

工业炉及相关工艺设备 能量平衡测试及能效计算方法 第4部分：保护性或反应性气氛炉

1 范围

本文件规定了保护性或反应性气氛炉工艺设备的能量平衡和能效计算的通用方法，通用方法包括：

- 测量方法；
- 计算（一般计算）；
- 评估报告。

本文件不适用于保护性或反应性气氛炉以外的与过程本身有关的任何效率。

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 40816.1—XXXX 工业炉及相关工艺设备 能量平衡测试及能效计算方法 第1部分：通用方法（ISO 13579-1:2013, IDT）

ISO 13574 工业炉及相关工艺设备 词汇（Industrial furnaces and associated processing equipment—Vocabulary）

3 术语和定义

ISO 13574界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 本文件与能源类型相关的术语

3.1.1 总能量输入

3.1.1.1

总能量输入 total energy input

E_{input}

测得的能量输入被带入能量平衡区域的总和，由燃料当量能量和其他能量输入组成。

3.1.2 燃料当量能量

3.1.2.1

燃料当量能量 fuel equivalent energy

E_{fe}

由燃料热值、废料热值、气氛气体源气体热值和燃料当量电能组成的输入能量的总和。

3.1.2.2

燃料热值 calorific value of fuel

$E_{h, fuel}$

在能量平衡区域用于加热产品所消耗的燃料燃烧热。

3.1.2.3

气氛气体源气体热值 calorific value of source gas of atmospheric gas

$E_{fe, atm, cal}$

作为保护和反应气氛的气体源气体的热值。

3.1.2.4

燃料当量电能 fuel equivalent energy of electricity

$E_{fe, el}$

在能量平衡区域中，每发生电能消耗转化而成的燃料当量电能的总和。

3.1.3 其他能量输入

3.1.3.1

其他能量输入 other energy input

E_{others}

由燃料的显热、燃烧空气或其他氧化剂的显热、液体燃料雾化剂的显热、反应热和渗透空气的显热等组成的能量。

3.1.3.2

反应热 heat of reaction

E_{react}

在能量平衡测量区域，产品氧化反应产生的热量。

示例：钢铁产品在氧化反应过程中产生的氧化皮。

3.1.3.3

渗透空气显热 sensible heat of infiltration air

$E_{s, inflit}$

通过炉子的进出口或缝隙进入炉子内部的显热。

注：本术语可替换为“漏气显热”。

3.1.4 总能量输出

3.1.4.1

总能量输出 total energy output

E_{output}

在能量平衡区域排放或消耗的已测量能量输出的总和，由热能输出、电气辅助设备消耗能量、公辅设施用能和发电损失组成。

3.1.5 热能输出

3.1.5.1

热能输出 thermal energy output

$E_{\text{therm, out}}$

由能量平衡区域释放的热能的总和。

注：热能输出由3.1.5.2至3.1.5.12定义的能量组成。

3.1.5.2

有效能量 effective energy

E_{effect}

在能量平衡区域产品获得的焓值。

3.1.5.3

夹具损失 jig loss

$E_{l, jig}$

在能量平衡测量区域夹具处理产品的焓值。

3.1.5.4

废气显热 sensible heat of exhaust gas

E_{exhaust}

从能量平衡测量区域排放出的废气带走的热量。

3.1.5.5

间歇式炉的蓄热损失 heat storage loss by batch-type furnace

$E_{l, storage}$

在间歇式炉运行周期内，炉内耐火材料获得的显热。

3.1.5.6

气氛气体显热损失 sensible heat loss of atmospheric gas

$E_{s, atm}$

用于热处理的气氛气体通过能量平衡区域获得的显热。

3.1.5.7

炉壁热损失 wall loss

$E_{l, wall}$

工业炉表面通过辐射和对流散发的热能。

3.1.5.8

炉口放排气热损失 heat loss of discharged blowout from furnace opening

$E_{l, blowout}$

通过炉口排放出的气体带走的热量。

3.1.5.9

炉口辐射的热损失 heat loss of radiation from furnace opening

$E_{l, opening}$

通过辐射从炉口散发的热能。

3.1.5.10

炉壁上安装的部件的热损失 heat loss from furnace parts installed through furnace wall

$E_{l, parts}$

炉壁上安装的炉子部件散发的热能。

示例：辊底式炉的情况。

3.1.5.11

冷却水热损失 cooling water loss

$E_{l, cw}$

能量平衡测量区域冷却水带走的热能。

3.1.5.12

其他热损失 other losses

$E_{l, other}$

能量平衡区域未测量的热能损失。

3.1.6 电气辅助设备用能

3.1.6.1

电气辅助设备用能 energy consumed in electrical auxiliary equipment

E_{aux}

安装的电气辅助设备和流体输送产生的用能总和。

3.1.6.2

安装的电气辅助设备用能 energy consumed in installed electrical auxiliary equipment

$E_{aux, installed}$

在能量平衡区域安装的电气辅助设备（如风机、泵）的用能总和。

3.1.6.3

流体输送用能 energy used for fluid transfer

$E_{aux, fluid}$

从流体的性质计算出的流体传递能量的总和。

示例：冷却水、燃油等。

3.1.7 公辅设施用能

3.1.7.1

公辅设施 utility

为能量平衡区域提供燃料和电力以外的服务。

