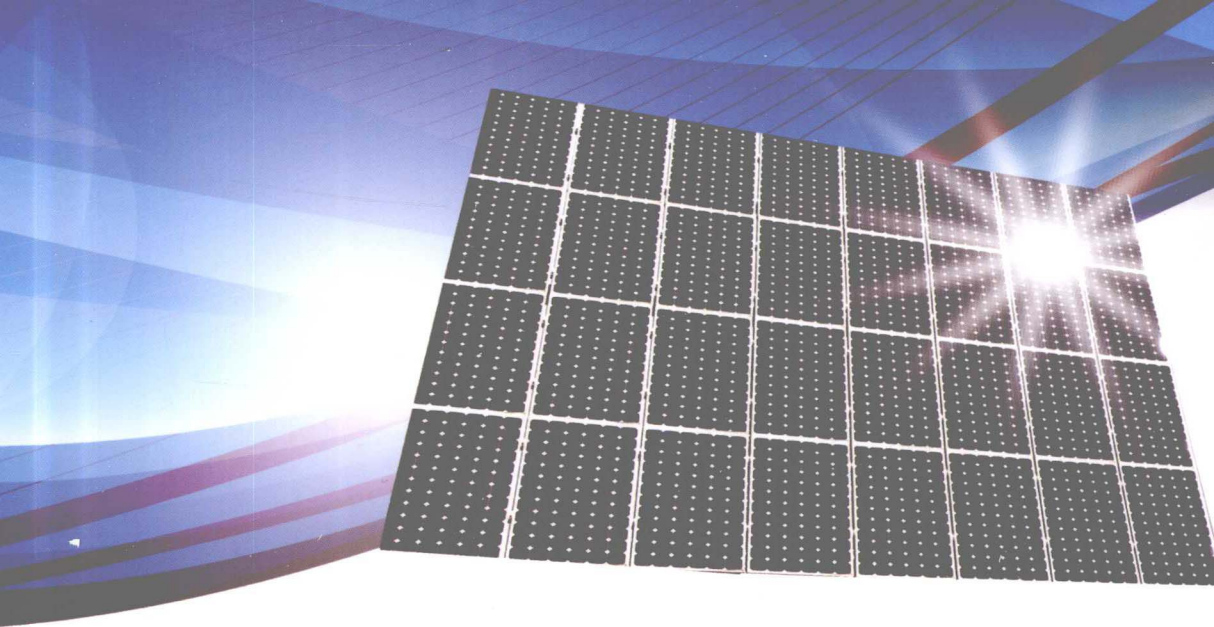




太阳能光伏照明 技术及应用

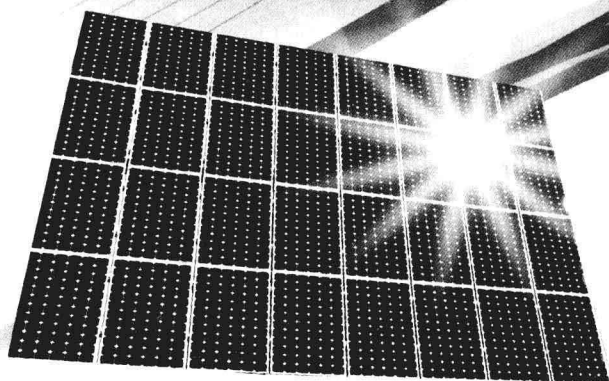
第二版

TAIYANGNENG GUANGFU ZHAOMING
JISHU JI YINGYONG

▶▶▶ 黄汉云 编著



化学工业出版社

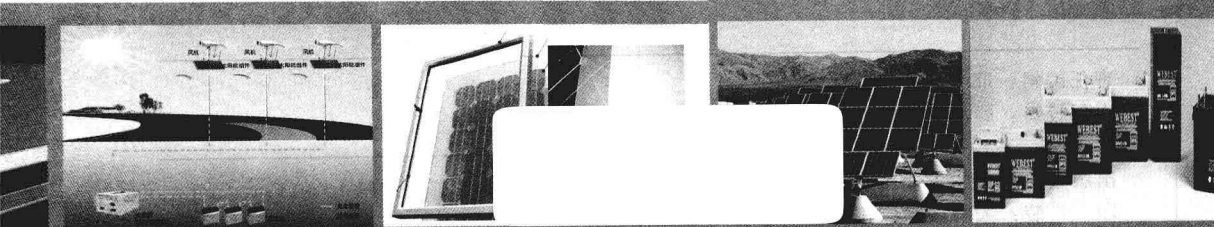


太阳能光伏照明 技术及应用

第二版

TAIYANGNENG GUANGFU ZHAOMING
JISHU JI YINGYONG

▶▶▶ 黄汉云 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书详细介绍了太阳能发电的基本原理、电池材料、太阳能光伏电池组及方阵、储能装置以及相关配件等的设计与制备。同时,较详细介绍了与太阳能光伏发电相适应的照明和配电系统。

本书适宜从事太阳能照明系统开发和安装的技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能光伏照明技术及应用/黄汉云编著.—2版.
北京:化学工业出版社,2012.9
ISBN 978-7-122-14869-8

I. ①太… II. ①黄… III. ①太阳能发电-应用-照明
IV. ①TU113.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第160364号

责任编辑:邢涛
责任校对:顾淑云

文字编辑:冯国庆
装帧设计:韩飞

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司
710mm×1000mm 1/16 印张18¼ 字数361千字 2012年9月北京第2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:49.00元

版权所有 违者必究

前言

太阳能光伏照明技术及应用
TAIYANGNENG GUANGFU ZHAOMING JISHU JI YINGYONG

