

# 《废石墨高温提纯装备评价方法》

## （征求意见稿）

### 编制说明

标准编制组

**2025 年 7 月**

## 目 录

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 一、 目的和意义 .....                  | 错误!未定义书签。 |
| 二、 项目背景和来源 .....                | 错误!未定义书签。 |
| 三、 标准制定工作概况 .....               | 错误!未定义书签。 |
| 四、 标准编制原则、主要内容及确定依据 .....       | 7         |
| 五、 主要试验（或验证）情况 .....            | 错误!未定义书签。 |
| 六、 采用国际标准 .....                 | 错误!未定义书签。 |
| 七、 与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性 ..... | 错误!未定义书签。 |
| 八、 重大分歧意见的处理经过和依据 .....         | 错误!未定义书签。 |
| 九、 标准作为强制性标准或推荐性标准的建议 .....     | 错误!未定义书签。 |
| 十、 贯彻标准的要求和措施建议 .....           | 错误!未定义书签。 |
| 十一、 废止现行相关标准的建议 .....           | 33        |
| 十二、 其他应予说明的事项 .....             | 错误!未定义书签。 |

## 一、 目的和意义

### 1.1 当前废石墨高温提纯装备行业现状

当前，我国废石墨高温提纯装备行业正处在一个机遇与挑战并存的复杂发展阶段。从宏观层面看，国家对循环经济和战略性新兴产业的高度重视，为废石墨的高值化利用创造了前所未有的政策红利和市场空间，催生了一批企业投身于相关装备的研发与制造。然而，从微观的技术和市场层面审视，行业内部发展参差不齐，其突出表现为技术规范的严重缺失与市场信息混乱。装备制造商在宣传其产品时，往往各自为政，采用一套自定义的性能参数和描述语言，使得“提纯效率”、“能耗指标”、“处理能力”等核心概念的内涵模糊不清。例如，有的企业宣传的“收率”可能仅指特定理想工况下的峰值，而忽略了整个生产周期内的平均稳定值；有的“能耗”计算可能未包含辅助系统的电耗，导致数据失真。这种状况直接导致了下游用户单位在进行设备投资决策时，陷入了信息迷雾，无法对不同供应商提供的技术方案进行公平、客观的横向评估，使得采购过程充满了不确定性和高风险。

由于缺乏统一的性能标尺和质量门槛，市场竞争的焦点很容易被扭曲，从对技术先进性、质量可靠性和长期经济性的追求，滑向简单的价格战。部分技术实力较弱的厂商可能通过牺牲装备的材质、关键部件的品质以及自动化水平来降低成本，以低价吸引客户，但这类装备在实际运行中往往暴露出温场均匀性差、系统密封性不达标、关键易损件寿命短、故障率高等一系列问题，不仅无法稳定生产出合格的高纯度产品，反而给用户带来了高昂的维护成本和潜在的安全隐患。这种“劣币”在一定程度上扰乱了市场秩序，打击了那些真正投入资源进行技术创新和质量提升的企业的积极性，严重阻碍了行业整体技术

水平的健康、有序提升。可以说，标准的缺失，是当前制约废石墨高温提纯装备行业从量的扩张走向质的飞跃的最大瓶颈。

## 1.2 制定标准的必要性

面对上述行业困境，制定一部全面、科学、可操作的《废石墨高温提纯装备评价方法》团体标准是保障和促进行业健康发展的必然要求和当务之急。通过对装备的核心性能指标（如提纯能力达成度、产品纯度偏差、综合能耗等）进行精确的定义，并规定标准化的测试条件与计算方法，能够从根本上解决市场信息不对称的问题，使得不同装备的性能优劣可以被清晰、公正地加以比较。这不仅为用户单位的科学采购、理性投资提供了强有力的技术保障，也为装备制造商的产品定位、性能宣传提供了统一的规范，有助于构建一个透明、诚信的市场环境。

其次，标准的制定是引导行业技术进步和产业升级的“指挥棒”。它通过设立不同等级（优、良、中、差）的性能分级基准，为装备制造商清晰地指明了技术发展的方向和路径。例如，将“数据追溯能力”纳入评价体系，就是在鼓励企业向工业 4.0 和智能制造的方向迈进；将“关键易损件保证寿命”和“维护便利性”作为评价指标，就是在引导企业关注产品的全生命周期成本和用户体验。这种正向的引导作用，能够激励企业将资源更多地投入到技术研发、质量控制和工艺优化上，推动行业竞争从低层次的价格战，转向高水平的技术与价值创新，从而实现整个产业的技术迭代和螺旋式上升。最终，这不仅有助于解决废弃物处理的环保问题，更是将“废料”高效转化为国家急需的、具有高附加值的战略性新材料，对于保障我国关键产业链的自主可控，实现经济效益与社会效益、环境效益的高度统一，具有不可替代的战略价值。

### 1.3 标准编制的目标

本次标准编制工作的核心目标，是构建一个逻辑严谨、维度全面、评判精准的废石墨高温提纯装备综合性能评价框架。具体而言，我们致力于实现以下几个层面的目标：第一，在宏观层面，要建立起一套能够完整描绘装备性能的指标体系，该体系将超越单一的工艺参数，全面覆盖“核心工艺先进性”、“装备运行稳定性”、“装备智能性”和“技术经济性”四大核心维度，确保评价的全面性和深刻性。第二，在微观层面，要对体系内的每一项评价指标，从定义、测试方法、数据采集要求到计算公式作出清晰规定，并提供详细的操作指引和评定基准，确保标准在实际应用中的高度可操作性、可复现性和结果的一致性。第三，在规范性层面，本标准旨在为行业确立统一的装备分类与命名规则，以及在安全、环保、标识等方面的基础性要求，为市场的规范化运作提供基础性的技术法规支持。第四，也是最终极的目标，是通过本标准的推广与实施，有效引导产业资源向技术领先、质量可靠、节能环保的装备倾斜，淘汰落后产能，激发全行业的技术创新活力，从而整体提升我国在废石墨高值化利用领域的核心装备技术水平和国际竞争力，为我国循环经济和新材料产业的高质量发展提供坚实的标准化支撑。

## 二、项目背景和来源

本标准项目的孕育与诞生，其深层背景根植于我国经济社会发展进入新阶段的宏观战略需求与特定工业领域固废治理难题的交汇点。一方面，随着“碳达峰、碳中和”目标的正式确立，推动经济社会发展全面绿色转型已成为国家的核心战略。在这一宏大叙事之下，固废的资源化利用，特别是将高价值的工业固废转化为可再生的战略资源，被提到了前所未有的重要高度。它不仅是实现节能减排、减轻环境负

荷的关键举措，更是构建资源循环型社会、保障国家资源安全的重要途径。另一方面，我国作为全球最大的新能源汽车产销国、光伏组件制造国和主要的钢铁生产国，正面临着一个规模空前且日益严峻的挑战：由退役动力电池、报废光伏热场石墨部件、炼钢用石墨电极生产及消耗环节所产生的废石墨数量正以惊人的速度增长。这些废石墨材料，其主体是高纯度的碳，本身蕴含着巨大的经济价值，若能加以有效回收和提纯，便可成为支撑半导体、储能、航天等高端产业发展的宝贵再生原料，是一个名副其实的“城市矿山”。