示例：氧气、蒸汽和气氛气体。

3.1.7.2

公辅设施用能 energy used for generation of utility

$E_{utility}$

在能量平衡区域为公辅设施产生用能的总和。

3.1.8 发电损失

3.1.8.1

发电损失 electrical generation loss

$E_{l, eg}$

由燃料当量能量和消耗的总电能反算而来的能量。

3.1.9 热能平衡

3.1.9.1

从电热源输入的热能 thermal energy input from electrical heating source

从电热源进入工艺的热能，例如电加热器释放热能到能量平衡区域。

3.1.9.2

循环热 circulating heat

在能量平衡区域安装的设备或系统内循环的热量。

3.1.10 发电能量平衡

3.1.10.1

电能总消耗 total consumed electrical energy

$E_{e, total}$

在能量平衡区域消耗的电能总和，等于电热源输入的热能、电气辅助设备用能以及公辅设施用电能之和。

3.1.10.2

公辅设施用电能 electrical energy used for generation of utilities

$E_{e, utility}$

在能量平衡区域为产生公辅设施（如制作氧气）所消耗电能的总和。

3.1.11 回收能量

3.1.11.1

回收能量 recycled energy

E_{re}

从能量平衡区域废热中回收的能量。

示例：废气余热锅炉回收的能量。

4 符号

下列符号适用于本文件。

注1：所用吨为公吨。

注2：关于气体容量单位，见 6.5。

符号	定义	单位
$C_{pm,p2}$	产品的平均比热介于 T_{p2} 和 273.15K 之间	千焦每千克开尔文 [kJ/(kg·K)]
$C_{pm,ps}$	产品的平均比热介于 T_s 和 273.15K 之间	千焦每千克开尔文 [kJ/(kg·K)]
E_{aux}	生产每吨产品电气辅助设备消耗的能量	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{aux,fluid}$	生产每吨产品流体传送用能总和	千焦每吨 (kJ/t)
E_{effect}	生产每吨产品有效能量	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{exhaust}$	生产每吨产品废气显热	千焦每吨 (kJ/t)
E_{fe}	生产每吨产品燃料当量能量	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{h,fuel}$	生产每吨产品燃料热值	千焦每吨 (kJ/t)
E_{input}	生产每吨产品输入总能量	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{l,blowout}$	生产每吨产品炉口放排气热损失	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{l,cw}$	生产每吨产品冷却水热损失	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{l,eg}$	发电能量损失	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{l,opening}$	生产每吨产品炉口辐射热损失	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{l,other}$	生产每吨产品其他热损失	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{l,parts}$	炉壁上安装的部件的热损失	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{l,storage}$	生产每吨产品间歇式炉的蓄热损失	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{l,wall}$	生产每吨产品炉壁热损失	千焦每吨 (kJ/t)
E_{others}	生产每吨产品输入的其他能量	千焦每吨 (kJ/t)
E_{p2}	生产每吨产品在能量平衡区域出料时产品的显热 (焓)	千焦每吨 (kJ/t)
E_{react}	生产每吨产品的反应热	千焦每吨 (kJ/t)
E_{re}	生产每吨产品从废热中再生的能量	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{s,air}$	生产每吨产品燃烧空气或其他氧化物的显热	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{s,atomize}$	生产每吨产品雾化剂的显热	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{s,fuel}$	生产每吨产品燃料的显热	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{s,infiltr}$	生产每吨产品渗透空气的显热	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{s,oxid}$	生产每吨产品氧化物的显热	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{therm,out}$	生产每吨产品的热 (输出) 能	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{utility}$	生产每吨产品公辅设施用能	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{u,oxy}$	生产每吨产品产生氧气的能量	千焦每吨 (kJ/t)
$E_{u,steam}$	生产每吨产品产生蒸汽的能量	千焦每吨 (kJ/t)
M_{loss}	每吨产品的质量损失	千克每吨 (kg/t)
M_p	产品质量	千克或吨 (kg或t)
T_{p1}	在能量平衡区域装炉时产品的平均温度	开尔文 (K)
T_{p2}	在能量平衡区域出炉时产品的平均温度	开尔文 (K)
η_1	总能效	—
η_e	区域发电效率	—
σ_1	热电偶的绝对误差	摄氏度 (°C)

