

钼基旋转阳极靶坯

编

制

说

明

（送审稿）

《钼基旋转阳极靶坯》编制组

2025 年 06 月

推荐性行业标准《钼基旋转阳极靶坯》

编制说明（送审稿）

一、工作简况

1.1 任务来源及计划要求

根据 2024 年 9 月 14 日工业和信息化部发布的《关于印发 2024 年第四批行业标准制修订计划的通知》（工信厅科函〔2024〕352 号）的要求，由西安瑞福莱钨钼有限公司负责起草修订《钼基旋转阳极靶坯》行业标准。项目计划编号为 2024-1000T-YS，项目周期为 12 个月，完成年限为 2025 年 9 月 13 日。归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

1.2 标准项目编制单位、起草人及其所做工作

本文件起草单位：西安瑞福莱钨钼有限公司、西安理工大学、厦门钨业、中钨稀有新材、有色金属技术经济研究院有限责任公司、安泰天龙、西安建筑科技大学、金堆城钼业、杭州万东。

西安瑞福莱钨钼有限公司、西安理工大学、厦门钨业、中钨稀有新材、安泰天龙、西安建筑科技大学、金堆城钼业、杭州万东，西安瑞福莱钨钼有限公司作为标准起草负责单位，在工作前期，对钼基旋转阳极靶坯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。

有色金属技术经济研究院有限责任公司为本文件提供理论研究基础，并为国内外钼基旋转阳极靶坯标准研究工作提供有力支持。

本文件主要起草人：温亚辉、林基辉、杨思尧、XXXX

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
温亚辉、林基辉	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
梁淑华	提供理论支撑，并对国内外钼基旋转阳极靶坯相关标准对比提供支持
白智辉	负责提供理论及技术指导
杨思尧、刘晨雨	负责产品市场调研、客户标准收集及标准中相关技术要求内容的编写
马昕宇、参编单位人员	负责提供企业的现场调研及配合标准编写开展试验验证及数据统计

1.3 主要工作过程

1.3.1 预研阶段

2014 年之前，西安瑞福莱钨钼有限公司主要传承西北有色金属研究院上个世纪 90 年代钨钼双金属

合金制备技术制备出 $\phi 74\text{mm}$ 靶坯，随着国内材料科技及材料装备的发展，通过近 8 年钨钼行业同高校院所产学研结合及产业链上下游企业的创新优化、创新开发、调试迭代，完成了 DR、CT、DSA 等高端 X 射线数字医疗设备用阳极靶材的国产替代，如图 1 所示，a、b、c 均为三层复合靶坯，d 为双层复合靶坯，其中产品直径可覆盖至 $\phi 240\text{mm}$ ，能够满足先进医疗设备全系列 X 射线球管对阳极靶盘的要求。靶坯的主要技术发展从低功率 DR 球管 $\phi 60\text{mm}$ 纯钨/纯钼靶盘，到添加合金增加使用功率和使用寿命的 CT 用 $\phi 240\text{mm}$ WRe10/TZM/石墨靶盘，包含了钨钼合金双金属制备、双金属致密化处理、合金对双金属使用效果的影响、石墨与钼合金连接技术、产品精加工技术、产品洁净处理技术、产品检测及表征方法等多个研究方向，并通过整机用户端上机测试迭代，最终实现批量化生产。

2022 年 2 月至 2022 年 10 月，由西安瑞福莱钨钼有限公司、西安理工大学、厦门虹鹭钨钼工业有限公司、中钨稀有金属新材料（湖南）有限公司、杭州万东电子有限公司对钼基旋转阳极靶坯生产现状进行了调研，具体内容为：了解国内钼基旋转阳极靶坯近年来的产品系列、技术水平、检测及应用情况的变化与发展，与企业技术人员深入讨论技术标准的具体要求，根据调研情况，整理并编制形成了《钼基旋转阳极靶坯》行业标准制定标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料。

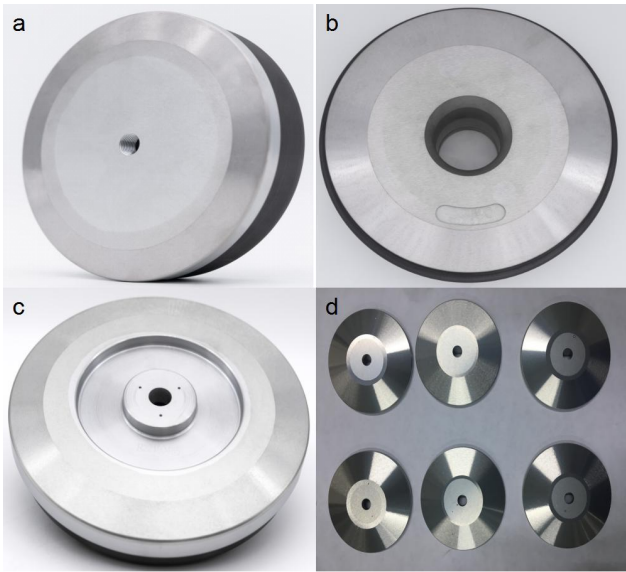


图 1 CT 用旋转阳极靶坯（a-c）和低功率 DR 球管纯钨/纯钼靶盘产品（d）

1.3.2 立项阶段

2022 年 11 月，西安瑞福莱钨钼有限公司向全体委员会议提交了《钼基旋转阳极靶坯》行标制定标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料，全体委员会议论证结论为同意行业标准制定立项。

2024 年 9 月 14 日，收到工信厅科函〔2024〕352 号文件通知，下达了制定行业标准《钼基旋转阳极靶坯》的任务，计划编号为：2024-1000T-YS，项目周期为 12 个月，完成年限为 2025 年 9 月，技术归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

1.3.3 起草阶段

本标准在制定标准，在起草阶段进行了大量的调研对比工作，同时兼顾国内钼基旋转阳极靶坯生产厂家的实际生产现状。

1) 2024 年 10 月 30 日，由全国有色金属标准化技术委员会组织，在江苏省南京市召开了有色行业标准任务落实会。根据计划要求，西安瑞福莱钨钼有限公司立即成立了标准编制工作组，初步制定了工作计划和进度安排，明确了各参与单位的工作职能和任务。

