

中华人民共和国国家标准

GB XXXXX—XXXX

真空太阳集热管性能试验方法

Test method for evacuated solar collector tube

(ISO 22975-1:2016)

等同采用

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 录

前 言.....	IV
引 言.....	V
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 分类与试验项目列表.....	2
5 材料试验.....	3
5.1 结石和节瘤检查.....	3
5.1.1 一般规定.....	3
5.1.2 试验条件.....	3
5.1.3 试验设备.....	3
5.1.4 试验步骤.....	3
5.1.5 检测结果.....	4
5.2 擦伤.....	4
5.2.1 一般规定.....	4
5.2.2 试验条件.....	4
5.2.3 试验设备.....	4
5.2.4 试验步骤.....	4
5.2.5 试验结果.....	5
5.3 透过率.....	5
5.3.1 一般规定.....	5
5.3.2 试验条件及设备.....	5
5.3.3 试验步骤.....	5
5.3.4 试验结果.....	5
5.4 吸收率.....	5
5.4.1 一般规定.....	5
5.4.2 试验条件和设备.....	6
5.4.3 试验步骤.....	6
5.4.4 试验结果.....	6
5.5 半球发射比.....	6
5.5.1 一般规定.....	6
5.5.2 试验条件.....	6

5.5.3	试验设备和试验步骤	6
6	真空集热管的耐久性试验	7
6.1	真空性能	7
6.1.1	一般规定	7
6.1.2	试验条件和设备	7
6.1.3	试验步骤	8
6.1.4	试验结果	8
6.2	耐热冲击	8
6.2.1	一般规定	8
6.2.2	试验条件和设备	8
6.2.3	试验步骤	9
6.2.4	试验结果	9
6.3	耐撞击	9
6.3.1	一般规定	9
6.3.2	试验原理	9
6.3.3	试验步骤	9
6.3.4	试验结果	9
6.4	耐压	9
6.4.1	一般规定	10
6.4.2	试验条件和设备	10
6.4.3	试验步骤	10
6.4.4	试验结果	10
7	真空集热管的性能试验	10
7.1	空晒性能参数测定试验	10
7.1.1	一般规定	10
7.1.2	试验条件	10
7.1.3	试验装置	10
7.1.4	试验步骤	12
7.1.5	试验结果	12
7.2	全玻璃真空集热管升温太阳辐照量测定试验	12
7.2.1	一般规定	12
7.2.2	试验条件	12
7.2.3	试验装置	12
7.2.4	试验步骤和试验结果	13
7.3	全玻璃真空集管平均热损系数测定试验	13
7.3.1	一般规定	13
7.3.2	试验条件	13

7.3.3	试验装置	13
7.3.4	试验步骤	14
7.3.5	试验结果	14
附录 A	(资料性附录) 真空集热管结构	15
A.1	全玻璃真空太阳集热管的结构	15
A.2	玻璃—金属封接真空太阳集热管结构	16
附录 B	(规范性附录) 试验报告	17
B.1	基本信息	17
B.2	样品描述	17
B.3	材料试验	17
B.3.1	结石和节瘤检查	18
B.3.2	擦伤检查	18
B.3.3	透过率试验	18
B.3.4	吸收率试验	18
B.3.5	半球发射比试验	19
B.4	耐久性试验	19
B.4.1	耐久性试验的主要结果汇总	19
B.4.2	真空性能试验	19
B.4.3	耐热冲击试验	20
B.4.4	耐撞击试验	20
B.4.5	耐压试验	21
B.5	性能试验	21
B.5.1	空晒性能参数测定	21
B.5.2	全玻璃真空集热管升温太阳辐照量测定	22
B.5.3	平均热损系数测定	22
附录 C	(规范性附录) 全玻璃真空太阳集热管的吸热管外表面积	24
C.1	全玻璃真空太阳集热管的吸热管外表面积计算方程	24
	参考文献	26

前 言

本标准按照 GB/T1.1-2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 22975-1:2016《太阳能-集热器部件与材料-真空太阳能集热管的耐久性能与性能》（英文版）

本标准由全国太阳能标准化技术委员会（SAC/TC402）提出并归口。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

引 言

ISO 22975 的本部分适用于所用类型的真空太阳集热管，包括全玻璃真空太阳集热管和玻璃—金属封接式真空太阳集热管。

ISO 22975 的本部分给出了真空太阳集热管罩玻璃管结石及节瘤的试验方法。

ISO 22975 的本部分给出了真空太阳集热管耐久性的试验方法，包括真空性能、耐热冲击、耐撞击，耐压性能，并详细规定了每项试验的一般规定、试验条件、试验装置、试验步骤和试验结果。

ISO 22975 的本部分还给出了真空太阳集热管的性能试验方法，包括空晒性能参数、全玻璃真空集热管的闷晒太阳辐照量和平均热损因数。每项性能试验均详细规定了一般规定、试验条件、试验装置、试验步骤和试验结果。

太阳能集热器性能试验方法

1 范围

ISO 22975 的本部分规定了真空太阳集热管材料、耐久性能和性能的定义和试验方法。

ISO 22975 的本部分适用于所有类型的真空太阳集热管。

2 规范性引用文件

下列引用文件的全文或部分条文对于应用本标准是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅该年版本适用于本标准；凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

ISO 9488 太阳能术语

ISO9845-1 太阳能 地面不同接收条件下的日射光谱辐照度 第 1 部分:大气质量 1.5 的法向直接日射和半球向日射辐照度

3 术语和定义

ISO 9488 中的术语和定义以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

全玻璃真空太阳集热管 double-glass evacuated tube

真空管型太阳能集热器的组成部件，其内管和罩管均为玻璃材质。

3.2

玻璃—金属封接式真空太阳集热管 glass-metal sealed evacuated tube

真空管型太阳能集热器的组成部件，其中吸热体与金属流道紧密连接，通过特殊的玻璃-金属封接工艺密封在罩玻璃管内。

3.3

结石 stone

真空集热管玻璃体中的固态夹杂物

3.4

节瘤 knot

真空集热管玻璃体中的透明夹杂物。

3.5

擦伤 scratch

玻璃管表面的磨损或破裂。

3.6

真空夹层 vacuum jacket

真空集热管中罩玻璃管与吸热体之间的区域,其空气压强足够低,可以忽略空气的导热和对流换热。

3.7

闷晒 stagnation

真空集热管内无工作流体通过,真空集热管的温度由太阳辐照度决定的状态。

3.8

空晒温度 exposure temperature

在一定状态下,真空集热管在规定的太阳辐照度下可达到的最高温度。对于全玻璃真空集热管,测量管内只有空气时的温度;对于直流式热管真空集热管,测量真空管流道充满空气时的温度;对玻璃-金属封接式热管真空集热管,测量保温状态下热管冷凝段的表面温度。

