ICS 77.120

**中华人民共和国工业和信息化部 发布**

××××-××-××实施

××××-××-××发布

重有色冶金炉窑热平衡测定与计算方法

(吹炼转炉)

Methods of determination and calculation of heat balance in metallurgical

furnaces for heavy non-ferrous metals

(Converter)

（草案）

YS/T 118.15—2023

代替YS/T 118.15—1992

YS

中华人民共和国有色金属行业标准

H01

**中华人民共和国工业和信息化部 发布**

××××-××-××实施

××××-××-××发布

高纯铋

High purity Bismuth

（送审稿）

YS/T XXX—20XX

YS

中华人民共和国有色金属行业标准

前 言

本文件按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替YS/T 118.15-2012《重有色冶金炉窑热平衡测定与计算方法（吹炼转炉）》。本文件与YS/T 118.15-2012相比，主要技术变化如下：

a）更改了设备技术参数，增加了“炉膛有效容积”、“固定烟罩结构”和“密封烟罩结构”（见表1，20122012年版的表2）

b）更改了气体单位，对氧气、风、烟气等气体单位统一为一个标准大气压下的数据。

c）更改了前一个月炉子运行技术测定参数，增加了“吹炼渣量”和“吹炼转炉喷溅物量”的内容(见表2，2012年版的表2)；

d）更改了热平衡测定项目与方法，“三、入炉气体”增加了“氧气纯度”，“五、烟气和烟尘”增加了“转炉出口逸散烟气”（见表3，2012年版的表3）；

e）更改了吹炼转炉物料平衡计算，增加了氧气纯度的计算公式（见表4，2012年版的表4）；

f）更改了吹炼转炉物料平衡计算支出项目（见表4和表6，2012年版的表4和表6）；

g）更改了吹炼转炉热平衡计算表，在“二、热支出项，第4”增加了“逸散烟气带走热”内容（见表8和表10，2012年版的表8和表10）。

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专利的责任。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）提出并归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX。

本文件1992年首次发布为YS/T 118.15— 1992，2012年第一次修订，本次为第一次修订。

重有色冶金炉窑热平衡测定与计算方法

(吹炼转炉)

1 范围

本文件规定了吹炼转炉热平衡测定与计算基准、设备概况与生产工艺流程、热平衡测定条件、热平衡测定项目与方法、物料平衡、热平衡、主要能耗指标、热平衡测定结果分析与改进建议。

本文件适用于吹炼铜冰铜或低冰镍的卧式转炉。

2 热平衡测定与计算基准

2.1 基准温度和压力

采用吹炼转炉环境温度为基准温度。

基准压力为1个标准大气压，即101325帕(Pa)。

2.2 热平衡测定体系

本文件以吹炼转炉为热平衡体系。物料平衡和热平衡从人炉风、炉料的入口至粗铜或高镍镜、炉渣、余热锅炉烟气出口为止。

2.3 计算单位

物料平衡和热平衡均以一炉操作周期为计算基准，即kg/炉和kJ/炉。

3 设备概况与生产工艺流程

3.1 设备概况

吹炼转炉设备概况按表1填写。

表 1 设备概况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 单位 | 数值 |
| 1 | 炉子编号 |  |  |
| 2 | 炉子规格(直径×长) | m×m |  |
| 3 | 标称容量 | t |  |
| 4 | 风口数量 | 个 |  |
| 5 | 风口直径 | mm |  |
| 6 | 风口总面积 | cm² |  |
| 7 | 炉口面积 | m² |  |
| 8 | 大修炉寿命(1个大修周期炉次) | 炉 |  |
| 9 | 平均日出炉数 | 炉/日 |  |
| 10 | 平均产量 | t/炉 |  |
| 11 | 余热锅炉型号 |  |  |
| 12 | 年运转率 | % |  |
| 13 | 炉膛有效容积 | m3 |  |
| 14 | 固定烟罩结构 | 密封/半密封 |  |
| 15 | 密封烟罩结构 | 水冷/无水冷 |  |

