

行业标准《钨及钨合金棒、丝材涡流检测方法》编制说明

(讨论稿)

一、工作简况

1、任务来源

根据 2026 年 5 月 14 日,工业和信息化部办公厅关于印发《2026 年第二批行业标准制修订和外文版项目计划》的通知要求,有色金属行业标准《钨及钨合金棒、丝材涡流检测方法》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:2026-0233T-YS,项目周期为 12 个月,完成年限为 2027 年 4 月,由赣州虹飞钨钼材料有限公司、厦门虹鹭钨钼工业有限公司、厦门泰斯泰克仪器有限公司、赣州海盛钨业股份有限公司、厦门金鹭特种合金有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司等负责起草。

2、背景

钨是重要的战略资源,在工业、国防及各高新技术领域有重要地位。我国钨资源丰富,产业链完整,并正从资源优势向高附加值深加工领域加速转型。随着光伏、半导体等战略性新兴产业的飞速发展,钨及钨合金棒、丝材的应用领域与市场需求量得到了爆发式增长。如光伏硅片切割领域的需求带动了钨丝产量的迅猛增长,2023 年钨丝产量 900 亿米,同比大幅增长 195.08%;2024 年产量进一步跃升至 1500 亿米,同比增长 66.67%。市场需求的强劲增长正强力推动着钨加工技术向更高水平发展,也对贯穿全程的质量检测,尤其是涡流无损检测的覆盖广度、检测速度和可靠性提出了前所未有的要求。

钨材具有熔点高、硬度大、加工硬化效应显著的特性,其在经历粉末冶金、压力加工、拉拔等多道工序时,极易产生表面及近表面的微裂纹、划伤等缺陷。这些缺陷是降低成材率、导致后续加工和使用中断丝的主要原因。钨合金丝在高端应用领域的要求不断提高,传统钨丝最短长度达到 2 千米即可,而光伏硅片切割用钨丝要求单根长度达到 20 千米以上。在多达 20 道工序的加工中,几乎不允许断丝情况发生。传统产业单根钨丝用量少,能够容忍后端使用中存在一定比例的断丝,但新兴产业如长晶炉提拉绳钨丝若在运行中发生断裂,将造成重大经济损失。因此,新兴产业应用对钨棒、丝质量及可靠性要求有极大提高,在生产过程或最终产品检验进行涡流无损检测至关重要。

涡流检测作为针对钨棒材、丝材最为有效的表面及近表面缺陷检测技术,是实现上述质量控制的关键环节。它具备检测速度快、易于实现在线自动化等优点,能及时识别缺陷,是保障产品可靠性、提升后端加工效率的核心手段。钨合金材具有特定的电导率范围,且其合金成分、加工

状态及热处理工艺直接影响材料的电磁特性，因此，针对钨及钨合金的涡流检测需建立与之特性相匹配的专用技术方法。这主要包括：为克服因材质差异导致的信号响应偏差，需规定使用与待检钨材电磁特性一致的专用对比试样进行校准，以确保检测系统的灵敏度与准确性；针对钨材加工过程中出现的微裂纹等典型缺陷特征，需优化检测频率、相位等关键参数，以实现特定取向与尺寸缺陷的可靠识别；为满足大规模生产的在线检测需求，需规范高速、长距离检测工况下的信号稳定性评价与抗干扰方法。

目前，行业内进行涡流探伤时缺乏此类专用标准，导致各生产、使用单位在检测方法、校准程序和验收判据上依据不一。这不仅制约了产品质量的稳定性和可比性，也难以满足高端应用领域对质量可靠性与可追溯性的严格要求。本标准的制定也符合《“十四五”原材料工业发展规划》中关于“健全质量评价和认证体系”、“加强标准与检测技术有效衔接”的要求，是解决行业痛点、推动钨材质量分级评价的基础性工作。

本标准旨在通过建立统一、科学、专用的涡流检测方法标准，填补当前行业标准空白，为钨及钨合金棒、丝材的生产质控与交货验收提供技术依据，从而促进生产企业有效识别与控制产品缺陷，提升产品质量一致性与可靠性，满足新兴应用对长尺度、高可靠性钨材的需求，同时助力实现精准判断，提高成材率，减少资源与能源浪费，最终推动我国钨加工行业质量检测技术的进步与产业健康发展。

3、主要参加单位和工作组成员及其所作的工作

赣州虹飞钨钼材料有限公司成立于 1998 年 7 月，由厦门钨业股份有限公司与原赣州钨钼材料厂合资组建。公司地处江西省赣州市章贡区经济开发区，是一家长期从事钨钼制品的研发、生产和销售的国家高新技术企业。

公司建有博士后科研工作站、省级企业技术中心，在钨钼精深加工领域具有良好的自主创新能力，并与国家钨材料工程技术中心、江西理工大学建立了产学研合作；现拥有 36 项专利，其中发明专利 5 项。近年公司相继承担了二十余项国家、省、市、区钨钼精深加工项目，其中“卤素灯用钨丝研制”、“超大规模集成电路用高纯钨材”项目获批科技部创新基金项目支持及 2018 年度江西省技术发明三等奖，“镧、铈、钇的钨基功能材料研制”获得了工信部稀土产业升级专项支持。企业先后被评为国家支持第一批重点“小巨人”企业，江西省两化融合示范企业、江西省军民融合企业、江西省专精特新企业和江西省专业化小巨人企业。

公司产品以满足客户个性化需求为目标，生产满足不同客户不同需求的钨钼系列产品，拥有纯钨制品、特种钨丝、稀土钨电极 3 大系列产品；形成年产特种钨粉 5000 吨、稀土钨基功能材料 3000 吨、高纯钨棒 1000 吨、掺铈钨材 400 吨的生产能力。钨棒材烧结能力居全国首位。

赣州虹飞钨钼材料有限公司作为标准主编单位，在标准制定过程中负责对钨及钨合金棒、丝材产品当前和预期检测的需求进行调研，并对国内该行业主要厂家检测实验室采用的检测方法情况进行了全面了解，制定了试验方案，进行了试验样品收集、试验研究和数据分析统计，完成了标准文稿、研究报告和编制说明的撰写，并广泛征求国内同行实验室及相关企业意见。

