



中华人民共和国国家标准

GB/T 10066.4—2004
代替 GB/T 10066.4—1988

电热设备的试验方法 第4部分：间接电阻炉

**Test methods for electroheat installations—
Part 4: Indirect resistances furnaces**

(IEC 60397:1994 Test methods for batch furnaces
with metallic heating resistors, NEQ)

2004-05-14 发布

2005-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

GB/T 10066《电热设备的试验方法》现有十一个部分：

- 第 1 部分：通用部分；
- 第 2 部分：有心感应炉；
- 第 3 部分：无心感应炉；
- 第 4 部分：间接电阻炉；
- 第 5 部分：等离子设备(GB/T 13535—1992《电热用等离子设备试验方法》)；
- 第 6 部分：工业微波加热设备输出功率的测定方法(GB/T 18662—2002《工业微波加热设备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(GB/T 1020—1989《电渣重熔炉的试验方法》)；
- 第 9 部分：高频介质加热设备输出功率的测量方法(GB/T 14809—2000《高频介质加热设备输出功率的测量方法》)；
- 第 10 部分：直接电弧炉(GB/T 6542—1986《直接电弧炉的试验方法》)；
- 第 11 部分：埋弧炉(GB/T 7405—1987《埋弧炉的试验方法》)。

注：某些现有电热设备的试验方法未采用分部编号(如括号内所示)，在修订时将改为上述规定的分部编号。

本部分为 GB/T 10066 的第 4 部分。

本部分与 IEC 60397:1994《具有金属加热元件的间歇式电阻炉的试验方法》(第二版)的一致性程度为非等效)。

本部分同 IEC 60397:1994 相比：

- 修改了 IEC 60397:1984 中的 7 条术语定义，删去了 23 条术语；
- 补充了 IEC 60397:1984 正在考虑的控制气氛炉，真空炉和连续式电阻炉试验方法；
- 用空炉能耗的测量替代 IEC 60397:1984 中的积蓄热的测量。删去了冷却曲线的测量；
- 修改简化了 IEC 60397:1994 中炉温稳定度的计算公式；
- 修改简化了 IEC 60397:1994 中达稳的判定方法及其测量空炉损失的计算公式。

本部分替代 GB/T 10066.4—1988《电热设备的试验方法 间接电阻炉》，与后者相比的主要技术内容变化如下：

- 增加了测温架、检测传感器、工作传感器、监控传感器、达稳时间、空炉升温能耗、热稳定状态共 7 条术语；
- 删去了“积蓄热”术语；
- 用“空炉能耗的测量”代替“积蓄热的测量”；
- 增加“安全连锁和报警系统的试验”；
- 修改了空炉升温时间计算公式；
- 修改“额定功率的测量”；
- 增加“空炉升温能耗的测量”；
- 修改“空炉损失的测量”；
- 增加“达稳时间的测量”；
- 修改“炉温均匀度的测量”；
- 修改“炉温稳定度的测量”；

GB/T 10066.4—2004

——修改“泄漏电流的测量”；

——增加第 7 章数据处理与分析；

——增加附录 A(资料性附录)推荐的电阻炉测试电气原理图。

本部分应与 GB/T 10066.1—2004《电热设备的试验方法 第 1 部分:通用部分》配合使用。

本部分的附录 A 为资料性附录。

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归口。

本部分起草单位:西安电炉研究所、西安华能电炉厂。

本部分起草人:李海波、姜战胜。

本部分代替标准的历次版本发布情况为 GB 4836(部分)—1984、GB/T 10066.4—1988。

电热设备的试验方法

第4部分：间接电阻炉

1 范围

GB/T 10066《电热设备的试验方法》的本部分适用于配有温度自动控制系统,炉内为自然气氛、中性保护气氛、控制气氛或真空,额定温度在 250℃~1 800℃范围内的各类实验用和工业用电阻炉(如井式炉、箱式炉、台车式炉、罩式炉或其他结构型式的炉子)等主要是加热和热处理用间歇式和连续式电阻炉、电阻熔炼炉和保温炉等。这些炉子可以是强迫气氛循环的或非强迫气氛循环的。

本部分是间接电阻炉(以下简称电阻炉)的专用部分,应与 GB/T 10066.1—2004 配合使用,其目的是使测定上述炉子的主要参数和技术数据的试验条件、试验项目和试验方法标准化。

本部分不适用家用和类似用途的电热器具。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 2900.23—1995 电工术语工业电热设备(neq IEC 60050(841):1983)

GB/T 10066.1—2004 电热设备的试验方法 第1部分:通用部分(IEC 60398:1999,MOD)

GB/T 10067.4—1988 电热设备基本技术条件 间接电阻炉

GB 5959.1 电热设备的安全 第1部分:通用要求(GB 5959.1—1986,neq IEC 60519-1:1984)

GB 5959.4 电热设备的安全 第4部分:对电阻炉的通用要求(GB 5959.4—1992,eqv IEC 60519-2:1975)