3.2 生产流程示意图

吹炼转炉生产工艺流程如图1所示。

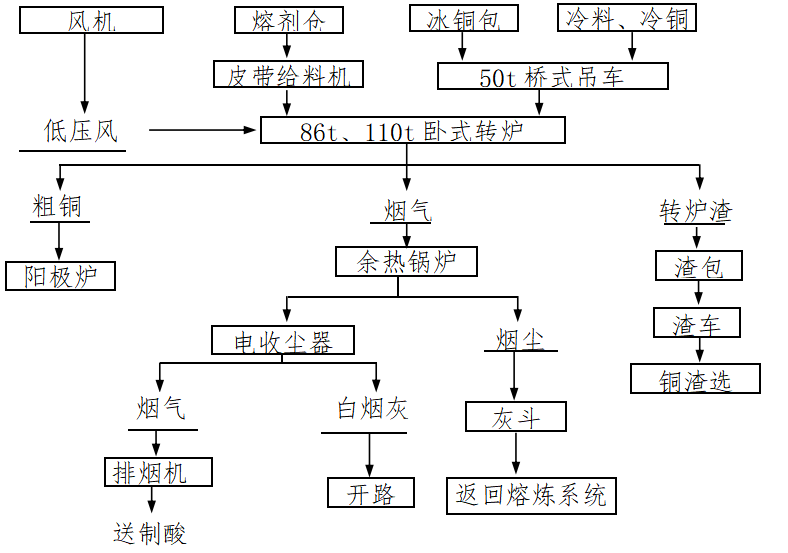


图 1 吹炼转炉生产工艺流程

4 热平衡测定条件

4.1 测定条件

在正常生产条件下，炉况相对稳定，无设备故障，各项技术参数正常时进行一炉期连续测定。

4.2 测定时间

以每炉次生产操作时间为测定单元，不少于两个测定单元。

4.3 测定前炉子运行技术参数

按表2填写测定前一个月吹炼转炉运行技术参数。

表2 测定前一个月炉子运行技术参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序 号 | 名 称 | 单 位 | 数 值 |
| 1 | 高压风量 | Nm³/h |  |
| 2 | 氧气量 | Nm3/h |  |
| 3 | 加料量 | t/炉 |  |
| 4 | 粗铜或高镍锍产量 | t/炉 |  |
| 5 | 余热锅炉出口烟气量 | Nm³/h |  |
| 6 | 生产统计炉数 | 炉 |  |
| 7 | 送风时率 | % |  |
| 8 | 熔剂率 | % |  |
| 9 | 冷料率 | % |  |
| 第一周期(适用铜转炉) | % |  |
| 第二周期(适用铜转炉) | % |  |
| 10 | 平均吹炼时间 | h |  |
| 第一周期(适用钢转炉) | h |  |
| 第二周期(适用铜转炉) | h |  |
| 11 | 吹炼渣量 | t |  |
| 12 | 吹炼转炉喷溅物量 | t |  |

