衡，满足电子、航空航天等领域的需求。

2.2 钼铜片的密度

钼铜片的密度是其关键物理特性，影响材料的重量、热传导效率及应用场景的适用性。密度取决于钼和铜的比例，介于钼的密度（ 10.28 g/cm^3 ）和铜的密度（ 8.96 g/cm^3 ）之间。钼含量高的钼铜片密度偏高，适合需要高强度和耐高温性的应用，如航空高温部件；铜含量高的钼铜片密度较低，有助于减轻器件重量，适用于便携式电子设备和航空航天轻量化设计。

制备工艺对密度有显著影响：粉末冶金法通过高压成型和高温烧结可获得接近理论密度的材料，通常达到 98% 以上；熔渗法可能因孔隙残留导致密度略低。密度还影响热容和导热效率，低密度通常伴随高导热性，但可能牺牲部分高温稳定性。因此，密度是钼铜片设计中需权衡的重要参数。

2.3 钼铜片的力学性能

钼铜片的力学性能包括硬度、韧性和强度，决定了其在机械应力和变形条件下的表现。钼的高强度和铜的延展性共同塑造了钼铜片的力学特性，具体性能随成分比例和制备工艺变化。

2.3.1 钼铜片的硬度

硬度反映钼铜片抵抗局部变形和磨损的能力，通常通过维氏硬度（HV）测量。钼的高硬度（约 230–250 HV）为复合材料提供优异的抗磨损能力，而铜的硬度较低（约 50–70 HV），使高铜含量材料更具柔韧性。

钼含量高的钼铜片（如 Mo85Cu15）硬度较高，接近钼的硬度，适合需要耐磨性的电子封装散热基板；铜含量高的钼铜片硬度较低，但延展性更好，适用于需要一定柔性的应用。热压烧结法通过高温高压提高致密度，增强硬度；粉末冶金法若烧结不足，可能因孔隙存在而降低硬度。钼铜片的硬度使其能承受机械加工和装配应力，并在高温下保持表面完整性。

2.3.2 钼铜片的韧性

韧性表示钼铜片吸收能量和抵抗断裂的能力，是其在动态载荷或冲击环境下的关键性能。纯钼韧性较低，表现为脆性，而铜具有优异的延展性和韧性。钼铜复合材料通过铜的加入改善整体韧性，避免脆性断裂。铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）韧性较好，适合需要抗冲击的热管理应用；钼含量高的材料（如 Mo85Cu15）韧性较低，但强度更高，适用于高强度需求。

熔渗法制备的钼铜片因铜相分布均匀，韧性通常优于粉末冶金法产品。界面结合质量对韧性至关重要，良好的钼铜界面能有效传递应力，减少裂纹扩展。钼铜片的韧性使其在航空航天或高振动环境中能承受冲击和循环载荷，延长使用寿命。

2.3.3 钼铜片的延展性

延展性反映了钼铜片在受力时发生塑性变形而不发生断裂的能力，是其在加工和应用中适应复杂形状或变形需求的重要特性。钼的延展性较低，表现为较脆的特性，而铜具有优异的延展性（延伸率可达 40%-50%），能够在拉伸或弯曲过程中吸收大量变形能。

钼铜复合材料的延展性主要受铜含量的影响，铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）延展性较好，能承受较大的塑性变形，适合需要成型加工的电子封装或热管理组件；钼含量高的钼铜片（如 Mo85Cu15）延展性较低，更倾向于刚性结构，适用于高强度需求的场景。制备工艺对延展性也有影响，熔渗法通过均匀分布的铜相可提升延展性，而粉末冶金法若存在孔隙或界面结合不佳，可能降低延展性。钼铜片的延展性使其在制造复杂形状的散热基板或航空航天部件时具有加工优势，同时在循环载荷下能减少脆性断裂风险。

2.3.4 钼铜片的机械强度

机械强度表示钼铜片抵抗外力破坏的能力，通常通过抗拉强度或屈服强度来表征，是其在结构应用中的关键性能。钼具有较高的抗拉强度（约 600-800 MPa，视加工状态而定），为复合材料提供了坚实的力学支撑，而铜的抗拉强度较低（约 200-250 MPa），但有助于提升材料的延展性。钼含量高的钼铜片（如 Mo85Cu15）机械强度较高，接近钼的强度水平，适合承受高应力的航空航天高温部件或电子器件基板；铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）强度较低，但更具柔韧性，适用于需要一定变形的应用。热压烧结法通过提高材料致密度可显著增强机械强度，而粉末冶金法若烧结不充分，可能因孔隙导致强度下降。钼铜片的机械强度使其能在电子封装中承受装配应力，在高温环境下保持结构稳定性，满足高可靠性需求。

2.3.5 钼铜片的耐疲劳性能

耐疲劳性能反映钼铜片在循环载荷下抵抗裂纹萌生和扩展的能力，是其在动态或振动环境中的重要特性。纯钼的耐疲劳性能较差，易在循环应力下产生微裂纹，而铜的优异延展性和韧性有助于吸收循环应力，提高疲劳寿命。钼铜复合材料的耐疲劳性能随铜含量增加而改善，铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）在循环载荷下表现出较长的疲劳寿命，适合高振动环境，如航空航天器件的热管理组件；钼含量高的钼铜片（如 Mo85Cu15）耐疲劳性能稍逊，但因高

强度可承受更高应力幅值。制备工艺对耐疲劳性能影响显著，熔渗法制备的钼铜片因铜相分布均匀，界面结合良好，能有效抑制裂纹扩展；粉末冶金法若存在微孔或界面缺陷，可能加速疲劳失效。钼铜片的耐疲劳性能使其在功率半导体器件或航空航天高温部件中能够承受长期循环载荷，确保长期可靠性。

2.4 钼铜片的化学特性

钼铜片的化学特性，包括耐腐蚀性、抗氧化性能和耐酸碱性能，决定了其在苛刻化学环境中的稳定性和使用寿命。钼和铜的化学性质差异显著，钼具有优异的抗腐蚀和抗氧化能力，而铜在特定环境中易发生氧化或腐蚀。钼铜复合材料的化学特性因两相结构的协同作用而得以优化，具体性能受成分比例、微观结构和制备工艺的影响。

2.4.1 钼铜片的耐腐蚀性

耐腐蚀性反映钼铜片在接触腐蚀性介质（如湿气、盐雾或化学气体）时抵抗表面侵蚀和性能劣化的能力。钼具有极佳的耐腐蚀性，能够在多种化学环境中保持稳定，尤其对非氧化性酸和盐类溶液表现出色；铜的耐腐蚀性较弱，特别是在潮湿或含氯环境中易发生电化学腐蚀。钼铜复合材料的耐腐蚀性主要由钼相主导，钼含量高的钼铜片（如 Mo85Cu15）在腐蚀性环境中表现出较好的稳定性，适合用于航空航天器件或海洋环境下的热管理组件；铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）耐腐蚀性稍逊，可能在高湿度或盐雾环境中出现铜相腐蚀。制备工艺对耐腐蚀性有一定影响，热压烧结法通过提高致密度减少孔隙，可降低腐蚀介质的渗透；粉末冶金法若存在微孔，可能加速局部腐蚀。钼铜片的耐腐蚀性使其在电子封装和高温环境中能长期维持性能，延长器件寿命。

2.4.2 钼铜片的抗氧化性能

抗氧化性能表示钼铜片在高温或含氧环境中抵抗氧化反应和表面氧化的能力。钼在高温下（约 600° C 以上）易与氧气反应生成挥发性氧化物（如 MoO₃），但其氧化速率较慢，且钼铜复合材料中铜相的分布可部分缓解钼的氧化倾向。铜在常温下形成致密的氧化铜（Cu₂O）保护层，具有一定的抗氧化性，但在高温（约 300° C 以上）下易进一步氧化生成疏松的氧化物（CuO），降低性能。钼含量高的钼铜片（如 Mo85Cu15）在高温下抗氧化性能较好，适合航空航天高温部件或功率半导体散热基板；铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）在高温氧化环境中性能稍逊，需避免长期暴露于高温含氧环境。表面处理（如镀镍或镀金）或优化制备工艺（如热压烧结提高致密度）可显著提升抗氧化性能，减少氧化物生成。钼铜片的抗氧化性能使其能在高温电子器件或工业环境中保持结构和功能稳定性。

2.4.3 钼铜片的耐酸碱性能

耐酸碱性能反映钼铜片在酸性或碱性环境中的化学稳定性，是其在化学加工或特定工业环境中的重要特性。钼对非氧化性酸（如盐酸、硫酸）具有优异的耐蚀性，但在强氧化性酸（如硝酸）中易被腐蚀；铜对大多数酸性环境敏感，特别是在氧化性酸中易溶解，但在弱碱性环境中较为稳定。钼铜复合材料的耐酸碱性能因钼含量较高而得到改善，钼含量高的钼铜片

（如 Mo85Cu15）在非氧化性酸和弱碱性环境中表现出较好的稳定性，适合用于化学工业的热管理组件；铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）在酸性环境中耐蚀性较差，需避免接触强酸。制备工艺对耐酸碱性能有影响，熔渗法通过均匀的铜相分布可减少局部腐蚀风险；粉末冶金法若存在孔隙，可能导致酸碱介质渗透，加速腐蚀。钼铜片的耐酸碱性能使其在电子器件制造或化学环境下能维持性能，满足特定应用需求。

2.5 钼铜片的热学性能

钼铜片的热学性能，包括导热系数与热扩散率、热膨胀行为与稳定性以及耐高温性能，是其在热管理、高温应用和电子器件中的核心优势。钼和铜的热学特性互补，铜提供高导热性，钼贡献低热膨胀和高温稳定性，使钼铜片成为电子封装、航空航天和能源领域理想的热管理材料。热学性能受钼铜比例、微观结构和制备工艺的显著影响。

2.5.1 导热系数与热扩散率

导热系数和热扩散率是衡量钼铜片传导热量能力的关键参数，直接影响其在散热和热管理中的性能。铜具有极高的导热系数（约 $401 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ），是优异的热导体，而钼的导热系数较低。

钼铜复合材料的导热系数随铜含量增加而提高，铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）导热系数较高，接近 $200\text{--}250 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，适合功率半导体器件和微波器件的散热基板；钼含量高的钼铜片导热系数较低，约为 $150\text{--}180 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，但仍优于许多传统材料，适用于需要兼顾强度和导热性的场景。热扩散率反映材料快速传导热量的能力，与导热系数和密度相关，高铜含量的钼铜片热扩散率较高，有助于快速散热。制备工艺对导热性能影响显著，热压烧结法通过提高致密度增强热传导效率；粉末冶金法若存在孔隙，可能降低导热性。钼铜片的优异导热系数和热扩散率使其在高功率电子器件中能有效管理热量，提升器件性能和寿命。

2.5.2 热膨胀行为与稳定性

热膨胀行为与稳定性反映钼铜片在温度变化时尺寸变化的程度及其结构稳定性，是其在热循环环境中应用的关键特性。钼的热膨胀系数低（约 $4.8 \times 10^{-6}/\text{K}$ at 25°C ），能有效抵抗温度引起的形变；铜的热膨胀系数较高（约 $16.5 \times 10^{-6}/\text{K}$ at 25°C ），易导致热应力。钼铜复合材料的热膨胀系数介于两者之间，随钼含量增加而降低，钼含量高的钼铜片（如 Mo85Cu15）热膨胀系数接近 $5\text{--}7 \times 10^{-6}/\text{K}$ ，与陶瓷材料（如氧化铝、氮化硅）匹配，适合电子封装中减少热应力引起的界面开裂；铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）热膨胀系数较高，约为 $8\text{--}10 \times 10^{-6}/\text{K}$ ，适用于对热膨胀要求不严格的散热应用。热膨胀稳定性还受微观结构影响，均匀的钼铜界面和致密的结构可减少热应力集中。热压烧结法通过优化界面结合增强热膨胀稳定性，而粉末冶金法若存在缺陷，可能导致局部应力集中。钼铜片的低热膨胀和高稳定性使其在高温循环环境中保持结构完整，延长器件使用寿命。

2.5.3 耐高温性能

耐高温性能反映钼铜片在高温环境下维持物理和化学稳定性的能力，是其在航空航天、核工

业和高温电子器件中的重要特性。钼的高熔点（约 2623° C）赋予复合材料优异的耐高温性，而铜的熔点较低（1085° C），限制了高铜含量材料在极端高温下的应用。钼含量高的钼铜片（如 Mo85Cu15）能在 600–800° C 的高温下保持结构和性能稳定，适合航空航天喷气发动机部件或核反应堆热交换组件；铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）耐高温性能稍逊，推荐工作温度低于 400° C，以避免铜相软化或氧化。制备工艺对耐高温性能有重要影响，热压烧结法通过提高致密度和界面强度增强高温稳定性；熔渗法若铜相分布不均，可能在高温下导致性能下降。表面处理（如镀镍）可进一步提升耐高温性能，减少高温氧化。钼铜片的耐高温性能使其在苛刻热环境中能长期服役，满足高可靠性需求。

2.6 钼铜片的电学性能

钼铜片的电学性能，包括电导率与电阻特性、电接触性能和电化学稳定性，是其在电子器件、功率模块和导电组件中应用的关键。铜的高导电性与钼的结构稳定性相结合，使钼铜片在电学性能上具有独特优势，满足高性能电子设备对导电性和可靠性的需求。电学性能受钼铜比例、微观结构和制备工艺的影响。

2.6.1 电导率与电阻特性

电导率和电阻特性反映钼铜片传导电流的能力，是其在导电应用中的核心性能。铜具有极高的电导率（接近 100% IACS，国际退火铜标准），是优异的导电材料，而钼的电导率较低（约 18% IACS）。钼铜复合材料的电导率随铜含量增加而提高，铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）电导率较高，接近 30–40% IACS，适合功率半导体器件和微波器件的导电基板；钼含量高的钼铜片（如 Mo85Cu15）电导率较低，约为 20–25% IACS，但仍足以满足许多电子应用需求。

电阻特性与电导率直接相关，高铜含量的钼铜片电阻较低，有助于减少电能损耗和发热。制备工艺对电导率影响显著，热压烧结法通过提高致密度和优化钼铜界面可增强电导率；粉末冶金法若存在孔隙或界面缺陷，可能增加电阻。钼铜片的优异电导率和低电阻特性使其在高功率电子器件中能高效传导电流，降低能量损失，提升器件性能。

2.6.2 电接触性能

电接触性能表示钼铜片在电接触界面（如连接器或电极）维持低接触电阻和稳定电连接的能力。铜的低接触电阻和高导电性使其成为理想的接触材料，而钼的高硬度和耐磨性有助于保持接触界面的机械稳定性。

钼铜复合材料的电接触性能随铜含量增加而改善，铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）接触电阻较低，适合高电流电子器件中的电连接部件，如功率模块的导电基板；钼含量高的钼铜片（如 Mo85Cu15）接触电阻稍高，但因高硬度能抵抗接触磨损，适用于需要长期稳定接触的应用。表面处理（如镀银或镀金）可进一步降低接触电阻并提升耐磨性。制备工艺对电接触性能有重要影响，熔渗法通过均匀的铜相分布可优化接触界面；粉末冶金法若存在微孔，可能导致接触电阻增加。钼铜片的电接触性能使其在电子封装和功率器件中能维持可靠的电连接，减少接触失效风险。

2.6.3 电化学稳定性

电化学稳定性反映钼铜片在电化学环境（如电解质溶液或潮湿含盐环境）中抵抗电化学腐蚀的能力。钼具有优异的抗腐蚀性，对非氧化性电解质表现出色，但可能在强氧化性环境中被腐蚀；铜的电化学稳定性较差，易在潮湿或含氯环境中发生电化学腐蚀。钼铜复合材料的电化学稳定性主要由钼相主导，钼含量高的钼铜片（如 Mo85Cu15）在电化学环境中表现出较好的稳定性，适用于海洋环境或化学工业的导电组件；铜含量高的钼铜片（如 Mo60Cu40）电化学稳定性较弱，可能在高湿度或盐雾环境中发生铜相腐蚀。制备工艺对电化学稳定性有影响，热压烧结法通过提高致密度减少孔隙，可降低电解质渗透和腐蚀风险；粉末冶金法若存在微孔，可能加速局部电化学腐蚀。表面保护层（如镀镍）可显著提升电化学稳定性。钼铜片的电化学稳定性使其在电接触和导电应用中能长期维持性能，延长器件寿命。

2.7 钼铜片与其他材料的对比

钼铜片作为一种高性能复合材料，在热管理、电子和高温应用中具有独特优势，与其他常用材料（如纯铜、钨铜、铝硅和陶瓷材料）相比，其性能在导热性、热膨胀、力学性能和成本等方面具有平衡性。纯铜具有极高的导热性（约 401 W/m·K）和电导率（100% IACS），但其热膨胀系数高（约 $16.5 \times 10^{-6}/K$ at 25°C），高温强度低（约 200–250 MPa），不适合高温或热循环环境；钼铜片（如 Mo60Cu40）导热性稍低（约 200–250 W/m·K），但热膨胀系数较低（约 $8-10 \times 10^{-6}/K$ ），高温稳定性更好，适合电子封装。钨铜复合材料导热性与钼铜相当（约 180–220 W/m·K），但密度更高（约 15–17 g/cm³ vs. 钼铜的 9–10 g/cm³），成本较高，加工难度大；钼铜片密度较低，成本更具优势，适合轻量化应用。铝硅复合材料（如 AlSiC）导热性稍低（约 150–200 W/m·K），但热膨胀系数与钼铜接近，重量更轻，适合航空航天，但其力学强度和耐高温性不如钼铜片。陶瓷材料（如氧化铝、氮化硅）热膨胀系数低（约 $4-7 \times 10^{-6}/K$ ），但导热性和电导率差（氧化铝约 20–30 W/m·K），不适合导电应用，而钼铜片兼具导电性和热管理能力。钼铜片的制造工艺（如粉末冶金或熔渗法）较成熟，原材料钼和铜储量丰富，可回收性强，成本低于钨铜和部分陶瓷材料，使其在电子、航空航天和能源领域具有广泛竞争力。

2.8 中钨智造钼铜片 MSDS

中钨智造钼铜片的材料安全数据表（MSDS，或称为 SDS，安全数据表）是为生产、运输、存储和使用该材料提供安全信息的指导文件，旨在确保工人、应急人员和用户了解其特性、潜在危害及安全操作要求。

钼铜片是一种由钼（CAS 号：7439-98-7）和铜（CAS 号：7440-50-8）组成的复合金属材料，产品名称通常以成分比例命名，如 Mo85Cu15（钼 85%、铜 15%）或 Mo60Cu40（钼 60%、铜 40%），主要用途包括电子封装的散热基板、航空航天热管理组件和功率模块导电部件，推荐避免在强氧化性酸（如硝酸）或高温含氧环境中长期使用，以防止铜相腐蚀或氧化。

