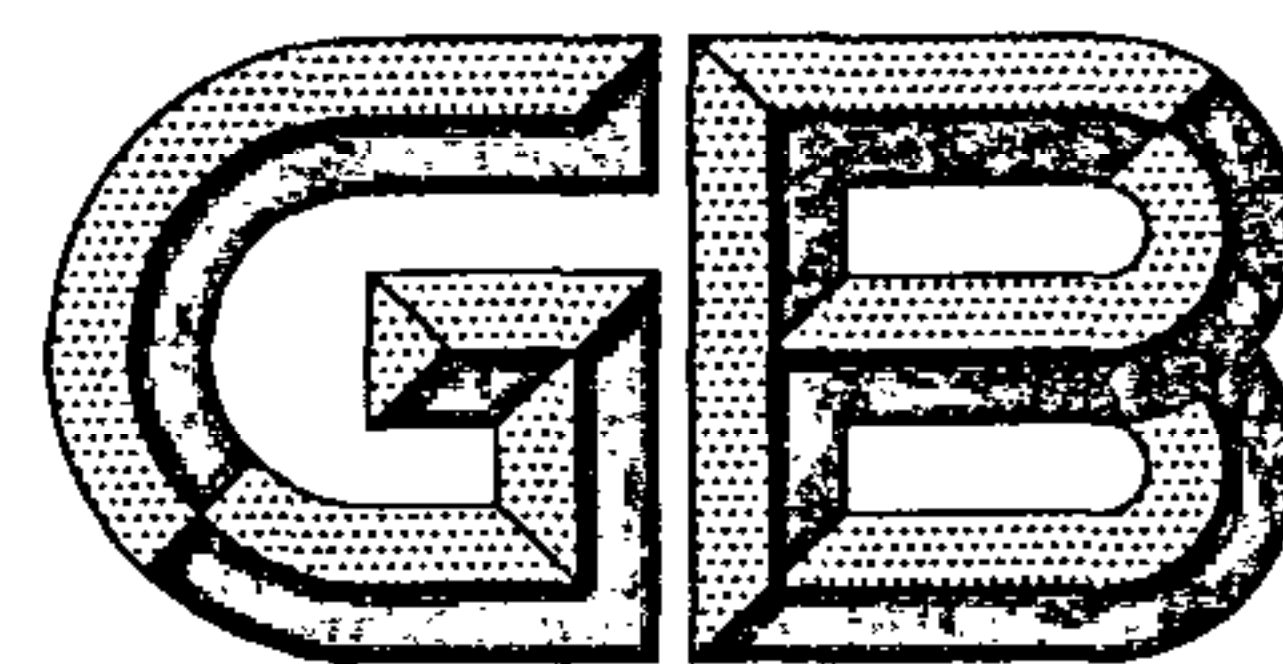




中华人民共和国国家标准

GB/T 26282—2010

水泥回转窑热平衡测定方法

Measuring methods of heat balance of cement rotary kiln

2011-01-14 发布

2011-11-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
水泥回转窑热平衡测定方法
GB/T 26282—2010

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

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 1.25 字数 32 千字
2011年5月第一版 2011年5月第一次印刷

*

书号: 155066·1-42211

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)68533533

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。
本标准由中国建筑材料联合会提出。
本标准由全国水泥标准化技术委员会(SAC/TC 184)归口。
本标准起草单位:天津水泥工业设计研究院有限公司。
本标准主要起草人:刘继开、陶从喜、肖秋菊、倪祥平、王仲春、彭学平。

水泥回转窑热平衡测定方法

1 范围

本标准规定了生产硅酸盐水泥熟料的各类型水泥回转窑热平衡参数测定前的准备及要求、物料量的测定、物料成分及燃料发热量的测定、物料温度的测定、气体温度的测定、气体压力的测定、气体成分的测定、气体含湿量的测定、气体流量的测定、气体含尘浓度的测定、表面散热量的测定、用水量的测定等参数的测定方法。

本标准适用于生产硅酸盐水泥熟料的各类型水泥回转窑热平衡参数的测定。

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,仅所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 176 水泥化学分析方法
GB/T 211 煤中全水分的测定方法
GB/T 212 煤的工业分析方法
GB/T 213 煤的发热量测定方法
GB/T 214 煤中全硫的测定方法
GB/T 260 石油产品水分测定法
GB/T 268 石油产品残碳测定法
GB/T 384 石油产品热值测定法
GB/T 388 石油产品硫含量测定法
GB/T 476 煤中碳和氢的测定方法
GB/T 508 石油产品灰分测定法
GB/T 1598 铂铑 13-铂热电偶丝
GB/T 2614 镍铬-镍硅热电偶丝
GB/T 2902 铂铑 30-铂铑 6 热电偶丝
GB/T 2903 铜-铜镍(康铜)热电偶丝
GB/T 3772 铂铑 10-铂热电偶丝
GB/T 16157—1996 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
GB/T 16839.2—1997 热电偶 第2部分:允差
GB/T 17674 原油及其产品中氮含量的测定 化学发光法
GB/T 26281—2010 水泥回转窑热平衡、热效率、综合能耗计算方法

