

ZHENKONG JIREGUAN  
ZHISHI

# 真空集热管知识 280问

主 编 马 兵  
副主编 于洪文 安利娟 鲍巧燕



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 真空集热管知识 280问

主 编 马 兵  
副主编 于洪文 安利娟 鲍巧燕



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书结合实际生产经验,针对真空集热管的基础知识和生产常见问题,采用一问一答的形式,直接明了地解决不同的问题,并较为深入地阐述了真空集热管的光学及工艺知识、真空及设备知识、产品知识、生产知识、设备知识及检验知识等内容。本书理论与具体实践相结合,内容丰富,讲解详细。

本书可作为行业内的工艺人员、生产人员、质检人员、操作人员以及营销人员的参考资料和培训用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

真空集热管知识280问 / 马兵主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012.4  
ISBN 978-7-5084-9590-3

I. ①真… II. ①马… III. ①真空集热管—问题解答  
IV. ①TK513.5-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第051648号

|      |                                                                                                                                                                                                                       |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 真空集热管知识 280 问                                                                                                                                                                                                         |
| 作 者  | 主编 马兵 副主编 于洪文 安利娟 鲍巧燕                                                                                                                                                                                                 |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038)<br>网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a><br>E-mail: <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a><br>电话: (010) 68367658 (发行部) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                                                                                                          |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                                                                                                       |
| 印 刷  | 北京瑞斯通印务发展有限公司                                                                                                                                                                                                         |
| 规 格  | 184mm×260mm 16 开本 10.5 印张 249 千字                                                                                                                                                                                      |
| 版 次  | 2012 年 4 月第 1 版 2012 年 4 月第 1 次印刷                                                                                                                                                                                     |
| 印 数  | 0001—3000 册                                                                                                                                                                                                           |
| 定 价  | 35.00 元                                                                                                                                                                                                               |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 前言



进入 21 世纪,能源短缺、环境污染、生态恶化已经成为当今世界各国面临的一个重大问题。开发太阳能等可再生能源,实现经济可持续发展已经成为世界各国的共识。

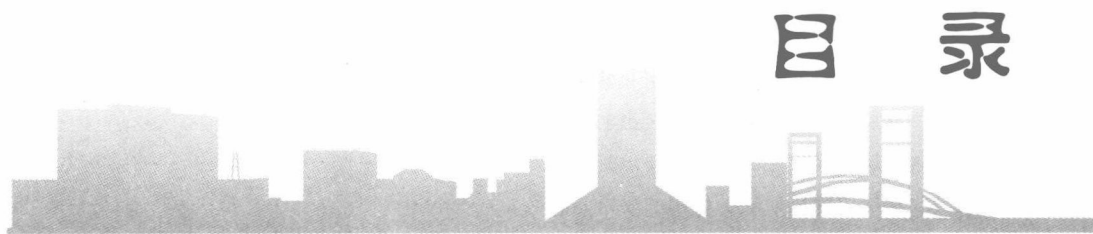
随着我国能源需求的不断增长,太阳能利用越来越受到国家的重视和社会的关注。《中华人民共和国可再生能源法》的颁布实施标志着我国对太阳能等可再生能源的利用上升到了一个新的高度。全玻璃真空集热管等新技术新产品的推广应用也大大推动了太阳能行业的发展步伐。目前我国已经成为世界上最大的太阳能热水器生产国、应用国。太阳能热水器已经成为与电热水器、燃气热水器并列的三大热水器行业之一。

随着太阳能热利用行业的快速发展,真空集热管生产企业不断涌现,从业人员逐渐增多,行业内对于太阳能热水器核心部件——真空集热管的生产知识渴求也越来越强烈。本书结合实际生产经验,以真空集热管的基础知识和生产常见问题为重点,力求使之成为太阳能热利用行业的工艺人员、生产人员、质检人员、操作人员以及营销人员有价值的参考资料和培训用书。

本书编者总结多年的真空集热管管理经验,同时在编写过程中得到了众多真空集热管生产企业的大力支持。他们为书中的相关工艺设备资料、记录的收集整理提供了帮助,为本书的顺利出版作出了巨大贡献。正是由于他们无私奉献出多年宝贵的经验,使得这本书更具有实践价值,在此一并致谢。

编者

2012 年 2 月



## 前言

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 光学及工艺知识                 | 1  |
| 1. 什么是真空集热管?                  | 1  |
| 2. 真空集热管的发展历程是怎样的?            | 1  |
| 3. 真空集热管的工作原理及用途是什么?          | 2  |
| 4. 太阳辐射能量有多大?                 | 2  |
| 5. 地球表面的太阳辐射是怎样的?             | 3  |
| 6. 什么是太阳常数?                   | 3  |
| 7. 绝对大气质量是什么?                 | 4  |
| 8. AM0 与 AM1.5 辐照度的区别是什么?     | 5  |
| 9. 太阳光能量如何分布?                 | 5  |
| 10. 什么是黑体?                    | 6  |
| 11. 什么是普朗克定律, 它的物理意义是什么?      | 6  |
| 12. 怎样理解维恩位移定律?               | 7  |
| 13. 斯蒂芬-波尔兹曼定律有什么意义?          | 7  |
| 14. 发射率与实际物体辐射是什么关系?          | 7  |
| 15. 选择性吸收涂层所依据的热辐射理论基础是什么?    | 8  |
| 16. 选择性吸收涂层工作原理是什么?           | 8  |
| 17. 在制备选择性吸收涂层时希望得到的谱线是什么样的?  | 8  |
| 18. 选择性吸收涂层由哪几部分组成?           | 9  |
| 19. 吸收涂层的颜色是如何来的?             | 9  |
| 20. 镀膜方法有哪几种?                 | 10 |
| 21. 选择性吸收涂层制备都有哪些方式?          | 10 |
| 22. 利用真空系统的物理气相沉积法具体有哪些分类?    | 11 |
| 23. 电阻蒸发源蒸镀法的工作原理和优缺点是什么?     | 12 |
| 24. 电子束蒸发源蒸镀法的工作原理、分类及有什么优缺点? | 13 |
| 25. 高频感应蒸发源蒸镀法的工作原理是什么?       | 14 |
| 26. 高频感应蒸发源蒸镀法有什么优缺点?         | 14 |
| 27. 激光束蒸发源蒸镀法的基本情况怎样?         | 15 |

