中华人民共和国有色金属行业标准

中华人民共和国工业和信息化部　发布

YS

2024-××-××实施

2024-××-××发布

重有色冶金炉窑热平衡测定与计算方法

(铅锌密闭鼓风炉)

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

(Imperial smelting furnace)

（送审稿）

YS/T118.13—2024

代替YS∕T 118.13-1992

ICS 77.120

CCS H 01

**目次**

[目 次 I](#_Toc15157)

[前 言 II](#_Toc5174)

[1 范围 1](#_Toc13110)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc16243)

[3 术语和定义 1](#_Toc19535)

[4 热平衡测定与计算基准 1](#_Toc8113)

[5 设备概况与生产工艺流程 1](#_Toc19356)

[6 热平衡测定条件 2](#_Toc22995)

[7 热平衡测定项目与方法 3](#_Toc11452)

[8 物料平衡 6](#_Toc24839)

[9 热平衡计算 7](#_Toc3072)

[10 主要能耗指标 1](#_Toc1716)3

11 [热平衡测定结果分析与改进建议 1](#_Toc15157)4

# 前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《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/T118.13-1992《重有色冶金炉窑热平衡测定与计算方案（铅锌密闭鼓风炉）》，与YS/T118.13-1992相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下:

a)更改了规范性引用文件的编号和名称（见第2章，1992年版的第2章）；

b)增加了GB/T13338，删除了已废止标准GB 2588（见2规范性引用文件，1992年版的2引用标准）；

c)增加了与粉煤和氧气的使用有关的计算（见第7章、8.1、8.2、9.1和9.2）；

d)更改了“炉气质量”算法，将其分解为“烟气质量”和“烟尘质量”分别测算；更改了“烟气质量”和“烟尘质量”相关热量计算（见第8章和第9章，1992年版的第7章和第8章）；

e)删除了“造渣反应热”、“挥发铅带走热”；增加了“炉顶部分锌蒸气氧化放热”、“炉顶散热总量”、“碳逃逸损失热总量”、“热风管道散热”（见第9章，1992年版的第8章）；

f)更改了“锌蒸气带出热”、“液态铅带出热”和“鼓风炉上部炉体散热总量”的计算依据或算式（见9.1，1992年版的8.1）。

g)更改了热效率计算中有效热“”的计算，将“炉气化学热”纳入其中（见9.3.1 ，1992年版的8.1和8.4.1）。

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/TC243）归口。

本文件起草单位：深圳市中金岭南有色金属股份有限公司韶关冶炼厂、深圳市中金岭南有色金属股份有限公司、中南大学、韶关市节能技术中心、矿冶科技集团有限公司、葫芦岛锌业股份有限公司、株洲火炬工业炉有限责任公司、云南驰宏锌锗股份有限公司、铜陵有色金属集团控股有限公司。

本文件主要起草人员：颜永胜、苏飞、盘樊航、林冬、罗铭、刘斌、刘紫薇、欧阳坤、江秋月、叶林锋、郭儒、李良东、解增光、熊家政、汪洋洋、黎学坤，李宗兴、徐国舵、姜林友

本文件所代替文件的历次版本发布情况为:

—1992年首次发布为YS/T118.13-1992；

—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(铅锌密闭鼓风炉)

# 1 范围

本文件规定了铅锌密闭鼓风炉的热平衡测定与计算基准、设备概况与生产流程、热平衡测定条件、热平衡测定项目与方法、物料平衡计算及平衡报表、热平衡计算及热平衡结果报表、主要能耗指标计算、热平衡测定结果分析与改进建议。

