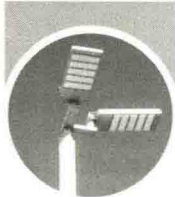




风光互补LED 照明系统设计及应用

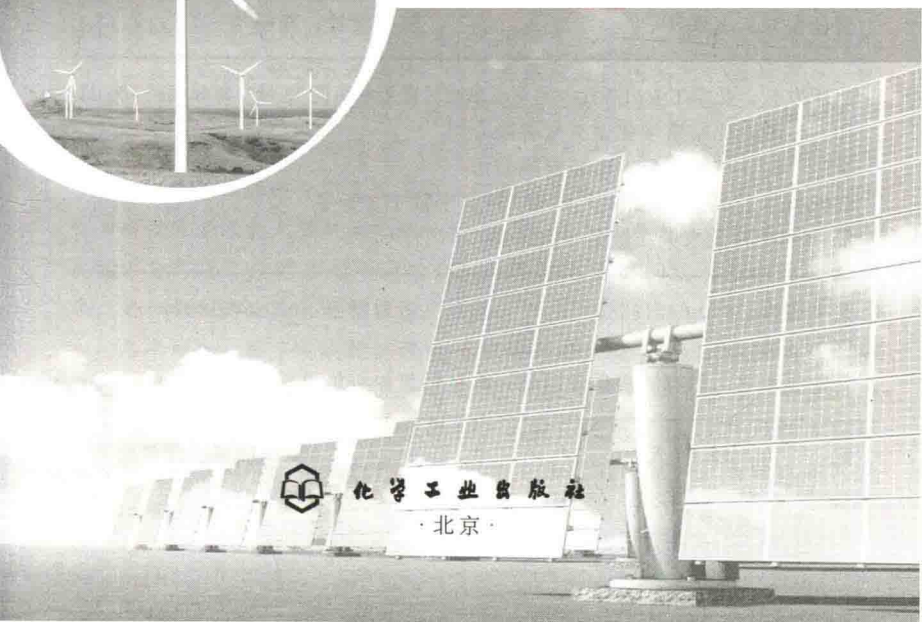
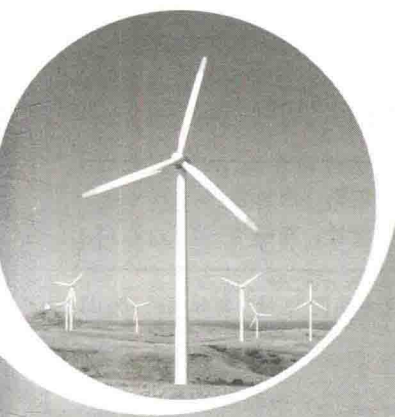
刘祖明 丁向荣 张安若 编著





风光互补LED 照明系统设计及应用

刘祖明 丁向荣 张安若 编著 ●●●



化学工业出版社

·北京·

本书结合我国节能减排工程计划和国内外风光互补 LED 照明系统的发展动态,系统地讲解了风光互补 LED 照明系统的设计、施工、安装、调试及应用。本书主要内容包括太阳能、风能、风光互补 LED 照明系统的设计相关的基础知识,太阳能 LED 路灯、景观灯的应用。同时也深入浅出地阐述了太阳能板、风力发电机、蓄电池、风光互补控制器、LED 光源、LED 电源驱动技术等。

本书内容实用,通俗易懂,具有很强的工程实践意义,适合从事新能源发电、LED 照明系统设计及应用的技术人员以及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

风光互补 LED 照明系统设计及应用/刘祖明,丁向荣,
张安若编著. —北京:化学工业出版社,2019.7

ISBN 978-7-122-34254-6

I. ①风… II. ①刘…②丁…③张… III. ①发光二
极管-照明设计 IV. ①TN383.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 064885 号

责任编辑: 要利娜 李军亮
责任校对: 王素芹

文字编辑: 谢蓉蓉
装帧设计: 刘丽华

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)

