

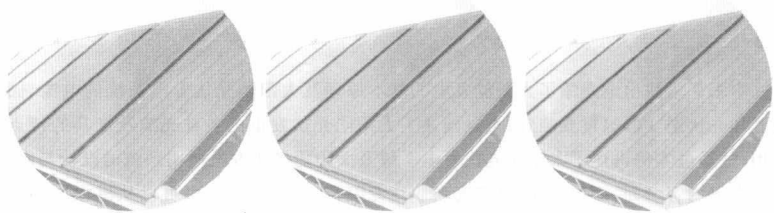
太阳能光伏照明 技术与应用

TAIYANGNENG GUANGFU ZHAOMING
JISHU YU YINGYONG

黄汉云●编著



化学工业出版社



太阳能光伏照明 技术与应用

TAIYANGNENG GUANGFU ZHAOMING
JISHU YU YINGYONG

黄汉云●编著



化学工业出版社
· 北京 ·

本书深入浅出地介绍了太阳能发电的基本原理及太阳能光伏发电系统的电池、储能装置和光伏逆变器等重要装置;重点阐述了太阳能光伏发电的各种光源及灯具的特点和选用;并通过实例讲述了太阳能光伏发电系统及太阳能光伏发电照明系统的设计与应用。

本书内容全面,简明易懂,可作为高职高专院校的专业教材,也可供从事太阳能利用技术及照明设计的工程技术人员参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能光伏照明技术与应用/黄汉云编著. —北京:化学工业出版社, 2009. 6

ISBN 978-7-122-05228-4

I. 太… II. 黄… III. 太阳能-照明 IV. TU113.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 050773 号

责任编辑:丁尚林 王清颖

装帧设计:刘丽华

责任校对:顾淑云

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张6 1/4 字数170千字 2009年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

在人类再生资源逐渐减少和各种生产要素大幅涨价的情况下，太阳能光伏发电照明可以有效改善人类居住环境，并且具有节能、环保、长寿、美观、实用等许多优势，因而得到了国家宏观政策的大力支持。太阳能光伏照明必将成为 21 世纪人类生活中不可缺少的组成部分，成为人类最理想的、最终的选择。

近几年来，我国太阳能光伏产业发展迅速。国产太阳能电池及组件等生产关键设备相继在大生产线上替代了进口的设备并得到广泛应用。但是我国太阳能电池产品整体质量和相关设备制造技术水平不如美、日、欧等发达国家和地区。我国目前只有极少数的城市有些零星的太阳能光伏发电并网系统，国内市场发展缓慢，一旦国外市场受阻，许多太阳能电池生产厂家将面临十分困难的境地。为了提高我国的太阳能光伏照明的整体技术水平，避免市场风险，国家需要大量的太阳能光伏发电产业应用人才和研究型人才。

