



# 中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

## 塔式太阳能热发电站吸热器检测方法

Test method for receiver of solar power tower plant

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

文稿版次选择

(本稿完成日期：2019-03-20)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 耐压试验.....	4
5 气密性试验.....	5
6 刚度试验.....	6
7 涂层的材料吸收率检测.....	7
8 吸热器性能试验.....	9
附录 A（资料性附录） 涂层吸收率检测原理.....	13
附录 B（资料性附录） 吸热器热效率测试原理.....	15
附录 C（资料性附录） 涂层吸收率检测报告.....	17
附录 D（资料性附录） 热性能试验报告格式.....	18
附录 E（资料性附录） 检测报告.....	20

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009 《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由全国太阳能光热发电标准化技术委员会（SAC/TC 565）归口。

本标准起草单位：中国能源建设集团有限公司、浙江大学、杭州锅炉集团股份有限公司、中国电力企业联合会等。

本标准主要起草人：

本标准是首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，邮编100761）。

# 塔式太阳能热发电站吸热器检测方法

## 1 范围

本标准规定了塔式太阳能热发电站吸热器的耐压试验、气密性试验、刚度试验、涂层的材料吸收率检测和吸热器性能试验。

本标准适用于采用熔融盐或水/蒸汽作为传热工质的塔式太阳能吸热器。

## 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 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB/T 150 压力容器
- IEC TS 62862-1-1 太阳能光热发电站：术语
- GB/T 12936 太阳能热利用术语
- GB/T 19565 总辐射表
- GB/T 26972 聚光型太阳能热发电术语
- GB/T 26810 可见分光光度计
- GB T 33234 光热发电玻璃反射镜反射比测试方法
- GB/T 25273 液晶显示器(LCD)用薄膜 雾度测定方法 积分球法
- JJG 1032 光学辐射计量名词定义
- ISO 9060 太阳能用于测量总辐射和直接辐射的测量仪表技术要求与分类
- TSGD0001 压力管道安全技术监察规程-工业管道
- HG/T 21574 化工设备吊耳设计选用规范

## 3 术语和定义

GB/T 12936、GB/T和JJG 1032界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**吸热器** receiver