5 热平衡测定项目与方法

按表3的规定进行热平衡测试。

表 3 热平衡测定项目与方法

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测定项目 | | | 符号 | 单位 | 测点位置 | 测定仪器 | 测定频率 | 取值  原则 | 测定数据 |
| 一、大气条件 | 环境温度 | 干球 | t e | ℃ | 转炉作  业区域 | 干湿球  温度计 | 1次/2 h | 算术  平均 |  |
| 湿球 | t s | ℃ |  |
| 大气压力 | | p | Pa | 室外 | 气压计 | 1次/2 h | 算术平均 |  |
| 二、入炉物料 | 1.铜冰铜或低冰镍 | | | | | | | | |
| 质量 | | m1 | kg/炉 | 给料包 | 吊车秤或地中衡 | 连续测 | 累计 |  |
| 温度 | | t1 | ℃ | 快速  热电偶 | 2次/包 | 算术  平均 |  |
| 元素成分 | |  | % | 化学分析 | 2个混合样/炉 | 算术  平均 | Cu、Ni、  Fe、S等 |
| 物相成分 | |  | % | 物相  分析仪 | 算术  平均 |  |
| 2.熔剂 | | | | | | | | |
| 质量 | | m2 | kg/炉 | 运输机 | 计量科 | 连续测 | 累计 |  |
| 温度 | | t2 | ℃ | 加料仓 | 热电偶 | 1次/4h | 算术  平均 |  |
| 含水量 | | ω | % | 水分  分析仪 |  | 算术  平均 |  |
| 元素成分 | |  | % | 化学分析 | 2个混合样/炉 | 算术  平均 | SiO2、CaO、 MgO等 |
| 3.冷料 | | | | | | | | |
|  | |  |  | 给料包 | 吊车秤或地中衡 |  |  |  |
| 质量 | | m3 | kg/炉 | 运输机 | 计量秤 | 连续测 | 累计 |
| 温度 | | t3 | ℃ | 给料包  加料仓 | 热电偶 | 1次/4h | 算术  平均 |  |
| 元素成分 | |  | % | 化学分析 | 2个混合样/炉 | 算术  平均 | Cu、Ni、  Fe、S等 |
| 物相成分 | |  | % | 物相  分析仪 | 算术  平均 |  |
| 三、入炉 气体 | 1.空气 | |  | | | | |  | |
| 体积 | | Vk | Nm3/炉 | 空气管道 | 流量计 | 连续 | 累计 |  |
| 温度 | | tk | ℃ | 热电偶 | 1次/2h | 算术平均 |  |
| 2.氧气 | | | | | | | | |
| 体积 | | V。 | Nm3/炉 | 氧气管道 | 流量计 | 连续 | 累计 |  |
| 温度 | | t0 | ℃ | 热电偶 | 1次/2h | 算术平均 |  |
| 氧气浓度 | | % | % | 分析仪 | 连续 | 算数平均 |  |
| 3.吸入烟罩空气 | | | | | | | | |
| 体积 | | Vx | Nm3/炉 | 转炉烟罩 | 热线  风速仪 | 2次/炉 | 测算 |  |
| 温度 | | Tx | ℃ | 热线  风速仪 | 2次/炉 | 算术平均 |  |
| 四、出炉 物料 | 1.粗钢或高镍梳 | | | | | | | | |
| 质量 | | m'1 | kg/炉 |  | 天车秤或地中衡 | 1次/包 | 累计 |  |
| 温度 | | t'1 | ℃ | 出料包 | 快速  热电偶 | 2次/包 | 算术  平均 |  |
| 元素成分 | |  | % | 化学分析 | 2个混合样/炉 | 算术  平均 | Cu、Ni、  Fe、S等 |
| 物相成分 | |  | % | 物相  分析仪 | 算术  平均 |  |
| 2.转炉渣 | | | | | | | | |
| 质量 | | m'2 | kg/炉 | 渣包 | 天车秤或地中衡 | 1次/包 | 累计 |  |
| 温度 | | t'2 | ℃ | 快速热电偶 | 2次/包 | 算术  平均 |  |
| 元素成分 | |  | % | 化学分析 | 2个混合样/炉 | 算术  平均 | Cu,Ni、Fe、 S、SiO2等 |
| 物相成分 | |  | % | 物相分析仪 | 算术  平均 |  |
| 3.喷溅物 | | | | | | | | |
| 质量 | | m'3 | kg/炉 | 安全坑 | 地中衡 | 1次/炉 | 累计 |  |
| 温度 | | t'3 | ℃ | 炉口 | 红外  测温仪 | 2次/炉 | 算术  平均 |  |
| 元素成分 | |  | % | 安全坑 | 化学分析 | 2个混合样/炉 | 算术  平均 | Cu、Ni、Fe、S、SiO2等 |
| 五、烟气 和烟尘 | 1.转炉出口(余热锅炉进口)烟气 | | | | | | | | |
| 流量 | | Vy | Nm3/h | 转炉出口 (余热锅炉进口) | 测算 |  |  |  |
| 温度 | | ty | ℃ | 铂铑-铂 热电偶 | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 含水量 | | wy | % | 测算 | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 干烟气成分 | |  | % | 气体  分析仪 | 1次/2h | 算术  平均 | N2 、SO₂、  O2、CO2等 |
| 转炉出口逸散烟气 | |  | m3/h | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 2.余热锅炉出口烟气 | | | | | | | | |
| 流量 | | V'y | Nm3/h | 余热锅炉出口 | 烟尘平行  采样仪 | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 温度 | | t'y | ℃ | 热电偶 | 1次/2h | 算术平均 |  |
| 含水量 | | ω'y | % | 烟尘平行  采样仪 | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 干烟气成分 | |  | % | 气体 | 1次/2h | 算术  平均 | CO₂ 、SO₂、 N₂、 O₂等 |
| 分析仪 |
| 3.余热锅炉沉降烟尘 | | | | | | | | |
| 质量 | | m'4 | kg/炉 | 余热锅炉下灰口 | 地中衡 | 1次/炉 | 累计 |  |
| 温度 | | t'4 | ℃ | 热电偶 | 2次/炉 | 算术平均 |  |
| 元素成分 | |  | % | 化学分析 | 2个混合样/炉 | 算术  平均 | Cu、Ni、Fe、 S、SiO2等 |
| 物相成分 | |  | % | 物相  分析仪 | 算术  平均 |  |
| 4.余热锅炉出口烟气带走烟尘 | | | | | | | | |
| 含尘浓度 | | du | g/Nm³ | 余热锅炉出口 | 烟尘平行  采样仪、  天平 | 1次/2 h | 算术  平均 |  |
| 温度 | | t'y | ℃ | 热电偶 | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 元素成分 | |  | % | 电场下灰口 | 元素分析 | 2个混  合样/炉 | 算术  平均 | Cu,Ni、Fe、 S、SiO₂等 |
| 物相成分 | |  | % | 物相  分析仪 | 算术  平均 |  |
| 六、冷却水 | 质量 | | mw | kg/炉 | 进水管 | 流量计 | 1次/2h | 累计 |  |
| 进口温度 | | twi | C | 温度计 | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 出口温度 | | two | C | 出水管 | 温度计 | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 七、其他 | 炉体表面积 | | A | m² |  | 查图纸 |  |  |  |
| 表面温度 | | t1b | C | 炉体表面多点测试 | 表面热电  偶、红外  测温仪 | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 炉口面积 | | Ag | m² |  | 查图纸 |  |  |  |
| 炉口温度 | | tg | ℃ | 炉口 | 红外  测温仪 | 2次/炉 | 算术  平均 |  |
| 八、余热 锅炉 | 表面积 | | Ab | m² |  | 查图纸 |  |  |  |
| 表面温度 | | tb | ℃ | 余热锅炉炉前、炉中、炉后 | 表面热电  偶、红外  测温仪 | 1次/2 h | 算术  平均 |  |
| 给水质量 | | mg | kg/炉 | 给水管 | 流量计 | 1次/2h | 累计 |  |
| 给水温度 | | tg | C | 温度计 | 1次/2h | 算术平均 |  |
| 给水压力 | | Pg | MPa | 压力表 | 1次/2h | 算术平均 |  |
| 产蒸汽量 | | m'g1 | kg/炉 | 蒸汽管 | 流量计 | 连续 | 累计 |  |
| 蒸汽温度 | | t'g1 | C | 热电偶 | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 蒸汽压力 | | p'g1 | MPa | 压力表 | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 排污水质量 | | m'g2 | kg/炉 | 排污  水口 | 计量秤 | 1次/炉 | 累计 |  |
| 排污水温度 | | t'g2 | C | 温度计 | 1次/2h | 算术  平均 |  |
| 九、时间 | 总操作时间 | | θz | h |  | 计时器 | 连续 | 累计 |  |
| 净吹炼时间 | | θj | h |  | 计时器 | 累计 |  |
| 停吹时间 | | θz- j | h |  | 计时器 | 累计 |  |