厦门虹鹭钨钼工业有限公司、厦门泰斯泰克仪器有限公司、赣州海盛钨业股份有限公司、厦门金鹭特种合金有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司为在标准制定过程中对标准文本确定的各参数条件进行验证，并对验证样品进行检测，对试样方案、研究报告和编制说明均提出了修改意见，并配合主编单位进行了前期调研和起草过程中的征求意见工作。

本文件主要起草人：柴朝晖、刘希星、陈广、李国欢、何翔、钟昌炽、冷学文、黄世芳、钟亮金等。

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
柴朝晖	负责标准工作的整体协调和推进、标准起草前期调研、试验方案的确定、标准编写材料的收集、标准文稿的编写，研究报告及编制说明的修改。
刘希星、陈广	负责标准起草前调研、试验方案的确定、试验样品的收集、标准文本及研究报告及编制说明的修改。
李国欢、何翔	负责标准中试验方法研究，确定方法的材料、步骤和条件参数，对试验数据进行统计分析，负责研究报告及编制说明的编写。
钟昌炽、冷学文等	负责对确定的分析方法中各项材料、参数条件、试验步骤等进行全面验证，对验证样品进行测定，对标准文稿和研究报告提出修改建议。
	提供理论支撑，收集国内外钨材涡流检测技术资料，对标准提供支持
	负责对样品进行测试，提供比对试验数据，对标准文稿和研究报告提出修改建议。

4、工作过程

4.1. 预研阶段

2025 年 3 月，赣州虹飞钨钼材料有限公司成立标准工作小组，对标准编写工作进行了部署和分工。调研标准相关方的需求和意见，整理并编制形成了《钨及钨合金棒、丝材涡流检测方法》行业标准项目预研报告、项目建议书、标准草案等材料。

4.2. 立项阶段

1) 2025 年 10 月,赣州虹飞钨钼材料有限公司向全国有色金属标准化委员会提交《钨及钨合金棒、丝材涡流检测方法》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行业标准立项,由有色金属标准委员会转报上级单位。

2) 2026 年 5 月,工业和信息化部下达制订《钨及钨合金棒、丝材涡流检测方法》行业标准的任务,计划编号:2026-0233T-YS,项目周期为 12 个月,完成年限为 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

本标准为新编制标准,编制组为理清标准内容及行业现状,在起草阶段进行了大量的数据收集,同时兼顾全国钨及钨合金棒、丝材生产、应用厂家的现状。

1) 2026 年 6 月成立标准编制组,并明确了工作的职能和任务。

2) 2026 年 6 月~2026 年 7 月编制组面向钨及钨合金棒、丝材生产企业、应用单位、科研院所以及涡流检测仪器厂家开展全面广泛的涡流检测情况调研活动。进行了相关资料的收集和总结,对相关的技术资料进行了对比分析,形成了《钨及钨合金棒、丝材涡流检测方法》的讨论稿。

3) 2026 年 8 月 12 日由全国有色金属标准化技术委员会主持,在内蒙古自治区包头市召开了有色金属标准工作会议。

二、标准编制原则

本标准是在通过对我国钨及钨合金加工材涡流检测的实际状况进行了充分调研和分析总结的基础上制定的,在制定过程中结合产品生产检验和实际使用及试验验证的情况遵守以下原则:

1. 科学性:标准技术内容以涡流检测理论为基础,结合钨及钨合金材料特性,确保检测方法的科学性和有效性。原理部分明确阐述了涡流检测的物理基础,为检测参数的合理选择提供了理论依据。

2. 先进性:充分吸收国内外涡流检测技术的最新发展成果,结合我国钨工业的实际情况,提出了合理的参数和缺陷尺寸,使标准达到国内先进水平。

3. 适用性:本标准的制定的驱动来源于产业实际需求。解决了困扰行业多年的“无标可依”的问题。标准充分考虑了范围及不同应用领域对质量要求的差异性,使标准能满足高端到一般领域的需求。标准条款的表述力求清晰明确,操作性强,便于不同规模、不同技术水平的企业执行。

4. 协调性:标准修订过程中,编制组注意与现行有效的国家、行业标准保持协调一致。规范性引用文件引用了最新的 GB/T 9445 《无损检测 人员资格鉴定与认证》和 GB/T 12604.6 《无损

检测 术语 涡流检测》确保了人员资质和术语定义的统一。标准内容也与钨及钨合金棒、丝材产品标准（如 GB/T 4181《钨丝》 GB/T 4187《钨条和钨杆》 YS/T 1867《钨合金棒》）相衔接。

5. 规范性：本文件的起草格式、结构和编写规则严格遵循了 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求。标准名称、章节设置、条款表达、图表格式力求规范、准确、清晰，以保证文件的严谨性和权威性。

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

经过广泛调研后，根据国内钨及钨合金棒、丝涡流检测的实际情况制定本标准。标准主要描述了钨及钨合金棒、丝材涡流检测的方法原理、试验条件、仪器设备、样品、对比样块、试验步骤、试验结果的评定、检测记录和报告。

（二）标准内容确定的依据

1. 标准适用范围的确定及依据

1.1 涡流检测直径范围

钨及钨合金棒和丝直径范围大，区间从 0.015mm 到 80mm，但并非所有规格均适合采用涡流检测。经综合考虑技术可行性、设备能力和批量检测可操作性，本标准将涡流检测的直径范围确定为 0.10mm~25.00mm。

下限 0.10mm 的设定主要基于以下考虑：现有涡流探伤设备已可覆盖 0.10mm 及以上直径钨丝的检测能力，钨及钨合金丝材的涡流检测也已有成熟应用；低于 0.10mm 的细钨丝，由于绝对破断力低，对张力、速度、精度要求严苛，批量检测难以稳定实施，目前行业内对此类细规格产品多以过程工艺控制替代涡流检测。

上限 25.00mm 的设定主要基于以下考虑：涡流检测对表面及近表面缺陷敏感，趋肤效应决定了其穿透深度有限；钨及钨合金棒材经旋锻、车削加工后的主流产品直径多集中在 25mm 以下，超过该规格的大直径棒材在实际生产中已主要采用超声检测手段进行内部质量控制，涡流检测应用较少。25mm 作为上限与钨材加工的产品规格分布和实际检测需求相匹配。对于直径不在本标准规定范围内的钨及钨合金棒、丝材，经供需双方协商同意，可参照本标准执行。