用于接收太阳辐射能并转换为传热工质热能的装置，包括吸热体、保温隔热部件、防护部件和整体支撑钢结构。

### 3.2

**吸热体** absorber

吸热器中吸收太阳辐射能并向传热工质传递热量的部件，由若干片管屏组成。

### 3.3

**管屏** tube panel

吸热体的组成单元，由若干根吸热管、集箱和支撑钢架连接构成。

### 3.4

**吸热管** receiver tube

内部流通传热工质的通道，通常由受光直管段和弯管段组成，并与集箱连接。

### 3.5

**集箱** header

在若干根吸热管两端承担汇集或分流功能的部件。

### 3.6

**外置式吸热器** external receiver

吸热体为若干管屏拼接而成的多边形或近似圆形等的柱形，并利用柱形外部接收太阳辐射能的吸热器。

### 3.7

**腔式吸热器** cavity receiver

吸热体安装在隔热腔体结构内，并在腔内接收太阳辐射能的吸热器。

### 3.8

**吸热体吸收率** absorptivity of absorber

在太阳辐射波长范围内，被吸热体吸收的辐射能量与入射辐射能量的比值。

### 3.9

**材料吸收率** material absorptivity

在太阳辐射波长范围内，被物体表面材料吸收的辐射能量与入射辐射能量的比值。

### 3.10

**吸热体反射率** reflectivity of absorber

在太阳辐射波长范围内，被吸热体反射的能量与入射辐射能量的比值。

### 3.11

**材料反射率** material reflectivity

在太阳辐射波长范围内，被物体表面材料反射的能量与入射辐射能量的比值。

### 3.12

**额定工况** nominal working condition

当吸热器运行的环境条件与确定集热系统参数对应的气象条件和太阳法向直射辐射条件相当时,吸热器的正常工作状态。

## 3.13

**额定功率** nominal power

吸热器在额定工况下运行时的输出功率。

## 3.14

**额定流量** nominal flowrate

吸热器在额定工况下运行时传热工质的质量流量。

## 3.15

**额定温度** nominal temperature

在额定工况下运行时吸热器出口的传热工质温度。

## 3.16

**额定压力** nominal pressure

在额定工况下运行时吸热器出口的传热工质压力。

## 3.17

**最大工作压力** maximum working pressure

吸热器正常运行时,出口压力允许达到的最大值。

## 3.18

**试验压力** test pressure

在进行耐压试验和气密性试验时,吸热器内部流体的压力值。

## 3.19

**入射功率** incident power

单位时间内,吸热器接收的来自定日镜场的太阳辐射能量。

## 3.20

**输出功率** output power

单位时间内,吸热器传热工质吸收并输出的热能。

## 3.21

**热损失功率** heat loss power

单位时间内，吸热器通过辐射、对流和导热方式向环境中散失的能量。

### 3.22

**热效率 thermal efficiency**

在稳态（或准稳态）条件下，吸热器输出功率与入射功率之比。

### 3.23

**定日工作状态 working condition of heliostats**

定日镜投入使用并随时将太阳光反射到吸热器时的工作状态。

## 4 耐压试验

### 4.1 试验设备和仪器

4.1.1 耐压试验中采用的设备和仪器包括：增压水泵、压力表、阀门、盲板、测温装置等。

4.1.2 试验压力按公式（1）计算：

$$P_T = 1.3P_w \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \quad (1)$$

式中：

$P_T$ 表示水压试验压力，单位为兆帕（MP<sub>a</sub>）。

$P_w$ 表示最大许用工作压力，单位为兆帕（MP<sub>a</sub>）。

$[\sigma]$ 表示试验温度下材料的许用应力，单位为兆帕（MP<sub>a</sub>）。

$[\sigma]^t$ 表示设计温度下材料的许用应力，单位为兆帕（MP<sub>a</sub>）。

4.1.3 试验用增压水泵的量程应根据试验压力选用，额定排出压力应不低于试验压力。

4.1.4 试验所用压力表精确度应不低于 1.6 级；压力表的量程应根据试验压力选用，一般为试验压力的 1.5~3 倍，宜选用 2 倍；表盘直径应不小于 100mm。

4.1.5 阀门的公称压力应不低于试验压力。

4.1.6 测温装置量程宜为-20℃~100℃，其误差应不大于±3℃。

4.1.7 试验用压力表、测温装置应经过校验，并在有效期内。

4.1.8 试验过程中应装有超压泄放装置，其设定压力宜不高于试验压力的 1.1 倍或者不高于试验压力 0.34MPa（取较低值）。

### 4.2 试验前准备

4.2.1 吸热器的耐压试验应在制造完工、无损检测和热处理后和喷涂前进行。

4.2.2 耐压试验前，吸热器各连接部位的紧固件应装配齐全，并紧固妥当；进行耐压试验而装配的临时受压元件，应采取适当措施，保证其安全性。

4.2.3 临时管道应确保试压的安全，管道内部应无杂物、保证畅通。

- 4.2.4 试验液体宜采用洁净水，水中氯离子含量应小于 25mg/L。
- 4.2.5 耐压试验用水温度应符合 GB/T 150 的规定。
- 4.2.6 参与试验人员应熟知试验压力，试验压力按图样或设计文件规定。

#### 4.3 试验步骤

- 4.3.1 打开放气阀，排尽吸热器内的气体，使吸热器充满水。
- 4.3.2 当吸热器的金属壁温和试验介质温度接近时，缓慢升压至试验压力的 50%时应暂停升压，压力表显示数据应稳定 10 分钟以上，并进行泄露检查。确认无泄露或异常现象后继续缓慢升压，在达到最大工作压力时应暂停升压，压力表显示数值应稳定 10 分钟以上，并进行泄露检查。确认无泄漏或异常现象后，继续缓慢升压至试验压力，并关闭增压阀门进行保压和泄露检查。
- 4.3.3 当设计图样和工艺文件有规定时，升压速率应按设计图样或工艺文件的规定操作。
- 4.3.4 耐压试验合格后，应立即排净内部积水，并用压缩空气吹干。

#### 4.4 合格标准

- 4.4.1 耐压试验过程中吸热器外表面应无任何可见变形。
- 4.4.2 耐压试验过程中应无异常声响。
- 4.4.3 泄露检查时焊缝处应无液体泄漏或渗漏。
- 4.4.4 保压时间应不少于 30min，保压时间内不得采用连续加压来维持试验压力值。
- 4.4.5 保压和泄露检查期间，压力表数值应不降低。

#### 4.5 试验报告

检验部门应按图样和标准规定进行检查，并出具耐压试验报告。

### 5 气密性试验

#### 5.1 试验设备和仪器

- 5.1.1 气密性试验的设备和仪器包括：气压泵、压力表、阀门等。
- 5.1.2 试验压力应为吸热器设计压力。
- 5.1.3 试验用气压泵的量程应根据试验压力选用，额定排出压力应不低于试验压力。
- 5.1.4 试验用压力表精确度应不低于 1.6 级；压力表的量程应根据试验压力选用，可为试验压力的 1.5~3 倍，宜选用 2 倍；表盘直径应不小于 100mm。
- 5.1.5 阀门的公称压力应不低于试验压力。
- 5.1.6 试验用压力表应经过校验，并在有效期内。

#### 5.2 试验前准备

- 5.2.1 气密性试验应在完成耐压试验并达到合格标准后进行。
- 5.2.2 试验前应将容器内的杂物和油污等清除干净。
- 5.2.3 当产品图样或技术文件有规定时，试验前的准备应按图样或技术文件规定的方法和要求执行。
- 5.2.4 气密性试验所用气体应为干燥洁净的空气、氮气或其它惰性气体。
- 5.2.5 试验所用气体温度应按设计图样或设计文件规定。
- 5.2.6 气密性试验前，吸热器各连接部位的紧固件应装配齐全，并紧固妥当；为进行气密性试验而装配的临时受压元件，应采取适当措施，保证其安全性。

### 5.3 试验步骤

- 5.3.1 开动气压泵，使气体充满空间，升压速率按设计图样或工艺文件的规定。
- 5.3.2 当吸热器的金属壁温和试验介质温度接近时，缓慢升压至试验压力的 50%，压力表显示数值应稳定 10 分钟以上，并在焊缝和连接部位涂刷中性发泡剂进行泄露检查，确认密封良好没有明显泄露后再继续按照试验压力的 10% 逐级升压，每次升压前压力表显示数值应稳定 10 分钟以上，并利用中性发泡剂进行泄露检查，直至试验压力。
- 5.3.3 当吸热器出口压力达到试验压力时，压力表显示数值应稳定 10 分钟以上；然后，关闭进气阀门，进行保压测试，测试过程应符合 TSGD0001 的规定。
- 5.3.4 在上述的逐级升压应采用中性发泡剂，可采用肥皂水，检查焊缝和连接部位，如发现泄漏，应做好标记，测试过程应符合 TSGD0001 的规定。

