

前 言

工业炉窑热平衡测定与计算,是企业加强能源管理,推广节能新技术,测算企业能源利用率的重要基础工作。

本标准根据工业炉窑热平衡测定通则执行情况,结合当前工业炉窑的技术发展,特制定本标准。

本标准附录 A 是提示的附录。

本标准由上海市经济委员会,上海市质量技术监督局共同提出。

本标准由上海市能源标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位:上海冶金高等专科学校、华东理工大学、上海市能源标准化技术委员会。

本标准主要起草人:王建亚、谢仲华、杨笺康、陈津迪。

本标准于 1990 年 7 月首次发布,1999 年 8 月第一次修订。



工业炉窑热平衡测定与计算

Measurement and calculation for the thermal equilibrium of
industrial furnace and kiln

DB 31/T34 - 1999

1 范围

本标准规定了工业炉窑热平衡测定原则、项目、方法,热平衡报告的内容及要求。

本标准适用于以燃料或电能为热源的工业炉窑,也适用于利用余热的加热设备。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方面应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB212 - 91 煤的工业分析方法

GB2587 - 81 热设备能量平衡通则

GB2588 - 81 设备热效率计算通则

GB/T13338 - 91 工业燃料炉热平衡测定与计算基本规则

3 术语

3.1 体系:指进行能量平衡应有明确边界线的对象。

3.2 能量平衡或热平衡:指进入体系的能量与离开体系的能量在数量上的平衡关系。

3.3 有效能量:指工业炉窑达到工艺要求时,理论上必须消耗的能量。

3.4 供给能量:指外界供给体系的能量。

3.5 热效率:指工业炉窑为达到特定目的,供给能量利用的有效程度在数量上的表示,它等于有效能量对供给能量的百分数。

4 测定原则

4.1 测定基准必须符合 GB2587 的要求。

4.2 测定体系

测定体系为炉窑本体。电炉包括专用变压器及短网。

4.3 计算单位

采用单位质量产物的热量,即 MJ/t 或 kJ/kg 为计算单位。

4.4 测定时间与周期

4.4.1 间断式炉窑的测定时间从供热开始到供热停止的全过程为一周期。

4.4.2 连续式炉窑在热工况稳定的情况下,测定时间根据行业工艺特点确定,至少连续测定 2h 以上。

4.4.3 测定参数的取值间隔应反映工艺流程、加热温度的变化规律,一般每小时至少取值 1~2 次。

4.4.4 测定期间总的测定次数不少于 8 次。

5 测定准备

5.1 熟悉炉窑设备与生产概况

5.1.1 炉窑设备

- 炉窑的类型、结构、耐火材料、绝缘与密封情况、设计与实际生产能力;
- 燃料种类及供给系统、燃料装置、燃烧点的布置;
- 电炉电热元件型号及接法;
- 供风系统、鼓风机的性能;
- 排烟系统、炉压调节机构、引风机的性能;
- 余热回收装置的类型、工作特性;
- 热工电工仪表与自动调节的配置。

5.1.2 生产工艺概况

- 入炉(窑)物料(原料)的名称、质量、成分、形状、主要尺寸;
- 出炉(窑)物料(原料)的名称、质量、成分、形状、主要尺寸;
- 工艺流程、生产过程的周期性或连续性、加热制度、供热分配;
- 生产工艺与设备的运行情况。

