

# 国家标准《钨丝绳》编制说明

## (预审稿)

### 一、工作简况

#### 1、任务来源

根据 2025 年 10 月 05 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《钨丝绳》编制项目由全国有色金属标准技术委员会归口, 计划编号: 20255001-T-610, 项目周期 18 个月, 完成时间为 2027 年 4 月, 由丰联科光电( 洛阳) 股份有限公司、荣星智联( 北京) 技术有限公司、赣州虹飞钨钼材料有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、厦门虹鹭钨钼工业有限公司、隆基绿能股份有限公司、安泰天龙钨钼科技有限公司、青岛艾德泰克检测技术有限公司负责起草。

#### 2、背景

钨丝绳是以高纯度金属钨丝为主要原料, 通过一系列拉拔、捻制等精密加工工艺制成的柔性绳索状产品, 具有高熔点、高强度、高硬度、低蒸气压、良好的抗蠕变性和优异的耐高温性能等一系列独特优势。凭借其卓越性能, 钨丝绳已成为现代高端制造业和前沿科技领域不可或缺的关键基础材料, 目前广泛应用于单晶硅棒的拉制成型。

近年来, 以单晶硅为代表的高科技附加值材料及其相关高新技术产业的发展, 已经逐渐成为当代信息技术产业的支柱, 并使信息产业成为全球经济发展中增长最快的先导企业。随着半导体产业和光伏产业的快速发展, 对高纯单晶硅的需求也日益增加, 同时对原材料单晶硅的材质要求也越来越高, 现有技术中, 单晶硅提拉常常使用钢丝绳, 钢丝绳本身含有 Fe、C 含量, 造成晶体杂质元素的超标, 严重影响其纯度, 且钢丝绳的耐高温性能不是很好, 高温环境下连续工作寿命短、效益差。此外, 单晶硅炉内温度较高, 提拉软轴的服役温度通常在 800°C 左右, 且在熔炼过程中单晶硅自重在不断增长, 传统的钢丝绳难以对单晶硅进行有效的提拉。高温生长环境和较长的生长周期( 一般 2~3 天), 要求生长硅单晶所需的配件材料不仅要具有耐高温性能, 还要具有较好的力学使用强度、耐磨性能及连续在高温工作环境下使用等特点。钨丝绳具有耐高温性能强、抗拉强度高、使用寿命长等优势, 已经广泛应用于单晶硅生长所需提拉构件, 取代原有钢丝绳。

此外, 随着 AI 迅速发展, 各类机器人得到蓬勃发展, 其机器人关键部件的操纵使用的是钨丝绳, 主要在极细、极复杂的情况下具有优良的拉力、伸长率和疲劳要求, 如手术机器人用 8\*19+7\*7-0.50 钨丝绳, 采用 201 根 0.028mm 钨丝捻制而成, 其拉力高达 500N; 如腱绳灵巧手广泛使用 7\*7\*7-0.6-0.8mm 在为了使手的控制维度多, 要求弯曲半径小, 力值大等特性。机器人在工业、民用、医疗、军用、救援等领域得到广泛的应用, 对钨丝绳提出了更高的质量要求。

#### 3、标准编制意义

钨丝绳主要应用于单晶炉设备中硅单晶生长所需的提拉构件, 属于发展应用前景广、市场需求大的工程应用领域。目前, 国内光伏单晶炉的数量在 60000 台以上, 单晶炉用钨丝绳的年需求量在 60000 根以上, 涵盖  $\Phi 2.5\sim\Phi 6.0$  mm 不同规格绳径的钨丝绳。而且随着光伏半导体行业的蓬勃发展和国家的政策导向驱动下, 我国光伏半导体下游市场端的市场规模逐年递增, 上游硅片的需求也处于供不应求的状态。钨丝绳作为单晶硅制备过程中必不可少的配件之一, 其产品质量的好坏决定着单晶硅片的生产效率, 也间接影响着硅片的销售价格。

机器人用钨丝绳主要以美国、日本、德国为主, 我国处于起步阶段, 目前各国数值不一, 结构多样, 产品选型复杂, 目前在全球领域内尚无专门的钨丝绳国际标准或行业标准, 生产企业多采用企业内部标准, 导致不同厂商的产品在结构、规格、技术指标( 如破断力、强度极限、表面质量)、测试方法等方面存在较大差异, 采用方在采购钨丝绳时也没有相关标准可依, 阻碍了整个产业的技术进步和升级换代。

因此, 开展本标准编制工作, 通过制定钨丝绳产品的相关标准, 以促进现有钨丝绳产品质量的提升和规格的统一, 确保钨丝绳的检验规范统一, 符合使用标准, 对推动我国半导体、光伏产业和机器人行

业技术进步、巩固国产化成果、保障产业链供应链安全具有重要而紧迫的意义。

#### 4、主要参加单位和工作成员及其所作的工作

##### 4.1 主要参加单位情况

###### 4.1.1 主起草单位：

丰联科光电（洛阳）股份有限公司是上市公司隆华科技旗下全资子公司。公司创建于2001年，是一家专业从事电子信息靶材及超高温特种功能材料等产品研发、生产及销售的国家级高新技术企业。在超高温特种功能材料领域，丰联科光电（洛阳）股份有限公司立足于半导体设备、单晶炉设备、钢铁制造行业、医疗设备行业、核工业行业、太阳能光伏及热场屏蔽材料等超高温特种功能材料，开发、生产销售 TZM 合金、Invar 合金、钨铜合金、高纯钨薄片、钼丝/杆及钨丝/杆等系列产品。

###### 4.1.2 参与单位：

荣星智联（北京）技术有限公司、赣州虹飞钨钼材料有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、厦门虹鹭钨钼工业有限公司、隆基绿能股份有限公司、安泰天龙钨钼科技有限公司、青岛艾德泰克检测技术有限公司等。

##### 4.2 主要工作单位及成员的工作情况

标准主编单位丰联科光电（洛阳）股份有限公司在标准的编制过程中，能积极主动收集国内外关于钨丝绳制造的技术标准，负责项目的总体实施和策划，能够带领编制组成员单位认真细致修改标准文本，征求多家企业的修改意见，编制实测数据分析图，最终带领编制组完成标准的编制工作。

荣星智联（北京）技术有限公司、赣州虹飞钨钼材料有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、厦门虹鹭钨钼工业有限公司、隆基绿能股份有限公司、安泰天龙钨钼科技有限公司、青岛艾德泰克检测技术有限公司等单位积极参加标准调研工作、配合主编单位开展大量的现场调研、各种试验工作，为本标准提供国内外客户意见反馈和真实有效的基础数据。

