

《玄武岩连续纤维全电熔池窑技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

本文件由中国技术市场协会提出并归口，经中国技术市场协会标准化工作委员会批准，正式列入 2025 年团体标准制修订计划，标准名称为《玄武岩连续纤维全电熔池窑技术规范》。

（二）项目背景

玄武岩连续纤维是以天然玄武岩矿石为主要原料，经高温熔融、拉丝制成的连续纤维，具有强度高、耐高温、耐腐蚀、电绝缘等优异性能，被广泛应用于航空航天、汽车船舶、土木交通、环保消防等领域，被誉为 21 世纪“绿色新材料”。随着国家对新材料产业战略布局的持续推进，玄武岩连续纤维已列入国家重点发展的新材料领域，其规模化、绿色化生产技术成为产业升级的关键方向。

全电熔池窑技术是当前玄武岩连续纤维生产领域的重要技术路线，采用电极浸入熔体内部直接通电，利用熔体电阻产生的焦耳热进行加热，具有热效率高、污染少、产品质量稳定等显著优势。与传统气电结合加热方式相比，全电熔池窑可显著提高岩石熔化率，推动生产成本降低 40% 以上，且生产过程中几乎不产生有害物质排放。然而，当前国内玄武岩连续纤维全电熔池窑领域存在技术路线多样、设备规格不一、工艺参数差异显著等现状。不同生产企业采用的窑炉结构设计、电极配置方案、温度控制策

略、工艺参数体系各不相同，导致产品质量参差不齐，行业缺乏统一的评价尺度和技术规范。

此外，全电熔池窑作为近年来快速发展的新兴技术路线，国内尚无系统的技术标准对其设计、工艺、能耗、产品质量等进行全面规范，制约了行业规模化、规范化发展。为解决上述问题，亟须制定统一的《玄武岩连续纤维全电熔池窑技术规范》，明确全电熔池窑系统的核心技术要求、工艺参数控制指标及试验验证方法，为产业发展提供标准化支撑。

（三）目的意义

1. 目的

（1）建立统一技术评价体系

明确玄武岩连续纤维全电熔池窑系统的系统组成、工艺流程、设计参数、工艺控制指标、能耗效率要求及产品质量要求，统一行业技术评价尺度，确保不同企业生产的设备与产品具有可比性，引导企业聚焦核心技术优化，提升全行业技术水平。

（2）规范产业发展秩序

为全电熔池窑的设计、制造、运行、验收等全流程提供技术依据，解决当前市场因标准缺失导致的质量管控混乱、工艺参数随意、验收标准不一等问题，降低产业链合作成本，推动行业健康有序发展。

（3）支撑技术创新与产业升级

以标准为导向，推动企业在全电熔池窑结构设计、电极系统优化、智能温控技术、大漏板拉丝工艺等核心领域的技术研发，加速玄武岩连续纤维国产化装备的规模化应用，提升我国在该领

域的技术话语权和产业竞争力。

2. 意义

（1）推动行业技术进步

统一的技术规范有助于促进企业间的技术交流与合作，避免重复研发和资源浪费，加速全电熔池窑技术的迭代升级。标准对熔池深度、电极材质、分区温度控制、冷顶工艺等核心技术参数的规范，将引导行业向高效、稳定、绿色的方向发展，为玄武岩连续纤维产业提供更可靠的技术保障。

（2）提升市场应用效率

标准化的技术要求和试验方法，可帮助下游用户企业快速开展设备选型与产品验收工作，降低技术评估成本；同时，规范的市场环境有利于优质企业脱颖而出，形成良性竞争格局，推动产业规模化、高质量发展。

（3）促进资源高效利用与绿色发展

全电熔池窑技术本身具有显著的节能环保优势，标准对系统热效率（ $\geq 60\%$ ）、单位产品电耗（ $2800 \text{ kWh/t} \sim 3500 \text{ kWh/t}$ ）等指标的明确规定，将进一步推动行业向绿色低碳方向转型。据统计，采用全电熔池窑技术后，生产成本可降低 40%以上，以年产 500 吨生产线为例，产品附加值从每吨 700 元的矿石提升至 1 万元~3 万元的纤维，经济效益与环保效益显著。

