



中华人民共和国国家标准

GB XXXX. 1—XXXX
代替 GB 5959.13—2008

工业电热装置安全要求 第1部分：总则

Safety requirements for industrial electroheating installations—Part 1: General principles

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前 言	III
引 言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 电击危险防护要求	2
4.1 防护类别	2
4.2 防护要求	2
4.3 绝缘性能要求	3
4.4 泄露电流要求	4
4.5 特殊场景电击防护要求	4
5 机械危险防护要求	5
5.1 结构强度与稳定性要求	5
5.2 防护装置要求	5
5.3 联锁装置要求	7
5.4 联接与紧固件要求	7
5.5 特殊机械危险防护强制要求	8
6 热影响防护要求	9
6.1 表面温度（升）要求	9
6.2 超温保护要求	10
6.3 热膨胀补偿要求	10
6.4 火灾危险防护要求	11
6.5 特殊热影响防护要求	12
7 流体危险防护要求	12
7.1 一般要求	12
7.2 液体危险防护要求	12
7.3 气体危险防护要求	13
7.4 压力安全装置要求	13
7.5 特殊场景流体防护	14
8 辐射危险防护要求	14
8.1 电磁辐射防护强制要求	14
8.2 光辐射防护强制要求	15
8.3 激光辐射防护要求	16
8.4 特殊辐射危险防护强制要求	16

9	电源应急防护要求	16
9.1	电源控制要求	16
9.2	应急切断强制要求	17
9.3	特殊电源控制防护强制要求	17
10	安全信息要求	18
10.1	铭牌要求	18
10.2	警告标志要求	18
10.3	安全信息维护	19

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。

本文件是GB XXXX《工业电热装置安全要求》的第1部分。GB XXXX已经发布了以下部分：

- 第1部分：总则；
- 第2部分：电弧加热装置；
- 第3部分：感应加热及电磁处理装置；
- 第4部分：电阻加热装置；
- 第5部分：等离子体和电子束加热装置；
- 第6部分：高频介质和微波加热装置。

本文件代替GB 5959.13—2008《电热装置的安全 第13部分：对具有爆炸性气氛的电热装置的特殊要求》，与GB 5959.13—2008相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了本文件的范围和目的（见第1章，2008年版的第1章）；
- b) 删除了防爆及泄压要求（见2008年版的6.1.5）；
- c) 删除了隔离和开合，与电网的连接和内部连接，触电的防护，过电流保护，等电位连接，控制电路和控制功能，热影响的防护，防火、防爆、防窒息和防中毒，电热装置的检查、投入运行、使用和维护要求（见2008年版的第7章、第8章、第9章、第10章、第11章、第12章、第13章、第14章、第16章）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出并归口。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- GB 5959.13—2008；
- 本次为第一次修订，整合了上述标准。

引 言

GB XXXX《工业电热装置安全要求》旨在规范工业电热装置在设计、制造、安装、使用与维护、检验与验收过程中的安全要求，拟由以下6个部分构成。

- 第1部分：总则。目的在于规定各类工业电热装置在设计、制造、安装、使用与维护、检验与验收过程中的通用安全要求。
- 第2部分：电弧加热装置。目的在于规定电弧加热装置在设计、制造、安装、使用与维护、检验与验收过程中的安全要求。
- 第3部分：感应加热及电磁处理装置。目的在于规定感应加热及电磁处理装置在设计、制造、安装、使用与维护、检验与验收过程中的安全要求。
- 第4部分：电阻加热装置。目的在于规定电阻加热装置在设计、制造、安装、使用与维护、检验与验收过程中的安全要求。
- 第5部分：等离子体和电子束加热装置。目的在于规定等离子体和电子束加热装置在设计、制造、安装、使用与维护、检验与验收过程中的安全要求。
- 第6部分：高频介质和微波加热装置。目的在于规定高频介质和微波加热装置在设计、制造、安装、使用与维护、检验与验收过程中的安全要求。

工业电热装置安全要求 第1部分：总则

1 范围

本文件规定了各类工业电热装置在设计、制造、安装、使用与维护、检验与验收过程中的通用安全要求。

本文件适用于下述各类工业电热装置，包括但不限于：

- 直接和间接电阻加热装置；
- 电阻伴热装置；
- 感应熔炼炉和感应加热装置；
- 利用电磁力对材料作用的装置；
- 电弧炉（包括埋弧炉）；
- 电渣重熔炉；
- 等离子体加热和表面处理装置；
- 微波加热装置；
- 介质加热装置；
- 使用电子枪的熔炼炉和加热装置；
- 红外辐射加热装置；
- 激光加热装置。

本文件不适用于下列文件所涉范围的装置和器具：

- GB 3836 系列，例如用于潜在爆炸性气氛中的装置；
- GB 4706 系列，例如家用、商用和类似的电器，包括室内加热；
- GB 10793 系列，例如医用电气装置；
- GB 15579 系列，例如弧焊装置；
- GB 4793 系列，例如实验室用装置。

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 2900.23—2008 电工术语 工业电热装置

GB/T 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—XXXX 电热和电磁处理装置的安全 第1部分：通用要求

GB/T 10067.101 电热和电磁处理装置基本技术条件 第101部分：真空电热和电磁处理装置的通用要求

GB 19517 国家电气设备安全技术规范

GB/T 37752.1 工业炉及相关工艺设备 安全 第1部分：通用要求

ISO 13577-3 Industrial furnaces and associated processing equipment—Safety—Part 3: Generation and use of protective and reactive atmosphere gases

3 术语和定义

GB/T 2900.23—2008、GB/T 5226.1、GB/T 5959.1、GB/T 10067.101、GB 19517、GB/T 37752.1和ISO 13577-3界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电热 electroheating; EH

为使用目的将电能转化为热能的过程。

[来源：GB/T 2900.23—2008，841-22-22，修改——electroheating代替electroheat，添加同义词EH并缩减术语描述。]

3.2

电热装置 electroheating installation

电热设备及其配套专用的电气设备和机械设备等共同组成的成套装置。

[来源：GB/T 2900.23—2008，841-22-02，有修改。]

4 电击危险防护要求

4.1 防护类别

工业电热装置电击危险防护等级设计应根据使用场景、电压等级和环境风险严格划分类别，见表1。

表1 工业电热装置电击危险防护设计类别

设备等级	防护要求
0类设备	通过基本绝缘进行防电击保护，即在易接近的导电部分（若有）和装置或设备固定布线中的保护导体之间无连接措施，在基本绝缘损坏的情况下通过周围环境进行绝缘保护。
I类设备	在基本绝缘进行防电击保护基础之上，将易导电部分连接到装置或设备固定布线中的保护（接地）导线上，使易触及导电部分在基本绝缘失效时，也不会成为带电的一部分。
II类设备	在基本绝缘进行防电击保护基础之上，增加专项安全措施，例如双重绝缘或加强绝缘，但对保护接地条件未作规定。
III类设备	通过安全特低电压供电进行防电击保护，并确保其产生的电压不高于安全特低电压。
注：工业电热装置无0类设备。	

