

中国照明学会新能源照明专业委员会 组织编写



太阳能光伏照明 手册

TAIYANGNENG GUANGFU
ZHAOMING SHOUCHE

田力文 主编



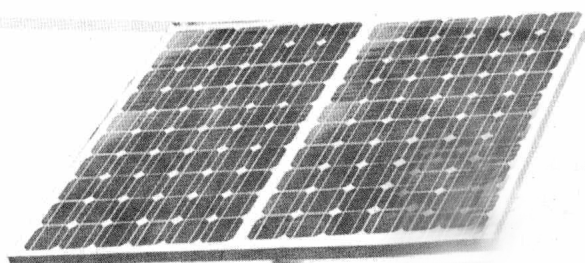
化学工业出版社

中国照明学会新能源照明专业委员会 组织编写



太阳能光伏照明 手册

TAIYANGNENG GUANGFU
ZHAOMING SHOUCHE



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统地介绍了太阳能光伏照明的原理、技术、装置及其施工与管理。内容包括：太阳能光伏发电技术、太阳能光伏照明装置的原理及部件（太阳电池、蓄电池、控制器、逆变器、配电设备、电光源及其附件、灯具及相关配件）；太阳能光伏照明装置的设计（照明设计基础、太阳能道路照明装置、太阳能庭院及景观照明装置、太阳能草坪灯照明装置、太阳能航标灯照明装置、太阳能交通信号照明装置、太阳能广告标识照明装置、太阳能杀虫灯、小型太阳能光伏照明电器）；太阳能光伏照明装置的安装施工、验收、维护与管理；太阳能光伏照明工程案例；混合能源照明装置（风光互补照明装置、太阳能光伏与市电互补照明系统、太阳能建筑照明装置）。

本书是太阳能光伏照明行业的专业技术人员从事研发和设计工作的必备工具书，也是本行业安装施工和维护管理人员的实用工具书，也可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

太阳能光伏照明手册/中国照明学会新能源照明专业委员会组织编写；田力文主编. —北京：化学工业出版社，2010.9

ISBN 978-7-122-09295-3

I. 太… II. ①中…②田… III. 太阳能发电-应用-照明-技术手册 IV. TU113.6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 153203 号

责任编辑：戴燕红
责任校对：洪雅姝

文字编辑：丁建华
装帧设计：王晓宇

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

787mm×1092mm 1/16 印张 24 $\frac{3}{4}$ 彩插 2 字数 616 千字 2011 年 1 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：80.00 元
京化广临字 2010—34 号

版权所有 违者必究

《太阳能光伏照明手册》编委会

顾问：肖辉乾 王长贵 吴达成

编委会主任：吴初瑜

编委会副主任：何文琦 陈文良 曹春峰

委员：（按姓氏笔画为序）

王大有	王国华	王斯成	尹子军	田力文
朱伟钢	李德强	吴初瑜	何文琦	宋贤杰
张宏鹏	陈文良	陈育明	林清洪	罗柏令
房峰杰	孟昭渊	郑再兴	夏先重	徐 华
曹春峰	麻树礼	韩 芳	韩星明	樊维亚

组织编写单位：中国照明学会新能源照明专业委员会

主 编：田力文

编 写 人 员：(按姓氏笔画为序)

王大有 王国华 王斯成 田力文 李德强

何文琦 宋贤杰 张宏鹏 陈育明 罗柏令

孟昭渊 徐 华 麻树礼

前言

FOREWORD

照明技术的应用水平是一个国家文明程度的标志之一。我国是世界照明产品的生产大国，世界著名照明产品大部分是“中国制造”和“中国创造”。随着照明科技的发展，照明能耗占国家能耗总量的比例越来越大。在能源供应紧张、环境污染严重的今天，推广应用太阳能光伏照明技术和产品具有重要而深远的意义。

中国已成为太阳能光伏电池的第一生产大国，近几年来，全球太阳电池产量增加了400%以上，中国更是猛增了近80倍，成为全球第一大太阳电池生产国。结合我国照明技术优势和太阳能光伏技术优势，形成一个全新的技术领域——太阳能光伏照明，是我国科技进步和社会发展的必然。

我国太阳能光伏照明行业已形成了研发单位和生产企业2000多家、从业人员近10万人的队伍。太阳能光伏照明装置凭借其节能、环保、无需布线、自动控制、可随时变换位置等优点，已建立起重要的地位，各种应用产品已呈遍地开花之势。以北京市“亮起来”工程为代表的太阳能光伏照明装置应用工作已在全国各地铺开，太阳能光伏照明装置已成为我国奥运场馆、城市和新农村的一道风景。太阳能或风光互补路灯、庭院灯、草坪灯和太阳能装饰灯、标志灯、广告灯等的应用逐渐形成规模，太阳能航标灯、信号标志灯已大规模应用。我国太阳能光伏照明应用已走在了世界前列，某些装置如太阳能草坪灯、太阳能手电筒已占世界产销量的80%以上。