5.2 测定仪器

5.2.1 根据测定参数,结合现场情况,选定测定仪表。

5.2.2 测定仪器必须符合精度要求,并经认可单位检定后在有效期内使用。

5.3 测定项目原始数值由专用表格记录(见附录 A)。

5.4 方案确定

5.4.1 确定测定体系的界线。

5.4.2 物料平衡的制定

- 列入进入体系的物料项与离开体系的物料项;
- 进入体系的物料项与离开体系的物料项之间必须遵守物质不灭定律。

5.4.3 热平衡的制定

- 列出进入体系的热量项与离开体系的热量项;
- 进入体系的热量项与离开体系的热量项之间必须遵守能量守恒定律。

6 测定项目

按测定项目表1,填写相应测定数据的整理值及使用仪表。

表1 测定项目

炉窑名称		编号			
测定日期及起迄时间					
序号	项 目	符号	单位	数值	数据来源及 测定仪表名称
1	大 气	压力 炉窑周围平均干球温度 炉窑周围平均湿球温度 相对湿度	Pa ℃ ℃ %		
2	燃 料	种类 用量 压力 使用温度 低位发热量 燃料成分: O ₂ ^v H ₂ ^v N ₂ ^v CO ₂ ^v CO ₂ ^s C _m H _n ^v H ₂ S ^v C ^v H ^v S ^v N ^v w ^v A ^v 固定碳 液体燃料密度(20℃)	m ³ /h 或 kg/h Pa ℃ kJ/Nm ³ 或 kJ/kg % % % % % % % % % % % % %		

表 1(续) 测定项目

序号	项 目		符号	单位	数值	数据来源及 测定仪表名称
3	助燃空气	用量 压力 预热后温度		Nm^3/h 或 kg/h Pa $^{\circ}\text{C}$		
4	雾化剂	种类 温度 压力 用量		$^{\circ}\text{C}$ Pa kg/kg		
5	加热工件	材质 进料带 单件尺寸 单件质量 工件数量 入炉温度 出炉温度		L/h m kg n $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$		
6	氧化烧损物	厚度 烧损率 温度		m kg/kg $^{\circ}\text{C}$		
7	烟 气	出炉温度 进预热器温度 出预热器温度 出炉成分: $\text{CO}^{\%}$ $\text{CO}_2^{\%}$ $\text{O}_2^{\%}$ $\text{H}_2^{\%}$ $\text{CH}_4^{\%}$ $\text{N}_2^{\%}$ 飞灰含碳量		$^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ $\%$ $\%$ $\%$ $\%$ $\%$ $\%$ $\%$		
8	炉 体 部 位	(部位名称) ¹⁾	散热面积 表面温度 表面热流	m^2 $^{\circ}\text{C}$ $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$		
		(部位名称) ²⁾	散热面积 表面温度表 表面热流	m^2 $^{\circ}\text{C}$ $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$		

表 1(续) 测定项目

序号	项 目	符 号	单 位	数 值	数据来源及 测定仪表名称
9	开 启 炉 门	时间 长×宽×厚 炉气门、孔底部表压 温度 炉气成分: CO% CO ₂ % O ₂ % H ₂ % CH ₄ % N ₂ %	h m Pa ℃ % % % % % %		
10	冷却水	耗水量: 入炉温度 出炉温度 压力	L/h ℃ ℃ Pa		
11	汽化冷却	蒸发量(或用水量) 蒸汽压力(表压) 蒸汽流量 蒸汽温度 进水温度	L/h Pa % ℃ ℃		
12	炉膛温度 及压力	与炉尾端(进料口)距离 炉温 炉压	m ℃ Pa		
13	灰 液	含碳量 流量 渣温	% kg/h ℃		
14	热 处 理 工 件	材质: 单位尺寸 单件质量 数量 总装入量 入炉温度 加热温度 工艺制度(曲线)	m kg n kg ℃ ℃		

表 1(续). 测定项目

序号	项 目	符号	单位	数值	数据来源及 测定仪表名称
15	炉壁内表面温度	炉顶始 终 炉墙始 终 炉底始 终	℃ ℃ ℃ ℃ ℃		
16	渗碳介质	介质名称 介质滴入量 介质入炉温度 ↓ ↓	g/kg ℃ ↓ ↓		
17	保护气体	成分 入炉温度 出炉温度 总耗量	% ℃ ℃ Nm ³		
18	保护材料	种类 成分 总装入量 入炉温度 加热温度	% t ℃ ℃		
19	炉内辅助设备	名称 材质 数量 单件质量 总量 入炉温度 加热温度	n kg kg ℃ ℃		
20	熔炼原料 (原料名称) ¹⁾ (原料名称)	入炉原料总量 每吨产物原料耗量 原料平均化学成分 原料含杂质 原料入炉温度 ↓ 入炉原料总量 每吨产物原料耗量 原料平均化学成分 原料含杂质 原料入炉温度	kg kg/t % % % ℃ ↓ kg kg/t % % % ℃		

