

ICS

CCS

团 体 标 准

T/CMES XXXX—202X

代替 T/CMES XXXX—201X

高温微波窑炉设计规范

Design specification for high-temperature microwave kilns

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

中国机械工程学会标准征求意见稿

本文件版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

目 次.....	II
前 言.....	IV
引 言.....	V
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 外表面温度.....	1
3.2 控制系统与控制器.....	1
3.3 传感器.....	2
3.4 显示仪表.....	2
3.5 正常运行状态和非正常运行状态.....	2
3.6 手动控制模式.....	2
3.7 功率连续可调.....	2
3.8 待机功能.....	2
3.9 微波效率.....	2
3.10 微波应用器门.....	2
3.11 联锁动作.....	2
3.12 防护盖板.....	2
3.13 微波腔体.....	3
3.14 微波腔体炉衬.....	3
3.15 温度均匀性.....	3
3.16 有效加热区.....	3
3.17 标准吸波负载.....	3
4 要求.....	3
4.1 外观要求.....	3
4.2 工作要求.....	3
4.3 性能要求.....	3
4.4 微波安全要求.....	4

4.5	微波腔体及炉衬材料要求.....	5
4.6	电气系统要求.....	5
5	检验与试验方法.....	6
5.1	外观检验.....	6
5.2	工作要求检验.....	6
5.3	性能要求检验.....	7
5.4	微波安全检验.....	7
5.5	微波腔体及炉衬材料要求检验.....	8
5.6	电气系统检验.....	9
6	标志和使用说明书.....	9
6.1	铭牌和标志.....	9
附录 A	工业微波高温设备技术指标对标表.....	11

前 言

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》的规定起草。

本文件中微波泄漏的防护执行了国家强制性标准 GB 5959.6-2008《电热装置的安全》。

本文件中电气安全部分执行了行业强制性标准 SJ/Z 9008.3-1987《微波电子管电性能的测试》。

本文件中安全标志部分执行了国家强制性标准 GB 2894-2008《安全标志及其使用导则》。

本文件中能效评价方法部分执行了国家标准 GB/T 10066.6-2018《电热和电磁处理装置的试验方法》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。中国机械工程学会不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工程学会提出。

本文件由中国机械工程学会***分会/工作组归口管理。

本文件起草单位：河南省科学院先进陶瓷研究所，郑州大学，湖南省中晟热能科技有限公司，郑州航空工业管理学院，河南省机械工程学会，南京三乐微波技术有限公司，郑州菲特智能装备有限公司。

本文件主要起草人：张锐，张帆，范冰冰，徐助要，关莉，高前程，常睿，苏许昌，李剑，陈勇强，宋勃震，乔建房，王平，苏建勇，胡墨玺。

本文件为首次发布。

中国机械工程学会

引 言

本文件的制定主要基于工业电热高温设备领域的技术发展需求，旨在建立高温微波装备及其应用的技术评价体系，引领行业规范化发展，推动微波技术在工业高温窑炉中的节能应用。

微波加热技术已在家用电器领域得到成功验证，并为工业微波高温设备的产业化奠定了基础。然而，现阶段工业微波高温设备性能参差不齐，部分企业存在能源效率标识虚高、控制系统复杂导致故障率高，以及安全隐患突出等问题，已难以满足行业发展的迫切需求。

本文件的发布将有效填补行业空白，为工业微波装备制造企业提供统一的技术基准，同时为应用端企业的设备选型提供权威的技术指导。

本文件适用于工业微波高温窑炉设备系统，重点规范隧道式、推板式、辊道式、梭式和竖式等典型窑炉结构。以隧道式微波窑炉为例，设备系统主要由微波发生与控制系统、高温反应腔体及保温系统、智能监控与安全防护系统和冷却系统四个核心部分构成。各子系统通过分布式控制系统实现分级监控与多级联控，有效降低因系统复杂性引发的故障风险，并满足安全完整性等级认证要求。

