

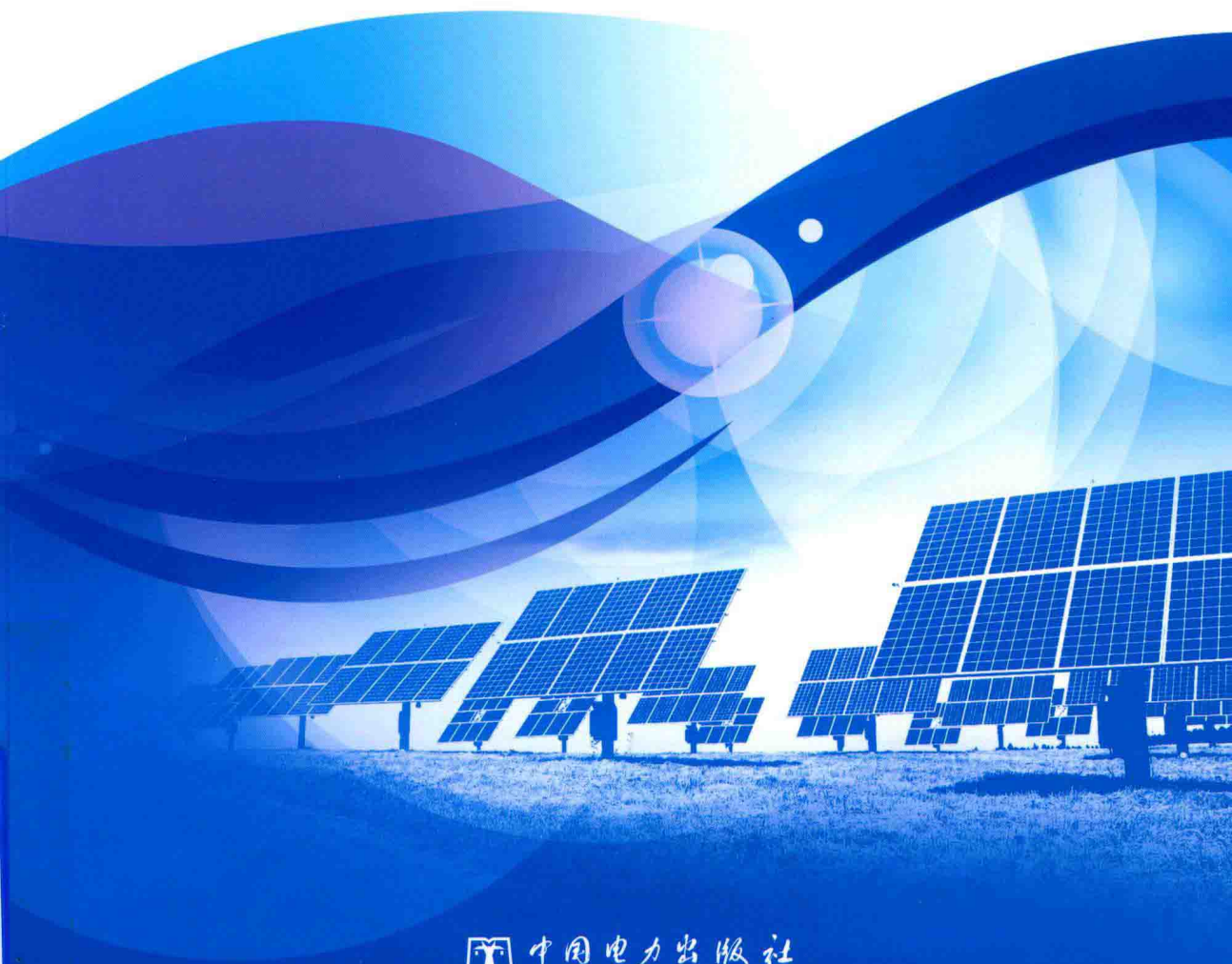


新能源 技术丛书

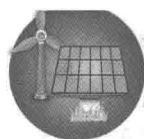
# 太阳能利用技术

郑瑞澄 等 编著

TAIYANGNENG LIYONG JISHU



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



新能源技术丛书

# 太阳能利用技术

郑瑞澄 等 编著

TAIYANGNENG LIYONG JISHU



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

新能源和可再生能源是全世界共同关注的技术领域,事关国家战略和能源发展方向。太阳能是最重要的绿色可再生能源,对我国的能源转型起着极其关键的作用。因此,为了普及太阳能利用知识,促进太阳能应用技术的推广与发展,特别编写本书。

本书共十章,分别为概述、太阳能供热采暖、被动式太阳能房、太阳灶、太阳能干燥、太阳能制冷空调、太阳能蒸馏系统与海水淡化、太阳能热发电、太阳炉与太阳能热化学、太阳能光伏发电。主要内容包括各类技术的发展概述、系统工作原理、系统设计原则、技术经济评价和典型工程示例等。

本书可供能源、建筑和相关技术领域的工程技术人员,设计、施工工程师和管理人员,以及大专院校师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

太阳能利用技术 / 郑瑞澄等编著. —北京: 中国电力出版社, 2018.9  
(新能源技术丛书)

