



中华人民共和国国家标准

GB/T 10066.1—2019
代替 GB/T 10066.1—2004

电热和电磁处理装置的试验方法 第 1 部分：通用部分

Test methods for electroheating and electromagnetic processing installations—
Part 1: General

(IEC 60398:2015, Installations for electroheating and electromagnetic
processing—General performance test methods, MOD)

2019-08-30 发布

2020-03-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

 3.1 通用术语 1

 3.2 能效 2

 3.3 状态和零部件 2

 3.4 工作负荷 3

4 对试验和试验条件的基本要求 3

 4.1 试验的目标 3

 4.2 试验结果的交流和使用 4

 4.3 用能系统的试验边界 4

 4.4 试验的一般要求 5

 4.5 试验期间的运行条件 5

 4.6 试验期间的环境条件 6

 4.7 电源电压 6

 4.8 测量仪表 6

5 设备或装置的比较 6

6 基本测量和工作负荷 7

 6.1 概述 7

 6.2 时间分辨率 7

 6.3 频率的测量 7

 6.4 电参数的测量 7

 6.5 温度的测量 8

 6.6 环境温度的测量 8

 6.7 压力、湿度或流体成分的测量 9

 6.8 真空度的测量 10

 6.9 工作负荷 10

7 数值模型 11

8 试验项目 11

 8.1 一般要求 11

 8.2 冷态试验项目 11

 8.3 热态试验项目 12

9 试验方法 13

 9.1 概述 13

 9.2 外观检查 13

| | | |
|------|----------------------|----|
| 9.3 | 绝缘电阻的测量 | 13 |
| 9.4 | 绝缘耐压试验 | 13 |
| 9.5 | 控制电路试验 | 14 |
| 9.6 | 冷却系统试验 | 14 |
| 9.7 | 气路系统试验 | 14 |
| 9.8 | 液压系统试验 | 15 |
| 9.9 | 运动机构运转或动作情况的冷态试验 | 15 |
| 9.10 | 安全联锁和报警系统的试验 | 15 |
| 9.11 | 真空试验 | 15 |
| 9.12 | 受热构件表面温度的测量 | 16 |
| 9.13 | 冷却液流量的测量 | 16 |
| 9.14 | 冷却液温升的测量 | 16 |
| 9.15 | 运动机构运转或动作情况的热态试验 | 16 |
| 9.16 | 工作真空度的测量 | 16 |
| 9.17 | 不同运行阶段电耗和功率的测量 | 16 |
| 9.18 | 累积电耗和峰值功率测量 | 17 |
| 9.19 | 设备产能(净生产率)的测定 | 18 |
| 9.20 | 电源电压对性能影响的测量 | 18 |
| 9.21 | 预期运行的加工范围的测定 | 18 |
| 9.22 | 被处理工作负荷表面性能的测定 | 19 |
| 9.23 | 装置能效的测定 | 20 |
| 9.24 | 声级测量 | 22 |
| 9.25 | 热态试验后的外观检查 | 22 |
| 附录 A | (资料性附录) 能效评估 | 23 |
| A.1 | 使用本部分进行能效评估 | 23 |
| A.2 | 策划-实施-检查-改进(PDCA)周期法 | 23 |
| A.3 | 比较、分类及标记 | 23 |
| A.4 | 与 ISO 13579-1 的比较 | 24 |
| 附录 B | (资料性附录) 能效有关情况的直观图示 | 25 |
| B.1 | 概述 | 25 |
| B.2 | 能量平衡的桑基图 | 25 |
| B.3 | 时间分辨功率使用图 | 25 |
| 附录 C | (资料性附录) 能回效率 | 27 |
| 附录 D | (资料性附录) 用能评估 | 28 |
| D.1 | 概述 | 28 |
| D.2 | 最小能耗 | 28 |
| D.3 | 保温功率 | 29 |
| D.4 | 传输损失和传输效率 | 29 |
| D.5 | 示例 | 30 |
| 参考文献 | | 31 |

前 言

GB/T 10066《电热和电磁处理装置的试验方法》分为以下部分：

- 第 1 部分：通用部分；
- 第 3 部分：有心感应炉和无心感应炉；
- 第 31 部分：高频感应加热装置发生器输出功率的测定；
- 第 4 部分：间接电阻炉；
- 第 5 部分：电热和电化学用等离子体设备；
- 第 6 部分：工业微波加热装置输出功率的测定方法；
- 第 7 部分：具有电子枪的电热设备；
- 第 8 部分：电渣重熔炉；
- 第 9 部分：高频介质加热装置输出功率的测定；
- 第 10 部分：直接电弧炉；
- 第 11 部分：埋弧炉；
- 第 12 部分：红外电加热装置。

……

本部分为 GB/T 10066 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 10066.1—2004《电热设备的试验方法 第 1 部分：通用部分》，与 GB/T 10066.1—2004 相比，主要技术变化如下：

- 范围扩大至包括材料的电磁处理装置和设备（见第 1 章）；
- 修改了规范性引用文件以及术语与定义的引导语及相关内容（见第 2 章、第 3 章）；
- 增加了包括有关用能系统试验边界、设备或装置的比较、工作负荷、数值模拟、能（功）耗和能效、预期运行的处理范围以及被处理工作负荷表面性能的条款和相关试验方法，相应增加章条或改变原章条名称；
- 删除了“电磁兼容性的测量”和“废气（包括粉尘）的测量”两项试验项目及其试验方法（见 2004 年版的 7.2.5 和 7.2.7）；
- 增加了有关能效的评估和图示、能回效率和用能评估的资料性附录（见附录 B、附录 C 及附录 D）。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 60398:2015《电热和电磁处理装置 通用性能试验方法》。

本部分与 IEC 60398:2015 相比，在结构上增加了 4.8、6.6、6.8、8、9.2～9.16、9.24、9.25，相应条号顺延。

本部分与 IEC 60398:2015 的技术性差异及其原因如下：

关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中，具体调整如下：

- 用等同采用国际标准的 GB/T 5959.1—2019 代替了 IEC 60519-1；
- 增加引用了 GB 5226.1；

——增加了“设备产能”术语和定义，为了便于标准使用者使用（见 3.1.3）；

增加了对试验用测量仪器的要求（见 4.8）；

——增加了“环境温度的测量”，为了满足国内实际需要（见 6.6）；

- 增加了“真空度的测量”(见 6.8);
- 增加了“试验项目”, (见 8 章), 为了更具有操作性;
- 关于试验方法, 为了确保试验项目的完整性, 以适应我国的技术条件, 具体调整情况如下:
 - 增加了“受热构件表面温度的测量”试验(见 9.12);
 - 增加了“冷却液流量的测量”试验(见 9.13);
 - 增加了“冷却液温升的测量”试验(见 9.14);
 - 增加了“运动机构运转或动作情况的热态试验”(见 9.15);
 - 增加了“工作真空度的测量”试验(见 9.16);
 - 增加了“声级测量”试验(见 9.24);
 - 增加了“热态试验后的外观检查”试验(见 9.25)。

本部分还做了下列编辑性修改:

- 为与我国标准体系一致, 将本部分名称改为《电热和电磁处理装置的试验方法 第 1 部分: 通用部分》。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国工业电热设备标准化技术委员会(SAC/TC 121)归口。

本部分起草单位: 西安电炉研究所有限公司、苏州振吴电炉有限公司、安徽汉和电气有限公司、天龙科技炉业(无锡)有限公司、东莞市海天磁业股份有限公司、阿普(江山)电炉工业工程有限公司、国家电炉质量监督检验中心、西安中冶新材料有限公司、中国热处理行业协会。

本部分主要起草人: 李琨、葛华山、朱兴发、肖尚发、毛润辉、赵立文、余维江、邹朝辉、卢子忱、许昭君、童斌斌、庞河临。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

GB 4001 1983;

- GB/T 10066.1—1988、GB/T 10066.1—2004。

电热和电磁处理装置的试验方法

第1部分:通用部分

1 范围

GB/T 10066 的本部分规定了用于确定各类电热(EH)或材料电磁处理(EPM)的工业装置和设备的主要性能参数和主要运行特性的基本试验步骤、试验条件和试验方法。

本部分适用于上述装置和设备的试运行、设计改进的验证或与能量有关的任务,包括确定能量使用或能效的基准点和进行标记。本部分的某些概念能直接作为关键性能指标。

本部分不适用于家用和类似用途的电烹调 and 电加热装置;也不适用于家用和工业用房间取暖、钎焊、焊接或其他类似用途的设备和器具以及用于农业和加热道路、桥梁、停车场或任何形式的空间加热的电热设备。

特殊类型的电热或材料电磁处理设备和装置的详细试验方法不在本部分的范围内,而在其相应特殊试验方法中规定。本部分可供今后所有特殊类型的电热或材料电磁处理设备或装置的试验方法作一般参考。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 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 5226.1 2008, IEC 60204-1:2005, IDT)

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 5959.1 2019, IEC 60519-1:2015, IDT)

GB/T 23331 能源管理体系 要求(GB/T 23331—2012, ISO 50001:2011, IDT)

ISO/IEC 13273-1 能效与可再生能源 一般国际术语 第1部分:能效(Energy efficiency and renewable energy sources—Common international Terminology—Part 1:Energy efficiency)

ISO/IEC Guide 99 国际计量学词汇 基本和通用概念及相关术语(VIM)[International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms (VIM)]

3 术语和定义

GB/T 5959.1 2019、ISO/IEC 13273-1、GB/T 23331、ISO/IEC Guide 99 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 ISO/IEC 13273-1 中的某些术语和定义。

注:一般定义在 GB/T 2900(所有部分)中给出,与工业电热相关的术语在 GB/T 2900.23 中定义。

3.1 通用术语

3.1.1

用能系统 energy using system

具有确定系统边界的,使用能源的实体或组织。

注：一个用能系统可能是一个工厂、一个过程、一个过程的一部分、一个建筑、一个建筑的一部分、一台机器、一台设备、一个产品等。

[ISO/IEC 13273-1:2015, 定义 3.1.11]

3.1.2

系统的边界 **system boundary**

为某所述用途,由某组织规定的实体或场所界限和/或组织的界限。

示例：一个过程,一组过程,一个场所,一个完整组织,由某组织控制下的多个场所。

注：所述用途可能涉及一个管理系统,或能量评估的边界或特定的测量和验证工作的边界。

[ISO/IEC 13273-1:2015, 定义 3.3.2]