本标准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
岳灿甫、孟天祥、徐华	负责本标准的工作指导、标准的编写、试验方案确定及组织协调
柴朝晖、刘文婷、陈黎江	负责标准中相关技术要求内容的编写及把关
张雪凤、郭金洋、王凤权	负责试验方案确定，标准编写材料的收集
黄艳梅、卢慧娟	负责提供企业的现场调研，配合标准编写开展现场试验验证，提供检测服务，整理、验证、比对试验数据

#### 5、工作过程

##### 5.1 预研阶段

2022年10月，丰联科光电（洛阳）股份有限公司成立钨丝绳标准制定工作小组，对国内钨丝绳产品的生产现状及下游应用端单晶炉设备应用情况进行调研，了解国内钨丝绳的制备技术水平、检测及市场应用情况，开展了预制备试验验证，与行业技术人员、资深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《钨丝绳》国家标准项目建议书、标准草案及立项报告等材料。

##### 5.2 立项阶段

2023年3月，丰联科光电（洛阳）股份有限公司向全国有色金属标准化委员会提交《钨丝绳》的标准项目建议书、标准草案及立项报告等材料，经全体委员会会议讨论同意《钨丝绳》标准立项，由有色金属标准委员会转报上级单位。

##### 5.3 起草阶段

本标准为编制标准，在起草阶段收集了大量的行业数据，同时兼顾钨丝绳生产厂家和下游客户端的

适用需求。

- 1) 2022年10月成立标准编制小组,明确各成员工作职能和职务。
- 2) 2022年10月~2022年12月对钨丝绳的使用状况和测试标准进行相关资料的收集和整理总结,对相关资料进行对比分析。
- 3) 2023年1月~2025年12月根据对钨丝绳相关制备技术和检验资料进行分析和总结,对产品牌号、化学成分、测试标准等一系列问题逐一进行核实,经修改,形成《钨丝绳》的讨论稿,并进行广泛的征求意见工作。

## 二、标准编制原则

### 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。标准的制定格式应严格按照 GB/T 1.1《标准化工作导则 第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定格式进行编写。

本标准在制定时主要遵守四大原则:

- (1) 积极采用国际标准和国外先进标准;
- (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、合理性

当前国内外钨丝绳原材料厂家、钨丝绳生产厂家及钨丝绳使用厂家主要有丰联科光电(洛阳)股份有限公司、荣星智联(北京)技术有限公司、厦门虹鹭钨钼工业有限公司、赣州虹飞钨钼材料有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、安泰天龙钨钼科技有限公司、隆基绿能股份有限公司等。编制小组是在对国内外市场应用领域和国内主要生产厂家充分调研的基础上制定本标准,收集对比了大量的实测数据,产品的技术指标均得到了响应和印证,确保合理性。本标准的制定充分反应了当前国内钨丝绳行业内各企业的技术水平和应用水平,宜以应用。

### 3、先进性

通过本标准的编制,将对国内外钨丝绳生产厂家和相关行业的技术进步起到积极作用。本标准涉及内容的技术水平达到国际先进水平。

## 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

#### 1.1 术语和定义

针对钨丝绳这一专业应用领域,专门定义了以下两个核心术语:

##### 1.右捻 Right Twist

把钨丝绳立起来观看,绳股的捻制螺旋方向,从中心线左侧开始向上,向右,这种捻制称为“右捻”,用字母 Z 表示。











##### 2.左捻 Left Twist

绳股的捻制螺旋方向,从中心线右侧开始向上、向左,这种捻制称为“左捻”,用字母 S 表示。

#### 1.2 产品分类

本标准基于积极响应下游产业的技术发展与市场需求,将钨丝绳按其规格、股数分类,见表 2。

表 2 钨丝绳常用规格及结构

规格 (mm)	结构/股数				
	1×7	1×19	1×37	7×7	7×19
Φ0.20×L; Φ0.30×L; Φ0.50×L; Φ0.80×L; Φ1.00×L; Φ1.50×L; Φ2.00×L; Φ2.50×L; Φ3.00×L; Φ3.50×L; Φ4.00×L; Φ4.50×L; Φ5.00×L; Φ5.50×L; Φ6.00×L。					
	19×7	8×19+7×7	19×19	7×37	7×7×7
					

通过深入的市场调研与用户反馈获悉，钨丝绳的分类必须紧密围绕“保障硅晶棒生长质量、提升设备可靠性”这一核心目标。通过将钨丝绳按直径分为不同规格，以区别其所能承受的高静态拉伸载荷。钨丝绳的结构与股数，直接影响在高应力下的结构变形。

本标准构建了按照不同规格和结构分类的钨丝绳体系，在保障技术先进性的同时，有效响应了市场多元化、分级化的选材需求。

### 1.3 化学成分

本标准按照 GB/T 4181《钨丝》规定的相关标准来严格要求钨丝原材料的化学成分，通过对铁、氧、硅、铝等关键杂质元素的严格控制，从源头提升材料纯净度，显著提高单晶硅的质量水平。

钨丝绳的化学成分从源头决定了制造的可行性与质量稳定性。钨的塑性加工极其困难，微量元素的种类和含量直接影响其烧结性能、旋锻和拉拔性能，成分失控直接导致成品率低下。标准中严格的化学成分范围，是确保不同批次钨丝绳性能高度一致的基础。对于单晶硅生产这种连续性工艺，材料的性能波动是巨大的风险，可能导致工艺参数失配，生长失败。标准中规定的化学成分范围符合当前行业普遍工艺水平，旨在提升产品整体质量水平。

### 1.4 外形尺寸及其允许偏差

本标准基于行业现存制造水平，对钨丝绳的公称直径、不圆度以及标称长度的允许偏差进行严格按表 3 所示要求管控。

表 3 钨丝绳外形尺寸及其允许偏差

规格	直径允许偏差 (mm)	不圆度允许偏差 (mm)	长度允许偏差
Φ0.2	±0.02	≤0.04	±0.5%
Φ0.3		≤0.04	
Φ0.5	±0.03	≤0.06	
Φ0.8		≤0.06	
Φ1.0	±0.05	≤0.08	
Φ1.5		≤0.08	
Φ2.0	-0.06~+0.12	≤0.16	
Φ2.5		≤0.16	
Φ3.0	-0.06~+0.14	≤0.18	
Φ3.5		≤0.18	
Φ4.0		≤0.18	
Φ4.5	-0.08~+0.16	≤0.20	
Φ5.0		≤0.20	
Φ5.5	-0.10~+0.18	≤0.22	
Φ6.0		≤0.22	

在单晶硅生产这种极端高温条件下,尺寸偏差不仅影响机械装配,还涉及热场稳定性、受热均匀性这些关键因素。本标准在综合评估主流生产企业能力并与用户技术协议充分衔接的基础上,对公称直径和标称长度的允许偏差进行了严格规定,旨在通过标准引领,促进产品质量提升,更好地服务于钨丝绳的精密化制造。