GB/T 9452—1988 热处理炉有效加热区的测定方法

JB/T 7629—1994 耐火纤维炉衬的设计和安装规范

3 术语和定义

GB/T 2900.23—1995、GB/T 10066.1—2004 和 GB 5959.1—1986 以及下列术语和定义适用于本部分。

3.1

间接电阻炉 indirect resistance furnace

电流通过加热元件(对电极盐浴炉,是流过电极和盐液)所产生的热量通过传导、对流、辐射,使炉料间接得到加热的电阻炉。

3.2

额定电压 rated voltage

U_n , V

电阻炉设计时规定并在铭牌上标出的接在加热元件上的电压。

3.3

工作电压 working voltage

U_r , V

对于配备调压器或变压器等的电阻炉,是在设计时规定的接在加热元件或电极(对电极盐浴炉)上的电压,通常是一个电压范围或几档电压。

3.4

额定功率 rated power

P_n , kW

电阻炉设计时规定并在铭牌上标出的输入功率。

3.5

工作温度 working temperature

θ_i , °C

电阻炉设计时规定的正常使用温度,通常是一个温度范围。在此温度范围内电阻炉应能满足所规定的炉温均匀度要求,工作温度的上限称最高工作温度。

3.6

试验温度 test temperature

θ_0 , °C

试验方法中所规定的炉子进行某项试验时的运行温度。如未加规定,试验温度就是最高工作温度。

3.7

工作区尺寸, mm working zone dimensions, mm

电阻炉设计时规定并在图样上标明,满足炉温均匀度要求,允许放置炉料的炉内空间尺寸。

3.8

空炉升温时间 no-load heating up time

t_p , h

通常指在额定电压下,把一台经过充分干燥的,没有装炉料的电阻炉,从冷态合闸加热到达到试验温度所需的时间。

对多控温区的电阻炉,是指所有控温区都达到试验温度的时间,对于配备调压器或变压器等的电阻炉,是指按企业产品标准中规定的升温程序进行升温所需的时间。

3.9

空炉损失 no-load power loss

p_0 , kW

没有装炉料的电阻炉的炉体部分在最高工作温度下的热稳定状态时所损失的功率。

3.10

空炉升温能耗 no-load heating-up energy consumption

E_{n0} , kW · h

电阻炉在空炉升温时间内所消耗的总电能。

3.11

空炉能耗 no-load energy consumption

E_{b0} , kW · h

没有装炉料的电阻炉从冷态开始升温直到试验温度下的热稳定状态时所消耗的总能量,包括这个阶段炉体所积蓄的能量和散失到周围空间的能量及其附属设备(如井式炉的底座、深井炉的专用吊具等)所积蓄和散失的能量。

3.12

炉子的热稳定状态 thermal steady state(of furnace)

炉子的炉温和加热功率不变或在某一恒定的平均值附近略有波动的一种状态。

3.13

达到热稳定状态的时间(简称达稳时间) heating-up time to thermal steady state

t_n , h

炉子从冷态加热到达到试验温度下的热稳定状态的时间间隔。

3.14

相对效率 relative efficiency

$\eta, \%$

没有装炉料的间歇式电阻炉从冷态开始加热升温并在达到最高工作温度后保温,直到达到某一规定时刻的时间(如4 h~8 h或达到热稳定状态时)内可被利用的能量与满功率输入能量之比。

3.15

炉温均匀度, °C furnace temperature uniformity, °C

电阻炉在试验温度下的热稳定状态时炉子工作区内的温度均匀程度。炉温均匀度的表示方法见6.15.6,除非另有规定,炉温均匀度表示为:在规定的各个测温点上测得的温度真实值减去设定温度(即监控点上所测得的温度)所得的最大差值(可正可负)。没有特别说明时,指在空炉情况下。特殊情况(如有罐炉,电热浴炉等),另在产品标准中规定。

3.16

炉温稳定度, °C furnace temperature stability, °C

电阻炉在试验温度下的热稳定状态时控温点温度的稳定程度。炉温稳定度的表示方法:见6.16。

3.17

表面温升, K surface temperature rise, K

电阻炉在最高温度下的热稳定状态时,炉体外表面指定范围内任意点的温度与环境温度的差。

3.18

加热能力, h heating capability, h

表征间歇式电阻炉是否有足够的输入功率的一项指标。通常表示为:在产品标准规定的试验条件下把炉料装入炉内后、炉温能在规定的时间内从冷态上升(如对真空炉)或从开始加料时的温度(对一般电阻炉)回升到规定的温度。

3.19

最大装载量, kg maximum loading, kg

间歇式电阻炉设计时规定的每一炉最多能装载的炉料重量,包括随被加热工件或材料同时进炉的料筐、料盘或夹具等的重量。

3.20

生产率, kg/h production rate, kg/h

连续式电阻炉设计时规定的在典型工件和典型加热工艺条件下,或在由制造厂和用户商定的条件下的生产能力。

3.21

多工区电阻炉 multi-working zone resistance furnace

具有多个不同工艺要求的工作区的电阻炉,如具有加热区、渗碳区、扩散区、保温区等的渗碳淬火炉,工作时各区的温度一般不相同。

3.22

多(控制)区电阻炉 multi-controlled zone resistance furnace

同一个炉膛内加热元件被分成几组,分别用单独的控制回路(或系统)进行控温的电阻炉,如深井式电阻炉等。

3.23

测温架(桩、柱、笆) temperature measuring frame (stub, stud, rake)

在炉温均匀度测量中,用来固定温度传感器位置的耐热支架(桩、柱、笆),(一般为金属制作)。

3.24

工作传感器(或控温传感器) working sensor (or sensor for temperature control)

安装在炉膛内(有罐炉除外)能准确反映炉膛温度用于控制、指示和记录炉温的传感器。

3.25

检测传感器 test sensor

安放在工作区测温架各个规定位置上用于检测该点温度的传感器。

3.26

监控传感器 monitoring sensor

炉温均匀度试验时,安装在控温传感器延伸方向处在工作区内(有罐炉除外),能准确反映工艺规定温度,并以此为基准判定炉温均匀度的传感器。

4 一般要求和基本测量

按 GB/T 10066.1—2004 第 4、5 两章的规定。

5 试验项目

除 GB/T 10066.1—2004 第 6 章中所列试验项目外,补充的项目如下,但所有这些试验项目不是必须全部进行的,对电阻炉技术经济评价所需进行的试验项目可以从中选取,必要时再在产品标准中补充,或由制造厂和用户商定。

5.1 冷态检验项目

- a) 工作区尺寸的测量;
- b) 炉衬质量的检查;
- c) 加热元件制造质量的检查;
- d) 金属加热元件冷态直流电阻的测量;
- e) 加热元件对炉壳短路的检查;
- f) 安全连锁和报警系统的试验。

5.2 热态检验项目

- a) 空炉升温时间的测量;
- b) 额定功率的测量;
- c) 最高工作温度的测量;
- d) 空炉升温能耗的测量;
- e) 空炉损失的测量;
- f) 空炉能耗的测量;
- g) 达稳时间的测量;
- h) 相对效率的测量;
- i) 炉温均匀度的测量;
- j) 炉温稳定度的测量;
- k) 表面温升的测量;
- l) 加热能力试验;
- m) 装料运行检验;
- n) 控制气氛电阻炉的检漏;
- o) 泄漏电流的测量;
- p) 生产率的测量;
- q) 热态试验后的检查。