### 5.4 合格标准

- 5.4.1 气密性试验过程中应无漏气、无异响。
- 5.4.2 保压时间应不少于 30min，保压时间内不得采用连续加压来维持试验压力值。
- 5.4.3 保压测试期间，压力表数值应不降低。

### 5.5 试验报告

检验部门应按图样和标准规定进行检查，并出具气密性试验报告。

## 6 刚度试验

### 6.1 试验目的

通过对吸热屏支撑框架刚度的测试，验证支撑框架在运输、安装和运行过程中能稳固支撑管屏，确保不产生有害变形。

### 6.2 测试仪器

- 6.2.1 刚度试验用仪器一般包括：拉线、皮尺、钢尺、起吊工具。
- 6.2.2 钢尺、皮尺应刻度清晰，其读数精确度应不低于 1mm。

6.2.3 起吊工具起吊能力至少为吸热器重量的 1.5 倍。

6.2.4 吊耳的型式、系列和强度应符合 HG/T 2157 的规定。

### 6.3 试验步骤

6.3.1 吸热屏（含支撑框架）的刚度试验应在组装完成后和运输前进行。

6.3.2 测量吸热屏的总长度，宜用皮尺。

6.3.3 将吸热屏水平放置，将其任意一端抬起 200mm 高度，并保持至少 5min。

6.3.4 在吸热屏支撑框架下端长度方向最外两点拉线，在吸热屏支撑框架长度方向的中间部位测量其弯曲变形矢高，宜用钢尺。

6.3.5 测量吸热屏支撑框架下端平面两对角线长度，宜用皮尺。

6.3.6 将吸热屏复原至水平放置。

### 6.4 合格标准

6.4.1 刚度试验后吸热屏应无明显变形。

6.4.2 刚度试验过程中吸热屏的中部位置的最大弯曲变形矢高应不大于  $L/500$ （单位为 mm），其中 L 为吸热屏总长度（单位为 mm）。

6.4.3 刚度试验过程中对角线长度偏差值不大于 14mm，并符合 GB 50017 的规定。

## 7 涂层的材料吸收率检测

### 7.1 检测仪器

#### 7.1.1 分光光度仪

7.1.1.1 配备稳定的光源系统，光源应能提供波长范围在 300nm~2500nm 光谱的光。

7.1.1.2 分光光度仪所能提供的光谱波长间隔应不大于 5nm。

7.1.1.3 照明光束的光轴与试样法线的夹角应不大于 15°。

7.1.1.4 仪器的波长准确度应不大于  $\pm 0.3\text{nm}$ ，波长重复性应不大于 0.2nm，应符合 GB/T 26810 中 I 级仪器的规定。

#### 7.1.2 积分球

7.1.2.1 积分球上所有开口的面积之和应小于积分球内表面积的 4%，宜采用直径不小于 150mm 的积分球，并应符合 GB/T 25273 的规定。

7.1.2.2 内壁与理想球面的偏差应不大于内径的 0.2%，积分球内壁面涂层漫反射率应大于 98%。

7.1.2.3 积分球上应留有样品孔用于放置样品。

#### 7.1.3 光电探测器

7.1.3.1 光电探测器的光谱响应频率范围应覆盖 300nm~2500nm 范围。

7.1.3.2 光度测量准确度应在  $\pm 1\%$  以内，测量重复性应在  $\pm 0.5\%$  以内，并应符合 GB/T 33234 的规定。

## 7.2 样品制备

7.2.1 待测样品的涂层应为吸热器所用的涂层材料，制备工艺和厚度应与标准样品所用涂层相同，待测样品的平面大小应能覆盖积分球壁面上的样品孔。

7.2.2 测试的样品应紧贴积分球的测试开口，中间应无间隙，测试过程应符合GB/T 33234的规定。

## 7.3 检测条件

7.3.1 环境温度：(23±5)℃。

7.3.2 压力：1个标准大气压。

7.3.3 相对湿度：≤80%。

7.3.4 应避免分光光度仪的入射光线直接照射到光电探测器的表面。

## 7.4 检测步骤

7.4.1 应提前4小时将上述设备和样品置于检测环境中。

7.4.2 分光光度仪之前应开机预热至少5分钟。

### 7.4.3 检测程序

- ① 开启分光光度仪和光电探测器，对分光光度仪和光电探测器进行检查和调试；
- ② 调整光源位置，校正光速方向和波长；
- ③ 将标准样品放在样品孔位置；
- ④ 使分光光度仪输出某一波长的光进行反射率检测，待光电探测器的读数稳定后记录；
- ⑤ 取出标准样品，将待测样品放在样品孔位置；
- ⑥ 使分光光度仪输出与步骤④相同波长的光进行反射率检测，待光电探测器的读数稳定后记录；
- ⑦ 重复上述步骤③—⑥，至少应进行三次重复测试；可以测量同一样品的不同部位，或者测量按照相同工艺制备的不同样品。