在正常使用条件下，钼铜片为固态板材，不被分类为危险化学品，但加工过程（如切割、研磨、焊接）可能产生粉尘或金属碎片，带来健康和安全风险。吸入粉尘可能引起轻微呼吸道

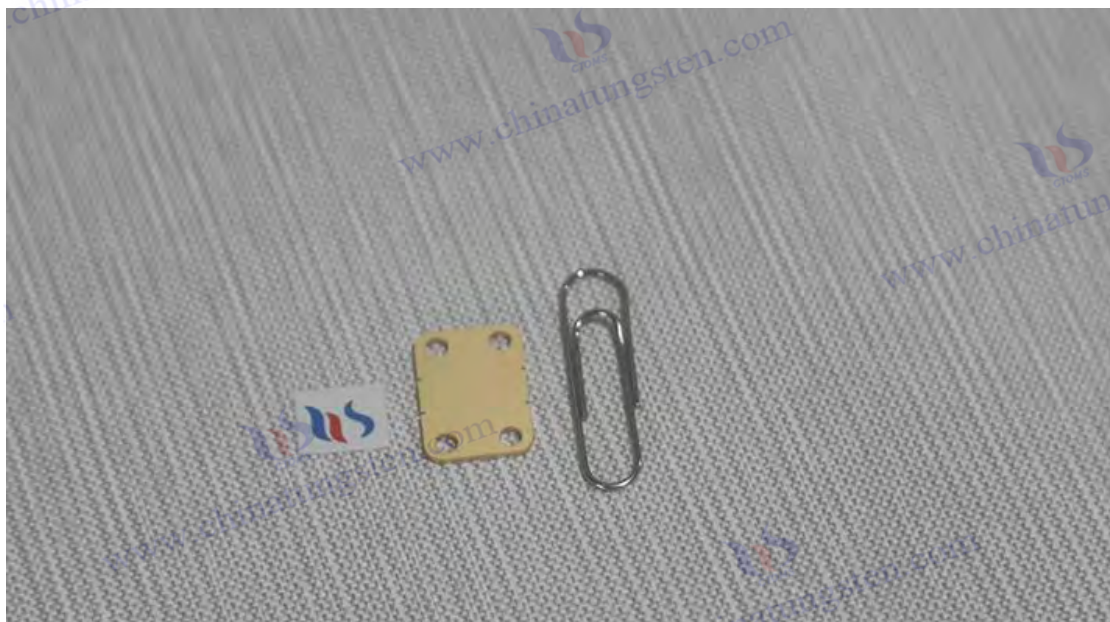
刺激，长期接触可能导致肺部不适；皮肤接触金属碎片可能引发机械性刺激或割伤。环境方面，钼铜片为惰性材料，不会对水体或土壤造成显著污染，但废弃物需按当地法规处理。GHS 分类表明其不属于危险化学品，但加工时需采取防护措施。

应急处理针对加工产生的粉尘或碎片，需隔离受影响区域，使用防尘设备（如吸尘器）清理，避免扬尘，收集物装入密封容器按法规处理，清理人员需佩戴防尘口罩和手套。操作时建议在通风良好的区域进行切割、研磨或焊接，使用局部排尘设备，操作人员佩戴防护眼镜、手套和防尘口罩。储存时，钼铜片应置于干燥、阴凉环境，避免接触强氧化性酸或高温含氧环境，妥善包装以防受潮或机械损伤。

暴露控制要求加工区域安装局部排风系统，保持粉尘浓度低于职业暴露限值（如 ACGIH TLV：钼粉尘 10 mg/m^3 ，铜粉尘 1 mg/m^3 ），个体防护装备包括 N95 或更高等级防尘口罩、防护眼镜和耐磨手套，长期暴露者需定期健康检查。钼铜片的理化特性因成分比例而异，如 Mo85Cu15 密度约 10.0 g/cm^3 ，导热系数约 $160\text{--}180 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，热膨胀系数约 $5\text{--}7\times 10^{-6}/\text{K}$ ；Mo60Cu40 密度约 9.6 g/cm^3 ，导热系数约 $210\text{--}250 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，热膨胀系数约 $10\text{--}11\times 10^{-6}/\text{K}$ ，材料为银灰色金属固体，无气味，不溶于水，化学性质稳定。

在正常条件下，钼铜片化学性质稳定，不与水、空气或常见化学物质反应，但在高温含氧环境中，铜相可能生成氧化铜，钼相可能生成挥发性氧化物，应避免接触强氧化性酸以防铜相溶解，加工粉尘需远离火源。毒理学方面，固态钼铜片无显著毒性，粉尘可能引起轻微呼吸道或皮肤刺激，长期吸入高浓度粉尘可能导致肺部不适。生态学上，钼铜片不造成生物累积或环境污染，废弃物应回收或按法规处置，如符合中国《固体废物污染环境防治法》。

运输时，钼铜片不属危险货物，无需特殊要求，但需妥善包装以防机械损伤，使用坚固木箱或塑料容器并附 MSDS。法规方面，材料符合中国《危险化学品安全管理条例》和国际 GHS 标准，需遵守职业安全健康法规，出口满足欧盟 REACH 和 RoHS 要求。



中钨智造钼铜片图片

中钨智造科技有限公司

钼铜片产品介绍

一、钼铜片概述

钼铜片是一种由钼和铜组成的复合材料，其凭借着独特的热电性能、机械性能和可调性，广泛应用于热管理、高性能电子器件、半导体和航空航天等领域，常用作封装材料、集成电路基板、热沉材料、LED 散热基板等。中钨智造可根据用户的需求，定制具有特定尺寸及成分的钼铜产品。

二、钼铜片特性

良好的导电性：可满足电路连接等导电场景的需求。

高导热性：可快速传导热量，适用于需要高效散热的电子器件等领域。

低膨胀系数：与硅等半导体材料匹配度高，能在温度变化时减少因热胀冷缩产生的应力，避免器件变形或损坏。

加工性能良好：可通过切割等工艺进行加工，制成不同尺寸和形状的零件，满足多样化的应用需求。

三、典型钼铜合金性能

材料成分	密度(g/cm ³)	导热系数 W/moK 25°C	热膨胀系数 (10 ⁻⁶ /°C)
Mo85Cu15	10.00	160-180	6.8
Mo80Cu20	9.90	170-190	7.7
Mo70Cu30	9.80	180-200	9.1
Mo60Cu40	9.66	210-250	10.3
Mo50Cu50	9.54	230-270	11.5

四、钼铜片生产方式

钼铜片的制备主要通过熔渗法，利用钼的高熔点和铜的良好流动性，通过高温熔渗的方式将铜渗入钼坯体中，形成致密的钼铜复合材料。

五、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595; 592 5129696

更多钼铜片资讯，请访问中钨在线网站（molybdenum-copper.com）。

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”。



版权与法律责任声明

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

第 3 章 钼铜片的分类方式

3.1 按牌号分类（典型）钼铜片

钼铜片的分类方式主要基于其成分比例，即钼（Mo）和铜（Cu）的质量或体积百分比，不同牌号对应特定的性能特性，满足电子、航空航天、热管理和导电应用的多样化需求。牌号命名通常以钼和铜的含量直接标示，例如 Mo85Cu15 表示钼占 85%、铜占 15%。通过调整钼铜比例，可优化导热性、电导率、热膨胀系数和力学性能。

3.1.1 Mo85Cu15

Mo85Cu15 是钼含量较高的牌号，钼占 85%、铜占 15%，以高强度、低热膨胀系数和高耐高温性为主要特点。其密度约为 10.0 g/cm^3 ，接近钼的密度，导热系数约为 $160\text{--}180 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，电导率约为 20–25% IACS，热膨胀系数约为 $5\text{--}7 \times 10^{-6}/\text{K}$ ，与陶瓷材料高度匹配。Mo85Cu15 的力学性能优异，维氏硬度约为 180–220 HV，抗拉强度接近 600 MPa，适合承受高应力的应用场景。由于钼含量高，其耐高温性能出色，可在 $600\text{--}800^\circ \text{C}$ 环境中稳定运行，抗腐蚀性和抗氧化性较强，适合航空航天高温部件（如喷气发动机热管理组件）、核工业热交换器和功率半导体器件的散热基板。Mo85Cu15 的延展性和韧性较低，加工难度稍高，常通过热压烧结法生产以确保高致密度，适用于对热膨胀控制和高温稳定性要求严格的场景。

3.1.2 Mo80Cu20

Mo80Cu20 是钼和铜比例较为平衡的牌号，钼占 80%、铜占 20%，在强度、导热性和热膨胀性能间取得较好折衷。其密度约为 9.9 g/cm^3 ，导热系数约为 $170\text{--}200 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，电导率约为 25–30% IACS，热膨胀系数约为 $6\text{--}8 \times 10^{-6}/\text{K}$ ，依然与陶瓷材料匹配，但较 Mo85Cu15 略高。Mo80Cu20 的力学性能略低于 Mo85Cu15，维氏硬度约为 160–200 HV，抗拉强度约为 500–600 MPa，延展性和韧性有所提升，适合需要一定加工性能的应用。耐高温性能良好，可在 $500\text{--}700^\circ \text{C}$ 环境中稳定工作，抗腐蚀性和抗氧化性表现优异，适合电子封装中的散热基板、微波器件热沉和航空航天结构件。Mo80Cu20 通过粉末冶金或熔渗法生产，熔渗法可优化铜相分布，提升导热性和电导率，广泛应用于对热管理和力学性能有综合需求的场景。

3.1.3 Mo70Cu30

Mo70Cu30 是铜含量较高的牌号，钼占 70%、铜占 30%，以高导热性和高电导率为主要优势，适合高效热管理和导电应用。其密度约为 9.6 g/cm^3 ，接近铜的密度（ 8.96 g/cm^3 ），导热系数约为 $200\text{--}250 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，电导率约为 30–40% IACS，热膨胀系数约为 $8\text{--}10 \times 10^{-6}/\text{K}$ ，较前两者高，适用于对热膨胀要求不苛刻的场景。Mo70Cu30 的力学性能较弱，维氏硬度约为 120–160 HV，抗拉强度约为 400–500 MPa，但延展性和韧性显著提高，易于加工成型，适合制造复杂形状的散热器或导电部件。其耐高温性能稍逊，推荐工作温度低于 400°C ，以避免铜相软化或氧化，抗腐蚀性和抗氧化性较 Mo85Cu15 和 Mo80Cu20 略低，适合 5G 通信设备、功率模块和新能源汽车的热管理组件。Mo70Cu30 常通过熔渗法生产，以确保铜相均匀分布，优化导热性和电接触性能。

3.1.4 Mo60Cu40

Mo60Cu40 是一种铜含量较高的钼铜片牌号，钼占 60%、铜占 40%，以优异的导热性和电导率为核心特性，适用于高效热管理和导电应用。其密度约为 9.3 g/cm^3 ，接近铜的密度 (8.96 g/cm^3)，导热系数较高，约为 $200\text{--}250 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，电导率约为 $30\text{--}40\%$ IACS，热膨胀系数约为 $8\text{--}10 \times 10^{-6}/\text{K}$ ，适合对热膨胀要求相对宽松的场景。Mo60Cu40 的力学性能适中，维氏硬度约为 $100\text{--}140 \text{ HV}$ ，抗拉强度约为 $350\text{--}450 \text{ MPa}$ ，相比高钼含量牌号，其延展性和韧性显著提升，易于加工成型，适合制造复杂形状的散热器、导电基板或连接器。其耐高温性能受铜含量限制，推荐工作温度低于 400°C ，以避免铜相软化或氧化，抗腐蚀性和抗氧化性略低于高钼含量牌号，但在非苛刻化学环境中表现稳定。Mo60Cu40 广泛应用于 5G 通信设备、功率半导体模块和新能源汽车的热管理组件，特别是在需要高导热性和一定加工性能的场景。熔渗法是其常见制备工艺，可确保铜相均匀分布，进一步优化导热性和电接触性能，粉末冶金法也可用于生产，但需确保高致密度以维持性能。

3.1.5 Mo50Cu50

Mo50Cu50 是铜含量最高的常见钼铜片牌号，钼和铜各占 50%，以极高的导热性和电导率为主要优势，接近纯铜的性能，同时保留一定的力学强度和热稳定性。其密度约为 9.1 g/cm^3 ，非常接近铜的密度，导热系数约为 $220\text{--}270 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，电导率约为 $35\text{--}45\%$ IACS，热膨胀系数约为 $10\text{--}12 \times 10^{-6}/\text{K}$ ，适用于对热膨胀控制要求较低的应用场景。Mo50Cu50 的力学性能偏向柔韧性，维氏硬度约为 $80\text{--}120 \text{ HV}$ ，抗拉强度约为 $300\text{--}400 \text{ MPa}$ ，延展性和韧性接近纯铜，适合复杂加工工艺，如冲压或弯曲成型。其耐高温性能较弱，推荐工作温度低于 350°C ，以防止铜相在高温下软化或氧化，抗腐蚀性和抗氧化性较 Mo60Cu40 进一步降低，需避免在潮湿或含氯环境中长期使用。Mo50Cu50 主要用于高功率电子器件的散热基板、微波器件导电部件和新能源汽车功率模块，特别适合需要高效热传导和电传输的场景。熔渗法是其首选制备工艺，可优化铜相的连续性，提升导热性和电导率；粉末冶金法也可应用，但需严格控制孔隙以确保性能稳定。

3.2 按制造工艺分类钼铜片

钼铜片的制造工艺对其性能、微观结构和应用场景有显著影响，主要包括粉末冶金法和熔渗法两种工艺。不同工艺通过控制钼和铜的结合方式及材料致密度，影响导热性、电导率、力学性能和化学稳定性。以下详细描述粉末冶金法和熔渗法制造的钼铜片的特点及应用。

3.2.1 粉末冶金法制造的钼铜片

粉末冶金法制造的钼铜片通过混合钼粉和铜粉，经压制成型和高温烧结制备，适用于生产各种成分比例的钼铜片，如 Mo85Cu15、Mo80Cu20 和 Mo70Cu30。该工艺首先将钼和铜粉末按指定比例混合，通过冷压或热压形成坯体，随后在高温惰性气体（如氩气或氮气）保护下烧结，使铜相部分熔化并填充钼颗粒间的孔隙，形成致密的复合结构。粉末冶金法制造的钼铜片具有较高的力学强度，Mo85Cu15 的抗拉强度可达 $500\text{--}600 \text{ MPa}$ ，维氏硬度约为 $180\text{--}220 \text{ HV}$ ，适合需要高强度的航空航天高温部件和电子封装散热基板。其导热系数随铜含量增加而提

高，如 Mo70Cu30 可达 200-250 W/m·K，电导率约为 30-40% IACS。粉末冶金法可精确控制成分比例，适合定制化生产，但若烧结温度或压力不足，可能导致微孔存在，略微降低导热性和电导率。粉末冶金法生产的钼铜片广泛应用于功率半导体器件、微波器件和热管理组件，特别是在需要高强度和精确尺寸的场景，但加工成本较高，适合高性能应用。

3.2.2 熔渗法制造的钼铜片

熔渗法制造的钼铜片通过先制备多孔钼骨架，再将熔融铜渗入钼骨架的孔隙中形成复合材料，适用于生产铜含量较高的牌号，如 Mo60Cu40 和 Mo50Cu50。该工艺首先通过粉末冶金技术压制和烧结钼粉，形成多孔钼骨架，随后在高温下将熔融铜渗入骨架孔隙，冷却后形成均匀的两相结构。熔渗法制造的钼铜片具有优异的导热性和电导率，Mo60Cu40 的导热系数可达 200-250 W/m·K，电导率约为 30-40% IACS，Mo50Cu50 则接近 220-270 W/m·K 和 35-45% IACS，适合高效热管理和导电应用，如 5G 通信设备和新能源汽车功率模块。其力学性能稍低于粉末冶金法产品，Mo60Cu40 的抗拉强度约为 350-450 MPa，维氏硬度约为 100-140 HV，但延展性和韧性更好，便于加工复杂形状。熔渗法通过均匀的铜相分布优化热传导和电接触性能，但若钼骨架孔隙率控制不当，可能导致局部铜相不均匀，影响性能稳定性。熔渗法生产的钼铜片成本相对较低，适合大批量生产，广泛应用于电子散热器和导电基板。

3.3 按应用领域分类钼铜片

钼铜片根据应用领域的不同需求，可分为通用型和其他专用型（如航空航天专用或电子封装专用）。应用领域分类基于材料性能与使用场景的匹配，通用型钼铜片以其平衡的性能广泛应用于多种行业。以下详细描述通用型钼铜片的特点及应用。

3.3.1 通用型钼铜片

通用型钼铜片是为满足多种行业需求的标准化产品，通常包括 Mo80Cu20、Mo70Cu30 和 Mo60Cu40 等牌号，具有均衡的导热性、电导率、力学性能和热膨胀特性，适用于电子、通信、能源和工业领域。其密度范围为 9.3-9.8 g/cm³，导热系数约为 170-250 W/m·K，电导率约为 25-40% IACS，热膨胀系数约为 6-10×10⁻⁶/K，与陶瓷和半导体材料（如氧化铝、氮化硅）匹配良好。通用型钼铜片的力学性能适中，抗拉强度约为 350-600 MPa，维氏硬度约为 100-200 HV，延展性和韧性足以支持常规加工，如切割和冲压。其耐高温性能可支持 400-700℃ 的工作环境，抗腐蚀性和抗氧化性在非苛刻环境中表现稳定。通用型钼铜片通过粉末冶金法或熔渗法生产，熔渗法更适合高铜含量牌号以优化导热性，粉末冶金法适合高强度需求。典型应用包括电子封装中的散热基板、通信设备中的热沉、功率模块的导电部件以及新能源汽车的热管理组件。通用型钼铜片的灵活性和成本效益使其成为热管理和导电应用的首选材料，满足从消费电子到工业设备的需求。

3.3.2 高频型钼铜片

高频型钼铜片专为高频电子设备设计，重点满足微波、射频和通信设备对高导电性、低热膨胀和优异热管理的需求，通常选用铜含量较高的牌号，如 Mo60Cu40 或 Mo50Cu50，以确保高

效电传输和热传导。其导热系数约为 200–270 W/m·K，电导率约为 30–45% IACS，能有效降低高频信号传输中的能量损耗和热积累，热膨胀系数约为 $8\text{--}12\times 10^{-6}/\text{K}$ ，适配高频器件中的陶瓷或半导体材料（如氮化铝）。