2. 术语和定义的确定依据

根据本标准的需要确定 GB/T 12604.6《无损检测术语 涡流检测》界定的术语和定义适用于本文件。

3. 检测原理的确定依据

涡流检测是一种电磁无损检测方法，其物理基础涉及电磁场理论，且检测结果受多种因素影响。增加原理介绍的主要目的在于：一是指导检测人员理解方法本质，为合理选择检测条件和控制检测参数提供理论依据；二是统一各方对方法适用范围的认识，减少争议；三是为后续技术条款的制定提供逻辑支撑，使标准结构更加完整。

4. 一般要求的确定及依据

4.1 人员要求

涡流检测对人员操作技能以及信号分析和结果评定能力有特定要求，明确人员资格要求是保证检测结果准确可靠的前提。GB/T 9445《无损检测 人员资格鉴定与认证》已对不同等级无损检测人员的职责和相应资格要求作出了明确规定，本标准直接引用，不再重复规定。

4.2 环境要求的确定及依据

涡流检测对工作环境条件有一定要求。本标准从电磁干扰、温度、湿度等方面对检测环境作出规定，其中电磁干扰是影响涡流检测信号稳定性的主要因素，工作区域存在强电磁场时可能产生噪声信号，影响检测结果的准确性。特别是钨及钨合金棒、丝材涡流检测在线实施，现场环境相对复杂，明确环境控制要求是保证检测系统稳定运行的必要条件。

4.3 检测样品表面状态的确定及依据

涡流检测采用穿过式线圈，被检棒材或丝材沿长度方向穿过检测线圈时，若棒材弯曲或丝材不直，容易导致与线圈内壁发生触碰或偏心，引起检测信号的波动，影响检测结果的稳定性和可靠性。因此，本标准规定被检棒材的平直度、被检丝材的直线性应符合相应产品标准的要求。具体数值由相应产品标准规定，本标准不再重复列出。

涡流检测对被测工件表面状态有一定要求。被检样品表面附着物（如油污、润滑脂、磨削颗粒等）可能产生干扰信号，影响缺陷信号的识别；表面粗糙度过高则可能引起探头提离效应的变化，导致噪声信号增大，掩盖真实缺陷。因此，本标准规定被检样品的表面状态应符合相应产品标准的要求。

钨丝在拉拔加工过程中表面涂覆石墨层作为润滑剂。但拉拔态钨丝表面的石墨层极薄，不构成涡流检测的有效屏障，也不影响涡流场在钨丝表面及近表面的正常分布。带有石墨层的拉拔态钨丝直接进行涡流检测是钨丝加工行业的通行做法。因此，本标准规定带有石墨层的拉拔态钨丝可直接进行涡流检测。

烧结态和锻轧态钨及钨合金棒材表面粗糙度通常较高，直接进行涡流检测时提离效应显著，信

噪比较低，难以保证检测灵敏度。因此，本标准规定烧结态、锻轧态钨及钨合金棒材不宜直接进行涡流检测。

5. 仪器设备的确定及依据

5.1 涡流检测仪技术指标的确定及依据

涡流检测仪是涡流检测系统的核心组成部分，其性能指标直接决定了检测能力和检测结果的可靠性。本标准第 6.1 条对涡流检测仪的技术指标作出了规定，主要包括工作频率范围和功能配置两个方面。

5.1.1 涡流检测仪工作频率的确定及依据

本标准规定涡流检测仪工作范围至少包括 100Hz~10MHz。这一频率范围的确定主要基于以下因素：

1) 钨及钨合金材料的电磁特性。纯钨的电导率约为 $18.9 \times 10^6 \text{ S/m}$ ，钨合金的电导率则因合金成分、热处理状态不同而在一定范围内变化。根据趋肤深度公式 $\delta = 503.3 \times \sqrt{\rho / (\mu_r \times f)}$ ，要实现对钨及钨合金棒、丝材表面及近表面缺陷的有效检测，需要根据材料电导率和检测深度要求选择合适的频率。

2) 是检测直径范围的覆盖。本标准适用直径范围为 0.10mm~25.00mm，跨度较大。对于 0.10mm~1mm 的细丝材，需要采用较高的检测频率（通常 1MHz~10MHz），以获得足够的检测灵敏度，识别微小的表面缺陷；对于 1mm~25mm 的棒材，则可采用相对较低的检测频率（通常 100Hz~1MHz），以保证足够的涡流透入深度，覆盖近表面缺陷区域。

3) 行业设备现状。经调研，目前国内主流涡流检测设备的工作频率范围均能覆盖 100Hz~10MHz，部分专用设备甚至可达 10Hz~16MHz，能够满足不同规格钨及钨合金棒、丝材的检测需求。

5.1.2 涡流检测仪工作频率的确定及依据

本标准 6.1.2 条款规定涡流检测仪应包括激励、放大、相位调节、滤波等单元，并具有报警、显示或记录装置。这些功能单元是实现涡流检测的必要配置：激励单元用于产生交变电流，为检测线圈提供激励信号；放大单元用于将检测线圈拾取的微弱信号进行放大，便于后续处理；相位调节单元用于调整信号相位，使缺陷信号与干扰信号（如提离效应、材质不均等）在阻抗平面上分离，提高缺陷识别能力；滤波单元用于滤除与缺陷无关的噪声信号，提高检测信噪比。报警、显示或记录装置则是检测结果输出的必要手段，用于及时提示缺陷的存在，并记录检测数据以便追溯和分析。

5.2 检测线圈指标的确定及依据

5.2.1 检测线圈的确定及依据

根据棒、丝材直径的不同,推荐采用不同类型的检测线圈:对于直径 $0.1\text{mm}\sim 1\text{mm}$ 的丝材,建议选择绝对式探头和差动式探头同时检测。绝对式探头对沿丝材轴向延伸的长裂纹等连续性缺陷具有较好的检测效果,能够识别具有一定长度的连续性不连续;差动式探头则对点状缺陷、微裂纹等短小缺陷更为敏感,能够有效检出局部不连续性缺陷。两种探头配合使用,可以实现对不同类型缺陷的全面覆盖,避免单一检测方式的局限性。

对于直径大于 1mm 的材料,选择差动探头。差动式探头由两个反向串联的检测线圈组成,能够有效抑制提离效应、材质不均等共模干扰信号,具有较高的检测信噪比。对于直径较大的棒、丝材,差动式探头能够提供稳定可靠的检测性能,满足工业生产检测的要求。