表 1(续) 测定项目

序号	项 目	符 号	单 位	数 值	数据来源及 测定仪表名称
21	熔 炼 产 物	产物名称 出炉产物总量 每吨原料产物量 出炉产物平均成分: 出炉产物温度	kg kg/t % % ℃		
22	熔 炼 炉 渣	出炉炉渣总量 渣中产物总量 净炉渣总量 每吨产物渣中产物量 每吨产物炉渣量 出炉炉渣温度 炉渣平均化学成分:	kg kg kg kg/t kg/t ℃ % %		
23	熔 炼 炉 尘	炉气含尘量 每吨产物的炉尘量 炉尘温度 炉尘平均化学成分:	g/Nm ³ kg/t ℃ % %		
24	熔 炼 炉 气	平均炉气量 每吨产物的炉气量 炉气温度 炉气压力 炉气含湿量 炉气平均化学成分:	Nm ³ /h Nm ³ /t ℃ Pa % % %		
25	煅 烧 原 料	入窑原料总量 入窑原料相对湿度 灼烧率 入窑温度 化学成分:	kg % % ℃ % %		

表 1(续) 测定项目

序号	项 目	符 号	单 位	数 值	数据来源及 测定仪表名称
26	煨 烧 制 品	出窑制品总批 出窑制品成品率 出窑制品成品量 出窑制品温度 最高焙烧温度 化学成分:	kg % kg ℃ ℃ % %		
27	煨烧 周期	煨烧周期 加热时间 冷却时间	 h h h		
28	煨 烧 废 气	废气量 废气温度 废气平均化学成分:	Nm ³ /h ℃ % %		
29	煨成替 烟气	烟气平均化学成分:	% %		
30	煨 烧 窑 尘	废气含尘量 窑尘温度 窑尘平均化学成分:	g/Nm ³ ℃ % %		
31	干 燥 物 料	物料名物: 干燥前单件质量 数量 干燥前总批 干燥前相对含水率 干燥前入炉温度 干燥后单件质量 干燥后总批 干燥后相对含水率 干燥温度	kg n kg % ℃ kg kg % ℃		

表 1(完) 测定项目

序号	项 目	符号	单位	数值	数据来源及 测定仪表名称
32	盐 浴 介 质	熔盐名称 熔盐体积 熔盐熔点下密度 熔盐平均比热 熔盐工作温度 熔盐熔化热	 m^3 kg/m^3 $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ $^\circ C$ kJ/kg		
33	电 炉	耗电量 变压器损耗 短网损耗 电热元件工作温度 电热元件质量 : :	 kWh kWh kWh $^\circ C$ kg : :		
34	其它				
注:1. 此处需填写具体部位名称。 2. 此处需填写具体原料名称。					