3.9

空晒性能参数 exposure parameter

空晒温度与环境温度之差与太阳辐照度的比值。

3.10

升温太阳辐照量 sum of solar irradiation for temperature increase

全玻璃真空太阳集热管内的水升高预设范围温度所需的太阳辐照量。

注:本条术语仅适用于全玻璃真空集热管。

3.11

平均热损系数 average heat loss coefficient

无太阳辐射作用时,单位吸热管外表面散失的热量与真空管内热水温度和环境温度之差的比值。

注:本条术语仅适用于全玻璃真空集热管。

4 分类与试验项目列表

根据吸热体材料类别,真空太阳集热管大致可分为两类:

- (a) 全玻璃真空太阳集热管，见图 A.1；
 (b) 玻璃—金属封接式真空太阳集热管，见图 A.2。
 两类真空集热管的试验项目见表 1。

表 1— 试验项目列表

真空集热管类别	试验项目
全玻璃真空太阳集热管，玻璃—金属封接式真空太阳集热管	5.1 结石和节瘤检查
全玻璃真空太阳集热管，玻璃—金属封接式真空太阳集热管	5.2 擦伤检查
全玻璃真空太阳集热管，玻璃—金属封接式真空太阳集热管	5.3 透过率
全玻璃真空太阳集热管	5.4 吸收率
全玻璃真空太阳集热管	5.5 半球发射比
全玻璃真空太阳集热管	6.1 真空性能
全玻璃真空太阳集热管	6.2 耐热冲击
全玻璃真空太阳集热管，玻璃—金属封接式真空太阳集热管	6.3 抗机械冲击
全玻璃真空太阳集热管，玻璃—金属封接式真空太阳集热管	6.4 耐压
全玻璃真空太阳集热管，玻璃—金属封接式真空太阳集热管	7.1 空晒性能参数
全玻璃真空太阳集热管	7.2 升温太阳辐照量
全玻璃真空太阳集热管	7.3 平均热损系数

5 材料试验

5.1 结石和节瘤检查

5.1.1 一般规定

本试验是为了目测检查真空管玻璃体的一致性。

5.1.2 试验条件

用于试验的检测室/检测台的照度最少为 1500 Lux。

5.1.3 试验设备

测量直径的设备精度应达到 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

5.1.4 试验步骤

- a) 用记号笔或其他无损害的方法在真空集热管表面沿轴向画两条宽度不超过 0.5mm 的线，将真空管表面分为相等的两部分。
- b) 计数并记录真空管上表面玻璃体上的如下项目数量：

- 小于 1 mm 的结石；
 - 大于 1 mm 的结石；
 - 大于 1.0 mm 的节瘤；
 - 1.5 mm 至 2.0 mm 的节瘤；
 - 大于 2.0 mm 的节瘤；
 - 结石和节瘤周围的裂缝。
- c) 将真空管的另一面翻转向上，重复步骤 b)。
- d) 将步骤 b) 和步骤 c) 中每一类结石、节瘤、裂缝数量求和。
- e) 在真空管表面另画一组与步骤 a) 中平行的线，确保线与线之间的距离是 1/4 周长。擦去第一组线，按步骤 b) 至步骤 d) 再数一遍结石、节瘤和裂缝的数量并做记录。
- f) 对每一类结石、节瘤和裂缝，取步骤 d) 和步骤 e) 中的最大值作为试验结果。

5.1.5 检测结果

记录如下数值：

- a) 真空集热管单位面积内尺寸不大于 1mm 的结石数量；
- b) 整根真空集热管上尺寸大于 1mm 的结石数量；
- c) 整根真空集热管的结石数量总和；
- d) 真空集热管单位面积内尺寸不大于 1.0 mm 的节瘤数量；
- e) 整根真空集热管上尺寸在 1.5 mm 至 2.0 mm 之间的节瘤数量；
- f) 整根真空集热管上尺寸大于 2.0 mm 的节瘤数量；
- g) 整根真空集热管的裂缝数量。

5.2 擦伤

5.2.1 一般规定

本试验将目测检查、记录真空集热管的擦伤。

注：擦伤是造成真空集热管破损的主要原因之一。

5.2.2 试验条件

用于试验的检测室/检测台的照度最少为 1500 Lux。

5.2.3 试验设备

测量直径的设备精度应达到±0.1mm。

5.2.4 试验步骤

- a) 用记号笔或其他无损害的方法地在真空集热管表面沿轴向画两条宽度不超过 0.5mm 的线，将真空管表面分为相等的两部分。

- b) 计数并记录真空管上表面的：
 - 长度不大于 100 mm 的擦伤数量；
 - 长度大于 100 mm 的擦伤数量；
 - 总擦伤长度。
- c) 将真空管的另一面翻转向上，重复步骤 b)。
- d) 将步骤 b) 和步骤 c) 中的擦伤数量分别求和。
- e) 在真空管表面另画一组与步骤 a) 中平行的线，确保线与线之间的距离是 1/4 周长。擦去第一组线，按步骤 b) 至步骤 d) 再数一遍擦伤数量。
- f) 取步骤 d) 和步骤 e) 中记录的数量较大值作为结果。

5.2.5 试验结果

记录如下数值：

- a) 整根真空集热管上长度不大于 100mm 的擦伤数量；
- b) 整根真空集热管上长度大于 100mm 的擦伤数量；
- c) 整根真空集热管上所有擦伤的长度总和。

5.3 透过率

5.3.1 一般规定

本试验是为了测定罩玻璃管在大气质量 1.5 下的太阳透过率。

5.3.2 试验条件及设备

本试验应使用具有积分球单元的分光光度计，波长精度 ± 1 nm，分辨率 0.1 nm，波长范围 0.3 μm ~2.5 μm 。应测量分光光度计测量点及积分球开口的尺寸，以确定真空集热管的曲率对测量结果没有影响。

