

国家标准《钨合金切割丝》编制说明

（送审稿）

一、工作简况

（一）任务来源

1.1 任务来源

根据 2025 年 10 月 5 日，国家标准化管理委员会《关于下达 2025 年第九批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2025〕52 号）的要求，国家标准《钨合金切割丝》编制项目由全国有色金属标准化技术委员会归口，计划编号：20255006-T-610，项目周期为 18 个月，完成时间为 2027 年 4 月，由厦门虹鹭钨钼工业有限公司、赣州虹飞钨钼材料有限公司、杨凌美畅新材料股份有限公司、江苏聚成金刚石科技有限公司等负责起草。

1.2 项目编制组单位变化情况

为保证标准的全面性及准确性，加入了青岛高测科技股份有限公司、张家口原轼新型材料股份有限公司、长沙岱勒新材料科技股份有限公司、浙江新瑞昕科技股份有限公司等用户企业，为标准研制提供了用户需求、产品检验要求及产品适用性评价要求；加入了成都长城钨钼新材料有限责任公司、赣州海盛钨业股份有限公司、崇义章源钨业股份有限公司等生产企业，为标准研制提供各自企业产品生产情况。另外，江苏聚成金刚石科技有限公司因公司改制，公司名称变更为江苏聚成金刚石科技股份有限公司。

调整后的编制组由以下单位构成：厦门虹鹭钨钼工业有限公司、赣州虹飞钨钼材料有限公司、杨凌美畅新材料股份有限公司、江苏聚成金刚石科技股份有限公司、青岛高测科技股份有限公司、张家口原轼新型材料股份有限公司、长沙岱勒新材料科技股份有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、赣州海盛钨业股份有限公司、崇义章源钨业股份有限公司、浙江新瑞昕科技股份有限公司。

（二）项目背景

金刚石线锯（简称金刚线）是将金刚石磨粒固定在金属母线上制造而成的一种具有金刚石微型锯齿的切割工具，主要应用于光伏晶硅、半导体材料、磁性材料、陶瓷材料等硬面材料的切割。传统金刚线母线主要是高碳钢丝，但制备高碳钢丝的原材料被国外垄断，是一种依赖进口的“卡脖子”材料。另外受碳钢自身材质特性的限制，高碳钢丝不能满足光伏晶硅切割对金刚线母线日益提高的性能要求，关键难点在于：（1）母线强度难以进一步提升：为保证硅片的切割厚度和表面质量，对金刚线的强度要求也随之提高。同时为提高切割的效率，对金刚线的强度也有迫切提升的需求，而金刚线碳钢母线受其材质特性和强化机理的局限，抗拉强度一直未能突破 5300 MPa 的技术瓶颈。（2）产品直径难以进一步细线化：光伏晶硅切割行业为了降低切割损耗，产出更多的硅片，“细线化”是永恒的主题。但因为高碳钢自身的杂质含量高，目前碳钢金刚线母线已接近极限直径，进一步细线化加工的过程中断丝严重，使其线径长时间停滞在 35 至 38 μm ，无法进一步细线化。（3）难以实现高效切割的稳定化：因为碳钢母线的强度不足，切割张力无法进一步提升，造成切割效率难以继续提升。同时高碳钢母线的杂质多，母线强度的均匀性不够，造成切割过程断丝率高，与高效高稳定化的切割的需求存在较大的差距。

随着光伏行业的快速发展，光伏行业切割用金刚线正朝着“五化”方向发展，“五化”即“细线化、快切化、省钱化、片厚均匀化、切割高稳定化”，光伏行业迫切希望找到一种新型金刚线母线材料来提升切割效率和提升硅片出片率。研究与实践表明：钨合金丝以其优越的性能很好地满足光伏行业硅片切割的发展要求，高强度钨丝正大量替代碳钢丝用作金刚线母线材料。与传统金刚线母线碳钢丝相比，高强度钨丝具有以下显著优势：（1）钨丝线径更细：钨丝直径可达 30 μm 以下，且仍具备细线化空间，更细的线径可提升硅片出片率，同时可切出更薄的硅片，符合光伏行业硅片薄片化的发展趋势。（2）钨丝强度更高，38 μm 以下钨丝抗拉强度超过 5800MPa，抗拉强度越高，切割速度更快，生产效率提升，切割出产品的良率更高。（3）钨丝的耐腐蚀性能优于碳钢，能降低金刚线的损耗。钨丝是替代碳钢丝用作金刚线母线的理想材料，将大大助力于我国光伏行业的快速发展和有效节约保护硅资源的合理利用。据测算，金刚线母线线径每减小 1 μm ，单刀切割节省 0.5%，预计能多切出约 25 片硅片，单片价格按 1.0 元测算，行业按每年可节省近 10 亿元。金刚线钨丝母线自 2021 年推向市场后，逐步替代碳钢丝母线，到 2024 年底钨丝母线的渗透率达到 40%，进入 2025 年钨丝母线加速替代碳钢母线，到 2025 年底，钨丝母线的渗透率达到 90%以上。

据市场调查仅光伏行业用金刚线母线 2021 年产量 9000 万公里。2023 年，光伏行业切割用金刚线母线年需求超过 1.2 亿公里。预计 2028 年，光伏行业切割用金刚线母线年需求达 3.0 亿公里左右，金刚线年产值将突破 100 亿元。

政策层面，国家多项政策部署为先进基础材料产业发展与标准体系建设提供了明确指引。2021 年 12 月，工业和信息化部、科学技术部、自然资源部联合发布《“十四五”原材料工业发展规划》，明确提出“重点发展高性能有色金属材料，完善先进基础材料标准体系，提升关键材料质量稳定性与供给能力”；2022 年 6 月，国家发展改革委、能源局发布《“十四五”可再生能源发展规划》，强调“推动光伏产业技术创新，提升硅片制备等关键环节工艺水平，降低生产成本”；2023 年 10 月，工业和信息化部发布《关于加快推进高端制造业标准化体系建设的指导意见》，要求“聚焦先进基础材料、高端零部件等领域，补齐标准短板，强化标准引领作用”；2024 年 3 月，国务院办公厅发布《关于推动新材料产业高质量发展的若干意见》，提出“完善新材料产品标准和测试评价体系，加强重点领域标准研制，提升产业规范化水平”。为实现 2030 年“碳达峰”和 2060 年“碳中和”，国家七部委（工信部、生态环境部、国家能源局、财政部、科技部等）都发文鼓励大力发展光伏太阳能发电、风力发电等清洁能源。基于我国是全球光伏产业第一大国，同时拥有丰富的钨资源，具备发展光伏用钨丝得天独厚的优势。但与市场快速发展态势不相匹配的是，当前国内尚无针对光伏晶硅等材料切割的钨合金切割丝的国家标准，行业发展缺乏有效规范指引与标准化监督。市面上流通的钨合金切割丝产品在化学成分、力学性能、尺寸精度、表面质量等关键指标上缺乏统一要求，导致产品品质良莠不齐，不仅影响下游切割产品及终端产品的质量稳定性，还制约了我国光伏产业的高端化发展与国际综合竞争力提升。

综上，《钨合金切割丝》国家标准的建立显得尤为迫切。通过构建和完善先进基础材料标准体系，明确产品关键技术指标与质量要求，可为该类产品的研发、生产、检验与应用提供科学依据，有效规范市场秩序，提升产品质量稳定性，增强我国在全球光伏产业与先进材料领域的核心竞争力，最终支持钨产业、光伏产业及高端制造业健康可持续发展。

（三）主要参加单位和工作组成员及其所作的工作

3.1 起草单位情况

厦门虹鹭钨钼工业有限公司主要从事钨、钼等难熔金属的棒材、杆材、丝材、深加工制品等的研发与生产，产品广泛应用于电光源及电真空、半导体及电子技术、航空航天及汽车工业、工业窑炉、机械制造及焊接、3C 及医疗等多个领域。拥有年生产能力：粗钨丝 4000 吨，细钨丝 2000 亿米，粗钼丝 1500 吨，细钼丝 32 亿米，钨钼制品 1500 吨。作为标准起草的负责单位，在工作前期，对钨合金切割丝产品系列和现阶段国内外产品现状进行了充分的调研和梳理，制定了系统的研究方案。在标准制定过程中，负责项目的总体实施和策划，积极组织各参编单位收集并认真研究国内外相关技术标准资料，结合生产实际，充分调研和了解现场实际情况，收集实测数据，编制实测数据统计表，认真细致地修改标准文本。