高频型钼铜片的力学性能适中，抗拉强度约为 300–450 MPa，维氏硬度约为 80–140 HV，延展性良好，支持复杂形状加工，如微波器件热沉或天线基板。耐高温性能受铜含量限制，推荐工作温度低于 400° C，以避免铜相氧化，抗腐蚀性和电化学稳定性在常规环境中表现良好，适合 5G 通信基站、雷达系统和卫星通信设备。熔渗法是主要制备工艺，通过均匀铜相分布优化电导率和热传导，粉末冶金法也可用于高精度部件生产。表面处理（如镀银）常用于进一步降低接触电阻，提升高频性能。高频型钼铜片在射频功率放大器、微波集成电路和通信模块中广泛应用，确保信号完整性和热稳定性。

3.3.3 航空航天型钼铜片

航空航天型钼铜片专为航空航天领域的极端环境设计，强调高强度、低热膨胀和优异的耐高温性能，通常选用钼含量较高的牌号，如 Mo85Cu15 或 Mo80Cu20，以应对高温和高应力条件。其密度约为 9.8–10.0 g/cm³，导热系数约为 150–200 W/m·K，电导率约为 20–30% IACS，热膨胀系数约为 $5\text{--}8\times 10^{-6}/\text{K}$ ，与陶瓷材料高度匹配，减少热循环中的界面应力。航空航天型钼铜片的力学性能优异，抗拉强度约为 500–600 MPa，维氏硬度约为 160–220 HV，适合承受机械载荷和振动，耐高温性能出色，可在 600–800° C 环境中稳定运行，抗氧化性和抗腐蚀性较强，适配航空航天器件的苛刻化学环境。热压烧结法是主要制备工艺，确保高致密度和界面强度，熔渗法也可用于特定部件以平衡成本和性能。航空航天型钼铜片广泛应用于喷气发动机热管理组件、卫星热沉和航天器功率模块，能够在高温、高振动和真空环境中维持性能，确保设备可靠性和长寿命。

3.3.4 光电器件型钼铜片

光电器件型钼铜片专为光电设备（如激光器、LED 和光通信模块）设计，重点满足高导热性、低热膨胀和电接触性能的需求，通常选用 Mo70Cu30 或 Mo60Cu40 牌号，以平衡导热性和热膨胀匹配。其导热系数约为 200–250 W/m·K，电导率约为 30–40% IACS，能快速散热，保护光电器件免受热损伤，热膨胀系数约为 $8\text{--}10\times 10^{-6}/\text{K}$ ，与光电材料（如砷化镓、氮化硅）匹配良好，减少热应力导致的器件失效。光电器件型钼铜片的力学性能适中，抗拉强度约为 350–500 MPa，维氏硬度约为 100–160 HV，延展性支持精密加工，适合制造小型散热基板或电极。耐高温性能适中，推荐工作温度低于 400° C，抗腐蚀性和电化学稳定性满足光电设备在常规环境中的需求。熔渗法是常用制备工艺，优化铜相分布以提升导热性和电接触性能，粉末冶金法也可用于高精度部件。表面处理（如镀金）常用于增强电接触和抗氧化性能。光电器件型钼铜片广泛应用于高功率激光器散热基板、LED 芯片载体和光通信模块，确保器件在高热负荷下的稳定性和可靠性。

第 4 章 钼铜片的制备工艺

4.1 粉末冶金技术制备钼铜片

粉末冶金技术是制备钼铜片的主要工艺之一，适用于生产多种成分比例的钼铜片，如 Mo85Cu15、Mo80Cu20 和 Mo70Cu30，通过精确控制钼和铜粉末的混合、压制和烧结过程，实现优异的力学性能、导热性和电导率。该技术通过将金属粉末加工成致密复合材料，满足电子封装、航空航天和热管理领域的需求。

4.1.1 粉末冶金技术的工艺流程

粉末冶金技术制备钼铜片的工艺流程包括粉末制备、混合、压制成型、烧结和后处理等步骤。

首先，选用高纯度钼粉（纯度通常 $\geq 99.95\%$ ）和铜粉（纯度通常 $\geq 99.9\%$ ），通过筛分确保粒度均匀以提高混合效果。粉末按目标比例（如 Mo85Cu15 或 Mo70Cu30）在机械混合设备中均匀混合，常加入少量润滑剂（如硬脂酸）以改善压制性能。混合后的粉末通过冷压或等静压技术在模具中压制成型，压力通常在 100–300 MPa，形成具有一定强度的坯体。接着，坯体在高温烧结炉中（温度范围 1000–1400°C）于惰性气体（如氩气或氮气）或氢气保护下烧结，铜相部分熔化并填充钼颗粒间的孔隙，形成致密的钼铜复合结构。烧结时间通常为 2–6 小时，具体取决于成分和设备条件。烧结后的钼铜片可进行后处理，如热压以进一步提高致密度，或机械加工（如切割、钻孔）以满足尺寸要求。最终产品根据需要进行表面处理（如镀镍或镀金）以增强抗氧化性和电接触性能。

整个流程可精确控制钼铜比例，适用于航空航天高温部件、电子散热基板等高性能应用。

4.1.2 粉末冶金技术的优势与局限

粉末冶金技术在制备钼铜片方面具有显著优势，但也存在一定局限。优势方面，该技术能够精确控制钼和铜的比例，生产如 Mo85Cu15、Mo80Cu20 等多样化牌号，满足不同导热性和电导率（20–40% IACS）需求。工艺灵活性高，可通过调整粉末粒度、压制压力和烧结温度优化材料性能，如 Mo85Cu15 的抗拉强度可达 500–600 MPa，适合高强度应用。

粉末冶金法还能实现高致密度（通常 $\geq 98\%$ 理论密度），确保优异的力学性能和热传导效率，适用于电子封装和航空航天领域。

此外，该技术适合小批量定制生产，可制造复杂形状的部件，如微波器件热沉。局限方面，粉末冶金法的生产成本较高，涉及高纯度粉末制备、精密模具和高温烧结设备，能耗和设备维护费用较大。若烧结工艺控制不当，可能导致微孔或界面结合不佳，降低导热性和电导率，尤其在高铜含量牌号（如 Mo60Cu40）中更为明显。粉末冶金法对粉末质量要求严格，杂质或粒度不均可能影响材料一致性。此外，烧结过程需在惰性或还原气氛中进行，增加了工艺复杂性。相比其他方法，粉末冶金法在高性能钼铜片生产中具有广泛适用性，但需权衡成本与性能，适合高精度和高可靠性场景。

4.2 熔渗法制备钼铜片

4.2.1 熔渗法的工艺流程

熔渗法制备钼铜片的工艺流程包括几个重要步骤，首先是钼片和铜源的准备。钼片在使用前通常需要进行清理处理，去除表面的氧化物和杂质，这样有助于确保熔渗过程中铜和钼的良好结合。铜源通常是铜粉或铜合金粉末，选用的铜粉具有适当的粒度，以便在熔化后能够更好地渗透到钼片的孔隙中。接下来，将清理过的钼片和铜源一起放入高温炉中加热，温度逐渐升高至铜的熔点（约 $1,083^{\circ}\text{C}$ ），使铜完全熔化。熔化后的铜液通过毛细作用渗透进钼片的孔隙和微裂缝中，形成钼铜复合材料的基础。在熔渗过程中，温度和控制时间的控制至关重要，因为如果温度过高或渗透时间过长，可能导致铜过多渗透，影响钼铜片的物理性能。因此，在这一过程中，控制熔渗温度在 $1,100^{\circ}\text{C}$ 到 $1,200^{\circ}\text{C}$ 之间，并确保铜的渗透深度和均匀性是非常关键的。

当铜液完全渗透到钼片的孔隙后，整个系统会进入冷却阶段。冷却过程中，铜和钼的结合会逐渐稳定下来形成固态复合材料。此时，冷却速率的控制也非常重要，因为快速冷却可能导致材料内部应力的产生，影响其力学性能。冷却至常温后，钼铜片的形状和尺寸就基本固定。最后，为了确保最终钼铜片的表面质量和尺寸精度，通常需要进行后处理。后处理步骤包括去除表面多余的铜、对材料进行打磨、抛光等操作，以提高钼铜片的光洁度和尺寸精度。必要时，还可以进行热处理，进一步改善钼铜片的力学性能和导热性能。

4.2.2 熔渗法的优势与局限

熔渗法具有显著的优势，首先是工艺效率较高，能够在较短的时间内将铜与钼结合形成稳定的复合材料。由于熔渗过程能够精确控制铜的渗透深度和分布，复合材料的各项性能能够得到有效优化，尤其是在导热性、导电性和抗高温性能方面的改善。熔渗法的适应性较强，能够针对不同的工业需求调整铜的含量，生产出不同性能的钼铜片。此外，熔渗法适合大规模生产，能够满足工业化应用的要求，特别适合用于高频电子设备、航空航天及高功率电气组件等领域。

然而，熔渗法也存在一些局限性。首先，熔渗过程中的温度控制非常关键，过高的温度或过长的熔渗时间都可能导致铜过量渗透，甚至会破坏钼片的结构，影响材料的性能。其次，铜的渗透深度如果控制不好，可能会出现不均匀现象，导致复合材料的性能不稳定。此外，熔渗过程中，铜的挥发和过量渗透会导致材料浪费，增加生产成本。而且，该工艺对设备要求较高，需要高温炉和精密的温控系统，这增加了设备投资和操作的难度。因此，熔渗法虽然具有较高的生产效率，但对工艺和设备的控制要求非常严格。

4.3 3D 打印技术在钼铜片制备中的应用

3D 打印技术为钼铜片的制备提供了新的可能，特别是在复杂形状和定制化生产方面具有独特优势。与传统的铸造、烧结等工艺不同，3D 打印采用逐层堆积的方式，通过激光熔化或电子束熔化等技术，将钼铜粉末精确地熔化并逐层沉积，从而制造出复杂的几何形状和精细结

构。这个过程可以根据设计需求精确控制每一层的材料成分和结构，确保钼铜复合材料的性能得到精确控制。

在 3D 打印过程中，首先需要将钼铜粉末进行混合，通常采用钼粉与铜粉的复合粉末。在打印过程中，激光或电子束加热粉末至熔化温度，熔化后的钼铜混合物在打印平台上逐层堆积，逐步形成三维结构。由于 3D 打印技术具有高度的灵活性，可以制造出形状复杂、结构精密的钼铜片，尤其适合于要求高度定制化的小批量生产。

3D 打印技术的一个主要优势是它可以在材料的分布上实现精确控制，从而提高材料的综合性能。相比传统方法，3D 打印在节省材料、提高生产效率以及减少废料方面表现出色，尤其适用于对复杂结构和高精度要求的应用。此外，3D 打印技术还能够在生产过程中实时调整材料成分和结构，使得钼铜片的设计更加灵活。

然而，3D 打印技术也存在一些局限性。首先，虽然打印过程具有较高的灵活性，但打印速度相对较慢，尤其是在大规模生产时，可能无法与传统制造工艺相比。其次，3D 打印所使用的设备成本较高，且对操作技术要求较高。由于钼铜复合材料的打印需要高温和精确控制的环境，这要求设备具备较高的性能。此外，3D 打印后的钼铜片表面可能较为粗糙，需要经过后处理，如打磨、抛光等步骤，才能达到理想的表面光洁度和尺寸精度。



中钨智造钼铜片图片

第 5 章 钼铜片的主要生产设备

5.1 钼铜片粉末冶金技术的生产设备

粉末冶金技术是钼铜片制备中常用的一种方法，主要通过将钼粉和铜粉混合后，经过压制、烧结等处理，形成最终的钼铜复合材料。整个生产过程中，粉末的质量和均匀性对钼铜片的性能至关重要，因此，粉末的制备设备成为生产过程中的关键环节。

5.1.1 粉末制备设备

粉末冶金技术的第一步是粉末的制备，常见的设备包括球磨机和雾化设备，这些设备用于将钼和铜原料加工成细小、均匀的粉末。粉末的质量直接影响到后续制备钼铜片的效果，因此选择适合的粉末制备设备非常重要。

5.1.1.1 球磨机

在粉末冶金技术领域，球磨机作为核心粉末制备设备，以其高效稳定的性能在钼铜复合材料生产中占据重要地位。钼铜复合材料结合了钼的高熔点、低膨胀特性与铜的高导电性、良好导热性，广泛应用于电子封装、航空航天等高端领域，而球磨机正是实现其原料粉末精细化处理的关键装备。球磨机的工作原理基于动力学与机械力化学效应。设备运行时，内部磨球（材质多为不锈钢、氧化锆或碳化钨）在高速旋转的筒体带动下，形成抛落、滑动和滚动等复合运动轨迹。当磨球与钼、铜原料粉末接触时，瞬间产生的撞击力可击碎粗大颗粒，而磨球间及与筒壁的摩擦作用则进一步研磨粉末，实现颗粒细化。在这一过程中，粉末不仅发生物理尺寸变化，其表面活性、晶格畸变程度也随之提升，为后续烧结工序创造良好条件。

工艺参数的精确调控是球磨机应用的核心。通过延长球磨时间，粉末粒度可从初始的数十微米降至亚微米级，但过长时间可能导致冷焊团聚；调整转速（通常控制在临界转速的 60%-80%）能改变磨球运动模式，高转速增强冲击破碎，低转速侧重研磨细化；而磨球介质的选择（如大小配比、材质硬度）则直接影响粉碎效率——大直径钢球利于粗碎，小粒径氧化锆球适合精细研磨。某企业通过优化球磨参数，将钼铜复合粉末的平均粒径从 $15\text{ }\mu\text{m}$ 降至 $1.2\text{ }\mu\text{m}$ ，显著提升了材料的致密度与界面结合强度。设备本身的优势进一步推动其广泛应用。大型工业球磨机单次处理量可达数吨，配合自动化上料系统，能满足规模化生产需求；其模块化设计使筒体、衬板、磨球等部件便于更换维护，运行稳定性强。在某钼铜电子封装材料生产线中，球磨机连续运行 3000 小时后，粉末粒度波动仍控制在 $\pm 5\%$ 以内，有效保障了产品质量均一性。此外，球磨工艺对原料形态包容性强，无论是块状废料还是高纯粉末，均可通过该设备实现再生利用或精细化加工，契合绿色制造理念，成为粉末冶金产业不可或缺的基础装备。

5.1.1.2 雾化设备

雾化设备是另一种常用的粉末制备工具，尤其适用于铜和钼的合金粉末制备。雾化法通过将熔融金属喷射成微小的液滴，经过冷却凝固后形成细小的金属粉末。相比球磨机，雾化设备

能够制备出更均匀的粉末，特别是在粒径分布和形态的控制方面具有更大的优势。雾化粉末的粒度较细，且具有较好的流动性和分散性，非常适用于粉末冶金中的精密加工和高性能材料的制备。

雾化设备通常包括气雾化、离心雾化等不同类型，选择合适的雾化方法能够有效提升粉末的质量。气雾化设备通过高压气体将熔融金属喷射成雾状液滴，经过冷却后得到细小的粉末。这种方法特别适用于生产钼铜合金粉末，可以提高粉末的均匀性和稳定性，从而有助于提高后续钼铜片的性能。雾化设备的优点在于能够快速、高效地生产高质量的金属粉末，适合于大规模的工业生产。通过精细调整雾化过程的参数，可以获得所需的粉末特性，满足不同钼铜片的生产需求。

5.1.2 粉末成型设备

粉末成型是粉末冶金过程中至关重要的一步，目的是将混合后的钼铜粉末在外力作用下压制成具有所需形状和密度的坯料，为后续的烧结处理打下基础。常用的粉末成型设备包括液压机和等静压机。

5.1.2.1 液压机（用于冷压成型钼铜坯料）

液压机广泛应用于粉末冶金中的冷压成型，尤其适用于钼铜片的制备过程。液压机通过液压系统提供均匀的压力，将混合后的钼铜粉末压制成所需形状的坯料。该设备能够提供高压，确保粉末之间良好接触，从而提高坯料的致密度和均匀性。在冷压成型过程中，钼铜粉末被放置在模具中，液压机施加压力，粉末被压缩并成型为坯料。成型过程中的压力和时间控制至关重要，可以影响坯料的密度和强度。液压机的优点在于能够处理大批量的粉末，同时保证成型坯料的质量稳定。

液压机的应用不仅限于钼铜片的生产，还广泛用于其他金属和合金的粉末成型。其设备操作简便、维护方便，适用于连续生产和批量生产，能够满足工业化生产的需求。

5.1.2.2 等静压机

等静压机是一种通过均匀的静压力作用于粉末材料的成型设备，能够在各个方向上施加等量的压力，从而确保成型坯料的均匀性和致密度。等静压成型的最大优势在于能够有效提高坯料的密度，并确保钼铜复合材料中铜粉和钼粉的均匀分布，从而提高后续烧结过程中的质量稳定性。

等静压机的工作原理是在一个封闭的模具内，将钼铜粉末均匀地压实。通过施加液压或者气压，粉末在各个方向上同时受到均匀的压力作用，形成高密度的坯料。与液压机不同，等静压机可以施加更为均匀的压力，使得成型的坯料在各个方向上的物理性能更加一致，特别适用于要求高致密度的钼铜片生产。等静压机的优点在于其能够在较低的压力下实现更高的密度，尤其适合一些对均匀性和精密度要求较高的产品。等静压机能够确保钼铜粉末在成型过

程中充分融合，改善复合材料的结构，从而提高成型坯料的质量。尽管设备成本相对较高，但由于其成型效果优异，仍然在高端粉末冶金产品的生产中得到了广泛应用。

5.1.3 烧结设备

烧结是粉末冶金过程中最后一步，它通过高温将粉末中的金属颗粒结合在一起，形成具有致密结构的钨铜复合材料。烧结设备在整个生产过程中起着关键作用，影响着钨铜片的最终性能。常用的烧结设备包括真空烧结炉、气氛烧结炉等。在烧结过程中，成型后的钨铜坯料被放入烧结炉中，通过加热至一定温度，使钨和铜的粉末颗粒之间发生扩散和结合。烧结温度、时间和气氛的控制对烧结质量有着至关重要的影响。高温条件下，钨和铜之间的界面会发生物理化学反应，逐渐形成坚固的结合。

真空烧结炉和气氛烧结炉是目前最常见的烧结设备。真空烧结炉主要用于需要在无氧环境下进行烧结的钨铜片生产，可以避免氧化反应，提高材料的质量。气氛烧结炉则适用于在控制气氛条件下烧结，通过调节炉内气氛的组成（如氮气、氢气等），有效控制材料的烧结过程和烧结后材质的性能。烧结设备的选择需要根据钨铜片的具体要求来确定。例如，真空烧结炉适用于对氧化和气氛有严格要求的产品，而气氛烧结炉则适合生产大规模、高效的钨铜片。在工业化生产中，烧结设备的稳定性和效率直接影响到产品的成品率和生产成本，因此合理选择烧结设备是确保钨铜片质量的关键之一。