7.4.4 按照上述方法，改变波长进行检测。光谱波长范围应在300nm~2500nm，波长间隔应不大于5nm。

## 7.5 涂层材料吸收率的计算

涂层材料吸收率的计算方法如下，检测原理详见附录A。

7.5.1 特定波长下，待测样品涂层的材料反射率按式(2)计算：

$$\rho_s = \frac{I_s}{I_0} \cdot \rho_0 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\rho_s$  表示待测样品涂层的材料反射率，%。

$\rho_0$  表示标准样品涂层的材料反射率，%。

$I_s$  表示待测样品涂层检测时的光电探测器读数。

$I_0$  表示标准样品涂层检测时的光电探测器读数。

7.5.2 在特定波长下，取三次重复检测结果的算术平均值作为该波长下待测样品涂层的材料反射率。

7.5.3 在检测条件及所测波长范围内，待测样品涂层的材料反射率按式(3)计算：

$$\rho = \frac{\int_{300nm}^{2500nm} \rho_s(\lambda) E_\lambda d\lambda}{\int_{300nm}^{2500nm} E_\lambda d\lambda} \times 100\% \approx \frac{\sum_{300nm}^{2500nm} \rho_s(\lambda) E_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{300nm}^{2500nm} E_\lambda \Delta\lambda} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$E_{\lambda}$ 表示太阳直射光谱辐射度（AM1.5D），单位为瓦每平方米纳米 $[W/(m^2 \cdot nm)]$ 。

$\rho$ 表示检测条件下的涂层材料反射率，%。

$\lambda$ 表示波长，单位为纳米（nm）。

$\rho_s(\lambda)$ 表示待测样品涂层对特定波长的材料反射率，%。

$\Delta\lambda$ 表示波长间隔，单位为纳米（nm）。本计算中 $\Delta\lambda \leq 5nm$ 。

7.5.4 在测试条件下，待测样品涂层的材料吸收率按式（4）计算：

$$\alpha = 1 - \rho \dots \dots \dots (4)$$

7.5.5 吸热器运行过程中表面温度较高，且入射光线的角度存在差异，故宜对吸收率进行修正，按式（5）计算：

$$\alpha_{rcv} = K_T K_{\theta} \alpha \dots \dots \dots (5)$$

$K_T$ 表示温度修正系数， $K_{\theta}$ 表示角度修正系数。在无法获得高温下涂层材料吸收率数据时 $K_T$ 可取1；反射太阳光的入射角一般不高于60°；在无法获得具体数据时 $K_{\theta}$ 可取1。

## 7.6 合格标准

涂层材料吸收率值应不低于95%。

## 8 吸热器性能试验

8.1 吸热器性能试验包括流动阻力、额定功率和热效率试验等。

### 8.2 试验应满足的条件

8.2.1 试验应在晴朗天气条件下进行。

8.2.2 试验期间，吸热器受热面上的平均辐射能流密度应不小于 200kW/m<sup>2</sup>，辐射能流密度的相对变化应在±20%以内。

8.2.3 进口和出口温度与设定值的偏差应在±2℃以内。

8.2.4 塔式太阳能热发电站的工作系统可以根据入射辐射能量调整传热工质的流量，使吸热器出口温度满足测试工况要求。

8.2.5 在吸热器的出口及其它容易聚集空气的地方应安装空气分离器或排气装置。

### 8.2.6 泵与流量控制

8.2.6.1 泵应不影响吸热器进口和出口温度控制和测量。

8.2.6.2 泵的额定流量应接近吸热器的额定流量。

8.2.6.3 在泵的入口前安装过滤器。

8.2.6.4 宜装有旁路和手动调节阀，用于调节流量。

8.2.6.5 试验期间，在任何进口温度下，泵及流量控制装置应能维持稳定的流量，稳定时流量的相对变化应在±1%以内。

8.2.7 试验系统具有保持吸热器进口和出口温度恒定的能力，应避免吸热器进口温度的漂移。

### 8.2.8 保温

- 8.2.8.1 整个测试系统中的管道应采用隔热材料进行保温。
- 8.2.8.2 隔热材料宜采用硅酸铝保温棉，隔热材料的厚度应符合GB 50264的规定。
- 8.2.8.3 稳态条件下保温棉外表面与环境之间的温差应不超过15℃。
- 8.2.8.4 试验期间应关闭电伴热。

### 8.3 仪器与测量

#### 8.3.1 太阳辐射测量的条件

- 8.3.1.1 测量准确度应在 $\pm 1\%$ 以内，并采用符合ISO 9060规定的一级总辐射表对来自太阳和天空的全部辐射进行测量。
- 8.3.1.2 应采取适当措施防止湿气在总辐射表上凝结而影响其读数，总辐射表应带有易于检验的干燥剂，在每次测量前后都应对干燥剂进行观察，确认其有效。
- 8.3.1.3 应使用符合或优于GB/T 12936规定的一级直射辐射表进行测量。直射辐射表在进行数据采集前应放置于测试位置至少30分钟，使总辐射表与所处环境达到热平衡，防止温度梯度的影响。测量误差应在 $\pm 1\%$ 以内。
- 8.3.1.4 在试验期间，辐射表应不遮挡吸热器采光口。
- 8.3.1.5 辐射表应安装在能够接收到与吸热器相同直射辐射、散射辐射和反射辐射的位置，并防止定日镜和塔的遮挡。
- 8.3.1.6 在室外实验时，应将辐射表座体及其外露导线加以保护，避免太阳直射，应减少吸热器对总辐射表的反射和再辐射。