2) 2024 年 11 月~2024 年 12 月，编制小组结合预研阶段对钼基旋转阳极靶坯产品系列、技术水平、检测及应用情况调研结果，对钼基旋转阳极靶坯使用状况进行了相关资料的收集、总结和分析，对产品名称、化学成分等一系列相关问题逐一进行了核实，形成了《钼基旋转阳极靶坯》的讨论稿，并进行了广泛的征求意见工作。

1.3.4 征求意见阶段

本标准以召开专题会议、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。

1) 2024 年 12 月 17 日，由全国有色金属标准化技术委员会主持，在黑龙江省哈尔滨市召开了本标准的讨论会。与会代表对本标准讨论稿进行了认真、细致的讨论，提出了修改意见及建议。标准编制组及时对讨论稿进行了修改，形成《钼基旋转阳极靶坯》的征求意见稿，同时，编制组根据征求意见稿规定的性能要求及试验方法启动了验证工作。

2) 2025 年 4 月 16 日，由全国有色金属标准化技术委员会主持，在云南省昆明市召开了本标准的预审会，与会代表对本标准（预审稿）进行了讨论，提出了修改意见及建议。

在征求意见阶段，共发函 20 家相关生产应用单位和科研院所，回函的单位共 20 家、回函并有建议意见的单位共 11 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》）。

2025 年 6 月，本文件编制组依据各单位提出的意见和建议，继续对预审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。标准的制定严格按照 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》的规定格式进行。

2.2 合理性

编制小组是在对国内外市场应用领域要求和国内主要产品生产厂家充分调研的基础上,对原标准进行的修订,收集对比了大量的实测数据,产品的技术指标均得到了相应的印证,确保合理性。本文件的制定充分反映了当前国内钼基旋转阳极靶坯行业各生产企业的技术水平和应用水平,宜于应用。

2.3 先进性

本文件的修订,将对国内钼基旋转阳极靶坯生产企业和相关行业的技术进步起到积极作用。本文件涉及的内容,技术水平不低于当前国际先进水平。

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

本文件主要在对市场需求和国内钼基旋转阳极靶坯的实际生产水平充分调研的基础上,对产品的范围、分类、技术要求等内容进行了制定。

1. 范围

本文件规定了钼基旋转阳极靶坯的技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输、贮存、随附文件和订货单内容。

本文件适用于粉末冶金法制备,经机加工成形的钼基旋转阳极靶坯。可应用于医疗诊断设备,如X光机、CT扫描仪等。工业领域的无损检测也常用基于钼基旋转阳极靶坯的X射线管,主要用于检测金属材料内部的缺陷等。此外钼基旋转阳极靶盘也可用于同步辐射光源中,是产生高亮度X射线的关键部件。

2. 分类和标记

钼基旋转阳极靶坯是计算机X射线摄影技术(CR)、数字化X射线摄影技术(DR)、X射线检测及诊断技术等结构件中关键核心器件之一,它某种程度上推动了很多产业的升级换代。近几年随着医疗行业发展,钼基旋转阳极靶坯具备广阔的市场前景。

现如今,市面上存在旋转阳极靶盘具有双层或者三层结构。首先作为工作轨面的钨及钨合金层,由于钨熔点高,散热性能好且原子序数高,在电子束轰击下能激发强的射线。同时钨的蒸气压在自然界的金属材料中最低,保证了X射线管内部 10^{-5} Pa的真空度的要求,避免了放气造成的打火或者击穿等问题。而X射线管是间断式工作,时冷时热,靶面材料容易产生龟裂,而钨具有切口敏感效应,容易导致裂纹的扩展、加深,最终损坏X射线管。此外,裂纹扩展加深后会使得基体材料暴露在电子束轰击下而产生不需要的波长射线混杂在所需波长的射线之中。在钨中添加少量的铌、钼、铬等贵金属及铪、锆等金属或具有高熔点、高原子序数的其他过渡族元素的钨合金作靶面材料,比纯钨靶面层具有更好的抗熔损

性，防止了靶面龟裂， 保证成像清晰，提高了射线管的使用寿命。其中在钨中添加适量的铼，X 射线不仅损失少，且输出功率大。因此，钨铼合金成为了一种常见的旋转阳极的靶盘材料。其次，作为基体层的钼及钼合金层，是因为钨的比重大，在为提高靶的热容量而增大直径时，钨及钨合金靶的重量增加，这对射线管的工作很不利。为此，需要用一种既能与钨较好地粘接起成一体，又能减轻靶的重量、增大靶的热容量的材料作基体。钼的比重约为钨的 1/2， 比热约为钨的 2 倍以上，且高温强度大，能与钨粘合成牢固的整体。而重量相同的钼基钨靶，热容量提高 2 倍以上，增大了靶的输出功率。同时 TZM 合金在 1000℃ 以上仍能保持高强度，抗蠕变能力比纯钼靶提升 3-5 倍，适合承受高速旋转和极端热负荷。TZM 合金的抗热冲击性能比纯钼靶提升 2-3 倍，寿命延长 50% 以上。作为三层的阳极靶盘的石墨层具有比热大、比重小、辐射系数大、散热快等特点。可有效的减轻重量，提高热能力，缩短 50% 以上的冷却时间。

因此，根据对现有市场需求的调研，本次制定钼基旋转阳极靶坯的多种类型，包括靶坯的结构、产品名称、牌号和规格，具体如表 2 所示。双层复合靶坯的结构示意图见图 2，三层复合靶坯的结构示意图见图 3。

表 2 牌号、供货状态和规格

结构	产品名称	牌 号	规格 mm
双层复合靶坯	钼基钨靶坯	Mo1-W1	Φ60～Φ240
	钼基钨铼靶坯	Mo1-WRe	
	TZM 基钨铼靶坯	TZM-WRe	
三层复合靶坯	钼基钨-石墨靶坯	Mo1-W1-C	
	钼基钨铼-石墨靶坯	Mo1-WRe-C	
	TZM 基钨铼-石墨靶坯	TZM-WRe-C	