本文件适用于铅锌密闭鼓风炉的热平衡测定和计算。

# 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 2587 用能设备能量平衡通则

GB/T 17357 设备及管道绝热层表面热损失现场测定热流计法和表面温度法

GB/T 13338 工业燃料炉热平衡测定与计算基本规则

# 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

# 4 热平衡测定与计算基准

4.1基准温度和压力

以铅锌密闭鼓风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）。

4.2燃烧用空气

采用空气的体积百分数。即O2：21.0％、N2 79.0％。

4.3燃料发热量

采用实际测得的应用基低（位）发热量。

4.4热平衡测定范围

铅锌密闭鼓风炉（不含电热前床、铅雨冷凝器及分离系统）。

4.5计算单位

铅锌密闭鼓风炉为连续作业炉，物料平衡和热平衡计算单位以kg/h和kJ/h为基准。

# 5 设备概况与生产工艺流程

5.1设备概况

铅锌密闭鼓风炉的设备概况按表1填写。

表1 铅锌密闭鼓风炉设备概况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 单位 | 数值 |
| 1 | 鼓风炉炉身面积 | m2 |  |
| 2 | 鼓风炉炉身高度 | m |  |
| 3 | 鼓风炉风口区面积 | m2 |  |
| 4 | 鼓风炉喷淋炉壳高度 | m |  |
| 5 | 鼓风炉炉腹角度 | 度 |  |
| 6 | 鼓风炉风口个数 | 个 |  |
| 7 | 鼓风炉风口内径 | mm |  |
| 8 | 鼓风炉风口间距 | m |  |
| 9 | 鼓风炉炉缸面积 | m2 |  |
| 10 | 鼓风炉炉缸深度 | mm |  |

5.2生产工艺流程示意图

铅锌密闭鼓风炉的生产工艺流程图如图1所示。

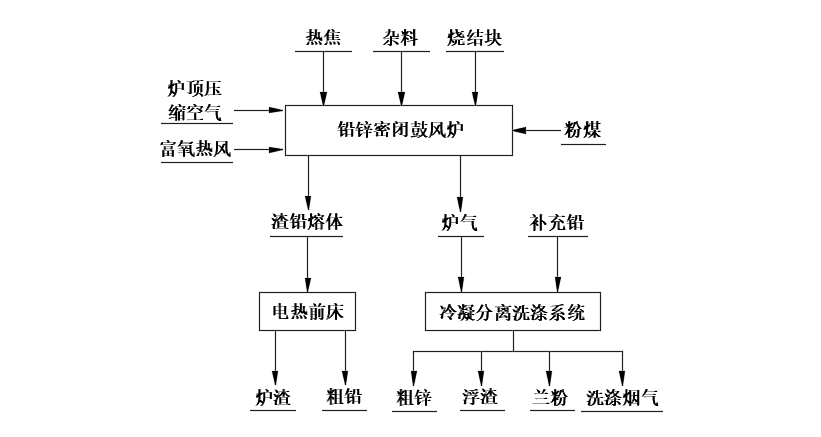


图1铅锌密闭鼓风炉生产工艺流程示意图

# 6 热平衡测定条件

6.1测定期间生产条件

测定时加料量与鼓风量应达到工艺规定值，入炉炉料成分、品种、规格不变，鼓风炉炉气成分、炉渣成分的波动应在工艺规定的指标范围内，产量达到正常水平，中途不应休风，炉子应处于热稳定态。

6.2测定时间

满足测定条件的正常生产阶段应连续测定2次以上，每次不应少于8h。

6.3测定前炉子运行技术参数

应按表2规定填写测定前一个月铅锌密闭鼓风炉运行技术参数。

表2 测定前一个月炉子运行技术参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 技术指标 | 单位 | 数值 | 备注 |
| 1 | 粗锌产量 | t/d |  |  |
| 2 | 粗铅产量 | t/d |  |  |
| 3 | 热焦量 | t/d |  |  |
| 4 | 粉煤量 | t/d |  |  |
| 5 | 烧结块处理量 | t/d |  |  |
| 6 | 炉渣含锌 | % |  |  |
| 7 | 鼓风量 | Nm3/h |  |  |
| 8 | 氧气浓度 | % |  |  |
| 9 | 氧气流量 | Nm3/h |  |  |
| 10 | 热风温度 | ℃ |  |  |
| 11 | 炉顶温度 | ℃ |  |  |
| 12 | 铅直收率 | % |  |  |
| 13 | 锌直收率 | % |  |  |
| 14 | 作业率 | % |  |  |
| 15 | 送风率 | % |  |  |