### 1.5 拉伸性能

本标准通过对常温拉伸性能和高温拉伸性能进行严格规定,全面提升了对钨丝绳公称抗拉强度和破断载荷的控制水平,具体性能指标见表4。

表4 拉伸性能

规格	常温性能		800°C高温性能	
	破断载荷 F <sub>m</sub> (KN)	公称抗拉强度 R <sub>m</sub> (MPa)	破断载荷 F <sub>m</sub> (KN)	公称抗拉强度 R <sub>m</sub> (MPa)
Φ2.0	≥3.45	≥1100	≥1.57	≥500
Φ2.5	≥5.40	≥1100	≥2.45	≥500
Φ3.0	≥7.07	≥1000	≥2.83	≥400
Φ3.5	≥9.62	≥1000	≥3.85	≥400
Φ4.0	≥11.30	≥900	≥4.40	≥350
Φ4.5	≥12.72	≥800	≥5.56	≥350
Φ5.0	≥15.70	≥800	≥6.87	≥350
Φ5.5	≥19.00	≥800	≥8.31	≥350
Φ6.0	≥22.61	≥800	≥9.89	≥350

在单晶硅生产的关键设备单晶炉中,钨丝绳用于悬挂和提拉重锤与籽晶,是整个提拉系统力传导核心,需要承受数百公斤晶棒的全部重量。并且钨丝绳处于单晶炉内的热场中上部,温度相对较高,需要长期保持稳定的长度和强度,任何微小的蠕变或变形都会导致晶体生长界面波动,破坏晶体质量。因此钨丝绳在单晶炉内是直接关系到生产安全、晶体质量和设备长期稳定允许的核心承载构件。为全面评估并保证钨丝绳在真实应用场景中的性能,本标准在参考国内与顾客协议标准及充分吸纳用户实践需求的基础上,对室温及高温下钨丝绳的破断载荷指标进行了严格的规定。钨丝绳最主要、最苛刻的应用场景

之一是作为单晶硅拉晶炉中的提拉软轴，其服役温度在 800°C 左右，钨丝绳需要长期在此高温下稳定工作，因此选择 800°C 作为高温拉伸试验的测试温度，能精准模拟其在光伏和半导体产业中的实际服役环境，确保测试结果的工程参考价值。

### 1.6 产品可靠性测试

本标准规定钨丝绳提拉载荷离开地面支撑后，钨丝绳旋转圈数不大于 12 圈，能逐步停止旋转，而且不会出现断绳的这一举措，旨在增强钨丝绳在复杂动态载荷下的综合稳定性能。

要求钨丝绳承重不旋转是衡量绳体结构稳定性的关键指标，直接关系到单晶硅的生长质量与合格率。鉴于“承重不旋转”可能只是下游高端客户采购合同中的定性描述或企业内部标准，不同厂商对此的理解、测试方法和验收尺度对此千差万别。本标准通过产品可靠性测试，有效的检验了产品提拉柱的松脱力，及钨丝绳的抗旋转性。控制钨丝绳承重旋转圈数这一重要参数，并规定统一测试方法（如在特定载荷和标称长度，测量绳体自身的扭转角或观察其结构变形），为“承重不旋转”这一关键要求建立了客观、可比、可复现的科学评价体系。

### 1.7 外观质量

本标准明确要求钨丝绳以清洗后无油污表面状态供货，并对捻制和表面质量、提拉柱与阻尼套作出了明确规定。

外观质量是单晶炉用钨丝绳的关键质量特性，在单晶炉高温高真空环境中，任何表面的污染物都会挥发或溅射，直接导致硅晶体中形成金属杂质缺陷，使其电学性能严重恶化，产品报废。

钨丝绳的捻制工艺是其从高性能单丝转化为精密工程部件的关键一步，是一项将材料科学、力学设计与精密制造融为一体的核心技术，能够在极高的单丝张力下，实现结构的高度均匀、紧密和稳定，最终确保钨丝绳绳体在极端工况下能够“承重不旋转”、尺寸恒定且具有超长疲劳寿命。近年来，随着国内捻股装备持续升级与制造工艺不断优化，各主要生产厂家的钨丝绳捻制水平已得到显著提升，能够稳定满足高端应用需求，为巩固这一成果，本标准对外观质量要求进行了明确和规范，具体包括：

- a) 成品钨丝绳应进行清洗保证表面干净、光洁、无污渍且具有金属光泽；
- b) 钨丝绳绳体无毛刺、松股现象。阻尼套在钨丝绳滑动顺畅，提拉柱、阻尼套等无漏装、漏压情况，提拉柱无挤压变形情况。

这些规定既体现了当前钨丝绳生产工艺所能达到的先进表面质量控制水平，也为持续提升产品质量、满足用户对高质量产品的追求提供了明确依据。

### 1.8 试验方法

本标准明确规定钨丝绳化学成分严格按照 GB/T 4324 《钨化学分析方法》、YS/T 559 《钨的发射光谱分析方法》中规定的测试方法进行检测，确保多元素分析的准确率；同时明确规定钨丝绳拉伸试验严格按照 GB/T 228.1 《金属材料拉伸试验第 1 部分：室温试验方法》、GB/T 228.2 《金属材料拉伸试验第 2 部分：高温试验方法》中规定的试验方法，保证温度、拉伸速率、标距等关键参数的一致性，确保试验结果的科学性和可复现性。

### 1.9 组批

本标准明确规定每批产品应由同一牌号钨丝、结构、直径、状态和制造方法的钨丝绳组成。这一规定符合现代连续生产的实际情况，能够有效避免对同质产品的重复检验，在保证质量追溯性和检验有效性的前提下，显著减少不必要的检验频次，有利于降低生产与质检成本，提升效率，符合行业实际且具有显著的经济性。

### 1.10 检验结果的判定

本标准在检验结果的判定规则上进行了明确的规定，鉴于钨丝绳在单晶炉内属于精密零部件，任何微小的误差都会导致后续生产的单晶硅的质量发生重大波动，为避免因偶然误差导致合格产品被误判，本标准明确规定：当化学成分、抗拉强度、旋转性能不合格时，允许重新任取双份复检样进行重复试验，仍有一根试验结果不合格，则判整批钨丝绳不合格；但为了尽可能降低损失，允许该批钨丝绳逐盘检验，合格者予以发货。捻制质量、尺寸测量、装配质量任一项不合格时，则整根钨丝绳不合格，做报废处理。