2010年中国光伏产品的产量达到约8GW，占世界生产总量的50%，居世界首位。但是我国光伏产品的90%以上却在国外市场发挥它的绿色作用，显然“把污染留在了国内，把绿色给予了发达国家”。照明作为日常生活中不可缺少的一部分，成为了世界各国的一项重要能源消耗，据统计照明用电占我国总发电量的10%以上。为了把绿色留在自己的国土，绿色节能太阳能照明的应用越来越受到我国政府的高度重视。目前我国太阳能照明发展非常迅猛，中国城市照明已经进入太阳能时代，其装置几乎覆盖了整个照明领域。市场对太阳能照明产品的需求日趋增长，对产品质量的要求也越来越高。为了促进我国太阳能照明事业的发展，笔者在原编著《太阳能光伏照明技术与应用》一书的基础上，又进行不少的增补，其目的是为了更好作为正在从事太阳能专业的学生学习的教材和供应用太阳能照明的工程技术人员参考。

为了更好地学习和运用太阳能光伏照明知识，作者力求理论联系实际，知识面力求覆盖整个照明领域，内容力求深入浅出、循序渐进。

本书第一版自2009年出版以来，受到读者欢迎，两次印刷的图书已售完，本次再版在原书基础上，增加了太阳能光伏照明电池（第3章）、太阳能照明储能装置（第4章）和太阳能控制器（第5章）等内容，同时，对其他章节进行了增补和修订。

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

黄汉云
江西渝州科技职业学院太阳能学院
2012年7月

目 录

太阳能光伏照明技术及应用
TAIYANGNENG GUANGFU ZHAOMING JISHU JI YINGYONG

第 1 章 太阳能光伏发电照明系统的概述	1
1.1 太阳能光伏发电的迫切性和前景	1
1.2 我国太阳能照明产品的应用	2
1.3 我国太阳能资源	2
1.4 太阳能光伏发电照明系统	3
1.4.1 光伏系统的工作原理	3
1.4.2 光伏系统的组成	3
1.4.3 光伏发电系统的分类	4
第 2 章 太阳能光伏发电的基本原理	5
2.1 光学原理	5
2.1.1 光的反射和折射	5
2.1.2 光的漫反射、干涉和逆向反射	6
2.1.3 光的散射	7
2.1.4 光的辐射	8
2.1.5 太阳常数与太阳光谱	10
2.1.6 太阳高度角和方位角	13
2.1.7 太阳直接辐射、散射辐射与总辐射	16
2.1.8 影响太阳辐射能量的因素	17
2.1.9 大气质量	18
2.1.10 地面辐射	19
2.1.11 直达日射、漫射日射和总日射	19
2.1.12 太阳能辐射强度	20
2.1.13 日照时间和日照时数	20
2.1.14 太阳辐射能量换算关系	22
2.1.15 光电学说	23