# 7 热平衡测定项目与方法

热平衡测定项目与方法按表3执行。

表3 热平衡测定项目与方法

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **测定项目** | | **符号（变量符号应该为斜体？请修改每个表格的）** | **单位** | **测点位置** | **测定仪器** | **测定频率** | **取值原则** | **测定数据** |
| 气象条件 | 1、大气干球温度 | te | ℃ | 主鼓风机房附近 | 干湿球温度计 | 4小时一次 | 算术平均值 |  |
| 温度测定 | 1、烧结块温度 | t1 | ℃ | 烧结块仓下料口 | 半导体点温计 | 每两小时一次 | 算术平均值 |  |
| 2、热焦温度 | t2 | ℃ | 焦炭预热炉下料口 | 热电偶 | 每两小时一次 | 算术平均值 |  |
| 3、热风温度 | t3 | ℃ | 炉底风口 | 热电偶 | 每两小时一次 | 算术平均值 |  |
| 4、喷淋水进水温度 | t4 | ℃ | 进水口 | 水银温度计 | 每两小时一次 | 算术平均值 |  |
| 5、喷淋水出水温度 | t5 | ℃ | 集水槽 | 水银温度计 | 每两小时一次 | 算术平均值 |  |
| 6、炉气温度 | t6 | ℃ | 炉喉处 | 热电偶 | 每两小时一次 | 算术平均值 |  |
| 7、渣、铅温度 | t7 | ℃ | 鼓风炉放渣口 | 双铂铑热电偶 | 每两小时一次 | 算术平均值 |  |
| 8、鼓风炉上部炉壳表面温度 | tb | ℃ | 鼓风炉上部炉壳表面 | 半导体点温计 | 测试中期一次 | 区域平均值 |  |
| 9、上部炉体散热表面环境空气温度 | teb | ℃ | 距散热表面1m处 | 半导体点温计 | 测试中期一次 | 区域平均值 |  |
| 10、冷风温度 | t8 | ℃ | 主鼓风机出口 | 半导体点温计 | 每两小时一次 | 算术平均值 |  |
| 11、炉顶表面温度 | td | ℃ | 炉顶外部钢板 | 半导体点温计 | 测试中期一次 | 区域平均值 |  |
| 12、炉顶表面环境空气温度 | ted | ℃ | 距炉顶表面1m处 | 半导体点温计 | 测试中期一次 | 区域平均值 |  |
| 13、热风管道表面温度 |  | ℃ | 管道外部钢材 | 半导体点温计 | 测试中期一次 | 区域平均值 | 热风温度测点之后的管道 |
| 14、热风管道周边环境温度 |  | ℃ | 距管道表面1m处 | 半导体点温计 | 测试中期一次 | 区域平均值 | 热风温度测点之后的管道 |
| 15、洗涤烟气温度 | tx | ℃ | 低热值煤气输送管末端 | 半导体点温计 | 测试中期一次 | 算术平均值 |  |
| 固体物料 | 1、烧结块质量 | m1 | kg/h | 烧结块秤量漏斗 | 电子漏斗秤 | 每次加料 | 累计小时平均值 |  |
| 2、热焦质量 | m2 | kg/h | 烧结块秤量漏斗 | 电子漏斗秤 | 每次加料 | 累计小时平均值 |  |
| 3、杂料质量 | m3 | kg/h | 排入汽车 | 电子漏斗秤 | 测试期内全部重量 | 累计小时平均值 |  |
| 4、粗锌质量 | m4 | kg/h | 粗锌检斤点 | 磅秤 | 测试期内全部重量 | 累计小时平均值 |  |
| 5、粗铅质量 | m5 | kg/h | 粗铅检斤点 | 地磅 | 测试期内全部重量 | 累计小时平均值 |  |
| 6、浮渣质量 | m6 | kg/h | 排入汽车 | 地磅 | 测试期内全部重量 | 累计小时平均值 |  |
| 7、炉渣质量 | m7 | kg/h | 排入渣包 | 地磅 | 测试期内全部重量 | 累计小时平均值 |  |
