

第八章+第九章

如图所示一太阳能集热器，它由外径为 70mm 的铝管和直径为 120mm 的薄玻璃管组成，铝管外表面和玻璃管内表面组成环形通道，水从铝管中流过后被加热。

- (1) 试分析如何提高太阳辐射能的利用率；
- (2) 在一晴朗无风的白天，测得每米该集热管吸收太阳辐射 56.7W，环境温度 35℃。若此时水泵故障，试确定达到稳定状态时铝管外表面和薄玻璃管表面的平均温度。假设铝管外表面发射率为 0.14，玻璃管外表面发射率为 0.8，环形通道真空。



分析：

太阳辐射的主要能量集中在 $0.2\sim 2\mu\text{m}$ 之间，玻璃对于 $\lambda < 3\mu\text{m}$ 的热辐射有很高的穿透比，而对 $\lambda > 3\mu\text{m}$ 的热辐射的穿透比很小。大部分太阳辐射能穿过玻璃进入有吸热面的腔内，而吸热面发出的常温下的长波辐射却被玻璃阻隔在腔内。所以设计制造太阳能集热器，一方面要考虑对太阳辐射的尽可能吸收，另一方面要抑制其向外界热量的散失。因此集热管表面应具有在 $0.2\sim 2\mu\text{m}$ 波长范围内尽可能高的吸收比，同时应具有在自身温度的长波辐射内尽可能低的吸收比，这就是选择性吸收涂层，目前已开发出的涂层材料的吸收比与发射率之比可高达 8~10。集热管除了辐射热损失外，还和周围流体间存在对流传热损失，环形通道

抽真空是抑制自然对流热损失的有效方法。

当水泵故障，集热器达到稳定状态时，根据能量守恒，集热管与薄玻璃管间的传热量=玻璃管与外界环境间的散热量=56.7W。因为环形通道内真空，所以集热管与薄玻璃管间只存在辐射传热；薄玻璃管与外界环境间存在自然对流和辐射传热；玻璃管的厚度可以忽略。

解：

(1) 根据以上分析，提高太阳能利用率的有效途径有：

吸热材料：尽可能多地吸收太阳能，尽可能少地向外辐射；

环形通道：抽真空以抑制铝管外表面和薄玻璃管间的自然对流热损失；

铝管内：设计合适的强化传热表面或结构，以强化工质侧的对流传热。

(2) 根据以上分析，单位长度集热管与薄玻璃管间的辐射传热量为

(1)

单位长度集热管与外界环境间的散热量为

(2)

上式中， h 为薄玻璃管和外界空气间的自然对流表面传热系数，可以通过假定薄玻璃管温度、选择适当的实验关联式来迭代求解。为了简单起见，取

$$h=5.67\text{W/m}^2\text{K}。$$

根据题意，有

所以，根据（2）式，可求得

$$T_{glass} = 319.4\text{K}$$

$$t_{glass} = 46.41$$

根据 (2) 式, 可求得

$$t_{tube} = 489.11$$

讨论:

本例的计算做了以下简化:

- (1) 环形通道内绝对真空, 不考虑气体传热的影响; 实际上不可能做到绝对真空, 气体随压力的减小“稀薄效应”凸显, 这属于稀薄气体传热的内容, 超出了本科《传热学》内容。
- (2) 玻璃管厚度忽略; 如果要考虑厚度, 则通过玻璃管的导热量也应该是 56.7W, 该题也可求解。
- (3) 玻璃管与外界环境空气间的自然对流表面传热系数需要迭代求解, 为了简化计算, 假设为已知。