5.3.3 试验步骤

透过率试验应对罩玻璃管样片进行两次测试。第一次试验，将样片置于测量点上，使光线从样片的凹面入射，用分光光度计按 ISO 9845-1 规定的太阳光谱辐照测量样片透过率。第二次试验，将样片置于测量点上，使光线从样片的凸面入射，用分光光度计按 ISO 9845-1 规定的太阳光谱辐照测量样片的透过率。

5.3.4 试验结果

根据 ISO9845-1 规定的太阳光谱辐照所测量的透过率，应给出两次测量结果及两次测量的平均值。

5.4 吸收率

5.4.1 一般规定

本试验是为了测定全玻璃真空集热管选择性吸收涂层在大气质量 1.5 下的太阳吸收率。本试验仅适

用于全玻璃真空集热管。

5.4.2 试验条件和设备

本试验应使用具有积分球单元的分光光度计, 波长精度 ± 1 nm, 分辨率0.1 nm, 波长范围0.3 μm ~2.5 μm 。应测量分光光度计测量点及积分球开口的尺寸, 以确定真空集热管的曲率对测量结果没有影响。

5.4.3 试验步骤

太阳选择性吸收涂层应制备2个样片; 第一个从距真空集热管开口端150mm处取材, 第二个在真空集热管中段取材。依次将样片置于测量点上, 让光线从凸表面入射, 根据ISO 9845-1规定的太阳光谱辐照分别测试两个样片的反射率。

5.4.4 试验结果

根据测量反射率的结果分别计算并记录2个样片吸收率的测量值及测量平均值。

5.5 半球发射比

5.5.1 一般规定

本试验是为了测定全玻璃真空集热管选择性吸收涂层的半球发射比。

5.5.2 试验条件

全玻璃真空集热管内玻璃管外侧选择性吸收涂层半球发射比的测定条件为稳态温度 $80^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$ 。

注: 真空夹层内的气压一般在 5×10^{-2} Pa左右, 因此可以忽略气体分子的导热。

选择性吸收涂层的半球发射比 ε_h 按公式(1)计算:

$$\varepsilon_h = \frac{IU}{\sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)} = \frac{q_s}{q_b} \quad (1)$$

其中:

- I 加热器电流, A;
- U 加热器电压, V;
- A_1 内玻璃管外表面积, m^2 ;
- σ 斯蒂芬-波尔兹曼常数, $5.67\times 10^{-8} \text{W}\cdot\text{m}^{-2} \text{K}^{-4}$;
- T_1 加热器稳态下的温度, K;
- T_2 冷却水温度, K;
- q_s 选择性吸收涂层表面发射功率密度, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$;
- q_b 黑体的发射功率密度, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

5.5.3 试验设备和试验步骤

将全玻璃真空集热管置于水冷套内, 管内插入加热元件。加热元件由中心主加热器和主加热器两端

的辅助加热器组成。

加热元件分别包裹在三段陶瓷管内，尺寸与内玻璃管吸热体相适应。每个陶瓷管内都装有可以独立测量和控制的温度传感器。内玻璃管中的温度传感器的标准不确定度是 0.2K 。用于测定平均热损失的中心主加热器的功率应能使吸热管保持在特定的恒定温度下。两端的陶瓷管通过独立的功率输入与中心陶瓷管保持相同温度，以防止热量纵向流失。因此，试验可只考虑热量的径向散失。罩玻璃管置于恒温 20°C 的水冷夹套内。

开启试验设备使加热器温度稳定在 $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。确认主加热器的电压 U 、电流 I ，主加热器直接接触的内玻璃管的外表面积 A_1 ，按公式 (1) 计算半球发射比。

