

上海市地方标准

DB31/T 34—2020
代替 DB31/T 34—1999

工业炉窑热平衡测试与计算通则

General principle for measurement and calculation of heat
balance in industrial furnace

2020-03-25 发布

2020-06-01 实施



上海市市场监督管理局 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 DB31/T 34—1999《工业炉窑热平衡测定与计算》，与 DB31/T 34—1999 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 更改了标准名称；
- 规范性引用文件删除了废止的 GB 2588 标准(见第 2 章)；
- 修改了测试体系适用范围；
- 明确了测试间隔时间，取消了测试期间总的测试次数不小于 8 次的要求(见 4.4, 1999 年版的 4.4)；
- 将主要测试内容及热平衡测试报告格式作为附录(见附录 A)。

本标准由上海市发展和改革委员会、上海市经济和信息化委员会提出，由上海市经济和信息化委员会组织实施。

本标准由上海市能源标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：上海应用技术大学、上海市能效中心、上海电气上重铸锻有限公司、正英日坩工业燃烧设备(上海)有限公司、上海金昌不锈钢管制造有限公司、上海节能技术服务有限公司。

本标准主要起草人：钱惠国、秦宏波、李慧波、李伟、陈劲松、康富贵。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- DB31/T 34—1991、DB31/T 34—1999。

工业炉窑热平衡测试与计算通则

1 范围

本标准规定了工业炉窑热平衡测试原则、测试准备、测试项目及方法、计算方法及热平衡测试报告的内容。

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 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/T 212 煤的工业分析方法
- GB/T 2587 用能设备能量平衡通则
- GB/T 13338 工业燃料炉热平衡测定与计算基本规则
- GB/T 32287 高炉热风炉热平衡测定与计算方法
- GB/T 32956 钢铁行业链算机-回转窑焙烧球团系统热平衡测试与计算方法
- GB/T 32974 钢铁行业蓄热式工业炉窑热平衡测试与计算方法
- GB/T 33956 轧钢连续加热炉热平衡测试与计算方法
- GB/T 33957 热处理炉热平衡测试与计算方法
- GB/T 33962 焦炉热平衡测试与计算方法
- GB/T 34191 钢铁行业带式焙烧机焙烧球团热平衡测试与计算方法
- GB/T 34473 烧结机热平衡测试与计算方法
- GB/T 34476 转炉热平衡测试与计算方法
- GB/T 37428 电弧炉热平衡测试与计算方法
- YS/T 121.2 有色金属加工企业电阻熔炼炉热平衡测试与计算方法
- YS/T 121.3 有色金属加工企业感应熔炼炉热平衡测试与计算方法
- YS/T 121.4 有色金属加工企业火焰加热炉及退火炉热平衡测试与计算方法
- YS/T 121.5 有色金属加工企业铸锭感应加热炉热平衡测试与计算方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热平衡测试体系 test system of heat balance