6 试验方法

电阻炉的试验方法按 GB/T 10066.1—2004 第 7 章和以下补充规定相应项目试验,当两者有不一致时,以本部分补充项目的试验方法为准。

5.2 试验项目推荐的电阻炉电器原理图见附录 A. 1a)~c)。

6.1 工作区尺寸的测量

根据产品标准和设计图样规定用量具进行测量。

6.2 炉衬质量的检查

对砖砌炉衬,按有关规定进行检查;对耐火纤维炉衬按 JB/T 7629—1994 进行检查。

6.3 加热元件制造质量的检查

在加热元件的制造和电阻炉的装配安装过程中应按设计图样要求,用量具测量加热元件的主要尺寸,必要时用放大镜检查加热元件表面(尤其焊接部位)有无裂纹等缺陷。

6.4 金属加热元件冷态直流电阻的测量

用直流电桥或数字欧姆表测量。单相接线时测量总电阻;三线接线时测量并计算各相的电阻。

6.5 加热元件对炉壳短路的检查

在电阻炉炉体装配完成,但未烘炉干燥之前,用万用表测量加热元件对炉壳的电阻,应无短路现象。

6.6 安全联锁和报警系统的试验

按 GB/T 10066.1—2004 中 7.1.9 进行试验。用模拟信号或设备本身的电器,观察报警是否正常工作,联锁是否可靠,限位是否正确。

6.7 空炉升温时间的测量

试验前电阻炉应已充分干燥,在空炉冷态情况下接上电源,测出炉温上升到最高工作温度的时间。用秒表测量。

测量空炉升温时间应根据电阻炉所用加热元件的性质和控制方式,分别按下列要求进行测量。

6.7.1 对采用镍铬和铁铬铝等电阻温度系数不大的金属加热元件的电阻炉在测量过程中,有条件(例:有调压器等)应使输入电压的波动不超过其额定值的 $\pm 2\%$,否则应用秒表和电能表测出试验过程中的平均输入功率 p' (等于升温期间输入给炉子的电能除以实测升温时间 t'),而可用经验公式(1)近似计算:

$$t = t' \left(\frac{p'}{p_n} \right)^x \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- t ——电阻炉的空炉升温时间,单位为小时(h);
- t' ——实测升温时间,单位为小时(h);
- p_n ——电阻炉的实测额定功率;单位为千瓦(kW);
- x ——修正指数;
- p' —— t' 期间实测的平均输入功率,单位为千瓦(kW)。

注1:凡是通过调压器或变压器等供电者,按下述规定调节其输入功率;对于无级调压的电阻炉,其输入功率的偏差应在 $\pm 2\%$ 范围内,对于有级调压的电阻炉,其输入功率的偏差应在 $\pm 10\%$ 范围内,试验结果也应用上述方法折算。

注2: X 范围为 1.5~2.0,一般实验电阻炉取高值,工业电阻炉取低值。

6.7.2 对于采用钨、钼、钽、铬酸钼、碳化硅、二硅化钼等电阻温度系数较大的加热元件和石墨作为加热元件的电阻炉,在测量时其输入电压应先调节在最低值上,然后根据企业产品标准中所规定的升温方式逐渐升高电压,并且根据是分级或无级调压,使额定功率的偏差尽可能保持在 6.7.1 中所述的范围内。

6.8 额定功率的测量

在上述试验中,当炉温将达到最高工作温度而温控仪尚未起作用时,用功率表测量,对于位式控温电阻炉也可在炉温达到最高工作温度以后的通电期间内测量。若检验期间受电压波动的影响,测量结果应按下式进行折算。

$$p_n = p'_n \left(\frac{U_n}{U} \right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

p_n ——额定功率；单位为千瓦(kW)；

p'_n ——在电压 U (与 U_n 的偏差不超过 $\pm 5\%$) 时测得的功率，单位为千瓦(kW)；

U_n ——额定电压；单位为伏特(V)；

U ——测量功率时的电压，单位为伏特(V)。

6.9 最高工作温度的测量

在 6.7 的试验后，用电阻炉本身配备的温度仪表或其它合适的仪表测量。

6.10 空炉升温能耗的测量

在 6.7 所述合闸前记录电能表的读数 E_0 ，通电后，每隔 5 min~10 min 或 30 min 分别记录炉温 θ 、设备功率 p 或加热功率 p_r (分别如图 A. 1a) 或 c) 所测)、电流 I 、输入电能 $E(t)$ 以及电源电压 U ，在炉温达到最高工作温度时刻，读取电能表读数 E_a ，则空炉升温能耗 E_{a0} 即：

$$E_{a0} = E_a - E_0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

6.11 空炉损失的测量

电阻炉的空炉损失应在电阻炉空炉最高工作温度下的热稳定状态时进行测量。炉内气氛应与正常工作相同，炉内风机所消耗的功率应包括在内。

电阻炉的热稳定状态和空炉损失应在电阻炉达到最高工作温度后用下述三种方法之一来确定。

a) 平均功率法

用高精度(0.5级)、高分辨率数字电能表测量电阻炉相邻各段时间内的耗电量，如在第一段时间 Δt_1 内的耗电量为 E_1 ，在第二段时间 Δt_2 内的耗电量是 E_2 ，……在第 n 段时间内 Δt_n 内是 E_n ，……等。

对于一般位式控制的电阻炉， $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ 各段时间都必须都是整数个通断周期，即 $\Delta t + \delta_i$ ，其中 $\delta_i = (\delta_1 \delta_2 \dots \delta_n)$ 要尽可能小。

对于连续控温的电阻炉，各段时间都应相等，即 $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_n = \Delta t$, h。除非另有规定， Δt 的值对于实验电阻炉和全纤维炉衬工业电阻炉取 20 min 对砖砌炉衬工业电阻炉取 30 min。

求出各段时间内的平均功率：

$p_1 = E_1 / \Delta t_1, p_2 = E_2 / \Delta t_2; \dots, p_n = E_n / \Delta t_n$ ；设 p_{max1} 和 p_{min1} 分别是 p_1, p_2, p_3 中的最大值和最小值，求得

$$\Delta_1 = p_{max1} / p_{min1}$$

同样，对于 p_2, p_3, p_4 求得 $\Delta_2 = p_{max2} / p_{min2}$

重复类似计算，直到 $\Delta_{n-1} \leq 1.03; \Delta_n \leq 1.03; \Delta_{n+1} \leq 1.03$ 。这时，就认为在 Δt_n 时间段结束时，电阻炉已达到实际上的热稳定状态。