6 物料平衡

6.1 物料平衡计算

6.1.1 吹炼转炉物料平衡计算

按表4规定进行吹炼转炉物料平衡计算。

表 4 吹炼转炉物料平衡计算

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项 目 | 符号 | 单位 | 计算依据 | 数值 |
| 一、收入项 | | | | | |
| 1 | 铜冰铜或低冰镍质量 | m1 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2 | 熔剂质量 | m2 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 3 | 冷料质量 | m3 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 4 | 入炉空气质量 | m4 | kg/炉 | m4=Vk·ρk |  |
| 1) 空气体积 | Vk | m²/炉 | 实测数据 |  |
| 2) 空气密度 | ρk | kg/m³ | 查表 |  |
| 5 | 吸人烟罩空气质量 | m5 | kg/炉 | m5=Vx·ρk |  |
| 1) 空气体积 | Vx | m³/炉 | 实测数据 |  |
| 2) 空气密度 | ρx | kg/m² | 查表 |  |
| 6 | 鼓入炉内氧气质量 | m6 | kg/炉 | M6=Vo·ρo |  |
| 1) 氧气体积 | Vo | m²/炉 | 实测数据 |  |
| 2) 氧气密度 | ρo | kg/m² | 查表 |  |
| 3）氧气纯度 | % | % | V0=V\*x% |  |
| 7 | 其他炉料质量 | m7 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 收入项之和 | | ∑m | kg/炉 | ∑m=m1+m₂+m3+m4+m5+m6+m7 |  |
| 二、支出项 | | | | | |
| 1 | 粗铜或高镍锍质量 | m'1 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2 | 转炉渣质量 | m'2 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 3 | 喷溅物质量 | m'3 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 4 | 出口烟气质量 | my | kg/炉 | my=Vy • ρy .θj |  |
| 1)烟气流量 | Vy | Nm³/h | 测算 |  |
| 2)烟气密度 | ρy | kg/Nm³ | ρy=∑ayi •ρ'yi |  |
| 3)烟气成分 | ayi | % | 实测数据 |  |
| 4)成分i密度 | ρ'yi | kg/Nm³ | 查表 |  |
| 5)逸散烟气质量 | mx | t | 实测数据 |  |
| 5 | 烟尘质量 | myc | kg/炉 | myc=m'4+m'5 |  |
| 1) 沉降烟尘质量 | m'4 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2) 出口烟尘质量 | m'5 | kg/炉 | m'5=V'y·du•θj/1000 |  |
| 3) 烟气流量 | V'y | m³/h | 实测数据 |  |
| 4) 烟气含尘浓度 | du | g/Nm3 | 实测数据 |  |
| 6 | 差值 | △m | kg/炉 | △m=∑m- (m'1+m'2+m'3+m'y+m'yc) |  |
| 支出项之和 | |  | kg/炉 | ∑m'=m'1+m'2+m'3+m'y+m'yc+△m |  |