在标准编制过程中，赣州虹飞钨钼材料有限公司、杨凌美畅新材料股份有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、崇义章源钨业股份有限公司、赣州海盛钨业股份有限公司、江苏聚成金刚石科技股份有限公司、青岛高测科技股份有限公司、张家口原轼新型材料股份有限公司、长沙岱勒新材料科技股份有限公司等参编单位积极响应，配合主编单位开展了现场调研与各类试验验证工作，为标准的科学制定提供了坚实的数据基础。

3.2 主要工作成员所负责的工作情况

本文件主要起草人：郭东红、魏宗兴、肖华军、张迎九、柴朝晖、叶铭海、吕晟、范光亮、钟伟、童赤松、刘文婷、汤瑾、叶旋旋、张福军、安超、胡欣、田兴、方毅金、汤闵枫、谭华、蒋香草、易嘉阳、邢旭、邹晓、唐彦渊。

本文件主要起草人及工作职责见表 1。

表1 主要起草人及工作职责

起草人	工作职责
郭东红	负责标准中相关技术要求内容的编写、试验方案确定
叶铭海，吕晟	负责试验方案确定，标准编写材料的收集
魏宗兴、肖华军	负责标准的工作指导、标准的编写、试验方案确定及组织协调
刘文婷、谭华	负责标准中相关技术要求内容的审验及把关
方毅金、汤闵枫、叶旋旋、蒋香草、张迎九、张福军、安超、邢旭、唐彦渊	提供理论支撑，并对国内外钨合金切割丝相关标准对比提供支持
汤瑾、柴朝晖、胡欣、田兴、范光亮、童赤松、钟伟、易嘉阳、邹晓	提供检测服务，整理并提供实验验证数据，对比分析验证数据

（四）工作过程

4.1 预研阶段

2022 年 5 月，厦门虹鹭钨钼工业有限公司成立行业标准编制小组，对国内钨合金切割丝的生产现状进行调研，了解国内钨合金切割丝的制备技术水平、检测及市场应用情况，开展现场试验验证，与企业技术人员、客户深入讨论标准的技术要求。根据调研情况，整理并编制形成了《钨合金切割丝》国家标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料。

4.2 立项阶段

1) 2022 年 11 月，厦门虹鹭钨钼工业有限公司向全国有色金属标准化委员会提交《钨合金切割丝》的标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料，经全体委员会会议讨论同意《钨合金切割丝》国家标准立项，由有色金属标准委员会转报上级单位。

2) 2025 年 10 月，国家标准委下达制订《钨合金切割丝》国家标准的任务，计划编号：20255006-T-610，项目周期为 18 个月，完成时间为 2027 年 4 月，技术归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

4.3 起草阶段

本标准为编制标准，在起草阶段进行了大量的数据收集，同时兼顾全国钨合金切割丝生产厂家的现状。

1) 2025 年 10 月成立标准编制组，并明确了工作的职能和任务。

2) 2025 年 10 月~2025 年 12 月对钨合金切割丝使用状况进行了资料的收集和总结，并对相关的技术资料进行了对比分析。根据对钨合金切割丝的相关资料进行分析和总结，对产品化学成分、抗拉强度、线径等一系列相关问题逐一进行了重新核实，经修改，形成了《钨合金切割丝》的讨论稿。

3) 2026 年 1 月 20 日由全国有色金属标准化技术委员会主持，在广东省珠海市召开了有色金属标准工作会议，来自赣州虹飞钨钼材料有限公司、青岛高测科技股份有限公司、张家口原轼新型材料股份有限公司、长沙岱勒新材料科技股份有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、赣州海盛钨业股份有限公司、崇义章源钨业股份有限公司等多家单位专家对本标准进行了认真、细致的讨论，提出了修改意见及建议。标准编制组对讨论稿进行了修改，形成《钨合金切割丝》征求意见稿，同时，编制组根据标准规定的性能要求及试验方法启动了验证工作。

4.4 征求意见阶段

本文件以召开专题会议、发送标准邮件、标委会网站上公开挂网等多种形式和办法进行了广泛的征求意见。

2026 年 5 月 20 日由全国有色金属标准化技术委员会主持，在湖南省衡阳市召开了有色金属标准工作会议，来自赣州虹飞钨钼材料有限公司、青岛高测科技股份有限公司、张家口原轼新型材料股份有限公司、长沙岱勒新材料科技股份有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、赣州海盛钨业股份有限公司、崇义章源钨业股份有限公司等多家单位专家对本标准进行了认真、细致的讨论。

在征求意见阶段，共发函 13 家相关生产应用单位和检测单位，回函的单位共 13 家，回函并有建议或意见的单位共 3 家、没有回函的单位共 0 家，征求意见情况详见《标准征求意见稿意见汇总处理表》。

2026年6月~2026年7月，本文件编制组依据各单位提出的意见和建议，对征求意见稿进行了修改和完善，形成了标准送审稿及其编制说明。

二、标准编制原则

2.1 原则性

本着与时俱进、切合实际、合理利用资源、促进科技进步、促进产业升级与产品结构调整、满足市场需要和供需双方公平受益、获取最大社会综合效益的基本原则。标准的制定格式严格按照 GB/T 1.1《标准化工作导则第一部分：标准的结构与编写规则》的规定进行。

本标准在制定时主要遵守四大原则：

- (1) 积极对标国外先进标准；
- (2) 有利于促进技术进步，提高产品质量；
- (3) 有利于合理利用资源；
- (4) 符合用户要求,保护消费者利益,促进对外贸易。

2.2 合理性

当前国内外钨合金切割丝的生产单位有厦门虹鹭钨钼工业有限公司、赣州虹飞钨钼材料有限公司、杨凌美畅新材料股份有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、赣州海盛钨业股份有限公司、崇义章源钨业股份有限公司等。市场上的钨合金切割丝主要由厦门虹鹭钨钼工业有限公司供应，国内各钨丝相关企业也有生产钨合金切割丝，但是国内各企业的产品标准和质量不一致，品质良莠不齐。制定《钨合金切割丝》国家标准，构建和完善先进基础材料、关键战略材料和先进有色金属材料等新材料标准体系，以支持钨产业、光伏产业及高端制造业良性健康发展。

2.3 先进性

通过本标准的制定，促使国内生产企业和相关行业的技术进步以及钨资源的充分利用起到积极作用。

三、标准主要内容的确定依据及主要试验和验证情况分析

（一）确定标准主要内容的论据

本文件是新制定的国家标准。主要在对市场需求和国内钨合金切割丝的实际生产水平充分调研的基础上，对产品的分类、技术要求等内容进行了规定。

（二）标准内容确定的依据

1. 分类

钨合金切割丝主要用于光伏晶硅、半导体材料、磁性材料、陶瓷材料等切割用。产品按表面状态分为黑钨丝（B）、白钨丝（W）和黄钨丝（Y）。

2. 技术要求

2.1 化学成分

钨合金切割丝在使用过程中需要比较高的抗拉强度，添加稀土 La 元素的化合物可以细化钨晶粒、

净化晶界，进行细晶强化，同时在钨合金切割丝的加工过程辅助进行第二相强化及形变强化，从而获得具有超高抗拉强度的钨丝。若稀土 La 元素的化合物添加量过少，无法有效细化钨晶粒及第二相增强，达不到大幅提升钨丝抗拉强度的需求。若稀土 La 元素的化合物添加量过多，深加工细线化的加工难度大幅增加，加工过程中容易造成劈裂断丝。结合各生产单位的实际经验，镧元素的质量分数控制在（0.3~1.1）wt%为佳。

化学成分是钨合金切割丝的关键技术指标，依据产品最终性能及客户应用需求场景，结合生产商、客户和分析检测单位等相关方的需求，确定化学成分标准。钨合金切割丝的化学成分应符合表 2 规定。

表2 化学成分

牌 号			WLa0.5	WLa0.9
化 学 成 分 (质量分数) %	主 要 成 分	W 含 量 ^a	余 量	余 量
		La	0.3~0.7	0.7~1.1
化 学 成 分 (质量分数) %	杂质元素，不大于	Fe	0.0030	
		Al	0.0030	
		Mo	0.0050	
		Si	0.0020	
		As	0.0010	
		Ca	0.0010	
		Cr	0.0010	
		Mg	0.0010	
		Mn	0.0010	
		Ti	0.0010	
		Co	0.0010	
		V	0.0010	
		Sb	0.0005	
		Bi	0.0005	
		Cd	0.0005	
		Pb	0.0005	
		Sn	0.0005	
注： ^a W 的“余量”采用差减法计算所得。				