为热平衡测试需要而进行人为划分的热量进出的边界范围,通常为炉窑本体或包括余热回收装置在内的全炉体系。

3.2

炉窑热平衡 heat balance of industry furnace

在稳定工况下,进入测试体系的热量与离开测试体系的热量在数量上的平衡关系。

3.3

有效热 effective heat

物料由入炉温度被加热到工艺要求的过程中吸收的热量。

3.4

供给热 heat supply

输入热平衡测试体系内的总能量,包括燃料的低位发热量和显热,以及其他外来热源带入的热量。

3.5

炉窑热效率 heat efficiency of industry furnace

同一时间段内,炉窑有效利用的热量占输入炉窑热量的百分数。

4 测试原则

4.1 测试基准温度

测试基准温度应按 GB 2587 的规定执行。

4.2 热平衡测试范围

根据测试要求,通常可分为炉窑本体或包括余热回收装置在内的全炉热平衡测试与计算。各类工业炉测试范围的具体划分,应在各相关标准中明确规定。电炉包括专用变压器及短网。

4.3 质量、热量计算单位

物料平衡计算单位:采用单位质量产物的质量,即 kg/t 或 kg/kg 为计算单位。

热量平衡计算单位:采用单位质量产物的热量,即 MJ/t 或 kJ/kg 为计算单位。

4.4 测试时间与周期

4.4.1 间断式炉窑的测试时间至少为一个周期,即供热开始到供热停止的全过程。

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

4.4.3 测试参数的取值间隔应反映工艺流程、加热温度的变化规律,一般测试间隔为 15 min~30 min。

5 测试准备

5.1 熟悉炉窑设备状况

熟悉炉窑及有关设备的结构、性能、操作与运行、进出炉窑的物料状况及生产工艺流程情况。

5.2 制定测试方案

根据炉窑热平衡测试体系范围要求,确定进出该体系的物料和热平衡的收入项与支出项内容,并根据炉窑实际情况,选择炉窑的测试部位和测试点。

5.3 测试用仪器、仪表

5.3.1 测试时所用的仪器、仪表在测量量程范围内应符合相关标准的精度要求。

5.3.2 所用仪器、仪表应在检定或校准的合格有效期内。

5.4 组织测试人员

根据测试方案组织测试人员。测试前对测试人员进行必要的技术培训及安全教育,测试工作由专业技术人员指挥。按测试项目需要对测试人员进行分工,并对所用仪器、仪表进行检查,以确认仪器运行可靠。

5.5 选择测试时间

测试前及测试过程中,炉况及上下游工序工作情况应稳定、正常。测试过程中,因上下游工序非正常运行而影响炉况 30min 以上,应重新开始测试。

5.6 预备性测试

正式测试前,可对其中难度较大的几项或全部项目进行必要的预备性测试,以验证测试手段的可靠性。

6 测试项目及方法

6.1 主要测试项目

炉窑测试中的主要测试项目应根据测试的炉窑类型从附录 A 选择。

6.2 测试方法

工业燃料炉、高炉热风炉、钢铁行业链算机-回转窑焙烧球团系统、钢铁行业蓄热式工业炉、轧钢连续加热炉、热处理炉、焦炉、钢铁行业带式焙烧机焙烧球团、烧结机、转炉、电弧炉,以及有色金属加工企业电阻熔炼炉、感应熔炼炉、火焰加热炉及退火炉、铸锭感应加热炉的测试应分别按 GB/T 13338、GB/T 32287、GB/T 32956、GB/T 32974、GB/T 33956、GB/T 33957、GB/T 33962、GB/T 34191、GB/T 34473、GB/T 34476、GB/T 37428、YS/T 121.2、YS/T 121.3、YS/T 121.4、YS/T 121.5 中的测试方法进行。

7 计算方法

7.1 物料平衡的计算

7.1.1 收入物料质量的计算

收入物料质量总和 ΣG 按式(1)计算:

$$\Sigma G = G_1 + G_2 + G_3 + \cdots + G_m \quad \text{.....(1)}$$

式中:

G_m ——第 m 种入炉物料质量,单位为公斤每吨(kg/t)。

7.1.2 支出物料质量的计算

支出物料质量总和 $\Sigma G'$ 按式(2)计算:

$$\Sigma G' = G'_1 + G'_2 + G'_3 + \cdots + G'_{qt} \quad \text{.....(2)}$$

式中:

G'_1 ——出炉产物质量,单位为公斤每吨(kg/t);

G'_2 ——炉渣质量,单位为公斤每吨(kg/t);

G'_3 ——炉尘质量,单位为公斤每吨(kg/t);

G'_{qt} ——其他物质带出质量,单位为公斤每吨(kg/t)。

7.1.3 物料平衡差值

物料平衡差值 ΔG 为 ΣG 与 $\Sigma G'$ 之差,按式(3)计算:

$$\Delta G = \Sigma G - \Sigma G' \quad \dots\dots\dots(3)$$

7.1.4 物料平衡相对差值

物料平衡相对差值按式(4)计算,允许相对差值规定为 $\pm 5\%$ 以内:

$$\left| \frac{\Delta G}{\Sigma G} \times 100\% \right| \leq 5\% \quad \dots\dots\dots(4)$$