中国机械工程学会标准

中国机械工程学会标准征求意见稿

高温微波窑炉设计规范

1 范围

本文件规定了微波高温装备设计、制造、集成及运行阶段的电磁安全规范、热工性能指标和能效评价方法，适用于多类微波窑炉的系统设计与工程化应用。本文件包含但不限制单一微波能加热和微波多能耦合加热系统工业高温加热设备；微波频段限定为国际电信联盟规定的工业、科学和医疗频段（915MHz 和 2450MHz）；适用于微波总输出功率 $\geq 2\text{kW}$ 的连续/脉冲可调式工业微波设备。特别指出，本文件仅适用于工业微波设备。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5226.1-2019 机械电气安全机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 5959.1-2019 电热和电磁处理装置的安全 第1部分：通用要求

GB/T 16855.1-2025 机械安全 控制系统安全相关部件 第1部分：设计通则

GB/T 10067.1-2019 电热和电磁处理装置基本技术条件 第1部分：通用部分

GB 5959.6-2008 电热装置的安全 第6部分：工业微波加热设备的安全规范

GB/T 10066.6-2018 电热和电磁处理装置的试验方法 第6部分：工业微波加热装置输出功率的测定方法

GB/T 10067.6-2023 电热和电磁处理装置基本技术条件 第6部分：工业微波加热装置

GB/T 9452—2023 热处理炉有效加热区测定方法

SJ/Z 9008.3-1987 微波电子管电性能的测试 第4部分：磁控管

GB 2894-2008 安全标志及其使用导则

GB/T 15706-2012 机械安全设计通则 风险评估与风险减小

3 术语和定义

GB/T 5226.1-2019、GB/T 5959.1-2019、GB/T 16855.1-2025、GB/T 10067.1-2019、GB 5959.6-2008、GB 2894-2008、GB/T 10066.6-2018、SJ/Z 9008.3-1987、GB/T 5988-2022、GB/T 7320-2018、GB/T 9452-2023 和 GB/T 15706-2012 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 外表面温度

设备外表面温度是指工业微波腔体防护盖板外部表层的温度。

3.2 控制系统与控制器

控制系统是指用于管理设备各个组件之间相互作用的一系列硬件和软件。控制器为控制系统的核心控制单元。本文件中一般为可编程逻辑控制器或单片机。

3.3 传感器

传感器能探测信息并将其转换为电信号，满足设备控制器的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。本文件中涉及传感器包含热电偶、红外测温计、位移传感器和检波计等。

3.4 显示仪表

显示仪表是微波装备中用于直观展示各种参数（如温度、反射功率、位移等）的设备。本文件中为可编程逻辑控制机器人机界面或模拟信号显示仪表。

3.5 正常运行状态和非正常运行状态

微波加热设备处于设备制造厂家和用户商定的常规运行状态。若不满足上述运行状态，则认定设备处于非正常运行状态。此处引用 GB/T 5959.1-2019 中关于本名词的定义。

3.6 手动控制模式

手动控制模式为设备允许操作人员直接控制设备运行方式。本文件中涉及的手动模式为设备自动模式补充，要求设备在自动模式下可转换手动控制，以保护设备非正常运行状态下人员和设备安全。

3.7 功率连续可调

功率连续可调是指设备能够在一定范围内平滑、无级地调整其输出功率的能力。本文件中磁控管的输出功率连续可调，调整范围为额定功率的 10-95%，一般参考 SJ/Z 9008.3-1987 标准执行。