为此，笔者总结了国内外太阳能光伏照明的技术现状和最新发展，本着理论联系实际，内容深入浅出、循序渐进的原则，编写了本书。

第一章介绍了太阳能光伏发电的基本原理，有利于进一步学习太阳能光伏发电技术。

第二章主要介绍了太阳能电池、太阳能光伏发电储能装置和逆变器，这些都是组成太阳能光伏发电系统的重要装置，因此必须予以高度重视。

第三章重点讲述了太阳能光伏发电的各种光源知识（如白炽灯、卤钨灯、荧光灯、三基色荧光灯、节能灯、高压汞灯、金卤灯、钠灯、无极灯、LED）和光源的选用。

第四章重点介绍了常用而且用得比较广泛的灯具，如路灯、草坪灯、庭院灯、景观灯、杀虫灯等。

第五章介绍了太阳能光伏发电的节能问题。

第六章主要讲述太阳能光伏发电系统及太阳能光伏发电照明系统的设计，这是本书的重点，也是难点，为此，特通过两个典型实例进行阐述。

第七章列出了太阳能光伏发电照明的应用实例，指出了发展太阳能光伏发电产业的重要性和学好本书内容的迫切性。

本书出版在即，得到了江西省新余市太阳能光伏科技职业技术学院（原江西中山职业技术学院）张亢董事长兼校长的大力支持，在此特表示深切的谢意！

由于目前太阳能开发与利用已经进入空前发展的时代，笔者深感水平有限，书中不妥之处在所难免，恳切希望读者、学者批评指正。

黄汉云

江西省新余市太阳能光伏科技职业技术学院

目 录

第 1 章 太阳能光伏发电的基本原理	1
1.1 光学原理	1
1.1.1 光的反射和折射	1
1.1.2 光的漫反射、干涉和逆向反射	2
1.1.3 光的散射	4
1.1.4 光的辐射	5
1.1.5 到达地面的太阳辐射	7
1.2 电学原理	11
1.2.1 自由电子和自由电子的浓度	11
1.2.2 自由电子的迁移率和电导率	11
1.2.3 半导体与金属导体导电的机理	12
1.2.4 半导体二极管的物理特性	13
1.2.5 半导体的能带结构	18
1.2.6 光电导	20
1.2.7 半导体二极管的伏安特性	21
复习题	23
第 2 章 太阳能光伏照明元件	24
2.1 太阳能电池	24
2.1.1 硅太阳能电池材料的优异性能	24
2.1.2 硅太阳能电池的制备	27

2.1.3	硅片的切割	37
2.1.4	太阳能电池片的制造	38
2.1.5	太阳能电池组和光伏方阵	40
2.1.6	太阳能电池方阵的设计和安装	46
2.1.7	最大功率点跟踪控制	51
2.2	铅酸蓄电池	52
2.2.1	铅酸蓄电池分类	52
2.2.2	铅酸蓄电池的组成	52
2.2.3	铅酸蓄电池的基本概念	53
2.2.4	蓄电池充、放电	55
2.2.5	蓄电池的深度放电	58
2.2.6	铅酸蓄电池的容量	59
2.2.7	极板化成	60
2.2.8	铅酸蓄电池的电动势	61
2.2.9	铅酸蓄电池的功率和效率	61
2.2.10	铅酸蓄电池的内电阻	62
2.2.11	铅酸蓄电池的失效原因及其修复方法	62
2.2.12	铅酸蓄电池对环境的污染	67
2.2.13	控制器的几种基本电路和工作原理	67
2.3	光伏逆变器	69
2.3.1	逆变器的概念	69
2.3.2	逆变器的分类	70
2.3.3	波形逆变器	70
2.3.4	逆变器的工作原理	73
2.3.5	对逆变器的基本要求	73
2.3.6	逆变器的操作与维护	74
2.3.7	主要技术参数的控制及保护	75
2.3.8	逆变器的选用	76
2.3.9	产品简介	78
2.3.10	光伏并网逆变器	80
	复习题	86

第 3 章 太阳能光伏发电的光源	88
3.1 四代光源和光特性指标	88
3.1.1 四代光源	88
3.1.2 光特性指标	89
3.2 白炽灯	91
3.2.1 白炽灯发展简史	91
3.2.2 白炽灯（普通灯泡）的原理	92
3.2.3 白炽灯的特性	92
3.3 卤钨灯	94
3.3.1 卤钨灯的原理	95
3.3.2 卤钨灯的结构	95
3.3.3 卤钨灯的优点	95
3.3.4 卤钨灯的应用	96
3.4 荧光灯	100
3.4.1 基本原理	100
3.4.2 荧光灯发光的原理	100
3.4.3 荧光灯的发光效率	101
3.4.4 荧光灯的组成及电路	102
3.5 三基色荧光灯	107
3.5.1 三基色原理	108
3.5.2 三基色荧光灯	109
3.6 节能灯	110
3.6.1 节能灯工作原理	110
3.6.2 节能灯的质量及评价标准	111
3.6.3 节能灯效果	112
3.6.4 直流节能灯	112
3.7 低、高压汞灯	113
3.7.1 低压汞灯	113
3.7.2 高压汞灯	113
3.8 金卤灯	116

3.9 太阳能钠灯	118
3.9.1 低压钠灯	118
3.9.2 高压钠灯	122
3.9.3 高压钠灯的特性	126
3.10 无极灯	129
3.10.1 无极灯的工作原理	129
3.10.2 无极灯特点	129
3.10.3 无极灯的问题	131
3.10.4 市场前景及社会效益	132
3.10.5 注意事项	132
3.11 LED 灯光源	133
3.11.1 LED 基本结构	133
3.11.2 LED 的形成	134
3.11.3 LED 特点	134
3.11.4 LED 分类	136
3.12 各种光源的选用	137
3.12.1 热辐射光源	137
3.12.2 气体放电光源	138
3.12.3 无极灯	139
3.12.4 半导体光源	140
复习题	140