2.2 光度学原理	24
2.2.1 视觉特性	24
2.2.2 视见函数	25
2.2.3 光通量	25
2.2.4 发光效率	26
2.2.5 发光强度	26
2.2.6 亮度	27
2.2.7 光照度	28
2.2.8 光源的寿命	28
2.2.9 光度单位的汇总	29
2.2.10 其他与光的特性指标有关的名词解释	29
2.3 电学原理	31
2.3.1 自由电子和自由电子的浓度	31
2.3.2 自由电子的迁移率和电导率	31
2.3.3 半导体与金属导体导电的机理	32
2.3.4 半导体二极管的物理特性	32
2.3.5 半导体的能带结构与光电导	36
2.3.6 光伏效应	38
2.3.7 半导体二极管的伏安特性	38
复习题	40
第3章 太阳能光伏照明电池及阵列	42
3.1 太阳能光伏照明电池	42
3.1.1 太阳能电池材料的分类	42
3.1.2 硅太阳能电池材料的优异的性能	45
3.1.3 硅太阳能电池的制备	46
3.1.4 晶体硅生产对环境的污染	52
3.1.5 硅片的切割	53
3.1.6 太阳能电池片的制造	54
3.2 太阳能电池组件和光伏方阵	55
3.2.1 太阳能电池组件的分类及结构作用	55
3.2.2 太阳能电池组件的极性	67
3.2.3 太阳能电池等效电路	67
3.2.4 太阳能电池(组件)生产工艺流程	68
3.2.5 太阳能电池的性能参数	70
3.2.6 太阳能电池方阵的组成和作用	72

3.2.7	太阳能电池方阵的设计	75
3.2.8	一种新型的太阳能方阵	76
	复习题	77
第4章	太阳能照明贮能装置	79
4.1	铅酸蓄电池	79
4.1.1	铅酸蓄电池的分类	80
4.1.2	铅酸蓄电池的组成	80
4.1.3	酸蓄电池的基本概念	81
4.1.4	蓄电池充、放电	82
4.1.5	蓄电池的深度放电	85
4.1.6	铅酸蓄电池的容量	85
4.1.7	板极化成	86
4.1.8	铅酸蓄电池的电动势	87
4.1.9	功率和效率	87
4.1.10	铅酸蓄电池的内电阻	88
4.1.11	铅酸蓄电池的失效原因及其修复方法	88
4.1.12	铅酸蓄电池对环境的污染	91
4.2	太阳能光伏照明的其他贮能装置	91
4.2.1	镍氢电池	91
4.2.2	镍镉电池	94
4.2.3	锂电池	95
4.2.4	超级电容器	98
	复习题	101
第5章	太阳能控制器与逆变器	102
5.1	太阳能控制器	102
5.1.1	太阳能控制器的功能	102
5.1.2	选择太阳能控制器时必须注意的事项	103
5.1.3	光伏充电控制器的类型	104
5.1.4	控制器的几种基本电路和工作原理	104
5.1.5	提高太阳能控制器利用效果的方法	105
5.1.6	太阳能控制器的常见故障原因	107
5.1.7	最大功率点跟踪控制	107
5.2	光伏逆变器	108
5.2.1	逆变器的功能	108