3.8 待机功能

微波设备的待机功能是指设备在静止或准备状态等不完全关闭情况。这种模式旨在减少能源消耗和加快从停机到工作的转换速度。

3.9 微波效率

微波效率是指微波设备将电能转化为微波能并有效传递给负载的能力。本文件中的微波效率为单位时间内磁控管的输出功率和微波电源消耗电能功率的比率。

3.10 微波应用器门

微波应用器门指的是工业微波设备的进出料口及其密封装置。本文件中微波应用器门引用 GB/T 10066.6-2018 中关于应用器门的定义。

3.11 联锁动作

联锁动作是确保人员和设备安全的自动控制机制。本文件的联锁动作要求微波腔体存在微波泄漏风险下以及任何电气或机械构件发生故障时自行切断磁控管的微波输出。

3.12 防护盖板

防护盖板指的是安装在微波发生器和微波炉体的金属屏蔽层，用于防止微波泄漏。本文件引用 GB/T 10066.6-2018 中关于盖板的定义。

3.13 微波腔体

微波腔体是一个封闭的空间，用于容纳和约束微波能，对物料进行微波处理。微波腔体的尺寸、形状及材料特性直接决定微波加热的均匀性。

3.14 微波腔体炉衬

微波腔体中的炉衬是为了减少微波设备热量损失，保持内部温度稳定。要求炉衬材料在正常工作情况下具有较低的微波吸收，防止微波局部热点的形成。本文件的炉衬材料引用 GB/T 10066.6-2018 中 5.1.6 和 5.1.7 的定义。

3.15 温度均匀性

微波窑炉有效加热区内温度的均匀程度，指有效加热区内各测试点温度相对于设定温度的最大偏差。本文件引用 GB/T 9452-2023 中的 3.2 定义。

3.16 有效加热区

在微波窑炉中，经温度检验而确定的满足加热工艺规定温度及温度均匀性的工作空间。本文件引用 GB/T 9452-2023 中的 3.3 定义。

3.17 标准吸波负载

在本文件中，标准吸波负载采用 SIC，引用标准 GB/T 10066.6-2018、GB/T 10067.6-2023。

4 要求

4.1 外观要求

- 4.1.1 微波加热设备外表面应平整、无尖角凸起。
- 4.1.2 微波加热物料带表面应平整，无裂缝。
- 4.1.3 微波加热涉及外漏各结合面的边缘应整齐均匀，不应有明显的错位。

4.2 工作要求

- 4.2.1 微波加热设备的外表面温升符合引用的国家和行业标准，GB/T 15911-2021《工业电热设备节能监测方法》。
- 4.2.2 设备控制器、传感器和显示仪表应均能正常工作，符合引用的国家和行业标准（GB/T 5226.1-2019 机械电气安全机械电气设备 第 1 部分：通用技术条件）。
- 4.2.3 控制系统应包含物料温度检测、输入功率调整检测和冷却系统异常自动停机等部分。
- 4.2.4 微波自动化设备需配备手动控制模式，保证设备非正常运行状态下的操作人员的安全。
- 4.2.5 设备微波发生功率连续可调。
- 4.2.6 为了节能需求，设备屏幕和控制系统应具有待机功能。

4.3 性能要求

4.3.1 微波效率（满功率）： $\geq 65\%$ 。

4.3.2 温度均匀性：与窑炉加热空间大小、工作方式、温度、和窑炉的精度等级有关，符合引用的国家和行业标准 GB/T 9452-2023。

4.3.3 设备满载下，控制和冷却等非直接加热功耗应在设备总功率的 30% 以下。

4.4 微波安全要求

4.4.1 总则

微波加热设备微波泄漏限值应符合 GB/T 5959.1-2019 中 6.1 规定：处于“正常运行”状态下的微波加热设备，在距其任何部位的距离 ≥ 0.05 m 接近处，其微波泄漏功率密度应不大于 $5\text{mW}/\text{cm}^2$ 。对处于“非正常运行”状态下的设备，则应不超过 $50\text{mW}/\text{cm}^2$ 。

4.4.2 微波应用器门

微波连锁装置采用串联结构，当微波加热设备的微波应用器门打开时，微波连锁装置自动切断微波输出；该连锁装置的设计应具有高安全性和长使用寿命，符合 GB/T 16855.1-2025 的第 2 危险等级。

当应用器门的机械或电气连锁装置发生故障时，应发出警报，同时使微波加热设备停止微波输出。任何电气或机械构件发生故障时，所有微波连锁装置都不应失去作用。

微波装备的联动锁装置的设计应在关闭应用器门时，微波泄漏不超过 4.4.1 规定的限值。

4.4.3 设备防护盖板

a) 设备防护盖板在打开或卸掉时，且其微波泄漏超过了 4.4.1 规定的限值，则对应设备防护盖板应至少有一个微波连锁动作。

b) 微波防护装置

微波设备防护盖板均应采用屏蔽微波辐射的材料。

4.4.4 设备开启微波时，应能开启醒目的红色工作指示灯，作为微波工作信号装置。设备调整微波功率时，设备应能显示微波输入功率的大小变化。测量应在正常运行状态下进行，具体条件按标准执行。微波连锁装置应满足高安全性和长寿命要求，门体打开时应至少有两个连锁动作，故障时应报警并停机。任一部件故障不应导致所有连锁失效。门体连锁应隐藏设计，避免人为误触发。连续传送带装置的防泄漏区域长度应根据出入口高度确定，微波抑制系统进出口按标准 GB/T 5959.1-2019(14.4 条)确定。