6.1.2 余热锅炉物料平衡计算

按照表5规定进行余热锅炉物料平衡计算。

表5 余热锅炉物料平衡计算

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | | 符号 | 单位 | 计算依据 |  |
| 一、收入项 | | | | | |  |
| 1 | 进口烟气质量 | | my | kg/每炉 | my=Vy·ρy·θj |  |
| 1）烟气流量 | | Vy | Nm3/h | 测算 |  |
| 2）烟气密度 | | ρy | kg/Nm3 | ρy=∑ayi·ρyi |  |
| ①烟气i成分 | | ayi | % | 实测数据 |  |
| ②成分i密度 | | ρyi | kg/Nm3 | 查表 |  |
| 3）净吹时间 | | θj | h | 实测数据 |  |
| 2 | 进口烟尘质量 | | myc | kg/每炉 | 测算 |  |
| 1）沉降烟尘质量 | | m'4 | kg/每炉 | 实测数据 |  |
| 2）出口烟尘质量 | | m'5 | kg/每炉 | m'5=V'y·du·θj/1000 |  |
| 3 | 给水质量 | | mg | kg/每炉 | 实测数据 |  |
| 收入项之和 | | | ∑m | kg/每炉 | ∑m=my+myc+mg |  |
| 序号 | 项目 | | 符号 | 单位 | 计算依据 | 数值 |
| 二、支出项 | | | | | |  |
| 1 | 进口烟气质量 | | m'y | kg/炉 | m'y=V'y·ρ'y·θj |  |
| 1）烟气流量 | | V'y | Nm3/h | 测算 |  |
| 2）烟气密度 | | ρ'y | kg/Nm3 | ρ'y=∑ayi·ρyi |  |
| ①烟气中i成分含量 | | ayi | % | 实测数据 |  |
| ②成分中i密度密度 | | ρyi | kg/Nm3 | 查表 |  |
| 2 | 1）沉降烟尘质量 | | m'4 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 3 | 2）出口烟尘质量 | | m'5 | kg/炉 | m'5=V'y·du·θj/1000 |  |
| 4 | 蒸汽质量 | | m'g1 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 5 | 排污水质量 |  | m'g2 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 6 | 差值 | | ∆m' | kg/炉 | ∆m'=∑m-(m'y+m'4+m'5+m'g1+m'g2) |  |
| 收入项之和 | | | ∑m' | kg/炉 | ∑m'=m'y+m'4+m'g1+m'g2+∆m' |  |

6.2 物料平衡表

6.2.1 吹炼转炉物料平衡表

将吹属转炸物料质量的测定和计算结果填入表6。

表 6 吹炼转炉物料平衡

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 收入 | | | | 支出 | | | |
| 符号 | 项目 | 数值 | | 符号 | 项目 | 数值 | |
| kg/炉 | % | kg/炉 | % |
| m1 | 铜冰铜或低冰镍质量 |  |  | m'1 | 粗铜或高镍锍质量 |  |  |
| m2 | 熔剂质量 |  |  | m'2 | 转炉渣质量 |  |  |
| m3 | 冷料质量 |  |  | m'3 | 喷溅物质量 |  |  |
| m4 | 入炉空气质量 |  |  | my | 烟气质量 |  |  |
| m5 | 吸入烟气罩空气质量 |  |  | myc | 烟尘质量 |  |  |
| m6 | 鼓入氧气质量 |  |  | ∆m | 差值 |  |  |
| m7 | 其他炉料质量 |  |  |  |  |  |  |
| ∑m | 合计 |  | 100 | ∑m' | 合计 |  | 100 |

6.2.2 余热锅炉物料平衡表

将余热锅炉物料质量的测定和计算结果填入表7。

表 7 余热锅炉物料平衡表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 收入 | | | | 支出 | | | |
| 符号 | 项目 | 数值 | | 符号 | 项目 | 数值 | |
| kg/炉 | % | kg/炉 | % |
| my | 进口烟气质量 |  |  | m'y | 出口烟气质量 |  |  |
| myc | 进口烟尘质量 |  |  | m'4 | 沉降烟尘质量 |  |  |
| mg | 给水质量 |  |  | m'5 | 出口烟尘质量 |  |  |
|  |  |  |  | m'g1 | 蒸汽质量 |  |  |
|  |  |  |  | m'g2 | 排污水质量 |  |  |
|  |  |  |  | ∆m' | 差值 |  |  |
| ∑m | 合计 |  | 100 | ∑m' | 合计 |  | 100 |