3.1.3

设备产能 **production rate**

设备正常运行时的生产率大小的度量。

3.1.4

预期的工作负荷质量 **intended workload quality**

被处理工作负荷的一组固有特性满足要求的程度。

注：不能达到预期质量的工作负荷被认为是废料或需做返工处理。

3.1.5

加工范围(电热或材料电磁处理装置的) **processing range(of EH or EPM installation)**

设定参数的上限和下限间的范围,在该范围内被处理工作负荷即达到预期的质量。

3.2 能效

3.2.1

能效 **energy efficiency**

性能、服务、商品或能量的输出值与能量的输入值之比或其他的数量关系。

示例：转换效率,需要能量/所用能量,输出/输入,理论运行能量/实际运行能量。

注：输入和输出在数量和质量上均需明确规定,并可测量。

3.2.2

能量强度 **energy intensity**

用于表示产生单位产量、活动、经济价值或服务所需的总能量。

示例：产生每元或每万元(人民币)GDP(国内生产总值)所需的能量(千兆焦耳)；产生单位营业额所需的能量(千兆焦耳)。

[ISO/IEC 13273-1:2015, 定义 3.1.16]

3.2.3

单位能耗 **specific energy consumption**

用于表示产生单位产量、活动或服务所需的总能量。

示例：生产每吨钢所需的能量(千兆焦耳)；每平方米(m²)的年耗电量(kWh)；每千米(km)所需燃料(L)。

[ISO/IEC 13273-1:2015, 定义 3.1.17]

3.2.4

加热效率(电热或材料电磁处理设备的) **heating efficiency(of EH or EPM equipment)**

在一个间歇式运行或固定运行周期内,工作负荷有用焓的增加与供给它的电能之比。

3.3 状态和零部件

3.3.1

冷态起动 **cold start-up**

对设备进行供电使其从冷态进入热待机状态的过程。

注：这种运行模式适用于为了使设备获得可对工作负荷进行实际加工的状态而需要大量电耗的情况。

3.3.2

保温功率 **holding power**

用于将工作负荷保持在规定温度下的处理室或处理区中所消耗的电功率。

注1：通常在一段时间内维持温度不变以均匀工作负荷的温度。

注2：保温功率不适用于所有的电热或材料电磁处理装置。

3.3.3

热待机运行 **hot standby operation**

装置刚正常运行结束后所处的运行模式。

注：装置的这种运行模式是其维持在热状态下，没有工作负荷，并为立即投入正常运行做好准备。

3.3.4

关停运行 **shut-down operation**

装置被安全地切断电源进入冷态的过程。

3.3.5

进出口(进口或出口) **port(entrance or exit)**

处理室或封闭空间的开口，工作负荷可通过其进出。

3.3.6

进出门 **means of access**

电热或材料电磁处理装置的一个结构件，它不需要使用工具就能打开或移动，以便进出的装置。

3.4 工作负荷

3.4.1

预期工作负荷 **intended workload**

正常工作负荷 **normal workload**

按制造厂文件中的规定对其进行预期处理的物体。

示例：预期工作负荷包括用于处理所需的任何容器、夹持器或其他装置，它们直接或间接地承受输出功率。

3.4.2

假工作负荷 **dummy workload**

设计用来通过吸收有用输出功率来精确测量焓增加的，热特性已知的人造工作负荷。

3.4.3

性能试验工作负荷 **performance test workload**

为判别处理结果而设计的，人造的或部分人造的工作负荷。

4 对试验和试验条件的基本要求

4.1 试验的目标

本部分提供有关下列的试验：

- 处理的结果；
- 维护性能或预期的工作负荷质量；
- 系统的能量使用；
- 其他资源的使用。

在所有情况下，系统边界的定义为强制性的并应成文。

处理的具体结果、预期的工作负荷质量和处理后的最低维护性能通常是由制造厂和用户规定。

注：详细内容可能会超出本部分的范围，甚至超出电热和材料电磁处理设备特殊试验标准的范围。

本部分确定了系统能源使用评估所需的全部通用试验，这些试验为下列参数或要求提供基本数据：

- a) 按制造厂和用户的商定测定能量强度或单位能耗；
- b) 与能效相关的服务，如比较，标记或分类(参见附录 A)；
- c) 测定能量性能指标(参见附录 A)；
- d) 根据 GB/T 23331 进行与能源管理相关的测试。

附加试验可在制造厂出具的调试和运行手册中规定或可由制造厂和用户商定。

4.2 试验结果的交流和使用

本部分规定的测量和试验所得的数据能用于许多不同的目的或服务。某些服务还同时提供了它们自己规定的对文件资料数量和深度的最低要求以及对交流的要求。

本部分对每项单独试验文件提供了最低要求，能针对不同的目的使用和重复使用这些数据。只有很好记录的数据是可信的，并能及时或在不同的装置之间进行比较。

如何将数据图示化方面的信息参见附录 B。

4.3 用能系统的试验边界

4.3.1 一般考虑

以下基本规则适用：

- 所有发电或输电到装置的那部分用能被排除在外；
- 装置部分的或装置从事预期处理所需的所有用能应被包括。

应考虑下列预期工艺中的用能：

- a) 在计算所用的和损失的能量时，应包含蒸汽、空气或任何其他气体压缩或释压的用能；
- b) 处理工作负荷中涉及的任何反应性气体的放热式或吸热式化学能应包含在内；
- c) 处理工作负荷中由任何过度的反应性和/或惰性气体的冷却作用用能应被包括；
- d) 用于将被处理工作负荷冷却至环境温度的用能，或作为正常操作的一部分而做进一步处理的用能应被包括，但在计算所用的和损失的能量时应单独叙述。如果这种热能的一部分被返回到装置或处理过程，则这种回收的热能应单独进行记录，以便与同类别但不具有这种功能的其他装置进行比较。处理过程之外所用热能不应包括在报告中(参见附录 C)。

4.3.2 间歇式装置

间歇式装置的特点是不连续处理，预期的处理发生在一个特定的位置或在处理室内。如果设有进出门，则这些进出门被打开，工作负荷被放入装置的一个处理室内然后接受正常的操作处理。处理结束时，进出门再次被打开，工作负荷被移出处理室，进出门关闭，装置将进入热待机运行，或者在置换工作负荷后直接开始对另一个工作负荷的处理。

正常运行包括运行周期的一个处理阶段，同时在这个周期内，也可能包括下列所述的一个或多个子过程：

- 关闭和开启进出门；
- 处理室加压；
- 工作负荷的移动或传送，例如包括在运行过程中的旋转或摆动；
- 工作负荷在规定温度下保温规定时间；
- 引入反应性或保护性气体进入处理室，包括沉积处理；
- 工作负荷的自然冷却或强迫冷却，例如，为了避免受热工作负荷曝露在大气中会受到损坏或沸

腾,冷却是必要的。

执行这些子过程所用的能量应被包括在内。相关过程的装置空间边界规定如下:

- a) 在正常运行之前放置工作负荷的进口位置,或用来将工作负荷传送进处理室或处理位置的设备;该设备是装置的一部分,它的用能应被包括。
- b) 在正常运行之后放置工作负荷准备移走的出口位置,或用来将工作负荷移出处理室或处理位置的设备;该设备是装置的一部分,它的用能应被包括。
- c) 上述 a) 和 b) 间所有设备的用能,例如包括所有的开关设备、泵和处理所需的冷却设备。

注:对在非大气压或不同于空气的其他气氛下运行的设备,电热或材料电磁处理装置与任何其他装置之间的边界通常是阀;其中工作负荷闸阀(由两个阀组成,用于在不同气氛中传送工作负荷)通常是电热或材料电磁处理装置的一部分。

有关测量的间歇式运行周期应在热待机运行后开始。

4.3.3 连续式装置

连续式装置的特点是连续或半连续处理。工作负荷通过装置的处理区域传送,该区域可能是装置的一个处理室。工作负荷被连续传送通过装置内部各位置进行处理,例如,在板材反复轧制装置中。大多数装置在没有工作负荷传送时处于待机运行,对许多热加工这可能为热待机运行状态。

正常运行包括一个处理阶段,可能为一个或多个下列的子过程,它们通常发生在装置内部不同的空间位置:

- 工作负荷在规定温度下进行保温;
- 引入反应性或保护性气体,包括沉积处理;
- 工作负荷的自然冷却或强迫冷却,如为了避免热工作负荷曝露在周围大气中受损害,应进行冷却。

只有在有必要对处于装置主要部分中的工作负荷进行冷却或减压时,执行这些子过程所用的能量应被包括在内。这时装置的边界规定如下:

- a) 进口和出口;
- b) 进出口间所有设备,如包括所有的开关设备、泵、装置运行所需的冷却设备。

单独运行装置的传送或轧制的电耗包括在用能中,在计算时应单独说明。

4.4 试验的一般要求

为确保安全,试验期间应按照 GB/T 5959.1—2019 和相应特殊部分中的有关安全要求以及制造厂的使用说明。

第 9 章中规定的有关特性和参数的试验应在下列情况下在电热和材料电磁处理装置处于热态下进行:

- 在试运行期间;
- 当装置准备投入正常运行时;
按制造厂规定定期进行;
- 在维修后;
- 修改后。

负责执行测量或试验的人员应经过全面培训以便进行准确试验,并有足够的时间和资源按本部分的预期和规定来进行测量和试验。

4.5 试验期间的运行条件

试验期间的运行条件应在正常运行条件的范围内,从而反映出制造厂对装置的预期使用,同时排除

极端使用方式、故意误用或未经授权的修改装置或其运行参数。

4.6 试验期间的环境条件

所有试验应在以下环境条件下进行：

在标准环境条件下，环境温度在 5℃～40℃之间的范围内，相对空气湿度小于 95%，海拔低于 1 000 m；或

装置的使用场地符合当地现有和规定的环境条件。

环境条件不应超出装置预期使用的规定。在试验期间，所有会影响测量结果的环境条件应被监控和记录，包括：

- a) 通往处理室空气进气口区域的温度和湿度(如果相关)；
- b) 进入装置的冷却空气的温度和湿度；
- c) 外排空气温度和湿度(如果与能量平衡计算有关)；
- d) 进入装置时工作负荷的温度；
- e) 进入装置时工作负荷的水分或溶剂含量(如果适用)。

4.7 电源电压

电源电压不应超过预期使用的规定范围。

注：额定电源电压范围由制造厂和用户商定。按 IEC 60038 中的规定，通常电源电压与标称值的偏差不宜超过 ±10%。

试验期间，应监视装置的电源电压。

4.8 测量仪表

试验中所用的所有测量仪表和传感器应是合适和经校验的。

测量时应严格遵守测量仪表的操作说明。

所有测量仪表的准确度应符合本部分和有关特殊试验方法标准的规定；或无规定时，应由制造厂和用户商定。

5 设备或装置的比较

确定基准点和标记可作为设备之间进行直接比较的服务性工作。同样也适用于不同设备种类某一特殊过程的评估。设备之间以下差异可能会导致试验结果的不同，尤其是有关单位用能方面：