然而，要将这座“城市矿山”开采出来，技术是关键“挖掘工具”。在多种废石墨处理技术中，化学法（如酸碱法）虽然能够去除部分杂质，但往往伴随着二次污染和对石墨晶体结构的破坏；而物理分选法对于均匀分散在石墨基体内部的微量杂质则束手无策。相较之下，高温提纯技术，即利用超高温（往往需要达到 2500℃以上）和特定气氛环境，依据不同物质在高温下饱和蒸气压的巨大差异，将杂质以气态形式从固态的石墨中精准“蒸馏”出来，被业界公认为是最具潜力、能够大规模制备纯度高达 99.99%以上再生高纯石墨的关键技术。这项技术的工业化应用水平，直接取决于其核心装备——高温提纯炉的性能。因此，提升和规范该装备的技术水平，就等于掌握了开启这座“城市矿山”的钥匙。基于战略需求、产业痛点等多重交织背景下，核心装备标准缺失问题显得尤为突出和紧迫。

在此关键节点，中国循环经济协会作为推动我国资源循环利用产业发展的核心行业组织，以其高度的行业敏感性和前瞻性，深刻认识到解决装备评价标准缺失问题对于打通废石墨高值化利用“最后一公里”的重要性。为了能够有效地引导行业投资、规范市场行为、推动技术进步，协会经过审慎研究，决定正式立项并归口管理《废石墨高

温提纯装备评价方法》团体标准的制定工作。此举旨在通过标准这一权威的技术性公共产品，为行业的发展立规矩、指方向、树标杆，从而确保我国废石墨资源化利用产业能够在一个健康、有序、高效的轨道上行稳致远。

### 三、与相关法律法规及标准的关系

本标准在整个编制过程中，始终将与国家现行法律法规及标准体系的协调性作为一项基本且重要的原则。编制工作严格依据《中华人民共和国标准化法》所规定的程序和要求展开，确保了标准的合法性与合规性。同时，标准内容紧密围绕《中华人民共和国环境保护法》关于污染防治和资源循环利用的精神，以及《中华人民共和国安全生产法》对于工业生产设备本质安全的要求进行构建，旨在通过技术标准的形式，引导行业发展与国家的法律法规要求保持高度一致。

在技术内容的具体规定上，本标准积极与现行的国家标准（GB）、行业标准（YB/HG/JB 等）以及相关的团体标准（T）进行衔接，以确保技术体系的统一和协调。凡是已有成熟、适用的国家或行业标准的领域，本标准均予以直接引用或参照执行，避免了重复制定和可能的技术冲突。例如，在安全要求方面，本标准全面遵循了 GB 5226.1《机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件》、GB/T 5959.1《电热和电磁处理装置的安全 第1部分：通用要求》等一系列基础安全标准，为装备的电气安全、热安全等提供了基础性的法规遵循框架。在环境保护方面，对于装备运行中可能产生的污染物，其排放限值直接对标 GB 9078《工业窑炉大气污染物排放标准》及地方相关标准的要求。在包装、运输和标识等方面，也全面采纳了 GB/T 191《包装储运图示标志》、GB/T 13384《机电产品包装通用技术条件》等通用标准。

本标准的核心价值在于其补充性和专注性。它是在现行庞大的标准体系基础上，针对“废石墨高温提纯装备”这一特定、新兴且此前缺乏专门规范的细分领域，进行的首次系统性技术评价标准的创建。它将上述分散在不同标准中的通用要求进行整合，并结合该类装备的特殊技术特点，创新性地构建了覆盖核心工艺、运行稳定性、智能性和经济性的多维度评价体系。因此，本标准与任何现行的国家或行业标准均不存在内容上的交叉、重叠或冲突，而是对现有标准体系的一个强有力的、精准的补充。它的发布与实施，不仅不会扰乱现有的标准秩序，反而将为该领域的市场监管、行业准入、政策制定以及司法鉴定等活动，提供一个前所未有、亟需的、专业的技术依据和评判准绳。

#### 四、 标准制定工作概况

##### 4.1 标准制定相关单位及人员

北京工业大学牵头作为主编单位成立标准编制小组启动编制。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

按照中国循环经济协会的安排，由北京工业大学牵头组织主要起草单位成立标准编写小组，小组成员由来自废石墨提纯技术及装备研发及产业化应用的相关教授、企业人员等共同组成。起草人员负责标准制定工作的组织、协调，相关资料的查阅、收集、整理，标准文本及编制说明的起草、撰写、修改、完善，组织召开内部讨论会，通过电子邮件、传真等方式，征集、整理和归纳相关的意见和建议。

##### 4.2 主要工作过程

北京工业大学、湖南顶立科技股份有限公司等单位较早关注和开始推动废石墨回收提纯技术及装备研发和应用工作，2024 年形成企业标准《废石墨高温提纯装备评价方法》。2025 年初向中国循环经济

济协会提出申请制定《废石墨高温提纯装备评价方法》团体标准，经审定，协会同意标准立项。在已有企业标准基础上，2025年上半年编制组通过查阅相关资料、调研等前期工作，以及负责起草的标准编制组成员深入开展调查研究、收集有关数据，对形成团体标准可能涉及的问题进行深入研讨。2025年6月形成团体标准草案及编制说明，由中国循环经济协会组建了由热化学、环境工程、碳材料等领域跨学科专家组，依据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》对标准框架进行合规性审议，与会专家就标准名称、引用文件、术语及其技术要求提出了意见和建议。标准编制组充分吸收了专家意见，进行了多次深入探讨，形成标准讨论稿及编制说明。2025年7月由中国循环经济协会组建了由热化学、湿法冶金、环境工程、碳材料、标准化研究等领域跨学科专家组对标准讨论稿进行了深入讨论。2025年7-8月，标准编制组针对讨论稿及专家意见进行了多轮专家、企业的咨询、调研和充分修改完善，形成团体标准征求意见稿及编制说明。

## 五、标准编制原则、主要内容及确定依据

### 5.1 编制原则

本标准的编制工作，自始至终恪守了以下四项核心原则，以确保其最终成果的科学性、权威性、实用性与协调性。

第一是科学性与先进性原则。编制组认识到，高质量的技术标准必须建立在坚实的科学基础之上，并应能适度引导行业的技术发展。因此，标准中所构建的评价体系和选取的各项指标，均基于对高温提纯过程的物理化学原理、高温热工学、材料科学以及自动化控制理论的系统分析。同时，标准并未局限于行业的平均技术水平，而是前瞻性地将“智能化水平”（如一键启动、数据追溯能力）和“全生命周期

成本”（如关键易损件寿命、维护便利性）等先进制造与设备管理理念融入评价框架，旨在引导装备行业向更高效、更智能、更可靠的技术方向发展，以体现标准的先进性。

第二是客观性与公正性原则。为使标准能够成为公平、公正的评价工具，编制组在制定过程中，致力于消除和减少可能引入主观判断的模糊地带。通过设定明确的“基准原料”（6.1.1 节）和“标准测试工艺”（6.1.3 节），为所有被评价装备创造了标准化的、统一的测试环境。对于各项性能指标，均给出了明确的、可量化的计算公式和数据采集要求，以期不同的测试人员在不同条件下对不同设备进行评价时，能够依据同一套规则得出可比的、可复现的结果，从而最大限度地保障评价过程的客观性。

第三是可操作性与实用性原则。一项有效的标准，不仅需要科学先进，还必须具备在行业内被广泛理解和应用的可行性。为此，在标准文本的撰写中，力求语言精练、定义清晰、条理分明。对于各项测试要求，均详细描述了其操作步骤，使其具备作业指导书式的清晰度。同时，评价体系的设计考虑了不同规模企业的实际情况，既包含对基础性能的符合性要求，也包含对高端性能的分级评价，使得各类企业均能在标准中找到自身的技术定位和改进方向，确保了标准的广泛适用性和现实指导意义。

