

GRLM

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟标准

T/GRLM xx-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 Tube

(征求意见稿)

2020-xx-xx 发布

2020-xx-xx 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. 术语和定义.....	1
4. 测试原理.....	2
5. 测试仪器.....	3
6. 吸热管光学效率测试试验台及场所.....	3
7. 光学效率测试试验步骤.....	5
8. 光学效率的计算.....	5
9. 测试不确定度.....	6
10. 测试报告.....	7
11. 标志、包装、运输和贮运.....	7

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...

本标准主要起草人：于庆河、杜淼、米菁、郝雷、李世杰、雷东强、徐立...

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）。

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。

本标准适用于槽式太阳能热发电系统中应用的吸热管、中低温槽式太阳能热利用系统中的吸热管及其他直通式玻璃-金属内管结构的吸热管。本标准不适用于全玻璃太阳能真空集热管、玻璃-金属封接式热管集热管。

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 26972—2011 聚光型太阳能热发电术语

ISO 9488: 1999 太阳能术语

ElliRec Elliptical Solar Simulator Test Description, V 3.2, DLR QUARZ.

3 术语和定义

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

有效利用率 **active utilization rate**

吸热管的有效利用率为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在该温度下总长度之比。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，具体有效利用率 σ 的计算公式为：

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

3.2

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 η_{opt} 的计算公式为:

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

其中, τ 为吸热管的玻璃管透光率, α 为吸热管的选择性吸收膜层吸收比, σ 为吸热管的有效利用率。

3.3

标准样管 standard sample receiver

本测试方法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、有效利用率为 96.5%的集热管作为标准样管,其光学效率为 84%,误差在 $\pm 1\%$ 之内。

4 测试原理

4.1 椭圆反射原理

本光学效率测试原理基于椭圆反射原理,即从椭圆的一个焦点上发出的光线,其反射光线必经过另一个焦点的原理,如图 1 所示。

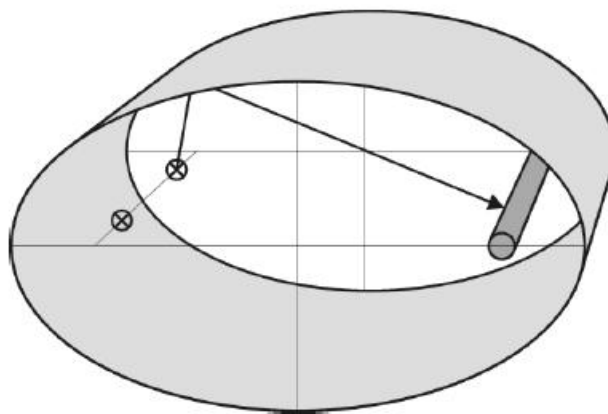


图 1 椭圆反射原理

本测试采用太阳模拟器模拟太阳光源,避免了太阳辐射的不确定性和间歇性能。将太阳模拟器放置在椭圆形聚光器的一个焦线上,吸热管放置在另一个焦线上,太阳模拟器发出的光线大部分将反射聚集到吸热管上。

4.2 能量平衡原理

本光学效率测试方法基于能量平衡原理,在槽式太阳能集热器中,太阳辐射经反射镜反射聚焦投射到吸热管的能量为 P_{in} ,被吸热管管内工质吸收的能量为 P_{call} ,吸热管损失到环境中的能量为 P_{loss} ,吸热管的光学效率为 η_{opt} ,因此根据能量平衡方程得:

$$P_{coll} = P_{in} * \eta_{opt} - P_{loss} \quad (3)$$

因此，当吸热管的管内工质温度不超过环境温度，则吸热管损失到环境的能量可以忽略，此时：

$$P_{coll} = P_{in} * \eta_{opt} \quad (4)$$

测试出管内工质吸收的能量 P_{coll} 和投射到吸热管的能量 P_{in} ，则可以获得吸热管的光学效率。

4.3 测试原理

吸热管光学效率测试平台采用椭圆聚光器将位于其焦线的太阳模拟光源能量反射聚集到位于其另一焦线的吸热管上，通过测试处于环境温度下的吸热管进出口温升得出吸热管的得热量。但由于本测试采用太阳模拟器，其投射到吸热管的能量难以准确获得，因此本测试采用对比的方法进行。即在相同的测试环境下，测试两支吸热管的管内工质吸收掉能量，其中一支吸热管为标准样管。由于太阳模拟器功率相同，因此通过所测试吸热管与标准样管的管内工作能量之比，可以获得所测试吸热管的光学效率：

$$\eta_{opt, sample} = \frac{P_{coll, sample} * \eta_{opt, IEE-PTR7}}{P_{coll, IEE-PTR70}} \quad (5)$$

