

# CBWA

中国锅炉与锅炉水处理协会  
团体标准

T/CBWAXXXXX—202X

## 金属材料高温 CO<sub>2</sub> 腐蚀试验方法

Method for high-temperature CO<sub>2</sub> corrosion test of metallic materials

(征求意见稿)

2022-××-××发布

2022-××-××实施

中国锅炉及锅炉水处理协会发布

## 目 次

前言 .....	III
1 范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	4
4 试验原理.....	4
5 试验装置.....	5
6 试样.....	6
7 试验.....	6
8 试验结果分析.....	6
9 试验报告.....	8

## 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。

本文件由中国锅炉与锅炉水处理协会提出并归口。

本文件起草单位：哈尔滨锅炉厂有限责任公司、华北电力大学、中国特种设备检测研究院、西安热工研究院有限公司、哈尔滨工业大学、哈电发电设备国家工程研究中心有限公司、西安交通大学、中国核动力研究设计院。

本文件主要起草人：王硕、朱忠亮、张乃强、郝维勋、杨玉、李红智、白文刚、高建民、董鹤鸣、康达、谢敏、于建明、刘光奎、车畅、闫凯、杨旭、赵钦新、梁志远、姜峨、刘蔚伟。

本文件为首次发布。

# 金属材料高温 CO<sub>2</sub> 腐蚀试验方法

## 1 范围

本标准规定了金属材料高温 CO<sub>2</sub> 腐蚀试验方法的术语和定义、试验原理、试验装置、试样、试验步骤、结果分析和试验报告。

本标准适用于评价金属材料在高温 CO<sub>2</sub> 气氛条件下的腐蚀性能试验。

## 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。凡是注明日期的引用文件，仅所注明日期的版本适用于本文件。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1216 外径千分尺

GB/T 1227 精密压力表

GB/T 9258 涂附磨具用磨料

GB/T 10123 金属和合金的腐蚀 基本属性和定义

GB/T 16545 金属和合金的腐蚀 腐蚀试样上腐蚀产物的清除

GB/T 21389 游标、带表和数显卡尺

GB/T 26497 电子天平

GB/T 32201 气体流量计

JJG 141 工作用贵金属热电偶检定规程

JJG 351 工作用廉金属热电偶检定规程

JJG 368 工作用铜-铜镍热电偶检定规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**高温 CO<sub>2</sub> 腐蚀试验** high-temperature CO<sub>2</sub> corrosion test

研究高温 (>100℃) CO<sub>2</sub> 气体环境中材料腐蚀程度、评价材料抗高温 CO<sub>2</sub> 腐蚀性能的试验。

### 3.2

**氧化腐蚀** oxidation corrosion

CO<sub>2</sub> 中的氧元素与金属元素发生反应形成氧化物的过程。

### 3.3

**碳化腐蚀** carbonization corrosion

CO<sub>2</sub> 中的碳元素与金属元素发生反应形成碳化物的过程。

### 3.4

**碳化区** carbonization zone

碳元素扩散至金属材料内部并与部分金属元素发生反应形成碳化物的区域。

## 4 试验原理

金属材料在高温 CO<sub>2</sub> 气体环境中会发生氧化腐蚀、碳化腐蚀等，金属基体转变为氧化物和碳

化物等腐蚀产物，发生金属损失，并在氧化膜与基体界面处形成碳化区。通过试样质量或腐蚀产物厚度的变化，以及腐蚀产物的形貌、物相等对金属材料的抗高温 CO<sub>2</sub> 腐蚀性能进行评价。

## 5 试验装置

### 5.1 试验装置的构成

试验过程中温度、压力、气体流量应保持稳定，试验装置至少包括：供气装置、预热装置、反应室、冷却装置、压力监测装置和温度控制装置。实验室内布置 CO<sub>2</sub> 气体浓度监测装置。试验装置示意图见图 1。