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 28. 溅射镀膜有哪些代表性方法？                          | 15 |
| 29. 离子镀膜的工作原理和优点是什么？                       | 17 |
| 30. 选择性吸收涂层中红外发射层的作用和常用材料是什么？              | 17 |
| 31. 不同红外反射层对涂层的性能有什么影响？                    | 18 |
| 32. 选择性吸收涂层中吸收层的作用和要求是什么？                  | 19 |
| 33. 选择性吸收涂层中减反射层的作用和要求是什么？                 | 19 |
| 34. 电介质——金属复合薄膜材料包括哪些？                     | 20 |
| 35. 选择性吸收涂层确定设备工作参数后，影响膜层性能的主要可变因素有哪些？     | 20 |
| 36. 吸收涂层中独立层数越多越好吗？                        | 20 |
| 37. 什么是反应溅射的滞回现象，有什么作用？                    | 21 |
| 38. 在利用调节反应气体流量控制放电电压稳定的溅射工作模式时，为什么流量计很关键？ | 21 |
| 39. 直流低压辉光放电区域怎么区分？                        | 22 |
| 40. 怎么理解巴邢曲线？                              | 22 |
| 41. 如何参照巴邢曲线确定工作参数？                        | 23 |
| 42. 影响热阴极电离真空计测量下限的因素是什么？如何改进？             | 23 |
| 43. 真空检漏的意义？                               | 23 |
| 44. 从原理上讲，真空检漏可分为哪两大类？                     | 24 |
| 45. 什么是等离子体鞘层？                             | 24 |
| 46. 浸没在等离子体中基片的悬浮电位如何计算？                   | 24 |
| 47. 什么是溅射产额？                               | 24 |
| 48. 溅射产额与哪些因素有关？                           | 24 |
| 49. 为什么选用氩气作为放电气体？                         | 24 |
| 50. 为什么溅射产额与离子的入射方向有关？                     | 24 |
| 51. 溅射粒子角分布（方向分布）如何？                       | 25 |
| 52. 什么是溅射速率？                               | 25 |
| 53. 沉积速率与压力关系如何？                           | 25 |
| 54. 合金薄膜沉积中溅射镀膜和蒸发镀膜有何区别？                  | 25 |
| 55. 磁控溅射中，磁场起什么作用？                         | 25 |
| 56. 什么是二极溅射？其工艺参数如何？                       | 25 |
| 57. 什么是三极溅射？其工艺参数如何？                       | 25 |
| 58. 为什么射频溅射可以溅射非导电靶材？                      | 26 |
| 59. 磁控靶表面的磁场强度是多少？                         | 26 |
| 60. 什么是靶中毒？                                | 26 |
| 61. 为什么反应溅射沉积速率低？                          | 26 |
| 62. 在靶中毒的情况下，沉积速率和反应气体流量为什么会出现迟滞现象？        | 26 |
| 63. 什么是阳极消失？                               | 26 |
| 64. 磁控溅射沉积中为什么会出现“拉弧”？                     | 27 |
| 65. 如何根除磁控溅射中的“拉弧”现象？                      | 27 |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 66. 为什么从大气抽气压力下降越来越慢? .....                                                               | 27 |
| 67. 如何减少真空室器壁和工件等其他物体表面的放气率? .....                                                        | 27 |
| 68. 经过长时间精抽后, 真空室本底压力为 $P$ , 而在随后的沉积过程中, 工作压力为 $50P$ ,<br>试问这两种情况下, 真空室内活性气体分压各为多少? ..... | 27 |
| 69. 在磁控溅射或阴极电弧蒸发阶段为什么要进行节流? .....                                                         | 28 |
| 70. 辉光清洗阶段放电的压力高低和氩气流量与清洗效果的关系如何? .....                                                   | 28 |
| 71. 吸收涂层制备时一般工作步骤是什么? .....                                                               | 29 |
| 72. 目前在国内常见的全玻璃真空太阳集热管采用的选择性吸收涂层主要有哪几种? .....                                             | 29 |
| 73. 渐变涂层与干涉涂层的主要区别是什么? .....                                                              | 30 |
| 74. 什么是三基色? .....                                                                         | 31 |
| 75. 选择性吸收涂层以什么色系为佳? .....                                                                 | 31 |
| 76. 颜色与涂层性能之间是什么样的关系? .....                                                               | 31 |
| 77. 在高吸收性能指标下, 不同的镀膜机、不同的时间段为什么难以保持所有真空集热管<br>颜色完全一致? .....                               | 31 |
| 78. 涂层的热稳定性如何衡量? .....                                                                    | 32 |
| 79. 真空集热管内玻璃管的内壁颜色的差异是否影响性能? .....                                                        | 32 |
| <b>第 2 章 真空及设备知识</b> .....                                                                | 33 |
| 80. 真空的基本特点是什么? .....                                                                     | 33 |
| 81. 真空度如何划分? .....                                                                        | 33 |
| 82. 不同真空区域有什么特点和用途? .....                                                                 | 33 |
| 83. 平均自由程的概念和物理意义是什么? .....                                                               | 34 |
| 84. 真空度的度量单位有哪些? .....                                                                    | 34 |
| 85. 真空度怎么测量? .....                                                                        | 35 |
| 86. 有哪些设备可以制备真空状态, 各自的极限真空度分别是多少? .....                                                   | 36 |
| 87. 罗茨真空泵的工作原理是什么, 有什么特点? .....                                                           | 37 |
| 88. 旋片式机械泵的工作原理是什么? .....                                                                 | 37 |
| 89. 机械泵工作时有哪些注意事项? .....                                                                  | 38 |
| 90. 油扩散泵的工作原理是什么? .....                                                                   | 38 |
| 91. 油扩散泵工作时为什么需要预热? .....                                                                 | 39 |
| 92. 机械泵的极限真空度是如何产生的? 能否克服? .....                                                          | 39 |
| 93. 油扩散泵为何要在预备真空状态下工作? 预备真空度至少应为多少? .....                                                 | 39 |
| 94. 用热偶规测高真空、用电离规测低真空行不行? 如何避免电离规烧坏? .....                                                | 39 |
| 95. 关机时为何要将大气放入机械泵? .....                                                                 | 39 |
| 96. 水环真空泵有什么特点? .....                                                                     | 40 |
| 97. 扩散泵冷阱的作用是什么? .....                                                                    | 40 |
| 98. 为什么要测玻璃中的应力? .....                                                                    | 41 |
| 99. 玻璃应力仪的用途是什么? .....                                                                    | 41 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <b>第3章 产品知识</b>                       | 42 |
| 100. 真空太阳集热管的类别和优缺点是什么?               | 42 |
| 101. 怎样辨别全玻璃真空集热管质量优劣?                | 44 |
| 102. 全玻璃真空集热管各部分结构都有什么功能?             | 44 |
| 103. 全玻璃真空集热管主材料为什么选用玻璃?              | 44 |
| 104. 全玻璃真空太阳集热管使用的吸气剂有什么要求?           | 45 |
| 105. 全玻璃真空太阳集热管所涉及的国家标准有哪些?           | 46 |
| 106. 国家标准如何对全玻璃太阳集热管规格型号命名?           | 46 |
| 107. 如何判定真空管是否合格?                     | 47 |
| 108. 全玻璃真空太阳集热管的热性能的指标有哪些?            | 47 |
| 109. 全玻璃真空太阳集热管的外观检查项目有哪些?            | 48 |
| 110. 硼硅玻璃 3.3 有什么特点?                  | 48 |
| 111. 玻璃的太阳透射比如何测量?                    | 48 |
| 112. 选择性吸收涂层的太阳吸收比如何测量?               | 48 |
| 113. 选择性吸收涂层的半球发射比如何测量?               | 48 |
| 114. 全玻璃真空太阳集热管的空晒性能参数如何测定?           | 49 |
| 115. 全玻璃真空太阳集热管的闷晒太阳辐照量如何测定?          | 50 |
| 116. 全玻璃真空太阳集热管的平均热损系数如何测定?           | 50 |
| 117. 全玻璃真空集热管的热损系数包括哪几部分?             | 51 |
| 118. 全玻璃真空太阳集热管的真空品质怎么测定?             | 51 |
| 119. 全玻璃真空太阳集热管的抗机械冲击实验怎么做?           | 51 |
| 120. 抗机械冲击与真空集热管的哪些指标有关?              | 51 |
| 121. 全玻璃真空太阳集热管的抗冷热冲击实验怎么做?           | 52 |
| <b>第4章 生产知识</b>                       | 53 |
| 122. 真空集热管生产中基础设施和环境有什么特殊要求?          | 53 |
| 123. 真空集热管的生产工序有哪些?                   | 53 |
| 124. 灯工工序中切口的工作方法和工作原理是什么?            | 53 |
| 125. 灯工工序中燎口的工作方法和工作原理是什么?            | 53 |
| 126. 退火的工作方法和工作原理是什么?                 | 54 |
| 127. 退火的合格标准是什么?                      | 54 |
| 128. 真空集热管进行高温排气的原理是什么?               | 54 |
| 129. 根据什么条件设定真空集热管排气温度和时间及注意事项?       | 55 |
| 130. 在清洗工序中为什么要使用去离子水进行清洗?            | 55 |
| 131. 去离子水的常规表述单位有哪些?                  | 55 |
| 132. 怎样进行去离子水处理?                      | 56 |
| 133. 为确保去离子水的质量,应在什么位置设置监控点控制去离子水的纯度? | 56 |
| 134. 清洗后烘干的目的是什么?                     | 56 |
| 135. 封口的各工序的注意事项有哪些?                  | 57 |