- a) 工艺详情(例如，处理频率或能量传递给工作负荷的方式)；
- b) 作业方式(间歇式或连续式)；
- c) 设备容量，尤其对同类设备；
- d) 工作负荷的尺寸或质量；
- e) 设备详情(如规格)；
- f) 装置周围的环境条件(如平均温度和湿度及其波动，或海拔高度)；
- g) 电能的供给形式(从输电网或现场发电设备)和安全传输(输入电压的波动和波形)，9.20 提供了处理过程与电源电压相关性的试验。

所有以上列出中有关的或其他可能会影响比较的因素都应作为所有试验文件的一部分。

只有当某些方面是可变的而其他方面保持不变时，比较才是有用的。在同一种类设备间或不同种类设备间进行比较时，宜使用相同的工作负荷。

一般情况下，制造厂考虑到工作负荷和设置会有某些变化，因此对比试验可用相同的工作负荷来

做,工作负荷在制造厂技术文件的规定范围内选择以便设备或装置正常运行。

用于试验的工作负荷的技术要求应作为试验报告的一部分。

与实际被处理工作负荷的加热有关的容器、夹持件或其他设备的加热会在某一设备种类中变化。这种情况下,试验期间工作负荷焓的增加应区分包括和不包括处理所需的容器、夹持件或其他设备这两种情况并应做详细记录。

6 基本测量和工作负荷

6.1 概述

对本部分规定的试验,宜做多次测量。对多次以时间分辨的测量应使用数据记录器或多通道电子数据采集系统,它可自动测量并以计算机可读的格式存储需要的数据。

6.2 时间分辨率

测量设备所需的时间分辨率和存储设备的数据存储率取决于装置和将要进行的具体试验。测量和存储频率应非常高以便记录所有的有关信号的变化。

6.3 频率的测量

本部分所涉及的设备频率范围是 0 Hz~光辐射频率(高达 30 PHz)。通常,任何频率(或波长)测量的准确度应足以可靠区分有关差异。

详细内容可参考特殊试验方法标准。测量准确度的评估应包含在试验报告中。

6.4 电参数的测量

6.4.1 电源电压

所有电数值如功耗或电流的测量报告,应包括测量期间电源电压的数值。

6.4.2 电压、电流、电功率、功率因数和电阻

除非在特殊试验中另有规定,在工频及较低频率段,用于测量电压、电流、功率和电阻的设备准确度应达到 1.0 级。除非在特殊试验中另有规定,所有电能测量的设备应达到 2.0 级或更好。

电压和交流电流电路的测量设备应能显示真实的有效值而与其波形无关。

对单相系统或实际上是对称和平衡的三相系统,功率因数可由有功功率和视在功率的测量值确定,也可用两瓦特表法测定,或可由同一期间所消耗的有功和无功电能的测量值确定。

注:在有谐波分量时,可按 GB/T 3859.1—2013 的 6.2.3 给出基波功率因数或称位移因数 $\cos\phi_1$ 。

如适用,电阻测量设备应使用四点探头。所用探头的类型应写入试验报告。

6.4.3 测量位置

所有电数值的测量为装置所用能量或功率试验的一部分,应在以下位置进行:

- a) 装置供电输入端;
- b) 开关设备的功率输出端,或连接到处理设备的电压或电流源处,或产生处理频率的变频器的供电处;
- c) 如果有关,连接到任何辅助设备的开关设备各自的功率输出口。

特殊的测量点可在装置制造时设置。测量设备可能是开关设备的一部分,其用能为开关设备用能的一部分。

6.5 温度的测量

6.5.1 概述

测温设备的类型取决于任务、温度范围、被测表面或体积的情况或它们可接近的难易程度等。

温度高于 20 °C 时,符合本部分的所有温度测量的相对测量误差不应超过被测值的 5%(°C)。测量准确度的评估应包含在试验报告中。

注:德国 VDI/VDE 3511 系列标准给出了工业领域最佳测温实践的有关情况。

6.5.2 接触式热电偶

接触式热电偶使用简单、可靠,并能提供十分精确的测量结果,条件是:

——如果与被测对象表面有不可分开的紧密接触;并且
——被测对象具有足够大的质量,并且与热电偶之间有良好的导热性。

但它们通常不能在交变磁、高频和微波场内使用,因此需要使用其他方法如温度敏感漆和光纤传感器。

如果采用热电偶测温,应按以下方式进行固定:

- a) 在整个测量时间内,热电偶应与工作负荷有紧密的、低热阻接触;
- b) 热电偶不会影响装置内部的辐射或对流;
- c) 只有在高温测量不可行时,才能将热电偶安装在假工作负荷的辐射表面上。

可以采用以下材料或方法固定热电偶:

——高达 400 °C 的聚酰亚胺基粘黏胶带;
——水泥或耐热胶水;
——金属焊料;
——热黏合到热塑性材料上;
——把热电偶放入钻孔中。

6.5.3 热成像法

高温计和红外热像仪总称热成像法,可用于以下场合:

——所有升温表面;
——提供众所周知的表面辐射系数;
——该表面被认为是遵循朗伯定律,即角辐射率余弦定律;
——当波长范围由用于保护发热源并处于发热源与设备之间的光通道上的管子或窗口材料传输时。所用的辐射率值、测量波长及辐射率的假定误差都应包括在所有的测量报告中。

6.5.4 漆或蜡笔标记的颜色变化

特定的漆或蜡笔(统称为热涂料)在加热期间其颜色会有不可逆的改变。颜色的变化取决于最高温度和在最高温度下经历的时间的综合结果。一个好的应用实践是:

——用热涂料在工作负荷的一侧涂点;
——工作负荷有涂点的一侧不暴露在强烈光辐射或可能导致热涂料过热或分解的其他作用之中。
通常需要针对试验所用的处理参数对温度敏感颜色指示漆的颜色进行校准。

6.6 环境温度的测量

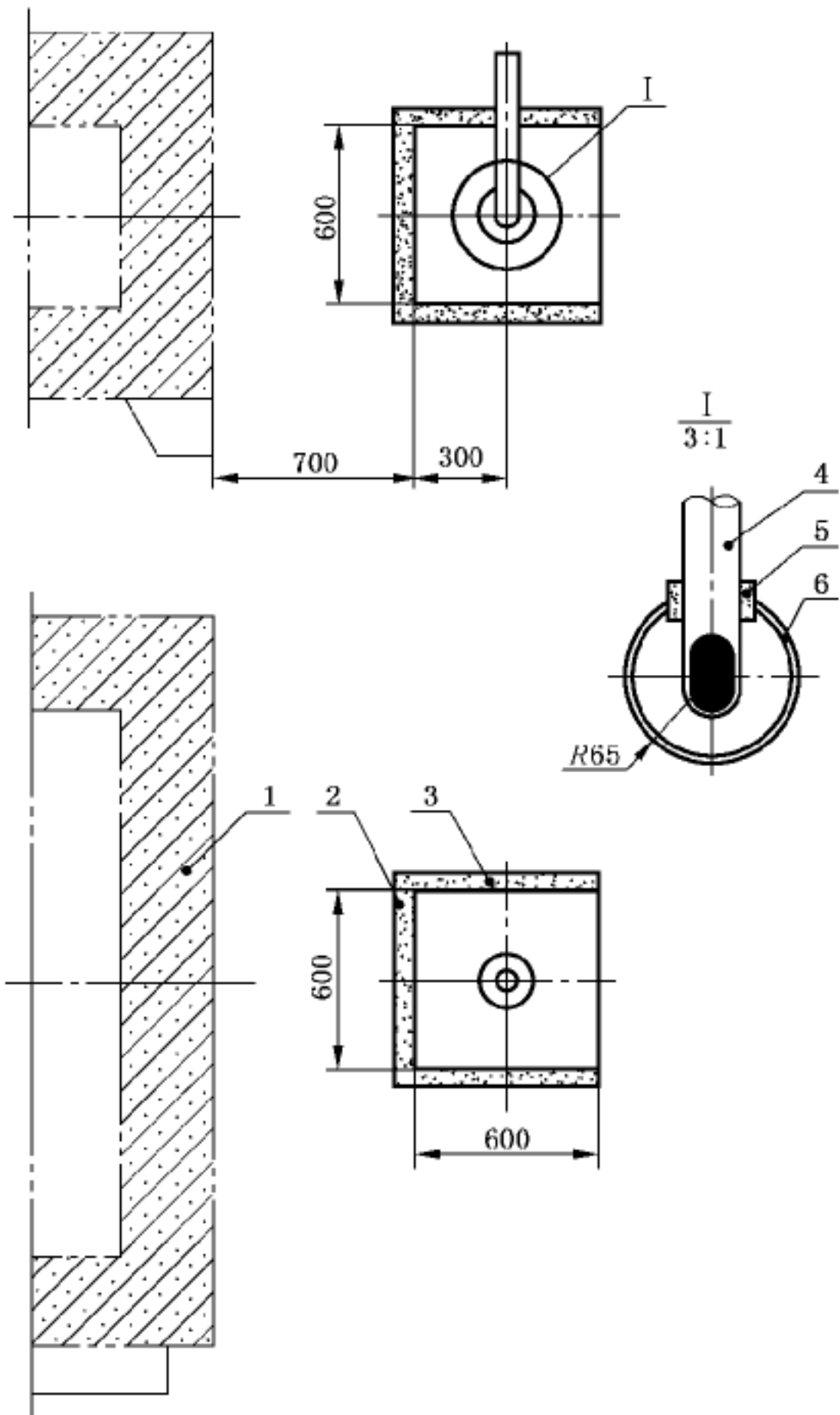
环境温度用放置在距电热装置适当远、无气流处的玻璃温度计测量(见图 1),或用给出相同结果的

其他仪表测量。对电阻炉,温度计通常放置在距炉子后墙中心 1 m 远处。对其他电热设备,该距离必要时可在特殊的试验方法标准中规定或由制造厂和用户商定。在温度计与电热装置之间应当用一个箱形隔热罩隔开(见图 1,图中 1 m 的距离适用于一般电阻炉)。隔热罩对着电热装置的一面应贴附光亮的金属箔。

测量湿度用的干湿球湿度计的干球温度计,也可用来测量环境温度。

在有必要对环境温度进行自动监测和记录时可用铂电阻温度计和相应的仪表。铂电阻温度计应设置在图 1 球壳的中心部位。

单位为毫米



说明:

- 1——炉墙;
- 2——光亮的金属箔;
- 3——隔热罩;
- 4——玻璃温度计;
- 5——塞子;
- 6 厚 0.2 mm 铜皮制球壳(外表面涂黑)。

图 1 环境温度测量布置图

6.7 压力、湿度或流体成分的测量

以下数据可能会影响本部分中规定的试验:

实际的环境压力;

- 实际的环境湿度；
- 处理设备中的压力、湿度及气体成分。

用于测量的设备类型取决于温度范围和可接近性。

如果压力、湿度或流体成分的变化会影响试验,应对其进行测量。这些测量的相对测量误差应足够小,以区分有关影响。测量准确度评估应包含在试验报告中。

6.8 真空度的测量

按真空炉真空度的高低和测量范围分别用电离真空计、电阻真空计(pirani 真空计)等测量。仪表的测量准确度应在所测真空度值的 25% 范围内。

6.9 工作负荷

6.9.1 概述

对许多过程,最终的结果与实际工作负荷的总焓增加无直接关系。根据预定的过程和测量效果,使用下列不同类型的工作负荷:

- 预期的工作负荷;
- 假工作负荷或;
- 性能试验工作负荷。

测量焓增加的方法应在测试报告清楚地说明。

在某些情况下,使用假工作负荷进行焓增加测量是没有意义的或无法进行,例如对表面沉积、焊缝退火和激光切割过程,其工作负荷的处理均匀度比总焓的增加更重要。在使用假工作负荷对同类型设备进行比较时,其结果基本相同,但使用预期的工作负荷时其产品质量会有很大的不同。在这种情况下,预期的工作负荷可能是比较试验中唯一现实的工作负荷。

6.9.2 使用假工作负荷的焓测定

经有关方同意可使用假工作负荷。假工作负荷的设计应简单和使用可靠,并且与预期的工作负荷相比,其使用不应引入额外的危险。

用于测量焓增加的假工作负荷的技术要求和方法应在试验报告中明确规定。

假工作负荷的应用通常不考虑最终产品质量。虽然总焓增加是一个相关变量,但使用正常工作负荷可能会产生有关再现性或焓测量准确度方面的问题。

鉴于制造厂通常不会对假工作负荷或其使用做出规定,试验操作方应采取相应的安全防护措施。

6.9.3 性能试验工作负荷的使用

鉴于制造厂通常不会提供性能试验工作负荷的技术要求,试验操作方应采取相应的安全防护措施。

性能试验工作负荷应在预期处理的结果不仅有焓的增加而另有其他效果时使用。它们可用于调查不同被测试设备之间的任何显著的性能差异。如果认为有意义,则性能试验工作负荷和假工作负荷两者都可使用。

性能试验工作负荷的技术要求和测试程序以及用于性能评估的参数和标准应写入测试报告中。

6.9.4 性能试验工作负荷的准备

性能试验工作负荷应是一个已准备好的预期工作负荷,或应考虑以下要求进行准备:

- a) 表面应模仿预期工作负荷的表面特性;
- b) 尤其是如果它采用涂层来模仿预期工作负荷表面时,涂层与性能试验工作负荷间的热接触应

在整个表面都是良好的；

- c) 形状应简单；
- d) 对特定测试,其尺寸、体积或重量与预期工作负荷相比应是合适的；
- e) 如适用,应具有高导热率。

如果性能试验工作负荷由高导热率材料制成,在其正面或背面有单个探测点即可。

如果想要在性能试验工作负荷内部形成一个温度梯度,则至少应在其曝露面和背面进行温度测试。

如果性能试验工作负荷的厚度允许且其导热率较低,则可在其内部放置热电偶或其他合适的传感器来评估其内部的温度梯度。

7 数值模型

在许多情况下,由于不可接近、太复杂、成本过高或测量设备不可获得,使得测量不可能进行。在这种情况下,可以用数值计算代替。为了解决实际问题,产生了大量可用的方法。具体方法的使用指南不在本部分的范围之内,但本部分给出了进行数值模拟试验的最低通用要求。

如果可行,其计算准确度应与测量达到的准确度可比拟的。这就规定了所用的几何模型和数值处理所需的准确度,像网格分辨率或迭代周期。

应对使用计算所得数据代替测量值做清晰的说明。计算文件应包括：

- a) 所用的数值方法；
- b) 所用的几何模型；
- c) 所有有关的建模资料；
- d) 与计算有关的所用模型的描述；
- e) 所用的软件及其版本；
- f) 任何会影响结果的软件设置参数；
- g) 软件提供的结果的准确度度量,如系统能量损失或因数值效应产生的系统中不确定的能量；
- h) 用于验证所用模型和计算本身准确性的方法。

通常,应可以从存储的数据在另一个系统或用不同的软件再次执行该模型和进行计算。

8 试验项目

8.1 一般要求

本部分的试验对象为成套电热和电磁处理装置,涉及电气、机械、安全、能效和环保等方面。相应的试验项目分为冷态和热态两大类。

冷态试验应在电热和电磁处理装置出厂前以及在安装和冷态调整过程中进行。安装和试验准备应按制造厂的使用说明书进行。试验中应采取必要的安全防护措施。试验前,应对电热和电磁处理装置的电气接线、开关和控制装置以及内外尺寸进行一般检查。

除非另有规定,热态试验应在冷态试验合格后进行。除非另有规定,被试验的电热和电磁处理装置应处于正常工作状态。试验中不得采取任何会影响被试验装置性能的临时性措施。试验中应按照 GB/T 5959.1—2019、有关的特殊安全要求和制造厂的使用说明书,以确保试验安全。

各类电热和电磁处理装置的试验项目可对下列试验项目进行修改并将某些列为强制性试验项目。

8.2 冷态试验项目

电热和电磁处理装置的冷态试验包括但不限于以下项目：

- a) 外观检查。

- b) 绝缘电阻的测量。
- c) 绝缘耐压试验。
- d) 控制电路试验。
- e) 冷却系统试验。
- f) 气路系统试验。
- g) 液压系统试验。
- h) 运动机构运转或动作情况的冷态试验。
- i) 安全联锁和报警系统的试验。
- j) 真空试验：
 - 1) 极限真空度的测量；
 - 2) 空炉抽气时间的测量；
 - 3) 压升率的测量。

8.3 热态试验项目

电热和电磁处理装置的热态试验包括但不限于以下项目：

- a) 受热构件表面温度的测量。
- b) 冷却液流量的测量。
- c) 冷却液温升的测量。
- d) 运动机构运转或动作情况的热态试验。
- e) 工作真空度的测量。
- f) 不同运行阶段电耗和功率的测量：
 - 1) 冷态起动的电耗和时间测量；
 - 2) 热待机运行期间功率的测量；
 - 3) 保温运行期间功率的测量；
 - 4) 关停运行的电耗和时间测量；
 - 5) 定期维修期间电耗的测量；
 - 6) 正常运行期间电耗的测量。
- g) 累积电耗和峰值功率测量。
- h) 设备产能(净生产率)的测定。
- i) 电源电压对性能影响的测量。
- j) 预期运行的处理范围的测定。
- k) 被处理工作负荷表面性能的测定：
 - 1) 温度均匀度测定；
 - 2) 溶剂蒸发均匀度测定；
 - 3) 光泽均匀度测定；
 - 4) 其他性能测定。
- l) 装置能效的测定：
 - 1) 工作负荷单位电耗的测定；
 - 2) 电热或材料电磁处理装置加热效率的测定；
 - 3) 电源功率利用率的测定；
 - 4) 能量转移效率的测定。

- m) 声级测量。
- n) 热态试验后的外观检查。
- o) 其他试验项目。

9 试验方法

9.1 概述

性能试验方法可根据其内容归类如下：

- 9.17.1~9.17.6 提供了不同运行阶段和使用期内电耗的基本情况；
- 9.18 和 9.19 提供了更多的用能变化和用量的一般情况；
- 9.20 和 9.21 是有关正常运行或预期处理可能的范围和实际电源电压对它们的影响；
- 9.22 提供了有关被处理工作负荷质量方面的基本试验。

9.17.1~9.17.6 规定的试验可用于以下对象：

- 完整的装置或装置的某些部分；
- 仅处理设备；
- 仅辅助设备。

在所有情况下，4.3 中给出的用能系统的边界条件都适用，在处理边界时应非常小心。

9.2 外观检查

按 GB/T 5959.1—2019 的 18.5.1。

9.3 绝缘电阻的测量

测量在电热和电磁处理装置与供电电网断开的情况下进行，并且仅对与电网直接连接的带电部分进行测量。

电热和电磁处理装置的额定电压低于 500 V 时，用 500 V 交流或直流兆欧表测量；500 V~1 000 V 时，用 1 000 V 交流或直流兆欧表测量；高于 1 000 V 时，用 2 500 V 交流或直流兆欧表测量。

兆欧表应分别接在电热和电磁处理装置正常工作时带电的两个不同带电体之间，以及各带电体与所有外露的金属结构件之间，后者应连接在一起并接地。

当电容器的外壳接地时，应注意在电源线和地间存在的电容。

对于可能经由炉衬短路的电热和电磁处理设备，在测量绝缘电阻之前应把炉衬充分烘干并冷却到环境温度。

带电体用水冷却的电热和电磁处理装置，其绝缘电阻的测量应在电热和电磁处理装置未接水冷系统的情况下进行。测量时应将会形成电通路的冷却水管断开。

真空炉的绝缘电阻应在炉子未抽气之前测量。

9.4 绝缘耐压试验

所加试验电压应是工频正弦波。此电压应施加在电热和电磁处理装置正常工作时带电的两个不同带电体之间以及各带电体与所有外露的金属结构件之间，后者应连接在一起并接地。

除非另有规定，试验电压 U_t 应在 10 s 内从 $U_{t/2}$ 逐渐升到 U_t ，然后在这电压下保持 1 min，试验期间不应有击穿或闪络现象。不同电路的试验电压按表 1 规定。

表 1 的试验电压仅适用于新电热和电磁处理装置或新电热和电磁处理设备的第一次试验。对重复性试验，或对运行后的电热和电磁处理装置或其部件的试验，试验电压可由制造厂和用户商定。

表 1 绝缘耐压试验的试验电压

| 额定绝缘电压 U_i (交流有效值或直流) V | 试验电压 U_t V |
|---|-----------------------------|
| $U_i \leq 60$ | 500 |
| $60 < U_i \leq 125$ | 1 000 |
| $125 < U_i \leq 250$ | 1 500 |
| $250 < U_i \leq 500$ | 1 500 ^a 2 000 |
| $U_i > 500$ | $2U_i + 1\,000$ |
| ^a 该试验电压仅适用于间接电阻炉,并分别施加在各相加热元件之间以及加热元件与炉壳间。 | |

对某些特殊的工作条件,例如电压、频率、粉尘、沾污、烟尘,以及绝缘材料或特殊的结构要求,如较小的间隙和爬电距离,可以由制造厂和用户商定采用其他的试验电压。

对与其他导电件的距离很小的感应器,如工作中频或高频的感应退火线圈,可能有必要采用较低的试验电压。

除电阻炉外,绝缘耐压试验应在电热和电磁处理设备没有砌筑耐火炉衬之前进行。对于带电体用水冷却的电热和电磁处理装置,本试验应在电热和电磁处理装置未接水冷系统情况下进行。试验时应将会形成电通路的冷却水管断开。