| 8、兰粉质量 | m8 | kg/h | 排入汽车 | 地磅 | 测试期内全部重量 | 累计小时平均值 | 若含兰粉的泥浆不压滤直接回流程，则取泥浆样，过滤后测其中兰粉含量，再结合泥浆流量，计算总兰粉量。 |
| 9、补充铅质量 | m9 | kg/h | 转运叉车 | 地磅 | 测试期内全部重量 | 累计小时平均值 |  |
| 10、粉煤质量 | m10 | kg/h | 喷吹罐 | 电子秤 | 测试期内全部重量 | 累计小时平均值 |  |
| 流体测定 | 1、热风流量 | V1K | m3/h | 鼓风炉热风管 | 高温气体流量计 | 每两小时一次 | 累计小时平均值 | 标况流量 |
| 2冷风流量 | V2K | m3/h | 鼓风炉冷风管 | 气体流量计 | 每两小时一次 | 累计小时平均值 | 标况流量 |
| 3、洗涤烟气流量 | V3K | m3/h | 升压机进口总管 | 气体流量计 | 每两小时一次 | 累计小时平均值 | 标况流量 |
| 4、氧气流量 | VO | m3/h | 氧气输送管 | 气体流量计 | 每两小时一次 | 累计小时平均值 | 标况流量 |
| 5、喷淋冷却水(包括风口、渣口冷却水)流量 | m11 | kg/h | 冷却水总管 | 水表 | 每四小时一次 | 累计小时平均值 |  |
| 6、炉顶压缩空气流量 | V4K | m3/h | 炉顶压缩空气管 | 气体流量计 | 每两小时一次 | 累计小时平均值 | 标况流量 |
| 物料成分  物料成分 | 1、烧结块成分 |  | 质量百分数 | 烧结块仓排料口 |  | 每两小时一次 | 日混合样平均值 | Pb、Zn、S、SiO2、Fe、CaO、Cu、Sb、Cd、As、Al2O3 |
| 2、焦炭成分 |  | 质量百分数 | 热焦排料口 |  | 每两小时一次 | 日混合样平均值 | 固定碳、S、挥发分、灰分 |
| 3、杂料成分 |  | 质量百分数 | 烧结块仓排料口 |  | 每两小时一次 | 日混合样平均值 | Pb、Zn、S、SiO2、Fe、CaO、Cu、Sb、Cd、As、Al2O3 |
| 4、粗锌成分 |  | 质量百分数 | 贮锌槽放锌口 |  | 每四小时一次 | 日混合样平均值 | Pb、Zn、Cd、Fe |
| 5、粗铅成分 |  | 质量百分数 | 前床放铅口 |  | 每四小时一次 | 日混合样平均值 | Pb、Zn、Cu、Sb、Bi |
| 6、浮渣成分 |  | 质量百分数 | 浮渣冷却器下料口 |  | 每四小时一次 | 日混合样平均值 | Pb、Zn、C |
| 7、兰粉成分 |  | 质量百分数 | 兰粉池 |  | 每四小时一次 | 算术平均值 | Zn、Pb、H2O、C |
| 8、洗涤烟气成分 |  | 体积百分数 | 升压机出口 |  | 每两小时一次 | 算术平均值 | CO2、CO、O2、H2、CH4、N2 |
| 9、炉渣成分 |  | 质量百分数 | 前床放渣口 |  | 按工艺控制频率 | 日混合样平均值 | Pb、Zn、S、As、SiO2、Fe、CaO、Al2O3、C |
| 10、焦炭发热值 |  | kJ/kg | 热焦排料口 | 氧弹分析器  (工业分析) | 每四小时一次 | 日混合样平均值 |  |
| 11、洗涤烟气发热值 |  | kJ/kg | 炉顶炉喉处 | 氧弹分析器  (工业分析) | 每两小时一次 | 日混合样平均值 |  |
| 12、粉煤发热值 |  | kJ/kg | 粉煤仓 | 氧弹分析器  (工业分析) | 每四小时一次 | 算术平均值 |  |
| 13、氧气浓度 | *Φo* | 体积百分数 | 制氧设备 | 气体在线分析仪 | 实时监测 | 算术平均值 | O2 |