σ_2	补偿导线的绝对误差	摄氏度 (°C)
σ_3	热电偶输出设备的绝对误差	摄氏度 (°C)

5 基本原则

5.1 概述

应明确能量平衡测定的区域。

注：确定保护性或反应性气氛炉能量平衡测定区域的示例见图1和图2。

能量平衡测定应包括以下几个方面：

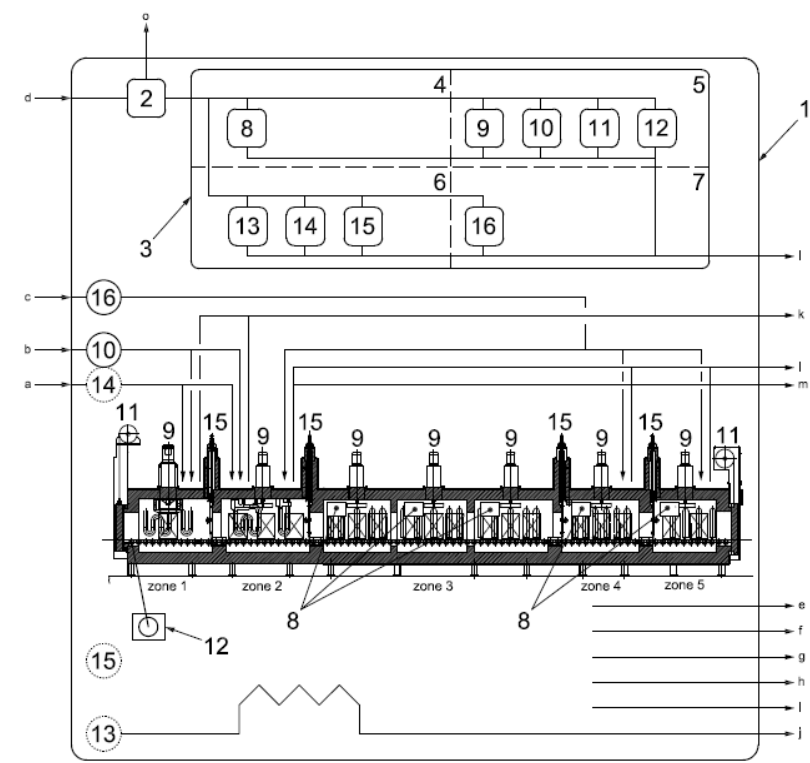
- a) 能量输入：
 - 燃料当量能量， E_{fe} ；
 - 其他能量输入， E_{others} ；
- b) 能量输出：
 - 热能输出， $E_{therm, out}$ ；
 - 电气辅助设备耗能， E_{aux} ；
 - 公辅设施用能， $E_{utilities}$ ；
 - 发电损失， $E_{l, ego}$ 。

根据测量数据确定进入和流出能量平衡区域的能量输入和输出。

能量平衡区域的输入总能量和输出总能量应相平衡。

能量平衡测定的结果应汇总成一份能量平衡表，表中包含如设备汇总、测量条件和测量数据等必要信息。

热能平衡和发电可作为子类创建（见7.3和7.4）。



标引序号说明:

1——能量平衡区域;

2——发电;

3——电气辅助设备;

4——电热设备;

5——安装的电气辅助设备;

6——流体输送设备;

7——公辅设施;

8——电热器;

^a 燃料显热。

^b 助燃空气显热。

^c 气氛气体源气体热值。

^d 燃料当量电能。

^e 有效能量。

^f 炉壁热损失。

^g 炉子开口辐射热损失。

^h 炉壁部件热损失。

9——RC风扇;

10——燃烧风机;

11——电机 (门);

12——电机 (辊底驱动);

13——冷却水泵;

14——燃料输送设备;

15——内门压缩机和气缸;

