ICS 77-120

CCS H 01

|  |
| --- |
|  |

**YS**

中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T XXXXX—XXXX

|  |
| --- |
| 代替YS∕T 118.6-1992 |

重有色冶金炉窑热平衡的测定与计算方法（烟化炉）

Methods of determination and calculation of heat balance in metallurgical furnaces for heavy non-ferrous metals  
（Fuming furnace）

|  |
| --- |
| （预审稿） |
|  |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中华人民共和国工业和信息化部  发布

目次

[目次 I](#_Toc23815)

[前  言 II](#_Toc23216)

[重有色冶金炉窑热平衡的测定与计算方法（烟化炉） 1](#_Toc30838)

[1 范围 1](#_Toc2519)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc18635)

[3 术语和定义 1](#_Toc22809)

[4 热平衡测定与计算基准 1](#_Toc3422)

[5 设备概况与生产工艺流程 1](#_Toc6902)

[6 热平衡测定条件 2](#_Toc9513)

[7 热平衡测定项目与方法 3](#_Toc5899)

[8 物料平衡 8](#_Toc21406)

[9 热平衡计算 12](#_Toc23596)

[10 主要能耗指标 22](#_Toc26847)

[11 热平衡测定结果分析与改进建议 22](#_Toc27681)

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 118.6-92《重有色冶金炉窑热平衡测定与计算方法(烟化炉)》，与YS/T 118.6-92相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

1. 引用文件删除了“GB/T 2588-81设备热效率计算通则、GB/T 2586-81热量单位符号与换算”，增加了“GB/T 13338-2018 工业燃料炉热平衡测定与计算基本规则”；
2. 第7章热平衡测定项目与方法中增加了“三次风、氧气、余热锅炉表面散热”的测定；
3. 第8章物料平衡中增加了“8.1.2余热锅炉物料平衡计算”及“8.2.2余热锅炉物料平衡表”；
4. 第8章物料平衡中烟化炉物料平衡计算收入项中增加了“烟气质量、漏入风质量”；
5. 第9章热平衡计算中9.1.1烟化炉热平衡计算热收入项中增加了“4氧气带入物理热、5锌浸出渣中硫化锌氧化放热、6锌蒸气氧化放热、7铅蒸气氧化放热”计算；热支出项中增加了“4水分蒸发吸热、9锌浸出渣中硫酸锌分解吸热、10锌浸出渣中铁酸锌与一氧化碳还原分解反应吸热、11氧化锌还原反应吸热、12火法冶炼含金属渣中氧化铅还原反应吸热、13还原氧化锌、氧化铅消耗的碳、一氧化碳及氢气的化学热”计算，热支出项中删除了“烟气水分带走热、余热回收热”；
6. 第9章热平衡计算中增加了“9.1.2余热锅炉热平衡计算”及“9.2.2余热锅炉热平衡表”；
7. 第10主要能耗指标中删除了1992版中的“床能力、燃料率、烟尘率、空气消耗量、热耗”指标，增加了“锌金属煤耗”指标。
8. 附录C增加了“Pb、Zn蒸气氧化、ZnSO4分解等反应”方程式。

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：云南驰宏锌锗股份有限公司、云南驰宏资源综合利用有限公司、株洲火炬工业炉有限责任公司、深圳市中金岭南有色金属股份有限公司韶关冶炼厂、蒙自矿冶有限责任公司、湖南水口山有色金属集团有限公司、江西铜业铅锌金属有限公司等。

本文件主要起草人：XXX。

本文件及所代替文件的历次版本发布情况为：

—1992年首次发布为YS/T 118.6-92；

—本次为第一次修订。

重有色冶金炉窑热平衡的测定与计算方法（烟化炉）

1. 范围

本文件规定了烟化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。

本文件适用于烟化炉的热平衡测定和计算。

1. 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 2587 用能设备能量平衡通则

GB/T 13338-2018 工业燃料炉热平衡测定与计算基本规则

1. 术语和定义

本文件没有规范性引用文件。

1. 热平衡测定与计算基准
   1. 基准温度和压力

以烟化炉区域的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）。

* 1. 热平衡测定体系

以烟化炉为热平衡测定体系，物料平衡与热平衡从入炉风、入炉物料的入口至渣口、余热锅炉烟气出口为止，炉体冷却介质从冷却部件入口至出口。

* 1. 计算单位

物料平衡与热平衡均以一炉操作周期为计算基准，计算单位分别采用kg/炉和kJ/炉。

1. 设备概况与生产工艺流程
   1. 设备概况

烟化炉设备概况按表1填写。

表1烟化炉设备概况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 单位 | 数据 |
| 1 | 炉子规格（长×宽） | mm×mm |  |
| 2 | 炉床面积 | m2 |  |
| 3 | 风口数量 | 个 |  |
| 4 | 风口直径 | mm |  |
| 5 | 风口总面积 | cm2 |  |
| 6 | 风口比 | % |  |
| 7 | 风口中心距 | mm |  |
| 8 | 渣口高度 | mm |  |
| 9 | 风口高度 | mm |  |
| 10 | 大修炉寿命 | 月 |  |

* 1. 生产工艺流程示意图

生产工艺流程如图1所示。



图1　烟化炉生产工艺流程示意图

1. 热平衡测定条件
   1. 测定期间生产条件

测定时烟化炉生产须在正常工况条件下，各项技术参数在工艺技术规定的指标范围内，炉况相对稳定，无设备故障，产量达正常生产水平。

* 1. 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。

* 1. 测定前炉子运行技术参数

按表2填写烟化炉测定前一个月运行技术参数。

表2测定前一个月烟化炉运行技术参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | | 单位 | 数据或内容 |
|  | 一次风 | 风量 | Nm3/h |  |
| 风压 | MPa |  |
|  | 二次风 | 风量 | Nm3/h |  |
| 风压 | MPa |  |
|  | 氧气流量 |  | Nm3/h |  |
|  | 氧气浓度 |  | % |  |
|  | 粉煤率 |  | % |  |
|  | 锌金属耗煤 |  | t/t•Zn |  |
|  | 锌回收率 |  | % |  |
|  | 床能力 |  | t•（m2 •d）-1 |  |
|  | 作业率 |  | % |  |
|  | 炉膛温度 |  | ℃ |  |
|  | 锌浸出渣 | 加入量 | t/炉 |  |
|  | 火法冶炼含金属渣（热态） | 加入量 | t/炉 |  |
|  | 火法冶炼含金属渣（冷态） | 加入量 | t/炉 |  |
|  | 粉煤 | 加入量 | t/炉 |  |
|  | 水淬渣 | 产出量 | t/炉 |  |
|  | 烟化炉次氧化锌 | 产出量 | t/炉 |  |
|  | 余热锅炉出口烟气 | 排烟量 | Nm3/h |  |
|  | 余热锅炉出口烟尘 | 烟尘浓度 | g/Nm3 |  |
|  | 余热锅炉蒸汽 | 产出量 | t/h |  |
| 温度 | ℃ |  |

1. 热平衡测定项目与方法

热平衡测定项目与方法按照表3执行。

表3热平衡测定项目与方法

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | | | 符号 | 单位 | 测定位置 | 测定仪器 | 测定频率 | 取值原则 | 测定数据 |
| 一、大气  条  件 | 环境温度及湿度 | 温度 | te | ℃ | 炉子周围 | 温湿度计 | 1次/h | 算术平均 |  |
| 湿度 | Φ | % |  |
| 大气压力 | | P | Pa | 室外 | 气压计 | 1次/h |  |
| 大气温度 | | th | ℃ | 温湿度计 |  |
| 大气湿度 | | Φh | % |  |
| 二、入炉物料 | 1.火法冶炼含金属渣（冷态） | | | | | | | | |
| 质量 | | m1 | kg/炉 | 冷料入口处 | 计量秤 | 加料时连续测 | 累计 |  |
| 温度 | | t1 | ℃ | 红外测温仪 | 每批料一次 | 算术平均 |  |
| 含水量 | | W1 | % | 水分测定仪 | 2个混合样/炉 |  |
| 元素成分 | |  | % | 化学分析 | Pb、Zn、Ag、Ge SiO2、CaO、Fe等 |
| 物相成分 | |  | % | 物相分析仪 |  |
| 2.火法冶炼含金属渣（热态） | | | | | | | | |
| 质量 | | m2 | kg/炉 | 渣包 | 吊车秤 | 加料时测 | 计量 |  |
| 温度 | | t2 | ℃ | 红外测温仪 | 1次/包 | 算术平均 |  |
| 元素成分 | |  | % | 熔渣溜槽处 | 化学分析 | 2个混合样/炉 | Pb、Zn、Ag、Ge SiO2、CaO、Fe等 |
| 物相成分 | |  | % | 物相分析仪 |  |
| 3.锌浸出渣 | | | | | | | | |
| 质量 | | m3 | kg/炉 | 冷料入口处 | 计量秤 | 加料时连续测 | 累计 |  |
| 温度 | | t3 | ℃ | 红外测温仪 | 每批料一次 | 算术平均 |  |
| 含水量 | | W2 | % | 水分测定仪 | 2个混合样/炉 |  |
| 元素成分 | |  | % | 化学分析 | Pb、Zn、Ag、Ge、SiO2、CaO、Fe、S等 |
| 物相成分 | |  | % | 物相分析仪 |  |
| 4.其他 | | | | | | | | |
| 质量 | | m4 | kg/炉 |  |  |  | 按统计数据或计量 |  |
| 温度 | | t4 | ℃ |  | 红外测温仪 | 每批料一次 | 算术平均 |  |
| 三、入炉燃料 | 质量 | | m5 | kg/炉 | 给煤机处 | 计量秤 | 加料时连续测 | 累计 |  |
| 温度 | | t5 | ℃ | 热电偶 | 连续测 | 算术平均 |  |
| 含水量 | | W3 | % | 粉煤仓 | 水分测定仪 | 2个混合样/炉 | 算术平均 |  |
| 元素成分 | |  | % | 工业分析仪 | A、V、C、S、H2O等 |
| 粉煤低位发热量 | | QyDW | kJ/kg | 量热仪 |  |
| 四、入炉气体 | 1.一、二次风 | | | | | | | | |
| 鼓入一、二次风体积 | | Vk | Nm3/炉 |  | 计算 |  |  |  |
| 一次风体积 | | V1k | Nm3/炉 | 一、二次风管道 | 流量计 | 连续测 | 累计 |  |
| 一次风压力 | | P1k | MPa | 压力表 | 连续测 | 算术平均 |  |
| 二次风体积 | | V2k | Nm3/炉 | 流量计 | 连续测 | 累计 |  |
| 二次风压力 | | P2k | MPa | 压力表 | 连续测 | 算术平均 |  |
| 一、二次风温度 | | tk | ℃ | 温度计 | 连续测 |  |
| 一、二次风含水量 | | W4 | % | 露点仪 | 2个混合样/炉 |  |
| 2.三次风 | | | | | | | | |
| 三次风体积 | | V3k | Nm3/炉 |  | 测算 |  |  |  |
| 三次风温度 | | t3k | ℃ |  | 温度计 | 1次/h | 算术平均 |  |
| 三次风含水量 | | W5 | % |  | 露点仪 | 2个混合样/炉 |  |
| 3.氧气 | | | | | | | | |
| 体积 | | Vo | Nm3/炉 | 氧气管道 | 流量计 | 连续测 | 累计 |  |
| 压力 | | Po | MPa | 压力表 | 连续测 | 算术平均 |  |
| 温度 | | to | ℃ | 温度计 | 连续测 |  |
|  | 浓度 | | φo | % |  | 氧含量分析仪 | 连续测 |  |