试验设备见图 1。

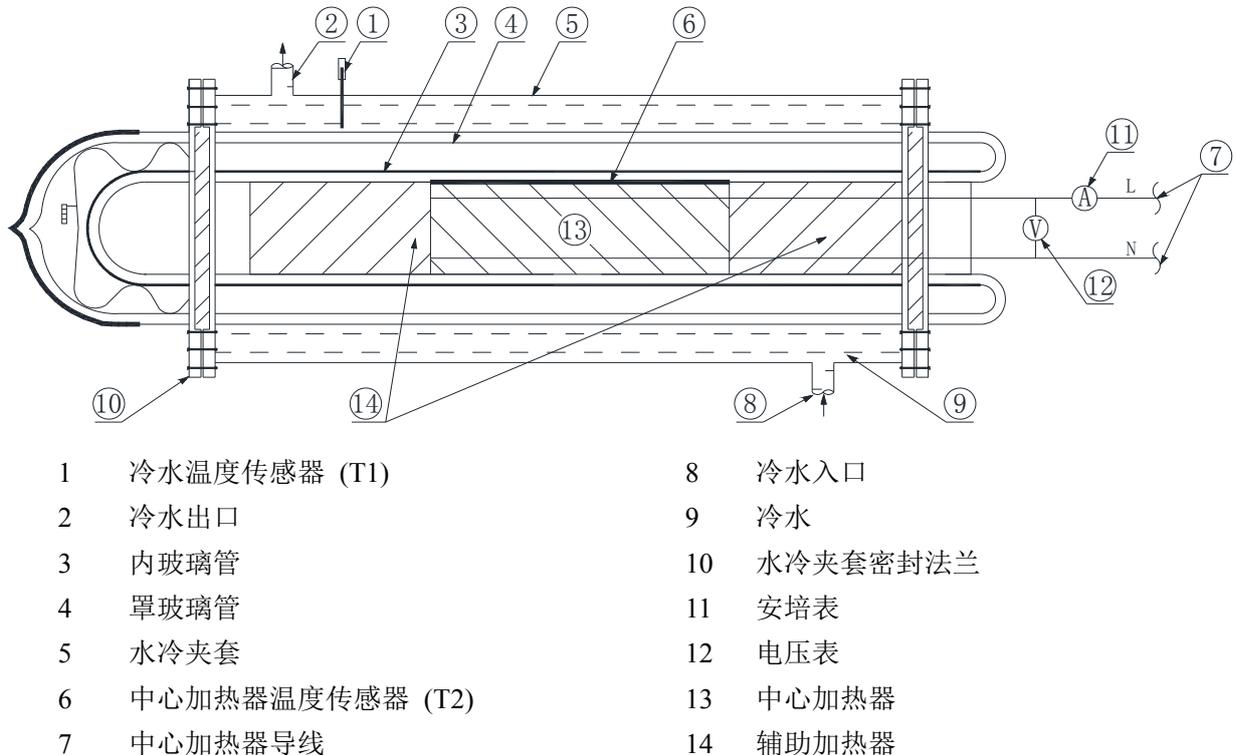


图 1 半球发射比的试验设备

6 真空集热管的耐久性试验

6.1 真空性能

6.1.1 一般规定

本试验是为了检验全玻璃真空太阳集热管真空夹层中的气压、真空集热管在 $350^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下加热 48 小时后吸气剂镜面沿轴向消失的百分比。

6.1.2 试验条件和设备

在黑暗房间或封闭空间里，用火花检漏仪对真空夹层内的气压进行测定。

为测定全玻璃真空集热管吸气剂镜面轴向消失的比例，将长度不小于集热管长 90%的加热棒置于内玻璃管中且不与管壁直接接触，集热管开口端应良好保温。用标准不确定度为 1K 的温度传感器紧贴集热管中部壁面测量真空集热管内的温度。内玻璃管的温度应在 $350\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下保持 48 小时。

6.1.3 试验步骤

对于全新的真空集热管，使用火花检漏仪在暗条件下检测真空集热管真空夹层内的空气压力，根据放电颜色做出定性判断。

检测全玻璃真空太阳集热管时，将火花检漏仪对准开口端无选择性涂层的位置。在暗条件下打开火花检漏仪，记录试验结果。如果真空集热管无泄漏，玻璃壁面将呈现微弱的荧光。否则，如果玻璃管出现辉光放电、火花穿透玻璃壁面或火花发散而玻璃壁面无荧光，则真空集热管泄漏。

重复火花检漏试验于第二支真空集热管。

下述步骤用于（新）真空集热管吸气剂镜面消失百分比的检验。

- a) 测定吸气剂镜面的轴向长度 L_1 ：从真空集热管闭合端外径为 15mm 处测至吸气剂镜面边缘；将玻璃管沿圆周六等分，测量各等分点吸气剂镜面的长度，取平均值记为 L_1 。
- b) 在真空集热管中插入加热棒。
- c) 使内玻璃管在 $350\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下保持 48 小时，记录试验期间的内玻璃管温度。
- d) 待真空集热管冷却至室温后，按步骤 a) 测量吸气剂镜面的轴向长度 L_2 。

6.1.4 试验结果

火花检漏仪测出真空集热管有放电现象，应在报告中记录。

对全玻璃真空太阳集热管，吸气剂镜面沿轴向长度的消失百分比应按公式（2）计算：

$$R = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 \quad (2)$$

其中：

- R 吸气剂镜面沿轴向长度的消失百分比，%；
- L_1 受热前吸气剂镜面的轴向长度，mm；
- L_2 受热后吸气剂镜面的轴向长度，mm。

6.2 耐热冲击

6.2.1 一般规定

本试验是为了检验真空集热管承受热冲击而不被破坏的能力。本试验适用于全玻璃真空集热管。

6.2.2 试验条件和设备

本试验使用温度不高于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰水混合物浴和温度大于 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的热水浴，两种水浴的温度应稳定在 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内。

6.2.3 试验步骤

- a) 将真空集热管开口末端置于冰水混合物浴中，插入深度至少 100mm，保持 1 分钟。
- b) 将真空集热管从冰水混合物浴中取出后立即置于热水浴中，插入深度至少 100mm，保持 1 分钟。
- c) 将真空集热管从热水浴中取出后再次立即置于冰水混合物浴中，插入深度至少 100mm，保持 1 分钟。
- d) 重复 3 次实验步骤 b)和 c)。

6.2.4 试验结果

记录真空集热管有无破损，同时记录试验期间的水浴温度。

6.3 耐撞击

6.3.1 一般规定

本试验是为了检验真空集热管能承受冰雹重力冲击的程度。

6.3.2 试验原理

钢球从指定高度掉落到真空集热管上。随高度增加至 2.0 m，撞击的能量也逐渐增加，直到真空集热管破裂或掉落高度达到生产企业规定的最大高度为止。

6.3.3 试验步骤

- a) 将真空集热管水平置于支架上，使其在受撞击时不会扭曲或变形。
- b) 从 0.4 m 或其他由生产企业规定的最小下落高度，将质量为 $150\text{ g} \pm 10\text{ g}$ 的钢球自由落在真空集热管一端垂直于轴线方向 75 mm 处，下落高度指钢球释放点至撞击点所在水平面的垂直距离。
- c) 在距前一个撞击点几毫米处重复步骤 b)一次。
- d) 在真空集热管另一端 75mm 处，重复步骤 b)和 c)。
- e) 在下落高度为 0.6 m, 0.8 m, 1.0 m, 1.2 m, 1.4 m, 1.6 m, 1.8 m 和 2.0 m 处分别重复步骤 b)、步骤 c)和步骤 d)。真空集热管出现破损或下落高度超过生产企业规定的最大高度时，试验结束。

6.3.4 试验结果

所有撞击点及其对应的钢球下落高度均应以图片方式记录在报告中。真空集热管受撞击的次数、位置及检查结果应记录在报告中。

试验报告应对集热管的主要破损进行描述。

主要破损是指影响真空集热管集热器耐久性或热量输出、或影响产品安全性能的物理缺陷。主要包括：玻璃管破裂，真空集热管集热器表面或其他部件的破损、泄漏、涂层破坏、通过表层的辐射散射等。

6.4 耐压

6.4.1 一般规定

本试验是为了检验全玻璃真空集热管或玻璃—金属封接式直流真空太阳集热管在实际运行中能承受的內部液体压力的能力。试验过程中应确保真空集热管避光。

6.4.2 试验条件和设备

试验设备包括 1 个液压源（电动泵或手动泵）、1 个安全阀、1 个放气阀和 1 块标准不确定度优于 5% 的压力表。

试验期间，真空集热管应避光。

6.4.3 试验步骤

将全玻璃真空集热管或/和玻璃—金属封接式真空集热管的 U 型管或套管（concentric-tube）注满与室温相同的水。在加压之前，用放气阀将流道内的空气排空。

