

# GRLM

## 国家太阳能光热产业技术创新战略联盟标准

T/GRLM 16-2020

---

### 抛物面槽式吸热管光学效率测试方法

Test Method for Optical Efficiency of Parabolic Trough Receiver

2020-08-21 发布

2020-09-21 实施

---

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟 发布

# 目次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语与定义.....	1
4 吸热管光学效率测试试验台及场所.....	2
5 测试仪器.....	4
6 光学效率测试试验步骤.....	4
7 光学效率的计算.....	5
8 测试报告.....	5

## 前 言

本标准依据《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写》（GB/T 1.1-2009）给定的规则起草。

本标准某些内容可能涉及专利，本标准发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由国家太阳能光热产业技术创新战略联盟提出。

本标准由国家太阳能光热产业技术创新战略联盟归口并解释。

本标准系首次提出并制定。

本标准起草单位：有研工程技术研究院有限公司、中国科学院电工研究所、山东力诺瑞特新能源有限公司、常州龙腾光热科技股份有限公司。

本标准主要起草人：杜淼、于庆河、米菁、郝雷、雷东强、李世杰、李帅、王吉宁、徐立、马光柏、俞科、胡桥、孟庆言，韩莹，刘文晋，方全喜。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至国家太阳能光热产业技术创新战略联盟秘书处（地址：北京市海淀区中关村北二条6号，100190，网址：<http://www.cnste.org>，邮箱：[cnste@vip.126.com](mailto:cnste@vip.126.com)）。

# 抛物面槽式吸热管光学效率测试方法

## 1 范围

本标准规定了抛物面槽式吸热管（以下简称吸热管）在室内进行光学效率的测试试验方法及计算程序。

本标准适用于太阳能热发电系统中应用的吸热管，其他玻璃-金属封接结构的吸热管可参照执行。

本标准不适用于全玻璃真空太阳集热管。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是标注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。

GB/T 26972—2011 聚光型太阳能热发电术语

ISO 9488: 1999 太阳能术语

## 3 术语与定义

GB/T 26972—2011 和 ISO 9488: 1999 确立的以及下列术语和定义适用于本测试方法。

### 3.1 太阳模拟器 solar simulator

太阳模拟器是用来模拟太阳光的设备，主要包含光源、供电及控制电路、计算机等组成部分。

### 3.2 有效利用率 effective availability

吸热管的有效利用率为规定温度条件下，太阳辐射在吸热管长度方向上能够达到吸热管选择性吸收膜层的长度占吸热管总长度之比。即吸热管总长度  $L_{all}$  减去吸热管端部到遮光环外壁面的长度  $L_{sheld}$  与吸热管在该温度下总长度  $L_{all}$  之比，有效利用率  $\sigma$  的计算公式为：

$$\sigma = (L_{all} - 2L_{sheld}) / L_{all} \quad (1)$$

### 3.3 参比样管 reference sample receiver

本标准规定在室温条件下采用无增透膜层的玻璃外管（透光率在 91.5%），金属内管膜层吸收率 95% 左右、25℃ 时有效利用率为 96.5% 的集热管作为参比样管，参比样管经德国宇航中心（DLR）测试光学效率约为 84%，误差在 ±1% 之内。参比样管至少 2 根以上，其仅用于测试光学效率使用，平时避光封闭保存，暂不考虑其衰减率。

### 3.4 测试周期 test period

对于每次测试，维持稳态的时间。

### 3.5 光学效率 optical efficiency

吸热管的光学效率为吸热管吸收的辐射能量占投射到吸热管整管表面的总辐射能量之比。具体光学效率  $\eta_{opt}$  的计算公式为：

$$\eta_{opt} = \tau \times \alpha \times \sigma \quad (2)$$

其中， $\tau$  为吸热管的玻璃管透光率， $\alpha$  为吸热管的选择性吸收膜层吸收比， $\sigma$  为吸热管的有效利用率。

## 4 吸热管光学效率测试试验台及场所

### 4.1 吸热管光学效率测试试验台

吸热管光学测试试验台包括太阳模拟光源、椭圆聚光器和测温系统三部分。

#### 4.1.1 太阳模拟光源

采用的太阳模拟光源为 HMI 金属卤素灯或氙灯，其光谱与太阳光光谱比较接近。测试中为达到足够的热流密度，采用的太阳模拟光源总功率范围不低于 6kW，且需保证供电电压稳定。该灯的灯芯部分要求放置于椭圆聚光器的一个焦线上，均匀分布。此灯从开启到稳定需要 15-20 分钟，20 分钟后才能开展测试记录。