3 测定前的准备及要求

- 3.1 根据工厂具体情况,制订测定方案。
- 3.2 所用各类仪器仪表及计量设备,均应定期检定或校准。
- 3.3 根据测定要求,开好测孔,测孔大小应保证测试仪器配置的采样设备能伸入测孔内。同时应搭建

必要的测试平台,准备好必要的工具和劳动保护用品。

3.4 准备好各测定项目的数据记录表格。

3.5 按要求逐项填写并及时整理测定记录,发现问题尽早重测或补测。

3.6 各项测定工作,应在窑系统处于连续、正常、稳定运行的时间不小于 72 h 的生产条件下进行。需要检测的项目,应同时进行尽可能,以保证测定结果的准确性。

4 物料量的测定

4.1 测定项目

熟料(包括出冷却机拉链机、冷却机收尘器及三次风管收下的熟料)、入窑系统生料、入窑和入分解炉燃料、入窑回灰、预热器和收尘器的飞灰、增湿塔和收尘器收灰的质量。

4.2 测点位置

与测定项目对应,分别在冷却机熟料出口、预热器(或窑)生料入口、窑和分解炉燃料入口、入窑回灰进料口,预热器和收尘器气流出口、增湿塔与收尘器的收灰出料口。

4.3 测定仪器

适合粉状、粒状物料的计量装置,精度等级一般不低于 2.5%。

4.4 测定方法

4.4.1 对熟料、生料、燃料、窑灰、增湿塔和收尘器收灰,均宜分别安装计量设备单独计量,未安装计量设备的可进行定时检测或连续称量,需至少抽测三次以上,按其平均值计算物料质量。熟料产量无法通过实物计量时,可根据生料喂料量折算。

4.4.2 出冷却机的熟料质量,应包括冷却机拉链机和收尘器及三次风管收下的熟料质量。

4.4.3 预热器和收尘器飞灰量

预热器和收尘器飞灰量根据各测点气体含尘浓度测定结果分别按公式(1)、公式(2)计算,精确至小数点后一位。

预热器飞灰量:

$$M_{fh} = V_f \times K_{fh} \dots\dots\dots (1)$$

收尘器飞灰量:

$$M_{FH} = V_F \times K_{FH} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- M_{fh} 、 M_{FH} ——分别为预热器与收尘器出口的飞灰量,单位为千克每小时(kg/h);
- V_f 、 V_F ——分别为预热器与收尘器出口的废气体积¹⁾,单位为标准立方米每小时(m³/h);
- K_{fh} 、 K_{FH} ——分别为预热器与收尘器出口废气的含尘浓度,单位为千克每标准立方米(kg/m³)。

5 物料成分及燃料发热量的测定

5.1 测定项目

熟料、生料、窑灰、飞灰和燃料的成分及燃料发热量。

1) 本标准中不加说明时,气体体积均指温度为 0 ℃,压力为 101 325 Pa 时的体积,单位为立方米(m³),简称“标准立方米”。

5.2 测点位置

同 4.2。

5.3 测定方法

5.3.1 熟料、生料、窑灰和飞灰成分

熟料、生料、窑灰和飞灰中的烧失量、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 、 SO_3 、 Cl^- 和 $f\text{-Cao}$ ，按 GB/T 176 规定的方法分析。

5.3.2 燃料

5.3.2.1 燃料成分应注明相应基准，各基准之间的换算系数，见附录 A。

5.3.2.2 固体燃料：按 GB/T 212 规定的方法分析，其项目有： Mad 、 Vad 、 Aad 、 FCad 。固体燃料中的 C、H、O、N 也可按 GB/T 476 规定的方法分析；S 按 GB/T 214 规定的方法分析；全水分按 GB/T 211 规定的方法分析。

5.3.2.3 液体燃料：全水分按 GB/T 260 规定的方法分析；灰分按 GB/T 508 规定的方法分析；残碳含量按 GB/T 268 规定的方法分析；硫含量按 GB/T 388 规定的方法分析；氮含量按 GB/T 17674 规定的方法分析。

5.3.2.4 气体燃料：采用色谱仪进行成分分析，其项目有： CO 、 H_2 、 C_mH_n 、 H_2S 、 O_2 、 N_2 、 CO_2 、 SO_2 、 H_2O 。

5.3.3 燃料发热量

5.3.3.1 固体燃料发热量按 GB/T 213 规定的方法测定。

5.3.3.2 液体燃料发热量按 GB/T 384 规定的方法测定。

5.3.3.3 无法直接测定燃料发热量时，可根据元素分析或工业分析结果计算发热量，见附录 A。

6 物料温度的测定

6.1 测定项目

生料、燃料、窑灰、飞灰、收灰和出窑熟料和出冷却机熟料的温度。

6.2 测定位置

同 4.2。

6.3 测定仪器

玻璃温度计、半导体点温计、光学高温计、红外测温仪和铠装热电偶与温度显示仪表组合的热电偶测温仪。玻璃温度计精度等级应不低于 2.5%，最小分度值应不大于 2℃；半导体点温计和热电偶测温仪显示误差值应不大于 ±3℃；光学高温计精度等级应不低于 2.5%；红外测温仪的精度等级应不低于 2%或 ±2℃。