5.2.2 填充系数的确定及依据

本标准6.2.2条款确定在保证棒、丝材顺利通过检测线圈的前提下,应尽可能选择填充系数高的检测线圈,一般填充系数不宜低于0.75。填充系数定义为被检棒、丝材外截面积与线圈内截面积之比,直接反映线圈与工件之间的电磁耦合程度。填充系数越低,耦合越弱。根据涡流检测原理,当填充系数由1.0降至0.75时,缺陷信号幅值约下降50%,继续降低可能导致微小缺陷信号被噪声淹没。

实际生产中,棒、丝材存在直径公差和一定弯曲度,线圈内孔需留有适当间隙以保证工件顺利通过、避免刮伤。尤其对于硬度较高的钨及钨合金材料,填充系数过高时若丝材与线圈内壁发生接触,易造成表面划伤或线圈磨损。细钨丝因轻微偏心或抖动对信号影响显著,可适当放宽填充系数要求,本标准提出推荐性指标,允许根据实际生产情况适当调整。

6. 传动装置

6.1 棒材涡流检测传动装置的确定及依据

传动装置是棒材涡流检测系统的重要组成部分,其功能是保证被检棒材以稳定的速度和正确的姿态通过检测线圈,并在检测完成后按结果进行分类收集。本标准第6.3.1条a)至d)款分别对传动装置各组成部分提出要求:

a)款对上料装置的推送平稳性提出要求,防止冲击或卡顿导致棒材与线圈发生碰撞或产生额外振动。

b)款对同心度调节提出要求。棒材与检测线圈的同心度是影响检测可靠性的关键因素之一,棒材偏离探头中心时表面与线圈之间的距离发生变化,产生的提离效应干扰信号可能掩盖真实缺陷信号或造成误报。

c) 款对分选机构提出要求, 涡流检测的最终目的是根据检测结果将棒材区分为合格品与不合格品, 分选机构是检测系统完整性的必要组成部分。

d) 款对整套传动装置的运行平稳性提出要求。振动会导致被检棒材相对检测线圈发生微小的瞬时偏心或速度波动, 进而产生干扰信号, 上料、传输、收料各环节的振动均可能对此产生影响, 因此对整个传动系统的平稳性作出统一规定。

6.2 丝材涡流检测传动装置的确定及依据

丝材涡流检测传动装置与棒材有所不同。丝材通常以盘、卷状态供料, 检测时需经放线、导向、检测、收线等连续工序。本标准第 6.3.2 条 a) 至 c) 款分别对传动装置的同心度调节、运行平稳性和收排线质量提出要求:

a) 款对同心度调节提出要求。丝材涡流检测中, 同心度偏差主要来源于前后导向定心机构的定位精度和张力控制的稳定性。丝材偏离检测线圈中心时, 表面与线圈内壁间距发生变化, 产生的干扰信号可能掩盖真实缺陷或造成误报。

b) 款对传动机构平稳性提出要求。丝材在检测过程中的抖动会导致其与线圈内壁的间隙发生瞬时变化, 产生附加噪声信号。因此要求传动机构平稳、振动小, 丝材通过检测线圈时无明显抖动。

c) 款对收线和排线提出要求。丝材检测完成后需重新收卷, 收卷质量直接影响后续工序的使用。收线张力过大可能损伤丝材, 过小则导致收卷松散; 排线速度与收线速度不匹配会造成排线不整齐; 排线行程与收线盘宽度不匹配会导致丝材堆积在局部区域。因此分别对收线机构的张力调节功能、排线机构的速度及行程调节功能提出要求。

涡流检测装置速度范围的设定考虑了涡流检测的动生涡流效应。差动式涡流检测中, 两个检测线圈的信号差值随速度变化呈现非单调特性——速度过低时差动信号幅度不足, 难以有效触发报警; 速度过高时动生涡流效应增强, 缺陷信号幅值可能出现下降, 存在漏检风险。本标准规定的速度范围是在保证检测信号有效性和检测效率之间取得的平衡。同时, 速度范围的确定也参考了各厂家涡流检测设备的实际参数和产线运行情况。

7. 标准人工缺陷样的确定及依据

本标准第 7 章对对比试样的定义、选材要求、人工缺陷形状和分布作出规定。具体包括以下内容:

7.1 样棒、样丝的确定及依据

标准规定, 对比试样是具有人工刻槽、用于调节检验灵敏度、校准检测仪器设备的性能和作为产品验收标准的样棒或样丝。对比试样是涡流检测系统调试和校准的核心工具, 其作用贯穿检

测全过程。

7.2 样棒、样丝选取的确定及依据

标准规定，对比样棒、丝材应选用与被检棒、丝材的材质、几何尺寸、表面状态及加工状态一致，且没有明显干扰人工标准缺陷信号识别的棒、丝材制备。

涡流检测的信号响应与被检材料的电磁特性密切相关。对比试样与被检材料材质不一致，会导致电磁特性不匹配，引起检测灵敏度偏差。直径差异会引起填充系数变化，影响电磁耦合效率和缺陷信号幅值。表面粗糙度、表面附着物等因素影响提离效应和涡流场分布，对比试样的表面状态应与被检材料保持一致。不同加工状态的材料内部组织和应力状态不同，电导率和磁导率也存在差异，对比试样的加工状态应与被检材料一致。

7.3 人工缺陷形状和分布要求的确定及依据

本标准规定，对比试样可选用 U 型、V 型或矩形刻槽，并至少具有周向 120° 间隔的三个相同大小人工刻槽，轴向分布间隔不小于 100mm。

三种刻槽形状各有特点，在实际应用中均有使用：U 型刻槽底部为圆弧状，与裂纹、划伤等自然缺陷形态较接近；V 型刻槽底部为尖角，加工相对简单，缺陷尺寸明确，应用最广泛；矩形刻槽深度和宽度尺寸精确，便于加工和测量。

周向 120° 间隔设置三个人工缺陷，用于验证检测系统在整个圆周方向上的灵敏度均匀性。三个均匀分布的人工缺陷可确保无论缺陷出现在工件圆周哪个位置，检测系统均能给出相近响应。轴向间隔不小于 100mm，可避免相邻缺陷信号相互干扰，保证每个缺陷信号能被清晰识别。。