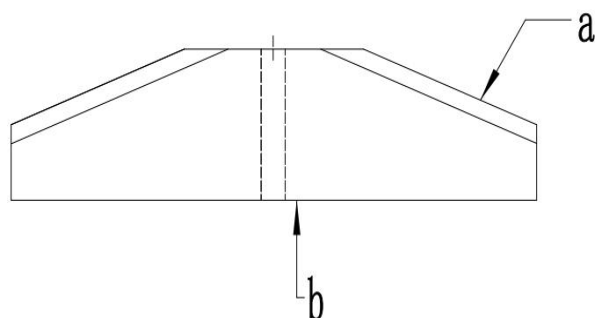


图 2 钼基旋转阳极双层复合靶坯结构示意图

说明：

a—钨及钨合金工作轨面层；

b—钼及钼合金基体层；

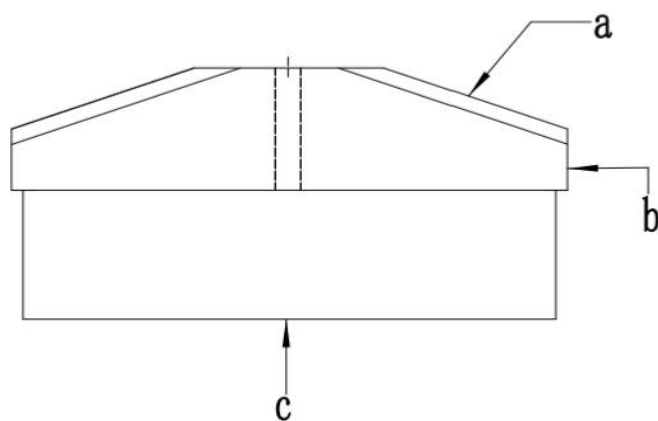


图 3 钼基旋转阳极三层复合靶坯结构示意图

说明：

a—钨及钨合金工作轨面层；

b—钼及钼合金基体层；

c—石墨散热层；

3. 技术要求

1) 化学成分

根据市场调研情况，统计收集了西安瑞福莱钨钼有限公司、厦门虹鹭钨钼工业有限公司、中钨稀有金属新材料（湖南）有限公司、安泰天龙钨钼科技有限公司、金堆城钼业股份有限公司现有客户和杭州万东对钼基旋转阳极靶坯产品的化学成分要求、检验方式和取样方式。钼及钼合金层基体层的化学成分要求见表 3，钨及钨合金工作轨面的化学成分要求见表 4。

表 3 产品钼及钼合金基体层的化学成分

%（质量分数）

客户单位		牌号	主成分				杂质元素，不大于					
			Mo	Ti	Zr	C	Fe	Ni	Si	C	N	O
瑞福莱公司	客户 A	Mo1-W1 Mo1-WRe	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.01 0	0.00 8	0.00 3	0.005
		TZM-WRe	余量	0.4~ 0.55	0.06~ 0.12	0.005~ 0.04	0.010	0.005	0.01 0	-	0.00 3	0.050
		Mo1-W1-C Mo1-WRe-C	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.01 0	0.00 8	0.00 3	0.005
		TZM-WRe-C	余量	0.4~ 0.55	0.06~ 0.12	0.005~ 0.04	0.010	0.005	0.01 0	-	0.00 3	0.050
	客户 B	Mo1-W1 Mo1-WRe	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.01 0	0.00 5	0.00 3	0.005
		TZM-WRe	余量	0.4~ 0.55	0.06~ 0.12	0.005~ 0.04	0.010	0.005	0.01 0	-	0.00 3	0.050
		Mo1-W1-C Mo1-WRe-C	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.01 0	0.00 5	0.00 3	0.005
		TZM-WRe-C	余量	0.4~ 0.55	0.06~ 0.12	0.005~ 0.04	0.010	0.005	0.01 0	-	0.00 3	0.050
	客户 C	Mo1-W1 Mo1-WRe	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.01 0	0.01 0	0.00 3	0.008
		TZM-WRe	余量	0.4~ 0.55	0.06~ 0.12	0.005~ 0.04	0.010	0.005	0.01 0	-	0.00 3	0.080
		Mo1-W1-C Mo1-WRe-C	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.01 0	0.01 0	0.00 3	0.008
		TZM-WRe-C	余量	0.4~ 0.55	0.06~ 0.12	0.005~ 0.04	0.010	0.005	0.01 0	-	0.00 3	0.080
中钨 稀有 新材	客户 D	TZM-WRe TZM-WRe-C	余量	0.4~ 0.55	0.06~ 0.12	0.001~ 0.04	-	-	-	-	-	0.050
厦门 虹鹭	客户 E	TZM-WRe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
杭州 万东 电子 有限公司	客户 F	Mo1-W1	余量	-	-	-	0.01	0.005	0.01	0.01	0.00 3	0.008
		Mo1-WRe	1-5%	-	-	-	0.01	0.005	0.01	0.01	0.00 3	0.008

表 4 产品钨及钨合金工作轨面的化学成分

%（质量分数）

客户单位		牌号	主成分		杂质元素，不大于							
			W	Re	Fe	Ca	Ni	Si	Mo	C	N	O
瑞福	客户 A	Mo1-W1	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.003	0.008