5.1.3.1 真空烧结炉（用于高温烧结，控制气氛防止氧化）

真空烧结炉广泛应用于钨铜片的生产，尤其是在需要在无氧或控制气氛环境下烧结的情况下。真空烧结炉通过抽取炉内的空气，创造一个接近真空的环境，从而避免了高温下金属与氧气接触导致的氧化反应。钨和铜材料在此环境下能够保持其原有的物理化学性质，避免氧化膜的生成，确保钨铜片的导电性、导热性和耐高温性能。在真空烧结炉中，烧结过程的温度、压力和时间会根据材料的性质和产品要求进行精确控制。真空环境下，烧结温度通常较高，这有助于金属颗粒之间的扩散和结合，达到理想的致密度和强度。真空烧结炉还具有气氛调节的功能，通过调节炉内的气体成分（如氮气、氢气等），可以进一步控制烧结过程中的反应，改善钨铜片的力学性能和表面质量。真空烧结炉的优点在于其能够有效防止氧化反应，提高烧结材料的纯度和质量，尤其适用于对氧化有严格要求的钨铜片生产。其广泛应用于航空航天、高端电子设备及高温环境下的材料制备中。

5.1.3.2 热压烧结炉

热压烧结炉结合了热压和烧结两种工艺，适用于需要在高温下同时施加压力的钨铜片烧结过程。与传统的烧结方法不同，热压烧结炉在烧结过程中不仅提供热量，还施加一定的压力，促进粉末颗粒之间的紧密结合。通过施加压力，热压烧结炉可以提高材料的致密度和力学性能，尤其适合生产高密度、高强度的钨铜复合材料。热压烧结炉的工作原理是将粉末料坯放入模具中，在加热的同时施加压力，使钨铜粉末颗粒在烧结温度下发生形变和融合。该过程能够实现更高的密度和更均匀的颗粒分布，从而提高材料的整体性能。热压烧结炉适用于需要特别密实和强度要求较高的产品，特别是在高功率电子元件、航空航天材料等高端领域中

有着广泛的应用。热压烧结炉的优点在于其能够在较短的时间内达到较高的密度，并且能够通过调节压力和温度精确控制烧结效果，改善钼铜片的物理特性。其缺点是设备较为复杂，投资较高，但对于高性能钼铜片的生产，热压烧结炉仍然是不可或缺的设备。

5.1.4 后处理设备

后处理设备在钼铜片的生产过程中起着至关重要的作用，主要用于改善钼铜片的机械性能、表面质量以及形状精度。常见的后处理设备包括热处理炉和精密磨床，它们帮助提升钼铜片的最终性能。

5.1.4.1 热处理炉

热处理炉用于钼铜片的热处理过程，主要是通过加热和控制冷却速率，改变材料的晶体结构，从而改善其硬度、强度和耐磨性。热处理炉通常采用精确的温控系统，在一定温度下对钼铜片进行退火、时效或淬火等处理，以达到所需的物理性能。热处理炉在钼铜片生产中的作用尤为重要，尤其是对于改进材料的内部结构和消除内应力。热处理过程通过调整加热温度和保温时间，可以有效地改变钼铜片的组织结构，提升其力学性能，增强其抗热膨胀、抗氧化和抗腐蚀能力。通过热处理，钼铜片的密度、表面硬度和疲劳强度都能得到显著提高。热处理炉的种类有很多，包括箱式炉、井式炉、旋转炉等，选择合适的热处理炉能够确保热处理过程的稳定性和均匀性，进而提高钼铜片的质量和性能。

5.1.4.2 精密磨床

精密磨床用于钼铜片的表面精加工，主要用于去除表面的不均匀区域和提升表面光洁度。精密磨床通过高速旋转的磨轮对钼铜片表面进行精细研磨，能够去除表面粗糙的部分，使得钼铜片达到所需的尺寸精度和表面质量。精密磨床在钼铜片的后处理过程中起着至关重要的作用，尤其是在高精度要求的应用中，精密磨床能够提供高质量的表面处理效果。精密磨床不仅能够确保钼铜片的表面光滑、无缺陷，还能使其尺寸更加精确，符合技术要求。精密磨床的应用范围广泛，包括钼铜片的外形修整、表面打磨以及尺寸调整。通过精密磨床的加工，钼铜片可以获得更高的精度，适应更为严苛的工作环境和应用需求。

5.2 钼铜片熔渗法的生产设备

熔渗法是钼铜片生产中的一种重要技术，它通过将铜熔融后渗透到钼片的孔隙中，形成钼铜复合材料。此过程中，选择合适的生产设备对最终材料的性能和质量有着决定性影响。熔渗法的主要生产设备包括液压机和真空烧结炉，它们分别用于钼粉的成型和钼铜复合材料的烧结及熔渗。

5.2.1 液压机（用于压制钼粉成型）

液压机在钼铜片熔渗法中的应用主要是在初始阶段用于将钼粉压制成型。钼粉的成型是熔渗法的第一步，它决定了后续铜熔渗和最终钼铜片的质量。液压机利用高压将钼粉压制成具

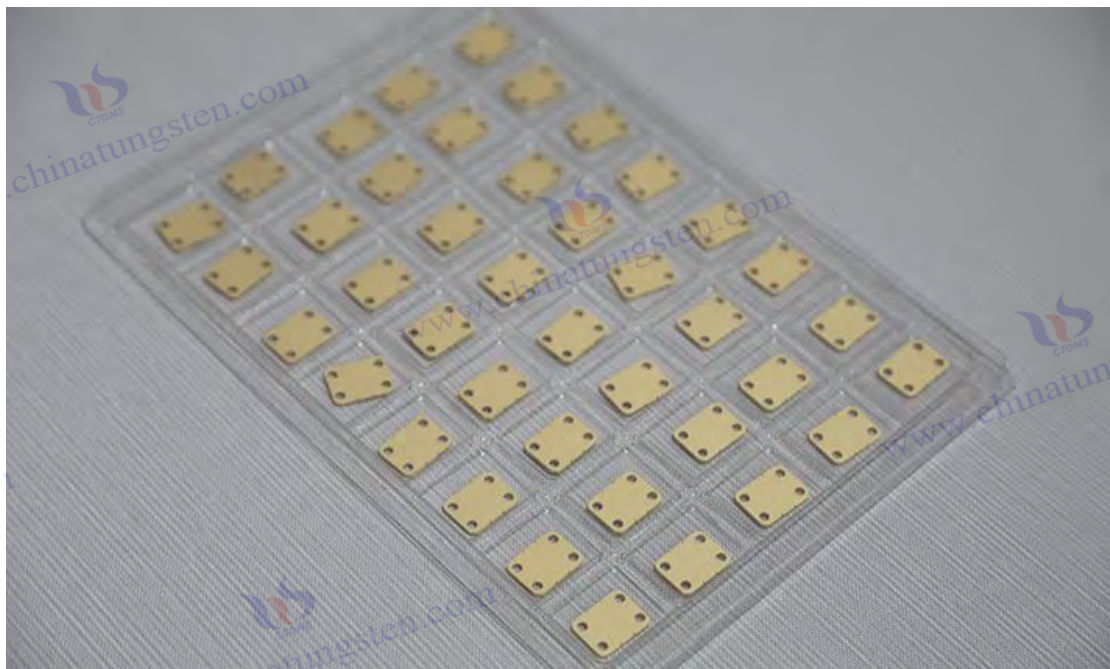
有一定形状和密度的坯料。该设备能够提供稳定的压力，使得钼粉在模具中均匀分布，从而获得致密的钼骨架。

液压机的优势在于其压力控制的精准性，可以根据需要调整压制的力度和时间，从而确保钼粉坯料的密度和均匀性。成型后的钼骨架会被送入下一阶段的熔渗工序。液压机不仅适用于钼铜片的生产，还广泛应用于其他金属粉末的成型，具有操作简便、稳定性高、生产效率高等优点。

5.2.2 真空烧结炉（用于钼骨架的烧结和铜的熔渗）

真空烧结炉在钼铜片熔渗法中的作用至关重要，主要用于钼骨架的烧结和铜的熔渗。钼骨架成型后，需要通过烧结工艺在真空或特定气氛下将钼粉颗粒连接成致密的钼基体，保证钼铜复合材料的力学强度和结构稳定性。在真空烧结炉中，首先将成型的钼骨架放入炉内，在高温下进行烧结。真空环境能够有效防止钼材料在高温下与氧气反应，避免氧化过程，保持钼的纯度和稳定性。烧结后，铜源（通常为铜粉或铜合金粉末）被加入到炉中，并在炉内通过升温将铜熔化，熔化后的铜液开始渗透到钼骨架的孔隙中，形成钼铜复合结构。

真空烧结炉的关键优势在于其能够在严格控制的真空环境中进行烧结和熔渗，这样可以有效避免氧化反应，保证钼铜片的优良性能。真空烧结炉可以通过调节温度和气氛成分精确控制烧结过程，从而优化钼铜片的最终质量。对于高温下易氧化的钼材料来说，真空烧结炉是确保高质量钼铜复合材料生产的关键设备。



中钨智造钼铜片图片

中钨智造科技有限公司

钼铜片产品介绍

一、钼铜片概述

钼铜片是一种由钼和铜组成的复合材料，其凭借着独特的热电性能、机械性能和可调性，广泛应用于热管理、高性能电子器件、半导体和航空航天等领域，常用作封装材料、集成电路基板、热沉材料、LED 散热基板等。中钨智造可根据用户的需求，定制具有特定尺寸及成分的钼铜产品。

二、钼铜片特性

良好的导电性：可满足电路连接等导电场景的需求。

高导热性：可快速传导热量，适用于需要高效散热的电子器件等领域。

低膨胀系数：与硅等半导体材料匹配度高，能在温度变化时减少因热胀冷缩产生的应力，避免器件变形或损坏。

加工性能良好：可通过切割等工艺进行加工，制成不同尺寸和形状的零件，满足多样化的应用需求。

三、典型钼铜合金性能

材料成分	密度(g/cm ³)	导热系数 W/moK 25°C	热膨胀系数 (10 ⁻⁶ /°C)
Mo85Cu15	10.00	160-180	6.8
Mo80Cu20	9.90	170-190	7.7
Mo70Cu30	9.80	180-200	9.1
Mo60Cu40	9.66	210-250	10.3
Mo50Cu50	9.54	230-270	11.5

四、钼铜片生产方式

钼铜片的制备主要通过熔渗法，利用钼的高熔点和铜的良好流动性，通过高温熔渗的方式将铜渗入钼坯体中，形成致密的钼铜复合材料。

五、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595; 592 5129696

更多钼铜片资讯，请访问中钨在线网站（molybdenum-copper.com）。

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”。



版权与法律责任声明

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

第 6 章 钨铜片性能测试方法与设备

6.1 钨铜片的密度测试

密度是衡量钨铜片质量的重要物理特性之一，它直接影响材料的机械性能、导电性和导热性。常用的密度测试方法是阿基米德排水法，这是一种简便且高精度的测量方法，广泛应用于钨铜片的生产过程中。

6.1.1 阿基米德排水法原理与操作

阿基米德排水法基于浮力原理，原理是当物体完全浸入液体中时，它排开的液体体积等于物体的体积。通过测量物体在液体中排开的体积，可以进而计算出物体的密度。为了进行这一测试，首先需要准备一台电子天平和足够的液体（水或其他适合的液体）。液体的密度需要已知，通常使用水，密度为 1g/cm^3 。确保容器中液体的纯净，且没有气泡。

首先，使用电子天平测量钨铜片的干重（未浸入液体中的质量），并记录下该质量值。接着，将钨铜片完全浸入液体中，确保物体没有悬浮或留有气泡，浸入过程中必须确保钨铜片完全被液体包围，以避免任何误差。在钨铜片浸没后，测量其在液体中产生的浮动质量，记录为湿重。钨铜片的体积可以通过使用以下公式计算：

$$V = \frac{m_1}{\rho_{\text{液体}}}$$

其中， m_1 是钨铜片的干重， ρ 液体是液体的密度。接下来，密度公式为：

$$\rho_{\text{钨铜片}} = \frac{m_1}{V}$$

通过这种方法，阿基米德排水法能够准确测量出钨铜片的密度，并且避免了破坏样品的缺点，特别适合金属材料密度的测试。

6.2 钨铜片的孔隙率测试

孔隙率是衡量钨铜片内部微观结构的重要指标，它直接影响材料的机械强度、导热性及导电性。孔隙率测试通过金相显微镜观察和计算来实现，能够提供高精度的测量结果。该测试方法通过观察钨铜片表面的微观结构，识别孔隙的存在与分布，从而计算出孔隙率。

6.2.1 金相显微镜观察与计算

金相显微镜观察是一种高分辨率的显微分析方法，它能够准确地揭示钨铜片的微观结构。在进行孔隙率测试之前，首先需要准备好钨铜片的样品。样品首先经过切割，获得合适尺寸的试件。然后，将试件进行金相抛光处理，确保其表面光滑、平整，无明显缺陷或划痕，以便在显微镜下清晰观察。抛光过程中，采用不同粒度的砂纸逐步打磨样品表面，以获得理想的光洁度。

接下来，样品进行刻蚀处理。刻蚀的目的是利用化学试剂对样品表面进行处理，增强孔隙和晶界的可见性，使得孔隙更容易识别。常用的刻蚀液包括氨水、氯化铁等，具体使用的化学试剂取决于样品的材料和需要观察的微观结构特性。

样品准备好后，放置于金相显微镜下进行观察。显微镜提供了高分辨率的图像，可以将钼铜片的表面放大至几百倍甚至更高，精确显示孔隙的形态与分布。通过调整显微镜的放大倍数，观察不同层次的微观结构，特别注意识别孔隙、裂纹等缺陷区域。孔隙通常表现为黑色或透明的区域，显现为与金属基体不同的物理特性。

为了计算孔隙率，首先需要拍摄显微镜下的图像。这些图像将用于后续的分析，通过图像分析软件来进行自动化处理。软件可以根据不同的算法自动识别图像中的孔隙区域，并计算孔隙的面积比。通常，图像分析软件会用不同的颜色区分孔隙区域与金属区域，计算孔隙所占的面积比例。孔隙率通过公式计算：

$$\text{孔隙率} = \frac{\text{孔隙区域的面积}}{\text{总面积}} \times 100\%$$

根据此公式，可以得出样品的孔隙率。为了确保测试结果的准确性，通常需要在不同区域进行多次测量，并取其平均值。金相显微镜的优点是能够提供高分辨率图像，使得微小孔隙和缺陷得到清晰展示，从而可以更准确地评估钼铜片的孔隙率。图像分析软件的引入，使得整个孔隙率测试过程更加高效、精准，并减少了人为的误差。

6.3 钼铜片的拉伸测试

拉伸测试是评估钼铜片机械性能的重要方法，主要用于测量材料在拉力作用下的应力应变特性，能够反映其强度、延展性及韧性。拉伸测试通常采用万能材料试验机进行，这种设备能够精确控制载荷的施加，并记录钼铜片在拉伸过程中的变形。

6.3.1 万能材料试验机使用

万能材料试验机是一种常用的力学测试设备，广泛用于材料的拉伸、压缩、弯曲等力学性能测试。在拉伸测试中，钼铜片样品被放置在试验机的两个夹具之间。试验机通过施加逐渐增大的拉力，使样品在受力过程中发生变形，直至材料断裂或达到最大承载能力。在操作时，首先将钼铜片的两端夹持在试验机的夹具中，确保夹持位置固定，避免因夹持不稳导致的测试误差。然后，试验机会以恒定的速度施加拉力，同时监测样品的伸长量。拉伸过程中，试验机会自动记录载荷和变形数据，通过数据分析得出材料的抗拉强度、屈服强度、延伸率等重要参数。万能材料试验机通过控制拉伸速度和记录精确的力学数据，能够为钼铜片的性能评估提供可靠依据。其广泛应用于钼铜片的质量控制和研发领域，有助于优化材料的性能。

6.4 钼铜片的弯曲测试

弯曲测试用于测定材料在弯曲载荷作用下的变形能力，评估其抗弯强度和韧性。弯曲测试常采用三点弯曲法和四点弯曲法，这两种方法广泛应用于钼铜片及其他金属材料的性能测试。

6.4.1 三点弯曲法

三点弯曲法是最常见的弯曲测试方法之一，它通过在钼铜片中部施加垂直于其表面的集中载荷，在两端支撑的情况下引发弯曲变形。在测试过程中，钼铜片被放置在两个支撑点之间，并在中间施加均匀的负载。随着载荷的增大，钼铜片会发生弯曲变形，直到材料的屈服点或断裂点。

该方法可以直观地测量钼铜片的弯曲强度和弯曲刚度。通过观察弯曲过程中样品的断裂或塑性变形情况，可以评估材料的抗弯性能。在钼铜片的生产中，三点弯曲法特别适用于测试材料在实际使用过程中承受集中载荷时的表现。三点弯曲法的优点在于测试过程简单，适用于不同尺寸和厚度的样品，且操作便捷，能够快速获得可靠的弯曲性能数据。

6.4.2 四点弯曲法

四点弯曲法是另一种常用的弯曲测试方法，它与三点弯曲法的区别在于施加载荷的方式。四点弯曲法通过在样品的两点之间施加均匀的负载，并在支撑点之间施加额外的两点压力，从而在钼铜片上形成均匀的弯曲应力。四点弯曲法相比三点弯曲法，能够在样品上产生更均匀的应力分布，避免了集中应力的影响，更能准确反映材料的抗弯性能。

在测试过程中，钼铜片样品被放置在两个支撑点之间，施加的负载通过两点压力施加到样品的中心区域。随着载荷的增加，钼铜片的弯曲变形程度逐步增大，直至达到材料的屈服点或断裂。四点弯曲法可以有效地避免三点弯曲法中出现的局部过度应力，适用于测试薄板材料或大尺寸样品的弯曲性能。

四点弯曲法的优势在于其能够更精确地模拟材料在均匀载荷作用下的行为，适用于对高性能钼铜片的弯曲性能要求较高的测试场景。

6.5 钼铜片的冲击韧性测试

冲击韧性测试是评估钼铜片在急剧外力作用下抗裂纹扩展和破坏的能力，通常通过摆锤冲击试验来进行。冲击韧性反映了材料在极端条件下的脆性或韧性，对于钼铜片在高冲击或高应力环境下的表现尤为重要。

6.5.1 摆锤冲击试验操作要点

摆锤冲击试验是测试材料冲击韧性最常见的方法之一。在测试过程中，样品置于一个固定支座上，并使用摆锤对其施加冲击。摆锤以一定的角度和速度摆动，撞击样品，使其发生断裂或塑性变形。试验机记录下冲击后样品所吸收的能量，反映其冲击韧性。