**表3 热平衡测定项目与方法（续1）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | | 符号 | 单位 | 测定位置 | 测定仪器 | 测定频率 | 取值原则 | 测定数据 |
| 五、出炉物料 | 1.水淬渣 | | | | | | | |
| 水淬渣质量 | m1′ | kg/炉 | 水淬渣池 | 地中衡 | 出渣时 | 计量 |  |
| 水淬渣含水量 | W6 | % | 水分测定仪 | 2个混合样/炉 | 算术平均 |  |
| 废渣温度 | t1′ | ℃ | 废渣出口 | 红外测温仪 | 1次/炉 |  |
| 废渣元素成分 |  | % | 化学分析 | 2个混合样/炉 | Pb、Zn、SiO2、CaO、Fe、Ag等 |
| 废渣物相成分 |  | % | 物相分析仪 |  |
| 六、烟气与烟尘 | 1.烟化炉出口（余热锅炉进口）烟气 | | | | | | | |
| 体积 | VY | Nm3/炉 | 余热锅炉进口 | 气体分析仪 | 3次/炉 | 测算 |  |
| 温度 | ty | ℃ | 算术平均 |  |
| 含水量 | wy | % |  |
| 干烟气成分 |  | % | CO2、SO2、N2、O2等 |
| 2.余热锅炉出口烟气 | | | | | | | |
| 体积 | VY′ | Nm3/炉 | 余热锅炉出口 | 气体分析仪 | 3次/炉 | 测算 |  |
| 温度 | ty′ | ℃ | 算术平均 |  |
| 含水量 | wy′ | % |  |
| 干烟气成分 |  | % | CO2、SO2、N2、O2等 |
| 3. 余热锅炉沉降烟尘 | | | | | | | |
| 质量 | m2′ | kg/炉 | 余热锅炉下灰口 | 地中衡 | 1次/炉 | 计量 |  |
| 温度 | t2′ | ℃ | 热电偶 | 连续测 | 算术平均 |  |
| 元素成分 |  | % | 化学分析 | 2个混合样/炉 | Zn 、Pb、Ge、Cd、As、Cl、Ag、SiO2、Fe、F、Mg、S等 |
| 物相成分 |  | % | 物相分析仪 |  |
| 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 | 3次/炉 | 算术平均 |  |
| 温度 | t3′ | ℃ | 热电偶 | 连续测 |  |
| 元素成分 |  | % | 布袋下灰口 | 化学分析 | 2个混合样/炉 | Zn 、Pb、Ge、Cd、As、Cl、Ag、SiO2、Fe、F、Mg、S等 |
| 物相成分 |  | % | 物相分析仪 |  |

**表3 热平衡测定项目与方法（续2）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | | 符号 | 单位 | 测定位置 | 测定仪器 | 测定频率 | 取值原则 | 测定数据 |
| 七、表面散热及冷却 | 1.烟化炉表面散热 | | | | | | | |
| 炉壁表面积 | A1 | m2 |  | 查图纸/实测 |  |  |  |
| 炉壁表面温度 | th1 | ℃ | 炉壁 | 红外测温仪 | 3次/炉 | 区域平均 |  |
| 2.余热锅炉表面散热 | | | | | | | |
| 表面积 | A2 | m2 |  | 查图纸/实测 |  |  |  |
| 表面温度 | th2 | ℃ | 余热锅炉上升烟道、下降烟道、水平烟道 | 红外测温仪 | 3次/炉 | 区域平均 |  |
| 3.冷却水 | | | | | | | |
| 进水量 | mw | kg/炉 | 进水管 | 流量计 | 连续测 | 累计 |  |
| 进水温度 | tw1 | ℃ | 温度计 | 算术平均 |  |
| 出水温度 | tw2 | ℃ | 出水管 |  |
| 八、余热锅炉 | 1.余热锅炉给水 | | | | | | | |
| 给水质量 | mg | kg/炉 | 给水管 | 流量计 | 连续测 | 累计 |  |
| 给水温度 | tg | ℃ | 温度计 | 算术平均 |  |
| 给水压力 | Pg | MPa | 压力表 |  |
| 2.蒸汽 | | | | | | | |
| 质量 | mg1′ | kg/炉 | 蒸汽管 | 流量计 | 连续测 | 累计 |  |
| 温度 | tg1′ | ℃ | 温度计 | 算术平均 |  |
| 压力 | Pg1′ | MPa | 压力表 |  |
| 3.排污水 | | | | | | | |
| 质量 | mg2′ | kg/炉 | 排污水口 | 流量计 | 1次/炉 | 累计 |  |
| 温度 | tg2′ | ℃ | 温度计 | 3次/炉 | 算术平均 |  |
| 九、时间 | 总操作时间 | T | h |  | 计时器 | 连续 | 累计 |  |

1. 物料平衡
   1. 物料平衡计算
      1. 烟化炉物料平衡计算

按表4规定进行烟化炉物料平衡计算。

表4烟化炉物料平衡计算

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 符号 | 单位 | 依据或计算式 | 数值 |
| 一、收入项 | | | | | |
| 1 | 入炉物料质量 | mL | kg/炉 | mL =m1+ m2+ m3+ m4 |  |
|  | 火法冶炼含金属渣（冷态） | m1 | kg/炉 | 实测数据 |  |
|  | 火法冶炼含金属渣（热态） | m2 | kg/炉 | 实测数据 |  |
|  | 锌浸出渣 | m3 | kg/炉 | 实测数据 |  |
|  | 其他物料 | m4 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 2 | 入炉燃料质量 | m5 | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 3 | 入炉气体质量 | mq | kg/炉 | mq = mK +mO+ mF |  |
|  | 一、二次风质量 | mK | kg/炉 | mK = （V1K+ V2K）•ρK |  |
|  | 一次风体积 | V1K | Nm3/炉 | 实测数据 |  |
|  | 二次风体积 | V2K | Nm3/炉 | 实测数据 |  |
|  | 一、二次风密度 | ρK | kg/Nm3 | 按2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-1高压气体密度公式进行计算。 | 《有色金属炉窑设计手册》 |
|  | 氧气质量 | mO | kg/炉 | mO = VO•ρO |  |
|  | 氧气体积 | VO | Nm3/炉 | 实测数据 |  |
|  | 氧气密度 | ρO | kg/Nm3 | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-5，按to取值。 |  |
|  | 漏入风质量 | mF | kg/炉 | mF= VF•ρF |  |
|  | 漏入风体积 | VF | Nm3/炉 | VF = u •A3 •T•3600 |  |
|  | 风速 | u | m/s | 实测数据 |  |
|  | 漏风口截面积 | A3 | m2 | 实测数据或查图纸 |  |
|  | 漏风时间 | T | h | 实测数据 |  |
|  | 漏入风密度 | ρF | kg/Nm3 | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-5，按te取值。 |  |
| 4 | 收入项之和 | ∑m | kg/炉 | ∑m= mL+ m5+ mq |  |
| 二、支出项 | | | | | |
| 1 | 废渣质量 | mz′ | kg/炉 | mz′=m1′•（1- W6） |  |
|  | 水淬渣质量 | m1′ | kg/炉 | 实测数据 |  |
|  | 水淬渣含水量 | W6 | % | 实测数据 |  |
| 2 | 烟化炉出口烟气质量 | my | kg/炉 | my=∑mi |  |
|  | 烟气中ｉ成分重量 | mi | kg/炉 | mi =ρyi •VY•ayi |  |
|  | 烟气中ｉ成分含量 | ayi | % | 实测数据 |  |
|  | 烟气中ｉ成分密度 | ρyi | kg/Nm3 | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-5，按ty取值。 |  |
|  | 出口烟气体积 | VY | Nm3/炉 | VY = u1 •A4 •T•3600 |  |
|  | 出口烟气流速 | u1 | m/s | 实测数据 |  |
|  | 烟化炉出口截面积 | A4 | m2 | 实测数据或查图纸 |  |
|  | 时间 | T | h | 实测数据 |  |
| 3 | 烟尘质量 | myc | kg/炉 | myc= m2′+ m3′ |  |
|  | 沉降烟尘质量 | m2′ | kg/炉 | 实测数据 |  |
|  | 余热锅炉出口烟尘质量 | m3′ | kg/炉 | m3′= VY′ •du/1000 |  |
|  | 余热锅炉出口烟气体积 | VY′ | Nm3/炉 | 实测数据 |  |
|  | 余热锅炉出口烟尘浓度 | du | g/Nm3 | 实测数据 |  |
| 4 | 差值 | △m | kg/炉 | △m=∑m-mz′-my- myc |  |
| 5 | 支出项之和 | ∑m′ | kg/炉 | ∑m′= mz′+my+myc+△m |  |