4.4.5 保温材料

微波高温窑炉炉内炉外保温材料需要有良好的透波性、高温耐受，确保适配窑炉工况与长期稳定运行。应具有以下要求：

1. 线性收缩率：不大于 2%（升温至 1400 °C 保温 2 小时）；

2. 平均线膨胀系数： $1.77 \times 10^{-6}/\text{°C}$ ；

3. 不得含有渣球、晶粒等；

4.5 微波腔体及炉衬材料要求

- 4.5.1 微波腔谐振模式应满足加热材料温度均匀。
- 4.5.2 应具备高温检测功能。
- 4.5.3 微波腔体应保证在使用温度下的微波屏蔽性，以保证 4.4 中设备的微波安全要求。
- 4.5.4 微波腔体炉衬在使用时应保证在使用温度下的微波穿透性。
- 4.5.5 微波腔体炉衬单一工况下满载设计寿命不低于一年。
- 4.5.6 有效加热区：参照 GB/T 9452-2023 要求，在热处理常用温度点分别进行有效加热区测定，测试点数量按炉腔容积确定，每立方米不少于 9 个测点，温度梯度需满足对应工艺精度要求。
- 4.5.7 高温防护要求：热处理工件出入口需设置红外测温预警装置，操作人员通道与高温区域安全距离 $\geq 1.5\text{m}$ ，炉体高温区域需加装隔热防护层。
- 4.5.8 微波热处理协同测试：在满负载热处理工况下，测定微波效率 $\geq 65\%$ ，非直接加热功耗 \leq 总功率的 30%，符合 GB/T 10066.6-2018 要求。

4.6 电气系统要求

- 4.6.1 电气系统的电击防护应符合 GB / T 5226.1-2019 中第 6 章的要求，在运行时能充分防止人们免受电击的危险。所有电气元件的安装应和设备做温度隔离和绝缘隔离。
- 4.6.2 电气系统的绝缘电阻应符合 GB / T 5226.1-2019 中 18.3 的规定。
- 4.6.3 电气系统耐压应符合 GB / T 5226.1-2019 中 18.4 的规定。
- 4.6.4 电气系统保护接地电路应符合 GB / T 5226.1-2019 中 8.2 的规定。
- 4.6.5 电气系统按钮应符合 GB / T 5226.1-2019 中 10.2 的规定。
- 4.6.6 电气系统指示灯和显示器应符合 GB / T 5226.1-2019 中 10.3 的规定。
- 4.6.7 急停器件和紧急断开器件应符合 GB / T 5226.1-2019 中的 10.7 和 10.8 的规定。
- 4.6.8 微波发生器的保护联结电路，应采用铜导线，并应能承受由于流过接地故障电流所造成的最高热应力和机械应力。保护导线截面积，应符合 GB / T 5226.1-2019 中 8.2.2 的规定。
- 4.6.9 微波发生器的按钮颜色和标记，应符合 GB / T 5226.1-2019 中 10.2 的规定。
- 4.6.10 微波发生器的指示灯、显示器和急停器件。a) 电源开启指示灯为绿色；b) 微波开启有指示信号；c) 急停器件为红色按钮开关。
- 4.6.11 电气系统配线是微波发生器的导线和电缆，采用耐压 10kV 以上的硅胶高压导线，并满足正常工作时的载流容量。导线最小截面积应符合 GB / T 5226.1-2019 中第 12 章中表 5 和表 6 的规定。
- 4.6.12 微波发生器的高压线与温控线应高低压分离，布线与所有连接应牢固，连接方式应适合被连接导线的截面积和性质。所有高压区域的接线方式均需做绝缘密封处理，高压线应采用焊接或螺栓连接做到可靠牢固。接线座的安装的接线应使内部和外部配线不跨越端子。