7.2 热平衡的计算

7.2.1 热收入项目的计算

热收入项目热量总和 ΣQ 按式(5)计算:

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{qt} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

Q_1 ——燃料燃烧化学热量(或电热量),单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q_2 ——燃料带入的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q_3 ——助燃空气带入的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q_4 ——雾化蒸汽带入的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q_5 ——工件(物料或原料)带入的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q_6 ——炉内辅助设备带入的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q_7 ——工件(物料或原料)中化学反应放热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q_8 ——成渣反应热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q_9 ——冷却产物鼓风带入的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q_{qt} ——其他供入热量,单位为兆焦每吨(MJ/t)。

7.2.2 热支出项目的计算

支出项热量总和 $\Sigma Q'$ 按式(6)计算:

$$\Sigma Q' = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + \dots + Q'_{qt} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

Q'_1 ——加热工件(或熔炼、煅烧、干燥产物)带出的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q'_2 ——烟气带出的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q'_3 ——炉门及孔洞逸气损失的热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q'_4 ——化学不完全燃烧损失的热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q'_5 ——机械不完全燃烧损失的热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q'_6 ——燃煤灰渣带出的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q'_7 ——炉内辅助设备带出的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q'_8 ——炉渣带出的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q'_9 ——炉尘带出的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

Q'_{10} ——原料(或物料)中水分蒸发的耗热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);

- Q'_{11} ——产物增碳耗热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{12} ——原料(或物料)化学反应吸热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{13} ——炉(窑)体表面散热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{14} ——炉(窑)体蓄热变化量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{15} ——工件氧化烧损物带出的物理热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{16} ——冷却水的吸热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{17} ——汽化冷却水的吸热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{18} ——保护气体带出的热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{19} ——电炉电热元件引出棒(端)导热损失,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{20} ——盐浴炉表面辐射热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{21} ——余热回收装置(包括蓄热燃烧装置)表面散热量为,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{22} ——炉膛至余热回收装置间(包括蓄热燃烧装置)烟道散热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{23} ——预热空气(或煤气)输送管道散热量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{24} ——变压器振失,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{25} ——短网损失,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q'_{qt} ——其他损失,单位为兆焦每吨(MJ/t)。

7.2.3 热平衡差值

热平衡差值 ΔQ 为 ΣQ 与 $\Sigma Q'$ 之差,按式(7)计算:

$$\Delta Q = \Sigma Q - (Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + \cdots + Q'_{qt}) \quad \cdots \cdots (7)$$

7.2.4 热平衡相对差值

热平衡相对差值按式(8)计算,允许相对差值规定为 $\pm 5\%$ 以内:

$$\left| \frac{\Delta Q}{\Sigma Q} \times 100\% \right| \leq 5\% \quad \cdots \cdots (8)$$

8 热平衡测试报告

热平衡测试完成后应编制热平衡测试报告,报告主要内容及基本格式参见附录 B。

附 录 A
(规范性附录)
主要测试项目

工业炉窑热平衡的主要测试项目见表 A.1。

表 A.1 工业炉窑热平衡主要测试项目

序号	项目	参数名称	单位	数值或内容
1	大气	压力	Pa	
		炉窑周围平均干球温度	℃	
		炉窑周围平均湿球温度	℃	
		相对湿度	%RH	
2	燃料	种类		
		用量	m ³ /h 或 kg/h	
		压力	Pa	
		使用温度	℃	
		低(位)发热量	kJ/Nm ³ 或 kJ/kg	
		燃料组分	%	
3	助燃空气	用量	Nm ³ /h 或 kg/h	
		压力	Pa	
		预热后温度	℃	
4	雾化剂	种类		
		温度	℃	
		压力	Pa	
		用量	kg/kg	
5	加热工件	材质		
		出料量	t/h	
		单件几何尺寸	m	
		单件质量	kg	
		工件数量	n	
		入炉温度	℃	
		出炉温度	℃	
6	氧化烧损物	厚度	mm	
		烧损率	kg/kg	
		出炉温度	℃	
7	烟气	出炉烟气温度	℃	
		进预热器烟气温度	℃	
		出预热器烟气温度	℃	
		出炉成分及飞灰含碳量	%	
8	散热表面	散热面积	m ²	
		表面平均温度	℃	
		表面热流密度	kJ/(m ² ·h)	