* + 1. 余热锅炉物料平衡计算

按表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 | 依据或计算式 | 数值 |
| 一、收入项 | | | | | |
| 1 | 余热锅炉进口烟气质量 | my | kg/炉 | my=∑mi |  |
|  | 烟气中ｉ成分重量 | mi | kg/炉 | mi =ρyi •VY•ayi |  |
|  | 烟气中ｉ成分含量 | ayi | % | 实测数据 |  |
|  | 烟气中ｉ成分密度 | ρyi | kg/Nm3 | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-5，按ty取值。 |  |
|  | 余热锅炉进口烟气体积 | VY | Nm3/炉 | VY = u1 •A4 •T•3600 |  |
| 2 | 余热锅炉进口烟尘质量 | myc | kg/炉 | myc= m2′+ m3′ |  |
| 3 | 余热锅炉给水质量 | mg | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 4 | 漏入风质量 | m2F | kg/炉 | m2F= my′- my |  |
| 5 | 三次风质量 | m3K | kg/炉 | m3K = V3K•ρ3-K |  |
|  | 三次风体积 | V3k | Nm3/炉 | V3k = u2 •A5 •T•3600 |  |
|  | 三次风流速 | u2 | m/s | 实测数据 |  |
|  | 三次风口截面积 | A5 | m2 | 实测数据或查图纸 |  |
|  | 时间 | T | h | 实测数据 |  |
|  | 三次风密度 | ρ3-K | kg/Nm3 | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-5，按te取值。 |  |
| 6 | 收入项之和 | ∑m | kg/炉 | ∑m= my+ myc+ mg+ m2F+ m3K |  |
| 二、支出项 | | | | | |
| 1 | 余热锅炉出口烟气质量 | my′ | kg/炉 | my′=∑mi′ |  |
|  | 烟气中ｉ成分重量 | mi′ | kg/炉 | mi′=ρyi ′•VY′•ayi′ |  |
|  | 烟气中ｉ成分含量 | ayi′ | % | 实测数据 |  |
|  | 烟气中ｉ成分密度 | ρyi ′ | kg/Nm3 | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-5，按ty′取值。 |  |
|  | 余热锅炉出口烟气体积 | VY′ | Nm3/炉 | 实测数据 |  |
| 2 | 沉降烟尘质量 | m2′ | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 3 | 余热锅炉出口烟尘质量 | m3′ | kg/炉 | m3′= VY′ •du/1000 |  |
| 4 | 蒸汽质量 | mg1′ | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 5 | 排污水质量 | mg2′ | kg/炉 | 实测数据 |  |
| 6 | 差值 | △m′ | kg/炉 | △m′=∑m-（my′+ m2′+ m3′+ mg1′+ mg2′） |  |
| 7 | 支出项之和 | ∑m′ | kg/炉 | ∑m′= my′+ m2′+ m3′+ mg1′+ mg2′+△m′ |  |

* 1. 物料平衡表
     1. 烟化炉物料平衡表

将烟化炉物料质量的测定和计算结果填入表6。

表6烟化炉物料平衡表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 物料收入 | | | | 物料支出 | | | |
| 符号 | 项目 | 数值 | | 符号 | 项目 | 数值 | |
| ×103kg/炉 | % | ×103kg/炉 | % |
| mL | 入炉物料质量 |  |  | mz′ | 废渣质量 |  |  |
| m5 | 入炉燃料质量 |  |  | my | 烟化炉出口烟气质量 |  |  |
| mq | 入炉气体质量 |  |  | myc | 烟尘质量 |  |  |
|  |  |  |  | △m | 差值 |  |  |
| ∑m | 合计 |  | 100 | ∑m′ | 合计 |  | 100 |

* + 1. 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**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 物料收入 | | | | 物料支出 | | | |
| 符号 | 项目 | 数值 | | 符号 | 项目 | 数值 | |
| ×103kg/炉 | % | ×103kg/炉 | % |
| my | 余热锅炉进口烟气质量 |  |  | my′ | 余热锅炉出口烟气质量 |  |  |
| myc | 余热锅炉进口烟尘质量 |  |  | m2′ | 沉降烟尘质量 |  |  |
| mg | 余热锅炉给水质量 |  |  | m3′ | 余热锅炉出口烟尘质量 |  |  |
| m2F | 漏入风质量 |  |  | mg1′ | 蒸汽质量 |  |  |
| m3k | 三次风质量 |  |  | mg2′ | 排污水质量 |  |  |
|  |  |  |  | △m′ | 差值 |  |  |
| ∑m | 合计 |  | 100 | ∑m′ | 合计 |  | 100 |

1. 热平衡计算
   1. 热平衡计算
      1. 烟化炉热平衡计算

按表8规定内容与方法进行烟化炉热平衡计算。

表8烟化炉热平衡计算表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 符号 | 单位 | 依据或计算式 | 数值 |
| 一、热收入项 | | | | | |
| 1 | 炉料带入物理热 | Q1 | kJ/炉 | Q1=m1•C1(t1-te)+ m2•C2(t2-te)+ m3•C3(t3-te)+ m4•C4(t4-te) |  |
|  | 火法冶炼含金属渣（冷态）质量 | m1 | kg/炉 | 实测值 |  |
|  | 火法冶炼含金属渣（冷态）温度 | t1 | ℃ | 实测值 |  |
|  | 火法冶炼含金属渣（冷态）比热 | C1 | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表6-10 ，按t1取值，以火法冶炼含金属渣中各组分含量计算加权平均比热。或测试。 |  |
|  | 火法冶炼含金属渣（热态）质量 | m2 | kg/炉 | 实测值 |  |
|  | 火法冶炼含金属渣（热态）温度 | t2 | ℃ | 实测值 |  |
|  | 火法冶炼含金属渣（热态）比热 | C2 | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表6-10 ，按t2取值，以火法冶炼含金属渣中各组分含量计算加权平均比热。或测试。 |  |
|  | 锌浸出渣质量 | m3 | kg/炉 | 实测值 |  |
|  | 锌浸出渣温度 | t3 | ℃ | 实测值 |  |
|  | 锌浸出渣比热 | C3 | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表6-10 ，按t3取值，以锌浸出渣中各组分含量计算加权平均比热。或测试。 |  |
|  | 其他物料质量 | m4 | kg/炉 | 实测值 |  |
|  | 其他物料温度 | t4 | ℃ | 实测值 |  |
|  | 其他物料比热 | C4 | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表6-10 ，按t4取值，以物料中各组分含量计算加权平均比热。或测试。 |  |
| 2 | 燃料带入物理热 | Q2 | kJ /炉 | Q2=m5•C5(t5-te) |  |
|  | 粉煤质量 | m5 | kg/炉 | 实测值 |  |
|  | 粉煤温度 | t5 | ℃ | 实测值 |  |
|  | 粉煤比热 | C5 | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》表4-4取值。 |  |
| 3 | 燃料燃烧热 | Q3 | kJ/炉 | Q3=m5·QyDW |  |
|  | 粉煤质量 | m5 | kg/炉 | 实测数据 |  |
|  | 粉煤低位发热量 | QyDW | kJ/kg | 实测数据 |  |
| 4 | 入炉气体带入物理热 | Q4 | kJ/炉 | Q4= mk•Ck(tk-te)+ mo•Co(to-te)+ mF•CF(tF-te) |  |
|  | 一、二次风质量 | mK | kg/炉 | 计算数据 |  |
|  | 一、二次风温度 | tk | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 一、二次风比热 | Ck | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-8，按tk取值。 |  |
|  | 氧气质量 | mo | kg/炉 | 计算数据 |  |
|  | 氧气温度 | to | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 氧气比热 | Co | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-8，按to取值。 |  |