操作时，首先将钼铜片样品的标准尺寸切割成试验用小样，并确保表面无缺陷。然后，样品被固定在试验机的支撑台上，支撑点位置要确保样品的两端均匀受力。摆锤在起始位置准备

好后，通过释放，摆锤撞击样品并使其断裂。试验过程中，摆锤的动能通过撞击传递给样品，记录冲击前后的摆锤高度变化，从而计算样品吸收的冲击能量。

摆锤冲击试验能够有效地测试钼铜片在极端力学条件下的性能，特别是在温度变化较大或快速加载的情况下，材料的冲击韧性是评估其可靠性的一个重要指标。

6.6 钼铜片的热导率测试

热导率是衡量钼铜片传导热量能力的重要参数，直接影响其在高温环境下的表现。热导率测试可以帮助评估钼铜片在热传导和热管理方面的能力，这对于电子、航空航天等领域的应用尤为重要。

6.6.1 激光闪射法原理及应用

激光闪射法是一种常用于测量材料热导率的非接触式方法，其原理是通过将激光束照射到材料表面，快速加热其表面的一小区域，然后通过测量表面温度的变化，计算出材料的热导率。在激光闪射测试中，激光脉冲照射到钼铜片的表面，瞬间将表面加热。材料表面吸收激光能量后，温度迅速上升，并通过内部传导向下扩展。通过使用高精度的热成像仪或红外传感器，测试材料表面温度随时间的变化。根据温度变化的时间曲线，可以计算出材料的热扩散率和热导率。

激光闪射法的优势在于它是一种非接触式、非破坏性的测试方法，能够快速、准确地测量材料的热导率。由于其测量速度快、精度高，激光闪射法常用于钼铜片和其他高性能材料的热性能评估，尤其适用于薄片材料的热导率测试。

此方法广泛应用于高温材料、电子元件、航空航天材料等领域，对于优化钼铜片的热管理性能至关重要。在钼铜片的设计和应用中，了解其热导率对于确保其在复杂热环境中的稳定性和效能至关重要。

6.7 钼铜片的热膨胀系数测试

热膨胀系数是材料在温度变化时尺寸变化的比例，钼铜片在高温环境下的热膨胀特性对其应用尤为重要，特别是在要求高温稳定性的电子和电气领域。热膨胀系数的测试通常使用热机械分析仪（TMA）。

6.7.1 热机械分析仪（TMA）使用

热机械分析仪（TMA, Thermomechanical Analyzer）是一种用于测量材料在受控温度程序下随温度、时间和施加力变化而发生的尺寸变化的热分析仪器。其核心原理是通过对样品施加恒定或动态机械载荷，同时控制温度变化，监测样品的膨胀、收缩、软化或其他形变行为，从而表征材料的热机械性能。TMA 广泛应用于材料科学、工程和制造业，用于研究金属、陶瓷、聚合物和复合材料（如钼铜片）的热膨胀、软化点和相变等特性。例如，在钼铜片测试

中，TMA 可用于评估其热膨胀系数（CTE）与陶瓷或半导体材料的匹配性，确保电子封装或航空航天应用的可靠性。TMA 通常配备探针、样品夹持系统、加热炉和位移传感器（如线性可变差动变压器，LVDT），能够精确记录样品在压缩、拉伸或弯曲模式下的尺寸变化。部分高级 TMA 仪器还支持同步差示扫描热量分析（SDTA），可同时测量热效应（如熔化或结晶），提供更全面的材料行为信息。

TMA 的操作步骤

TMA 的使用涉及一系列标准化步骤，确保测试结果的准确性和可重复性。首先，准备样品，需确保样品形状规则（如钼铜片的薄板或圆柱形样品），以适应夹持系统。样品尺寸通常根据夹具类型确定，例如压缩模式下样品高度和直径需适配夹具。接下来，选择合适的探针类型（如压缩探针、拉伸夹具或三点弯曲夹具），根据测试目标（如热膨胀或软化点）进行配置。例如，测试钼铜片的热膨胀系数时，通常使用压缩探针以测量线性膨胀。仪器校准是关键步骤，需校准温度传感器和位移传感器，确保测量精度。校准后，将样品置于炉内，靠近温度传感器以保证温度控制准确。设置测试条件，包括温度程序（加热、冷却或等温）、施加力（恒定或动态）以及气氛（如惰性气体或空气）。测试过程中，探针通过位移传感器记录样品的尺寸变化，数据由仪器软件实时采集和分析。测试完成后，清洗夹具并检查样品状态，以避免污染或设备损坏。整个过程需严格遵循操作规程，例如参考 ASTM E831 标准，确保测试结果符合行业规范。

TMA 在钼铜片测试中的应用

TMA 在钼铜片测试中具有广泛应用，特别是在评估其热机械性能以满足电子、航空航天和光电领域的需求。钼铜片（如 Mo85Cu15、Mo70Cu30）因其高导热性和低热膨胀特性，常用于散热基板和热管理组件。

TMA 可通过压缩模式测量钼铜片的热膨胀系数，验证其与陶瓷材料（如氮化铝）的热匹配性，防止电子封装中的热应力失效。例如，在 5G 通信设备中，TMA 测试确保 Mo60Cu40 的热膨胀系数与基板材料一致，优化信号传输稳定性。此外，TMA 可用于检测钼铜片的软化点，评估其在高温环境（如航空航天喷气发动机）下的稳定性。拉伸模式测试可表征钼铜片的力学行为，如抗拉强度和延展性，适用于航空航天型钼铜片的设计验证。TMA 还可通过三点弯曲测试分析钼铜片的抗弯性能，确保其在复杂应力环境下的可靠性。同步 SDTA 功能进一步增强了测试能力，例如在测试 Mo50Cu50 时，可同时检测热膨胀和潜在的相变或化学反应，提供全面的材料特性信息。

TMA 使用的注意事项

使用 TMA 时需注意多个方面以确保测试结果的可靠性和仪器安全。首先，样品准备需严格控制形状和尺寸，避免不规则样品导致夹具接触不良或测量误差。环境气氛的选择也至关重要，例如在测试钼铜片时，需使用惰性气体（如氮气或氩气）以防止高温下铜相氧化。温度程序的设置应根据材料特性合理选择，例如钼铜片的测试温度范围通常覆盖其实际应用环境（如 -50°C 至 800°C ），避免超过材料耐受极限。施加力的控制需精确，过大的力可能导致样品

变形或损坏，而过小的力可能无法准确检测尺寸变化。此外，定期校准仪器（如温度和位移传感器）是确保数据准确性的必要步骤，建议参考 ASTM E2113 和 E1363 标准进行校准。操作人员需熟悉仪器软件 and 数据分析方法，以正确解读测试结果，例如区分热膨胀和软化引起的尺寸变化。最后，测试后需妥善清理样品残留物，防止污染夹具或炉体，确保仪器长期稳定运行。

6.8 钼铜片的电阻率测试

电阻率是衡量材料导电性能的关键参数，对于钼铜片这种金属材料，其电阻率直接影响到其在高频设备和电力传输中的应用。电阻率的测试常通过四探针法来进行。

6.8.1 四探针法测量流程

四探针法通过在材料表面施加电流并测量电压降，来精确计算材料的电阻率。在测试过程中，四个探针被均匀地排列在样品表面，其中外侧的两个探针用于施加恒定电流，内侧的两个探针则用于测量电压降。这样，电流与电压降之间的关系可以用来计算材料的电阻值。样品表面必须平整且清洁，任何污垢或氧化层都可能影响测量结果。测试过程中，四个探针通过接触样品表面来传递电流和测量电压。设备会记录电压和电流的变化，从而计算出电阻率。通过这一方法，能够消除接触电阻的影响，保证测量的准确性，适合用于高导电材料如钼铜片的电阻率测试。

四探针法是非常适合测量薄片材料电阻率的技术，它提供了高精度的电阻率数据，这对于钼铜片在电子、半导体等领域的应用至关重要。

6.9 钼铜片的接触电阻测试

接触电阻是指两个材料接触面因表面粗糙、氧化或其他因素而产生的电阻。在钼铜片的应用中，接触电阻影响电流的传导效率，尤其在高频电子元件中，接触电阻的大小直接影响到设备的性能和稳定性。

6.9.1 直流压降法操作规范

直流压降法是一种常用的接触电阻测试方法，通过施加直流电流并测量接触面上的电压降来计算接触电阻。在测试过程中，首先将钼铜片样品与另一电极紧密接触，并确保接触点的表面无污物、无氧化物，表面处理需达到要求的平整度。

在测试时，电流通过外部电源施加到接触面，同时测量接触点的电压降。通过电流和电压的关系，可以得出接触电阻。此方法能够有效测量钼铜片与其他金属接触时的电阻特性，尤其适用于高频电气连接件的质量控制。直流压降法的优势在于其操作简便、数据可靠，且无需特殊设备，非常适合日常的质量控制和生产过程中的接触电阻检测。对于钼铜片，保持低接触电阻是确保其在电气应用中良好性能的关键，因此定期的接触电阻测试对于保证材料质量和稳定性非常重要。

中钨智造科技有限公司
钼铜片产品介绍

一、钼铜片概述

钼铜片是一种由钼和铜组成的复合材料，其凭借着独特的热电性能、机械性能和可调性，广泛应用于热管理、高性能电子器件、半导体和航空航天等领域，常用作封装材料、集成电路基板、热沉材料、LED 散热基板等。中钨智造可根据用户的需求，定制具有特定尺寸及成分的钼铜产品。

二、钼铜片特性

良好的导电性：可满足电路连接等导电场景的需求。

高导热性：可快速传导热量，适用于需要高效散热的电子器件等领域。

低膨胀系数：与硅等半导体材料匹配度高，能在温度变化时减少因热胀冷缩产生的应力，避免器件变形或损坏。

加工性能良好：可通过切割等工艺进行加工，制成不同尺寸和形状的零件，满足多样化的应用需求。

三、典型钼铜合金性能

材料成分	密度(g/cm ³)	导热系数 W/moK 25°C	热膨胀系数 (10 ⁻⁶ /°C)
Mo85Cu15	10.00	160-180	6.8
Mo80Cu20	9.90	170-190	7.7
Mo70Cu30	9.80	180-200	9.1
Mo60Cu40	9.66	210-250	10.3
Mo50Cu50	9.54	230-270	11.5

四、钼铜片生产方式

钼铜片的制备主要通过熔渗法，利用钼的高熔点和铜的良好流动性，通过高温熔渗的方式将铜渗入钼坯体中，形成致密的钼铜复合材料。

五、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595; 592 5129696

更多钼铜片资讯，请访问中钨在线网站（molybdenum-copper.com）。

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”。



第 7 章 钼铜片的应用领域

钼铜片作为一种复合材料，因其在热导性、导电性、耐高温性等方面的独特优势，已经在多个高技术领域得到广泛应用。特别是在电子工业中，钼铜片由于其优异的性能，成为许多高功率、高频设备中不可或缺的材料。以下是钼铜片在电子工业领域中的三大应用：封装材料、集成电路基板和微波器件中的散热部件。

7.1.1 封装材料

在电子封装技术中，钼铜片的应用是至关重要的。电子元件在工作过程中会产生大量的热量，尤其是高功率半导体元件和微型电子器件。如果热量得不到有效散发，就可能导致电子元件过热，损坏或失效。因此，高效的散热解决方案对于电子封装至关重要。钼铜片凭借其独特的物理性能，成为电子封装材料的理想选择。

钼铜片的优势在于它的高导热性和高温稳定性。钼作为一种具有高熔点（约 3,262° C）的金属，能够在高温环境下保持结构的稳定性，避免因高温导致材料变形或失效。而铜则是良好的导电和导热材料，能够有效地将电子元件产生的热量从封装内传导到外部环境。将这两种材料结合起来，钼铜片便具备了优异的散热性能和良好的机械强度，使其成为电子封装中高效散热的首选材料。

在半导体封装中，钼铜片不仅能够提供有效的散热功能，还能承受长时间、高功率运作下的温度变化。对于高频、高功率设备，钼铜片的稳定性尤其重要，它能承受剧烈的温度波动而不发生热疲劳，从而保证电子设备长期的可靠性。此外，钼铜片的热膨胀系数较为均匀，这对避免封装中因热膨胀差异产生的应力至关重要，能够有效防止因热应力导致的封装失效。

钼铜片作为封装材料，还具有很强的抗腐蚀能力。许多高频电路和功率电子设备都需要在恶劣的环境中工作，例如高温、高湿度和高电压等，这对封装材料的性能提出了严格要求。钼铜片能够在这些极端条件下维持稳定的性能，延长电子设备的使用寿命。

在集成电路封装中，钼铜片作为基板材料的使用越来越广泛。其能够承受大功率信号的热负荷，同时避免因过热造成集成电路的性能下降。随着电子设备集成度的不断提升，对散热的要求也越来越高，钼铜片的出现有效地解决了这一问题，成为高功率密度封装中不可或缺的关键材料。

7.1.2 集成电路基板

钼铜片在集成电路（IC）基板中的应用也非常重要。集成电路广泛应用于计算机、通信设备、消费电子等领域，这些设备通常工作在高功率和高频率下，因此集成电路的散热问题尤为关键。钼铜片作为 IC 基板材料，能够满足高功率、高频电路的散热需求，并保持较低的热膨胀系数，从而提高 IC 的可靠性和长期稳定性。集成电路基板的主要功能是支撑集成电路芯片，并提供必要的电气连接。由于集成电路的功能越来越复杂和集成度越来越高，其热负荷也越来越大。传统的 IC 基板材料往往不能有效散热，导致集成电路在高温下工作时性能下

降，甚至发生故障。钼铜片具有极高的导热性，能够有效地将芯片产生的热量传导出去，防止芯片过热而发生损坏。

钼铜片作为集成电路基板，具有多重优势。首先，钼铜片的热导率极高，能够快速将热量从集成电路芯片传导到外部环境，避免因过热造成的损坏。其次，钼铜片的热膨胀系数与集成电路材料（如硅芯片）的热膨胀系数相对接近，这减少了由于温度变化引起的热应力，从而提高了集成电路的可靠性和工作寿命。最后，钼铜片具有较强的抗氧化性和耐腐蚀性，能够在恶劣的工作环境下保持良好的性能，延长电子设备的使用周期。

集成电路基板的材料要求在逐步提高，对于高频和高功率设备，钼铜片成为一种理想选择。特别是在需要高效散热、高频信号传导和高功率输出的领域，钼铜片的优势愈发显著。在雷达系统、卫星通信、光纤通信等高新技术领域，钼铜片作为集成电路基板，能够有效提高系统的工作效率和稳定性，确保电子设备在复杂环境中的长期运行。

7.1.3 微波器件中的散热部件

微波器件是用于微波频段（一般为 300 MHz 至 300 GHz 范围）的通信、雷达和遥感设备中的重要部件，广泛应用于卫星通信、无线电通信、医疗诊断和军事雷达等领域。这些器件通常需要承受高功率信号和高频率的工作环境，因此对散热系统的要求非常高。钼铜片由于其优异的导热性和耐高温性，成为微波器件中重要的散热部件。

在微波器件中，钼铜片的散热作用尤为关键。微波器件通常工作在高频段，在信号传输过程中会产生大量热量。如果热量不能及时有效地散发，设备会因为过热而出现故障或性能下降。钼铜片作为散热部件，能够迅速吸收器件产生的热量，并通过其高导热性将热量传导到外部环境，从而有效降低器件的工作温度，确保设备的稳定性和可靠性。

钼铜片在微波器件中的应用不仅限于散热，还包括作为结构支撑材料。钼铜片的高强度和 high 刚性使其在微波器件的结构中起到了支撑作用，能够承受微波器件内部的高温 and 机械应力。同时，钼铜片的热膨胀系数与微波器件的其他材料相匹配，避免了因热膨胀差异导致的应力积累，从而提高了器件的稳定性。

在雷达系统中，钼铜片的散热作用也至关重要。雷达系统需要长时间高功率运行，而雷达波在发送和接收过程中会产生大量热量。钼铜片作为散热部件，能够保证雷达设备在高温条件下长期稳定运行。在卫星通信系统中，钼铜片的优异散热性能保证了卫星设备在极端环境下的可靠运行，延长了卫星的使用寿命。

7.1.4 微波器件中的结构支撑部件

微波器件通常工作在高频、高功率的环境中，因此需要具备良好的散热性、结构稳定性和抗热膨胀能力。钼铜片作为微波器件中的结构支撑部件，发挥着重要的作用。微波器件，如微波放大器、雷达设备、通信模块等，工作时会产生大量的热量，如果不能及时散发出去，会导致设备的过热，从而影响其稳定性和寿命。钼铜片的高导热性使其能够有效地吸收和传导

微波器件中的热量，避免温度过高而导致电路或组件的损坏。此外，钼铜片的耐高温性使其能够在高功率环境下稳定工作，承受微波器件运行时产生的热量和机械应力。

在微波器件中，钼铜片不仅起到散热作用，还承担着支撑和固定器件的功能。钼铜的高刚性和强度使其能够支撑微波器件内部的组件，并保持结构稳定。由于钼铜片的热膨胀系数与其他常见微波材料（如陶瓷、硅等）相对接近，它可以有效避免由于热膨胀差异造成的材料应力，从而提高微波器件的工作可靠性。

此外，钼铜片的抗氧化性能也使其在微波器件的长期使用中具有优势。微波器件常常暴露在恶劣的工作环境中，如高温、高湿度和电磁辐射等，钼铜片能够在这些极端条件下保持稳定性能，延长微波器件的使用寿命。

7.1.5 热沉材料

热沉是电子设备中用于散热的关键部件，特别是在高功率电子器件、激光器、射频设备等领域，热沉的设计和材料选择对于设备的长期稳定运行至关重要。钼铜片作为热沉材料，凭借其卓越的热导性和热膨胀性能，在散热领域得到了广泛应用。

在电子设备中，尤其是功率半导体、激光二极管等高功率器件中，钼铜片能够高效地将元件产生的热量从内部传导到外部散热系统，从而避免由于过热造成的元件故障或性能下降。钼铜片的高导热性使其在微型化、高功率密度的应用中展现出显著的优势，它能够将热量迅速分散，确保器件在高温下稳定运行。

此外，钼铜片的热膨胀系数较为均匀，与许多电子器件材料相匹配，这降低了因热膨胀差异而产生的应力。尤其是在需要频繁加热和冷却的应用场景中，钼铜片作为热沉材料能够有效地承受这些温度变化，避免因热应力导致的材料变形或损坏。

钼铜片的抗腐蚀性也使其成为理想的热沉材料，尤其在极端环境下，如高湿度或有腐蚀性气体的环境中，它能够长期稳定地工作，而不受到外界环境的影响。它在激光器、射频模块、半导体激光器和卫星通信设备等高端应用中，作为热沉材料发挥了至关重要的作用。

7.1.6 射频模块

射频（RF）模块广泛应用于无线通信、雷达、卫星通信等领域，它们在高频、高功率环境下运行，因此对材料的要求非常高。射频模块中的材料不仅需要具备优异的导电性，还要具备良好的热管理能力。钼铜片作为射频模块中的核心材料，凭借其独特的性能，在这一领域得到广泛应用。

