

钨钨电极百科全书

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

中钨智造® | 硬科技·智未来

全球钨钨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 2025 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2025V
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。



中钨智造科技有限公司
钨钨电极产品介绍

一、钨钨电极概述

钨钨电极（WY20）是一种以高纯钨为基体，掺杂 2% 氧化钨（Y₂O₃）的非放射性钨电极，专为高要求的氩弧焊（TIG）与等离子焊接设计。该电极具备卓越的起弧性能、超强电流承载能力、极低烧损率，是航空航天、军工、核能及高端制造行业的理想选择。

二、钨钨电极主要性能

- **优异的电弧稳定性：**电弧集中、跳动小，确保焊缝一致性。
- **高电流承载能力：**在中高电流条件下表现稳定，适应性强。
- **极低烧损率：**在高温下耐蒸发、耐腐蚀，使用寿命更长。
- **无放射性、绿色环保：**替代钍钨的理想选择，符合全球环保规范。
- **焊接深度大：**适合高强度、高厚度金属焊接。
- **优异起弧性能：**低电流下亦可稳定启动，适用于脉冲焊接与高频起弧系统。

三、钨钨电极典型参数规

型号	氧化钨含量 (Y ₂ O ₃)	辨识颜色	长度 (mm)	直径范围 (mm)
WY20	1.8% - 2.2%	蓝色	50 - 175	1.0 - 6.4

四、钨钨电极典型应用场景

- **TIG 焊接：**用于不锈钢、镍合金、钛合金、高温合金等材料的高质量焊接。
- **等离子弧焊与点焊：**广泛应用于航天航空及军工制造。
- **微焊接、真空焊接：**适合需要高电弧稳定性的精密场合。
- **支持直流（DC）或交直流混合（AC/DC）电流条件。**

五、为什么选择钨钨电极？

从高频自动化焊接设备到极端复杂的高温焊接场景，WY20 钨钨电极始终以稳定、安全、长效的性能表现，为制造行业提供高标准焊接解决方案。

六、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨电极资讯，请访问中钨在线网站（www.tungsten.com.cn）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



版权与免责声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2025 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL：0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2025V
sales@chinatungsten.com

目录

第一章 钨钨电极导论

- 1.1 钨钨电极的定义与背景
 - 1.1.1 钨钨电极的化学组成与基本原理
 - 1.1.2 钨钨电极的研发历史与技术演进
 - 1.1.3 钨钨电极在高性能焊接中的兴起
- 1.2 钨钨电极的市场定位
 - 1.2.1 与其他稀土钨电极的对比分析
 - 1.2.2 钨钨电极的全球市场现状与前景
 - 1.2.3 钨钨电极的独特优势

第二章 钨钨电极的分类

- 2.1 按氧化钨含量分类
 - 2.1.1 2%氧化钨电极（WY20）性能与用途
 - 2.1.2 定制化氧化钨含量电极的开发
- 2.2 按焊接工艺分类
 - 2.2.1 TIG 焊接专用钨钨电极
 - 2.2.2 等离子弧焊接与切割用电极
 - 2.2.3 特殊工艺（真空焊接、微焊接）用电极
- 2.3 按形态与规格分类
 - 2.3.1 标准棒状电极（直径与长度规范）
 - 2.3.2 微型针状电极（用于超精密焊接）
 - 2.3.3 非标定制电极（异形设计与应用）
- 2.4 按应用环境分类
 - 2.4.1 高温环境焊接电极
 - 2.4.2 真空与惰性气体环境电极
 - 2.4.3 腐蚀性环境专用电极
- 2.5 标准与标识规范
 - 2.5.1 国际标准（ISO 6848、AWS A5.12）中的分类与色标
 - 2.5.2 国内标准（GB/T 4192）中的分类与标识
 - 2.5.3 钨钨电极的包装与标识要求

第三章 钨钨电极的性能特性

- 3.1 钨钨电极的物理性能
 - 3.1.1 钨钨电极的高熔点与高温稳定性
 - 3.1.2 钨钨电极的密度、硬度与抗变形能力
 - 3.1.3 钨钨电极的热导率与热膨胀特性
- 3.2 钨钨电极的化学性能
 - 3.2.1 氧化钨在高温下的化学稳定性
 - 3.2.2 钨钨电极的抗氧化与抗腐蚀性能
 - 3.2.3 钨钨电极在特殊环境下的化学行为

版权与免责声明

- 3.3 钨钨电极的电学性能
 - 3.3.1 钨钨电极的电子逸出功与起弧性能
 - 3.3.2 钨钨电极在高电流密度下的电弧稳定性
 - 3.3.3 钨钨电极的电导率与热电子发射能力
- 3.4 钨钨电极的机械性能
 - 3.4.1 钨钨电极的抗高温蠕变性能
 - 3.4.2 钨钨电极的电极尖端耐磨性
 - 3.4.3 钨钨电极的低烧损率特性与寿命分析
- 3.5 钨钨电极的安全与环保特性
 - 3.5.1 钨钨电极的无放射性与低毒性优势
 - 3.5.2 钨钨电极的环境影响与可持续性评估
 - 3.5.3 钨钨电极的职业健康与安全规范
- 3.6 中钨智造钨钨电极 MSDS

第四章 钨钨电极的制备工艺与技术

- 4.1 钨钨电极的原料准备
 - 4.1.1 高纯钨粉的筛选与制备
 - 4.1.2 氧化钨的提纯与质量控制
 - 4.1.3 辅助添加剂的选择与优化
- 4.2 钨钨电极的粉末冶金工艺
 - 4.2.1 钨钨粉末的混合与掺杂技术
 - 4.2.2 高压成型与等静压工艺
 - 4.2.3 高温烧结与气氛控制（氢气、真空烧结）
- 4.3 钨钨电极的加工与精整
 - 4.3.1 热压延与精密拉拔
 - 4.3.2 表面抛光与尖端成型
 - 4.3.3 电极切割与定制化加工
- 4.4 钨钨电极的质量控制技术
 - 4.4.1 氧化钨分布均匀性控制
 - 4.4.2 微观结构分析（SEM、EDS、XRD）
 - 4.4.3 工艺参数优化与缺陷预防
- 4.5 钨钨电极的先进制造技术
 - 4.5.1 纳米级氧化钨掺杂技术
 - 4.5.2 放电等离子烧结（SPS）工艺
 - 4.5.3 智能制造与实时监控技术

第五章 钨钨电极的应用领域

- 5.1 钨钨电极的焊接应用
 - 5.1.1 TIG 焊接（氩弧焊）在高温合金中的应用
 - 5.1.2 等离子弧焊接的高精度应用
 - 5.1.3 真空环境下的钛合金与镍基合金焊接
- 5.2 钨钨电极的非焊接应用

- 5.2.1 等离子切割与喷涂
- 5.2.2 电火花加工（EDM）中的电极应用
- 5.2.3 高温放电装置中的应用
- 5.3 钨钨电极在行业的应用
 - 5.3.1 航空航天（发动机部件、涡轮叶片）
 - 5.3.2 国防军工（装甲材料、导弹部件）
 - 5.3.3 能源工业（核电设备、燃气轮机）
 - 5.3.4 半导体与微电子制造
- 5.4 钨钨电极的典型案例分析
 - 5.4.1 钛合金航空结构件焊接
 - 5.4.2 高温合金修复与表面强化
 - 5.4.3 真空环境下精密元件的焊接

第六章 钨钨电极的生产设备

- 6.1 钨钨电极的原料制备设备
 - 6.1.1 钨粉研磨与粒度分选设备
 - 6.1.2 氧化钨提纯与纳米化设备
- 6.2 钨钨电极的粉末冶金设备
 - 6.2.1 高精度混料与掺杂系统
 - 6.2.2 冷等静压与热压设备
 - 6.2.3 高温真空烧结炉与气氛炉
- 6.3 钨钨电极的加工与成型设备
 - 6.3.1 精密压延与拉拔机
 - 6.3.2 数控磨削与抛光设备
 - 6.3.3 激光切割与电极整形设备
- 6.4 钨钨电极的检测与质量监控设备
 - 6.4.1 化学成分分析设备（ICP-MS、XRF）
 - 6.4.2 微观结构与形貌分析设备（SEM、TEM）
 - 6.4.3 性能测试设备（电弧稳定性、烧损率测试仪）
- 6.5 钨钨电极的智能化生产设备
 - 6.5.1 自动化生产线与工业机器人
 - 6.5.2 在线质量监控与数据分析系统

第七章 钨钨电极的国内外标准

- 7.1 钨钨电极的国际标准
 - 7.1.1 ISO 6848: 钨电极分类与技术要求
 - 7.1.2 AWS A5.12: 钨电极规格与性能
 - 7.1.3 EN 26848: 欧洲钨电极标准
- 7.2 钨钨电极的国内标准
 - 7.2.1 GB/T 4192: 钨电极技术条件
 - 7.2.2 JB/T 12706: 焊接用钨电极标准
 - 7.2.3 行业专用标准与规范

- 7.3 钨钨电极的标准对比与应用
 - 7.3.1 国内外标准的差异与适用性
 - 7.3.2 标准对生产工艺的指导作用
 - 7.3.3 标准对应用场景的规范作用
- 7.4 钨钨电极的标准发展趋势
 - 7.4.1 新材料与新工艺对标准的影响
 - 7.4.2 环保与安全标准的更新

第八章 钨钨电极的检测技术

- 8.1 钨钨电极的化学成分检测
 - 8.1.1 氧化钨含量精准测量
 - 8.1.2 杂质元素与痕量分析
 - 8.1.3 成分分布均匀性检测
- 8.2 钨钨电极的物理性能检测
 - 8.2.1 密度、硬度与机械性能测试
 - 8.2.2 表面质量与尺寸精度检测
 - 8.2.3 高温物理性能测试
- 8.3 钨钨电极的电学性能检测
 - 8.3.1 电子逸出功与热电子发射测试
 - 8.3.2 起弧性能与电弧稳定性测试
 - 8.3.3 高电流条件下的烧损率测试
- 8.4 钨钨电极的微观结构检测
 - 8.4.1 晶粒结构与尺寸分析
 - 8.4.2 氧化钨颗粒分布与相分析
 - 8.4.3 内部缺陷（裂纹、气孔）检测
- 8.5 钨钨电极的环境与安全检测
 - 8.5.1 无放射性认证
 - 8.5.2 环境影响与回收性评估
 - 8.5.3 职业健康与安全检测
- 8.6 钨钨电极的检测技术与设备
 - 8.6.1 常用检测仪器与原理
 - 8.6.2 先进检测技术（AI 辅助、原位分析等）

第九章 钨钨电极用户常见问题与解决方案

- 9.1 钨钨电极电弧不稳的可能原因
 - 9.1.1 电极尖端几何形状不当
 - 9.1.2 电流类型与参数设置问题
 - 9.1.3 保护气体质量或流量不足
 - 9.1.4 电极表面污染或氧化
- 9.2 钨钨电极尖端烧损过快的原因与对策
 - 9.2.1 电流过高或极性选择错误
 - 9.2.2 优化尖端磨削角度与表面处理

- 9.2.3 调整保护气体种类与流量
- 9.2.4 更换更高氧化钨含量的电极
- 9.3 如何选择合适的氧化钨含量
 - 9.3.1 根据焊接材料（钛合金、镍基合金等）选择
 - 9.3.2 电流类型与强度的匹配
 - 9.3.3 特殊环境（真空、高温）下的选择
 - 9.3.4 性能与成本的平衡分析
- 9.4 钨钨电极起弧困难的应对措施
 - 9.4.1 检查电极表面清洁度与尖端状态
 - 9.4.2 优化高频起弧参数
 - 9.4.3 调整电极与工件的距离
 - 9.4.4 更换电极或检查电源稳定性
- 9.5 钨钨与其他钨电极混用问题
 - 9.5.1 混用对电弧性能的影响
 - 9.5.2 混用导致的电极损耗问题
 - 9.5.3 电极标识与管理的建议
 - 9.5.4 钨钨电极的替代性分析

第十章 钨钨电极的未来发展趋势

- 10.1 钨钨电极的技术创新方向
 - 10.1.1 新型稀土复合掺杂技术
 - 10.1.2 超高温与超精密电极的研发
 - 10.1.3 绿色制造与低碳生产技术
- 10.2 钨钨电极的应用领域拓展
 - 10.2.1 新能源设备制造（电池、风电）
 - 10.2.2 航空航天与国防领域的深化应用
 - 10.2.3 微电子与半导体行业的精密焊接
- 10.3 钨钨电极的市场与政策趋势
 - 10.3.1 全球钨钨电极市场需求预测
 - 10.3.2 稀土资源政策对生产的影响
 - 10.3.3 国际贸易与供应链优化

附录

- A. 术语表
- B. 参考文献

第一章 钨钨电极导论

1.1 钨钨电极的定义与背景

1.1.1 钨钨电极的化学组成与基本原理

钨钨电极 (Yttrium Tungsten Electrode) 是一种高性能的稀土钨电极，主要通过在高纯钨基体中掺杂适量的氧化钨 (Y_2O_3) 制成，常见行业牌号为 WY20，特征性标识为蓝色涂头。这种电极结合了钨金属和氧化钨的物理化学特性，成为钨极氩弧焊 (TIG 焊) 中的重要耗材。钨钨电极的化学组成主要包括高纯度钨 (W, 约 98%~99.5%) 和少量氧化钨 (Y_2O_3 , 通常质量分数为 1.8%~2.2%), 有时可能含有微量其他杂质, 但这些杂质被严格控制以确保性能稳定性。钨作为一种过渡金属, 具有极高的熔点 ($3422^{\circ}C$)、优异的导电导热性以及化学惰性, 使其成为电极材料的理想选择。然而, 纯钨电极在高温焊接中存在电子发射效率低、易断裂等问题。氧化钨的掺杂显著改善了这些不足。氧化钨是一种低电子逸出功材料, 其电子逸出功约为 $2.5\sim 2.7\text{ eV}$, 远低于纯钨的 4.5 eV 。这使得钨钨电极在较低电压下即可启动电弧, 展现出优异的起弧性能。此外, 氧化钨的加入提高了电极的再结晶温度 (通常可提升至 $2000^{\circ}C$ 以上), 从而增强了抗高温变形能力, 降低了烧损率。

从基本原理上看, 钨钨电极在 TIG 焊接中作为非消耗性电极, 主要用于产生稳定的电弧, 加热并熔化工件及填充材料。其工作原理基于热电子发射: 当电极受到高频或直流电源激励时, 钨基体中的氧化钨颗粒激活电子发射, 形成高温电弧 (温度可达 $6000\sim 7000^{\circ}C$)。电弧的稳定性得益于钨钨电极的弧柱细长且压缩程度高, 这使得其在中等至大电流条件下具有较大的熔深, 特别适合高精度焊接。

钨钨电极的物理化学特性还包括高弹性模量 (约 410 GPa)、良好的耐腐蚀性和抗氧化性。这些特性确保了电极在苛刻环境 (如高温、高湿或腐蚀性气体) 中的长期稳定性。此外, 钨钨电极的导电性 (电阻率约 $5.6\times 10^{-8}\ \Omega\cdot m$) 和导热性 (约 $174\text{ W/m}\cdot K$) 优于其他稀土钨电极, 使其在高功率焊接中表现卓越。

1.1.2 钨钨电极的研发历史与技术演进

钨钨电极的研发起源于 20 世纪中后期对高性能焊接材料的需求。钨电极最早以纯钨形式应用于 TIG 焊接, 但其局限性逐渐暴露, 尤其是在航空航天和军事工业对焊接质量要求日益提高的背景下。20 世纪 60 年代, 钍钨电极 (掺杂氧化钍, ThO_2) 因其优异的电子发射性能成为主流, 但钍的放射性引发了安全和环保问题, 促使研究者寻找替代材料。

1970 年代, 稀土氧化物 (如氧化镧、氧化铈、氧化钨) 被引入钨电极的掺杂研究。氧化钨因其低电子逸出功和高化学稳定性受到关注。早期钨钨电极的研发主要集中在优化掺杂比例和生产工艺。1980 年代, 美国 and 欧洲的一些研究机构开始实验性地将氧化钨掺入钨基体, 发现其能够显著提升电极的起弧性能和耐久性。1985 年, 首批商业化的钨钨电极 (WY20) 进入市场, 主要用于航空航天领域的精密焊接。

进入 21 世纪, 随着材料科学和制造技术的进步, 钨钨电极的生产工艺得到显著优化。传统的粉末冶金法得到改进, 喷雾掺杂技术和高温烧结工艺的应用使氧化钨在钨基体中的分布更加均匀。例如, 现代生产工艺通常包括以下步骤: 将硝酸钨水溶液喷雾掺杂至 仲钨酸铵 或 三

氧化钨原料中，烘干后形成钨钨包覆粉；通过两次还原得到均匀的钨钨粉末；再经压制、高温烧结（约 2800° C）和多道次锻打，制成高密度、细晶粒的钨钨电极坯条。这些工艺的改进降低了电极内部缺陷，提高了机械性能和电弧稳定性。

近年来，中国在钨钨电极研发领域取得了显著进展。例如，国内企业开发了一种多元复合钨钨电极（WX4），并获得国家发明专利。该电极在掺杂工艺和性能优化方面实现了突破，被广泛应用于高性能焊接场景。此外，全球范围内，钨钨电极的研发重点逐渐转向环保性和成本效益，旨在开发无放射性、低成本的替代材料。

1.1.3 钨钨电极在高性能焊接中的兴起

钨钨电极在高性能焊接中的兴起与航空航天、军事工业以及高端制造业的发展密切相关。这些领域对焊接接头的强度、精度和可靠性要求极高，而钨钨电极凭借其优异的电弧特性和低烧损率成为首选材料。

在航空航天领域，钨钨电极广泛用于钛合金、不锈钢和高温合金的焊接。例如，飞机发动机叶片的制造需要极高的焊接精度，钨钨电极的细长弧柱和深熔能力能够确保焊缝的均匀性和强度。在军事工业中，钨钨电极被用于装甲钢板和导弹壳体的焊接，其稳定的电弧和低烧损率能够满足复杂结构的高可靠性要求。此外，在核工业和能源设备制造中，钨钨电极因其耐腐蚀性和高温稳定性被用于焊接关键部件，如反应堆压力容器。

钨钨电极的兴起还得益于 TIG 焊接技术的进步。现代 TIG 焊机能够提供精确的电流控制和高频起弧功能，与钨钨电极的特性高度匹配。此外，自动化焊接和机器人焊接的普及进一步推动了钨钨电极的需求，因为其高稳定性和长寿命能够显著降低生产成本。

1.2 钨钨电极的市场定位

1.2.1 与其他稀土钨钨电极的对比分析

钨钨电极作为稀土钨钨电极的一种，与钨钨电极（WT20）、镧钨电极（WL20）和铈钨电极（WC20）在性能和应用上存在显著差异。以下是对几种电极的对比分析：

钨钨电极（WT20）

化学组成：掺杂 2%氧化钨（ ThO_2 ），红色涂头。

优点：电子发射能力强，起弧性能优异，适合高电流焊接。

缺点：氧化钨具有放射性，长期使用可能对健康和环境造成危害，需专用存储和防护设备。

应用：主要用于直流焊接，适合碳钢和不锈钢，但因环保问题使用受限。

镧钨电极（WL20）

化学组成：掺杂 1.5%~2%氧化镧（ La_2O_3 ），蓝色涂头。

优点：无放射性，起弧性能好，电弧稳定性高，适合交流和直流焊接。

缺点：在高电流下烧损率略高于钨钨电极，耐久性稍逊。

应用：广泛用于铝合金和镁合金的交流焊接，适用于自动化焊接。

铈钨电极（WC20）

化学组成：掺杂 2%氧化铈（ CeO_2 ），灰色涂头。

优点：无放射性，低电流下起弧性能优异，适合薄板焊接。

缺点：高电流下电弧稳定性较差，耐高温性能不如钇钨电极。

应用：适用于低功率精密焊接，如电子元件和薄壁管。

钇钨电极（WY20）

化学组成：掺杂 2%氧化钇（ Y_2O_3 ），蓝色涂头。

优点：无放射性，起弧迅速，电弧稳定，烧损率低，适合中高电流深熔焊接。

缺点：生产成本略高，加工难度较大。

应用：广泛用于航空航天、军事工业，适合碳钢、不锈钢、铜铝等材料。

从性能对比来看，钇钨电极在综合性能上优于其他稀土钨电极，尤其是在高电流、深熔焊接场景中表现突出。其无放射性特性使其成为钍钨电极的理想替代品，而相较于钍钨和铈钨电极，钇钨电极在高温耐久性和电弧稳定性方面更具优势。

1.2.2 钇钨电极的全球市场现状与前景

全球钨电极市场以中国为主导，原因是中国的钨资源储量占全球的 70% 以上，年产量占全球的 80% 以上。中国企业在钇钨电极的研发和生产中占据领先地位。此外，美国、欧洲和日本也在钨电极市场中具有重要影响力，尤其是在高端应用领域。

根据市场研究，全球钨电极市场规模在 2020 年约为 5 亿美元，预计到 2030 年将以年均复合增长率（CAGR）约 4.5% 增长，其中钇钨电极因其高性能和环保特性，市场份额逐年扩大。航空航天、军事工业和新能源设备制造是主要的增长驱动力。例如，全球航空航天市场的快速增长（预计 2030 年市场规模达 1.2 万亿美元）直接推动了对高性能焊接材料的需求。

在区域市场方面，亚太地区（尤其是中国和印度）是钇钨电极的最大消费市场，占全球市场的 50% 以上。北美和欧洲市场则以高端应用为主，注重电极的精度和可靠性。未来，随着环保法规的收紧和钍钨电极的逐步淘汰，钇钨电极的市场需求预计将进一步增长。此外，新兴技术如增材制造（3D 打印）和激光-TIG 复合焊接的兴起，也为钇钨电极开辟了新的应用场景。

然而，钇钨电极市场也面临挑战。生产成本较高和原材料价格波动是主要制约因素。此外，部分发展中国家仍倾向于使用成本较低的钍钨电极，这在短期内可能抑制钇钨电极的普及。长期来看，随着环保意识的增强和生产工艺的优化，钇钨电极有望在全球范围内占据更大市场份额。

1.2.3 钇钨电极的独特优势

钇钨电极的独特优势体现在以下几个方面：

优异的电弧性能：钇钨电极的弧柱细长且压缩程度高，适合中高电流深熔焊接。起弧电压低（约 10~15 V），电弧点燃迅速，稳定性高，适用于高精度焊接。

版权与法律声明

低烧损率：氧化钇的掺杂提高了再结晶温度，使电极在高温下不易变形或烧损，使用寿命比纯钨电极延长约 30%~50%。

环保无放射性：相较于钍钨电极，钇钨电极不含放射性物质，符合现代环保和安全标准，减少了操作人员的健康风险。

广泛的材料适应性：钇钨电极适用于碳钢、不锈钢、铜、铝、钛合金等多种金属的焊接，工艺适应性强，适合从薄板到厚板的多种焊接场景。

高可靠性：在航空航天和军事工业中，钇钨电极能够确保焊缝的高强度和一致性，满足苛刻的质量要求。

这些优势使钇钨电极在高端焊接领域具有不可替代的地位，尤其是在对焊接质量和环保要求较高的场景中。



第二章 钨钍电极的分类

钨钍电极作为一种高性能非消耗性电极，因其优异的电弧稳定性、低烧损率和无放射性特性，在钨极氩弧焊(TIG)、等离子弧焊接及其他高精度应用中得到广泛使用。为了满足不同工艺、材料和环境的需求，钨钍电极根据氧化钍含量、焊接工艺、形态规格、应用环境及标准规范进行分类。本章详细探讨这些分类方法，分析各类电极的性能、用途及发展趋势。