7.4 人工缺陷尺寸的确定及依据

人工缺陷尺寸根据钨及钨合金棒、丝材的尺寸进行分类，并设置了多个等级，主要是为了满足不同应用领域对产品质量的差异化要求。使用方可根据产品用途选择合适的验收等级。尺寸的确定主要依据三个方面：一是通过调研国内主要生产企业和用户，了解不同应用领域对质量的实际要求；二是兼顾人工缺陷的加工和测量可行性，尺寸过小既难以精确制备也难以可靠检出；三是结合钨及钨合金材料的特点，对行业实际采用的缺陷尺寸进行了归纳和确认。对于直径 0.1mm~1mm 的丝材，A 级槽深为直径的 5%，B 级为 15%。这一比例在保证检测可行性的前提下，为细丝检测提供了不同严格程度的选项。对于直径 1mm~25mm 的棒材，A 级至 D 级槽深分别为 0.1mm、0.2mm、0.3mm、0.4mm，覆盖了从较高表面质量要求到一般质量等级的不同需求。槽宽不大于 0.20mm，与常见微裂纹、划伤的宽度尺度相当，便于加工制备。槽长不大于 10mm，保证缺陷信号幅值满足识别要求。尺寸允许偏差兼顾了缺陷当量的准确性和实际加工的可操作性，深度允许偏差依缺陷深

度不同有所区分。

8. 检验步骤的确定及依据

8.1 检测准备的确定及依据

本标准第 8.1 条对涡流检测前的准备工作作出规定，包括仪器设备预热及检查、探头选择、标准人工缺陷样选择和传动装置调整四个方面。各项要求确定的依据如下：

8.1.1 仪器和设备预热及检查确定及依据

涡流检测仪属于电子测量仪器，其内部电路需要一定的预热时间才能达到热平衡状态，确保信号输出的稳定性和检测结果的可靠性。否则，可能因电子元件漂移导致检测灵敏度波动或误判。标准规定仪器和设备应开机预热稳定后，检查输入、输出、指示正常，方可投入使用。

8.1.2 探头选择的确定及依据

不同直径的棒、丝材需要匹配相应规格的检测线圈，以保证填充系数满足检测灵敏度要求。填充系数过低会导致电磁耦合效率下降，缺陷信号幅值降低，影响检出能力。规定探头的选择应根据棒、丝材直径按本标准第 6 章的要求执行。

8.1.3 标准人工缺陷样选择的确定及依据

标准人工缺陷样是调节检测灵敏度、校准检测设备性能的基准。不同牌号、规格和表面状态的棒、丝材，其电磁特性存在差异，应选用与被检产品材质、尺寸、表面状态及加工工艺一致的人工缺陷样进行校准，以保证检测结果的等效性和可比性。规定标准人工缺陷样按本标准第 7 章的要求选择。

8.1.4 传动装置调整的确定及依据

涡流检测的信号质量与被检棒、丝材通过检测线圈时的位置和速度密切相关。若被检件偏离检测线圈中心，表面与线圈内壁间距发生变化，产生的提离效应干扰信号可能掩盖真实缺陷或造成误报；送进速度不当会导致缺陷信号频率偏移，可能被滤波器滤除或造成误判。因此，要求调节导向装置和探头机座，确保被检棒、丝材同心穿过探头、行进顺畅，并确认送进速度。

8.2 涡流检测仪器参数调节的确定及依据

本标准第 8.2 条对涡流检测仪器的参数调节作出规定，包括检测频率选择、相位和滤波调节、报警电平与灵敏度设定三个方面。

8.2.1 检测频率调节的确定及依据

标准规定检测频率的选择应保证标准透入深度满足检测要求。检测频率直接影响涡流的透入深度——频率越高，透入深度越小，对表面微小缺陷的灵敏度越高；频率越低，透入深度越大，

但对表面缺陷的分辨能力下降。检测频率的选择需根据被检材料的电导率和检测目标综合考虑，确保涡流能够有效覆盖被检棒、丝材表面及近表面区域。

8.2.2 相位和滤波调节的确定及依据

标准规定调节仪器相位使标准人工缺陷信号与噪声信号在阻抗平面上可清晰区分，并根据检测速度设置滤波参数。涡流检测中，不同来源的信号（缺陷信号、提离效应信号、材质不均信号等）在阻抗平面上的相位角不同。通过相位调节可将缺陷信号旋转到便于观察的位置，将干扰信号调整至水平方向以降低其影响。滤波设置的目的是滤除与缺陷无关的频率成分，滤波器中心频率应与检测速度相匹配，确保缺陷信号通过的同时有效抑制噪声。

8.2.3 报警电平与灵敏度调节的确定及依据

标准规定报警电平宜设置为屏高的 50%，三个 120° 方向标准人工缺陷信号的平均幅值达到报警电平线且各缺陷信号幅值差不超过 2dB，噪声信号幅值小于报警电平的 20%，以此状态为基准检测灵敏度，在此基础上提高 3dB~5dB 作为生产检测灵敏度。

其中，报警电平设置为屏高的 50%，该设置既在量程上留有余量，避免信号饱和，又能保证缺陷信号的读数精度。使操作人员在阻抗平面图上对缺陷信号幅值有直观的参照。

各缺陷信号幅值差不超过 2dB，目的是保证三个方向人工缺陷信号的响应一致性，确保无论缺陷出现在棒、丝材圆周的哪个方向，检测系统均能给出相近的信号响应。

噪声信号幅值小于报警电平的 20%，该要求确保了缺陷信号与噪声信号之间有足够的幅度裕度，避免因噪声波动导致误报。

在基准检测灵敏度基础上提高 3dB~5dB 作为生产检测灵敏度。这一增量既保证了对实际缺陷的检出能力，又不至于因灵敏度过高而导致噪声信号频繁触发报警。结合钨及钨合金材料的电磁特性及表面状态特点，也为系统误差预留了调节空间。

8.3 设备校验的确定及依据

标准第 8.3 条规定了设备校验的触发条件和校验不合格时的处置措施。

触发条件包括：每个班次检测开始时、连续检测每 4h、更换产品规格后、更换检测人员或设备参数后、设备异常或怀疑检测结果不可靠时、同一批次产品检测结束时。检测设备在长时间运行过程中，温度变化、电子元件漂移、机械振动等因素可能导致检测灵敏度发生变化，若不及时校验，可能造成缺陷漏检或误判。本标准提出的校验触发点覆盖了检测过程中可能影响设备状态的主要变化节点。