使用时，应注意下列事项：

- 用玻璃温度计、半导体点温计和铠装热电偶与温度显示仪表组合的热电偶测温仪测量时，应将其感温部分插入被测物料或介质中，深度不应小于 50 mm。
- 用光学高温计时，辐射体与高温计之间的距离，应不小于 0.7 m 并不大于 3.0 m；光学高温计

的物镜,应不受其他光源的影响;避免中间介质(如测量孔的玻璃、粉尘、煤粒、烟粒等)对测量精度的影响。

铠装热电偶可用镍铬-镍硅铠装热电偶、铂铑 30-铂铑 6 铠装热电偶、铂铑-铂铠装热电偶或铜-康铜铠装热电偶。热电偶应分别符合 GB/T 2614、GB/T 2902、GB/T 1598、GB/T 3772 和 GB/T 2903 规定的技术要求,热电偶的允差符合 GB/T 16839.2—1997 的规定。常用热电偶适用的温度测量范围参见附录 B。

6.4 测定方法

- 6.4.1 生料、燃料、窑灰、收灰的温度,可用玻璃温度计测定。
- 6.4.2 飞灰的温度,视与各测点废气温度一致。
- 6.4.3 出窑熟料温度,可用光学高温计、红外测温仪、铂铑-铂铠装热电偶或铂铑 30-铂铑 6 铠装热电偶测定。
- 6.4.4 出冷却机熟料温度,用水量热法测定。方法如下:用一只带盖密封保温容器,称取一定量(一般不应少于 20 kg)的冷水,用玻璃温度计测定容器内冷水的温度,从冷却机出口取出一定量(一般不应少于 10 kg)具有代表性的熟料,迅速倒入容器内并盖严。称量后计算出倒入容器内熟料的质量,并用玻璃温度计测出冷水和熟料混合后的热水温度,根据熟料和水的质量、温度和比热,计算出冷却机熟料的温度,见公式(3)。重复测量三次以上,以平均值作为测量结果,精确至 0.1 °C。

$$t_{sh} = \frac{M_{LS}(t_{RS} - t_{LS}) \times C_w + M_{sh} \times C_{sh2} \times t_{RS}}{M_{sh} \times C_{sh}} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- t_{sh} ——出冷却机熟料温度,单位为摄氏度(°C);
- M_{LS} ——冷水质量,单位为千克(kg);
- t_{RS} ——热水温度,单位为摄氏度(°C);
- t_{LS} ——冷水温度,单位为摄氏度(°C);
- C_w ——水的比热,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];
- C_{sh} ——熟料在 t_{sh} 时的比热,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];
- C_{sh2} ——熟料在 t_{RS} 时的比热,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];
- M_{sh} ——熟料质量,单位为千克(kg)。

7 气体温度的测定

7.1 测定项目

窑和分解炉的一次空气、二次空气、三次空气,冷却机的各风机鼓入的空气,生料带入的空气,窑尾、分解炉、增湿塔及各级预热器的进、出口烟气,排风机及收尘器进、出口废气的温度。

7.2 测点位置

各自进、出口风管和设备内部。环境空气温度应在不受热设备辐射影响处测定。

7.3 测定仪器

- 7.3.1 玻璃温度计,其精度要求见 6.3。
- 7.3.2 铠装热电偶与温度显示仪表组合的热电偶测温仪,其精度要求见 6.3。
- 7.3.3 抽气热电偶,其显示误差值应不大于±3 °C。

7.4 测定方法

- 7.4.1 气体温度低于 500 ℃时,可用玻璃温度计或铠装热电偶与温度显示仪表组合的热电偶测温仪测定。
- 7.4.2 对高温气体的测定用铠装热电偶与温度显示仪表组合的热电偶测温仪。测定中应根据测定的大致温度、烟道或炉壁的厚度以及插入的深度(设备条件允许时,一般应插入 300 mm~500 mm),选用不同型号和长度的热电偶。
- 7.4.3 热电偶的感温元件应插入流动气流中间,不得插在死角区域,并要有足够的深度,尽量减少外露部分,以避免热损失。
- 7.4.4 抽气热电偶专门用于入窑二次空气温度的测定,使用前,需对抽气速度做空白试验。使用时需根据隔热罩的层数及抽气速度,对所测的温度进行校正,参见附录 B。

8 气体压力的测定

8.1 测定项目

窑和分解炉的一次空气、二次空气、三次空气,冷却机的各风机鼓入的空气,生料带入的空气,窑尾、分解炉、增湿塔及各级预热器的进、出口烟气,排风机及收尘器进、出口废气的压力。