莱公司		Mo1-WRe TZM-WRe	余量	1.0~ 10.0	0.005	0.003	0.003	0.010	0.010	0.01	0.003	0.008
		Mo1-W1-C	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.003	0.008
		Mo1-WRe-C TZM-WRe-C	余量	1.0~ 10.0	0.005	0.003	0.003	0.010	0.010	0.01	0.003	0.008
	客户 B	Mo1-W1	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.003	0.008
		Mo1-WRe TZM-WRe	余量	1.0~ 10.0	0.005	0.003	0.003	0.010	0.010	0.01	0.003	0.008
		Mo1-W1-C	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.003	0.008
瑞福莱公司	客户 B	Mo1-WRe-C TZM-WRe-C	余量	1.0~ 10.0	0.005	0.003	0.003	0.010	0.010	0.01	0.003	0.008
	客户 C	Mo1-W1	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.003	0.008
		Mo1-WRe TZM-WRe	余量	1.0~ 10.0	0.005	0.003	0.003	0.010	0.010	0.01	0.003	0.008
		Mo1-W1-C	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.003	0.008
		Mo1-WRe-C TZM-WRe-C	余量	1.0~ 10.0	0.005	0.003	0.003	0.010	0.010	0.01	0.003	0.008
中钨稀有新材	客户 D	TZM-WRe	余量	5.0或 10.0	-	-	-	-	-	-	-	提供实测值
		Mo1-W1-C	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.003	0.008
		Mo1-WRe-C	余量	1.0~ 10.0	0.005	0.003	0.003	0.010	0.010	0.01	0.003	0.008
		TZM-WRe-C	余量	5.0或 10.0	-	-	-	-	-	-	-	提供实测值
厦门虹鹭	客户 E	TZM-WRe-C	余量	10±0.5%	—	—	—	—	—	0.01	—	0.02

根据上述不同客户需求制定了本文件钼基旋转阳极靶坯产品的化学成分要求。钼及钼合金基体层的化学成分要求见表 5，钨及钨合金工作轨面的化学成分要求见表 6，三层复合靶坯中石墨层的化学成分由于国内客户均无具体技术指标要求，编制组根据石墨供应商提供的石墨化学成分检测报告，并与客户确认确定了石墨层的化学成分要求，详见表 7。化学成分的取样方法见表 8。

表 5 产品钼及钼合金基体层的化学成分 %（质量分数）

牌号	主成分				杂质元素，不大于					
	Mo	Ti	Zr	C	Fe	Ni	Si	C	N	O
Mo1-W1	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.010	0.010	0.003	0.008
Mo1-WRe	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.010	0.010	0.003	0.008
TZM-WRe	余量	0.4~ 0.55	0.06~ 0.12	0.005~ 0.04	0.010	0.005	0.010	-	0.003	0.080

注：表中“-”对应的元素不进行检测。

表 6 产品钨及钨合金工作轨面层的化学成分 %（质量分数）

牌号	主成分		杂质元素，不大于							
	W	Re	Fe	Ca	Ni	Si	Mo	C	N	O
Mo1-W1	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.003	0.008
Mo1-WRe	余量	1.0~10.0	0.005	0.003	0.003	0.010	0.010	0.010	0.003	0.008
TZM-WRe	余量	1.0~10.0	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.010	0.003	0.008
^a Re 铼含量的检测范围误差±0.15%，若为 WRe3.0，即 2.85~3.15。										

表 7 石墨散热层化学成分

牌号	主成分	杂质含量总和，不大于%
		Fe, Ni, Si, Al, Mg, Mn, Na, K, Ca, Zn, Cu
Mo1-W1-C/Mo1-WRe-C/TZM-WRe-C	C	0.002

表 8 不同层的化学成分取样方式

序号	检测项目	取样方法	取样部位	试验方法
1	钼及钼合金化学成分	取屑	距边缘处 5mm	GB/T 4324（所有部分）
2	钨及钨合金化学成分	取屑、取块	距边缘处 5mm	GB/T 4324（所有部分） 铼元素：YS/T 502.1-2024
3	石墨化学成分	取粉末	距边缘处 5mm	GB/T 42240-2022

2) 外形尺寸及允许偏差

产品的外形尺寸允许偏差由供需双方协商确定。

产品的圆跳动影响着钼基旋转阳极靶坯在应用过程中的稳定性，其中主要为锥面跳动和外圆跳动。

统计客户对产品动平衡的要求并确定了本文件的圆跳动指标，具体见表 9。

表 9 产品的圆跳动

单位 mm		
客户单位	圆跳动	产品跳动，不大于
西安瑞福莱钨钼有限公司	锥面跳动	0.02
	外面跳动	0.05

3) 密度

密度指标是衡量钼基旋转阳极靶坯产品的重要指标，特别是对靶坯使用寿命有着至关重要的作用。

编制组根据行业市场调研结果，收集了近几年各类钼基旋转阳极靶坯客户对密度指标的要求，统计

各结果见表 10。

表 10 产品的密度

单位为 g/cm³

客户单位		钼及钼合金基体层密度	钨及钨合金基体层密度
瑞福莱公司	客户 A	≥9.80	≥18.20
	客户 B	≥9.80	≥18.20
	客户 C	≥9.70	≥18.30
中钨稀有新材	客户 D	提供实测值	提供实测值
厦门虹鹭	客户 E	>9.90	>18.50
杭州万东	客户 F	≥9.70	≥18.20

根据不同客户需求制定了本文件钼基旋转阳极靶坯产品的密度要求，具体见表 11，其密度的检验及取样方法见表 12。

表 11 产品的密度

单位为 g/cm³

钼及钼合金基体层密度	钨及钨合金基体层密度
≥9.70	≥18.20

表 12 不同层密度的检验及取样方式

序号	检测项目	取样方法	取样部位	试验方法
1	钼及钼合金密度	15*15mm	距边缘处 5mm	GB/T3850
2	钨及钨合金密度	a12×b17×h20×斜边 20mm	距边缘处 5mm	GB/T3850
3	石墨密度	15*15	距边缘处 5mm	JB/T8133

4) 晶粒数

晶粒数指标是衡量板坯类产品的重要技术指标。

统计各客户对产品晶粒数的要求，具体见表 13。

表 13 产品的晶粒数

单位为个/mm²

客户单位		钼及钼合金基体层晶粒数	钨及钨合金基体层晶粒数
瑞福莱公司	客户 A	≥250	≥500
	客户 B	≥300	≥600
	客户 C	≥200	≥600