校验合格与否的判定依据是各人工缺陷信号幅值是否不低于基准检测灵敏度设置值，且幅值

波动不超过 2dB。超过此值表明设备状态发生了显著变化。校验不合格时，标准规定应重新进行灵敏度设定，并对上次校验后检测的产品重新检测。这一规定确保设备状态出现异常之前完成检测的产品也得到追溯核实，避免因灵敏度漂移导致系统性漏检或误判。

9. 检测结果评定的确定及依据

本标准第 9 章对涡流检测结果的评定作出规定，包括缺陷信号正常、缺陷信号异常和丝材缺陷统计评定三种情形。

9.1 规定了缺陷信号正常的判定准则：被检棒、丝材的缺陷信号幅值不大于报警电平（不报警），判为合格品。检测过程中未发现超过报警电平的信号，表明被检产品表面及近表面不存在尺寸达到或超过标准人工缺陷当量的不连续性缺陷。

9.2 规定了缺陷信号异常的处置方式：信号幅值大于报警电平（报警）时，判为可疑品，应复检一次。复检后信号全部低于报警电平，说明初次报警可能由偶然因素（如瞬时抖动、表面局部附着物等）引起，判为合格品；复检后信号仍不低于报警电平，确认缺陷存在，判为不合格品。不合格品允许修磨或切除缺陷部位后重新检测，这一规定避免了因局部缺陷导致整根产品报废，兼顾了产品质量与材料利用率。

9.3 针对长尺寸丝材的特殊评定需求作出了规定。钨丝产品通常以盘卷状态供货，单根长度可达数百米至数千米。若以整根丝材是否存在报警信号作为判定依据，任何一个微小缺陷信号即判定整根不合格，与实际生产和使用需求不符。在实际生产中，长尺寸丝材的涡流检测通常采用差动式或绝对式两种检测方式，评定方法也不同：差动式检测是单个缺陷产生一个独立信号，按单位长度内超报警电平的信号个数统计缺陷密度；绝对式检测输出的是信号绝对值，整根丝材所有超报警电平的缺陷累计长度作为统计指标。两种评定方式均已在钨丝行业实际生产中使用，具体方法和指标因产品用途和客户要求而异，由供需双方协商确定，在检测报告中注明。

10. 检测记录及报告果的确定及依据

第 10 章对涡流检测的记录和报告作出规定。标准规定，检测记录应包括下列内容：

- a) 棒、丝材的牌号、批号、规格、数量；
- b) 检测仪型号、探头形式和检验频率、相位、检测速度等；
- c) 标准人工缺陷的形状、尺寸；
- d) 合格与不合格棒、丝的数量；
- e) 检验人员印章或签字及时间。

上述内容覆盖了被检产品信息、检测系统信息、验收标准信息、检测结果信息和检测人员信息

五个方面，使检测过程具有完整的可追溯性，符合无损检测质量体系的基本要求。

检测报告应包括检测记录中的适当内容及本标准编号和签发报告人员。检测报告不要求列出全部原始记录，可选取必要内容出具。本标准编号是检测所依据的技术文件，签发报告人员是检测结论的责任人，均为检测报告的必备要素。

（四）主要试验（或验证）情况分析

针对钨及钨合金棒、丝材涡流检测指标参数，按照标准规定的方法，对主要指标分别进行了验证。

4.1 检测规格范围的确认

根据前期调研情况，标准将涡流检测棒、丝的直径范围确定为 0.10mm~25.00mm。收集到各单位的批量检测范围及标准规范范围需求见表 3。

表 3 钨及钨合金棒、丝检测范围

序号	厂家	应用单位类型	批量检测规范范围	标准规格范围需求
1	赣州虹飞钨钼材料有限公司	生产方	φ 0.10mm-φ 25.0mm	φ 0.08mm-φ 25.0mm
2	厦门虹鹭钨钼工业有限公司	生产方	φ 0.10mm-φ 25.0mm	φ 0.1mm-φ 30.0mm
3	厦门泰斯泰克仪器有限公司	设备商	φ 0.08mm-φ 30.0mm	φ 0.08mm-φ 30.0mm
4	赣州海盛钨业股份有限公司	生产方	φ 0.20mm-φ 15.0mm	φ 0.2mm-φ 15.0mm
5	厦门金鹭特种合金有限公司	生产方	φ 0.50mm-φ 25.0mm	φ 0.5mm-φ 25.0mm
6	成都长城钨钼新材料有限责任公司	生产方	φ 0.10mm-φ 15.0mm	φ 0.1mm-φ 15.0mm

编制组对国内主要钨及钨合金棒、丝材生产企业和涡流检测设备制造商进行了调研。根据各厂家反馈的意见和实际检测能力，直径小于 0.1mm 的钨丝和直径大于 25mm 的棒材，虽有部分厂家进行过试验性检测，但检测方法尚不成熟，且在实际生产中应用还不够广泛。本标准将涡流检测的直径范围确定为 0.10mm~25.00mm，覆盖了大多数厂家已实现批量检测的规格区间。对于其他规格，在标准中增加了“参照执行”的规定。