射频模块在工作时产生的热量需要迅速有效地散发出去，否则会影响设备的稳定性和信号质量。钼铜片的高导热性使其能够快速将射频模块产生的热量传导到外部散热系统，从而保持设备的温度在安全范围内，防止过热导致的性能下降或故障。与传统的铜或铝材料相比，钼铜片的热导率显著提高，能够在小体积内承载更高的功率密度，适应高功率射频模块的需求。

射频模块中的电气连接和信号传导对材料的导电性有很高的要求。钼铜片结合了钼的高温稳定性和铜的优良导电性，能够在射频模块中实现高效的电气连接，确保信号的稳定传输和精确控制。由于钼铜片在高频信号传输中具有低损耗，它能够减少信号的衰减，保证射频模块的高效工作。

此外，钼铜片的耐高温性能使其能够在高功率和高温的环境中稳定运行。射频模块通常需要长时间稳定工作，钼铜片在这些极端环境下能够保持优异的性能，不会因为长时间的高温暴露而失效。这使得钼铜片成为了高端射频模块中不可或缺的关键材料。

7.1.7 LED 散热基板

随着 LED 技术的不断进步，LED 光源已经广泛应用于照明、显示和信号处理等领域。虽然 LED 光源本身具有能效高、使用寿命长等优点，但在高功率驱动下，LED 光源也会产生大量的热量。如果热量无法及时有效地散发，将会导致 LED 性能下降，缩短其使用寿命。因此，散热问题成为 LED 光源应用中的重要挑战。

钼铜片作为 LED 散热基板材料，凭借其高导热性、良好的机械强度和耐高温性能，成为解决这一问题的理想选择。钼铜片结合了钼的高熔点（约 3,262° C）和铜的优异导热性，在 LED 光源工作时能够快速有效地将产生的热量从光源芯片传导到散热器或外部环境中，从而有效避免了热积累带来的不良影响。

与传统的铝基板或其他散热材料相比，钼铜片的导热效率更高，能够承受更大的功率密度。这使得它的高功率 LED 灯具、高亮度显示屏、激光二极管等高功率 LED 光源的散热系统中，能够保持较低的温度，提高 LED 光源的工作效率和使用寿命。

此外，钼铜片的热膨胀系数较为均匀，与 LED 芯片和其他封装材料的热膨胀系数相匹配，这减少了因热膨胀差异产生的应力，从而提高了 LED 光源的稳定性和长期可靠性。在 LED 模块和集成电路的封装中，钼铜片不仅作为散热基板，还能确保长期高效的散热，避免因过热而导致的 LED 光源性能下降。

7.2 钼铜片在航空航天领域的应用

航空航天领域对材料的要求极为苛刻，特别是在高温、高压、强辐射等环境下，材料需要具备优异的高温稳定性、强度、导热性和抗辐射能力。钼铜片凭借其卓越的性能，广泛应用于航空航天领域，尤其在飞机金属构件、航天器的热防护材料以及导弹与航天器组件中，展现了其不可替代的作用。

7.2.1 飞机的金属构件

钼铜片在航空航天器中作为金属构件，特别是在飞机的结构部分，发挥着重要作用。飞机在飞行过程中会经历高速飞行、剧烈的气流压力以及复杂的温度变化，这要求飞机的金属构件不仅具备高强度，还需具有良好的抗热膨胀性和散热能力。钼铜片在这些金属构件中被用于

飞机结构中的部件，如发动机部件、气动外形部件以及其他需要承受高温、高应力的地方。钼的高熔点和铜的导热性，使得钼铜片在高温环境下能够保持优异的结构稳定性，避免热膨胀带来的影响。同时，钼铜片能够有效地传导发动机和其他部件产生的热量，防止局部过热，保证飞机在极端条件下的稳定运行。

钼铜片在飞机金属构件中的应用还体现在其耐腐蚀性上。航空器暴露在各种气候条件下，特别是在湿气和盐分较高的环境中，钼铜片的抗腐蚀性能够使其能够在这些环境下长期工作而不失效。

7.2.2 航天器的热防护材料

航天器在发射、飞行以及重新进入大气层的过程中，会经历极端的温度变化。尤其是在进入大气层时，航天器会遭受非常高的温度，甚至达到几千摄氏度。因此，航天器需要具有强大的热防护系统，以确保航天器及其内部设备的安全运行。钼铜片在航天器热防护系统中的应用主要体现在其作为热屏蔽材料。钼的高熔点使得它在高温环境下能保持稳定，而铜的导热性使得它能够迅速将热量从航天器表面传导至其他部分，有效避免局部过热。这使得钼铜片在航天器的热防护系统中，能够有效防止高温造成的损坏。在航天器的再入过程中，钼铜片常被用于隔热层、热屏蔽和散热系统中。钼铜片的高导热性确保热量能够迅速被传导到其他散热部件，而其强大的抗热膨胀性则有效减少了因温差过大而产生的热应力，保证航天器在高温再入过程中能够保持结构的完整性。

此外，钼铜片的耐腐蚀性也非常适合在空间环境中使用，特别是在高辐射和极端温度的条件下，钼铜片能够长时间稳定工作。

7.2.3 导弹与航天器组件

钼铜片在导弹和航天器的各类组件中也有重要应用。在导弹系统中，钼铜片常用于导弹发动机和其他高温部件的散热系统。导弹发动机在高速飞行过程中会产生大量的热量，如果这些热量无法及时散发，可能会导致发动机性能下降甚至失效。钼铜片在这些部件中能够快速有效地散发热量，确保导弹的高效运行。

钼铜片还广泛应用于航天器的电气系统中。在航天器的电子设备中，钼铜片作为导电和散热部件，帮助有效传导电流并保持设备温度稳定，避免因过热导致设备故障。此外，钼铜片的稳定性和高强度也使其在航天器的结构部件中得到了应用，尤其是在承受巨大机械应力和高温变化的关键部件中，钼铜片提供了额外的强度和耐久性。

7.2.4 雷达系统散热器

雷达系统，尤其是在军事和航空领域的雷达系统，需要长时间在高功率、高频率的条件下稳定工作。在这种环境下，雷达系统的散热成为设计中的重要问题。钼铜片在雷达系统散热器中的应用，充分发挥了其高导热性和高温稳定性，成为高性能雷达系统不可或缺的核心部件。

雷达系统中的发射和接收单元会产生大量热量，而高效散热是保证雷达系统可靠运行的关键。钼铜片因其高导热性（优于大多数传统金属）而广泛应用于雷达系统的散热设计。钼铜复合材料能够迅速将热量从产生热量的部件（如发射器、接收器等）传导到外部散热系统，防止过热导致雷达系统性能下降或故障。

钼铜片的耐高温特性，使得它在高温环境下依然保持良好的热稳定性，能够在极端温度波动和强烈的热冲击下，保持结构完整性和稳定性。此外，钼铜片的热膨胀系数与雷达系统中的其他材料（如陶瓷、硅芯片等）相近，能够有效减少热膨胀差异带来的应力，避免因温差导致的机械变形或结构失效。在军事雷达系统中，钼铜片作为散热器件的应用，尤其是在高功率、高频雷达中，能够确保雷达设备长时间高效稳定运行，避免过热造成的损坏或性能退化。这使得钼铜片在现代雷达技术中发挥了重要的作用。

7.2.5 军用电子封装

军用电子封装对材料的要求非常高，尤其是在恶劣环境下工作的设备，如导弹、卫星、无人机等。军用电子封装必须满足耐高温、抗冲击、抗辐射和防水防尘等多重要求。钼铜片作为一种新型的封装材料，凭借其优异的物理性能，广泛应用于军用电子封装中。钼铜片在军用电子封装中的主要优势之一是其高导热性。电子元件在工作过程中会产生大量热量，尤其是在高功率、高频率的工作环境中，热管理尤为重要。钼铜片能够有效地将热量从电子元件传导到外部散热系统，避免设备因过热而发生故障。这对于军用设备的可靠性至关重要，特别是在高温、高压、辐射等极端环境下，钼铜片能够确保电子封装的长期稳定性。

钼铜片的高温稳定性和机械强度也使其成为军用电子封装中理想的选择。军用设备往往需要在剧烈的温度变化、冲击和振动等恶劣条件下工作，钼铜片能够承受这些条件而不发生性能退化或损坏。它的高强度和刚性确保了封装材料能够承受外部应力，同时它的热膨胀系数与许多其他军用材料（如陶瓷和金属）相匹配，减少了热应力对封装结构的影响。

在军用电子封装中，钼铜片不仅用于散热，还能提供更好的电气性能。其优异的导电性使得钼铜片能够作为电子元件的载体材料，保证稳定的电气连接和信号传输。钼铜片在军用封装中的应用，可以有效提高设备的性能、可靠性和耐久性，确保其在极端环境下的稳定运行。

7.3 钼铜片在能源与热管理中的应用

钼铜片在能源领域，特别是在电力电子器件和热管理系统中的应用，展现了其独特的优势。随着全球对能源效率和可持续发展的关注，钼铜片在能源领域的应用越来越广泛，尤其是在电力电子和热管理系统中，成为解决高功率电子设备散热问题的重要材料。

7.3.1 电力电子器件

电力电子器件在现代能源系统中起着至关重要的作用。无论是在电力转换、电池管理系统，还是在电动汽车和可再生能源系统中，电力电子器件都广泛应用于能量的调节、控制和转换。然而，这些高功率电子器件在工作过程中会产生大量的热量，若无法有效散热，将导致设备

过热、性能下降甚至失效。因此，优良的热管理材料对于电力电子器件的可靠运行至关重要。钼铜片作为电力电子器件中的热管理材料，发挥了不可替代的作用。钼铜片具备极高的热导率，能够迅速将电力电子器件产生的热量从设备内部导出，保持器件的温度稳定，从而提高其工作效率和使用寿命。钼铜片的高导热性和高温稳定性使得它在电力电子器件中成为理想的散热材料，特别适用于高功率、长时间运行的设备。此外，钼铜片的高强度和抗热膨胀性能使其能够承受电力电子器件中的高温变化和机械应力。在电动汽车和电力转换设备中，钼铜片能够有效地支撑并保护电子元件，同时提供良好的散热性能，避免因温度过高导致的元件损坏。

钼铜片在电力电子器件中的应用，不仅提高了设备的热管理性能，还提升了整体效率，减少了能量损失。随着电动汽车、太阳能发电和储能系统等领域的发展，钼铜片作为热管理材料的重要性将不断增加，成为提升能源效率和可持续发展的关键技术材料。

7.3.2 核能设备

核能设备，特别是核反应堆及其相关部件，要求材料具备极高的热稳定性、强度和抗辐射能力。核反应堆在工作时会产生巨大的热量，同时还面临强烈的辐射环境。因此，核能设备中的散热管理至关重要。钼铜片作为核能设备中的热管理材料，凭借其优异的导热性和高温稳定性，成为解决高温高功率热管理问题的理想选择。

在核能设备中，钼铜片的主要应用是作为热交换器、冷却系统和散热器的一部分。核反应堆的核心区域会产生大量的热量，钼铜片能够迅速传导这些热量并有效散发，确保设备在高温下的正常运行。钼的高熔点使得钼铜片能够承受极高的温度，而铜的良好导热性则保证了热量能够迅速从核反应堆的核心传导到冷却系统中。此外，钼铜片的高机械强度和耐腐蚀性使其在核能设备中能够长期稳定工作。核能设备中的一些重要部件，如核反应堆控制棒、冷却泵和热交换器，都面临着长时间高温、高辐射的环境。钼铜片的稳定性和耐腐蚀性使其能够抵抗辐射损伤，保证设备的长期可靠性和稳定性。

在未来，随着核能技术的进一步发展，钼铜片在高温气冷堆、快中子反应堆等新型核反应堆中的应用将进一步增加。钼铜片将为核能设备提供更高效、更可靠的热管理解决方案，确保核能技术在未来能源系统中的可持续性和安全性。

7.3.3 可再生能源系统

随着全球对环保和可持续能源的需求日益增长，可再生能源（如太阳能、风能、水能等）已经成为重要的能源形式。在可再生能源系统中，尤其是太阳能发电系统和风能发电系统中，高效的热管理对于提高系统效率、延长使用寿命以及确保设备稳定性至关重要。钼铜片在可再生能源系统中作为热管理材料，凭借其优异的热导性和耐高温性能，成为提高能源转换效率和设备稳定性的关键材料。在太阳能系统中，钼铜片主要用于太阳能热发电系统中的热交换器和散热组件。太阳能集热器在工作时会产生大量热量，如果无法有效散热，可能会导致系统效率下降，甚至损坏太阳能集热器。钼铜片能够迅速将集热器中的热量传导到外部冷却系统中，保证热发电系统的高效运行。在风能发电系统中，钼铜片作为风机电机和其他高功

率电子设备的散热材料，能够有效将电机运行过程中产生的热量从风机内部传导到外部，避免过热导致设备故障。风能发电系统中的电子元件和功率转换器通常在高速运行中产生大量热量，钼铜片凭借其高导热性，能够有效提高系统的散热性能，保证风机在高功率运行时的稳定性。

钼铜片的应用不仅限于热交换器和散热组件，它还在可再生能源系统中的电池管理系统中发挥重要作用。在太阳能和风能系统中，储能系统（如电池组）是不可或缺的组成部分，钼铜片作为热管理材料能够有效地降低电池在充放电过程中产生的热量，防止电池因过热而出现性能下降或损坏。随着可再生能源技术的不断进步，钼铜片在这些系统中的应用将变得更加广泛，为可再生能源的高效利用和稳定运行提供关键的热管理解决方案。

7.3.4 电动汽车电池热管理

电动汽车（EV）在现代交通系统中已经成为重要的替代能源方式。电动汽车的核心部件之一是电池系统，特别是动力电池系统。电池在充电和放电过程中会产生大量热量，如果热量没有得到有效管理，会导致电池温度过高，进而影响电池的性能、寿命甚至安全性。因此，电池热管理系统成为电动汽车设计中不可忽视的一部分。

钼铜片作为电动汽车电池热管理系统中的关键材料，其高导热性和耐高温性使其成为电池热管理的理想选择。在电动汽车中，钼铜片可以应用于电池包的散热系统中，尤其是在高功率充放电过程中，钼铜片能够迅速将电池产生的热量从电池单体传导到散热器或外部冷却系统中，防止电池温度过高导致性能下降或安全问题。钼铜片的优异导热性保证了电池系统能够保持在最佳工作温度范围内，提高电池的充电效率和放电性能，同时延长电池的使用寿命。电动汽车的电池系统在高温和低温环境下都会面临不同的挑战，钼铜片能够适应这些极端条件，提供稳定的热管理支持。通过提高电池系统的散热性能，钼铜片不仅优化了电池的工作效率，还提高了电动汽车的整体性能和安全性。钼铜片还可以用于电动汽车的电池模块和电池包的结构设计中。钼铜片的高强度和良好的抗热膨胀性，使得它能够在电池模块中提供稳定的结构支持，防止因温度变化导致的机械变形。钼铜片的优异性能确保了电池系统在高温、高功率工作条件下能够长时间稳定运行，满足电动汽车对续航里程、充电速度和安全性的严格要求。

7.4 钼铜片在其他新兴应用领域

钼铜片在新兴领域中的应用，展现了其在高精度、复杂工况下的独特优势，尤其是在那些对材料性能要求极高的技术领域。

7.4.1 医疗设备

钼铜片在医疗设备中的应用，主要体现在医学成像设备、放射治疗设备和体外诊断设备等领域。随着医疗技术的进步，尤其是放射学、核医学和高精度诊断设备的发展，钼铜片因其出色的热导性、强度以及生物兼容性，成为医疗设备中的关键材料之一。在医学成像设备中，尤其是 CT（计算机断层扫描）和 MRI（磁共振成像）设备中，钼铜片通常作为散热材料应用

于电子组件和高功率设备的热管理系统。CT 扫描仪和 MRI 设备在运行过程中会产生大量的热量，尤其是在高功率射频系统和电子部件中，如果热量无法有效散发，设备可能过热并影响成像质量。钼铜片的高导热性能能够迅速将产生的热量从这些部件传导到散热系统中，从而保证设备的长期稳定运行。此外，钼铜片也应用于放射治疗设备的热管理中。在放射治疗过程中，设备的辐射源通常会产生大量热量。钼铜片在这些设备中的作用是将热量从辐射源区域有效传导出去，避免因热积累造成设备故障或治疗精度下降。钼铜片的高强度、耐高温和稳定性使其成为在高精度医疗设备中非常可靠的材料。钼铜片在体外诊断设备中的应用也是非常重要的。在这些设备中，钼铜片不仅提供有效的热管理，还作为部件支撑材料，确保设备在长期使用中的稳定性和精度。

7.4.2 7G 通信基站

随着 5G 技术的普及，7G 通信技术的研发正在如火如荼地进行中，7G 通信将进一步推动超高速传输、大规模连接和低延迟的网络应用。7G 基站作为未来通信网络的核心基础设施，对设备的热管理、抗干扰性和稳定性提出了更高要求。钼铜片作为一种高效的热管理材料，正逐步成为 7G 通信基站的重要组成部分。

在 7G 通信基站中，钼铜片的主要作用是作为散热材料，帮助处理基站中产生的巨量热量。7G 通信技术将支持更高频率和更大容量的数据传输，而基站的功率需求和热负荷将比 5G 时代更为巨大。钼铜片的高导热性使得它能够迅速将基站中的电子元件产生的热量导出，防止过热导致基站设备故障或性能下降。

除了散热，钼铜片的抗电磁干扰能力也是其在 7G 通信基站中的应用优势之一。7G 通信基站将面临更复杂的电磁环境，钼铜片作为结构支撑材料，能够有效隔离电磁干扰，保证基站内电子元件的稳定工作。钼铜片在基站中的应用将有效提高设备的可靠性和通信质量，满足未来超高速网络传输的严苛要求。

7.4.3 激光器与光学系统

激光器与光学系统在科学研究、医疗治疗、工业加工、激光打印等领域都有着广泛的应用。随着激光技术的不断进步，激光器和光学系统的功率越来越大，对散热和温控的要求也越来越高。钼铜片在激光器和光学系统中，作为高效的散热材料，发挥着重要作用。

在激光器中，尤其是高功率激光器，工作时会产生大量热量。如果这些热量得不到有效散发，激光器的效率将大大下降，甚至会导致设备损坏。钼铜片的高导热性使其成为激光器中散热系统的理想材料，它能够快速将激光器产生的热量从激光器内部传导到外部散热装置，保持激光器的工作温度稳定，提高设备的功率输出和运行效率。

在光学系统中，尤其是激光扫描系统、光通信系统和精密测量设备中，钼铜片也有着广泛的应用。光学系统中的激光发射器和接收器通常需要在极为精细的温控环境下运行，钼铜片不仅能够提供稳定的散热功能，还能有效避免因热膨胀差异而导致的光学元件变形，保证光学