表 A.1 (续)

序号	项目	参数名称	单位	数值或内容
9	炉门开启 过程参数	开启时间 炉门孔尺寸(高×宽×厚) 炉气门、孔底部表压 温度 炉气成分	min m Pa ℃ %	
10	冷却水	耗水量 入炉温度 出炉温度 压力	t/h ℃ ℃ MPa	
11	汽化冷却	蒸发量(或用水量) 蒸汽压力(表压) 蒸汽湿度 蒸汽温度 进水温度	t/h MPa % ℃ ℃	
12	灰渣	含碳量 出炉灰渣量 出炉灰渣温度	% kg/h ℃	
13	热处理工件	材质 单位几何尺寸 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 ℃ ℃	
14	炉壁内表面温度	炉顶始终 炉墙始终 炉底始终	℃ ℃ ℃	
15	渗碳介质	介质名称 介质滴入量 介质入炉温度	g/kg ℃	
16	保护气体	成分 入炉温度 出炉温度 总耗量	% ℃ ℃ Nm ³	

表 A.1 (续)

序号	项目	参数名称	单位	数值或内容
17	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 ℃ ℃	
18	熔炼原料 (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	kg kg/t % % ℃	
19	炉炼产物	产物名称 出炉产物总量 出炉产物平均成分 出炉产物温度	kg % ℃	
20	熔炼炉渣	出炉炉渣总量 渣中产物总量 净炉渣总量 每吨产物炉渣量 出炉炉渣温度 炉渣平均化学成分	kg kg kg kg/t ℃ %	
21	熔炼炉尘	炉气含尘量 每吨产物的炉尘量 出炉炉尘温度 炉尘平均化学成分	g/Nm ³ kg/t ℃ %	
22	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 % %	
23	煅烧原料	入窑原料总量 入炉原料相对湿度 灼减率 入窑温度 化学成分	kg % % ℃ %	

表 A.1 (续)

序号	项目	参数名称	单位	数值或内容
24	煅烧制品	出窑制品总量 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 ℃ ℃ %	
25	煅烧周期	煅烧周期 加热时间 冷却时间	h h h	
26	煅烧废气	废气量 废气温度 废气平均化学成分	Nm ³ /h ℃ %	
27	煅烧窑尘	废气含尘量 窑尘温度 窑尘平均化学成分	g/Nm ³ ℃ %	
28	干燥物料	物料名称 干燥前单件质量 数量 干燥前总量 干燥前相对含水量 干燥前入炉温度 干燥后单件质量 干燥后总量 干燥后相对含水率 干燥温度	kg n kg % ℃ kg kg % ℃	
29	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	kW·h kW·h kW·h ℃ kg	
30	其他			

附 录 B
(资料性附录)
热平衡测试报告

B.1 前言

阐明测试单位、车间、炉窑名称、测试日期及起止时间,简介测试期间工况及需要说明的事项。

B.2 炉窑概况

按炉窑概况表 B.1 中的项目,填写数值或内容。

表 B.1 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 蒸汽湿度	t/h ℃ Pa ℃		

表 B.1 (续)

炉窑名称	炉窑编号	
鼓风机:类型 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	
烟囱:高度 上口直径 下口直径	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		