8.2 测点位置

与 7.2 相同。

8.3 测定仪器

U 型管压力计、倾斜式微压计或数字压力计与测压管。U 型管压力计的最小分度值应不大于 10 Pa;倾斜式微压计精度等级应不低于 2%,最小分度值应不大于 2 Pa;数字压力计精度等级应不低于 1%。

8.4 测定方法

测定时测压管与气流方向要保持垂直,并避开涡流和漏风的影响。

9 气体成分的测定

9.1 测定项目

窑尾烟气,预热器和分解炉进、出口气体,增湿塔及收尘器的进、出口废气以及入窑一次空气(当一次空气使用煤磨的放风时)的气体成分,主要项目有 O₂、CO、CO₂。对于窑尾烟气,预热器和分解炉进、出口气体及窑尾收尘器出口废气,宜增加 SO₂ 和 NO_x。

9.2 测点位置

各相应管道。

9.3 测定仪器

9.3.1 取气管

一般选用耐热不锈钢管,测定新型干法生产线窑尾烟室时不锈钢管应耐温 1 100 ℃以上。

9.3.2 吸气球

一般采用双联球吸气器。

9.3.3 贮气球胆

用篮、排球的内胆。

9.3.4 气体分析仪

测定 O_2 、 CO 、 CO_2 采用奥氏气体分析仪或其他等效仪器。对测试的结果有异议时,以奥氏气体分析仪的分析结果为准。

测定 NO_x 成分时,宜采用根据定电位电解法或非分散红外法原理进行测试的便携式气体分析仪。对测试的结果有异议时,以紫外分光光度法的分析结果为准。

测定 SO_2 成分时,宜采用根据电导率法、定电位电解法和非分散红外法原理进行测试的便携式气体分析仪。对测试的结果有异议时,以定电位电解法的分析结果为准。

10 气体含湿量的测定

10.1 测定项目

一次空气、预热器、增湿塔和收尘器出口废气的含湿量。

10.2 测点位置

各相应管道。

10.3 测定方法

根据管道内气体含湿量大小不同,可以采用干湿球法、冷凝法或重量法中的一种进行测定。具体测试方法按 GB/T 16157—1996 进行测定。

对测定结果有疑问或无法测定时,可根据物料平衡进行计算。

11 气体流量的测定

11.1 测定项目

窑和分解炉的一次空气、二次空气、三次空气,冷却机的各风机鼓入的空气,生料带入的空气,窑尾、分解炉、增湿塔及各级预热器的进、出口烟气,排风机及收尘器进、出口废气的流量。

11.2 测点位置

各相应管道,并符合下列要求:

- a) 气体管道上的测孔,应尽量避免选在靠弯曲、变形和有闸门的地方,避开涡流和漏风的影响;
- b) 测孔位置的选择原则:测孔上游直线管道长大于 $6D$,测孔下游直线管道长大于 $3D$ (D 为管道直径)。

11.3 测定仪器

标准型皮托管或 S 型皮托管,倾斜式微压计、U 型管压力计或数字压力计,大气压力计;热球式电

风速计、叶轮式或转杯风速计。标准型皮托管和 S 型皮托管应符合 GB/T 16157—1996 的规定；倾斜式微压计、U 型管压力计和数字压力计的精度要求见 8.3；大气压力计最小分度值应不大于 0.1 kPa；热球式电风速计的精度等级应不低于 5%；叶轮式风速计的精度等级应不低于 3%；转杯式风速计的精度应不大于 0.3 m/s。

11.4 测定方法

- 11.4.1 除入窑二次空气及系统漏入空气外,其他气体流量均通过仪器测定。
- 11.4.2 用标准型皮托管或 S 型皮托管与倾斜式微压计、U 型管压力计或数字压力计组合测定气体管道横断面的气流平均速度,然后,根据测点处管道断面面积计算气体流量。
- 11.4.3 测量管道内气体平均流速时,应按不同管道断面形状和流动状态确定测点位置和测点数。
- 11.4.3.1 圆形管道

将管道分成适当数量的等面积同心环,各测点选在各环等面积中心线与呈垂直相交的两条直径线的交点上。直径小于 0.3 m,流速分布比较均匀、对称并符合 11.2 要求的小圆形管道,可取管道中心作为测点。

不同直径的圆形管道的等面积环数、测量直径数及测点数见表 1,一般一根管道上测点不超过 20 个。测点距管道内壁距离见表 2。

表 1 圆形管道分环及测点数的确定

管道直径/m	等面积环数	测点直径数	测点数
<0.3			1
0.3~0.6	1~2	1~2	2~8
0.6~1.0	2~3	1~2	4~12
1.0~2.0	3~4	1~2	6~16
2.0~4.0	4~5	1~2	8~20
>4.0	5	1~2	10~20

表 2 测点与管道内壁距离(管道直径的分数)

测点号	环 数				
	1	2	3	4	5
1	0.146	0.067	0.044	0.033	0.026
2	0.854	0.250	0.146	0.105	0.082
3		0.750	0.296	0.194	0.146
4		0.933	0.704	0.323	0.226
5			0.854	0.677	0.342
6			0.956	0.806	0.658
7				0.895	0.774
8				0.967	0.854
9					0.918
10					0.974