ISBN 978-7-5198-1937-8

I. ①太… II. ①郑… III. ①太阳能利用 IV. ①TK519

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 073198 号

---

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 王杏芸 (010-63412394)

责任校对: 黄 蓓 李 楠

装帧设计: 张俊霞

责任印制: 杨晓东

---

印 刷: 北京天宇星印刷厂

版 次: 2018 年 9 月第一版

印 次: 2018 年 9 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 18

字 数: 394 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 58.00 元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换



# 前言

能源是人类生存和发展最重要的物质基础。随着我国社会经济的快速发展和人民生活水平的不断提高,能源供给与环境污染的问题日益突出,使新能源和可再生能源受到了国家及社会各界越来越多的关注。世界各国能源转型的基本趋势是:实现由化石能源为主向,以新能源和可再生能源等低碳能源为主的可持续能源体系转型,我国也不例外。为降低能耗,既要节约,又要开源,努力增加可再生能源在全社会用能中的比例,已经成为我国今后经济建设的重要发展战略。作为一个负责任的世界大国,中国在巴黎气候大会做出承诺:2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%~65%,非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右。中国为全球应对气候变化的事业做出了卓越贡献。

“大海航行靠舵手,万物生长靠太阳”,太阳能是永不枯竭的清洁能源,也是最重要的可再生能源。我国是全球太阳能利用大国,太阳能集热器和太阳能光伏电池的产量和安装使用量居世界第一,部分产品和关键技术拥有自主知识产权,在国际太阳能利用领域具有举足轻重的地位。但是,中国还不是太阳能利用强国,与发达国家相比,整体技术水平仍有一定的差距。发挥优势、缩小差距、合理规划、科学发展,是太阳能领域全体从业人员的努力方向,也是实现我国太阳能利用技术持续进步的关键所在。

为了普及太阳能利用的知识,推动太阳能在工农业、建筑等各个领域中的应用,相关领域的专家合作,共同编写完成了本书。全书内容丰富,总结了我国多年的科研成果和工程实践,全面介绍了各类太阳能技术的发展概况、系统工作原理、系统设计原则、技术经济评价和典型工程示例。本书可供从事太阳能利用相关技术领域的工程技术人员,设计、施工工程师和管理人员,以及大专院校师生等参考使用。

本书第一章由郑瑞澄编写;第二章由郑瑞澄、李博佳编写;第三章由郑瑞澄、王敏编写;第四章由高援朝编写;第五章由张璧光、伊松林编写;第六章由代彦军编写;第七章由代彦军编写;第八章、第九章由张剑寒编写;第十章由马胜红编写。对本书做出贡献的还有(排名不分先后)戴恩乾、王聪辉、黄祝连、邓昱、张磊、王博渊等,在此

对以上人员深表谢意。

希望本书能对我国太阳能利用技术的提高和发展提供借鉴，为太阳能利用工程的设计和建设提供技术支持。编著者在编写过程中付出了努力，也进行了一些创新尝试，但由于水平有限疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正，并提出宝贵意见。

编 者

2018 年 9 月



# 目 录

## 前言

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>第一章 概述</b> .....       | 1  |
| 第一节 太阳辐射的基本知识 .....       | 1  |
| 第二节 太阳能资源 .....           | 5  |
| 第三节 太阳能利用技术 .....         | 5  |
| 本章参考文献 .....              | 11 |
| <b>第二章 太阳能供热采暖</b> .....  | 13 |
| 第一节 概述 .....              | 13 |
| 第二节 太阳能供热采暖技术原理 .....     | 16 |
| 第三节 低温型太阳能集热器 .....       | 23 |
| 第四节 太阳能供热采暖系统设计原则 .....   | 32 |
| 第五节 太阳能供热采暖工程示例 .....     | 40 |
| 本章参考文献 .....              | 43 |
| <b>第三章 被动式太阳能房</b> .....  | 44 |
| 第一节 概述 .....              | 44 |
| 第二节 被动式太阳能房工作原理及适用性 ..... | 46 |
| 第三节 被动式太阳能房的规划与建筑设计 ..... | 52 |
| 第四节 被动式太阳能房的热工设计 .....    | 57 |
| 第五节 被动式太阳能房的主要构造做法 .....  | 64 |
| 第六节 被动式太阳能房工程示例 .....     | 69 |
| 本章参考文献 .....              | 71 |
| <b>第四章 太阳灶</b> .....      | 72 |
| 第一节 概述 .....              | 72 |
| 第二节 太阳灶的分类与结构 .....       | 74 |
| 第三节 太阳灶的壳体材料和反光材料 .....   | 81 |
| 第四节 聚光型太阳灶的技术要求 .....     | 83 |
| 第五节 太阳灶的安装调试 .....        | 84 |