**表8 烟化炉热平衡计算表（续1）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 符号 | | | 单位 | | 依据或计算式 | 数值 |
|  | 漏入风质量 | mF | | | kg/炉 | | 测算数据 |  |
|  | 漏入风温度 | tF | | | ℃ | | 实测数据 |  |
|  | 漏入风比热 | CF | | | kJ/（kg·℃） | | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-8，按te取值。 |  |
| 5 | 锌浸出渣中硫化锌氧化反应放热 | Q5 | | |  | | Q5= m3•as•△H3 |  |
|  | 锌浸出渣质量 | m3 | | | kg/炉 | | 实测值 |  |
|  | 硫化锌含量 | as | | | ％ | | 实测值 |  |
|  | 硫化锌单位反应热 | △H3 | | | kJ/kg | | 査附录表C.1取值“-4537”kJ/kg。 |  |
| 6 | 锌蒸气氧化放热 | Q6 | | | kJ/炉 | | Q6= mZn •△H4 |  |
|  | 锌蒸气质量 | mZn | | | kg/炉 | | mZn = myc•azn |  |
|  | 烟尘质量 | myc | | | kg/炉 | | myc= m2′+ m3′ |  |
|  | 烟尘中锌含量 | azn | | | % | | 实测值 |  |
|  | 锌蒸气单位反应热 | △H4 | | | kJ/kg | | 査附录表C.1取值。 |  |
| 7 | 铅蒸气氧化放热 | Q7 | | | kJ/炉 | | Q7= mPb •△H5 |  |
|  | 铅蒸气质量 | mPb | | | kg/炉 | | mPb= myc•aPbO•0.928 |  |
|  | 烟尘质量 | myc | | | kg/炉 | | myc= m2′+ m3′ |  |
|  | 烟尘中氧化铅含量 | aPbO | | | % | | 实测值 |  |
|  | 铅蒸气单位反应热 | △H5 | | | kJ/kg | | 査附录表C.1取值。 |  |
| 8 | 热收入合计 | ΣQ | | | kJ/炉 | | ΣQ=Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7 |  |
| 二、热支出项 | | | | | | | | |
| 1 | 废渣带走热 | | Q1′ | kJ/炉 | | Q1′= mz′·C1′(t1′-te) | |  |
|  | 废渣质量 | | mz′ | kg/炉 | | mz′=m1′•（1- W6） | |  |
|  | 废渣温度 | | t1′ | ℃ | | 实测数据 | |  |
|  | 废渣比热 | | C1′ | kJ/（kg·℃） | | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表6-10 ，按t1′取值，以废渣中各组分含量计算加权平均比热。或测试。 | |  |
| 2 | 出口烟气带走热 | | Q2′ | kJ/炉 | | Q2′= my•Cy·（ty—te） | |  |
|  | 烟气质量 | | my | kg/炉 | | my=∑mi | |  |
|  | 烟气温度 | | ty | ℃ | | 实测数据 | |  |
|  | 烟气比热 | | Cy | kJ/（kg·℃） | | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-8，按ty取值，以烟气中各组分含量计算加权平均比热。 | |  |
| 3 | 烟尘带走热 | | Q3′ | kJ/炉 | | Q3′= myc •Cyc′•（ty—te） | |  |
|  | 烟尘质量 | | myc | kg/炉 | | 实测数据 | |  |
|  | 烟尘温度 | | ty | ℃ | | 实测数据 | |  |
|  | 烟尘比热 | | Cyc′ | kJ/（kg·℃） | | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表6-10 ，按ty取值，以烟尘中各组分含量计算加权平均比热。或测试。 | |  |
| 4 | 水分蒸发吸热 | | Q4′ | kJ/炉 | | Q4′= ∑mi •（Hs—Hi） | |  |
|  | 炉料、燃料、一、二次风含水质量 | | mi | kg/炉 | | m3•W2； m5•W3；mk•W4 | |  |
|  | 入炉水的热焓 | | Hi | kJ/kg | | 査附录表B.1，炉料、燃料、一、二次风依次按t3、t5、tk取值。 | |  |
|  | 出口水蒸气的热焓 | | Hs | kJ/kg | | 査附录表B.1，按tg1′取值。 | |  |
| 5 | 炉壁散热损失 | | Q5′ | kJ/炉 | | Q5′=α总1·A1·T·（th1-te） | |  |
|  | 炉壁表面温度 | | th1 | ℃ | | 实测数据 | |  |
|  | 炉壁表面积 | | A1 | m2 | | 实测数据 | |  |
|  | 炉壁对空气的总给热系数 | | α总1 | kJ/（m2·h·℃） | | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》表3-31，按th1取值。 | |  |
|  | 散热时间 | | T | h | | 实测数据 | |  |
| 6 | 冷却水带走热 | | Q6′ | kJ/炉 | | Q6′ =mw·Cw·（tw2- tw1） | |  |
|  | 冷却水质量 | | mw | kg/炉 | | 实测数据 | |  |
|  | 进口温度 | | tw1 | ℃ | | 实测数据 | |  |
|  | 出口温度 | | tw2 | ℃ | | 实测数据 | |  |
|  | 冷却水比热 | | Cw | kJ/（kg·℃） | | 査附录表B.1按tw1、tw2取值。 | |  |
| 7 | 出口烟气中化学不完全燃烧热 | | Q7′ | kJ/炉 | | Q7′=∑△Hki•mki | |  |
|  | 烟气中可燃气体kｉ成分重量 | | mki | kg/炉 | | mki=ρyi •VY•ayi | |  |
|  | 烟气中可燃气体kｉ成分含量 | | aki | % | | 实测数据 | |  |
|  | 烟气中可燃气体kｉ成分密度 | | ρki | kg/Nm3 | | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-5，按ty取值。 | |  |
|  | 出口烟气体积 | | VY | Nm3/炉 | | 测算 | |  |
|  | 烟气中可燃气体ki成分单位反应热 | | △Hki | kJ/kg | | 査附录表C.1取值。 | |  |
| 8 | 机械不完全燃烧热 | | Q8′ | kJ/炉 | | Q8′=（m2′·a1+ m3′·a2+ mz′·a3）·QyDW | |  |
|  | 沉降烟尘质量 | | m2′ | kg/炉 | | 实测数据 | |  |
|  | 沉降烟尘含碳量 | | a1 | % | | 实测值 | |  |
|  | 余热锅炉出口烟尘质量 | | m3′ | kg/炉 | | m3′= VY′ •du/1000 | |  |
|  | 余热锅炉出口烟尘含碳量 | | a2 | % | | 实测值 | |  |
|  | 废渣质量 | | mz′ | kg/炉 | | mz′=m1′•（1- W6） | |  |
|  | 废渣含碳量 | | a3 | % | | 实测值 | |  |
| 9 | 锌浸出渣中硫酸锌分解吸热 | | Q9′ | kJ/炉 | | Q9′= m3•a4•△H6 | |  |
|  | 锌浸出渣质量 | | m3 | kg/炉 | | 实测值 | |  |
|  | 硫酸锌含量 | | a4 | % | | 实测值 | |  |
|  | 硫酸锌单位反应热 | | △H6 | kJ/kg | | 査附录表C.1取值。 | |  |
| 10 | 锌浸出渣中铁酸锌与一氧化碳还原分解反应吸热 | | Q10′ | kJ/炉 | | Q10′= m3•a5•△H7 | |  |
|  | 锌浸出渣质量 | | m3 | kg/炉 | | 实测值 | |  |
|  | 铁酸锌含量 | | a5 | % | | 实测值 | |  |
|  | 铁酸锌与一氧化碳单位反应热 | | △H7 | kJ/kg | | 查表 | |  |
| 11 | 氧化锌还原反应吸热 | | Q11′ | kJ/炉 | | Q11′= ［（m1+m2）•a6+ mF1+ mF2+ mF3］•(0.5•△H8+0.3•△H9+0.2•△H10) | |  |
|  | 火法冶炼含金属渣质量 | | m1+m2 | kg/炉 | | 实测值 | |  |
|  | 火法冶炼含金属渣中氧化锌含量 | | a6 | % | | 实测值 | |  |
|  | 铁酸锌分解所得氧化锌质量 | | mF1 | kg/炉 | | mF1=0.338•m3•a5 | |  |
|  | 硫酸锌分解所得氧化锌质量 | | mF2 | kg/炉 | | mF2=0.504•m3•a4 | |  |
|  | 硫化锌氧化所得氧化锌质量 | | mF3 | kg/炉 | | mF3=0.836•m3•as | |  |
|  | 氧化锌与碳单位反应吸热 | | △H8 | kJ/kg | | 查附表C.1取值。 | |  |
|  | 氧化锌与一氧化碳单位反应热 | | △H9 | kJ/kg | | 查附表C.1取值。 | |  |
|  | 氧化锌与氢气单位反应热 | | △H10 | kJ/kg | | 查附表C.1取值。 | |  |
| 12 | 火法冶炼含金属渣中氧化铅还原反应吸热 | | Q12′ | kJ/炉 | | Q12′=（m1+m2）•a7•（0.5•△H11+0.3•△H12+0.2•△H13） | |  |
|  | 火法冶炼含金属渣质量 | | m1+m2 | kg/炉 | | 实测值 | |  |
|  | 火法冶炼含金属渣氧化铅含量 | | a7 | ％ | | 实测值 | |  |
|  | 氧化铅与碳单位反应吸热 | | △H11 | kJ/kg | | 查附表C.1取值。 | |  |
|  | 氧化铅与一氧化碳单位反应热 | | △H12 | kJ/kg | | 查附表C.1取值。 | |  |
|  | 氧化铅与氢气单位反应热 | | △H13 | kJ/kg | | 查附表C.1取值。 | |  |
| 13 | 还原氧化锌、氧化铅消耗的碳、一氧化碳及氢气的化学热 | | Q13′ | kJ/炉 | | Q13′=（mc+ m2-c）•△Hc + （mCO + m2-CO）•△Hco +（mH+ m2-H）•△HH2 | |  |
|  | 还原氧化锌消耗的碳量 | | mc | kg | | 0.0737•［（m1+m2）•a6+ mF1+ mF2+ mF3］ | |  |
|  | 还原氧化锌消耗的一氧化碳量 | | mCO | kg | | 0.1032•［（m1+m2）•a6+ mF1+ mF2+ mF3］ | |  |
|  | 还原氧化锌消耗的氢气量 | | mH | kg | | 0.0049•［（m1+m2）•a6+ mF1+ mF2+ mF3］ | |  |
|  | 还原氧化铅消耗的碳量 | | m2-c | kg | | 0.0269•（m1+m2）•a7 | |  |
|  | 还原氧化铅消耗的一氧化碳量 | | m2-CO | kg | | 0.0376•（m1+m2）•a7 | |  |
|  | 还原氧化铅消耗的氢气量 | | m2-H | kg | | 0.0018•（m1+m2）•a7 | |  |
|  | 碳发热值 | | △Hc | kJ/kg | | 查附表C.1取值。 | |  |
|  | 一氧化碳发热值 | | △Hco | kJ/kg | | 查附表C.1取值。 | |  |
|  | 氢气发热值 | | △HH2 | kJ/kg | | 查附表C.1取值。 | |  |
| 14 | 其他热损失 | | Q14′ | kJ/炉 | |  | |  |
| 15 | 差值 | | △Q′ | kJ/炉 | | △Q′=ΣQ-( Q1′+ Q2′+ Q3′+ Q4′+ Q5′+ Q6′+ Q7′+ Q8′+ Q9′+ Q10′+ Q11′+ Q12′+ Q13′+ Q14′) | |  |
| 16 | 热支出合计 | | ΣQ′ | kJ/炉 | | ΣQ′= Q1′+ Q2′+ Q3′+ Q4′+ Q5′+ Q6′+ Q7′+ Q8′+ Q9′+ Q10′+ Q11′+ Q12′+ Q13′+ Q14′+△Q′ | |  |