第 4 章 太阳能光伏发电的灯具

4.1 太阳能路灯	142
4.1.1 太阳能路灯的工作原理	142
4.1.2 太阳能路灯的组成	143
4.2 太阳能草坪灯	147
4.2.1 太阳能草坪灯简介	147
4.2.2 LED 作为太阳能草坪灯光源的注意事项	148
4.2.3 太阳能草坪灯简明技术指标	150

4.3	太阳能庭院灯	150
4.3.1	基本构造	151
4.3.2	太阳能庭院灯使用指南	151
4.3.3	太阳能庭院灯特性	152
4.3.4	工作原理	153
4.4	太阳能景观灯	153
4.4.1	景观灯的作用	154
4.4.2	景观灯的分类	154
4.4.3	景观灯具的问题	155
4.5	太阳能杀虫灯	156
	复习题	156
第 5 章	太阳能灯具节能	157
5.1	太阳能光伏发电的节能管理	157
5.1.1	照明节能的基本原则	157
5.1.2	照明节能值得商讨的问题	161
5.2	太阳能照明灯具与普通市电灯具经济效益的对比	162
	复习题	168
第 6 章	太阳能光伏发电系统和设计	169
6.1	太阳能光伏发电系统原理及组成	169
6.1.1	光伏发电系统的工作原理	169
6.1.2	光伏发电系统的组成	169
6.2	光伏发电系统的分类	171
6.2.1	离网光伏发电系统	171
6.2.2	并网光伏发电系统	172
6.3	光伏发电系统运行方式的优势和并网系统的安装	178
6.3.1	光伏发电系统运行方式的优势	178
6.3.2	太阳能并网系统的安装	178
6.4	太阳能光伏发电照明系统设计	179

6.4.1 工作原理、基本组成及设计的原则	179
6.4.2 太阳能光伏发电系统设计步骤	180
6.4.3 系统设计举例	184
6.4.4 系统优化的设计	187
复习题	189
 第 7 章 太阳能光伏照明的应用	 191
7.1 太阳能照明在中国应用的实例	191
7.2 中国太阳能照明在世界应用的实例	199
复习题	200
 参考文献	 201

第1章

太阳能光伏发电的基本原理

1.1 光学原理

1.1.1 光的反射和折射

光在密度均匀的媒质中是直线传播的。

(1) 光的反射定律

前进过程中的光，如果遇到两种媒质的交界面，就会发生反射，如图 1-1 所示。当入射光与反射光位于同一平面内，它们与交界面的法线所夹的入射角 i 和反射角 γ 相等。

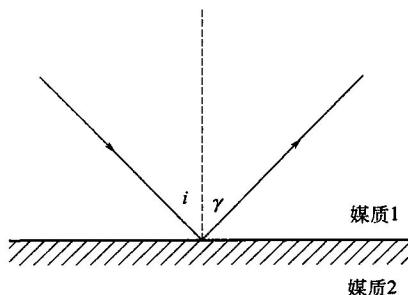


图 1-1 光的反射

(2) 光的折射定律

当光从一种媒质进入另一种媒质时，光的传播方向就会改变。如，将一只筷子斜插入盛满水的容器中（如图 1-2），可以观察到

水中的那段筷子似乎向下折了。这种现象就叫做光的折射。而光的折射定律如下。

① 折射光线在入射光线和法线决定的平面内，折射光线与入射光线分居法线的两侧，如图 1-3 所示。

② 入射角的正弦与折射角的正弦之比等于一个常数（折射率）。

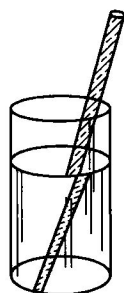


图 1-2 折射现象

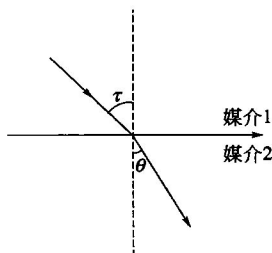


图 1-3 折射定律

1.1.2 光的漫反射、干涉和逆向反射

(1) 光的漫反射

在暗室的桌面上竖一面镜子，再在镜子上面挂上一张白纸，用一支手电筒对镜子照射，可以看到在手电筒光的照射下，白纸被完全照亮，而镜子却显得很暗。这是因为纸的表面上布满了微小的坑坑洼洼，来自外界的光射到这种纸面上，就被凹凸不平的表面反射到四面八方，形成光的漫反射现象（图 1-4）。在制作太阳能电池时，人们有意将向着太阳光的硅的表面腐蚀成凸凹（像连绵不断的山丘一样）的形状，其目的是增大入射光的机会，第一次没有被吸收的光被反射后又投射到另一个山丘上，这样依旧被硅的表面所吸取。这样可使入射光的反射率减少 10% 左右。