|            |                           |     |
|------------|---------------------------|-----|
| 第六节        | 聚光式太阳灶设计与制作 .....         | 86  |
| 第七节        | 我国太阳灶的发展概况 .....          | 92  |
| <b>第五章</b> | <b>太阳能干燥</b> .....        | 106 |
| 第一节        | 概述 .....                  | 106 |
| 第二节        | 太阳能干燥的基础知识 .....          | 111 |
| 第三节        | 温室型太阳能干燥装置 .....          | 113 |
| 第四节        | 集热器型太阳能干燥装置 .....         | 115 |
| 第五节        | 太阳能与热泵组合干燥装置 .....        | 119 |
| 第六节        | 太阳能与其他能源组合干燥装置 .....      | 124 |
|            | 本章参考文献 .....              | 132 |
| <b>第六章</b> | <b>太阳能制冷空调</b> .....      | 134 |
| 第一节        | 概述 .....                  | 134 |
| 第二节        | 太阳能空调制冷技术原理 .....         | 141 |
| 第三节        | 太阳能制冷空调系统评价指标 .....       | 146 |
| 第四节        | 太阳能空调系统负荷分析 .....         | 151 |
| 第五节        | 太阳能空调系统性能评价与经济性 .....     | 152 |
| 第六节        | 太阳能空调工程案例 .....           | 154 |
|            | 本章参考文献 .....              | 165 |
| <b>第七章</b> | <b>太阳能蒸馏系统与海水淡化</b> ..... | 167 |
| 第一节        | 概述 .....                  | 167 |
| 第二节        | 太阳能海水淡化技术原理 .....         | 174 |
| 第三节        | 太阳能海水淡化系统评价指标 .....       | 180 |
| 第四节        | 太阳能海水淡化系统设计原则 .....       | 182 |
| 第五节        | 太阳能海水淡化工程案例 .....         | 183 |
|            | 本章参考文献 .....              | 186 |
| <b>第八章</b> | <b>太阳能热发电</b> .....       | 188 |
| 第一节        | 概述 .....                  | 188 |
| 第二节        | 抛物面槽式热发电系统 .....          | 193 |
| 第三节        | 塔式热发电系统 .....             | 204 |
| 第四节        | 碟式热发电系统 .....             | 216 |
| 第五节        | 线性菲涅尔式热发电系统 .....         | 220 |
| 第六节        | 太阳能热发电经济分析 .....          | 224 |
| <b>第九章</b> | <b>太阳炉与太阳能热化学</b> .....   | 230 |
| 第一节        | 太阳炉 .....                 | 230 |
| 第二节        | 太阳能热化学 .....              | 236 |
| <b>第十章</b> | <b>太阳能光伏发电</b> .....      | 244 |
| 第一节        | 光伏发电概述 .....              | 244 |

第二节 光伏发电原理 ..... 248

第三节 太阳电池组件 ..... 252

第四节 太阳能资源和场地评价 ..... 260

第五节 系统负载评估 ..... 264

第六节 控制器 ..... 267

第七节 逆变器 ..... 274



## 第一章

# 概述

### 第一节 太阳辐射的基本知识

#### 一、地球大气层外的太阳辐射

##### (一) 太阳光谱

太阳是一个巨大的炽热气体球，内部不断进行热核反应，从而释放出巨大能量。人们肉眼所见到的光耀夺目的太阳表面叫“光球”，“太阳能”的绝大部分是由此发射出来的。光球以电磁波的形式向宇宙空间辐射能量，总称为太阳辐射。

“太阳光谱”是太阳发射的电磁辐射随波长的分布。根据最新探测结果，太阳辐射的波长范围从 0.1nm 以下的宇宙射线至 20m 的无线电波，包括了电磁波谱的绝大部分。其中，0.20~3.00μm 波长范围的紫外线、可见光和红外线，占地球大气层外太阳辐射总能量的 98.07%，而 3.0μm 以上能量所占的百分比则非常小。由于太阳辐射的波长比无线电波要短很多，所以常把太阳辐射称为“短波辐射”。

##### (二) 太阳常数

太阳辐射可以看成是一个表面平均温度为 6000℃ 的黑体辐射，其总功率为  $3.8 \times 10^{26}$  W，但地面上接收到的太阳辐射总功率却只有  $1.7 \times 10^{17}$  W，仅占太阳总能量的二十亿分之一，其影响因素主要是日—地距离和地球大气层引起的衰减。

“太阳常数”是在日—地平均距离时地球大气层上界与太阳光线垂直的表面上，单位面积、单位时间内接收到的太阳辐射能量，它是为讨论日—地距离与到达地面上的太阳辐照度的关系而引入的一个参数。

日地平均距离时日—地间的几何关系如图 1-1 所示。太阳常数的计算公式见式 (1-1)，太阳常数的量值则是通过实测得出的。

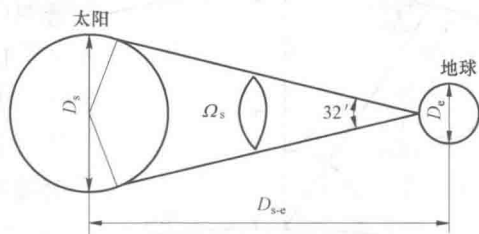


图 1-1 日地平均距离时日—地间的几何关系

$$I_{SC} = \sigma T_S^4 R_S^2 / D_{s-e}^2 \quad (1-1)$$

式中  $I_{SC}$ ——太阳常数，W/m<sup>2</sup>；

$D_{s-e}$ ——日—地距离，m。

从式 (1-1) 可知太阳常数  $I_{SC}$  只是日—地距离  $D_{s-e}$  的函数。因地球绕太阳运行的椭圆形轨道其长短轴偏心率只有 ±3%，它引起  $I_{SC}$  的变化仅为年平均值的 ±3.5%，故认为  $I_{SC}$