* + 1. 余热锅炉热平衡计算

按表9规定内容与方法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 | 依据或计算式 | 数值 |
| 一 、热收入项 | | | | | |
| 1 | 进口烟气带入热 | Q2′ | kJ/炉 | Q2′= my•Cy•（ty—te） |  |
|  | 烟气质量 | my | kg/炉 | my=∑mi |  |
|  | 烟气温度 | ty | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 烟气比热 | Cy | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-8 ，按ty取值，以烟气中各组分含量计算加权平均比热。 |  |
| 2 | 进口烟尘带入热 | Q3′ | kJ/炉 | Q3′= myc •Cyc′•（ty—te） |  |
|  | 烟尘质量 | myc | kg/炉 | 实测数据 |  |
|  | 烟尘温度 | ty | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 烟尘比热 | Cyc′ | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表6-10 ，按ty取值，以烟尘各组分含量计算加权平均比热。或测试。 |  |
| 3 | 给水带入热 | Qg | kJ/炉 | Qg= mg•Hg |  |
|  | 给水质量 | mg | kg/炉 | 实测数据 |  |
|  | 给水温度 | tg | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 给水热焓 | Hg | kJ/kg | 査附录表B.1按tg取值。 |  |
| 4 | 漏入风带入热 | Q2F | kJ/炉 | Q2F= m2F•C2F(t2F-te) |  |
|  | 漏入风质量 | m2F | kg/炉 | 测算数据 |  |
|  | 漏入风温度 | t2F | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 漏入风比热 | C2F | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-8，按t2F取值。 |  |
| 5 | 进口烟气中可燃气体kｉ燃烧带入热 | Q7′ | kJ/炉 | Q7′=∑△Hki•mki |  |
| 6 | 三次风带入热 | Q3k | kJ/炉 | Q3k= m3k •C3k (t3k -te) |  |
|  | 三次风质量 | m3k | kg/炉 | 测算数据 |  |
|  | 三次风温度 | t3k | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 三次风比热 | C3k | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-8，按t3k取值。 |  |
| 7 | 热收入总计 | ΣQ | kJ/炉 | ΣQ= Q2′+ Q3′+Qg+Q2F+ Q7′+ Q3k |  |
| 二、热支出项 | | | | | |
| 1 | 出口烟气带走热 | Qy′ | kJ/炉 | Qy′= my′•Cy′•（ty′—te） |  |
|  | 烟气质量 | my′ | kg/炉 | my′=∑mi′ |  |
|  | 烟气温度 | ty′ | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 烟气比热 | Cy′ | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表3-8 ，按ty′取值，以烟气中各组分含量计算加权平均比热。 |  |
| 2 | 沉降烟尘带走热 | QC2′ | kJ/炉 | QC2′= m2′• Cc2′（t2′—te） |  |
|  | 沉降烟尘质量 | m2′ | kg/炉 | 实测数据 |  |
|  | 烟尘温度 | t2′ | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 烟尘比热 | Cc2′ | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表6-10 ，按t2′取值，以烟尘各组分含量计算加权平均比热。或测试。 |  |
| 3 | 出口烟尘带走热 | QC3′ | kJ/炉 | QC3′= m3′• Cc3′（t3′—te） |  |
|  | 余热锅炉出口烟尘质量 | m3′ | kg/炉 | m3′= VY′ •du/1000 |  |
|  | 烟尘温度 | t3′ | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 烟尘比热 | Cc3′ | kJ/（kg·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表6-10 ，按t3′取值，以烟尘各组分含量计算加权平均比热。或测试。 |  |
| 4 | 蒸汽带走热 | Qg1′ | kJ/炉 | Qg1′= mg1′ •Hg1′ |  |
|  | 蒸汽质量 | mg1′ | kg/炉 | 实测数据 |  |
|  | 蒸汽温度 | tg1′ | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 蒸汽压力 | Pg1′ | MPa | 实测数据 |  |
|  | 蒸汽热焓 | Hg1′ | kJ/kg | 査附录表B.1按tg1′取值。 |  |
| 5 | 排污水带走热 | Qg2′ | kJ/炉 | Qg2′= mg2′ •Hg2′ |  |
|  | 排污水质量 | mg2′ | kg/炉 | 实测数据 |  |
|  | 排污水温度 | tg2′ | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 排污水热焓 | Hg2′ | kJ/kg | 査附录表B.1按tg2′取值。 |  |
| 6 | 表面散热损失 | Qb′ | kJ/炉 | Qb′= K2·A2·T·（th2-te） |  |
|  | 炉体表面温度 | th2 | ℃ | 实测数据 |  |
|  | 炉体表面积 | A2 | m2 | 查图纸或实测 |  |
|  | 炉体表面积综合传热系数 α总1 | K2 | kJ/（m2·h·℃） | K2= |  |
|  | 炉壁第i层厚度 | δi | m | 实测数据 |  |
|  | 炉壁第i层的导热系数 | λi | kJ/（m·h·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》附表6-15，进行取值。 |  |
|  | 炉壁对空气的总给热系数 | α总2 | kJ/（m2·h·℃） | 査2018版《有色金属炉窑设计手册》表3-31，按th2取值。 |  |
|  | 散热时间 | T | h | 实测数据 |  |
| 7 | 差值 | △Q′ | kJ/炉 | △Q′=ΣQ-( Qy′+ QC2′+ QC3′+ Qg1′+ Qg2′+ Qb′) |  |
| 8 | 热支出合计 | ΣQ′ | kJ/炉 | ΣQ′= Qy′+ QC2′+ QC3′+ Qg1′+ Qg2′+ Qb′+△Q′ |  |

* 1. 热平衡表
     1. 烟化炉热平衡表

将烟化炉比热平衡计算结果按表10要求填写。

表10烟化炉热平衡表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 收入 | | | | 支出 | | | |
| 符号 | 项目 | 数值 | | 符号 | 项目 | 数值 | |
| kJ/炉 | % | kJ/炉 | % |
| Q1 | 炉料带入物理热 |  |  | Q1′ | 废渣带走热 |  |  |
| Q2 | 燃料带入物理热 |  |  | Q2′ | 出口烟气带走热 |  |  |
| Q3 | 燃料燃烧热 |  |  | Q3′ | 烟尘带走热 |  |  |
| Q4 | 入炉气体带入物理热 |  |  | Q4′ | 水分蒸发吸热 |  |  |
| Q5 | 锌浸出渣中硫化锌氧化放热 |  |  | Q5′ | 炉壁散热损失 |  |  |
| Q6 | 锌蒸气氧化放热 |  |  | Q6′ | 冷却水带走热 |  |  |
| Q7 | 铅蒸气氧化放热 |  |  | Q7′ | 出口烟气中化学不完全燃烧热 |  |  |
|  |  |  |  | Q8′ | 机械不完全燃烧热 |  |  |
|  |  |  |  | Q9′ | 锌浸出渣中硫酸锌分解吸热 |  |  |
|  |  |  |  | Q10′ | 锌浸出渣中铁酸锌与一氧化碳还原分解反应吸热 |  |  |
|  |  |  |  | Q11′ | 氧化锌还原反应吸热 |  |  |
|  |  |  |  | Q12′ | 火法冶炼含金属渣中氧化铅还原反应吸热 |  |  |
|  |  |  |  | Q13′ | 还原氧化锌、氧化铅消耗的碳、一氧化碳及氢气的化学热 |  |  |
|  |  |  |  | Q14′ | 其他热损失 |  |  |
|  |  |  |  | △Q′ | 差值 |  |  |
| ΣQ | 合计 |  |  | ΣQ′ | 合计 |  |  |

* + 1. 余热锅炉热平衡表

**表11　余热锅炉热平衡表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 收入 | | | | 支出 | | | |
| 符号 | 项目 | 数值 | | 符号 | 项目 | 数值 | |
| kJ/炉 | % | kJ/炉 | % |
| Q2′ | 进口烟气带入热 |  |  | Qy′ | 出口烟气带走热 |  |  |
| Q3′ | 进口烟尘带入热 |  |  | QC2′ | 沉降烟尘带走热 |  |  |
| Qg | 给水带入热 |  |  | QC3′ | 出口烟尘带走热 |  |  |
| Q2F | 漏入风带入热 |  |  | Qg1′ | 蒸汽走带热 |  |  |
| Q7′ | 进口烟气中可燃气体ki燃烧带入热 |  |  | Qg2′ | 排污水带走热 |  |  |
| Q3k | 三次风带入热 |  |  | Qb′ | 表面散热损失 |  |  |
|  |  |  |  | △Q′ | 差值 |  |  |
| ΣQ | 合计 |  |  | ΣQ′ | 合计 |  |  |