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 136. 排气的主要任务及工作步骤是什么? .....                          | 57 |
| 137. 排气时突遇炸管现象, 如何处理? .....                          | 57 |
| 138. 真空太阳集热管采用的吸气剂是什么类型的? .....                      | 57 |
| 139. 吸气剂是如何激活的? .....                                | 58 |
| 140. 吸气剂的工作机理是什么? .....                              | 59 |
| 141. 吸气剂的保存和使用有哪些注意事项? .....                         | 60 |
| 142. 在用高频蒸散吸气剂时为什么采用冷蒸散方式? .....                     | 60 |
| 143. 蒸散全玻璃真空太阳集热管用的钽铝镍型吸气剂时, 蒸散频率和蒸散时间应采用什么参数? ..... | 61 |
| 144. 如何确定本底压强? .....                                 | 61 |
| 145. 影响磁控溅射选择性吸收涂层质量的主要因素有哪些? .....                  | 61 |
| 146. 如何确定光栅阀的开度? .....                               | 62 |
| 147. 镀膜时如何清靶? .....                                  | 62 |
| 148. 如何确定氩气量? .....                                  | 62 |
| 149. 如何描绘放电曲线? .....                                 | 62 |
| 150. 如何根据放电曲线确定镀膜的初始工艺参数? .....                      | 62 |
| 151. 镀膜机磁铁安装要求是什么? .....                             | 63 |
| 152. 如何确定镀膜机的密封性? .....                              | 63 |
| 153. 如何确定镀膜机靶的稳定性? .....                             | 63 |
| 154. 如何对镀膜机光栏阀开度及重复性、流量单元、布气管、真空室、支杆和护套进行检验? .....   | 64 |
| 155. 拉封工序的质量要求是什么? .....                             | 64 |
| 156. 清洗工序的质量要求是什么? .....                             | 65 |
| 157. 镀膜工序的质量要求是什么? .....                             | 65 |
| 158. 装配工序的质量要求是什么? .....                             | 65 |
| 159. 封口工序的质量要求是什么? .....                             | 65 |
| 160. 排气工序的质量要求是什么? .....                             | 65 |
| 161. 高频工序的质量要求是什么? .....                             | 66 |
| 162. 包装工序的质量要求是什么? .....                             | 66 |
| 163. 拉封工序的操作重点是什么? .....                             | 66 |
| 164. 清洗工序的操作重点是什么? .....                             | 66 |
| 165. 镀膜工序的操作重点是什么? .....                             | 67 |
| 166. 装配工序的操作重点是什么? .....                             | 67 |
| 167. 封口时若采用卧式封口车床, 应采取什么样的操作规范? .....                | 67 |
| 168. 排气工序操作规范是什么? .....                              | 68 |
| 169. 高频工序的操作重点是什么? .....                             | 68 |
| 170. 包装工序的操作重点是什么? .....                             | 68 |
| 171. 点焊和装配时对吸气剂使用应注意什么? .....                        | 69 |
| 172. 采用单机镀膜机生产时, 向镀膜机装管和从镀膜机拿管操作应注意什么? .....         | 69 |
| 173. 排气应采取什么步骤保证太阳集热管强度不发生改变? .....                  | 70 |