这一规定既体现了质量控制体系的严谨性与科学性，也为可能存在的操作波动或偶然误差提供了合

理的纠错机制，在保障产品质量的前提下最大限度地维护了供需双方的公平利益，确保了标准执行的合理性与可操作性。

## (二) 主要试验（或验证）情况分析

### 2.1 原材料钨丝抗拉强度验证

原材料钨丝的抗拉强度是成品钨丝绳所有力学性能的基石，要保证钨丝绳达到设计的安全载荷，必须对原材料钨丝的强度设定明确的要求，钨丝的抗拉强度数据分析见图 1。

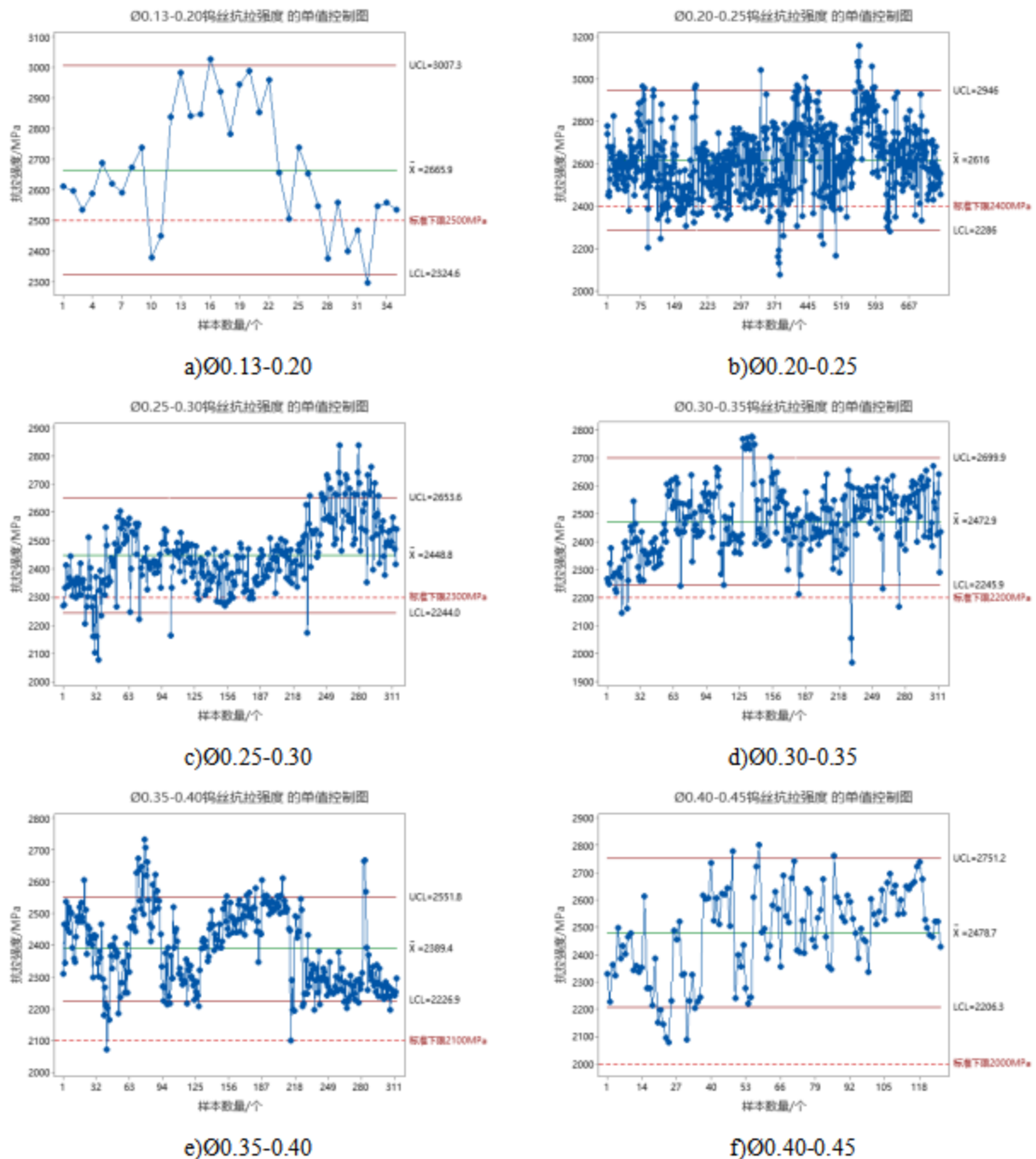


图 1 不同规格钨丝的抗拉强度

根据图 1 分析显示，各种直径的钨丝抗拉强度均显著优于标准要求。结果表明现有钨丝的生产工艺稳定可靠，不同规格钨丝的强度表现一致，完全能够满足钨丝绳捻制成形的工艺需求，为本标准的顺利实施提供了充分的技术保障。