为常数。当前国际上经过实测公认的太阳常数为  $1367\text{W}/\text{m}^2 \pm 7\text{W}/\text{m}^2$ 。

## 二、到达地球表面的太阳辐射

### (一) 太阳辐射的衰减

由于地球外表有一层厚约  $30\text{km}$  的大气层，对太阳辐射有较大的影响。太阳辐射穿过大气层时，受到大气中的各类气体，如臭氧、二氧化碳以及水汽和灰尘等物的吸收、反射和散射，从而使得到达地面的太阳辐射显著衰减。大气对太阳辐射的影响如图 1-2 所示。据估计，反射回宇宙的能量约占总能量的 30%，被吸收的约占 23%，其余 47% 左右的能量才到达地球陆地和海洋，成为我们地球上能量的主要来源。

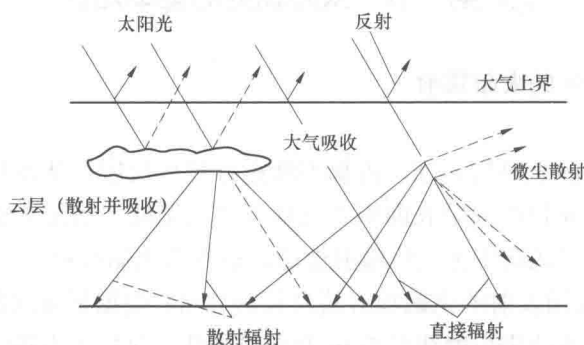


图 1-2 大气对太阳辐射的影响

地球表面上的太阳辐射由两部分组成：① 直射辐射——不改变方向的太阳辐射；② 散射辐射——被大气层或云层反射和散射后改变了方向的太阳辐射。

地球大气层上界的太阳辐射是直射辐射。当它穿过大气层时，部分受到大气空气分子、水蒸气和灰尘颗粒的散射，使到达地球表面的直射辐射显著减小，同时，太阳辐射的各种波长中的某些波长的辐射，被大气中的  $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_3$  所吸收，所以，到达地面的直接辐射和散射的和，必定小于大气层上界的太阳辐射。太阳辐射的衰减程度和大气质量及大气透明度有关。

#### 1. 大气质量

太阳辐射透过大气层时，通过的路程越长，则大气对太阳辐射的吸收，反射和散射的量越多，太阳辐射被衰减的程度也越厉害，到达地面的辐射通量便越小。“大气质量”  $m$  是太阳辐射通过大气层的无量纲路程，是太阳光通过大气的路径与太阳在天顶方向时的路径的比值。令海平面上太阳光垂直入射的路径为 1，

即无量纲距为  $m=1$ 。则大气质量的示意图如图 1-3 所示。太阳高度角与大气质量的关系见表 1-1。

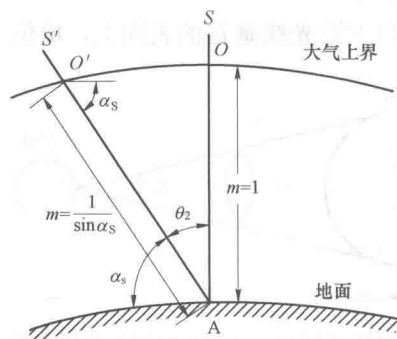


图 1-3 大气质量示意图

表 1-1

太阳高度角与大气质量的关系

| 太阳高度角 $\alpha_s$          | 90°   | 60°   | 45°   | 30°   | 10°   | 5°     |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 大气质量 ( $1/\sin\alpha_s$ ) | 1.000 | 1.155 | 1.414 | 2.000 | 5.758 | 11.480 |

因此,太阳在地面上方的高度越低,即高度角越小, $m$  越大,太阳辐射受大气衰减的作用越大,当太阳接近地平线时,其大气质量是天顶时的十多倍,所以这时的太阳辐照度较低。

## 2. 大气透明度

大气透明度对太阳辐射的影响,则反映在表 1-2 中。

表 1-2

各种大气透明度下水平面上太阳总辐射与  
太阳高度角的关系(日地平均距离)(W/m<sup>2</sup>)