* 1. 热效率计算
     1. 烟化炉热效率ηLX

烟化炉热效率按（1）计算：

式中：

Q1′—废渣带走热，单位为kJ/炉

Q9′—锌浸出渣中硫酸锌分解吸热，单位为kJ/炉

Q10′—锌浸出渣中铁酸锌与一氧化碳还原分解反应吸热，单位为kJ/炉

Q11′—氧化锌还原反应吸热，单位为kJ/炉

Q12′—火法冶炼含金属渣中氧化铅还原反应吸热，单位为kJ/炉

Q1—炉料带入物理热，单位为kJ/炉

Q2—燃料带入物理热，单位为kJ/炉

Q3—燃料燃烧热，单位为kJ/炉

Q4—入炉气体带入物理热，单位为kJ/炉

Q5—锌浸出渣中硫化锌氧化放热，单位为kJ/炉

Q6—锌蒸气氧化放热，单位为kJ/炉

Q7—铅蒸气氧化放热，单位为kJ/炉

* + 1. 余热回收率ηyr

余热回收率按（2）计算：

式中：

Qg1′—蒸汽带走热，单位为kJ/炉

Q2′—进口烟气带入热，单位为kJ/炉

Q3′—进口烟尘带入热，单位为kJ/炉

Qg —给水带入热，单位为kJ/炉

Q2F —漏入风带入热，单位为kJ/炉

Q7′—进口烟气中可燃气体ki燃烧带入热，单位为kJ/炉

Q3k —三次风带入热，单位为kJ/炉

* + 1. 烟化炉系统热效率ηxt

烟化炉系统热效率按（3）计算：

式中符号意义见式（1）和式（2）。

1. 主要能耗指标

表12烟化炉主要能耗指标

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 符号 | 计算公式 | 单位 | 数值 |
| 1 | 锌金属煤耗 | V | m5/（myc•Zn%） | t/t•Zn |  |

1. 热平衡测定结果分析与改进建议
   1. 评价热平衡及主要技术指标；
   2. 设备工艺状况、操作制度分析；
   3. 节能改造途径；
   4. 建议及研究课题。

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_



(规范性)

标准使用同一量的符号

* 1. 标准使用同一量的符号

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 量的名称 | 量的符号 | 单位 |  |
| 1 | 质量 | m | kg |  |
| 2 | 热量 | Q | kJ |  |
| 3 | 体积 | V | m3 |  |
| 4 | 速度 | u | m/s |  |
| 5 | 压力 | P | Pa |  |
| 6 | 密度（重度） | ρ | kg/m3 |  |
| 7 | 面积 | A | m2 |  |
| 8 | 焓值 | i | kJ/kg |  |
| 9 | 热焓 | ΔH | kJ/kg |  |
| 10 | 温度 | t | ℃ |  |
| 11 | 时间 | T | h(小时) |  |
| 12 | 潜热 | r | kJ/kg |  |
| 13 | 空气系数 | α |  |  |
| 14 | 热流 | φ | kJ/m2∙h |  |
| 15 | 辐射强度 | Ie | kJ/m2∙h |  |
| 16 | 百分含量 | a | % |  |
| 17 | 含水率 | ω | % |  |
| 18 | 电量 | W | kW∙h |  |
| 19 | 黑度 | ε |  |  |
| 20 | 炉窑热效率 | ηLX | % |  |
| 21 | 余热回收率 | ηyr | % |  |
| 22 | 系统热效率 | ηxt | % |  |



(规范性)

水和水蒸汽性质表

* 1. 水和水蒸汽性质表（饱和状态）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度 | | 压力 | 焓 | |
| t/℃ | T/K | P/MPa | h′(水)kJ/kg | h′′(蒸汽) kJ/kg |
| 0 | 273.15 | 0.00061 | -0.0416 | 2501 |
| 1 | 274.15 | 0.00065 | 4.17 | 2503.4 |
| 5 | 278.15 | 0.00087 | 21.01 | 2510.7 |
| 10 | 283.15 | 0.00122 | 41.99 | 2519.9 |
| 15 | 288.15 | 0.0017 | 62.94 | 2529.1 |
| 20 | 293.15 | 0.00233 | 83.86 | 2538.2 |
| 25 | 298.15 | 0.00316 | 104.77 | 2547.3 |
| 30 | 303.15 | 0.00424 | 125.66 | 2556.4 |
| 35 | 308.15 | 0.00562 | 146.56 | 2565.4 |
| 40 | 313.15 | 0.00737 | 167.45 | 2576.2 |
| 45 | 318.15 | 0.00998 | 188.35 | 2583.3 |
| 50 | 323.15 | 0.01233 | 209.26 | 2592.2 |
| 55 | 328.15 | 0.01574 | 230.17 | 2601.0 |
| 60 | 333.15 | 0.01992 | 251.09 | 2609.7 |
| 65 | 338.15 | 0.02501 | 272.02 | 2618.4 |
| 70 | 343.15 | 0.03116 | 292.97 | 2626.9 |
| 75 | 348.15 | 0.03835 | 313.94 | 2635.4 |
| 80 | 353.15 | 0.04736 | 334.92 | 2643.8 |
| 85 | 358.15 | 0.0578 | 355.92 | 2652.0 |
| 90 | 363.15 | 0.07011 | 376.94 | 2660.1 |
| 95 | 368.15 | 0.08453 | 397.99 | 2668.1 |
| 100 | 373.15 | 0.10133 | 419.06 | 2676.0 |
| 105 | 378.15 | 0.1208 | 440.17 | 2683.7 |
| 110 | 383.15 | 0.14327 | 461.32 | 2691.3 |
| 115 | 388.15 | 0.16906 | 482.50 | 2698.7 |
| 120 | 393.15 | 0.19854 | 503.72 | 2706.0 |

表B.1 水和水蒸气性质表（饱和状态）（续）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度 | | 压力 | 焓 | |
| t/℃ | T/K | P/MPa | h′(水)kJ/kg | h′′(蒸汽) kJ/kg |
| 125 | 398.15 | 0.2321 | 524.99 | 2713.0 |
| 130 | 403.15 | 0.27013 | 546.31 | 2719.9 |
| 135 | 408.15 | 0.3131 | 567.68 | 2726.6 |
| 140 | 413.15 | 0.3614 | 589.10 | 2733.1 |
| 145 | 418.15 | 0.4115 | 610.60 | 2739.3 |
| 150 | 423.15 | 0.476 | 632.15 | 2745.4 |
| 155 | 428.15 | 0.5433 | 653.78 | 2751.2 |
| 160 | 433.15 | 0.6181 | 675.47 | 2756.7 |
| 165 | 438.15 | 0.7008 | 697.25 | 2762.0 |
| 170 | 443.15 | 0.792 | 719.12 | 2767.1 |
| 175 | 448.15 | 0.8924 | 741.07 | 2771.8 |
| 180 | 453.15 | 1.0027 | 763.12 | 2776.3 |
| 185 | 458.15 | 1.1233 | 785.26 | 2780.4 |
| 190 | 463.15 | 1.2551 | 807.52 | 2784.3 |
| 195 | 468.15 | 1.3987 | 829.88 | 2787.8 |
| 200 | 473.15 | 1.5549 | 852.37 | 2790.9 |
| 210 | 483.15 | 1.9077 | 897.74 | 2796.2 |
| 220 | 493.15 | 2.3198 | 943.67 | 2799.9 |
| 230 | 503.15 | 2.7976 | 990.26 | 2802.0 |
| 240 | 513.15 | 3.3478 | 1037.6 | 2800.4 |
| 250 | 523.15 | 3.9776 | 1085.8 | 2800.4 |
| 260 | 533.15 | 4.6943 | 1134.9 | 2796.4 |
| 270 | 543.15 | 5.5058 | 1185.2 | 2789.9 |
| 280 | 553.15 | 6.4202 | 1236.8 | 2780.4 |
| 290 | 563.15 | 7.4461 | 1290.0 | 2667.6 |
| 300 | 573.15 | 8.5927 | 1345.0 | 2751.0 |
| 310 | 583.15 | 9.87 | 1402.4 | 2730.0 |
| 320 | 593.15 | 11.289 | 1462.6 | 2703.7 |
| 330 | 603.15 | 12.863 | 1526.5 | 2670.2 |
| 340 | 613.15 | 14.605 | 1595.5 | 2626.2 |
| 350 | 623.15 | 16.535 | 1671.9 | 2567.7 |
| 360 | 633.15 | 18.675 | 1764.2 | 2485.5 |

表B.1 水和水蒸气性质表（饱和状态）（续）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度 | | 压力 | 焓 | |
| t/℃ | T/K | P/MPa | h′(水)kJ/kg | h′′(蒸汽) kJ/kg |
| 370 | 643.15 | 21.054 | 1890.2 | 2342.8 |
| 374 | 647.15 | 22.08 | 2046.3 | 2155.0 |
| 374.15 | 647.30 | 22.12 | 2107.4 | 2107.4 |

注：临界常数：温度 374.15℃、焓2107.4kJ/kg、压力22.12 MPa、比熵 4.4429 kJ/kg、比容 0.00317m3/kg。



(规范性)

重有色冶金炉中常见物理化学反应表

* 1. 重有色冶金炉中常见物理化学反应表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 反应式 | ΔH298 | | 备注 |
| kcal/kg | kJ/kg |
| 2FeS+3O2=2FeO+2SO2 | -1275 | -5332 | 按FeS计 |
| 3FeS+5O2=Fe3O4+3SO2 | -1561 | -6527 | 按FeS计 |
| 4FeS+7O2=2Fe2O3+4SO2 | -1667 | -6971 | 按FeS计 |
| 4FeS2+11O2=2Fe2O3+8SO2 | -1645 | -6879 | 按FeS2计 |
| FeS+10Fe2O3=7Fe3O4+SO2 | 780 | 3262 | 按FeS计 |
| FeS+6CuO=3Cu2O+SO2+FeO | -106 | -443 | 按FeS2计 |
| FeS2=FeS+0.5S2 | -134 | -560 | 按FeS2计 |
| FeS=Fe+S | 259 | 1083 | 按FeS计 |
| FeO+C=Fe+CO | 520 | 2174 | 按FeO计 |
| 4Fe2O3+3C=8FeO+CO2+2CO | 203 | 849 | 按Fe2O3计 |
| 2Fe+O2+SiO2=2FeO·SiO2 | -2320 | -9701 | 按SiO2计 |
| 2FeS+3O2+SiO2=2 FeO·SiO2+2SO2 | -3940 | -16476 | 按SiO2计 |
| 2NiS+3O2=2NiO+2SO2 | -1235 | -5164 | 按NiS计 |
| NiO+C=Ni+CO | 429 | 1794 | 按NiO计 |
| 2PbS+3O2=2PbO+2SO2 | -421 | -1760 | 按PbS计 |
| PbS+2PbO=3Pb+SO2 | 230 | 962 | 按PbS计 |
| PbS+2O2=PbSO4 | -823 | -344 | 按PbS计 |
| Pb(OH)2= PbO+H2O | 53.3 | 223 | 按Pb(OH)2计 |
| PbO+C= Pb+CO | 115 | 481 | 按PbO计 |
| 2CuS+3O2=2CuO+2SO2 | -1010 | -4223 | 按CuS计 |
| 2Cu2S+3O2=2Cu2O+2SO2 | -578 | -2417 | 按Cu2S计 |
| Cu2S+2O2=2CuO+SO2 | -797 | -3333 | 按Cu2S计 |
| Cu2S+2Cu2O=6Cu+ SO2 | 220 | 920 | 按Cu2S计 |
| 2CuFeS2+6O2=Cu2O+Fe2O3+4SO2 | -1311 | -5482 | 按CuFeS2计 |