印刷: 北京京华铭诚工贸有限公司

装订: 三河市振勇印装有限公司

850mm×1168mm 1/32 印张 6½ 字数 173 千字

2019 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888

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

FOREWORD

随着科学技术的发展，电力行业在人类的生产、生活、科研等领域起到越来越重要的作用。现有的电力资源不能完全满足人类日益增长的生产、生活需要；而且地球留给人类的资源也是有限的。太阳能、风能作为清洁能源越来越受到人们的重视。

如果按照常规分别设计太阳能或风能照明系统，其系统变换效率低，经济效益差。因此，目前都是将太阳能、风能两种发电技术进行互补，产生了风光互补照明系统。

LED的工作电压是直流，电压较低。当利用常规供电系统作为LED的电源时，必须将电源转变成低压、直流电才能使用。这不仅增加了照明系统成本，同时又降低了能源的利用率。太阳能板（电池）直接将光能转化为直流电能，且太阳能电池组件可以通过串、并联的方式任意组合，得到实际需要的电压。这些特点恰恰是与LED相匹配而传统供电系统所无法达到的。如果将太阳能电池与LED相结合，将不需要任何的逆变器进行交、直流或高、低压电的转换。这种系统将获得很高的能源利用率、较高的安全性能和可靠性。所以，利用清洁的、取之不尽、用之不竭的太阳能作为能源，与功耗低、寿命长、光效高、反应速度快、环保的LED相结合，将在直流低压条件下实现节能、环保、安全、高效的照明系统。LED作为新型固态绿色光源与风光互补发电技术结合应用于路灯领域，是可再生能源与高新固态绿色光源的结合，与其他电能变换技术和照明技术相比，更加符合产业政策及市场推广应用。

本书结合我国节能减排工程计划和国内外风光互补LED照明系统的发展动态，系统地讲解了风光互补LED照明系统设计、施工、安装、调试及应用。本书主要内容包括太阳能、风能、风光互补LED照明系统的设计相关的基础知识，太阳能LED路灯、景观灯的应用。同时也深入浅

出地阐述了太阳能板、风力发电机、蓄电池、风光互补控制器、LED光源、LED电源驱动技术等。

本书由刘祖明、丁向荣、张安若编写，刘祖明编写了第1~4章，丁向荣编写了第5、6章，张安若编写了第7、8章，参加本书资料收集工作的还有刘文沁、钟柳青、钟勇、祝建孙、刘国柱、刘艳生、刘艳明、邱寿华等。

本书的所有实例都经过编著者的实际设计应用，但由于风光互补LED照明系统设计涉及面广，实用性强，加之编著者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编著者

第 1 章 风光互补 LED 照明系统基础 /1

- 1.1 风能基础知识 1
- 1.2 太阳能基础知识 5
- 1.3 风光互补 LED 照明系统简介 9

第 2 章 太阳能电池 /24

- 2.1 太阳能电池的发展 24
- 2.2 太阳能电池概述 25
- 2.3 太阳能电池生产流程 45
- 2.4 太阳能电池的检测 52

第 3 章 风力发电机 /62

- 3.1 风力发电机特性 62
- 3.2 风力发电机组成 69
- 3.3 风力发电机参数 71

第 4 章 蓄电池 /78

- 4.1 蓄电池基础知识 78
- 4.2 蓄电池工作原理 83
- 4.3 铅酸蓄电池 86
- 4.4 VRLA 电池 91

第5章 风光互补LED照明系统的设计 /106

- 5.1 风光互补LED照明技术及灯具结构 106
- 5.2 风光互补LED照明系统设计 110
- 5.3 风光互补LED照明系统安全设计 120

第6章 风光互补LED照明控制系统 /122

- 6.1 太阳能控制系统 122
- 6.2 风光互补控制系统 137
- 6.3 恒流源控制系统 145
- 6.4 一体化太阳能LED路灯 150

第7章 风光互补LED路灯安装与调试 /156

- 7.1 安装工具、测试工具、安装材料 156
- 7.2 风光互补LED路灯安装 162
- 7.3 风光互补LED路灯调试 174
- 7.4 风光互补LED路灯安装工程验收标准 175