(2) 光的干涉

把一个曲率很大的单面凸透镜的弯曲表面压在一个玻璃平面上，如图 1-5(a) 所示，在白光照射下，透镜与玻璃板的接触点为

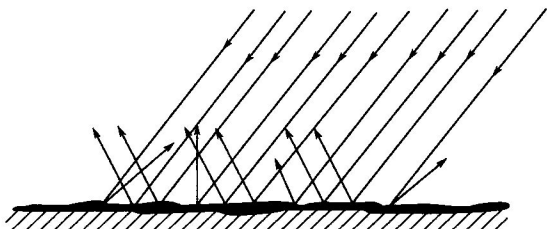


图 1-4 光的漫反射

一暗点，其周围会出现一系列美丽的同心圆环。如果不用白光而用白光分解后的单色光来照射，就会出现很多明暗相间的同心圆环，这就是牛顿环 [如图 1-5(b) 所示]。牛顿环非常有用，至今仍用它来检验研磨后的平板玻璃是否平整。

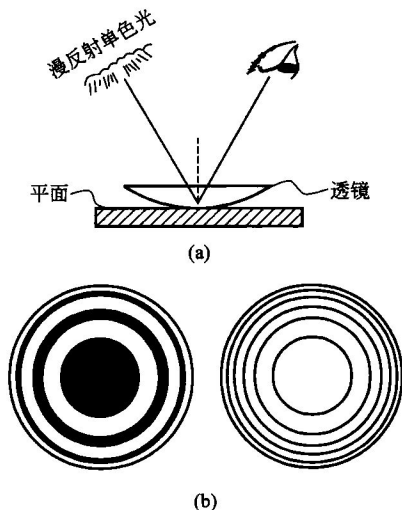


图 1-5 牛顿环

(3) 光的逆向反射

光的逆向反射又称再归反射，它和镜面反射、漫反射不同，能使光线沿原来路径反射回去，如图 1-6 所示。自行车上都有

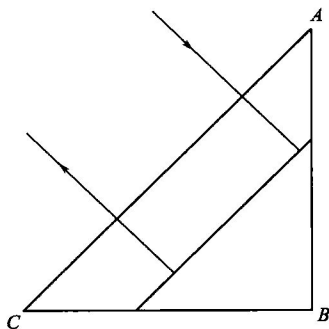


图 1-6 光的逆向反射示意图和应用

一个小小的红色尾灯，夜间，它能把来自后面的光照，沿原来路径反射回去，使车后的人能清楚地看到尾灯反射的红光，从而了解自行车在前面行驶情况。这就是利用光的逆向反射原理。

公路两旁的各种交通标志的符号是逆向反光薄膜制成的。

1.1.3 光的散射

光在传播过程中，遇到两种均匀媒质的分界面时，会产生反射和折射现象。当光在不均匀媒质中传播时，情况就不同了。由于一部分光线不能直线前进，就会向四面八方散射开来，形成光的散射现象。地球周围由空气形成的大气层，就是这样一种不均匀媒质。大气对不同色光的散射作用不是“机会均等”的，波长短的光受到的散射最厉害（图 1-7）。当太阳光受到大气分子散射时，波长较短的蓝光被散射得多一些。由于天空中布满了被散射的蓝光，地面上的人就看到天空呈现出蔚蓝色。

太阳光在大气层中传播的距离越长，被散射掉的短波长的蓝光就越多，长波长的红光的比例也显著增多。最后到达地面的太阳光，它的红色成分也相对增加，就会出现满天红霞和血红夕阳。