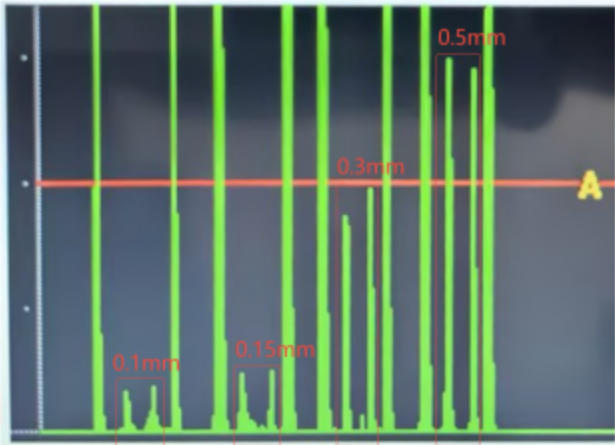
4.2 检测规格范围的验证

编制组组织多家单位对不同牌号、规格的钨及钨合金棒、丝材进行涡流检测验证，以下是部分验证实例。

序号	牌号	规格D (mm)	状态	人工缺陷尺寸 (mm) (长×宽×深)	检测方式	检出率	试验单位
1	W1	φ 1.6mm	磨光态棒材	10mm×0.2mm×0.1mm	外穿式	100%	赣州虹飞钨钼材料有限公司
2	WK60	φ 0.39mm	加工态丝材	10mm×0.2mm×0.15D	外穿式	100%	成都长城钨钼新材料有限责
3	WX4.0	φ 2.4mm	加工态棒材	12mm×0.2mm×0.2mm	外穿式	100%	赣州虹飞钨钼材料有限公司
4	WLa0.5	φ 1.0mm	加工态丝材	10mm×0.2mm×0.1mm	外穿式	100%	赣州海盛钨业股份有限公司
5	WCe1.6	φ 15.0mm	磨光态棒材	12mm×0.2mm×0.5mm	外穿式	100%	厦门金鹭特种合金有限公司
6	WLa1.3	φ 6.0	磨光态棒材	12mm×0.2mm×0.4mm	外穿式	100%	成都长城钨钼新材料有限责任
7	WLa0.5	φ 0.20mm	加工态丝材	10mm×0.2mm×0.05D	外穿式	100%	厦门虹鹭钨钼工艺有限公司
8	WY1.5	φ 4.0mm	磨光态棒材	10mm×0.2mm×0.3mm	外穿式	100%	赣州虹飞钨钼材料有限公司

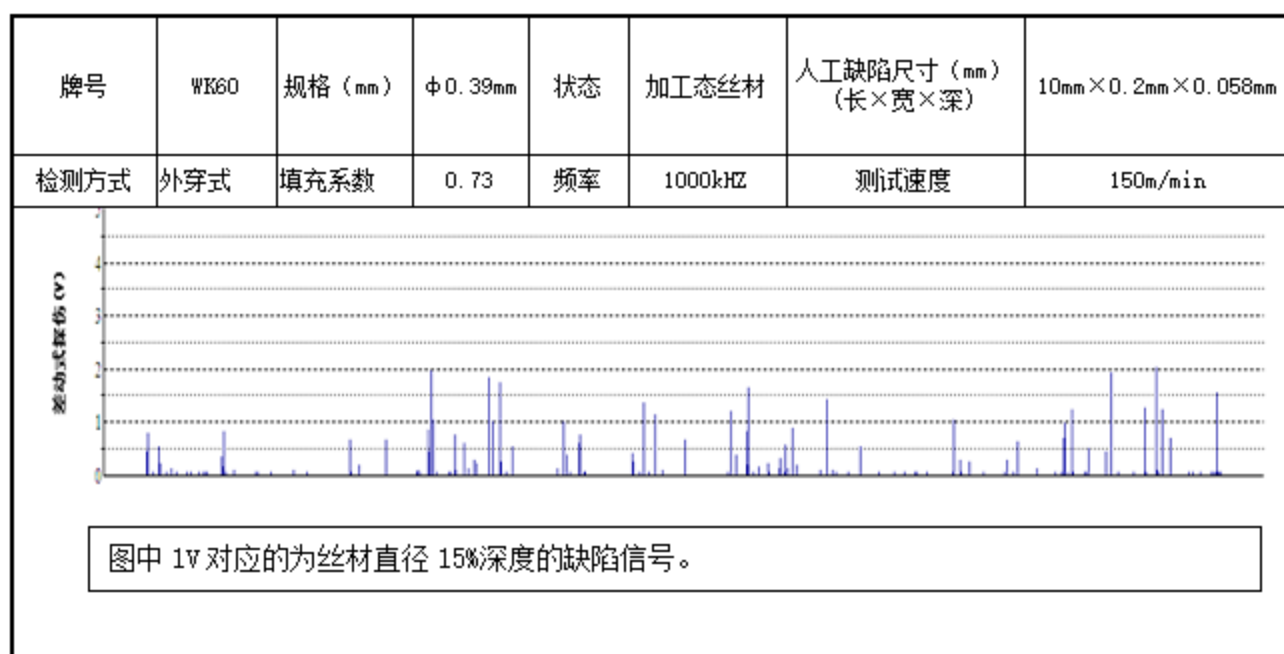
1、验证具体情况

实例 1 赣州虹飞钨钼材料有限公司

牌号	W-1	规格 (mm)	φ 1.6mm	状态	磨光态棒材	人工缺陷尺寸 (mm) (长×宽×深)	10mm×0.2mm×0.1mm
检测方式	外穿式	填充系数	0.85	频率	680kHz	测试速度	18m/min
 图中标注 0.1mm 为此规格对应检测结果，人工缺陷信号左右两侧大的信号是钨棒进入和离开探头时信号。							

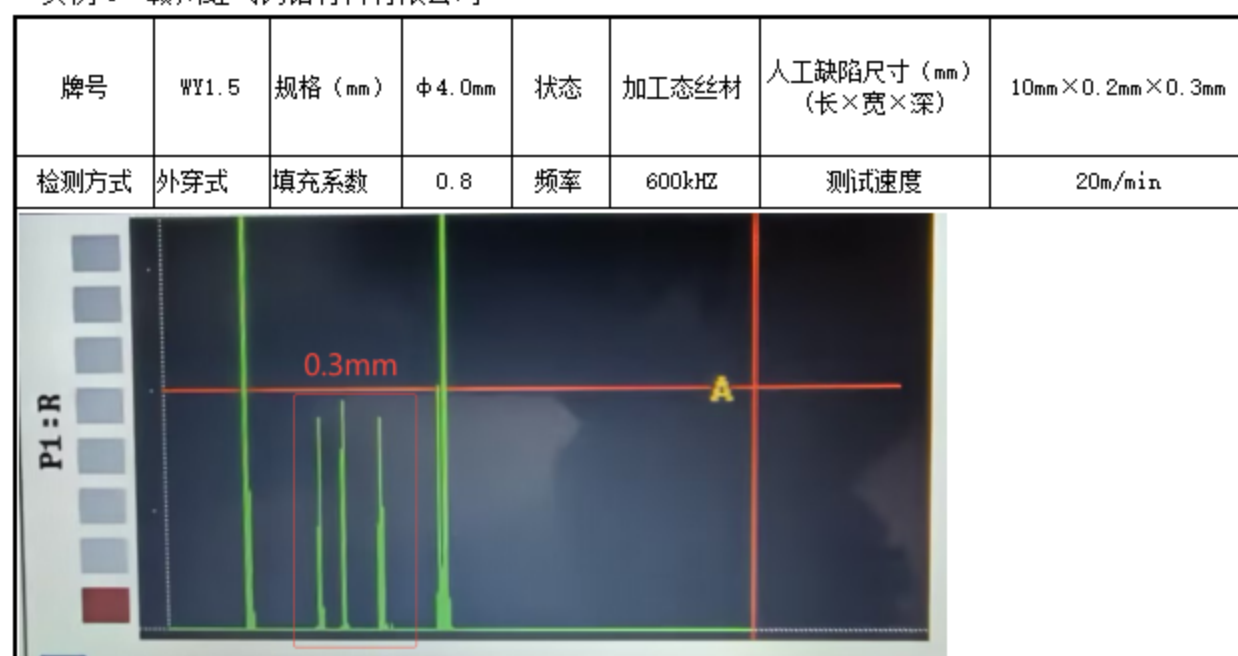
结果说明，在填充系数 0.85 的情况下，能清晰稳定检出 0.1mm 深的人工缺陷，信噪比良好。这表明对于 φ 1.6mm 钨棒产品，标准要求的充分和可实现的。