（四）起草单位及起草人名单

本文件起草单位：通榆中钽玄武岩新材料科技有限公司、郑州登电玄武石纤有限公司、北京中研博采技术服务有限公司。

本文件主要起草人：韩德路、焦志怀、乐志斌、夏卫彬。

（五）主要起草过程

1. 文本调研

2026 年 2 月启动了文本的调研工作，并于 2026 年 3 月完成了相关资料的收集和分析工作。

2. 标准立项

2026 年 6 月向中国技术市场协会标准化委员会提出申请，于 2026 年 6 月 12 日获得中国技术市场协会标准化工作委员会批准立项。

3. 形成标准草案

2026 年 6 月，起草组对资料收集情况进行汇总处理，确定了标准框架和主要内容。2026 年 7 月 6 日，《第二代高温超导带材电镀铜表面处理技术规范》形成标准初稿。

4. 形成征求意见稿

2026 年 7 月 16 日至 2026 年 8 月 24 日，起草组根据反馈的意见和建议，对草案内容进行了修改和调整，形成标准征求意见稿。

二、确定标准主要内容的论据

（一）编制原则

本文件按照 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》以及《中国技术市场协会团体标准工作程序》的规定起草。

（二）标准主要内容及适用范围

本文件规定了玄武岩连续纤维全电熔池窑的术语和定义、系统组成与工艺流程、技术要求、试验方法等内容。

本文件适用于以玄武岩矿石为主要原料，采用全电熔工艺生产连续玄武岩纤维的池窑系统。

（三）确定标准主要内容的论据

1. 术语和定义的确定依据

本标准术语优先引用 GB/T 38111 《玄武岩纤维分类分级及代号》已有的定义；针对全电熔池窑、冷顶、熔池深度等本标准特有的关键概念，结合国内工程实践、行业通用表述进行界定，明确各概念的边界，避免行业内理解歧义，保障标准文本统一。

2. 系统组成与工艺流程的确定依据

系统组成划分完全基于全电熔池窑完整生产链路，划分为原料预处理系统、熔制系统、成型拉丝系统、辅助系统四大子系统，覆盖从矿石进料到纤维成品产出全部环节。

工艺流程、工艺阶段功能说明参考国内多条千吨级全电熔示范产线实际运行工况；熔化区 $1450^{\circ}\text{C}\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 、均化区 $1350^{\circ}\text{C}\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 等温度区间，冷顶厚度 $50\text{mm}\sim 150\text{mm}$ 、熔池深度 $\geq 1200\text{mm}$ 、熔体停留时间 $20\text{h}\sim 48\text{h}$ 等参数，均来自国内已投产成熟全电熔池窑实测数据；同时明确各工序关键控制指标（原料 Fe_2O_3 波动、气泡率、单丝直径精度、涂油均匀度等），保障熔体熔融、澄清、拉丝成型的稳定性。

3. 技术要求的确定依据

（1）设计要求

窑炉设计寿命 ≥ 5 年、熔池深度 $\geq 1200\text{mm}$ 指标，参考国内已投产全电熔池窑工程经验；电极材质规定钼(Mo)或氧化锡(SnO_2)，引用 YS/T 1312 《钼电极》；耐火材料选用电熔锆刚玉(AZS)、

熔融石英耐火制品，符合 JC/T 493 要求；多层复合保温结构，窑顶外表面温度 $\leq 60^{\circ}\text{C}$ ，目的是控制窑炉表面散热损失，降低整体电耗，上述参数经过多条示范产线工程验证，具备普适性。

（2）工艺参数要求

熔化区、均化区、作业通道温度以及对应的控制精度，熔体液位波动、冷顶温度、冷顶厚度、熔体停留时间等指标，综合国内主流全电熔池窑实测运行数据；温度控制精度要求，匹配熔体黏度稳定控制需求，避免温度波动造成纤维直径波动、断丝增多；熔体液位 $\pm 5\text{mm}$ 控制精度，保障漏板出料流量稳定，直接影响原丝均匀性。

（3）能耗与效率要求

系统热效率 $\geq 60\%$ 、单位产品电耗 $2800\text{kWh/t} \sim 3500\text{kWh/t}$ （ $13\ \mu\text{m}$ 纤维折算）、窑炉连续运行周期 ≥ 36 个月，能耗核算方法按照 GB 29450《玻璃纤维单位产品能源消耗限额》执行；单线产能指标区分成熟技术产能与设计目标产能，客观反映当前产业技术现状，避免指标脱离工业实际。

（4）产品质量要求

产品质量分级分为 CBF-1 优等品、CBF-2 合格品，单丝直径、拉伸强度、弹性模量、断裂伸长率、含水率、可燃物含量等指标，以 GB/T 38111《玄武岩纤维分类分级及代号》为基础，结合全电熔池窑实际产出纤维的统计数据确定，能够客观反映全电熔池窑装备的工艺输出水平。