5.2.2	逆变器的分类	110
5.2.3	波形逆变器	111
5.2.4	逆变器的工作原理	111
5.2.5	对逆变器的基本要求	112
5.2.6	逆变器的操作与维护	113
5.2.7	主要技术参数的控制及维护	114
5.2.8	逆变器的选用	115
5.2.9	逆变器产品的简介	116
5.2.10	光伏并网逆变器	117
5.2.11	孤岛效应的防止	122
复习题		123
第 6 章 太阳能光伏发电系统相关设备和部件		124
6.1	直流配电柜	124
6.1.1	柜体	125
6.1.2	开关	125
6.1.3	防雷器	126
6.1.4	防反充二极管	126
6.1.5	端子板	127
6.2	交流配电柜	127
6.3	电度表	128
6.4	后备电源	128
6.5	太阳能光伏发电系统的防雷	129
6.5.1	雷电的分类及危害	129
6.5.2	防雷设备和措施	130
6.5.3	防雷元件的选择	133
6.5.4	避雷对光伏系统的要求	134
复习题		136
第 7 章 太阳能光伏发电的光源		138
7.1	四代光源	138
7.1.1	第一代光源	138
7.1.2	第二代光源	138
7.1.3	第三代光源	139
7.1.4	第四代光源	139
7.2	白炽灯	139

7.2.1	白炽灯发展简史	139
7.2.2	白炽灯（普通灯泡）的原理	140
7.2.3	白炽灯的特性	140
7.3	卤钨灯	141
7.3.1	卤钨灯的原理	141
7.3.2	卤钨灯的结构	142
7.3.3	卤钨灯的优点	142
7.3.4	卤钨灯的应用	142
7.4	荧光灯	145
7.4.1	基本原理	145
7.4.2	荧光灯发光的原理	146
7.4.3	荧光灯的发光效率	146
7.4.4	荧光灯的组成及电路	146
7.5	三基色荧光灯	151
7.5.1	三基色原理	151
7.5.2	三基色荧光灯特性	152
7.6	节能灯	152
7.6.1	节能灯工作原理	153
7.6.2	节能灯质量及评价的标准	153
7.6.3	节能灯效果	154
7.6.4	直流节能灯	154
7.7	低、高压汞灯	154
7.7.1	低压汞灯	154
7.7.2	高压汞灯	155
7.8	金卤灯	157
7.8.1	金卤灯的结构和工作原理	158
7.8.2	金卤灯的特性	158
7.9	钠灯	158
7.9.1	低压钠灯	158
7.9.2	高压钠灯	161
7.10	无极灯	165
7.10.1	无极灯的工作原理	165
7.10.2	无极灯的优点	166
7.10.3	无极灯的缺点	167
7.10.4	市场前景及社会效益	167

7.11 LED 灯光源	168
7.11.1 LED 基本结构	168
7.11.2 LED 的形成	168
7.11.3 LED 特点	168
7.11.4 技术参数	170
7.11.5 LED 参数	170
7.12 各种光源的选用	171
复习题	171
第 8 章 太阳能光伏发电照明的灯具	173
8.1 太阳能照明灯具的分类	173
8.1.1 按照太阳能光伏照明的电源分类	173
8.1.2 按照使用的场合和功能分类	173
8.1.3 按太阳能光伏照明光源供电方式分类	174
8.2 太阳能路灯	175
8.2.1 太阳能路灯的工作原理	175
8.2.2 太阳能路灯的优势	175
8.2.3 太阳能路灯的组成	176
8.2.4 太阳能路灯应用中应注意的事项	179
8.3 太阳能草坪灯	181
8.3.1 太阳能草坪灯简介	181
8.3.2 LED 作为太阳能草坪灯的光源应注意的事项	181
8.3.3 太阳能草坪灯简明技术指标	183
8.4 太阳能庭院灯	183
8.4.1 基本构造	184
8.4.2 太阳能庭院灯特性	185
8.4.3 太阳能庭院工作原理	185
8.4.4 太阳能庭院灯的使用	186
8.4.5 太阳能庭院光源的选择	186
8.5 太阳能景观灯	186
8.5.1 景观灯的作用	187
8.5.2 景观灯的分类	187
8.5.3 景观灯具的缺点	188
8.6 太阳能杀虫灯	188
8.6.1 太阳能杀虫灯的杀虫原理	188
8.6.2 太阳能杀虫灯的优点	189