7 热平衡

7.1 热平衡计算

7.1.1 吹炼转炉热平衡计算

按表8规定内容和方法进行热平衡计算。

表 8 吹炼转炉热平衡计算表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项 目 | 符号 | 单位 | 计算依据 | 数值 |
| 一、热收入项 | | | | | |
| 1 | 铜冰钢或低冰镍带入热 | Q1 | kJ/炉 | Q1=m₁ ·C₁ · (t1-te) |  |
| 1) 钢冰铜或低冰镍质量 | m1 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2)铜冰铜或低冰镍温度 | t1 | ℃ | 实测数据 |  |
| 3)铜冰铜或低冰镍比热 | C1 | kJ/(kg·℃) | 测试或计算 |  |
| 2 | 氧化反应放热 | Q2 | kJ/炉 | Q2=Σmi ·△Hi |  |
| 1) 被氧化的物质i质量 | mi | kg/炉 | 按分析结果及反应式计算 |  |
| 2)物质i反应生成热 | △Hi | kJ/kg | 查表 |  |
| 3 | 造渣反应放热 | Q3 | kJ/炉 | Q3=Σmsi ·△Hsi |  |
| 1) 物质i造渣消耗SO₁质量 | msi | kg/炉 | 按分析结果及反应式计算 |  |
| 2)按SiO₂反应生成热 | △Hsi | kJ/kg | 查表 |  |
| 4 | 入炉空气带入热 | Q4 | kJ/炉 | Q4=m4·Ck · (tk-te) |  |
| 1) 空气质量 | m4 | kg/炉 | 实测数据及计算 |  |
| 2)空气温度 | tk | ℃ | 实测数据 |  |
| 3)空气比热 | Ck | kJ/(kg ·℃) | 查表 |  |
| 5 | 鼓人氧气带入热 | Q5 | kJ/炉 | Q5=m6 ·Co · (to-te) |  |
| 1)氧气质量 | m6 | kg/炉 | 实测数据及计算 |  |
| 2)氧气温度 | to | ℃ | 实测数据 |  |
| 3)氧气比热 | co | kJ/(kg ·C) | 查表 |  |
| 6 | 其他物料带入热 | Q6 | kJ/炉 | Q6=m7 ·C7 · (t7-te) |  |
| 1)其他物料质量 | m7 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2) 其他物料比热 | c7 | ℃ | 测试或计算 |  |
| 3)其他物料温度 | t7 | kJ/(kg ·C) | 实测数据 |  |
| 收入热量之和 |  | ΣQ | kJ/炉 | ΣQ=Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6 |  |
| 二、热支出项 | | | | |  |
| 1 | 粗铜或高镍锍带走热 | Q'1 | kJ/炉 | Q'1=M'1·'1·(t'1-te) |  |
| 1) 粗铜或高镍锍质量 | m'1 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2) 粗铜或高镍锍温度 | t'1 | ℃ | 实测数据 |  |
| 3)粗铜家高镍锍比热 | c'1 | /(kg · () | 测试或计算 |  |
| 2 | 转炉渣带走热 | Q'2 | kJ/炉 | Q'2=m'2 ·C2 · (t'2-te) |  |
| 1) 转炉渣质量 | m'2 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2) 转炉渣温度 | t'2 | C | 实测数据 |  |
| 3)转炉渣比热 | C'2 | J/tkg ·) | 测试或计算 |  |
| 3 | 喷溅物带走热 | Q'3 | kJ/炉 | Q'3=m'3 ·C3· (t'2-te) |  |
| 1) 喷溅物质量 | m'3 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2)喷溅物温度 | t'3 | ℃ | 实测数据 |  |
| 3)喷溅物比热 | C3 | kJ/(kg ·℃) | 测试或计算 |  |
| 4 | 烟气带走热 | Q'4 | kJ/炉 | Q'4=my·Cy·(ty-te) |  |
| 1)烟气质量 | my | kg/炉 | 测算 |  |
| 2)烟气温度 | ty |  | 实测数据 |  |
| 3)烟气比热 | cy | kJ/(kg ·C) | 测试或计算 |  |
| 4）逸散烟气带走热 | tx |  | 实测数据 |  |
| 5 | 出口烟尘带走热 | Q'5 | kJ/炉 | Q'5=myc·Cye· (ty-te) |  |
| 1)烟尘质量 | myc | kg/炉 | 测算 |  |
| 2)烟尘温度 | ty | ℃ | 实测数据 |  |
| 3)烟尘比热 | cyc | kJ/(kg ·℃) | 测试或计算 |  |
| 6 | 水分蒸发吸热 | Q6' | kJ/炉 | Q'6=Σmi · (hy-hi) |  |
| 1)空气、熔剂等含水质量 | mi | kg/炉 | 计算数据 |  |
| 2)人炉水的焓值 | hi | kJ/kg | 查表 |  |
| 3)出口水蒸气的焓值 | hy | kJ/kg | 查表 |  |
| 7 | 表面散热量 | Q'7 | kJ/炉 | Q'7=Kb ·A ·θz · (tb-te) |  |
| 1)表面积 | A | m² | 查图纸 |  |
| 2) 表面温度 | tlb | ℃ | 实测数据 |  |
| 3)综合换热系数 | kb | kJ/(m²·h·℃) | 计算 |  |
| 4)散热时间 | θz | h | 实测时间 |  |
| 8 | 辐射散热量 | Q'8 | kJ/炉 | Q'8=ε·σo·Ak·θz-j·φ×·[（ ）4-）4] |  |
| 1)黑度系数 | ε |  | 查表 |  |
| 2)黑体辐射系数 | σ0 | W/(m² ·K4) | 查表 |  |
| 3) 炉口面积 | Ag | m² | 实测数据 |  |
| 4) 炉口散开时间 | θz-j | h | 实测数据 |  |
| 5) 遮敞系数 | φ |  | 查表 |  |
| 6) 炉口温度 | tg | ℃ | 实测数据 |  |
| 7)环境温度 | te | ℃ | 实测数据 |  |
| 9 | 冷却水带走热 | Q'9 | kg/炉 | Q'9=mw ·Cw · (two-twi) |  |
| 1) 冷却水质量 | mw | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2)冷却水出口温度 | two | ℃ | 实测数据 |  |
| 3)冷却水进口温度 | twi | ℃ | 实测数据 |  |
| 4)冷却水比热 | Cw | kJ/(kg ·℃) | 查表 |  |
| 10 | 差值 | ΔQ | kJ/炉 | △Q=ΣQ- (Q'1+Q'2+Q'3+Q'4+Q'5+Q'6+Q'7+Q'8+Q'9） |  |
| 支出热量之和 |  | ΣQ' | kJ/炉 | ΣQ'= Q'1+Q'2+Q'3+Q'4+Q'5+Q'6+Q'7+Q'8+Q'9+ΔQ |  |