第四是协调性与一致性原则。本标准并非孤立的技术文件，而是国家标准体系中的一个组成部分。在编制过程中，编制组对涉及安全、环保、能耗、包装、标识等方面的通用技术要求，系统性地梳理了相关的现行国家标准和行业标准。对于这些已有明确规定的内容，本标准采取了直接引用或参照执行的方式，以确保与国家标准体系的协调

统一，避免了标准的交叉、矛盾或重复制定，维护了整个标准体系的严肃性和完整性。

## 5.2 标准主要技术内容及其确定依据

以下将对本标准中的关键技术内容、条款及其制定或选择的依据，进行逐一的详细说明。

### 5.2.1 关于“范围”条款的确定依据（对应标准第 1 章）

本标准“范围”一章的界定，是经过编制组反复推敲和审慎考量的结果，其每一个限定条件背后都有着明确的行业针对性和技术合理性。

首先，限定“采用电加热方式（包括但不限于感应加热、电阻加热）”，是基于对当前工业化生产技术的分析。在现有技术条件下，要稳定、可控地实现工业规模下超过 2500℃的超高温环境，电加热是成熟、可靠且被广泛应用的技术路径。其他加热方式在温控精度和可达到的极限温度上，尚难满足高纯石墨提纯的严苛要求。此项限定，使得本标准能够精准聚焦于行业的主流技术路线。

其次，明确“在真空或可控气氛（惰性气氛）及高温条件下”，是对工艺环境的基本要求。废石墨的主体是碳，在高温下与氧化性气氛接触会发生化学反应而被损耗，因此，隔绝氧化性气氛是实现提纯的技术前提。真空环境或惰性气氛（如氩气）保护，是防止石墨氧化的必要技术手段。此项规定，从工艺原理上确保了标准的科学性。

再者，对装备的处理能力设定下限（“对于间歇式装备，额定处理能力不小于 10 kg/炉；对于连续式装备，额定处理能力不小于 1 kg/h”），其目的是将本标准的应用对象明确为“工业化生产装备”，而非用于科学研究或小试开发的实验室设备。实验室设备的设计目标、成本构成、可靠性要求与工业生产装备存在本质区别，将其纳入同一

评价体系有失科学性。此项规定，使得本标准的评价指标和方法更具针对性和实用价值，以服务于工业生产实践。

最后，对原料设定了“对特定来源的固定碳含量（干基）不低于98%”的门槛。这一规定明确了本标准所评价的装备，是用于处理高品质废石墨原料、旨在生产高附加值再生高纯石墨的“高值化利用”场景。对于固定碳含量较低的含碳废料，其处理工艺和装备设计思路与本标准所涉的高纯提纯存在显著差异，不宜混为一谈。此限定确保了本标准服务于特定的、具有重要战略意义的资源再生领域。

### 5.2.2 关于“术语和定义”的确定依据（对应标准第3章）

“术语和定义”章节的准确性与统一性，是保障后续所有条款能被正确理解和执行的基础。本章的编制主要遵循了“承袭通用”和“创新特定”相结合的原则。

对于行业内已有共识或在其他国家、行业标准中已有明确定义的通用术语，如“废石墨”、“单位产品综合能耗”等，本标准予以直接承袭或在参照的基础上结合本领域特点进行微调，以保证术语体系的连贯性和一致性。例如，“单位产品综合能耗”的定义，参考了 GB/T 2589-2020《综合能耗计算通则》的核心思想，并结合本装备以电能为主要消耗能源的特点进行了具体化。

本标准的一项重要工作，在于对本领域内一些特有的、但过去定义模糊或存在多种说法的关键概念，进行了首次的、系统的定义。例如，标准中明确区分了四种不同来源的废石墨：“电池回收源石墨”、“石墨加工源石墨”、“匣钵污染源石墨”等。进行此种精细化区分的依据在于，不同来源的废石墨，其所含的特征杂质元素和物理形态存在巨大差异（如电池源的含氟、含锂，匣钵源的含磷、含镍钴锰等），这对提纯工艺的难度、装备的防腐蚀设计以及尾气处理系统的配置都

有着截然不同的要求。通过对这些源头进行清晰定义，为后续标准中可能涉及的“专项原料测试”等内容提供了坚实的基础，也为用户和制造商在沟通具体技术需求时提供了精准的术语。

此外，对于像“额定处理能力”、“单炉次工艺周期”、“日均处理量”等直接关乎装备生产效率的核心指标，本标准也给出了严谨的、可操作的定义和计算边界。例如，“单炉次工艺周期”被明确定义为“仅适用于间歇式装备，指从装料、密封、开始运行，到提纯完成、冷却至可安全出料的全部时间”。该定义排除了非生产性的待机或周转时间，使得不同结构、不同自动化程度的装备在比较生产节拍时有了一个公平的基准。这些定义的建立，为后续性能评价指标的计算扫清了障碍。

### 5.2.3 关于“分类与命名”的确定依据（对应标准第4章）

第四章“分类与命名”的设立，其直接动因是为了解决当前行业内装备型号命名混乱、信息不透明的问题。过去，用户在面对一串复杂的产品型号时，往往无法从中获取有效的技术信息，给设备选型和管理带来了不便。本标准提出了一套结构化、信息化的命名规则：**GTP-[运行模式][加热方式][结构形式]-[最高纯度等级][额定处理能力]**。

这套命名规则的设计，其核心依据是“型号即信息，代号即标准”的理念。编制组将影响装备性能和选用的关键技术特征进行提炼，并为其分配了固定的、唯一的字母代号。

**产品代号“GTP”：**为“Graphite Thermal Purification”的缩写，明确了装备的专属类别。

**特征代号：**由“运行模式”（如 B-间歇式，C-连续式）、“加热方式”（如 I-感应式，R-电阻式）和“结构形式”（如 V-立式，H-卧式）

三部分组成。这三个特征是决定装备基本架构、工艺流程和占地空间的核心要素，将其置于型号前部，旨在让用户在第一时间对装备有一个整体的轮廓认知。

**主参数代号：**由“最高纯度等级”（如 4N, 5N）和“额定处理能力”（数值）组成，中间用斜杠“/”分隔。纯度等级和处理能力是用户关注的核心性能参数，也是评价装备价值的关键。将其作为主参数，清晰地体现在型号的末尾，具有直观、明确的特点。

通过这样一套严谨的编码规则，任何一台遵循本标准命名的设备，其型号本身就成为了一张简洁的“技术信息卡”。例如，一个型号为“GTP-BIV-5N/1000”的装备，任何了解本标准的用户均可立刻解读出其含义：这是一台间歇式（批次式）、采用感应加热的立式废石墨高温提纯装备，其设计目标是达到 5N（99.999%）的纯度级别，单炉次的处理能力为 1000 公斤。这种命名方式旨在提升市场的信息透明度，规范制造商的宣传行为，并为用户单位的设备资产管理、备品备件采购等后续工作提供便利。此套规则的建立，是推动行业走向规范化、标准化的一个重要步骤。