开发利用太阳能光伏照明装置，是执行我国资源节约型社会、节能减排、可持续发展、改善生存环境等重大决策的主要举措之一。我国光伏照明装置应用已进入快速发展的重要时期，但是，由于太阳能光伏照明是新兴行业，市场需求猛增，但技术不太成熟，缺乏规范、标准，特别是国家和行业标准的制定滞后于市场发展，致使目前产品规格混乱，质量参差不齐，时有用户的不良反应，市场初现无序状态，有碍行业的健康发展。

《太阳能光伏照明手册》编委会在深度参与国家标准《太阳能光伏照明（装置）总技术规范》和行业标准《农村太阳能光伏室外照明装置总技术规范》制订的基础上开展编撰工作，是行业第一部全面介绍太阳能光伏（包括风光互补）照明原理与技术、装置与主要部件性能、施工与管理的大型工具书。书中提供大量数据，对于提高从业人员素质、增强产品技术含量、规范工程施工与管理、推进行业健康发展将发挥重要作用。本书将成为研发单位、装置及配件生产企业、安装施工及维护管理单位、装置采购单位以及广大科技工作者案头必备的工具书。

《太阳能光伏照明手册》由中国照明学会新能源照明专业委员会组织编写。为使本书学术严谨、资料翔实、内容适用，特邀请业内资深专家及经验丰富的技术人员组成编委会。本书编写人员的分工如下：第一章由孟昭渊编写；第二章由王斯成、陈育明编写；第三章由陈育明、王斯成、麻树礼、孟昭渊、罗柏令、宋贤杰、王国华、李德强编写；第四章由王大有、张宏鹏编写；第五章由麻树礼、罗柏令、宋贤杰、王国华、陈育明、李德强编写；第六章由何文琦、孟昭渊、徐华编写；前言、附录由田力文、孟昭渊、陈育明、王大有编写。全书统稿、编审由田力文完成，并邀请肖辉乾、王长贵、吴初瑜、吴达成、韩星明进行技术审定。

同时向为本书编写积极提供产品资料、并支持协助出版工作的单位表示衷心的感谢！

书中内容和形式有不当或疏漏之处，敬请读者批评指正，以便再版时修正。

编者
2010年7月

目 录

CONTENTS

第一章 太阳能光伏照明概述	1
一、我国太阳能光伏照明的发展史	1
二、太阳能光伏照明装置的分类	2
三、太阳能光伏照明装置的特性和适用范围	3
四、经济效益和社会效益	4
五、未来的发展	4
第二章 原理、部件、材料与设备	9
第一节 太阳能光伏发电技术	9
一、光伏发电的优势	9
二、光伏发电技术	10
三、太阳能和太阳辐射原理	12
第二节 太阳能光伏照明装置的原理及部件	21
一、光伏发电系统的应用和设计	21
二、光伏直流照明系统	22
三、其他光伏应用系统	23
第三节 太阳电池	29
一、太阳电池单体、组件和方阵	29
二、太阳电池组件的封装	30
三、太阳电池组件的电气特性	30
四、温度和辐照度对太阳电池组件输出特性的影响	31
第四节 蓄电池	32
一、密封铅酸蓄电池的发展历史	33
二、铅酸蓄电池的分类、命名和常用术语	33
三、铅酸蓄电池的结构和工作原理	36
四、VRLA 电池的结构和工作原理	37
五、VRLA 电池的分类	39
第五节 控制器	40
一、蓄电池充电控制基本原理	41
二、蓄电池过放电保护基本原理	42
三、控制器的分类	47
四、控制器的基本电路和工作原理	48
第六节 逆变器	51