11.4.3.2 矩形管道

将管道断面分成适当数量面积相等的小矩形,各小矩形的中心为测点。小矩形的数量按表 3 规定选取。一般一根管道上测点数不超过 20 个。

表 3 矩形管道小矩形划分及测点数的确定

管道面积/m ²	等面积小矩形长边长度/m	测点总数
<0.1	<0.32	1
0.1~0.5	<0.35	1~4
0.5~1.0	<0.50	4~6
1.0~4.0	<0.67	6~9
4.0~9.0	<0.75	9~16
>9.0	≤1.0	≤20

管道断面面积小于 0.1 m²,流速分布比较均匀、对称并符合 11.2 要求的小矩形管道,可取管道中心作为测点。

用标准型皮托管或 S 型皮托管测定气流速度时,应使标准型皮托管或 S 型皮托管的测量部分与管道中气体流向平行,最大允许偏差角不得大于 10°。管道内被测气流速度应在 5.0 m/s~50.0 m/s 之内。

11.5 计算方法

11.5.1 用管道气体平均速度计算气体流量,按公式(4)和公式(5)计算。

$$V = 3\,600 \times F \times \omega_{PJ} = 3\,600 \times F \times K_d \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta p_{PJ}}{\rho_t}} \dots\dots\dots (4)$$

- 式中:
- V ——工作状态下气体流量,单位为立方米每小时(m³/h);
 - F ——管道断面面积,单位为平方米(m²);
 - ω_{PJ} ——管道断面气流平均速度,单位为米每秒(m/s);
 - K_d ——皮托管的系数;
 - Δp_{PJ} ——管道断面上动压平均值,单位为帕(Pa);
 - ρ_t ——被测气体工作状态下的密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

$$\sqrt{\Delta p_{PJ}} = \frac{\sqrt{\Delta p_1} + \sqrt{\Delta p_2} + \dots\dots + \sqrt{\Delta p_n}}{n} \dots\dots\dots (5)$$

- 式中:
- $\Delta p_1、\Delta p_2\dots\dots\Delta p_n$ ——分别为管道断面上各测点的动压值,单位为帕(Pa);
 - N ——测点数量。

11.5.2 入窑二次空气量,用计算方法求得,见 GB/T 26281—2010 中 6.1.2.2。

11.5.3 系统漏入空气量无法测定,可以通过气体成分平衡计算。

12 气体含尘浓度的测定

12.1 测定项目

预热器出口气体,增湿塔进、出口气体,收尘器进、出口气体,篦冷机烟囱和一次空气(当采用煤磨放

风时)的含尘浓度。

12.2 测点位置

各自相应管道。

12.3 测定仪器

烟气测定仪、烟尘浓度测定仪。烟气测定仪、烟尘浓度测定仪的烟尘采样管应符合 GB/T 16157—1996 的规定。

12.4 测定方法

将烟尘采样管从采样孔插入管道中,使采样嘴置于测点上,正对气流,按颗粒物等速采样原理,即采样嘴的抽气速度与测点处气流速度相等,抽取一定量的含尘气体,根据采样管滤筒内收集到的颗粒物质质量和抽取的气体体积计算气体的含尘浓度。含尘浓度的测定应符合如下要求:

- a) 测量仪器各部分之间的连接应密闭,防止漏气,正式测定前应做抽气空白试验,检查有无漏气。
- b) 含尘浓度的测孔应选择在气流稳定的部位,尽量避免涡流影响(见 11.2),测孔尽可能开在垂直管道上。
- c) 取样嘴应放在平均风速点的位置上,并要与气流方向相对。
- d) 测定中要保持等速采样,即保证取样管与气流管道中的流速相等。
- e) 回转窑废气是高温气体,露点温度高,取样管应采取保温措施(或采用管道内滤尘法),以防止水汽冷凝。
- f) 在不稳定气流中测定含尘浓度时,测量系统中需串联一个容积式流量计,累计气体流量。

13 表面散热量的测定

13.1 测定项目

回转窑系统热平衡范围(见 GB/T 26281—2010)内的所有热设备,如回转窑、分解炉、预热器、冷却机和三次风管及其彼此之间连接的管道的表面散热量。

13.2 测点位置

各热设备表面。

13.3 测定仪器

热流计;红外测温仪;表面热电偶温度计;辐射温度计和半导体点温计以及玻璃温度计;热球式电风速计、叶轮式或转杯式风速计。热流计精度等级应不低于 5%,红外测温仪、半导体点温计和玻璃温度计的精度要求见 6.3;表面热电偶温度计显示误差值应不大于 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$;辐射温度计的精度等级应不低于 2.5%;热球式电风速计、叶轮式和转杯式风速计的精度要求见 11.3。