中钨稀有新材	客户 D	提供实测值	提供实测值
厦门虹鹭	客户 E	—	—
杭州万东	客户 F	≥ 180	≥ 500

根据不同客户需求制定本文件钼基旋转阳极靶坯产品晶粒数要求，具体见表 14，其晶粒数的检验及取样方法见表 15。

表 14 产品的晶粒数

单位为个/ mm^2

钼及钼合金基体层晶粒数	钨及钨合金基体层晶粒数
≥ 180	≥ 500

表 15 不同层晶粒数的检验及取样方式

序号	检测项目	取样方法	取样部位	试验方法
1	钼及钼合金晶粒数	15*15mm	距边缘处 5mm	GB/T 6394
2	钨及钨合金晶粒数	a12×b17×h20×斜边 20mm	距边缘处 5mm	GB/T 6394

5) 表面粗糙度

统计各客户对产品工作轨面表面粗糙度的要求，具体见表 16。

表 16 产品的工作轨面粗糙度

单位为 μm

客户单位		产品粗糙度，不大于
瑞福莱公司	客户 A	1.6
	客户 B	1.6
	客户 C	1.6
中钨稀有新材	客户 D	0.8~1.5 或 ≤ 0.8
厦门虹鹭	客户 E	≤ 0.4
杭州万东	客户 F	1.6

根据表 16 中收集的客户要求，确定了本文件钼基旋转阳极靶坯产品的工作轨面粗糙度 Ra 值应不大于 1.6 μm 。

6) 剪切强度

钼基旋转阳极靶坯基体层与石墨层的剪切强度。统计客户对产品焊接性能的要求，具体见表 17。

表 17 产品的剪切性能

单位 MPa

客户单位		剪切强度
瑞福莱公司	客户 A	18
	客户 B	15
	客户 C	15
中钨稀有新材	客户 D	不做要求, 采用焊接率(贴合率)进行规范(提供实测值)
厦门虹鹭	客户 E	>16

根据不同客户需求确定了本文件钨基旋转阳极靶坯产品基体层与石墨层的剪切强度要求为剪切强度 $\geq 15\text{MPa}$ 。

7) 动平衡

产品动平衡影响着靶坯在应用过程中的稳定性。统计各客户对产品动平衡的要求, 具体见表 18。

表 18 产品的动平衡

客户单位		产品直径 mm	产品动平衡, 不大于 $\text{g} \cdot \text{cm}$
瑞福莱公司	客户 A	60-100	2
		100-190	5
		190-240	10
	客户 B	60-100	2
		100-190	4
		190-240	8
	客户 C	60-100	2
		100-190	4
		190-240	10
中钨稀有新材	客户 D	77	2
		79	2
		100	5
		140	10
		190	10
厦门虹鹭	客户 E	140	<4
		190	<4
杭州万东	客户 F	60-100	<1.5

根据不同客户需求确定了产品的动平衡要求，具体见表 19。

表 19 产品的动平衡

产品直径 mm	产品动平衡，不大于 g • cm
60-100	2
100-190	5
190-240	10

8) 外观质量

确定了本文件钨基旋转阳极靶坯产品的外观质量要求，具体如下：

由于基底层与工作轨面层在高温工作环境下，界面结合不牢固会加剧热应力积累，这种应力可能导致轨面层龟裂、界面开裂甚至剥落，最终引发靶盘失效。而交接界面不清晰可能影响热量传导效率，导致局部温度异常升高，进而降低 X 射线产生效率，甚至影响成像质量；因此，要求产品“结合界面应清晰可见，结合牢固，无明显气孔、裂纹等缺陷”

分层、裂纹、针孔、压坑、破边和毛刺会造成靶盘结构可靠性降低；表面不光滑洁净且存在影斑会导致靶盘热性能恶化；氧化层的形成会改变靶盘表面的电子发射特性，干扰电子束轰击轨迹，导致 X 射线能量分布不均或输出强度下降；因此，要求“产品表面应光滑洁净，无氧化、分层、裂纹、针孔、压坑、影斑、破边和毛刺等缺陷。”

产品变形会造成机械性能的下降和界面结合的失效。因此，要求“产品经高温真空除气后无变形”。

(二) 主要试验（或验证）情况分析

1、技术要求验证

1.1 化学成分的验证

表 20 钨及钨合金化学成分实测验证数据表

生产单位	抽样编号	牌号	批号	化学成分%									
				主成分		杂质元素杂质含量(不大于)							
				W	Re	Fe	Ca	Ni	Si	Mo	C	N	O
瑞福莱	样1	WRe	2023-1	余量	5.12	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.003	0.002	0.006
	样2		2023-2	余量	4.87	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.003	0.001	0.007
	样3		2024-1	余量	4.89	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.004	0.002	0.008
	样4		2024-2	余量	5.03	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.003	0.006

瑞福莱	样1	W	2023-1	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.001	0.005
	样2		2023-2	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.002	0.008
	样3		2024-1	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.002	0.005
	样4		2024-2	余量	-	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.003	0.008
中钨稀有新材	样1	WRe	-	余量	5.1	0.0010	0.0010	0.0007	0.0010	0.0030	0.0005	0.0005	0.0010
	样2		-	余量	5.0	0.0010	0.0010	0.0007	0.0010	0.0030	0.0006	0.0005	0.0010
	样3		-	余量	10.2	0.0010	0.0010	0.0007	0.0010	0.0030	0.0009	0.0005	0.0010
	样4		-	余量	9.9	0.0010	0.0010	0.0007	0.0010	0.0030	0.0007	0.0005	0.0010
	样5		-	余量	10.5	0.0010	0.0010	0.0007	0.0010	0.0030	0.0008	0.0005	0.0010
厦门虹鹭	样1	WRe	-	余量	5.1	0.002	0.001	0.001	0.001	0.004	0.005	0.001	0.005
	样2		-	余量	5.05	0.002	0.001	0.001	0.001	0.003	0.0043	0.001	0.0045
	样3		-	余量	5.08	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.0028	0.001	0.0046
	样4		-	余量	5.1	0.002	0.001	0.001	0.001	0.003	0.0046	0.001	0.0045
厦门虹鹭	样1	W	-	余量	—	0.003	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.001	0.004
	样2		-	余量	—	0.003	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.001	0.004
安泰天龙	样1	WRe	-	余量	1~10	0.01	0.005	0.005	0.01	0.01	0.005	0.003	0.005
	样2	WRe	-	余量	1~10	0.01	0.005	0.005	0.01	0.01	0.005	0.003	0.005
金堆城铝业	样1	WRe		余量	7.95	0.0013	0.0008	0.0004	0.0018	0.0009	0.003	0.0007	0.0045
西安建大	样1	WRe	-	余量	4.85	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.003	0.001	0.004
	样2	WRe	-	余量	5.10	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.004	0.003	0.005
	样3	WRe	-	余量	5.15	0.004	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.002	0.006
西安理工	样1	WRe	-	余量	4.93	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.003	0.001	0.004