7 测定方法

7.1 燃料的测定按 GB/T13338 进行。

7.2 助燃空气的测定按 GB/T13338 进行。

7.3 雾化蒸汽量、温度、压力的测定

在燃烧装置近前测量蒸汽用量、温度、压力。无计量装置时,蒸汽用量可根据生产统计办法估算。也可参考使用说明书设计参数计算。

7.4 用电量测定

7.4.1 电流

用电流表测定

7.4.2 电压和视在功率

电压用电压表测定,视在功率由电流和电压的测定值计算。

7.4.3 有功功率

用有功功率表测定。

7.4.4 耗电量

用电度表、功率表测定。

7.4.5 频率和功率因素

频率由频率表测定。单相回路和接近对称和平衡的三相电路的功率因数用功率因数表

测定,或用所测有功功率和视在功率之比测定。

7.5 加热工件(物料)的测定

7.5.1 工件(物料)质量的测定

工件(物料)质量用秤称量,或根据工件尺寸及密度进行计算。

7.5.2 工件(物料)湿度的测定按 GB212 进行。

7.5.3 氧化物

工件(物料)加热产生的氧化物质量根据抽样工件加热烧损前后质量差计算,或根据氧化物厚度及密度计算。温度测量方法与工件温度相同。

7.6 烟气的测定按 GB/T13338 进行。

7.7 煤炭及飞灰含碳量的测定按 GB212 进行。

7.8 炉膛温度及压力的测定按 GB/T13338 进行。

7.9 炉体表面温度(或热流)及蓄热。

7.9.1 炉体表面温度的测定按 GB/T13338 进行。

7.9.2 周期性工作炉窑炉体热损失的计算应根据测定表面温度或热流值变化规律分为不稳定导热与稳定热两期。

——不稳定导热期应计算表面散热与炉体蓄热损失;

——稳定导热期计算表面散热损失;