一、逆变器的功能	51
二、太阳能光伏发电系统对逆变器的技术要求	51
三、逆变器的分类和电路结构	52
四、逆变器的控制电路	55
五、逆变器功率器件的选择	55
六、逆变器的主要技术性能指标	55
第七节 配电设备	57
一、配电系统的组成	57
二、配电箱	58
三、导线	59
四、接地与防雷装置	63
第八节 电光源及其附件	64
一、普通白炽灯	65
二、卤钨灯	67
三、荧光灯	70
四、高压汞灯	78
五、金属卤化物灯	80
六、高压钠灯	88
七、其他气体放电光源	92
八、发光二极管	96
九、照明电光源性能比较和选用	111
十、照明电器附件	113
第九节 灯具及相关配件	121
一、灯具的基本构件	121
二、灯具的分类	127
三、灯具的选用	130
四、灯具的材料及加工过程	130
参考文献	131
第三章 太阳能光伏照明装置的设计	132
第一节 照明设计基础	132
一、照明设计的目的	132
二、基础照明知识	134
三、照明的方式与种类	146
四、照明灯具的选择	148
五、照明质量的评价	150
第二节 太阳能道路照明装置	155
一、参考标准	155
二、太阳能路灯的设计	155

三、太阳能路灯设计中的特殊情况	158
第三节 太阳能庭院、景观照明装置	159
一、参考标准	159
二、设计理念	159
三、现场勘查	160
四、太阳能庭院、景观照明装置的容量计算	160
五、太阳能庭院、景观照明装置的光源选型	162
六、太阳能庭院、景观照明装置的安装和施工	163
第四节 太阳能草坪灯照明装置	163
一、太阳能草坪灯在太阳能光伏照明领域的地位	163
二、太阳能草坪灯的种类	164
三、插地式太阳能草坪灯	164
四、立柱式太阳能草坪灯	170
第五节 太阳能航标灯照明装置	175
一、太阳电池板的选用	175
二、航标设备太阳电池供电系统的设计	176
三、太阳电池方阵的安装	178
第六节 太阳能交通信号照明装置	179
一、太阳能交通信号装置的类型及特点	179
二、太阳能交通信号照明装置的总体结构和基本部件	183
第七节 太阳能广告标识照明装置	192
一、广告标识照明的设计	192
二、太阳能广告标识照明装置	194
三、太阳能广告标识照明的设计要求	195
第八节 太阳能杀虫灯	196
一、太阳能杀虫灯的原理和种类	196
二、太阳能杀虫灯的部件结构	200
三、生产技术要点	204
四、太阳能杀虫灯的设计	205
五、施工及维护要点	205
第九节 小型太阳能光伏照明电器	207
一、小型太阳能光伏照明电器的特点	207
二、小型太阳能光伏照明电器太阳电池组件的选择	211
三、小型太阳能光伏照明电器太阳电池组件的制造	212
四、用普通万用电表对太阳电池组件进行简易测量	218
五、小型太阳能光伏照明电器储能元件的选用	223
六、小型太阳能光伏照明电器的专用电路	225
七、小型太阳能光伏照明电器光源的选择	230
八、小型太阳能光伏照明电器效率的提高	230
九、小型太阳能光伏照明电器的制造成本	233

十、小型太阳能光伏照明电器的可靠性	234
十一、小型太阳能光伏照明电器中太阳电池和蓄电池容量的选择	237
十二、小型太阳能光伏照明电器的应用实例	240
参考文献	251
第四章 太阳能光伏照明装置的安装与管理	253
第一节 太阳能光伏照明装置的施工安装	253
一、太阳能光伏照明装置的施工要求	253
二、太阳能光伏照明装置的安装	253
第二节 太阳能光伏照明装置的管理维护	255
一、太阳能光伏照明装置管理维护的一般要求	255
二、太阳能光伏照明装置的管理	256
三、太阳能光伏照明装置的维护	256
参考文献	260
第五章 工程案例	261
第一节 太阳能道路照明工程	261
第二节 太阳能庭院、园林照明工程	268
第三节 太阳能航标照明工程——大溪航道漳下线航标照明工程的设计	280
一、桥涵航标的设计	281
二、桥柱灯的设计	281
三、太阳能电源系统的设计	282
四、航标灯器的选用	283
五、航标灯器及控制系统的调试	283
第四节 太阳能交通信号照明工程——太阳能信号灯市场现有产品信息汇总	284
一、太阳能红绿信号灯	284
二、太阳能路障灯	284
三、太阳能双向双色警示灯	284
四、太阳能红绿灯	285
五、交通信号灯	285
六、太阳能信号灯	286
七、太阳能障碍物标志灯	286
八、带数显倒计时的太阳能移动式信号灯	287
九、太阳能交替闪烁警示信号灯	287
十、太阳能爆闪灯	288
十一、移动式太阳能 LED 显示屏	288
第五节 太阳能广告标识照明工程	289
一、太阳能村镇地名标识灯箱（内投光）	289
二、太阳能高速公路广告牌（外投光）	290