- 4.6.13 微波发生器使用的导线应有标记，保护导线采用黄/绿双色组合专用线。
- 4.6.14 微波发生器的警告标志、铭牌应经久耐用，经得起复杂的实际环境影响，按 6.1 执行。
- 4.6.15 电气系统标记、警告标志和项目代号应符合 GB / T 5226.1-2019 中第 16 章的规定。
- 4.6.16 控制电路应符合 GB / T 5226.1-2019 中 15.2.4 规定。
- 4.6.17 电磁辐射防护应符合 GB 5959.6-2008 和 GB 8702-2014 中规定，泄漏功率密度均应小于 $5\text{mW}/\text{cm}^2$ （距测试点距离不小于 0.05m 任何部位或易接近处）。
- 4.6.18 与水路循环系统相邻的电气元件应做防水隔离处理。

5 检验与试验方法

5.1 外观检验

采用目视观测，辅助使用钢直尺/塞尺检测，判定标准：外表面无尖角凸起、物料带无裂缝、结合面无明显错位。

5.2 工作要求检验

5.2.1 外表面温升检验

开机运行设备至稳定后，采用精度等级不低于 0.5 级、量程 0-200℃ 的接触式测温仪，在设备外表面均匀选取 10 个测试点，每个测试点保温 10min 后记录温度值；同时测量环境温度，计算各测试点与环境温度的差值。判定准则：所有测试点温升均 $\leq 50^\circ\text{C}$ ，判定为合格。检验依据：GB/T 5226.1-2019 《机械电气安全 机械电气设备 第 1 部分：通用技术条件》。

5.2.2 设备控制器、传感器和显示仪表检验

控制器功能：触发控制器指令，观测控制器响应是否及时，指令执行是否准确；传感器功能：对传感器分别施加标准信号，记录传感器输出信号与标准信号是否偏差；显示仪表功能：对比显示仪表读数与标准信号值（如标准温度计、标准功率计读数），计算示值误差。判定准则：控制器响应正常无误，传感器输出偏差 $\leq \pm 2\%$ ，显示表示值误差 $\leq \pm 1\%$ ，判定为合格。检验依据：GB/T 5226.1-2019、GB/T 10067.1-2019、J/Z 9008.3-1987。

5.2.3 控制系统功能检验

1.对比物料显示温度与实际温度；2.测试 20%-100% 功率档位偏差；3.模拟冷却异常，观察报警停机。判定准则：物料温度偏差 $\leq \pm 3^\circ\text{C}$ ；输入功率偏差 $\leq \pm 5\%$ ；冷却系统 30 s 内报警、1 min 内停机判定为合格。引用标准：GB/T 10066.6-2018、GB/T 5959.1-2019

5.2.4 手动控制模式检验

模拟自动模式故障情况，切换手动模式，测试功率调节、急停功能等是否正常。判定准则：切换延迟 $\leq 2\text{s}$ ，指令执行准确，故障时可靠接管。引用标准：GB/T 5226.1-2019。

5.2.5 微波发生功率连续可调功能检验

设备加载标准吸波负载，将微波发生功率从额定功率的 20% 连续调整至 100%，使用微波功率计

测量磁控管输出功率，记录功率变化曲线。判定准则：功率调整过程平滑无跳变，输出功率在 20%-100% 额定功率范围内连续，判定为合格。引用标准：SJ/Z 9008.3-1987。

5.2.6 待机功能检验。

测试待机 1h 耗电量、屏幕状态及模式切换延迟。判定：耗电量 \leq 额定功率 5%，切换延迟 \leq 30s。判定准则：耗电量 \leq 额定功率 5%，切换延迟 \leq 30 s。引用标准：引用标准：GB/T 5226.1-2019、GB/T 10067.1-2019、GB/T 10067.6-2023。