4. 试验方法的确定依据

试验方法遵循“科学、简便、可重复、行业通用”原则。

单丝直径、拉伸强度弹性模量、含水率、可燃物含量优先直接引用 GB/T 7690.5、GB/T 7689.5、GB/T 9914.1、GB/T 9914.2 等已有的国家标准方法，保证检测结果与纤维产品国标体系衔接；

针对池窑本体的温度均匀性测定，规定同一水平截面不少于 5 个测点，采用 B 型铂铑热电偶测试，是窑炉热场评价通用手段，可在生产现场直接开展测试，用于评价熔池内部熔体温度均匀程度。

标准明确样品取样数量、仪器类型、数据处理规则，保证不同实验室、不同企业检测结果具有可比性。

三、主要试验[或验证]情况分析、技术经济论证、预期经济效果

（一）主要试验[或验证]情况分析

为保证本标准的科学性、合理性、可操作性，起草组联合装备制造企业、玄武岩纤维生产企业、第三方检测机构，选取国内 7 套不同规模的全电熔池窑装备（包含 600t、1200t、2400t 不同单线产能），按照本标准拟定的技术要求、试验方法开展系统验证，累计完成验证试验项目 142 项，采集有效试验数据 820 余组，具体验证情况如下：

1. 窑炉结构与设计指标验证

熔池深度：7 套验证样品中 5 套样品熔池深度 $\geq 1200\text{mm}$ ，熔体充分熔融澄清，气泡率 $\leq 0.5\%$ ；2 套熔池深度 900mm 的样品，熔体停留时间不足，气泡率最高达 1.2%，纤维成品出现气泡缺陷，验证熔池深度 $\geq 1200\text{mm}$ 指标的必要性。

窑炉保温性能：达标样品窑顶外表面温度 $52^{\circ}\text{C} \sim 58^{\circ}\text{C}$ ，散热

损失可控；未达标样品保温结构设计不足，窑顶表面温度达到72℃，系统热效率降低4~6个百分点，验证保温结构指标的约束价值。

窑炉连续运行周期：成熟产线样品稳定连续运行可达到38个月~42个月；耐火材料选型不合理样品，28个月即出现熔池内衬侵蚀超标，必须冷修，证明耐火材料选型对窑炉服役周期的关键作用。

2. 核心工艺参数验证

熔化区温度：1450℃~1500℃区间内，温度控制精度±10℃的样品，玄武岩矿石熔融充分；温度波动超过±15℃的样品，出现局部熔化不完全或者熔体过烧现象，原丝断丝频次提升。

均化区温度均匀性：同一截面5点测温，温度差≤±5℃的样品，熔体成分均化效果好；温差超过±8℃样品，熔体黏度不一致，造成漏板各孔流量差异，单丝直径离散度增大。

冷顶控制：冷顶厚度维持50mm~150mm区间样品，熔池热稳定性好，热损失低；冷顶厚度过小，会出现熔体表面裸露，热损耗显著上升；冷顶过厚，容易出现原料下沉慢，熔化不充分。

3. 能耗与效率指标验证

系统热效率：达标的样品热效率61%~66%，单位产品电耗2920kWh/t~3340kWh/t；保温、电极配置不合理的样品，系统热效率仅53%~57%，单位产品电耗达到3700kWh/t~4100kWh/t，能耗显著偏高，验证本标准能耗指标的区分度。

4. 产品输出质量验证

CBF-1（优等品）产线样品：单丝直径偏差控制在±0.5 μm

以内，原丝拉伸强度 $\geq 1800\text{MPa}$ ，弹性模量 $\geq 85\text{GPa}$ ；部分工艺管控不足的样品，单丝直径偏差达到 $\pm 1.1\ \mu\text{m}$ ，拉伸强度下降至 $1420\text{MPa}\sim 1480\text{MPa}$ ，只能达到合格品甚至不满足国标要求，验证本标准工艺-装备-产品质量之间的对应关系。

温度均匀性、液位、冷顶控制等窑炉装备参数直接决定下游纤维成品的力学与尺寸性能。

（二）技术经济论证

本标准实施以后，将从上游配套部件、中游窑炉装备制造、下游玄武岩纤维生产应用三个产业链维度产生显著价值，具体分析如下：

1. 产业链层面

上游核心配套部件端：标准对钼电极、AZS 耐火材料、铂铑漏板等关键部件提出明确配套要求，引导上游供应商开发适配全电熔池窑工况的高性能部件。耐火材料标准化选型，减少窑炉内衬过早侵蚀，延长窑炉冷修周期，带动耐火材料国产替代。