#### 8.3.2 传热工质进口和出口温度测量

- 8.3.2.1 应在吸热器稳定运行时测量其进口和出口传热介质温度。2分钟内，吸热器进口和出口温度波动范围不超过 $\pm 2^\circ\text{C}$ 即可视为达到稳定。
- 8.3.2.2 熔融盐吸热器中温度传感器的工作温度范围为 $200^\circ\text{C}\sim 800^\circ\text{C}$ ，水/蒸汽吸热器中温度传感器的最高工作温度应不低于 $650^\circ\text{C}$ ，温度测量的精确度应为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。
- 8.3.2.3 测量传热工质进口温度的传感器宜布置在进口缓冲罐与进口集箱之间，测量传热工质出口温度的传感器宜布置在出口集箱与出口缓冲罐之间。测量传热工质进口温度的传感器宜布置在进口缓冲罐内，测量传热工质出口温度的传感器宜布置在出口缓冲罐内，此时应考虑缓冲罐内不同高度的传热工质之间的温度差异。
- 8.3.2.4 传热工质温度测量点与吸热器进口和出口之间的管道应进行保温隔热，使其温差在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。
- 8.3.2.5 为了避免传热工质中的气体在传感器周围聚集，温度传感器所处管道中的传热工质最佳流向为上升方向。
- 8.3.2.6 温度传感器应装有隔热辐射装置，在温度传感器的前端还应装设一个弯头或混流器。

#### 8.3.3 环境温度测量

- 8.3.3.1 应将温度传感器安装在百叶箱中，百叶箱安放在防太阳直射、防风、防雨、透风自然的草坪上，安装高度为距地面1.5m。
- 8.3.3.2 测量环境温度时，温度传感器的测量范围应为 $-40^\circ\text{C}\sim 50^\circ\text{C}$ ，精确度应为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

#### 8.3.4 传热工质质量流量测量

8.3.4.1 采用流量计测量传热工质的质量流量，流量计应布置在进口缓冲罐和吸热器进口集箱之间，且应在流量计入口前安装过滤器。

8.3.4.2 流量计的量程应能满足整个系统的测试和运行要求，流量计的精确度应为 $\pm 2\%$ 。

8.3.4.3 当吸热器有多个传热工质通道时，吸热器的传热工质质量流量为各通道质量流量之和。

### 8.3.5 风速测量

8.3.5.1 利用风速仪测量地面空气流速，同时应在吸热塔上布置风速仪测量高空风速，吸热塔上的风速仪距离吸热器中心20m以内。

8.3.5.2 风速测量的精确度应为 $\pm 0.5\text{m/s}$ ，测量结果取测试期间的积分平均值。

### 8.3.6 压力测量

8.3.6.1 采用压力传感器测量传热工质的压力，应根据吸热器的最大工作压力合理选择压力传感器的量程。

8.3.6.2 压力传感器的精确度不得低于1.6级。

8.3.6.3 测量熔融盐吸热器的压力时，压力传感器应耐高温、耐腐蚀。

## 8.4 吸热器流动阻力试验

8.4.1 应测量传热工质流经吸热器过程中的压力损失与其质量流量之间的关系。

8.4.2 应采用压力传感器直接测量吸热器进口和出口位置的传热工质压力，并在稳定状态下读数。测试压力时，压力数值应在吸热器进口和出口压力波动2分钟内不超过 $\pm 50\text{Pa}$ 时读取。

8.4.3 试验完毕应给出吸热器压力损失与其质量流量之间的关系曲线或者数据表格。压力损失按照式(6)计算，其中 $P_{in}$ 和 $P_{out}$ 分别为吸热器进口和出口位置的压力。

$$\Delta p = p_{in} - p_{out} \dots\dots\dots(6)$$

## 8.5 吸热器额定功率试验

8.5.1 应测量吸热器在额定工况下运行时的传热工质质量流量、吸热器进口和出口的传热工质温度，额定功率按式(8)计算。

8.5.2 应同时记录定日镜场投入辐射能量、外界风速和环境温度。

8.5.3 所测额定功率与设计值之间的相对偏差不超过 $\pm 5\%$ 。

## 8.6 吸热器热效率试验

### 8.6.1 试验分组

8.6.1.1 以下试验以外置式吸热器为例进行。腔式吸热器可参考下述方法进行分组并进行热效率试验。

8.6.1.2 将定日镜场分为两组，每组相同数量的定日镜对称分散在吸热器周围。每一圈定日镜中，每间隔一面定日镜标记为黑色，其余的定日镜标记为白色，如图1所示。图中黑点为第1组定日镜，白点为第2组定日镜。吸热塔阴影对定日镜场效率的影响小于1%，其影响可以忽略。