5.3 性能要求检验

5.3.1 微波效率(满功率)检验

设备加载标准吸波负载，运行至满功率稳定状态(持续无功率波动)，使用微波功率计测量输出微波的功率，磁控管的输出口连接校准，将微波功率计与其连接，并调整微波功率计的灵敏度，即可测量到输出的微波功率 P_1 ；用电能质量分析仪测量微波电源输入功率 P_2 (同步测量电压、电流，计算 P_2)，按照公式计算微波效率 $\eta = (P_1 / P_2) \times 100\%$ ，以上步骤重复五次取微波效率平均值；判定准则：微波效率 $\eta \geq 65\%$ 合格。检验依据：GB/T 10066.6-2018《电热和电磁处理装置的试验方法 第 6 部分：工业微波加热装置输出功率的测定方法》、GB/T 40816.1-2024。

5.3.2 温度均匀性检验

设备满载预热至额定工作温度，稳定运行 60min，加载标准吸波负载，用热电偶校准仪对 9 个 K 型热电偶进行预校准；将校准后的热电偶嵌入负载中心，按矩阵布置于有效加热区，关闭设备门，升温至额定温度并稳定 60min；启动多通道温度记录仪，连续记录 30min，每 5min 读取一次 9 个负载的温度值，6 组数据；计算每组数据中 9 个温度值的最大值与最小值之差，取 6 组差值的最大值作为温度梯度。判定准则：温度梯度最大值 \leq 20℃即为合格。检验依据：GB/T 9452—2023《热处理炉有效加热区测定方法》、GB/T 10067.6-2023《电热和电磁处理装置基本技术条件 第 6 部分：工业微波加热装置》(6.4 条)。

5.3.3 非直接加热功耗检验

用电能质量分析仪测量设备总输入功率 $P_{总}$ (连续测量 5 次，取平均值)；通过功率分解模块分离并测量非直接加热功耗 $P_{非}$ (含控制系统、冷却系统、传动系统等辅助部件功耗，连续测量 5 次，取平均值)；按公式计算占比 $\beta = (P_{非} / P_{总}) \times 100\%$ 。判定准则：设备满载下，控制和冷却等非直接加热功耗应在设备总功率的 30% 以下。检验依据：GB/T 10066.6-2018《电热和电磁处理装置的试验方法 第 6 部分：工业微波加热装置输出功率的测定方法》。

5.4 微波安全检验

5.4.1 微波泄漏限值检验

满载时通过微波测漏仪在距设备 \geq 0.05m 处 50mm 网格布点 (每面 \geq 10 点) 测泄漏；分别测空载、门开 10mm 情况。判定准则：正常运行 \leq 5mW/cm²，非正常 \leq 50mW/cm²。检验依据：GB 5959.6-2008《电热装置的安全 第 6 部分：工业微波加热设备的安全规范》(6.2 条)。

5.4.2 微波应用器门连锁检验

门开启时通过微波功率计同步检测微波输出(重复 10 次以上)；对联锁线路作断开处理，恢复设备供电，缓慢开启门体，监测报警声与红灯闪烁状态，将门闭锁后正常运行设备，使用微波辐射仪

测量泄漏功率密度；判定准则：门开 $\geq 5\text{mm}$ 无微波输出；故障时声光报警，关门泄漏 $\leq 5\text{mW}/\text{cm}^2$ 。
检验依据：GB 5959.6-2008《电热装置的安全 第6部分：工业微波加热设备的安全规范》（6.4条）

5.4.3 防护盖板检验

1、将微波辐射检测仪探头固定于防护盖板正前方 50mm 处，启动设备并匀速开启防盖板，实时测试辐射值，若辐射值大于 4.1.1 规定限值，记录防盖板连锁动作时间，连续测试 5 次以上；2、连锁功能测试：①正常开门连锁：设备空载待机，用万用表通断档连接 2 组核心连锁触点（机械+电气），缓慢开启门体（速度 0.02m/s），实时监测触点通断状态，记录门体开启瞬间触点动作情况及设备报警响应；②单连锁故障模拟：断开 1 组连锁回路接线（做好标记），启动设备至待机，开启门体观察是否触发报警，同时用万用表核查剩余连锁触点动作状态。判定准则：5 次测试中，连锁动作延迟时间均 $\leq 5\text{s}$ ，且至少 4 次测试中盖板开启后辐射值未超过 $5\text{mW}/\text{cm}^2$ ；单连锁故障时剩余连锁仍能可靠作用。检验依据：1.GB 5959.6-2008《电热装置的安全 第6部分：工业微波加热设备的安全规范》第 6.4.2 条、GB/T 5226.1-2019《机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件》第 9.3 条。