三、小型太阳能广告标识牌·····	290
第六节 太阳能杀虫灯工程·····	292
一、工程概况·····	292
二、工程设计·····	292
三、工程施工与管理方案·····	293
四、工程效果评价·····	295
第六章 混合能源照明装置 ·····	298
第一节 风光互补照明装置·····	298
一、风能与风力发电机·····	298
二、风光互补照明系统的原理及结构·····	304
三、风光互补照明系统的设计·····	306
四、风光互补照明系统的安装与维护·····	314
五、风光互补照明系统的应用实例·····	317
第二节 太阳能光伏电力与市电互补照明系统·····	318
一、太阳能光伏照明系统在城市应用的特点·····	318
二、太阳能光伏电力与市电互补照明系统的设计·····	322
三、工程案例·····	328
第三节 太阳能建筑照明装置·····	335
一、太阳能建筑照明装置的分类·····	335
二、太阳能光伏电源系统的组成·····	336
三、并网型太阳能光伏电源系统输出的电能质量·····	337
四、并网型太阳能光伏电源系统的保护和检测控制装置的设置功能·····	337
五、太阳能光伏电源系统容量的确定·····	337
六、太阳电池组件的安装·····	339
七、太阳电池的每天平均发电量·····	339
八、光源对太阳能光伏照明装置可靠性的影响·····	340
九、太阳能光伏照明装置应注意的问题·····	341
十、某博物馆太阳能光伏发电系统工程设计方案·····	342
参考文献·····	350
附录 ·····	351
附录一 名词术语·····	351
附录二 单位换算·····	354
附录三 太阳能光伏照明装置相关标准·····	359
附录四 主要相关单位·····	360

第一章 太阳能光伏照明概述

一、我国太阳能光伏照明的发展史

由于太阳能光伏发电技术的独特优点,太阳电池进入实用阶段不久就被应用在照明领域。在我国,早在20世纪70年代初太阳电池就被使用在航标灯上,当时在天津港安装了太阳能航标灯。紧接着,为了解决无电源地区的照明问题,太阳能照明灯就越来越多的出现。在我国南方,出现了太阳能割胶灯以及其他许多太阳能照明灯。

近年来,由于太阳电池产量的大幅度增加以及我国改革开放以来国民经济实力的提高,太阳能照明灯具开始进入我们的生活;西部光明工程、太阳能路灯、太阳能庭院灯、太阳能草坪灯、太阳能景观灯、太阳能工艺灯……,在美化生活的同时还给人们带来了意外的惊喜:太阳能照明时代要到来了。

太阳能交通信号灯近几年也得到大量普及,现在大家都知道太阳能黄闪灯是怎么回事了,很多人都是通过太阳能黄闪灯认识太阳电池的。在城市或者乡村公路的十字路口,经常可以看到不分昼夜闪烁着的太阳能黄闪灯,提醒路人,警惕来往车辆。这种不用敷设电线(在公路的十字路口敷设电线有时是非常困难的),不需要提供电源的交通信号灯在4~5年的时间内,迅速地在我国城乡得到发展和普及。

这里特别要提一下的是这个领域的一个最成功典型——以太阳能草坪灯为代表的小型太阳能光伏照明电器,它的发展是我国唯一完全按照市场规律进行的、不需要花纳税人钱的项目,是我国太阳电池和LED应用领域的一个不可忽视的重要部分。2006年的出口数量近2亿盏,占全世界产量的90%以上,太阳电池的消耗数量为30MW左右,LED的消耗量在2~3亿只,这些数量的太阳电池和LED组成的半导体照明系统无论是太阳能照明还是LED照明都是目前我国生产数量最大的。1.2V的小型蓄电池的消耗也超过2亿只,这绝对是一个让人心动的统计数据。它的生产主要分布在广东、福建、浙江、江苏等沿海一带,它是由0.2~0.3W的太阳电池和1~2只LED组成,它们之间由一个控制和升压电路连接,电路机构虽然比较简单,但是它给太阳能光伏照明许多启示,提出了系统中需要研究解决的问题。

2002~2003年国家启动了“送电下乡”工程,致使太阳能光伏市场热度骤增。2006年,北京市的社会主义新农村建设“亮起来”工程带动了太阳能光伏照明产业的大幅度进步,这主要体现在农村的道路照明大量使用了太阳能路灯,这一年,北京市科委为“百村太阳能照明工程”投资5000万元,安装了6000盏太阳能路灯及太阳能光伏照明装置;北京市社会主义新农村建设“亮起来”工程投资2亿元,安装了3万盏太阳能路灯。北京的太阳能照明工程的示范作用带动了全国各个城市的太阳能光伏照明项目,河北保定市率先宣布市内的所有路灯将全部改造成太阳能路灯,在全国掀起了太阳能路灯照明的热潮;规模之大,速度之快,影响之深远,堪称世界之最。