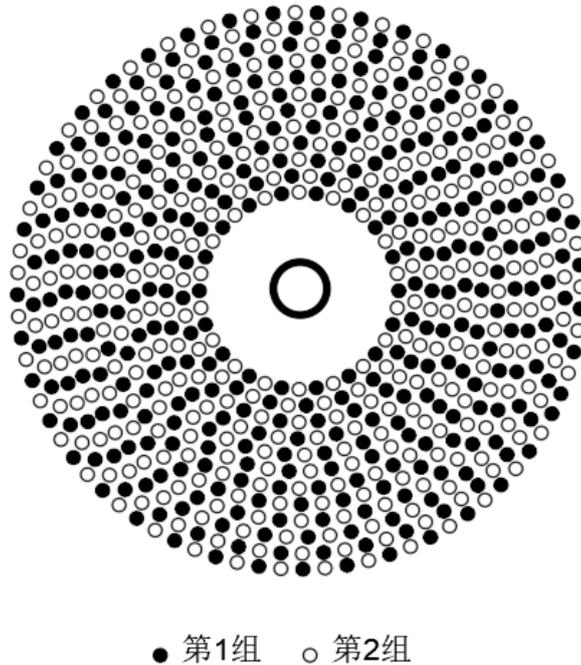


图1 定日镜场分布示意图

8.6.2 试验时间

在当地太阳时间11:30-12:30之间进行试验，其中期间A表示11:30-12:00，期间B表示12:00-12:30。

8.6.3 试验方法

8.6.3.1 试验之前，应预先确定吸热器的进口温度和出口温度。

8.6.3.2 期间 A 中，第 1 组和第 2 组定日镜都处于定日工作状态，调节传热工质的质量流量，使吸热器进口和出口温度传感器读数分别达到设定值，记为 $T_{in}$ 和 $T_{out}$ 。传热工质质量流量记为 $\dot{m}_A$ 。

8.6.3.3 期间 B 中，除去第 1 组定日镜，仅使第 2 组定日镜处于定日工作状态（也可以除去第 2 组定日镜，仅使第 1 组定日镜处于定日工作状态）。维持进口温度 $T_{in}$ 不变，调节传热工质质量流量，使吸热器出口温度传感器读数 $T_{out}$ 与期间 A 相同。传热工质质量流量记为 $\dot{m}_B$ 。

8.6.4 试验结果分析

下面仅给出吸热器热效率的计算方法，具体原理参见附录B。

吸热器热效率的计算方法为：

$$\eta = \frac{\alpha_{rcv}(P_{outpA} + 2P_{outpB})}{4(P_{outpA} - P_{outpB})} \dots\dots\dots(7)$$

$P_{outpA}$ 和 $P_{outpB}$ 分别表示期间A吸热器输出功率和期间B吸热器输出功率。 $\alpha_{rcv}$ 表示吸热体吸收率，按照式（5）计算。

吸热器的输出功率的计算方法为：

$$P_{outp} = \dot{m} (c_{out} T_{out} - c_{in} T_{in}) \dots\dots\dots(8)$$

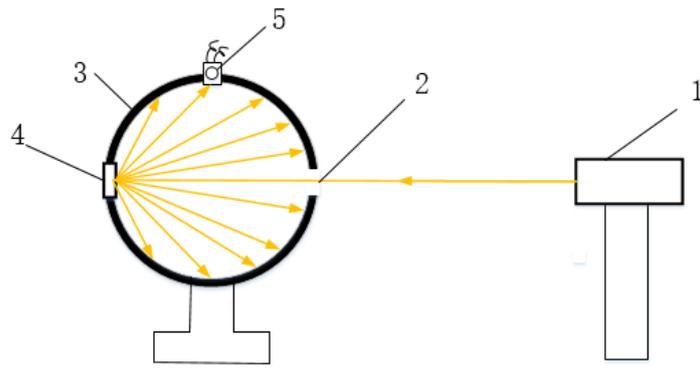
其中,  $c_{in}$  和  $c_{out}$  分别表示吸热器进口和出口对应温度下的传热工质比热容。 $T_{in}$  和  $T_{out}$  分别表示吸热器进口和出口的传热工质温度。

试验期间A和期间B分别表示吸热器全功率运行和半功率运行状态, 其应分别计算 $\eta_A$ 和 $\eta_B$ , 最后可采用期间A和期间B的算数平均值表示该试验条件下吸热器的整体热效率。

附录 A  
(资料性附录)  
涂层吸收率检测原理

利用积分球检测吸热器涂层的材料吸收率 $\alpha$ 的方法是通过检测涂层的材料反射率 $\rho$ 来测定其吸收率 $\alpha$ ，涂层的透射率为0，其吸收率可按式A.1计算：

$$\alpha = 1 - \rho \dots\dots\dots (A.1)$$



1. 分光光度仪 2. 进光孔 3. 积分球 4. 待测样品 5. 光电探测器

图A.1 积分球检测吸热器涂层吸收率的原理图

如图A.1所示，积分球是一个空心球，其内壁涂层具有漫反射特性。在积分球壁面上开有进光孔2，光源1发射的某种频率的光线穿过积分球壁面上的小孔首先到达涂层样品4。由于积分球内壁涂层具有漫反射特性，样品4反射的光线经过内壁面的多次反射之后均匀分布在积分球内壁面。

积分球内表面的光照度 $E$ 和入射光通量 $\Phi$ 满足如下关系：

$$E = \frac{\Phi}{4\pi r^2} \frac{\rho}{1-\rho_w} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$E$ 为积分球内表面的光照度， $\Phi$ 表示从小孔2照射到积分球内壁面的光通量； $r$ 表示积分球内半径； $\rho_w$ 表示积分球内壁面涂层的材料反射率， $\rho$ 为涂层样品的材料反射率。