4.2 防护要求

4.2.1 I类设备防护要求

工业热处理电阻炉、铸造中频感应炉等工业电热装置应满足以下I类设备防护要求：

- a) 保护接地连接：所有在基本绝缘失效时可能带电的易触及导电部分（如金属外壳、炉门框架、炉体外壳、控制柜体），应永久性、可靠地连接至保护接地导体（PE）；

- b) 接地连续性与电阻：装置上任意易触及导电部分与接地端子/接地触头之间的电阻不应大于 0.1Ω 。可拆卸部件（如维护门、防护罩）的接地连接应满足“先通后断”原则，部件安装时接地连接先于载流连接接通，拆卸时载流连接先于接地连接断开；
注：电阻采用直流低电阻测试仪测量。
- c) 接地导体规格：保护接地导体的标称截面积应与装置或设备的额定电流匹配，若接地导体需穿越高温区域或靠近加热元件，应采用耐高温绝缘包裹，防止绝缘老化导致接地失效；
- d) 接地电路完整性：保护接地电路中不应串联任何分断器件（如开关、熔断器），除非该分断器件仅能由授权人员使用专用工具操作，且能确保在载流导体接通前恢复接地连续性。

4.2.2 II类设备防护要求

II类设备适用于潮湿、移动或无接地条件的场景，如便携式电磁加热器、便携式微波干燥设备，其防护依赖双重绝缘或加强绝缘，不应设置保护接地端子。

- a) 绝缘等级与电阻：基本绝缘绝缘电阻不应小于 $2 \text{ M}\Omega$ ，附加绝缘不应小于 $5 \text{ M}\Omega$ ，加强绝缘不应小于 $7 \text{ M}\Omega$ 。

注：绝缘电阻采用兆欧表在冷态下测量，测量部位包括带电部件与外露导电部分之间、不同极性带电部件之间、绕组与铁芯之间。

- b) 绝缘结构强度：双重绝缘或加强绝缘的部件应牢固固定，不破坏则无法拆卸，重新安装时不应错位或遗漏。采用粘接固定的绝缘部粘接处不应脱落或开裂。

4.2.3 III类设备防护要求

III类设备依赖安全特低电压（SELV）供电，适用于控制回路、手持操作部件等场景（如工业电热装置的温度控制单元）。

- a) 供电电压限制：SELV 系统的工频交流电压不应大于 50 V （均方根值），直流电压不应大于 120 V ，且系统内任意两点间的电压不应超过该限值。若系统存在多个 SELV 回路，各回路应独立隔离，不应共地或串联。
- b) 电源隔离：SELV 电源应采用安全隔离变压器，其输入与输出绕组之间应采用加强绝缘。隔离变压器的额定容量应与负载匹配，不应超载运行。
- c) 短路保护：SELV 回路应设置短路保护器件（如微型断路器、熔断器），短路电流不应超过保护器件的额定分断电流，且保护器件动作时间不应大于 0.1 s （当短路电流为额定电流的 5 倍时）。不应利用 SELV 回路的导线阻抗作为短路保护。
- d) 接地限制：SELV 回路的带电部件不应接地，且与其他非 SELV 回路的带电部件之间应采用双重绝缘或加强绝缘，防止 SELV 回路受外界电压干扰。

4.3 绝缘性能要求

4.3.1 电气强度要求

装置的绝缘应能耐受规定的工频电压和冲击电压试验，试验过程中不应出现击穿、闪络或泄漏电流超标，泄漏电流不应大于 5 mA 。

4.3.2 耐热性要求

绝缘材料应在预期高温下保持性能稳定，应根据使用温度选择对应的耐热等级，不应降级使用。

非金属外部部件（如外壳、手柄）、支撑载流部件的热塑性材料（如接线端子座、绝缘支架）应通过耐热变形试验。

注：将样品置于规定温度（如125℃，根据材料等级确定）的烘箱内，施加10 N压力，持续1 h后冷却至室温，样品不出现明显变形（变形量 ≤ 2 mm）、开裂或软化。

4.3.3 阻燃性要求

装置的非金属部件（如外壳、绝缘套管、布线槽）应具有足够的阻燃能力，防止火灾蔓延。新产品应能通过火焰试验和灼热丝试验，且试验合格。

注1：关于火焰试验，针焰高度12 mm \pm 1 mm，火焰温度950℃ \pm 10℃，施加时间30 s，样品不起火，或起火后在30 s内自行熄灭，且滴落物不引燃下方100 mm处的脱脂棉；

注2：关于灼热丝试验（针对易触及部件），灼热丝温度750℃ \pm 10℃（非易触及部件为850℃ \pm 10℃），施加时间30 s，样品不起火或持续灼热，或起火/灼热在60 s内自行熄灭，滴落物不引燃脱脂棉。

4.4 泄露电流要求

装置的泄漏电流限值应满足表2的规定。

表2 工业电热装置泄漏电流限值

工况	便携式装置泄漏电流限值 (mA)	固定式装置泄漏电流限值 (mA)
正常运行条件	≤ 0.75	≤ 5
单一故障条件	≤ 2.5	≤ 10

（5959.1和19517两个标准要求不一致，需再测试验证）

注：对于频率大于100 kHz的工业电热装置（如高频介质加热设备、微波发生器），泄漏电流限值可放宽至正常运行 ≤ 10 mA，单一故障 ≤ 20 mA，但应在装置或设备周围设置警告区域，禁止长时间停留。

4.5 特殊场景电击防护要求

4.5.1 真空环境防护

真空环境防护要求如下：

- 真空室内的绝缘部件（如电极绝缘、线圈绝缘）应采用耐真空、低放气率材料，冷态时绝缘电阻不应小于100 M Ω ，200℃真空烘烤2 h后绝缘电阻不应小于10 M Ω ；
- 真空度低于 1×10^{-3} Pa时，不应施加高压，应设置真空度监控装置（如电离真空计），检测到弧光放电时应立即切断高压电源，并发出声光报警；
- 真空室内电极边缘应倒角（半径 ≥ 2 mm），防止电场集中引发弧光，电极间距应按真空击穿电压曲线确定。

4.5.2 强电磁场环境防护

强电磁场环境防护要求如下：

- 强电磁场区域应设置金属屏蔽罩，屏蔽罩接地电阻不应大于0.1 Ω ，防止电磁场泄漏导致感应电击；
- 屏蔽罩内所有金属部件应进行保护性等电位连接，连接导体截面积不应小于6 mm²，确保各部件电位差不大于5；
- 电磁场强度影响区域，应张贴“磁场危险，注意起搏器”警告标志，携带金属物体或有金属植入物的人员不应进入。

4.5.3 高温环境防护

高温环境防护要求如下：

- a) 装置高温区域的绝缘应选用 H 级及以上耐热材料，导线应避免高温老化；
- b) 导电部件与绝缘部件之间应设置热膨胀补偿装置，防止温度变化导致绝缘开裂或连接松；
- c) 靠近加热元件的电气部件应设置强制冷却，确保部件温度低于部额定工作温度。