	样 2	WRe	-	余量	5.03	0.005	0.005	0.003	0.010	0.010	0.005	0.003	0.006
--	--------	-----	---	----	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

表 21 钼及钼合金化学成分实测验证数据表

生产 单位	抽样 编号	牌号	批号	化学成分%									
				主成分				杂质元素杂质含量(不大于)					
				Mo	Ti	Zr	C	Fe	Ni	Si	C	N	O
瑞福莱	样 1	TZM	2023-1	余量	0.50	0.09	0.005	0.010	0.005	0.010	-	0.001	0.050
	样 2		2023-2	余量	0.49	0.10	0.006	0.010	0.005	0.010	-	0.001	0.060
	样 3		2024-1	余量	0.51	0.10	0.005	0.010	0.005	0.010	-	0.001	0.060
	样 4		2024-2	余量	0.48	0.08	0.005	0.010	0.005	0.010	-	0.002	0.060
瑞福莱	样 1	Mo1	2023-1	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.010	0.005	0.003	0.005
	样 2		2023-2	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.010	0.005	0.003	0.008
	样 3		2024-1	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.010	0.010	0.003	0.008
	样 4		2024-2	余量	-	-	-	0.010	0.005	0.010	0.005	0.003	0.005
中钨 稀有 新材	样 1	TZM			0.44	0.10	0.034	0.0010	0.0007	0.0010	-	-	0.0190
	样 2				0.43	0.10	0.035	0.0011	0.0007	0.0010	-	-	0.0186
	样 3				0.44	0.09	0.038	0.0010	0.0007	0.0010	-	-	0.0195
	样 4				0.48	0.07	0.015	0.0010	0.0007	0.0010	-	-	0.0185
	样 5				0.46	0.06	0.020	0.0010	0.0007	0.0010	-	-	0.0210
厦 门 虹 鹭	样 1	TZM		余量	0.51	0.08	0.0375	0.002	0.0013	0.001	—	0.0009	0.031
	样 2			余量	0.52	0.1	0.0365	0.002	0.0015	0.001	—	0.0009	0.0275
	样 1	Mo	-	余量	—	—	—	0.002	0.0014	0.001	0.002	0.001	0.004
	样 2		-	余量	—	—	—	0.003	0.0013	0.001	0.0015	0.0007	0.0042
	样 3		-	余量	—	—	—	0.0014	0.0015	0.0015	0.002	0.001	0.004
	样 4		-	余量	—	—	—	0.0034	0.002	0.0012	0.002	0.0009	0.002
安泰 天龙	样 1	TZM	-	余量	0.4-0.55	0.06-0.12	0.01-0.05	0.01	0.005	0.01	—	0.003	0.05
	样 2		-	余量	0.4-0.55	0.06-0.12	0.01-0.05	0.01	0.005	0.01	—	0.003	0.05
金堆城 钼业	样 1	Mo1		余量	-	-	-	0.0012	0.0008	0.002	0.0013	0.0008	0.003
	样 2	TZM		余量	0.45	0.09	0.02	0.0012	0.0004	0.002	0.02	0.0008	0.048
西安 建大	样 1	TZM	-	100	0.44	0.1	0.011	0.0028	0.0004	0.003	-	0.0032	0.043
	样 2		-	100	0.512	0.048	0.025	0.0033	0.0004	0.003	-	0.002	0.044
	样 3		-	100	0.4	0.078	0.0039	0.0027	0.0004	0.0025	-	0.0007	0.003
西安 理工	样 1	TZM	-	余量	0.49	0.10	0.006	0.010	0.005	0.010	-	0.001	0.060
	样 2		-	余量	0.51	0.10	0.005	0.010	0.005	0.010	-	0.001	0.060

1.2 密度数据的验证

表 22 钼基旋转阳极靶坯密度要求与实测数据对比表

类别	试样 编 号	密度 (g/cm3) 不小于	瑞福莱 公司	中钨稀有新 材	厦门虹鹭	安泰科技	金堆城 钼业	西安 理工	西安 建大
钨及钨 合金基 体层	样 1	18. 2	18. 27	18. 62	18. 92	18. 35	18. 7	18. 32	18. 4
	样 2		18. 38	18. 50	18. 93	18. 65	18. 5	18. 36	18. 49
	样 3		18. 20	18. 60	18. 99	18. 51	18. 7	18. 34	18. 45
	样 4		18. 50	18. 60	18. 63	18. 7	18. 3	18. 45	—
实测范围			18. 2—18. 5	18. 2—18. 65	18. 63— 18. 99	18. 35— 18. 7	18. 3— 18. 7	18. 32— 18. 45	18. 4— 18. 49
钼及钼 合金基 体层	样 1	9. 7	9. 70	10. 0	10. 1	9. 95	10. 1	9. 7	9. 7
	样 2		9. 76	10. 1	10. 12	10. 02	9. 9	9. 72	9. 75
	样 3		9. 81	10. 05	10. 13	9. 99	9. 9	9. 82	9. 7
	样 4		9. 85	10. 12	9. 99	10. 03	9. 8	9. 8	—
实测范围			9. 7—9. 85	9. 8—10. 2	9. 99— 10. 13	9. 95— 10. 03	9. 8—10. 1	9. 7—9. 82	9. 7—9. 75