2.1 按氧化钍含量分类

氧化钍 (Y_2O_3) 的含量是钨钍电极性能的关键影响因素，直接决定了电极的电子逸出功、电弧稳定性及耐高温性能。根据氧化钍含量的不同，钨钍电极可分为标准含量（如 WY20）和定制化含量电极。

2.1.1 2%氧化钍电极（WY20）性能与用途

性能特点：WY20 电极是目前最常见的钨钍电极类型，氧化钍含量为 1.8%~2.2%（质量分数），符合国际标准 ISO 6848 和国内标准 GB/T 4192。

主要性能包括：

电子逸出功：2.5~2.7 eV，低于纯钨电极（4.5 eV），使起弧电压低（10~15 V），起弧时间 <0.1 秒。

电弧稳定性：电弧漂移率 <5%，适合直流正极性（DCEN）和交流（AC）焊接，电流范围 50~300 A。

烧损率：在 200 A 直流条件下，烧损率 <0.2 mg/min，低于钨钍电极（0.3~0.5 mg/min）。

机械性能：维氏硬度（HV）400~450，抗拉强度 >1000 MPa，适合高温焊接环境（电弧温度 6000~7000°C）。

环保性：无放射性，优于钨钍电极（含 ThO_2 ，释放 α 射线），符合国际劳工组织（ILO）安全标准。

制造工艺：WY20 电极通过粉末冶金工艺制备，钨粉纯度 $\geq 99.95\%$ ，氧化钍颗粒尺寸 12 μm 。掺杂过程采用喷雾掺杂或高能球磨，确保氧化钍均匀分布（偏差 $\leq \pm 0.1\%$ ）。烧结在真空或氢气气氛炉中进行，温度 2000~2400°C，致密度达 98% 以上。

主要用途：

航空航天：焊接钛合金（如 Ti-6Al-4V）和镍基合金（如 Inconel 718），用于涡轮叶片、发动机燃烧室和机身结构。WY20 的低烧损率和稳定电弧确保焊缝强度 >900 MPa，满足航空标准。

能源工业：焊接核电设备的不锈钢压力容器和燃气轮机的镍基合金部件，电流 150~250 A，焊缝无气孔或裂纹。

汽车制造：焊接不锈钢和铝合金车身，电流 50~150 A，适合薄板（<2 mm）焊接，热影响区小（<0.5 mm）。

船舶工业：焊接高强度钢板，电流 200~300 A，深熔能力强，焊缝韧性好。

优势与局限：WY20 电极在中等电流和通用焊接场景中表现优异，性价比高，但对于超高电

流 (>400 A) 或微焊接 (焊点<0.5 mm) 可能需调整氧化钨含量或尖端设计。

2.1.2 定制化氧化钨含量电极的开发

背景与需求: 随着焊接工艺的多样化 (如超高电流等离子弧焊接、微焊接), 标准 WY20 电极可能无法满足特定需求。定制化氧化钨含量电极 (如 WY10、WY30) 通过调整 Y_2O_3 比例 (0.5%~3.5%) 优化性能, 满足特殊应用场景。

开发方向:

低氧化钨电极 (WY10, Y_2O_3 0.8%~1.2%):

性能: 电子逸出功 2.7~2.9 eV, 适合低电流 (<50 A) 焊接, 成本低约 10%~15%。电弧稳定性稍逊于 WY20 (漂移率<7%), 但起弧性能良好。

用途: 微焊接 (如芯片封装、医疗器械), 薄板不锈钢 (<1 mm) 焊接。

制造: 采用低掺杂喷雾工艺, 减少氧化钨用量, 烧结温度 1800~2200° C。

高氧化钨电极 (WY30, Y_2O_3 2.5%~3.5%):

性能: 电子逸出功 2.4~2.6 eV, 烧损率<0.1 mg/min, 再结晶温度>2100° C。适合超高电流 (>400 A) 和高温环境。

用途: 等离子弧焊接、喷涂, 及核工业、航空航天中的深熔焊接。

制造: 采用纳米级氧化钨 (粒径 10~50 nm) 和放电等离子烧结 (SPS), 晶粒尺寸<5 μm , 致密度>99%。

复合掺杂电极: 结合氧化钨与氧化镧 (La_2O_3) 或氧化铈 (CeO_2), 如 Y-La-W (Y_2O_3 1.5%+ La_2O_3 0.5%)。此类电极综合了低逸出功和高耐热性, 电弧漂移率<3%, 寿命延长 20%~30%。

挑战与前景:

挑战: 高氧化钨含量增加生产成本 (约 15%~20%), 纳米掺杂技术需更精密设备 (如高能球磨机、SPS 炉)。

前景: 定制化电极可满足高端市场 (如半导体、核工业) 需求, 预计 2030 年前市场份额增至 15%~20%。

2.2 按焊接工艺分类

钨钨电极根据焊接工艺的不同分为 TIG 焊接专用、等离子弧焊接与切割专用及特殊工艺电极, 每类电极针对特定工艺优化设计。

2.2.1 TIG 焊接专用钨钨电极

特点: TIG 焊接 (氩弧焊) 是钨钨电极的主要应用领域, 电弧温度 6000~7000° C, 电流 50~300 A。WY20 电极因其低逸出功和电弧稳定性成为首选, 尖端角度 30°~45°, 直径 1.6~3.2 mm。

性能要求:

起弧电压<15 V, 起弧时间<0.1 秒。

电弧漂移率<5%, 适合 DCEN 和交流焊接。

烧损率<0.2 mg/min, 寿命 100~150 小时。

用途:

不锈钢焊接: 汽车排气管、压力容器, 电流 50~150 A, 焊缝光滑, 热影响区<0.5 mm。

钛合金焊接: 航空航天结构件, 电流 100~200 A, 需氩气保护 (流量 1015 L/min)。

铝合金焊接: 交流焊接, 电流 50~200 A, 频率 50~150 Hz, 适合车身和船舶部件。

优化设计:

尖端磨削至 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$, 确保电弧集中。

表面电化学抛光 ($Ra < 0.4 \mu m$), 减少电弧漂移。

配合智能焊机, 自动调整脉冲频率 (1~10 Hz), 提高焊缝质量。

2.2.2 等离子弧焊接与切割用电极

特点: 等离子弧焊接 (PAW) 和切割使用高能量密度电弧 (温度 $> 20000^{\circ} C$), 电流 100~500 A, 要求电极具有高电流承载能力和耐高温性。WY20 或 WY30 电极直径 2.4~4.8 mm, 尖端角度 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。

性能要求:

电弧稳定性 (漂移率<3%), 支持深熔焊接 (熔深 10~15 mm)。

烧损率<0.15 mg/min, 寿命 50~100 小时。

高再结晶温度 ($> 2000^{\circ} C$), 抗热冲击。

用途:

等离子弧焊接: 核电设备的不锈钢压力容器, 电流 200~400 A, 焊缝无气孔。

等离子切割: 碳钢、不锈钢板材 (厚度 20~100 mm), 电流 300~1000 A, 切口宽度<2 mm。

等离子喷涂: 航空涡轮叶片的陶瓷涂层 (氧化锆), 电流 400~600 A, 涂层结合强度>70 MPa。

优化设计:

使用 WY30 电极, 增强高温性能。

配备水冷焊枪, 保护电极免受过热。

采用氩气-氮气混合保护气 (比例 3:1), 提高电弧温度和稳定性。

2.2.3 特殊工艺 (真空焊接、微焊接) 用电极

特点: 真空焊接和微焊接要求电极具有低挥发性、高精度和低热输入。WY20 电极 (直径 0.5~1.6 mm) 或定制化微型电极 (直径 0.3~0.8 mm) 是主要选择。

性能要求:

低气体释放率 ($< 10^{-6} Pa \cdot m^3/s$), 适合真空环境 ($10^{-3} \sim 10^{-5} Pa$)。

电弧直径<0.5 mm, 适合微焊接。

烧损率<0.1 mg/min, 尖端半径<0.1 mm。

用途:

真空焊接: 半导体设备管道、航天器钛合金外壳, 电流 10~50 A, 真空度 $10^{-4} Pa$ 。

微焊接: 芯片封装、医疗器械 (如手术刀具), 电流 5~20 A, 焊点直径<0.2 mm。

高精度增材制造：等离子弧修复航空部件，电流 20~50 A，堆积精度 ± 0.05 mm。

优化设计：

开发微型针状电极（尖端半径 < 0.05 mm），通过激光微加工实现。

使用高纯氦气（流量 8~12 L/min），减少电弧扩散。

配合高频起弧装置（频率 10~20 kHz），确保快速点燃。

2.3 按形态与规格分类

钨钨电极的形态和规格根据应用需求分为标准棒状、微型针状和非标定制电极，满足不同焊接精度和工艺要求。

2.3.1 标准棒状电极（直径与长度规范）

特点：标准棒状电极是钨钨电极的主要形态，直径 0.5~6.4 mm，长度 50~175 mm，符合 ISO 6848 和 GB/T 4192 标准。公差为直径 ± 0.05 mm，长度 ± 1 mm，表面粗糙度 $Ra < 0.4$ μ m。

规格与用途：

直径 0.5~1.6 mm：微焊接和薄板焊接，电流 10~100 A，适合芯片封装、医疗器械。

直径 1.6~3.2 mm：通用 TIG 焊接，电流 50~250 A，适用于不锈钢、钛合金和铝合金。

直径 3.2~6.4 mm：高电流焊接和等离子切割，电流 200~500 A，适合厚板和深熔焊接。

长度 50~75 mm：手动焊接，便于操作。

长度 150~175 mm：自动化焊接，兼容长焊枪。

制造工艺：

采用精密拉拔机（公差 ± 0.01 mm）和激光切割机（长度精度 ± 0.1 mm）。

表面电化学抛光，确保光滑无缺陷。

优势：标准棒状电极生产效率高，成本低，通用性强，占市场份额 70%以上。

2.3.2 微型针状电极（用于超精密焊接）

特点：微型针状电极直径 0.3~1.0 mm，尖端半径 < 0.1 mm，专为超精密焊接设计。电极长度 20~50 mm，公差 ± 0.01 mm，表面粗糙度 $Ra < 0.2$ μ m。

性能与用途：

性能：电弧直径 < 0.5 mm，热影响区 < 0.1 mm，适合电流 5~50 A。

用途：

半导体芯片封装：焊接铜和金引线，焊点直径 < 0.2 mm。

医疗器械：焊接微型不锈钢手术刀具，电流 5~20 A。

光电子器件：焊接光纤连接器，精度 ± 0.01 mm。

制造工艺：

使用激光微加工设备加工尖端，角度 $15^\circ \sim 30^\circ$ 。

采用电化学抛光（电压 5~10 V），确保表面光洁。

版权与法律责任声明

配合高精度拉拔机（公差 ± 0.005 mm），生产超细电极。

发展趋势：随着微电子和医疗行业的发展，微型针状电极需求预计增长 20%~30%，推动激光加工和纳米掺杂技术的应用。

2.3.3 非标定制电极（异形设计与应用）

特点：非标定制电极根据特殊工艺需求设计，如弯曲电极、锥形电极或多尖端电极。直径和长度按客户要求定制，公差 ± 0.05 mm。

应用场景：

复杂结构焊接：航空航天部件的异形焊缝，需弯曲电极（曲率半径 5~10 mm）。

多点焊接：电池组装中的多引线焊接，使用多尖端电极（尖端间距 0.5~2 mm）。

增材制造：等离子弧修复，使用锥形电极（尖端角度 60° ~ 90° ），提高堆积精度。

制造工艺：

使用数控车床或 3D 打印技术成型异形电极。

采用激光切割和电火花加工（EDM）实现复杂形状。

表面涂层（如氧化锆）增强耐高温性。

优势与挑战：

优势：满足特殊需求，提高焊接效率。

挑战：生产周期长，成本高（约高 20%~30%）。

2.4 按应用环境分类

钨钨电极根据应用环境的温度、气氛和化学特性分为高温、真空与惰性气体、及腐蚀性环境专用电极。

2.4.1 高温环境焊接电极

特点：高温环境（如等离子弧焊接、喷涂）要求电极具有高再结晶温度（ $>2000^{\circ}\text{C}$ ）和低烧损率（ <0.15 mg/min）。WY30 电极（ Y_2O_3 2.5%~3.5%）是主要选择，直径 2.4~4.8 mm，尖端角度 45° ~ 60° 。

性能与用途：

性能：抗热冲击，电弧温度 $>10000^{\circ}\text{C}$ ，寿命 50~100 小时。

用途：

核工业：焊接锆合金燃料棒，电流 300~500 A。

航空航天：镍基合金涡轮叶片喷涂，电流 400~600 A。

能源设备：燃气轮机燃烧室焊接，温度 $>1200^{\circ}\text{C}$ 。

优化设计：

采用 SPS 烧结，晶粒尺寸 <5 μm 。

表面纳米涂层（如 Y_2O_3 - ZrO_2 ），提高抗氧化性。

中钨智造科技有限公司
钨钨电极产品介绍

一、钨钨电极概述

钨钨电极（WY20）是一种以高纯钨为基体，掺杂 2% 氧化钨（ Y_2O_3 ）的非放射性钨电极，专为高要求的氩弧焊（TIG）与等离子焊接设计。该电极具备卓越的起弧性能、超强电流承载能力、极低烧损率，是航空航天、军工、核能及高端制造行业的理想选择。

二、钨钨电极主要性能

- **优异的电弧稳定性：**电弧集中、跳动小，确保焊缝一致性。
- **高电流承载能力：**在中高电流条件下表现稳定，适应性强。
- **极低烧损率：**在高温下耐蒸发、耐腐蚀，使用寿命更长。
- **无放射性、绿色环保：**替代钍钨的理想选择，符合全球环保规范。
- **焊接深度大：**适合高强度、高厚度金属焊接。
- **优异起弧性能：**低电流下亦可稳定启动，适用于脉冲焊接与高频起弧系统。

三、钨钨电极典型参数规

型号	氧化钨含量 (Y_2O_3)	辨识颜色	长度 (mm)	直径范围 (mm)
WY20	1.8% - 2.2%	蓝色	50 - 175	1.0 - 6.4

四、钨钨电极典型应用场景

- **TIG 焊接：**用于不锈钢、镍合金、钛合金、高温合金等材料的高质量焊接。
- **等离子弧焊与点焊：**广泛应用于航天航空及军工制造。
- **微焊接、真空焊接：**适合需要高电弧稳定性的精密场合。
- **支持直流（DC）或交直流混合（AC/DC）电流条件。**

五、为什么选择钨钨电极？

从高频自动化焊接设备到极端复杂的高温焊接场景，WY20 钨钨电极始终以稳定、安全、长效的性能表现，为制造行业提供高标准焊接解决方案。

六、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨电极资讯，请访问中钨在线网站（www.tungsten.com.cn）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



版权与法律责任声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2025 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL：0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2025V
sales@chinatungsten.com

2.4.2 真空与惰性气体环境电极

特点：真空（ $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Pa）或惰性气体（如氩气、氦气）环境要求电极低挥发性（气体释放率 $<10^{-6}$ Pa·m³/s）。WY20 电极（直径 0.5~2.4 mm）适合此类环境，尖端半径 <0.2 mm。

性能与用途：

性能：低气体释放，电弧稳定性（漂移率 $<3\%$ ）。

用途：

半导体设备：不锈钢管道真空焊接，电流 10~50 A。

航天器：钛合金外壳焊接，真空度 10^{-4} Pa。

真空热处理：高温炉电极，温度 $>1500^{\circ}$ C。

优化设计：

采用高纯钨（ $\geq 99.99\%$ ）和纳米氧化钇（10~50 nm）。

使用高纯氦气（流量 8~12 L/min），减少电弧扩散。

2.4.3 腐蚀性环境专用电极

特点：腐蚀性环境（如海洋工程、化工设备）要求电极抗氧化和抗化学腐蚀。WY20 电极（直径 1.6~3.2 mm）配合氩气保护（流量 10~15 L/min）是主要选择。

性能与用途：

性能：抗氧化层形成（ WO_3 挥发率 <0.05 mg/min），表面粗糙度 $R_a < 0.2 \mu\text{m}$ 。

用途：

海洋工程：焊接不锈钢船舶甲板，耐氯离子腐蚀。

化工设备：Hastelloy 合金管道焊接，耐酸性环境。

能源工业：核电设备管道焊接，耐高温高压。

优化设计：

表面电化学抛光或涂层（如 TiN），增强抗腐蚀性。

配合氩气-氦气混合气体（比例 4:1），提高保护效果。

2.5 标准与标识规范

标准与标识规范确保钨钨电极的质量一致性和可追溯性，涵盖国际标准、国内标准及包装要求。

2.5.1 国际标准（ISO 6848、AWS A5.12）中的分类与色标

ISO 6848:2015:

分类：钨钨电极标记为 WY20， Y_2O_3 含量 1.8%~2.2%，端头涂蓝色。

色标：蓝色端头区分于钍钨（红色）、钨钨（金色）、铈钨（灰色）。

要求：直径 0.5~6.4 mm，公差 ± 0.05 mm；长度 50~175 mm，公差 ± 1 mm；烧损率 <0.2 mg/min。

AWS A5.12:2009:

分类：标记为 EWY-2， Y_2O_3 含量 1.8%~2.2%，蓝色端头。

版权与法律声明

要求：化学成分（钨 $\geq 99.5\%$ ），电弧稳定性（漂移率 $< 5\%$ ），表面粗糙度 $Ra < 0.4 \mu m$ 。
认证：需提供性能测试报告，第三方检测机构认证。

应用：国际标准适用于全球贸易，广泛用于航空航天、核工业和微电子领域，确保电极性能一致性。

2.5.2 国内标准（GB/T 4192）中的分类与标识

GB/T 4192-2017:

分类：WY20 (Y_2O_3 1.8%2.2%)，另有 WY10 (0.8%1.2%) 等非标型号，蓝色端头。

要求：钨纯度 $\geq 99.5\%$ ，杂质 $< 0.05\%$ ，起弧电压 $< 15 V$ ，烧损率 $< 0.2 mg/min$ 。

标识：电极表面或包装上标注型号、尺寸、生产批次和制造商信息。

应用：国内标准结合中国生产实际，灵活支持非标定制，广泛应用于汽车、船舶和能源工业。

2.5.3 钨钨电极的包装与标识要求

包装要求：

防潮防震：使用密封塑料盒或真空包装，防止电极受潮或碰撞。

标识清晰：包装上注明型号（WY20）、尺寸（直径、长度）、批次号、生产日期和制造商信息。

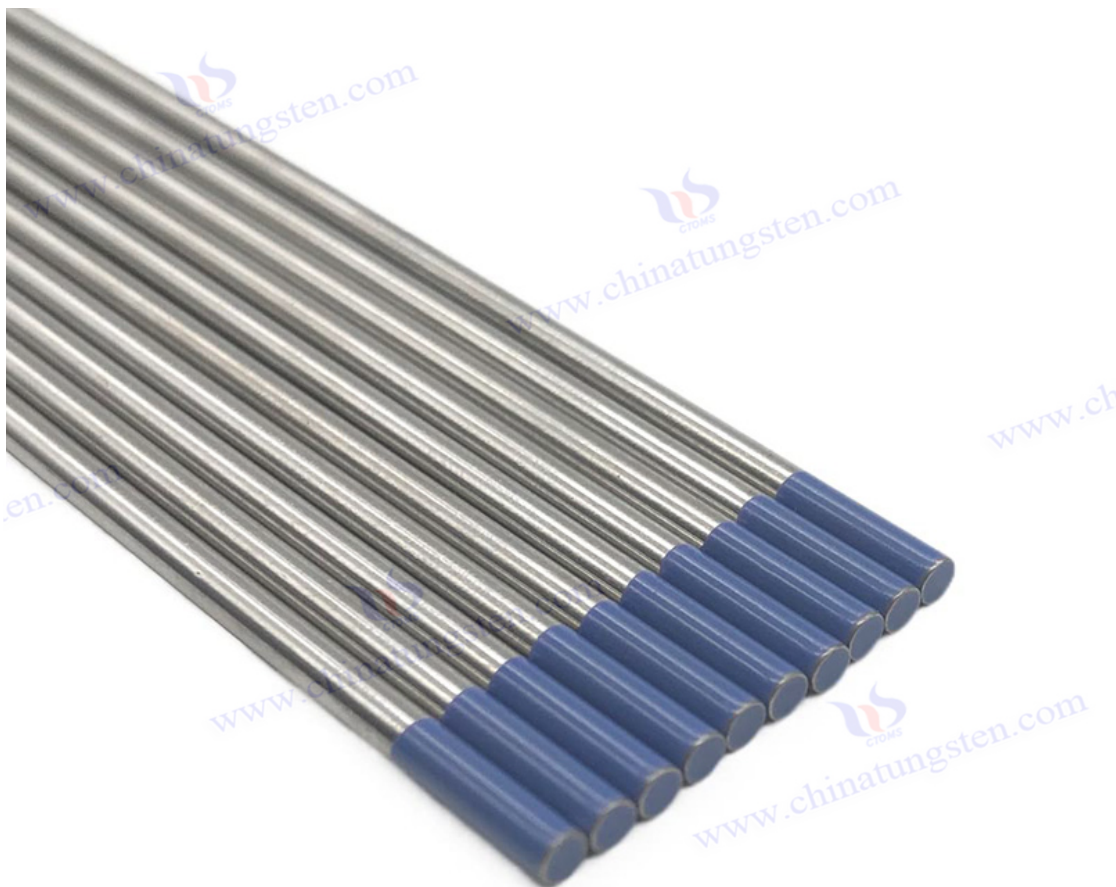
条形码/RFID：现代包装采用条形码或 RFID 标签，便于库存管理和追溯。

储存与运输：

储存环境：湿度 $< 60\%$ ，温度 $5 \sim 30^\circ C$ ，避免氧化或污染。

运输要求：使用防震包装，防止电极弯曲或断裂。

发展趋势：未来可能引入智能包装（如二维码链接性能数据），提高可追溯性和用户体验。



第三章 钨钨电极的性能特性

3.1 钨钨电极的物理性能

3.1.1 钨钨电极的高熔点与高温稳定性

钨钨电极以其卓越的高熔点和高温稳定性在焊接行业中占据重要地位。钨钨电极主要由高纯钨（W，纯度约 98%~99.5%）和氧化钨（ Y_2O_3 ，质量分数约 1.8%~2.2%）组成，钨的熔点高达 3422° C，是自然界中熔点最高的金属之一。这种特性使得钨钨电极能够在极高温度的电弧环境中（电弧温度可达 6000~7000° C）保持结构完整性，不易发生熔化或严重烧损。

氧化钨的掺杂进一步增强了电极的高温稳定性。氧化钨具有较高的热稳定性，其分解温度远高于焊接过程中的实际工作温度（约 2500° C 以上）。通过掺杂氧化钨，钨钨电极的再结晶温度显著提高，通常可达 2000° C 以上，相比纯钨电极的 1700° C 有明显提升。这意味着钨钨电极在长时间高温操作中能够保持晶粒结构的稳定性，减少晶界滑移和微观裂纹的形成。这种高温稳定性对于高电流深熔焊接尤为重要，例如在航空航天领域焊接钛合金或高温合金时，电极能够承受持续的高温电弧冲击而不发生形变或性能退化。

此外，钨钨电极的高温稳定性还体现在其抗热震性能上。在快速升温 and 冷却的循环过程中，电极表面不易产生热裂纹。这种特性得益于钨基体的均匀微观结构以及氧化钨颗粒的弥散分布，后者在高温下起到钉扎晶界的作用，抑制了晶粒长大和热应力集中。

3.1.2 钇钨电极的密度、硬度与抗变形能力

钇钨电极的密度接近纯钨的理论值，约为 $19.1 \sim 19.3 \text{ g/cm}^3$ ，属于高密度材料。这种高密度特性确保了电极在电弧作用下具有较高的机械稳定性，能够抵抗电弧冲击和机械振动引起的形变。氧化钇的掺杂对电极密度的影响较小，但通过优化生产工艺（如高温烧结和多道次锻打），可使电极内部孔隙率降低至 1% 以下，进一步提高密度均匀性。