## 2.2 拉伸性能试验

在钢丝绳拉伸性能验证中,验证工作重点针对公称抗拉强度和规定破断载荷展开,不同规格钢丝绳的室温拉伸性能数据分析见图2、图3。

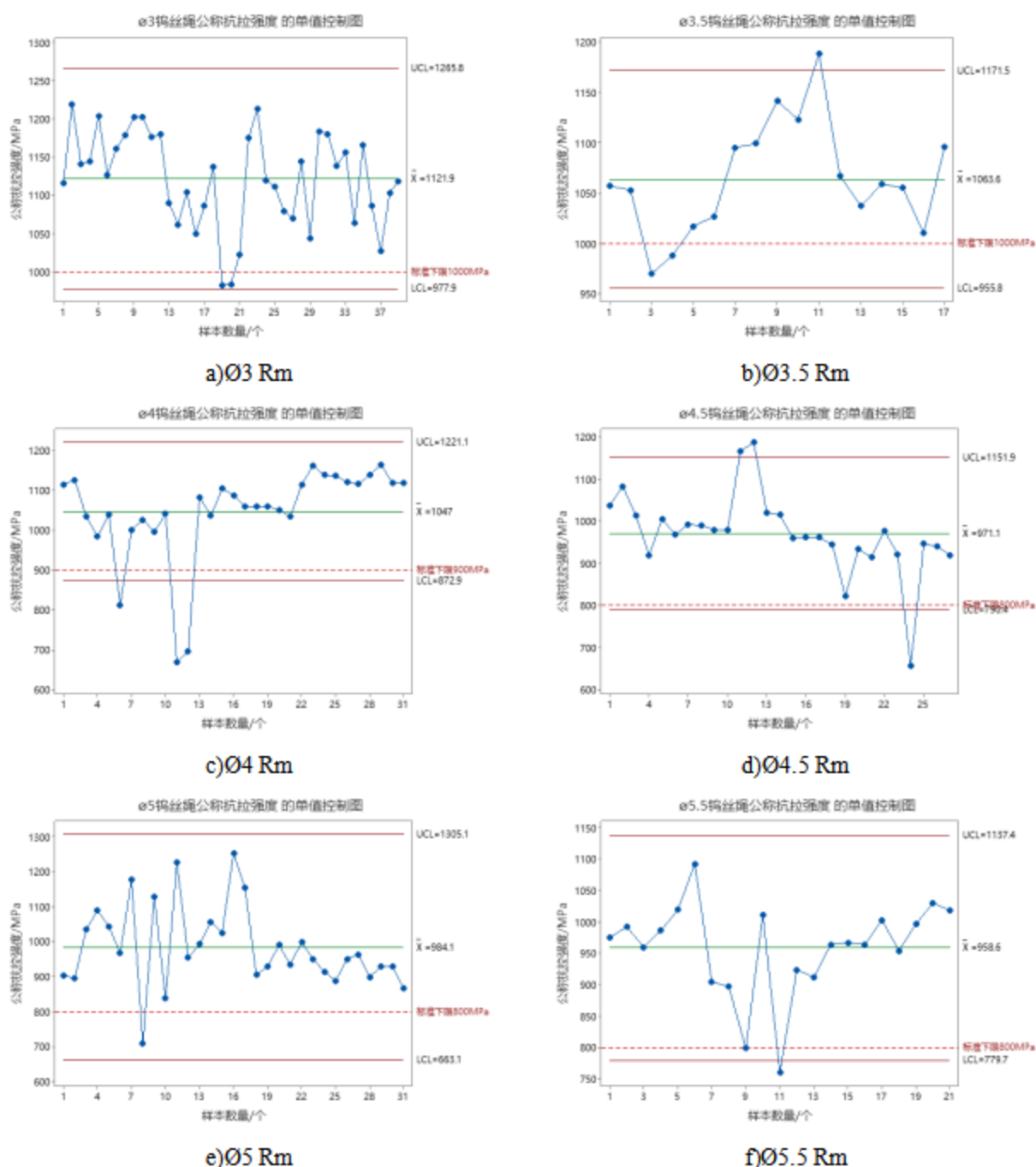


图2 不同规格钢丝绳公称抗拉强度数据分析(室温)

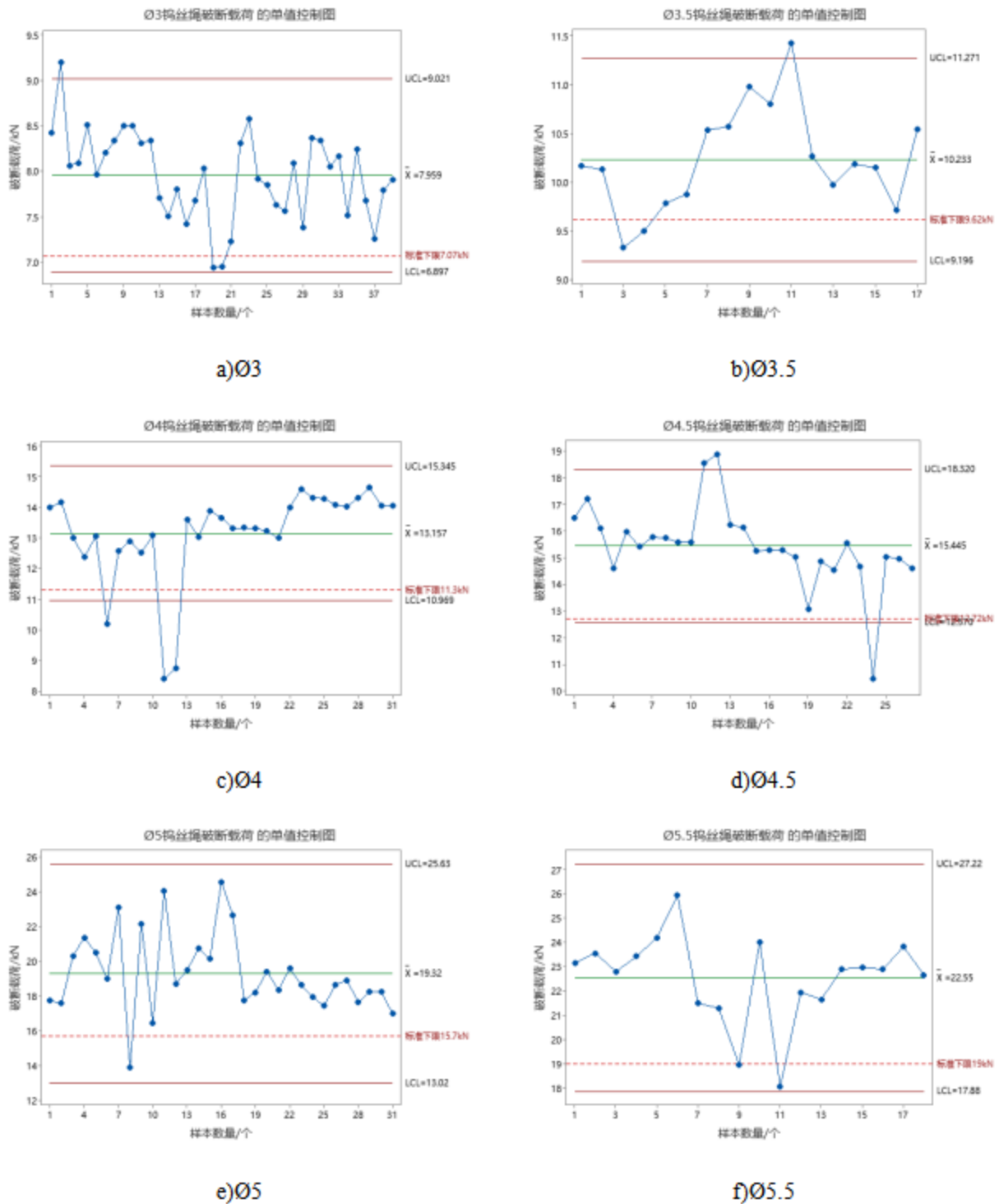
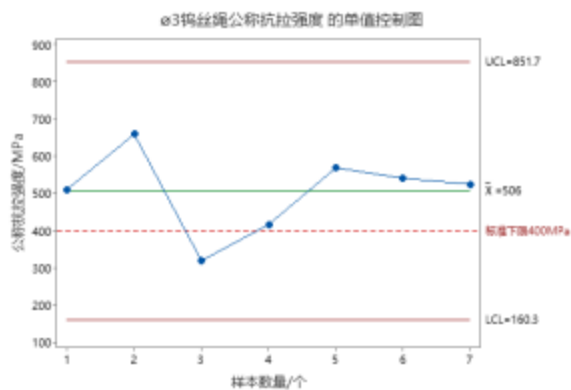