第8章 风光互补LED照明的应用 /179

- 8.1 风光互补LED道路照明 179
- 8.2 风光互补LED景观照明 188

附录 太阳能光伏产业标准 /191

参考文献 /199

第1章

风光互补 LED 照明系统基础

1.1 风能基础知识

地球表面大量空气流动所产生的动能称为风能。空气流速越高,动能越大。由于地面各处受太阳辐照后气温变化及空气中水蒸气的含量不同,从而使各地的气压产生差异,在水平方向高压空气向低压地区流动,即形成风。

(1) 风能的特点

风能是天然能源,与其他能源相比,具有如下特点:

① 蕴藏量丰富。全球大气中总的风能储量约为 3.8×10^{16} kW·h,其中蕴藏的可被开发的风能约有 4.3×10^{12} kW·h,这比世界上可利用的水能约大 10 倍。我国仅陆地上就有风能资源大约 1.6×10^9 kW·h。

② 可以再生,永不枯竭。风能是太阳能的变异,只要太阳和地球存在,就有风能,是可再生的能源,是一种取之不尽,用之不

竭的能源。

③ 清洁无污染，随处都可开发利用。煤、石油、天然气的使用会给人类生活环境造成极大污染和破坏，危害人类健康。风能开发利用越多，空气中的飘尘和降尘会越少。风能也不存在开采和运输问题，无论何地都可建立风电站，就地开发，就地利用。

④ 随机统计性。风能从微观上来看是随机的，具有不可控特性。从宏观上来看，风能还是具有一定的统计规律特性的，在一定程度上又是可以预测和利用的。

风不仅能量是很大的，在自然界中所起的作用也是很大的。风可以使山岩发生侵蚀，形成沙漠，进而形成风海流，也可以输送水分，水汽主要是由强大的空气流输送的，从气象学上讲影响了气候变化，造成雨季和旱季。合理利用风能，既可减少环境污染，又可减轻越来越大的能源短缺的压力。全世界每年燃烧煤炭得到的能量，还不到风力在同一时间内所提供给我们的能量的1%。由此可见，风能是地球上重要的能源之一。

(2) 我国风能源分布

我国风能资源十分丰富，全国的风能总储量约为 $3.23 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，可开发利用的风能资源总量达 $2.53 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。我国位于亚洲大陆东部，濒临太平洋，季风强盛，内陆还有许多山系，地形复杂，加之青藏高原耸立在我国西部，改变了海陆影响所引起的气压分布和大气环流，增加了我国季风的复杂性。冬季风来自西伯利亚和蒙古等中高纬度的内陆，因空气十分严寒，干燥冷空气积累到一定程度，在有利高空环流引导下，就会爆发南下，俗称寒潮，在此频频南下的强冷空气的控制和影响下，形成寒冷干燥的西北风侵袭我国北方。每年冬季总有多次大幅度降温的强冷空气南下，主要影响我国西北、东北和华北，直到次年春夏之交才消失。夏季风是来自太平洋的东南风、来自印度洋和南海的西南风，东南季风影响遍及我国东半壁，西南季风则影响西南各省和南部沿海，但风速远不及东南季风大。热带风暴是太平洋西部和南海热带海洋

上形成的空气涡旋，是破坏力极大的海洋风暴，每年夏秋两季频繁侵袭我国，登陆我国南海之滨和东南沿海，热带风暴也能在上海以北登陆，但次数很少。

说明：青藏高原地势高且开阔，冬季东南部盛行偏南风，东北部多为东北风，其他地区一般为偏西风，夏季大约以唐古拉山为界，以南盛行东南风，以北为东风或东北风。

我国幅员辽阔，陆疆总长达2万多公里，还有18000多公里的海岸线，边缘海中有岛屿5000多个，风能资源丰富。我国现有风电场场址的年平均风速均达到6m/s以上。这些地区在全国范围内仅仅限于较少数几个地带，大约仅占全国总面积的1/100，主要分布在长江到南澳岛之间的东南沿海及其岛屿，是我国最大的风能资源区以及风能资源丰富区，包括山东半岛、辽东半岛、黄海之滨，南澳岛以西的南海沿海、海南岛和南海诸岛，内蒙古从阴山山脉以北到大兴安岭以北，新疆达坂城，阿拉山口，河西走廊，松花江下游，张家口北部等地区以及分布各地的高山山口和山顶。