在硬度方面，钇钨电极的维氏硬度 (HV) 通常在 $400 \sim 450$ 之间，略高于纯钨电极（约 $350 \sim 400$ HV）。氧化钇颗粒的弥散强化作用增强了电极的抗变形能力，使其在高温高压下不易发生塑性变形。这种高硬度和抗变形能力对于需要长时间连续焊接的场景尤为重要，例如在管道焊接或压力容器制造中，电极能够保持尖端形状的稳定，减少因变形导致的电弧偏移。

抗变形能力的提升还与电极的晶粒尺寸密切相关。现代钇钨电极通过精确控制烧结温度和掺杂工艺，晶粒尺寸可控制在 $5 \sim 10 \text{ }\mu\text{m}$ 范围内，相比传统纯钨电极的 $20 \sim 50 \text{ }\mu\text{m}$ 显著减小。细小晶粒结构不仅提高了硬度，还增强了电极的韧性，使其在机械应力下不易发生断裂。

3.1.3 钇钨电极的热导率与热膨胀特性

钇钨电极的热导率约为 $174 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，接近纯钨的热导率（约 $170 \sim 180 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ），优于其他稀土掺杂电极（如钽钨电极，约 $160 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）。高热导率使得电极在高温电弧作用下能够快速散热，降低尖端温度，减少烧损和热裂纹的发生。这对于高功率焊接尤为重要，因为电极尖端需要承受持续的热输入。

热膨胀系数是钇钨电极的另一关键物理性能。钨的热膨胀系数较低，约为 $4.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ （ $20 \sim 1000^\circ \text{C}$ ），而氧化钇的掺杂对热膨胀系数的影响微乎其微。这种低热膨胀特性确保了电极在高温循环中尺寸变化小，避免了因热膨胀引起的应力集中或尖端形变。在实际应用中，低热膨胀系数使得钇钨电极能够适应快速升温 and 冷却的焊接工艺，例如脉冲 TIG 焊接或等离子弧焊接。

3.2 钇钨电极的化学性能

3.2.1 氧化钇在高温下的化学稳定性

氧化钇 (Y_2O_3) 作为钇钨电极的关键掺杂成分，具有极高的化学稳定性。其熔点约为 2410°C ，分解温度远高于焊接过程中的实际温度（约 $2000 \sim 2500^\circ \text{C}$ ）。在高温电弧环境中，氧化钇能够保持化学惰性，不与电弧中的活性气体（如氧气、氮气）或金属蒸气发生显著反应。这种稳定性确保了电极表面在长时间使用中不会形成氧化物或化合物沉积，从而维持电弧的稳定性和纯净度。

氧化钇的化学稳定性还体现在其抗还原性上。在氩气或氢气保护的 TIG 焊接中，电极表面可能暴露于少量还原性气体（如氢气）。氧化钇的高键能（Y-O 键能约 715 kJ/mol ）使其不易被还原，保持了电极的微观结构完整性。这种特性对于高精度焊接尤为重要，因为电极表面的任何化学变化都可能导致电弧漂移或焊缝污染。

3.2.2 钇钨电极的抗氧化与抗腐蚀性能

钇钨电极在高温下的抗氧化性能优于纯钨电极。纯钨在高温（ $>1000^\circ \text{C}$ ）空气中容易氧化，

形成挥发性的 WO_3 ，导致电极快速烧损。而氧化钇的掺杂通过形成稳定的氧化物保护层，显著降低了电极表面的氧化速率。实验表明，在 $1000^{\circ}C$ 的氧化环境中，钇钨电极的氧化增重率仅为纯钨电极的 50%~60%。

在腐蚀性环境中（如含氯化物或酸性气体的工业环境），钇钨电极表现出较好的抗腐蚀性能。钇基体本身具有良好的耐腐蚀性，而氧化钇的化学惰性进一步增强了电极的抗腐蚀能力。例如，在海洋工程焊接中，钇钨电极能够抵抗海水中的氯离子腐蚀，保持长期性能稳定性。

3.2.3 钇钨电极在特殊环境下的化学行为（真空、惰性气体等）

在真空或惰性气体环境中，钇钨电极的化学行为尤为优异。在真空焊接（如真空电子束焊接）中，电极表面几乎不与任何活性气体接触，氧化钇的低挥发性（蒸汽压在 $2000^{\circ}C$ 下 $<10^{-5} Pa$ ）确保了电极不会释放杂质气体，保持真空环境的纯净度。这种特性使其成为半导体制造和航天器密封焊接的理想选择。

在惰性气体环境（如氩气、氮气保护的 TIG 焊接）中，钇钨电极的化学稳定性进一步降低了电极与保护气体的相互作用。氧化钇颗粒在电极表面形成稳定的微观保护层，防止钨基体与微量杂质气体（如氧气或水蒸气）反应。这种特性确保了电弧的纯净性和焊缝质量，尤其在高精度焊接中具有显著优势。

3.3 钇钨电极的电学性能

3.3.1 钇钨电极的电子逸出功与起弧性能

钇钨电极的电子逸出功是其电学性能的核心指标。纯钨的电子逸出功约为 4.5 eV，而氧化钇的掺杂将其降低至 2.5~2.7 eV。这种低逸出功显著提高了电极的热电子发射能力，使得电极在较低电压（10~15 V）下即可点燃电弧，减少了起弧时间和能量消耗。

在实际应用中，钇钨电极的起弧性能表现为快速响应和低起弧失败率。尤其是在脉冲 TIG 焊接或高频起弧工艺中，电极能够在毫秒级时间内形成稳定的电弧柱。这种特性对于精密焊接尤为重要，例如在电子元器件或医疗器械的微焊接中，能够减少热输入，保护工件材料。

3.3.2 钇钨电极在高电流密度下的电弧稳定性

钇钨电极在高电流密度（50~500 A/mm²）下的电弧稳定性是其主要优势之一。氧化钇的掺杂使电弧柱更加细长且压缩，电弧能量集中，熔池控制精准。实验表明，钇钨电极在 200~300 A 的高电流条件下，电弧漂移率低于 5%，相比纯钨电极（约 10%~15%）有显著改进。

电弧稳定性的提高还与电极尖端的微观结构有关。氧化钇颗粒在电极尖端形成均匀的发射点，减少了电弧的局部跳跃或分散。这种特性在深熔焊接中尤为重要，例如在厚板不锈钢或钛合金焊接中，稳定的电弧能够确保焊缝的均匀性和强度。

3.3.3 钇钨电极的电导率与热电子发射能力

钇钨电极的电导率接近纯钨，电阻率约为 $5.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ，略优于钍钨电极（约 $6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ）。高电导率确保了电极在高电流下能够高效传导电流，减少焦耳热损失，保持尖端温度的稳定性。

热电子发射能力是钨钨电极的另一关键电学性能。氧化钨的低逸出功和高温稳定性使其在电弧环境中能够持续发射热电子，维持电弧的连续性。相比钨钨电极(WL20)或钨钨电极(WC20)，钨钨电极在高电流(>200 A)下的热电子发射效率更高，适合大功率深熔焊接。

3.4 钨钨电极的机械性能

3.4.1 钨钨电极的抗高温蠕变性能

钨钨电极在高温下的抗蠕变性能得益于氧化钨的弥散强化作用。在高温电弧环境中(约2000~2500°C)，纯钨电极容易发生蠕变，导致尖端变形或断裂。而氧化钨颗粒通过钉扎晶界和抑制位错运动，显著提高了电极的抗蠕变能力。实验表明，钨钨电极在2000°C下的蠕变速率仅为纯钨电极的30%~40%。

这种抗蠕变性能使得钨钨电极能够在长时间高电流焊接中保持形状稳定性。例如，在航空航天领域的钛合金焊接中，电极需承受数小时的连续操作，钨钨电极的抗蠕变特性确保了其尖端形状的长期稳定性。

3.4.2 钨钨电极的电极尖端耐磨性

电极尖端的耐磨性是影响焊接质量和电极寿命的关键因素。钨钨电极通过精密研磨工艺形成尖锐的尖端(尖端半径0.1~0.5 mm)，并通过氧化钨的强化作用提高耐磨性。在高电流焊接中，电极尖端受到电弧冲击和离子轰击，氧化钨颗粒的硬度(约910 Mohs)有效抵抗了尖端的磨损和侵蚀。

相比纯钨电极，钨钨电极的尖端磨损率降低约20%~30%，尤其在交流(AC)焊接中表现突出。交流焊接中电极尖端需承受正负极性的快速切换，钨钨电极的耐磨性确保了尖端形状的长期稳定性，减少了电弧漂移和焊缝缺陷。

3.4.3 钨钨电极的低烧损率特性与寿命分析

钨钨电极的低烧损率是其最显著的机械性能之一。烧损率通常定义为电极在特定电流和时间下的质量损失率。实验表明，在200 A直流焊接条件下，钨钨电极的烧损率仅为0.1~0.2 mg/min，相比纯钨电极(0.3~0.5 mg/min)显著降低。

低烧损率的实现得益于以下因素：

氧化钨提高电极的再结晶温度，减少高温下的晶粒长大。

高热导率和低热膨胀系数降低了尖端热应力，减少微裂纹。

电极表面光滑度高($Ra < 0.4 \mu m$)，减少电弧冲击引起的材料剥落。

寿命分析显示，钨钨电极在典型TIG焊接条件下的使用寿命可达100~150小时，相比纯钨电极(50~80小时)延长约30%~50%。在高电流或高频脉冲焊接中，寿命优势更加明显。

3.5 钨钨电极的安全与环保特性

3.5.1 钨钨电极的无放射性与低毒性优势

钨钨电极的无放射性是其相较于钍钨电极(WT20)的主要优势。钍钨电极因含有氧化钍(ThO_2)，

具有 α 放射性）而存在健康风险，长期接触可能导致辐射暴露。而钇钨电极中的氧化钇不具放射性，符合国际劳工组织（ILO）和世界卫生组织（WHO）的安全标准。

此外，钇钨电极的低毒性特性使其在生产和使用过程中对操作人员的健康影响极小。氧化钇和钨均为化学惰性物质，不易挥发或产生有害气体。在焊接过程中，钇钨电极不会释放有毒蒸气，降低了操作人员的呼吸道和皮肤暴露风险。

3.5.2 钇钨电极的环境影响与可持续性评估

钇钨电极的环保特性体现在其生产和使用过程中的低环境影响。相比钍钨电极，钇钨电极无需特殊的放射性废物处理设施，减少了环境污染风险。生产过程中，现代工艺（如喷雾掺杂和高温烧结）通过优化能源利用和减少废料排放，提高了可持续性。

从生命周期角度看，钇钨电极的长寿命特性减少了电极更换频率，降低了资源消耗和废料产生。此外，钨和氧化钇均可回收利用，通过高温熔炼和化学提纯可实现 90% 以上的回收率，符合循环经济的要求。

3.5.3 钇钨电极的职业健康与安全规范

钇钨电极的职业健康与安全规范主要包括以下方面：

操作安全：焊接时需佩戴防护眼镜和手套，避免电弧光对眼睛和皮肤的伤害。

通风要求：虽然钇钨电极无毒，但在焊接过程中可能产生少量金属蒸气，需确保工作场所通风良好。

储存与运输：电极应存放在干燥、通风的环境中，避免受潮或机械损伤。运输过程中需使用防震包装，防止电极断裂。

废弃物处理：废旧电极应分类回收，避免随意丢弃。

3.6 中钨智造钇钨电极 MSDS

第一部分：产品名称

中文名称：钇钨电极（WY20）

英文名称：Yttrium Tungsten Electrode

CAS No.：7440-33-7

第二部分：成分/组成信息

化学成分：钨（W，98%~99.5%），氧化钇（ Y_2O_3 ，1.8%~2.2%），微量杂质（<0.1%）。

物理状态：固体棒状，蓝色涂头标识。

第三部分：危险性概述

健康危害：本品对眼和皮肤无刺激性。

燃爆危险：本品不可燃，不具刺激性。

第四部分：急救措施

皮肤接触：脱去污染的衣着，用大量流动清水冲洗。

版权与法律责任声明

眼睛接触：提起眼睑，用流动清水或生理盐水冲洗。就医。
吸入：脱离现场至空气新鲜处。如呼吸困难，给输氧。就医。
食入：饮足量温水，催吐。就医。

第五部分：消防措施

有害燃烧产物：自然分解产物未知。

灭火方法：消防人员须佩戴防毒面具、穿全身消防服，在上风向灭火。灭火剂：干革粉、砂土。

第六部分：泄漏应急处理

应急处理：隔离泄漏污染区，限制出入。切断火源。建议应急处理人员戴防尘面具（全面罩），穿防毒服。避免扬尘，小心扫起，置于袋中转移至安全场所。若大量泄漏，用塑料布、帆布覆盖。收集回收或运至废物处理场所处置。

第七部分：操作处置与储存

操作注意事项：操作人员必须经过专门培训，严格遵守操作规程。建议操作人员佩戴自吸过滤式防尘口罩，戴化学安全防护眼镜，穿防毒物渗透工作服，戴橡胶手套。远离火种、热源，工作场所严禁吸烟。使用防爆型的通风系统和设备。避免产生粉尘。避免与氧化剂、卤素接触。搬运时要轻装轻卸，防止包装及容器损坏。配备相应品种和数量的消防器材及泄露应急处理设备。倒空的容器可能残留有害物。

储存注意事项：储存于阴凉、通风的库房。远离火种、热源。应与氧化剂、卤素分开存放，切忌混储。配备相应品种和数量的消防器材。储区应备有合适的材料收容泄漏物。

第八部分：接触控制/个体防护

中国 MAC (mg/m³): 6

前苏联 MAC (mg/m³): 6

TLVTN: ACGIH 1mg/m³

TLVWN: ACGIH 3mg/m³

监测方法：硫氰化钾-氯化钛分光亮度法

工程控制：生产过程无尘，全面通风。

呼吸系统防护：空气中粉尘浓度超标时，必须佩戴自吸过滤式防尘口罩。紧急事态抢救撤离时，应该佩戴空气呼吸器。

眼睛防护：戴化学安全防护眼镜。

身体防护：穿防毒物渗透工作服。

手防护：戴橡胶手套。

第九部分：理化特性

主要成分：纯品

外观与性状：固体，金属亮白色

熔点 (°C): N/A

沸点 (°C): N/A

版权与免责声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2025 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2025V
sales@chinatungsten.com

相对密度(水=1): 13~18.5 (20℃)

对蒸气密度(空气=1): 无资料

饱和蒸气压(kPa): 无资料

燃烧热(kJ/mol): 无资料

临界温度(℃): 无资料

临界压力(MPa): 无资料

水分配系数的对数值: 无资料

闪点(℃): 无资料

引燃温度(℃): 无资料

爆炸上限%(V/V): 无资料

爆炸下限%(V/V): 无资料

溶解性: 溶于硝酸、氢氟酸

主要用途: 用于制做屏蔽件、钨合金飞镖杆、钨合金球等

第十部分: 稳定性和反应活性

禁配物: 强酸碱。

第十一部分:

急性毒性: 无资料

LC50: 无资料

第十二部分: 生态学资料

这部分暂无数据

第十三部分: 废弃处置

废弃物性质废弃处置方法: 处置前应参阅国家和地方有关法规。若可能, 回收使用。

第十四部分: 运输信息

危险货物编号: 无资料

包装类别: Z01

运输注意事项: 起运时包装要完整, 装载应稳妥。运输过程中要确保容器不泄漏、不倒塌、不坠落、不损坏。严禁与氧化剂、卤素、食用化学品等混装混运。运输途中应防曝晒、雨淋, 防高温。车辆运输完毕应进行彻底清扫。

第十五部分: 法规信息

法规信息: 化学危险物品安全管理条例(1987年2月17日国务院发布), 化学危险物品安全管理条例实施细则(化劳发[1992]677号), 工作场所安全使用化学品规定([1996]劳部发423号)等法规, 针对化学危险品的安全使用、生产、储存、运输、装卸等方面均作了相应规定; 车间空气中钨卫生标准(GB 16229-1996), 规定了车间空气中该物质的最高容许浓度及检测方法。

第十六部分: 供货商信息

版权与法律责任声明

供货商:中钨智造（厦门）科技有限公司

电话:0592-5129696/5129595



第四章 钨钨电极的制备工艺与技术

4.1 钨钨电极的原料准备

4.1.1 高纯钨粉的筛选与制备

钨钨电极的制备始于高纯钨粉的筛选与制备，钨粉的质量直接影响电极的物理、化学和电学性能。钨粉通常从仲钨酸铵（APT）或三氧化钨（ WO_3 ）通过氢气还原工艺制备。生产钨钨电极要求钨粉的纯度达到 99.95% 以上，以确保电极在高温电弧环境中的稳定性。杂质（如铁、镍、碳等）含量需控制在 50 ppm 以下，因为即使微量的杂质也可能导致电极在焊接过程中发生烧损或电弧漂移。

钨粉的粒径分布是筛选的关键参数。理想的钨粉粒径范围为 $1\sim5\ \mu m$ ，过大的颗粒（ $>10\ \mu m$ ）会导致烧结后晶粒粗大，降低电极的机械强度；过小的颗粒（ $<0.5\ \mu m$ ）则可能增加烧结难度，影响电极的致密度。现代制备工艺采用气流分级技术对钨粉进行筛选，通过精确控制气流速度和筛网尺寸，分离出粒径均匀的钨粉。此外，钨粉的形貌也需优化，优先选择近球形颗粒，因为球形颗粒在后续混合和烧结过程中具有更好的流动性，有助于提高电极的均匀性。

钨粉的制备过程通常包括以下步骤：

还原：将 APT 或 WO_3 在氢气气氛下（600~900° C）进行两次还原，生成高纯钨粉。

筛分：通过振动筛或气流分级设备筛选出目标粒径的钨粉。

清洗：使用酸洗（稀盐酸或硝酸）去除表面氧化物和杂质。

干燥：在真空或惰性气体环境中低温干燥（<200° C），防止钨粉氧化。

4.1.2 氧化钇的提纯与质量控制

氧化钇（ Y_2O_3 ）是钇钨电极的关键掺杂成分，其纯度和质量直接影响电极的电子发射性能和高温稳定性。氧化钇通常从钇矿（如独居石或氟碳铈矿）中提取，通过溶剂萃取和离子交换工艺提纯至 99.99% 以上。提纯过程中需严格控制杂质元素（如钙、硅、铁）的含量，目标杂质总量 <100 ppm，以避免对电极性能的负面影响。

氧化钇的粒径控制同样至关重要。理想的氧化钇颗粒尺寸为 0.5~2 μm ，过大的颗粒会导致掺杂不均匀，降低电极的电弧稳定性；过小的颗粒（<0.1 μm ）则可能在烧结过程中团聚，影响电极的微观结构。现代工艺采用喷雾干燥技术制备氧化钇颗粒，通过控制喷雾速率和干燥温度，确保颗粒的均匀性和流动性。

质量控制措施包括：

化学分析：采用电感耦合等离子体发射光谱（ICP-OES）检测氧化钇的纯度和杂质含量。

粒径分析：使用激光粒度分析仪测量颗粒分布，确保符合目标范围。

形貌检查：通过扫描电子显微镜（SEM）观察氧化钇颗粒的形貌，优先选择近球形颗粒。

4.1.3 辅助添加剂的选择与优化

在钇钨电极的制备过程中，辅助添加剂用于改善粉末的流动性、烧结性能或电极的机械性能。常用的添加剂包括：

黏结剂：如聚乙烯醇（PVA）或聚乙二醇（PEG），用于提高粉末的成型性能，添加量通常为 0.1%~0.5%。

分散剂：如聚丙烯酸铵（PAA），用于防止氧化钇颗粒团聚，添加量约为 0.05%~0.2%。

烧结助剂：如少量氧化镧（ La_2O_3 ）或氧化铈（ CeO_2 ），用于降低烧结温度，提高电极致密度，添加量 <0.1%。

添加剂的选择需考虑其在高温烧结过程中的挥发性，避免残留物影响电极的电学性能。例如，PVA 在 600~800° C 下可完全分解，不会在电极中残留有机物。优化添加剂比例的实验通常通过正交设计法进行，综合评估添加剂对电极密度、硬度和电弧性能的影响。

4.2 钇钨电极的粉末冶金工艺

4.2.1 钇钨粉末的混合与掺杂技术

钇钨粉末的混合与掺杂是制备均匀电极的关键步骤。氧化钇需均匀分布于钨基体中，以确保电极的电弧稳定性和机械性能。常用的掺杂技术包括：

湿法掺杂：将氧化钨水溶液（通常为硝酸钨）喷雾至钨粉或三氧化钨原料中，通过搅拌和超声分散确保均匀混合。随后通过喷雾干燥形成钨钨复合粉末，颗粒尺寸控制在 $2\sim5\ \mu\text{m}$ 。

干法掺杂：将氧化钨粉末与钨粉直接混合，使用高能球磨设备进行机械合金化。球磨过程中需控制转速（ $200\sim400\ \text{rpm}$ ）和时间（48 小时），以避免颗粒过细或污染。

等离子喷涂掺杂：采用等离子喷涂技术将氧化钨颗粒喷射至钨粉表面，形成包覆结构。这种方法适用于高含量氧化钨（ $>2.5\%$ ）的电极制备。

掺杂过程中需严格控制氧化钨的分布均匀性。现代工艺通过 X 射线荧光光谱（XRF）或能量色散谱（EDS）分析掺杂粉末的元素分布，确保氧化钨的质量分数偏差 $<\pm 0.1\%$ 。

4.2.2 高压成型与等静压工艺

钨钨粉末混合后需通过高压成型制成电极坯条。常见的高压成型方法包括：

模压成型：将掺杂粉末装入模具，在 $50\sim100\ \text{MPa}$ 压力下压制成坯条。模压成型适用于小批量生产，但坯条内部密度分布可能不均匀。

冷等静压（CIP）：将粉末装入柔性模具，在液体介质中施加 $200\sim300\ \text{MPa}$ 的均匀压力。CIP 工艺能够显著提高坯条的密度（达理论密度的 $60\%\sim70\%$ ），减少内部孔隙，适用于高性能电极生产。

等静压工艺的优点在于压力均匀，避免了坯条中的应力集中。工艺参数（如压力、保温时间）需根据粉末粒径和添加剂比例优化，通常保温时间为 $30\sim60$ 秒，以确保坯条的形状稳定性和强度。

4.2.3 高温烧结与气氛控制（氢气、真空烧结）

高温烧结是钨钨电极制备的核心步骤，旨在提高电极的致密度和机械性能。烧结通常在氢气或真空气氛下进行，工艺参数包括：

氢气烧结：在 $1800\sim2200^\circ\text{C}$ 的氢气气氛中进行，氢气可防止钨粉氧化，同时促进氧化钨颗粒的均匀分布。烧结时间为 24 小时，升温速率控制在 $5\sim10^\circ\text{C}/\text{min}$ ，以避免晶粒过快长大。

真空烧结：在 $10^{-3}\sim10^{-5}\ \text{Pa}$ 的真空环境中进行，烧结温度为 $2000\sim2400^\circ\text{C}$ 。真空烧结能够减少气体杂质的吸附，适合高纯度电极的制备。

烧结过程中需严格控制气氛纯度（氧含量 $<10\ \text{ppm}$ ），以防止电极表面氧化或形成 WO_3 挥发物。烧结后的电极致密度可达理论密度的 98% 以上，晶粒尺寸控制在 $5\sim10\ \mu\text{m}$ ，确保电极的机械强度和电弧稳定性。

