



中华人民共和国国家标准

GB/T 37428—2019

电弧炉热平衡测试与计算方法

Methods of determination and calculation of thermal balance in electric arc furnace

2019-05-10 发布

2020-04-01 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

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位:北京科技大学、冶金工业信息标准研究院、光正能源有限公司、营口理工学院。

本标准主要起草人:朱荣、董凯、彭煜华、王姜维、仇金辉、魏光升、马彦珍、丛伟、赵晶晶、李建军、周东、吴学涛、田博涵。

引 言

本文件的发布机构提请注意,声明符合本文件时,可能涉及第4章4.4.2.6.1与“一种电弧炉炼钢在线测量钢液温度的测温系统及测温方法”(专利号 ZL201510958681.7)相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构保证,他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下,就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下方式获得:

专利持有人姓名:北京科技大学

地址:北京市海淀区学院路30号北京科技大学

请注意除上述专利外,本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

电弧炉热平衡测试与计算方法

1 范围

本标准规定了电弧炉热平衡测试的术语和定义、热平衡测试、物料平衡和热平衡计算方法。

本标准适用于钢铁行业 30 t 以上三相电弧炉热平衡测试与计算,直流电弧炉、其他行业的电弧炉也可参照使用。

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 34476 转炉热平衡测试与计算方法

GB/T 50439 炼钢工程设计规范

3 术语和定义

GB/T 34476、GB/T 50439 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冶炼周期 tap to tap time

电弧炉从上炉出钢完成到本炉出钢完毕为止的时间。

3.2

非接触测温 non-contact temperature measurement

利用电弧炉炉壁喷枪喉口作为红外测温装置的测量窗口,并利用电弧炉炉壁喷枪喷吹测温气体产生的超音速气体射流,排开炉膛内的含烟炉气,穿透钢液表面的泡沫渣层,在钢液和传感器之间建立起稳定的钢液温度特征信号传输通道,实现电弧炉炼钢过程炉内钢液温度的连续或间断在线测量。

4 热平衡测试

4.1 热平衡测试基准

4.1.1 基准温度

以炉体周围 1 m 处的温度为基准温度。

4.1.2 热平衡测试范围

涵盖从加入原料到产出初炼钢水的全部设施,包括废钢预热装置、电弧炉本体以及烟气余热回收装置等。

4.1.3 测试工况和频次

测试在正常生产工况条件下进行,连续测试 3 次,每次测试一个冶炼周期。

4.2 测试准备

4.2.1 设备状况

掌握电弧炉工艺及运行状况、基本情况,包括变压器、炉容量、炉型等;了解生产、检修状况,具体内容详见附录 A、附录 B。

4.2.2 制定测试方案

根据测试要求制定测试方案,并选择能够代表电弧炉实际生产情况的测试部位和测试点。

4.2.3 组织测试人员

根据测试方案组织测试人员。测试工作由专业技术人员指挥,按工作需要对测试人员进行分工,并根据情况进行必要的技术培训与安全教育。

4.2.4 测试仪器、仪表准备

4.2.4.1 根据测试要求准备所需测试仪器、仪表。

4.2.4.2 对现场已有仪表及各种便携的测量仪器进行校正,满足测试要求。工厂无计量装置时,在测试前应安装符合测试要求的计量装置。

4.2.4.3 要求测试人员掌握各种仪器、仪表的使用方法和测量技巧,保证测量准确性。

4.2.5 预备性测试

正式测试之前对其中的几项或全部项目进行必要的预备性测试,验证测试手段的可靠性,检验测试方案的安全性。

4.3 测试步骤

按测试内容进行测试与记录。采用以测量为主,控制中心记录数据为参考的方法,对所测数据进行分析整理,并按本标准的计算方法进行计算。对测试结果进行分析并提供测试报告。创造必要的测试条件,包括炉口测试平台、烟气取样口、电力接头的准备等。如现场无标准中规定的测试条件,亦可采用现场能够满足测试要求的仪器装置进行测试。

4.4 测试内容、部位与方法

4.4.1 主要测试内容

主要测试内容参见附录 C。

4.4.2 测试部位与方法

4.4.2.1 环境状况

用温度计测量炉体 1 m 处温度。用气压计测量车间大气压。用干湿球温度计测量相对湿度,再换算成绝对湿度。

4.4.2.2 耗电量的测量

电弧炉变压器一次侧三相累积电度表读取。

4.4.2.3 辅助燃料用量的测量

现场测量。用炉前所安装的相应仪表读取辅助燃料(气体、液体燃料及固体燃料)的用量,并根据燃料在炉前的压力、温度换算为标准状况下的值。

4.4.2.4 气体用量的测量

管道输送气体,由炉前安装的体积流量计读取气体流量数据;瓶装气体,在入炉管道上测量气体流量数据。

4.4.2.5 质量的测量

对全部入炉料(包括废钢、生铁、铁水、矿石、造渣剂、氧化剂、还原剂、补炉料等)及钢液(合格钢坯或钢锭、铸余)、炉渣,视现场条件,可用电子秤、磅秤等进行称量。进入炉渣中的炉衬量可视为炉衬被蚀量;炉衬被蚀量可采用下线炉壳估算,或通过激光测厚仪进行测量,烟气含尘量采用按炉计量或采用高温测尘仪测量。

4.4.2.6 温度的测量

4.4.2.6.1 钢液温度的测量

钢液温度可采用快速热电偶(如钨铼热电偶等)或非接触测温方法,在全熔、氧化期末和出钢前进行测量。

4.4.2.6.2 炉渣温度的测量

在氧化期末和出钢前进行测量,可利用红外测温仪、双铂铑热电偶测量炉渣温度。在测量时,保证热电偶插入渣层深度。

用快速热电偶测定钢液温度,同时以定氧探头测定钢液与炉渣的温差,以其差值与快速热电偶测得值之和可作为炉渣温度。

4.4.2.6.3 炉气温度的测量

炉气温度采用抽气热电偶、双铂铑热电偶在第四孔或废钢预热中段进行测量。应提前将热电偶装入测试的指定位置并保证炉气测试位置与废钢温度测试位置一致。

4.4.2.6.4 炉尘温度的测量

取含尘量测定处炉气温度。

4.4.2.6.5 冷却水温度测量

采用水银温度计或酒精温度计,在进出口处分别测量水的温度。

4.4.2.6.6 入炉固体物料温度测量

入炉固体物料温度低时可采用半导体温度计、红外测量仪等测量,预热温度高时用热电偶、红外测量仪测量。用半导体温度计、热电偶测量入炉炉料温度时,用设备依次测量多批次炉料温度,去掉第一次测量值,取其余测量值的平均值作为测量值。