系统的稳定性和精度。钼铜片在激光器和光学系统中的应用，不仅能够提高系统的散热能力，还能够提升激光器的光束质量和稳定性，确保其在各种应用场景中的高效运行。

7.4.4 增材制造与定制化组件

增材制造（3D 打印）技术是近年来快速发展的制造技术之一，尤其在航空航天、医疗、汽车等领域，增材制造逐渐成为定制化、高精度组件的制造解决方案。钼铜片作为增材制造中的材料之一，正被广泛应用于高温、高功率、高精度的定制化组件制造中。

增材制造技术允许通过逐层堆积材料来制造复杂形状的零件，这种方法对于制造传统加工方法无法实现的复杂几何形状非常有效。钼铜片的优异性能使其成为增材制造中的理想材料，特别是在需要高导热性、高强度和良好耐高温性能的应用中，如航空航天部件、汽车发动机部件以及医疗设备的定制零件。

在增材制造过程中，钼铜片能够在激光熔化过程中保持良好的结构稳定性，并在高温环境下保持其优异的物理性能。钼铜片的定制化制造使得在复杂结构部件中能够得到更好的热管理效果，并通过减少热应力、提升性能，实现了高效能的部件制造。

此外，钼铜片的增材制造还能够针对不同的应用需求进行精准的性能调节，满足各类工业产品对热管理、机械强度、耐高温和耐腐蚀等性能的不同要求。这使得钼铜片在新兴领域的应用前景广阔，成为定制化组件制造中的关键材料。



中钨智造钼铜片图片

第 8 章 钼铜片的市场与产业现状

8.1 全球钼铜片市场概况

全球钼铜片市场作为钼合金市场的重要分支，近年来凭借其在高性能应用场景中的独特优势，呈现出稳定的增长态势。钼铜片是由钼（Mo）与铜（Cu）组成的复合材料，兼具高导热性、可调热膨胀系数及高强度等特性，广泛应用于电子、航空航天、通信和新能源等领域。其市场增长主要受全球高性能材料需求的驱动，尤其在 5G 通信、电动汽车（EV）及可再生能源设备等领域的应用需求显著。

与整体钼市场相比，钼铜片市场增速更为突出。整体钼市场的增长趋势相对平缓，而钼铜片在高附加值领域（如电子封装、热管理组件）的重要性日益凸显，进一步推动了其市场规模的扩张。

钼铜片市场的增长主要由以下几个关键因素驱动。首先，对高导热性和低热膨胀材料的需求不断增加。钼铜片的导热系数范围为 $150\text{--}270\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，可调热膨胀系数为 $5\text{--}12\times 10^{-6}/\text{K}$ ，使其成为电子封装和热管理应用的理想材料。例如，在 5G 基站中，Mo60Cu40 钼铜片因其优异的导热性和与陶瓷基板的热膨胀匹配性，被广泛用作散热基板，确保设备在高频运行下的稳定性。其次，电动汽车（EV）市场的快速增长推动了钼铜片需求。

电动汽车的电池管理系统和功率半导体需要高效热管理材料，钼铜片因其高导热性和可靠性成为首选。此外，可再生能源领域的扩张，如风能和太阳能设备，增加了对钼铜片的需求。例如，钼铜片用于太阳能薄膜电池的导电层，支持清洁能源设备的高效运行。最后，航空航天和国防领域对高性能合金的需求持续增长，钼铜片的轻量化特性和高温稳定性使其在喷气发动机和导弹部件中得到应用。例如，Mo85Cu15 钼铜片因其低热膨胀系数和优异力学性能，适用于航空航天热管理组件。

全球钼铜片市场按应用领域分为电子、航空航天、光电和新能源等。在电子领域，钼铜片因其高导热性和低热膨胀系数，广泛用于功率半导体、射频放大器和 5G 基站的散热基板。例如，Mo60Cu40 因其电导率约为 $30\text{--}40\%$ IACS（国际退火铜标准），适用于高频通信设备。航空航天领域是另一重要市场，钼铜片用于制造喷气发动机热管理组件和导弹部件，Mo85Cu15 因其高温稳定性（可耐 $600\text{--}800^{\circ}\text{C}$ ）和轻量化特性而备受青睐。光电领域中，钼铜片用于激光器和 LED 芯片载体，Mo70Cu30 与砷化镓等材料的热膨胀匹配性优异，确保器件长期稳定性。新能源领域需求快速增长，钼铜片在电动汽车电池管理系统和太阳能薄膜电池中发挥关键作用。例如，钼铜片作为导电层支持铜铟镓硒（CIGS）太阳能电池的生产。这些应用领域的多样化需求推动了钼铜片市场的持续扩张。

钼铜片市场按牌号分为不同比例的钼铜合金，如 Mo85Cu15、Mo70Cu30、Mo60Cu40 和 Mo50Cu50 等。Mo85Cu15 以高钼含量为主，热膨胀系数低（约 $5\text{--}7\times 10^{-6}/\text{K}$ ），适合航空航天和光电应用，要求与陶瓷或半导体材料高度匹配。Mo70Cu30 平衡了导热性和力学性能，广泛用于 5G 基站和电动汽车散热基板。Mo60Cu40 和 Mo50Cu50 因铜含量较高，导热系数可达 $220\text{--}270$

W/m·K，适用于高频电子设备和新能源领域。不同牌号的性能差异使钼铜片能够满足多样化的应用需求，增强了市场竞争力。

钼铜片市场的销售渠道主要分为直接制造和分销。直接制造由生产商直接向终端用户供货，常见于大型电子和航空航天企业。分销渠道通过中间商将产品分发至中小型企业，覆盖更广泛的市场。分销商注重成本竞争力和供应链可靠性，确保及时交付。例如，北美和欧洲的分销商为汽车和新能源行业提供定制化钼铜片，满足多样化需求。直接制造和分销渠道的结合优化了市场覆盖率，推动了钼铜片的应用普及。

全球钼铜片市场的竞争格局以中国、美国和智利为主导，供应商通过技术创新和战略合作巩固市场地位。例如，中国钼业通过投资海外矿产和下游加工，增强了供应链控制力。美国企业通过铜钼伴生矿开采，生产高纯度钼铜片，服务于航空航天和电子市场。此外，供应商通过研发新型钼铜复合材料（如添加石墨烯的 Mo70Cu30）提升导热性和界面强度，增强市场竞争力。

8.2 钼铜片主要生产厂商——中钨智造

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）的子公司，成立于 1997 年的中钨在线以中国首个顶级钨制品网站 www.chinatungsten.com 为起点，是国内首家专注于钨、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技术积累和全球商业信誉，中钨智造成为全球钼铜片市场的主要生产厂商之一，致力于在工业互联网时代推动钼铜材料的智能化、集成化和柔性化设计与制造。其生产多种牌号的钼铜片，如 Mo85Cu15、Mo80Cu20、Mo60Cu40 和 Mo50Cu50，广泛应用于电子散热基板、航空航天热管理组件、5G 通信设备和光电器件。

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 技术和工业互联网平台与客户协同设计，生产符合特定化学成分和物理性能（如密度约 9.1–10.0 g/cm³、导热系数 150–270 W/m·K、电导率 20–45% IACS、热膨胀系数 5–12×10⁻⁶/K）的钼铜片，提供从开模、试制到精加工、包装、物流的全流程集成服务。例如，其生产的 Mo60Cu40 钼铜片因高导热性和良好延展性，广泛用于 5G 基站射频模块的热沉；Mo85Cu15 则因低热膨胀和高强度，应用于航空航天喷气发动机热管理部件。中钨智造通过粉末冶金法和熔渗法生产钼铜片，粉末冶金法确保高致密度和力学性能（如 Mo85Cu15 抗拉强度达 500–600 MPa），熔渗法优化高铜含量牌号的导热性和电导率。

过去 30 年，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，覆盖欧美、亚洲及毛里求斯、塞浦路斯等地区，奠定了客制化、柔性化和智能化的制造基础。中钨智造以此为依托，进一步深化工业互联网时代的智能制造，开发智能化生产管理系统，通过自动化烧结和加工工艺提高产品一致性，满足电子、通信和新能源行业的高精度需求。企业积极响应全球 ESG（环境、社会和治理）标准，采用可持续采矿和加工技术，例如通过回收钼铜废料降低资源消耗，符合中国“十四五”规划对绿色制造的要求。其供应链网络覆盖北美、欧洲和亚洲，通过战略合作和电子商务平台（如 www.ctia.com.cn）实现

高效全球交付。中钨智造的竞争力还体现在成本控制和规模化生产，特别是在中国丰富的钨资源和政府支持下，持续扩大产能，满足基础设施、5G 和电动汽车市场的增长需求。

8.3 钨铜片市场需求与发展趋势

钨铜片市场需求受全球工业化和技术进步的推动，特别是在电子、通信、航空航天和新能源领域。电子行业是主要需求来源，钨铜片因其高导热性和低热膨胀系数被广泛用于功率半导体器件、微波器件和热沉，2023 年全球电子行业对钨铜片的需求占市场总量的显著份额。5G 通信的快速发展推动了对高频型钨铜片的需求，用于射频功率放大器和天线基板，以确保信号完整性和热稳定性。电动汽车行业的快速增长也显著拉动需求，钨铜片用于电池管理系统和功率模块的散热部件，2023 年全球电动汽车销量增长推动了相关材料需求。可再生能源领域，如风能和太阳能，预计到 2050 年将消耗大量钨铜合金，用于太阳能电池的吸收层和风力发电机的耐腐蚀部件，Antaika China 预测风电行业将消耗约 30 万吨钨。航空航天领域对高强度、低热膨胀的钨铜片需求稳定，Mo85Cu15 等牌号用于喷气发动机和卫星热管理组件。发展趋势方面，3D 打印和增材制造技术的兴起为钨铜片开辟了新应用，如精密航空航天部件和医疗设备。此外，智能化生产和绿色制造技术推动了钨铜片生产工艺的优化，例如通过自动化控制烧结过程提高产品一致性。亚太地区将继续主导需求增长，中国“十四五”规划支持的高端制造业和基础设施建设预计将进一步提升钨铜片消费量。

8.4 钨铜片市场面临的挑战与机遇

挑战

钨铜片生产依赖钨和铜两种关键原材料，其价格受全球经济、供需平衡和地缘政治因素的影响，波动性显著。钨通常作为铜矿和钨矿的副产品开采，铜价波动直接影响钨供应。这种价格波动增加了钨铜片制造商的成本压力，特别是在需要稳定供应链的电子和航空航天行业，可能导致利润率压缩或市场竞争力下降。全球对环境保护的关注促使各国加强对采矿和加工的监管，尤其在中国和北美。2023 年，北美地区因铜钨矿石品位下降和严格的环保法规（如美国和加拿大的排放标准）导致钨产量下降，限制了钨铜片的生产能力。在中国，政府对矿山审批的严格监管（如《环境保护法》修订）提高了运营成本，例如要求采用低排放设备和废水处理技术。这些法规虽然提升了环境治理水平，但增加了钨铜片生产商的合规成本，可能导致中小型企业市场退出。

钨铜片在高导热性和低热膨胀系数方面的优势使其在电子和航空航天领域独树一帜，但其他材料如钒、钨和铬在某些应用中具有竞争潜力。例如，钨因其更高的熔点（约 3,422° C）在高温环境中可部分替代钨铜片，特别是在航空航天部件中。钒在高强度钢合金中的应用可能削弱钨铜片在钢增强领域的间接需求，而铬在耐腐蚀涂层中的使用可能替代钨铜片在某些化学工业应用中的需求。这些替代材料在特定场景下的成本优势或性能优化可能导致钨铜片市场份额的局部流失。例如，钨铜片在 5G 基站散热基板中的应用可能受到钨基复合材料的挑战，特别是在成本敏感的市场中。此外，陶瓷材料（如氮化铝）在电子封装中的应用逐渐增加，可能对 Mo70Cu30 等牌号的需求构成威胁。在部分地区，特别是在中东和非洲等新兴市场，对钨铜片优势的认知不足限制了市场渗透。许多潜在用户（如中小型电子制造商）对钨

铜片的导热性（150-270W/m·K）和可调热膨胀系数（ $5-12 \times 10^{-6}/K$ ）缺乏了解，导致其优先选择传统材料如纯铜或铝。此外，供应链不稳定性是另一重大挑战。地缘政治紧张局势和物流问题（可能中断钼和铜的供应，影响钼铜片生产。运输延误和港口瓶颈或进一步加剧了供应链风险，可能导致钼铜片交付延迟，影响航空航天和电子行业的生产计划。

机遇

全球新能源和电子行业的快速发展为钼铜片市场提供了广阔前景。钼铜片因其高导热性和低热膨胀系数，广泛应用于电动汽车（EV）、5G 通信设备和可再生能源设备。例如，在电动汽车领域，Mo60Cu40 钼铜片用于电池管理系统的散热基板，确保电池在高功率运行下的稳定性。在 5G 通信领域，钼铜片（如 Mo70Cu30）因其电导率（约 30-40% IACS）和与陶瓷基板的热膨胀匹配性，广泛用于基站射频放大器和功率半导体，确保高频信号传输的稳定性。

可再生能源设备的需求也在推动市场增长，例如钼铜片作为铜铟镓硒（CIGS）薄膜太阳能电池的导电层，支持太阳能发电效率的提升。这些新兴应用领域的快速增长为钼铜片市场提供了稳定的需求来源。技术创新为钼铜片市场开辟了新的增长点。先进的提取技术（如湿法冶金）提高了钼的回收率，降低了生产成本。增材制造（3D 打印）技术的进步为钼铜片生产复杂形状部件提供了可能，特别是在航空航天和医疗领域。例如，电子束熔化（EBM）3D 打印技术生产的钼铜复合材料具有高密度和抗裂性，适用于航空航天高温部件，如 Mo85Cu15 制造的涡轮叶片。

此外，纳米复合技术的应用（如在 Mo70Cu30 中添加石墨烯）提升了导热性和界面强度，扩展了钼铜片在精密制造中的应用。例如，医疗领域的 X 射线靶材和热沉部件对高性能钼铜片的需求日益增加。这些技术创新不仅提高了钼铜片的性能，还降低了生产过程中的材料浪费，增强了市场竞争力。

中国的“十四五”规划强调制造业升级和新能源发展，增加了对钼铜片的需求，例如在智能电网和高铁项目中，Mo60Cu40 用于制造高效导电部件。此外，印度和日本等亚太国家的快速城市化和电子产业扩张进一步扩大了市场。这些区域性需求为供应商提供了多元化的市场机会，尤其是在高附加值应用中。回收利用钼铜废料的绿色制造趋势也为市场提供了新机遇。钼铜片在可再生能源设备中的应用符合全球减碳目标，例如在风力涡轮机和太阳能电池中，钼铜片的耐腐蚀性和导热性延长了设备寿命。



中钨智造钼铜片图片

版权与法律责任声明

第 9 章 钼铜片的未来发展

9.1 钼铜片新型制备技术的潜力

钼铜片的制备技术在传统粉末冶金法和熔渗法的基础上，正向智能化、绿色化和高效率方向发展，随着材料科学和制造技术的进步，新型制备技术展现出巨大潜力。增材制造（3D 打印）技术是重要方向，通过激光粉末床熔融或电子束熔融技术，可直接打印复杂形状的钼铜片部件，如航空航天热管理组件或微波器件热沉。

3D 打印技术允许精确控制钼铜比例和微观结构，优化导热性（150–270 W/m·K）和电导率，并减少材料浪费，例如通过逐层熔融 Mo60Cu40 粉末，制造具有复杂内部通道的散热器，满足 5G 设备的高热负荷需求。

纳米复合技术是另一潜力领域，通过在钼铜界面引入纳米级增强相（如石墨烯或碳纳米管），可提升界面结合强度和热传导效率，例如在 Mo70Cu30 中添加石墨烯可将导热系数提高至 260 W/m·K，同时保持低热膨胀系数（ $8-10 \times 10^{-6}/K$ ）。此外，智能化生产技术，如 AI 辅助工艺优化和自动化烧结控制，通过实时监控温度和压力参数，提高钼铜片的致密度和性能一致性，适合大规模生产 Mo50Cu50 等高铜含量牌号。绿色制造技术也备受关注，例如采用可回收钼铜废料作为原料，通过低温烧结或等离子烧结技术降低能耗，符合全球 ESG（环境、社会和治理）标准。

中钨智造等企业已开始探索这些技术，通过工业互联网平台实现从设计到生产的全流程智能化，如使用 AI 协同设计 Mo85Cu15 钼铜片，满足航空航天高温部件的定制化需求。这些新型技术有望降低生产成本、缩短周期并提升产品性能，为钼铜片在高性能应用中开辟新可能性。

9.2 钼铜片性能优化的研究方向

钼铜片的性能优化研究聚焦于提升导热性、电导率、力学性能和环境适应性，以满足电子、航空航天和新能源领域的苛刻要求。界面优化是核心方向，通过改进钼铜界面的结合质量，减少热阻和电接触电阻，例如采用化学气相沉积（CVD）在钼颗粒表面沉积过渡层，增强 Mo60Cu40 的导热系数至 250 W/m·K 以上，同时提高抗拉强度至 400 MPa。合金化设计是另一重要方向，添加微量元素（如铌或钛）可增强钼铜片的耐高温性和抗氧化性，例如在 Mo85Cu15 中加入少量铌可使其在 800° C 下保持结构稳定性，适合航空航天喷气发动机部件。微观结构调控也受到关注，通过控制钼和铜相的分布均匀性，优化热膨胀系数（ $5-12 \times 10^{-6}/K$ ）与陶瓷材料的匹配性，例如通过等离子烧结技术调整 Mo80Cu20 的微观结构，减少热应力，延长电子封装器件寿命。表面改性技术，如磁控溅射法沉积铜钼薄膜涂层，可提升电接触性能和抗腐蚀性，适用于高频型钼铜片在 5G 射频模块中的应用。

计算材料科学的应用为性能优化提供了新路径，通过模拟钼铜合金的热学和力学性能，预测最佳成分比例，例如使用分子动力学模拟优化 Mo50Cu50 的铜相分布，提高电导率至 45% IACS。此外，绿色性能优化也是重点，研究低能耗制备工艺和可回收材料，减少环境影响，例如通

过回收钼铜废料生产 Mo70Cu30，降低生产成本并提升可持续性。这些研究方向通过技术创新和跨学科结合，推动钼铜片在高性能领域的应用。

9.3 钼铜片跨行业应用的扩展

钼铜片的跨行业应用扩展正在加速，受益于其高导热性、低热膨胀和优异力学性能，逐渐从传统电子和航空航天领域扩展到新能源、医疗和国防等领域。在新能源领域，钼铜片因其高导热性和耐腐蚀性，广泛用于电动汽车电池管理系统和可再生能源设备，如 Mo60Cu40 用于电动汽车功率模块散热基板，有效管理高热负荷；Mo70Cu30 用于太阳能电池吸收层和风力发电机耐腐蚀部件，预计到 2050 年风电行业将消耗大量钼铜合金。