电阻炉的空炉损失按式(4)计算

$$p_0 = \frac{E_{n-1} + E_n + E_{n+1}}{\Delta t_{n-1} + \Delta t_n + \Delta t_{n+1}} \cdot \frac{\theta_n - 20}{\theta_n - \theta_a} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

p_0 ——电阻炉空炉损失，单位为千瓦(kW)；

$\Delta t_{n-1}, \Delta t_n, \Delta t_{n+1}$ ——测量时间段，单位为小时(h)；

E_{n-1}, E_n, E_{n+1} ——在测量时间段内的电阻炉耗电量，单位为千瓦小时(kW·h)；

θ_n ——电阻炉的最高工作温度，单位为摄氏度(°C)；

θ_a ——试验最后阶段的环境温度，单位为摄氏度(°C)。

注：如果试验中不能出现连续三个 Δ 都小于 1.03 的情况，则允许在出现连续二个 Δ 小于 1.03 以后，再次出现连续二个 Δ (Δ_n 和 Δ_{n+1}) 小于 1.03 时就认为已达热稳定状态。并用最后二个 $\Delta \leq 1.03$ 计算空炉损失。

b) 表面温升法(适用于多区炉)

用分辨率不低于 0.2°C 的温度计测量炉亮的表面温度和环境温度，测量点应选择在炉膛侧壁中心并远

离引出孔的位置上,每隔 Δt 小时测量一次温度值,并求出该点的温升值。(Δt 的取值同平均功率法)

设在测量过程中求得的炉壳表面温升值分别为 $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_n \dots$ 。为进行类似于上述平均功率法的计算,求得每三个相邻温升值中的最大与最小值之比 $\Delta_1, \Delta_2 \dots \Delta_n \dots$,直到:

$$\Delta_{n-1} \leq 1.03 \quad \Delta_n \leq 1.03 \quad \Delta_{n+1} \leq 1.03$$

这时就认为电阻炉在 Δt_n 时间段结束时已达到热稳定状态。电阻炉的空炉损失按式(5)计算。

$$p_0 = \left(\frac{E_I}{\Delta t_I} + \frac{E_{II}}{\Delta t_{II}} + \dots + \frac{E_M}{\Delta t_M} \right) \cdot \frac{\theta_n - 20}{\theta_n - \theta_a} \dots\dots\dots(5)$$

式中:

$\Delta t_I, \Delta t_{II} \dots \Delta t_M$ ——各控制区的测量时间段单位为小时(h);

$E_I, E_{II}, \dots E_M$ ——各控制区测量时间段内各区的耗电量,单位为千瓦小时(kW·h);

M ——控制区数,对单区炉, $M=1$ 。

注:对各控制区的测量时间段 Δt_M 应不小于 1 h;对位式控温的电阻炉,各区的测量时间中应分别包含整数个通断周期。

如果将电能表接到主回路,而非各区,则这时空炉损失按式(5')计算,即:

$$p_0 = \frac{E}{\Delta t} \cdot \frac{\theta_n - 20}{\theta_n - \theta_a} \dots\dots\dots(5')$$

式中:

E —— Δt 测量时间段输入给电阻炉的耗电量,单位为千瓦小时(kW·h);

Δt ——测量时间,单位为小时(h)。

注: Δt 应不小于 1.5 h。

c) 经验判稳法

由于炉衬结构和试验温度相同的同一品种电阻炉实际上达到热稳定状态的时间近似地相等,因此可以根据以往的经验(用以上 a 种方法)在企业产品标准中规定同一品种电阻炉实际上达到热稳定状态的时间。对所规定的值有争议时,用以上 a) 或 b) 方法校验。

电阻炉的空炉损失按式(6)计算:

$$p_0 = \frac{E}{\Delta t} \cdot \frac{\theta_n - 20}{\theta_n - \theta_a} \dots\dots\dots(6)$$

式中:

Δt ——从电阻炉实际上达到热稳定状态开始计算的测量时间段,单位为小时(h);

E ——在 Δt 时间内输入给电阻炉的电能,单位为千瓦小时(kW·h)。

注: Δt 应不小于 1 h;对于位式控温电阻炉, Δt 应包含整数个通断周期。

如果是位式控温,且主回路中未接电能表,也可用功率表测量,则空炉损失按式(7)计算。

$$p_0 = p_n \frac{t}{T} \cdot \frac{\theta_n - 20}{\theta_n - \theta_a} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

p_n ——达热稳定状态时电阻炉的实测额定功率,单位为千瓦(kW);

t ——通断周期内的通电时间,单位为秒(s);

T ——通断周期,单位为秒(s)。

a) 方法是基本方法,当 a) 方法难以得到正确结果时(如对多控温区电阻炉等)可采用 b) 方法。c) 方法在对由 a) 方法所取得的结果有成熟经验的情况下采用或在双方商定认可时采用。

6.12 空炉能耗的测量

分别记录在 6.7 的试验开始前电能表读数 E_0 和接着进行的 6.11 试验中实际上达到热稳定状态时电能表的读数 E_b , 求其差值 E_{b0} 就是空炉能耗。即:

$$E_{b0} = E_b - E_0 \dots\dots\dots(8)$$

6.13 达稳时间的测量

在 6.11 中 a) 的测量中,当 $\Delta n \leq 1.03$ 时,这时对应的 Δt_n 末时刻就是达稳时间,用秒表测量。

6.14 相对效率的测量

在 6.7 试验开始前和在接着进行的 6.11 试验中的规定时刻 t (如 8 h、16 h 或在达到热稳定状态时),分别读取用来测量输入给电阻炉能量的电能表的读数,相对效率按式(9)计算:

$$\eta = 1 - \frac{E_t}{p_n \cdot t} \dots\dots\dots(9)$$

式中:

- η ——相对效率,单位为百分比(%);
- p_n ——电阻炉的额定功率,单位为千瓦(kW);
- t ——从开始加热到达到某一规定时刻的时间,单位为小时(h);
- E_t ——在 t 时间内输入给电阻炉的能量,单位为千瓦小时(kW·h)。