4.4.2.6.7 入炉铁水温度测量

采用双铂铑快速热电偶测量或根据现场条件测量。

4.4.2.6.8 炉体表面温度及热流的测量

采用合适温度区间的红外测温仪或表面温度计测量,或采用热流计直接测试热流。测试过程中每 0.5 m^2 炉体表面积取一个温度点,每 $3\text{ min}\sim 5\text{ min}$ 测量一次。

4.4.2.6.9 辐射温度的测量

开启炉盖及炉门时,炉盖、炉膛、炉门、电极、第四孔等的辐射温度,可采用光学高温计、红外测温仪等设备进行连续测量。有热辐射计时,由于热辐射计可直接测量辐射热值,则上述温度值可不予测量。

4.4.2.6.10 余热回收量蒸汽量温度的测量

测量余热锅炉入口、出口烟气温度、烟气量以及蒸汽出口温度、压力、蒸汽量。

4.4.2.7 面积的测量

炉体表面积参考图纸用量具进行测量。

开启炉盖及炉门时,炉盖、炉膛、炉门、电极、第四孔等的辐射面积,根据图纸计算,并按实测和观察进行修正。

4.4.2.8 冷却水流量的测量

宜安装流量测量装置进行测试,或用容器(秒表配合)测试各冷却部件的水流量,但应保持测试中的水压稳定。

4.4.2.9 辐射热的测量

采用热辐射计直接测试,没有热辐射计则按测出辐射温度后,根据辐射热公式进行计算。

4.5 化学分析

4.5.1 入炉料的化学分析

对全部入炉料进行化学分析,测试或估算废钢氧化量及杂质含量。

4.5.2 钢液的全分析

包括全熔、氧化期末、出钢前钢样进行分析。终点碳的测量可以采用人工或炉门机器人插入钢液定碳装置进行测量;钢液的过程碳成分,也可通过炉气分析,通过数据处理进行估算;出钢过程中用定氧探头测定钢液中碳含量、氧含量。

4.5.3 炉渣的全分析

包括全熔、氧化期末、出钢前渣样进行分析。

4.5.4 炉气的分析

送电后 10 min 开始用取样器取第一个炉气样,然后每间隔 5 min 取一次样,炉气取样位置应无空气吸入。应用气体分析仪或气相色谱仪等方法进行气体成分分析。以露点仪或高温测尘仪测定炉口炉气的含水量;或采用炉气成分在线分析方法,取样探头从电弧炉第四孔或者废钢预热中段采集炉气,经降温、除水和过滤粉尘,利用气体分析仪对炉气进行在线分析。

4.5.5 炉尘成分分析

炉尘成分由含尘量测试处取样分析,或通过除尘设备计量并取样进行化学分析。

5 物料平衡和热平衡计算方法

5.1 物料平衡计算方法

5.1.1 收入物料质量的计算

5.1.1.1 收入物料质量总和按式(1)计算:

$$\sum G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7 + G_8 + G_9 + G_{10} + G_{11} + G_{12} + G_{13} \dots\dots(1)$$

式中:

$\sum G$ ——收入物料质量总和,单位为千克每吨(kg/t);

G_1 ——铁水质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_2 ——生铁质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_3 ——废钢质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_4 ——石灰/白云石质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_5 ——镁砂质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_6 ——铁矿石质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_7 ——萤石质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_8 ——入炉气体质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_9 ——电极消耗质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_{10} ——燃料消耗量,单位为千克每吨(kg/t);

G_{11} ——碳粉质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_{12} ——炉衬侵蚀质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_{13} ——混风量,单位为千克每吨(kg/t)。

5.1.1.2 炉衬侵蚀质量 G_{12} 用钙镁平衡法按式(2)计算:

$$G_{12} = G'_2 w'_2 + G'_3 w'_3 - G_4 w_4 - G_5 w_5 - G_6 w_6 - G_7 w_7 \dots\dots\dots(2)$$

式中:

G'_2 ——炉渣的质量,单位为千克每吨(kg/t);

G'_3 ——炉尘的质量,单位为千克每吨(kg/t);

w'_2 ——炉渣中任意组成物的质量分数,%;

w'_3 ——炉尘中任意组成物的质量分数,%;

w_4 ——石灰/白云石中任意组成物的质量分数,%;

w_5 ——镁砂中任意组成物的质量分数,%;

w_6 ——铁矿石中任意组成物的质量分数,%;

w_7 ——萤石中任意组成物的质量分数,%。

5.1.1.3 混风量 G_{13} 可由除尘设备抽气泵的工作参数以及水冷滑套的开度来计算电弧炉的混风量。或条件允许时,采用炉气分析和 N_2 -Ar 示踪平衡的方法计算电弧炉的混风量。

5.1.2 支出物料质量的计算

5.1.2.1 支出总和($\sum G'$)计算按式(3)计算:

$$\Sigma G' = G'_1 + G'_2 + G'_3 + G'_4 + G'_5 + G'_6 + \Delta G \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

G'_1 ——出炉钢液质量,单位为千克每吨(kg/t);

G'_2 ——出炉炉渣质量,单位为千克每吨(kg/t);

G'_3 ——出炉炉尘质量,单位为千克每吨(kg/t);

G'_4 ——物料水分生成的水蒸气的质量,单位为千克每吨(kg/t);

G'_5 ——出炉炉气质量,单位为千克每吨(kg/t);

G'_6 ——燃料带入及生成的水蒸气质量,单位为千克每吨(kg/t);

ΔG ——物料各项收入总和与已测各项支出总和的差值,单位为千克每吨(kg/t)。

5.1.2.2 物料各项收入总和与已测各项支出总和之差即为差值 ΔG ,按式(4)计算:

$$\Delta G = \Sigma G - (G'_1 + G'_2 + G'_3 + G'_4 + G'_5 + G'_6) \quad \dots\dots\dots (4)$$