将水压均匀加至 1.5 倍生产企业规定的集热器运行压力，保持 15 分钟。

在保持压力稳定状态下，检查液体流道是否有膨胀、变形或破裂。

6.4.4 试验结果

真空集热管的所有破损均应以图片形式记录在报告中。

7 真空集热管的性能试验

7.1 空晒性能参数测定试验

7.1.1 一般规定

本试验是为了测定全玻璃真空太阳集热管及玻璃—金属封接式热管真空太阳集热管的空晒性能参数。

真空集热管的空晒性能参数按公式（3）计算：

$$Y = \frac{\vartheta_e - \vartheta_a}{G} \quad (3)$$

其中：

Y 真空集热管的空晒性能参数， $(\text{m}^2 \cdot \text{°C})/\text{W}$ ；

ϑ_e 真空集热管的空晒温度， °C ；

ϑ_a 环境平均温度， °C ；

G 半球面太阳辐照度， W/m^2

7.1.2 试验条件

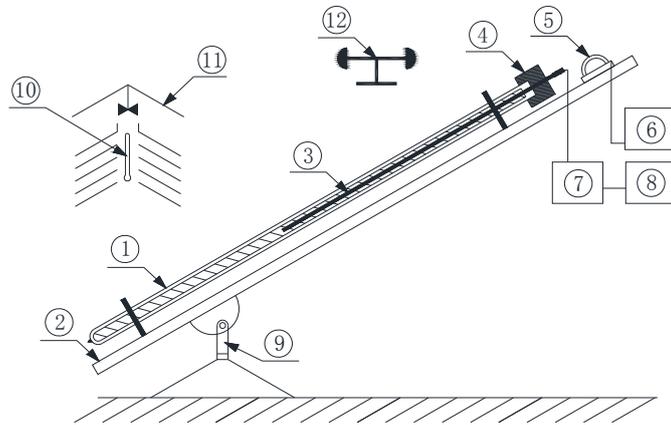
试验应在室外进行。试验期间，半球面太阳辐照度 (G) 不应低于 $800\text{W}/\text{m}^2$ ，环境温度(ϑ_a) 在 8°C 至 39°C 范围内，风速不大于 $4\text{m}/\text{s}$ 。

7.1.3 试验装置

将三根真空集热管南北向放置在固定台架上，集热管的中心距为 2 倍集热管外径。被测真空集热管放在中间。

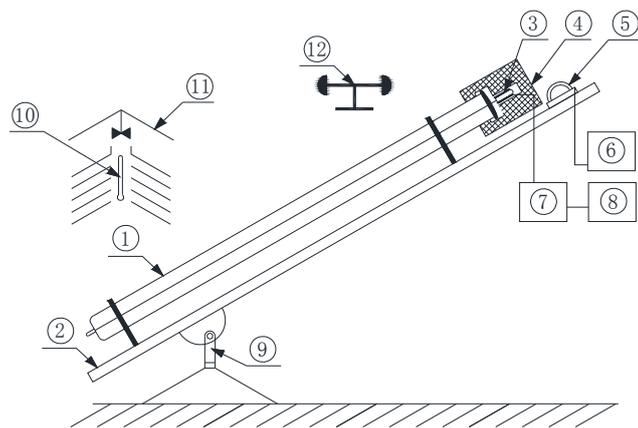
固定台架包括与集热管平行的低反射率、黑色平板，以及与黑色平板平行的太阳辐射表。

试验装置见图 2 和图 3。



- | | | | |
|---|------------|----|-------|
| 1 | 全玻璃真空太阳集热管 | 7 | 温度记录仪 |
| 2 | 背板 | 8 | 打印机 |
| 3 | 温度传感器 | 9 | 支架 |
| 4 | 保温帽 | 10 | 温度传感器 |
| 5 | 太阳辐射表 | 11 | 百叶箱 |
| 6 | 太阳辐射记录仪 | 12 | 风速计 |

图 2 全玻璃真空太阳集热管空晒性能参数测定试验装置



- | | | | |
|---|-------------------|----|-------|
| 1 | 玻璃—金属封接式热管真空太阳集热管 | 7 | 温度记录仪 |
| 2 | 背板 | 8 | 打印机 |
| 3 | 温度传感器 | 9 | 支架 |
| 4 | 保温帽 | 10 | 温度传感器 |
| 5 | 太阳辐射表 | 11 | 百叶箱 |

图3 玻璃—金属封接式热管真空太阳集热管空晒性能参数测定试验装置

对于全玻璃真空太阳集热管：管内试验工质为空气。温度传感器应放置在真空集热管中间部位且不与管壁接触。集热管末端应有 50mm 厚的保温帽，其导热系数不大于 $0.022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ，保温帽长度应恰好覆盖内玻璃管无选择性涂层的部分。

对于玻璃—金属封接式热管真空太阳集热管：温度传感器应放置在热管冷凝段中部且与其保持良好接触。真空集热管以外，包括热管冷凝段、玻璃-金属封接部件及金属管段，均应用 50mm 厚的保温材料进行保温，其导热系数不应大于 $0.022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 。

调整固定台架角度，使太阳辐射在 $\pm 2^\circ$ 内垂直入射真空集热管。对于全玻璃真空太阳集热管，集热管与水平面的夹角不应小于 30° 。对于玻璃—金属封接式热管真空太阳集热管，集热管与水平面的夹角应在 $30^\circ\sim 60^\circ$ 范围内。

测量设备应符合下列要求：

- a) 太阳辐射表，一级或更优；
- b) 温度传感器，精度 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ；
- c) 风速计，精度 $\pm 0.5\text{m/s}$ 。

7.1.4 试验步骤

试验期间，半球面太阳辐照度 (G) 不低于 800 W/m^2 ，15 分钟内太阳辐照度波动不应大于 $\pm 30\text{W/m}^2$ ，集热管中部的温度波动不应大于 1.0 K 。以 5 分钟为间隔，记录四次太阳辐照度、集热管内温度或热管冷凝管温度、环境温度。根据记录值计算真空集热管空晒温度(ϑ_c)，半球面太阳辐照度(G)和环境温度(ϑ_a)的平均值。