8.6.3 太阳能杀虫灯的组成	190
8.7 太阳能手电筒	190
8.7.1 太阳能手电筒的工作原理	190
8.7.2 太阳能手电筒的优点	191
8.8 太阳能道钉	191
8.8.1 太阳能道钉的工作原理	191
8.8.2 太阳能道钉的特点	191
8.8.3 太阳能道钉的分类	192
8.8.4 性能指标	192
8.9 太阳能交通标志灯	193
8.9.1 太阳能交通标志灯的特点	193
8.9.2 太阳能交通标志灯用的 LED 优势	194
8.10 太阳能航标灯	195
8.10.1 太阳能航标灯的主要特点	195
8.10.2 航标灯新旧对比	195
8.11 航空障碍灯	196
8.11.1 航空障碍灯的分类与设置选用	197
8.11.2 航空障碍灯的技术特点	198
8.12 太阳能地砖灯	198
8.12.1 太阳能地砖灯用途与组成	198
8.12.2 太阳能地砖灯的特点	199
8.13 太阳能广告牌	199
8.14 太阳能壁灯	199
8.15 太阳能灯串	200
8.15.1 太阳能灯串的组成	200
8.15.2 太阳能灯串的优点	201
8.15.3 技术参数	201
8.15.4 太阳能 LED 灯串使用方法	201
8.16 太阳能圣诞灯	201
8.16.1 太阳能圣诞灯的用途	201
8.16.2 太阳能圣诞灯串的优点	202
8.17 太阳能门牌灯	202
8.17.1 太阳能门牌灯的用途与组成	203
8.17.2 太阳能门牌灯的工作原理	203
8.18 太阳能 LED 水下灯	203

8.18.1	组成	203
8.18.2	太阳能水下灯特性	204
8.19	太阳能工艺灯	204
8.20	太阳能自行车尾灯	206
8.21	太阳能彩灯	206
8.22	风光互补照明路灯	207
8.22.1	风光互补照明路灯的工作原理	207
8.22.2	风光互补路灯系统的组成及作用	209
8.22.3	风光互补路灯的优势	210
8.22.4	风光互补路灯中的风能	211
	复习题	215
第9章	太阳能灯具节能	216
9.1	太阳能光伏发电的节能管理	216
9.1.1	照明节能的基本原则	216
9.1.2	照明节能值得商讨的问题	219
9.2	太阳能照明灯具与普通市电灯具经济效益的对比	220
	复习题	223
第10章	太阳能光伏发电照明系统和设计	224
10.1	太阳能光伏发电照明系统工作原理、基本组成及设计的原则	224
10.2	太阳能光伏发电系统设计时的调查与技术条件	224
10.3	照明系统设计公式与综合设计系数	231
10.4	照明系统设计的计算公式	233
10.5	照明系统设计的我国主要城市的辐射参数值	235
10.6	太阳能照明路灯设计	236
10.7	太阳能照明系统设计的具体计算实例	243
10.8	风光互补路灯设计案例分析	247
10.8.1	设计的依据和适宜地区	247
10.8.2	风光互补照明路灯系统的组成及要求	247
10.9	建筑住宅用太阳能光伏照明系统的设计	251
10.9.1	太阳能光伏照明系统应用于建筑领域的优势	251
10.9.2	我国绝大多数是采用电池贮能的“独立供电方式”	252
10.9.3	“并网供电方式”对太阳能光伏发电系统的要求	252
10.9.4	防止措施	253
10.9.5	住宅太阳能光伏发电系统的问题	253

10.9.6 住宅太阳能光伏照明系统的设计·····	254
10.10 系统优化的设计·····	258
复习题·····	259
第 11 章 太阳能光伏发电系统的安装与测试 ·····	261
11.1 太阳能光伏发电系统的安装·····	262
11.1.1 安装前的调查·····	262
11.1.2 基础的安装·····	263
11.1.3 太阳能电池组件的安装·····	265
11.1.4 控制器的安装·····	266
11.1.5 逆变器的安装·····	266
11.1.6 蓄电池的安装·····	266
11.1.7 防雷器的安装·····	267
11.1.8 布线工程·····	268
11.1.9 太阳能光伏发电系统对接地要求·····	270
11.2 太阳能路灯施工安装·····	271
11.2.1 现场勘查·····	271
11.2.2 安装布置·····	271
11.2.3 基础预制·····	272
11.2.4 太阳能发电路灯系统各个组件的安装·····	272
11.3 太阳能电池阵列的检查与测试·····	274
11.3.1 光伏发电系统的检查·····	274
11.3.2 太阳能光伏发电系统的测试·····	275
复习题·····	279