——若测定期间外表温度基本稳定,其蓄热损失采用体积法计算。

7.9.3 连续式工作的炉窑,按稳定导热计算表面散热损失。

7.10 炉门及孔隙(洞)的测定按 GB/T13338 进行。

7.11 冷却水的测定按 GB/T13338 进行。

7.12 汽化冷却的测定按 GB/T13338 进行。

7.13 熔炼原料

7.13.1 熔炼原料的质量用秤称量。

7.13.2 熔炼原料取样分析其化学成分。

7.13.3 熔炼固态原料温度用接触式表面温度计进行测量;高温液态原料温度用插入式热电偶或高温红外测温仪测定。

7.14 熔炼产物

7.14.1 熔炼产物的质量用秤称量。

7.14.2 熔炼产物取样分析其化学成分。

7.14.3 熔炼产物用插入式热电偶或高温红外测温仪测定。温度测量应在出炉时立即进行。

7.15 熔炼炉渣

7.15.1 熔炼炉渣的质量在放渣后用秤称量。

7.15.2 用插入式热电偶或高温红外测温仪测量出炉炉渣温度。

7.15.3 取样分析炉渣化学成分。

7.16 熔炼炉尘

7.16.1 炉尘量用烟尘测定仪在炉膛炉气出口处测定。

7.16.2 炉尘温度按炉气温度计算。

7.16.3 取样分析炉尘化学成分。

7.17 熔炼炉气

7.17.1 炉气量一般按燃料成分、用量及炉气成分计算而得,条件具备时可用毕托管及微压计测量。

7.17.2 炉气成分的取样必须有代表性,取样位置设在炉气离开测定体系之前,采用气体分析仪分析炉气成分。

7.17.3 炉气温度用抽气热电偶测定,每小时1~2次,测定位置与炉气取样位置相同。采用普通热电偶测定应避开周围辐射传热影响。

7.18 煅烧原料

7.18.1 煅烧原料的质量采用秤称量。

7.18.2 煅烧原料取样分析化学成分、灼减率及含水量。

7.18.3 煅烧原料温度用接触式表面温度计进行测量。

7.19 煅烧制品

7.19.1 煅烧制品的质量用秤称量。

7.19.2 煅烧制品取样分析化学成分。

7.19.3 窑内制品工艺要求的最高煅烧温度与制品出窑温度用光学高温计、热电偶或高温红外测温仪测量。制品出窑温度应在出窑时立即进行测定。

7.20 煅烧废气

7.20.1 废气量一般按燃料成分、用量及废气成分计算而得,条件具备时,可用毕托管及微压计测量。

7.20.2 废气成分的取样必须有代表性,取样位置设在废气离开测定体系之前。废气成分采用气体分析仪进行。

7.20.3 废气温度用抽气热电偶测定,每小时1~2次,测定位置与废气取样位置相同,采用普通热电偶测定应避开周围辐射传热影响。

7.21 煅烧窑尘

7.21.1 窑尘量用含尘量测定仪在测定体系的出口处进行。

7.21.2 窑尘温度按废气温度计算。

7.21.3 取样分析窑尘化学成分。

7.22 干燥原料

7.22.1 干燥原料的质量采用秤称量。

7.22.2 干燥原料取样分析含水量。

7.22.3 干燥原料温度用接触式表面温度计进行测量。

7.23 干燥制品

7.23.1 干燥制品的质量采用秤称量。

7.23.2 干燥制品取样分析含水量。

7.23.3 窑内制品最高干燥温度与制品的出窑温度用热电偶、接触式表面温度计进行测量。制品温度应在出窑时立即进行测定。

7.24 保护气体的测定按 GB/T13338 进行。

7.25 渗碳介质采用称量法称重,并用普通温度计测定其入炉温度。

8 计算方法

8.1 物料平衡的计算

8.1.1 收入物料质量的计算。

8.1.1.1 熔炼、煅烧或干燥单位质量产物第*i*种原料质量 m_i 。

8.1.1.2 收入物料质量的总和 $\sum m$ 见式(1):

$$\sum m = m_1 + m_2 + \dots + m_n \quad \text{kg/t 或 kg/kg} \quad (1)$$

8.1.2 支出物料质量的计算。

8.1.2.1 熔炼、煅烧或干燥产物质量 m_1 。

8.1.2.2 炉渣质量 m_2 。

8.1.2.3 炉尘质量 m_3 。

8.1.2.4 原料中脱出的物理水量 m_4 。

8.1.2.5 原料的灼减量 m_5 。

8.1.2.6 炉气质量 m_6 。

8.1.2.7 物料平衡差值 Δm 为收入物料质量与支出物料质量总和之差见式(2):

$$\Delta m = \sum m - (m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6) \quad \text{kg/t 或 kg/kg} \quad (2)$$

物料平衡允许相对差值规定为 $\pm 5\%$, 即:

$$\left| \frac{\Delta m}{\sum m} \times 100\% \right| \leq 5\%$$

8.1.2.8 支出物料质量总和 $\sum m$ 见式(3):

$$\sum m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + \Delta m \quad \text{kg/t 或 kg/kg} \quad (3)$$

8.2 热平衡的计算

下列为常用计算项目,具体项目数,视炉窑的热平衡测定体系而定。未列项目另行栏目补充。

8.2.1 热收入项目的计算

8.2.1.1 燃料燃烧化学热量(或电热量) Q_1 。

8.2.1.2 燃料带入的物理热量 Q_2 。

8.2.1.3 助燃空气带入的物理热量 Q_3 。

8.2.1.4 雾化蒸汽带入的物理热量 Q_4 。

8.2.1.5 工件(物料或原料)带入的物理热量 Q_5 。

8.2.1.6 炉内辅助设备带入的物理热量 Q_6 。

8.2.1.7 工件(物料或原料)中化学反应放热量 Q_7 。

8.2.1.8 成渣反应热量 Q_{8n} 。

8.2.1.9 冷却产物鼓风带入的物理热量 Q_9 。

8.2.1.10 收入热量总和 $\sum Q$ 见式(4):