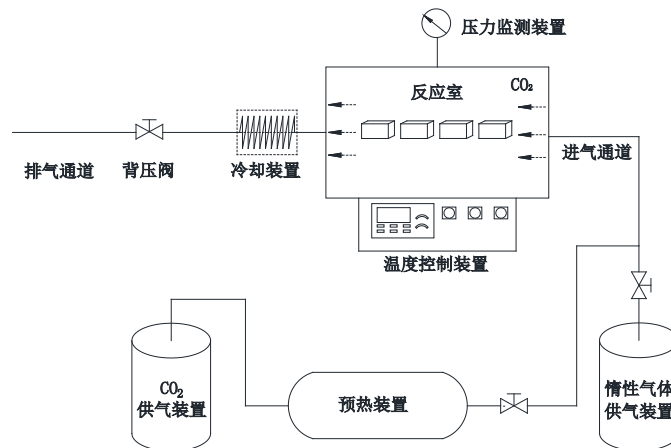


图 1 试验装置示意图

### 5.2 供气装置

供气装置应能够向反应室供应稳定压力和规定浓度的 CO<sub>2</sub>，并可根据试验精度要求向反应室供应惰性气体。CO<sub>2</sub> 气体供气装置出口压力应略大于试验要求的压力。室温下，当试验压力要求小于 5.7MPa 时，CO<sub>2</sub> 的供应装置由气瓶和气体质量流量计组成；当试验压力要求大于 5.7MPa 时，CO<sub>2</sub> 的供应装置由气瓶和液体计量泵组成。

### 5.3 预热装置

预热装置由加热装置、温度控制器和温度计构成，用于对进入反应室的 CO<sub>2</sub> 进行预热，达到试验温度的 85% 以上，避免进入反应室内的气体与反应室内的温度差过大，影响试验结果。

### 5.4 反应室

反应室由加热装置、温度控制器、温度计和压力监测装置构成。加热装置用于在指定的 CO<sub>2</sub> 气体氛围中对反应室进行加热，温度控制器应满足在测量温度范围内，保证试样温度满足表 1 的要求。温度计采用热电偶进行实时温度监测，热电偶的选取和使用应符合 JJG141, JJG351 和 JJG368 的规定。试验过程中采用压力表或压力传感器监测反应室的压力，压力表及压力传感器的选取和使用应符合 GB/T 1227 的规定。试验过程中反应室的压力波动允许范围为试验压力值的 ±0.5%。

表 1 温度的允许范围

试验温度 (°C)	>100~300	>300~600	>600~800	>800~1000	>1000~1200	>1200
允许偏差 (°C)	±2	±3	±4	±5	±7	按协议

### 5.5 冷却装置

反应室出口气体温度较高，在气体排出之前需将气体温度冷却至接近室温，冷却方式可采用空冷或者水冷。

## 5.6 CO<sub>2</sub> 气体浓度监测装置

反应室反应后的 CO<sub>2</sub> 气体需要通过管道引至室外排放，不可排放至实验室内。实验室内需安装 CO<sub>2</sub> 气体浓度监测装置，实时监测实验室内 CO<sub>2</sub> 气体浓度，以防止可能的气体泄漏带来的安全隐患。

## 6 试样

### 6.1 加工要求

试样宜采用片状试样。片状试样尺寸一般为：长 20~30mm，宽 10~20mm，厚 1~4mm。由于样品的尺寸限制或试验设备限制等原因不能使用该尺寸和形状时，应在最终的报告中注明。试样部分保留原产品表面时，其它各表面应进行机械加工，保证机械加工表面尺寸方便测量。非机械加工表面（即原产品表面）与机械加工表面的腐蚀行为应分别记录。机械加工表面应磨去加工变形层及边缘的毛刺。最后一道的磨料应为 GB/T 9258 规定的粒度 600 目以上，并在报告中注明。加工完成后的试样在丙酮或酒精中用超声波清洗，清洗干净后吹干并存放在干燥皿内备用。如对表面进行了其它处理，应在报告中注明。

### 6.2 尺寸和质量测量

试验前，试样的尺寸应由卡尺或千分尺进行测量并记录，作为计算表面积的依据。卡尺的使用和数据读取应符合 GB/T 21389 的规定。千分尺的使用和数据读取应符合 GB/T 1216 的规定。试样的质量应由电子天平测量并记录，电子天平的选取和使用应符合 GB/T 26497 的规定。尺寸测量的精度应不低于 0.02mm，质量测量的精度应不低于 0.01mg。

## 7 试验

### 7.1 试样的放置

根据试验装置不同，试样可平放于样品托内或悬挂于反应室内。平放试样时应尽量减少样品与样品托的接触面积，各试样应单独放置，不可相互接触。样品托应为刚玉等不导电材质。悬挂试样时试样之间应留有足够空间，防止试样相互触碰。悬挂试样孔的尺寸不宜大于 1mm。

### 7.2 试验参数设置

根据试验参数要求，通过调节温度控制器和背压阀，设置反应室的试验温度和压力。

### 7.3 气体导入和加热

根据试验精度要求，选择采用试验气体对反应室进行充分置换，或通过抽真空等方式对反应室用氩气等惰性气体进行充分置换。置换完成后对反应室进行升温。当选择惰性气体进行置换时，达到预定的试验温度后，需再次通过抽真空等方式除去反应室内的惰性气体，并将规定浓度、温度的 CO<sub>2</sub> 气体导入反应室进行充分置换。CO<sub>2</sub> 气体置换完成并达到规定压力、反应室的温度稳定在试验温度即开始计算腐蚀试验时间。