# 8 物料平衡

8.1物料平衡计算

按表4规定进行物料平衡计算。

表4 物料平衡及与热平衡有关的数据计算表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 符号 | 单位 | 依据或计算式 | 数值 |
| 1 | 浮渣质量 | m6 | kg/h | 测量值 |  |
| 2 | 兰粉质量 | m8 | kg/h | 测量值 |  |
| 3 | 锌蒸发量 | m12 | kg/h |  |  |
| （1） | 烧结块含Zn | [Zn]1 | % | 分析值 |  |
| （2） | 杂料含Zn | [Zn]3 | % | 分析值 |  |
| （3） | 炉渣含Zn | [Zn]7 | % | 分析值 |  |
| （4） | 炉顶部分锌蒸气氧化后质量 | m18 | kg/h |  |  |
| 4 | 铅蒸发量 | m13 | kg/h |  |  |
| （1） | 烧结块含Pb | [Pb]1 | % | 分析值 |  |
| （2） | 杂料含Pb | [Pb]3 | % | 分析值 |  |
| （3） | 粗铅含Pb | [Pb]5 | % | 分析值 |  |
| （4） | 炉渣含Pb | [Pb]7 | % | 分析值 |  |
| 5 | 热风质量 | m14 | kg/h |  |  |
| 6 | 冷风质量 | m15 | kg/h |  |  |
| （1） | 冷风密度 |  | kg/m3 | 按t8查《有色金属炉窑设计手册（梅炽、周萍主编）》第1112页附3-5；  当时，取 |  |
| 7 | 烟气质量 | m16 | kg/h |  |  |
| （1） | 洗涤烟气温度 | tx | ℃ | 测量值 |  |
| （2） | 洗涤烟气密度 |  | kg/m3 | 根据按tx和炉气成分查《有色金属炉窑设计手册（梅炽、周萍主编）》第1112页附3-5，并根据烟气组分加权求得。  当，炉气成分：CO占比25%，CO2占比12.5%，N2占比61%，CH4占比1.5%，取 |  |
| 8 | 烟尘质量 | m17 | kg/h |  |  |
| （1） | 浮渣质量 | m6 | kg/h | 测量值 |  |
| （2） | 浮渣含Zn | [Zn]6 | % | 分析值 |  |
| （3） | 浮渣含Pb | [Pb]6 | % | 分析值 |  |
| （4） | 兰粉质量 | m8 | kg/h | 测量值 |  |
| （5） | 兰粉含Zn | [Zn]8 | % | 分析值 |  |
| （6） | 兰粉含Pb | [Pb]8 | % | 分析值 |  |
| （7） | 兰粉含H2O | [H2O]8 | % | 分析值 |  |
| （8） | 炉顶部分锌蒸气氧化后质量 | m18 | kg/h |  |  |
| 9 | 氧气质量 | m19 | kg/h | VO× |  |
| （1） | 氧气流量 | VO | m3/h | 测量值 |  |
| （2） | 氧气密度 |  | kg/m3 | 按te查《有色金属炉窑设计手册（梅炽、周萍主编）》第1112页附3-5；  当时，取 |  |
| 10 | 炉顶压缩空气质量 | m20 | kg/h | V4K× |  |
| （1） | 6、炉顶压缩空气流量 | V4K | m3/h | 测量值 |  |
| 11 | 物料平衡总收入 |  | % |  |  |
| 12 | 重量差值 |  | kg/h |  |  |
| 13 | 误差 |  |  |  |  |

8.2物料平衡表

物料平衡表如表5所示。

表5 物料平衡表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 收入 | | | | 支出 | | | |
| 符号 | 项目 | 数值 | | 符号 | 项目 | 数值 | |
| kg/h | % | kg/h | % |
| m1 | 烧结块质量 |  |  | m5 | 粗铅质量 |  |  |
| m2 | 热焦质量 |  |  | m7 | 炉渣质量 |  |  |
| m3 | 杂料质量 |  |  | m12 | 锌蒸发量 |  |  |
| m9 | 补充铅质量 |  |  | m13 | 铅蒸发量 |  |  |
| m10 | 粉煤质量 |  |  | m16 | 烟气质量 |  |  |
| m14 | 热风质量 |  |  | m17 | 烟尘质量 |  |  |
| m20 | 炉顶压缩空气质量 |  |  | Δm | 重量误差 |  |  |
|  | 合计 |  | 100 |  | 合计 |  | 100 |

