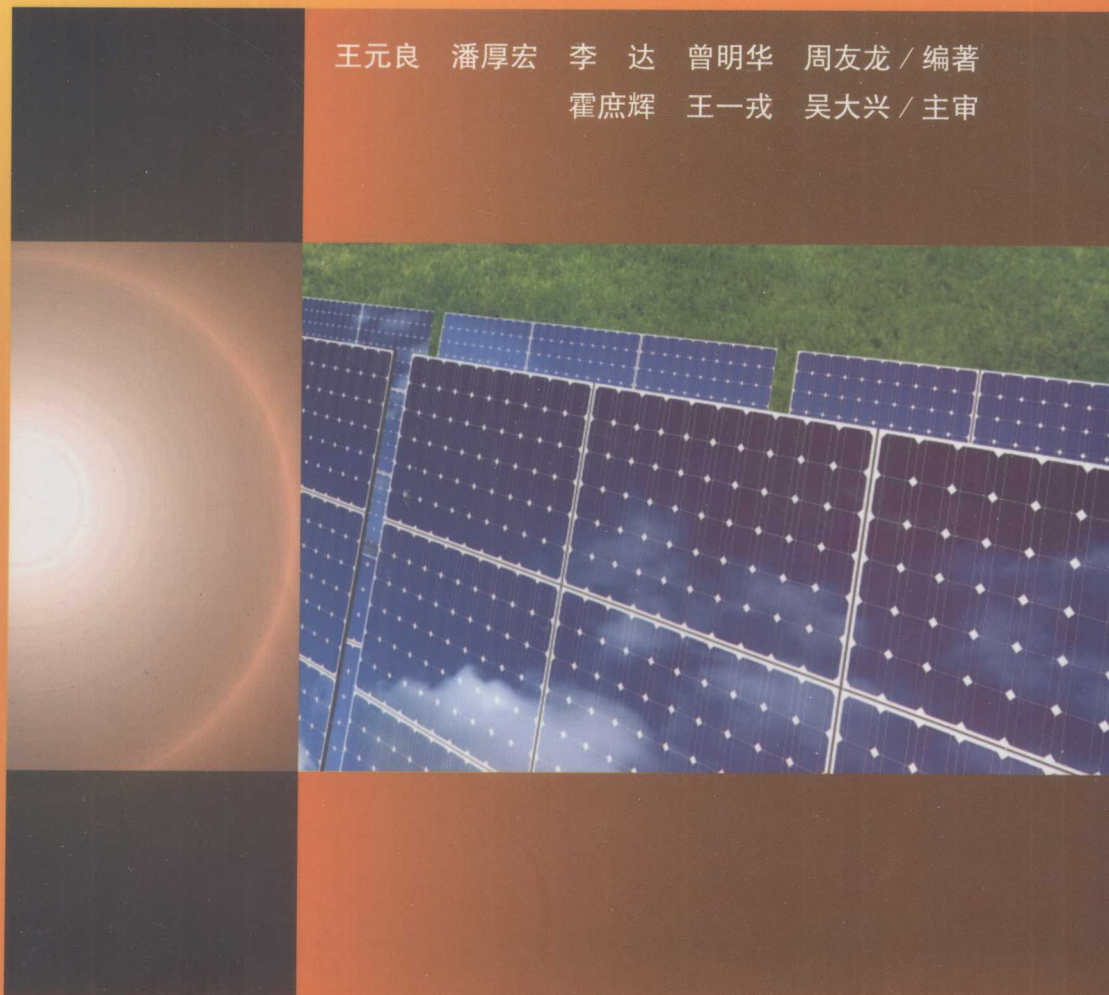


TAIYANGNENG CAILIAO QIJIAN

JIQI ZAI GONGYE JIAOTONGZHONG DE YINGYONG

太阳能材料器件 及其在工业交通中的应用

王元良 潘厚宏 李 达 曾明华 周友龙 / 编著
霍庶辉 王一戎 吴大兴 / 主审



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

013056834

T-39
01

内容简介

太阳能材料器件及其在工业交通中的应用

著 王元良 潘厚宏 李 达
曾明华 周友龙
主审 霍庶辉 王一戎 吴大兴

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第114202号

太阳能材料器件及其在工业交通中的应用

王元良 潘厚宏 李达 著



地址：北京市海淀区学院路15号 电话：010-82317000

西南交通大学出版社

开本：185mm×260mm

字数：381千字

2013年6月第1版

ISBN 978-7-264-32321-9

定价：40.00元

西南交通大学出版社



北航

C1664767

T-39
01

013028834

内容简介

本书内容是一个多学科的综合体,从基础上涉及物理、化学,从技术层面上涉及材料及工艺学、力学及结构学、热力学及热工学、电子电工及控制学、机械及工艺学,从应用角度可遍及各部门各行业。本书是在选定资源最丰富、使用最清洁、应用最广泛、建立最简便的太阳能新能源为纲,从太阳能材料器件、蓄电池的基础知识和制备过程入手,到光-热、光-电转换过程及应用技术,然后对太阳能光伏发电系统、太阳能动力系统、太阳能风电系统、太阳能器件及其在焊接和表面工程中的应用作了较详细的阐述。光伏器件在耗能和排放较多的工业及交通领域应用的研究还是空白,国内也只在起步阶段,基于此,本书根据前述的一些基础知识、报刊网络的一些最新信息和作者原有的知识基础,作了一些可行性探讨。本书从内容上看不是太阳能某一专门领域的科学专著,但知识面和学科面很宽、应用面很广,另外,太阳能应用领域待探索的未知领域很深,待解决的问题很难,本书可以作为各专业学生的通识教材和多个领域的科技参考书。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能材料器件及其在工业交通中的应用 / 王元良
等编著. —成都:西南交通大学出版社, 2013.6

ISBN 978-7-5643-2321-9

I. ①太… II. ①王… III. ①太阳能技术-应用-工业
②太阳能技术-应用-交通运输业 IV. ①T-39②F5-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 114502 号

太阳能材料器件及其在工业交通中的应用

编著 王元良 潘厚宏 李达 曾明华 周友龙

*

责任编辑 牛君

特邀编辑 李伟