表C.1 重有色冶金炉中常见物理化学反应表（续）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 反应式 | ΔH298 | | | 备注 |
| kcal/kg | | kJ/kg |
| 2CuFeS2=3Cu2S+2FeS+S | -400 | | -1673 | 按S计 |
| 2Cu3FeS3=3Cu2S+2FeS+S | -400 | | -1673 | 按S计 |
| CuO+C=Cu+CO | 137 | | 573 | 按CuO计 |
| Cu2O+C=2Cu+CO | 94 | | 393 | 按Cu2O计 |
| 2ZnS+3O2=2ZnO+2SO2 | -1085 | -4537 | | 按ZnS计 |
| ZnS+2O2=ZnSO4 | -1910 | -7987 | | 按ZnS计 |
| Zn(OH)2=ZnO+H2O | 129.3 | 541 | | 按Zn(OH)2计 |
| ZnO+C=Zn+CO | 700 | 2927 | | 按ZnO计 |
| 2Sb2S3+9O2=2Sb2O3+6SO2 | -1010 | -4223 | | 按Sb2S3计 |
| Sb2S3+3Fe=2Sb+3FeS | -96 | -401 | | 按Sb2S3计 |
| 3Na2O+Sb2S3=3Na3S+Sb2O3 | -273 | -1142 | | 按Sb2S3计 |
| S+O2=SO2 | -2220 | -9283 | | 按S计 |
| 2S+3O2=2SO3 | -2950 | -12336 | | 按S计 |
| 2SO2+4C=S2+4CO | 284 | 1188 | | 按SO2计 |
| CaCO3=CaO+CO2 | 378 | 1581 | | 按石灰石中CaCO3计 |
| CaCO3=CaO+CO2 | 425 | 1777 | | 按结晶CaCO3计 |
| Ca(OH)2=CaO+H2O | 358 | 1497 | | 按Ca(OH)2计 |
| CaSO4·2H2O= CaSO4+2H2O | 147 | 615 | | 按CaSO4·2H2O计 |
| CaSO4·2H2O= CaSO4(H2O)0.5+1.5H2O | 98 | 410 | | 按CaSO4·2H2O计 |
| CaSO4=CaS+2O2 | 1670 | 6983 | | 按CaSO4计 |
| 2CaO+SiO2=2CaO·SiO2 | -364 | -1522 | | 按SiO2计 |
| CaO+SiO2=CaO·SiO2 | -343 | -1434 | | 按SiO2计 |
| CaO+Al2O3= CaO·Al2O3 | -370 | -1547 | | 按CaO计 |

表C.1 重有色冶金炉中常见物理化学反应表（续）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 反应式 | ΔH298 | | 备注 |
| kcal/kg | kJ/kg |
| CaMg(CO3)2= CaMgO2+2CO2 | 400 | 1673 | 按CaMg(CO3)2计 |
| MgCO3=MgO+CO2 | 314 | 1313 | 按MgCO3计 |
| Mg(OH)2=MgO+H2O | 344 | 1438 | 按Mg(OH)2计 |
| MgO+C=Mg+CO | 2930 | 12252 | 按MgO计 |
| 2CdS+3O2=2CdO+2SO2 | -684 | -2860 | 按CdS计 |
| CdS+2O2=CdSO4 | -1299 | -5432 | 按CdS计 |
| Na2CO3=NaO+CO2 | 725 | 3032 | 按Na2CO3计 |
| Na2O·Al2O3·3SiO2= Na2O+Al2O3+3SiO2 | 181 | 757 | 按反应物计 |
| Na2O+SiO2= Na2O·SiO2 | -1150 | -4621 | 按SiO2计 |
| Na2O+Al2O3=Na2O·Al2O3 | -887 | -3709 | 按Na2O计 |
| Na2O+Fe2O3=Na2O·Fe2O3 | -684 | -2860 | 按Na2O计 |
| 2Al(OH)3=Al2O3+3H2O | 276 | 1154 | 按Al(OH)3计 |
| 3Al2O3+2SiO2=3Al2O3·2SiO2 | -1545 | -6461 | 按SiO2计 |
| MnO+SiO2= MnO·SiO2 | -65 | -272 | 按SiO2计 |
| CO2+C=2CO | 955 | 3993 | 按CO2计 |
| SnO2+2C=Sn+2CO | 570 | 2384 | 按SnO2计 |
| 2SnO2+3C=2Sn+CO2+2CO | 434 | 1815 | 按SnO2计 |
| CuCO3·Cu(OH)2=Cu2O+CO2+0.5O2+H2O | 261 | 1092 | 按CuCO3·Cu(OH)2计 |
| 2CuS=Cu2S+S | 180 | 753 | 按CuS计 |
| 2FeO+SiO2=2FeO·SiO2 | -182 |  | 按SiO2计 |
| Pb(g)+1/2O2(g)=PbO | -476.5 | -1994.5 | 按Pb(g) 计 |
| Zn(g) +1/2O2(g)=ZnO | -1757.2 | -7355.5 | 按Zn(g) 计 |
| CO(g) +1/2O2(g)=CO2(g) | -2414.3 | -10105.8 | 按CO(g) 计 |
| H2(g) +1/2O2(g)=H2O(g) | -28885.9 | -120912.2 | 按H2(g) 计 |
| CH4(g) +2O2(g)=CO2(g)+2H2O(g) | -11951.4 | -50026.7 | 按CH4(g) 计 |
| ZnSO4=ZnO+SO2(g)+1/2O2(g) | 492.5 | 2061.4 | 按ZnSO4计 |
| ZnO(l)+CO(g)=Zn(g)+CO2(g) | 460.8 | 1928.9 | 按ZnO(l) 计 |
| ZnO(l)+C=Zn(g)+CO(g) | 967.0 | 4047.7 | 按ZnO(l) 计 |
| ZnO(l)+H2(g)=Zn(g)+H2O(g) | 581.6 | 2434.4 | 按ZnO(l) 计 |
| PbO(l)+CO(g)=Pb(g)+CO2(g) | 122.5 | 512.9 | 按PbO(l) 计 |
| PbO(l)+C=Pb(g)+CO(g) | 307.1 | 1285.4 | 按PbO(l) 计 |
| C+O2(g)=CO2(g) | -7834.0 | -32792.1 | 按C 计 |
| ZnO∙Fe2O3+CO(g)=ZnO+2FeO+CO2(g) | 10.9 | 45.8 | 按ZnO∙Fe2O3计 |
| PbO(l)+H2(g)=Pb(g)+H2O(g) | 166.6 | 697.2 | 按PbO(l) 计 |



(规范性)

气体燃料的平均比热

* 1. 气体燃料的平均比热（P=760mmHg）kJ/m3·℃

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| t/℃ | 发生炉煤气 | 炼焦煤气 | 水煤气 | 天然气 |
| 0 | 1.313 | 1.364 | 1.648 | 1.564 |
| 100 | 1.326 | 1.405 | 1.686 | 1.665 |
| 200 | 1.338 | 1.443 | 1.719 | 1.765 |
| 300 | 1.355 | 1.489 | 1.757 | 1.886 |
| 400 | 1.368 | 1.531 | 1.790 | 2.012 |
| 500 | 1.385 | 1.569 | 1.824 | 2.129 |
| 600 | 1.397 | 1.602 | 1.857 | 2.246 |
| 700 | 1.414 | 1.644 | 1.891 | 2.355 |
| 800 | 1.430 | 1.681 | 1.924 | 2.464 |
| 900 | 1.447 | 1.719 | 1.953 | 2.568 |
| 1000 | 1.460 | 1.753 | 1.983 | 2.669 |
| 1100 | 1.477 | 1.786 | 2.012 | 2.752 |
| 1200 | 1.489 | 1.815 | 2.037 | 2.828 |
| 1300 | 1.502 | 1.840 | 2.058 | 2.865 |
| 1400 | 1.514 | 1.861 | 2.079 | 2.886 |



(规范性)

煤的比热

* 1. 煤的比热

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 无烟煤 | 1.088～1.171 | kJ/kg·℃ |
| 烟煤 | 1.255～1.506 | kJ/kg·℃ |
| 褐煤 | 1.673～2.719 | kJ/kg·℃ |
| 炉渣 | 0.837 | kJ/kg·℃ |



(规范性)

固体燃料灰分的比热

* 1. 固体燃料灰分的比热kJ/kg·℃

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t/℃ | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 |
| 比热 | 0.795 | 0.837 | 0.866 | 0.891 | 0.920 | 0.941 | 0.949 |
| t/℃ | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1400 | 1800 |
| 比热 | 0.962 | 0.979 | 1.004 | 1.046 | 1.129 | 2.272 | 1.338 |



(规范性)