2.2 尺寸

2.2.1 尺寸及其允许偏差

目前钨合金切割丝的主流规格有 100μm、60μm、50μm、40μm、30μm、24μm 等，结合实际的生

产和使用的情况，确定钨合金切割丝的产品尺寸及其允许偏差符合表 3 规定：

表3 尺寸及其允许偏差

单位为微米

直径	直径偏差
$80 \leq d < 120$	± 1.0
$60 \leq d < 80$	± 0.8
$50 \leq d < 60$	± 0.6
$15 \leq d < 50$	± 0.5

2.2.2 长度

产品的长度是切割稳定性和切割效率的重要指标，在 $30\mu\text{m}$ 至 $50\mu\text{m}$ 规格区间，本标准产品的最短长度是 120km 以上，而国内常规钨丝国标 GB/T 23272 的最短长度是 1km，国外常规钨丝标准 JIS H4461 的最短长度是 0.7km。根据长期生产实践和客户的不同需求，确定主要线径最短长度要求如表 4 规定。

表4 最短长度

直径 μm	最短长度 km
$50 \leq d < 80$	50
$30 \leq d < 50$	120
$15 \leq d < 30$	180

注：产品长度在最短长度的基础上，以 5km 递增定尺。大于 $80\mu\text{m}$ 或小于 $15\mu\text{m}$ 最短长度由供需双方商议确定。

2.3 抗拉强度

匹配实际切割应用的场景，抗拉强度是钨合金切割丝的关键性能指标。本产品在相同直径下的抗拉强度相比于常规钨丝大幅提升，以典型规格 $35\mu\text{m}$ 为例，常规钨丝的抗拉强度在 3800MPa 左右，本标准所述产品的抗拉强度达到 6000MPa，是常规钨丝抗拉强度的 1.57 倍。

为了保障钨合金切割丝在应用时不发生断裂或变形等情况，需要保证钨合金切割丝的抗拉强度。根据长期的生产实践，产品的抗拉强度及破断力应符合表 5、表 6 规定：

表5 WLa0.5 牌号的抗拉强度与破断力

直径 μm	抗拉强度 MPa	破断力 N
$100 \leq d \leq 120$	≥ 3700	≥ 29.06
$80 \leq d < 100$	≥ 3900	≥ 19.60
$60 \leq d < 80$	≥ 4300	≥ 12.16

直径 μm	抗拉强度 MPa	破断力 N
$50 \leq d < 60$	≥ 4800	≥ 9.42
$48 \leq d < 50$	≥ 4900	≥ 8.87
$46 \leq d < 48$	≥ 5000	≥ 8.31
$43 \leq d < 46$	≥ 5100	≥ 7.41
$40 \leq d < 43$	≥ 5200	≥ 6.53
$37 \leq d < 40$	≥ 5400	≥ 5.81
$35 \leq d < 37$	≥ 5600	≥ 5.39
$33 \leq d < 35$	≥ 5700	≥ 4.88
$31 \leq d < 33$	≥ 5800	≥ 4.38
$29 \leq d < 31$	≥ 5900	≥ 3.90
$27 \leq d < 29$	≥ 6000	≥ 3.44
$25 \leq d < 27$	≥ 6100	≥ 2.99
$23 \leq d < 25$	≥ 6300	≥ 2.62
$21 \leq d < 23$	≥ 6600	≥ 2.29
$19 \leq d < 21$	≥ 6700	≥ 1.90
$17 \leq d < 19$	≥ 6800	≥ 1.54
$15 \leq d < 17$	≥ 6900	≥ 1.22
注：大于 $120\mu\text{m}$ 或小于 $15\mu\text{m}$ 最小抗拉强度及最小破断力由供需双方商议确定。		

表6 WLa0.9 牌号的抗拉强度与破断力

直径 μm	抗拉强度 MPa	破断力 N
$100 \leq d \leq 120$	≥ 4100	≥ 32.20
$80 \leq d < 100$	≥ 4300	≥ 21.61
$60 \leq d < 80$	≥ 4500	≥ 12.72
$50 \leq d < 60$	≥ 5000	≥ 9.82
$48 \leq d < 50$	≥ 5100	≥ 9.23
$46 \leq d < 48$	≥ 5200	≥ 8.64
$43 \leq d < 46$	≥ 5300	≥ 7.70
$40 \leq d < 43$	≥ 5400	≥ 6.79
$37 \leq d < 40$	≥ 5600	≥ 6.02
$35 \leq d < 37$	≥ 5800	≥ 5.58
$33 \leq d < 35$	≥ 5900	≥ 5.04

$31 \leq d < 33$	≥ 6000	≥ 4.53
$29 \leq d < 31$	≥ 6100	≥ 4.03
$27 \leq d < 29$	≥ 6200	≥ 3.55
$25 \leq d < 27$	≥ 6300	≥ 3.09
$23 \leq d < 25$	≥ 6500	≥ 2.70
$21 \leq d < 23$	≥ 6800	≥ 2.35
$19 \leq d < 21$	≥ 6900	≥ 1.96
$17 \leq d < 19$	≥ 7000	≥ 1.59
$15 \leq d < 17$	≥ 7100	≥ 1.25
注：大于 120 μm 或小于 15 μm 最小抗拉强度及最小破断力由供需双方商议确定。		

2.4 直线性

产品的直线性直接决定后续产品使用过程中的易用性，根据长期的生产实践和客户的不同需求，确定产品的直线性要求如下：取 500mm $\pm$ 10mm 钨丝，固定一端自然下垂，钨丝自然下垂的高度不小于 300mm。

2.5 自由圈径

产品的自由圈径影响后续产品使用过程中的易用性，根据长期的生产实践和客户的不同需求，确定产品的自由圈径要求如下：取 700mm $\pm$ 10mm 钨丝，手拿一端自然下垂，尾部与测试平面距离 200mm 高；松手自由落于平面，钢尺测量闭合圈径的最小直径。

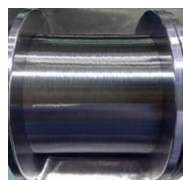
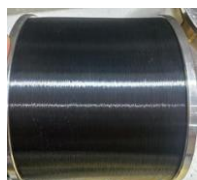
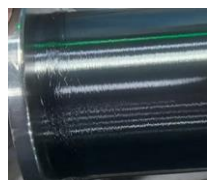
2.5.1“B”型产品的自由圈径最小直径应不小于 45mm。

2.5.2“W”型或“Y”型产品的自由圈径最小直径应不小于 40mm。

2.6 排线

钨合金切割丝的排线直接影响使用过程的放线效率，也会影响载荷过程的张力，严重的会引发断线。产品的排线应满足每盘钨丝复绕不宜太满；复绕排线紧密、整齐，不得压丝、堆丝、乱丝。

表7 排线合格与不合格示例图

合格	不合格			
	复绕太满	压丝	堆丝	乱丝（或多头）
				

2.7 外观质量

钨合金切割丝的外观质量直接影响后续电镀金刚石的镀层结合力，影响切割性能。根据长期的生产实践和客户的不同需求，确定产品的外观质量如下：

黑钨丝表面应光滑，呈均匀的黑色，不应有划痕、凹坑等不良缺陷。

白钨丝表面应光滑、干净，呈均匀的银灰色，具有金属光泽，不应有划痕、凹坑等不良缺陷。

黄钨丝表面应光滑、干净，呈均匀的黄铜色，具有金属光泽，不应有划痕、鼓包、凹坑等不良缺陷。

2.8 附录 A：钨钼合金钼含量的测定方法

钨合金切割丝中关键的钼元素如果采用现行行业标准《YS/T 1289-2018 钨钼合金中三氧化二钼含量的测定 Na₂EDTA 滴定法》存在以下问题：化学滴定法中对样品使用过氧化氢溶解后，还需多步骤处理使钼分离出来，再进行滴定，流程耗时约 6 小时，前处理流程长，无法满足日常大量样品快速分析的需求。其次过程中涉及氨水沉淀、分离洗涤、再溶解步骤，操作较多依赖人工经验，且因沉淀不完全或者洗涤损失引入误差的可能性较大，滴定终点依赖肉眼判断，也会引入主观误差。因此滴定法对钼的检测灵敏度不足，难以满足生产控制中对钼含量的高精度需求。而 ICP-OES 的分析方法在样品用过氧化氢溶解定容后可立即在设备上进行测试，单个样品流程耗时约 1 小时，显著提升了测试效率；测试过程中利用设备能力可有效消除各类干扰，依赖操作人员的经验控制的步骤较少，操作便捷性和测试的精度较高。经调查目前国内有多家企业均采用 ICP-OES 进行分析，如赣州虹飞钨钼材料有限公司、厦门钨业技术研究中心、国家钨与稀土产品质量检验检测中心、成都长城钨钼新材料有限公司等，但对于钨产品，此方法目前没有现行的国家标准或行业标准，因此需要在附录 A 中列出供参考。