1.3 晶粒数数据验证

表 23 钼基旋转阳极靶坯的晶粒数要求与实测数据对比表

类别	抽样 编号	指标	瑞福莱 公司	中钨稀有新材	厦门虹鹭	安泰 天龙	金堆城 钼业	西安 理工	西安 建大
钨及 钨合 金基 体层	样 1	晶粒数 （个 /mm ² ）， 不小于 500	580	平均晶粒尺寸 ＜24 微米	7000	650	1000	520	610
	样 2		600	平均晶粒尺寸 ＜30 微米	7000	785	1000	610	583
	样 3		500	平均晶粒尺寸 ＜30 微米	7000	625	1000	560	550
	样 4		660	平均晶粒尺寸 ＜30 微米	8000	703	1000	546	—
实测范围			500—700		7000—800 0	625—785	1000	520—610	550—610
钼及 钼合 金基 体层	样 1	晶粒数 （个 /mm ² ）， 不小于 180	250	平均晶粒尺寸 ＜42 μ m	400	283	800	190	190
	样 2		210	平均晶粒尺寸 ＜45 μ m	400	307	800	195	186
	样 3		205	平均晶粒尺寸	400	263	800	206	187

			<48 μm					
	样 4	180	平均晶粒尺寸 <50 μm	500	332	800	247	-
实测范围		180-250		400-500	263-332	800	190-247	186-190

1.4 表面粗糙度验证

表 24 钼基旋转阳极靶坯轨道面粗糙度实测数据表

抽样编号	指标	瑞福莱	中钨稀有新材	厦门虹鹭	安泰科技	金堆城钼业
样 1	轨道面粗糙度 不大于 1.6 μ m	1.6	6.97 μ in	0.325	0.8	0.8
样 2		1.5	5.08 μ in	0.361	0.5	0.8
样 3		1.5	5.63 μ in	0.318	0.6	0.8
样 4		1.5	3.86 μ in	0.345	0.7	0.8
实测范围		1.5-1.6	—	0.318-0.361	0.5-0.8	0.8

1.5 焊接性能

表 25 钼基旋转阳极靶坯剪切强度实测数据表

抽样 编号	指标	瑞福莱 公司	中钨稀有新材 (贴合率%)	厦门虹鹭	安泰科技	金堆城 钼业	西安 理工	西安 建大
样 1	剪切强度 (MPa) , 不小于 15MPa	17	98.87%	19.2	15	38	15	15
样 2		15	97.39%	18.7	17	35	16	18
样 3		17	96.72%	19.5	19	37	15	22
样 4		18	99.31%	18.6	16	37	17	—
实测范围		15-18	—	18.6-19.2	15-19	35-38	15-17	15-22

1.6 动平衡

旋转阳极靶坯的动平衡未查询到相关标准,编制组根据现有检测手段,制定靶坯动平衡的测试方法,详见附录 A。

表 26 钼基旋转阳极靶坯动平衡要求与实测数据对比表

产品规格	指标	抽样编号	瑞福莱公司	中钨稀有新材	厦门虹鹭	安泰科技	金堆城钼业
60-100	产品动平衡 (g·cm) , 不大于 2	样 1	1.1	1.683	-	3	0.46
		样 2	1.4	1.021	-	3	0.64
		样 3	1.7	0.896	-	3	0.62
		样 4	2	0.721	-	3	0.52
	实测范围		1.1-2	0.721-1.683	-	3	0.52-0.64

100-190	产品动平衡 (g • cm) , 不大于 5	样 1	3.7	4.683	2.1	5	2.60
		样 2	5.0	4.562	2.5	5	4.10
		样 3	2.1	2.385	2.6	5	4.04
		样 4	2.8	2.554	-	5	3.70
	实测范围		2.1-5.0	2.3-4.6	2.1-2.6	5	2.60-4.10
190-240	产品动平衡 (g • cm) , 不大于 10	样 1	9.8	5.59	3.3	5	7.43
		样 2	8.4	4.323	3.2	5	5.48
		样 3	8.9	6.237	3.5	5	4.90
		样 4	10.0	3.645	-	5	5.25
	实测范围		8.4-10.0	3.6-6.2	3.2-3.5	5	4.90-7.43

1.7 圆跳动

旋转阳极靶坯的圆跳动未查询到相关标准,编制组根据现有检测手段,制定靶坯圆跳动的测试方法,详见附录 B。

表 27 钼基旋转阳极靶坯圆跳动要求与实测数据对比表

圆跳动	抽样编号	指标	瑞福莱公司	中钨稀有新材	厦门虹鹭	安泰科技	金堆城铝业
锥面跳动	样 1	不大于 0.02mm	0.02	0.0003	0.02	0.015	0.01
	样 2		0.015	0.0004	0.03	0.016	0.01
	样 3		0.015	0.0004	0.025	0.011	0.02
	样 4		0.02	0.0007	0.02	0.020	0.01
实测范围			0.015-0.02	0.0003-0.0007	0.02-0.03	0.011-0.020	0.01-0.03
外圆跳动	样 1	不大于mm 0.05	0.03	0.01	0.02	0.032	0.03
	样 2		0.03	0.03	0.01	0.022	0.03
	样 3		0.04	0.02	0.01	0.021	0.04
	样 4		0.045	0.04	0.02	0.028	0.02
实测范围			0.03-0.045	0.01-0.04	0.01-0.02	0.021-0.032	0.02-0.04

2. 验证分析结论

由表 20-27 的数据分析,产品的化学成分、密度和晶粒数、轨道面粗糙度、焊接性能、动平衡及圆跳动指标稳定,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,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）项目的必要性简述

随着国家制造业和科技技术的不断进步，对钼基旋转阳极靶坯的要求越来越高，从而导致靶盘产品结构种类和需求不断增加。然而，目前钼基旋转阳极靶坯在国内外并没有统一的标准和规范，供需双方在供货和产品验收时均依据各自的企业标准、供需产品要求或产品技术条件，在旋转阳极靶坯的技术指标、质量要求、检验方法、验收等方面并无标准和规范进行参考，给旋转阳极靶坯制造行业、供需双方的生产和贸易过程中都带来诸多不便。因此，制定《钼基旋转阳极靶坯》标准是完全基于市场需求，适于市场发展需要。