4.3 钨钨电极的加工与精整

钨钨电极的加工与精整是将烧结坯条转化为符合标准规格（ISO 6848、GB/T 4192）的电极棒的关键步骤，涉及热压延、精密拉拔、表面抛光、尖端成型及定制化切割等工艺。这些工艺直接影响电极的尺寸精度、表面质量和电弧性能。

4.3.1 热压延与精密拉拔

热压延工艺：热压延是将烧结后的钨钼坯条（直径 10~20 mm，长度 100~300 mm）加工成较小直径（3~5 mm）棒材的核心工艺。热压延在高温环境下进行，以降低钨的硬度和延展性要求，确保坯条变形均匀且无裂纹。

工艺参数：

温度：1400~1600° C，低于钨的再结晶温度（>2000° C），防止晶粒过大。

轧制道次：5~10 道，每道次直径减小 0.51 mm，累计变形量 70%~80%。

轧辊材质：钨钼合金或陶瓷复合材料，耐高温（>1500° C）且抗磨损。

保护气氛：氩气或氮气（流量 10~15 L/min，氧含量<10 ppm），防止钨表面氧化形成 WO₃挥发物。

升温速率：5~10° C/min，避免热应力导致的微裂纹。

设备：

高温热压延机：配备红外测温仪（精度±2° C）和气氛控制系统，确保温度和氧化控制。

多辊轧机：四辊或六辊设计，轧制力 100~200 kN，精度±0.1 mm。

质量要求：

表面粗糙度 Ra<1.0 μm，无明显划痕或氧化层。

直径公差±0.1 mm，圆度偏差<0.05 mm。

挑战与优化：

挑战：高温下钨的脆性可能导致裂纹，需精确控制温度和变形速率。

优化：采用多级渐进式轧制，每道次变形量<15%，并使用在线超声波检测仪（频率 5~10 MHz）监控内部裂纹。

精密拉拔工艺：精密拉拔进一步将热压延棒材加工至目标直径（0.5~4.8 mm），满足高精度焊接需求（如微焊接、航空航天）。拉拔工艺需确保电极表面光滑、尺寸精确且无内部应力。

工艺参数：

拉拔模具：金刚石模具（孔径精度±0.01 mm），耐磨损且表面光滑。

拉拔速度：0.5~2 m/min，过高速度可能导致表面划痕，过低速度降低效率。

润滑剂：石墨乳（粘度 0.1~0.3 Pa·s）或钼基润滑剂（MoS₂），减少摩擦系数（<0.1）。

拉拔道次：10~15 道，每道次直径减小 0.1~0.3 mm，累计变形量>90%。

张力控制：通过伺服电机控制拉拔力（10~50 kN），确保尺寸一致性。

设备：

精密拉拔机：配备张力传感器（精度±0.1 kN）和激光测径仪（精度±0.005 mm）。

润滑系统：自动喷涂润滑剂，流量 0.1~0.5 L/min，防止模具过热。

质量要求：

直径公差±0.05 mm，表面粗糙度 Ra<0.4 μm。

无表面划痕、裂纹或残余应力，内部缺陷率 $<0.5\%$ 。

挑战与优化：

挑战：金刚石模具磨损导致尺寸偏差，需定期更换（每 10 万米拉拔）。

优化：引入在线激光测径仪和 X 射线断层扫描（XCT，分辨率 $<1\ \mu\text{m}$ ），实时监控尺寸和内部缺陷。

发展趋势：

开发高温等离子辅助轧制技术，降低轧制温度（ $1200\sim 1400^\circ\text{C}$ ），减少能耗 20%~30%。

使用纳米涂层模具（如 TiN 或 CrN），延长模具寿命 50%，提高拉拔精度。

4.3.2 表面抛光与尖端成型

表面抛光工艺：表面抛光是提高钨钨电极电弧稳定性和寿命的关键步骤。光滑表面（ $R_a<0.4\ \mu\text{m}$ ）可减少电弧漂移（目标 $<5\%$ ）和尖端烧损（ $<0.2\ \text{mg/min}$ ），并降低表面缺陷引发的电弧不稳定性。

机械抛光：

工艺：使用金刚石砂轮（粒度 2000~3000 目）或氧化铝抛光带，抛光速度 13 m/min。

设备：数控抛光机，配备自动进给系统（精度 $\pm 0.01\ \text{mm}$ ）和冷却液循环装置（流量 5~10 L/min）。

质量要求：表面粗糙度 $R_a<0.4\ \mu\text{m}$ ，无划痕或微裂纹。

优势：适合大批量生产，成本低。

劣势：可能引入微量磨料残留，需后续清洗。

电化学抛光：

工艺：使用硫酸-磷酸混合电解液（比例 1:1，浓度 10%~20%），电压 515 V，电流密度 $0.52\ \text{A/cm}^2$ ，抛光时间 1030 秒。

设备：电化学抛光机，配备恒流电源（精度 $\pm 0.1\ \text{V}$ ）和搅拌系统（转速 100~200 rpm）。

质量要求：表面粗糙度 $R_a<0.2\ \mu\text{m}$ ，无氧化层或腐蚀坑。

优势：表面光洁度高，适合高精度焊接（如半导体）。

劣势：电解液处理成本高，需环保措施。

质量控制：

使用激光表面扫描仪（分辨率 $<0.01\ \mu\text{m}$ ）检测粗糙度。

光学显微镜（放大倍数 100~500 $\times$ ）检查表面缺陷，确保无划痕或氧化痕迹。

尖端成型工艺：尖端成型通过精密研磨形成特定角度（ $15^\circ\sim 60^\circ$ ）和半径（ $0.1\sim 0.5\ \text{mm}$ ）的尖端，以优化电弧集中度和起弧性能。不同焊接工艺对尖端形状有特定要求：

工艺参数：

角度选择：

$15^\circ\sim 30^\circ$ ：适合微焊接（电流 5~50 A），电弧集中，热影响区 $<0.1\ \text{mm}$ 。

30° ~45° : 通用 TIG 焊接 (电流 50~200 A), 平衡电弧稳定性和寿命。

45° ~60° : 等离子弧焊接 (电流>200 A), 适合深熔和高温环境。

尖端半径: 0.1~0.2 mm (微焊接), 0.3~0.5 mm (高电流焊接)。

研磨设备: 数控研磨机, 配备金刚石砂轮 (粒度 3000 目), 转速 1000~5000 rpm。

设备:

数控研磨机: 支持多轴控制 (精度 $\pm 0.01^\circ$), 可编程尖端形状。

冷却系统: 使用水基冷却液 (流量 5~10 L/min), 防止尖端过热。

质量要求:

尖端角度偏差 $<\pm 1^\circ$, 半径偏差 $<\pm 0.02$ mm。

无毛刺或微裂纹, 表面粗糙度 $Ra < 0.2 \mu m$ 。

挑战与优化:

挑战: 尖端研磨一致性难以保证, 手工操作易导致偏差。

优化: 引入视觉识别系统 (分辨率 <0.01 mm), 自动检测尖端形状; 开发专用夹具, 确保研磨角度一致。

发展趋势:

激光抛光技术: 使用脉冲激光 (功率 1~5 kW) 抛光电极表面, 粗糙度 $Ra < 0.1 \mu m$, 无化学废液。

智能研磨系统: 结合 AI 算法优化尖端角度和半径, 适应不同焊接场景, 提高一致性>95%。

4.3.3 电极切割与定制化加工

电极切割工艺: 电极切割将长棒切割成标准长度 (50~175 mm), 满足手动或自动化焊接需求。切割需确保切口平整、无毛刺, 且避免热应力引发的微裂纹。

金刚石切割轮:

工艺: 使用金刚石切割轮 (粒度 500~1000 目), 转速 2000~5000 rpm, 切割速度 0.1~0.5 m/min。

设备: 数控切割机, 配备冷却液喷射系统 (流量 10~20 L/min)。

质量要求: 切口平整度 <0.05 mm, 无微裂纹或热影响区。

优势: 适合大批量生产, 成本低。

劣势: 切割轮磨损需定期更换。

激光切割技术:

工艺: 使用光纤激光器 (功率 13 kW), 切割速度 0.52 m/min, 焦点直径 <0.1 mm。

设备: 激光切割机, 配备惰性气体保护 (氩气, 流量 10~15 L/min)。

质量要求: 切口精度 ± 0.1 mm, 无热应力裂纹。

优势: 高精度, 适合非标长度切割。

劣势: 设备成本高。

质量控制：

使用光学显微镜（放大倍数 50×）检查切口质量。

超声波检测仪（频率 5~20 MHz）检测内部微裂纹（长度<0.1 mm）。

定制化加工：定制化加工满足特殊焊接需求，如异形电极（弯曲、锥形、多尖端）或非标尺寸电极。

应用场景：

弯曲电极：曲率半径 5~10 mm，适用于复杂焊缝（如航空航天部件）。

锥形电极：尖端角度 60°~90°，用于等离子弧增材制造，堆积精度±0.05 mm。

多尖端电极：尖端间距 0.5~2 mm，适合电池组装的多点焊接。

工艺：

数控车床：加工弯曲或锥形电极，精度±0.05 mm。

电火花加工（EDM）：形成复杂形状，电极间隙<0.01 mm。

3D 打印辅助：用于原型设计，快速验证异形电极性能。

质量要求：

尺寸公差±0.05 mm，表面粗糙度 Ra<0.4 μm。

无内部缺陷，机械强度>1000 MPa。

挑战与优化：

挑战：定制化加工周期长（2~5 天），成本高（约高 30%）。

优化：引入模块化设计，开发通用夹具，缩短生产周期 50%。

发展趋势：

开发超短脉冲激光切割（脉宽<10 ps），切口热影响区<0.01 mm。

使用增材制造技术（如激光熔化沉积）直接成型异形电极，减少加工步骤。

4.4 钇钨电极的质量控制技术

质量控制技术确保钇钨电极的化学成分、微观结构和性能符合标准（ISO 6848、GB/T 4192），涵盖氧化钇分布、微观结构分析及工艺优化。

4.4.1 氧化钇分布均匀性控制

重要性：氧化钇（Y₂O₃）的均匀分布直接影响电极的电弧稳定性（漂移率<5%）和烧损率（<0.2 mg/min）。不均匀分布可能导致局部热点，降低寿命。

控制方法：

化学分析：

XRF：X 射线荧光光谱仪，检测电极横截面氧化钇含量，精度±0.05%，分析时间<1 分钟。

ICP-OES：电感耦合等离子体光谱仪，检测限<1 ppb，精度±0.01%，适合高精度实验室分析。

流程：取样 5~10 个点（中心、边缘），确保 Y_2O_3 含量偏差 $< \pm 0.1\%$ 。

微观观察：

SEM-EDS：扫描电子显微镜结合能量色散谱，分辨率 $< 1 \mu m$ ，分析氧化钇颗粒分布（目标无团聚，团聚区 $< 5\%$ ）。

EPMA：电子探针显微分析，检测深度 5~10 μm ，精度 $\pm 0.01\%$ ，适合三维分布分析。

工艺优化：

喷雾掺杂：控制喷雾速率（0.1~0.5 L/min）和溶液浓度（ Y_2O_3 5%~10%），确保均匀掺杂。

高能球磨：转速 1000~2000 rpm，时间 48 小时，氧化锆珠（直径 0.1~0.5 mm），减少颗粒团聚。

烧结参数：温度 2200~2400° C，保温 24 小时，气氛氧含量 $< 10 \text{ ppm}$ 。

质量要求：

Y_2O_3 含量 1.8%~2.2%，偏差 $< \pm 0.1\%$ 。

无明显团聚，颗粒尺寸 1~2 μm ，分布均匀性 $> 95\%$ 。

挑战与优化：

挑战：掺杂不均导致局部性能下降，检测成本高。

优化：引入在线 XRF 检测系统，实时监控掺杂均匀性；开发 AI 算法，预测掺杂缺陷并调整工艺参数。

4.4.2 微观结构分析（SEM、EDS、XRD）

重要性：微观结构（如晶粒尺寸、孔隙率、相组成）决定电极的机械强度和电学性能。分析技术确保无缺陷和有害相（如 WO_3 ）。

分析方法：

SEM：

功能：观察电极横截面晶粒尺寸（目标 5~10 μm ）和孔隙率（ $< 1\%$ ）。

设备：场发射 SEM，分辨率 $< 1 \text{ nm}$ ，放大倍数 1000~5000 $\times$ 。

流程：样品抛光、蚀刻（HF 溶液，浓度 5%），观察晶界和孔隙。

EDS：

功能：分析氧化钇和杂质元素（Fe、Si、C）分布，精度 $\pm 0.05\%$ 。

流程：扫描电极中心和边缘，确认 Y_2O_3 均匀性和杂质含量（ $< 50 \text{ ppm}$ ）。

XRD：

功能：检测相组成，确保无 WO_3 或其他氧化相。

设备：Cu $K\alpha$ 射线，扫描角度 10~90°，分辨率 $\pm 0.01^\circ$ 。

流程：分析钨基体（bcc 结构）和 Y_2O_3 （立方结构）峰值，确认相纯度 $> 99\%$ 。

质量要求：

晶粒尺寸 $5\sim 10\ \mu\text{m}$ ，孔隙率 $<1\%$ 。
杂质含量 $<50\ \text{ppm}$ ，无 WO_3 相。
氧化钨颗粒均匀分布，无团聚区 $>5\%$ 。

挑战与优化：

挑战：SEM/EDS 分析耗时长（每样品 $30\sim 60$ 分钟），不适合批量检测。

优化：引入高通量 SEM（多样品自动分析）和在线 XRD 系统，缩短检测时间 50% 。

4.4.3 工艺参数优化与缺陷预防

工艺优化：

正交实验：设计多因素实验（掺杂比例、烧结温度、拉拔速度），优化性能指标（如烧损率 $<0.2\ \text{mg/min}$ ）。

响应面分析：建立数学模型，预测工艺参数对晶粒尺寸和均匀性的影响，优化率 $>90\%$ 。

关键参数：

掺杂比例： Y_2O_3 $1.8\%\sim 2.2\%$ ，偏差 $<\pm 0.1\%$ 。

等静压压力： $250\sim 300\ \text{MPa}$ ，坯条致密度 $>70\%$ 。

烧结温度： $2200\sim 2400^\circ\text{C}$ ，升温速率 510°C/min 。

拉拔速度： $0.52\ \text{m/min}$ ，张力 $10\sim 50\ \text{kN}$ 。

缺陷预防：

孔隙：提高等静压压力（ $>250\ \text{MPa}$ ）和烧结温度（ $>2200^\circ\text{C}$ ），使用真空烧结炉（ $10^{-3}\sim 10^{-5}\ \text{Pa}$ ）。

裂纹：控制升温/冷却速率（ $<10^\circ\text{C/min}$ ），采用梯度冷却（ $100\sim 200^\circ\text{C/h}$ ）。

掺杂不均：延长高能球磨时间（68 小时），使用多级喷雾掺杂（喷嘴压力 $13\ \text{MPa}$ ）。

检测：

X 射线断层扫描（XCT，分辨率 $<1\ \mu\text{m}$ ）检测孔隙和裂纹。

超声波检测（频率 $5\sim 20\ \text{MHz}$ ）快速筛查内部缺陷。

发展趋势：

开发数字孪生技术，模拟加工过程，预测缺陷率（ $<0.5\%$ ）。

引入机器学习优化工艺参数，降低缺陷率至 $<0.1\%$ 。

4.5 钨钨电极的先进制造技术

先进制造技术通过引入纳米级掺杂、SPS 烧结和智能制造，提高钨钨电极的性能和生产效率。

4.5.1 纳米级氧化钨掺杂技术

技术概述：纳米级氧化钨掺杂（粒径 $10\sim 100\ \text{nm}$ ）通过高能球磨或溶胶-凝胶法制备，显著提高电极性能。

制备工艺：

高能球磨：转速 $1000\sim 2000\ \text{rpm}$ ，氧化锆珠（直径 $0.1\sim 0.5\ \text{mm}$ ），研磨时间 $4\sim 6$ 小时，水或

乙醇介质防止团聚。

溶胶-凝胶法：将硝酸钨溶液（浓度 5%~10%）与钨粉混合，喷雾干燥（温度 200~300° C）形成纳米颗粒。

性能提升：

再结晶温度：>2100° C，抗蠕变性能提高 30%。

电弧稳定性：漂移率<3%，起弧电压<12 V。

烧损率：<0.1 mg/min，寿命延长 20%~30%。

应用前景：

超高电流焊接（>400 A），如核工业反应堆部件。

微焊接（焊点<0.2 mm），如半导体芯片封装。

挑战与优化：

挑战：纳米颗粒易团聚，增加掺杂成本 10%~15%。

优化：开发超声波分散装置（频率 20~40 kHz），提高颗粒分散性>95%。

4.5.2 放电等离子烧结（SPS）工艺

技术概述：SPS 通过脉冲电流（1000~5000 A）和压力（50~100 MPa）在 5~10 分钟内完成烧结，温度 1800~2000° C，低于传统烧结（2200~2400° C）。

工艺优势：

高致密度：>99%，孔隙率<0.5%。

细小晶粒：3~5 μm，机械强度>1200 MPa。

节能环保：能耗降低 30%~40%，烧结时间缩短 80%。

设备：

SPS 烧结炉：配备石墨模具（耐温>2000° C）和真空系统（10⁻³ Pa）。

温度控制：红外测温仪（精度±2° C），电流控制精度±1 A。

应用：

高性能电极：航空航天涡轮叶片焊接，电流>400 A。

微型电极：半导体微焊接，直径 0.3~0.8 mm。

挑战与优化：

挑战：SPS 设备成本高。

优化：开发模块化 SPS 系统，降低设备成本 20%。

4.5.3 智能制造与实时监控技术

技术概述：智能制造通过传感器、物联网（IoT）和机器学习优化生产过程，提高效率和一致性。

实时监控：

红外测温仪（精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ）：监控烧结温度（ $1800\sim 2400^{\circ}\text{C}$ ）。

气体分析仪（检测限 $<1\text{ ppm}$ ）：控制气氛氧含量 $<10\text{ ppm}$ 。

在线 XRF：检测氧化钨含量，精度 $\pm 0.05\%$ 。

机器学习：

建立工艺参数数据库（掺杂、烧结、拉拔），预测性能指标（如烧损率、晶粒尺寸）。

使用 AI 算法优化参数，缺陷率降低至 $<0.5\%$ 。

自动化生产线：

六轴机器人（负载 $5\sim 20\text{ kg}$ ，定位精度 $\pm 0.1\text{ mm}$ ）：用于粉末装卸、坯条搬运和电极包装。

数控加工设备：拉拔、研磨和切割，效率提高 50% 。

应用：

大规模生产：日产 $5000\sim 10000$ 支电极，缺陷率 $<1\%$ 。

高精度定制：异形电极生产，周期缩短 30% 。

发展趋势：

开发数字孪生平台，实时模拟生产过程，预测缺陷。

引入区块链技术，追踪原料和电极生产全流程，确保可追溯性。



中钨智造科技有限公司
钨钨电极产品介绍

一、钨钨电极概述

钨钨电极（WY20）是一种以高纯钨为基体，掺杂 2% 氧化钨（ Y_2O_3 ）的非放射性钨电极，专为高要求的氩弧焊（TIG）与等离子焊接设计。该电极具备卓越的起弧性能、超强电流承载能力、极低烧损率，是航空航天、军工、核能及高端制造行业的理想选择。

二、钨钨电极主要性能

- **优异的电弧稳定性：**电弧集中、跳动小，确保焊缝一致性。
- **高电流承载能力：**在中高电流条件下表现稳定，适应性强。
- **极低烧损率：**在高温下耐蒸发、耐腐蚀，使用寿命更长。
- **无放射性、绿色环保：**替代钍钨的理想选择，符合全球环保规范。
- **焊接深度大：**适合高强度、高厚度金属焊接。
- **优异起弧性能：**低电流下亦可稳定启动，适用于脉冲焊接与高频起弧系统。

三、钨钨电极典型参数规

型号	氧化钨含量 (Y_2O_3)	辨识颜色	长度 (mm)	直径范围 (mm)
WY20	1.8% - 2.2%	蓝色	50 - 175	1.0 - 6.4

四、钨钨电极典型应用场景

- **TIG 焊接：**用于不锈钢、镍合金、钛合金、高温合金等材料的高质量焊接。
- **等离子弧焊与点焊：**广泛应用于航天航空及军工制造。
- **微焊接、真空焊接：**适合需要高电弧稳定性的精密场合。
- **支持直流（DC）或交直流混合（AC/DC）电流条件。**

五、为什么选择钨钨电极？

从高频自动化焊接设备到极端复杂的高温焊接场景，WY20 钨钨电极始终以稳定、安全、长效的性能表现，为制造行业提供高标准焊接解决方案。

六、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨电极资讯，请访问中钨在线网站（www.tungsten.com.cn）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



第五章 钨钨电极的应用领域

5.1 钨钨电极的焊接应用

5.1.1 TIG 焊接（钨弧焊）在高温合金中的应用

钨极钨弧焊（TIG 焊接）是钨钨电极（WY20）最广泛的应用领域之一，尤其在高温合金的焊接中表现出色。高温合金，如镍基合金（Inconel、Hastelloy）和钴基合金，因其优异的耐高温、耐腐蚀和抗疲劳性能，被广泛用于航空航天、能源和化工行业。然而，这些合金的高熔点（1300~1500° C）和复杂成分对焊接工艺提出了极高要求。钨钨电极凭借其低电子逸出功（约 2.5~2.7 eV）、优异的电弧稳定性和低烧损率，成为 TIG 焊接高温合金的理想选择。

在 TIG 焊接中，钨钨电极通过氩气或氦气保护生成高温电弧（约 6000~7000° C），熔化工件和填充材料，形成高质量焊缝。其细长且压缩的电弧柱能够精确控制熔池形状，减少热影响区（HAZ），从而降低焊缝裂纹和气孔的风险。钨钨电极在直流正极性（DCEN）条件下表现尤为突出，电流范围通常为 50~300 A，适用于厚度从 0.5 mm 到 20 mm 的合金板材。

具体应用包括：

航空发动机部件：镍基合金涡轮盘和叶片的焊接，要求焊缝具有高强度和耐高温性能。钨钨电极的低烧损率（约 0.1~0.2 mg/min）确保长时间焊接中的电极稳定性。

燃气轮机：高温合金燃烧室的焊接，需要深熔和均匀焊缝，钨钨电极的高电弧稳定性（漂移率<5%）满足这一需求。

化工设备：Hastelloy 合金管道的焊接，钨钨电极的抗腐蚀性能确保焊缝在酸性环境中长期稳定。

钨钨电极的起弧性能优异，起弧电压低（约 10~15 V），能够在脉冲 TIG 焊接中实现快速点燃和熄灭，适合高精度和自动化焊接场景。此外，其无放射性特性使其成为钨钨电极的环保替代品，符合航空航天行业的安全标准。

5.1.2 等离子弧焊接的高精度应用

等离子弧焊接（PAW）是一种高能量密度的焊接工艺，电弧温度可达 20000° C，适合高精度和深熔焊接。钨钨电极在等离子弧焊接中的应用得益于其耐高温性能和高电流承载能力（100~500 A）。等离子弧焊接通过压缩电弧（由喷嘴约束）实现更高的能量集中度，熔深可达 10~15 mm，热影响区小，焊缝质量高。

钨钨电极在等离子弧焊接中的优势包括：

电弧集中：氧化钨的低逸出功和均匀分布使电弧柱细长且稳定，适合焊接厚度>10 mm 的板材。

低烧损率：在高电流密度（>300 A/mm²）下，钨钨电极的烧损率仅为 0.15~0.25 mg/min，延长了电极寿命。

材料适应性：适用于不锈钢、钛合金、镍基合金和锆合金的焊接。

典型应用包括：

版权与法律声明

压力容器：核电设备中不锈钢和锆合金容器的焊接，要求焊缝无气孔和夹渣。

船舶制造：高强度钢板和镍基合金甲板的深熔焊接，钨钨电极的高电弧稳定性确保焊缝一致性。

医疗器械：不锈钢手术器械的精密焊接，钨钨电极的细小电弧（尖端半径 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ ）满足微小焊点需求。