5 测试仪器

5.1 热电阻

热电阻要求精度达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，所有热电阻要求进行标定。

5.2 流量计

流量计要求精度达到 $\pm 0.2\%$ 。

5.3 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。

5.4 所以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 吸热管光学效率测试试验台及场所

6.1 吸热管光学效率测试试验台

吸热管光学测试试验台分为太阳模拟光源、椭圆聚光器和测温系统三部分。

6.1.1 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要求不低于 10KW，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 15-30 分钟，之后才能开展测试记录。

太阳模拟光源光谱需要预先进行测试，检测其光谱与太阳光谱的差距，测试其稳定性。

6.1.2 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，其长度要求至少 4.5m，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，镜面反光率不低于 92%，位于焦线的聚光光斑宽度小于 60mm。

采用的椭圆聚光器长度不低于 4.5m，吸热管安装误差小于 ±2mm。

6.1.3 测温系统

测温系统采用精度高于 ±0.1℃ 的热电阻，测进、出口温度要求 3 个热电阻测点。3 个测温点间隔 120° 分布在同一圆周面上，测试中心位置。

测试环境温度的热电阻要求距离测试平台至少 1m 以上。

测试聚光器内温度热电阻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。

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，导流管外径 50mm，导流管与吸热管间距 7mm，在导流管上有导流翅片，翅片间距 200mm，高 5mm。

测试工质为水，要求具有恒温水箱，水工质进口温度稳定，温度波动 1 小时内小于 0.1℃。其中，供水水箱要求保温层厚度至少 50mm，体积不低于 2m³，出水到回水水箱，其体积不低于 2m³，管路系统局部可采用软管，具体见水循环测试系统图 2 所示。

位于椭圆聚光器的测试管路及部件需采用保温及辐射遮热罩。

流量计满足 0.2% 的精度，泵流速在 200-1000L/h。

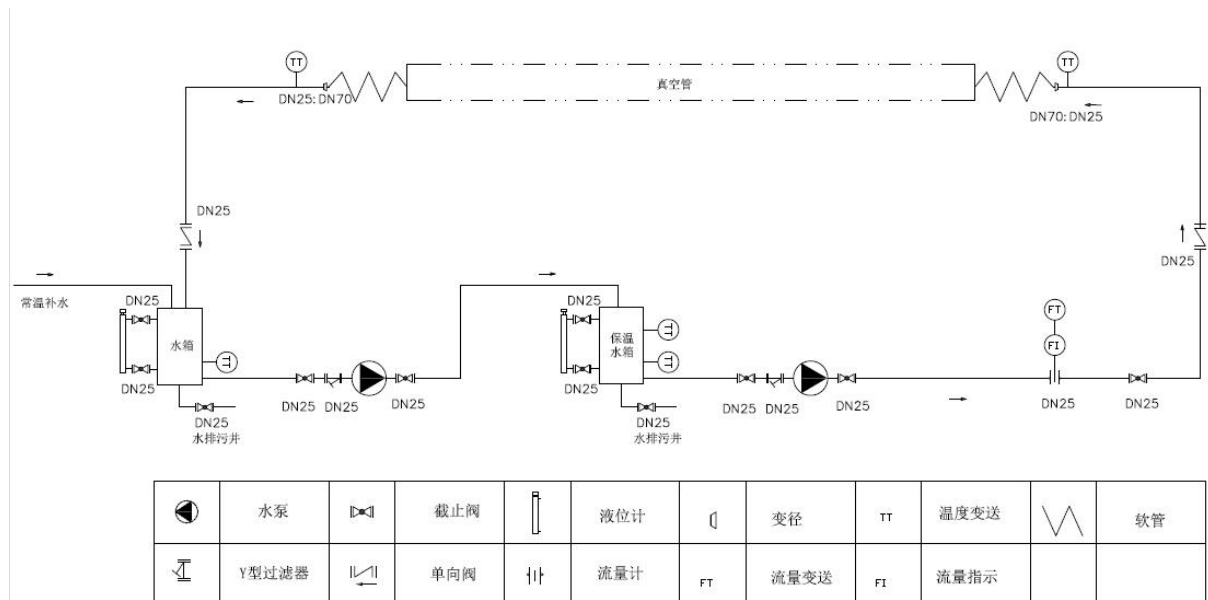


图 2 水循环系统图

6.2 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。

应在风速不大于 0.5m/s 的条件下进行测定，如不能满足时应增加挡风装置。

环境温度应距离吸热管位置 1m 外测得，并应避免气体热源的影响。

太阳模拟器长期照射会晒伤人体皮肤，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。

7 光学效率测试试验步骤

7.1 吸热管安装

吸热管取样要求从生产线上随机抽取至少 3 支吸热管，在吸热管在标记编号后，放置在测试平台支架上的固定位置，插入导流管，并在两端安装遮光罩，采用软面纱布清洗干净玻璃管表面。