13.4 测定方法

13.4.1 用玻璃温度计测定环境空气温度(见 7.2)。

13.4.2 用热球式电风速计、叶轮式或转杯式风速计测定环境风速并确定空气冲击角。

13.4.3 用热流计测出各热设备的表面散热量。

13.4.4 无热流计时,用红外测温仪、表面热电偶温度计和半导体点温计等测定热设备的表面温度,计算散热量。

将各种需要测定的热设备,按其本身的结构特点和表面温度的不同,划分成若干个区域,计算出每一区域表面积的大小;分别在每一区域里测出若干点的表面温度,同时测出周围环境温度、环境风速和空气冲击角;根据测定结果在相应表中查出散热系数,按公式(6)计算每一区域的表面散热量。

$$Q_{Bi} = \alpha_{Bi}(t_{Bi} - t_k) \times F_{Bi} \dots\dots\dots(6)$$

- 式中:
- Q_{Bi} ——各区域表面散热量,单位为千焦每小时(kJ/h);
 - α_{Bi} ——表面散热系数,单位为千焦每平方米小时摄氏度[kJ/(m² · h · °C)],它与温差($t_{Bi} - t_k$)和环境风速及空气冲击角有关(见附录 C);
 - t_{Bi} ——被测某区域的表面温度平均值,单位为摄氏度(°C);
 - t_k ——环境空气温度,单位为摄氏度(°C);
 - F_{Bi} ——各区域的表面积,单位为平方米(m²)。

13.4.5 热设备的表面散热量等于各区域散表面热量之和,按公式(7)计算。

$$Q_B = \sum Q_{Bi} \dots\dots\dots(7)$$

- 式中:
- Q_B ——设备表面散热量,单位为千焦每小时(kJ/h)。

14 用水量的测定

14.1 测定项目

窑系统各水冷却部位如一次风管;窑头、尾密封圈;烧成带胴体;冷却机胴体;冷却机熟料出口;增湿塔和托轮轴承等处的用水量。

14.2 测点位置

各进水管和出水口。

14.3 测定仪器

水流量计(水表)或盛水容器和磅秤;玻璃温度计。水流量计(水表)的精度等级应不低于 1%;磅秤的最小感量应不大于 100 g;玻璃温度计的精度要求见 6.3。

14.4 测定方法

用玻璃温度计分别测定进、出水的温度。采用水冷却的地方,应测出冷却水量,包括变成水蒸汽的汽化水量,和水温升高后排出的水量。对进水量的测定,应在进水管上安装水表计量,若无水表的测点,可与出水同样的方法测定,即在一定时间里用容器接水称量。需至少抽测三次以上,按其平均值计算进、出水量,二者之差即为蒸发汽化水量。

附 录 A
(规范性附录)
燃料的基准换算和发热量计算方法

A.1 燃料成分基准之间的换算

燃料成分应有明确的基准,对固体及液体燃料有收到基“ar”,空气干燥基“ad”,干燥基“d”,干燥无灰基“daf”,将角标写在主题符号的右下角。各基准之间的换算关系见表 A.1。

表 A.1 各基准之间的换算系数

已知的燃料 成 分	换 算 的 燃 料 成 分			
	收到基(ar)	空气干燥基(ad)	干燥基(d)	干燥无灰基(daf)
收到基(ar)	1	$\frac{100-M_{ad}}{100-M_{ar}}$	$\frac{100}{100-M_{ar}}$	$\frac{100}{100-M_{ar}-A_{ar}}$
空气干燥基(ad)	$\frac{100-M_{ar}}{100-M_{ad}}$	1	$\frac{100}{100-M_{ad}}$	$\frac{100}{100-M_{ad}-A_{ad}}$
干燥基(d)	$\frac{100-M_{ar}}{100}$	$\frac{100-M_{ad}}{100}$	1	$\frac{100}{100-M_d}$
干燥无灰基(daf)	$\frac{100-M_{ar}-A_{ar}}{100}$	$\frac{100-M_{ad}-A_{ad}}{100}$	$\frac{100-A_d}{100}$	1

A.2 燃料发热量的计算

A.2.1 氧弹量热法测定和计算燃料发热量

按 GB/T 213 规定的方法进行。

A.2.2 烟煤、无烟煤和褐煤低位发热量

A.2.2.1 烟煤低位发热量按公式(A.1)计算。

$$Q_{net,ad} = 35\,860 - 73.7V_{ad} - 395.7A_{ad} - 702.0M_{ad} + 173.6CRC \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- $Q_{net,ad}$ ——空气干燥基煤样低位发热量,单位为千焦每千克(kJ/kg);
- V_{ad} ——空气干燥基煤样挥发分,以百分数表示(%);
- A_{ad} ——空气干燥基煤样灰分,以百分数表示(%);
- M_{ad} ——空气干燥基煤样水分,以百分数表示(%);
- CRC ——焦渣特性。

A.2.2.2 无烟煤低位发热量按公式(A.2)计算。

$$Q_{net,ad} = 34\,814 - 24.7V_{ad} - 382.2A_{ad} - 563.0M_{ad} \dots\dots\dots (A.2)$$