#### **5.2.4 关于“基础要求”的确定依据（对应标准第 5.1 节及表 2）**

第 5.1 节所规定的“基础要求”，在本标准的评价体系中具有基础性和强制性。它所包含的各项内容，并非用于评判装备性能的优劣等级，而是用于判定一台装备是否具备了作为合格工业产品的基本条件。这些要求构成了评价工作的第一道门槛，任何一项不满足，都将被判定为“不合格”，后续的性能分级评价也将不予进行。这一设计的核心依据在于，在评价性能的先进性之前，必须首先确保装备在安全、环保和合规性方面满足国家和行业的基本要求。

##### **5.2.4.1 关于“安全要求”的确定依据（对应标准 5.1.1）**

工业装备的安全性是其设计与制造的首要考量。对于在超高温、高真空、强电流等条件下运行的废石墨高温提纯装备，其安全要求尤为重要。本部分设定的三项安全要求，层层递进，共同构筑了装备的本质安全防线。

首先，“**要求概述**”（5.1.1.1）条款，为装备的整体安全性划定了根本的法规遵循边界。它明确要求装备的设计、制造、安装以及电气系统的构建，必须全面符合 GB/T 10067.1、GB/T 37752.1、GB 5226.1 及 GB/T 5959.1 等一系列国家强制性或基础性安全标准。这并非简单的标准罗列，而是将这些分散在不同标准中的、关于电热设备、工业炉和机械电气的通用安全规定，整合成本标准的基础性条款。其依据在于，本标准无需重复制定这些通用安全条款，但有责任和义务强调，任何遵循本评价标准的装备，都必须首先无条件地满足这些国家级的安全规范。

其次，“**冗余安全保护**”（5.1.1.2）条款，是针对该类装备特定危险源所做出的、超越常规控制系统的安全升级要求。它规定装备必须具备“独立的、与主控系统硬件分离的超温保护和关键冷却回路保护功能”。此处的关键词是“独立”和“硬件分离”。其制定依据来源于对工业热工设备事故的分析：常规的温度和冷却监控，通常依赖于 PLC 等主控系统及其传感器。然而，一旦主控系统自身出现故障、传感器失效或控制回路失灵，常规的保护便可能失效，从而导致炉体烧毁、冷却系统失效引发设备损坏等严重事故。本条款要求设置一套物理上完全独立的“第二道防线”，例如，使用独立的机械式温控器或独立的流量开关，它不依赖于主控系统的软件逻辑，在主控系统完全失灵的极端情况下，依然能够强制性地切断加热电源或触发报警，从而实现可靠的冗余保护。

最后，“**危险状态联锁**”（5.1.1.3）条款，聚焦于防止因人为误操作或设备状态异常而引发的危险。它要求装备必须具备“可靠的硬件安全联锁”，以防止在“压力异常、气氛危险或高温状态下的误操作”。此项要求的制定，是基于对具体操作场景中潜在风险的预判。例如，在炉内仍处于高温或正压状态时，如果操作人员可以轻易地打开炉门，高温气流的外泄和空气的涌入可能会导致人员烫伤或设备损坏；又如，在真空泵仍在工作时，如果能够误操作向炉内快速充入大量气体，可能会损坏真空系统。本条款要求的“硬件联锁”，意味着这种保护不应仅仅依赖于操作界面上的软件提示，而必须是物理层面的强制性限制，通过行程开关、压力开关等与门锁、阀门等执行机构直接关联，当条件不满足时，物理上即无法执行危险操作，从而构成对操作人员和设备财产的直接保护。

#### **5.2.4.2 关于“环保要求”的确定依据（对应标准 5.1.2）**

废石墨的提纯过程，本质是目标物质与杂质的分离过程，被分离的杂质及工艺副产物若处置不当，可能对环境造成影响。因此，环保要求是评价装备合规性的重要组成部分。

“**尾气处理系统**”（5.1.2.1）要求装备“必须配套能有效去除粉尘、酸性气体等污染物的尾气处理系统”。其依据在于，废石墨在高温下气化的杂质（如硫、磷的氧化物）以及可能因使用含氟物料而产生的含氟气体，均属于需处理的污染物。同时，炉内的气流可能携带出石墨微粉。这些物质若直接排放，将对大气环境造成污染。因此，要求装备必须配套一个功能匹配的尾气处理单元（如碱液喷淋塔、布袋除尘器等），是确保其提纯过程对环境影响可控的基本前提。“配套”二字，意指尾气处理系统应作为装备不可分割的组成部分进行交付。

**“污染物排放达标”（5.1.2.2）** 是对尾气处理系统效果的最终验证。它明确规定“有组织排放口的污染物排放浓度必须符合 GB 9078 及地方标准”。其依据直接来源于国家的环保法律法规。它将抽象的环保要求落实到了具体的、可监测的排放限值上。任何装备，如果最终无法保证排放达标，则不具备在相应地区使用的合法性。本条款，是评价装备环境符合性的基础裁决。

**“固/液废物处置”（5.1.2.3）** 将视线从气态污染物转向了固态和液态废物。它要求“制造商必须在技术文件中提供符合环保要求的二次污染物推荐处置方案”。其制定依据在于，提纯过程中产生的废弃物，如尾气处理系统收集的粉尘、废弃的化学品、废弃的坩埚或保温材料等，其成分复杂，部分可能属于危险废物。制造商作为装备的设计者，最了解这些废物的性质和产生量，因此有责任为用户提供专业、合规的处置指导。这一要求，体现了“生产者责任延伸”的环保理念，旨在确保整个资源化利用链条的所有环节都能闭环管理，避免因末端处置不当而产生新的环境问题。

#### **5.2.4.3 关于“标识与文件要求”的确定依据（对应标准 5.1.3）**

清晰的标识和齐全的随行技术文件，是合格工业产品的基本配置，是保障装备能被正确、安全、高效地使用和维护的基础。

**“铭牌”（5.1.3.1）** 要求装备“必须在醒目位置固定清晰、不易磨损的永久性铭牌，内容符合规定”。此项要求是出于对产品可追溯性和全生命周期管理的重要考量。一个规范的铭牌，提供了设备的核心身份信息（如型号、序列号、制造商、制造日期等），这对于设备的安装、验收、资产管理、维修保养、备件采购乃至最终的报废处置，均为至关重要的原始依据。要求其“永久性”和“不易磨损”，是为了确保这些关键信息在装备的整个服役期内都能清晰可辨。

“**随行文件**”（**5.1.3.2**）条款，规定了装备交付时必须附带的技术资料。它要求“必须提供产品合格证、操作说明书、维护保养手册、电气原理图等齐全的技术文件”。这些文件的重要性在于：“合格证”是产品的质量承诺；“操作说明书”是指导用户正确、安全操作的指南；“维护保养手册”是保障装备长期稳定运行、延长使用寿命的关键；而“电气原理图”等图纸，则是在设备出现故障时进行排查和维修不可或缺的技术资料。要求这些文件必须“齐全”，是制造商对用户应尽的基本责任，也是保障用户能够独立、有效地管理和使用其资产的前提。

“**包装、标志与环境要求**”（**5.1.3.3**）关注产品的交付环节。它要求装备的包装和储运图示标志必须符合 GB/T 13384 和 GB/T 191 等国家标准。其依据在于，大型工业装备的运输和吊装过程伴随着安全风险，规范的包装可以有效保护设备在运输过程中免受损伤，而清晰、统一的储运标志（如重心、吊装点、防雨防潮等）是指导装卸人员安全、正确作业的关键。同时，条款中增加了对“遵循 GB/T 16716.1 关于包装与环境的通则”的要求，体现了在交付环节对环保理念的贯彻，鼓励制造商采用可回收、低污染的包装材料，以履行其全链条的环保责任。