5 机械危险防护要求

5.1 结构强度与稳定性要求

5.1.1 结构件强度要求

结构件强度要求如下：

- a) 工业电热装置结构件抗拉强度不应小于 235 MPa，焊接接头不应存在裂纹、未焊透等缺陷；
- b) 固定式装置的基础应能承受 1.5 倍额定重量的静载荷，可移式装置的轮子应能承受 2 倍额定重量的动载荷，轮子制动装置应能承受 0.5 倍额定重量的制动力；
- c) 吊运部件应设置专用吊环或吊装耳，吊环材质为 45 号钢或更高强度材料，螺纹连接的旋合长度不应小于螺纹直径的 1.5 倍；
- d) 炉门、维护门等活动部件应具有足够的机械强度，不应变形或松动，门铰链应能承受 1.5 倍工作重量无断裂。

5.1.2 稳定性要求

工业电热装置应具有足够的稳定性，防止倾倒、滑动等危险。

- a) 针对可移式装置，在倾斜 15° 的平面上（沿任意方向）不应倾倒，且轮子制动后，在 100 N 的水平力作用下不应滑动。
- b) 针对固定式装置，采用地脚螺栓固定时，螺栓规格应根据装置重量确定（如重量 > 1000 kg 时，采用 M16 及以上螺栓），且应均匀拧。
- c) 针对带门装置，门开启至最大角度（如 90°）时，装置不应倾倒，必要时应设置配重或支撑装置（如炉门平衡锤）。
- d) 针对移动部件，运动部件（如传送带、升降平台）在额定负荷下运行时，应防止共振导致装置失。

5.2 防护装置要求

5.2.1 防护装置的一般要求

防护装置应满足结构可靠、防护有效、不易移除等要求。

- a) 用于防止直接接触的金属防护网的网孔尺寸不应大于 12 mm×12 mm，钢板厚度不应小于 1.5 mm，塑料防护装置应通过垂直于表面 100 N 的力测试，无变形或破裂。
- b) 防护装置不使用工具不应移除，不应采用卡扣、挂钩等易拆卸结构，若防护装置需定期拆卸维护，应采用特殊紧固件（如带防拆铅封的螺钉），且拆卸后应有明显警示标识。
- c) 防护装置不应影响操作人员对工作区域的观察，必要时应设置观察窗，观察窗的防护等级应与防护装置一致，且不应影响操作，如按钮、旋钮的操作。防护等级不应小于 IP2X，即：
 - 1) 防固体异物，防止直径 ≥ 12.5 mm 的固体侵入；
 - 2) 防人体触及，防止手指（直径 12 mm，长度 80 mm）触及内部危险部件；
 - 3) 防液体侵入，防止垂直滴水对装置无有害影响；

- d) 潮湿、粉尘环境使用的防护装置，防护等级不应小于 IP54。

5.2.2 运动部件防护要求

5.2.2.1 旋转轴防护

旋转轴防护要求应满足：

- a) 轴径不大于 30 mm 的旋转轴，应设置固定式防护罩，防护罩与轴的间隙不应大于 5 mm；
- b) 轴径大于 30 mm 的旋转轴，应设置伸缩式防护罩（随轴移动），或在轴端设置防护盖，防护盖与轴的间隙不应大于 3 mm；
- c) 带键槽的旋转轴，键槽应填平或覆盖，防止衣物卷入。

5.2.2.2 传送带防护

传送带防护要求应满足：

- a) 传送带两侧防护栏高度不应小于 1.2 m，且防护栏与传送带的间隙不应大于 100 mm；
- b) 传送带的进料口和出料口应设置连锁防护罩，防护罩打开时传送带立即停止；
- c) 传送带下方应设置防坠落护板（高度 ≥ 0.5 m），防止工具或工件掉落。

5.2.2.3 升降机构防护

升降机构防护要求应满足：

- a) 升降平台（如工件升降台）的四周应设置高度 ≥ 1.1 m 的防护栏，防护栏底部应设置高度 ≥ 100 mm 的踢脚板；
- b) 升降机构应设置限位开关（上限位、下限位），且应设置缓冲装置（如弹簧、液压缓冲器），防止超程冲击；
- c) 升降平台的承载面应采用防滑材料（如花纹钢板），防止工件滑动。

5.2.2.4 炉门驱动防护

炉门驱动防护要求应满足：

- a) 电动炉门应设置连锁装置，炉门未关闭时加热元件不应通电，炉门开启过程中加热元件应断电；
- b) 手动炉门应设置平衡装置（如重锤、弹簧），防止炉门突然下落，且应设置限位装置，防止炉门过度开启。

5.2.3 飞射物防护要求

工业电热装置在运行过程中可能产生飞射物（如熔融金属飞溅、工件脱落），应设置防护装置防止人员伤害。

- a) 感应熔炼炉、电弧炉等装置炉体下方应设置防泄漏槽，槽内铺设防火材料（如耐火砖），防止熔融金属泄漏导致火灾。
- b) 承载工件操作平台（如输送辊道）应设置限位装置（如挡块、定位销），防止工件偏移或脱落。
- c) 重量大于 50 kg 的工件应采用夹具固定，夹具的夹紧力不应小于 2 倍工件重量，防止工件在运行过程中松动。

5.2.4 高温表面防护要求

工业电热装置的高温表面（如炉壁、加热元件、工件）可能导致灼伤，应设置防护装置或警示标识。

- a) 表面温度大于 70 °C 的部件,应设置防护罩或隔热层,防护罩与高温表面的距离不应小于 50 mm,隔热层采用耐高温材料(如陶瓷纤维),厚度不应小于 20 mm;可接近的高温管道(如热风管道)应包裹隔热层,隔热后表面温度不应大于 60 °C。
- b) 表面温度大于 60 °C 但未设置防护装置的部件,应张贴“高温表面,避免触摸”警告标识,标识应清晰可见。
- c) 高温区域周围应设置警示线,警示线距离高温表面不应小于 1 m。
- d) 隔热材料应固定牢固,不应脱落,且应具有阻燃性。

5.3 联锁装置要求

5.3.1 联锁装置的一般要求

联锁装置应采用机械联锁或电气联锁。

- a) 机械联锁应能承受 500 N 的力,电气联锁应采用双通道设计,防止单一故障导致联锁失效。
- b) 电气联锁装置的响应时间不应大于 100 ms。
- c) 联锁装置不应设置可随意旁路的装置,若因维护需要旁路,应采用专用钥匙或密码,且旁路后应有明显警示灯(红色),并记录旁路时间和操作人员。
- d) 联锁装置动作后,应手动复位才能恢复装置或设备运行,复位按钮应设置在安全位置(远离危险区域),且应有“复位前检查安全”的提示。

5.3.2 门联锁要求

炉门、维护门等与危险部件关联的门,应设置联锁装置。

- a) 炉门未关闭时加热元件不应通电,炉门开启过程中加热元件应断电,且炉门开启角度 $>10^\circ$ 时,联锁装置应动作。
- b) 真空炉的炉门联锁应与真空系统关联,炉门未关闭时真空系统不应启动,真空度未达到规定值时炉门不应开启。
- c) 电气控制柜、高压柜的维护门应设置联锁装置,门打开时内部高压部件应断电,且应将电源输入端接地。
- d) 维护门联锁应采用“先接地后开门”的逻辑。
- e) 具有多个维护门的装置,任意一个门打开时,危险部件均应断电,且应在每个门上设置状态指示。