| 透明度 $P_2$ | 太阳高度角 $\alpha_s$ (°) |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |
|-----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|           | 7                    | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 40    | 50    | 60    | 75     | 90     |
| 很混浊 0.60  | 48.8                 | 83.7  | 153.5 | 230.3 | 314.0 | 376.8 | 530.3 | 690.8 | 802.5 | 900.2  | 949.0  |
| 混浊 0.65   | 55.8                 | 104.7 | 174.4 | 258.2 | 334.9 | 411.7 | 579.2 | 732.7 | 844.3 | 949.0  | 983.9  |
| 偏低 0.70   | 69.8                 | 118.6 | 195.4 | 279.1 | 355.9 | 439.6 | 600.1 | 753.6 | 865.3 | 983.9  | 1025.8 |
| 正常 0.75   | 83.7                 | 132.6 | 216.3 | 300.0 | 383.8 | 474.5 | 648.9 | 788.5 | 907.1 | 1018.8 | 1067.6 |
| 偏高 0.80   | 90.7                 | 139.6 | 223.3 | 314.0 | 411.7 | 502.4 | 676.9 | 816.4 | 956.0 | 1060.6 | 1109.5 |
| 很透明 0.85  | 97.7                 | 153.5 | 244.2 | 341.9 | 439.6 | 537.3 | 697.8 | 858.3 | 983.9 | 1102.5 | 1144.4 |

## (二) 不同倾角表面的太阳辐射

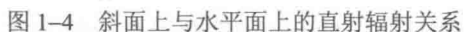
确定投射在某地太阳能集热器或光伏电池等太阳能部件采光面上的太阳辐照度的量值是设计太阳能热利用系统需要首先解决的一个基本问题。为获取更多的太阳热量,太阳能部件的安装会与水平面有一倾角。由于一般气象资料给出的是水平面上的太阳辐照量,所以,在设计时必须把水平面上的太阳辐照量转换成等于太阳能部件安装倾角的倾斜面上的太阳辐照量。

倾斜表面上的太阳总辐照度  $I_\theta$  由三部分组成:直射辐射  $I_{D,\theta}$ 、散射辐射  $I_{d,\theta}$  和地面反射  $I_{R,\theta}$  即

$$I_\theta = I_{D,\theta} + I_{d,\theta} + I_{R,\theta} \quad (1-2)$$

单位为 W/m<sup>2</sup>。

在进行转换计算时,直射辐射、散射辐射和地面反射的方法和公式是不同的。

1. 斜面上的直射辐射照度  $I_{D \cdot \theta}$ 

斜面上的直射辐射照度可通过逐时计算准确实现从水平面到倾斜面的转换,图 1-4 所示表示了倾斜面上和水平面上直射辐射的关系。

### 水平面上的直射辐射照度

$$I_{DH} = I_n \sin \alpha_s \quad (1-3)$$

$$I_{D \cdot \theta} = I_n \cos \theta_T \quad (1-4)$$

式中  $I_n$ ——垂直于太阳光线表面上的太阳直射辐射照度;

$\theta_r$ ——太阳直射辐射的入射角，太阳入射光线与接收表面法线之间的夹角。

则

$$R_b = \text{斜面上的直射辐射/水平面上的直射辐射} = I_{D,\theta} / I_{DH} = \cos \theta_T / \sin \alpha_s \quad (1-5)$$

入射角的计算公式为

$$\begin{aligned} \cos \theta_f = & \sin \delta \sin \Phi \cos S - \sin \delta \cos \Phi \sin S \cos \gamma_f + \cos \delta \cos \Phi \cos S \cos \omega + \\ & \cos \delta \sin \Phi \sin S \cos \gamma_f \cos \omega + \cos \delta \sin S \sin \gamma_f \sin \omega \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中  $\theta_T$ ——入射角;

 $\delta$ ——赤纬角； $\omega$ ——时角； $\Phi$ ——当地地理纬度;

$\gamma_f$  ——表面方位角, 指倾斜表面法线在水平面上投影线与南北方向线之间的夹角。

对于朝向正南的倾斜表面,  $\gamma_f=0$ ;

$S$ ——表面倾角，指表面与水平面之间的夹角。

$$I_{D \cdot \theta} = R_b I_{DH} \quad (1-7)$$

单位为  $\text{W/m}^2$ 。

朝向正南的倾斜表面, 由于 $\gamma_f=0$ ,  $R_h$ 的计算公式可简化为

$$R_p = [\cos(\Phi - S) \cos \delta \cos \omega + \sin(\Phi - S) \sin \delta] / [\cos \Phi \cos \delta \cos \omega + \sin \Phi \sin \delta] \quad (1-8)$$

2. 斜面上的散射辐射辐照度  $I_{d,\theta}$ 

认为散射辐射是各向同性的, 即太阳散射辐射均匀分布在半球天空, 则斜面上的散射辐照度  $I_{d,\theta}$  计算公式如下:

$$I_{d,\theta} = I_{dH}(1 + \cos S)/2 \quad (1-9)$$

式中  $I_{d \cdot \theta}$ ——倾斜面上的散射辐射辐照度,  $\text{W/m}^2$ ;

$I_{\text{dH}}$ ——水平面上的散射辐射辐照度;