常见物质的定压比热

计算公式：Cp=a+bT+cT2或

* 1. 常见物质的定压比热

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 物质 | 温度范围/K | Cp298/(kJ/kg·℃) | 方程式Cp=的系数 | | | |
| a | b·103 | C′·10-3 | C·106 |
| 石墨C | 298～2300 | 0.721 | 1.430 | 0.365 | -0.733 |  |
| 铅Pb | 273～600.5 | 0.0309 | 0.0298 | 0.00772 |  |  |
| 铜Cu | 298～1357 | 0.385 | 0.356 | 0.0987 |  |  |
| 单斜晶S | 368.6～392 | 0.737 | 0.464 | 0.908 |  |  |
| 斜方晶S | 298～368.6 | 0.704 | 0.467 | 0.814 |  |  |
| 锌Zn | 298～692.7 | 0.394 | 0.352 | 0.158 |  |  |
| 氯化钡BaCl | 273～1198 | 0.0931 | 0.0880 | 0.0173 |  |  |
| 方解石CaCO3 | 298～1200 | 0.818 | 1.044 | 0.219 | -0.259 |  |
| 氯化钙CaCl2 | 298～1055 | 0.654 | 0.647 | 0.115 | -0.023 |  |
| 氧化钙CaO | 298～1800 | 0.763 | 0.870 | 0.081 | 0.116 |  |
| 氢氧化钙Ca(OH)2 | 276～373 | 1.140 | 1.208 |  |  |  |
| 硫酸钙CaSO4 | 273～1373 | 0.175 | 0.136 | 0.161 | -0.012 |  |
| 氯化铜CuCl2 | 273～773 | 0.591 | 0.522 | 0.264 |  |  |
| 氯化亚铜CuCl | 298～695 |  | 0.444 | 0.410 |  |  |
| 硫酸铜CuSO4 | 273～873 | 0.631 | 0.673 | 0.113 | -0.056 |  |
| 氧化铜CuO | 298～1250 | 0.531 | 0.487 | 0.252 |  |  |
| 氧化亚铜Cu2O | 298～1200 | 0.444 | 0.435 | 0.167 |  |  |
| 菱铁矿FeCO3 | 298～885 | 0.708 | 0.420 | 0.967 |  |  |
| 氧化亚铁FeO | 298～1200 | 0.669 | 0.690 | 0.094 | -0.043 |  |
| 黄铁矿FeS2 | 273～773 | 0.516 | 0.373 | 0.466 |  |  |
| 赤铁矿Fe2O3 | 298～1100 | 0.655 | 0.612 | 0.451 | -0.0807 |  |
| 磁铁矿Fe3O4 | 298～1100 | 0.619 | 0.721 | 0.341 | -0.181 |  |

表G.1 常见物质的定压比热（续）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 物质 | 温度范围/K | Cp298/(kJ/kg·℃) | 方程式Cp=的系数 | | | |
| a | b·103 | C′·10-3 | C·106 |
| 菱镁矿MgCO3 | 298～750 | 0.895 | 0.923 | 0.684 | -0.206 |  |
| 氯化钠NaCl | 298～1073 | 0.850 | 0.786 | 0.279 |  |  |
| 碳酸钠Na2CO3 |  | 1.037 | 0.666 | 1.279 |  |  |
| 硫酸钠Na2SO4 |  | 0.920 | 0.457 | 1.554 |  |  |
| 硅酸钠 | 298～1361 | 0.915 | 1.076 | 0.329 | -0.222 |  |
| 硫酸镍 |  | 0.893 | 0.813 | 0.268 |  |  |
| 氯酸铅 | 298～771 | 0.277 | 0.240 | 0.120 |  |  |
| 红的氧化铅 | 298～1000 | 0.221 | 0.199 | 0.075 |  |  |
| 卵黄的氧化铅 | 298～900 | 0.217 | 0.170 | 0.120 |  |  |
| 硫酸铅 | 298～1100 | 0.343 | 0.151 | 0.427 | 0.058 |  |
| α-石英 | 298～848 | 0.739 | 0.781 | 0.571 | -0.188 |  |
| -石英 | 298～2000 |  | 1.003 | 0.135 |  |  |
| 氧化锌 | 298～1600 | 0.494 | 0.602 | 0.063 |  | -0.112 |
| 硫化锌 | 298～1200 | 0.463 | 0.522 | 0.053 | -0.058 |  |
| 硫酸锌 | 298～1000 | 0.725 | 0.442 | 0.539 |  |  |



(规范性)

常见气体的平均定压容积比热

* 1. 常见气体的平均定压容积比热（单位：kJ/m3·℃）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t/℃ | 空气 | N2 | CO2 | H2O | O2 | CO | SO2 | H2 | H2S | CH4 |
| 0 | 1.254 | 1.301 | 1.606 | 1.497 | 1.305 | 1.301 | 1.732 | 1.275 | 1.505 | 1.547 |
| 100 | 1.300 | 1.301 | 1.715 | 1.506 | 1.318 | 1.301 | 1.811 | 1.295 | 1.530 | 1.639 |
| 200 | 1.309 | 1.305 | 1.799 | 1.523 | 1.334 | 1.305 | 1.886 | 1.296 | 1.560 | 1.756 |
| 300 | 1.322 | 1.313 | 1.870 | 1.539 | 1.355 | 1.318 | 1.953 | 1.300 | 1.593 | 1.886 |
| 400 | 1.334 | 1.322 | 1.937 | 1.564 | 1.380 | 1.330 | 2.016 | 1.300 | 1.631 | 2.011 |
| 500 | 1.347 | 1.334 | 1.995 | 1.589 | 1.397 | 1.343 | 2.066 | 2.305 | 1.668 | 2.141 |
| 600 | 1.364 | 1.347 | 2.050 | 1.615 | 1.418 | 1.359 | 2.112 | 1.309 | 1.706 | 2.258 |
| 700 | 1.376 | 1.359 | 2.096 | 1.640 | 1.435 | 1.372 | 2.150 | 1.313 | 1.744 | 2.375 |
| 800 | 1.389 | 1.372 | 2.142 | 1.665 | 1.451 | 1.389 | 2.179 | 1.317 | 1.781 | 2.492 |
| 900 | 1.401 | 1.385 | 2.179 | 1.694 | 1.464 | 1.401 | 2.212 | 1.321 | 1.815 | 2.597 |
| 1000 | 1.414 | 1.397 | 2.213 | 1.723 | 1.477 | 1.414 | 2.234 | 1.330 | 1.852 | 2.697 |
| 1100 | 1.426 | 1.410 | 2.246 | 1.748 | 1.489 | 1.426 | 2.259 | 1.334 | 1.882 | 2.785 |
| 1200 | 1.439 | 1.422 | 2.267 | 1.774 | 1.502 | 1.439 | 2.275 | 1.342 | 1.907 | 2.860 |



(规范性)

冰铜的热含量

* 1. 冰铜的热含量

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 含铜量 | 热焓量kJ/kg | | | |
| 400℃ | 600℃ | 800℃ | 1200℃ |
| 10 | 310.69 | 457.89 | 609.26 | 1108.12 |
| 20 | 310.49 | 445.34 | 588.35 | 1066.31 |
| 30 | 291.04 | 431.54 | 567.44 | 1024.49 |
| 40 | 286.02 | 417.32 | 546.95 | 991.04 |
| 50 | 278.08 | 403.94 | 525.63 | 961.04 |
| 60 | 270.97 | 390.56 | 504.72 | 940.86 |
| 80 | 255.08 | 367.98 | 472.52 | 899.04 |



(规范性)

炉渣平均比热

炉渣比热可近似地根据组成炉渣的各氧化物的比热用加和法计算。即：

n1、n2、ni为炉渣中各氧化物的重量百分数

C1、C2、Ci为各氧化物的比热

* 1. 炉渣平均比热

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度/℃ | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 |
| 比热（kJ/kg·℃） | 1.0487 | 1.0608 | 1.3632 | 1.3506 | 1.3406 | 1.3318 |

* 1. 组成炉渣的各种氧化物的比热平均值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | Al2O3 | Bi2O3 | FeO | Fe2O3 | Fe3O4 | K2O | CaO | SiO2 | MgO | Cu2O |
| 比热 | 0.870 | 0.230 | 0.556 | 0.611 | 0.606 | 0.753 | 0.719 | 0.765 | 1.012 | 0.460 |

表J.2 组成炉渣的各种氧化物的比热平均值（续）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | CuO | As2O3 | Na2O | NiO | SnO2 | PbO | Sb2O3 | TiO2 | ZnO | Cr2O3 |
| 比热 | 0.523 | 0.489 | 1.018 | 0.631 | 0.439 | 0.201 | 0.489 | 0.703 | 0.506 | 0.585 |



(规范性)

某些硫化物及氧化物在高温下的平均比热

* 1. 某些硫化物及氧化物在高温下的平均比热

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 在下列温度下的平均比热kJ/kg·℃ | | | | | |
| 0～300 | 0～400 | 0～600 | 0～800 | 0～1000 | 0～1200 |
| Cu2O | 0.707 | 0.699 | 0.619 | 0.581 | 0.573 |  |
| NiS | 1.087 |  |  |  |  |  |
| ZnS | 0.514 | 0.523 | 0.531 | 0.535 |  |  |
| PbS | 0.213 | 0.217 | 0.226 |  |  |  |
| FeS | 0.845 | 0.790 | 0.761 | 0.736 | 0.736 |  |
| NiO | 0.648 |  | 0.669 |  | 0.686 |  |
| FeO | 0.723 |  | 0.753 |  | 0.769 |  |
| Fe2O3 | 0.786 |  | 0.857 | 0.903 |  |  |
| SiO2 | 0.907 | 0.947 | 1.012 | 1.054 | 1.075 | 1.087 |
| Al2O3 | 0.891 |  | 0.786 |  | 0.974 |  |
| ZnO | 0.544 |  | 0.566 |  | 0.581 |  |
| CaO | 0.811 |  | 0.832 |  | 0.849 |  |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_