5.3.3 运动部件联锁要求

运动部件(如传送带、旋转轴、升降机构)的防护装置应设置联锁装置。

- a) 防护罩移除或打开时,运动部件应立即停止,且应切断驱动电机的电源。
- b) 联锁装置应能检测防护罩的微小位移(如 >5 mm),防止防护罩松动导致联锁失效。
- c) 运动部件的控制回路应与急停装置联锁,急停按钮动作时,运动部件应立即停止,且应切断电源,不应依赖制动装置。
- d) 急停按钮应采用红色蘑菇头设计,且应设置在操作人员易触及的位置。
- e) 升降机构、平移机构应设置位置联锁(如限位开关),防止超程运行,限位开关应设置在极限位置前 50 mm~100 mm 处,且应设置二级限位(如机械挡块)作为备份。

5.4 联接与紧固件要求

5.4.1 紧固件材料与规格

紧固件材料与规格要求如下：

- a) 电气联接螺钉、接地螺钉应采用铜或铜合金（如 H62 黄铜）、钢（如 8.8 级高强度钢），不应采用锌、铝、纯铁等易蠕变或易腐蚀材料；
- b) 高温区域（ $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）的紧固件应采用耐热钢（如 304 不锈钢），防止高温导致强度下降；
- c) 绝缘材料制成的螺钉，标称直径不应小于 3 mm，且不应用于电气联接或接地连续性联接；
- d) 传递电气接触压力的螺钉（如接线端子螺钉），标称直径不应小于 M3，且应旋入金属件（深度 ≥ 2 倍螺纹直径），不应旋入塑料件（除非塑料件内镶嵌金属螺母）；
- e) 载流件的电气联接螺钉应采用细牙螺纹（如 M4 \times 0.7），不应采用宽牙螺纹或自切螺钉，防止振动导致松动；
- f) 接地联接螺钉可采用自切螺钉，但应至少使用 2 个，且螺纹应挤压成形（而非切削）。

5.4.2 联接可靠性要求

联接可靠性要求如下：

- a) 所有紧固件应采用锁紧措施，如弹簧垫圈、双螺母、防松螺母、点焊等，防止振动导致松动；
- b) 电气联接螺钉的拧紧扭矩应符合 GB/T 1231 的规定；
- c) 绞合导体的电气联接应采用冷压端子或线鼻子，不应仅通过拧紧螺钉夹紧导体，冷压端子应与导体截面积匹配（如 1.5 mm² 导体配 OT1.5-4 端子）；
- d) 锡焊联接的导体应在焊接处附近用夹具固定（如线卡），防止焊接冷变形导致接触不良；
- e) 结构件的机械联接（如机架拼接）应采用至少 2 个紧固件，且应对称布置，防止受力不均；
- f) 可拆卸部件的联接（如防护罩）应采用定位销+螺钉的组合，确保安装位置准确，防止错位。

5.4.3 布线与线缆固定要求

布线与线缆固定要求如下：

- a) 内部布线槽应光滑无锐棱，导线绝缘不应触及毛刺、散热片等易损伤部件，导线穿过金属孔时应装有绝缘衬套，衬套不应脱落；
- b) 导线应固定牢固，固定间距 $\leq 300\text{ mm}$ ，且应远离运动部件（间距 $\geq 50\text{ mm}$ ），防止摩擦导致绝缘磨损；
- c) 内部布线应采用颜色标识，保护接地导体为绿/黄双色，中性导体为淡蓝色，相线为红、黄、绿；
- d) 线缆标识应永久、清晰，不应因摩擦、高温而褪色；
- e) 外部电源线、控制线应采用专用进线孔，进线孔应设置衬套，防止线缆磨损；
- f) 线缆固定装置应能承受 100 N 的拉力，线缆在端子处不应受张力，且固定装置应使线缆绝缘层不被挤压。

5.5 特殊机械危险防护强制要求

5.5.1 真空环境机械防护

真空环境机械防护要求如下：

- a) 真空炉炉体应能承受大气压的作用，设计压力 $\geq 0.1\text{ MPa}$ （表压），炉体材料应采用不锈钢（如 304），壁厚应通过强度计算；
- b) 炉体法兰密封应采用耐真空密封垫，密封垫压缩量应控制在 30%~50%，防止密封失效导致炉体变形；
- c) 真空炉应设置防爆膜，防爆膜爆破压力 $\geq 0.15\text{ MPa}$ ，且应设置在无人区域方向，防止碎片飞溅；

d) 真空炉门开启前应先破真空，门开启速度 ≤ 100 mm/s，防止门突然开启导致冲击。

5.5.2 气氛环境机械防护

气氛环境机械防护要求如下：

- a) 气氛管道应采用不锈钢材质，壁厚 ≥ 2 mm，管道连接采用焊接或法兰连接，法兰密封采用金属垫片，防止气氛泄漏；
- b) 气氛系统应设置压力安全阀，安全阀开启压力 \leq 管道额定压力的 1.1 倍，且设置压力传感器，压力超标时切断气源；
- c) 可燃气氛系统应设置防爆阀，防爆阀动作时间 ≤ 100 ms，且系统应远离火源（间距 ≥ 5 m）；
- d) 气氛炉升温前应用惰性气体置换炉内空气，氧含量 $\leq 1\%$ 后才能通入可燃气氛，置换过程应自动控制，不应手动操作（ISO 13577-3:2016）。

5.5.3 高速运动部件防护

高速运动部件防护要求如下：

- a) 高速运动部件应设置超速检测装置，速度超过额定值的 110%时立即停止，且应设置机械制动器作为备份；
- b) 高速运动部件的行程末端应设置缓冲装置，缓冲器吸收能量不应小于运动部件动能的 1.5 倍，防止冲击；
- c) 高速运动部件周围应设置防护距离，防护距离 \geq 运动部件最大速度 $\times 0.5$ s（人员反应时间），且防护距离 ≥ 1 m；
- d) 高速运动系统应设置多个急停按钮，急停按钮间距 ≤ 3 m，且应采用双手启动装置，防止单人误操作导致危险。

6 热影响防护要求

6.1 表面温度（升）要求

工业电热装置应根据材料类型和使用场景严格限制其表面温度，防止灼伤，所有可触及表面均应满足表3温度限值要求。在装置关键部件（如炉壳）表面应设置连锁报警，表面温度超过正常限值 10°C 时，应发出声光报警，报警后10 min内温度未下降，应切断电源。

表 3 工业电热装置受热构件表面温度限值

工况	构件材质	具体位置	限值（ $^{\circ}\text{C}$ ）
正常运行条件下	金属表面	操作人员频繁接触的表面，如操作按钮面板、门把手	≤ 45
		操作人员偶尔接触的表面，如炉体外壳、管道	≤ 75
		操作人员很少接触的表面，如设备底部、背部	≤ 85
	非金属表面	塑料表面，如ABS、PC外壳、手柄	≤ 70
		橡胶表面，如绝缘手柄、线缆护套	≤ 65
		玻璃表面，如观察窗、仪表玻璃	≤ 70
		木质表面，如隔热手柄	≤ 60
特殊部位（无论材料类型）	高温管道的隔热层表面	≤ 50	
单一故障	金属表面	持续时间 ≤ 1 h	≤ 85