差值包括未测出的支出及误差。物料平衡允许相对误差值为 $\pm 5\%$ 以内,即 $\left| \frac{\Delta G}{\Sigma G} \times 100 \right| \leq 5$ 。

5.1.2.3 物料水分生成的水蒸气质量 G'_4 按式(5)计算:

$$G'_4 = G''_3 + G''_4 + G''_6 + G''_7 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

G''_3 ——入炉废钢的含水质量,单位为千克每吨(kg/t);

G''_4 ——白云石/石灰的含水质量,单位为千克每吨(kg/t);

G''_6 ——铁矿石的含水质量,单位为千克每吨(kg/t);

G''_7 ——萤石的含水质量,单位为千克每吨(kg/t)。

5.1.2.4 出炉炉气质量 G'_5 按式(6)计算:

$$G'_5 = \frac{V'_g}{100 \times 22.4} (28\varphi_{CO} + 44\varphi_{CO_2} + 32\varphi_{O_2} + 28\varphi_{N_2}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

V'_g ——炉口干炉气体积,单位为立方米每吨(m^3/t);

28 ——CO 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

φ_{CO} ——炉口干炉气中 CO 的体积分数, %;

44 ——CO₂ 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

φ_{CO_2} ——炉口干炉气中 CO₂ 的体积分数, %;

32 ——O₂ 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

φ_{O_2} ——炉口干炉气氧气的体积分数, %;

28 ——N₂ 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

φ_{N_2} ——炉口干炉气成分体积分数, %;

22.4 ——标准状态下,炉气的摩尔体积,单位为升每摩尔(L/mol)。

其中炉口干炉气体积 V'_g 由式(7)得出:

$$V'_g = \frac{187(G_C + G_{C分} + \eta_{RT}G_{RT})}{\varphi_{CO} + \varphi_{CO_2}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

G_C ——每吨钢中碳的氧化总质量,单位为千克每吨(kg/t);

$G_{C分}$ ——石灰与白云石分解出气体中的含碳质量,单位为千克每吨(kg/t);

η_{RT} ——燃料中 C 元素的烧损率, %;

G_{RT} ——燃料中 C 元素质量,单位为千克每吨(kg/t)。

其中 G_C 由式(8)计算得出:

$$G_C = G_{TC} + \eta_{DT} G_{DT} + \eta_{CC} G_{CC} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

G_{TC} ——钢铁料在冶炼中碳的氧化量,为最初炉料与最终钢水中碳的差值,单位为千克每吨(kg/t);

η_{DT} ——电极烧损率,%;

G_{DT} ——电极消耗量,单位为千克每吨(kg/t);

η_{CC} ——电弧炉碳粉烧损率,%;

G_{CC} ——电弧炉中加入的碳粉,单位为千克每吨(kg/t)。

5.1.2.5 燃料带入及生成的水蒸气质量 G'_6 按式(9)计算:

$$G'_6 = G_{H_2O-H} + G_{H_2O-W} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

G_{H_2O-H} ——燃料中水的质量,单位为千克每吨(kg/t);

G_{H_2O-W} ——燃料中除水以外氢元素反应生成水的质量,单位为千克每吨(kg/t),按式(10)计算:

$$G_{H_2O-W} = \frac{18}{22.4} \left[V_{10} \frac{1}{100} (\varphi_{H_2} + \frac{l}{2} \varphi_{C_m H_l} + \varphi_{H_2S} + \dots) - V'_g \frac{1}{100} (\varphi'_{H_2} + \frac{l}{2} \varphi'_{C_m H_l} + \varphi'_{H_2S} + \dots) \right] \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

V_{10} ——含 H 元素气体燃料的入炉标准体积,单位为立方米每吨(m^3/t);

φ_{H_2} ——含 H 元素气体燃料中 H_2 的体积分数,%;

l —— $C_m H_l$ 分子中氢原子的数量;

$\varphi_{C_m H_l}$ ——含 H 元素气体燃料中 $C_m H_l$ 的体积分数,%;

φ_{H_2S} ——含 H 元素气体燃料中 H_2S 的体积分数,%;

V'_g ——干炉气入炉体积,单位为立方米每吨(m^3/t);

φ'_{H_2} ——干炉气中 H_2 的体积分数,%;

$\varphi'_{C_m H_l}$ ——干炉气中 $C_m H_l$ 的体积分数,%;

φ'_{H_2S} ——干炉气中 H_2S 的体积分数,%;

18—— H_2O 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol)。

5.1.3 物料平衡记录表

将物料平衡各收、支项的计算结果记入表 1 中。

表 1 物料平衡记录表

收入				支出			
符号	项目	kg/t	%(百分比, $\frac{G_i}{\sum G}$)	符号	项目	kg/t	%(百分比, $\frac{G'_i}{\sum G'}$)
G_1	铁水质量			G'_1	出炉钢液质量		
G_2	生铁质量			G'_2	出炉炉渣质量		
G_3	废钢质量			G'_3	出炉炉尘质量		
G_4	石灰/白云石质量			G'_4	物料水分生成的水蒸气质量		
G_5	镁砂质量			G'_5	出炉炉气(干炉气)质量		
G_6	铁矿石质量			G'_6	燃料带入及生成的水蒸气质量		
G_7	萤石质量						

表 1 (续)

收入				支出			
符号	项目	kg/t	%(百分比, $\frac{G_i}{\sum G}$)	符号	项目	kg/t	%(百分比, $\frac{G'_i}{\sum G'}$)
G_8	入炉气体质量						
G_9	电极消耗质量						
G_{10}	燃料消耗质量						
G_{11}	碳粉质量						
G_{12}	炉衬侵蚀质量						
G_{13}	混风量			ΔG	差值		
$\sum G$	合计		100	$\sum G'$	合计		100
注 1: 百分率精确到小数点后一位。 注 2: 热量值取 4 位有效数字。							

5.2 热平衡计算

5.2.1 热收入项

5.2.1.1 热量总收入 $\sum Q$ 按式(11)计算:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

Q_1 ——入炉物料物理热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q_2 ——元素氧化放出的热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q_3 ——成渣反应放出的热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q_4 ——电热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q_5 ——燃料燃烧热量,单位为千焦每吨(kJ/t)。