对真空炉,本试验应在非真空状态下进行。

对不能经受试验电压的电气元器件,如电容器和电子元器件等,在试验时应拆除或短路。

试验变压器的 1 h 额定容量规定为:试验电压值每 1 000 V 应不小于 0.5 kVA。

9.5 控制电路试验

控制电路的试验应按 GB 5226.1 进行。

9.6 冷却系统试验

首先把冷却液的压力调节到其规定的最低值,冷却液在所有冷却回路内均应畅通。

然后关闭各冷却回路的出口,把冷却液的压力调节到规定最高值的 1.5 倍并至少保持 5 min。试验中应无冷却液渗漏或水压降低现象。

应检查冷却系统的所有阀,以确保它们满足规定的运行状况。

对不能承受该试验压力的某些部件和电气元件,如真空炉的冷却炉壳和炉盖、陶瓷电容器的冷却管或冷却外壳以及高频设备的电子管等,应被旁路或拆除。这些部件和装置应按其设计规定,在其制造过程中单独进行试验。

试验期间应避免压力较大波动。

9.7 气路系统试验

出厂检验时,对以压缩空气为动力的气路系统,分部按正常工作状态操作,各个系统应动作正常,无漏气现象;对控制气氛炉用的各种气体发生装置和净化装置的管道,从进气口通入压缩空气,并采取措施使气路系统中的压力达到系统额定工作压力的 1.5 倍,并保持 10 min,管路各处应无漏气现象。可用肥皂水等进行检漏。

型式检验时,在气路系统安装后重复以上检验,在整个试验过程中,各个系统应动作正确,管路各处应无漏气现象。

9.8 液压系统试验

出厂检验时,可分部或对系统进行检验。检验时应采取措施,使各部分或系统中的压力提高到额定工作压力的 1.5 倍,并在此压力下保持 10 min 以上,各处应无漏油现象。

型式检验在液压系统安装完成后进行。检验时,除非另有规定,应采取措施使系统中的压力提高到额定工作压力的 1.5 倍,并在此压力下保持 10 min 以上,系统各处应无漏油现象,管路不应变形。试验中对某些规定不能承受该试验压力的管路元件应做适当处理。

9.9 运动机构运转或动作情况的冷态试验

应分机构逐个进行。在电热和电磁处理装置冷态情况下,观察和测量运动机构运转或动作的情况,如动作的正确性、行程范围、运动速度、气路或液压系统的工作压力,驱动电机的输入功率、操作手柄或手轮的作用力等。必要时在相应特殊试验方法标准、电热和电磁处理装置基本技术条件或产品标准中,对各个机构分别规定其试验方法。

9.10 安全联锁和报警系统的试验

可根据实际情况在各机构进行试验时或在电热和电磁处理装置总装完成后进行试验。

试验前应具备以下基本条件:

- 机械限位装置、联锁装置、电气限位开关和电信号发生器已先经过检验并安装就位;
- 已通过试验确认电气联锁电路接线正确;
- 监测装置已设定在其规定值上;
- 监测装置已输入模拟值或数据进行了模拟试验。

试验应证实联锁和监测电路的功能正常,它们在电热和电磁处理装置内的作用符合规定。

注:允许电热和电磁处理装置在试验期间通电加热或做电磁处理。

9.11 真空试验

9.11.1 极限真空度的测量

在空炉冷态情况下,用真空炉本身配套的真空系统进行试验。按正常工作条件启动真空泵,直到炉内压力达到最低值。真空炉应能达到产品标准中所规定的极限真空度值。测量真空度的仪表应符合 6.8 的规定。

9.11.2 空炉抽气时间的测量

在上述试验中,从炉内压力为大气压时开始到炉内真空度达到产品标准中规定的极限真空度为止的时间,即为空炉抽气时间。

油扩散泵和油增压泵的预热时间不包括在空炉抽气时间之内。

9.11.3 压升率的测量

用关闭法测量。在上述试验以后,关闭真空腔各通气口的真空阀门,并关停真空泵。压升率按式(1)计算:

$$\Delta p = (p_2 - p_1) / \Delta t \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Δp ——压升率，单位为帕每小时(Pa/h)；

p_1 ——第一次读数时真空腔内的压力，单位为帕(Pa)；

p_2 ——第二次读数时真空腔内的压力，单位为帕(Pa)；

Δt ——两次读数的时间间隔，单位为小时(h)； Δt 应不小于 0.5 h。

第一次读数的时间应按产品标准的规定；产品标准中未规定时，为关闭真空阀门后 15 min。两次读数应当用同一只真空计的同一测量档。

为减少炉内构件放气或吸气对压升率的影响，试验最好在炉内没有耐火绝热炉衬的情况下进行。如果不可能做到这一点，则应每隔一定时间(不小于 0.5 h)读取真空腔内的压力值，并在直角坐标纸上绘制压力对时间的关系曲线，以曲线最后直线上升段的斜率作为压升率的测定值。

试验一般用真空炉本身配套的抽气系统进行。但对低真空(压力 10^2 Pa \sim 10^5 Pa)和中真空(压力 10^{-1} Pa \sim 10^2 Pa)电炉，也允许用非本身配套的抽气系统。各抽气系统本身都应分别经过检漏以及极限真空度和压升率的测量，并确认其压升率不致影响整台炉子达到规定压升率指标。

9.12 受热构件表面温度的测量

受热或受电磁场影响的构件的表面温度用热电偶或可给出可靠读数的其他温度测量装置测量。它们的传感器应与被测表面接触良好。

当需要自动记录表面温度时，宜用铂电阻温度计和相应的温度记录仪。

9.13 冷却液流量的测量

电热和电磁处理装置的冷却液流量用流量计测量或由一定时间内流出的冷却液的体积除以该时间算得。

9.14 冷却液温升的测量

进口处冷却液的压力及流量应在制造厂规定的范围内。冷却液的温升等于冷却液出口温度和进口温度的差。温度用玻璃温度计或用能给出可靠读数的其他等效装置测量。试验中，冷却液的出口温度和温升应在制造厂规定的范围内。

测量应在制造厂和用户商定的条件下进行。

9.15 运动机构运转或动作情况的热态试验

在热态试验的过程中按 9.9 所述方法和要求进行。

9.16 工作真空度的测量

在真空炉型式检验、工艺检验或工业运行检验中，按制造厂和用户商定的炉料和工艺，用真空炉本身配套的仪表在正常工作状态下测量，或按产品标准的规定。测量真空度的仪表应符合 6.8 的规定。

9.17 不同运行阶段电耗和功率的测量

9.17.1 冷态起动的电耗和时间测量

装置冷态起动的电耗和时间的测量操作如下：

- a) 初始状态在 4.6 中规定的环境条件下；
- b) 如适用，装置为空载运行；

- c) 如适用,对处理室或区域进行的任何预热尽可能达到对热待机运行合理的状态;
- d) 测量冷态起动的总电耗和时间。

如果装置仅用于在有工作负荷时进行安全升温,则本条应适用。

9.17.2 热待机运行期间功率的测量

热待机功率的测量操作如下:

- a) 如适用,装置为空载运行;
- b) 维持热待机运行状态;
- c) 功率为足够长时段内测得的总电耗在该时段内的平均值。

9.17.3 保温运行期间功率的测量

对某些类型的装置,需要在处理的加热阶段之前或之后进行保温以均衡工作负荷的温度。

注:热待机和保温的主要区别是后者有工作负荷,它能发射或吸收辐射,或者向它周围环境提供或吸收对流热能或传导热能。这通常是通过调节外部能源供给来进行补偿,以维持工作负荷的温度。

在下列情况下应进行有载保温运行期间的功率测量:

- a) 保温是正常运行的一部分;
- b) 正常运行是载有已预热的工作负荷;
- c) 工作负荷的温度保持不变,为此使用特定的控制设置。

在足够长的时间内测量保温期间的总电耗和保温时间并求其平均值。

9.17.4 关停运行的电耗和时间测量

装置停机期间的时间和电耗测量是必要且重要的,测量从制造厂规定的热待机状态开始。当装置的供电电源安全断开时停机阶段结束。

9.17.5 定期维修期间电耗的测量

如适用,装置维修期间的电耗和时间测量遵循以下规定:

- a) 按制造厂的规定进行装置的维修;
- b) 测量维修期间的总电耗和维修时间。

9.17.6 正常运行期间电耗的测量

所有的电耗测量应反映装置规定部分在规定的时段或特定运行期间的单位电耗。如适用,应记录以下内容:

- a) 间歇式装置在一个完整周期内的电耗,这可在规定数量的各完整周期内测量并求平均,测量应包括典型的热待机和保温阶段。完整周期的数量和电耗的变化应在测量报告中记录;
- b) 连续运行装置在处理规定数量工作负荷期间的电耗,这期间没有热待机或保温运行发生且装置已达到稳定状态;
- c) 装置在一个完整生产周期内的电耗,例如在一个工作日、一周或一整年内。

9.18 累积电耗和峰值功率测量

装置时间分辨功率的测量能用来计算装置使用过程中的一个完整周期的累积电耗和测量峰值功率。试验应通过监测成套装置的时间分辨功率来进行,试验周期如下:

- 一个循环周期,如果装置在循环周期之间进行冷却;
- 一个轮班,如果装置运行一段时间,但在一个工作日结束时冷却;

——或为完整加热周期；或对连续运行装置，运行 1 h。

装置内部电能转换和开关设备的设计要考虑能承受规定的峰值功率。它规定了在装置的整个电气系统和部件的设计和规格确定中所用的额定功率。实际峰值功率在一个典型的从加热到冷却的完整处理周期中测量。

装置的峰值功率可能会在下列某一阶段中到达：

- 连续处理装置的预热阶段；
- 间歇式装置的加热阶段；
- 其他运行模式期间。

峰值功率发生的时间对公共事业部门采用电表和其他措施进行电能计价是非常重要的。因为公共事业和工业的电价不同，一定要针对每个设备或工厂具体商定。

注：以不同处理阶段绘制的功率图是装置智能控制和能效控制的基础。它可以降低峰值功率或将高电耗的处理间隔移至工厂的低电耗期或低功率或低电费期。

9.19 设备产能(净生产率)的测定

设备产能或设备净生产率是对装置产出效率的一个度量，工作负荷要达到预期的质量。只有经过预期处理并达到预期质量的那部分工作负荷可被计入评估。

工作负荷的量应按下列要求进行计数和度量：

- a) 在将工作负荷放入装置时计数或度量，并在处理开始前检查其质量，放入的工作负荷应质量合格且在该阶段不可被退回；
- b) 在工作负荷离开装置时计数或度量，它们应达到预期的质量，在处理结束后检查其质量。

工作负荷应如下计量：

- 当可数时，进行计数；
- 当不可数时，以单位时间的质量、面积或长度计量；
- 当是板状时，以单位时间的面积计量。

净生产率只考虑达到预期质量的被处理工作负荷，应系指单批的工艺过程或某确定的时间段。

废品率被定义为未达到预期质量的工作负荷除以全部的被处理工作负荷。

9.20 电源电压对性能影响的测量

实际的电源电压或其波动会影响装置的性能。例如，利用焦耳效应的加热装置可直接或通过固定的变压器运行在线路电压上。如果实际或声称的电源电压与额定电源电压不同，其影响可能很大。