$$\sum Q = Q_1 + \dots + Q_n \quad \text{MJ/t 或 kJ/kg} \quad (4)$$

式中收入热量项目 m , 视炉窑热平衡测定体系而定。

8.2.2 热支出项目的计算

- 8.2.2.1 加热(或热处理)工件(或熔炼、煅烧、干燥产物)带出的物理热量 Q_1 。
- 8.2.2.2 烟气带出的物理热量 Q_2 。
- 8.2.2.3 炉门及孔洞逸气损失的热量 Q_3 。
- 8.2.2.4 化学不完全燃烧损失的热量 Q_4 。
- 8.2.2.5 机械不完全燃烧损失的热量 Q_5 。
- 8.2.2.6 燃煤灰渣带出的物理热量 Q_6 。
- 8.2.2.7 炉内辅助设备带出的物理热量 Q_7 。
- 8.2.2.8 炉渣带出的物理热量 Q_8 。
- 8.2.2.9 炉尘带出的物理热量 Q_9 。
- 8.2.2.10 原料(或物料)中水分蒸发的耗热量 Q_{10} 。
- 8.2.2.11 产物增碳耗热量 Q_{11} 。
- 8.2.2.12 原料(或物料)化学反应吸热量 Q_{12} 。
- 8.2.2.13 炉(窑)体表面散热量 Q_{13} 。
- 8.2.2.14 炉(窑)体蓄热变化量 Q_{14} 。
- 8.2.2.15 氧化烧损物带出的物理热量 Q_{15} 。
- 8.2.2.16 冷却水的吸热量 Q_{16} 。
- 8.2.2.17 汽化冷却水的吸热量 Q_{17} 。
- 8.2.2.18 保护气体带出的热量 Q_{18} 。
- 8.2.2.19 电炉电热元件引出棒(端)导热损失 Q_{19} 。
- 8.2.2.20 盐浴炉表面辐射热量 Q_{20} 。
- 8.2.2.21 余热回收装置表面散热量 Q_{21} 。
- 8.2.2.22 炉膛至余热回收装置间烟道散热量 Q_{22} 。
- 8.2.2.23 预热空气(或煤气)输送管道散热量 Q_{23} 。
- 8.2.2.24 变压器损失 Q_{24} 。
- 8.2.2.25 短网损失 Q_{25} 。
- 8.2.2.26 热平衡各项收入热量总和 $\sum Q$ 与已测各项支出热量总和之差为差值 ΔQ , 见式(5)

$$\Delta Q = \sum Q - (Q_1 + \cdots + Q_n) \quad \text{MJ/t 或 kJ/kg} \quad (5)$$

式中支出热量项目数 n , 视炉窑热平衡测定体系而定。

差值包括未测出的支出热量的误差。热平衡允许相对差值规定为 $\pm 5\%$, 即

$$\left| \frac{\Delta Q}{\sum Q} \times 100\% \right| \leq 5\%$$

- 8.2.2.27 支出热量总和 $\sum Q$ 见式(6):

$$\sum Q = Q_1 + \cdots + Q_n + \Delta Q \quad \text{MJ/t 或 kJ/kg} \quad (6)$$

9 热平衡测定报告

9.1 前言

阐明测定单位、车间、炉窑名称、测定日期及起讫时间,简介测定期间工况及需要说明的事项。

9.2 炉窑概况

按炉窑概况表 2 中的项目,填写数值或内容。

表 2 炉窑概况

炉窑名称		炉窑编号	
设计	单位		
	时间		
施工	单位		
	时间		
项 目		单 位	数值与内容
设计年产量		t/年	
实际年产量		t/年	
主要产品			
炉窑有效尺寸		m	
燃料种类			
燃烧装置:类型 个数 额定能力 供热分配		kg/h 或 Nm ³ /h %	
预热装置:类型 预热介质 预热面积 预热温度 使用寿命		m ² ℃	
余热锅炉:类型 小时产汽量 进水温度 蒸汽压力(表) 蒸汽温度 蒸汽湿度		t/h ℃ MPa ℃ %	
鼓风机:型号 额定风压 额定风量 电机功率		Pa m ³ /h kW	
引风机:型号 风压 风量 电机功率		Pa m ³ /h kW	

表2(完): 炉窑概况

项 目	单 位	数 值 与 内 容
烟囱:高度 上口直径 下口直径	m m m	
除尘设备:型号与规格 能力 效率 电机功率	t/h % kW	
变压器装置:容量 一次侧电压 二次侧电压 额定电流 空载损耗 短路损耗	kW V V A kW kW	
其他		