16——气氛气体发生器。

ⁱ 夹具损失。

^j 冷却水热损失。

^k 废气显热。

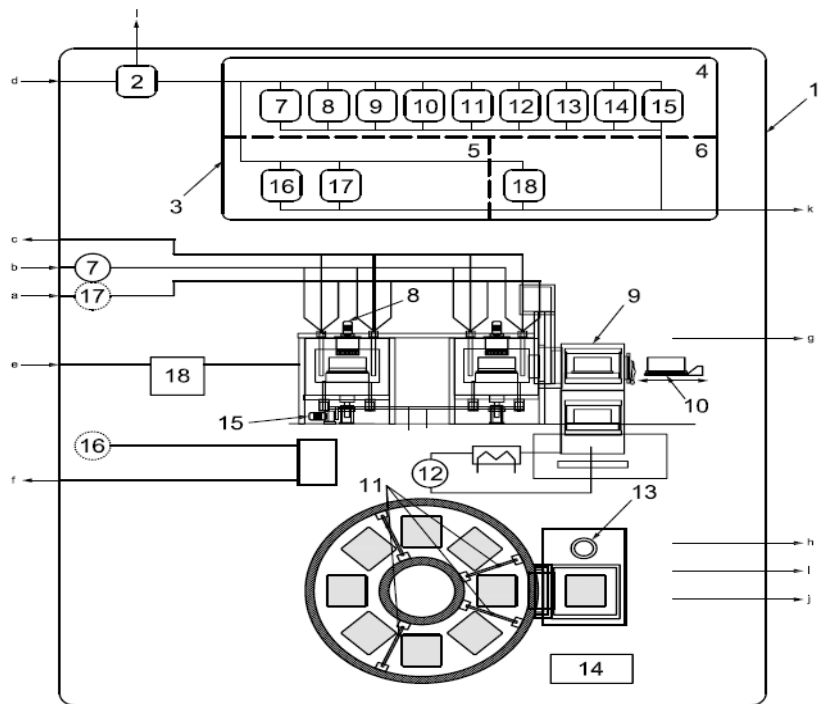
^l 气氛气体源气体热值。

^m 气氛气体显热损失。

ⁿ 电器辅助设备用能。

^o 发电损失。

图1 连续式渗碳炉能量平衡测定区域示例



标引序号说明:

1——能量平衡区域;

2——发电;

3——电气辅助设备;

4——安装的电气辅助设备;

5——流体输送设备;

10——装料和出料;

11——间歇门;

12——油泵;

13——油式搅拌器;

14——控制单元;

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 6——公辅设施; | 15——转底驱动; |
| 7——助燃空气; | 16——冷却水泵; |
| 8——循环风扇; | 17——燃料输送设备; |
| 9——升降驱动; | 18——气氛气体发生器。 |
| ^a 燃料显热。 | ^g 气氛气体源气体热值。 |
| ^b 助燃空气显热。 | ^h 有效能量。 |
| ^c 废气显热。 | ⁱ 炉子热损失（例如炉壁损失）。 |
| ^d 燃料当量电能。 | ^j 过程气体显热损失。 |
| ^e 气氛气体源气体热值。 | ^k 电气辅助设备用能。 |
| ^f 冷却水热损失。 | ^l 发电损失。 |