综上，为了满足质量要求，规范市场，丰富我国产业链结构，加速该类产品产业化。同时，为了响应国家新材料产业化发展要求，并结合国内外产品技术要求、生产实际状况以及市场需求，我们提出“钼基旋转阳极靶坯”行业标准制定计划，其目的是通过确立钼基旋转阳极靶坯的生产规范和检验规范。

（二）项目的可行性简介

近几年来，随着钼基旋转阳极靶坯水平的发展，以及生产厂家设备的优化升级，钼基旋转阳极靶坯性能稳定，已积累大量有关坯料的产品技术条件参数、性能测试数据和应用数据，现制定《钼基旋转阳极靶坯》的行业标准技术条件已成熟，具备充分的制定条件和恰当的制定时机。

（三）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

本标准的制定，对我国钼基旋转阳极靶坯的技术要求更加明确、更加规范，使我国钼基旋转阳极靶坯的整体质量水平显著提升，对促进钼基旋转阳极靶坯生产应用的有序化和规范化将产生积极作用，对推广我国钼基旋转阳极靶坯的发展将产生重要影响，并将有力的推动我国钼基旋转阳极靶坯的产品快速健康发展。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

本标准规定的钼基旋转阳极靶坯满足国内生产的要求，满足国内生产设备的需求，切实满足市场需求，制定后的标准可达到国内先进水平。

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《钼基旋转阳极靶坯》从技术上保证了产品使用的安全性和可靠性，条文精炼表述清楚，技术要求全面、准确、科学、合理；标准的格式和表达方式等方面完全执行了现行的国家标准和有关法规，

符合 GB/T 1.1-2020 的有关要求。

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

鉴于本标准规定的钼基旋转阳极靶坯，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行业标准。

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、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、本次制定的《钼基旋转阳极靶坯》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、建议本标准批准后实施。

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

本标准发布实施后，将有助于提升我国钼基旋转阳极靶坯的整体质量水平。相关产品在满足国内需求的同时也提高了在国际市场上的竞争实力，对促进我国钼基旋转阳极靶坯的发展将产生积极影响。

附录 A

(规范性)

钼基旋转阳极靶坯动平衡测试方法

A.1 范围

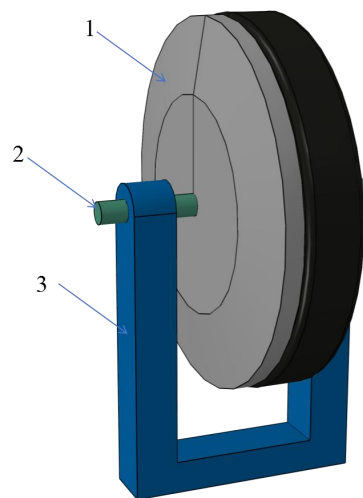
本方法适用于直径为 $\phi 60-\phi 240\text{mm}$ 的钼基旋转阳极靶坯动平衡的测试。

A.2 原理

采用工装将靶坯安装在平衡机承轴上，当靶坯绕轴旋转时，由于质量分布不均匀会导致离心力不平衡，利用动平衡机，将靶坯不平衡的大小和位置标记出来，并进行添加或去除配重，以使靶坯达到平衡状态。

A.3 检测设备

靶盘动平衡检测装置如下图 A.1 所示。



说明：

1—阳极靶盘

2—工装

3—承轴

图 A.1 钼基旋转阳极靶坯动平衡装配示意图

A.4 测试步骤

- A.4.1 检查靶坯表面是否存在异物；
- A.4.2 将工装与靶盘连接，并固定在承轴上，保证二者同轴。
- A.4.3 将靶盘通过一定转速进行旋转，通过传感器测量靶坯旋转时产生的振动信号。
- A.4.4 设备标示出靶盘不平衡量的大小和位置，并根据数值进行去重，以达到平衡效果。

A.5 报告

检测报告内容：

- a) 产品标识（牌号、批号、检测日期）；
- b) 产品规格；
- c) 测试结果。

附录 B

(规范性)

钼基旋转阳极靶坯圆跳动检测方法

B.1 范围

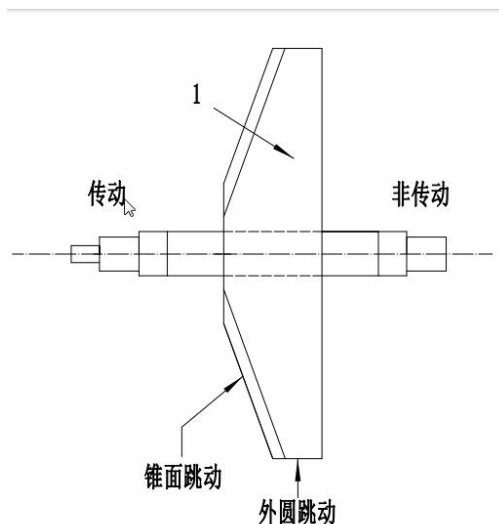
本方法适合于 $\phi 60-\phi 240$ 钼基阳极靶坯工作锥面圆跳动和基体外圆圆跳动的检测。

B.2 原理

将旋转体固定在非传动轴上，以传动轴带动旋转体绕非传动轴以一定的速度进行旋转，采用百分表或千分表测试被测表面上的固定测量点相对于基准轴线的变动量。

B.3 仪器与设备

圆跳动检测设备示意图，见图 B.1。



说明：

1—靶坯产品

图 B.1 钼基旋转阳极靶坯圆跳动检测位置示意图

B.4 检测步骤

B.4.1 将旋转阳极靶坯固定非传动轴上，并找正；

B.4.2 百分表固定于刀架，针尖与锥面接触，并调至零位；

B.4.3 检测圆跳动，按照示意图规定，分别将百分表调至图中锥面和外圆位置，启动旋转，观察并记录百分表数值变化。

B.5 报告

检测报告内容：

- a) 产品标识（牌号、批号、检测日期）；
- b) 产品规格；
- c) 检测结果。