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 15.25

字数: 381 千字

2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-2321-9

定价: 40.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

21 世纪是人类能源革命的时代。目前,上百万年生成的化石能源(煤、油、气等)分布不均,可采年限不太长,因此,很多能源消耗最多的发达国家尽量保存本国化石能源,抢占世界丰产地区的油气资源。而随着工业化程度的发展和人民生活水平的提高,能源的消费水平迅速增长,造成的温室效应和环境污染也随之加剧。有资料介绍,对温室效应的影响,能源消耗占 57%。因此,寻找新能源和节能减排便成为世界各国需要解决的问题。我国也把新能源发展和节能减排摆在我国可持续发展的首要位置。新能源主要包括生物能电、风电、核电、太阳能电。从几种新能源的综合比较来看,太阳能优点最突出,运行时零排放,零噪声,免维护,稳定性高,使用安全;特别是资源丰富,取之不尽,用之不竭;而且可光热综合利用,能量转换效率只低于核电,远高于风电和生物能电。目前,太阳能的利用主要是用硅太阳能电池将太阳能转换成电能。其缺点是材料制造过程能耗大,发电成本高。解决的办法是在发展初期国家给予补贴,根本的办法是提高太阳能材料及器件的能量转换效率与储能设备的单位质量输出功率和能量,同时降低发电成本。近期发展的在普通材料表面沉积光电材料的薄膜太阳能电池可大大降低制造成本;另外,发展的聚光太阳能电池,进一步提高了光电转换效率,降低了成本,有望把发电成本降低到煤电水平。

我国是太阳能硅电池的生产大国,产量居世界第一位。2008 年,我国的生产总量占全球市场份额的 32.7%,德国、中国台湾和日本分别居 2、3 和 4 位,但中国光伏安装量只占全球安装量的 0.73%。太阳能材料和电池生产是耗能较高且有污染的产业,我国大量生产出口外销,在国外装机使用,以节能减排,而我国高价引进技术和设备生产虽能获得一定的附加效益,但对国内节能减排的效果不大。因此,必须掌握和研发太阳能材料及电池生产的核心高端技术和太阳能装机应用技术,扩大太阳能发电和应用产业,以开发国内太阳能材料和电池市场,提高装机和应用量,达到节能减排的效果。抓两头,带中间,加强高端科技的研究开发和扩大太阳能发电及应用产业领域,这应该是我国发展太阳能的重中之重。特别是近几年由于欧、美、日经济不景气,我国太阳能材料和电池出口市场大受影响,使太阳能电池生产过剩,很多光伏产业停产或倒闭,这更需要加强太阳能发电和应用的推广。需要国家出台政策,推动内需,发动各行各业人士关心太阳能、认识太阳能、应用太阳能和推广太阳能。结合这一目的,本书用浅显、全面、系统的内容来介绍太阳能器件及其在工业交通中的应用。虽不是科学专著,但旁征博引,其中有不少内容是对一些现在尚未发展的新事物进行的探索和思考,以起到抛砖引玉的作用。

太阳能无处不在,但我国各地区可利用的资源有较大差异,贫乏地区只有丰富地区的 1/2 左右,大部分地区太阳能资源都在中等水平以上。例如,四川省是太阳能贫乏地区,能否利