此 ICP-OES 检测方法具有重复性和再现性，可作为产品检测标准参考信息，相关说明如下：

取 10 个不同钼含量的钨合金样品，由三个分析员，按照附录 A 方法操作，测试得出样品钼含量，进行 GRR 分析。按 Minitab 软件计算结果得出结论：测量系统的“量具 R&R 的 %研究变异”为 5.22%，小于 10%，测量系统可接收。具体数据如表 8，分析图见图 1。

表8 样品中钼含量

样本编号	钼含量/%		
	操作者 1	操作者 2	操作者 3
1	0.703	0.706	0.689
2	0.723	0.734	0.721
3	0.912	0.924	0.900
4	2.810	2.840	2.775
5	0.914	0.929	0.915
6	0.731	0.737	0.730
7	0.732	0.731	0.731
8	0.909	0.915	0.915
9	0.925	0.926	0.906
10	0.726	0.726	0.726
1	0.701	0.706	0.709
2	0.727	0.734	0.73
3	0.926	0.924	0.912
4	2.830	2.840	2.791
5	0.924	0.929	0.918

样本编号	铜含量/%		
	操作者 1	操作者 2	操作者 3
6	0.734	0.737	0.73
7	0.737	0.731	0.729
8	0.920	0.915	0.916
9	0.920	0.926	0.923
10	0.728	0.726	0.734
1	0.691	0.699	0.705
2	0.719	0.73	0.734
3	0.898	0.919	0.920
4	2.760	0.282	2.817
5	0.903	0.919	0.915
6	0.727	0.727	0.738
7	0.740	0.737	0.733
8	0.903	0.915	0.908
9	0.914	0.92	0.910
10	0.726	0.733	0.722

来源	自由度	SS	MS	F	P
操作者	2	0.00050	0.0002519	0.01	0.994
样本 (操作者)	27	1.07256	0.0397244	1097.02	0.000
重复性	60	0.00217	0.0000362		
合计	89	1.07523			

量具 R&R

来源	方差分量	贡献率
合计量具 R&R	0.0000362	0.27
重复性	0.0000362	0.27
再现性	0.0000000	0.00
部件间	0.0132294	99.73
合计变异	0.0132656	100.00

来源	标准差 (SD)	研究变异 (6 × SD)	%研究变异 (%SV)
合计量具 R&R	0.006018	0.036105	5.22
重复性	0.006018	0.036105	5.22
再现性	0.000000	0.000000	0.00
部件间	0.115019	0.690114	99.86
合计变异	0.115176	0.691058	100.00

可区分的类别数 = 26

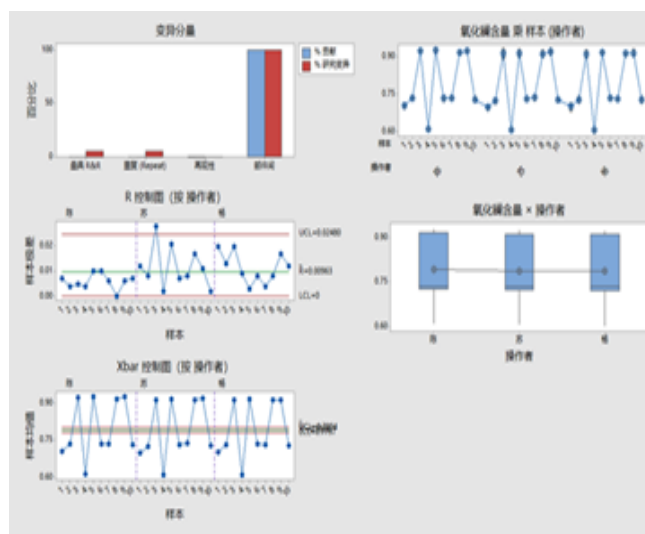


图 1 样品中铜含量的 GRR 分析

(三) 主要试验（或验证）情况分析

本文件经过了大量实物测试及数据验证，针对钨合金切割丝产品，按本标准规定的方法对主要技术指标进行验证。

1、化学成分

针对钨合金切割丝，按照本标准规定的方法：对表面进行处理，黑钨丝用 10%氢氧化钠碱煮清洗

干净，无石墨残留；黄钨丝用 1:1 王水处理干净，无镀层残留；白钨丝无需处理。处理后钨合金切割丝中钨元素的化学成分分析方法参考附录 A 方法进行，其它杂质元素的化学成分分析方法按照 YS/T 559 的规定进行检验，对技术指标化学成分进行了验证，验证数据见表 9、表 10。

表9 WLa0.5 牌号钨合金切割丝化学成分验证表

企业	检测项目	化学成分（质量分数）%					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
企业 1	W 含量(差减法)	余量	余量	余量	余量	余量	余量
	La	0.3~0.7	0.59	0.60	0.59	0.57	0.57
	Fe	≤0.0030	0.0012	0.0015	0.0015	0.0013	0.0014
	Al	≤0.0030	0.0008	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008
	Mo	≤0.0050	0.0021	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
	Si	≤0.0020	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	As	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Ca	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Cr	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Mg	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Mn	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Ti	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Co	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	V	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Sb	≤0.0005	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	Bi	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Cd	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Pb	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Sn	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
企业 2	W 含量(差减法)	余量	余量	余量	余量	余量	余量
	La	0.3~0.7	0.55	0.56	0.55	0.56	0.57
	Fe	≤0.0030	0.0012	0.0011	0.0015	0.0015	0.0010
	Al	≤0.0030	0.0005	0.0007	0.0005	0.0006	0.0005
	Mo	≤0.0050	0.0020	0.0020	0.0015	0.0020	0.0018
	Si	≤0.0020	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	As	≤0.0010	0.0007	0.0005	0.0006	0.0005	0.0007
	Ca	≤0.0010	0.0008	0.0005	0.0007	0.0006	0.0008
	Cr	≤0.0010	0.0005	0.0006	0.0005	0.0007	0.0006
	Mg	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0007	0.0005	0.0007
	Mn	≤0.0010	0.0006	0.0006	0.0007	0.0006	0.0006
	Ti	≤0.0010	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0005

企业	检测项目	化学成分（质量分数）%					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
企业	Co	≤0.0010	0.0005	0.0006	0.0007	0.0007	0.0006
	V	≤0.0010	0.0005	0.0007	0.0006	0.0004	0.0004
	Sb	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Bi	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Cd	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Pb	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Sn	≤0.0005	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001
	W 含量(差减法)	余量	余量	余量	余量	余量	余量
企业 3	La	0.3~0.7	0.61	0.61	0.63	0.62	0.60
	Fe	≤0.0030	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Al	≤0.0030	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
	Mo	≤0.0050	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
	Si	≤0.0020	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	As	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Ca	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Cr	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Mg	≤0.0010	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
	Mn	≤0.0010	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Ti	≤0.0010	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
	Co	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	V	≤0.0010	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
	Sb	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Bi	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Cd	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Pb	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Sn	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	W 含量(差减法)	余量	余量	余量	余量	余量	余量
	La	0.3~0.7	0.53	0.39	0.71	0.46	0.66
企业 4	Fe	≤0.0030	0.0020	0.0010	0.0010	0.0030	0.0020
	Al	≤0.0030	0.0030	0.0020	0.0030	0.0010	0.0010
	Mo	≤0.0050	0.0040	0.0020	0.0030	0.0030	0.0010
	Si	≤0.0020	0.0010	0.0010	0.0010	0.0020	0.0020
	As	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	Ca	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	Cr	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0020	0.0010	0.0010
	Mg	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	W 含量(差减法)	余量	余量	余量	余量	余量	余量
	La	0.3~0.7	0.53	0.39	0.71	0.46	0.66