在我国太阳能光伏道路照明迅速发展的同时,由中国照明学会、北京照明学会联合国内

的相关科研单位、生产企业，多次召开专题研讨会，在北京市科委、北京市产品质量监督部门的支持下，制定了“太阳能光伏室外照明装置”的北京市地方标准，后来上升为国家标准；在农业部的支持下制定了“农村太阳能光伏照明装置技术条件及试验方法”的行业标准。这些都为我国太阳能光伏照明事业奠定了可靠的基础。同时，中国照明学会新能源照明专业委员会于2008年成立，随后协助全国相关部门进行太阳能光伏照明的开拓工作。

二、太阳能光伏照明装置的分类

由于太阳能光伏发电分为两大类，即独立太阳能光伏发电系统和并网太阳能光伏发电系统，它们之间的区别是独立太阳能光伏发电系统配有蓄电池储能，并网太阳能光伏发电系统直接将太阳电池发出的电能送进电网。所以太阳能光伏照明也主要分为两大类，如图1-1所示。

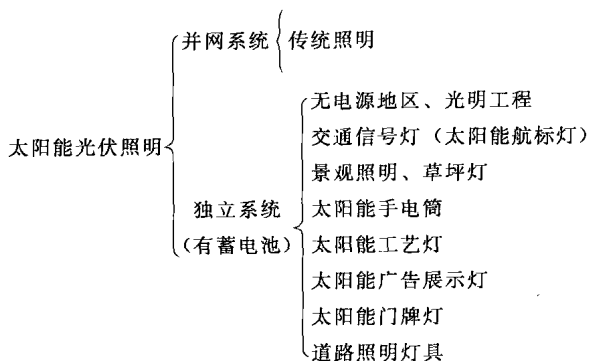


图 1-1 太阳能光伏照明系统

通常所指的太阳能光伏照明装置主要是独立系统，它的最明显特征就是有蓄电池储能。正是这种太阳电池直接供电的特征赋予了太阳能光伏照明装置无可比拟的优势：不需要电网、不需要敷设电线、灵活机动、便于携带、安全、节能环保等；在许多场合已经完全取代了传统的照明装置。

我国的光明工程：由于我国幅员辽阔，在新疆、西藏、青海、内蒙古等无电源地区，国家为了解决当地群众的夜晚照明以及收听广播的问题，花费数十亿启动了光明工程项目，取得了非常好的效果。

交通信号灯：在我国，早在20世纪70年代初太阳电池就被使用在航标灯上，到如今已经近40年了；由于太阳能光伏照明装置可以不需要电网、不需要敷设电线、灵活机动的优点，无论在航海、航空、还是公路交通信号灯上都得到了非常普遍的应用，取得了良好的经济效益和社会效益。

太阳能草坪灯：这是我国目前最大的太阳电池应用项目，也是我国产量最大的太阳能光伏照明装置，它的产量远远超过其他太阳能光伏照明装置的总和。

太阳能草坪灯是太阳能光伏产业中唯一按照市场规律经营、不用政府用纳税人的钱资助的项目；是我国太阳能应用领域每年消耗太阳电池最多的项目；是世界上唯一采用专用集成电路控制的太阳电池应用产品；是真正的完全由半导体材料提供电能并且同时用半导体材料发光的真正的半导体照明产品。

在人们为太阳能光伏电池在国内的应用寻找出路的时候，应该关注这个巨大的市场。在中国，它每年的产量达到2亿盏以上，太阳电池的消耗量在30MW以上，这是整个太阳能

光伏照明领域内任何一个项目都无法相比的，甚至超过了其他项目数量的总和。

太阳能手电筒：这是最近几年刚刚兴起的一种太阳能产品，主要用于出口，产量每年在递增，据说是国外政府用于发给居民，供遇到自然灾害时应急使用，所以数量很大。

太阳能工艺灯：太阳能工艺灯基本上是用树脂做成，有的被塑造成玉兔，有的被塑造成读书的顽童，有的被塑造成青蛙吃虫，那虫子竟然是“萤火虫”，用LED做成的萤火虫夜晚闪烁发光，情趣盎然。该产品几乎全部出口，产量每年在递增。