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 174. 全玻璃真空太阳集热管生产中采用的氧气有什么要求？ .....                | 70 |
| 175. 全玻璃真空太阳集热管生产中采用的氮气有什么要求？ .....                | 70 |
| 176. 全玻璃真空太阳集热管生产中采用的靶材有什么要求？ .....                | 71 |
| 177. 若镀膜管需要返工进行酸洗时，步骤是什么？ .....                    | 72 |
| 178. 容易产生罩玻璃管划伤的工序有哪些，应如何避免？ .....                 | 72 |
| 179. 容易造成内玻璃管膜层划伤的工序有哪些，应如何避免？ .....               | 73 |
| 180. 什么原因会造成封口不圆滑、外翻、内卷等现象？ .....                  | 73 |
| 181. 什么原因造成内玻璃管圆头壁薄现象，圆头壁薄有什么危害？ .....             | 73 |
| 182. 影响吸气镜面长度的因素有哪些？ .....                         | 73 |
| 183. 为什么有些真空集热管的支撑卡子发黄？ .....                      | 73 |
| 184. 真空集热管尾尖造成炸纹的原因有哪些？ .....                      | 74 |
| 185. 造成烤膜的原因有哪些，应如何解决？ .....                       | 74 |
| 186. 若靶漏水会出现什么现象？ .....                            | 74 |
| 187. 靶一旦击穿，应快速采取什么措施？ .....                        | 74 |
| 188. 有哪些原因可能导致靶中毒？ .....                           | 74 |
| 189. 在玻璃基材上镀膜时如何增强附着力？ .....                       | 75 |
| 190. 镀膜时镀膜管颜色随时间的延长基本按什么顺序衍变，若出现一定异变，如何调整？ .....   | 75 |
| 191. 镀膜时压强上升或压强成为零次方，主要原因有哪些？ .....                | 76 |
| 192. 镀膜内玻璃管出现分区阴阳面、易变色现象，怎么调整？ .....               | 76 |
| 193. 镀膜发现膜层发射高，调整的原则是什么？ .....                     | 76 |
| 194. 镀膜发现管口红、烧膜现象，可能原因是什么？ .....                   | 76 |
| 195. 镀膜出现靶辉光发抖，有明有暗，辉光不一致现象，可能是什么原因？ .....         | 77 |
| 196. 镀膜出现预抽速慢的问题，有哪些可能原因？ .....                    | 77 |
| 197. 镀膜出现高真空抽速慢的问题，有哪些可能原因？ .....                  | 77 |
| 198. 镀膜发现出炉管不上色或颜色不正现象，可能原因是什么？ .....              | 77 |
| 199. 什么原因可能导致靶退磁？ .....                            | 77 |
| 200. 内玻璃管镀阻挡层时发生颜色变化是什么原因造成？ .....                 | 77 |
| 201. 什么原因可能导致靶打火？ .....                            | 77 |
| 202. 什么原因可能导致做出的管子管圆头黄亮？ .....                     | 78 |
| 203. 什么原因可能导致阻挡层不启靶？ .....                         | 78 |
| 204. 靶水循环不畅造成靶水温度高或靶水报警应怎么办？ .....                 | 78 |
| 205. 涂层颜色呈现紫红是什么原因造成的？ .....                       | 78 |
| 206. 有哪些原因可能导致镀膜机转架不转动？ .....                      | 78 |
| 207. 镀膜时压强不稳有哪些原因？ .....                           | 78 |
| 208. 制作的管子排气后变色有哪些原因？ .....                        | 79 |
| 209. 在工艺参数基本准确的情况下，吸收低，通过 Optosol 快速测量仪如何调整？ ..... | 79 |
| 210. 管子出炉出现颜色一炉上颜色发暗一炉上边亮有哪些可能的原因？ .....           | 79 |
| 211. 哪些原因可能导致出现脱膜现象？ .....                         | 79 |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 212. 镀膜时哪些原因可能导致扩散泵出现返油现象? .....     | 80        |
| 213. 吸气镜面发黑是什么原因造成的? .....           | 80        |
| 214. 测量薄膜厚度的方法有哪些? .....             | 81        |
| 215. 干涉法测量薄膜厚度的原理是什么? .....          | 81        |
| 216. 应按照什么步骤采用干涉法测量薄膜厚度? .....       | 81        |
| <b>第5章 设备知识</b> .....                | <b>83</b> |
| 217. 尾管熔封方式有几种,各有什么优缺点? .....        | 83        |
| 218. 镀膜机有几种,怎么分类? .....              | 84        |
| 219. 封口时有哪几种机器及各自优缺点? .....          | 85        |
| 220. 排气台有哪几种? .....                  | 85        |
| 221. 封口灯如何设置,能够满足质量需求? .....         | 87        |
| 222. 磁控溅射镀膜机工作原理是什么? .....           | 87        |
| 223. 镀膜机开机应遵循什么步骤? .....             | 88        |
| 224. 镀膜机停机前应注意哪些问题? .....            | 88        |
| 225. 简述镀膜机中光栅阀的作用? .....             | 88        |
| 226. 镀膜机初次安装时如何调试工艺? .....           | 88        |
| 227. 镀膜机上有哪几个电磁气动阀? .....            | 89        |
| 228. 镀膜机上的布气孔开孔的原则是什么? .....         | 89        |
| 229. 直流磁控溅射镀膜机常见的靶材有几种? .....        | 89        |
| 230. 扩散泵的降温方式和降温措施有哪些? .....         | 90        |
| 231. 镀膜机工作时如突遇停水、停电或水电同时停如何处理? ..... | 90        |
| 232. 镀膜机工作时还有哪些问题点需要应急处理? .....      | 90        |
| 233. 如何保养以提高镀膜机的稳定性和使用寿命? .....      | 91        |
| 234. 机械泵中电磁压差阀有什么用途和特点? .....        | 91        |
| 235. 机械泵气镇阀的工作原理和用途是什么? .....        | 92        |
| 236. 镀膜机如何开机、关机? .....               | 93        |
| 237. 封口车床如何开机? .....                 | 93        |
| 238. 封口车床如何关机? .....                 | 94        |
| 239. 排气台应按照什么步骤开机? .....             | 94        |
| 240. 排气时怎么关机? .....                  | 94        |
| 241. 在排气过程中若出现炸管现象如何处理? .....        | 94        |
| 242. 旋片式机械泵有哪些常见故障? .....            | 94        |
| 243. 应力仪的灯泡有什么要求? .....              | 96        |
| 244. 应力仪检测原理是什么? .....               | 96        |
| 245. 应力仪如何正确使用? .....                | 96        |
| 246. 应力仪使用时注意事项和常见故障有哪些? .....       | 98        |
| 247. 复合真空计如何校准? .....                | 98        |
| 248. 举例说明复合真空计的故障及解决措施? .....        | 101       |