条件下	非金属表面	持续时间≤1 h	≤90
-----	-------	----------	-----

注：表面温度测量需采用精准、可靠的方法，确保数据真实反映实际温度，测量点应选择温度最高的可触及表面，包括外壳顶部、侧面、正面，手柄，管道，接线盒；对于大型装置（如工业窑炉），需在不同位置选取至少3个测量点，取最大值；装置或设备在额定负荷下连续运行至热稳定状态（温度变化≤2℃/h）；若采用热电偶探头需与表面紧密接触（采用导热胶固定），若采用红外测量应避免测量反光表面。

6.2 超温保护要求

6.2.1 一般要求

工业电热装置应设置独立、可靠的超温保护装置，不应仅依赖温控系统进行超温保护。超温保护装置应独立于正常温控系统（如温控器、PLC），包括传感器、控制电路和执行器，不应与温控系统共用任何部件；不应自行复位的超温保护装置，复位应使用工具或密码，且复位前应检查超温原因，排除故障。

6.2.2 加热元件超温保护要求

工业电热装置的加热元件是主要热源，应针对性设置超温保护。电阻加热元件表面温度不应超过其额定最高温度，加热元件与工件的距离不应小于50 mm，防止工件接触导致局部过热感应线圈的温升不应超过60 K（环境温度40℃时，最高温度100℃），线圈应设置温度传感器，温度超过100℃时切断电源，线圈绝缘应采用耐高温材料，防止高温老化（GB/T 5959.1-2019，7.10）；微波发生器磁控管的温升不应超过80 K（环境温度40℃时，最高温度120℃）；微波腔体应设置温度传感器，超标时切断电源（GB/T 5959.1-2019，9.1）。

6.2.3 炉腔超温保护要求

对物料在加热过程中不发生物态变化的工业电热装置，如热处理电阻炉，炉腔应设置至少2个独立的温度传感器，分别安装在炉腔不同位置，当任意一个传感器检测到温度超过额定最高温度10℃时，发出报警，超过15℃时，切断加热电源，炉腔门开启时，加热电源应立即切断，防止炉腔散热不良导致超温（GB/T 5959.1-2019，10.6.2）。

对物料在加热过程中发生物态变化的工业电热装置，如感应熔炼炉，应防止干锅超温。

装置或设备断电后，若炉腔温度大于300℃，应保持冷却系统运行（如风扇、水冷），直至温度降至100℃以下。

6.3 热膨胀补偿要求

6.3.1 结构件热膨胀补偿

6.3.1.1 对于长度超过2 m的工业电热装置金属结构件，如金属梁、管道，应设置热膨胀节，补偿量不应小于计算膨胀量的1.2倍；炉体外壳采用拼接结构时，拼接处应预留膨胀间隙。结构件的固定支架应采用滑动支架，允许结构件沿膨胀方向移动，防止约束导致应力集中（GB/T 5959.1-2019，10.4.6）。

注：间隙量=长度×线膨胀系数×温度变化量×1.2（如钢炉体长度10 m，温度变化500℃，线膨胀系数 $12\times 10^{-6}/\text{℃}$ ，间隙量=10×12×10⁻⁶×500×1.2=0.072 m=72 mm）。

6.3.1.2 非金属部件与金属部件的连接应采用弹性连接（如橡胶垫、弹簧），补偿两者的膨胀差异；高温区域的非金属部件（如观察窗玻璃）应采用耐热玻璃（如石英玻璃），且应设置缓冲装置，防止热冲击导致破裂。

6.3.2 导电部件热膨胀补偿

6.3.2.1 长度超过 1 m 的导线、电缆，应预留膨胀余量；导线穿过金属孔时，应采用柔性绝缘套管（如硅橡胶套管），允许导线自由伸缩；高温区域的导线应避免热膨胀导致导线断裂。

6.3.2.2 母线长度超过 3 m 时，应设置伸缩节，母线连接采用螺栓连接时，螺栓应留有间隙（0.5 mm～1 mm）。

6.3.2.3 高温区域的接头（如炉内接线端子）应采用隔温措施，降低接头温度（GB/T 5959.1-2019，10.4.5）。

6.3.3 绝缘部件热膨胀补偿

高温区域的绝缘部件应选用热膨胀系数与金属相近的材料，避免因膨胀差异导致绝缘开裂；绝缘套管、绝缘隔板应采用分段结构；绝缘件与金属件的配合应采用过渡配合，防止热膨胀导致过盈或间隙过大。

6.4 火灾危险防护要求

6.4.1 火源控制要求

工业电热装置运行时存在高温表面、电弧、辐射等火源，应采取火灾预防和灭火措施。

a) 高温表面防火：

- 1) 表面温度大于 200 °C 的部件与易燃材料的距离不应小于 1 m，或采用防火隔板（如石棉板）隔离；
- 2) 高温管道应包裹防火隔热层（如陶瓷纤维布），隔热后表面温度不应大于 60 °C，防止引燃周围材料；
- 3) 不应在高温部件附近堆放易燃物品（如纸箱、抹布），应设置“禁止堆放易燃物”警告标识。

b) 电气开关、接触器、断路器等易产生电弧的部件，应安装在防火外壳内（如金属外壳），外壳材质为钢板（厚度 ≥ 2 mm），且应设置排气孔，防止压力过高。

c) 电气连接应牢固，防止松动产生电弧，接线端子应采用隔弧措施，如隔弧板。

d) 强辐射设备（如激光加热设备、红外加热炉）应设置辐射屏蔽罩，屏蔽罩采用金属材料（如铝板），屏蔽效能不应小于 80%，防止辐射引燃易燃材料。

e) 辐射区域周围应设置防火警戒线，警戒线距离辐射源不应小于 2 m，且不应放置易燃材料。

6.4.2 易燃材料控制要求

6.4.2.1 材料使用要求：

- a) 工业电热装置内部及周围 5 m 范围内，不应使用易燃材料（如木材、普通塑料），应使用阻燃材料；
- b) 电缆、导线应选用阻燃型，且应穿金属管或阻燃线槽敷设，防止火灾蔓延；
- c) 润滑油脂应选用耐高温阻燃型（闪点 ≥ 200 °C），不应使用普通矿物油。

6.4.2.2 液体使用要求：

- a) 水冷系统、液压系统使用的液体（如冷却水、液压油）应为不可燃液体，不应使用汽油、酒精等易燃液体；
- b) 易燃液体管路应采用双层管路，外层管路应设置泄漏检测（如液位传感器），泄漏时切断液体供应；
- c) 易燃液体储罐应设置在独立防火区域（如防火间），储罐与装置的距离不应小于 5 m，且应配备防火堤（高度 ≥ 0.5 m）。

6.4.2.3 气体使用要求：

- a) 保护气氛、反应性气氛（如氢气、甲烷）系统应采用防爆设计，管路、阀门、储罐应为防爆型（如 Ex d 级）；
- b) 易燃气体系统应设置泄漏检测（如气体传感器），泄漏浓度达到爆炸下限的 10% 时，切断气源并通风；
- c) 易燃气体储罐应远离火源（距离 ≥ 10 m），且应设置防晒、防雷措施（GB/T 5959.1-2019, 12.101）。