等离子弧焊接通常需要配合水冷或气冷焊枪，以保护钨钨电极免受过热影响。现代工艺还结合自动化控制系统，通过精确调节电流和气体流量，进一步提高焊接精度。

5.1.3 真空环境下的钛合金与镍基合金焊接

真空环境下的焊接主要用于高精度和敏感材料的加工，如钛合金和镍基合金，常用于航空航天和半导体行业。钨钨电极在真空 TIG 焊接或真空等离子焊接中表现出色，其低挥发性和化学稳定性确保了焊接环境的纯净度。

钛合金（如 Ti-6Al-4V）因其高强度、低密度和优异的耐腐蚀性被广泛用于航空航天结构件，但其高化学活性要求焊接在真空或惰性气体环境中进行，以防止氧气和氮气的污染。钨钨电极在真空环境（ $10^{-3} \sim 10^{-5} \text{ Pa}$ ）中的优势包括：

低气体释放：氧化钨的低蒸汽压（ $<10^{-5} \text{ Pa at } 2000^\circ \text{C}$ ）确保电极不释放杂质气体，保持真空环境的洁净。

电弧稳定性：低逸出功和均匀的发射点使电弧在低压环境中快速点燃，漂移率 $<3\%$ 。

长寿命：在真空环境中，电极的烧损率进一步降低（ $<0.1 \text{ mg/min}$ ），适合长时间连续焊接。

镍基合金的真空焊接（如 Inconel 718）主要用于航天器部件和涡轮叶片，其高熔点和复杂成分要求电极具有优异的耐高温性能。钨钨电极的高再结晶温度（ $>2000^\circ \text{C}$ ）和抗蠕变能力使其能够承受长时间高温电弧冲击，保持尖端形状稳定。

典型应用包括：

航天器密封：钛合金外壳的真空焊接，确保气密性和耐腐蚀性。

涡轮叶片：镍基合金叶片的精密焊接，焊缝需满足高疲劳强度要求。

半导体设备：真空环境中不锈钢和钛合金管道的焊接，用于芯片制造设备。

5.2 钨钨电极的非焊接应用

5.2.1 等离子切割与喷涂

钨钨电极在等离子切割和等离子喷涂中的应用得益于其高电流承载能力和耐高温性能。等离子切割通过高能量等离子弧（温度可达 30000°C ）熔化并吹除金属材料，广泛用于碳钢、不锈钢和铝合金的切割。钨钨电极的细长电弧和高稳定性使其成为等离子切割的首选电极。

在等离子切割中，钨钨电极的典型特点包括：

高电流适应性：可承受 $300 \sim 1000 \text{ A}$ 的超高电流，适合切割厚度 $20 \sim 100 \text{ mm}$ 的板材。

低烧损率：在高能量密度下，电极寿命可达 $50 \sim 100$ 小时。

切割精度：电弧集中度高，切口宽度小（<2 mm），表面光洁度高。

等离子喷涂是一种表面强化技术，通过等离子弧将陶瓷或金属粉末熔化并喷射到工件表面，形成耐磨或耐腐蚀涂层。钨钨电极在等离子喷涂中的应用包括：

航空航天：喷涂陶瓷涂层（如氧化锆）到涡轮叶片表面，提高耐高温性能。

工业设备：喷涂耐磨涂层到挖掘机铲斗或泵体表面，延长使用寿命。

5.2.2 电火花加工（EDM）中的电极应用

电火花加工（EDM）是一种非接触式加工技术，通过电极与工件之间的火花放电去除材料，适用于高硬度材料的精密加工。钨钨电极因其高硬度（HV 400~450）、耐磨性和电导率（电阻率约 $5.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ）被用作 EDM 电极。

在 EDM 中，钨钨电极的优势包括：

高耐磨性：氧化钨的强化作用使电极在高频放电中不易磨损，保持形状稳定性。

电弧控制：低逸出功确保火花放电的稳定性，提高加工精度。

材料适应性：适合加工钛合金、模具钢和硬质合金。

典型应用包括：

模具制造：用于冲压模具和注塑模具的精密加工。

航空航天：加工复杂形状的钛合金部件，如涡轮叶片的冷却孔。

医疗器械：加工高精度手术刀具和植入物。

5.2.3 高温放电装置中的应用

钨钨电极在高温放电装置中用作电弧发生器或放电电极，广泛应用于等离子体研究、热喷涂设备和高强度光源（如氙灯）。其高熔点（3422°C）和低烧损率使其能够承受极端高温和频繁放电。

应用场景包括：

等离子体研究：在等离子体发生器中，钨钨电极用于产生高温等离子体（>10000°C），用于材料性能测试或核聚变研究。

氙灯制造：钨钨电极作为氙灯的阴极，承受高电流放电，产生强光，应用于电影放映机和激光器。

热喷涂设备：在等离子喷涂装置中，钨钨电极作为电弧发生器，喷涂耐磨或耐高温涂层。

5.3 钨钨电极在行业的应用

5.3.1 航空航天（发动机部件、涡轮叶片）

航空航天行业是钨钨电极的最大应用领域之一，涉及发动机部件、涡轮叶片和机身结构的焊接。钛合金和镍基合金是航空航天中最常用的材料，要求焊接工艺具有高精度、高强度和耐

高温性能。钨钨电极在 TIG 和等离子弧焊接中的应用满足了这些需求。

具体应用包括：

涡轮叶片：镍基合金叶片的 TIG 焊接，要求焊缝耐高温 ($>1200^{\circ}\text{C}$) 和抗疲劳。钨钨电极的细长电弧确保焊缝均匀，减少裂纹。

发动机燃烧室：钛合金和不锈钢燃烧室的深熔焊接，钨钨电极的高电流承载能力 ($>300\text{ A}$) 满足深熔需求。

机身结构：钛合金蒙皮和框架的焊接，钨钨电极的低热输入减少材料变形。

5.3.2 国防军工（装甲材料、导弹部件）

国防军工领域对焊接质量的要求极高，涉及装甲材料、导弹部件和武器系统的制造。钨钨电极因其高可靠性、无放射性和长寿命被广泛应用。

应用包括：

装甲钢板：高强度钢板的深熔焊接，钨钨电极的高电弧稳定性确保焊缝强度和韧性。

导弹壳体：钛合金和不锈钢壳体的精密焊接，要求焊缝气密性和耐腐蚀性。

武器系统：复杂结构（如雷达天线）的焊接，钨钨电极的微焊接能力满足精密要求。

5.3.3 能源工业（核电设备、燃气轮机）

能源工业对焊接材料的安全性和耐久性要求极高，钨钨电极在核电设备和燃气轮机的制造中发挥重要作用。

应用包括：

核电设备：反应堆压力容器和管道的焊接，使用钨钨电极进行 TIG 或等离子弧焊接，确保焊缝无缺陷和耐腐蚀。

燃气轮机：镍基合金燃烧室和叶片的焊接，钨钨电极的高温稳定性满足长期运行需求。

风电设备：塔架和叶片的焊接，钨钨电极的深熔能力适合厚板焊接。

5.3.4 半导体与微电子制造

半导体和微电子行业需要超高精度的焊接工艺，用于芯片封装、传感器和微型管道的制造。钨钨电极的微型针状设计（直径 $0.5\sim 1.0\text{ mm}$ ）和低热输入特性使其成为理想选择。

应用包括：

芯片封装：铜和金引线的微焊接，钨钨电极的细小电弧 ($<0.5\text{ mm}$) 确保焊点精度。

传感器制造：不锈钢和钛合金传感器的焊接，要求最小热影响区。

微型管道：真空环境中管道的焊接，钨钨电极的低挥发性保持环境洁净。

5.4 钨钨电极的典型案例分析

5.4.1 钛合金航空结构件焊接

案例背景：某航空航天企业需要焊接 Ti-6Al-4V 钛合金机身结构件，厚度为 5 mm，要求焊缝具有高强度（>900 MPa）和气密性。工艺选择真空 TIG 焊接，电极钨钨电极（WY20，直径 2.4 mm，尖端角度 30°）。

工艺实施：

焊接参数：电流 150 A（DCEN），氩气流量 12 L/min，真空度 10^{-4} Pa。

电极性能：钨钨电极的低逸出功确保快速起弧，电弧漂移率<3%，焊接过程中无明显烧损。

结果：焊缝拉伸强度达 950 MPa，无气孔或裂纹，满足航空标准。

分析：钨钨电极的低挥发性和高电弧稳定性确保了真空环境下的焊接质量，减少了钛合金的氧化风险。电极寿命达 120 小时，降低了生产成本。

5.4.2 高温合金修复与表面强化

案例背景：某燃气轮机制造企业需要修复镍基合金（Inconel 718）涡轮叶片的磨损区域，并通过等离子喷涂强化表面。使用钨钨电极（WY20，直径 3.2 mm）进行 TIG 焊接修复和等离子喷涂。

工艺实施：

焊接修复：采用脉冲 TIG 焊接，电流 100~200 A，填充材料为 Inconel 718 焊丝。钨钨电极的细长电弧确保修复区域的熔池控制精准。

等离子喷涂：喷涂氧化锆涂层，电流 400 A，钨钨电极的耐高温性能支持连续喷涂 4 小时。

结果：修复区域硬度达 HV 450，涂层结合强度>70 MPa，满足高温运行要求。

分析：钨钨电极在修复和喷涂中的高电流适应性和低烧损率提高了工艺效率，减少了电极更换频率。

5.4.3 真空环境下精密元件的焊接

案例背景：某半导体设备制造商需要焊接不锈钢微型管道（直径 2 mm，壁厚 0.2 mm），用于芯片制造设备的真空系统。选用钨钨微型针状电极（直径 0.5 mm，尖端半径 0.1 mm）进行真空 TIG 焊接。

工艺实施：

焊接参数：电流 10~20 A（脉冲模式），氩气流量 8 L/min，真空度 10^{-5} Pa。

电极性能：钨钨电极的低热输入和细小电弧（<0.5 mm）确保焊点尺寸小，热影响区<0.1 mm。

结果：焊缝气密性达 10^{-9} Pa·m³/s，满足半导体行业标准。

分析：钨钨电极的微焊接能力和低挥发性确保了真空环境的洁净度和焊接精度，适合高精度

微电子应用。



第六章 钨钨电极的生产设备

6.1 钨钨电极的原料制备设备

制造钨钨电极的第一步是原料制备，涉及高纯钨粉和氧化钨的筛选、提纯及优化。这一阶段的设备需确保原料的高纯度、粒径均匀性和化学稳定性，以满足钨钨电极在高温焊接中的性能要求。

6.1.1 钨粉研磨与粒度分选设备

钨粉的制备是钨钨电极生产的基础，要求钨粉纯度达到 99.95% 以上，粒径控制在 $1\sim5\ \mu\text{m}$ 范围内，以确保后续烧结和掺杂的均匀性。以下是主要设备及其功能：

高能球磨机

高能球磨机用于将粗大钨粉（初始粒径 $10\sim50\ \mu\text{m}$ ）研磨至目标粒径。设备采用行星式或振动式设计，配备氧化锆或硬质合金研磨球（直径 $5\sim10\ \text{mm}$ ），以减少金属杂质污染。研磨过程在惰性气体（如氩气）保护下进行，转速控制在 $200\sim400\ \text{rpm}$ ，研磨时间 48 小时。现代球磨机配备温控系统，防止过热导致的钨粉氧化。优势：高效率，粒径分布均匀；劣势：长时间研磨可能引入微量杂质。

气流分级机

气流分级机用于筛选出粒径 $15\ \mu\text{m}$ 的钨粉，剔除过大或过小颗粒。设备通过高速气流（速度 $10\sim 50\ \text{m/s}$ ）将钨粉分散并按粒径分离，精度可达 $\pm 0.1\ \mu\text{m}$ 。分级机通常配备多级旋风分离器和精密过滤器，确保粉末无污染。优势：高精度分选，产量大（每小时 $100\sim 500\ \text{kg}$ ）；劣势：设备维护成本较高。

超声波清洗设备

清洗设备用于去除钨粉表面的氧化物和杂质（如铁、碳）。设备采用稀盐酸或硝酸溶液（浓度 $5\%\sim 10\%$ ），结合超声波振荡（频率 $20\sim 40\ \text{kHz}$ ）清洗钨粉，随后通过真空干燥（ $< 200^\circ\text{C}$ ）去除水分。优势：有效去除表面杂质；劣势：需严格控制溶液浓度，避免钨粉腐蚀。

激光粒度分析仪用于实时监测钨粉的粒径分布，确保粒径符合目标要求。设备采用激光衍射原理，检测范围 $0.01\sim 1000\ \mu\text{m}$ ，精度 $\pm 1\%$ 。优势：快速、精准；劣势：设备价格昂贵。

这些设备协同工作，确保钨粉的纯度、粒径和形貌满足钨钨电极生产的需求。现代工厂还引入自动化控制系统，通过 PLC（可编程逻辑控制器）实现研磨、分选和清洗的连续化操作，提高生产效率。

6.1.2 氧化钇提纯与纳米化设备

氧化钇（ Y_2O_3 ）作为掺杂剂，其纯度（ $> 99.99\%$ ）和粒径（ $0.52\ \mu\text{m}$ ，纳米级 $10\sim 100\ \text{nm}$ ）对钨钨电极的性能至关重要。提纯和纳米化设备包括：

溶剂萃取设备

溶剂萃取设备用于从钨矿（如独居石）中提取高纯氧化钇。设备包括萃取槽、离心分离器和离子交换柱，使用有机萃取剂（如 TBP 或 P204）分离钇与其他稀土元素。萃取过程在酸性环境（ $\text{pH}\ 2\sim 4$ ）下进行，循环次数通常为 $10\sim 20$ 次，确保杂质（如钙、硅）含量 $< 100\ \text{ppm}$ 。优势：高纯度，适合工业化生产；劣势：废液处理成本高。

喷雾干燥机

喷雾干燥机用于将硝酸钇溶液制备成氧化钇粉末。设备通过高压喷嘴（压力 $0.52\ \text{MPa}$ ）将溶液雾化，热空气（ $200\sim 300^\circ\text{C}$ ）快速干燥形成微米级或纳米级颗粒。喷雾速率和干燥温度需精确控制，以确保颗粒均匀性（目标粒径 $0.5\sim 2\ \mu\text{m}$ ）。优势：颗粒形貌好，流动性高；劣势：能耗较高。

纳米研磨机

纳米研磨机用于将微米级氧化钇进一步研磨至纳米级（ $10\sim 100\ \text{nm}$ ）。设备采用湿法研磨，介质为氧化锆珠（直径 $0.1\sim 0.5\ \text{mm}$ ），转速 $1000\sim 2000\ \text{rpm}$ ，研磨时间 26 小时。研磨过程在水或乙醇介质中进行，防止颗粒团聚。优势：可生产纳米级颗粒，提升掺杂均匀性；劣势：设备磨损需定期维护。

化学分析设备电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）用于检测氧化钇的纯度和杂质含量，检测限 $< 1\ \text{ppb}$ ，确保符合电极生产要求。优势：高灵敏度；劣势：操作复杂，需专业人员。

这些设备通过多级提纯和粒径控制，为钨钨电极的掺杂工艺提供高质量氧化钨原料。

6.2 钨钨电极的粉末冶金设备

粉末冶金是钨钨电极制备的核心工艺，涉及粉末混合、成型和烧结。设备需确保氧化钨的均匀分布和电极的高致密度。

6.2.1 高精度混料与掺杂系统

混合与掺杂设备用于将氧化钨均匀分散于钨粉中，影响电极的电弧稳定性和机械性能。

高能混合机

高能混合机采用三维或 V 型混料设计，配备变频控制（转速 50~200 rpm），混合时间 48 小时。设备在惰性气体（如氩气）保护下运行，防止钨粉氧化。部分设备集成超声波分散装置（频率 20~40 kHz），提高氧化钨颗粒的分散性。优势：混合均匀，适合大批量生产；劣势：设备体积大，占地面积多。

喷雾掺杂系统

喷雾掺杂系统通过将硝酸钨溶液喷雾至钨粉或三氧化钨原料中实现掺杂。设备包括高压喷嘴（压力 13 MPa）、搅拌槽和干燥室，喷雾速率控制在 0.1~0.5 L/min。干燥后形成钨钨复合粉末，氧化钨含量偏差 $\pm 0.1\%$ 。优势：掺杂均匀，适合高含量氧化钨（ $>2\%$ ）；劣势：工艺复杂，需严格控制溶液浓度。

X 射线荧光光谱仪（XRF）XRF 用于实时监测掺杂粉末的元素分布，确保氧化钨含量符合目标值（1.8%~2.2%）。设备检测精度 $\pm 0.05\%$ ，分析时间 <1 分钟。优势：快速、无损；劣势：设备昂贵。

6.2.2 冷等静压与热压设备

成型设备将掺杂粉末压制成型电极坯条，确保高密度和机械强度。

冷等静压机（CIP）

冷等静压机通过液体介质（通常为水或油）施加均匀压力（200~300 MPa），将粉末压制成型直径 10~20 mm 的坯条。设备配备高压泵和柔性模具，保温时间 30~60 秒，坯条致密度达理论值的 60%~70%。优势：密度均匀，无应力集中；劣势：设备成本高，维护复杂。

热压机

热压机在 1000~1400° C 下施加 50~100 MPa 压力，适用于高性能电极的初步成型。设备配备石墨模具和真空系统，防止氧化。热压过程可提高坯条致密度至 80% 以上。优势：适合小批量、高精度生产；劣势：能耗高，模具磨损快。

6.2.3 高温真空烧结炉与气氛炉

烧结设备是钨钨电极制备的核心，用于提高电极的致密度和机械性能。

高温真空烧结炉

真空烧结炉在 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Pa 的真空环境中运行，烧结温度 $2000 \sim 2400^{\circ}\text{C}$ ，升温速率 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，保温时间 24 小时。设备采用钼或钨加热元件，确保高温稳定性。真空环境减少气体杂质吸附，电极致密度可达 98% 以上。优势：高纯度，适合高端电极；劣势：设备成本高，真空系统维护复杂。

氢气气氛炉

氢气气氛炉在 $1800 \sim 2200^{\circ}\text{C}$ 下运行，氢气流量 $10 \sim 20\text{ L}/\text{min}$ ，氧含量控制在 $<10\text{ ppm}$ 。设备配备红外测温仪和气体分析仪，实时监控烧结条件。氢气保护防止钨粉氧化，促进氧化钨的均匀分布。优势：成本较低，适合大规模生产；劣势：需严格控制氢气纯度。

气氛控制系统配备高精度气体分析仪（检测氧含量 $<1\text{ ppm}$ ）和流量控制器，确保烧结气氛的稳定性。优势：提高电极质量一致性；劣势：需定期校准。

6.3 钨钨电极的加工与成型设备

加工与成型设备将烧结坯条加工成标准电极棒，确保尺寸精度和表面质量。

6.3.1 精密压延与拉拔机

热压延机热压延机在 $1400 \sim 1600^{\circ}\text{C}$ 下将坯条直径从 $10 \sim 20\text{ mm}$ 减小至 $3 \sim 5\text{ mm}$ 。设备采用多次轧制（ $5 \sim 10$ 道），配备惰性气体保护系统（氩气流量 $10 \sim 15\text{ L}/\text{min}$ ）。轧辊材质为钨钼合金，耐高温且耐磨。优势：高效率，适合大批量生产；劣势：需精确控制温度，避免表面氧化。

精密拉拔机

精密拉拔机将压延棒拉拔至目标直径（ $0.5 \sim 4.8\text{ mm}$ ），公差 $\pm 0.05\text{ mm}$ 。设备使用金刚石模具，拉拔速度 $0.52\text{ m}/\text{min}$ ，润滑剂为石墨乳或钼基润滑剂。拉拔过程配备张力控制系统，确保电极表面光滑。优势：尺寸精度高；劣势：模具磨损需定期更换。

6.3.2 数控磨削与抛光设备

数控磨削机数控磨削机用于成型电极尖端（角度 $15^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ，尖端半径 $0.1 \sim 0.5\text{ mm}$ ）。设备采用金刚石砂轮，加工精度 $\pm 0.01\text{ mm}$ ，转速 $1000 \sim 5000\text{ rpm}$ 。数控系统通过编程控制尖端形状，确保一致性。优势：高精度，适合复杂尖端设计；劣势：加工速度较慢。

电化学抛光机

电化学抛光机通过电解液（通常为硫酸-磷酸混合液）和直流电源（电压 $5 \sim 15\text{ V}$ ）抛光电极表面，目标粗糙度 $Ra < 0.4\text{ }\mu\text{m}$ 。设备配备自动搅拌和温控系统，抛光时间 $10 \sim 30$ 秒。优势：表面光洁度高，减少电弧漂移；劣势：电解液需定期处理。

6.3.3 激光切割与电极整形设备

激光切割机

激光切割机使用光纤激光器（功率 13 kW ）将电极棒切割成标准长度（ $50 \sim 175\text{ mm}$ ）。设备配备冷却系统，防止热应力导致的微裂纹。切割精度 $\pm 0.1\text{ mm}$ ，切口平整无毛刺。优势：高精度，适合非标长度；劣势：设备成本高。

电极整形机

整形机用于加工异形电极（如弯曲或锥形电极），采用数控车床或专用夹具。设备支持定制化设计，加工精度 ± 0.05 mm。优势：灵活性高，满足特殊需求；劣势：生产周期长。

6.4 钨钨电极的检测与质量监控设备

质量检测设备用于确保钨钨电极的化学成分、微观结构和性能符合标准。

6.4.1 化学成分分析设备（ICP-MS、XRF）

电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）ICP-MS 用于检测钨和氧化钨的纯度及杂质含量（Fe、Ca、Si 等），检测限 <1 ppb，分析时间 <5 分钟。设备配备自动进样系统，支持批量检测。优势：高灵敏度，适合微量元素分析；劣势：操作复杂，需专业人员。

X 射线荧光光谱仪（XRF）XRF 用于无损检测电极的氧化钨含量和分布均匀性，精度 $\pm 0.05\%$ 。设备支持快速扫描（ <1 分钟），适用于生产线上实时监控。优势：快速、无损；劣势：对轻元素检测灵敏度较低。

6.4.2 微观结构与形貌分析设备（SEM、TEM）

扫描电子显微镜（SEM）SEM 用于观察电极的晶粒尺寸（目标 $5\sim 10\ \mu\text{m}$ ）、孔隙率（ $<1\%$ ）和氧化钨分布。设备分辨率 <1 nm，配备能量色散谱（EDS）附件，分析元素分布。优势：直观显示微观结构；劣势：样品制备时间长。

透射电子显微镜（TEM）TEM 用于分析纳米级氧化钨颗粒的分布和晶体结构，分辨率 <0.1 nm。设备适合研究纳米掺杂电极的微观特性。优势：高分辨率；劣势：设备昂贵，操作复杂。

6.4.3 性能测试设备（电弧稳定性、烧损率测试仪）

电弧稳定性测试仪测试仪模拟 TIG 焊接条件（电流 $50\sim 300$ A，氩气流量 $10\sim 15$ L/min），测量电弧漂移率（目标 $<5\%$ ）和起弧电压（ $10\sim 15$ V）。设备配备高频电源和光谱分析仪，记录电弧光强和稳定性。优势：真实模拟焊接环境；劣势：测试成本较高。

烧损率测试仪烧损率测试仪在标准焊接条件下（ 200 A，1 小时）测量电极质量损失，目标烧损率 <0.2 mg/min。设备配备高精度天平（精度 ± 0.01 mg）和温度监控系统。优势：精确测量寿命；劣势：测试周期长。