6.15 炉温均匀度的测量

6.15.1 测量条件

- a) 本试验方法适用于用温度传感器测温的电阻炉。
- b) 炉温均匀度在电阻炉未装炉料(空炉)情况下测量,用户要求在装料情况下测量时,炉料的材质、形状、大小、布置方式、测量点的位置和要求达到的指标等由用户和制造厂另行商定。
- c) 对试验温度规定如下:
最高工作温度不超过 1 200℃ 的炉子,其试验温度分别是最低工作温度和最高工作温度。最高工作温度超过 1 200℃ 的炉子,其试验温度分别是最低工作温度和 1 200℃。
- d) 炉温均匀度在规定的测量点上,在试验温度下的热稳定状态时测量,用户如果有其它要求,可与制造厂另行商定。
- e) 具有风机的电阻炉,在试验期间风机应正常运转。
- f) 对于布置在控温点(或监控点)和各测温点上的传感器应通过转换开关用同一只准确度为 0.1 级或 0.2 级,分辨率不低于 0.001 mV 直流数字电压表或相同准确度等级的其他仪表,如 DR 系列等多点巡回检测仪表来测量。
- g) 控温传感器应固定在设计规定的位置上,其端点不应伸入到工作区内(但监控传感器应在距控温传感器端点延伸方向不超过 150 mm 处的工作区内,并以此测量值为基准,判定炉温均匀度)。对多区电阻炉,每个控温传感器附近都应有一个监控传感器。
- h) 试验用传感器(即检测传感器、控温传感器、监控传感器)应事先在试验温度范围内与标准传感器进行校正,求出其修正值。
- i) 对各个温区的控温仪表应分别进行校正。

6.15.2 测温装置

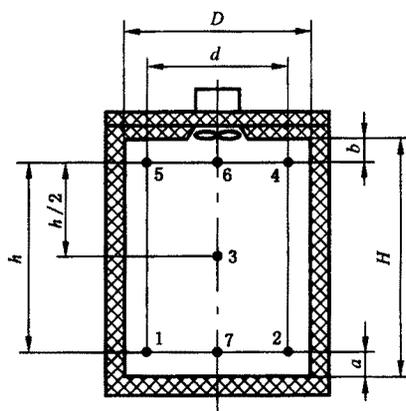
测温装置由测温架(桩、柱、笆等)、铠装传感器,补偿导线、转换开关及检测仪表等组成。

6.15.3 测温架(桩、柱、笆)

- 6.15.3.1 测温架用于固定检测传感器,以确保在试验温度下传感器的热端不移位,不变形。
- 6.15.3.2 根据试验温度的高低,测温架一般可用高温合金、不锈钢、低碳合金钢或低碳钢的管棒料焊接而成,直径一般为 8 mm~16 mm。
- 6.15.3.3 测温架的大小和形状根据电阻炉工作区形状、尺寸及测量方法而定。

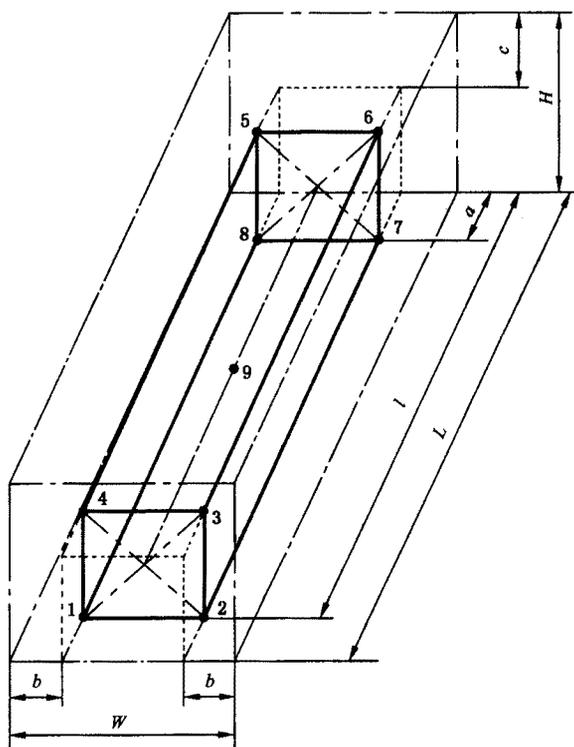
6.15.4 测温区

- 6.15.4.1 凡以“工作区尺寸”作为设计参数的电阻炉,测温区即为设计图样上用工作区所表示的长方体或圆柱体。
- 6.15.4.2 凡以“炉膛尺寸”或其它尺寸作为设计参数的电阻炉,其测温区另在产品标准中规定,或参照图 1、图 2 示意的尺寸。



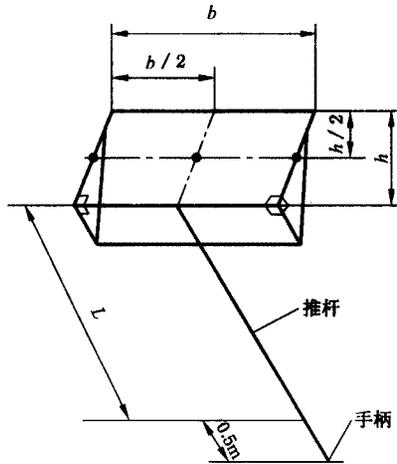
$a=100$
 $b=100$ (整体式炉盖)
 150(对分体式炉盖)
 $d=D-100$
 D ——炉膛直径
 H ——炉膛深度
 1、2、3、4、5、6、7——测温点

图 1 井式电阻炉工作区和测温点位置图



$a=5\% L+20$
 $b=5\% W+20$
 $c=5\% H+20$
 $l=90\% L-30$
 L ——炉膛长度
 W ——炉膛宽度
 H ——炉膛高度
 1、2、3、4、5、6、7、8、9 为测温点

图 2 箱式炉测温区和测温点位置图



b ——测温区宽度
 h ——测温区高度
 L ——测温区长度

图 3 连续式电阻炉测温架(篮)和测温点位置图

6.15.4.3 连续式电阻炉的测温区,一般其长度为保温区长度的 70%(主要指均温区),对淬火炉为 50%,高度为图样上标明的工作区高度,宽度为传送带两挡板间的距离,无挡板时为两端各减去 10 mm。

注:连续式炉移动测温时,应考虑由于测温架热膨胀而引起的尺寸变化。

6.15.5 测温点(不含控温点传感器)的布置

6.15.5.1 对间歇式电阻炉测温区呈现长方体且其容积等于或小于 0.15 m^3 , (适用于实验用箱式炉和小型工业用箱式炉)时,共设 5 个测温点,分别位于测温区的中心点和前下左、前上右及后上左和后下右四个端角上。如图 4 所示。