6.4.3 灭火措施要求

工业电热装置周围应配备合适的灭火设备，灭火设备应安装在明显、易触及的位置，且应设置“灭火器”标识。

装置所在区域应设置清晰的逃生通道，通道宽度不应小于 1.2 m，无障碍物，且应设置应急照明；逃生通道、安全出口应设置“安全出口”标识，且标识应常亮。

6.5 特殊热影响防护要求

6.5.1 真空环境热影响防护

真空炉炉体应采用双层结构，内层为耐热钢，外层为保温层，保温层厚度不应小于 100 mm，炉体表面温度不应大于 60 °C（正常运行）；炉体应设置温度传感器（如热电偶），监测炉壁温度，温度超过 70 °C 时应发出报警。

真空炉周围应配备干粉灭火器，防止弧光引燃炉外易燃材料。

真空炉断电后，炉门开启前应确认炉内温度 ≤ 100 °C，防止高温气体喷出烫伤人员（GB/T 10067.101-2023, 5.3.3）。

6.5.2 气氛环境热影响防护

可燃气氛系统应设置阻火器，防止回火引燃气源；气氛炉排气口应设置火焰检测器，检测到火焰时切断气氛供应，并通入惰性气体。

气氛炉炉体法兰密封应采用耐高温密封垫（如金属缠绕垫），密封垫应定期更换（周期 ≤ 6 个月）；炉体周围应设置气体检测传感器，泄漏浓度超标时报警并切断气源。

气氛炉火灾应使用惰性气体灭火（如氮气），不应使用水或二氧化碳，防止产生爆炸或有毒气体（ISO 13577-3:2016）。

7 流体危险防护要求

7.1 一般要求

工业电热装置设计阶段应明确流体类型（液体/气体、易燃/有毒/腐蚀性）、运行参数（压力、温度、流量）及潜在危险（泄漏、爆炸、中毒、腐蚀），并采取防护措施，装置部件（管道、阀门、密封件）材质应与流体兼容。

- a) 流体管路应尽量缩短，减少弯头、阀门数量，避免死角和积液。
- b) 关键流体系统应设置备用回路，在流体易泄漏部位（法兰、阀门、接头）应设置检测点（如湿度传感器、气体传感器），检测信号接入控制系统。

7.2 液体危险防护要求

7.2.1 冷却液体防护

若采取水基作为冷却液体，冷却水应满足GB/T 10067.1要求，避免管道结垢和腐蚀；若采用油基作为冷却液体，导热油应选用高温型，不应超温运行。

冷却管道公称压力不应低于工作压力的1.5倍，壁厚应满足GB/T 20801要求；阀门应选用截止阀或球阀，且设置手动应急关闭功能；长距离管道（10 m及以上）应设置膨胀节（如波纹补偿器），补偿量不低于热膨胀量的1.2倍。

每年应定期进行压力试验，试验压力不应低于工作压力的1.5倍。

7.2.2 熔融金属防护

熔融金属防护要求如下：

- a) 熔融金属坩埚与容器使用前应经烘烤，防止水分导致爆炸；
- b) 若采用输送流槽分体式结构，每段长度不应超过3 m，段间应预留膨胀间隙；
- c) 吊运熔融金属的浇包应设置双保险装置（如双耳环、双制动器），额定载荷应不低于实际载荷的1.2倍，使用前应提前进行静载荷试验（1.5倍额定载荷悬挂1 h无变形）；
- d) 熔融金属容器下方应设置防泄漏槽，槽内铺设干砂或耐火砖，防止泄漏金属扩散；不应向熔融金属中加入潮湿物料，防止蒸汽爆炸；
- e) 装置周围5 m内不应堆放易燃物（如木材、油布），应配备灭火器。

7.3 气体危险防护要求

7.3.1 保护性/反应性气氛防护

7.3.1.1 气体存储与输送：

- a) 气体存储与输送用气瓶应固定在专用支架上，远离热源和明火，氧气与可燃气体气瓶间距不小于8 m，且应设置防倾倒装置；
- b) 气体管道应采用不锈钢或铜管以上材质，公称压力不低于工作压力的1.5倍，阀门应选用针型；
- c) 可燃气氛管道应设置阻火，安装在气瓶出口、装置入口及管道分支处，阻火器应定期清洗。

7.3.1.2 易燃/易爆/有毒气氛系统：

- a) 应设置气体传感器，检测范围覆盖管道接头、阀门、装置接口，泄漏浓度达到爆炸下限时，应能自动切断气源并启动通风；
- b) 反应性气氛装置应设置紧急泄压，泄压方向朝向无人区域。

7.3.2 压缩空气防护

压缩空气空压机出口应避免水分和杂质进入管道；压缩空气管道公称压力不应低于工作压力的1.2倍，支管直径应小于主管直径的1/2倍，且应设置排水阀；装置内压缩空气压力应稳定，压力波动不超过±5%。

压缩空气驱动的部件应设置缓冲装置，避免冲击；不应使用压缩空气吹扫人体（防止窒息或损伤）；应定期进行管道气密性试验。

7.4 压力安全装置要求

7.4.1 安全阀

安全阀额定压力不应低于工作压力的1.1倍，额定排量不应低于系统最大泄放量，且选用全启式（开启高度 $\geq 1/4$ 喉径）；气体系统安全阀应设置在设备出口或管道最高点，液体系统应设置在设备顶部或管道最高点，避免积液。

安全阀应每年校验1次，校验项目包括整定压、密封性、排量（符合设计值），校验合格后铅封；日常运行中应及时检查动作灵活性，发现卡阻、泄漏时立即更换。

7.4.2 压力表与压力传感器

压力表应安装在易观察位置，避免振动和高温，距热源距离不小于500 mm，介质温度 ≥ 80 °C时应设置冷凝管；压力表应每6个月校验1次。

压力传感器测量范围为工作压力的0~1.5倍；传感器信号接入控制系统，设置至少两级报警，如压力达到工作压力90%时一级报警（声光提示），达到110%时二级报警（切断气源/液体源）。

7.5 特殊场景流体防护

7.5.1 真空环境流体防护

真空室内水冷管道应采用双层结构，内层管道输送冷却水，外层管道抽真空（与炉体真空系统连通），防止冷却水泄漏进入真空室，水冷管道接口采用金属密封；真空炉水冷系统应设置流量传感器，具备流量失常报警功能。

真空排气管道应采用不锈钢材质，避免堵塞，排气口设置粉尘过滤器，过滤器应定期清，防止粉尘进入真空泵；真空泵油应选用真空专用油，并定期更换。

7.5.2 高温环境流体防护

高温管道应采用耐热钢，外壁包裹多层隔热层（内层陶瓷纤维、外层铝箔），隔热后表面温度不应超过60°C；管道支撑应采用陶瓷支架，避免金属支撑传导热量。

高温液体管道，如烟气管道、导热油管道，应设置温度传感器，温度超限时应报警。

8 辐射危险防护要求

8.1 电磁辐射防护强制要求

8.1.1 工频磁场防护（频率 50 Hz/60 Hz）

工频磁场防护要求：

- 大型工频设备辐射源应设置金属屏蔽罩，屏蔽罩材质为低碳钢（厚度 ≥ 2 mm），屏蔽效能不应小于 20 dB（50 Hz）；
- 磁场强度超过 0.1 mT 的区域应设置“磁场危险，注意起搏器”警告标识，禁止携带金属物体或有金属植入物（如心脏起搏器）的人员进入；
- 操作人员应与磁场源保持安全距离，安全距离 \geq 磁场强度 $\times 10$ （如磁场强度 0.5 mT 时，安全距离 ≥ 5 m）。