A.2.2.3 褐煤低位发热量按公式(A.3)计算。

$$Q_{net,ad} = 31\,733 - 70.5V_{ad} - 321.6A_{ad} - 388.4M_{ad} \dots\dots\dots (A.3)$$

A.2.3 煤低位发热量的计算

A.2.3.1 需要采用全硫计算煤的低位发热量,见公式(A.4)。

$$Q_{\text{net,ad}} = 6\,984 + 275.0C_{\text{ad}} + 805.7H_{\text{ad}} + 60.7S_{\text{t,ad}} - 142.9O_{\text{ad}} - 74.4A_{\text{ad}} - 129.2M_{\text{ad}} \dots\dots\dots(\text{A.4})$$

式中:

C_{ad} 、 H_{ad} 、 $S_{\text{t,ad}}$ 、 O_{ad} ——分别为空气干燥基煤样碳、氢、全硫、氧的质量分数,以百分数表示(%)。

A.2.3.2 不需要采用全硫计算煤的低位发热量,见公式(A.5)。

$$Q_{\text{net,ad}} = 12\,807.6 + 216.6C_{\text{ad}} + 734.2H_{\text{ad}} - 199.7O_{\text{ad}} - 132.8A_{\text{ad}} - 188.3M_{\text{ad}} \dots\dots(\text{A.5})$$

A.2.4 煤的收到基低位发热量

根据煤的空气干燥基低位发热量,按公式(A.6)计算煤的收到基低位发热量。

$$Q_{\text{net,ar}} = (Q_{\text{net,ad}} + 23M_{\text{ad}}) \frac{100 - M_{\text{ar}}}{100 - M_{\text{ad}}} - 23M_{\text{ar}} \dots\dots\dots(\text{A.6})$$

A.2.5 液体和气体燃料发热量

A.2.5.1 液体燃料发热量按公式(A.7)进行。

$$Q_{\text{net,ar}} = 339C_{\text{ar}} + 1\,030H_{\text{ar}} - 109(O_{\text{ar}} - S_{\text{ar}}) - 25M_{\text{ar}} \dots\dots\dots(\text{A.7})$$

式中:

C_{ar} 、 H_{ar} 、 $S_{\text{t,ar}}$ 、 O_{ar} ——分别为液体燃料中碳、氢、全硫、氧的质量分数,以百分数表示(%)。

A.2.5.2 气体燃料发热量按公式(A.8)进行。

$$Q_{\text{net,ar}} = 126.3CO + 107.9H_2 + 358.0CH_4 + 590.5C_2H_4 + 231.3H_2S \dots\dots\dots(\text{A.8})$$

式中:

CO 、 H_2 、 CH_4 、 C_2H_4 、 H_2S ——分别为气体燃料中各成分的体积分数,以百分数表示(%)。

附 录 B
(资料性附录)

常用热电偶的允差等级及抽气热电偶温度校正

B.1 常用热电偶适用的温度测量范围见表 B.1。

表 B.1 常用热电偶适用的温度测量范围

热电偶类型	分度号	测温范围/℃	推荐使用的最高测温范围/℃	
			长期	短期
铜-康铜	T	－200～350	350	400
镍铬-镍硅	K	－200～1 300	800	1 300
铂铑 30-铂铑 6	B	0～1 800	1 700	1 800
铂铑-铂	R 和 S	0～1 700	1 300	1 700

B.2 使用抽气热电偶应根据隔热罩的层数及抽气速度,对所测温度进行校正,校正值见表 B.2。

表 B.2 抽气热电偶温度校正

测量温度/℃	档板层数	最低抽气速度/(m/s)	最低速度时校正值/℃
400	一层	40	+10～15
500	一层	60	+17～25
600	一层	80	+25～36
600	二层	40	+10～15
700	二层	60	+10～15
800	二层	70	+10～25
900	二层	80	+30～46
1 000	二层	100	+50～70

附录 C
(规范性附录)
表面散热系数的修正方法

C.1 表面散热系数说明

计算回转窑、单筒冷却机等转动设备的表面散热时,查表 C.1 中的数值,并对空气冲击角的影响加以校正;计算预热器、分解炉等不转动设备的表面散热时,查表 C.2 中的数值。