7.2 测试检查

打开测温系统和水泵，检查吸热管热电阻和流量计是否存在问题，检查系统是否漏水。

7.3 测试步骤

1) 测试前 24 小时，将供水水箱装满水，并监测水温度；擦洗干净反射镜和 HMI 金属卤素灯；记录吸热管两端部遮挡长度 L_{sheld} ；

2) 开启水泵，调整流量；

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 0.1°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，功率设定不低于 6KW，检查太阳模拟器稳定性；

5) 30 分钟后，开始采集记录进出口水温度、流量、环境温度数据；

6) 待进、出口温度变化小于 $0.1^{\circ}\text{C}/10$ 分钟，测试视为温度稳定。

7) 维持稳态测试状态，此数据采集时间 10 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，并开始更换吸热管为标准吸热管，继续测试，重复步骤 2) - 步骤 7)，标准吸热管完成测试后，处理数据，完成光学效率测试试验报告。

8 光学效率的计算

8.1 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：

$$\bar{T}_{in} = \frac{T_{in,1} + T_{in,2} + T_{in,3}}{3} \quad (6)$$

8.2 工质出口平均温度 \bar{T}_{out}

$$\bar{T}_{out} = \frac{T_{out,1} + T_{out,2} + T_{out,3}}{3} \quad (7)$$

8.3 管内工质吸收的能量 P_{coll}

$$P_{coll} = \dot{m} * C * (\bar{T}_{out} - \bar{T}_{in}) \quad (8)$$

其中， \dot{m} 为吸热管内工质流量质量流量， C 为水工质在该测试稳定性的比热。

8.4 吸热管的光学效率：

$$\eta_{opt,sample} = \frac{P_{coll,sample} * \eta_{opt,IEE-PTR7}}{P_{coll,IEE-PTR70}} \quad (9)$$

9 测试不确定度

9.1 不确定度来源

测试结果的不确定度来源于随机误差和系统误差两部分。其中系统误差主要包括测试仪器、所用的热电阻及流量计的精度。

9.2 不确定度的计算步骤

1) 根据被测量的函数式定性分析影响每个可直接测量的量 x_i 的所有误差来源；

2) 求出所有的直接测量量的随机误差和系统误差；

3) 根据被测量的函数式求出所有的传播系数 $\left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|$ ，利用公式：

$$U_f^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \Delta x_i^2 \quad (6)$$

分别求出总的随机误差 U_A 和系统误差 U_B 。

4) 总误差的计算公式如下：

$$U_{total} = \pm \sqrt{U_B^2 + (2 \cdot U_A)^2} \quad (7)$$

利用上面的步骤，计算吸热管光学效率测试平台的各项误差，包括温度误差和流量误差、光学效率误差。

9.3 精度要求

光学效率两次重复测试不确定度要求小于 $\pm 0.4\%$ 。

热电阻的测量精度要求在 0-100℃ 范围内，精度达到 ±0.1；

吸热管安装位置误差小于 ±2mm。

10 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、测试不确定度、评价结论及建议等。

10.1 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。

10.2 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	

10.3 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 ³ /h)	P_{coll} (KW)	η_{opt} (%)	测试日期
样管								
标准 PTR70								

10.4 测试不确定度

所测温度 不确定度	\bar{T}_{in} (°C)	\bar{T}_{out} (°C)	T_a (°C)	T_{ell} (°C)	\dot{m} (m ³ /h)	η_{opt} (%)
样管						
标准 PTR70						

10.5 评价结论及建议

结合测试结果，分析吸热管的光学效率，给成评价结论与建议。

11 标志、包装、运输和贮运

11.1 产品标志

产品上应有商标。

11.2 包装

11.2.1 包装方法应采用箱装，包装箱符合GB/T13384的规定，包装同时满足要求：

- 1) 集热管包装箱应符合相应承重能力和耐压强度。
- 2) 集热管两端的金属管采用木质工装固定，其长度、强度、结构应符合该规格产品尺寸等。
- 3) 应在包装箱内附产品说明书、随机备附件清单。

11.2.2 包装箱的标志图样应符合GB/T191的规定

11.2.3 包装箱上还应包括以下内容：

- 1) 制造厂商和地址；
- 2) 产品名称；
- 3) 商标；
- 4) 产品标记；
- 5) 产品数量；
- 6) 外形尺寸（长*宽*高）；
- 7) 整箱的质量；
- 8) 制造日期
- 9) 生产批号

11.3 运输

产品在装卸和运输过程中，不得遭受强烈颠簸、震动、不得受潮、雨淋。包装箱顺着车体方向装卸，运输途中避热、避潮湿，防止碰伤和化学腐蚀。

11.4 贮存

产品应存放在通风、干燥的仓库内。产品不得和易燃品及化学腐蚀物品混放。