$S$ ——倾斜面倾角。

3. 地面上的反射辐射辐照度  $I_{R\theta}$ 

认为地面上的反射辐射是各向同性的, 则地面上的反射辐射照度  $I_{R0}$  可用下式计算

$$I_{R0}=\rho_G(I_{DH}+I_{dH})(1-\cos S)/2 \tag{1-10}$$

式中  $\rho_G$ ——地面反射率，平均值为 0.2，当有雪覆盖地面时取 0.7。

第二节 太阳能资源

一、全球太阳能资源分布

通常用水平面上的年平均太阳总辐射辐照量来衡量某一地区太阳能资源的优劣，年平均太阳总辐射辐照量的单位为 MJ/（m<sup>2</sup>·a）或 kWh/（m<sup>2</sup>·a）。从世界范围来看：非洲、中美、南美洲、澳洲、阿拉伯半岛、中东、南亚和我国的西藏是世界上太阳能资源最丰富的地区，年平均太阳总辐射辐照量可达到 1900kWh/（m<sup>2</sup>·a）以上。

二、中国太阳能资源区划

我国的太阳能资源分布情况见表 1-3。用年平均太阳总辐射辐照量作为区划指标，可分为 4 个不同的太阳能资源区。占我国 60%国土面积地区的年平均太阳总辐射辐照量超过 1400kWh/m<sup>2</sup>，太阳能利用的资源条件比较优越。

表 1-3 中国太阳能资源区划

| 资源区划<br>代号 | 名称    | 指标                     |                         | 占国土<br>面积 | 地区                                                                           |
|------------|-------|------------------------|-------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------|
|            |       | MJ/（m <sup>2</sup> ·a） | kWh/（m <sup>2</sup> ·a） |           |                                                                              |
| I          | 资源极富区 | ≥6700                  | ≥1750                   | 17.4%     | 西藏大部、新疆南部及青海、甘肃和内蒙古的西部                                                       |
| II         | 资源丰富区 | 5400~6700              | 1400~1750               | 42.7%     | 新疆大部、青海和甘肃东部、宁夏、陕西、山西、河北、山东东北部、内蒙古东部、东北西南部、云南、四川西部                           |
| III        | 资源较富区 | 4200~5400              | 1050~1400               | 36.3%     | 黑龙江、吉林、辽宁、安徽、江西、陕西南部、内蒙古东北部、河南、山东、江苏、浙江、湖北、湖南、福建、广东、广西、海南东部、四川、贵州、西藏东南角、台湾地区 |
| IV         | 资源一般区 | <4200                  | <1050                   | 3.6%      | 四川中部、贵州北部、湖南西北部                                                              |

第三节 太阳能利用技术

本书所包含的太阳能利用技术类型可以分为太阳能发电和太阳能热利用两大技术领域。



## 一、太阳能发电技术

本书按照发电的技术原理,将太阳能发电划分为太阳能光伏发电和太阳能热发电两种技术类型。

### (一) 太阳能光伏发电技术

太阳能光伏发电的技术原理是早在 1893 年就由法国科学家贝克雷尔(Becquerel)发现的“光生伏特效应”,简称“光伏效应”,即光照能使半导体材料不同部位之间产生电位差的现象。利用“光伏效应”生产的各类“光伏电池”是太阳能光伏发电系统中最为关键的重要部件。

随着光伏发电理论和技术的不断发展,太阳电池的种类也在不断增加,目前光伏电池产品的种类主要有晶体硅电池和薄膜电池。晶体硅电池包括单晶硅(mono-Si)和多晶硅(p-Si)太阳电池,薄膜电池包括:非晶硅(a-Si)、铜铟硒(CIS)和碲化镉(CdTe)等太阳电池。目前,晶体硅太阳电池仍占市场主导地位,其市场占有率在 90%以上,但为进一步降低生产成本,薄膜太阳电池技术是未来主要的发展方向。

太阳能光伏发电技术的应用主要在以下三个方面。

#### 1. 光伏消费品

指使用光伏太阳电池制造的各类照明器具和其他商品。主要包括太阳能庭院灯、草坪灯、信号灯、手电筒、充电器、太阳能手表、计算器和玩具,以及太阳能游艇、电动汽车、飞机等。

#### 2. 独立光伏发电系统

指未与公共电网相连接的太阳能光伏发电系统,又可称为离网光伏发电系统。主要包括独立电站、户用光伏系统、通信及工业应用光伏系统等。在解决边远、无电地区和微波中继站等特殊对象的供电方面,它可以发挥不可替代的独特作用。

#### 3. 并网光伏发电系统

指与公共电网相连接的太阳能光伏发电系统,又可称为联网光伏发电系统。主要包括集中式大型荒漠电站、与建筑结合的集中或分散式光伏发电系统(BIPV)等。其优势是所发出的电能被直接输送给电网,再由电网统一调配向用户供电,因此它成为国际上和我国今后的发展方向。

独立光伏发电系统主要由太阳能电池方阵、控制器、蓄电池组、独立直流/交流逆变器等部件组成。并网光伏发电系统可以保留蓄电池组(可调度型)、也可取消蓄电池组(不可调度型);可调度型并网光伏发电系统主要由太阳能电池方阵、控制器、蓄电池组、联网直流/交流逆变器等部件组成,其主动性较强,在出现电网限电、掉电、停电等情况下仍可正常供电;不可调度型并网光伏发电系统则主要由太阳能电池方阵、控制器、联网直流/交流逆变器等部件组成,由于取消了蓄电池组,因此其投资成本较低。联网逆变器与独立逆变器的不同之处在于它不仅可以将太阳能电池方阵发出的直流电转换为交流电,还可以对交流电的频率、电压、电流、相位、有功与无功、同步、电能品质(电压波动、高次谐波)等进行控制,从而保障电网安全。