企业	检测项目	化学成分（质量分数）%					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
	Mn	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	Ti	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	Co	≤0.0010	0.0010	0.0020	0.0010	0.0010	0.0010
	V	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	Sb	≤0.0005	0.0003	0.0002	0.0002	0.0004	0.0005
	Bi	≤0.0005	0.0002	0.0001	0.0040	0.0040	0.0030
	Cd	≤0.0005	0.0005	0.0001	0.0003	0.0002	0.0001
	Pb	≤0.0005	0.0002	0.0002	0.0004	0.0005	0.0003
	Sn	≤0.0005	0.0001	0.0004	0.0005	0.0003	0.0002

表10 WLa0.9 牌号钨合金切割丝化学成分验证表

企业	检测项目	化学成分（质量分数）%					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
企业 1	W 含量(差减法)	余量	余量	余量	余量	余量	余量
	La	0.7~1.1	0.71	0.75	0.75	0.85	1.05
	Fe	≤0.0030	0.0011	0.0013	0.0014	0.0014	0.0015
	Al	≤0.0030	0.0007	0.0007	0.0008	0.0007	0.0009
	Mo	≤0.0050	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
	Si	≤0.0020	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	As	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Ca	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Cr	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Mg	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Mn	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Ti	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Co	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	V	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Sb	≤0.0005	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	Bi	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Cd	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Pb	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Sn	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
企业 2	W 含量(差减法)	余量	余量	余量	余量	余量	余量
	La	0.7~1.1	0.72	0.72	0.71	0.71	0.70
	Fe	≤0.0030	0.0012	0.0010	0.0015	0.0015	0.0010
	Al	≤0.0030	0.0005	0.0004	0.0005	0.0006	0.0005
	Mo	≤0.0050	0.0020	0.0020	0.0015	0.0020	0.0018
	Si	≤0.0020	0.0008	0.0007	0.0010	0.0007	0.0010

企业	检测项目	化学成分（质量分数）%					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
	As	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0006	0.0005	0.0007
	Ca	≤0.0010	0.0008	0.0005	0.0007	0.0006	0.0005
	Cr	≤0.0010	0.0005	0.0008	0.0005	0.0007	0.0006
	Mg	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0006	0.0005	0.0007
	Mn	≤0.0010	0.0006	0.0006	0.0005	0.0006	0.0006
	Ti	≤0.0010	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0005
	Co	≤0.0010	0.0005	0.0006	0.0007	0.0007	0.0006
	V	≤0.0010	0.0005	0.0008	0.0007	0.0005	0.0004
	Sb	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Bi	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Cd	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Pb	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Sn	≤0.0005	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001
	W 含量(差减法)	余量	余量	余量	余量	余量	余量
企业 3	La	0.7~1.1	0.85	0.84	0.83	0.84	0.88
	Fe	≤0.0030	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Al	≤0.0030	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
	Mo	≤0.0050	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
	Si	≤0.0020	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	As	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Ca	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Cr	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	Mg	≤0.0010	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
	Mn	≤0.0010	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Ti	≤0.0010	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
	Co	≤0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
	V	≤0.0010	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
	Sb	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Bi	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Cd	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Pb	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Sn	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
企业 4	W 含量(差减法)	余量	余量	余量	余量	余量	余量
	La	0.7~1.1	0.82	0.95	0.84	1.03	0.79
	Fe	≤0.0030	0.0030	0.0020	0.0020	0.0010	0.0030
	Al	≤0.0030	0.0010	0.0030	0.0010	0.0010	0.0020

企业	检测项目	化学成分（质量分数）%					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
	Mo	≤0.0050	0.0030	0.0020	0.0050	0.0020	0.0010
	Si	≤0.0020	0.0020	0.0020	0.0010	0.0010	0.0020
	As	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	Ca	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	Cr	≤0.0010	0.0010	0.0020	0.0010	0.0010	0.0010
	Mg	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	Mn	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0020
	Ti	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	Co	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	V	≤0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	Sb	≤0.0005	0.0001	0.0001	0.0003	0.0002	0.0003
	Bi	≤0.0005	0.0003	0.0005	0.0003	0.0001	0.0002
	Cd	≤0.0005	0.0002	0.0005	0.0004	0.0004	0.0003
	Pb	≤0.0005	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	0.0004
	Sn	≤0.0005	0.0002	0.0004	0.0003	0.0003	0.0004

按照标准草案中规定的方法进行检测，两种牌号对应的表 9 和表 10 内各元素的检测结果均符合本标准的技术要求。

2 尺寸

2.1 尺寸及允许偏差

按照本文件规定的方法，对产品尺寸及偏差进行了验证，验证结果见表 11。

表11 尺寸及允许偏差验证表

企业	直径 μm	直径公差 μm					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
企业 1	100	±1.0	-0.42	0.61	-0.18	0.35	-0.74
	60	±0.8	-0.37	-0.45	0.29	0.56	-0.12
	50	±0.6	0.22	-0.31	0.47	-0.09	0.15
	40	±0.5	-0.26	0.33	-0.41	0.07	-0.19
	30	±0.5	-0.15	0.05	0.11	0.01	-0.20
	24	±0.5	-0.13	-0.14	0.21	0.06	-0.15
企业 2	100	±1.0	0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00
	60	±0.8	0.00	0.70	0.50	-0.70	-0.50

企业	直径 μm	直径公差 μm					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
	50	± 0.6	0.50	0.50	-0.40	-0.50	0.10
	40	± 0.5	0.40	-0.40	-0.30	0.00	0.10
	30	± 0.5	0.30	0.20	-0.20	-0.30	-0.40
	24	± 0.5	0.30	0.20	0.30	-0.20	-0.10
企业 3	60	± 0.8	0.42	0.19	0.55	-0.46	-0.04
	30	± 0.5	-0.45	-0.28	0.05	-0.26	-0.30
	24	± 0.5	-0.17	-0.07	0.04	-0.17	0.19
企业 4	100	± 1.0	-0.01	0.20	0.40	0.30	0.90
	30	± 0.5	-0.18	-0.07	-0.08	-0.19	-0.04
	24	± 0.5	0.38	0.44	0.12	0.17	0.11
企业 5	60	± 0.8	-0.27	0.18	0.03	-0.40	-0.51
	30	± 0.5	-0.31	-0.16	-0.20	-0.42	-0.19
	24	± 0.5	0.33	0.41	0.43	0.33	0.48
企业 6	100	± 1.0	0.82	0.56	0.34	0.23	0.56
	60	± 0.8	0.02	0.12	0.23	0.21	0.09
	50	± 0.6	0.34	0.12	0.27	0.06	0.22
	40	± 0.5	0.21	0.14	0.21	0.07	0.24
	30	± 0.5	-0.17	0.12	0.22	0.02	0.18
	24	± 0.5	0.13	-0.15	-0.05	0.35	0.25
企业 7	100	± 1.0	-0.90	-0.50	-0.40	1.00	1.50
	60	± 0.8	-0.70	-0.20	-0.60	0.80	0.20
	50	± 0.6	0.20	-0.20	-0.20	0.30	0.60
	40	± 0.5	0.10	0.20	-0.20	-0.10	-0.50
	30	± 0.5	0.20	0.30	0.40	0.30	-0.10
	24	± 0.5	0.10	0.50	-0.10	-0.30	0.10
企业 8	100	± 1.0	0.10	0.30	-0.40	-0.20	0.00
	60	± 0.8	-0.40	-0.20	-0.40	0.20	0.10
	50	± 0.6	0.10	0.40	0.30	0.30	0.20
	40	± 0.5	-0.10	-0.20	0.30	0.20	0.20
	30	± 0.5	0.20	0.20	-0.10	0.10	-0.20
	24	± 0.5	-0.13	-0.14	0.21	0.06	-0.15