#### **5.2.5.2 装备运行稳定性指标（对应标准表 B.2B.1）**

“核心工艺先进性”是评价废石墨高温提纯装备的首要维度，它直接衡量了装备将废石墨原料转化为高纯度产品的能力和效率。为了全面且无偏颇地评估这一核心能力，编制组最终确定了四个互为补充、逻辑严密的二级指标：提纯能力达成度、产品纯度偏差、产品收率、以及日均处理量达标率。

这四个指标的选取逻辑在于，它们分别从“品质高度”、“品质一致性”、“物料经济性”和“时间经济性”这四个不可或缺的角度，对装

备的工艺实现能力进行了全方位的解构。“提纯能力达成度”关注的是装备所能达到的技术高度，即它能否攻克技术难关，实现用户所期望的最高纯度等级，这是评价其技术先进性的首要标尺。然而，仅仅达到高度是不够的，工业生产更要求稳定，因此“产品纯度偏差”被引入，用以考察其产品的“均一稳定度”，反映了装备内部工艺条件（如温场）的均匀性和控制的精密度，这是衡量其是否能可靠地进行规模化生产的关键。在解决了“质”的问题后，必须关注“量”的效益，“产品收率”这个指标聚焦于“物料的有效利用率”，它直接关系到生产的直接成本，衡量的是装备在精细化设计（如密封、防损耗）方面的水平。最后，“日均处理量达标率”则从“时间的利用效率”角度出发，考察装备的实际生产节拍与理论设计值是否相符，揭示了其在自动化、升降温效率等方面的综合表现，直接影响用户的投资回报。这四个指标相辅相成，共同构成了一个立体、完整的评价模型：一台真正先进的装备，必须既能达到极高的纯度，又能保证每一炉产品的质量都高度一致，同时还要最大限度地减少原料损耗，并以高效的生产节奏运行。

以下将对这四个指标的具体评定基准及其确定依据逐一展开详细说明。

第一个指标是“提纯能力达成度”。该指标用以评价装备将其处理的废石墨提纯至其宣称的目标纯度等级的实际能力。在附录 B.1 中，以装备宣称可达 4N（99.99%）纯度为例，评定标准被划分为四个等级：

- **优（显著超越）**：定义为“产品纯度显著高于 4N，如达到 4N5（99.995%）或更高”。
- **良（稳定达到）**：定义为“产品纯度稳定达到并略高于 4N 要求”。

- 中（压线达标）：定义为“产品纯度达到 4N 要求，但裕量很小”。
- 差（未能达标）：定义为“产品纯度未达到宣称的 4N 等级”。

本指标的设立，源于“可达到的最高纯度”是衡量提纯装备技术水平的核心参数，并直接决定了其产品的应用领域。通过标准化测试对制造商的宣称值进行验证，可以客观评价装备的真实技术水平。评定标准的设置逻辑是：“差”为基本的符合性判断；而“中”、“良”、“优”则进一步区分了达标的质量：是仅满足最低要求，还是具备充足工艺窗口的稳定达成，亦或是具备了挑战更高技术等级的能力。例如，“显著超越”的评定，通常意味着该装备在温场均匀性、真空保持能力和杂质脱除动力学条件控制等方面具备较高水平，从而实现了远超宣称值的提纯效果。这种分级，旨在有效地区分出不同技术水平的装备。

第二个指标是“产品纯度偏差（ $\Delta C = \text{Max-Min}$ ）”。该指标用以评价在同一工艺批次（或连续生产的同一时段）内，从不同位置取样的成品之间，其纯度的一致性程度。以宣称石墨提纯目标达到 4N 为例，评定标准依据纯度差值（ $\Delta C$ ）的大小进行分级：

- 优（偏差极小）： $\Delta C < 0.001\%$ 。
- 良（偏差较小）： $0.001\% \leq \Delta C < 0.005\%$ 。
- 中（偏差在可接受范围）： $0.005\% \leq \Delta C < 0.01\%$ 。
- 差（偏差较大）： $\Delta C \geq 0.01\%$ 。

对于工业化生产而言，整批次产品的质量均一性是一项重要的技术要求，因此引入了本指标。产品纯度偏差过大，通常指示装备内部的工艺条件（特别是温度场和气氛场）分布不均匀。这可能导致用户在后续使用这些产品时，面临性能不稳定的问题，或需要增加额外的质量检验和分拣工序。因此，该指标是衡量装备工艺稳定性与设计精

密度的关键标尺。评定标准的数值是基于对高纯材料领域对产品一致性要求的分析，并结合了当前先进装备通过优化炉膛结构、加热元件布局 and 气流组织设计可以达到的技术水平而确定的。例如， $\Delta C < 0.001\%$ （即 10ppm）的“优”等级，通常要求装备具备极高的温场均匀度（如在数立方米的空间内温差控制在特定较小范围内），这是对装备设计和制造能力的一项较高要求。

第三个指标是“产品收率”。该指标用以评价在物理提纯过程中，投入的有效原料被转化为合格最终产品的质量比例，它直接反映了装备对物料物理损耗的控制水平。其评定标准如下：

- 优（物料损耗极低）：收率  $\geq 98\%$ 。
- 良（物料损耗较低）： $95\% \leq \text{收率} < 98\%$ 。
- 中（物料损耗可接受）： $90\% \leq \text{收率} < 95\%$ 。
- 差（物料损耗偏高）：收率  $< 90\%$ 。

提纯过程中的物理损耗是影响物料平衡和生产经济性的因素之一，因此有必要设立本指标。主要的损耗途径包括物料在装卸过程中的撒漏，以及在工艺过程中被气流带走的细微粉料等。较低的产品收率，可能指向装备在密封设计、气流组织、物料盛装与输送系统（对于连续式）等方面存在改进空间。该指标可作为衡量装备设计精细化程度和运行经济性的一个参考。其评定标准的设定，是基于对行业内生产数据的统计分析。调研显示，通过优化炉膛结构、设计高效的气固分离装置以及改进装出料方式，部分先进装备可将物理损耗控制在 2% 以内，即收率达到 98%。而 90% 则被认为是工业化生产可接受的一个参考阈值，低于此值则可能意味着装备的设计存在较为明显的缺陷，或运行的经济性欠佳。

第四个指标是“日均处理量达标率”。该指标用以评价装备在实际运行中的生产效率，与其制造商宣称的理论日均处理能力的比对情况。其评定标准如下：

- 优（显著超越宣称值）：达标率  $\geq 105\%$ 。
- 良（完全达到宣称值）： $100\% \leq \text{达标率} < 105\%$ 。
- 中（基本达到宣称值）： $90\% \leq \text{达标率} < 100\%$ 。
- 差（未达到宣称值）：达标率  $< 90\%$ 。

本指标的设立，旨在对装备的生产节拍进行客观评价。“日均处理量”是表征装备生产效率的核心指标之一，与用户的生产计划安排和设备投资效益评估相关。制造商宣称的日均处理量通常基于理想化的“单炉次工艺周期”计算得出，可能未充分计入实际生产中必要的辅助操作时间、设备冷却的合理时间以及可能的非故障性停顿。本指标通过对实际产出的日均处理量（由单次处理量除以包含合理冷却的完整工艺周期得出）与宣称值进行比较，旨在检验制造商所宣称生产效率的真实性和可靠性。评定标准的设置逻辑是：“良”（100%）是基本的符合性要求；“优”（ $\geq 105\%$ ）则表明装备的实际运行效率（例如，升降温速率快、自动化程度高导致辅助时间短）较高，超出了宣称值；而“中”（90%~100%）意味着宣称值与实际值存在一定偏差，但仍在特定范围内；“差”（ $< 90\%$ ）则表明制造商的宣称值与实际能力存在显著差距，可能对用户的生产计划和经济性评估产生影响。