说明：一般将风电场风况分为三类：年平均风速6m/s以上时为较好；7m/s以上为好；8m/s以上为很好。全国风能资源划分为4个大区、30个小区。

① 风能丰富区（“Ⅰ”区）：年平均有效风能密度大于 $200\text{W}/\text{m}^2$ 、3~20m/s风速的年累积小时数大于5000h。

② 风能较丰富区（“Ⅱ”区）： $150\sim 200\text{W}/\text{m}^2$ 、3~20m/s风速的年累积小时数为3000~5000h。

③ 风能可利用区（“Ⅲ”区）： $50\sim 150\text{W}/\text{m}^2$ 、3~20m/s风速的年累积小时数为2000~3000h。

④ 风能贫乏区（“Ⅳ”区）： $50\text{W}/\text{m}^2$ 以下、3~20m/s风速的年累积小时数在2000h以下。

我国东南沿海及其附近岛屿是风能资源丰富地区，有效风能密度大于或等于 $200\text{W}/\text{m}^2$ 的等值线平行于海岸线；沿海岛屿有效风能密度在 $300\text{W}/\text{m}^2$ 以上，全年中风速大于或等于3m/s的时数为7000~8000h，大于或等于6m/s的时数为4000h。

新疆北部、内蒙古、甘肃北部也是中国风能资源丰富地区，有效风能密度为 $200\sim 300\text{W}/\text{m}^2$ ，全年中风速大于或等于 $3\text{m}/\text{s}$ 的时数为 5000h 以上，全年中风速大于或等于 $6\text{m}/\text{s}$ 的时数为 3000h 以上。

黑龙江、吉林东部、河北北部及辽东半岛的风能资源也较好，有效风能密度在 $200\text{W}/\text{m}^2$ 以上，全年中风速大于或等于 $3\text{m}/\text{s}$ 的时数为 5000h ，全年中风速大于或等于 $6\text{m}/\text{s}$ 的时数为 3000h 。

青藏高原北部有效风能密度在 $150\sim 200\text{W}/\text{m}^2$ 之间，全年风速大于或等于 $3\text{m}/\text{s}$ 的时数为 $4000\sim 5000\text{h}$ ，全年风速大于或等于 $6\text{m}/\text{s}$ 的时数为 3000h ；但青藏高原海拔高、空气密度小，所以有效风能密度也较低。

云贵川、甘肃、陕西南部、河南、湖南西部、福建、广东、广西的山区及新疆塔里木盆地和西藏的雅鲁藏布江，为风能资源贫乏地区，有效风能密度在 $50\text{W}/\text{m}^2$ 以下，全年中风速大于或等于 $3\text{m}/\text{s}$ 的时数在 2000h 以下，全年中风速大于或等于 $6\text{m}/\text{s}$ 的时数在 150h 以下，风能潜力很低。

说明：我国最大风能资源区为东南沿海及其岛屿，其次为内蒙古和甘肃北部。

(3) 风能的应用

① 风力提水。风力提水自古以来一直得到较普遍的应用。至 20 世纪下半叶时，为解决农村、牧场的生活、灌溉和牲畜用水以及为了节约能源，风力提水机有了很大的发展。现代风力提水机主要有高扬程小流量及低扬程大流量两种，前者主要用于草原、牧区，为人畜提供饮水；后者主要用于农田灌溉、水产养殖或海水制盐。

② 风力发电。利用风力发电已越来越成为风能利用的主要形式，受到世界各国的高度重视，而且发展速度最快。其独立运行方式是指一台小型风力发电机向一户或几户提供电力，用蓄电池蓄能，以保证无风时的用电。