中游窑炉装备制造端：标准化设计可以提升电极、保温模块、温控模块等零部件通用化率，预计零部件通用率由当前 28% 提升至 55% 以上；单套全电熔池窑装备设计、装配调试周期缩短 20%；统一的测试验收方法，减少装备出厂、项目现场重复测试，单套装备检测调试成本降低 18%~22%。

下游纤维生产企业端：采用符合本标准的全电熔池窑，熔体均化度提升，纤维优等品率预计提升 8%~12%，降低残丝、废丝产出；单位产品电耗下降 6%~10%，按单线年产 1800 吨计算，每年可节约用电约 32 万度；窑炉冷修周期由 24 个月提升至 36 个

月以上，减少停机停产损失，产线年有效生产时长提升。同时稳定的原丝品质，提升下游复合材料制品的合格率。

2. 企业层面

成本效益平衡：生产企业为满足本标准基础要求，窑炉建设一次性投资会增加 6%~9%，但是窑炉使用寿命延长，冷修频次降低，综合全生命周期运维成本可下降 20%~24%；达到本标准优等品输出指标，企业需要投入工艺调试、控制系统升级投入，但是产品市场溢价可以达到 22%~28%，在土木、轨道交通、航空配套等高价值应用领域市场占有率可提升 15%~20%。以一条年产 1800 吨产线测算，优等品率提升带来年新增效益可达 110 万~160 万元。

技术升级驱动：标准对熔池深度、温度均匀性、冷顶控制、能耗效率等指标提出明确约束，倒逼企业加大温控系统、电极排布模拟仿真、耐火内衬结构等技术研发投入，推动行业整体研发投入占比提升，催生一批全电熔池窑相关专利，筑牢国内玄武岩纤维装备的技术壁垒。

3. 产业经济层面

资源与双碳效益：标准推动全电熔池窑规范化推广，相比传统火焰窑，减少化石燃料燃烧碳排放；标准化部件提升零部件复用率，减少耐火材料、电极报废废弃物，降低固废产生量。

产业竞争力提升：标准补齐全电熔池窑装备标准短板，带动窑炉装备、耐火材料、电极、漏板配套产业协同发展，预计 5 年内带动上下游新增就业岗位 3000 个~4500 个；全电熔装备国产化成熟，减少进口窑炉方案依赖，降低项目引进外汇支出。

（三）预期经济效果

本《玄武岩连续纤维全电熔池窑技术规范》实施落地后，将对玄武岩连续纤维全产业链带来长期经济与社会效益，主要体现在：

1. 产业提质增效效益显著

按照达标全电熔池窑单线年产能 1800 吨测算，优等品率提升 8%~12%，单条产线年新增产值约 120 万元~180 万元；预计到 2029 年国内符合本标准全电熔池窑保有量达到 45 条，年新增产业产值可突破 6 亿元。稳定高品质的玄武岩原丝供给，进一步带动下游复合材料、工程应用产业链扩容，间接带动产业链规模增长 80 亿元以上。

2. 提升国内装备与产品对外输出能力

海外市场对玄武岩纤维装备、原丝产品的能耗、稳定性、产品一致性要求不断提高。本标准指标对标国际先进全电熔池窑水平。目前国内玄武岩纤维及成套窑炉装备已经开始对外输出，标准实施之后可以作为成套装备出口的技术依据，降低因技术条件不统一造成的项目争议，预计装备与纤维出口退货率下降，提升我国玄武岩新材料产业国际市场话语权。

3. 优化行业格局，引导产业良性发展

现阶段行业存在部分简易非标准化全电熔窑炉项目，装备寿命短、能耗高、产品质量不稳定。本标准实施之后，技术门槛得到明确，技术落后、无法满足标准指标的低效产能逐步出清，行业集中度提升，资源向掌握成熟全电熔池窑技术的优势企业集聚；引导产业从单纯追求规模扩张转向装备、工艺、质量协同升级，

助力我国玄武岩连续纤维产业高质量发展。

四、采用国际标准和国内外先进标准的程度

本文件不涉及国际国外标准的采标情况。

五、重大分歧意见处理经过及依据

本文件在制定过程中未出现重大分歧意见。

六、与现行相关法律、法规及相关标准的协调性

与现行相关法律、法规及相关标准相协调。

七、知识产权情况说明

本文件不涉及必要专利等知识产权情况。

八、其他应予说明的事项

无。

《玄武岩连续纤维全电熔池窑技术规范》

团体标准工作组

2026 年 9 月 4 日