7.1.2 余热锅炉热平衡计算

按表9规定内容进行余热锅炉热平衡计算。

表 9 余热锅炉热平衡计算表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项 目 | 符号 | 单位 | 计算依据 | 数值 |
| 一、热收入项 | | | | | |
|  | 进口烟气带入热 | *Q'4* | kJ/炉 | *Q'4=my · Cy · (ty - te)* |  |
| 1 | 1) 烟气质量 | *my* | kg/炉 | 测算 |  |
|  | 2)烟气温度 | *ty* | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 3)烟气比热 | *Cy* | kJ/(kg · ℃) | 测试或计算 |  |
|  | 进口烟尘带入热 | *Q'5* | kJ/炉 | *Q'5=myc · Cyc · (ty-te)* |  |
| 2 | 1) 烟尘质量 | *myc* | kg/炉 | *myc*=*m'4+m'5* |  |
|  | 2) 烟尘温度 | *ty* | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 3) 烟尘比热 | *C*ye | kJ/(kg · ℃) | 测试或计算 |  |
|  | 给水带入热 | *Qg* | kJ/炉 | *Qg=mg· hg* |  |
|  | 1) 给水质量 | *mg* | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 3 | 2) 给水温度 | *tg* | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 3)给水压力 | *pg* | MPa | 实测数据 |  |
|  | 4) 给水热焓 | *hg* | kJ/kg | 查表 |  |
| 热收入总计 | | ∑*Q* | kJ/炉 | ∑*Q=Q'4+Q'5+Qg* |  |
| 二、热支出项 | | | | | |
| 1 | 出口烟气带走热 | *Q'y* | kJ/炉 | Q'y = m'y · C'y · (t'y - te) |  |
| 1) 烟气质量 | m'y | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2) 烟气温度 | t'y | ℃ | 实测数据 |  |
| 3)烟气比热 | C'y | kJ/(kg · ℃) | 测试或计算 |  |
| 2 | 沉降烟尘带走热 | Q'c4 | kJ/炉 | Q'c4 = m'4 ·C'c4 · (t'4 - te) |  |
| 1)烟尘质量 | m'4 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2)烟尘温度 | t'4 | ℃ | 实测数据 |  |
| 3) 烟尘比热 | C'c4 | kJ/(kg · ℃) | 测试或计算 |  |
| 3 | 出口烟尘带走热 | Q'c5 | kJ/炉 | Q'c5=m'5 · C'c5· (t'y - te) |  |
| 1) 烟尘质量 | m'5 | kg/炉 | m'5=V'y ·du · θj/1000 |  |
| 2) 烟尘温度 | t'y | ℃ | 实测数据 |  |
| 3) 烟尘比热 | C'c5 | kJ/(kg · ℃) | 测试或计算 |  |
| 4 | 蒸汽带走热 | Q'g1 | kJ/炉 | Q'g1 = m'g1 · h'g1 |  |
| 1) 蒸汽质量 | m'g1 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2) 蒸汽温度 | t'g1 | ℃ | 实测数据 |  |
| 3)蒸汽压力 | p'g1 | MPa | 实测数据 |  |
| 4)蒸汽热焓 | h'g1 | kJ/kg | 查表 |  |
| 5 | 排污水带走热 | Q'g2 | kJ/炉 | Q'g2 = m'g2 · h'g2 |  |
| 1)排污水质量 | m'g2 | kg/炉 | 实测计算 |  |
| 2) 排污水温度 | t'g2 | ℃ | 实测数据 |  |
| 3) 排污水热焓 | h'g2 | kJ/kg | 查表 |  |
|  | 表面散热损失 | Q'b | kJ/炉 | Q'b=Kb ·Ab ·θz · (tb-te) |  |
| 1) 表面温度 | tb | ℃ | 实测数据 |  |
| 6 | 2) 表面积 | Ab | m² | 查图纸或实测 |  |
| 3) 综合换热系数 | Kb | kJ/(m² ·h ·℃) | 计算 |  |
| 4) 散热时间 | θz | h | 实测数据 |  |
| 7 | 差值 | △Q′ | kJ/炉 | △Q'= ∑Q- (Q'y+Q'c4+Q'c5+Q'g1+Q'g2+Q'b) |  |
| 热支出总计 | | ∑Q' | kJ/炉 | ∑Q'=Q'y+Q'c4+Q'c5+Q'g1+Q'g2+Q'b+△Q' |  |