图2 转底炉能量平衡测定区域示例

5.2 能量流动图

能量流动图（或桑基图）见GB/T 40816.1—XXXX的5.2。

5.3 过程加热评估和测量工具

过程加热评估和测量工具（PHAST）见GB/T 40816.1—XXXX的5.3。

6 测量和计算基本条件

6.1 炉子状态

拟测量的炉子应按照GB/T 40816.1—XXXX中6.1的要求准备。

6.2 测量时间

测量时间见GB/T 40816.1—XXXX的6.2。

6.3 比能强度单位

比能强度单位见GB/T 40816.1—XXXX的6.3。

6.4 基准条件

基准条件见GB/T 40816.1—XXXX的6.4。

6.5 气体量单位

气体量单位见GB/T 40816.1—XXXX的6.5。

6.6 燃料

燃料见GB/T 40816.1—XXXX的6.6。

7 能量类型

7.1 概述

本文件评估的能量及其符号见第3章。
除另有规定外，所有能量应表示为千焦每吨（kJ/t）。

7.2 能量平衡

本文件评估的能量系统化见表1。

表1 本文件评估的能量类型系统化-总能量平衡

能量类型			
总能量输入/输出	中间种类	详细列项	
总能量输入， E_{input}	燃料当量能量， E_{fe}	燃料热值， $E_{h, fuel}$	
		气氛气体源气体热值， $E_{fe, atm, cal}$	
		燃料当量电能， $E_{fe, el}$	
	其他能量输入， E_{others}	燃料显热， $E_{s, fuel}$	
		燃烧空气显热， $E_{s, air}$	
		雾化剂显热， $E_{s, atomize}$	
		反应热， E_{react}	
		渗透空气显热， $E_{s, infiltr}$	
	总能量输出， E_{output}	热能， $E_{therm, out}$	有效能量， E_{effect}
夹具损失， $E_{l, jig}$			
废气显热， $E_{exhaust}$			
间歇式炉子蓄热损失， $E_{l, storage}$			
炉壁损失， $E_{l, wall}$			
炉子开口泄露热损失， $E_{l, blowout}$			
炉子开口辐射热损失， $E_{l, opening}$			
炉壁安装部件热损失， $E_{l, parts}$			
冷却水热损失， $E_{l, cw}$			
其他热损失， $E_{l, other}$			
电气辅助设备， E_{aux}		安装电气辅助设备用能， $E_{aux, installed}$ ，例如风机等	
		流体输送用能， $E_{aux, fluid}$ ，例如冷却水等	
公辅设施		氧气， $E_{u, oxy}$	
		蒸汽， $E_{u, steam}$	
		气氛气体	生产用能， $E_{u, stm, gen}$
			气体源热值， $E_{u, stm, cal}$
发电损失， $E_{l, eg}$			

7.2.1 总能量输入

见3.1.1。

7.2.2 燃料当量能量

见3.1.2。

气氛气体源气体在未燃烧状态下从炉子散发出来，也应将气氛气体源气体的热值 $E_{fe, atm, cal}$ 算作能量输入。

若先导燃烧器和火焰燃烧器用于保护性或反应性气氛中测量炉子，则它们消耗的热值 $E_{h, fuel}$ 应包含在燃料热值中。

区域发电效率应适用于燃料当量电能 $E_{fe, el}$ 的惯例。

7.2.3 其他能量输入

见3.1.3。

7.2.4 总能量输出

见3.1.4。

7.2.5 热能输出

见3.1.5。

7.2.6 电气辅助设备用能

见3.1.6。

在加热过程中，若电气辅助设备的部分用能 $E_{aux, installed}$ 被用做热能，则应从安装辅助设备总耗能中减去该热能。

当用于流体输送的电气辅助设备用能（例如泵）无法通过对设备提供的电能测量来确定时（例如从工厂设施输送的冷却水），应采用流体输送用能 $E_{aux, fluid}$ 。

7.2.7 公辅设施用能

见3.1.7。

除了用于热处理的氧气、蒸汽和气氛气体以外，产生公共事业的用能 $E_{utility}$ 。

用于热处理的气氛气体产生用能应包括源气体热值 $E_{u, atm, cal}$ 和气氛气体产生用能 $E_{u, atm, gen}$ 。

7.2.8 发电损失

见3.1.8。

7.3 热能平衡

7.3.1 概述

热能平衡表可作为总能量平衡的一个子类别进行创建，热能平衡应视作总能量平衡的一部分。

热能平衡区域应基本上等同于被测加热炉燃烧室面积（见图1）。

热能的系统化如表2所示。

表2 本文件使用的能量类型系统化-热能平衡

能量类型		
热能输入/输出	中间种类/详细列项	
热能输入， E_{input}	燃料热值， $E_{\text{h, fuel}}$	
	电热源输入热能	
	其他能量输入， E_{others}	燃料显热， $E_{\text{s, fuel}}$
		助燃空气显热， $E_{\text{s, air}}$
		雾化剂显热， $E_{\text{s, atomize}}$
		热反应， E_{react}
		渗透空气显热， $E_{\text{s, infiltr}}$
热能输出， $E_{\text{therm, out}}$	有效能量， E_{effect}	
	夹具损失， $E_{\text{l, jig}}$	
	废气显热， E_{exhaust}	
	间歇式炉子蓄热损失， $E_{\text{l, storage}}$	
	气氛气体显热损失， $E_{\text{l, storage}}$	
	炉壁损失， $E_{\text{l, wall}}$	
	炉子开口泄露热损失， $E_{\text{l, blowout}}$	
	炉子开口辐射热损失， $E_{\text{l, opening}}$	
	炉壁安装部件热损失， $E_{\text{l, parts}}$	
	冷却水热损失， $E_{\text{l, cw}}$	
	其他热损失， $E_{\text{l, other}}$	
注：热能平衡表的应用是可选的。		

7.3.2 电热源输入的热能

见3.1.9.1。
从电热源输入的热能不应是燃料当量电能。如有必要宜考虑热转换效率。

7.3.3 循环热量

见3.1.9.2。
当确定循环热量时，应与热能平衡表分开汇总。

7.4 发电能量平衡

7.4.1 概述

发电能量平衡可作为总能量平衡的一个子类别使用，此电能平衡应视为总能量平衡的一部分。
注：当计算燃料当量电能 $E_{\text{fe, el}}$ 时，此分类很有用。
发电有关的能量系统化如表3所示。