处理设备在所加工作电压下的功耗变化取决于其种类和具体的技术细节。这些数据通常由设备制造厂提供。因此，实际所加工作电压下的功耗变化应：

- 或是用这些数据进行计算；
- 或是通过跟踪装置的电源电压和功耗进行测量，或者是在较长时间段内将装置设定在另外的常数下进行测量。

功率随实际工作电压的变化也会影响装置的其他参数，例如炉墙温度、处理时间或升温时间。

实际的电源电压会影响全部其他的试验结果，这应作为试验报告的一部分，见 6.4.1。

9.21 预期运行的加工范围的测定

装置内部的加工条件能改变，从而能确保工作负荷的表面或内部质量的变化。加工范围能采用下列方法测得：

- a) 装置载有工作负荷运行并且不断增加功率设定，直到整个工作负荷被良好处理，即在加工过程中接受最低能量的那部分工作负荷正在经受必要的过程。这是下限；

- b) 装置载有工作负荷运行并且进一步增加功率设置,直到工作负荷出现第一次过热迹象,例如,接受最多能量的那部分工作负荷出现了破坏性或不想要过程的迹象,或者达到了预期功率设置的上限。这是上限。

制造厂规定的预期使用范围不应被超过。

9.22 被处理工作负荷表面性能的测定

9.22.1 概述

本条主要涉及其正常运行的目标是工作负荷表面达到特定状态或性能的处理过程。测试工作负荷整个表面的处理均匀度是个典型的复杂问题。测量方法随着特定性能的改变而变化,这种特定性能的改变正是在装置中进行处理的基本目标。

以下一个或多个参数能在工作负荷的表面测得,从而提供了有关在装置中处理的质量或均匀度方面的情况:

- a) 温度;
- b) 工作负荷表面溶剂的残余量,用于评估该溶剂的蒸发量;
- c) 所得的聚合物或油漆的交联程度;
- d) 表面沉积物或涂层的量;
- e) 表面质量损失;
- f) 所得的化学反应程度,可包括相变;
- g) 表面光泽;
- h) 其他与表面有关的参数。

这些参数的测量涉及完全不同的设备和测量方法。一些测量最好能采用二维方法,如采用红外摄影仪;其他的需要对每个单一位置进行复杂的分析。如果可能并且两个效应间的简单联系已知,则首选最简单的现有测量方法,例如,如果一个化学反应与温度密切相关,则用二维测量方法测量温度均匀度就足够了。

可使用专为试验准备的假工作负荷(见 6.9.2)。

通常正常运行的目的是工作负荷的整个可用表面(或体积)至少在上述参数中有一个到达一定值,与此同时工作负荷的某些部分没有过热或遭受破坏性的处理。

9.22.2 测量传感器位置

如果无法使用二维或扫描装置进行测量,而只能用布点法,则以下要求适用:

- a) 测量位置应包括运行期间最强和最弱曝露于能量传递的位置;
- b) 对在间歇式装置中处理片状材料,应包括片材的中心和角落;
- c) 对在连续式装置中处理片状材料,应包括片材的中心和边缘。

9.22.3 温度均匀度测定

处理期间或结束时工作负荷的温度均匀度的测量方法尤其取决于可接近性、工作负荷表面状况、处理类型和不同的温度。下面给出了最佳的测量方法实例,但并不详尽:

关于热电偶的使用及其在(假)工作负荷上的固定,在 6.5.2 中已做规定。

在工作负荷移出处理室或处理区域后,其表面温度能直接用红外摄影仪测量。

工作负荷传送方向的温度均匀度取决于传送速度、工作负荷本身和环境因素。应对这些因素的作用进行评估并写入数据阐述报告中。

当使用所测数据时,应考虑以下因素:

- a) 从工作负荷热表面以及其他热源或光源的任何反射能造成的外来信号；
- b) 甚至工作负荷表面轻微的变化都能引起发射率的强烈变化,从而导致信号误差；
- c) 不具有兰伯特定律散射特性的表面能导致整个表面温度测量错误。

注：基本概念参见 ISO 10878。

采用远程点温度测量系统扫描正在传输的工作负荷的整个宽度来测量温度,可以避免使用红外摄像系统时遇到的一些误差。

9.22.4 溶剂蒸发均匀度测定

可对纸张或印刷品的水分蒸发空间分布进行测量。

注：标准的测量方法参见 ISO 638 或 ISO 11093-3。

其他的测试可由制造厂和用户商定。

9.22.5 光泽均匀度测定

可对油漆或清漆的光泽度的空间变化进行测量。

注 1：标准的测量方法参见 ISO 2813。

可对纸张的光泽度的空间变化进行测量。

注 2：标准的测量方法参见 ISO 8254 系列。

9.22.6 其他性能测定

其他的工作负荷性能试验可有：

——化学反应均匀度的评估；

——物质沉积均匀度的测量。

试验方法可由制造厂和用户商定。

9.23 装置能效的测定

9.23.1 概述

许多不同的能量性能指标是可以想象的,如描述装置或设备的能量强度或单位能耗。9.23.2~9.23.5 提供了一些基本的指标,可以用作建立其他指标的指导。

进行预期处理的工作负荷的理论最小单位能耗,可参见附录 D。

通常,能量强度不基于电热效率或由处理后的工作负荷的可回收热衍生的效率。例如相变、混合、干燥或淬火等预期处理就是这种情况。

其他的损失能量的回收常超出了 4.3 规定的边界范围,对其测量也超出了本部分的范围,具体可参见附录 C。

9.23.2 工作负荷单位电耗的测定

处理单位数量工作负荷的电耗可用装置的电耗来计算,包括装置起动、保温、热待机和关停的电耗。它是测量期间装置的平均总电耗除以达到预期质量的工作负荷的数量,具体为：

- a) 当工作负荷可数时,为每件的电耗；
- b) 每单位质量的电耗；
- c) 当工作负荷是连续的板材时,为每单位面积的电耗。

应基于在 9.17~9.19 中规定的可适用试验中获得的数据进行计算。报告值应包括试验的时间。

9.23.3 电热或材料电磁处理装置加热效率的测定

装置的加热效率用式(2)进行计算：

$$\eta_{\text{inst}} = E_{\text{min}} / E_{\text{inst}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

η_{inst} 装置的加热效率;

E_{min} 最小理论所需能量,参见附录 D 中定义的理论最小单位电耗;

E_{inst} 装置的单位电耗。

9.23.4 电源功率利用率的测定

电源功率利用率定义如式(3)所示:

$$\eta_{\text{power}} = \overline{P}_{\text{nop}} / P_{\text{max}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

η_{power} 电源功率利用率;

$\overline{P}_{\text{nop}}$ 正常运行期间的平均电源功率;

P_{max} 峰值电源功率(见 9.18)。

式(3)考虑了装置的生产率或处理范围的表述。它表达了将来必要时改变处理速度或生产率的可能性。也可将其理解为对装置设计质量,尤其是有关其能源使用情况预测的一个度量。

9.23.5 能量转移效率的测定

能量转移到工作负荷的效率的评估通常是一个复杂的任务。试验方法可参见附录 D。

在处理期间,能量从装置转移到工作负荷的效率会受到装置和工作负荷各种特性的影响,如下所述:

- 工作负荷的吸收与波长有关,其在处理过程中可能会变化;
- 工作负荷的表面结构和角吸收率,其在处理过程中可能会变化;
- 工作负荷和加热部件之间的相互定位,其可能会在连续运行装置的处理过程中发生变化;
- 发射器和工作负荷之间大气的辐射吸收情况,其可能会因溶剂的蒸发在处理过程中发生变化;
- 装置内部和外部的热对流传递,这包括对装置某些部件的故意冷却;
- 从工作负荷或装置到外部的热传导损失;
- 窗口、防护栏、网套等会阻碍能量向工作负荷的传递;
- 装置漫辐射的反射和吸收。

因此,能量转移效率会随着试验条件及设备的改变而变化。

4.5 规定的试验条件适用。应特别注意监测试验条件并减少可能会影响试验结果的因素。

然而,不同类别的装置会用于许多不同的处理过程,只有某些处理过程要求对传递到工作负荷的能量进行精确测量。

在处理期间,许多处理参数很难获取,但可通过下列方式估算:

- a) 如果工作负荷的质量和比热 $c_p(T)$ 已知,则其内部存储的热能由工作负荷的温升进行计算;
- b) 如果温度、被蒸发质量、比热和蒸发溶剂的蒸发焓已知,则蒸发能可进行估算;
- c) 如果进行化学反应的工作负荷的质量已知,则可估算化学反应所需的能量。

使用预期工作负荷或假工作负荷进行试验能得出合理的精确结果。就上面所列的估算内容而言,工作负荷和假工作负荷之间明显的差异使得试验无关紧要了。关于这些差异的一些例子如下:

- 一个只从一侧进行处理的工作负荷通常会在其材料内部出现温度梯度。该温度梯度取决于材料的热导率和该材料吸收能量的表面;
- 如果能量只在表面吸收,则热传导决定了温度对该材料内部深度的依赖性。如果加热能也会在该材料内的某深度被吸收,则(通常呈指数衰减的)渗透和热导率的组合决定了温度剖面;
- 蒸发测量一般通过在处理前和处理后对工作负荷进行称量而得。如果经过预期处理,一些溶

剂残留在工作负荷内,则在工作负荷的冷却过程中和称重前会继续进行蒸发。

9.24 声级测量

按 GB/T 5959.1—2019 的 18.6.8 规定。

9.25 热态试验后的外观检查

按 GB/T 5959.1—2019 的 18.5.2 规定。

附 录 A
(资料性附录)
能 效 评 估

A.1 使用本部分进行能效评估

本部分包含了与能性能评估有关的概念和工作：

- a) 系统的边界按在 4.3 中的定义；
- b) 关键性能指标已在第 4 章中确定和讨论；
- c) 数据收集、测量和试验已在第 5 章至第 9 章中规定。

本部分不包括能量使用或性能的改善，相关内容可见 GB/T 23331 和其他有关标准；本部分也不提供任何有关产品分类和标记的内容，因为这通常是地方主管部门的职责。另一方面，本部分帮助其用户执行在 A.2 或 GB/T 23331 中定义的策划-实施-检查-改进 (PDCA) 完整周期，因为本部分提供了框架及适用的定义和要求，并考虑到了评估以及与其他装置的比较。