第 1 章

太阳能光伏发电照明系统的概述

1.1 太阳能光伏发电的迫切性和前景

(1) 化石燃料终究会枯竭

中国能源生产和消费均居世界前列,我国一次能源生产总量为 20.6 亿吨标准煤,消费总量为 22.5 亿吨标准煤,分别占全球的 13.7%和 14.8%,是世界第二能源生产和消费大国。

我国处于总能耗急剧增长之中(近年来,我国 GDP 每年以近 10%的速度发展,能源消耗急剧增加),由于我国石油短缺,我国石油对进口的依赖度将从 40%增加为 50%~60%,我国 2005 年进口原油及其成品油约 1.3 亿吨,2010 年进口石油 2.5 亿吨,对外依存度超过 50%。

煤现在、将来(直到 2050 年或更晚)仍是我国主要能源,煤用于发电的比例会越来越大,从目前的 50%增加到 70%以上。单是发电设备(其中主要是燃煤的发电),每年增长的装机容量是 60~80GW。

我国能源资源总量比较丰富,但人均占有量较低,特别是石油、天然气人均资源量仅为世界平均水平的 7.7%和 7.1%。

(2) 化石燃料对环境污染严重

化石燃料对环境的严重污染,造成:①空气污染;②饮用水污染;③产生温室效应。这已经严重危害到人类生存。

(3) 利用太阳能光伏发电的优点

① 不受地域限制 太阳能最大特点是分布极其广泛,在地球任何一个角落,均有太阳能的覆盖。太阳能开发不受资源分布地域的限制,可在用电处就近直接开发和利用,不需要开采和运输。

② 无污染、绿色环保

③ 用之不竭 丰富的太阳辐射能是重要的能源。根据太阳产生的核能计算,太



阳还要照耀地球 600 多亿年,从这个意义上讲,太阳能是用之不竭的。

④ 太阳能电池使用寿命长 晶体硅太阳能电池寿命可长达 20~35 年。在光伏发电系统中,只要设计合理、选型适当,蓄电池的寿命也可以很长。

⑤ 太阳能电池组件结构简单,体积小且重量轻,便于运输和安装,光伏发电系统建设周期短。

⑥ 系统组合容易 若干个太阳能电池组件、蓄电池单体组,控制器便可合成成为独立的太阳能光伏直流发电系统,若使用逆变器便可成为光伏交流发电系统,光伏发电系统可大可小,极易组合、扩容。

(4) 太阳能产业利用的现状

① 我国太阳能产业发展的现状 中国光伏产业正以每年 30% 的速度增长,2005 年中国太阳能电池生产总量达到 139MW,较 2004 年猛增了 179%,2006 年达到 400MW,从而超过美国成为全球第三大生产国。我国 3 年产量增长 45 倍,产能增加 125 倍,从而成为全球发展太阳能最快的国家。在产业布局上,我国太阳能电池产业已经形成了一定的集聚态势。在长三角、环渤海、珠三角、中西部地区,已经形成了各具特色的太阳能产业集群。

② 全球太阳能产业发展的现状 目前全世界共有 136 个国家开始太阳能电池的研究,其中有 95 个国家正在大规模地进行太阳能电池的研制开发。全球有近 4600 家厂商向市场提供光电池和以光电池为电源的产品。

目前,美国和日本在世界光伏市场上占有最大的市场份额。美国拥有世界上最大的光伏发电厂,其功率为 7MW,日本也建成了发电功率达 1MW 的光伏发电厂。

1.2 我国太阳能照明产品的应用

目前我国太阳能照明发展非常迅猛,太阳能照明不仅用于路灯、草坪灯、庭院灯,而且涌现了大量的多种照明产品。其中许多照明产品(如太阳能工艺灯、太阳能灯串、太阳能圣诞灯和各种太阳能彩灯等)深受国内外用户的欢迎。这些太阳能灯具更详细内容,将在本书第 8 章予以介绍。