用太阳能，是大家最大的疑问和十分关心的问题。太阳能发电是有阳光才能发电，夜晚和阴雨天不发电，与用电的时间不相吻合，这就必须有储能设备——蓄电池相配合，把晴天用不完的电储存起来，在夜晚和阴雨天全天候使用。只要有足够能量的蓄电池，也可以弥补一些太阳能资源的不足，两者合理配合可在同一系统中大大减少太阳能电池和蓄电池的用量，同时蓄电池随充随用，可大大延长蓄电池的寿命。如能利用太阳能发电和风力发电各自优势（晴天太阳大而风力小，阴雨天和夜间无太阳而风力大），用风光互补发电系统可在同一系统中大大减少太阳能电池和蓄电池的用量，或提供更大电力输出功率，扩大应用，特别是立柱磁悬浮微风发电系统与高效太阳能电池和蓄电池的联合应用，为扩大应用开辟了新途径。

目前，我国的工业和交通得到迅速发展，而工业和交通是重要的耗能和污染物排放大户，把新能源用于工业和交通是实现节能减排的重要措施。交通运输设备和工业传动及加工系统，由内燃机过渡到电动机再发展到太阳能驱动是必然趋势，本书对此进行了探索，以供参考。

由于作者水平所限，书中疏漏之处在所难免，请广大同行与读者批评指正。

编者

2013年2月

目 录

1	太阳能的发展	1
1.1	世界能源结构情况	1
1.2	新能源的发展	1
1.3	太阳能的发展	2
1.4	太阳能应用中的问题及解决途径	3
1.5	能源对工业交通和生活的影响	4
1.6	太阳能的能源转换原始材料	4
2	太阳能及其应用概述	5
2.1	太阳能资源特点	5
2.2	全球光伏产业的发展	5
2.3	我国太阳能产业的发展	6
2.4	四川的太阳能发展	7
2.5	太阳能的应用领域	11
2.6	太阳能独立电源的系统设计	13
3	太阳能材料及太阳能电池	15
3.1	太阳能	15
3.2	硅太阳能电池材料及太阳能电池	15
3.3	薄膜太阳能电池	29
3.4	聚光光伏太阳能电池	37
4	太阳能蓄电池	45
4.1	铅酸蓄电池	45
4.2	锂电池	47
4.3	超级电容蓄电池	49
4.4	蓄电池的电气控制	55
4.5	氢燃料电池	56
5	太阳能的热能利用	59
5.1	太阳能应用光-热能量转换系统	59
5.2	太阳能加热及其应用系统	61
5.3	太阳能冷暖调节系统	68

5.4 热管技术应用	69
5.5 大型热水系统及应用	70
6 太阳能光-电转换系统及设备	73
6.1 太阳能光-电转换	73
6.2 太阳能电池	77
6.3 蓄电池	78
6.4 太阳能光伏控制器	79
6.5 太阳能逆变器	82
7 太阳能光伏发电系统	90
7.1 微型太阳能光伏发电系统及应用	90
7.2 小型家用或楼宇太阳能发电系统	94
7.3 移动式太阳能发电系统在运载设备中的应用	97
7.4 大型和超大型太阳能发电站	107
8 太阳能动力系统及应用	110
8.1 太阳能动力扬水系统	110
8.2 太阳能在海洋工程中的应用	122
9 太阳能风电系统及应用	125
9.1 风力发电系统	125
9.2 风光互补发电系统	130
9.3 风光互补发电系统的应用	132
9.4 磁悬浮系统及应用	136
10 太阳能器件生产中的焊接及表面工程	144
10.1 太阳能电池及其生产中常用的钎焊技术	144
10.2 接触压力焊	152
10.3 超声波焊接	153
10.4 薄膜太阳能电池的表面工程技术	154
10.5 聚光光伏太阳能电池及结构的焊接	160
10.6 太阳能集热器及供热装置的焊接	162
11 太阳能焊接能源应用的探讨	164
11.1 太阳能应用方式	164
11.2 太阳能聚光聚热焊接	167
11.3 用太阳能制氢系统与氢-氧焰焊接切割	169
11.4 太阳能光-电转换与焊接	171
11.5 太阳能焊接设备	173

12 太阳能在出行代步车中的应用	177
12.1 太阳能电动自行车	177
12.2 太阳能电动三轮车	181
12.3 老年人及病残群体的代步轮椅	184
13 太阳能汽车与轨道车辆	195
13.1 太阳能四轮电动车	195
13.2 太阳能电动汽车	201
13.3 风力发电和风光互补发电驱动电动车	207
13.4 太阳能在机车车辆应用中的探讨	208
13.5 氢燃料电池汽车及机车的研究	210
13.6 氢及水能源汽车	211
13.7 太阳能房车	213
14 太阳能焊接工程车的实施途径	217
14.1 工程车	217
14.2 电动工程车	219
14.3 太阳能野外焊接工程车	221
参考文献	233
后 记	235