# 9 热平衡计算

9.1热平衡计算

按表6的规定进行热平衡计算

表6 热平衡计算表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 符号 | 单位 | 依据或算式 | 数值 |
| **（一）** | **热收入项** |  |  |  |  |
| 1 | 热焦物理热 | Q1 | MJ/h |  |  |
| （1） | 热焦比热 | C2 | kJ/(kg·℃) | 按t2查《重有色冶金炉设计参考资料（王达成、梅炽等主编）》第3页表1-6；  当时， |  |
| （2） | 热焦质量 | m2 | kg/h | 测定值 |  |
| （3） | 热焦温度 | t2 | ℃ | 测定值 |  |
| 2 | 焦炭燃烧热 | Q2 | MJ/h |  |  |
| （1） | 焦炭的发热值 |  | kJ/kg | 分析值 |  |
| 3 | 烧结块物理热 | Q3 | MJ/h |  |  |
| （1） | 烧结块比热 | C1 | kJ/(kg·℃) | 查《有色金属炉窑设计手册（梅炽、周萍主编）》第1137页附6-10及第1139页附6-15；  按烧结块平均组分计算加权平均比热，计算得 |  |
| （2） | 烧结块质量 | m1 | kg/h | 测定值 |  |
| （3） | 烧结块温度 | t1 | ℃ | 测定值 |  |
| 4 | 热风物理热 | Q4 | MJ/h |  |  |
| （1） | 热风比热 | C4k | kJ/(kg·℃) | 按t3查《有色金属炉窑设计手册（梅炽、周萍主编）》第1112页附3-5，  当*，*计算得 |  |
| （2） | 热风温度 | t3 | ℃ | 测定值 |  |
| 5 | PbO被CO还原放热 | Q5 | MJ/h |  |  |
| （1） | 粗铅含铅 | [Pb]5 |  | 测定值 |  |
| （2） | 粗铅质量 | m5 | kg/h | 测定值 |  |
| （3） | PbO被CO还原反应放热 | ΔrHPb | kJ/kg·Pb | 查《无机物热力学数据手册（梁英教、车荫昌主编）》，计算得 |  |
| 6 | 粉煤燃烧热 | Q6 | MJ/h |  |  |
| （1） | 粉煤的发热值 |  | kJ/kg | 分析值 |  |
| 7 | 炉顶部分锌蒸气氧化放热 | Q7 | MJ/h |  |  |
| （1） | 反应放热 | ΔrHZnO |  | 查《无机物热力学数据手册（梁英教、车荫昌主编）》，计算得 |  |
| （2） | 炉顶部分锌蒸气氧化后质量 | m18 | kg/h |  |  |
| 8 | 总热收入 | ∑Q | MJ/h |  |  |
| **（二）** | **热支出项** |  |  |  |  |
| 1 | 炉气物理热 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | 洗涤烟气比热 |  | kJ/(kg·℃) | 按t6查《有色金属炉窑设计手册（梅炽、周萍主编）》第1112页附3-5；  计算加权平均比热 |  |
| （2） | 烟气质量 | m16 | kg/h | 测量或计算值 |  |
| （3） | 炉气温度 | t6 | ℃ | 测定值 |  |
| 2 | 炉气化学热 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | 洗涤烟气发热量 |  | MJ/kg |  |  |
| （a） | 洗涤烟气发热值 |  | kJ/kg | 分析值 |  |
| （b） | 烟气质量 | m16 | kg/h | 测算值 |  |
| 3 | 锌蒸气带出热 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | 锌蒸发量 | m12 | kg/h | 物料平衡计算 |  |
| （2） | 锌蒸气焓变 |  | kJ/(kg·℃) |  |  |
| （a） | t6时锌蒸气焓 |  | kJ/mol | 按t6查《无机物热力学数据手册（梁英教、车荫昌主编）》，，；  当*，*计算得 |  |
| 4 | ZnO还原吸热 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | ZnO被CO还原反应吸热 | ΔrHZn | kJ/kg·Zn | 查《无机物热力学数据手册（梁英教、车荫昌主编）》；  计算得 |  |
| 5 | 液态铅带出热 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | 粗铅质量 | m5 | kg/h | 测试值 |  |
| （2） | 粗铅含Pb | [Pb]5 | % | 分析值 |  |
| （3） | 液态铅焓变 |  | kJ/(kg·℃) |  |  |
| （a） | t7时液态铅焓 |  | kJ/mol | 按t7查《无机物热力学数据手册（梁英教、车荫昌主编）》，，；  当*，*计算得 |  |
| 6 | 炉渣带出热 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | 炉渣热焓 | HS | kJ/kg | 按渣温t7及渣成分查《重有色冶金炉设计参考资料（王达成、梅炽等主编）》第754页附表5-10、5-11；  计算得 |  |
| （2） | 炉渣质量 | m7 | kg/h | 物料平衡计算 |  |