## （二）太阳能热发电技术

太阳能热发电是利用聚光型太阳能集热器将低密度的太阳能汇聚生成高密度能量，然后由工作流体将其转换为热能，再利用热能发电的技术。

太阳能热发电与火力发电站的热力循环部分是相同的，但太阳能热发电既可以采用常规火力发电站中通用的朗肯循环，也可以使用更为高效的布雷顿循环和斯特林循环。因此，建设太阳能热发电站时，需要大片土地、良好的太阳能辐照条件和满足发电用水需求的水资源；而且，太阳能热发电是主要使用太阳能的直射辐射资源，而不是总辐射资源。所以，从我国的太阳能资源分布来说，位于西部、北部直射辐射太阳能资源丰富、土地空置率高的半固定、固定沙地沙丘及洪积冲积戈壁是适于建设太阳能热发电站的最佳地区；包括内蒙古高原东部的浑善达克沙地、东北平原西部的科尔沁沙地、内蒙东北部的呼伦贝尔沙地 and 新疆北部准噶尔盆地的沙漠等。

太阳能热发电可采用直接和间接（二元循环）两种热力循环，前者是直接利用吸热器产生的蒸汽（高温气体）驱动汽（燃气）轮机组发电，后者则是通过主系统热循环过程中的热交换加热辅助系统中的工作介质——水或低沸点流体产生蒸汽驱动汽轮机组发电。按太阳能的收集型式进行分类，太阳能热发电系统又可以分为聚光型和非聚光型两类。聚光可使系统达到较高的工作温度，所以聚光型是中高温太阳能热发电系统，非聚光型则为低温太阳能热发电系统。

目前已具备商业化应用水平的聚光型太阳能热发电系统主要有以下三种。

（1）塔式太阳能热发电系统。塔式太阳能热发电系统的主要部件有定日镜、接收塔、吸热器和汽轮发电机组等。吸热器（单侧或四周受光）置于接收塔的顶部，若干台定日镜根据吸热器的类型，排列在接收塔的一侧或四周；这些定日镜自动跟踪太阳，将反射光准确投射到吸热器内，由吸热器转换太阳光能为热能，加热工作介质产生中高温蒸汽（温度可达 $560^{\circ}\text{C}$ 以上），蒸汽驱动汽轮机组发电。

（2）槽式太阳能热发电系统。槽式太阳能热发电系统的主要部件有槽式聚光型太阳能集热器、热交换器、输配管路和汽轮发电机组等。槽式聚光型太阳能集热器有抛物线形反射镜面，该镜面可将太阳光聚焦到位于镜面聚焦线的吸热管上，从而加热管内的传热工质（油或水）至一定温度，然后经热交换器产生蒸汽，驱动汽轮机组发电。

（3）碟式太阳能热发电系统。碟式太阳能热发电系统的主要部件有旋转抛物面反射镜、吸热器、汽轮或斯特林发电机组等。其发电机理是利用旋转抛物面反射镜将入射太阳光聚焦在镜面焦点处，由该处放置的吸热器利用吸收的热能加热介质，驱动汽轮机组发电；或放置斯特林发电机组直接发电。该系统可单机标准化生产，单台或多台并联使用。

非聚光型太阳能热发电系统主要有以下两种。

（1）透射菲涅尔式太阳能热发电系统。透射菲涅尔式太阳能热发电系统是使太阳光穿过菲涅尔透镜聚集到槽形吸热器内的金属管上，然后加热金属管内的工质，驱动汽轮



机组发电。

(2) 线性反射菲涅尔式太阳能热发电系统。线性反射菲涅尔式太阳能热发电系统是利用一系列位于较低位置的聚光器跟踪太阳辐射,并反射太阳光到固定在聚光器上方的线性吸热器内,加热吸热器内工质,驱动汽轮机组发电。

## 二、太阳能热利用技术

太阳能热利用技术有较多分支,分类的依据也有所不同。本书则是根据太阳能热利用系统可以达到的工作温度,将该项技术先分为“太阳能低温热利用”(＜100℃)、“太阳能中温热利用”(100~250℃)和“太阳能高温热利用”(＞250℃)三大类型。在此基础上,再按照应用领域作技术分类。

### (一) 太阳能低温热利用

太阳能在单位面积上的能量密度较低,所以可满足低温利用需求的太阳能建筑热利用和太阳能工农业热利用,就成为现阶段最具发展潜力的实用领域。

太阳能建筑热利用技术主要包括被动式太阳房、太阳能供热采暖和太阳能制冷空调。而太阳能工农业热利用技术则主要包括太阳能工业用热水和太阳能干燥。

#### 1. 被动式太阳房

被动式太阳房是通过建筑朝向和周围环境的合理布置、内部空间和外部形体的巧妙处理、建筑材料和结构构造的恰当选择,冬季能集取、蓄存、分配和利用太阳热能采暖,夏季又能遮蔽太阳辐射,散逸室内热量降温的一种建筑。在没有安装设置相关供暖、供冷机械设备、装置的情况下,仅依靠被动太阳能建筑设计的措施和手段即可满足建筑物不同程度的冬季供暖和夏季降温的需求,达到一定的室内舒适度水平。