5.2.1.2 入炉物料物理热量 Q_1 按式(12)计算:

$$Q_1 = \sum G_i (c_i t_i - c_{ie} t_e) + Q_T \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

G_i ——吨钢所加入的第 i 种除入炉铁水以外物料的质量,单位为千克每吨(kg/t);

c_i ——第 i 种炉料在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 t_i 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg· $^{\circ}\text{C}$)];

t_i ——第 i 种物料的入炉温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

c_{ie} ——第 i 种炉料在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 t_e 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg· $^{\circ}\text{C}$)];

t_e ——基准温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

Q_T ——吨钢入炉铁水所带入的物理热量,单位为千焦每吨(kJ/t)。

入炉铁水带入的物理热量 Q_T 按式(13)计算:

$$Q_T = G_T [(c_{GT} t_r - c_{Te} t_e) + 217.44 + c_{YT} (t_T - t_r)] \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

G_T ——入炉铁水质量,单位为千克每吨(kg/t);

c_{GT} ——入炉铁水 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 t_r 之间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg· $^{\circ}\text{C}$)];

t_r ——入炉铁水熔点,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

c_{Te} ——入炉铁水在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 t_e 之间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg· $^{\circ}\text{C}$)];

c_{YT} ——入炉铁水在 t_r 到 t_T 之间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg· $^{\circ}\text{C}$)];

217.44——铁水的熔化潜热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

t_T ——入炉铁水温度,单位为摄氏度(°C)。

5.2.1.3 元素氧化放出的热量 Q_2 按式(14)计算:

$$Q_2 = 9\,199.52 \times \frac{n}{100} \times (G_C + \eta_{RT} G_{RT}) + 32\,746.11 \times \frac{1-n}{100} \times (G_C + \eta_{RT} G_{RT}) + 32\,169.05 G_{Si} \\ + 7\,004.18 G_{Mn} + 24\,069.29 G_P + 9\,270.61 \times d \cdot G_S + 4\,775.39 G_{Fe-FeO} + 7\,367.98 G_{Fe-Fe_2O_3} \dots (14)$$

式中:

9 199.52 ——C 元素氧化成 CO 的化学反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

n ——C 元素氧化为 CO 的百分率,%;

G_C ——冶炼每吨钢 C 元素的氧化量,单位为千克每吨(kg/t);

η_{RT} ——燃料中 C 元素的烧损率,%;

G_{RT} ——燃料中 C 元素的质量,单位为千克每吨(kg/t);

32 746.11 ——C 元素氧化成 CO_2 的化学反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

32 169.05 ——Si 元素氧化的化学反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

G_{Si} ——冶炼每吨钢 Si 元素的氧化量,单位为千克每吨(kg/t);

7 004.18 ——Mn 元素氧化的化学反应热单位为千焦每千克(kJ/kg);

G_{Mn} ——冶炼每吨钢 Mn 元素的氧化量,单位为千克每吨(kg/t);

24 069.29 ——P 元素氧化的化学反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

G_P ——冶炼每吨钢 P 元素的氧化量,单位为千克每吨(kg/t);

9 270.61 ——S 元素氧化的化学反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

d ——S 元素氧化为 SO_2 的百分率,%;

G_S ——冶炼每吨钢 S 元素的氧化量,单位为千克每吨(kg/t);

4 775.39 ——Fe 元素氧化成 FeO 的化学反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

G_{Fe-FeO} ——入炉炉料中 Fe 元素氧化成 FeO 的质量,单位为千克每吨(kg/t);

7 367.98 ——Fe 元素氧化成 Fe_2O_3 的化学反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$G_{Fe-Fe_2O_3}$ ——入炉炉料中 Fe 元素氧化成 Fe_2O_3 的质量,单位为千克每吨(kg/t)。

入炉物料中 Fe 元素氧化成 FeO 和 Fe_2O_3 的质量分别按式(15)和式(17)计算:

$$G_{Fe-FeO} = \frac{56}{72} G_{FeO} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

56 ——Fe 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

72 ——FeO 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

G_{FeO} ——入炉物料中氧化亚铁的生成量,单位为千克每吨(kg/t),按式(16)计算。

$$G_{FeO} = G'_2 w'_{X_2} + G'_3 w'_{X_3} - G_3 w_{X_3} - G_6 w_{X_6} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

w'_{X_2} ——炉渣中 FeO 含量,%;

w'_{X_3} ——炉尘中 FeO 含量,%;

w_{X_3} ——废钢中 FeO 含量,%;

w_{X_6} ——铁矿中石氧化亚铁含量,%。

$$G_{FeO-Fe_2O_3} = \frac{56 \times 2}{160} G_{Fe_2O_3} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

56 ——Fe 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

2 ——Fe 元素反应生成 Fe_2O_3 反应方程式中 Fe 元素的化学计量系数;

160 —— Fe_2O_3 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

$G_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ ——入炉物料中 Fe_2O_3 的生成量,单位为千克每吨(kg/t),按式(18)计算:

$$G_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = G'_2 w'_{Y_2} + G'_3 w'_{Y_3} - G_3 w_{Y_3} - G_6 w_{Y_6} \quad \cdots \cdots (18)$$

式中:

w'_{Y_2} ——炉渣中 Fe_2O_3 含量,%;

w'_{Y_3} ——炉尘中 Fe_2O_3 含量,%;

w_{Y_3} ——废钢中 Fe_2O_3 含量,%;

w_{Y_6} ——铁矿石中 Fe_2O_3 含量,%。

5.2.1.4 成渣反应放出的热量 Q_3 按式(19)计算:

$$Q_3 = 2\,103.34 G_{\text{Si}} \frac{60}{28} + 5\,093.19 G_{\text{P}} \frac{142}{31 \times 2} \quad \cdots \cdots (19)$$

式中:

2 103.34——Si 元素氧化反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

60 —— SiO_2 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

28 ——Si 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

5 093.19——P 元素的氧化反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

142 —— P_2O_5 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

31 ——P 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

2 ——P 元素反应生成 P_2O_5 反应方程式中 P 元素的化学计量系数。

5.2.1.5 电热量 Q_4 按式(20)计算:

$$Q_4 = 3\,598.24 \times W \quad \cdots \cdots (20)$$

式中:

3 598.24——电热当量,单位为千焦每千瓦时[kJ/(kW·h)];

W ——吨钢有功耗电量,单位为千瓦时每吨(kW·h/t),按式(21)计算:

$$W = \frac{W_1}{G} \quad \cdots \cdots (21)$$

W_1 ——总耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

G ——每炉总钢液量,单位为吨(t)。

5.2.1.6 燃料燃烧热量 Q_5 按式(22)计算:

$$Q_5 = G_r \times q_r \quad \cdots \cdots (22)$$

式中:

G_r ——吨钢燃料消耗量,单位为千克每吨(kg/t);

q_r ——燃料低位发热量,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

5.2.2 热支出项

5.2.2.1 热量总支出 $\Sigma Q'$ 按式(23)计算:

$$\Sigma Q' = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + Q'_4 + Q'_5 + Q'_6 + Q'_7 + Q'_8 + Q'_9 + Q'_{10} + Q'_{11} + \Delta Q \quad \cdots \cdots (23)$$

式中:

Q'_1 ——钢液带出的物理热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q'_2 ——炉渣带出的物理热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q'_3 ——炉尘带出的物理热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q'_4 ——烟气中水蒸气带出的热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q'_5 ——炉气带出的物理热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q'_6 ——物料分解反应吸收的热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q'_7 ——冷却水带走的物理热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q'_8 ——炉体表面散发的热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q'_9 ——辐射损失的热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q'_{10} ——燃料化学不完全燃烧热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

Q'_{11} ——电损失热量,单位为千焦每吨(kJ/t);

ΔQ ——热量各项收入总和与已测各项支出总和的差值,单位为千焦每吨(kJ/t)。

5.2.2.2 热量各项收入总和与已测各项支出总合的差值按式(24)计算:

$$\Delta Q = \Sigma Q - (Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + Q'_4 + Q'_5 + Q'_6 + Q'_7 + Q'_8 + Q'_9 + Q'_{10} + Q'_{11}) \dots\dots\dots (24)$$

热平衡允许相对误差规定为 $\pm 5\%$,即 $\left| \frac{\Delta Q}{\Sigma Q} \times 100 \right| \leq 5$ 。

5.2.2.3 钢液带出的物理热量 Q'_1 按式(25)计算:

$$Q'_1 = G'_1 [c'_0 t'_0 - c_e t_e + 271.8 + c'_1 (t'_1 - t'_0)] \dots\dots\dots (25)$$

式中:

c'_0 ——出炉钢液在 0°C 至 t'_0 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

t'_0 ——钢种熔点,单位为摄氏度(°C);

c_e ——出炉钢液在 0°C 至 t_e 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

271.8 ——钢的熔化潜热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

c'_1 ——出炉钢液在 t'_0 至 t'_1 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

t'_1 ——出钢温度,单位为摄氏度(°C)。

5.2.2.4 炉渣带出的物理热量 Q'_2 按式(26)计算:

$$Q'_2 = G'_2 (c'_2 t'_2 - c'_{2e} t_e + 209.08) \dots\dots\dots (26)$$

式中:

c'_2 ——炉渣在 0°C 至 t'_2 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

t'_2 ——出炉炉渣的温度,单位为摄氏度(°C);

c'_{2e} ——炉渣在 0°C 至 t_e 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)]。

209.08 ——渣的熔化潜热,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

5.2.2.5 炉尘带出的物理热量 Q'_3 按式(27)计算:

$$Q'_3 = G'_3 (c'_3 t'_3 - c'_{3e} t_e + 209.08) \dots\dots\dots (27)$$

式中:

c'_3 ——炉尘在 0°C 至 t'_3 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

t'_3 ——出炉炉尘的温度,单位为摄氏度(°C);

c'_{3e} ——炉尘在 0°C 至 t_e 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

209.08 ——炉尘的熔化潜热,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

5.2.2.6 烟气中水蒸气带出的热量 Q'_4 按式(28)计算:

$$Q'_4 = (G'_4 + G'_6) [c'_w (100 - t_e) + 2\,253.88 + 1.24 (c'_q t'_4 - 15.05)] \dots\dots\dots (28)$$

式中:

c'_w ——水在 t_e 至 100°C 平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度(kJ/(kg·°C));

2 253.88 ——水蒸气的汽化潜热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

1.24 ——水蒸气的密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

c'_q ——水蒸气在 0°C 至 t'_4 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

t'_4 ——炉口处炉气的温度,单位为摄氏度(°C)。

5.2.2.7 炉气带出的物理热量 Q'_5 按式(29)计算:

$$Q'_5 = G'_5 (c'_5 t'_4 - c'_{5e} t_e) \dots\dots\dots (29)$$

式中:

c'_5 ——炉气在 0°C 至 t'_4 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

t'_4 ——炉口处炉气的温度,单位为摄氏度(°C);

c'_{5e} ——炉气在 0°C 至 t_e 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)]。

5.2.2.8 物料分解反应吸收的热量 Q'_6 按式(30)计算:

$$Q'_6 = 5\,151.73G_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + 4\,072.88G_{\text{CO}_2-\text{CaCO}_3} + 2\,304.06G_{\text{CO}_2-\text{MgCO}_3} \dots\dots\dots(30)$$

式中:

5 151.73 ——物料分解成 FeO 所需要的化学反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

4 072.88 ——石灰和白云石中 CaCO_3 分解成 CO_2 所需要的化学反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$G_{\text{CO}_2-\text{CaCO}_3}$ ——石灰和白云石中 CaCO_3 生成 CO_2 的量,单位为千克每吨(kg/t);

2 304.06 ——白云石中 MgCO_3 分解成 CO_2 所需要的化学反应热,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$G_{\text{CO}_2-\text{MgCO}_3}$ ——白云石中 MgCO_3 生成二氧化碳的量,单位为千克每吨(kg/t)。

5.2.2.9 冷却水带走的物理热量 Q'_7 按式(31)计算:

$$Q'_7 = \sum G_i (c_{2w}t_{2w} - c_{1w}t_{1w}) \dots\dots\dots(31)$$

式中:

G_i ——第 i 个冷却部件使用冷却水的质量,单位为千克每吨(kg/t);

c_{2w} ——冷却水在 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 至 t_{2w} 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

t_{2w} ——第 i 个冷却部位冷却水出水的温度,单位为摄氏度(°C);

c_{1w} ——冷却水在 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 至 t_{1w} 间的平均比热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

t_{1w} ——第 i 个冷却部位冷却水进水的温度,单位为摄氏度(°C)。

5.2.2.10 炉体表面散发的热量 Q'_8 按式(32)计算:

$$Q'_8 = \frac{\tau \sum q_i A_i}{60G} \dots\dots\dots(32)$$

式中:

τ ——电弧炉冶炼周期,单位为分(min);

q_i ——第 i 部分炉体表面平均面积热流量,单位为千焦每平方米小时[kJ/(m²·h)],如不能直接测量,可按式(33)计算;

A_i ——第 i 部分炉体表面散热面积,单位为平方米(m²);

$$q_i = 20.41\epsilon_i \left[\left(\frac{273+t_b}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+t_e}{100} \right)^4 \right] + \alpha_d(t_b - t_e) \dots\dots\dots(33)$$

式中:

20.41 ——辐射换热系数,单位为千焦每平方米小时[kJ/(m²·h)];

ϵ_i ——第 i 部分炉体表面黑度;

t_b ——第 i 部分炉体表面平均温度,单位为摄氏度(°C);

α_d ——对流给热系数,单位为千焦每平方米小时[kJ/(m²·h)]。

无风时,对流给热系数按式(34)计算:

$$\alpha_d = A(t_b - t_e)^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots(34)$$

式中:

A ——系数,散热面向上时 $A=11.7$,向下时 $A=6.3$,垂直时 $A=9.2$ 。

当风速 $W_f \leq 5\text{ m/s}$ 时,对流给热系数按式(35)计算:

$$\alpha_d = 22.2 + 15.1W_f \dots\dots\dots(35)$$

式中:

W_f ——风速,单位为米每秒(m/s)。

当风速 $W_f > 5\text{ m/s}$ 时,对流给热系数按式(36)计算:

$$\alpha_d = 27.1W_f^{0.78} \dots\dots\dots(36)$$

5.2.2.11 辐射损失的热量 Q'_9 按式(37)计算:

$$Q'_9 = \sum 20.41 \frac{A'_i \phi_i \epsilon_i}{G'_1} \frac{\tau_i}{60} \left[\left(\frac{273+t_{if}}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+t_e}{100} \right)^4 \right] \dots\dots\dots(37)$$

式中:

A'_i —— i 部位辐射面积,单位为平方米(m^2);

ϕ_i —— i 部位辐射角度系数;

ϵ_i —— i 部位黑度;

τ_i —— i 部位辐射时间,单位为分(min);

t_{if} —— i 部位的辐射温度,单位摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

5.2.2.12 燃料化学不完全燃烧热量 Q'_{10} 按式(38)计算:

$$Q'_{10} = V'_g (126.35 \times \varphi_{\text{CO}'} + 107.9 \times \varphi'_{\text{H}_2} + 358.57 \times \varphi'_{\text{CH}_4} + \dots) - 126.35 \times \frac{22.4}{12} G_{\text{C}} \times n \quad \dots (38)$$

式中:

126.35 —— 1 m^3 CO 完全燃烧时放出的热量,单位为千焦每立方米(kJ/m^3);

φ'_{CO} ——干炉气中 CO 的体积分数, %;

107.9 —— 1 m^3 H_2 完全燃烧时放出的热量,单位为千焦每立方米(kJ/m^3);

φ'_{H_2} ——干炉气中 H_2 的体积分数, %;

358.57 —— 1 m^3 CH_4 完全燃烧时放出的热量,单位为千焦每立方米(kJ/m^3);

φ'_{CH_4} ——干炉气中 CH_4 的体积分数, %;

12 —— C 的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

G_{C} ——碳元素的氧化量,单位为千克每吨(kg/t);

n ——C 元素氧化成 CO 的百分率, %。

5.2.2.13 电损失热量 Q'_{11} 按式(39)~式(44)计算:

$$Q'_{11} = 3\bar{I}^2 R \cdot \frac{\tau}{G} \cdot \frac{3\,598.24}{1\,000} \quad \dots (39)$$

$$\bar{I} = \bar{P} \times 1\,000 / (\sqrt{3} \cos \phi \cdot \bar{u}_2) \quad \dots (40)$$

$$\bar{P} = \frac{W_1}{\tau} \quad \dots (41)$$

$$\cos \phi = \frac{W_1}{\sqrt{(W_1^2 + Q_w^2)}} \quad \dots (42)$$

$$Q_w = \Delta Q_w \times m \quad \dots (43)$$

$$\bar{u}_2 = \frac{\sum u'_2 \tau'}{\tau} \quad \dots (44)$$

式中:

$\bar{I}$ ——平均电流,单位为安(A);

R ——相电阻,单位为欧(Ω),按式(45)计算;

τ ——全炉总通电时间,单位为小时(h);

G ——全炉钢液量,单位为吨(t);

3 598.24 ——电热当量,单位为千焦每千瓦时 [$\text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})$];

$\bar{P}$ ——平均功率,单位为千瓦(kW);

$\cos \phi$ ——功率因数;

$\bar{u}_2$ ——二次侧平均电压,单位为伏(V);

W_1 ——全炉总电耗(有功),单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$);

Q_w ——全炉无功消耗,单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$);

ΔQ_w ——无功电度表读数,单位为千伏安每小时(kVA/h);

m ——无功电度表倍率;

u'_2 ——二次各级电压,单位为伏(V);

τ' ——各级电压使用时间,单位为小时(h)。

$$R = \overline{R} + R_b - R'_j \dots\dots\dots (45)$$

式中：
 $\overline{R}$ ——每相短网平均电阻，单位为欧(Ω)；
 R_b ——变压器每相平均电阻，单位为欧(Ω)；
 R'_j ——炉盖下电极电阻，单位为欧(Ω)。

短网及变压器的相电阻按式(46)计算：

$$R = \overline{R} + R_d - R_j \dots\dots\dots (46)$$

式中：
 R_d ——短网每相电阻，单位为欧(Ω)；
 R_j ——电极每相电阻，单位为欧(Ω)。

当考虑短网和变压器损失时，电损失热量 Q'_{11} 按式(47)计算：

$$Q'_{11} = 3\,598.24\Delta W + 3\overline{I}^2R''_j \cdot \frac{\tau}{G} \cdot \frac{3\,598.24}{1\,000} \dots\dots\dots (47)$$