| 7 | 鼓风炉上部炉体散热总量 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | 上部炉体内外面积的算术平均数 | Ai | m2 | 查图计算 |  |
| （2） | 鼓风炉上部炉壳表面温度 | tb | ℃ | 测定值 |  |
| （3） | 上部炉体散热表面环境空气温度 | teb | ℃ | 测定值 |  |
| （4） | 上部炉体散热损失 |  |  | 用热流计直接测定表面的平均热流密度或根据tb、teb查《有色金属炉窑设计手册（梅炽、周萍主编）》第68页表3-31和表3-32.当，时，取 |  |
| 8 | 喷淋冷却水带出热 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | 水的比热 | CH2O | kJ/(kg·℃) | 按4.18计算 |  |
| （2） | 喷淋水流量 | m11 | kg/h | 测定值 |  |
| （3） | 喷淋水进水温度 | t4 | ℃ | 测定值 |  |
| （4） | 喷淋水出水温度 | t5 | ℃ | 测定值 |  |
| 9 | 炉顶散热总量 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | 炉顶面积 | Ad | m2 | 查图 |  |
| （2） | 炉顶表面温度 | td | ℃ | 测定值 |  |
| （3） | 炉顶表面环境空气温度 | ted | ℃ | 测定值 |  |
| （4） | 炉顶散热损失 |  |  | 用热流计直接测定表面的平均热流密度或根据td、ted查查《有色金属炉窑设计手册（梅炽、周萍主编）》第68页表3-31和表3-32.当，时，取 |  |
| （5） | 炉顶散热换算系数 | kd | / | 查《有色金属炉窑设计手册（梅炽、周萍主编）》第68页表3-32，取 |  |
| 10 | 碳逃逸损失热总量 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | 浮渣含碳量 |  | % | 分析值 |  |
| （2） | 炉渣含碳量 |  | % | 分析值 |  |
| （3） | 兰粉含碳量 |  | % | 分析值 |  |
| （4） | 碳完全燃烧反应热 | ΔrHC | kJ/kg·C | 查《无机物热力学数据手册（梁英教、车荫昌主编）》， |  |
| 11 | 烟尘带出热 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | 烟尘质量 |  | kg/h | 测算值 |  |
| （2） | 烟尘比热 |  | kJ/(kg·℃) | 烟尘成分复杂，但主要成分是ZnO，故按ZnO比热进行估算。查《无机物热力学数据手册（梁英教、车荫昌主编）》并计算，计算得298K～1273K平均比热 |  |
| 12 | 还原金属氧化物耗CO化学热 |  | MJ/h |  |  |
| （1） | 金属氧化物还原耗CO量 | mco | kg |  |  |
| （2） | CO发热值 | ΔrHCO | kJ/kg | 查《无机物热力学数据手册（梁英教、车荫昌主编）》并计算， |  |
| 13 | 炉底散热总量 |  | kJ/h |  |  |
| （1） | 炉底直径或矩形炉底短边的长度 | D | m | 查图纸。将铅锌密闭鼓风炉炉底视作矩形炉。 |  |
| （2） | 炉底侧墙厚度 | Bd | m | 查图纸 |  |
| （3） | 系数 | K | / | Bd=时，K=0.96;  Bd=时，K=1;  Bd=时，K=1.08～1.10 |  |
| （4） | 炉底形状系数 | φ | / | 圆形炉底φ=4；方形炉底φ=4.4，矩形炉底φ=3.73。将铅锌密闭鼓风炉炉底视作矩形炉。 |  |
| （5） | 炉底内表面温度 | tk | ℃ | 取tk=t7 |  |
| （6） | 环境温度 | te | ℃ | 测定值 |  |
| （7） | 炉底内表面积 | Ak | m2 | 查图 |  |
| （8） | 炉底厚度 | δ | m | 查图 |  |
| （9） | 炉底热导率当量值 | λ |  |  |  |
| （a） | 炉底各层耐火材料厚度 | δi | m | 查图 |  |
| （b） | 炉底各层耐火材料的热导率 | λi |  | 查表。黏土砖热导率可取0.8～1.2；铬镁砖热导率可取1.0～1.5 |  |
| 14 | 热风管道散热 |  | kJ/h | ；因为热风总管和热风支管外径不同，故分为两部分分别计算，再求和。 |  |
| （1） | 热风管道表面热流密度 |  | kJ/(m2·h) | 用热流计直接测定热风总管和热风支管表面的平均热流密度或按以下公式计算： |  |
| （a） | 热风管道外部钢材黑度 |  |  | 取。 |  |
| （b） | 热风管道表面温度 |  | ℃ | 测量值 |  |
| （c） | 热风管道周边环境温度 |  | ℃ | 测量值 |  |
| （d） | 热风管道对流给热系数 |  | kJ/(m3·h·℃) |  |  |
| （e） | 热风管道外径 |  | m | 查图 |  |
| （2） | 热风管道表面积 |  | m2 | 查图计算，分别计算热风总管和热风支管。 |  |
| 15 | 差值 |  | MJ/h | ) |  |
| 16 | 总热支出 |  | MJ/h |  |  |
| 17 | 误差 |  |  |  |  |