#### 5.2.5.2 装备运行稳定性指标（对应标准表 B.2）

“装备运行稳定性”是评价体系中的第二个关键维度。在确认装备具备实现核心工艺的能力之后，必须对其作为生产设备的长期可靠性进行评估。本维度旨在衡量装备在持续运行过程中，其性能的稳定程度、物理系统的完整性以及关键工艺参数的控制精度。对于用户而言，

这些特性直接决定了装备的有效作业率、维护成本和综合经济效益。本维度下设三个核心指标：平均无故障工作时间（MTBF）、系统密封性、以及温控精度，分别从宏观的整机可靠性、系统的物理完整性和核心工艺参数的控制精度三个层面，对装备的长期运行表现进行综合评估。

第一个指标是“平均无故障工作时间（MTBF, Mean Time Between Failures）”。该指标用以评价装备在规定的总运行时间内，其无故障持续工作的平均时长，是国际通用的衡量工业设备可靠性的核心量化指标。评定标准如下：

- 优（工业级高可靠性）： $MTBF > 2000$  小时。
- 良（标准工业级可靠性）： $1000 < MTBF \leq 2000$  小时。
- 中（满足基本使用要求）： $500 < MTBF \leq 1000$  小时。
- 差（可靠性较低）： $MTBF \leq 500$  小时。

引入 MTBF 作为评价指标，其目的是量化评估装备的整机可靠性水平。一个较低的 MTBF 值，意味着装备的故障率较高，将导致非计划性停机频发，从而影响生产计划的连续性、增加维修投入和备件库存。尤其对于本标准所涉的长周期热工设备，非计划性停机还可能导致炉内批次产品的报废。因此，MTBF 是综合反映装备设计成熟度、元器件选用等级、制造及装配工艺水平的关键参数。其评定标准的数值范围，是编制组在参考了其他成熟的热工装备及真空装备行业的相关可靠性标准，并结合对本行业内部分领先企业装备运行记录的调研后综合确定的。例如， $>2000$  小时的“优”等级，通常要求装备在设计上对易损件进行了优化，在关键元器件（如电源、真空泵、阀门）的选型上采用了高品质的工业级产品，并且具备了完善的制造质量控制体系。

第二个指标是“系统密封性”。该指标用以评价炉体在与外界隔绝状态下，因微小泄漏而导致的内部压强随时间变化的程度，以单位时间的压强上升率（压升率，Pa/h）进行量化。它是衡量装备真空系统或正压气氛系统物理密封性能的核心指标。评定标准如下：

- 优（高真空级密封性）：压升率  $\leq 0.7$  Pa/h。
- 良（优良的工业密封性）： $0.7 < \text{压升率} \leq 1.0$  Pa/h。
- 中（满足工艺基本要求）： $1.0 < \text{压升率} \leq 5.0$  Pa/h。
- 差（密封性较差）：压升率  $> 5.0$  Pa/h。

良好的系统密封性是实现高温提纯工艺的 necessary 物理前提，因此本指标具有基础重要性。在真空提纯工艺中，过高的压升率（即漏率大）意味着外界气氛会持续漏入炉内。这不仅会降低真空度，影响杂质的气化分压，更重要的是，漏入的氧化性气氛会在高温下与石墨及加热元件反应，造成物料和设备自身的氧化损耗，并可能引发安全问题。在惰性气氛保护工艺中，高漏率则意味着需要持续、过量地补充保护气体以维持炉内正压和气氛纯度，从而显著增加运行成本。该指标是评价装备制造工艺（如焊缝质量、法兰密封面加工精度）和密封件（如密封圈材质、设计）选用水平的关键技术参数。评定标准的数值，主要参考了真空技术领域的相关标准和工程实践。 $\leq 0.5$  Pa/h 的“优”等级，达到了高真空系统的技术要求，表明装备的制造和装配质量较高；而  $> 5.0$  Pa/h 的“差”等级，则通常意味着系统存在明显的泄漏，难以保证工艺环境的稳定性和纯净度。

第三个指标是“温控精度”。该指标用以评价装备在工艺保温阶段，对工作区核心测温点的实际温度与设定温度之间偏差的控制能力，以最大绝对偏差（ $\pm \Delta T$ ， $^{\circ}\text{C}$ ）的形式进行表征。以宣称石墨提纯目标达到 4N 为例，评定标准如下：

- 优（高精度控温）： $\Delta T \leq \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
- 良（精密控温）： $\pm 1^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。
- 中（标准工业控温）： $\pm 3^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- 差（控温能力较差）： $\Delta T > \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

温度是高温提纯过程中最关键的工艺参数之一，其稳定性直接影响提纯反应的动力学过程。杂质的蒸发速率与温度呈指数关系，温度的波动可能对提纯速率和最终能达到的极限纯度产生影响。因此，精确的温度控制对于保证产品质量的批次间一致性至关重要。温控精度是综合反映装备测温系统、PID 控制算法、功率调节系统以及加热/保温结构设计等整个热工控制系统性能的综合性指标。评定标准的数值设定，综合考虑了提纯工艺对温度稳定性的要求和当前先进温控技术（如高精度测温元件、先进的 PID 自整定算法、基于可控硅或 IGBT 的功率精细调节技术）可以达到的水平。 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的“优”等级，通常需要装备具备高灵敏度的测温反馈和先进的控制算法；而 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 被视为常规工业高温炉可接受的波动范围，超出此范围则表明其温控系统性能较初级，可能难以满足高精度、高品质的提纯工艺要求。

#### 5.2.5.3 装备智能性指标（对应标准表 B.3）

“装备智能性”是评价体系的第三个维度，旨在衡量装备的自动化水平、人机交互的便捷性以及数据处理与集成能力。在现代工业生产的背景下，装备的智能化程度已成为衡量其先进性的重要标志。它不仅关系到生产效率的提升和对人力操作依赖的降低，更直接影响到生产过程的标准化、质量控制的精细化以及工厂的数字化转型。本维度下设两个核心指标：全自动运行能力和数据追溯能力，分别从“操作与控制的自动化”和“过程信息的数据化”两个层面，对装备的智能化水平进行评估。

第一个指标是“全自动运行能力”。该指标用以评价装备在无人干预的情况下，自动完成核心工艺流程及应对常见异常的能力。评定标准依据其自动化程度和故障处理能力，划分为四个等级：

- 优（智能全自动）：同时满足“一键启动”、详细的“故障自诊断”和“自动安全处置”三个条件。
- 良（可靠半自动）：核心工艺段可自动运行，但部分辅助操作需人工确认，并具备基本的故障报警功能。
- 中（菜单式操作）：仅部分核心工艺段可自动运行，大部分操作需通过菜单或分步指令由人工执行
- 差（手动依赖）：基本无自动化流程，完全依赖人工操作。