7.2 热平衡表

7.2.1 吹炼转炉热平衡表

将吹炼转炉热平衡计算结果填入表10。

表10 吹炼转炉热平衡表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 热收入 | | | | 热支出 | | | |
| 符号 | 项目 | 数值 | | 符号 | 项目 | 数值 | |
| kg/炉 | % | kg/炉 | % |
| Q1 | 铜冰铜或低冰镍带入热 |  |  | Q'1 | 粗铜或高镍锍带入热 |  |  |
| Q2 | 氧化反应放热 |  |  | Q'2 | 转炉渣带走热 |  |  |
| Q3 | 造渣反应放热 |  |  | Q'3 | 喷溅物带走热 |  |  |
| Q4 | 入炉空气带入热 |  |  | Q'4 | 烟气带走热 |  |  |
| Q5 | 鼓入氧气带入热 |  |  | Q'5 | 出口烟尘带走热 |  |  |
| Q6 | 其他物料带入热 |  |  | Q'6 | 水分蒸发吸热 |  |  |
|  |  |  |  | Q'7 | 表面散热量 |  |  |
|  |  |  |  | Q'8 | 辐射散热量 |  |  |
|  |  |  |  | Q'9 | 冷却水带走热 |  |  |
|  |  |  |  | QX | 逸散烟气带走热 |  |  |
|  |  |  |  | ∆Q | 差值 |  |  |
| ∑Q | 合计 |  | 100 | ∑Q' | 合计 |  | 100 |

7.2.2 余热锅炉热平衡表

将余热锅炉热平衡计算结果列入表11。

表11 余热锅炉热平衡表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 热收入 | | | | 热支出 | | | |
| 符号 | 项目 | 数值 | | 符号 | 项目 | 数值 | |
| kg/炉 | % | kg/炉 | % |
| Q'4 | 进口烟气带入热 |  |  | Q'y | 出口烟气带走热 |  |  |
| Q'5 | 进口烟尘带入热 |  |  | Q'c4 | 沉降烟尘带走热 |  |  |
| Q'g | 给水带入热 |  |  | Q'c5 | 出口烟尘带走热 |  |  |
|  |  |  |  | Q'g1 | 蒸汽带走热 |  |  |
|  |  |  |  | Q'g2 | 排污水带走热 |  |  |
|  |  |  |  | Q'b | 表面散热损失 |  |  |
|  |  |  |  | ∆Q' | 差值 |  |  |
| ∑m | 合计 |  | 100 | ∑Q' | 合计 |  | 100 |

7.3 热效率

7.3.1 炉子热效率(ηlx)

**×100%………………………… (1)

式中：

Q'1—— 粗铜或高镍锍带走热，kJ/炉；

Q'2—— 转炉渣带走热，kJ/炉；

Q1——铜冰铜或低冰镍带入热，kJ/ 炉；

Q2——氧化反应放热，kJ/炉；

Q3—— 造渣反应放热，kJ/ 炉；

Q4— 人炉空气带入热，kJ/炉；

Q5— 鼓入氧气带入热，kJ/炉；

Q6— 其他物料带人热，kJ/炉。

7.3.2 余热回收率(*ηyr*)

…………………………………… ……(2)

式中：

Q'g1— 燕汽带走热，kJ/炉；

Q'4——余热锅炉进口烟气带入热，kJ/炉；

Q'5——余热锅炉进口烟尘带入热，kJ/炉；

Qg —— 余热锅炉给水带入热，kJ/炉。

7.3.3 炉子系统热效率(ηxt)

………………………… (3)

式中符号意义同上。

7.4 热流图

根据热平衡测定结果绘制吹炼转炉热流图。

8 主要能耗指标

按表12规定计算主要能耗指标。

表12 吹炼转炉主要能耗指标

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 符号 | 计算公式 | 单位 | 数值 |
| 1 | 单位产品空气消耗量 | Va | Vk/m'1 | m³/t |  |
| 2 | 单位产品氧气消耗量 | Vβ | Vo/m'1 | m³/t |  |
| 3 | 鼓风利用率 | ηgf | (Vk+Vo)氧·造/（Vk+Vo)鼓×100% | % |  |
| 4 | 送风时率 | ηsf | θj/θz×100% | % |  |

9 热平衡测定结果分析与改进建议

9.1 对设备工艺状况、操作制度进行分析。

9.2 评价热效率及主要技术指标。

9.3 提出节能途径。

9.4 建议及研究课题。