式中：
 ΔW ——短网和变压器损失，单位为千瓦时每吨[kW·h/t]；
 $3\overline{I}^2R''_j \cdot \frac{\tau}{G} \cdot \frac{3\,598.24}{1\,000}$ ——把持器以下至炉盖间电极电阻损失，单位为千焦每吨(kJ/t)；
 R'' ——把持器至炉盖间电极每相电阻，单位为欧(Ω)。

5.2.3 热平衡表

由热平衡各收，支项热量的计算结果列于表 2。

表 2 热平衡表

收入				支出			
符号	项目	kJ/t	%(百分比, $\frac{Q_i}{\sum Q}$)	符号	项目	kJ/t	%(百分比, $\frac{Q'_i}{\sum Q'}$)
Q_1	入炉炉料物理热量			Q'_1	钢液带出的物理热量		
Q_T	入炉铁水带入的物理热量			Q'_2	炉渣带出的物理热量		
Q_2	元素氧化放出的热量			Q'_3	炉尘带出的物理热量		
Q_3	成渣反应放出的热量			Q'_4	烟气中水蒸气带出的热量		
Q_4	电热量			Q'_5	炉气带出的物理热量		
Q_5	燃料燃烧热量			Q'_6	物料分解反应吸收的热量		
				Q'_7	冷却水带走的物理热量		
				Q'_8	炉体表面散发的热量		
				Q'_9	辐射损失的热量		
				Q'_{10}	燃料化学不完全燃烧热量		
				Q'_{11}	电损失热量		
				ΔQ	差值		
$\sum Q$	合计		100	$\sum Q'$	合计		100
注 1：百分率精确到小数点后一位。 注 2：热量值取 4 位有效数字。							

5.3 回收项

余热锅炉的有效利用热量按式(48)计算：

$$Q_{yx} = \frac{\eta(h_r - h_c)}{3\,600} \dots\dots\dots (48)$$

式中：
 Q_{yx} ——余热锅炉的有效利用热量，单位为千焦每秒(kJ/s)；
 h_r ——余热锅炉烟气入口焓，单位为千焦每小时(kJ/h)；
 h_c ——余热锅炉烟气出口焓，单位为千焦每小时(kJ/h)；
 η ——锅炉热效率，%。

当余热锅炉入口烟气条件稳定时，对饱和蒸汽锅炉，锅炉蒸发量按式(49)计算：

$$D_i = Q_{yx} / \left[(i_{bq} - i_{gs} - \frac{r\lambda}{100}) + \frac{\rho_{pw}}{100}(i_{bs} - i_{gs}) \right] \dots\dots\dots (49)$$

式中：
 D_i ——锅炉蒸发量，单位为千克每小时(kg/h)；
 i_{bq} ——饱和蒸汽焓，单位为千焦每千克(kJ/kg)；
 i_{gs} ——饱和水焓，单位为千焦每千克(kJ/kg)；
 i_{bs} ——给水焓，单位为千焦每千克(kJ/kg)；
 r ——汽化潜热，单位为千焦每千克(kJ/kg)；
 λ ——蒸汽湿度，%；
 ρ_{pw} ——锅炉排污率，%。

5.4 热效率

热效率按式(50)计算：

$$\eta_R = \frac{Q'_1 + Q'_6 - Q_2 + 60\tau Q_{yx}}{\sum Q - Q_2} \times 100\% \dots\dots\dots (50)$$

式中：
 η_R ——电弧炉热效率，%。

5.5 主要经济技术指标记录表

主要经济技术指标记入表 3。

表 3 主要技术经济指标记录表

指标	单位	数值
吨钢电耗(合格锭)	kW·h/t	
吨钢电极消耗	kg/t	
吨钢氧耗	m³/t	
吨钢铁水消耗	kg/t	
吨钢废钢消耗	kg/t	
吨钢燃料消耗	kJ/t	
吨钢蒸汽回收量	kg/t	

5.6 热平衡测试报告内容

热平衡测试报告应至少包括以下内容：

- a) 前言；
- b) 主要设备概况及生产状况；
- c) 主要测定数据；
- d) 物料平衡表；
- e) 热平衡表；
- f) 热效率；
- g) 分析与改进建议；
- h) 测定单位、测试人员、负责人、报告人、审核人(签字)。

附 录 A
(资料性附录)
设备及电弧炉概况

设备及电弧炉概况记入表 A.1。

表 A.1 设备概况

项目	单位	内容或数值
车间名	—	
炉号	—	
炉型	t	
炉容	t	
熔池深度	—	
炉龄	—	
一次侧电压	V	
电极直径	mm	
装料方式	—	
变压器容量	kVA	
二次侧电压	V	
燃料种类	—	
余热利用	—	

附 录 B
(资料性附录)
测试前一年生产状况

测试前一年(不足一年按实际炉次计算)生产概况记入表 B.1。

表 B.1 测试前一年生产概况

项目		单位	内容或数值
钢种		—	
炉数		—	
时间范围		—	
平均 时间	供氧	min	
	辅助	min	
	故障	min	
	全炉	min	
平均 单耗	钢铁料	kg/t	
	铁水	kg/t	
	废钢铁	kg/t	
	其他	kg/t	
	氧气	m ³ /t	
炉渣量		kg/t	
吹损率		%	

附 录 C
(资料性附录)
主要测试项目

主要测试项目结果表记入表 C.1。

表 C.1 主要测试项目结果记录表

企业名称及电弧炉编号				
熔炼钢种				
测定单位和日期				
项目		单位		内容
废钢	测量温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	其他		kg/t	
	废钢的化学成分	C	%	
		Si	%	
		Mn	%	
		P	%	
		S	%	
		Cr	%	
		Ni	%	
		Al	%	
铁水	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	铁水平均化学成分	C	%	
		Si	%	
		Mn	%	
		P	%	
		S	%	
生铁	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	生铁平均化学成分	C	%	
		Si	%	
		Mn	%	
		P	%	
		S	%	
直接还原铁	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	直接还原铁 平均化学成分	C	%	
		Si	%	
		Mn	%	
		P	%	
		S	%	