注：采用工频磁场测试仪（精度 $\pm 5\%$ ），在设备正常运行时，于操作人员工作位置、公众可接近位置测量磁场强度；测量点高度为1.5 m，测量范围为设备周围5 m内，每1 m设置一个测量点。

8.1.2 中频电磁场防护（频率 100Hz~100kHz）

中频电磁场防护要求：

- 中频设备（如中频感应炉）应采用双层屏蔽，内层为铜网（网孔 ≤ 1 mm），外层为钢板（厚度 ≥ 1 mm），屏蔽效能不应小于 40 dB（10 kHz）；

- b) 设备电缆应采用屏蔽电缆，屏蔽层覆盖率不应小于 90%，且屏蔽层两端接地（接地电阻不大于 0.1Ω ）；
- c) 中频区域应设置隔离护栏，护栏高度不应小于 1.2 m，护栏与设备的距离不应小于安全距离（根据辐射强度计算）。

注：采用中频电磁场测试仪（频率范围 100 Hz~100 kHz，精度 $\pm 10\%$ ），在设备额定负荷下测量；测量点包括操作人员工作位置、护栏外侧、公众通道，每个测量点测量时间 ≥ 1 min，取平均值。

8.1.3 高频电磁场防护（频率 100 kHz~6 MHz）

高频电磁场防护要求：

- a) 高频设备（如高频介质加热机）应设置全封闭金属屏蔽室，屏蔽室门采用联锁装置，门开启时设备断电；
- b) 屏蔽室通风口应采用波导通风窗，波导尺寸 $\leq \lambda/20$ （ λ 为最高频率对应的波长），防止高频泄漏；
- c) 操作人员应佩戴高频防护用品（如防护眼镜、防护手套），防护用品衰减量 ≥ 20 dB。

注：采用高频电磁场测试仪（频率范围 100 kHz~6 MHz，精度 $\pm 8\%$ ），在设备正常运行时，于屏蔽室外 1 m 处测量；测量点间距 ≤ 1 m，重点测量屏蔽室门缝、通风口等易泄漏部位，泄漏量不大于限值的 50%。

8.1.4 微波辐射防护（频率 300 MHz~300 GHz）

微波辐射防护要求：

- a) 微波设备（如微波干燥机、微波加热炉）应采用金属屏蔽外壳，屏蔽材料为铜或铝（厚度 ≥ 0.5 mm），屏蔽效能 ≥ 60 dB（1 GHz）；
- b) 设备观察窗应采用微波屏蔽玻璃（如夹金属网玻璃），屏蔽效能 ≥ 40 dB，且应定期检查玻璃完整性；
- c) 微波泄漏超过 2 mW/cm^2 的区域应设置“微波辐射危险”警告标识，禁止人员停留。

注：采用微波功率计（频率范围 300 MHz~300 GHz，精度 $\pm 10\%$ ），在设备额定功率下测量；测量距离为 5 cm（职业暴露）、50 cm（公众暴露），测量点间距 ≤ 50 cm，重点测量门、观察窗、电缆接口。

8.2 光辐射防护强制要求

8.2.1 紫外辐射防护（波长 200 nm~400 nm）

产生紫外辐射的设备（如等离子体设备、紫外固化设备）应设置封闭防护罩，防护罩材质为紫外吸收材料（如石英玻璃+紫外吸收膜），紫外透过率 $\leq 1\%$ ；防护罩应设置联锁装置，防护罩打开时设备断电，且应设置观察窗（紫外吸收型）；操作人员应佩戴紫外防护眼镜（紫外透过率 $\leq 0.1\%$ ）、穿紫外防护服（面料紫外透过率 $\leq 5\%$ ）。

注：采用紫外辐射计（波长范围 200 nm~400 nm，精度 $\pm 5\%$ ），在设备正常运行时，于操作人员工作位置测量；测量点高度为 1.5 m，测量范围为设备周围 3 m 内，每 1 m 设置一个测量点，测量时间 ≥ 10 s。

8.2.2 可见辐射防护（波长 380 nm~780 nm）

强可见辐射设备（如强光灯加热设备、激光指示器）应设置亮度调节装置，公众区域亮度不应大于 1000 cd/m^2 ；设备应设置遮光罩，遮光罩材质为漫反射材料（如哑光塑料），防止强光直射眼睛；操作人员应佩戴防蓝光眼镜（蓝光透过率 $\leq 10\%$ ），长时间暴露时应控制暴露时间（ ≤ 10 min/h）。

注：采用可见辐射计（波长范围 380 nm~780 nm，精度 $\pm 8\%$ ），在设备最大输出功率下测量；测量点包括操作人员眼睛位置（高度 1.5 m~1.7 m）、公众可接近位置，测量视场角为 10° 。

8.2.3 红外辐射防护（波长 780nm~1mm）

红外加热设备（如红外干燥机、红外加热炉）应设置红外屏蔽罩，屏蔽罩材质为金属（如铝板）或红外吸收材料（如陶瓷），红外屏蔽率 $\geq 90\%$ ；设备观察窗应采用红外吸收玻璃（如红外截止玻璃），红外透过率 $\leq 5\%$ （780 nm~3000 nm）；操作人员应佩戴红外防护眼镜（红外透过率 $\leq 1\%$ ）、穿红外防护服（面料红外反射率 $\geq 80\%$ ）。

注：采用红外辐射计（波长范围780 nm~1 mm，精度 $\pm 10\%$ ），在设备额定负荷下测量；测量点间距 ≤ 1 m，重点测量设备开口、观察窗等部位，辐射量不大于限值的80%。

8.3 激光辐射防护要求

8.3.1 一般要求

激光设备（如激光加热机、激光切割设备）产生的相干光辐射能量集中，易造成严重伤害，应根据激光等级采取严格防护措施。激光设备应张贴激光等级标识（如“激光等级4，危险”）。激光光路应避免人员通道，光路高度 ≥ 2.5 m或 ≤ 0.3 m，防止直射眼睛；不应在激光区域放置反光物体，防止激光反射。

8.3.2 3B类激光设备防护

应设置联锁装置，激光光路遮挡物移除时设备断电；设备周围应设置警示区域，警示区域距离激光源 ≥ 2 m；操作人员应佩戴3B类激光防护镜（光学密度 ≥ 5 ，对应激光波长），防护镜应定期检查（周期 ≤ 3 个月）。

8.3.3 4类激光设备防护

应设置全封闭激光工作室，工作室门采用双重联锁（机械+电气），门开启时激光源立即切断；工作室墙壁应采用激光吸收材料（如黑色阳极氧化铝板），激光反射率 $\leq 1\%$ ；操作人员应佩戴4类激光防护镜（光学密度 ≥ 7 ，对应激光波长）、穿激光防护服（面料激光反射率 $\leq 0.1\%$ ）；工作室应设置激光紧急停止按钮，按钮颜色为红色，安装高度1.0 m~1.5 m，间距 ≤ 3 m。