表 C.1 不同温差与不同风速的散热系数 α 单位为千焦每平方米小时摄氏度

温差 Δt / ℃	风速/(m/s)								
	0	0.24	0.48	0.69	0.90	1.20	1.50	1.75	2.0
40	45.16	50.60	56.03	61.47	66.92	75.69	84.47	93.25	102.03
50	47.67	53.11	58.54	63.98	69.42	78.61	87.40	96.18	104.54
60	50.18	56.03	61.47	66.91	71.92	81.42	89.90	98.69	107.47
70	52.69	58.54	64.40	69.83	74.85	84.05	92.83	101.61	110.39
80	54.78	61.05	66.91	72.34	77.36	86.56	95.34	104.12	112.90
90	57.29	63.56	69.42	74.85	79.87	89.07	97.85	106.63	115.83
100	59.80	66.07	72.34	77.78	82.80	92.00	100.78	109.56	118.34
110	62.31	68.58	74.85	80.29	85.31	94.50	103.29	112.07	120.85
120	64.82	71.09	77.36	82.80	88.23	97.43	106.21	114.99	123.30
130	67.32	74.01	80.29	85.72	90.74	99.94	109.14	117.50	124.19
140	70.25	76.52	82.80	88.23	93.25	102.45	111.23	120.01	124.61
150	72.34	79.03	85.72	91.16	96.18	105.38	114.58	120.85	125.45
160	74.85	81.54	88.23	93.67	99.10	108.30	115.83	121.27	125.87
170	76.94	84.05	91.16	96.60	101.61	110.81	116.25	121.69	126.28
180	79.45	86.56	93.67	99.10	104.54	111.23	116.67	122.10	126.70
190	82.00	89.07	96.18	101.61	106.63	112.07	117.09	122.52	127.12
200	84.47	92.00	99.10	104.12	107.05	112.90	117.92	122.94	127.54
210	86.98	94.50	101.61	104.54	107.89	113.32	118.34	123.36	127.90
220	89.49	97.01	102.03	105.38	108.72	114.16	118.76	123.78	128.30
230	92.00	97.85	102.49	105.79	109.14	114.58	119.18	124.19	128.79
240	94.50	98.69	102.87	106.21	109.56	114.99	119.59	124.61	129.63
250	96.88	99.53	103.31	106.62	109.98	115.41	120.01	125.03	130.08
260	99.34	100.37	103.73	107.04	110.40	115.82	120.42	125.44	130.64
270	101.80	101.21	104.16	107.45	110.82	116.24	120.84	125.86	131.21
280	104.26	102.05	104.58	107.87	111.24	116.65	121.25	126.27	131.78
290	106.73	102.89	105.01	108.28	111.66	117.07	121.67	126.69	132.35
300	109.19	103.73	105.43	108.70	112.08	117.48	122.08	127.11	132.92

表 C.2 不同温差与不同风速的散热系数 α 单位为千焦每平方米小时摄氏度

温差/ ℃	风速/(m/s)				
	0	2.0	4.0	6.0	8.0
40	35.13	75.27	96.18	113.74	129.67
50	37.63	78.20	99.10	116.67	132.98
60	40.14	81.12	102.03	119.18	135.48
70	42.65	83.63	104.96	122.52	138.83
80	45.16	86.14	108.30	125.45	142.17
90	47.67	89.49	111.23	128.79	145.10
100	50.18	92.00	114.58	132.14	148.03
110	52.69	94.92	117.92	135.07	151.79
120	55.20	97.85	120.85	138.41	155.14
130	57.71	100.78	124.19	141.34	158.06
140	60.22	103.70	127.12	144.68	160.99
150	62.72	105.79	130.47	148.03	164.76
160	65.23	109.56	133.81		
170	67.74	112.49	136.74		
180	70.25	115.41	140.08		
190	72.76	117.92	143.01		
200	75.27	120.85	146.36		
210	77.78				
220	80.29				
230	82.80				
240	85.31				
250	87.81				

C.2 冲击角的校正方法

计算表面散热,当考虑空气冲击角对单窑散热系数的影响时,应采用冲击角的校正系数。冲击角校正系数与不同冲击角散热系数的关系见公式(C.1)。

$$\epsilon_{\phi} = \frac{\alpha_{\phi}}{\alpha_{90}}$$

.....(C.1)

式中:

- ϵ_{ϕ} ——冲击角的校正系数;
- α_{ϕ} ——冲击角为 ϕ 时的散热系数,单位为千焦每平方米小时摄氏度[kJ/(m² · h · ℃)];
- α_{90} ——冲击角为 90°时的散热系数,单位为千焦每平方米小时摄氏度[kJ/(m² · h · ℃)]。
- 根据试验测定结果,冲击角(ϕ)与校正系数(ϵ_{ϕ})的关系见表 C.3。

表 C.3 冲击角与校正系数的关系

ϕ	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°~90°
ϵ_{ϕ}	0.75	0.80	0.83	0.86	0.90	0.93	0.96	0.97	0.98	1.00

故考虑冲击角时,单窑散热系数按公式(C.2)进行。

$\alpha_{\phi} = \alpha \times \epsilon_{\phi}$ (C.2)

式中:

α ——单窑的散热系数,单位为千焦每平方米小时摄氏度[kJ/(m²·h·℃)]。

C.3 多窑并列时散热系数计算

多筒冷却机与窑体散热之间的相互影响,可作为多窑并列的一个特例对待,而多窑并列时的散热系数是单窑的0.8倍。多筒冷却机的散热按公式(C.3)进行计算。

$\alpha' = 0.8 \times \alpha$ (C.3)

式中:

α' ——冲击角为 ϕ 时的散热系数,单位为千焦每平方米小时摄氏度[kJ/(m²·h·℃)]。