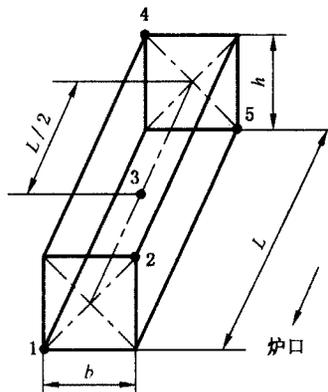


图 4 小容积箱式电阻炉工作区测温点位置示意图

6.15.5.2 对间歇式电阻炉,测温区呈长方体且其容积大于 0.15 m^3 (适用于箱式、台车式、卧式真空炉等)时。至少应有 9 个测温点,其中有一点(监控点)位于离控温点延伸方向不超过 150 mm 处,以其测量值为基准值。另外 8 点分别位于测温区的八个端角上。

- a) 当测温区长度大于 1.2 m 而不大于 2 m 时,应在测温区沿长度方向中轴线的中心点上加设一个测温点。如图 5 中第 9 点。
- b) 当测温区长度大于 2 m 而不大于 3.5 m 时,应当在上述中轴线上在两端面之间等距离加设两个测温点。
- c) 当测温区长度大于 3.5 m 而不大于 5 m 时,应在上述中轴线上两端面之间等距离加设四个测温点。
- d) 当测温区长度大于 5 m 或宽度大于 1.5 m 时,测温点的布置应按企业产品标准的规定或由用户和制造厂商定。

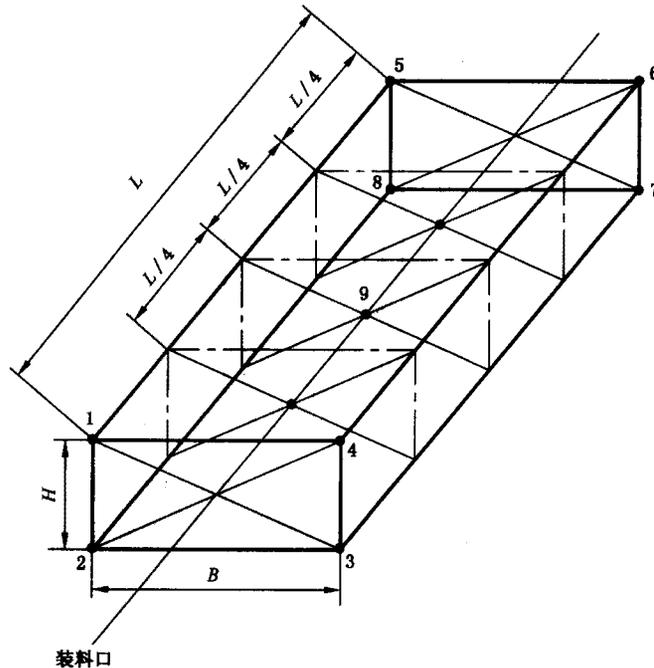


图 5 大容积箱式电阻炉工作区测温点位置图

6.15.5.3 对间歇式电阻炉测温区呈圆柱体,且其容积等于或小于 0.15 m^3 (适用于管式炉和小型井式炉等)时,设 5 点测温点分别位于测温区域垂直中心上的上、中、下三点以及对角线右上角和左下角,如图 1 所示的 1、3、4、6、7 位置。

但对实验用管式炉和小于 35 kW 的井式炉等,则可用 3 个测温点,分别位于测温区中心点和中轴线与两个端面的两交点上。如图 1 所示的 3、6、7 位置。

6.15.5.4 对间歇式电阻炉测温区呈圆柱体,且其容积大于 0.15 m^3 (适用于井式炉、罩式炉、立式真空炉等)至少应有 8 个测温点,两点分别位于中轴线与上、下两端面的交点上,6 点位于上、下两端面的边缘上,每条边缘上各 3 点对称分布,上、下两端面上的各点在正投影面上互相错开 60° 。

a) 当测温区直径大于 1 m 而不大于 2 m 时,上、下端面上各对称布置 4 个测温点,上、下端面上的各点在正投影面上应互相错开 45° 。

b) 当测温区的高度大于 1 m 时,再在中轴线两端面间中点上布置一个测温点。

c) 当测温区高度大于 2 m 时,应当把测温区沿高度方向等分为偶数 n 段,分段高度大于但尽可能接近 0.5 m,再在其中间横截面以外的其它横截面的边缘上各布置一个测温点,各点在正投影面上应依次对称分布。(图中未标出控温点附近的测温点)如图 6 所示。

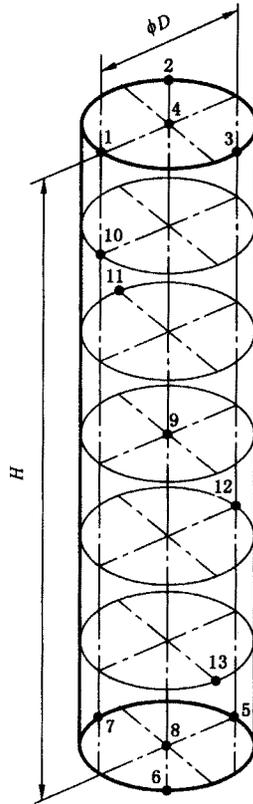


图 6 井式电阻炉工作区测温位置示意图

d) 当测温区直径大于 2 m 且高度大于 5 m 时,测温点的布置和设点数按企业产品标准中的规定或由用户和制造厂商定。

6.15.5.5 对卧式连续式电阻炉

测温点固定时,按 6.15.5.1 和 6.15.5.2 的规定。

测温点移动时,作与保温区纵向轴线垂直的截面,与测温区界面相交成矩形。对测温区高度不大于 0.4 m 的炉子。测温点取矩形侧边两中心点和矩形的中心点(共 3 点);对测温区高度大于 0.4 m 的炉子,测温点取矩形四个端点和中心点(共 5 点)。各测温点以电阻炉正常炉料输送速度向前平行移动。