按照标准草案中规定的方法进行检测，表 11 中各样品的直径及直径偏差除个别超差外，其他均符合标准的技术要求。

2.2 长度

按照本文件规定的方法，对产品长度进行了验证，验证结果见表 12。

表12 产品长度验证表

企业	直径 μm	长度 km					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
企业 1	60	≥50	50	55	125	180	245
	40	≥120	120	125	145	130	135
	30	≥120	120	135	140	215	225
	28	≥180	185	190	195	240	240
	24	≥180	180	185	200	235	240
企业 2	60	≥50	130	135	135	135	130
	30	≥120	240	285	265	365	355
	28	≥180	360	360	315	360	360
企业 3	60	≥50	50	60	55	55	80
	28	≥180	280	440	455	240	205
企业 4	60	≥50	60	60	60	60	60
	30	≥120	335	335	320	310	315
	28	≥180	300	250	220	250	260
	24	≥180	220	220	280	220	220
企业 5	60	≥50	110	75	95	175	100
	30	≥120	235	275	345	450	285
	28	≥180	365	350	210	280	240
	24	≥180	220	360	425	245	305
企业 6	60	≥50	50	120	55	50	115
	30	≥120	185	170	310	165	160
	28	≥180	215	210	115	385	440
企业 7	60	≥50	75	90	100	65	125
	40	≥120	135	120	160	150	135
	30	≥120	125	175	135	135	160
	28	≥180	225	205	190	235	205

企业	直径 μm	长度 km					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
	24	≥180	250	240	220	200	245

按照标准草案中规定的，表 12 各样品的长度除个别异常外，其他均符合标准草案的技术要求。

3 抗拉强度

按照本标准的方法，对钨合金切割丝的产品抗拉强度和破断力进行了验证，结果见表 13、表 14。

表13 WLa0.5 牌号钨合金切割丝抗拉强度与破断力验证表

企业	规格 μm	抗拉强度 MPa						破断力 N					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
企业 1	100	≥3700	3728	3885	4001	4010	3947	≥29.06	29.60	30.50	31.40	31.60	31.30
	80	≥3900	3967	4115	4359	4562	4326	≥19.60	19.92	20.70	21.90	22.90	21.80
	60	≥4300	4366	4483	4592	4594	4602	≥12.16	12.41	12.91	12.98	12.99	13.05
	50	≥4800	4888	4931	5150	5273	5311	≥9.42	9.56	9.69	10.10	10.37	10.41
	48	≥4900	4988	4954	5432	5422	5465	≥8.87	9.02	8.96	9.82	9.82	9.90
	46	≥5000	5224	5354	5343	5290	5351	≥8.31	8.68	8.89	8.87	8.80	8.90
	43	≥5100	5337	5322	5584	5593	5608	≥7.41	7.72	7.65	8.09	8.10	8.14
	40	≥5200	5411	5463	5775	5799	5804	≥6.53	6.72	6.88	7.24	7.28	7.22
	37	≥5400	5488	5944	5542	5955	5992	≥5.81	5.88	6.33	5.91	6.33	6.34
	35	≥5600	5816	5823	5943	5960	6000	≥5.39	5.61	5.60	5.66	5.69	5.72
	33	≥5700	5751	5851	5952	5994	6053	≥4.88	4.90	5.02	5.13	5.18	5.20
	31	≥5800	5802	5804	6216	6217	6350	≥4.38	4.47	4.48	4.74	4.72	4.79
	30	≥5900	5954	6244	6330	6420	6424	≥3.90	4.22	4.42	4.54	4.62	4.66
	28	≥6000	6191	6467	6337	6532	6467	≥3.44	3.81	3.98	3.90	4.02	3.98
	26	≥6100	6421	6413	6423	6434	6461	≥2.99	3.52	3.46	3.35	3.45	3.55
	24	≥6300	6323	6539	6620	6870	6881	≥2.62	2.82	3.02	3.07	3.09	3.12
	22	≥6600	6658	6668	6689	6996	7013	≥2.29	2.54	2.53	2.58	2.63	2.69
	20	≥6700	6728	6782	6861	7120	7215	≥1.90	2.11	2.13	2.15	2.24	2.27
	18	≥6800	6925	6880	7324	7246	7321	≥1.54	1.76	1.75	1.86	1.84	1.86
	16	≥6900	7145	7235	7546	7442	7345	≥1.22	1.44	1.45	1.52	1.49	1.48
企业 2	100	≥3700	3800	3900	4000	3940	3830	≥29.06	29.83	30.62	31.40	30.93	30.07
	80	≥3900	4020	4040	4050	3980	4060	≥19.60	20.20	20.30	20.35	20.00	20.40
	60	≥4300	4400	4440	4380	4370	4360	≥12.16	12.43	12.55	12.38	12.35	12.32
	50	≥4800	4840	4860	4870	4830	4900	≥9.42	9.50	9.54	9.56	9.48	9.62

企业	规格	抗拉强度 MPa						破断力 N					
	μm	技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
企业	48	≥4900	4920	4940	4950	4940	4930	≥8.87	8.90	8.93	8.95	8.93	8.92
	46	≥5000	5050	5080	5070	5070	5050	≥8.31	8.39	8.44	8.42	8.42	8.39
	43	≥5100	5170	5140	5160	5170	5180	≥7.41	7.50	7.46	7.49	7.50	7.52
	40	≥5200	5240	5260	5280	5240	5270	≥6.53	6.58	6.61	6.63	6.58	6.62
	37	≥5400	5420	5460	5450	5500	5480	≥5.81	5.82	5.87	5.86	5.91	5.89
	35	≥5600	5650	5670	5680	5640	5620	≥5.39	5.43	5.45	5.46	5.42	5.40
	33	≥5700	5750	5720	5730	5720	5710	≥4.88	4.92	4.89	4.90	4.89	4.88
	31	≥5800	5880	5850	5840	5830	5840	≥4.38	4.44	4.41	4.41	4.40	4.41
	30	≥5900	5920	5940	5930	5930	5930	≥3.90	4.18	4.20	4.19	4.19	4.19
	28	≥6000	6070	6080	6080	6070	6080	≥3.44	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74
	26	≥6100	6120	6130	6140	6160	6120	≥2.99	3.25	3.25	3.26	3.27	3.25
	24	≥6300	6330	6360	6370	6340	6350	≥2.62	2.86	2.88	2.88	2.87	2.87
	22	≥6600	6660	6670	6680	6670	6680	≥2.29	2.53	2.53	2.54	2.53	2.54
	20	≥6900	6920	6940	6930	6930	6930	≥1.90	2.18	2.20	2.19	2.19	2.19
企业 3	100	≥3700	3912	3912	3916	3859	3902	≥29.06	30.71	30.71	30.76	30.27	30.77
	37	≥5400	5787	5909	5728	-	-	≥5.81	6.28	6.39	6.23	-	-
企业 4	100	≥3700	3752	3741	3737	3751	3979	≥29.06	29.48	29.40	29.35	29.45	31.26
	60	≥4300	4722	4861	4709	4934	4726	≥12.16	13.32	13.75	13.37	13.94	13.33
	28	≥6000	6590	6594	6601	6593	6588	≥3.44	4.08	4.08	4.08	4.08	4.07
企业 5	60	≥4300	4749	4836	4764	4799	4733	≥12.16	13.42	13.66	13.47	13.57	13.36
	35	≥5600	5685	5712	5697	5717	5742	≥5.39	5.49	5.60	5.50	5.60	5.52
	33	≥5700	5774	5967	5748	5810	5890	≥4.88	4.95	5.11	4.93	4.98	5.04
	31	≥5800	6093	6016	6158	6132	6184	≥4.38	4.61	4.51	4.65	4.64	4.68
	30	≥5900	6026	6136	5975	6084	6124	≥3.90	4.28	4.32	4.23	4.30	4.31
	28	≥6000	6228	6278	6269	6293	6238	≥3.44	3.83	3.93	3.85	3.84	3.85
	26	≥6100	6464	6473	6449	6395	6445	≥2.99	3.45	3.46	3.43	3.40	3.41
	24	≥6300	6601	6569	6621	6638	6633	≥2.62	3.00	2.96	3.02	3.02	3.01
	22	≥6600	6749	6704	6757	6627	6733	≥2.29	2.57	2.55	2.54	2.50	2.56