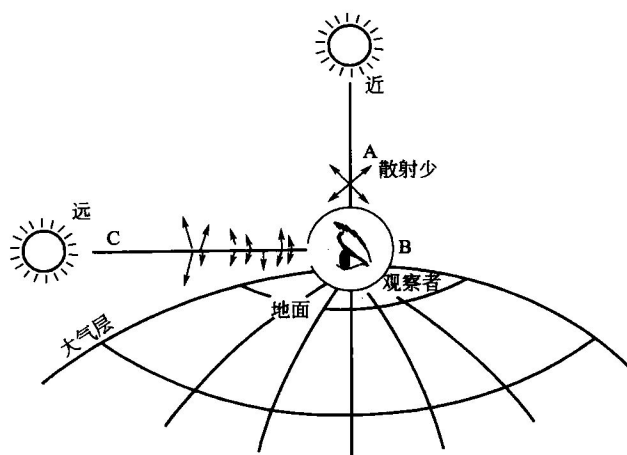


图 1-7 光的散射

1.1.4 光的辐射

自然界中的一切物体，只要温度在绝对温度零度以上，都以电磁波的形式时刻不停地向外传送热量，这种传送能量的方式称为辐射。物体通过辐射所放出的能量，称为辐射能，简称辐射。辐射有一个重要的特点，就是它是“相互的”。任何物体在发出辐射能的同时，也不断吸收周围物体发来的辐射能。这一点不同于传导，传导是单向进行的。辐射能被物体吸收时发生热的效应，物体吸收的辐射能不同，所产生的温度也不同。因此，辐射是能量转换为热量的重要方式。辐射传热是依靠电磁波辐射实现热冷物体间热量传递的过程，是一种非接触式传热，在真空中也能进行。物体发出的电磁波，是在整个波谱范围内分布的。

一个物体辐射出的能量与吸收的能量之差，就是它传递出去的净能量。物体的辐射能力（即单位时间内单位表面向外辐射的能量），随温度的升高增加很快。当辐射能入射到某一物体表面时，对于不透明物体来说，入射一部分能量被吸收，而另一部分能量被

反射；如果物体是透明的，则还有一部分能量被透射出去。物体吸收的辐射能与入射到物体上的总能量的比值，称为该物体的吸收系数，而反射的辐射能与入射到物体上的总能量的比值，则称为该物体的反射系数。一般说来，当一物体受到其他物体投来的辐射（能量为 Q ）时，其中被吸收转为热能的部分为 Q_A ，被反射的部分为 Q_R ，透过物体的部分为 Q_D ，显然这些部分与总能量之间有下列所示的关系：

$$Q_A + Q_R + Q_D = Q$$

$A = Q_A/Q$ 称为吸收率， $R = Q_R/Q$ 称为反射率， $D = Q_D/Q$ 称为穿透率，则有： $A + R + D = 1$ 。

若物体的 $A=1$ ， $R=D=0$ ，即到达该物体表面的热辐射的能量完全被吸收，此物体称为绝对黑体，简称黑体。若 $R=1$ ， $A=D=0$ ，即到达该物体表面的热辐射的能量全部被反射；当这种反射是规则的，此物体称为镜体；如果是漫反射，则称为绝对白体。若 $D=1$ ， $A=R=0$ ，即到达物体表面的热辐射的能量全部透过物体，此物体称为透热体。实际上世界上没有绝对的黑体和绝对的白体，所谓有，只是指这些物体接近绝对黑体或绝对白体而已。例如：没有光泽的黑漆表面接近于黑体，其吸收率为 $0.97 \sim 0.98$ ；磨光的铜表面接近于白体，其反射率可达 0.97 。

影响固体表面的吸收和反射性质的，主要是表面状况和颜色，表面状况的影响往往比颜色更大。固体和液体一般是不透热的。热辐射的能量穿过固体或液体的表面后只经过很短的距离（一般小于 1mm ，穿过金属表面后只经过 $1\mu\text{m}$ ），就被完全吸收。气体对热辐射几乎没有反射能力，在一般温度下的单原子和对称双原子气体（如 Ar 、 He 、 H_2 、 N_2 、 O_2 等），可视为透热体，多原子气体（如 CO_2 、 H_2O 、 SO_2 、 NH_3 等）在特定波长范围内具有相当大的吸收能力。

辐射是以电磁波和粒子（如 α 粒子、 β 粒子等）的形式向外放散。无线电波和光波都是电磁波。电磁波是由不同波长的波组成的