③ 风帆助航。在机动船舶发展的今天，为节约燃油和提高航速，古老的风帆助航也得到了发展。通过电脑控制的风帆助航，最

高的节油率达到 15%。

④ 风力致热。随着人民生活水平的提高，热能的需求量越来越大，特别是在高纬度的欧洲、北美等国家，是耗能大户。为解决家庭及生产工业热能的需要，风力致热有了较大的发展。

(4) 风能的一些主要特性参数

① 风能。空气运动产生的动能称为“风能”。

② 风能密度。单位时间内通过单位截面积的风能。

③ 风速与风级。风速就是空气在单位时间内移动的距离，国际上的单位是 m/s 或 km/h，分 13 级。

④ 风向与风频。通常把风吹来的地平方向定为风的方向，即风向。风频是指风向的频率，即在一定时间内某风向出现的次数占各风向出现总次数的百分比。

⑤ 风的测量。风的测量仪器主要有风向器、杯形风速器和三杯轻便风向风速表等。

说明：风具有一定的质量和速度。

1.2 太阳能基础知识

太阳能是指太阳光的辐射能量，目前一般用于发电。太阳能是新兴的可再生能源。太阳能的利用有被动式利用（光热转换）和光电转换两种方式。

太阳的质量很大，在太阳自身的重力作用下，太阳物质向核心聚集，核心中心的密度和温度很高，使得能够发生原子核反应。核反应所产生的能量连续不断地向空间辐射，并且控制着太阳的活动。根据有关的资料表明太阳从中心到边缘可分为核反应区、辐射区、对流区和太阳大气。

① 核反应区。太阳半径（ R ）25%（即 $0.25R$ ）的区域是

太阳的核心，集中了太阳一半以上的质量。此处温度大约 1500 万开尔文 (K)，压力约为 2500 亿大气压 ($1\text{atm}=101325\text{Pa}$)，密度接近 $158\text{g}/\text{cm}^3$ ，产生的能量占太阳产生的总能量的 99%，并以对流和辐射方式向外辐射。

② 辐射区。辐射区在核反应区的外面，范围为 $0.25\sim 0.8R$ ，温度下降到 13 万度，密度下降为 $0.079\text{g}/\text{cm}^3$ 。在太阳核心产生的能量通过这个区域由辐射传输出去。

③ 对流区。对流区（对流层）在辐射区的外面，范围为 $0.8\sim 1.0R$ ，温度下降为 5000K，密度为 $10^{-8}\text{g}/\text{cm}^3$ 。在对流区内，能量主要靠对流传播。

④ 太阳大气。可分为光球、色球、日冕等层次，各层次的物理性质有明显区别。太阳大气的最底层称为光球，太阳的全部光能几乎全从这个层次发出。太阳的连续光谱基本上就是光球的光谱，太阳光谱内的吸收线基本上也是在这一层内形成的。光球的厚度约为 500km。色球是太阳大气的中层，是光球向外的延伸，一直可延伸到几千千米的高度。太阳大气的最外层称为日冕，日冕是极端稀薄的气体壳，可以延伸到几个太阳半径之远的地方。严格来说太阳大气的分层仅有形式上的意义，实际上各层之间并不存在着明显的界限，其温度、密度随着高度是连续改变的。

(1) 我国太阳能资源

在我国，西藏西部太阳能资源最丰富，最高达 $2333\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ （日辐射量 $6.4\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ），居世界第二位，仅次于撒哈拉沙漠。根据我国各地接受太阳总辐射量的多少，可将全国划分为五类地区。

① 一类地区。太阳能资源最丰富的地区，包括宁夏北部、甘肃北部、新疆东部、青海西部和西藏西部等地。年太阳辐射总量 $6680\sim 8400\text{MJ}/\text{m}^2$ ，相当于日辐射量 $5.1\sim 6.4\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ 。尤以西藏西部最为丰富，最高达 $2333\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ （日辐射量 $6.4\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ），居世界第二位，仅次于撒哈拉沙漠。