B.3 测试计算

B.3.1 物料平衡计算

按物料平衡计算表 B.2 项目,填写计算公式及计算结果。

表 B.2 物料平衡计算

序号	项目	符号	单位	计算公式或数据来源	数值
物料收入项					
1	入炉物料质量	G_1	kg/t		
2	燃料入炉质量	G_2	kg/t		
3	助燃空气入炉质量	G_3	kg/t		
⋮					

表 B.2 (续)

序号	项目	符号	单位	计算公式或数据来源	数值
物料支出项					
1'	出炉产品质量	G_1'	kg/t		
2'	烟气出炉质量	G_2'	kg/t		
⋮					

注：对于仅一般加热物料的工业炉窑物料平衡可合并并在热平衡中计算。

B.3.2 热平衡计算

按热平衡计算表 B.3 项目,填写计算公式及计算结果。

表 B.3 热平衡计算

序号	项目	符号	单位	计算公式或数据来源	数值
热收入项					
1	燃料燃烧化学热量 (或电热热量)	Q_1	MJ/t		
2	燃料带入的物理热量	Q_2	MJ/t		
3	助燃空气带入的 物理热量	Q_3	MJ/t		
⋮					
热支出项					
1'	加热物料(熔炼产物或 煅烧制品)带出的物理热量	Q_1'	MJ/t		
2'	烟气带出的物理热量	Q_2'	MJ/t		
⋮					

B.4 热平衡表

将炉窑热平衡测试体系中各收入、支出项热量的计算值列入热平衡表 B.4。

表 B.4 热平衡表

热收入项				热支出项			
符号	项目	MJ/t	%	符号	项目	MJ/t	%
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_2	燃料带入的物理热量			Q_2'	烟气带出的物理热量		

表 B.4 (续)

热收入项				热支出项			
符号	项目	MJ/t	%	符号	项目	MJ/t	%
Q_3	助燃空气带入的物理热量						
...				...			
				ΔQ	差值		
ΣQ	合计		100	$\Sigma Q'$	合计		100

B.5 主要技术经济指标

B.5.1 炉窑热效率

各类工业炉窑热效率的计算应在各自的热平衡标准中具体规定,或由相应设备或产品的能量平衡标准另行规定,按式(B.1)计算得出:

$$\eta = \frac{Q_{yx}}{Q_{gs}} \times 100\% \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:
 Q_{yx} ——设备的有效能量,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q_{gs} ——设备的供给能量,单位为兆焦每吨(MJ/t)。

B.5.2 单位产品热耗

单位产品热耗的计算见式(B.2):

$$b = Q_1 \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:
 b ——单位产品热耗,单位为兆焦每吨(MJ/t);
 Q_1 ——燃料燃烧化学热量,单位为兆焦每吨(MJ/t)。

B.5.3 预热装置的温度效率与热效率

B.5.3.1 预热装置温度效率

预热装置温度效率的计算见式(B.3):

$$\eta_t = \frac{t_k}{t_y} \times 100 \dots\dots\dots (B.3)$$

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,单位为摄氏度(℃);
 t_y ——烟气进预热装置的温度,单位为摄氏度(℃)。

B.5.3.2 预热装置热效率

预热装置热效率的计算见式(B.4):

$$\eta_k = \frac{Q_k}{Q_y} \times 100 \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

- η_k ——预热装置的热效率, %;
- Q_k ——预热介质获得的热量, 单位为千焦每千克(kJ/kg);
- Q_y ——烟气带入预热装置的热量, 单位为千焦每千克(kJ/kg)。

B.6 测试结果分析及改进建议

根据测试结果, 依据有关节能运行技术要求或设计指标对所测工业炉窑作出评价, 并提出提高该炉热效率的方向性建议。

B.7 测试报告附件(主要原始数据记录)

热平衡测定项目原始数据记录表见表 B.5。

表 B.5 热平衡测定项目原始数据记录表

厂名及车间		测试日期			
炉窑名称		炉窑设备编号			
测试使用仪器					
序号	时间	项目	序号	时间	项目
		单位			单位
平均值			平均值		