7.1.5 试验结果

将真空集热管空晒温度(ϑ_c)，半球面太阳辐照度 (G) 和环境温度 (ϑ_a) 的计算值，代入公式 3 计算真空集热管的空晒性能参数(Y)。

7.2 全玻璃真空集热管升温太阳辐照量测定试验

7.2.1 一般规定

本试验是为了测定全玻璃真空太阳集热管内的水温上升 35K 所需的太阳辐照量。

7.2.2 试验条件

试验条件同 7.1.2。

7.2.3 试验装置

除全玻璃真空太阳集热管的试验工质为水外，试验装置与 7.1.3 相同。

除太阳辐射记录仪应具有太阳辐照积分功能外，本试验的测量设备与 7.1.3 相同。

7.2.4 试验步骤和试验结果

试验开始时，全玻璃真空太阳集热管内的水温应低于环境温度。

将真空集热管置于规定的半球太阳辐照条件下，当管内水温等于环境温度时，记录试验起始太阳辐照量。

当管内水温上升 35K 时，记录终止太阳辐照量。

终止太阳辐照量与起始太阳辐照量之差即为全玻璃真空太阳集热管的升温太阳辐照量。

7.3 全玻璃真空集管平均热损系数测定试验

7.3.1 一般规定

本试验是为了测定全玻璃真空太阳集热管的平均热损系数。

全玻璃真空太阳集热管的平均热损系数 (U_{LT}) 可按公式 (4)、公式 (5) 和公式 (6) 计算。

$$U_{LT} = \frac{c_{pw} M (\vartheta_1 - \vartheta_3)}{A_A (\vartheta_m - \vartheta_a) \Delta \tau} \quad (4)$$

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_{w1} + \vartheta_{w2} + \vartheta_{w3}}{3} \quad (5)$$

$$\vartheta_a = \frac{\vartheta_{a1} + \vartheta_{a2} + \vartheta_{a3}}{3} \quad (6)$$

其中：

U_{LT}	平均热损因数，W/(m ² ·°C)
ϑ_m	测试期间管内水温的平均值，°C；
ϑ_a	环境平均温度，°C；
$\Delta \tau$	水温从 ϑ_1 升至 ϑ_3 所需的时间，s；
M	全玻璃真空太阳集热管内水的质量，kg；
c_{pw}	水的比热，J/(kg·K)；
A_A	吸热管外表面积，m ² ；
$\vartheta_{w1}, \vartheta_{w2}, \vartheta_{w3}$	第一次、第二次和第三次记录的水温，°C；
$\vartheta_{a1}, \vartheta_{a2}, \vartheta_{a3}$	第一次、第二次和第三次记录的环境温度，°C。

7.3.2 试验条件

试验应在室内进行，避免太阳直射且没有风直接吹向全玻璃真空太阳集热管。试验期间，环境温度应保持在 23°C ± 2°C 的范围内。

7.3.3 试验装置

全玻璃真空太阳集热管垂直放置，开口端向上并包裹保温帽，要求同 7.1.3。

在距真空管开口端 1/6 管长、1/2 管长和 5/6 管长处分别放置三个温度传感器测量水温，管内水温 ϑ_w

取三个测温点的平均值。

测量设备应符合下列要求：

- 温度传感器，精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.4 试验步骤

- a) 注入大于 90°C 的热水预热全玻璃真空太阳集热管，2 分钟后将水沥出。
- b) 立即向真空集热管内充入大于 90°C 的热水至距开口端 $40\text{mm}\sim 50\text{mm}$ 处。
- c) 当真空管内的水温 ϑ_w 自然冷却至 $80^{\circ}\text{C}\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 时，记录第一次水温(ϑ_{w1})和第一次环境温度(ϑ_{a1})。
- d) 每隔 30 分钟分别按步骤 c) 记录第二次的温度($\vartheta_{w2}, \vartheta_{a2}$)及第三次的温度($\vartheta_{w3}, \vartheta_{a3}$)。

7.3.5 试验结果

按附表 C.1 或公式 (C.1) 测定吸热管外表面积 A_A 。

根据公式 (4)、公式 (5) 和公式 (6) 计算全玻璃真空太阳集热管的平均热损因数(U_{LT})。

附录A
(资料性附录)
真空集热管结构

A.1 全玻璃真空太阳集热管的结构

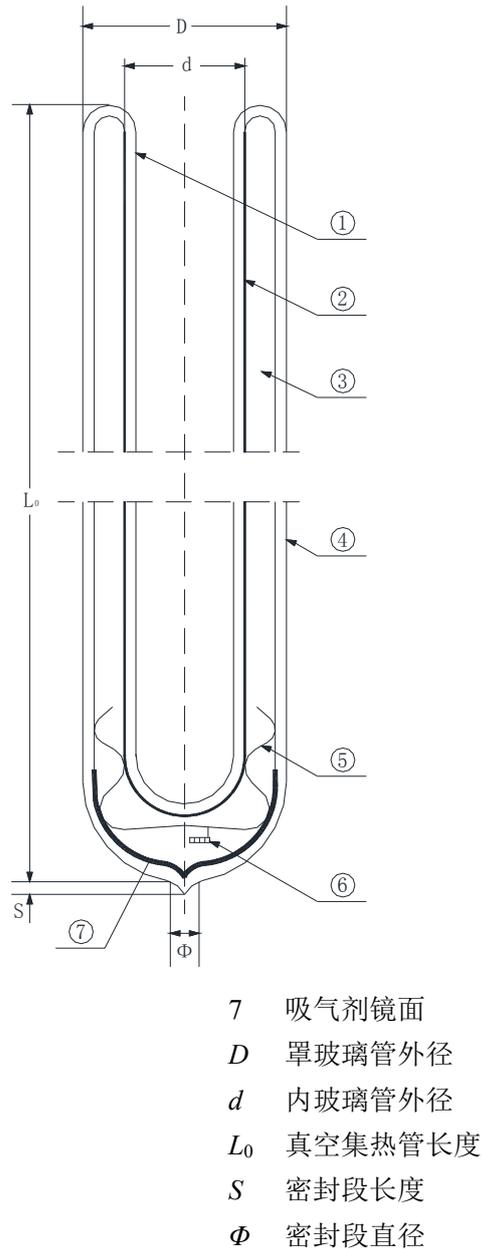
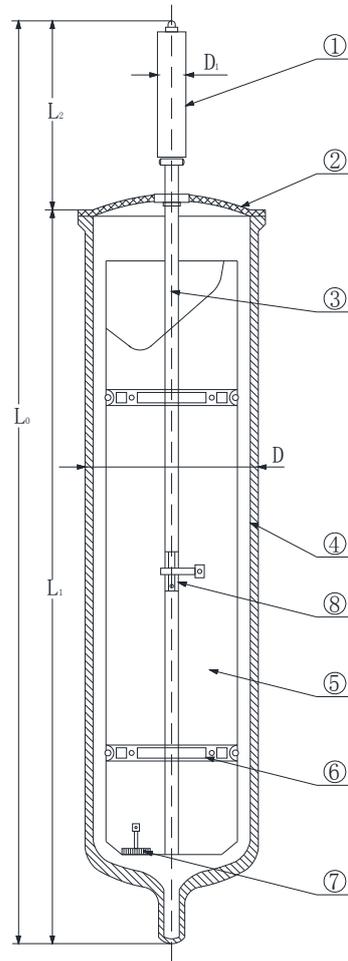