### 7.4 试验结束后的冷却

试验结束后停止加热，直至反应室的温度达到 60℃以下时，逆时针缓慢旋转背压阀至常压，打开反应室取出试样，冷却至室温。可根据试验精度要求，在冷却过程中选择采用惰性气体对反应室内的气体进行充分置换。

## 8 试验结果分析

## 8.1 质量变化的测定

### 8.1.1 单位面积增重

当试样各表面均为机械加工表面时，试样腐蚀后的单位面积增重按式（1）计算：

$$a = \frac{m_t - m_0}{A_0} \quad (1)$$

式中：

$a$ ：单位面积增重(mg/cm<sup>2</sup>)

$m_t$ ：包含试验后腐蚀产物的试样质量(mg)

$m_0$ ：试验前试样的初始质量(mg)

$A_0$ ：试验前试样的表面积(cm<sup>2</sup>)

当试样含有非机械加工表面时，机械加工表面与非机械加工表面的单位面积增重应分别计算。取相同材料制成各面均为机械加工表面的试样作为参考试样，与含非机械加工表面的试样同时进行试验，按式（1）计算参考试样的单位面积增重。非机械加工表面的单位面积增重按式（2）计算：

$$b = \frac{m_t - m_0 - A \times a}{B} \quad (2)$$

式中，

$b$ ：试样的非机械加工表面的单位面积增重（mg/cm<sup>2</sup>）

$m_t$ ：包含试验后腐蚀产物的试样质量(mg)

$m_0$ ：试验前试样的初始质量，mg

$A$ ：试验前试样机械加工表面的总面积，cm<sup>2</sup>

$a$ ：参考试样的单位面积增重，mg/cm<sup>2</sup>

$B$ ：试验前试样非机械加工表面的总面积，cm<sup>2</sup>

### 8.1.2 单位面积减重

测定和计算试样腐蚀后的单位面积减重前，应彻底去除试样腐蚀试验过程中产生的腐蚀产物，并充分清洗和干燥。腐蚀产物可按照 GB/T 16545 规定的方法进行去除。

当试样各表面均为机械加工表面时，试样腐蚀后的单位面积减重按式（3）计算：

$$a = \frac{m_0 - m_t}{A_0} \quad (3)$$

式中：

$a$ ：单位面积减重(mg/cm<sup>2</sup>)

$m_0$ ：试验前试样的初始质量(mg)

$m_t$ ：试验后去除腐蚀产物的试样质量(mg)

$A_0$ ：试验前试样的表面积(cm<sup>2</sup>)

当试样含有非机械加工表面时，机械加工表面与非机械加工表面腐蚀后的单位面积减重应分别计算。取相同材料制成各面均为机械加工表面的试样作为参考试样，与含非机械加工表面的试样同时进行试验，按式（3）计算参考试样的单位面积减重。非机械加工表面的单位面积减重按式（4）计算：

$$b = \frac{m_0 - m_t - A \times a}{B} \quad (4)$$

式中，

$b$ : 试样的非机械加工表面的单位面积减重 ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )

$m_0$ : 试验前试样的初始质量,  $\text{mg}$

$m_t$ : 试验后去除腐蚀产物的试样质量( $\text{mg}$ )

$A$ : 试验前试样机械加工表面的总面积,  $\text{cm}^2$

$a$ : 参考试样的单位面积减重,  $\text{mg}/\text{cm}^2$

$B$ : 试验前试样非机械加工表面的总面积,  $\text{cm}^2$

## 8.2 腐蚀产物观察分析

8.2.1 采用金相显微镜或扫描电子显微镜观察试样的横截面形貌和测量腐蚀深度。制备横截面试样前应采用电镀、镶嵌等方式对腐蚀产物进行保护。

8.2.2 采用 X 射线衍射、X 射线光电子能谱以及拉曼光谱等方法，确定腐蚀产物的物相成分。

8.2.3 采用辉光放电光谱或二次离子质谱测量腐蚀层内碳元素的分布及深度，确定碳化层的厚度。

## 9 试验报告

试验报告应包括（但不限于）以下内容：

- a) 本标准编号；
- b) 材料名称、牌号、规格、化学成分等相关信息；
- c) 试样的数量、尺寸、表面积、表面处理方式；
- d) 试验温度、压力和持续时间；
- e) 试验用气体的纯度和流量；
- f) 单位面积增重；
- g) 单位面积减重；
- h) 腐蚀试验前后试样的宏观形貌；
- i) 腐蚀试验后试样的表面及横截面形貌；
- j) 腐蚀层厚度；
- k) 腐蚀产物物相成分。