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 249. 流量计的工作原理是什么？ .....                             | 102 |
| 250. 流量计有哪些常见故障和处理方法？ .....                         | 103 |
| 251. Optosol 在线快速测量仪如何使用？ .....                     | 104 |
| 252. 分光光度计如何使用？ .....                               | 106 |
| 253. 电火花真空检测器的工作原理及使用方法是什么？ .....                   | 108 |
| 254. 火花检漏仪使用时应注意什么？ .....                           | 108 |
| <b>第 6 章 检验知识</b> .....                             | 109 |
| 255. 全玻璃真空太阳集热管在使用中出现破裂的原因有哪些？ .....                | 109 |
| 256. 镀膜时对热性能指标检测的频次如何确定？ .....                      | 109 |
| 257. 灯工工序用什么工具检验尾漏？ .....                           | 109 |
| 258. 吸气剂进货检验时需要进行哪些指标检测？ .....                      | 109 |
| 259. 支撑卡子进货检验时需对哪些指标检测？ .....                       | 110 |
| 260. 包装箱进货检验时需对哪些指标检测？ .....                        | 110 |
| 261. 泡沫进货检验时需对哪些指标检测？ .....                         | 111 |
| 262. 靶材进货检验时需对哪些指标检测？ .....                         | 111 |
| 263. 如何测量玻璃最大标准光程差？ .....                           | 111 |
| 264. 玻璃毛料检测所采用环切技术其工作原理和测量步骤是什么？ .....              | 112 |
| 265. 玻璃环切等级评定的标准是什么？ .....                          | 113 |
| 266. 在玻璃环切等级评定中，各级的评定要点是什么？ .....                   | 113 |
| 267. 在统计抽样标准中反应质量水平的指标有哪些？ .....                    | 116 |
| 268. 如何应用 AQL？ .....                                | 116 |
| 269. 根据什么原则确定 AQL 抽样方案？ .....                       | 117 |
| 270. AQL 抽样方案遵循什么转移规则和程序？ .....                     | 117 |
| 271. 如何确定二次抽样方案？ .....                              | 118 |
| 272. AQL 抽样检验的方法和步骤遵循什么原则？ .....                    | 118 |
| 273. 什么是统计过程控制？ .....                               | 118 |
| 274. 在统计过程中使用的控制图有哪几类？ .....                        | 119 |
| 275. 在统计过程控制中如何指定控制图上下限？ .....                      | 119 |
| 276. 过程能力指数如何反映过程能力？ .....                          | 120 |
| 277. 如何根据过程能力指数进行处置？ .....                          | 121 |
| 278. 实际工序能力指数是什么？ .....                             | 122 |
| 279. 如何计算单侧规范值情况的工序能力指数 $C_{pl}$ 和 $C_{pu}$ ？ ..... | 123 |
| 280. 如何根据实际工序能力指数进行处置判断？ .....                      | 123 |
| <b>附录 常用记录表格</b> .....                              | 125 |
| 附表 1 镀膜机系统日巡检表 .....                                | 125 |
| 附表 2 镀膜机周期保养明细记录表 .....                             | 126 |
| 附表 3 设备履历表 .....                                    | 127 |