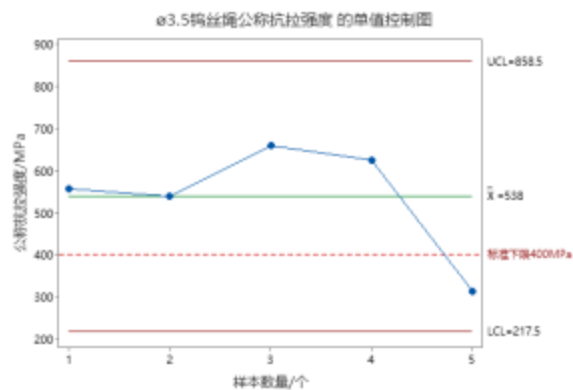
图3 不同规格钢丝绳破断载荷数据分析（室温）

根据图2分析显示，不同规格钢丝绳公称抗拉强度显著优于标准要求，虽然存在个别数据点超出控制界限的情况，但整体合格率达到93.5%以上；图3数据分析显示，在全部检测数据中，仅有个别数据点超出控制界限的情况。这一结果充分证明，虽然存在个别工艺波动导致的极值，但现行生产工艺稳定可靠，修订后的强度指标设置科学合理，既保证了材料性能要求，又为正常工艺波动预留了适当空间。

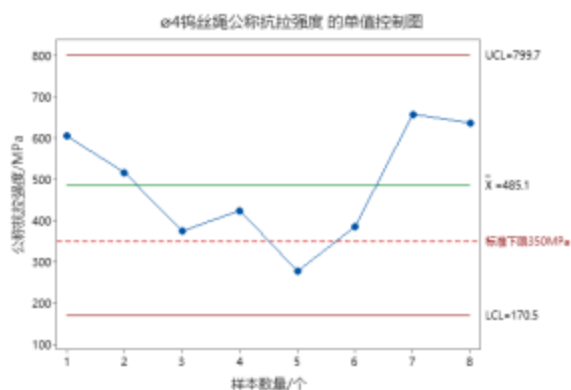
不同规格钢丝绳在高温下的拉伸性能见图4、图5所示。



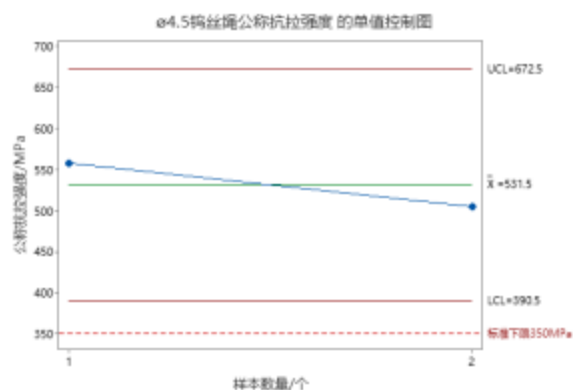
a)Ø3 Rm



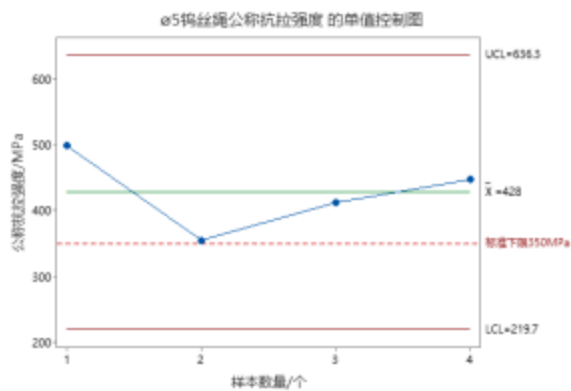
b)Ø3.5 Rm



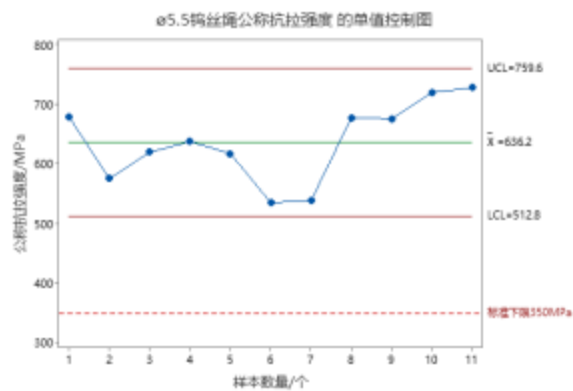
c)Ø4 Rm



d)Ø4.5 Rm



e)Ø5 Rm



f)Ø5.5 Rm

图4 不同规格钢丝绳公称抗拉强度数据分析(高温)