表14 WLa0.9 牌号钨合金切割丝抗拉强度与破断力验证表

企业	规格 μm	抗拉强度 MPa						破断力 N					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
企业 1	100	≥4100	4228	4525	4183	4708	4235	≥32.20	33.19	35.52	32.84	36.96	33.24
	80	≥4300	4602	4713	4522	4536	4611	≥21.61	23.10	23.67	22.82	22.94	23.33
	60	≥4500	4625	4816	4825	4900	4998	≥12.72	13.10	13.75	13.76	13.84	14.09
	50	≥5000	5379	5397	5408	5317	5367	≥9.82	10.56	10.58	10.68	10.52	10.54
	48	≥5100	5256	5598	5531	5503	5564	≥9.23	9.51	10.13	10.00	9.95	10.06
	46	≥5200	5326	5431	5363	5587	5675	≥8.64	8.85	9.02	8.91	9.31	9.45
	43	≥5300	5599	5404	5712	5792	5825	≥7.70	7.98	7.80	8.21	8.32	8.35
	40	≥5400	5494	5512	5881	5908	6000	≥6.79	6.82	6.91	7.31	7.35	7.46
	37	≥5600	5733	5757	6072	6074	6129	≥6.02	6.12	6.14	6.49	6.53	6.58
	35	≥5800	6017	6048	6112	6190	6255	≥5.58	5.69	5.76	5.87	5.82	5.95
	33	≥5900	6115	6116	6130	6158	6212	≥5.04	5.28	5.23	5.22	5.19	5.19
	31	≥6000	6293	6337	6440	6441	6649	≥4.53	4.75	4.78	4.82	4.78	5.08
	30	≥6100	6353	6386	6501	6712	6791	≥4.03	4.53	4.52	4.58	4.76	4.81
	28	≥6200	6369	6808	6711	6662	6710	≥3.55	3.92	4.19	4.13	4.10	4.13
	26	≥6300	6326	6467	6650	6799	6832	≥3.09	3.35	3.44	3.58	3.61	3.58
	24	≥6500	6506	6798	6827	6998	7112	≥2.70	3.02	3.15	3.13	3.24	3.22
	22	≥6800	6806	6972	6912	7221	7284	≥2.35	2.67	2.66	2.69	2.73	2.84
	20	≥6900	7367	7254	7456	7561	7342	≥1.96	2.31	2.28	2.34	2.37	2.31
	18	≥7000	7840	7365	7563	7632	7654	≥1.59	1.99	1.87	1.92	1.94	1.95
	16	≥7100	8036	7569	7254	7898	7854	≥1.25	1.61	1.52	1.46	1.59	1.58
企业 2	100	≥4100	4120	4160	4150	4130	4130	≥32.20	32.34	32.66	32.58	32.42	32.42
	80	≥4300	4390	4440	4380	4370	4360	≥21.61	22.06	22.31	22.01	21.95	21.90
	60	≥4500	4600	4660	4610	4670	4640	≥12.72	13.00	13.17	13.03	13.20	13.11
	50	≥5000	5020	5030	5040	5050	5040	≥9.82	9.85	9.87	9.89	9.91	9.89
	48	≥5100	5110	5110	5120	5120	5120	≥9.23	9.24	9.24	9.26	9.26	9.26
	46	≥5200	5220	5250	5260	5280	5270	≥8.64	8.67	8.72	8.74	8.77	8.75
	43	≥5300	5330	5350	5370	5330	5320	≥7.70	7.74	7.77	7.79	7.74	7.72

企业	规格	抗拉强度 MPa						破断力 N					
	μm	技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
	40	≥5400	5410	5430	5450	5430	5410	≥6.79	6.79	6.82	6.85	6.82	6.79
	37	≥5600	5670	5660	5650	5620	5630	≥6.02	6.09	6.08	6.07	6.04	6.05
	35	≥5800	5850	5850	5860	5960	5880	≥5.58	5.63	5.63	5.64	5.73	5.65
	33	≥5900	5940	5950	5960	5970	5970	≥5.04	5.08	5.09	5.09	5.10	5.10
	31	≥6000	6010	6080	6020	6020	6030	≥4.53	4.53	4.59	4.54	4.54	4.55
	30	≥6100	6110	6120	6130	6140	6150	≥4.03	4.32	4.32	4.33	4.34	4.34
	28	≥6200	6230	6240	6240	6240	6260	≥3.55	3.83	3.84	3.84	3.84	3.85
	26	≥6300	6330	6360	6370	6340	6350	≥3.09	3.36	3.37	3.38	3.36	3.37
	24	≥6500	6510	6520	6520	6520	6530	≥2.70	2.94	2.95	2.95	2.95	2.95
	22	≥6800	6821	6796	6836	6774	6802	≥2.70	3.08	3.07	3.09	3.06	3.08
企业 3	31	≥6000	6210	6189	6176	6208	6201	≥4.53	4.68	4.67	4.66	4.68	4.68
	30	≥6100	6258	6310	6266	6298	6342	≥4.03	4.42	4.46	4.43	4.45	4.48
	28	≥6200	6387	6399	6451	6382	6401	≥3.55	3.93	3.94	3.97	3.93	3.94
	26	≥6300	6589	6641	6572	6490	6572	≥3.09	3.50	3.52	3.49	3.44	3.49
	24	≥6500	6821	6796	6836	6774	6802	≥2.70	3.08	3.07	3.09	3.06	3.08
	22	≥6800	7028	7197	7102	7011	6985	≥2.35	2.67	2.73	2.70	2.66	2.65
企业 4	35	≥5800	6374	6165	6254	6117	6215	≥5.58	6.09	5.85	5.96	5.87	6.01
	33	≥5900	6481	6481	6464	6313	6316	≥5.04	5.58	5.58	5.54	5.38	5.40
	31	≥6000	6303	6275	6517	6396	6294	≥4.53	4.75	4.75	4.89	4.83	4.76
	30	≥6100	6270	6316	6366	6422	6413	≥4.03	4.41	4.43	4.45	4.52	4.48
	28	≥6200	6726	6606	6457	6639	6689	≥3.55	4.18	4.12	4.01	4.10	4.16
	26	≥6300	6767	6839	6634	6530	6702	≥3.09	3.64	3.67	3.56	3.45	3.58
	24	≥6500	6726	6734	6827	6792	6902	≥2.70	3.04	3.05	3.11	3.10	3.16
企业 5	60	≥4500	4883	4996	4915	4936	5025	≥12.72	13.80	14.12	13.89	13.95	14.20
	30	≥6100	6299	6270	6355	6398	6285	≥4.03	4.45	4.43	4.49	4.52	4.44
	28	≥6100	6418	6337	6369	6418	6451	≥3.55	3.95	3.90	3.92	3.95	3.97
	26	≥6200	6709	6822	6652	6727	6690	≥3.09	3.56	3.62	3.53	3.57	3.55
	24	≥6500	6834	6745	6967	7033	6790	≥2.70	3.09	3.05	3.15	3.18	3.07
	22	≥6800	7370	7422	7501	7712	7764	≥2.35	2.80	2.82	2.85	2.93	2.95
企业 6	60	≥4500	4952	4865	4892	5014	4960	≥12.72	14.00	13.83	13.84	14.20	14.00
	35	≥5800	5983	6018	6004	6031	5991	≥5.58	5.78	5.83	5.81	5.79	5.78

企业	规格 μm	抗拉强度 MPa						破断力 N					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
	33	≥5900	6034	5935	6032	5914	5967	≥5. 04	5. 16	5. 08	5. 15	5. 08	5. 09
	31	≥6000	6016	6169	6379	6290	6224	≥4. 53	4. 54	4. 56	4. 74	4. 67	4. 63
	30	≥6100	6359	6509	6312	6406	6379	≥4. 03	4. 40	4. 55	4. 40	4. 49	4. 45
	28	≥6200	6402	6401	6397	6398	6400	≥3. 55	3. 94	3. 99	3. 92	3. 89	3. 97
	26	≥6300	6559	6545	6522	6537	6552	≥3. 09	3. 54	3. 50	3. 56	3. 56	3. 52
	24	≥6500	6736	6756	6809	6779	6760	≥2. 70	3. 03	3. 06	3. 09	3. 07	3. 06
	22	≥6800	7108	7054	7022	6995	6984	≥2. 35	2. 74	2. 69	2. 68	2. 76	2. 69