表3 本文件使用的能量类型-发电能量平衡

能量类型		
能量输入/输出	中间种类/详细列项	
输入	燃料当量电能, $E_{\text{fe, el}}$	
输出	总消耗电能,	电热源输出热能

	$E_{e, total}$	电气辅助设备， E_{aux}	安装电气辅助设备用能， $E_{aux, installed}$ ，风机等 流体输送用能， $E_{aux, fluid}$ ，冷却水等
		产生公辅设施所 用电能， $E_{e, utility}$	氧气， $E_{u, oxy}$
			蒸汽， $E_{u, steam}$
			产生气氛气体用能， $E_{u, atm, gen}$
	发电损失， $E_{l, eg}$		
	注：发电能量平衡表的应用是可选的。		

7.5 回收能量

见3.1.11。
根据9.4.1总能效计算的规定，此类能量值可从总能量输入中扣除。

8 测量方法

8.1 概述

测量方法见GB/T 40816.1—XXXX的8.1。

8.2 燃料

8.2.1 体积

体积见GB/T 40816.1—XXXX的8.2.1。

8.2.2 热值的取样、测试、分析和测量

热值的取样、测试、分析和测量见GB/T 40816.1—XXXX的8.2.2。

8.2.3 压力和温度

压力和温度见GB/T 40816.1—XXXX的8.2.3。

8.3 助燃空气和废气

8.3.1 助燃空气

8.3.1.1 助燃空气体积

助燃空气体积见GB/T 40816.1—XXXX的8.4.1.1。

8.3.1.2 助燃空气压力和温度

助燃空气压力和温度见GB/T 40816.1—XXXX的8.4.1.2。

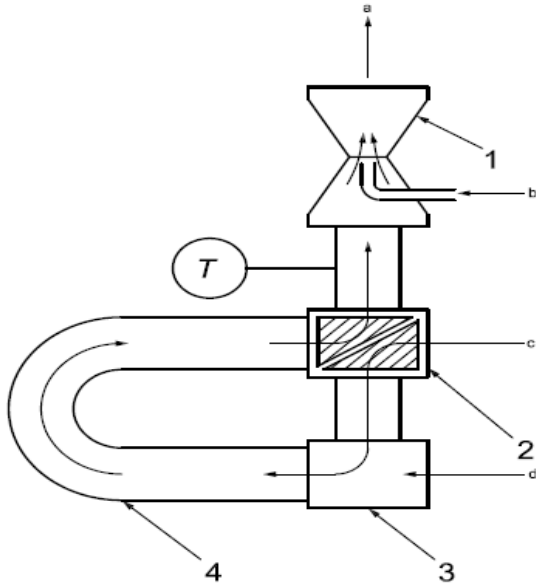
8.3.2 废气

8.3.2.1 温度

在能量平衡区出口处测量废气的平均温度。在确定预热设备产生的循环热量时，分别测量设备进、出侧的温度。

废气的测量位置应在换热器（即蓄热式燃烧器）的出口（即排气温度较低的一侧）。对于带喷嘴的废气系统（见图3），应在抽气前测量废气温度。

可使用燃料量、燃料构成体积比和空气流量计算废气流量。



- 标引序号说明：
- | | |
|-----------|-------------|
| 1——喷嘴； | a 废气流动方向。 |
| 2——蓄热器； | b 高压空气流动方向。 |
| 3——燃烧器； | c 助燃空气流动方向。 |
| 4——辐射管； | d 燃料吸入方向。 |
| T——温度测量点。 | |