6.5 钨钨电极的智能化生产设备

智能化生产设备通过自动化和数据分析提高生产效率和质量一致性。

6.5.1 自动化生产线与工业机器人

自动化生产线自动化生产线整合研磨、掺杂、成型、烧结和加工设备，通过传送带和 PLC 系统实现连续化生产。生产线支持多工位并行操作，产量可达 $1000\sim 5000$ 支/天。优势：效率高，人工成本低；劣势：初期投资大。

工业机器人工业机器人用于粉末装卸、坯条搬运和电极包装。六轴机器人（负载 $5\sim 20$ kg）

配备视觉识别系统，定位精度 $\pm 0.1\text{ mm}$ ，适合高精度操作。优势：灵活性高，减少人工错误；劣势：维护成本高。

6.5.2 在线质量监控与数据分析系统

在线监控系统

在线监控系统集成红外测温仪（精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ ）、气体分析仪（氧含量 $<1\text{ ppm}$ ）和 XRF，实时监测烧结温度、气氛纯度和掺杂均匀性。系统通过物联网（IoT）技术将数据上传至云端，生成实时报表。优势：快速反馈，减少缺陷；劣势：需稳定网络支持。

数据分析系统

数据分析系统基于机器学习算法，分析工艺参数（温度、压力、掺杂比例）与电极性能（烧损率、电弧稳定性）的关系，优化生产参数。系统可预测缺陷率，降低至 $<1\%$ 。优势：智能化优化；劣势：需大量历史数据支持。



中钨智造科技有限公司
钨钨电极产品介绍

一、钨钨电极概述

钨钨电极（WY20）是一种以高纯钨为基体，掺杂 2% 氧化钨（ Y_2O_3 ）的非放射性钨电极，专为高要求的氩弧焊（TIG）与等离子焊接设计。该电极具备卓越的起弧性能、超强电流承载能力、极低烧损率，是航空航天、军工、核能及高端制造行业的理想选择。

二、钨钨电极主要性能

- **优异的电弧稳定性：**电弧集中、跳动小，确保焊缝一致性。
- **高电流承载能力：**在中高电流条件下表现稳定，适应性强。
- **极低烧损率：**在高温下耐蒸发、耐腐蚀，使用寿命更长。
- **无放射性、绿色环保：**替代钍钨的理想选择，符合全球环保规范。
- **焊接深度大：**适合高强度、高厚度金属焊接。
- **优异起弧性能：**低电流下亦可稳定启动，适用于脉冲焊接与高频起弧系统。

三、钨钨电极典型参数规

型号	氧化钨含量 (Y_2O_3)	辨识颜色	长度 (mm)	直径范围 (mm)
WY20	1.8% - 2.2%	蓝色	50 - 175	1.0 - 6.4

四、钨钨电极典型应用场景

- **TIG 焊接：**用于不锈钢、镍合金、钛合金、高温合金等材料的高质量焊接。
- **等离子弧焊与点焊：**广泛应用于航天航空及军工制造。
- **微焊接、真空焊接：**适合需要高电弧稳定性的精密场合。
- **支持直流（DC）或交直流混合（AC/DC）电流条件。**

五、为什么选择钨钨电极？

从高频自动化焊接设备到极端复杂的高温焊接场景，WY20 钨钨电极始终以稳定、安全、长效的性能表现，为制造行业提供高标准焊接解决方案。

六、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨电极资讯，请访问中钨在线网站（www.tungsten.com.cn）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



版权与法律责任声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2025 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL：0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2025V
sales@chinatungsten.com

第七章 钨钨电极的国内外标准

钨钨电极作为高性能焊接材料，其质量和性能受到严格的标准化化管理。国内外标准通过明确的分类、性能要求和测试方法，规范了钨钨电极的生产、检测和应用。本章详细探讨钨钨电极的国际标准、国内标准、标准对比及发展趋势。

7.1 钨钨电极的国际标准

国际标准为钨钨电极的制造和应用提供了统一的技术规范，主要包括国际标准化组织(ISO)、美国焊接学会(AWS)和欧洲标准化委员会(EN)的相关标准。这些标准对钨钨电极的化学成分、尺寸公差、性能测试和标识要求进行了详细规定。

7.1.1 ISO 6848: 钨电极分类与技术要求

ISO 6848:2015《Welding consumables — Non-consumable tungsten electrodes for arc welding》是钨电极的国际通用标准，适用于钨极氩弧焊(TIG 焊接)和等离子弧焊接等工艺。标准对钨钨电极(WY20)进行了明确分类和性能要求。

分类与标识：钨钨电极被分类为 WY20，氧化钨(Y_2O_3)含量为 1.8%~2.2% (质量分数)，电极端头采用蓝色涂层作为标识。标准还规定了其他稀土掺杂电极(如铈钨、铈钨)的分类，确保不同类型电极的区分。标识要求包括电极型号、尺寸、生产批次和制造商信息，通常以激光刻印或包装标签形式呈现。

化学成分：钨基体的纯度要求 $\geq 99.5\%$ ，杂质(如铁、硅、碳)总含量 $< 0.05\%$ 。氧化钨的均匀分布需通过 X 射线荧光光谱(XRF)或能量色散谱(EDS)检测，含量偏差 $< \pm 0.1\%$ 。

尺寸与公差：电极直径范围为 0.5~6.4 mm，公差 ± 0.05 mm；长度范围为 50~175 mm，公差 ± 1 mm。表面需光滑，无裂纹、夹杂物或氧化层，粗糙度 $Ra < 0.4 \mu m$ 。

性能要求：

起弧性能：起弧电压 < 15 V，电弧漂移率 $< 5\%$ ，测试条件为直流正极性(DCEN)，电流 50~200 A。

烧损率：在 200 A 直流焊接条件下，烧损率 < 0.2 mg/min。

机械性能：维氏硬度(HV) 400~450，抗拉强度 > 1000 MPa。

测试方法：标准规定了化学成分分析(ICP-MS)、微观结构检测(SEM)、电弧稳定性测试和烧损率测试的具体方法。测试需在标准焊接条件(氩气流量 10~15 L/min)下进行。

ISO 6848 为全球钨钨电极的生产和贸易提供了统一框架，广泛应用于航空航天、能源和汽车制造等领域。其严格的性能要求确保了电极在高精度焊接中的可靠性。

7.1.2 AWS A5.12: 钨电极规格与性能

AWS A5.12:2009《Specification for Tungsten and Oxide Dispersed Tungsten Electrodes

for Arc Welding》是美国焊接学会制定的钨电极标准，广泛应用于北美市场。标准对钨电极（EWY-2）的规格和性能要求与 ISO 6848 高度一致，但在某些细节上更注重实际应用。

分类与标识：钨钨电极被标记为 EWY-2，氧化钨含量 1.8%~2.2%，端头涂蓝色。标准要求电极包装上明确标注 AWS 分类、尺寸和批次号，便于用户识别。

化学成分：要求钨纯度 $\geq 99.5\%$ ，氧化钨含量偏差 $\leq \pm 0.1\%$ 。标准特别强调杂质（如钼、铁）的控制，需通过 ICP-MS 或 XRF 检测。

尺寸规格：直径范围 0.5~6.4 mm，公差 ± 0.05 mm；长度 50~175 mm，公差 ± 1 mm。标准还允许定制长度，但需符合双方协议。

性能要求：

电弧稳定性：在 100~300 A 电流下，电弧漂移率 $< 5\%$ ，起弧时间 < 0.1 秒。

烧损率：在 200 A、1 小时测试中，烧损率 < 0.2 mg/min。

表面质量：电极表面无裂纹、氧化物或油污，粗糙度 $Ra < 0.4 \mu m$ 。

测试与认证：AWS A5.12 要求制造商提供性能测试报告，测试内容包括起弧性能、烧损率和抗高温蠕变性能。认证机构（如 AWS 或第三方实验室）可对电极进行抽样检测。

AWS A5.12 在北美市场具有广泛影响力，尤其在航空航天和国防工业中，制造商需严格遵循标准以满足客户要求。

7.1.3 EN 26848：欧洲钨电极标准

EN 26848:1991 是欧洲标准化委员会制定的钨电极标准，与 ISO 6848 基本一致，但在欧洲市场有特定应用。标准对钨钨电极（WY20）的分类、性能和测试方法进行了规定。

分类与标识：钨钨电极标记为 WY20，氧化钨含量 1.8%~2.2%，端头涂蓝色。标准要求电极表面或包装上清晰标注型号和制造商信息。

化学成分：钨基体纯度 $\geq 99.5\%$ ，杂质含量 $< 0.05\%$ 。氧化钨的分布均匀性需通过 EDS 检测，偏差 $\leq \pm 0.1\%$ 。

尺寸与公差：直径 0.5~6.4 mm，公差 ± 0.05 mm；长度 50~175 mm，公差 ± 1 mm。标准允许非标尺寸，但需符合合同要求。

性能要求：

起弧性能：起弧电压 < 15 V，适合直流和交流焊接。

电弧稳定性：在 100~200 A 下，电弧漂移率 $< 5\%$ 。

烧损率：在 200 A 直流条件下，烧损率 < 0.2 mg/min。

版权与法律责任声明

测试方法：标准规定了化学成分分析（ICP-MS）、表面质量检查（显微镜观察）和电弧性能测试的具体流程。测试需在标准 TIG 焊接设备上进行。

EN 26848 在欧洲市场广泛应用于汽车制造、船舶工业和能源设备生产，其要求与 ISO 6848 高度兼容，便于国际贸易。

7.2 钨钨电极的国内标准

中国作为全球最大的钨电极生产国，制定了多项国家标准和行业标准，规范钨钨电极的生产和应用。这些标准在参考国际标准的基础上，结合国内生产实际，提出了更具体的技术要求。

7.2.1 GB/T 4192：钨电极技术条件

GB/T 4192-2017《钨电极》是中国国家标准，适用于 TIG 焊接和等离子弧焊接用钨电极，包括钨钨电极（WY20）。

分类与标识：钨钨电极标记为 WY20，氧化钨含量 1.8%~2.2%，端头涂蓝色。标准还包括 WY10（1%氧化钨）等非标型号，需在包装上标注型号、尺寸和批次号。

化学成分：钨纯度 $\geq 99.5\%$ ，杂质（如铁、硅）总含量 $< 0.05\%$ 。氧化钨含量偏差 $\leq \pm 0.1\%$ ，通过 XRF 或 ICP-MS 检测。

尺寸与公差：直径 0.5~6.4 mm，公差 ± 0.05 mm；长度 50~175 mm，公差 ± 1 mm。表面需无裂纹、夹杂物，粗糙度 $Ra < 0.4 \mu m$ 。

性能要求：

起弧性能：起弧电压 < 15 V，起弧时间 < 0.1 秒。

电弧稳定性：在 100~300 A 下，电弧漂移率 $< 5\%$ 。

烧损率：在 200 A 直流条件下，烧损率 < 0.2 mg/min。

机械性能：硬度 HV 400~450，抗拉强度 > 1000 MPa。

测试方法：标准规定了化学成分分析（ICP-MS）、微观结构检测（SEM）、电弧稳定性测试和烧损率测试的具体方法。测试设备需符合国家计量标准。

GB/T 4192 是中国钨电极行业的核心标准，广泛应用于国内航空航天、能源和汽车制造领域。

7.2.2 JB/T 12706：焊接用钨电极标准

JB/T 12706-2016《焊接用钨电极》是机械行业标准，适用于 TIG 和等离子弧焊接设备，补充了 GB/T 4192 的部分要求。

分类与标识：钨钨电极标记为 WY20，端头涂蓝色。标准要求电极包装上注明型号、尺寸、生产日期和制造商信息。

化学成分：钨纯度 $\geq 99.5\%$ ，氧化钼含量 $1.8\% \sim 2.2\%$ 。标准强调杂质控制（如碳 $<0.01\%$ ），需通过化学分析验证。

尺寸与公差：直径 $0.5 \sim 6.4 \text{ mm}$ ，公差 $\pm 0.05 \text{ mm}$ ；长度 $50 \sim 175 \text{ mm}$ ，公差 $\pm 1 \text{ mm}$ 。允许定制非标尺寸。

性能要求：

起弧性能：起弧电压 $<15 \text{ V}$ ，适合直流和交流焊接。

电弧稳定性：在 $50 \sim 200 \text{ A}$ 下，电弧漂移率 $<5\%$ 。

烧损率：在 200 A 条件下，烧损率 $<0.2 \text{ mg/min}$ 。

测试与认证：标准要求制造商提供质量证明书，测试内容包括化学成分、尺寸精度和电弧性能。第三方检测机构可进行认证。

JB/T 12706 在机械制造领域应用广泛，尤其在中小型企业中，因其要求相对灵活而受到欢迎。

7.2.3 行业专用标准与规范

除国家标准外，中国一些行业制定了专用规范，针对特定应用场景对钨钼电极提出额外要求：

航空航天行业：中国航空工业标准（如 HB 系列）要求钨钼电极在钛合金和镍基合金焊接中具有更高的电弧稳定性和低挥发性，烧损率 $<0.15 \text{ mg/min}$ ，真空环境下的气体释放率 $<10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

核工业：核工业标准（如 HJB 系列）强调电极的无放射性和抗腐蚀性，氧化钼含量偏差 $<\pm 0.05\%$ ，以确保焊缝在高温高压环境下的长期稳定性。

船舶工业：船舶工业规范要求钨钼电极在高湿度、含氯环境中具有优异的抗腐蚀性能，表面需经过特殊抛光处理（ $Ra < 0.2 \text{ } \mu\text{m}$ ）。

这些行业标准通常基于 GB/T 4192，但增加了针对特定应用的测试要求，如耐腐蚀测试和高温疲劳测试。

7.3 钨钼电极的标准对比与应用

7.3.1 国内外标准的差异与适用性

国内外标准在钨钼电极的分类、性能要求和测试方法上存在一定差异，主要体现在以下方面：

化学成分要求：ISO 6848 和 AWS A5.12 对杂质含量的要求更为严格（ $<0.05\%$ ），而 GB/T 4192 允许稍高的杂质上限（ $<0.1\%$ ），以适应国内原料实际情况。EN 26848 与 ISO 6848 一致，但对微量元素（如碳）的控制更宽松。

尺寸与公差：国际标准（ISO、AWS、EN）对直径公差（ $\pm 0.05 \text{ mm}$ ）和表面粗糙度（ $Ra < 0.4 \text{ } \mu\text{m}$ ）的要求一致，而 GB/T 4192 和 JB/T 12706 允许非标尺寸，适合国内市场的多样化需求。

求。

性能测试：ISO 6848 和 AWS A5.12 要求全面的电弧性能测试（如起弧电压、漂移率），并规定了标准焊接条件（氩气流量 10~15 L/min）。GB/T 4192 和 JB/T 12706 的测试方法类似，但允许更灵活的测试条件，适合中小型企业。

适用性：

国际标准：适用于全球贸易和高端应用，如航空航天和核工业，强调性能一致性和认证要求。

国内标准：更注重成本效益和生产实际，适合国内中小型企业 and 一般工业应用。

行业标准：针对特定领域（如航空、核工业）提出更高要求，适合高精度和苛刻环境。

7.3.2 标准对生产工艺的指导作用

国内外标准通过明确的性能指标和测试方法，对钨钨电极的生产工艺提供了重要指导：

原料制备：标准要求高纯钨（ $\geq 99.5\%$ ）和氧化钨（ $\geq 99.99\%$ ），促使制造商采用先进的提纯设备（如溶剂萃取、喷雾干燥）和质量检测手段（如 ICP-MS）。

掺杂与烧结：标准对氧化钨分布均匀性（偏差 $< \pm 0.1\%$ ）的要求推动了喷雾掺杂和真空烧结技术的应用，确保电极的微观结构一致性。

加工与成型：标准规定的尺寸公差（ $\pm 0.05 \text{ mm}$ ）和表面粗糙度（ $Ra < 0.4 \text{ } \mu\text{m}$ ）要求制造商使用精密拉拔机和数控磨削设备，提高加工精度。

质量控制：标准要求的多项测试（如电弧稳定性、烧损率）促使制造商引入 SEM、XRF 等检测设备，建立全面的质量管理体系。

例如，ISO 6848 的烧损率要求（ $< 0.2 \text{ mg/min}$ ）推动了高温烧结炉的优化，采用精确的温度控制（ $\pm 5^\circ \text{ C}$ ）和气氛管理（氧含量 $< 10 \text{ ppm}$ ）。

7.3.3 标准对应用场景的规范作用

标准通过性能和安全要求，规范了钨钨电极在不同应用场景中的使用：

航空航天：ISO 6848 和 AWS A5.12 要求电极在高电流（ $> 200 \text{ A}$ ）和真空环境中具有优异的电弧稳定性和低挥发性，确保钛合金和镍基合金焊缝的高强度和气密性。

核工业：GB/T 4192 和行业标准要求电极无放射性和抗腐蚀性，适合反应堆压力容器的焊接，防止焊缝在高温高压下失效。

汽车制造：JB/T 12706 的灵活尺寸要求支持非标电极的定制，满足车身薄板焊接的多样化需求。

微电子：标准对微型电极（直径 0.5~1.0 mm）的精度要求推动了数控磨削和电化学抛光技术的应用，确保微焊接的精度。

标准还规范了电极的包装、储存和运输要求，例如要求防潮、防震包装和清晰的标识，降低运输过程中的损伤风险。

7.4 钨钨电极的标准发展趋势

随着新材料、新工艺和环保要求的不断发展，钨钨电极的标准也在持续更新，以适应行业需求和技术进步。

7.4.1 新材料与新工艺对标准的影响

纳米级掺杂技术：纳米氧化钨（粒径 10~100 nm）的应用提高了电极的电弧稳定性和抗烧损性能。未来标准可能新增纳米掺杂电极的分类（如 WY-Nano），并规定更严格的粒径分布（偏差 ± 10 nm）和性能测试方法（如 TEM 分析）。

复合掺杂电极：如钨钨电极与氧化钨或氧化铈的复合掺杂（如 WX4），提高了综合性能。标准可能引入复合掺杂电极的分类和性能指标，如抗蠕变性能（蠕变速率 $<10^{-6}$ s $^{-1}$ ）和热电子发射效率。

先进制造工艺：放电等离子烧结（SPS）和智能制造技术的应用提高了电极的致密度（ $>99\%$ ）和一致性。未来标准可能增加对 SPS 电极的晶粒尺寸（ <5 μ m）和缺陷率（ $<0.5\%$ ）的要求。

这些新技术和材料要求标准更新测试方法，如增加高分辨率 TEM 分析和实时电弧性能监控，以验证新电极的性能。

7.4.2 环保与安全标准的更新

环保和安全要求是标准更新的重要驱动力。钨钨电极的放射性问题推动了钨钨电极的广泛应用，未来标准将进一步强化环保和安全规范：

无放射性认证：标准可能要求制造商提供无放射性证明（如伽马射线检测报告），确保电极符合国际劳工组织（ILO）和世界卫生组织（WHO）标准。

废料回收规范：未来标准可能规定钨钨电极的回收率（ $>90\%$ ）和废弃物处理流程，减少环境污染。

职业健康要求：标准可能新增焊接烟尘排放限值（如 <0.1 mg/m 3 ）和操作防护要求（如强制通风和防护装备），保护操作人员健康。

此外，随着全球环保法规的收紧（如欧盟 RoHS 指令），标准可能要求电极生产过程中的能耗和废液排放符合特定限值，推动绿色制造技术的应用。



第八章 钨钨电极的检测技术

钨钨电极作为高性能焊接材料，其质量直接影响焊接效果和应用可靠性。检测技术通过对化学成分、物理性能、电学性能、微观结构及环境安全性的全面评估，确保电极符合国际和国内标准（如 ISO 6848、AWS A5.12、GB/T 4192）。本章详细探讨钨钨电极的检测技术，涵盖化学、物理、电学、微观结构及环境安全等方面，并介绍相关设备和新兴技术。

8.1 钨钨电极的化学成分检测

化学成分检测是钨钨电极质量控制的核心，重点关注氧化钨含量、杂质元素及成分分布的均匀性，以确保电极在高温电弧环境中的稳定性和性能。

8.1.1 氧化钨含量精准测量

氧化钨 (Y_2O_3) 含量是钨钨电极 (WY20) 的关键指标，标准要求含量为 1.8%~2.2% (质量分数)，偏差 $\leq \pm 0.1\%$ 。精准测量氧化钨含量需要高灵敏度的分析技术。

电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS)

ICP-MS 通过等离子体电离样品，检测钨元素的质量分数，检测限 < 1 ppb，精度 $\pm 0.01\%$ 。样品需用硝酸或氢氟酸溶解，分析时间约 5 分钟。ICP-MS 能够同时检测钨和氧化钨的含量，适合高精度实验室分析。优势：高灵敏度，适合微量元素分析；劣势：样品制备复杂，设备

成本高。

X 射线荧光光谱 (XRF)

XRF 通过 X 射线激发样品表面, 分析钨和钨的特征荧光强度, 测量氧化钨含量, 精度 $\pm 0.05\%$ 。XRF 为无损检测, 分析时间 < 1 分钟, 适合生产线上快速检测。优势: 快速、无损; 劣势: 对轻元素的灵敏度较低。

化学滴定法

化学滴定法通过酸碱反应或络合反应测量钨含量, 精度 $\pm 0.1\%$ 。方法虽传统, 但适用于中小型企业, 成本低, 操作简单。优势: 成本低, 易操作; 劣势: 精度较低, 耗时较长。

测量过程中需多次取样 (至少 3 个不同位置), 确保氧化钨含量的代表性。标准要求偏差 $< \pm 0.1\%$, 以保证电极性能一致性。

8.1.2 杂质元素与痕量分析

杂质元素 (如铁、硅、碳、钙) 对钨钨电极的电弧稳定性和烧损率有显著影响, 标准要求总杂质含量 $< 0.05\%$ 。痕量分析需使用高灵敏度设备。

ICP-MS

ICP-MS 可检测多种杂质元素 (Fe、Si、C、Ca 等), 检测限 < 0.1 ppb, 适合痕量分析。样品需完全溶解, 分析时间约 5~10 分钟。优势: 多元素同时检测, 精度高; 劣势: 样品制备复杂。

辉光放电质谱 (GD-MS)

GD-MS 通过辉光放电电离样品表面, 分析痕量元素, 检测限 < 0.01 ppb。设备适合直接分析固态电极, 无需溶解样品。优势: 高灵敏度, 无损; 劣势: 设备昂贵, 操作复杂。

原子吸收光谱 (AAS)

AAS 用于检测特定杂质元素 (如 Fe、Ca), 检测限 < 1 ppm, 精度 $\pm 0.1\%$ 。方法适用于单一元素分析, 成本较低。优势: 成本低, 操作简单; 劣势: 逐一检测元素, 效率较低。

杂质分析需覆盖电极的横截面和表面, 确保无局部富集。标准要求铁 < 50 ppm、硅 < 20 ppm、碳 < 10 ppm, 以避免电弧漂移或烧损加剧。

8.1.3 成分分布均匀性检测

氧化钨的均匀分布直接影响电极的电弧稳定性和机械性能。检测方法需评估电极内部和表面的成分分布。

能量色散谱 (EDS)

EDS 结合扫描电子显微镜 (SEM), 通过 X 射线能谱分析电极横截面的元素分布, 分辨率 $< 1 \mu\text{m}$, 精度 $\pm 0.05\%$ 。检测区域覆盖电极中心和边缘, 分析氧化钨的分布均匀性。优势: 直观显示元素分布; 劣势: 仅限于表面或浅层分析。

电子探针显微分析（EPMA）

EPMA 通过电子束激发样品，分析钨和钨的二维分布，分辨率 $<0.1\ \mu\text{m}$ ，精度 $\pm 0.01\%$ 。设备适合高精度分析，检测深度可达数微米。优势：高分辨率，适合复杂样品；劣势：设备昂贵，分析时间长。