太阳能门牌灯：用于在夜晚指示门牌，出口量较大。

道路照明灯：这就是目前人们所指的“太阳能路灯”，近年来在国内受到各级政府和媒体关注，许多制造厂和开发商对这个项目的投资热情非常高，尽管它实际在整个太阳能光伏照明装置中所占的比例目前很小，但是人们似乎感觉到它将成为太阳能光伏照明装置的主流，甚至将来可以取代传统的道路照明灯具。最近几年在北京社会主义新农村建设中数万盏太阳能路灯安装在北京郊区农村，受到群众的好评。

三、太阳能光伏照明装置的特性和适用范围

太阳能光伏照明装置的特性是，不需要电网、不需要敷设电线、灵活机动、便于携带、安全、节能环保等。但同时它也受到许多条件的制约，一次性投入大，致使成本高于传统的道路照明灯具，太阳电池发电成本要高于火力发电成本，这就说明在没有政府财政补贴的情况下它不能够省钱（况且还有昂贵的蓄电池更换费用）；另外，太阳电池发电需要能够接受到太阳的辐射能量，城市道路的林荫以及高楼阴影都给太阳能光伏照明装置的带来不便。

太阳能光伏照明装置的特性决定了它目前的适用范围——特殊场合：没有电的地方；虽然电网就在旁边，但是无法取到电能的地方（这种情况经常遇到）；需要经常移动的场合；需要利用太阳能光伏照明装置宣传新能源，宣传环保的场合。回顾历史，凡是符合上述规律的应用，基本上是成功的；凡是不符合上述规律的应用，基本上都失败了，最多也是昙花一现，热闹一番以后就草草收场。

最后要说明的是以上结论是建立在目前太阳电池的转换效率和国家政策基础之上的，如果今后太阳电池的转换效率提高了，太阳电池的价格大幅度下降，或者政府财政补贴的政策能够出台，以上结论就不一定对；另外，并网太阳能光伏发电照明系统也不在讨论范围。

另外由于目前的商品化的太阳电池效率还比较低，单晶硅太阳电池的转换效率在16%左右，多晶硅太阳电池的转换效率在15%左右，非晶硅太阳电池的转换效率接近8%，单位面积所能够得到的能量还比较小，每平方公分只有15~16mW；另外太阳电池的价格相对还比较贵，以上的特性决定了目前只有小型太阳能光伏照明装置在太阳能光伏照明领域所占的比重比较大，单从太阳电池的消耗数量看，要占一半以上。小型太阳能光伏照明电器目前主要应用在一些没有电源或者敷设电线困难的地方。

太阳能光伏照明电器中太阳能应急照明装置是最先发展起来的，在诸如洪水、地震等毁灭性自然灾害中，太阳能应急照明装置是解决灾区夜间照明的最佳方法。这里面包括太阳能应急照明灯、太阳能手电筒。

另外太阳能光伏照明电器在应用中还可以分为功能性太阳能光伏照明电器和装饰性太阳能光伏照明电器。其中功能性小型太阳能光伏照明电器中有太阳能门牌灯、太阳能信箱灯、太阳能自行车灯、太阳能感应灯、太阳能遥控灯、太阳能反光驱鸟器等；这些太阳能产品虽然从全世界看主要是中国制造，但是目前还主要用于出口。

除功能性太阳能光伏照明电器以外，还有装饰性小型太阳能光伏照明电器。装饰性小型太阳能光伏照明电器主要分为太阳能工艺灯、太阳能地埋灯、太阳能玻璃装饰灯、太阳能地埋灯、太阳能圣诞灯、太阳能蜡烛、太阳能玩具灯和太阳能变色灯。它们的特点是这些小型太阳能光伏照明电器的主要任务不是为了照亮被照物体，而是自己发光，装饰环境，供观察者欣赏。

其他装饰性太阳能光伏照明电器和太阳能工艺灯的功能类似，都是以非常巧妙的方法利用太阳的能量来美化环境，同时向人们宣传绿色环保意识。

四、经济效益和社会效益

在整个太阳能光伏照明领域，经济效益最好的是太阳能草坪灯和小型太阳能光伏照明装置，这个结论和整个光伏产业的应用情况是一致的。由于目前太阳能光伏市场仍然是在经济发达的欧美国家，凡是能够出口的光伏产品，获得经济效益的可能性就大，太阳能草坪灯和小型太阳能光伏照明装置正是因为大量出口，取得了比较令人鼓舞的经济效益。

太阳能道路照明装置是在政府的支持下发展起来的项目，虽然它的经济效益不够明显，但是它的社会效益是有目共睹的，特别是在北京社会主义新农村建设和无电源地区的“光明工程”中，为改善人民群众的生活、宣传新能源政策，起到良好的作用。