在医疗领域，钼铜片的生物相容性和高强度使其在医疗设备制造中崭露头角，例如 Mo85Cu15 用于 X 射线设备散热部件，确保设备在高辐射环境下的稳定性；3D 打印钼铜片可制造精密植入式医疗器械的热管理部件。

国防领域对钼铜片的需求也在增长，Mo80Cu20 因其低热膨胀和高强度，适用于导弹和雷达系统的热沉，满足高温和高振动环境要求。高性能计算和人工智能领域为钼铜片开辟了新市场，Mo50Cu50 的高导热性和电导率使其成为数据中心服务器芯片散热基板的理想选择，支持高密度 3D 封装技术。

此外，钼铜片在光电领域的新应用不断扩展，如 Mo70Cu30 用于高功率激光器和 LED 芯片载体，优化热管理和电接触性能。跨行业扩展还得益于新型制备技术，如 3D 打印和纳米复合技术，使钼铜片可定制复杂结构，满足医疗和国防领域的精密需求。未来，随着全球对高效能源和智能制造的关注，钼铜片在核能热交换器、燃料电池和智能终端中的应用潜力将进一步释放，推动其市场规模增长。



中钨智造钼铜片图片

中钨智造科技有限公司
钼铜片产品介绍

一、钼铜片概述

钼铜片是一种由钼和铜组成的复合材料，其凭借着独特的热电性能、机械性能和可调性，广泛应用于热管理、高性能电子器件、半导体和航空航天等领域，常用作封装材料、集成电路基板、热沉材料、LED 散热基板等。中钨智造可根据用户的需求，定制具有特定尺寸及成分的钼铜产品。

二、钼铜片特性

- 良好的导电性：可满足电路连接等导电场景的需求。
- 高导热性：可快速传导热量，适用于需要高效散热的电子器件等领域。
- 低膨胀系数：与硅等半导体材料匹配度高，能在温度变化时减少因热胀冷缩产生的应力，避免器件变形或损坏。
- 加工性能良好：可通过切割等工艺进行加工，制成不同尺寸和形状的零件，满足多样化的应用需求。

三、典型钼铜合金性能

材料成分	密度(g/cm3)	导热系数 W/moK 25°C	热膨胀系数 (10-6/°C)
Mo85Cu15	10.00	160-180	6.8
Mo80Cu20	9.90	170-190	7.7
Mo70Cu30	9.80	180-200	9.1
Mo60Cu40	9.66	210-250	10.3
Mo50Cu50	9.54	230-270	11.5

四、钼铜片生产方式

钼铜片的制备主要通过熔渗法，利用钼的高熔点和铜的良好流动性，通过高温熔渗的方式将铜渗入钼坯体中，形成致密的钼铜复合材料。

五、采购信息

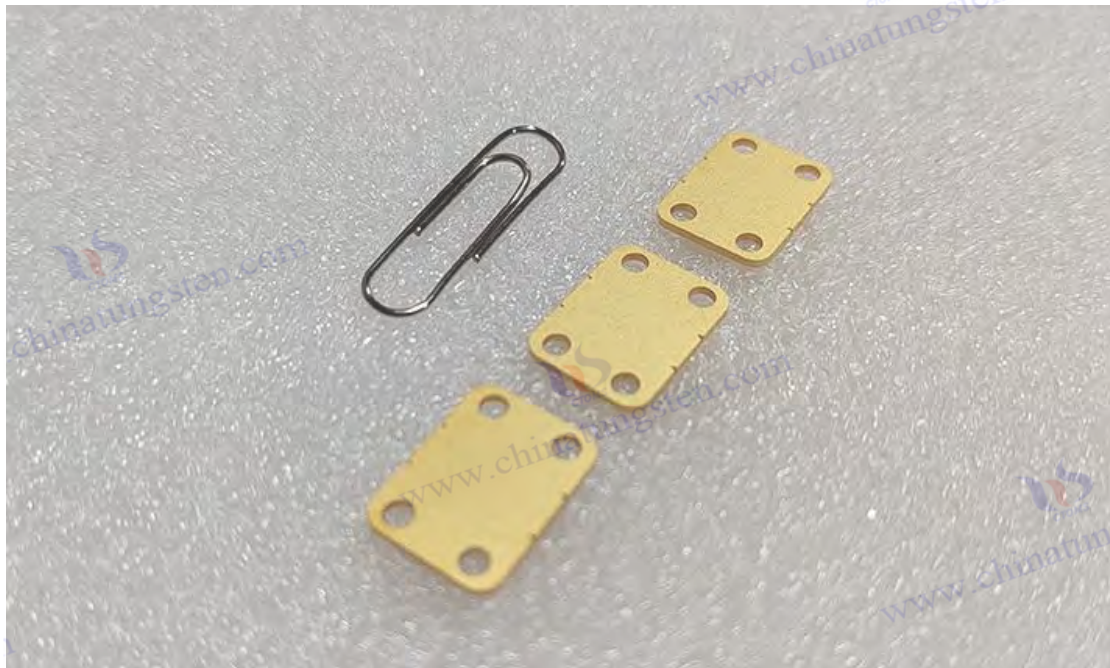
- 邮箱：sales@chinatungsten.com
- 电话：+86 592 5129595; 592 5129696
- 更多钼铜片资讯，请访问中钨在线网站（molybdenum-copper.com）。
- 更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



第 10 章 钼铜片的国内外标准

10.1 钼铜片的中国国家标准

中国国家标准为钼铜片的生产、测试和应用提供了规范指导，确保产品质量和行业一致性。目前，钼铜片相关的主要标准为行业标准 YS/T 1546-2022《钼铜合金板》，由工业和信息化部归口管理，发布于 2022 年 9 月 30 日，实施于 2023 年 4 月 1 日，备案号为 88796-2023。该标准适用于变形退火态和熔渗态的钼铜合金板，覆盖了 Mo85Cu15、Mo80Cu20、Mo70Cu30 等常见牌号，规定了化学成分、物理性能（如密度、导热系数）和加工要求，适用于电子封装、航空航天和通信领域的散热基板和导电部件。例如，标准要求 Mo70Cu30 的密度约为 9.6 g/cm^3 ，导热系数约为 $200\text{--}250 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，热膨胀系数约为 $8\text{--}10 \times 10^{-6}/\text{K}$ ，以确保与陶瓷材料匹配。此外，YS/T 660-2022《钼及钼合金加工产品牌号和化学成分》也为钼铜片的化学成分提供了参考，明确了钼和铜的含量范围及杂质控制要求。其他相关标准包括 YS/T 1562.1-2022《钨铜合金化学分析方法 第 1 部分：铜含量的测定 碘量法和电感耦合等离子体原子发射光谱法》，为钼铜片的成分检测提供了方法支持。这些标准由中国有色金属工业协会和全国有色金属标准化技术委员会（TC243）监督，确保与国家“十四五”规划中的高端制造业要求一致。中钨智造等企业严格遵循这些标准，生产符合电子和航空航天需求的钼铜片。



中钨智造钼铜片图片

10.2 钼铜片的国际标准

国际标准为钼铜片在全球市场的生产和贸易提供了统一规范，但目前国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）尚未发布专门针对钼铜片的独立标准，相关要求通常融入钼合金或复合材料标准中。ISO 1554:1976 和 ISO 1553:1976（加工及铸造铜合金和纯铜的化学分析方法）为钼铜片的铜含量测定提供了参考，采用电解法分析铜含量，确保化学成分的准确

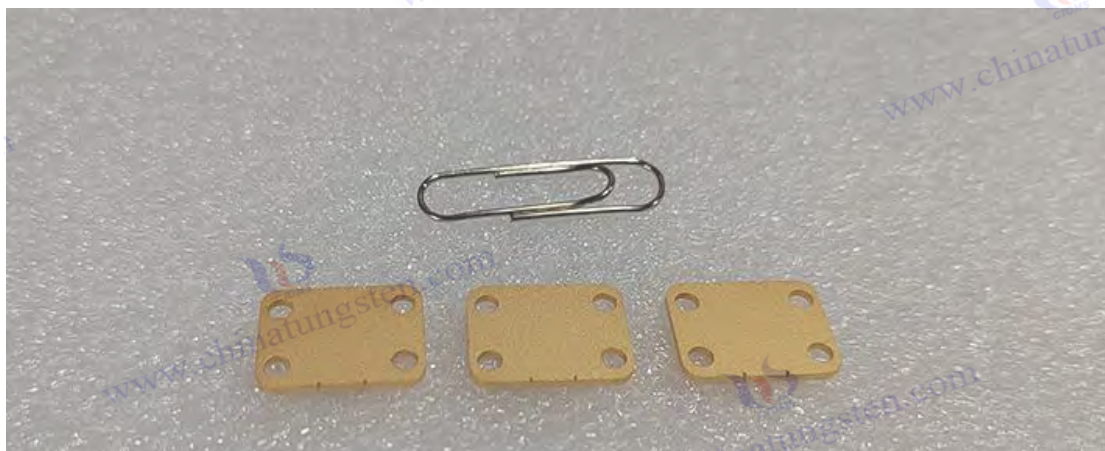
版权与免责声明

性。这些标准被中国标准 YS/T 1562.1-2022 部分采纳，用于检测 Mo60Cu40 等牌号的铜含量。此外，ISO 9001 质量管理体系标准广泛应用于钼铜片生产企业的质量控制，确保产品性能一致性，例如中钨智造通过 ISO 9001 认证，优化 Mo50Cu50 的生产流程以满足 5G 通信设备需求。国际标准还涉及环境 and 安全要求，如 ISO 14001 环境管理体系，要求生产过程中减少废料和能耗，符合全球 ESG 标准。虽然缺乏专门的钼铜片国际标准，钼铜片生产商通常参考 ISO/TC 119（粉末冶金）和 ISO/TC 26（铜及铜合金）相关标准，结合客户合同要求，定制导热系数（150-270 W/m·K）和热膨胀系数（ $5-12 \times 10^{-6}/K$ ）等性能参数。未来，随着钼铜片在新能源和电子领域的应用扩展，ISO 可能制定更具体的标准以规范全球市场。

10.3 欧美日韩等世界各国的钼铜片标准

欧美日韩等国家的钼铜片标准通常基于各自的材料标准体系或行业规范，由于钼铜片为特定应用材料，专用标准较少，相关要求融入铜合金、钼合金或复合材料标准中。在美国，美国材料与试验协会（ASTM）标准如 ASTM B777（高密度钨合金标准）为钼铜片的性能测试提供了间接参考，尽管未直接针对钼铜片，但其测试方法（如密度、抗拉强度）适用于 Mo85Cu15 等牌号的质量控制。美国企业常结合客户定制要求，生产符合航空航天需求的钼铜片，如 Mo80Cu20 用于卫星热管理组件，导热系数约为 170-200 W/m·K。在欧洲，欧洲标准化委员会（CEN）通过 EN 13599（铜及铜合金板带材）间接规范钼铜片的加工要求，强调化学成分和力学性能（如抗拉强度 400-600 MPa）。德国标准化学会（DIN）也提供类似指导，部分企业参考 DIN EN ISO 6892-1 进行钼铜片的拉伸测试，确保 Mo70Cu30 的强度和延展性满足电子封装需求。

在日本，日本工业标准（JIS）如 JIS H 3100（铜及铜合金板带材）为钼铜片生产提供参考，强调导电性和热传导性，日本企业生产的 Mo60Cu40 钼铜片广泛用于高频通信设备，电导率约为 30-40% IACS。韩国技术标准署（KATS）参照国际标准和客户合同，生产符合新能源需求的钼铜片，如 Mo50Cu50 用于电动汽车功率模块。这些国家通常结合 ISO 标准和行业惯例，定制钼铜片的性能参数，并通过 ISO 9001 和 ISO 14001 认证确保质量和环保合规。欧美日韩企业还与中钨智造等中国厂商合作，采用中国标准 YS/T 1546-2022 作为参考，确保产品在全球市场的一致性。



中钨智造钼铜片图片

附录：钼铜片术语表

术语	定义	应用示例
钼铜片	由钼（Mo）和铜（Cu）按特定比例组成的复合材料板材，通过粉末冶金法或熔渗法制备，具有高导热性、低热膨胀系数和高强度。	Mo70Cu30 钼铜片用于 5G 基站散热基板，导热系数约为 200-250 W/m·K。
钼	高熔点过渡金属（熔点约 2623° C），具有优异的耐高温性和抗腐蚀性，热膨胀系数低，提供结构支撑。	航空航天高温部件中用作钼铜片的结构骨架。
铜	高导电性和导热性金属（导热系数约 401 W/m·K，电导率约 100% IACS），形成导热和导电网络，改善延展性。	Mo60Cu40 中铜相提升电导率，适用于通信设备热沉。
牌号	表示钼铜片中钼和铜的质量或体积百分比的命名方式，如 Mo85Cu15（钼 85%、铜 15%）。	Mo85Cu15 用于航空航天，Mo50Cu50 用于高频电子设备。
导热系数	衡量钼铜片传导热量的能力，单位为 W/m·K，随铜含量增加而提高。	Mo50Cu50 导热系数达 220-270 W/m·K，用于功率半导体散热基板。
热膨胀系数	表示钼铜片在温度变化时的膨胀率，单位 10 ⁻⁶ /K，随钼含量增加而降低。	Mo85Cu15 的 CTE 约为 5-7×10 ⁻⁶ /K，与陶瓷材料匹配，减少热应力。
电导率	衡量钼铜片传导电流的能力，以 IACS 百分比表示，随铜含量增加而提高。	Mo60Cu40 电导率约 30-40% IACS，适合高频通信设备。
力学性能	钼铜片在三轴加载或热循环下的抗裂纹扩展能力，反映耐疲劳性能。	Mo70Cu30 因高铜含量韧性较好，适合航空航天高振动环境。
抗腐蚀性	钼铜片抵抗腐蚀性介质（如湿气、盐雾）侵蚀的能力，主要由钼相主导。	Mo85Cu15 在海洋环境中表现优异，适合航空航天热管理组件。
抗氧化性能	钼铜片在高温含氧环境中抵抗氧化反应的能力。	Mo80Cu20 在 600° C 下保持结构稳定，适用于高温电子器件。
耐酸碱性能	钼铜片在酸性或碱性环境中的化学稳定性。	Mo85Cu15 在非氧化性酸（如盐酸）中表现优异，适合化学工业部件。
粉末冶金法	通过混合钼粉和铜粉、压制成型和高温烧结（1000-1400° C）制备钼铜片的工艺。	Mo85Cu15 通过粉末冶金法生产，抗拉强度达 500-600 MPa。

熔渗法	通过将熔融铜渗入多孔钼骨架形成钼铜片的工艺，适合高铜含量牌号。	Mo50Cu50 通过熔渗法优化导热性，适用于 5G 通信设备热沉。
热压烧结法	粉末冶金法的变种，通过高温高压烧结提高钼铜片致密度和力学性能。	Mo80Cu20 的维氏硬度达 160–200 HV，适合航空航天高温部件。
高频型钼铜片	专为高频电子设备设计的钼铜片，具有高电导率和导热性。	Mo60Cu40 用于射频功率放大器，电导率约为 30–40% IACS。
航空航天型钼铜片	为航空航天领域设计的钼铜片，具有低热膨胀和高强度。	Mo85Cu15 用于喷气发动机热管理组件，可在 600–800° C 下稳定运行。
光电器件型钼铜片	为光电设备设计的钼铜片，具有高导热性和匹配的热膨胀系数。	Mo70Cu30 用于高功率激光器散热基板，与砷化镓匹配。
材料安全数据表	为钼铜片提供安全信息的文件，描述化学成分、潜在危害和操作指南。	中钨智造的 MSDS 建议加工时佩戴防尘口罩防止粉尘吸入。
智能化制造	利用 AI 技术和工业互联网优化钼铜片生产，提高一致性和效率。	中钨智造通过自动化烧结控制生产 Mo50Cu50，满足 5G 设备需求。
增材制造	通过 3D 打印技术制备钼铜片，可生产复杂形状部件，减少材料浪费。	Mo60Cu40 通过 3D 打印制成复杂散热器，适用于航空航天领域。
纳米复合技术	在钼铜界面引入纳米增强相（如石墨烯），提升导热性和界面强度。	Mo70Cu30 添加石墨烯后导热系数达 260 W/m • K。
ESG 标准	全球环境、社会和治理规范，要求钼铜片生产减少能耗和废料。	回收钼铜废料生产 Mo70Cu30。
YS/T 1546–2022	中国行业标准《钼铜合金板》，规定化学成分和物理性能。	Mo70Cu30 的密度约为 9.6 g/cm³，适用于电子封装和航空航天。
ISO 9001	国际质量管理体系标准，用于钼铜片生产企业的质量控制。	企业通过 ISO 9001 认证，优化 Mo50Cu50 生产流程。
ISO 14001	国际环境管理体系标准，要求钼铜片生产减少环境影响。	采用低温烧结技术生产钼铜片，降低能耗。

说明：

- 表格形式清晰呈现术语、定义和应用示例，涵盖钼铜片的材料特性、制备工艺、市场现状和标准等内容，结合之前的章节和搜索结果中的信息。

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

中文参考文献

- [1]工业和信息化部. (2022). YS/T 1546-2022: 钼铜合金板. 北京: 全国有色金属标准化技术委员会.
- [2]工业和信息化部. (2022). YS/T 660-2022: 钼及钼合金加工产品牌号和化学成分. 北京: 全国有色金属标准化技术委员会.
- [3]工业和信息化部. (2022). YS/T 1562.1-2022: 钼铜合金化学分析方法 第1部分: 铜含量的测定 碘量法和电感耦合等离子体原子发射光谱法. 北京: 全国有色金属标准化技术委员会.
- [4]中钨智造科技有限公司. (无日期). 关于中钨智造.
- [5]中钨在线科技有限公司. (无日期). 公司简介与历史.

英文参考文献

- [1]International Organization for Standardization. (1976). ISO 1553:1976: Unalloyed copper containing not less than 99,90 % of copper - Determination of copper content - Electrolytic method. Geneva, Switzerland: ISO.
- [2]International Organization for Standardization. (1976). ISO 1554:1976: Wrought and cast copper alloys - Determination of copper content - Electrolytic method. Geneva, Switzerland: ISO.
- [3]International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015: Quality management systems - Requirements. Geneva, Switzerland: ISO.
- [4]International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001:2015: Environmental management systems - Requirements with guidance for use. Geneva, Switzerland: ISO.
- [5]Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). Materials science and engineering: An introduction (10th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- ASM International. (1990). ASM handbook, Volume 2: Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials. Materials Park, OH: ASM International.



中钨智造钼铜片图片