9.3 测定项目

按6测定项目表1列表进行。

9.4 测定计算

9.4.1 物料平衡计算

按8.1计算方法进行。

9.4.2 热平衡计算

按热平衡计算表3项目,填写计算值及计算公式。

表3 热平衡计算

序号	项 目	符号	单位	计算公式	数值
1	燃料燃烧化学热量(或电热值) (供电量/每小时的物料量)	Q_1 (N/C_p)	kJ/t kWh t/h	$Q_1 = HQ_{\text{低}}^{\text{w}}(HQ_{\text{低}}^{\text{w}} \text{ 或 } 3594.8N/C_p)$ 燃料燃烧化学热量的计算应符合 GB/T13338 的要求	
2	燃料带入的物理热量	Q_2	kJ/t	$Q_2 = B(C_{p1} - C_{p2})$ 公式计算应符合 GB/T13338 的要求	

表 3(完) 热平衡计算

序号	项 目	符号	单位	计算公式	数值
3	燃烧空气带入的物理热量	Q_3	kJ/t	$Q_3 = B \cdot \alpha \cdot I_a \cdot (C_{ka}t_k - C_{ka}t_e)$ 公式计算应符合 GB/T13338 的要求	
	∴	∴	∴	∴	∴
1'	加热物料(熔炼产物或锻烧制品)带出的物理热量	Q_1'	kJ/t	$Q_1' = 1000(C_{w1}'t_{w1}' - C_{w1}t_e)$ 公式计算应符合 GB/T13338 的要求	
2'	烟气带出的物理热量	Q_2'	kJ/t	$Q_2' = V_g(C_{g2}'t_{g2}' - C_{g2}t_e)$ 公式计算应符合 GB/T13338 的要求	
	∴	∴	∴	∴	∴
	∴	∴	∴	∴	∴

9.5 热平衡表

将炉窑热平衡测定体系中各收入、支出项热量的计算值列入热平衡表 4。

表 4 热平衡表

收 入 热 量				支 出 热 量			
符号	项 目	MJ/t (kJ/kg)	%	符号	项 目	MJ/t (kJ/kg)	%
Q_1	燃料燃烧化学热量			Q_1	物料(产物或制品)带出的物理热量		
	∴				∴		
Q_m	其他收入热量				∴		
				ΔQ	差值		
ΣQ	合 计		100	$\Sigma Q'$	合 计		100

9.6 主要技术经济指标

9.6.1 热效率

工业炉窑热效率的计算应符合 GB2588 的要求

9.6.2 单位热耗见式(7):

$$b = Q_1 \quad \text{MJ/t 或 kJ/kg} \quad (7)$$

式中: b ——单位热耗, MJ/t 或 kJ/kg;

Q_1 ——燃料燃烧化学热量, MJ/t 或 kJ/kg。

9.6.3 预热装置的温度效率与热效率

9.6.3.1 预热装置温度效率见式(8):

$$\eta_t = \frac{t_k}{t_y} \times 100 \quad (8)$$

式中： η_t ——预热装置的温度效率，%；

t_k ——预热介质出预热装置温度，℃；

t_y ——烟气进预热装置温度，℃。

9.6.3.2 预热装置热效率见式(9)：

$$\eta_t = \frac{Q_k}{Q_y} \times 100 \quad (9)$$

式中： η_t ——预热装置的热效率，%；

Q_k ——预热介质获得的热量，MJ/t 或 kJ/kg；

Q_y ——烟气带入预热装置的热量，MJ/t 或 kJ/kg。

9.6.4 其他主要技术经济指标

9.7 测定结果分析及改进意见

9.8 测定报告附件

9.8.1 测点示意图

9.8.2 热平衡测定项目原始数值见附表

9.9 测定单位、负责人、报告人、审核人(签字)

附录 A
(提示的附录)

热平衡测定项目原始数值记录表

No: _____

厂名及车间				测定日期			
炉窑名称及规格		(01)		炉窑设备编号			
测定使用仪器							
序号	时间	项目 单位	序号	时间	项目 单位		
平 均 值				平 均 值			

测定人: _____ 记录人: _____

审核人: _____ 负责人: _____