被动太阳能建筑设计的关键要素主要包括以下几个。

(1) 选址和场地总平面规划。通过合理的选址和规划,以充分利用地形、地貌和太阳能光照等自然因素,形成有利于改善建筑热舒适度的微气候环境。

(2) 建筑形体与平、立面设计。通过对建筑形状的合理设计和对建筑体形系数的控制,减少周边冷热环境对建筑物的影响;通过适宜的建筑平、立面设计,以利于建筑物在冬季集取太阳能,而在夏季又能遮蔽太阳辐射。

(3) 建筑保温、隔热和蓄热。通过对屋面、墙体、门窗等建筑围护结构采用的保温、隔热措施,减小建筑物的冬季热损失和夏季得热;选用适宜的内墙、顶棚和地面材料,以蓄存多余热量,平抑室温波动,提高房间的热舒适度水平。

(4) 自然通风与换气。通风换气是提供室内舒适度的重要条件,但又是建筑物冷、热损失的主要途径。因此,需要通过合理的建筑空间设计,形成夏季可散逸室内热量的路径和通道,同时通过选用优良的门窗产品和施工工艺,提高门窗的气密性,减少冬季的冷风渗透热损失。

(5) 太阳能集热。在建筑朝阳面的围护结构上加设阳光间、集热墙等被动太阳能集热部件,从而强化利用建筑围护结构本身集取太阳热量的功能,起到冬季向建筑物供暖的作用;同时,通过对集热部件相应的构造设计,使其夏季能够散逸太阳热量,不致因该部分热量进入室内而影响房间的热环境。

## 2. 太阳能供热采暖

太阳能供热采暖是通过太阳能集热系统, 集取、转换太阳辐射为热能, 加热水或其他工作介质, 用太阳能替代常规能源, 向用户提供生活热水和向建筑物供暖的技术。通常将只具备生活热水供应单一功能的系统定义为太阳能热水系统, 而对同时具有供热水和供暖双重功能的系统, 则定义为太阳能供热采暖系统。

太阳能集热系统的运行方式可分为自然循环和强制循环两类: 自然循环太阳能集热系统主要由太阳能集热器、水箱等贮热装置、管路和控制部件组成; 强制循环太阳能集热系统则在上述自然循环太阳能集热系统部件的基础上, 增加了泵等动力设备。自然循环太阳能集热系统多用于分散式太阳能热水系统, 其典型产品即是过去占国内市场份额最大的紧凑式(太阳能集热器直接与水箱连接)太阳能热水器; 强制循环太阳能集热系统则主要用于建筑一体化的集中式太阳能热水系统和太阳能供热采暖系统。此外, 将在太阳能集热器中直接加热生活用水的系统定义为直接式集热系统, 而在太阳能集热器中加热某种工质的系统则定义为间接式集热系统, 间接式集热系统中需增设换热设备。通常, 在寒冷和严寒地区使用的太阳能热水系统以及太阳能供热采暖系统, 需采用间接式太阳能集热系统。

太阳能集热器是太阳能集热系统中最重要的关键设备, 合理选择太阳能集热器和进行系统集成的优化设计是建设性能优良太阳能集热系统的两大要素。由于太阳能热水和供热采暖采用的是技术成熟度最高的低温型太阳能集热器, 而且我国已发布实施了可涵盖该类太阳能集热器的各种国家标准, 所以, 只要是选择能够符合国标提出技术要求的太阳能集热器, 就能使太阳能集热系统的性能质量有基本保证。

太阳能热水和太阳能供热采暖系统应做到全年使用, 过去所谓太阳能热水器在冬季不能使用的说法实际上是因产品质量不好而导致的认识误区; 特别是太阳能供热采暖系统, 必须通过优化设计和合理配置, 使系统在采暖期为建筑物供暖, 非采暖期向本建筑或相邻建筑物提供生活热水或其他用热, 以及采用季节蓄热等技术措施, 贮存多余热量、转移至冬季用于供暖需求; 从而提高系统的整体节能效益。

## 3. 太阳能制冷空调

使用常规能源的制冷空调系统按用能方式可分为两类: 一类是使用电能的电制冷空调; 另一类是使用热能的热力制冷空调。而这两类制冷空调系统均可利用太阳能。太阳能电制冷空调是使用光伏发电或太阳能热发电产生的电能驱动常规交流电制冷机或特制直流电制冷机实现制冷空调的技术; 而太阳能热力制冷空调则是使用太阳能集热系统产生的热能、替代天然气等常规能源, 驱动常规的热力制冷机实现制冷空调的技术。

太阳能热力制冷空调系统主要由太阳能集热系统、水箱等蓄热装置, 换热设备, 吸收式或吸附式等热力制冷机、泵、管路和控制部件等组成。按照热力制冷机所需的工作温度, 在太阳能集热系统中, 可以配置低温型太阳能集热器, 也可以配置能够产生较高