|       |                               |     |
|-------|-------------------------------|-----|
| 附表 4  | 设备检修表 .....                   | 128 |
| 附表 5  | 毛料进货检验记录表 .....               | 129 |
| 附表 6  | 靶材进货检验记录表 .....               | 130 |
| 附表 7  | 吸气剂进货检验记录表 .....              | 130 |
| 附表 8  | 卡子进货检验记录表 .....               | 131 |
| 附表 9  | 不锈钢含量检测记录表 .....              | 131 |
| 附表 10 | 玻璃环切检测记录表 .....               | 132 |
| 附表 11 | 真空品质试验记录表 .....               | 132 |
| 附表 12 | 送检表 .....                     | 133 |
| 附表 13 | 领料不合格记录表 .....                | 133 |
| 附表 14 | 封口工序不合格记录表 .....              | 133 |
| 附表 15 | 清洗工序不合格记录表 .....              | 134 |
| 附表 16 | 装配工序不合格记录表 .....              | 134 |
| 附表 17 | 排气工序不合格记录表 .....              | 135 |
| 附表 18 | 打标工序不合格记录表 .....              | 135 |
| 附表 19 | 装箱工序不合格记录表 .....              | 136 |
| 附表 20 | 不合格品处理记录表 .....               | 136 |
| 附表 21 | 不合格品处置通知单 .....               | 137 |
| 附表 22 | 镀膜工序抽检记录表 .....               | 137 |
| 附表 23 | 排气工序抽检记录表 .....               | 137 |
| 附表 24 | 出厂检验记录表 .....                 | 138 |
| 附表 25 | 质量改进计划表 .....                 | 138 |
| 附表 26 | 下料工艺卡 .....                   | 139 |
| 附表 27 | 灯工工艺卡 .....                   | 140 |
| 附表 28 | 清洗工艺卡 .....                   | 141 |
| 附表 29 | 镀膜工艺卡 .....                   | 142 |
| 附表 30 | 装配工艺卡 .....                   | 143 |
| 附表 31 | 熔封工艺卡 .....                   | 144 |
| 附表 32 | 排气工艺卡 .....                   | 145 |
| 附表 33 | 烤高频、打标工艺卡 .....               | 146 |
| 附表 34 | 装箱工艺卡 .....                   | 146 |
| 附表 35 | GB 2828.1 中的抽样检验用表样本量字码 ..... | 147 |
| 附表 36 | 正常检验一次抽样方案 .....              | 148 |
| 附表 37 | 加严检验一次抽样方案 .....              | 149 |
| 附表 38 | 放宽检验一次抽样方案 .....              | 150 |
| 参考文献  | .....                         | 151 |

# 第 1 章 光学及工艺知识

## 1. 什么是真空集热管？

真空集热管，全名为真空太阳集热管，包括全玻璃真空太阳集热管和玻璃-金属真空太阳集热管。本书所讲的真空集热管，指的是全玻璃真空太阳集热管。

全玻璃真空太阳集热管由具有太阳选择性吸收涂层的内玻璃管和同轴的罩玻璃管构成，内玻璃管一端为封闭的圆顶形状，由罩玻璃管封离端内带吸气剂的支承件支承；另一端与罩玻璃管熔封成为环状的开口端<sup>[1]</sup>。其构成及组成部件的名称如图 1-1 所示。

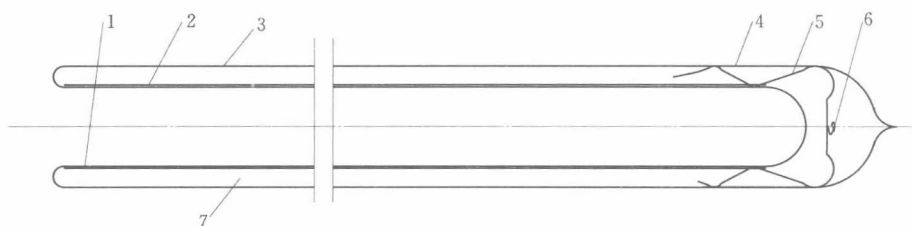


图 1-1 全玻璃真空太阳集热管结构及组成部件

1—内玻璃管；2—太阳选择性吸收涂层；3—罩玻璃管；4—吸气镜面；  
5—支承件；6—吸气剂；7—真空夹层

真空集热管，是太阳热水器和太阳能系统的核心元件，全玻璃真空集热管质量的优劣直接影响到太阳热水器和太阳能系统的使用寿命和性能。

## 2. 真空集热管的发展历程是怎样的？

20 世纪 70 年代中期，由美国欧文斯-伊利诺伊（Owens-Illinois）公司与美国通用电气公司（General Electric Co.）推出商品化的太阳集热管，澳大利亚悉尼大学（Sydney）在此基础上进行研制，并与利民公司（Rheem）合作建立制造全玻璃真空太阳集热管生产线<sup>[2]</sup>。70 年代末，美籍华人贝聿昆先生送给我国几支全玻璃真空太阳集热管样管，引起国内太阳能同行的关注，不久后北京电子管厂和沈阳玻璃仪器厂研制成功全玻璃真空太阳集热管<sup>[1]</sup>，此后清华大学、北京太阳能研究所等单位对全玻璃真空太阳集热管的选择性吸收涂层和全玻璃真空集热管生产制作工艺进行了卓有成效的研究，并对其中的生产制作工艺进行了重大技术改进，逐步实现产业化，进入 20 世纪 90 年代后，该技术快速向全国辐射，我国太阳热水器产业得以快速发展。