太阳模拟光源光谱需要定期测试，其光谱分布与空气质量 AM=1.5 时太阳光谱分布需近似相同，并测试其稳定性。

#### 4.1.2 椭圆聚光器

椭圆聚光器根据吸热管结构尺寸和太阳模拟光源的结构尺寸设计，其总长度要求超过吸热管长度至少 400mm，反射镜面材料可采用玻璃镜或镜面铝，要保障吸热管安装方便，聚光精度要求不低于 3.5mrad，镜面反射率不低于 92%。

#### 4.1.3 光学效率测试平台

光学效率测试平台在位于焦线的聚光光斑宽度要小于金属内管直径，其平均聚光辐照度不低于 0.5kW/m；稳定测试时，各处聚光辐照度与其轴向上平均聚光辐照度相差不超过±10%，聚光辐照度在 10s 间隔内变化不超过平均聚光辐照度的±5%。

吸热管安装误差小于±2mm。

#### 4.1.4 测温系统

测温系统采用不低于±0.1℃的热电阻，测进、出口温度要求 3 个热电阻测点，为保证测量精度，管进出口两端的 3 个温度传感器在同一圆周平面上间隔 120°分布，测试中心位置。

测试环境温度的温度传感器要求距离测试平台至少 1m，高度距离地面不低于 0.8m。

测试聚光器内温度传感器要求具有辐射遮热罩。

位于椭圆聚光器内的测试管路需采用保温及辐射遮热罩。

测试工质为水，水工质进口温度稳定，温度波动 30 分钟内变化 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。管路系统局部可采用软管，具体见水循环测试系统参考图 1，图中标注“保温水箱”为供水水箱，标注“水箱”为回水水箱，其它见图 1 所示。

吸热管内部为了增加管内换热系数，采用导流管放置在吸热管内，导流管要求与吸热管同心布置。

流量计满足 0.2%的精度，按照与吸热面积或管的长度关系设置流量值，测试周期内，实际流量值变化不超过平均流量值的 $\pm 10\%$ 。

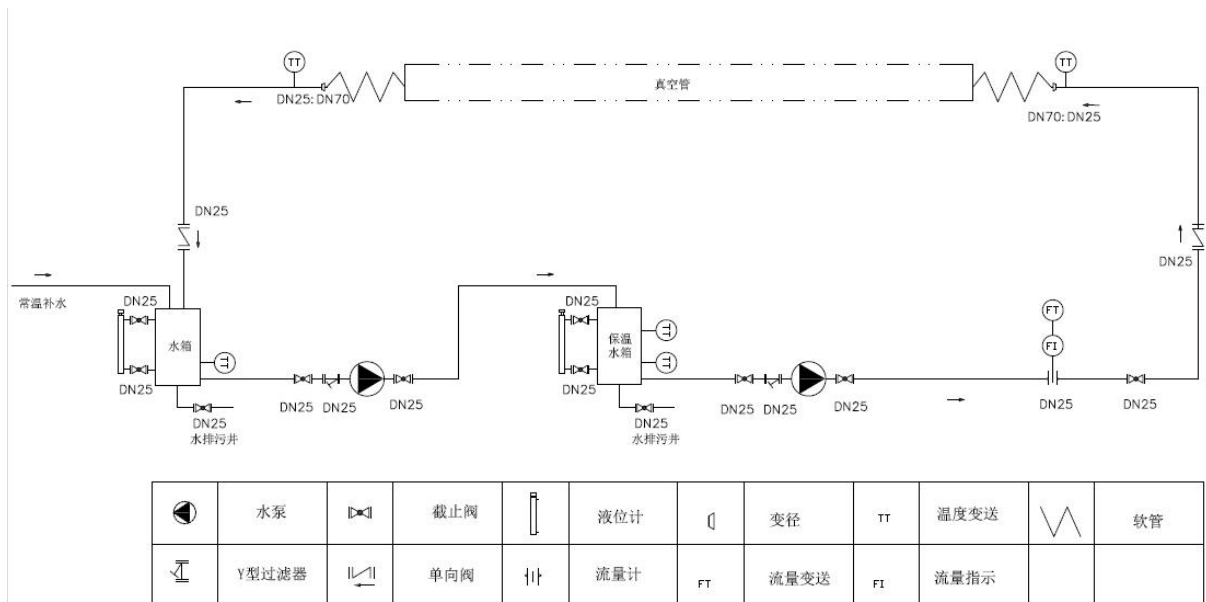


图 1 水循环系统参考图

#### 4.2 试验场所

应尽可能排除和减少外界因素对测试的影响，测试应原则上满足稳态传热条件。宜在太阳模拟器开启后 20 分钟后测定。

应在无风室内条件下进行测定，如不能满足时应增加挡风装置。

环境温度应距离测试平台至少 1m 测得，并应避免气体热源的影响。

太阳模拟器要求操作人员穿戴工作服和防辐射墨镜。整个测试平台应放置在独立实验室，避免对其他物体照射。

## 5 测试仪器

### 5.1 温度传感器

吸热管进出口测温的热电阻要求温度精度不低于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，其余温度传感器精度要求不低于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