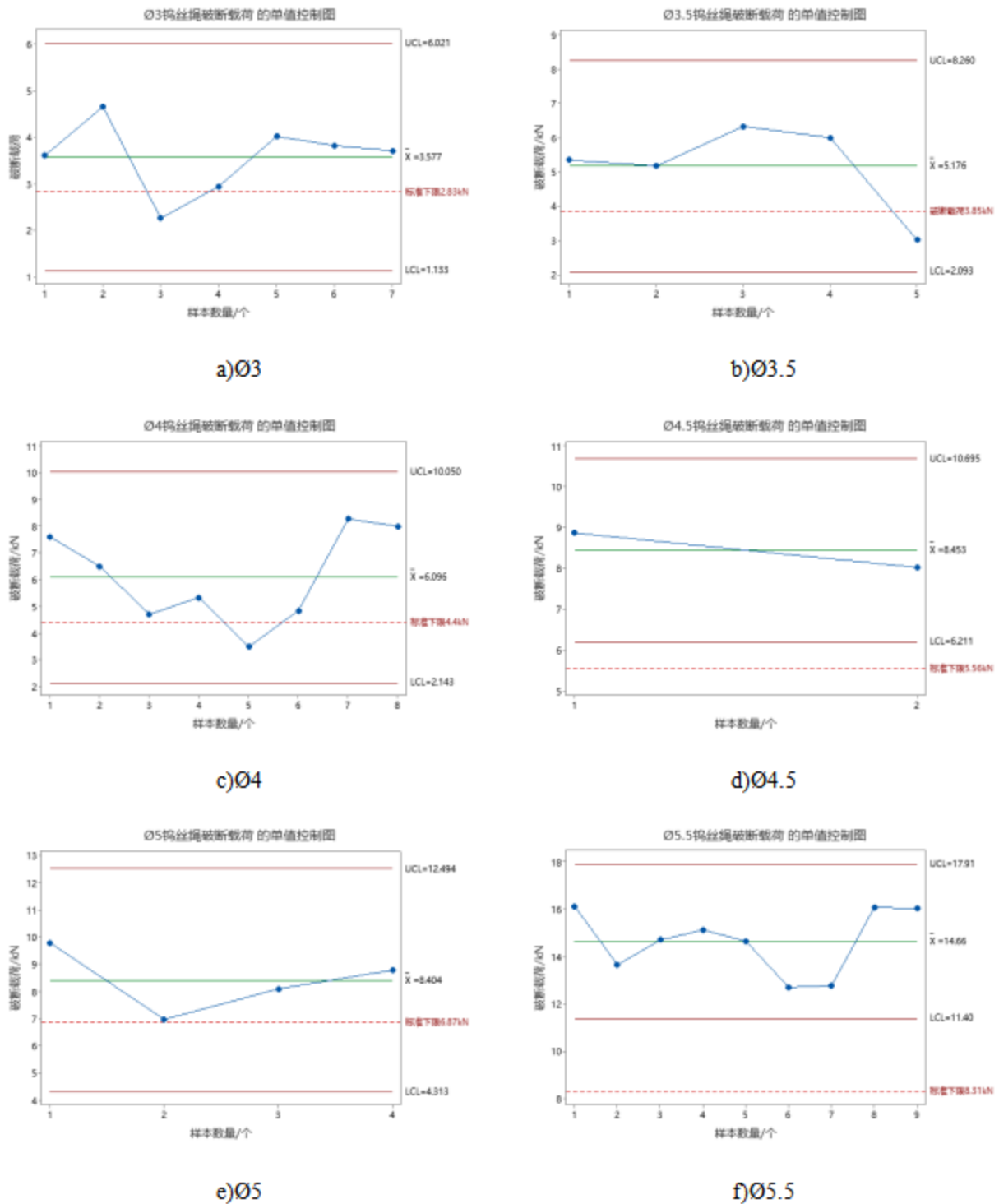


图5 不同规格钢丝绳破断载荷数据分析（高温）

根据图4和图5数据分析显示,高温下不同规格的钢丝绳公称抗拉强度和破断载荷均显著优于标准要求,尽管存在个别超出控制界限的数据点,但这属于正常工艺波动范围内的极值情况,并不影响整体趋势。结果证明,当前生产工艺稳定可控,制定的拉伸性能指标科学合理,在确保材料性能达到要求的同时,也为生产过程中的合理波动留出了必要空间。

### 2.3 可靠性测试

钢丝绳的旋转圈数数据分析见图6。

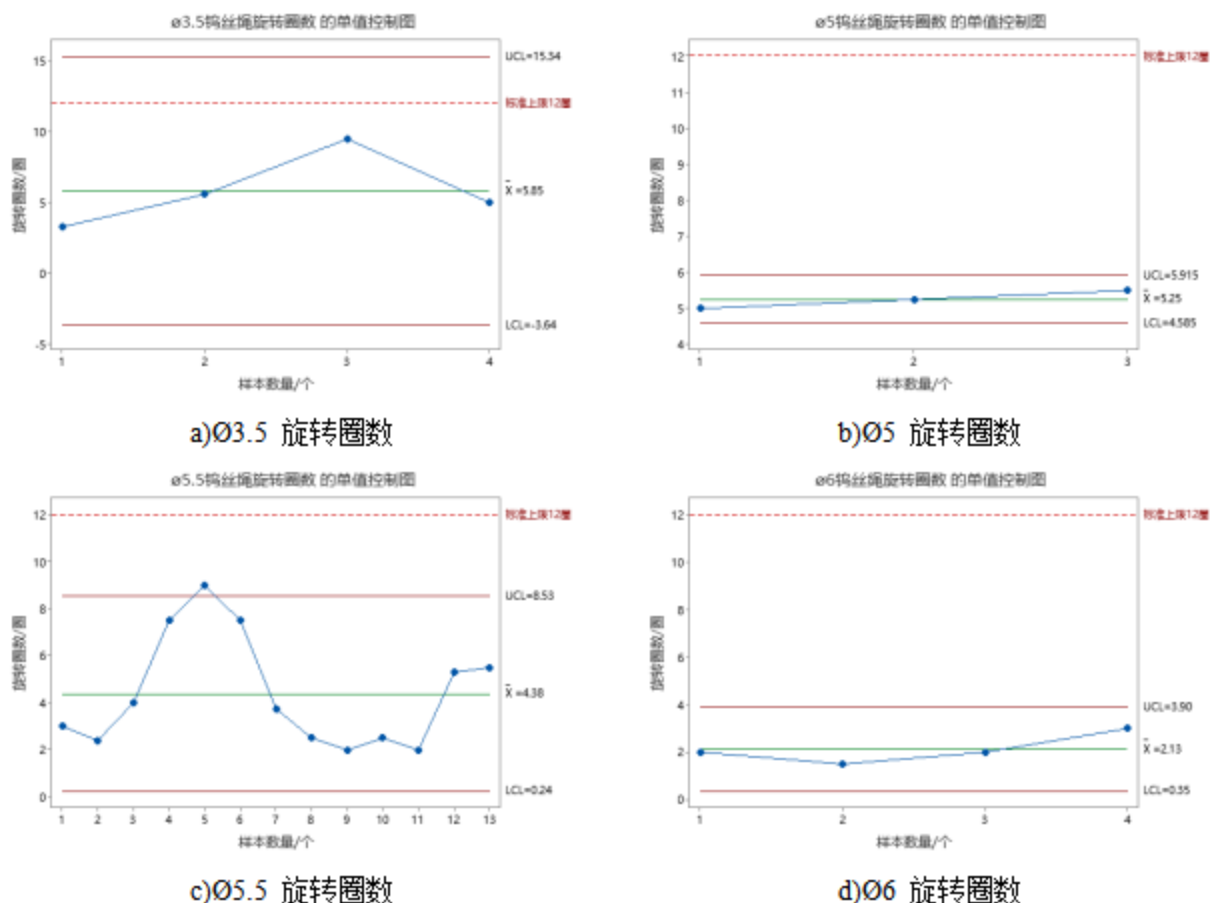


图6 钨丝绳旋转圈数的单值控制图

根据图6数据分析显示,所有测试批次的旋转圈数平均值显著优于标准要求的12圈。数据分布表明生产工艺稳定可控,充分证明了本标准对提拉测试中旋转圈数的规定既保持了适当的先进性,又兼顾了生产工艺的实际可行性。

#### 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

近年来,各种晶体材料,特别是以单晶硅为代表的高科技附加值材料及其相关高新技术产业的发展,已经逐渐成为当代信息技术产业的支柱,并使信息产业成为全球经济发展中增长最快的先导产业。单晶硅作为一种极具潜能,亟待开发利用的高科技资源,正引起越来越多的关注和重视。