图3 由排气管排出废气的测量点

8.3.2.2 废气分析方法

废气分析方法见GB/T 40816.1—XXXX的8.4.2.2。

8.3.3 具有蓄热功能燃烧器的测量方法

8.3.3.1 蓄热式燃烧器

8.3.3.1.1 测量位置

测量位置见GB/T 40816.1—XXXX的8.4.3.1.1。

8.3.3.1.2 废气温度测量

废气温度测量见GB/T 40816.1—XXXX的8.4.3.1.2。

8.3.3.2 辐射管式预热烧嘴

辐射管式预热烧嘴见GB/T 40816.1—XXXX的8.4.3.2。

8.4 控制气氛气体

8.4.1 体积

体积见GB/T 40816.1—XXXX的8.5.1。

8.4.2 温度

温度见GB/T 40816.1—XXXX的8.5.2。

8.5 产品

8.5.1 质量

使用称重设备来确定产品的质量。

8.5.1.1 连续式炉

连续式炉见GB/T 40816.1—XXXX的8.6.1.1。

8.5.1.2 间歇式炉

间歇式炉见GB/T 40816.1—XXXX的8.6.1.2。

8.5.2 温度

温度见GB/T 40816.1—XXXX的8.6.2。

8.6 炉子表面温度

8.6.1 炉壁

炉壁见GB/T 40816.1—XXXX的8.7.1。

8.6.2 炉壁上安装的部件截面

炉壁上安装的部件截面见GB/T 40816.1—XXXX的8.7.2。

8.7 炉子内壁温度

炉子内壁温度见GB/T 40816.1—XXXX的8.8。

8.8 炉膛压力

炉膛压力见GB/T 40816.1—XXXX的8.9。

8.9 冷却水

8.9.1 温度

温度见GB/T 40816.1—XXXX的8.10.1。

8.9.2 流量

流量见GB/T 40816.1—XXXX的8.10.2。

8.10 电气辅助设备

8.10.1 安装电气辅助设备

安装电气辅助设备见GB/T 40816.1—XXXX的8.11.1。

8.10.2 流体输送用能

流体输送用能见GB/T 40816.1—XXXX的8.11.2。

8.11 公辅设施产生用能

公辅设施产生用能见GB/T 40816.1—XXXX的8.12。

8.12 回收能量

回收能量见GB/T 40816.1—XXXX的8.13。

9 计算

9.1 一般条款

一般条款见GB/T 40816.1—XXXX的9.1。

9.2 总能量输入

9.2.1 燃料热值

9.2.1.1 概述

燃料热值见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.1.1。

9.2.1.2 气体燃料

气体燃料见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.1.2。

9.2.1.3 液体燃料

液体燃料见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.1.3。

9.2.2 废料热值

废料热值见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.2。

9.2.3 气氛气体源气体热值

气氛气体源气体热值见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.3。
可采用表A.1中所列的气氛气体类型。