目前，世界各地全玻璃真空太阳集热管尺寸对比见表 1-1。

表 1-1 目前世界各地全玻璃真空太阳集热管尺寸对比 (单位: mm)

| 生产地  | 内玻璃管直径 | 罩玻璃管直径 | 壁厚  | 长 度                    |
|------|--------|--------|-----|------------------------|
| 美国   | 42     | 51     | 2   | 1200, 1800             |
| 日本   | 30     | 38     | 1.5 | 1500                   |
| 澳大利亚 | 22     | 30     | 1.4 | 1400                   |
|      | 30     | 38     | 1.4 | 1400                   |
| 中国   | 37     | 47     | 1.6 | 1200, 1500, 1600, 1800 |
|      | 47     | 58     | 1.6 | 1500, 1600, 1800, 2100 |

3. 真空集热管的工作原理及用途是什么？

真空集热管工作原理：全玻璃真空集热管靠内管外壁上的一层选择性吸收涂层，它可以吸收波长为  $0.3\sim2.6\mu\text{m}$  波段的太阳光线来集聚光能，从而使光能转化为热能，并由真空夹层保温隔热，有效降低了向周围环境散失的热损失，使集热效率得以提高，水从涂层外吸热，水温升高，密度减小，热水向上运动，而比重大的冷水下降，即利用全玻璃真空集热管的虹吸对流实现对水箱内水加温，如图 1-2 所示。

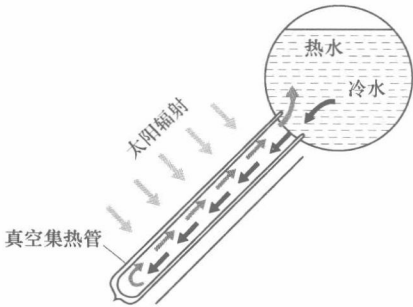


图 1-2 全玻璃真空集热工作原理

全玻璃真空太阳能集热管的产品质量与选用的玻璃材料、真空性能和选择性吸收膜有重要关系<sup>[2]</sup>。

目前太阳能热利用主要集中在低温领域的生活热水方面，但随着国家节能减排工作的深入，太阳能中高温领域的应用会越来越广泛。在中国，民用能耗仅占总能耗的 20%，工业用热耗能约占全国能源消耗量的 40%~50%，其中 2/3 工业用热可以利用太阳能作为替代或补充能源<sup>[3]</sup>。

太阳能工业的热能可广泛应用于食品工业、纺织工业、化学工业、制冷空调、取暖等领域，如果在工业中充分利用由太阳能提供的 200℃ 左右的中温热能，那么就可节省全部工业用热所需常规能源的 10%~25%。因此用太阳能代替或补充需要中高温支撑的工业热能，是实现“低碳经济”的又一捷径，也符合中国规划调整能源结构的需求，也就为中高温太阳能热利用提供了庞大的市场需求。

4. 太阳辐射能量有多大？

太阳不停地向四周空间放射出巨大的能量，平均每秒钟即达  $3.865\times10^{26}\text{J}$ ，相当于每秒钟烧掉  $1.32\times10^{16}\text{t}$  标准煤所释放出来的能量，到达地球的能量仅占 22 亿分之一，约合  $1.765\times10^{17}\text{J}$ ，折合标准煤  $6\times10^6\text{t}$ ，全世界一年的能量消耗总和大约相当于 30min 到达地球的太阳光能量总和，按目前消耗的速率计算，太阳还足以维持  $6\times10^{10}$ （60 亿）年，所以太阳能可称得上“取之不尽，用之不竭”<sup>[4]</sup>。

太阳光是由极为宽阔的连续谱以及数以万计的吸收线和发射线组成，如图 1-3 所示。

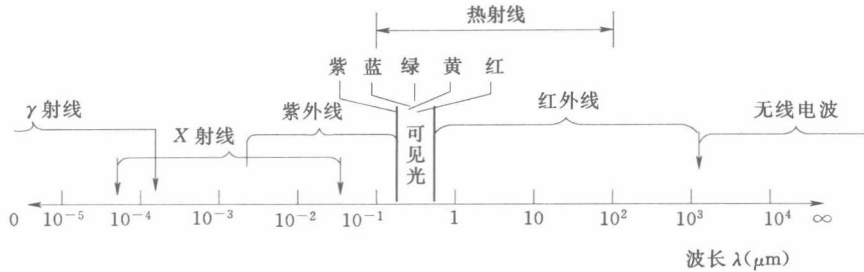


图 1-3 电磁辐射波谱

5. 地球表面的太阳辐射是怎样的？

太阳辐射要穿过地球大气层才能达到地面，由于地球上的大气层中的气体分子、尘埃、水滴、冰晶、灰尘及云层等，对太阳辐射有散射、发射和吸收的作用，所以太阳辐射能量会衰减。到达地面的太阳辐射能量还与通过地球大气的路径、太阳方位角、气候条件等有关。如图 1-4 所示给出了太阳与 6000K 黑体辐射的光谱辐照度曲线，两者曲线分布很相似，因此可以把表面温度为 6000K 的太阳辐射近似为一个黑体。