5.4.4 微波工作信号与功率显示检验

分别在正常运行和有载非正常运行下开启微波，目视观察红色工作指示灯是否同步亮起（亮起延迟 $\leq 1\text{s}$ ）；调整微波功率（从 20%额定功率至 100%），观察功率显示装置（如显示屏）读数变化，并用微波功率计测量实际输出功率，对比显示值与实测值。判定准则：微波开启时红色指示灯同步亮起，功率调整时显示值与实测值偏差 $\leq \pm 5\%$ ，两种状态下测试均符合要求，判定为合格。

5.4.5 保温材料检验。

1.线性收缩率检验：取样后将试样放入 110°C 干燥箱中保温 2h，去除水分，冷却至室温后备用，用游标卡尺测量每个试样的长度方向原始尺寸 L_0 ，将试样放入高温箱式炉中，升温至 1400°C 保温 2h 后随炉自然冷却至室温，测量冷却后室温 L_1 ，计算线性收缩率 $\delta = (L_0 - L_1) / L_0 \times 100\%$ ，判定准则：若平均线性收缩率 $\leq 2\%$ ，则判定合格；检验依据：GB/T 5988-2022《耐火材料 加热永久线变化试验方法》。

2.平均线膨胀系数检验：取样后将试样放入 110°C 干燥箱中保温 2h，去除水分，冷却至室温，记录原始长度 L_0 ，将试样放入线膨胀仪的样品架中，固定牢固，设定升温程序：室温(T_0)至 1400°C (T)，升温速率 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ ，全程记录试样的长度变化量 ΔL ；计算室温至 1400°C 的平均线膨胀系数 $\alpha = \Delta L / L_0 \times (T - T_0)$ ；判定准则平均线膨胀系数为 $1.77 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 合格，允许出现合理偏差；检验依据：GB/T 7320-2018《耐火材料 热膨胀试验方法》。

3.渣球、晶粒检验：从保温材料成品中随机取样，要求无肉眼可见的渣球、晶粒，否则判定为不合格。

5.5 微波腔体及炉衬材料要求检验

5.5.1 谐振模式与温度均匀性关联检验

接近额定工作状态下，微波加热均匀度可采用排水量、温度、终含水率等任何一种方法来进行检测。判定准则：度梯度 $\leq 20^\circ\text{C}$ 。检验依据：GB/T 10067.6-2023、GB/T 9452—2023。

5.5.2 高温检测功能检验

在设备有效加热区放置标准温度源，设定温度为设备额定工作温度的 50%、80%、100% 三个档位，每个档位稳定 30 min。记录设备高温检测系统（如内置热电偶、红外检测模块）的显示温度，

对比显示值与标准温度源实际温度。判定准则：三个档位下显示温度与实际温度偏差均 $\leq\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，判定为合格。检验依据：GB/T 10067.6-2023

5.5.3 微波腔体屏蔽性检验

设备加载标准负载，在额定工作温度下稳定运行 30min，用微波测漏仪在微波腔体所有焊缝、接口、观察窗等部位（按 50mm 网格布点，布点数量 ≥ 20 个）测量微波泄漏功率密度。判定准则：所有测试点泄漏功率密度 $\leq 5\text{mW}/\text{cm}^2$ ，判定为合格。检验依据：GB 5959.6-2008。

5.5.4 微波腔体炉衬微波穿透性检验

取样炉衬材料置于微波功率计发射端与接收端之间，在设备工作频段分别测量无样品时的接收功率 P_0 和有样品时的接收功率 P_1 ，按公式计算穿透率 $\tau = (P_1/P_0) \times 100\%$ ，重复测试 3 次。检验依据：GB/T 39330-2020、GB/T 10067.1—2019。