按照标准中规定的方法进行检测，各样品的抗拉强度和破断力检测结果均符合标准的技术要求。

4 直线性

按照本文件规定的方法，对产品的直线性进行了验证，验证结果见表 15。

表15 直线性验证表

企业	产品规格 μm	直线性 mm					
		技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
企业 1	60	≥300	378	406	478	432	467
	40	≥300	320	483	435	376	460
	30	≥300	465	484	420	394	477
	28	≥300	478	463	479	413	456
	24	≥300	330	423	479	459	487
企业 2	60	≥300	380	420	400	390	400
	40	≥300	350	360	330	340	350
	30	≥300	360	330	320	310	330
	28	≥300	320	300	310	320	330
	24	≥300	320	310	300	310	300
企业 3	30	≥300	395	390	401	382	402
	28	≥300	390	385	396	377	397
	24	≥300	387	382	393	374	394
企业 4	30	≥300	460	473	462	457	464
	28	≥300	477	486	459	474	469
	24	≥300	485	470	420	430	450
企业 5	60	≥300	462	484	460	388	445
	28	≥300	434	450	499	467	482

企业 6	60	≥ 300	479	475	478	468	480
	30	≥ 300	485	489	478	483	481
	28	≥ 300	487	483	475	464	472
	24	≥ 300	466	474	458	432	456
企业 7	60	≥ 300	458	472	459	458	478
	30	≥ 300	470	459	459	456	420
	28	≥ 300	454	458	446	430	456
	24	≥ 300	450	457	456	440	439

按照标准中规定的方法进行检测，表 15 中各样品的直线性检测结果均符合本标准的技术要求。

5 自由圈径

按照本文件规定的方法，对产品自由圈径进行了验证，验证结果见表 16。

表16 自由圈径验证表

企业	产品类型	直径 μm	自由圈径 mm					
			技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
企业 1	B	60	≥ 45	45	80	55	97	99
		40	≥ 45	46	50	85	75	102
		30	≥ 45	50	49	65	68	70
	W	60	≥ 40	45	60	72	85	100
		40	≥ 40	45	48	65	74	96
		30	≥ 40	48	46	60	72	55
		28	≥ 40	52	65	48	85	62
		24	≥ 40	66	53	48	73	60
	Y	60	≥ 40	64	55	90	90	120
		40	≥ 40	50	62	63	83	73
		30	≥ 40	53	55	57	78	98
		28	≥ 40	78	53	50	46	65
		24	≥ 40	55	58	50	62	49
企业 2	B	60	≥ 45	65	62	58	60	60
		40	≥ 45	55	58	54	56	50
		30	≥ 45	51	53	54	53	52
	W	60	≥ 40	59	55	57	55	55
		40	≥ 40	54	53	54	51	53
		30	≥ 40	49	53	51	48	50
		28	≥ 40	48	47	50	48	45

企业	产品类型	直径 μm	自由圈径 mm					
			技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
		24	≥ 40	48	45	45	47	50
	Y	60	≥ 40	55	54	53	57	58
		40	≥ 40	54	54	51	52	49
		30	≥ 40	48	50	54	48	53
		28	≥ 40	52	52	52	47	46
		24	≥ 40	45	50	48	48	46
企业 3	B	60	≥ 45	101	110	56	76	67
	W	60	≥ 40	58	74	116	114	159
	Y	30	≥ 40	50	75	78	56	75
		28	≥ 40	102	58	57	68	87
		24	≥ 40	55	51	61	55	68
企业 4	B	60	≥ 45	100	95	87	103	102
		30	≥ 45	73	65	65	70	64
	W	60	≥ 40	90	108	110	136	67
		30	≥ 40	77	77	67	68	72
		28	≥ 40	77	69	77	66	66
		24	≥ 40	69	66	62	66	54
	Y	60	≥ 40	82	100	94	101	68
		30	≥ 40	52	73	77	69	66
		28	≥ 40	78	79	76	72	78
		24	≥ 40	59	55	62	58	62
企业 5	B	60	≥ 45	80	78	90	120	90
	W	60	≥ 40	87	83	79	67	70
		24	≥ 40	48	53	54	64	61
	Y	60	≥ 40	85	95	92	102	89
		30	≥ 40	46	55	61	66	60
		28	≥ 40	53	58	59	67	55
		24	≥ 40	45	56	58	62	63

按照标准草案中规定的方法进行检测，表 16 中各样品的自由圈径检测结果均符合标准草案的技术要求。

6 验证分析结论

由表 9~表 16 测试结果的信息显示：产品的化学成分、尺寸及允许偏差、长度、抗拉强度、破断力、直线性及自由圈径等检测结果稳定，满足本标准要求。本标准对产品主要技术参数的规定是合理可

行的，同时产品主要技术参数的实试验证数据稳定，并有一定富余度及可提升空间。

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

五、预期达到的社会效益等情况

（一）项目的可行性简介

近几年来，随着钨钼行业加工水平的发展，以及生产厂家技术水平升级，钨合金切割丝已积累大量的产品技术条件参数、性能测试数据和应用数据，现制订《钨合金切割丝》的国家标准技术条件已成熟，具备充分的制订条件和恰当的制订时机。

（二）标准的先进性、创新性、标准实施后预期产生的经济效益和社会效益。

本文件根据我国情况首次制定，填补了国内钨合金切割丝行业的一项空白，其技术指标符合用户要求，先进合理。本文件在编制过程中进行了大量的数据收集和试验测试工作，同时兼顾了国内大部分钨合金切割丝生产厂家的现状。

通过文献检索，网上查询，国内外没有关于钨合金切割丝的相关国家标准。因此迫切需要制定该产品国家标准，对钨合金切割丝的生产供应作出规范。

通过本标准与国内外现有钨丝标准的技术要求对比可知：本标准抗拉强度、单盘长度、自由圈径等技术标准更加严格，其他技术要求与国内外现有标准的技术要求相当，本标准可达到国际先进水平。

表17 国内外钨丝标准对比情况

标准来源			本标准		国外先进技术要求	
牌号			WLa0.5	WLa0.9	JIS H4461	GB/T 4181
抗拉强度 MPa	典型直径 μm	60≤d<80	≥4300	≥4500	2100-3600	2500-3700
		50≤d<60	≥4800	≥5000	2300-3800	2500-3700
		30≤d<40	≥5400	≥5600	2400-4000	2900-4100
		20≤d<30	≥5900	≥6100	3000-4500	2900-4100
		15≤d<20	≥6700	≥6900	3000-4500	3100-4400
单盘长度 km	典型直径 μm	50≤d<80	≥50		≥0.7	≥1
		30≤d<50	≥120		≥0.7	≥2
		15≤d<30	≥180		≥0.5	≥2
自由圈径 mm		B 型	≥45		-	-
		W 型或 Y 型	≥40		-	-

（三）预期效益

本文件的制定，解决了钨合金切割丝产品无标准可依的现状，使我国钨合金切割丝的技术要求更加先进、合理。同时随着光伏及半导体等行业的快速发展，切割用金刚线正朝着“五化”方向发展，“五化”

即“细线化、快切化、省线化、片厚均匀化、切割高稳定化”，金刚线切割行业获得一种新型金刚线母线材料来提升切割效率和提升切割片出片率。同时也逐步推动我国钨合金切割丝高质量发展，对促进我国钨合金切割丝生产应用的有序化和规范化将产生积极作用，构建和完善先进基础材料、关键战略材料和先进有色金属材料等新材料标准体系，以支持钨产业、光伏产业及高端制造业良性健康发展。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

经查，未发现相同类型的国际标准和国外先进标准。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性国家标准的协调配套情况

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准和强制性国家标准无冲突。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

暂无重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

鉴于本文件规定的钨合金切割丝，不涉及人身及设备安全的内容，其属产品标准，不属于安全性标准。依据标准化法和有关规定，建议本标准的性质为推荐性国家标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

1、首先应在实施前保证标准文本的充足供应，使每个制造厂以及检测机构等都能及时获取本标准文本，这是保证新标准贯彻实施的基础。

2、本次制订的《钨合金切割丝》国家标准，不仅与生产企业有关，而且与检测机构等相关。对于标准使用过程中容易出现的疑问，起草单位有义务进行必要的解释。

3、可以针对标准使用的不同对象，如制造厂、质量监管等相关部门，有侧重点地进行标准的培训和宣贯，以保证标准的贯彻实施。

4、建议本标准批准发布 6 个月后实施。

十一、废止现行有关标准的建议

无。

十二、其他应予说明的事项

无

编制组

2026 年 8 月 4 日