图 A.1 — 全玻璃真空太阳集热管结构图

A.2 玻璃—金属封接真空太阳集热管结构



- | | |
|----------|---------------|
| 1 热管冷凝段 | 8 非蒸散型吸气剂 |
| 2 金属封接部件 | D 冷凝段外径 |
| 3 热管蒸发段 | D 罩玻璃管外径 |
| 4 罩玻璃管 | L_0 真空集热管长度 |
| 5 吸热板 | L_1 罩玻璃管长度 |
| 6 支撑件 | L_2 冷凝段长度 |
| 7 蒸散型吸气剂 | |

注 1: 本图所示的是玻璃—金属封接式热管真空太阳集热管结构图。

注 2: 对玻璃—金属封接式 U 型管真空太阳集热管, U 型管将代替热管部分。

注 3: 对玻璃—金属封接式套管真空太阳集热管, 套管将代替热管部分。

注 4: 本图中的排气管在玻璃管上, 也有玻璃—金属封接真空太阳集热管将排气管置于金属连接部件上。

图 A.2 — 玻璃—金属封接真空太阳集热管结构图

附录B
(规范性附录)
试验报告

B.1 基本信息

真空集热管编号:.....
 试验人员:.....
 地址:.....
 日期、电话、传真:.....

B.2 样品描述

生产企业:.....
 商标:.....
 编号:.....
 依据标准编号:.....
 生产日期:.....

全玻璃真空太阳集热管:

样品类型:.....
 真空集热管直径:.....mm
 真空集热管长度:.....mm
 玻璃—金属封接式真空太阳集热管吸热体长度:.....mm
 玻璃—金属封接式真空太阳集热管吸热体宽度:.....mm
 全玻璃真空太阳集热管吸热管直径:.....mm
 全玻璃真空太阳集热管吸热管外表面积:.....m²
 玻璃材料:.....
 选择性吸收涂层:.....
 真空夹层的空气压力:.....Pa
 结构类型(热管 / U型管 / 套管):.....
 集热管结构:.....
 集热管照片:.....
 最高运行温度:.....°C
 最大运行压力:.....kPa

B.3 材料试验

B.3.1 结石和节瘤检查

采用 5.1.4 规定的單玻璃管结石和节瘤目测检查方法进行试验，检查结果见表 B.1。

表 B.1 — 结石和节瘤检查结果

项目	数量	备注
10mm×10mm 面积内尺寸不大于 1mm 的结石		
整根真空集热管的结石		
整根真空集热管的裂缝		
整根真空集热管上尺寸大于 1mm 的结石		
10mm×10mm 面积内尺寸不大于 1.0mm 的节瘤		
整根真空集热管上尺寸在 1.5 mm 至 2.0 mm 之间的节瘤		
整根真空集热管上尺寸大于 2.0 mm 的节瘤		

B.3.2 擦伤检查

按玻璃管擦伤的目测检查方法进行试验，检查结果见表 B.2。

表 B.2 — 擦伤检查结果

项目	数量	备注
长度不大于 100 mm 的擦伤		
长度大于 100 mm 的擦伤		
总擦伤长度		

B.3.3 透过率试验

检查结果见表 B.3。

表 B.3 — 透过率试验结果

项目	数量	备注
透过率第一次测量值		
透过率第二次测量值		
两次测量值的平均值		

B.3.4 吸收率试验

试验结果见表 B.4。

表 B.4 — 吸收率试验结果

项目	数量	备注
第一件样片的吸收率测量值		

项目	数量	备注
第二件样片的吸收率测量值		
两次测量值的平均值		

B.3.5 半球发射比试验

试验结果见表 B.5。

表 B.5 — 半球发射比试验结果

项目	数量	备注
半球发射比测量值		

B.4 耐久性试验

B.4.1 耐久性试验的主要结果汇总

真空集热管的所有破损应汇总记录在表 B.6。详细内容应记录在各试验项目表中。

表 B.6 — 耐久性试验的主要结果汇总

试验名称	日期		主要试验结果汇总
	起始	终止	
真空性能			
耐热冲击			
耐撞击			
耐压			
最终检查			

备注：

.....