光电探测器的读数 $I$ 与该位置的光照度成正比。采用同一入射光源分别对待测涂层样品的材料反射率和标准涂层样品的材料进行测试，可以得到式 A.3~A.6。

$$E_S = \frac{\Phi}{4\pi r^2} \frac{\rho_s}{1-\rho_w} \dots\dots\dots (A.3)$$

$$E_0 = \frac{\Phi}{4\pi r^2} \frac{\rho_0}{1-\rho_w} \dots\dots\dots (A.4)$$

$$I_S = k \cdot E_S \dots\dots\dots (A.5)$$

$$I_0 = k \cdot E_0 \dots\dots\dots (A.6)$$

其中 $k$ 为转换系数。

由以上关系式可得：

$$\frac{I_s}{I_0} = \frac{E_s}{E_0} = \frac{\rho_s}{\rho_0} \dots\dots\dots (A.7)$$

在实际测试过程中，根据已知材料反射率的标准涂层样品，根据式 A.7计算出待测样品的材料反射率：

$$\rho_s = \frac{I_s}{I_0} \cdot \rho_0 \dots\dots\dots (A.8)$$

其中， $\rho_s$ 和 $\rho_0$ 分别为待测涂层的材料反射率和标准涂层的材料反射率。 $I_s$ 和 $I_0$ 分别为测试待测涂层样品和标准涂层样品时光电探测器的仪表输出值。最后根据式（A.1）计算涂层的材料吸收率。

附录 B  
(资料性附录)  
吸热器热效率测试原理

如图1所示,将定日镜场分为两组,每组相同数量的定日镜对称分散在吸热器周围。每一圈定日镜中,每间隔一面定日镜标记为黑色,其余的定日镜标记为白色。图中黑点为第1组定日镜,白点为第2组定日镜。

在当地太阳时间11:30-12:30之间进行测试。

期间A:当地太阳时间11:30-12:00,第1组和第2组两组定日镜都处于定日工作状态,调节传热工质质量流量,吸热器进出口传热工质温度值分别记为 $T_{in}$ 和 $T_{out}$ 。测量并读取传热工质质量流量,记为 $\dot{m}_A$ 。

期间B:当地太阳时间12:00-12:30,除去第2组定日镜(或者第1组定日镜),仅使其中一组定日镜处于定日工作状态,维持进口温度 $T_{in}$ 不变,调节传热工质质量流量,使吸热器出口温度 $T_{out}$ 与期间A的吸热器出口温度相同。测量传热工质质量流量,记为 $\dot{m}_B$ 。

在稳态条件下,吸热器受热面的入射功率与吸热器反射的功率、输出功率和热损失功率具有如下关系:

$$P_{inc} = \rho P_{inc} + P_{outp} + P_{loss} \dots \dots \dots (B.1)$$

由于吸热体的透射可以忽略,故吸热体吸收率 $\alpha_{rcv}$ 和吸热体反射率 $\rho_{rcv}$ 具有如下关系:

$$\rho_{rcv} = 1 - \alpha_{rcv} \dots \dots \dots (B.2)$$

则:

$$\alpha_{rcv} P_{inc} = P_{outp} + P_{loss} \dots \dots \dots (B.3)$$

吸热器稳定运行时,在恒定的进口和出口温度及风速条件下,吸热器表面和整个吸热器的温度分布与入射功率之间的相关性较小,吸热器的散热损失基本不变。于是得到如下关系:

$$\alpha_{rcv} P_{incA} = P_{outpA} + P_{loss} \dots \dots \dots (B.4)$$

$$\alpha_{rcv} P_{incB} = P_{outpB} + P_{loss} \dots \dots \dots (B.5)$$

考虑到测试时间关于当地太阳时间12点的对称性,期间A和期间B的入射功率具有如下关系:

$$P_{incA} = 2P_{incB} \dots \dots \dots (B.6)$$

于是得到:

$$P_{outpA} + P_{loss} = 2P_{outpB} + 2P_{loss} \dots \dots \dots (B.7)$$

热损失可表示为:

$$P_{loss} = P_{outpA} - 2P_{outpB} \dots \dots \dots (B.8)$$

吸热器输出功率可以表示为:

$$P_{outp} = \dot{m} (c_{out} T_{out} - c_{in} T_{in}) \dots \dots \dots (B.9)$$

$c_{in}$ 和 $c_{out}$ 分别表示吸热器进口和出口的传热工质比热容。 $T_{in}$ 和 $T_{out}$ 分别表示吸热器进口和出口的传热工质温度。

热效率的定义为:

$$\eta = \frac{P_{outp}}{P_{inc}} \dots \dots \dots (B.10)$$

通过前面的推导可得期间A和期间B对应的热效率 $\eta_A$ 和 $\eta_B$ 为:

$$\eta_A = \frac{\alpha P_{outpA}}{P_{outpA} + P_{loss}} \dots \dots \dots (B.11)$$

$$\eta_B = \frac{\alpha P_{outpB}}{P_{outpB} + p_{loss}} \dots\dots\dots (B.12)$$