② 二类地区。太阳能资源较丰富地区，包括河北西北部、山

西北部、内蒙古南部、宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部和新疆南部等地。年太阳辐射总量 $5850 \sim 6680 \text{ MJ/m}^2$ ，相当于日辐射量 $4.5 \sim 5.1 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$ 。

③ 三类地区。太阳能资源中等类型地区，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。年太阳辐射总量 $5000 \sim 5850 \text{ MJ/m}^2$ ，相当于日辐射量 $3.8 \sim 4.5 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$ 。

④ 四类地区。太阳能资源较差地区，包括湖南、湖北、广西、江西、浙江、福建北部、广东北部、陕西南部、江苏北部、安徽南部以及黑龙江、台湾东北部等地。年太阳辐射总量 $4200 \sim 5000 \text{ MJ/m}^2$ ，相当于日辐射量 $3.2 \sim 3.8 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$ 。

⑤ 五类地区。太阳能资源最少的地区，主要包括四川、贵州两省，年太阳辐射总量 $3350 \sim 4200 \text{ MJ/m}^2$ ，相当于日辐射量只有 $2.5 \sim 3.2 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$ 。

说明：太阳能辐射数据可以从县级气象台站取得，也可以从国家气象局取得。从气象局取得的数据是水平面的辐射数据，包括：水平面总辐射、水平面直接辐射和水平面散射辐射。相关标准如下。

GB/T 33677—2017《太阳能资源等级 直接辐射》。

GB/T 33698—2017《太阳能资源测量 直接辐射》。

GB/T 33699—2017《太阳能资源测量 散射辐射》。

(2) 太阳能的优缺点

太阳能的优点如下。

① 普遍。太阳光没有地域的限制，无论陆地或海洋，无论高山或岛屿，处处皆有，可直接开发和利用，且无须开采和运输。

② 无害。太阳能是最清洁能源之一，在环境污染越来越严重的今天，是极其宝贵的。

③ 巨大。太阳辐射到地球表面上的太阳能约相当于 130 亿吨煤，其总量属现今世界上可以开发的最大能源。

④ 长久。根据目前太阳产生的核能速率估算，氢的储量足够

维持上百亿年，而地球的使用寿命也约为几十亿年，因此可以说太阳的能量是用之不竭的。

太阳能的缺点如下。

① 分散性。太阳辐射的地球表面总量尽管很大，但是能流密度很低。在北回归线附近，夏季在天气较为晴朗的情况下，正午时太阳辐射的辐照度最大，在垂直于太阳光方向 1m^2 面积上接收到的太阳能平均有 1000W 左右；若按全年日夜平均，则只有 200W 左右。而在冬季大致只有一半，阴天一般只有 $1/5$ 左右。

说明：利用太阳能时，想要得到一定的转换功率，往往需要面积相当大的一套收集和转换设备，造价较高。

② 不稳定性。受到昼夜、季节、地理纬度和海拔高度等自然条件的限制以及晴、阴、云、雨等随机因素的影响，到达某一地面的太阳辐照度既是间断的，又是极不稳定的，给大规模应用增加了难度。

说明：为了使太阳能成为连续、稳定的能源，就必须很好地解决蓄能问题，即把晴朗白天的太阳辐射能尽量储存起来，以供夜间或阴雨天使用。

③ 效率低和成本高。目前太阳能利用的发展水平，在理论上是可行的，技术上也是成熟的。但是太阳能利用装置效率偏低，成本较高，经济性还不能与常规能源相竞争。在今后相当长一段时期内，进一步发展太阳能，受到经济性的制约。

(3) 太阳能分类

太阳能分为太阳能光伏与太阳能光热两种。

① 太阳能光伏。光伏板组件是一种暴露在阳光下便会产生直流电的发电装置，由几乎全部以半导体材料制成的固体光伏电池组成。由于没有活动的部分，故可以长时间操作而不会导致任何损耗。光伏板组件可以制成不同形状，而组件又可连接，以产生更多电能。