B.4.2 真空性能试验

B.4.2.1 真空夹层内的气压试验

真空夹层内的气压应使用火花检漏仪在暗条件下进行试验。

试验结果如下：

- 玻璃表面呈现微弱荧光
- 出现辉光放电
- 火花穿透玻璃壁面
- 火花发散而玻璃壁面无荧光

B.4.2.2 真空品质试验

内玻璃管按 6.1.2 的规定加热后，应测量吸气剂镜面沿轴向长度的消失百分比 R 。

试验条件：

加热棒长度：mm

加热温度：℃

加热时长：h

试验结果见表 B.7。

表 B.7 — 真空品质试验结果

测量点	吸气剂镜面沿轴向的长度(mm)	
	加热前长度 (L_1)	加热后长度 (L_2)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
平均值		

B.4.3 耐热冲击试验

按 6.2.3 的规定进行耐热冲击试验后，应检查真空集热管的破损情况。

试验结果见表 B.8。

表 B.8 — 耐热冲击试验结果

序号	真空集热管的插入长度 (mm)	冰水混合物温度 (℃)	热水温度 (℃)	真空集热管的插入时长 (min)
1				
2				
3				

B.4.4 耐撞击试验

按 6.3.3 的规定进行耐压试验后，应检查真空集热管的破损情况。

试验条件：

支撑点间的距离：mm

实心球的直径：mm

钢球底部至撞击点的高度：mm

试验结果:

详细说明泄漏、破损、扭曲、变形及其他破损情况。

.....

B.4.5 耐压试验

按 6.4.3 的规定进行耐压试验后, 应检查全玻璃真空集热管的破损情况。

对于玻璃—金属封接式 U 型管真空集热管或玻璃—金属封接式套管真空集热管, 按 6.4.3 的规定进行耐压试验后, 应检查破损情况。

生产企业规定的最大运行压力:kPa

试验条件:

试验温度:°C

试验压力:kPa

试验时长:min

试验结果:

详细说明泄漏、破损、扭曲、变形及其他破损情况。

.....

B.5 性能试验

B.5.1 空晒性能参数测定

按 7.1.1 的规定测量空晒温度后, 按公式 (3) 计算空晒性能参数 (Y)

试验条件:

试验期间太阳辐照度范围:W/m²

试验期间环境温度范围:°C

试验期间最大风速:m/s

真空集热管倾角:°

试验结果见表 B.9。

表 B.9 — 空晒性能参数测定试验结果

序号	太阳辐照度 G (W/m ²)	空晒温度 t_e (°C)	环境温度 t_a (°C)	风速 (m/s)
1				
2				
3				

4				
平均值				

B. 5. 2 全玻璃真空集热管升温太阳辐照量测定

按 7.2.4 的规定，当全玻璃真空太阳集热管内的水温上升 35K 时，记录对应的太阳辐照量。

真空集热管：

真空集热管直径：mm

试验条件：

试验期间太阳辐照度范围：W/m²

试验期间环境温度范围：℃

试验期间最大风速：m/s

真空集热管倾角：°

试验结果见表 B.10。

表 B. 10 — 全玻璃真空集热管升温太阳辐照量测定试验结果

参数	读数	备注
起始环境温度 (℃)		
集热管的起始水温 (℃)		
集热管的终止水温 (℃)		
集热管温升 (℃)		
起始太阳辐照量 (MJ/m ²)		
终止太阳辐照量 (MJ/m ²)		
升温所需的太阳辐照量(MJ/m ²)		

B. 5. 3 平均热损系数测定

按 7.3.4 的规定测量集热管的水温和环境温度后，按公式 (4)、公式 (5) 和公式 (6) 计算平均热损系数 (U_{LT})。

真空集热管：

真空集热管直径：mm

真空集热管长度：mm

吸热管直径：mm

吸热管外表面积：m²

试验条件：

试验期间环境温度范围：℃

试验期间最大风速：m/s

管内水温的起始温度：℃

两次读数的时间间隔：.....min

试验结果见表 B.11。

表 B.11 — 平均热损系数测定的试验结果

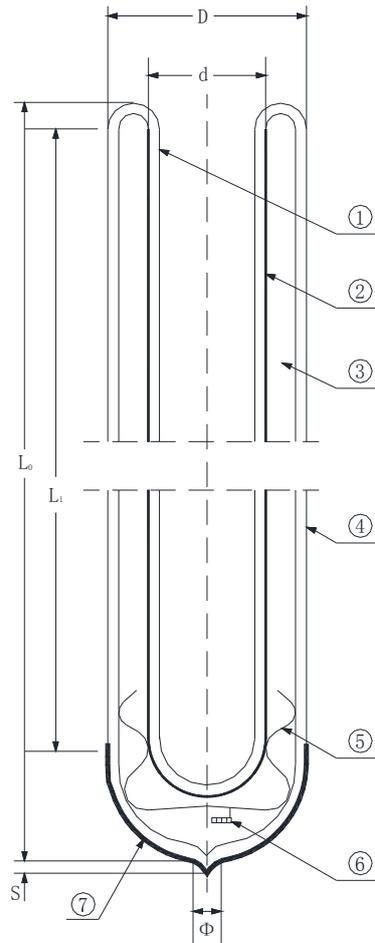
序号	真空管的水温 (°C)				环境温度 (°C)
	1	2	3	平均值	
1					
2					
3					

附录C

(规范性附录)

全玻璃真空太阳集热管的吸热管外表面积

C.1 全玻璃真空太阳集热管的吸热管外表面积计算方程



- | | |
|-------------|-----------------------|
| 1 内玻璃管(吸热管) | D 罩玻璃管外径 |
| 2 选择性吸收涂层 | d 内玻璃管外径 |
| 3 真空夹层 | L_0 真空集热管长度 |
| 4 罩玻璃管 | L_1 内玻璃管接受太阳辐照部分的长度 |
| 5 支撑件 | S 密封段长度 |
| 6 蒸散型吸气剂 | Φ 密封段直径 |
| 7 吸气剂镜面 | |

图 C.1 — 全玻璃真空太阳集热管的吸热管外表面积

$$A_A = \pi \cdot d \cdot L_1 \cdot 10^{-6} \quad (\text{C.1})$$

其中：

A_A 是全玻璃真空太阳集热管的吸热管外表面积， m^2 ；

d 内玻璃管外径， mm ；

L_1 内玻璃管接受太阳辐照部分的长度， mm 。

表 C.1 — 吸热管外表面积 A_A (m^2)

外径 (mm)		真空集热管长度 (mm)			
罩玻璃管	吸热管	1200	1500	1800	2100
47	37	0.136	0.171	0.205	/
58	47	/	0.216	0.260	0.303

注：表中数值仅为示例。

参考文献

- [1] ISO 9806 太阳能—太阳能热利用集热器—测试方法
- [2] GB/T 17049 - 2005 全玻璃真空集热管
- [3] 19775 - 2005 玻璃-金属封接式热管真空集热管