根据能效提供装置的基准数据或分类已超出本通用部分的范围，但可以作为特殊试验标准的一部分。

A.2 策划-实施-检查-改进 (PDCA) 周期法

能性能的概念包括装置或设备的能的利用、能效和单位能耗。任何装置或设备的能性能评估及改善的完整周期包括以下步骤：

- a) 待被评估的系统边界的定义；
- b) 有关能性能指标和必要数据的定义；
- c) 数据收集，如通过试验或文献资料；
- d) 基于能性能指标和利用基准及其他数据的系统能性能计算，这一步骤提供了分类或标记的数据(如想要说的话)；
- e) 系统改进可能性的确定和评估；
- f) 改进的选择、策划和实施；
- g) 从步骤 c) 开始重启周期，如适用。

步骤 c) 到步骤 f) 定义了 PDCA 循环；正如 GB/T 23331 中定义的方法。

A.3 比较、分类及标记

在进行设备比较、设备分类或标记时，单位能耗正是一个相关的因素。传递到工作负荷的特定数量的热能常常不是一个特定过程(即达到预期的工作负荷质量)成功的准则或度量；通常是通过其他物理量的测量提供了特定服务。例如：

- 特定质量的产品数量，如特殊钢的晶粒结构、成分和均匀度；
- 木材、纸张、金属丝或金属板上涂层的光泽度、黏性、抗紫外线性、硬度或耐磨性；
- 太阳能电池的转换效率，尤其以其处理均匀度、对工艺程序的适应性和小尺度化学成分为特征；
- 奶酪在披萨上融化的视觉吸引力与味道。

这样可以授权使用有关过程质量的能效或单位能耗作为与能量比较有关的最后方法。

当试验方法和条件、系统的边界和过程的输出是可比时,适当的比较、分类或标记是可能的。

A.4 与 ISO 13579-1 的比较

A.4.1 概述

ISO 13579-1 规定了由炉子制造厂设计的工业炉及其相关工艺设备的能量平衡测量和处理过程效率计算的一般方法。它包括测量方法的叙述,提供计算公式和对能量平衡评估报告的最低要求。ISO 13579-1 中对能效定义的范围比 GB/T 23331 或本部分中的小得多,因为测量时只考虑工作负荷中的可回收热。

A.4.2 有关能的产生

ISO 13579-1 在计算时包括了将化石燃料转化为热能或电能。用于评估能效的基本能量单位是所涉不同燃料的焓。用户可容易地计算装置内燃烧的燃料,然而提供能源的发电厂的燃料混合和效率的信息本部分的使用者可能难获得。用于产生电能所用的全部燃料或能量的有关数据可能会有较高的争议(正如在采用核燃料且考虑采矿和加工时的化石燃料消耗时)或对用户或两者都难获得。

本部分把从输电网获得的电能作为基本能量单位。装置的用户所做的使用可再生电能的任何决定都不在本部分的范围内。

A.4.3 比较结果

任何结果的直接比较才是可能的,如果:

- 使用仅限于工作负荷内的可回收热的相同能效定义;
- 系统的边界相同;
- 试验以可比较的方式进行或使用相同的试验数据。

第二项要求包括 ISO 13579-1 将被考虑系统限制于装置本身,并不包括电能的产生。

因为 ISO 13579-1 在试验条件和过程产出方面非常模糊,如果数据的可比较性是预期的或必要的,则我们推荐使用本部分作为指南。

附录 B
(资料性附录)
能效有关情况的直观图示

B.1 概述

本附录讨论了能效有关情况的图示,通常以单一数字给出能效情况对为提高能量使用而采取的可能措施进行的评估是不够的。ISO 13579-1 提供了一些进一步的材料。
这些情况通常在试运行期间或甚至在长时间正常运行之后产生。

B.2 能量平衡的桑基图

能量使用和平衡桑基图是一种简单又非常强大的显示能量使用、能量损失和图示损失主要来源的方法。
为制作一个有用的能量平衡图,要考虑所有的能量输入:
——装置与电网连接处的电能;
——来自工厂内部存储仓的作为燃料热焓的所有非电能源。

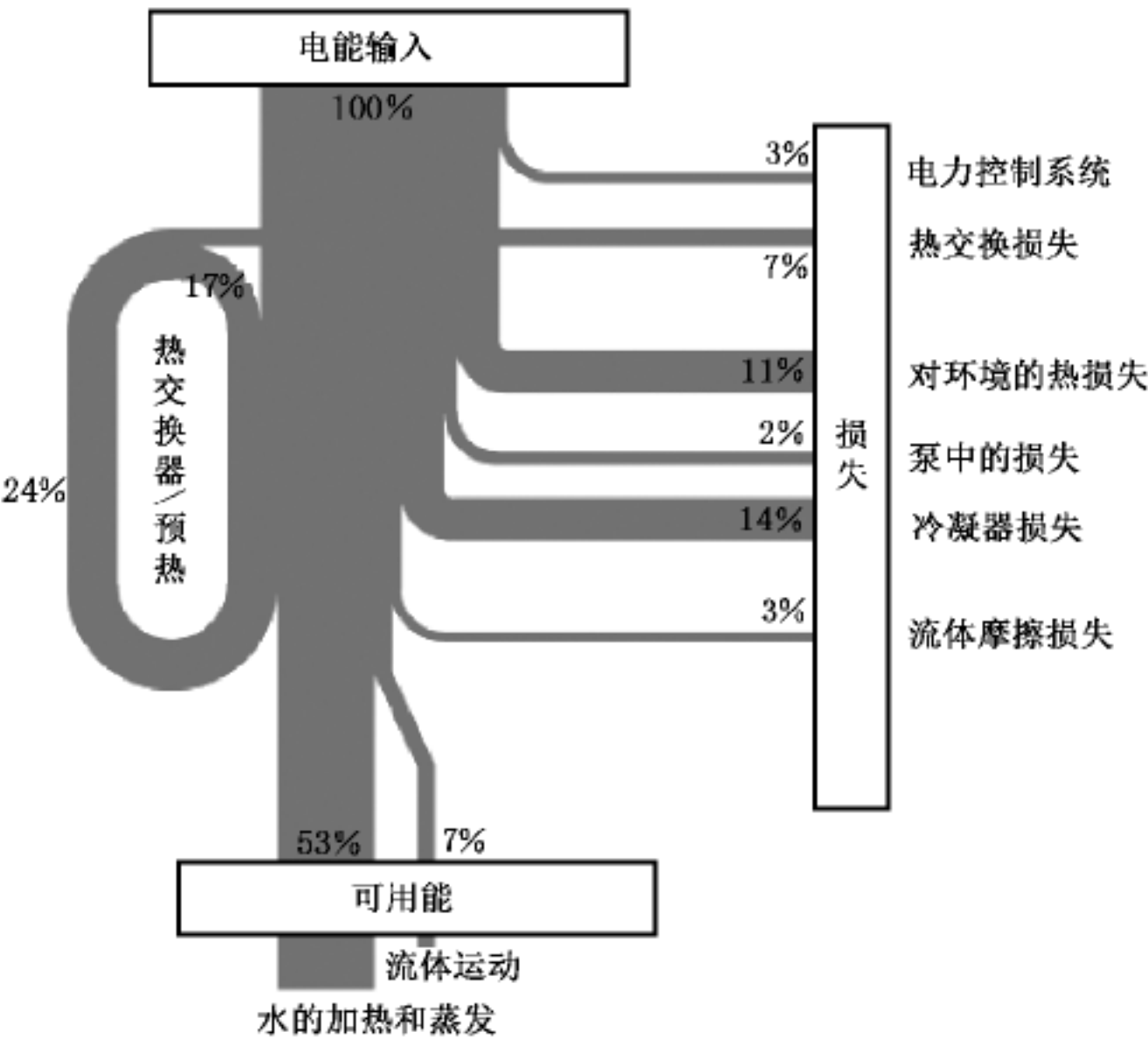
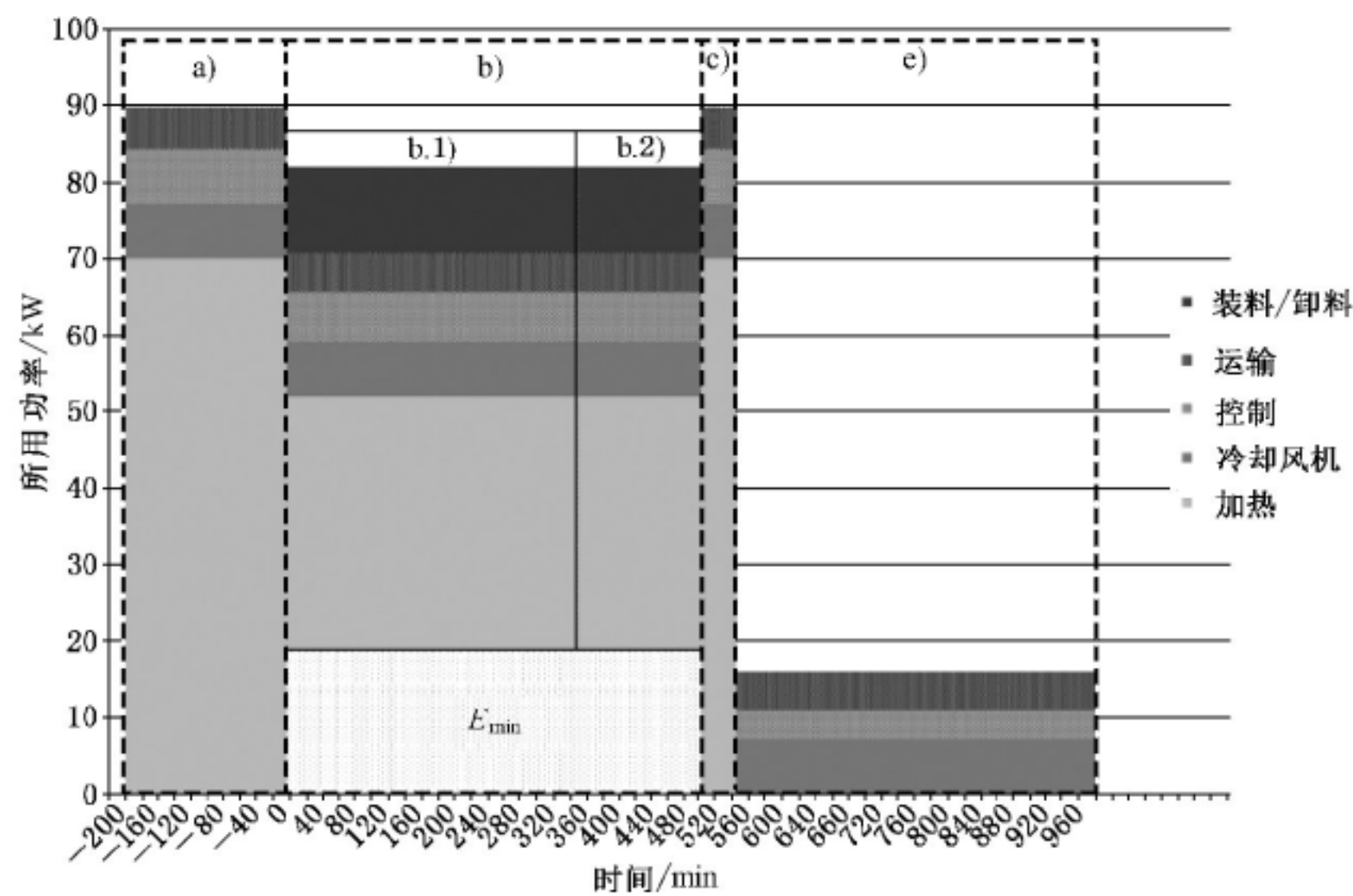