### 5.2 流量计

流量计要求精度达到 $\pm 0.5\%$ 。

### 5.3 其他技术要求

用于读取各温度值和流量值的输出指示仪表，其准确度应与所用的传感器准确度相匹配。

所有测量设备及测试仪表要求按照规定定期到相关部门或自行进行检定和校核。

## 6 光学效率测试试验步骤

### 6.1 吸热管安装

吸热管在登记编号后，放置在测试平台支架上的固定位置，避免吸热管的尾管朝向聚光侧。然后插入导流管，与管路系统进行连接，并在两端安装遮光罩。

采用软面纱布擦洗干净玻璃管表面、椭圆聚光器和 HMI 金属卤素灯。

### 6.2 测试检查

打开测温系统和水泵，检查温度传感器和流量计是否存在问题，检查系统是否漏水。

### 6.3 测试步骤

- 1) 测量并记录两端部被遮光区域长度  $L_{shield}$ ;
- 2) 打开电源，开启水泵，调整水泵流量;
- 3) 开启数据采集设备，检查各测温热电阻的温度值是否正常，进、出口热电阻之间温度差不超过  $0.3^{\circ}\text{C}$ ，进口温度应与环境温度相差不超过 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，开始测试流量计流量数据、供水水箱温度数据、环境温度数据;
- 4) 开启太阳模拟器电源，检查太阳模拟器稳定性;
- 5) 20 分钟后，开始采集记录进出口水温度、流量、环境温度数据;
- 6) 待出口温度与其平均温度变化小于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}/10$  分钟，测试视为温度稳定，进入稳态测试周期;
- 7) 维持稳态测试周期，此数据采集时间至少 20 分钟，完成后单独保存记录该数据表格;
- 8) 测试完成，先关闭太阳模拟器，再关闭水泵，排放吸热管内水，关闭电源，并开始更换吸热管为参比样管，继续测试，重复步骤 1) - 步骤 7)，参比样管完成测试后，处理数据，完成光学效率测试试验报告。

## 7 光学效率的计算

### 7.1 工质进口平均温度 $\bar{T}_{in}$

工质进口平均温度为 3 个热电阻测试温度的平均值：

$$\bar{T}_{in} = \frac{T_{in,1} + T_{in,2} + T_{in,3}}{3} \quad (1)$$

### 7.2 工质出口平均温度 $\bar{T}_{out}$

$$\bar{T}_{out} = \frac{T_{out,1} + T_{out,2} + T_{out,3}}{3} \quad (2)$$

### 7.3 管内工质吸收的能量 $P_{coll}$

$$P_{coll} = \dot{m} \times C \times (\bar{T}_{out} - \bar{T}_{in}) \quad (3)$$

其中， $\dot{m}$  为吸热管内工质流量质量流量，C 为水在该测试温度范围内的平均比热。

### 7.4 吸热管的光学效率：

$$\eta_{opt,sample} = \frac{P_{coll,sample} \times \eta_{opt,reference}}{P_{coll,reference}} \quad (4)$$

其中， $\eta_{opt,sample}$  为所测试吸热管的光学效率， $P_{coll,sample}$  为被所测试吸热管管内工质吸收的能量， $\eta_{opt,reference}$  为参比样管的光学效率， $P_{coll,reference}$  为被参比样管管内工质吸收的能量。

## 8 测试报告

测试报告应包括测试概括、基本测试信息、测试数据处理及计算、评价结论及建议等。

### 8.1 测试概括

主要包括测试目的、测试方法、测试设备及测试对象、测试参数、测试方法及测点布置等。

### 8.2 测试基本信息应包括

基本测试信息			
制造商		两端遮光部分长度	
吸热管编号		送样日期	
吸热管长度		测试数量	
吸热管内管外径		测试日期	
吸热管内管壁厚		测试人	



### 8.3 测试数据处理及计算

吸热管编号	$\bar{T}_{in}$ (°C)	$\bar{T}_{out}$ (°C)	$T_a$ (°C)	$T_{ell}$ (°C)	$\dot{m}$ (m <sup>3</sup> /h)	$P_{coll}$ (kW)	$\eta_{opt}$ (%)	测试日期
测试样管								
参比样管								

---