五、未来的发展

太阳能光伏照明的发展依赖于太阳电池的发展和电光源技术的进步，同时还依赖于储能技术和现代电子技术的进步。通过对这4项技术未来发展状况的研究，就可以看到未来太阳能光伏照明的概况。

1. 太阳电池的明天

进入21世纪以来，我国太阳能光伏进入了快速发展期，太阳电池的效率在不断提高，在纳米技术的帮助下，未来硅材料的转化率可达35%，这将成为太阳能发电技术上的“革命性突破”。

太阳能光伏电池主流的材料是硅，因此硅材料的转化率一直是制约整个产业进一步发展的因素。硅材料转化率的经典理论极限是29%。而在实验室创造的纪录是25%，正将此项技术投入产业。目前，投入大量商业生产的光伏太阳电池组件的转换率约在16%左右。

实验室已经可以直接从硅石中提炼出高纯度硅，而无需将其转化为金属硅，再从中提炼出硅。这样可以减少中间环节，提高效率。

将第三代纳米技术和现有技术结合，可以把硅材料的转化率提升至35%以上，如果投入大规模商业生产，将极大地降低太阳能发电的成本。令人可喜的是，这样的技术“已经在实验室完成，正等待产业化的过程”。

对于35%转化率太阳电池，就意味着太阳电池的转化率比目前提高了一倍；也就是同样面积的太阳电池组件的发电量将增加一倍。根据国家标准《太阳能光伏照明装置总技术规范》(GB 24460—2009)中关于太阳电池组件和光源功率之间的关系要求，太阳电池组件的功率必须是光源功率的4~5倍，而将来只需要2~2.5倍就可以。这样，在次干道、甚至主干道上使用的真正意义上的太阳能路灯就可以诞生了。

太阳电池高昂的价格也是目前阻碍太阳能光伏照明发展的难题，可喜的是，从2009年

起, 由于硅材料价格大幅度下降, 太阳电池的价格也下降了一半。据估计太阳电池组件的价格下降到 1 美元/W_p 的时候已经指日可待了, 世界上许多大型太阳电池生产企业都把这个价格作为努力的方向。

2. 电光源

在电光源中, 太阳能光伏照明未来最理想的光源应该是 LED。

近年来, 由于 LED 技术的突飞猛进的发展和世界性能源的紧张, “半导体绿色照明” 的概念被越来越多的人接受。2004 年, 国家半导体照明工程协调领导小组宣告成立, 科技部会同信息产业部、建设部、教育部、中国轻工业联合会、中国科学院等开始共同启动半导体照明工程。在国际上, 通用电气、飞利浦、欧司朗纷纷与半导体公司结合, 建立半导体照明公司。美国《激光世界》曾撰文称: 到 2025 年白光 LED 将占照明灯具市场的 25% 以上份额。业内人士国外有报道称: 半导体灯将替代 20% 的白炽灯。这个估计可能比较乐观, 但揭示了半导体灯未来的应用前景和增长潜力。据统计: 若中国台湾地区 25% 的白炽灯和全部日光灯被白光 LED 取代, 每年可节省 110 亿度电力, 相当于一座核电站的供电能力。由于照明消耗占整个电力消耗的 20%, 全球每年使用这种光源所节省的电能达 1000 亿美元, 因此大力发展白光 LED 技术将是保护环境和节省能源的一个有效途径。在未来二十年内使用固态照明将减少全球用于照明的用电量 50%, 及节省全球电力总消耗量 10%。

据估计, 10 年以后, 用于照明电力的一半以上可能来自于太阳能。在人类的发电技术中, 太阳能光伏发电是真正没有任何污染而可以提供电能的技术。大家知道, 太阳电池是一个巨大的 PN 结, 它把太阳能转换为电能。LED 是另一个可以将电能转换为光能的 PN 结, 它的转换效率一天一天在提高, 据说不久就可以达到节能灯的水平, 而使用寿命可以达到 10 万小时以上, 这种从 PN 结-PN 结的照明是真正意义上的绿色照明。

太阳电池的普及和 LED 照明技术的进步使人们可以站在另一个高度来审视什么是未来人类真正的绿色照明。未来最有前途的绿色照明系统应该是: 太阳电池-发光二极管, 即 PN 结-PN 结的半导体绿色照明系统。它具有目前世界上任何照明系统所不能比拟的优点: 清洁, 没有任何污染, 高效率 and 长寿命。它们的组合方式应该有独立半导体绿色照明系统和并网半导体绿色照明系统两种。