实例 2 赣州海盛钨业股份有限公司



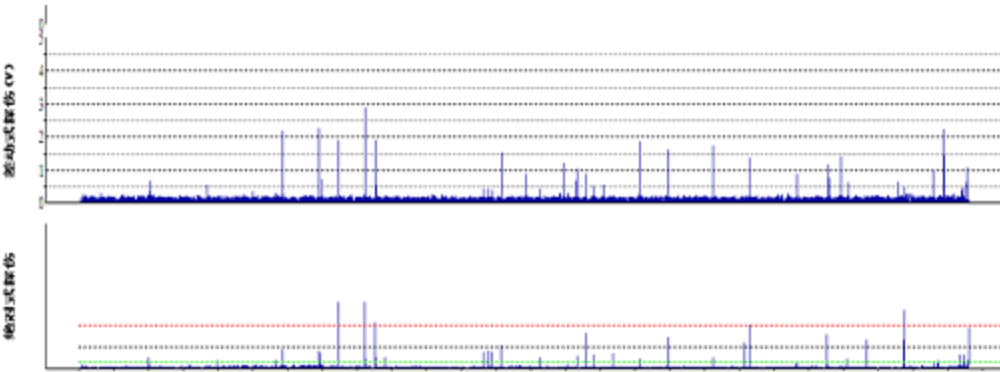
结果说明，在填充系数 0.73 的情况下，能清晰稳定检出 15%直径深度人工缺陷，信噪比良好。这表明对于钨丝产品，标准要求的充分和可实现的。

实例 3 赣州虹飞钨钼材料有限公司



结果说明，在填充系数 0.8 的情况下，能清晰稳定检出 0.3mm 深度人工缺陷，信噪比良好。这表明对于钨丝产品，标准要求的充分和可实现的。

实例 4 厦门虹鹭钨钼工业有限公司

牌号	WLa0.5	规格 (mm)	Φ 0.2mm	状态	加工态丝材	人工缺陷尺寸 (mm) (长×宽×深)	10mm×0.2mm×0.001mm
检测方式	外穿式	填充系数	0.75	频率	10MHZ	测试速度	180m/min
							

结果说明，在填充系数 0.75 的情况下，能清晰稳定检出 0.001mm 深度人工缺陷，信噪比良好。这表明对于钨丝产品，标准要求的充分和可实现的。

现有收集到的检测实例，覆盖的牌号、规范和厂家还不充分。目前仍在继续验证。

4.3 验证分析结论

本文件涡流检测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测试验数据稳定，并有一定富余度及可提升空间，规定的产品技术要求科学合理，同时便于生产厂家调整。

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) 项目的必要性简介

钨及钨合金棒、丝以其丰富的种类和卓越的特性，在工业领域中占据着重要的地位。近年来，随着光伏等领域对钨及钨合金棒、丝材的应用发展迅速，技术标准不断提升。涡流检测在行业内的应用迅速增加，但长期以来钨及钨合金棒、丝材涡流检测缺乏统一的标准，这些产品在进入市场时面临“无标可依”的困境，制约了产业升级和市场拓展。因此，有必要制定相应标准，满足行业对钨及钨合金棒、丝材应用的迫切需要。

(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。

本标准内容已达国内领先水平。标准的制定，可以及时解决钨及钨合金棒、丝涡流检测标准缺失问题。同时通过科学和标准化的检测方法，引导企业采用更规范的检测工艺，提升对产品表面和近表面缺陷的检出能力和控制水平，提升整体质量。通过提供统一、科学的检测依据，可大幅减少因检测标准不一导致的商业纠纷与重复检验成本。推动检测流程标准化与自动化，提升在线检测效率，减少生产中断。通过精准识别并早期剔除缺陷物料，能有效避免缺陷品流入后续高附加值加工环节，为企业节约原料与能耗成本。为高性能钨材产品提供权威的质量评价依据，助力其稳定进高端供应链，打破质量壁垒，提升我国钨材产品附加值和国际市场竞争力。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

ISO 15548(-1&-2&-3)《Non-destructive testing-Equipment for eddy current Examination》(无损检测 涡流检验用设备):该系列标准为涡流检测设备的功能和性能验证提供了国际通用的基础规范。本标准中对仪器设备的要求与 ISO 15538 是相通的。

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 of 推荐性国家标准，其内容符合《中华人民共和国标准化法》及配套法规的要求。标准中引用的文件均为推荐性标准，与基础性标准协调一致，无矛盾或冲突。

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

鉴于本标准规定的钨及钨合金棒涡流检测方法，不涉及人身及设备安全的内容，其属检测标准，不属于安全性标准。依据标准化法和有关规定，建议本标准作为行业标准推广使用。

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、设计单位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《钨及钨合金棒、丝材涡流检测方法》行业标准，不仅与生产企业有关，而且与设计单位、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、各相关企业需对照新标准的要求，检查现有涡流检测设备的性能是否满足要求，进行必要的升级或校准；组织检测人员进行培训和资格鉴定，确保设备和人员符合标准要求；制备涵盖各等级标准的对比试样，为设备调试和灵敏度校准提供统一的参考基准。

5、建议本标准批准发布后 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

在本标准编制过程中，得到了行业众多专家、技术人员的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。本标准的编制说明与标准正文具有同等效力，是对技术标准内容的解释和补充。

编制组

2026 年 8 月