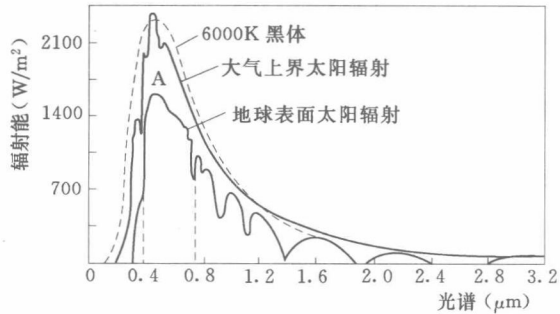


图 1-4 太阳辐照曲线

6. 什么是太阳常数？

太阳常数的表征是到达大气层顶部的太阳辐射，其定义为地球位于日地平均距离处，在大气层外垂直太阳辐射光束平面上形成的辐射出射度<sup>[5]</sup>。

昼夜是由于地球自转而产生的，而季节是由于地球的自转轴与地球围绕太阳公转的轨道的转轴呈  $23^{\circ}27'$  的夹角而产生的。地球每天绕着通过它本身南极和北极的“地轴”自西向东自转一周。每转一周为一昼夜，所以地球每小时自转  $15^{\circ}$ 。地球除自转外还循偏心率很小的椭圆轨道每年绕太阳运行一周。地球自转轴与公转轨道面的法线始终呈  $23^{\circ}27'$ 。地球公转时自转轴的方向不变，总是指向地球的北极。因此地球处于运行轨道的不同位置时，太阳光投射到地球上的方向也就不同，于是形成了地球上的四季变化。每天中午时分，太阳的高度总是最高。在热带低纬度地区（即在赤道南北纬度  $23^{\circ}27'$  之间的地区），一年中太阳有两次垂直入射，在较高纬度地区，太阳总是靠近赤道方向。在北极和南极地区（在南北半球大于  $90^{\circ} \sim 23^{\circ}27'$ ），冬季太阳低于地平线的时间长，而夏季则高于地平线的时间长。

由于地球以椭圆形轨道绕太阳运行，因此太阳与地球之间的距离不是一个常数，而且一年里每天的日地距离也不一样。众所周知，某一点的辐射强度与距辐射源的距离的平方成反比，这意味着地球大气上方的太阳辐射强度会随日地间距离不同而异。然而，由于日

地间距离太大（平均距离为  $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ ），所以地球大气层外的太阳辐射强度几乎是一个常数。因此人们就采用所谓“太阳常数”（见图 1-5）来描述地球大气层上方的太阳辐射强度（见图 1-6）。它是指平均日地距离时，在地球大气层上界垂直于太阳辐射的单位表面积所接受的太阳辐射能。太阳常数并非严格的物理常数，近年来通过各种先进手段测得的太阳常数的标准值为  $1367 \text{ W/m}^2$ ，一年中由于日地距离的变化所引起太阳辐射强度的变化不超过  $\pm 3.4\%$  [5]。

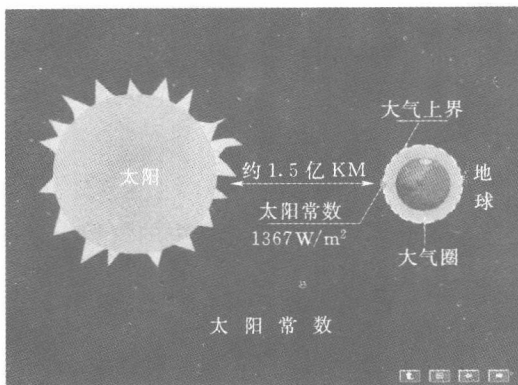


图 1-5 太阳常数模拟图

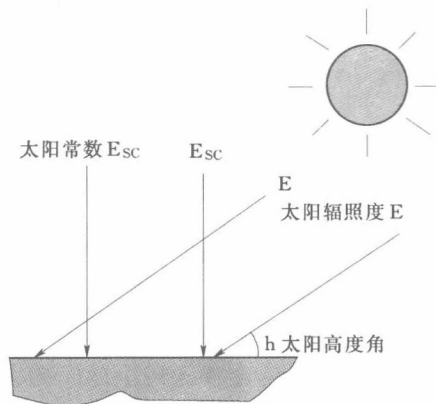


图 1-6 太阳高度角和太阳辐射强度

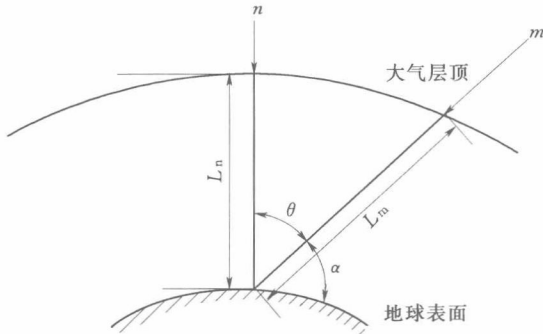


图 1-7 大气质量

### 7. 绝对大气质量是什么？

设在海平面上空到大气层顶垂直方向，太阳辐射路线为  $L_n$ ，而太阳辐射的任意路线为  $L_m$ ， $L_m$  与  $L_n$  之间的夹角  $\theta$  为天顶角，如图 1-7 所示。绝对大气质量的定义为：太阳辐射光线穿过地球大气层的路程  $L_m$  与太阳辐射光线垂直方向穿过地球大气层路线  $L_n$  之比 [5]（AM），其表示为

$$AM = L_m / L_n = \sec \theta \tag{1-1}$$

AM 实际上是绝对大气质量，大气质量（m）是太阳在任何位置与在天顶时，日射通过大气到达观测点的路径之比，为比较不同海拔地点的 m 值，需要与绝对大气质量配合

$$AM = m \frac{P}{P_0} \tag{1-2}$$

式中：P 为当地大气压，Pa； $P_0$  为标准大气压，Pa。

因此，大气质量为零的状态（AM0），指地球大气层外的大气质量；大气质量为 1 的状态（AM1），指太阳辐射通过天顶垂直入射到地球海平面时的大气质量 [5]；大气质量为 1.5（AM1.5），指  $\theta = 48.2^\circ$  时，典型晴天时太阳光照射到一般地面的情况，我国在太阳能热利用的工程设计和计算采用大气质量 1.5，即 AM1.5 与国际接轨。