引入此指标，其目的是引导装备从传统的人工密集型操作模式，向现代化的、高度自动化的生产方式转变。一个较高的自动化水平，能够显著降低因人为因素（如操作遗忘、顺序错误、判断失误）导致的工艺偏差和安全事故风险，保证生产过程的高度一致性和标准化。评定标准的设置逻辑体现了自动化水平的递进关系：“中”级的“菜单式操作”是基础的自动化，减轻了部分体力劳动；“良”级的“可靠半自动”实现了核心工艺的无人化，是当前工业装备的主流水平；而“优”级的“智能全自动”则提出了更高的要求。“一键启动”意味着工艺流程的完整固化和程序的无缝衔接；“详细的故障自诊断”不仅是简单的报警，而是能清晰提示具体故障点（如“2号冷却水支路流量过低”），极大地缩短了故障排查时间；“自动安全处置”则要求装备在侦测到特定危险故障（如超温、冷却中断）时，能不依赖操作员，自动执行预设的安全程序（如切断加热、启动紧急冷却等），这是实现“无人值守”或“少人化”工厂的关键。

第二个指标是“数据追溯能力”。该指标用以评价装备对关键工艺数据的记录、存储、查询和导出能力，是实现生产过程质量管控和工艺优化的基础。评定标准依据数据记录的完整性、存储周期和数据接口的开放性进行分级：

- **优（全面开放集成）**：关键工艺参数记录全面，存储周期大于 3 个月，支持一键导出为通用格式（如 CSV），并提供标准工业协议（如 OPC-UA）用于远程集成。
- **良（功能完整独立）**：关键参数记录完整，存储周期大于 1 个月，可通过通用串行总线（如 USB）等方式导出数据。
- **中（基本记录查询）**：记录主要参数，存储周期较短（如 1 个月内），仅能在设备人机交互界面（HMI）上回顾，导出不便。
- **差（孤岛数据显示）**：仅能实时显示数据，无历史数据存储或追溯功能。

设立此指标，是基于“数据是现代工业生产的核心资产”这一理念。完整的工艺数据记录，是进行产品质量问题追溯、工艺参数优化、设备故障诊断以及建立产品“数字档案”的根本前提。没有数据，一切质量管理和工艺改进都将无从谈起。评定标准的设置体现了数据应用深度的不同层次：“差”级的“孤岛数据”仅满足监视功能；“中”级的“基本记录查询”实现了最基础的追溯，但数据难以利用；“良”级的“功能完整独立”使得数据可以被导出分析，具备了离线数据分析的能力；而“优”级的“全面开放集成”则代表了最高的智能化水平。其核心在于“开放”和“集成”：支持导出为 CSV 等通用格式，意味着数据可以被 Excel 等常用软件轻松处理，降低了数据分析的门槛；而提供 OPC-UA 等标准工业协议，则意味着该装备不再是一个“数据孤岛”，它可

以方便地接入工厂的制造执行系统（MES）或数据采集与监视控制系统（SCADA），其数据能够被实时地、系统性地整合进工厂的整体数据平台中，这是实现数字化工厂和智能制造的基础架构要求。

#### 5.2.5.4 技术经济性指标（对应标准表 B.4）

“技术经济性”是评价体系的第四个维度，也是直接关系到用户投资回报和长期运营效益的现实考量。本维度旨在对装备在整个生命周期内的经济性表现进行量化评估，它不仅包括了运行中的直接成本（如能源、物料消耗），也涵盖了与设备长期使用相关的间接成本（如维护、维修）。本维度下设四个核心指标：单位产品综合能耗、单位产品物料成本、关键易损件保证寿命、以及维护便利性，分别从能源效率、辅助物料消耗、长期可靠性成本和维护作业成本四个层面，对装备的综合经济性进行评估。

第一个指标是“单位产品综合能耗”。该指标用以评价生产单位质量合格产品所消耗的能源总量，是衡量装备能源利用效率的核心指标。本标准中主要核算电能消耗。评定标准采用与“行业基准值”进行比较的方式进行分级：

- 优（行业能效标杆）：能耗值  $< (\text{行业基准值} \times 80\%)$ 。
- 良（节能型设备）： $(\text{行业基准值} \times 80\%) \leq \text{能耗值} < (\text{行业基准值} \times 95\%)$ 。
- 中（行业平均水平）： $(\text{行业基准值} \times 95\%) \leq \text{能耗值} \leq (\text{行业基准值} \times 110\%)$ 。
- 差（高能耗设备）：能耗值  $> (\text{行业基准值} \times 110\%)$ 。

引入此指标，是因为能源成本是高温提纯工艺最主要的运行成本构成部分。较低的单位产品能耗，直接体现了装备在加热技术、保温结构、热量回收利用等方面的设计水平。其评定标准采用了与“行业

基准值”浮动比较的科学方法，而非设定一个固定的绝对值。这是基于以下考量：不同纯度等级、不同工艺路线的提纯过程，其理论能耗存在客观差异；同时，随着技术的进步，行业的整体能耗水平也会动态变化。因此，本标准注明“数值需行业调研确定”，旨在建立一个动态更新的基准数据库。这种方法使得评价更具公平性和时效性。例如，能耗值低于基准值 20% 的“优”等级，通常意味着该装备采用了高效的加热元件、先进的保温材料、优化的热场设计，并可能配备了热回收系统，其技术水平显著领先于行业平均。

第二个指标是“单位产品物料成本”。该指标用以评价生产单位质量合格产品所消耗的辅助物料（如工艺气体、提纯剂、易损密封件等）的成本。与能耗指标类似，其评定也采用与“行业基准值”进行比较的方式：

- 优（精细节能）：物耗成本  $< (\text{行业基准成本} \times 90\%)$ 。
- 良（良好控制）： $(\text{行业基准成本} \times 90\%) \leq \text{物耗成本} < \text{行业基准成本}$ 。
- 中（行业平均）： $\text{行业基准成本} \leq \text{物耗成本} \leq (\text{行业基准成本} \times 110\%)$ 。
- 差（物耗偏高）：物耗成本  $> (\text{行业基准成本} \times 110\%)$ 。

设立此指标是因为除了能源，工艺气体（如高纯氩气）等辅助物料的消耗也是运行成本的重要组成部分。该指标的高低，反映了装备在工艺优化、系统密封性以及部分耗材的耐用性等方面的综合水平。例如，一个密封性优良的设备，其惰性气体的补充消耗量会显著降低。同样采用与动态“行业基准值”比较的方法，保证了评价的公平性和与时俱进。

第三个指标是“关键易损件保证寿命”。该指标用以评价装备核心的、高价值的、需要定期更换的部件（如加热体、保温筒等）的制造商书面承诺使用寿命。评定标准依据其承诺寿命与“行业基准寿命”的倍数关系进行分级：

- 优（超长寿命承诺）：保证寿命  $> (\text{行业基准寿命} \times 150\%)$ 。
- 良（高于行业标准的寿命承诺）： $(\text{行业基准寿命} \times 120\%) < \text{保证寿命} \leq (\text{行业基准寿命} \times 150\%)$ 。
- 中（行业标准寿命承诺）： $(\text{行业基准寿命} \times 80\%) \leq \text{保证寿命} \leq (\text{行业基准寿命} \times 120\%)$ 。
- 差（低于行业标准或无承诺）：保证寿命  $< (\text{行业基准寿命} \times 80\%)$  或无明确书面保证。

本指标的引入旨在将评价从运行成本延伸至维护成本和设备可用率。关键易损件的更换是设备全生命周期中的重大维护支出，其寿命长短直接影响长期拥有成本（TCO）。一个更长的保证寿命，不仅代表了制造商对其产品材料、设计和制造质量的信心，也为用户提供了更可预期的、更低的长期维护成本。评定标准再次采用了与动态“行业基准”比较的方法。其中，“差”等级特别指出了“无明确书面保证”的情况，旨在强调制造商提供清晰、量化的质量承诺的重要性。