单晶硅是一种比较活泼的非金属元素,是晶体材料的重要组成部分,也是制造半导体硅器件的原料。其主要用途是用作半导体晶圆片材料和光伏发电硅基板等。单晶硅按晶体生长方法的不同,分为直拉法(CZ)、区熔法(FZ)和外延法。直拉法、区熔法生长单晶硅棒材,外延法生长单晶硅薄膜。直拉法生长的单晶硅主要用于半导体集成电路、二极管、外延片衬底、太阳能电池。目前晶体直径可控制在 $\Phi 6\sim 12$ 英寸。区熔法单晶主要用于高压大功率可控整流器件领域,广泛用于大功率输变电、电力机车、整流、变频、机电一体化等系列产品。目前晶体直径可控制在 $\Phi 3\sim 6$ 英寸。外延片主要用于集成电路领域。

钨丝绳采用高强白细钨丝作为原材料,按照特定的绕制工艺,多根钨丝捻合成绳。钨丝绳具有高温强度高,洁净无挥发,载重不旋转等优良性能,目前已广泛应用于单晶硅棒的控制成型。单晶硅作为最初一代太阳能电池基板材料之一,目前已经普遍应用于光伏发电领域。而单晶硅所需的生长环境要求十

分严格，通常需要在高温环境下生长单晶，且生长周期较长（一般 2~3 天）。这就要求生长硅单晶所需的配件材料不仅要具有耐高温性能，还要具有较好的力学使用强度、耐磨性能及连续在高温工作环境下使用等特点。单晶炉的炉体一般由机架、副炉和主炉体三部分组成，而主炉体内部构成一般由钨丝绳、籽晶夹头、石英坩埚、钼重锤等部分组成。作为提拉系统构件，原有技术中，提拉单晶硅采用的是钢丝绳，而钢丝绳本身含有 Fe、C 等元素，易造成晶体杂质元素含量超标，影响单晶硅的纯度，且钢丝绳的耐高温性能不是很好，高温环境下连续工作寿命短、效益差。而钨丝绳具有耐高温性能强、抗拉强度高、使用寿命长等优势，已经广泛应用于单晶硅生长所需提拉构件，取代原有钢丝绳。

## （二）项目的可行性简介

钨丝绳主要应用于单晶炉设备中硅单晶生长所需的提拉构件，属于发展应用前景广、市场需求大的工程应用领域。但目前国内关于钨丝绳的标准化工作还属于空白，没有相关国家及行业标准。

目前，国内光伏单晶炉的数量在 60000 台以上，单晶炉用钨丝绳的年需求量在 60000 根以上，涵盖  $\Phi 2.5\sim\Phi 6.0\text{mm}$  不同规格绳径的钨丝绳。而且随着光伏半导体行业的蓬勃发展和国家的政策导向驱动下，我国光伏半导体下游市场端的市场规模逐年递增，上游硅片的需求也处于供不应求的状态。钨丝绳作为单晶硅制备过程中必不可少的配件之一，其产品质量的好坏决定着单晶硅片的生产效率，也间接影响着硅片的销售价格。而目前国内关于钨丝绳的工艺制备、规格要求等还没有一个统一的标准，导致国内许多企业生产的钨丝绳产品质量参差不齐，规格也没有一个衡量的标准。采用方在采购钨丝绳时也没有相关标准可依，因此，需要制定钨丝绳产品的相关标准，以促进现有钨丝绳产品质量的提升和规格的统一，确保钨丝绳的检验规范统一，符合使用标准。

本标准的制定规范了钨丝绳在制造及使用过程中的一些相应的质量及检测要求，弥补了国内没有钨丝绳标准规范的缺口。通过标准文件的指定，可以规范现有单晶炉用钨丝绳产品的质量和规格的统一，确保单晶炉用钨丝绳产品的质量检测规范统一，符合使用标准，满足客户端市场的应用需求。

## （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

本标准具有显著先进性与创新性。在技术层面，本标准首次系统性地将“承重旋转稳定性”、“高温拉伸性能”、“超高洁净度”等单晶硅生长等高端应用的功能性需求，转化为可测量、可检验的量化指标。标准内容覆盖了从原材料纯度与强度、捻制工艺、到最终产品功能验证的全链条，引导企业建立全过程质量控制体系。我国此前缺乏专门的钨丝绳国家标准，本标准自主制定，其技术指标直接瞄准并有望超越国际高端客户（如顶级单晶炉制造商）的内部标准，实现从“跟跑”到“并跑”乃至在部分指标上“领跑”的转变。

标准的实施将产生显著的“降本、增效、增值”，贯穿产业链上下游。使用符合本标准的钨丝绳，能显著提高单晶硅的成晶率、电阻率均匀性，质量的提升意味着更高的售价和市场份额。12 英寸及以上半导体硅片、210mm 光伏硅片的生产，对热场稳定性要求呈指数级增长。本标准为这些先进工艺提供了可靠的材料基础，助力下游产业突破技术瓶颈，抢占高端市场。

本标准通过规范和提升国内产业链水平，有效保障了半导体和光伏这两个战略新兴产业的原材料供应安全，减少在关键核心部件上对国外进口的依赖，是维护产业安全的重要一环。光伏是清洁能源的主力军，本标准通过助力提升光伏硅片的质量和生产效率，直接降低了光伏发电的度电成本，加速能源结构转型，为国家“双碳”目标的实现提供坚实的技术与产业支撑。一部具有国际水平的《钨丝绳》国家标准，是中国从“量”到“质”飞跃的微观体现。本标准的发布与实施，将增强国内外市场对中国高端基础材料的信心，是中国参与甚至引领国际标准制定的重要基础，有助于树立中国制造“安全、可靠、精密”的形象。

## 六、采用国际标准和国外先进标准的情况

关于钨丝绳，目前没有直接对应的、独立的国际标准。这是因为钨丝绳是一种高度专业化、应用领域相对聚焦（主要在高科技和高端制造业）的产品，其市场规模和技术要求尚未达到制定广泛适用

GB/T xxxx—xxxx

的国际标准的程度。尽管如此，本标准依旧借鉴了与钨丝绳间接相关的 ASTM F288《电子和真空应用用钨丝标准规范》，加严了化学成分等相关内容，使标准水平对齐国际先进水平，并额外增加了钨丝绳尺寸精度和测试方法要求。

#### **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**

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丝绳，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、设计单位及检测机构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、本次编制的《钨丝绳》，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、建议本标准批准发布后 6 个月正式实施，为相关单位预留充足的准备时间，确保标准平稳过渡和有效落地。

#### **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**

经标准编制组对《钨丝绳》国标进行制定后，规定的技术要求先进、合理，具有优越的适应性。本标准实施后，将使我国钨丝绳产品的整体质量水平可以完全达到国际先进水平，在满足国内需求的同时提高了在国际市场上的竞争力，对促进我国钨丝绳的发展将产生深远的影响。

**《钨丝绳》标准编制组**