5.5.5 微波腔体炉衬寿命验证检验

取样炉衬材料（3 件相同样品），置于加速老化试验箱中，老化后观察样品是否出现开裂、剥落、变形，并用导热系数测试仪测量老化前后的导热系数变化，用微波穿透性测试仪测量穿透率变化。判定准则：老化后样品无开裂、剥落、变形，判定为合格。

5.5.6 有效加热区检验

按炉腔容积确定测试点数量（每立方米不少于 9 个测点，不足 1 立方米按 9 个测点计），测点按 $3 \times 3 \times n$ 矩阵分布（ n 为高度方向层数，每 0.5m 高度设 1 层）。将校准后的热电偶嵌入标准吸波负载中心，按测点位置布置负载，设备升温至热处理常用温度点，定 60min。启动多通道温度记录仪，连续记录 30min，每 5min 读取 1 次各测点温度，计算各测点温度与设定温度的偏差。判定准则：所有测点温度偏差均符合对应工艺精度要求，判定为合格。检验依据：GB/T 9452-2023。

5.5.7 高温防护要求检验

红外测温预警装置检验：设备运行至额定工作温度，在工件出入口处放置标准温度源（温度为设备额定工作温度的 120%），观察红外测温预警装置是否在 10s 内触发预警（声光报警）；用钢卷尺测量操作人员通道与高温区域距离，共测量 5 个点，取最小值；用隔热性能测试仪测量炉体高温区域隔热防护层的热流密度，对比无防护层时的热流密度，计算隔热效率。判定准则：红外测温预警装置 10s 内触发预警，安全距离最小值 $\geq 1.5\text{m}$ ，隔热防护层隔热效率 $\geq 80\%$ ，判定为合格。

5.5.8 微波热处理协同检验

见 5.3 性能要求检验。

5.6 电气系统检验

本文件中电气系统检验参照 GB/T 5226.1-2019、GB/T 10067.1—2019、GB/T 3797。

6 标志和使用说明书

6.1 铭牌和标志

微波加热设备上，除应符合 GB / T 5226.1-2019 中 16.4 的标志内容外，还应按 GB5959.6-2008 中

第 4 章要求，清晰地标有下列标志：

- a) 制造厂名称；
- b) 产品名称、型号和序列号；
- c) 制造日期；
- d) 额定输入电压和频率、额定视在输入功率 (kVA)；
- e) 警告标志：高温表面警示标识：高温表面 谨防烫伤；微波辐射危险警告标识：微波辐射危险；空腔开机禁止警告标识：禁止空腔开机；联锁装置故障警告标识：联锁装置故障 立即停机；电气安全警告标识：电气危险 非专业人员禁止拆解；冷却系统异常警告标识：冷却系统异常
- f) 微波发生器的内部最高电压、微波频率和微波最大输出功率；
- g) 对进出口和操作台醒目处设置：
警告：微波辐射危险。

附录 A

工业微波高温设备技术指标对标表

评价维度	基础型	优化型	领跑型	测试方法及依据
能效等级	GB/T 2589-2008	优于国标 15%	优于国标 30%	GB/T 2589-2008
热效率	≥65%	≥70%	≥75%	GB-T 40816.1-2024
微波泄漏量	≤5 mW/cm ²	≤3 mW/cm ²	≤1 mW/cm ²	GB 5959.6-2008 9点测温法
温度均匀性	±25℃	±15℃	±8℃	GB/T 9452-2023、 GB/T 10067.6-2023
安全等级	SIL-1	SIL-2	SIL-3	IEC 61508
设备寿命	≥5年/3万小时	≥8年/5万小时	≥10年/8万小时	加速老化试验验证

注：

1. 能效等级需在额定功率、标准工况（环境温度 25℃±3℃，相对湿度≤60%）下测试；
2. 温度均匀性测试应排除物料吸波特性差异影响，采用标准吸波体进行标定；
3. 领跑型设备需通过第三方机构认证，并提供全生命周期能效衰减曲线报告；
4. 本表指标适用于工作温度≥500℃的隧道式/箱式微波高温设备，特殊定制设备可单独约定。