8.4 特殊辐射危险防护强制要求

8.4.1 电离辐射防护（如电子枪设备、X射线检测设备）

电离辐射设备应设置铅屏蔽（厚度 ≥ 2 mm），屏蔽后辐射剂量率 ≤ 0.5 μ Sv/h（公众区域）；设备应设置辐射检测装置（如盖革计数器），剂量率超过2 μ Sv/h时报警并切断电源；操作人员应佩戴个人剂量计（如热释光剂量计），定期检测（周期 ≤ 1 个月），剂量超标时暂停操作。

设置控制区（剂量率 > 20 μ Sv/h）和监督区（剂量率2 μ Sv/h~20 μ Sv/h），控制区应设置门禁，仅授权人员进入；区域边界应张贴“电离辐射危险”标识。

8.4.2 复合辐射防护（如同时产生电磁辐射和光辐射的设备）

采用组合防护装置，如电磁屏蔽+红外屏蔽一体化外壳，同时降低多种辐射；操作人员应佩戴复合防护用品，如防电磁辐射手套+红外防护眼镜。

9 电源应急防护要求

9.1 电源控制要求

9.1.1 电源开关与控制器

9.1.1.1 电源开关应符合 GB/T 14048.1 的规定。

- a) 工频设备开关应能承受 10 倍额定电流的短路电流，分断时间不应大于 0.1 s。
- b) 高频设备开关应选用高频专用开关，防止高频电弧导致开关损坏。
- c) 主电源开关应安装在操作人员易触及的位置，且应有清晰标识。
- d) 多个开关应分区布置，避免误操作，急停开关应单独布置，颜色为红色。

9.1.1.2 控制器要求：

- a) 温度控制器、功率控制器应选用具有故障诊断功能的器件，参数超限时发出报警；
- b) 控制器的设定值应锁定，防止误调节；
- c) 控制器应具有断电记忆功能，断电后重新上电时，参数不丢失且设备处于停止状态（GB/T 5959.1-2019，14.4）。

9.1.2 电源连接与布线

电源进线应采用橡胶套电缆或聚氯乙烯电缆，电缆应通过专用进线孔进入设备，进线孔应设置绝缘衬套，防止电缆磨损；进线电缆应固定牢固，固定点间距不应大于 500 mm，且应远离高温部件（距离 ≥ 100 mm）。

动力回路与控制回路应分开布线，间距不应小于 50 mm，或采用屏蔽电缆隔离；布线应沿布线槽或线管敷设，布线槽/线管应光滑无锐棱，导线绝缘不应损伤；导线标识应清晰、永久。

9.2 应急切断强制要求

9.2.1 应急切断装置的一般要求

应急切断装置应具有自锁功能，动作后应手动复位；装置的额定电流和额定电压不应小于设备的额定电流和额定电压，分断时间不应大于 100 ms。

应急切断装置应安装在操作人员易触及的位置，无障碍物遮挡；大型装置应设置多个应急切断装置，间距不应大于 3 m，且任意位置到最近装置的距离不应大于 1.5 m；装置应有清晰标识。

应急切断装置动作时，应切断设备所有危险回路，不应仅切断控制回路；装置动作后，设备应处于安全状态，且复位后不应自动重启；装置应具有故障诊断功能，自身故障时应发出报警。

9.2.2 应急切断的应用场景

工业电热装置在下列情况之一下，应安装应急切断装置：

- a) 加热元件断电后，余热仍可能导致危险时；
- b) 运动设备的制动装置失效时；
- c) 存在多个独立危险单元且无法通过一个常规开关切断所有危险单元时，应单独设置应急切断装置，同时应设置总应急切断装置；
- d) 切断单个危险单元会产生附带危险时，需应急切断所有关联单元，应急切断逻辑应在使用说明书中明确；
- e) 控制台无法全面监视所有危险区域时，应在监控盲区设置应急切断装置，盲区应急切断装置应与控制台报警系统联锁，动作时控制台应发出声光报警。

9.3 特殊电源控制防护强制要求

9.3.1 高压设备电源控制（电压 > 1000 V）

高压设备电源控制应符合IEC 62271系列标准及以下规定：

- a) 高压开关额定电压不应小于设备额定电压的 1.1 倍，额定电流不应小于设备额定电流的 1.2 倍；
- b) 开关应设置联锁装置，接地开关未闭合时高压开关不应合闸，高压开关未分闸时接地开关不应闭合。
- c) 设备停电后应接地，接地开关应能承受短路电流，分断时间不应大于 0.1 s；接地导体截面积不应小于 25 mm²（铜），接地电阻不应大于 0.5 Ω。
- d) 高压区域应设置“高压危险”警告标识和声光报警装置，电压大于 10 kV 时报警装置应与高压开关联锁，开关合闸时报警；操作人员应佩戴高压绝缘手套、穿高压绝缘鞋。

9.3.2 移动式设备电源控制

移动式设备电源应符合以下要求：

- a) 移动式设备电源线应采用防水型橡套电缆，电缆长度不应大于 10 m，机械强度应能承受 100 N 拉力；
- b) 电源线应配备漏电保护插头，剩余电流动作值不应大于 30 mA，动作时间不应大于 0.1 s；
- c) 移动式设备应设置防水型电源开关；设备倾斜超过 30° 时，开关应自动断开；
- d) 电池供电的移动式设备，充电器应采用恒流恒压充电模式，充电电流不应大于电池额定容量的 0.3C；充电器应设置过充保护，电池电压超过额定电压的 1.2 倍时应停止充电。

10 安全信息要求

10.1 铭牌要求

设备铭牌应永久固定在设备明显位置，铭牌内容应至少包括：

- a) 制造商信息：制造商名称、地址（有效联系方式）、原产地；
- b) 产品信息：产品名称、型号、序列号、制造日期、修改年份（如有）；
- c) 电气参数：
 - 1) 额定电压或电压范围（单位：V），星-三角联接设备应标明两种额定电压；
 - 2) 电源种类符号（如~、=），标有额定频率的可不标；
 - 3) 额定电流（单位：A）或额定输入功率（单位：W 或 kW）；
 - 4) 额定频率或频率范围（单位：Hz）；
- d) 安全参数：防护等级。

10.2 警告标志要求

10.2.1 标志设计与位置

警告标志的要求包括但不限于以下方面。

- a) 警告标志的设计应符合 ISO 3864-1 的规定，图形符号应符合 GB/T 5465.2 或 GB/T 16273.1 的规定。
- b) 警告标志应牢固安装在：
 - 1) 危险区域的入口处；
 - 2) 危险部件附近；
 - 3) 应急装置附近。

10.2.2 警告标志种类

设备应设置的警告标志包括但不限于：

- a) 电击危险：设置在电气控制柜、高压部件附近；
- b) 高温危险：设置在高温表面、加热元件附近；
- c) 电磁辐射危险：设置在电磁辐射区域入口处；
- d) 激光危险：设置在激光设备工作室入口处；
- e) 机械危险：设置在运动部件、飞射物风险区域附近；
- f) 急停标志：设置在急停按钮附近；
- g) 禁止标志：如“禁止吸烟”“禁止靠近”，设置在易燃区域、危险区域入口处。

10.3 安全信息维护

应定期对铭牌和警告标志进行维护，如需更换的铭牌应与原铭牌一致。设备移动或改造后，应重新检查标志位置，必要时应增设标志。