6.15.6 试验方法

6.15.6.1 检验步骤

a) 根据炉型和工作区尺寸,首先确定测温点数量和位置,然后将传感器(推荐采用铠装传感器)牢固地固定在测温架(椿、柱)上,并作好标示。

b) 用补偿导线将传感器依标示序号分别连接到检验仪器上,注意极性,推荐采用多点温度巡检仪。

c) 测温架一般在室温下入炉。

d) 送电升温后,应密切注视检测传感器在检测仪器上的显示值。若发现异常情况,应及时排除。

e) 当温度达到试验温度后,应在适当保温一段时间(如 0.5 h)后,预先检测一下各检测点的温度。

f) 经判稳确知电阻炉已达到热稳定状态后,依下述三种检验方法之一测量炉温均匀度。炉温均匀度按式(10)~(12)计算:

$$\theta_{pn} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \theta_i \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$\Delta\theta_{+} = \theta_{pmax} - \theta_p \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\Delta\theta_- = \theta_{pmin} - \theta_p \dots\dots\dots(12)$$

式中：

- θ_{pn} ——试验期间所有检测点测得温度读数的算术平均值,单位为摄氏度(℃);
- m ——测量次数;
- θ_i ——试验期间测得的炉温瞬时值,单位为摄氏度(℃);
- θ_p ——由公式(10)求得的控温点(或监控点)温度值修正后的值,单位为摄氏度(℃);
- θ_{pmax} ——由公式(10)求得的各测温点温度值修正后的最大值,单位为摄氏度(℃);
- θ_{pmin} ——由公式(10)求得的各测温点温度值修正后的最小值,单位为摄氏度(℃);
- $\Delta\theta_+, \Delta\theta_-$ ——炉温的最大正负偏差,单位为摄氏度(℃)。

6.15.6.2 试验方法

a) 对间歇式电阻炉(测温点固定法)

采用下述任一种循环测量周期。

1) 对控温点(或监控点)和各测温点上的温度依次进行循环测量,循环测量次数不少于60次,测量周期定为60s。在一个周期内,测量时间越短越好,最长不超过30s。全部测量结束后,分别求得各点温度读数的平均值,再加上各点检测传感器的修正值,然后按式(10)~(12),确定所测电阻炉的炉温均匀度(此方法简称IEC法)。

2) 对控温点(或监控点)和各测温点上的温度进行循环测量,循环测量次数应不少于20次,循环测量周期定为3min。在一个周期内,测量时间应尽量短,最长不超过1min。全部测量结束后,分别求得各点温度读数的平均值再加各点检测传感器的修正值然后按式(10)~(12)确定炉温均匀度(此法简称电炉行业法)。

3) 根据电阻炉在工作时要求保温时间的长短,确定测量周期和测量次数,如表1所示(此法简称热处理行业法,此处略有变动)。

表1 温度测量间隔和次数

炉 型	间 歇 式		连 续 式		
	<30	≥30	<30	30~120	>120
工艺保温时间/min	<30	≥30	<30	30~120	>120
测量周期/min	3	5~10	3	5~20	10~15
循环测量次数	10	≥10	≥5	≥6	≥8

注1:对多区电阻炉,控温点(或监控点)温度应是各区控温点(或监控点)温度的算术平均值。

注2:若上述测量结果有异义时,以1)或2)项测量结果为准。

b) 对卧式连续式电阻炉

用下述两种方法之一进行测量,并在产品标准中选定,或由用户和制造厂商定。

1) 测温点固定法

测量方法同6.15.6.2 a)

2) 测温点移动法

在电阻炉要求保持恒定温度的工作区(保温区)内,沿炉料前进的方向,每隔一定距离(如200mm~300mm)进行二次循环测量,测量时间间隔定为3min,在每一次循环测量中,应在尽可能短的时间内测出各测温点和控温点上的温度,总的循环测量次数不应少于四次,或者按表1的规定。

总测量距离不短于保温区总长度的70%,然后按产品标准中规定的定义确定炉温均匀度。

c) 对有罐炉(含具有导风筒的电阻炉),按检验方法6.15.6.2 a),分别测量出各测温点上温度的算术平均值,再加上各检测传感器的修正值,其最高值和最低值之差,就是该电阻炉的炉温均匀度。

6.16 炉温稳定度的测量

炉温稳定度用以上“炉温均匀度的测量”中在控温点上所测得的温度按式(13)计算:

$$\delta_+ = \theta_h - \theta_p \dots\dots\dots(13)$$

$$\delta_- = \theta_p - \theta_l \dots\dots\dots(13')$$

式中:

$\delta_{+,-}$ ——炉温稳定度,单位为摄氏度(°C);

θ_p ——控温传感器(或监控传感器)测得的温度读数的算术平均值,单位为摄氏度(°C);

θ_h ——试验期间大于 θ_p 的最大温度读数,单位为摄氏度(°C);

θ_l ——试验期间小于 θ_p 的最小温度读数,单位为摄氏度(°C)。

注1:对多控温区,应分别求出各控温区的炉温稳定度。

注2:经用户和制造厂协商,也可按公式(14)计算炉温稳定度。

$$\Delta\theta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\theta_i - \theta_p)^2}{m-1}} \dots\dots\dots(14)$$

6.17 表面温升的测量

在电阻炉最高工作温度下的热稳定状态时按 GB/T 10066.1—2004 中 7.2.1 的规定用表面温度计或其它能给出可靠读数的测温装置,先测出电阻炉的表面温度,然后减去测量时的环境温度即得到表面温升。

测量点的位置应在炉门(或炉盖)、炉壳(炉顶、炉侧、炉后),操作手柄(或手轮)等外表面任意点上,但距炉门口和炉盖口附近及加热元件和热电偶引出孔的边缘和炉衬穿透紧固件中心 75 mm 的范围内除外。距非金属加热元件引出孔和观察窗边缘 90 mm 的范围内也除外。

6.18 加热能力试验

用下述两种方法之一进行试验,并在企业产品标准中选定或由制造厂和用户商定,条件许可时,应采用直接法,并以直接法的试验结果为准。

6.18.1 直接法

在产品标准规定的试验条件下,把一批等于规定重量的炉料装入炉内,记录炉温上升或回升到试验温度的时间,应符合产品标准的要求。

试验用炉料除产品标准另有规定或制造厂和用户另有协议外,对于钢铁材料,其直径或壁厚应不大于 25 mm,炉料的放置应尽可能有利于热能的吸收。

6.18.2 间接法

利用空炉加热试验所测得的数据进行估算,即对热炉装料的情况,当式(15)成立时,电阻炉即被认为具有足够大的加热能力。

$$t_n(p_n - p_0) \geq G\Delta H \dots\dots\dots(15)$$

式中:

p_n ——电阻炉的额定功率,单位为千瓦(kW);

p_0 ——由 6.11 所测得的空炉损失,单位为千瓦(kW);

t_n ——在产品标准中规定的加热能力的试验时间,单位为小时(h);