最后，可分别用 $\eta_A$ 和 $\eta_B$ 表示吸热器全功率和半功率运行时的热效率。也可采用期间A和期间B的算术平均值表示该测试条件下吸热器的整体热效率，即：

$$\eta = \frac{\eta_A + \eta_B}{2} \dots\dots\dots (B.13)$$

附录 C  
(资料性附录)  
涂层吸收率检测报告

### C.1 测试设备记录

表C.1 测试设备记录

类别	规格型号	生产厂家	精确度	备注
分光光度仪				
积分球			—	
光电探测器				

### C.2 特定波长下的测试数据记录

表C.2 特定波长涂层材料反射率检测数据

内容	符号及单位	数值或备注		
时间				
温度	T (°C)			
相对湿度	%			
压力	p (Pa)			
检测波长	$\lambda$ (nm)			
待测样品名称及生产厂家				
标准样品名称及生产厂家				
标准样品涂层的材料反射率	$\rho_0$			
标准样品的光电探测器读数		重复测试1	重复测试2	重复测试3
	$I_0$			
	$I_s$			
待测试样涂层反射率	$\rho_s$	重复测试1	重复测试2	重复测试3
		均值		

### C.3 全波段涂层材料吸收率检测数据

表C.3 全波段涂层材料吸收率检测数据

波长 (nm)	太阳直射光谱辐射度 (AM1.5D) $E_\lambda$	待测试样涂层反射率 $\rho$
300		
305		
310		
315		
...		
全波段	待测试样涂层反射率 $\rho$	待测试样涂层吸收率 $\alpha$
备注	应完整记录300nm-2500nm波长范围内的数据	

附录 D  
(资料性附录)  
热性能试验报告格式

吸热器热性能试验数据应按照以下格式进行记录。表中未涉及到的数据，如果有必要也可以记录。

### D.1 试验设备记录

表D.1 热性能试验设备

类别	名称	规格型号	生产厂家	精确度	备注
温度测量设备					
风速测量设备					
流量测量设备					
压力测量设备					
辐射测量设备					

### D.2 吸热器流动阻力试验数据

表 D.2 吸热器流动阻力试验数据

吸热器功率与额定功率的比值	传热工质质量流量 $\dot{m}$ (t/h)	进口压力 $p_{in}$ (Pa)	出口压力 $p_{out}$ (Pa)	压差 $\Delta p = p_{in} - p_{out}$ (Pa)
30%				
35%				
40%				
45%				
...				
100%				
105%				
110%				
备注	应完整记录宜为额定功率的30%~110%工况范围内的流动阻力试验数据			

### D.3 吸热器额定功率试验数据

表 D.3 吸热器额定功率试验数据

试验次数	环境温度 $T_{amb}$ (°C)	环境风速 (吸热器高度) $v_{air}$ (m/s)	外界直射辐射 DNI (W/m <sup>2</sup> )	入射功率 (镜场数据) $P_{inc}$ (MW)	传热工质质量流量 $\dot{m}$ (t/h)	进口温度 $T_{in}$ (°C)	出口温度 $T_{out}$ (°C)	输出功率 $P_{outp}$ (MW)
1								
2								

3								
4								
...								

## D.4 热效率试验数据记录

表 D.4 热效率试验数据

概况	测试日期			测试时间	
	测试地点			经纬度	
	吸热器（宽度、受热面长度），吸热管（外径、壁厚、材料）			天气条件	
测试数据记录	测试项目	符号	单位	期间 A	期间 B
	第一组定日镜				
	第二组定日镜				
	测试开始时间	$t_{start}$			
	测试结束时间	$t_{end}$			
	吸热器进口传热工质温度	$T_{in}$	°C		
	吸热器出口传热工质温度	$T_{out}$	°C		
	环境温度	$T_{air}$	°C		
	地面风速	$v_{air-g}$	m/s		
	塔上风速（注明距地面高度）	$v_{air-t}$	m/s		
	传热工质质量流量	$\dot{m}$	kg/s		
	涂层材料吸收率（常温）	$\alpha$			
	温度修正系数	$K_T$			
	角度修正系数	$K_\theta$			
	结构修正系数	$K_{rcv}$			
	输出功率	$P_{outp}$	W		
吸热器热效率	$\eta_{rcv}$				
备注					

附录 E  
(资料性附录)

# 检测报告

(报告编号)

产品名称: \_\_\_\_\_  
委托单位: \_\_\_\_\_  
生产单位: \_\_\_\_\_  
检测类别: \_\_\_\_\_

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX检验中心  
XXXXX年XX月XX日

### 注 意 事 项

1. 报告无“检测报告专用章”或检验单位公章无效。
2. 未经本中心书面批准不得复制本检验报告（完整复制除外）。
3. 检测报告无主检、审核、批准人签字无效。
4. 检测报告涂改无效。
5. 对检测报告若有异议，应于收到报告之日起十五日内向检测单位提出。
6. 检测报告仅对委托检验样品负责。

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX检验中心

## 检测报告

报告编号：

共 页 第 页

产品名称				商标	
规格型号				生产日期/批号	
委托单位名称及 联系电话					
委托单位地址					
生产单位名称及 联系电话					
任务来源					
送样日期		送样人员		样品到达日期	
样品数量		抽样基数		检查封样人员	
样品等级		样品/抽样单编号		样品状态	
检验开始日期			检验结束日期		
检验依据					
检验项目					
检验结论	(以下空白)				
	检测单位公章 签发日期：      年    月    日				
备注					

批准：

审核：

主检：