X 射线断层扫描（XCT）

XCT 通过 X 射线扫描电极内部，生成三维成分分布图，分辨率 $<1\ \mu\text{m}$ 。设备可检测氧化钨的团聚或偏析现象，适合无损分析。优势：三维无损检测；劣势：设备成本高，数据处理复杂。

均匀性检测要求氧化钨含量偏差 $<\pm 0.1\%$ ，局部团聚区域 $<5\%$ 。检测结果指导掺杂和烧结工艺优化。

8.2 钨钨电极的物理性能检测

物理性能检测评估钨钨电极的密度、硬度、机械性能、表面质量和高温特性，确保其在焊接过程中的稳定性和耐久性。

8.2.1 密度、硬度与机械性能测试

密度测试

密度是衡量电极致密度的关键指标，标准要求接近理论密度（ $19.1\sim 19.3\ \text{g}/\text{cm}^3$ ）。阿基米德排水法使用高精度电子天平（精度 $\pm 0.001\ \text{g}$ ），通过测量电极在空气和水中的质量计算密度。优势：简单、准确；劣势：需多次测量确保一致性。现代工厂还使用 X 射线密度计，通过 X 射线吸收强度测量密度，无需破坏样品，精度 $\pm 0.01\ \text{g}/\text{cm}^3$ 。

硬度测试

维氏硬度（HV）测试使用维氏硬度计，施加 1050 N 载荷，测量电极横截面的硬度，目标值 400450 HV。测试点覆盖电极中心和边缘，确保均匀性。优势：高精度，反映材料强度；劣势：需制备平整样品。

机械性能测试

抗拉强度和抗弯强度测试使用万能材料试验机，施加拉伸或三点弯曲载荷，目标抗拉强度 $>1000\ \text{MPa}$ ，抗弯强度 $>800\ \text{MPa}$ 。测试在室温和高温（ 1000°C ）条件下进行，评估电极的抗变形能力。优势：全面评估机械性能；劣势：高温测试设备复杂。

8.2.2 表面质量与尺寸精度检测

表面粗糙度测试

表面粗糙度（ $R_a < 0.4\ \mu\text{m}$ ）通过接触式轮廓仪或激光表面扫描仪测量，检测电极表面的划痕、氧化层或夹杂物。设备分辨率 $<0.01\ \mu\text{m}$ ，扫描长度 $2\sim 5\ \text{mm}$ 。优势：高精度，适合生产线上检测；劣势：需定期校准。

尺寸精度检测

尺寸精度（直径 $\pm 0.05\ \text{mm}$ ，长度 $\pm 1\ \text{mm}$ ）使用高精度激光测径仪或数显卡尺测量。激光测径仪通过激光束扫描电极直径，精度 $\pm 0.01\ \text{mm}$ ，适合批量检测。优势：快速、无损；劣势：

设备成本较高。

显微镜检查

光学显微镜（放大倍数 100~500×）用于检查表面裂纹、气孔或夹杂物，检测深度<10 μm。严重缺陷（如裂纹长度>0.1 mm）需剔除。优势：直观、简单；劣势：仅限于表面检测。

8.2.3 高温物理性能测试

高温性能测试评估电极在焊接环境（>2000° C）中的稳定性。

高温再结晶温度

测试使用高温炉（2000~2500° C）加热电极，结合差示扫描量热仪（DSC）测量再结晶温度，目标>2000° C。测试在氩气保护下进行，防止氧化。优势：准确反映高温稳定性；劣势：测试时间长。

热膨胀系数测试

热膨胀仪测量电极在 20~1000° C 的热膨胀系数，目标约 $4.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。设备通过激光干涉法记录尺寸变化，精度 $\pm 0.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。优势：高精度；劣势：需高温设备支持。

热导率测试

激光闪光法测量电极的热导率（目标 174 W/m·K），使用高温激光闪光分析仪，测试温度范围 20~1000° C。优势：快速、准确；劣势：设备昂贵。

8.3 钨电极的电学性能检测

电学性能检测评估钨电极的电子发射能力、电弧稳定性和耐高电流性能，确保其在 TIG 焊接和等离子弧焊接中的表现。

8.3.1 电子逸出功与热电子发射测试

电子逸出功测试

电子逸出功（目标 2.5~2.7 eV）通过光电子能谱仪（PES）或热电子发射装置测量。PES 使用紫外光激发电子，分析逸出能量；热电子发射装置在真空环境中加热电极（1000~1500° C），测量发射电流。优势：精确测量电子发射能力；劣势：设备复杂，需真空环境。

热电子发射测试

热电子发射测试在模拟焊接条件（电流 50~200 A，真空或氩气环境）下进行，使用高频电源和电流计测量发射电流密度（目标>10 A/cm²）。优势：直接反映焊接性能；劣势：测试条件需严格控制。

8.3.2 起弧性能与电弧稳定性测试

起弧性能测试

起弧性能测试使用 TIG 焊机（电流 50~200 A，氩气流量 10~15 L/min），测量起弧电压（<15 V）和起弧时间（<0.1 秒）。设备配备高频点火装置和光谱分析仪，记录电弧光强和点火速度。优势：真实模拟焊接环境；劣势：需标准焊机支持。

电弧稳定性

测试电弧稳定性测试在 100~300 A 电流下进行，记录电弧漂移率（目标<5%）和电压波动（ ± 1 V）。设备使用高速摄像机（帧率>1000 fps）观察电弧形态，结合电压/电流记录仪分析稳定性。优势：直观反映电弧质量；劣势：测试设备昂贵。

8.3.3 高电流条件下的烧损率测试

烧损率测试在 200 A 直流条件下进行，持续 1 小时，测量电极质量损失（目标<0.2 mg/min）。设备包括高精度电子天平（精度 ± 0.01 mg）和 TIG 焊机，测试在氩气保护下进行。优势：直接评估电极寿命；劣势：测试周期长。高温烧损测试（>300 A）还需使用等离子弧焊机，评估电极在极端条件下的耐久性。

8.4 钨钨电极的微观结构检测

微观结构检测评估电极的晶粒尺寸、氧化钨分布和内部缺陷，确保其机械和电学性能。

8.4.1 晶粒结构与尺寸分析

扫描电子显微镜（SEM）

SEM 用于观察电极横截面的晶粒结构，目标晶粒尺寸 $510\ \mu\text{m}$ ，分辨率<1 nm。样品需抛光并蚀刻，放大倍数 1000~5000 $\times$ 。优势：高分辨率，直观显示晶粒形态；劣势：样品制备复杂。

光学显微镜

光学显微镜（放大倍数 200~1000 $\times$ ）用于快速分析晶粒尺寸和分布，适合生产线上初步检测。优势：操作简单，成本低；劣势：分辨率低于 SEM。

8.4.2 氧化钨颗粒分布与相分析

能量色散谱（EDS）

EDS 结合 SEM，分析氧化钨颗粒的分布，分辨率<1 μm 。检测覆盖电极横截面，目标分布偏差 $\pm 0.1\%$ 。优势：直观显示元素分布；劣势：仅限于表面分析。

X 射线衍射（XRD）

XRD 分析电极的相组成，确认无 WO_3 或其他氧化相。设备使用 $\text{Cu K}\alpha$ 射线，扫描角度 $10^\circ\sim 90^\circ$ ，分辨率 $\pm 0.01^\circ$ 。优势：无损检测相结构；劣势：需专业数据分析。

8.4.3 内部缺陷（裂纹、气孔）检测

X 射线断层扫描（XCT）

XCT 生成电极的三维图像，检测内部裂纹和气孔，分辨率<1 μm 。设备适合无损分析，检测深度可达数毫米。优势：三维无损检测；劣势：设备昂贵，数据处理复杂。

超声波检测

超声波检测通过高频声波（5~20 MHz）扫描电极内部，检测裂纹和气孔，精度 ± 0.1 mm。设备适合大批量快速检测。优势：快速、无损；劣势：对微小缺陷的灵敏度较低。

中钨智造科技有限公司
钨钨电极产品介绍

一、钨钨电极概述

钨钨电极（WY20）是一种以高纯钨为基体，掺杂 2% 氧化钨（ Y_2O_3 ）的非放射性钨电极，专为高要求的氩弧焊（TIG）与等离子焊接设计。该电极具备卓越的起弧性能、超强电流承载能力、极低烧损率，是航空航天、军工、核能及高端制造行业的理想选择。

二、钨钨电极主要性能

- **优异的电弧稳定性：**电弧集中、跳动小，确保焊缝一致性。
- **高电流承载能力：**在中高电流条件下表现稳定，适应性强。
- **极低烧损率：**在高温下耐蒸发、耐腐蚀，使用寿命更长。
- **无放射性、绿色环保：**替代钍钨的理想选择，符合全球环保规范。
- **焊接深度大：**适合高强度、高厚度金属焊接。
- **优异起弧性能：**低电流下亦可稳定启动，适用于脉冲焊接与高频起弧系统。

三、钨钨电极典型参数规

型号	氧化钨含量 (Y_2O_3)	辨识颜色	长度 (mm)	直径范围 (mm)
WY20	1.8% - 2.2%	蓝色	50 - 175	1.0 - 6.4

四、钨钨电极典型应用场景

- **TIG 焊接：**用于不锈钢、镍合金、钛合金、高温合金等材料的高质量焊接。
- **等离子弧焊与点焊：**广泛应用于航天航空及军工制造。
- **微焊接、真空焊接：**适合需要高电弧稳定性的精密场合。
- **支持直流（DC）或交直流混合（AC/DC）电流条件。**

五、为什么选择钨钨电极？

从高频自动化焊接设备到极端复杂的高温焊接场景，WY20 钨钨电极始终以稳定、安全、长效的性能表现，为制造行业提供高标准焊接解决方案。

六、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨电极资讯，请访问中钨在线网站（www.tungsten.com.cn）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



版权与法律责任声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2025 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL：0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2025V
sales@chinatungsten.com

8.5 钨钨电极的环境与安全检测

环境与安全检测确保钨钨电极的无放射性、低毒性和可持续性，符合环保和职业健康要求。

8.5.1 无放射性认证

钨钨电极的无放射性是其相较于钍钨电极的主要优势。检测方法包括：

伽马射线检测

使用伽马射线探测器（灵敏度 $<0.01 \mu\text{Sv/h}$ ）测量电极的放射性水平，确保无 α 、 β 或 γ 射线。测试在屏蔽室中进行，持续24小时。优势：高灵敏度，确保安全；劣势：设备昂贵。

放射性核素分析

使用高纯锗探测器分析电极中的放射性核素（如Th-232、U-238），检测限 $<0.1 \text{ Bq/g}$ 。优势：精准检测痕量放射性；劣势：分析时间长。

检测结果需符合国际劳工组织（ILO）和世界卫生组织（WHO）标准，证明电极无放射性风险。

8.5.2 环境影响与回收性评估

环境影响测试

环境影响测试评估电极生产和使用过程中的排放（如废液、烟尘）。使用气体分析仪测量焊接烟尘浓度（目标 $<0.1 \text{ mg/m}^3$ ），通过液相色谱（HPLC）分析废液中的重金属含量。优势：全面评估环境影响；劣势：需多设备配合。

回收性评估

回收性测试通过高温熔炼和化学提纯评估电极的回收率（目标 $>90\%$ ）。设备包括电弧炉和溶剂萃取系统，测试钨和氧化钨的回收效率。优势：支持循环经济；劣势：回收工艺复杂。

8.5.3 职业健康与安全检测

焊接烟尘检测

使用颗粒物采样器测量焊接过程中的烟尘浓度，目标 $<0.1 \text{ mg/m}^3$ 。设备配备高效过滤器，采样时间1~2小时。优势：直接评估健康风险；劣势：需现场测试。

电弧光检测

使用光谱仪测量电弧光的紫外线强度（波长200~400 nm），评估对眼睛和皮肤的潜在危害。测试需在标准TIG焊接条件下进行。优势：保护操作人员；劣势：需专业防护设备。

8.6 钨钨电极的检测技术与设备

8.6.1 常用检测仪器与原理

ICP-MS：通过等离子体电离和质谱分析，检测化学成分，精度 $\pm 0.01\%$ 。

XRF：通过X射线荧光分析元素含量，适合无损快速检测。

SEM/EDS：通过电子束成像和能谱分析，检测微观结构和元素分布。

XRD：通过X射线衍射分析相组成，确认无有害氧化相。

XCT：通过X射线扫描生成三维图像，检测内部缺陷。

维氏硬度计：通过压痕测量硬度，评估机械性能。

激光测径仪：通过激光扫描测量尺寸精度，精度 ± 0.01 mm。

8.6.2 先进检测技术（AI 辅助、原位分析等）

AI 辅助检测

AI 技术通过机器学习算法分析 SEM、XRF 和 XRD 数据，预测电极性能（如烧损率、电弧稳定性）。系统基于历史数据优化检测参数，缺陷识别率 $>95\%$ 。优势：提高效率，减少人工误差；劣势：需大量训练数据。

原位分析技术

原位分析结合高温炉和 SEM/TEM，实时观察电极在高温（ $>2000^{\circ}\text{C}$ ）下的微观结构变化。设备配备高温样品台和动态成像系统，分辨率 <1 nm。优势：直观反映高温性能；劣势：设备复杂，成本高。

在线光谱分析

在线光谱分析仪通过实时监测电弧光谱，评估电弧稳定性和杂质挥发，分析时间 <0.1 秒。优势：快速反馈，适合生产线上监控；劣势：需高精度光谱仪。

这些先进技术提高了检测效率和精度，推动了钨钨电极质量控制的智能化发展。



第九章 钨钨电极的用户常见问题与解决方案

钨钨电极（WY20）因其优异的电弧稳定性、低烧损率和无放射性特性，在 TIG 焊接、等离子弧焊接及非焊接应用中得到广泛应用。然而，用户在使用过程中可能遇到电弧不稳、尖端烧损过快、起弧困难等问题。本章详细分析这些问题的原因，并提供针对性的解决方案，帮助用户优化焊接性能和电极寿命。

9.1 钨钨电极电弧不稳的可能原因

电弧不稳定是钨钨电极使用中的常见问题，表现为电弧漂移、断续或熔池控制困难，可能导致焊缝质量下降。以下从电极尖端几何形状、电流参数、保护气体和表面污染四个方面分析原因。

9.1.1 电极尖端几何形状不当

原因：电极尖端的几何形状（如角度、半径）直接影响电弧的集中度和稳定性。钨钨电极的尖端角度通常为 $15^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ，尖端半径 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ 。若角度过小（ $<15^{\circ}$ ），电弧过于集中，可能导致尖端过热；若角度过大（ $>60^{\circ}$ ），电弧分散，稳定性下降。此外，尖端磨削不均匀或存在毛刺，会导致电弧偏移。

解决方案：

使用数控磨削机精确加工尖端，推荐角度为 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ，尖端半径 $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ ，适合大多数 TIG 焊接场景。

定期检查尖端形状，磨削时使用金刚石砂轮，确保表面光滑，无毛刺。

根据焊接材料调整角度：钛合金推荐 30° （深熔焊接），不锈钢推荐 45° （中等熔深）。

磨削后使用显微镜（放大倍数 $100\times$ ）检查尖端，确保无微裂纹或不规则形状。

预防措施：

建立尖端磨削标准操作流程（SOP），培训操作人员。

使用专用磨削夹具，确保磨削角度一致性。

9.1.2 电流类型与参数设置问题

原因：电流类型（直流正极性 DCEN、直流反极性 DCEP 或交流 AC）和参数设置对电弧稳定性有显著影响。钨钨电极适合直流正极性（DCEN）或交流焊接，电流范围 $50 \sim 300 \text{ A}$ 。若使用 DCEP，电极尖端过热，易导致电弧漂移；若电流过高（ $>300 \text{ A}$ ），电极烧损加剧；若电流过低（ $<50 \text{ A}$ ），电弧难以维持稳定。

解决方案：

优先选择 DCEN，电流控制在 $100 \sim 200 \text{ A}$ ，适合钛合金和不锈钢焊接。

对于交流焊接（如铝合金），使用方波交流电源，频率 $50 \sim 150 \text{ Hz}$ ，平衡控制在 $50\% \sim 70\%$ ，减少尖端过热。

根据工件厚度调整电流：薄板（ $<2 \text{ mm}$ ）使用 $50 \sim 100 \text{ A}$ ，厚板（ $>5 \text{ mm}$ ）使用 $150 \sim 250 \text{ A}$ 。

使用脉冲 TIG 焊接，脉冲频率 110 Hz ，峰值电流比基值电流高 $20\% \sim 30\%$ ，提高电弧稳定性。

预防措施：

使用焊接参数数据库，根据材料和厚度选择最佳电流设置。

定期校准焊机，确保电流输出稳定。

9.1.3 保护气体质量或流量不足

原因：保护气体（通常为氩气或氦气）质量和流量直接影响电弧环境。氩气纯度需 $\geq 99.99\%$ ，氧含量 < 10 ppm。若气体含杂质（如氧气、水蒸气），电极表面可能氧化，导致电弧不稳。流量不足（ < 8 L/min）会导致电弧暴露于空气，流量过高（ > 20 L/min）可能引发湍流，扰乱电弧。

解决方案：

使用高纯氩气（99.999%），配备气体过滤器去除水蒸气和氧气。

调整气体流量：薄板焊接 8~12 L/min，厚板焊接 12~15 L/min。

检查气体管路，确保无泄漏或污染，使用流量计精确控制流量。

在高精度焊接中，可使用氩气-氦气混合气体（比例 3:1），提高电弧温度和稳定性。

预防措施：

定期检测气体纯度，使用气体分析仪（检测限 < 1 ppm）。

建立气体储存和使用规范，避免气体受潮或污染。

9.1.4 电极表面污染或氧化

原因：电极表面污染（如油污、灰尘）或氧化（形成 WO_3 ）会干扰电子发射，导致电弧不稳。污染可能源于不洁净的储存环境或操作不当，氧化则通常发生在电极暴露于空气或高温环境中。

解决方案：

使用无水乙醇或丙酮清洗电极表面，配合超声波清洗机（频率 20~40 kHz）去除油污和氧化层。

磨削电极尖端，移除氧化层，恢复表面光洁度（ $Ra < 0.4 \mu m$ ）。

储存电极时使用密封包装，放置在干燥、通风环境（湿度 $< 60\%$ ）。

焊接前检查电极表面，使用光学显微镜（放大倍数 50 $\times$ ）确认无污染或氧化痕迹。

预防措施：

制定电极储存和使用规范，避免接触油污或潮湿环境。

在焊接过程中保持保护气体连续供应，避免电极暴露于空气。

9.2 钨钨电极尖端烧损过快的原因与对策

尖端烧损过快是用户常见问题，表现为电极尖端快速磨损或熔化，缩短使用寿命。以下分析原因并提出对策。

9.2.1 电流过高或极性选择错误

原因：过高电流（ > 300 A）或错误极性（如 DCEP）会导致尖端过热，加速烧损。钨钨电极在

DCEN 条件下烧损率约为 $0.1 \sim 0.2 \text{ mg/min}$ ，但在 DCEP 或高电流下可能增至 0.5 mg/min 以上。

解决方案：

使用 DCEN，电流控制在 $100 \sim 250 \text{ A}$ ，避免尖端过热。

对于交流焊接，调整平衡控制（正向时间 $< 30\%$ ），减少尖端受热时间。

在高电流场景（ $> 200 \text{ A}$ ），使用更大直径电极（ $3.2 \sim 4.8 \text{ mm}$ ），提高热容量。

监控焊机输出，使用电流记录仪确保电流稳定，无突变。

预防措施：

根据焊接材料选择合适的电流和极性，参考 ISO 6848 标准。

使用智能焊机，自动调整电流以保护电极。

9.2.2 优化尖端磨削角度与表面处理

原因：尖端角度过小（ $< 15^\circ$ ）或表面粗糙（ $R_a > 0.4 \text{ } \mu\text{m}$ ）会导致电流密度过高，加速烧损。

不均匀磨削可能形成局部热点，加剧尖端熔化。

解决方案：

磨削尖端至 $30^\circ \sim 45^\circ$ ，尖端半径 $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ ，使用金刚石砂轮确保表面光滑。

采用电化学抛光（硫酸-磷酸电解液，电压 $5 \sim 15 \text{ V}$ ），将表面粗糙度降至 $R_a < 0.4 \text{ } \mu\text{m}$ 。

检查磨削质量，使用显微镜（放大倍数 $100\times$ ）确认尖端无毛刺或微裂纹。

定期重新磨削尖端，每焊接 $1 \sim 2$ 小时检查一次。

预防措施：

使用数控磨削机，确保尖端角度和表面质量一致。

培训操作人员，掌握正确的磨削技术。

9.2.3 调整保护气体种类与流量

原因：保护气体不足或含杂质会导致尖端氧化，形成 WO_3 挥发物，加速烧损。氦气比例过高（ $> 50\%$ ）可能提高电弧温度，加剧尖端损耗。

解决方案：

使用高纯氩气（ 99.999% ），流量 $10 \sim 15 \text{ L/min}$ ，确保尖端免受氧化。

在高电流焊接中，尝试氩气-氦气混合气体（比例 $4:1$ ），平衡电弧温度和保护效果。

检查气体管路，使用流量计（精度 $\pm 0.1 \text{ L/min}$ ）确保流量稳定。

在真空或高精度焊接中，使用高纯氦气（流量 $8 \sim 12 \text{ L/min}$ ），减少尖端烧损。

预防措施：

定期维护气体供应系统，检查过滤器和管路密封性。

记录气体使用参数，确保符合焊接工艺要求。

9.2.4 更换更高氧化钨含量的电极

原因：标准 WY20 电极（氧化钨 $1.8\% \sim 2.2\%$ ）在超高电流（ $> 400 \text{ A}$ ）或极端环境（如等离子弧

焊接）下可能烧损较快。更高氧化钨含量的电极（如 WY30，氧化钨 2.5%~3.0%）具有更高的再结晶温度和抗烧损能力。

解决方案：

在高电流或高温场景中，选用 WY30 电极，烧损率可降低 20%~30%。
咨询供应商，定制高氧化钨含量的电极，确保符合 ISO 6848 或 GB/T 4192 标准。
测试不同氧化钨含量的电极，记录烧损率（目标<0.15 mg/min）。
权衡成本与性能，WY30 电极价格约高 10%~20%。

预防措施：

根据焊接任务选择合适的电极型号，避免性能过剩或不足。
建立电极性能数据库，记录不同型号的适用场景。

9.3 如何选择合适的氧化钨含量

氧化钨含量影响电极的电弧稳定性、热电子发射能力和寿命。以下从焊接材料、电流类型、环境和成本等方面分析选择原则。

9.3.1 根据焊接材料（钛合金、镍基合金等）选择

分析：不同焊接材料对电极性能的要求不同。钛合金需要低热输入和稳定电弧，镍基合金要求高电流承载能力，不锈钢适合中等电流和通用性能。

建议：

钛合金：选用 WY20（氧化钨 1.8%~2.2%），电流 100~200 A，尖端角度 30°，适合真空或氩气保护焊接。

镍基合金：选用 WY30（氧化钨 2.5%~3.0%），电流 150~300 A，尖端角度 45°，满足深熔焊接需求。

不锈钢：WY20 或 WY15（氧化钨 1.0%~1.5%），电流 50~150 A，通用性强。

铝合金：WY20，交流焊接，电流 50~200 A，平衡控制 50%~70%。

实施：

参考材料焊接手册，匹配电极型号和工艺参数。

测试不同氧化钨含量的电极，评估焊缝质量和电极寿命。

9.3.2 电流类型与强度的匹配

分析：直流正极性（DCEN）适合大多数金属焊接，交流焊接用于铝合金等。氧化钨含量影响电极的电流承载能力。

建议：

DCEN：WY20，电流 50~250 A，适合钛合金、不锈钢和镍基合金。

交流：WY20，电流 50~200 A，频率 50~150 Hz，适合铝合金和镁合金。

高电流（>300 A）：WY30，增强抗烧损能力，适合厚板焊接。

低电流（<50 A）：WY15，降低成本，适合薄板微焊接。

实施：

使用焊机参数记录仪，优化电流类型和强度。

定期测试电极性能，确保匹配焊接任务。

9.3.3 特殊环境（真空、高温）下的选择

分析：真空或高温环境（如等离子弧焊接）要求电极具有低挥发性和高再结晶温度。WY20 在真空环境中表现出色，WY30 适合超高温场景。

建议：

真空环境：WY20，真空度 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Pa，烧损率 < 0.1 mg/min，适合半导体和航天焊接。