第四个指标是“维护便利性”。该指标用以评价对装备进行日常维护和更换易损件等操作的难易程度。这是一个定性与定量相结合的综合评价，评定标准依据操作的复杂性、对工具和人员的要求进行分级：

- 优（模块化快维）：同时满足核心易损件模块化设计、更换无需专用工具、单人短时（如 2 小时内）可完成三项条件。

- **良（人性化标准）**：使用通用工具即可更换，但可能需多人协作或耗时较长。
- **中（体验不佳）**：存在操作空间受限、流程繁琐或关键部件可达性差等问题。
- **差（高难度挑战）**：需拆卸非关联的大型部件，或必须使用专用工具，甚至必须依赖制造商工程师到场。

设立此指标是因为维护作业的便利性直接关系到“停机维修时间”（MTTR, Mean Time To Repair），进而影响设备的综合有效作业率（OEE）。一个难以维护的设备，意味着更长的停机时间、更高的人工成本，以及可能因操作不便引发的二次损坏或安全风险。评定标准通过对具体操作场景的描述，将抽象的“便利性”进行了具象化和可评判化。“优”等级所描述的“模块化快维”，代表了现代设备设计的先进理念，即在设计之初就充分考虑了维护的需求，旨在实现快速、简便、低成本的维护作业。而“差”等级的描述，则指出了那些在设计上存在缺陷、未充分考虑用户维护需求的装备所存在的典型问题。

## 六、 采用国际标准情况

经编制组全面检索与比对，截至本标准编制完成之日，国际标准化组织（ISO）、国际电工委员会（IEC）以及欧美等主要工业化国家，均未发布针对“废石墨高温提纯装备”性能评价的专门标准。本领域在全球范围内尚属标准空白。

因此，本标准为首次制定，未直接采用或修改采用任何国际标准或国外先进标准。

尽管如此，在标准的编制过程中，我们积极借鉴了国际上相关的先进标准化理念和通用的技术评价方法。例如，在可靠性评价方面，我们引入了国际通用的“平均无故障工作时间（MTBF）”指标，其定

义和计算原则参考了 IEC 61709 等相关标准的核心思想。在智能化评价方面，我们对 OPC-UA 等国际公认的工业通讯协议的引用，也是为了确保本标准能够与国际先进的智能制造和工业互联网标准体系接轨。这些间接的借鉴，旨在提升本标准的科学性和国际视野，为未来可能参与或主导相关国际标准的制定奠定基础。

## 七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性

本标准在整个编制过程中，始终将与国家现行法律法规及标准体系的协调性作为一项基本且重要的原则。编制工作严格依据《中华人民共和国标准化法》所规定的程序和要求展开，确保了标准的合法性与合规性。同时，标准内容紧密围绕《中华人民共和国环境保护法》关于污染防治和资源循环利用的精神，以及《中华人民共和国安全生产法》对于工业生产设备本质安全的要求进行构建，旨在通过技术标准的形式，引导行业发展与国家的法律法规要求保持高度一致。

在技术内容的具体规定上，本标准积极与现行的国家标准（GB）、行业标准（YB/HG/JB 等）以及相关的团体标准（T）进行衔接，以确保技术体系的统一和协调。凡是已有成熟、适用的国家或行业标准的领域，本标准均予以直接引用或参照执行，避免了重复制定和可能的技术冲突。例如，在安全要求方面，本标准全面遵循了 GB 5226.1、GB/T 5959.1 等一系列基础安全标准。在环境保护方面，其排放限值直接对标 GB 9078 及地方相关标准的要求。在包装、运输和标识等方面，也全面采纳了 GB/T 191、GB/T 13384 等通用标准。

本标准的核心价值在于其补充性和专注性。它是在现行庞大的标准体系基础上，针对“废石墨高温提纯装备”这一特定、新兴且此前缺乏专门规范的细分领域，进行的首次系统性技术评价标准的创建。因此，本标准与任何现行的国家或行业标准均不存在内容上的冲突，而

是对现有标准体系的一个强有力的、精准的补充。它的发布与实施，将为该领域的市场监管、行业准入和政策制定等活动，提供一个亟需的、专业的技术依据。

## 八、 重大分歧意见的处理经过和依据

在本标准的编制过程中，全体编制组成员及参与征求意见的各方专家、代表本着科学、严谨、负责的态度，进行了充分的沟通和深入的研讨。对于标准中的各项技术内容，经过多轮的论证和协商，最终均达成了广泛共识。

因此，本标准在编制过程中无重大分歧意见。

## 九、 标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

根据《中华人民共和国标准化法》的规定，以及本标准的技术内容属性，编制组一致建议：

本标准作为推荐性团体标准（T/CACE）发布。

理由如下：本标准主要规定了产品的性能评价方法、分级体系和测试规程，旨在为市场提供统一的技术评价工具，引导行业技术进步，不涉及人身健康、生命财产安全、国家安全、生态环境安全等强制性标准所规定的范畴。采用推荐性标准的形式，更符合其作为市场自主制定、用于提升产品和服务质量的定位，便于在行业内进行推广应用。

## 十、 建议贯彻标准的要求和措施建议

为确保本标准发布后能够得到有效贯彻和应用，建议采取以下措施：

第一、由中国循环经济协会牵头，组织标准主要起草单位成立标准宣贯工作组。

第二、编制内容详实、通俗易懂的标准宣贯材料和解读文件，并通过协会官网、公众号、行业会议等多种渠道进行发布。

第三、适时组织面向会员单位及行业相关企业的线上或线下标准宣贯培训会，对标准的技术要点、实施方法和重要意义进行深入解读和答疑。

第四、鼓励和支持会员单位率先采纳本标准，并积极收集标准在实施过程中的反馈意见，为标准未来的修订和完善提供依据。

为使本标准发布后能尽快落到实处，真正发挥其规范市场、引导产业的作用，建议采取以下要求和措施：

第一，组织宣贯培训。建议由协会牵头，组织标准主要起草单位的专家，面向装备制造企业、用户单位、第三方检测机构等，开展多层次、多渠道的标准宣贯和培训活动，确保各方能够准确理解和掌握标准的核心内容与评价方法。

第二，推动采信应用。鼓励和引导用户单位在设备采购的招标文件中，将本标准作为重要的技术评价依据或加分项。鼓励第三方认证机构依据本标准开展装备性能评价与认证服务，为市场提供客观、公正的评测报告。

第三，建立动态更新机制。建议协会建立标准的定期复审和修订机制。特别是对于标准中涉及的“行业基准值”（如能耗、物耗、易损件寿命等），建议每2-3年组织一次行业数据调研，并以补充文件或标准修订的形式，对基准值进行动态更新，以保证标准的时效性和持续的先进性。

第四，树立行业标杆。在标准实施一段时间后，可适时组织开展基于本标准的“行业标杆产品”评选活动，对性能达到“优”等级的装备进行表彰和宣传，激发全行业对标达标、创优争先的积极性。

## 十一、废止现行相关标准的建议

本标准在国内首次制定，所涉及的技术领域此前无相关的国家、行业或地方标准。本标准实施不涉及对任何现行相关标准废止。

## 十二、其他应予说明的事项

截至本标准编制完成，经全体起草单位确认，本标准内容未涉及专利问题。

《废石墨提纯技术规范》标准研制项目组

2025 年 7 月