表 C.1 (续)

企业名称及电弧炉编号				
熔炼钢种				
测定单位和日期				
项目		单位	内容	
石灰	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	石灰平均化学成分	CaO	%	
		MgO	%	
		Al ₂ O ₃	%	
		SiO ₂	%	
		CO ₂	%	
镁砂	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	镁砂平均化学成分	MgO	%	
		CaO	%	
		SiO ₂	%	
		Al ₂ O ₃	%	
		...	%	
铁矿石	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	净铁矿石量		kg/t	
	铁矿石平均化学成分	Fe	%	
		Fe ₂ O ₃	%	
		SiO ₂	%	
		MnO	%	
		Al ₂ O ₃	%	
		MgO	%	
萤石	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	净萤石量		kg/t	
	净萤石平均化学成分	CaF ₂	%	
		CaO	%	
		Al ₂ O ₃	%	
		MgO	%	
		...	%	
白云石	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	净白云石量		kg/t	
	净白云石平均化学成分	MgO	%	
		CaO	%	
		SiO ₂	%	
		Al ₂ O ₃	%	
		CO ₂	%	
		...	%	

表 C.1 (续)

企业名称及电弧炉编号				
熔炼钢种				
测定单位和日期				
项目			单位	内容
炉衬	入炉温度		℃	
	吨钢消耗		kg/t	
	炉衬平均化学成分	CaO	%	
		MgO	%	
		SiO ₂	%	
		Al ₂ O ₃	%	
		...	%	
氧化铁皮	入炉温度		℃	
	吨钢消耗		kg/t	
	氧化铁皮平均化学成分		%	
		FeO	%	
		Fe ₂ O ₃	%	
硅铁	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	硅铁平均化学成分	Si	%	
		Fe	%	
		C	%	
		Mn	%	
		P	%	
		S	%	
		Al	%	
		...	%	
锰铁	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	锰铁的平均化学成分	Mn	%	
		Fe	%	
		C	%	
		Si	%	
		P	%	
		S	%	
		...	%	
铝	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	平均化学成分	Al	%	
		...	%	
天然气	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	天然气平均成分	CH ₄	%	
		CO	%	
		H ₂	%	

表 C.1 (续)

企业名称及电弧炉编号				
熔炼钢种				
测定单位和日期				
项目			单位	内容
天然气	天然气平均成分	...	%	
		...	%	
煤粉	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	煤粉平均化学成分	C	%	
		H	%	
		O	%	
		S	%	
		N	%	
		...	%	
碳粉	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	碳粉平均成分	C	%	
		H	%	
		O	%	
		S	%	
		N	%	
		...	%	
石墨粉	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	石墨粉平均成分	C	%	
		H	%	
		O	%	
		S	%	
		N	%	
		...	%	
氧气	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	氧气平均化学成分	O ₂	%	
		...	%	
氩气	入炉温度		℃	
	吨钢耗量		kg/t	
	氩气平均化学成分	Ar	%	
		...	%	
钢液	出钢温度		℃	
	钢液量		kg/t	
	钢液平均化学成分	C	%	
		Si	%	
		Mn	%	
		P	%	

表 C.1 (续)

企业名称及电弧炉编号				
熔炼钢种				
测定单位和日期				
项目			单位	内容
钢液	钢液平均化学成分	S	%	
		...	%	
炉渣	出渣温度		℃	
	炉渣量		kg/t	
	炉渣平均化学成分	CaO	%	
		SiO ₂	%	
		MgO	%	
		MnO	%	
		P ₂ O ₅	%	
		...	%	
炉尘	炉尘温度		℃	
	炉尘量		kg/t	
	炉尘平均化学成分	FeO	%	
		Fe ₂ O ₃	%	
		CaO	%	
		SiO ₂	%	
		...	%	
炉气	炉气温度		℃	
	炉气量		kg/t	
	炉气平均化学成分	CO	%	
		CO ₂	%	
		O ₂	%	
		H ₂	%	
		...	%	
冷却水				
水冷炉盖	冷却水量		kg	
	进水温度		℃	
	出水温度		℃	
水冷氧枪	冷却水量		kg	
	进水温度		℃	
	出水温度		℃	
水冷炉壁	冷却水量		kg	
	进水温度		℃	
	出水温度		℃	
表面散热	炉盖	散热面积	m ²	
		表面平均温度	℃	
		表面平均面积热流量	kJ/(m ² ·h)	
	上炉壳	散热面积	m ²	
		表面平均温度	℃	
		表面平均面积热流量	kJ/(m ² ·h)	

表 C.1 (续)

企业名称及电弧炉编号				
熔炼钢种				
测定单位和日期				
项目			单位	内容
表面散热	炉底	散热面积	m ²	
		表面平均温度	℃	
		表面平均面积热流量	kJ/(m ² ·h)	
	康斯迪	散热面积	m ²	
		表面平均温度	℃	
		表面平均面积热流量	kJ/(m ² ·h)	
	...	...		
辐射散热	炉膛	辐射面积	m ²	
		辐射表面温度	℃	
		辐射热	kJ	
	电极	辐射面积	m ²	
		辐射表面温度	℃	
		辐射热	kJ	
	炉门	辐射面积	m ²	
		辐射表面温度	℃	
		辐射热	kJ	
	第四孔	辐射面积	m ²	
		辐射表面温度	℃	
		辐射热	kJ	
	...	...		
电耗				
有功电度表	初始读数			
	终了读数			
	变化			
	有功消耗		kW·h	
	无功消耗		kvar	
无功电度表	初始读数			
	终了读数			
	变化			
	有功消耗		kW·h	
	无功消耗		kvar	

表 C.1（续）

企业名称及电弧炉编号			
熔炼钢种			
测定单位和日期			
项目		单位	内容
余热回收	余热锅炉烟气入口温度	℃	
	余热锅炉烟气出口温度	℃	
	余热锅炉烟气量	kg/t	
	蒸汽出口温度	℃	
	蒸汽出口压力	kPa	
	蒸汽量	kg/t	

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
电弧炉热平衡测试与计算方法
GB/T 37428—2019

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 52 千字
2019年5月第一版 2019年5月第一次印刷

*

书号: 155066 • 1-62500 定价 30.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 37428—2019