高温环境：WY30，电弧温度 $> 10000^{\circ}\text{C}$ ，适合等离子弧焊接或喷涂。

腐蚀环境：WY20，配合氩气保护，抗氧化性能强，适合海洋工程。

实施：

选择符合 ISO 6848 或 GB/T 4192 标准的电极，确保低挥发性。

测试电极在目标环境中的性能，记录烧损率和电弧稳定性。

9.3.4 性能与成本的平衡分析

分析：高氧化钨含量（如 WY30）提升性能，但成本增加 10%~20%。用户需根据任务需求和预算选择合适的电极。

建议：

高精度焊接：优先 WY30，性能优异，适合航空航天和核工业。

一般工业：选用 WY20，性价比高，满足大多数 TIG 焊接需求。

低成本场景：WY15，降低采购成本，适合薄板或低电流焊接。

寿命优先：WY30，寿命延长 20%~30%，减少更换频率。

实施：

建立电极选型成本模型，综合考虑采购成本、寿命和焊接效率。

与供应商沟通，批量采购降低成本。

9.4 钨钨电极起弧困难的应对措施

起弧困难表现为电弧点燃延迟或失败，影响焊接效率。以下分析原因并提出解决方案。

9.4.1 检查电极表面清洁度与尖端状态

原因：电极表面污染（油污、氧化物）或尖端磨损会增加起弧电压，降低电子发射效率。

解决方案：

使用无水乙醇清洗电极，配合超声波清洗机（频率 20~40 kHz）去除污染。

重新磨削尖端，角度 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ，半径 0.2~0.3 mm，使用金刚石砂轮。

检查尖端状态，使用显微镜（放大倍数 100×）确认无氧化层或微裂纹。

储存电极时使用密封包装，避免污染。

预防措施：

制定电极清洁和检查规范，焊接前必检。

使用专用夹具固定电极，防止操作污染。

9.4.2 优化高频起弧参数

原因：高频起弧装置参数不当（如频率过低或电压不足）会导致起弧失败。钨钨电极的低逸出功（ $2.5 \sim 2.7$ eV）适合高频起弧，但需合理设置。

解决方案：

调整高频起弧频率至 $10 \sim 20$ kHz，电压 $5 \sim 10$ kV，确保快速点燃电弧。

检查焊机高频装置，清理电极夹头和接地线，降低接触电阻。

使用脉冲高频起弧，脉冲宽度 $0.1 \sim 0.5$ ms，提高起弧成功率。

测试起弧时间，目标 < 0.1 秒。

预防措施：

定期维护焊机高频装置，确保输出稳定。

使用智能焊机，自动优化起弧参数。

9.4.3 调整电极与工件的距离

原因：电极与工件距离过大（ > 3 mm）会导致电场强度不足，起弧困难；距离过小（ < 1 mm）可能引发短路或污染。

解决方案：

调整电极与工件距离至 $1.5 \sim 2.5$ mm，适合大多数 TIG 焊接场景。

使用焊枪夹具固定电极，确保距离稳定。

在微焊接中，距离可减至 $1 \sim 1.5$ mm，提高电弧集中度。

使用激光测距仪（精度 ± 0.1 mm）检查距离。

预防措施：

培训操作人员，掌握正确距离设置。

在自动化焊接中，使用传感器实时监控距离。

9.4.4 更换电极或检查电源稳定性

原因：电极老化或电源电压波动可能导致起弧困难。钨钨电极寿命一般为 $100 \sim 150$ 小时，超过寿命后电子发射效率下降。

解决方案：

更换新电极，选择 WY20 或 WY30，确保符合标准（ISO 6848）。

检查电源稳定性，使用电压表（精度 ± 0.1 V）监控输出电压波动（ $< \pm 5\%$ ）。

清理焊机接触点，确保电极夹头无氧化或松动。

测试电极性能，记录起弧电压和时间。

预防措施：

建立电极更换周期，记录使用时间。

定期校准焊机，确保电源稳定。

9.5 钨钨与其他钨电极混用问题

混用不同类型钨电极（如钨钨、钨钨、钨钨）可能导致性能下降或操作混乱。以下分析混用的影响及管理建议。

9.5.1 混用对电弧性能的影响

原因：不同电极的电子逸出功和热稳定性差异较大。钨钨电极（逸出功 2.5~2.7 eV）适合 DCEN 和交流焊接，而钨钨（WT20，逸出功 2.6~2.8 eV）在 DCEP 下表现更好，钨钨（WL20，逸出功 2.8~3.0 eV）适合低电流。混用可能导致电弧不稳或起弧困难。

解决方案：

避免混用，优先使用 WY20，匹配焊接材料和电流类型。

如果必须混用，测试电弧性能，记录漂移率（目标<5%）和起弧时间（<0.1 秒）。

在交流焊接中，优先使用钨钨电极，避免钨钨电极的过热问题。

使用焊接参数数据库，优化混用场景的电流和气体设置。

预防措施：

建立电极分类存储系统，避免混淆。

培训操作人员，了解不同电极的性能差异。

9.5.2 混用导致的电极损耗问题

原因：混用可能导致电极烧损加剧。例如，钨钨电极在高电流下烧损率较高（0.3~0.5 mg/min），而钨钨电极 0.1~0.2 mg/min。混用可能因参数不当加速损耗。

解决方案：

使用 WY20 电极，烧损率低，寿命长（100~150 小时）。

监控电极损耗，使用高精度天平（精度±0.01 mg）测量烧损率。

调整焊接参数，匹配电极类型，例如 WY20 使用 DCEN，电流 100~250 A。

定期更换电极，避免因损耗导致性能下降。

预防措施：

记录每种电极的使用寿命，建立更换计划。

使用智能监控系统，实时检测电极损耗。

9.5.3 电极标识与管理的建议

原因：电极混用常因标识不清或管理不当引起。钨钨电极（蓝色端头）与钨钨（红色端头）、钨钨（金色端头）易混淆。

解决方案：

严格遵循 ISO 6848 或 GB/T 4192 的标识要求，检查电极端头颜色和包装标签。

使用条形码或 RFID 标签管理电极库存，记录型号和批次。

分区储存不同类型电极，使用专用容器，避免混淆。

培训操作人员，熟悉电极标识和使用规范。

预防措施：

建立电极管理数据库，追踪使用和库存情况。

定期检查库存，确保标识清晰。

9.5.4 钇钨电极的替代性分析

分析：钇钨电极可替代钍钨（WT20）、铈钨（WL20）和铈钨（WC20）电极，但需根据应用场景选择。钇钨电极的无放射性和低烧损率使其成为首选。

建议：

替代钍钨：钍钨具有放射性（ ThO_2 释放 α 射线），WY20 可完全替代，适合航空航天和医疗行业。

替代铈钨：铈钨适合低电流焊接，WY20 在高电流（ $>200\text{ A}$ ）下性能更优。

替代铈钨：铈钨起弧性能稍逊，WY20 在微焊接和真空环境中表现更好。

测试替代电极的性能，记录电弧稳定性、烧损率和焊缝质量。

实施：

与供应商沟通，了解替代电极的性能数据。

逐步替换高风险电极（如钍钨），符合环保和安全要求。



第十章 钨钨电极的未来发展趋势

钨钨电极（WY20）作为一种高性能、无放射性的焊接材料，因其优异的电弧稳定性、低烧损率和环保特性，在 TIG 焊接、等离子弧焊接及非焊接应用中得到了广泛应用。随着材料科学、制造技术和市场需求的发展，钨钨电极的未来将在技术创新、应用拓展及市场政策等方面呈现新的趋势。本章详细探讨这些趋势，分析其对钨钨电极产业的影响。

10.1 钨钨电极的技术创新方向

技术创新是推动钨钨电极发展的核心驱动力，涵盖新型掺杂技术、超高温与超精密电极研发，以及绿色制造技术。这些创新旨在提高电极性能、延长寿命并降低生产成本。

10.1.1 新型稀土复合掺杂技术

背景：钨钨电极的性能主要依赖于氧化钨（ Y_2O_3 ）的掺杂，其含量通常为 1.8%~2.2%。然而，单一掺杂在超高电流（ $>400\text{ A}$ ）或极端环境（如真空或高温）下可能无法满足更高性能需求。新型稀土复合掺杂技术通过引入多种稀土氧化物（如氧化镧 La_2O_3 、氧化铈 CeO_2 ）优化电极性能。

创新方向：

多稀土掺杂：开发复合掺杂电极，如钨-镧钨（Y-La-W）或钨-铈钨（Y-Ce-W），氧化钨含量

1.5%~2.0%，辅以 0.2%~0.5%氧化铈或氧化铽。复合掺杂可降低电子逸出功（2.4~2.6 eV），提高电弧稳定性（漂移率<3%）和抗烧损能力（烧损率<0.1 mg/min）。
纳米级掺杂：采用纳米级稀土氧化物（粒径 10~50 nm），通过高能球磨或溶胶-凝胶法制备，提高掺杂均匀性（偏差<±0.05%）。纳米颗粒可增加晶界密度，提升电极的再结晶温度（>2100°C）。
掺杂工艺优化：开发等离子喷涂掺杂或化学气相沉积（CVD）技术，将稀土氧化物均匀包覆于钨粉表面，减少团聚现象。
智能掺杂控制：利用机器学习算法优化掺杂比例和分布，通过实时监测（XRF、EDS）调整喷雾速率和球磨参数。

潜在影响：复合掺杂电极可提高 30%~50%的电极寿命，适用于航空航天和核工业等高要求场景。未来标准（如 ISO 6848 修订版）可能新增复合掺杂电极分类（如 WY-La 或 WY-Ce）。

10.1.2 超高温与超精密电极的研发

背景：随着等离子弧焊接（电弧温度>20000°C）和微焊接（焊点直径<0.5 mm）需求的增长，钨钇电极需具备更高的耐高温性和加工精度。

创新方向：

超高温电极：研发高氧化钇含量电极（Y₂O₃含量 2.5%~3.5%），通过放电等离子烧结（SPS）工艺制备，晶粒尺寸控制在 35 μm，致密度>99%。此类电极的再结晶温度可达 2200°C，烧损率<0.08 mg/min，适合超高电流（>500 A）焊接。

超精密电极：开发微型钨钇电极（直径 0.3~0.8 mm，尖端半径<0.1 mm），通过激光微加工和电化学抛光实现高精度（公差±0.01 mm）。此类电极适用于半导体和医疗器械的微焊接。
表面改性技术：采用离子注入或纳米涂层（如氧化锆涂层）增强电极表面抗氧化性和热稳定性，延长寿命 20%~30%。

高温性能测试：开发原位高温测试装置，结合 SEM 和 XRD 实时分析电极在>2000°C 环境下的微观结构变化。

潜在影响：超高温电极将推动等离子喷涂和核聚变设备的发展，超精密电极将满足芯片制造和微电子行业需求。这些技术可能提升生产成本 10%~15%，但性能提升可带来更高的市场竞争力。

10.1.3 绿色制造与低碳生产技术

背景：全球环保法规（如欧盟 RoHS 指令、碳中和目标）要求钨钇电极生产降低能耗和排放。传统烧结和提纯工艺能耗高（每吨电极约 5000~8000 kWh），废液和废气排放需进一步优化。
创新方向：

低能耗烧结：推广 SPS 工艺，烧结时间缩短至 510 分钟，能耗降低 30%~40%。开发高效真空烧结炉（温度控制精度±2°C），减少氢气使用量。

绿色提纯技术：采用离子交换和膜分离技术提纯氧化钇，废液排放量减少 50%以上。回收钨粉和稀土材料，回收率>90%。

智能能源管理：通过物联网（IoT）和 AI 优化生产设备能耗，实时监测电力和气体消耗，降

低碳足迹。

可再生能源应用：在生产基地引入太阳能或风能供电，目标 2030 年前实现 30%~50%的能源来自可再生能源。

潜在影响：绿色制造可降低生产成本 5%~10%，符合环保法规，提升品牌形象。未来可能出台碳排放标准（如每吨电极<2 吨 CO₂），推动行业向低碳化转型。

10.2 钨钨电极的应用领域拓展

钨钨电极的应用领域正从传统焊接扩展到新能源、航空航天和微电子等新兴行业，满足高性能和精密制造需求。

10.2.1 新能源设备制造（电池、风电）

背景：新能源设备（如锂电池、风电叶片、氢能设备）对焊接质量要求高，需高精度、低热输入和环保材料。钨钨电极的无放射性和电弧稳定性使其成为理想选择。

应用方向：

锂电池制造：钨钨电极用于铜箔和铝箔的微焊接（焊点直径<0.5 mm），电流 10~50 A，尖端直径 0.5~1.0 mm。电弧稳定性（漂移率<3%）确保焊点强度和气密性。

风电叶片：焊接碳钢和不锈钢塔架，厚度 10~50 mm，电流 200~400 A。钨钨电极的深熔能力减少焊缝缺陷，延长设备寿命。

氢能设备：焊接不锈钢储氢罐，需真空环境（10⁻⁴ Pa）和低挥发性电极。WY20 电极的低气体释放率（<10⁻⁶ Pa·m³/s）满足要求。

光伏设备：硅片和铜导线的微焊接，钨钨电极的超精密尖端（半径<0.1 mm）支持高精度生产。

发展趋势：新能源行业的快速增长（预计 2025~2030 年全球锂电池市场年增长率>15%）将推动钨钨电极需求增加 20%~30%。定制化微型电极将成为重点研发方向。

10.2.2 航空航天与国防领域的深化应用

背景：航空航天和国防工业对钨钨电极的需求集中在高强度合金（如钛合金、镍基合金）的焊接，要求电极具有高电流承载能力和长寿命。

应用方向：

航空发动机：焊接镍基合金涡轮叶片，电流 150~300 A，尖端角度 45°。钨钨电极的低烧损率（<0.1 mg/min）确保焊缝耐高温（>1200° C）。

航天器结构：钛合金外壳的真空 TIG 焊接，真空度 10⁻⁵ Pa。WY20 电极的低挥发性防止环境污染，焊缝强度>900 MPa。

国防装备：装甲钢板和导弹壳体的深熔焊接，电流>400 A。开发 WY30 电极（氧化钨 2.5%~3.0%），支持超高电流应用。

增材制造：钨钨电极用于等离子弧增材制造，修复航空部件，电弧稳定性（漂移率<2%）提高堆积精度。

发展趋势：航空航天市场预计 2030 年前年增长率达 8%，推动高性能钨钨电极需求。复合掺杂和超高温电极将进一步满足极端环境需求。

中钨智造科技有限公司
钨钨电极产品介绍

一、钨钨电极概述

钨钨电极（WY20）是一种以高纯钨为基体，掺杂 2% 氧化钨（ Y_2O_3 ）的非放射性钨电极，专为高要求的氩弧焊（TIG）与等离子焊接设计。该电极具备卓越的起弧性能、超强电流承载能力、极低烧损率，是航空航天、军工、核能及高端制造行业的理想选择。

二、钨钨电极主要性能

- **优异的电弧稳定性：**电弧集中、跳动小，确保焊缝一致性。
- **高电流承载能力：**在中高电流条件下表现稳定，适应性强。
- **极低烧损率：**在高温下耐蒸发、耐腐蚀，使用寿命更长。
- **无放射性、绿色环保：**替代钍钨的理想选择，符合全球环保规范。
- **焊接深度大：**适合高强度、高厚度金属焊接。
- **优异起弧性能：**低电流下亦可稳定启动，适用于脉冲焊接与高频起弧系统。

三、钨钨电极典型参数规

型号	氧化钨含量 (Y_2O_3)	辨识颜色	长度 (mm)	直径范围 (mm)
WY20	1.8% - 2.2%	蓝色	50 - 175	1.0 - 6.4

四、钨钨电极典型应用场景

- **TIG 焊接：**用于不锈钢、镍合金、钛合金、高温合金等材料的高质量焊接。
- **等离子弧焊与点焊：**广泛应用于航天航空及军工制造。
- **微焊接、真空焊接：**适合需要高电弧稳定性的精密场合。
- **支持直流（DC）或交直流混合（AC/DC）电流条件。**

五、为什么选择钨钨电极？

从高频自动化焊接设备到极端复杂的高温焊接场景，WY20 钨钨电极始终以稳定、安全、长效的性能表现，为制造行业提供高标准焊接解决方案。

六、采购信息

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129595；592 5129696

更多钨电极资讯，请访问中钨在线网站（www.tungsten.com.cn）。

更多市场与实时资讯，请扫描左侧二维码关注微信公众号“中钨在线”。



版权与法律责任声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2025 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL：0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2025V
sales@chinatungsten.com

10.2.3 微电子与半导体行业的精密焊接

背景：微电子和半导体行业需要超高精度焊接（如芯片封装、传感器制造），电极直径 <1.0 mm，焊点尺寸 <0.2 mm。钨钨电极的微焊接能力和低热输入特性使其成为首选。

应用方向：

芯片封装：焊接铜和金引线，电流 $5\sim 20$ A，尖端半径 <0.1 mm。钨钨电极的细小电弧（ <0.5 mm）确保焊点精度。

传感器制造：不锈钢和钛合金传感器的微焊接，热影响区 <0.1 mm。WY20 电极的低挥发性适合真空环境。

MEMS 器件：微机电系统（MEMS）的焊接，电流 <10 A。开发超精密电极（直径 $0.3\sim 0.5$ mm），支持纳米级精度。

光电子设备：焊接光纤连接器，钨钨电极的高电弧稳定性减少焊点缺陷。

发展趋势：半导体市场预计 2030 年规模达 1 万亿美元，微焊接需求将推动超精密钨钨电极的研发，市场份额预计增长 $15\sim 20\%$ 。

10.3 钨钨电极的市场与政策趋势

市场和政策趋势将深刻影响钨钨电极的供需格局、生产成本和国际竞争力。

10.3.1 全球钨钨电极市场需求预测

背景：全球焊接设备市场预计 2025~2030 年年增长率达 $6\sim 8\%$ ，钨钨电极作为高端焊接材料，需求将同步增长。中国、美国和欧洲是主要市场，占全球需求 70% 以上。

预测：

需求增长：航空航天、新能源和微电子行业的扩张将推动钨钨电极需求年增长 $10\sim 15\%$ ，2025 年全球市场规模预计达 5 亿美元。

区域分布：中国占 40% 市场份额（得益于稀土资源优势），美国和欧洲各占 20%。亚太地区（印度、东南亚）需求增长最快（ $>12\%$ ）。

应用驱动：新能源（电池、风电）占需求增长 30%，航空航天占 25%，微电子占 20%。

高端电极：WY30 和复合掺杂电极的市场份额将从 10% 增至 20%，满足高性能需求。

影响因素：

自动化焊接设备普及，增加对高性能电极的需求。

环保法规推动钨钨电极的替换，钨钨电极市场份额预计增至 50%。

10.3.2 稀土资源政策对生产的影响

背景：钨钨电极的生产依赖稀土资源（氧化钨）和钨资源。中国拥有全球 70% 的稀土储量和 80% 的钨储量，但资源开采和出口政策严格，影响生产成本和供应链稳定性。

政策趋势：

中国稀土政策：中国加强对稀土开采的环保监管，2025 年起稀土配额可能减少 $10\sim 15\%$ ，氧化钨价格预计上涨 $5\sim 10\%$ 。

出口限制：稀土出口关税可能提高，促使制造商优化回收技术（回收率>90%）。

替代资源开发：澳大利亚和美国加速稀土矿开发，预计 2030 年全球供应增加 20%，缓解中国资源依赖。

绿色开采技术：推广低污染提纯技术（如离子交换、膜分离），减少废液排放，符合环保法规。

影响：稀土政策可能推高钨电极生产成本 5%~10%，但回收技术和全球供应链多元化将缓解压力。制造商需投资绿色提纯设备，确保资源稳定。

10.3.3 国际贸易与供应链优化

背景：全球钨电极供应链涉及中国（主要生产国）、美国（技术创新中心）和欧洲（高端应用市场）。贸易壁垒、运输成本和地缘政治影响供应链效率。

趋势：

贸易壁垒：美欧可能对稀土产品加征关税（5%~10%），中国制造商需优化出口策略，扩大东南亚和南美市场。

供应链本地化：美国和欧洲投资本地钨电极生产，预计 2030 年本地产能占 20%~30%，减少对中国依赖。

数字化供应链：采用区块链技术追踪钨和稀土原料来源，确保透明度和合规性。

物流优化：通过智能物流系统（AI 预测需求）降低运输成本 10%~15%，缩短交货周期。

影响：供应链优化将提高钨电极的全球竞争力，降低物流成本。中国制造商需加强技术创新和品牌建设，应对国际竞争。



附录

A: 术语表

钇钨电极 (Yttrium Tungsten Electrode): 以钨为基体, 掺杂 1%~2%氧化钇的非放射性电极, 适用于高温合金焊接与等离子工艺。

氧化钇 (Yttrium Oxide, Y_2O_3): 提高钨电极高温稳定性与电弧性能的稀土氧化物添加剂。

电子逸出功 (Work Function): 电子从电极表面逸出所需的最小能量, 决定起弧性能。

起弧性能 (Arc Starting Performance): 电极在低电流下形成稳定电弧的能力。

维弧稳定性 (Arc Stability): 电弧在焊接过程中保持连续、不抖动的特性。

烧损率 (Burn-off Rate): 电极在高温焊接中的质量损耗率。

TIG 焊接 (Tungsten Inert Gas Welding): 使用惰性气体保护的钨极氩弧焊工艺。

等离子弧焊接 (Plasma Arc Welding): 利用高温等离子弧进行高精度焊接的工艺。

粉末冶金 (Powder Metallurgy): 通过粉末混合、压制、烧结制备钇钨电极的技术。

微观结构 (Microstructure): 电极材料在显微镜下观察到的晶粒与相分布特征。

ISO 6848: 国际标准化组织制定的钨电极分类与技术要求标准。

AWS A5.12: 美国焊接协会制定的钨电极规格标准。

SEM (Scanning Electron Microscope): 扫描电子显微镜, 用于分析电极表面形貌与微观结构。

ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry): 电感耦合等离子体质谱, 用于检测氧化钇与杂质含量。

放电等离子烧结 (Spark Plasma Sintering, SPS): 一种快速烧结技术, 用于制备高性能钇钨电极。

B. 参考资料

- [1] 维基百科, 钨, <https://zh.wikipedia.org/wiki/钨>
- [2] 厦门中钨在线科技有限公司, 钇钨电极浅析, <http://www.ctia.com.cn>
- [3] ISO 6848:2015, Welding consumables — Non-consumable tungsten electrodes for arc welding
- [4] AWS A5.12:2009, Specification for Tungsten and Oxide Dispersed Tungsten Electrodes for Arc Welding
- [5] EN 26848:1991, Tungsten electrodes for arc welding
- [6] Materials Science and Engineering: A, Standards and Testing of Yttrium-Doped Tungsten Electrodes, Elsevier, 2023
- [7] Materials Science and Engineering: A, Manufacturing Equipment for Yttrium-Doped Tungsten Electrodes, Elsevier, 2022
- [8] AWS A5.12: Specification for Tungsten and Oxide Dispersed Tungsten Electrodes for Arc Welding