② 太阳能光热。利用现代科技将阳光聚合，并运用其能量产生热水、蒸汽和电力。除了运用适当的技术来收集太阳能外，建筑物亦可利用太阳的光和热能，方法是在设计时加入能吸收及慢慢释

放太阳热力的建筑材料。

(4) 太阳能的应用

① 光热应用。其基本原理是将太阳辐射能收集起来，通过与物质的相互作用转换成热能加以利用。目前使用最多的太阳能收集装置，主要有平板型集热器、真空管集热器、陶瓷太阳能集热器和聚焦集热器 4 种。通常根据所能达到的温度和用途的不同，太阳能光热利用分为低温利用 ($<200^{\circ}\text{C}$)、中温利用 ($200\sim 800^{\circ}\text{C}$) 和高温利用 ($>800^{\circ}\text{C}$)。主要产品有太阳能热水器、太阳能干燥器、太阳能蒸馏器、太阳房、太阳能温室、太阳能空调制冷系统、太阳灶、太阳能热发电聚光集热装置等。

② 太阳能发电。大规模利用太阳能发电。太阳能发电的方式主要有以下两种。

光-热-电转换就是利用太阳辐射所产生的热能发电。一般是用太阳能集热器将所吸收的热能转换为工质的蒸汽，然后由蒸汽驱动汽轮机带动发电机发电。

光-电转换。其基本原理是利用光生伏打效应将太阳辐射能直接转换为电能，基本装置是太阳能电池。

③ 光化应用。利用太阳辐射能直接分解水制氢的光-化学转换方式。它包括光合作用、光电化学作用、光敏化学作用及光分解反应。

④ 光生物应用。通过植物的光合作用来实现将太阳能转换为生物质的过程。目前主要有速生植物、油料作物和巨型海藻。

1.3 风光互补 LED 照明系统简介

能源是国民经济发展和人民生活必需的重要物质基础。200 多年来，人类在使用化石燃料的同时，也带来了严重的环境污

染和生态系统破坏。人类进入 21 世纪后，世界各国充分认识到能源对人类的重要性，把可再生、无污染的新能源的开发利用作为可持续发展的重要内容。风光互补发电系统是利用风能和太阳能资源的互补性，配合 LED 照明系统，具有良好的应用前景。

风光互补 LED 照明系统利用风、光这两种自然资源，互为补充，为 LED 照明系统提供充足的电能保障，具有广泛的利用推广价值。风光互补 LED 照明系统不仅不需要挖坑埋线，也不需要输变电设备、不消耗市电、安装简单、维护方便、无高压触电危险等，更符合目前节能减排的形势，是未来照明系统的发展方向。

小型风能产业发展目标是质量好、经久耐用、可靠性好，同时也要建立完善的检测认证制度。小型风能产品采用“风光互补”，白天利用阳光进行太阳能发电，在既有风又有太阳的情况下，两者同时发挥作用，实现了全天候的发电功能，要资源互补才能有出路。

说明：风光互补 LED 路灯是一种将风力发电机、太阳能电池板（太阳能板）与 LED 路灯相结合的新型道路照明灯具，具有相当高的技术性。风光互补照明系统利用风力发电机与太阳能电池板相结合，将风能和太阳能转化为电能，储存在蓄电池内给 LED 照明灯具供电。

风光互补 LED 照明系统其实就是一套小型的风光发电系统，该系统就是利用太阳能电池方阵、风力发电机将发出的电能存储到蓄电池组中，当用户需要用电时，将蓄电池组中储存的电能通过输电线路送到负载处（LED 照明灯具或其他供电系统）。

风光互补 LED 照明系统主要由风力发电机、太阳能电池板、风光互补控制器、蓄电池、LED 灯具、电缆及支撑和辅助件等组成，如图 1-1 所示。白天，电池组件吸收太阳能，风力发电机吸收风能，同时向蓄电池组供电；夜晚，风力发电机和蓄电池给光源供电。