G ——规定的炉料重量,单位为千克(kg);

ΔH ——炉料从初始温度(取其准环境温度 20°C)加热到试验温度时,其热焓的增加量(kW·h/kg)
(见《电机工程手册》第 34 篇图 34.4-7 或由制造厂和用户共同认定的其他可靠资料)。

间接法不适用于真空炉和盐浴炉。

6.19 装料运行检验

除制造厂另有安排外,装料运行试验一般在用户现场进行。

按电阻炉产品标准的规定,把一批等于规定重量的炉料装入炉内,然后按规定的程序进行炉料的加热和冷却,试验炉次由用户和制造厂商定。试验后,用肉眼观察炉子各部分(如炉衬、炉底板、炉面板、炉

盖等)应无损坏或明显的变形。

6.20 控制气氛电阻炉的检漏

在电阻炉通入气氛后正常运行并处于正压的情况下,用沿焊缝和各密封处涂肥皂水或其他更好方法检漏;对可燃性控制气氛炉也可在炉温高于 760℃时用点火嘴沿焊缝和其他密封处进行点火检漏。

6.21 泄漏电流的测量

本试验只对实验用电阻炉测量。试验在最高工作温度下的热稳定状态时进行。

试验时电阻炉炉体与地绝缘,用接在炉壳与地连接线中的电流表进行测量,电阻炉的泄漏电流不得大于 20 mA。

6.22 生产率的测量

在连续式电阻炉,在正常运行条件下且已处于热稳定状态时进行,试验用炉料和加热工艺应符合产品标准规定或由制造厂和用户商定,试验至少进行 8 h。

6.23 热态试验后的检查

按 GB/T 10066.1—2004 中 7.2.8 规定进行检查。

7 数据处理与分析

7.1 所有测量数据仅保留小数点后一位,其余用数值修约法。但判稳用电参量测量数据不采用数值修约法。

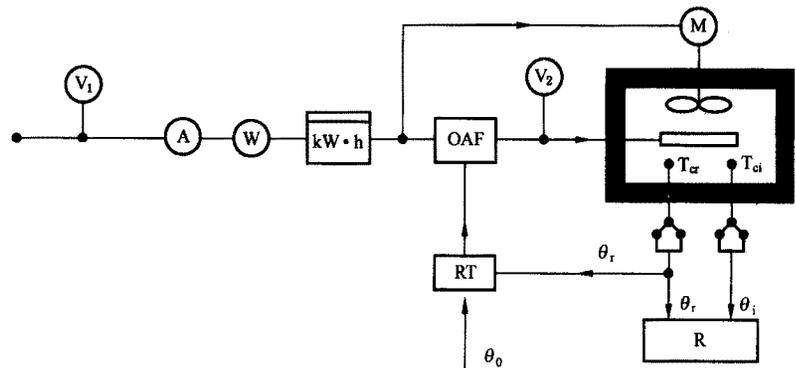
7.2 每个检测点所测得的温度值,应分别加上该点传感器的修正值,求得该点的温度真实值。

7.3 如果出现个别检测数据有异常时,首先要查明原因,采取相应措施,必要时可重复检测。

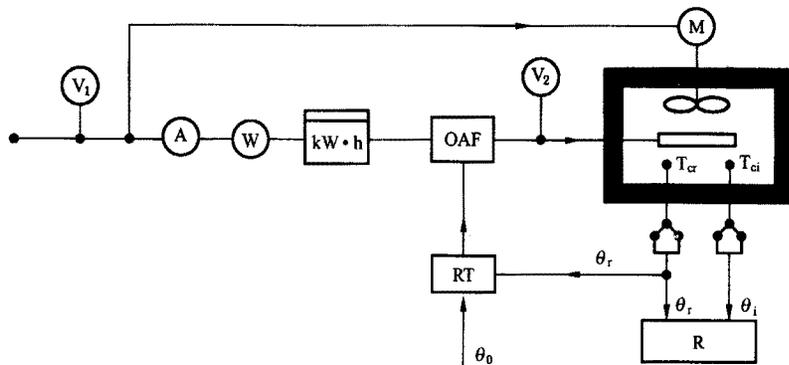
附录 A

(资料性附录)

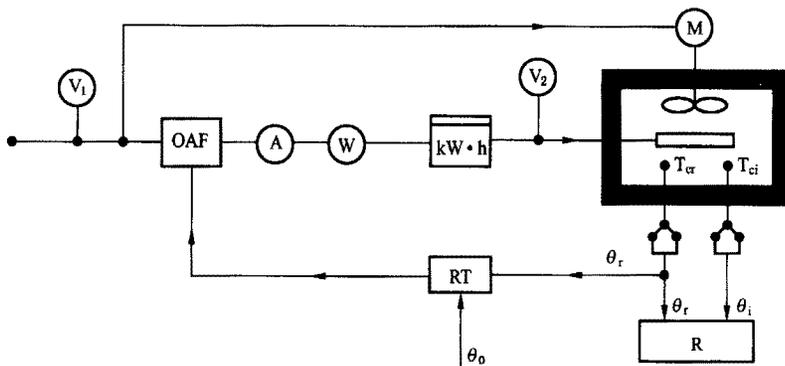
推荐的电阻炉测试电气原理图



a)



b)



c)

- | | | |
|----------------------------------|-------------------|--------------------------|
| V_1, V_2 ——电压表 | A——电流表 | W——功率表 |
| $\text{kW} \cdot \text{h}$ ——电能表 | OAF——控制柜 | M——搅拌风机 |
| RT——温度调节器 | θ_0 ——设定温度 | R——温度巡检仪 |
| θ_r ——控制温度 | θ_i ——检测温度 | T_{cr}, T_{ci} ——温度传感器 |

图 A.1 推荐的电阻炉测试电气原理图