9.2热平衡表

将热平衡计算结果填入热平衡表7。

表7 铅锌密闭鼓风炉热平衡表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 收入 | | | | 支出 | | | |
| 符号 | 项目 | 数值 | | 符号 | 项目 | 数值 | |
| ×kJ/h | % | ×kJ/h | % |
| Q1 | 焦炭物理热 |  |  |  | 炉气物理热 |  |  |
| Q2 | 焦炭燃烧热 |  |  |  | 炉气化学热 |  |  |
| Q3 | 烧结块物理热 |  |  |  | 锌蒸气带出热 |  |  |
| Q4 | 热风物理热 |  |  |  | ZnO还原吸热 |  |  |
| Q5 | PbO被CO还原放热 |  |  |  | 液态铅带出热 |  |  |
| Q6 | 粉煤燃烧热 |  |  |  | 炉渣带出热 |  |  |
| Q7 | 炉顶部分锌蒸气氧化放热 |  |  |  | 鼓风炉上部炉体散热总量 |  |  |
|  |  |  |  |  | 喷淋冷却水带出热 |  |  |
|  |  |  |  |  | 炉顶散热总量 |  |  |
|  |  |  |  |  | 碳逃逸损失热总量 |  |  |
|  |  |  |  |  | 烟尘带出热 |  |  |
|  |  |  |  |  | 还原金属氧化物耗CO化学热 |  |  |
|  |  |  |  |  | 炉底散热总量 |  |  |
|  |  |  |  |  | 热风管道散热 |  |  |
|  |  |  |  |  | 差值 |  |  |
|  | 合计 |  | 100 |  | 合计 |  | 100 |

9.3热效率计算

9.3.1热效率计算

铅锌密闭鼓风炉热效率按公式（1）计算。

×100%........................（1）

9.3.2余热回收率

铅锌密闭鼓风炉余热回收率按公式（2）计算。

×100%........................（2）

9.4热流图

铅锌密闭鼓风炉的热流图如图2所示。

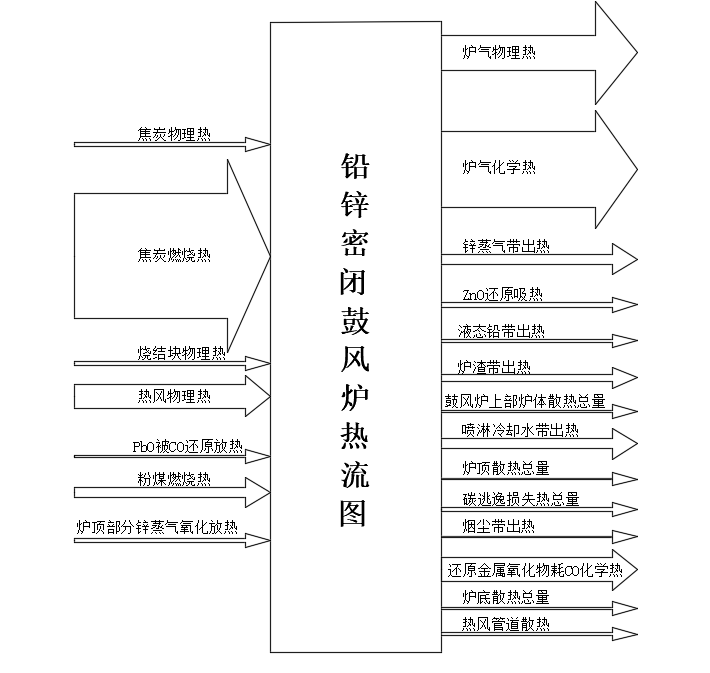


图2铅锌密闭鼓风炉热流图

# 10 主要能耗指标

铅锌密闭鼓风炉的主要能耗指标如表8所示。

表8 主要能耗指标

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 符号 | 单位 | 计算公式 | 数值 |
| 1 | 吨粗铅、锌产品热单耗 | Qch | kJ/t |  |  |
| 2 | 吨粗铅、锌燃料消耗 | Qrl | 吨标煤/吨 |  |  |

# 11 热平衡测定结果分析和改进建议

11.1对设备结构、操作制度的分析。

11.2评价热效率及主要技术经济指标。

11.3节能改造途径。

11.4改进建议及研究课题。