独立半导体绿色照明的特点是系统可以脱离电网独立运行, 典型的例子是目前流行的太阳能路灯、太阳能草坪灯和户用太阳能照明系统, 它的结构方框图如图 1-2 所示。

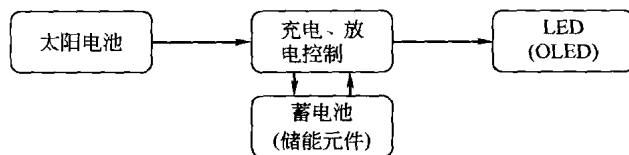


图 1-2 独立半导体绿色照明系统

并网半导体绿色照明系统是一种最经济实用的太阳能光伏发电系统, 如图 1-3 所示。太阳电池的电能通过 DC/AC 三相同步逆变器送到电网中, 当 LED 照明需要用电时从电网中取电, 由于这个系统不需要蓄電池, 所以效率高 (蓄電池的充电放电效率在 80% 左右), 并且没有蓄電池造成环境污染的后顾之忧。目前世界上生产的太阳电池的一半以上已经用于并网发电系统中。在太阳电池发电应用先进的国家, 如德国、日本等, 太阳能并网发电已经基本普及。在这种情况下, LED 照明已经是并网的半导体绿色照明系统, 只不过人们还没有

站在太阳电池发电的角度来关注这个问题罢了。它的结构方框图如图 1-3 所示。

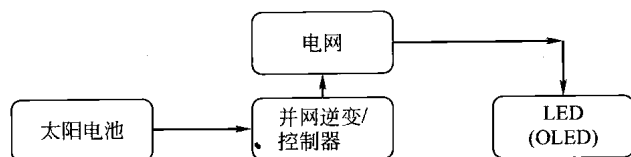


图 1-3 并网半导体绿色照明系统

通过以上的分析可以认为目前人们对半导体绿色照明的理解是停留在 LED 照明上的狭义半导体绿色照明，由于太阳电池——这个极具有发展潜力的半导体新能源的出现，人们完全有理由从系统上去审视半导体绿色照明：它应该是由半导体发电，由半导体控制电路和半导体 LED 光源组成的一个没有任何污染的、人类最理想的照明系统。也可以称之为广义半导体绿色照明。

在两个“PN 结”中间还应该有无数个“PN 结”

太阳电池到 LED 之间需要比较复杂、甚至非常复杂的控制电路进行连接，它们完全是由半导体器件完成，也就是无数个“PN 结”来完成。在独立半导体绿色照明系统中，需要对蓄电池进行充电、放电控制；为了满足 LED 低电压、恒电流的工作特性，还要对电源进行高效率的电压、电流变换以及许多诸如自动开关方面的控制。对于并网半导体绿色照明系统，DC/AC 三相同步逆变器、太阳电池最大工作点跟踪（MPPT）装置以及为了满足 LED 低电压、恒电流的工作特性，对电源进行高效率的电压、电流变换以及许多诸如自动开关方面的控制也是必不可少的。所以，在太阳电池和 LED 两个“PN 结”中间还应该有无数个“PN 结”，它们组成了真正的半导体绿色照明。

半导体绿色照明不仅仅是 LED 研发、生产部门的任务。它应该是硅材料、太阳电池制造、太阳电池组件制造、集成电路的设计和制造、半导体功率器件制造和 LED 研发、生产部门的共同任务。尤其是系统中需要专用集成电路的设计是非常重要的，并且是十分迫切的，使用通用标准集成电路来制造半导体绿色照明灯具无论从节能上还是价格上都不能满足市场的需要。

除了 LED 之外，陶瓷金卤灯和三基色荧光灯（包括无极荧光灯）仍然是将来太阳能照明灯具中的理想光源之一。陶瓷金卤灯由于高光效、高显色性、可以调光性能和相对低的价格将来应该仍然在太阳能照明灯具中有占一席之地；节能荧光灯（包括无极荧光灯）由于其高的性价比也是可以采用的。

3. 储能

太阳能光伏照明的最需要改进的部分就是储能，太阳能光伏照明的理想储能元件的主要技术指标至今仍然相当模糊，许多蓄电池生产企业都声称自己的产品是太阳能专用蓄电池，其实他们大多数还没有搞清楚太阳能光伏照明的储能元件的主要技术指标是什么。

太阳能光伏照明对储能元件的基本要求是：

- (1) 高的瓦时效率，即充电、放电效率要高；
- (2) 充电、放电曲线要尽量平坦，以提高太阳电池的效率，使太阳电池能够尽量工作在其最大功率输出点附近；
- (3) 长的使用寿命；
- (4) 温度特性好，能够在 $-20\sim 70^{\circ}\text{C}$ 条件下正常工作；