图 B.1 桑基图示例

图 B.1 提供了涉及某再循环流体干燥过程和一个热交换器的示例。示例是食品干燥过程,潮湿食品被放在循环流体环境中,食品中的水通过加热去除,干燥后的食品由旋风移动,水蒸气用冷凝器去除。

B.3 时间分辨功率使用图

如果一个装置正在执行一个过程的某些不同任务或能源使用不仅由过程本身控制,则桑基图不能反映所有相关方面。在这种情况下,宜采用时间分辨功率使用图;图 B.2 提供了一个示例。



说明：

a) —— 启动运行时间；

b) —— 正常运行时间，其中 b.1) 为制造的工作负荷达到预期质量的部分，b.2) 为制造的工作负荷需要返工或报废的部分；

c) —— 清洗操作时间；

d) —— 维护工作，图中省略；

e) —— 冷却和关停操作时间。

E_{\min} —— 最小理论所需能量，参见附录 D 中定义的理论最小单位电耗。

图 B.2 时间-功率图示例

实际时间分辨功率使用数据不一定显示出最大值。作为替代，宜使用下列简化表达方式：

- a) 采用一个周期的平均值（如果现有），如果装置在周期间冷却，则按一个轮班计算；如果装置运行几小时且在一工作日结束时冷却，则按符合运行模式的任何其他周期计算；
- b) 不同的运行以逻辑顺序在时间轴上以功率平均值显示：如启动、保温、处理、冷却、关停和维修，或其他一些；
- c) 对每一个这种运行，相关子系统间区分的平均用能以附加方式给出；
- d) 处理时间可进一步区分为生产合格产品所需的平均时间以及返工和报废产品所需的平均时间；
- e) 预期处理的最小用能可在运行时间中显示。

一个简单的电阻式连续处理加热的热处理炉，这里以在石英管上应用金色反射器作为例子。

该炉需要 140 min 进行启动操作；然后用平均 500 min 来处理当天的工作负荷；其中，每天有 40 min 用以产生废品，100 min 用以返工第一道工序后可返工的零件；40 min 清理操作用来烧去一些残留物；由于采用耐火材料作为炉衬，安全地冷却下来需要几小时。

图 B.2 显示了时间分辨功率使用图数据，图中清楚地显示了实际的电能效率和提高能效的可能措施。

附 录 C
(资料性附录)
能 回 效 率

一般来说,设备通过其发生热能损耗或释放并能被回收的媒质是液体。它们有较高的能容量并易被回收。这种液体的能量可回收率由以下四个因素确定:

- a) 已提取能量的液体的比热容;
- b) 液体的流速;
- c) 提取能量后当时的液体温度,及其与环境温度的差值;
- d) 能量的当时结构或可用性。

第一个因素是对能量传输简单性和能量从产生位置到回收处的传输过程中的预期热损失的一个度量。

第二个因素是对热传递速度和热能的预期有用性的一个度量。

第三个因素是对热机中预期有用性或其他用途的一个度量。

第四个因素与现有被回收能的实际有用性和能储存需求有关。可回收能输出的连续性和波动以及是连续式还是间歇式处理是特别重要的。

液体单位体积热容的计算根据实际液体的物理和热性能数据表。

注: NIST-JANAF 表、VDI Heat Atlas 以及 ISO 13579-1 给出了热容和其他热数据来源的信息。

如果制造厂提供了有关设备的可选择能量回收方法及其评估说明,则可进行热回收的计算。相关的测量或评估分为有和无热回收装置两种情况进行。这些装置的任何额外功耗应被包括在内。

热回收潜能的数值估计提供了液体的热焓(exergy)。

附录 D

(资料性附录)

用能评估

D.1 概述

特定过程所用的能量取决于工作负荷中预期焓增加所需的能量；其最小所需功率进一步取决于规定的处理时间。理论最小单位能耗通常是可计算的(见 D.2)。对能效分析来说，它是一个相对概念，因为它对任何改进提供了一个理论限值，它是装置实际单位能耗的一个基准(见 D.2)。

装置用于某一过程所需的实际功率从而其最小安装功率取决于以下因素：

- 该过程所需的最小理论功率；
- 平衡工作负荷热损失所需的保温功率；
- 传至工作负荷的能量传递效率；
- 装置的能量转换效率；
- 装置内部其他热损失。

功率测定的极限情况可能是：

- 工作负荷在一段时间内持续增加焓至接近最大处理焓的过程，此时保温功率和补偿损失功率就确定了所需功率；

所需的处理功率远远超过保温功率的过程。

第一种情况是十分典型的干燥过程，后者是熔化过程。

D.2 最小能耗

理论最小单位能耗(经受预定处理的工作负荷每单位质量或单位面积)被定义为输入与输出工作负荷间的焓增加，见式(D.1)。

$$E_{\min} = E_{\text{out}} - E_{\text{in}} = m \cdot [c_p(T) \cdot \Delta T + p \cdot \Delta v + \Delta h_{\text{pc}} + r] \cdots \cdots \cdots (D.1)$$

式中：

- E_{\min} 理论最小单位能耗；
- E_{out} 工作负荷离开处理过程时的能量；
- E_{in} 工作负荷进入处理工程时的能量；
- m ——工作负荷的质量(假设工作负荷质量没有较大的变化)；
- $c_p(T)$ ——工作负荷的比热；
- ΔT ——从环境温度至最高处理温度的温度变化；
- p 环境压力(假设处理过程在环境条件下开始和结束)；
- Δv ——工作负荷的比容变化(仅适用气体)；
- Δh_{pc} ——处理期间相变的比焓(如熔化或溶剂的蒸发)；
- r 发生预期化学反应所需的比能。

当装置中无能量损失以及无能量被再利用或再循环时，式(D.1)用来计算执行预期处理所需的最小能量。

经受预期处理的工作负荷的理论最小单位能耗取决于以下因素：

- a) 处理前的工作负荷实际温度(该温度取决于储存工作负荷的实际环境条件);
- b) 处理前的工作负荷状态;
- c) 工作负荷执行预期处理所需的最低温度;
- d) 工作负荷执行预期处理的相变和化学反应所要求的最低要求。

通常,有必要考虑空间解析数据或至少工作负荷的平均值,因为处理过程中的任何状态变化被理解为在工作负荷表面的二维分布和在工作负荷内部的三维场,这取决于数值。

注:例如,温度是三维分布,然而漆的含水量在考虑较大零部件时是二维分布或在考虑微观结构时是三维分布。

D.3 保温功率

任何工作负荷在其温度比环境温度高时都会损失能量。因此与加热工作负荷所需的额定功率无关,任何设备至少应能够平衡从工作负荷到环境的所有热损失,尤其在最高处理温度下。这些热损失由以下引起:

- a) 大气自由对流引起的冷却;
- b) 处理气体包括空气的强迫对流引起的冷却;
- c) 工作负荷的所有辐射损失;
- d) 工作负荷的热传导损失,例如传导给传送设备。

因此,保温功率按式(D.2)计算:

$$P_{\text{hold}} = P_{\text{conv}} + P_{\text{rad}} + P_{\text{cond}} \quad \dots\dots\dots (\text{D.2})$$

式中:

P_{hold} ——平衡所有保温损失所需的最小功率;

P_{conv} ——自然和强迫对流损失;

P_{rad} ——所有辐射损失;

P_{cond} ——所有传导损失。

采用真空时对流损失可忽略。

D.4 传输损失和传输效率

能量传输到工作负荷的效率与上述考虑无关。它受控于以下方面:

- a) 能量从一种形态转换为另一种形态的损耗;
- b) 能量从一个装置传输到下一个装置的损失;
- c) 由于几何效应如与工作负荷的几何形状不匹配的场或由于工作负荷外还有其他物体遭受辐射引起的传递损失;
- d) 工作负荷不吸收但其反射或传输的电磁能,或在从电源传输到工作负荷期间被装置的其他部件吸收的电磁能。

典型示例如下:

——频率或电压转换期间的,在变压器或电容器中的损失;

——电能转换为焦耳热的损失;

——未到达工作负荷而被装置(墙体,结构件,窗口,护栏或屏蔽物)吸收的辐射或场;

——被工作负荷反射或传输的,被装置吸收的和没有再循环用于加热的辐射或场;

——未被工作负荷吸收的磁能。

D.5 示例

D.5.1 玻璃基板上透明导电氧化物的回火

仅在这种情况下,透明导电氧化物(TCO)薄层经受加热达到约 600 °C 回火温度。玻璃基板的加热不是处理过程的强制性部分且在计算最小能时被排除。

D.5.2 漆的干燥和硬化

本示例中,溶剂被从漆中去除然后再开始硬化。所以对整层漆加热到硬化温度以及溶剂扩散和蒸发的能量要求是最低的。

因此,最小能量的计算可忽略或包含工作负荷。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900(所有部分) 电工术语
 - [2] GB/T 2900.23 电工术语 工业电热装置
 - [3] GB/T 3859.1 2013 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第 1-1 部分:基本要求规范
 - [4] GB/T 22906.3—2008 纸芯的测定 第 3 部分:水分含量的测定(烘箱干燥法)
 - [5] IEC 60038, IEC standard voltages
 - [6] IEC 60519 (all parts), Safety in installations for electroheating
 - [7] ISO 638, Paper, board and pulps—Determination of dry matter content—Oven-drying method
 - [8] ISO 2813, Paints and varnishes—Determination of gloss value at 20°, 60° and 85°
 - [9] ISO 8254 series, Paper and board—Measurement of specular gloss
 - [10] ISO 10878, Non-destructive testing—Infrared thermography—Vocabulary
 - [11] ISO 11093-3, Paper and board—Testing of cores—Part 3: Determination of moisture content using the oven drying method
 - [12] ISO 13579-1, Industrial furnaces and associated processing equipment—Method of measuring energy balance and calculating efficiency—Part 1: General methodology
 - [13] M.W.Chase: NIST-JANAF Thermochemical Tables, Fourth Edition, in Journal of Physical and Chemical Reference Data, Monograph No.9, AIP, Woodbury; 1998.
 - [14] VDI Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen [ed.]: VDI Heat Atlas, Springer, Berlin; 2010.
 - [15] VDI/VDE 3511 series, Temperature measurement in industry
-