9.2.4 燃料当量电能

燃料当量电能见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.4。

9.2.4.1 燃料显热

燃料显热见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.4.1。

9.2.5 助燃空气显热

9.2.5.1 概述

助燃空气显热见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.5.1。

9.2.5.2 气体燃料

气体燃料见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.5.2。

9.2.5.3 液体燃料

液体燃料见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.5.3。

9.2.5.4 空气过剩系数的简化计算

空气过剩系数的简化计算见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.5.4。

9.2.6 渗透空气显热

渗透空气显热见GB/T 40816.1—XXXX的9.2.8。

9.3 总能量输出

9.3.1 热能输出

9.3.1.1 有效能量

9.3.1.1.1 概述

有效能量见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.1.1。

9.3.1.1.2 产品显热

9.3.1.1.2.1 装料时显热

装料时的产品显热见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.1.2.1。

可使用基准温度为273.15K的热量表（对于钢产品见表A.2）。

9.3.1.1.2.2 出料时显热

用式（1）计算能量平衡区域内每吨铝产品出料时的产品显热：

$$E_{p2} = 1000 \times c_{pm,p2} \times (T_{p2} - 273.15) \dots\dots\dots (1)$$

可使用基准温度为273.15K的热量表（对于钢产品见表A.2）。

9.3.1.2 夹具损失

夹具损失见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.2。

9.3.1.3 废气显热

9.3.1.3.1 概述

废气显热见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.4.1。

9.3.1.3.2 气体燃料

气体燃料见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.4.2。

9.3.1.3.3 液体燃料

液体燃料见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.4.3。

9.3.1.4 间歇式炉蓄热损失

间歇式炉的蓄热损失见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.5。

9.3.1.5 气氛气体显热损失

气氛气体显热损失见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.6。

气氛气体的体积分数可参考表A.1。

9.3.1.6 炉壁损失

炉壁损失见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.7。

9.3.1.7 炉口放排气热损失

炉口放排气的热损失见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.8。

9.3.1.8 炉口辐射热损失

炉口辐射的热损失见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.9。

9.3.1.9 炉壁上安装部件的热损失

炉壁上安装部件的热损失见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.10。

9.3.1.10 冷却水热损失

冷却水热损失见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.1.11。

9.3.2 电气辅助设备用能

9.3.2.1 电气辅助设备用能

电气辅助设备用能见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.2.1。

9.3.2.2 安装的电气辅助设备用能

安装的电气辅助设备用能见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.2.2。

9.3.2.3 流体输送用能

流体输送用能见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.2.3。

9.3.3 公辅设施用能

9.3.3.1 概述

公辅设施用能见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.3.1。

9.3.3.2 氧气

氧气见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.3.2。

9.3.3.3 蒸汽

蒸汽见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.3.3。

9.3.3.4 热处理用气氛气体

9.3.3.4.1 发生器运行用能

发生器运行用能见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.3.4.1。

9.3.3.4.2 源气体热值

源气体热值见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.3.4.2。

对于气氛气体可参考表A.1。

9.3.4 发电损失

发电损失见GB/T 40816.1—XXXX的9.3.4。

9.4 总能效

9.4.1 概述

总能效见GB/T 40816.1—XXXX的9.4.1。

9.4.2 限于升温过程的总能效

限于升温过程的总能效见GB/T 40816.1—XXXX的9.4.2。

对于保护性或反应性气氛炉，能效宜在加热过程中评估，而不是在整个过程中评估。

10 能量平衡评估报告

能量平衡评估报告应符合GB/T 40816.1—XXXX中第10章的规定。

注：能量平衡评估报告的示例见附录B和附录C。

附 录 A
(资料性)
参考数据

气氛气体的类型和成分示例见表A.1。

表A.1 气氛气体的类型和成分示例

气氛气体类型	成分示例 体积比, %				应用
	CO ₂	CO	H ₂	N ₂	
放热气体	12.5	1.5-11	1.5-12	平衡	低碳钢或铜合金的正火处理
吸热气体 (来源: 液化天然气和液化石油气)	0.18	20.9-23.9	30.4-38.9	平衡	中低碳钢的渗碳、正火处理
氨气裂解	—	—	75	平衡	不锈钢的正火处理
氮气	<0.05	<0.05	—	平衡	低碳钢的正火处理
氢气			>99.9		低碳钢和不锈钢的正火处理
滴注液裂解气 (CH ₃ OH)	—	33.3	66.7	平衡	渗碳处理
实际计算时, 应测量实际气体组成, 计算净热值。					
注: 表中所示数值是日本使用的气氛气体组成的典型示例。					

钢的比热见表A.2。

表A.2 钢的比热

将钢的温度从 0℃ 提升至目标温度所需的热值			
目标温度	镇静钢 0.08% ^a	低碳钢 0.23% ^a	碳素钢 0.4% ^a
℃	kJ/kg		
0	0.0	0.0	0.0
50	23.44	23.44	23.44
100	47.72	47.72	47.72
150	72.84	72.84	72.84
200	98.79	98.79	98.37
250	126.00	125.58	124.74
300	153.63	153.21	152.37
350	182.09	182.09	180.84
400	211.81	211.81	210.14
450	243.21	243.21	240.70
500	276.28	276.28	273.35
550	311.02	311.44	307.67
600	348.28	348.69	343.25

650	387.62	388.04	379.67
700	430.32	430.32	418.18
750	487.25	501.90	497.30
800	535.39	549.62	528.27
850	578.51	586.46	553.81
900	619.11	618.69	581.02
950	651.76	651.34	612.41
1000	684.41	683.57	643.39
1050	717.48	716.22	675.20
1100	750.55	748.46	706.60
1150	783.62	781.53	738.83
1200	816.69	814.60	771.48
1250	849.76	848.50	804.97
1300	883.25	882.83	839.29
注：来源：JIS G 0702。			
^a 碳的质量浓度。			

附 录 B
(资料性)

连续式气体渗碳炉（全过程）能量平衡评估报告示例

B.1 设备规格摘要

设备规格摘要见表B.1。设备外形图见图B.1。

表B.1 设备规格摘要

1	公司/设备名称		—	
2	位置		日本	
3	炉子制造商		—	
4	序列号		—	
5	类型		间歇式/连续式	连续式
6	热处理类型		渗碳	
7	周期时间		分钟（min）	14
8	负载	净重	千克每托盘（kg/托盘）	150
9		托盘/夹具	千克每托盘（kg/托盘）	50
10		毛重	千克每托盘（kg/托盘）	0.643
11	处理能力		吨每小时（t/h）	铝
12	加热曲线		1 区：20℃-700℃（加热） 2 区：至 930℃（加热） 3 区：至 950℃（渗碳） 4 区：至 950℃（扩散） 5 区：至 850℃（淬火）	
13	控制气氛气体		类型	吸热式保护气体（Rx 气体）
			立方米每小时（m ³ /h）	36
14	转换系统类型		辊底	
15	热源类型		蓄热式辐射管燃烧器（1 区、2 区） 电热器（3 区、4 区、5 区）	

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/638064045135006115>