1.3 我国太阳能资源

(1) 我国太阳能资源丰富

在我国辽阔的土地上,有着十分丰富的太阳能资源。

(2) 我国太阳能资源分布

中国地处北半球欧亚大陆的东部,主要处于温带和亚热带,太阳能的高值中心和低值中心都处在北纬 22°~35° 这一带,具有比较丰富的太阳能资源。根据全



国 700 多个气象台站长期观测积累的资料表明, 中国各地的太阳辐射年总量大致在 $3.35 \times 10^3 \sim 8.40 \times 10^3 \text{ MJ/m}^2$ 之间, 其平均值约为 $5.86 \times 10^3 \text{ MJ/m}^2$ 。

太阳能资源中等类型地区, 全年日照时数为 2200~3000h, 年太阳辐射总量为 5850~6680 MJ/m^2 , 日辐射量为 $4.5 \sim 5.1 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$, 相当于 170~200kg 标准煤燃烧所发出的热量。太阳能资源中等及以上地区主要包括山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、广东南部、福建南部、苏北、皖北、台湾西南部等地。

1.4 太阳能光伏发电照明系统

1.4.1 光伏系统的工作原理

白天, 在光照条件下, 太阳能电池组件产生一定的电动势, 通过组件的串、并联形成太阳能电池方阵, 使得方阵电压达到系统输入电压的要求。再通过充放电控制器对蓄电池进行充电, 将由光能转换而来的电能贮存起来。晚上, 蓄电池组为逆变器提供输入电流, 通过逆变器的作用, 将直流电转换成交流电, 输送到交流配电柜, 由交流配电柜进行供电。

1.4.2 光伏系统的组成

光伏系统是由太阳能电池方阵, 蓄电池组, 充放电控制器, 逆变器, 交流配电柜等设备组成。其各部分设备的作用如下。

(1) 太阳能电池方阵

在有光照 (无论是太阳光, 还是其他发光体产生的光照) 情况下, 电池吸收光能, 电池两端出现异种电荷的积累, 即产生“光生电压”, 这就是“光生伏打效应”。在光生伏打效应的作用下, 太阳能电池的两端产生电动势, 将光能转换成电能。太阳能电池一般为硅电池, 分为单晶硅太阳能电池、多晶硅太阳能电池和非晶硅太阳能电池三种。

(2) 蓄电池组

其作用是贮存太阳能电池方阵受光照时发出的电能并可随时向负载供电。

(3) 充放电控制器

是能自动防止蓄电池过充电和过放电的设备。由于蓄电池的循环充放电次数及放电深度是决定蓄电池使用寿命的重要因素, 因此能防止蓄电池组过充电或过放电的充放电控制器是必不可少的设备。

(4) 逆变器

是将直流电转换成交流电的设备。在太阳能电池和蓄电池是直流电源, 而负载是交流负载时, 逆变器是必不可少的。



(5) 交流配电柜

其在电站系统中的主要作用是对备用逆变器的切换功能，保证系统正常供电，同时还可计量线路电能。

1.4.3 光伏发电系统的分类

光伏发电系统分为离网光伏发电系统、并网光伏发电系统两种类型。其中，并网光伏发电系统又分为逆流型，无逆流型，切换型，直、交流型，混合型和地域型等。

(1) 离网发电系统的组成及功能

离网发电系统由发电部件、控制器、蓄电池组组成，如负载为交流负载，还需要配置独立逆变器。

(2) 并网光伏发电系统

中国 2010 年以前太阳能电池多数是用于独立光伏发电系统，从 2011 年到 2020 年，光伏发电市场主流将会由独立发电系统转向并网发电系统。未来 15 年内，中国将投资 2000 多亿元，充分利用西部地区和沿海地区太阳日照时间长的优势，兴建太阳能供热系统、太阳能光热应用示范工程和大型太阳能光伏电站，大力发展太阳能产业。预计到 2015 年，中国的光伏产量将达到 1GW，位居世界先进水平，2020 年将达到 35GW。