1 太阳能的发展

1.1 世界能源结构情况

目前，世界上的电力结构如图 1.1 所示。由图看出，65% 是常规的化石能源（煤、气、油）发电，对温室气体的影响来源于能源消耗的要占 57%。核燃料也是化学能源，集聚程度很高，热电转换率高，电价低，无二氧化碳排放，但核能材料是比较稀有的化石资源，废料处理较难，安全隐患较大。水电和其他能源中很大一部分是水电，水电是可再生能源中应用最早和最成熟的能源，价廉、清洁、资源丰富、运行和维护成本低。中国的水资源的储存量居世界第一位，现开发量约占储存量的 14%。水电开发初期基础建设投资较大，对生态环境有较大影响，特别是建设大型水电站影响更大，但水电站规划和建设如果考虑周全，做到统筹兼顾，建设和施工做得好，将取得发电、水利、防灾、旅游、工业化、城镇化和改善人民生活水平的综合效益。

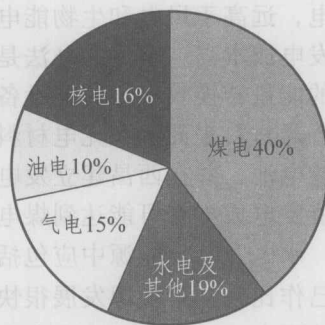


图 1.1 全世界的电力结构

1.2 新能源的发展

新能源主要包括生物能电、风电、核电、太阳能电。几种新能源发电的综合比较如表 1.1 所示。

表 1.1 几种新能源发电的综合比较

新能源发电	生物能发电	风能发电	核能发电	太阳能发电
总体优点	原料易取，可存储，易运输，产能高	风力资源丰富	浓集，清洁	运行零排放，零噪声，免维护，资源丰富
总体缺点	成本高，上料系统复杂，维护费用高	面积大，有噪声，影响大气流，视觉污染	核废料无妥善安置方法，余热排放	太阳能材料制造过程能耗大
发电成本（与传统比）	3 倍	2 倍	低于煤电	3~5 倍
燃料成本	约 0.4 元/kW·h	不需要	约 4 583 美元/磅	不需要
维护成本	需要	需要	需要	不需要

续表 1.1

新能源发电	生物能发电	风能发电	核能发电	太阳能发电
全程转换效率	1%	千分之几	33%	15%~20%
稳定性	稳定	不稳定, 易受风力影响	稳定	稳定
安全隐患	有	有	有	无
能耗	可再生	可再生	消耗型	可再生
二氧化碳排放	有	无	无	无
未来发展方向	提高转化率, 非粮化	改进风机及储能设备	高效率, 减少废料	高效率, 光热综合利用

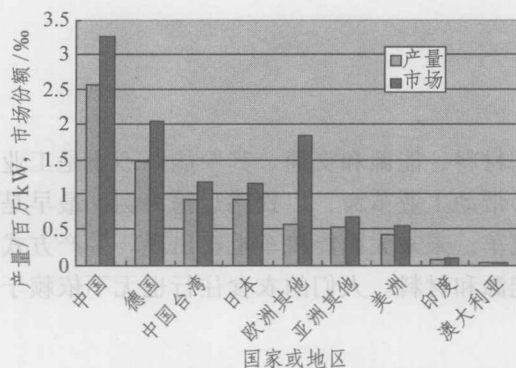
由表 1.1 看出, 太阳能优点最突出, 运行时零排放, 零噪声, 免维护, 稳定性高, 使用安全; 特别是资源丰富, 取之不尽, 用之不竭; 而且可光热综合利用, 能量转换效率只低于核电, 远高于风电和生物能电。太阳能主要的缺点是硅太阳能材料制造过程能耗大, 太阳能的发电成本高。解决的办法是在发展初期国家给予补贴, 根本的办法是提高太阳能材料和器件的能量转换效率与储能设备的单位质量输出功率和能量, 同时降低发电成本。近期发展的在普通材料表面沉积光电材料的薄膜太阳能电池可大大降低制造成本; 另外, 发展了聚光太阳能电池, 并在西昌建立发电站, 由于输出功率的提高, 建设单位负责人分析估计, 聚光太阳能发电成本有可能达到煤电水平。

水电及其他能源中应包括风电、生物能电、太阳能电等可再生新能源, 其优缺点在表 1.1 中已作比较。新能源发展很快, 特别是风电发展。风能资源丰富, 由于能量转换率较低, 稳定性不高, 但机组技术水平在不断提高, 促进了风电的发展。生物能电发展也很快, 特别是秸秆焚烧、沼气应用、垃圾发电等有很大的节能环保意义和经济价值, 现正迅速发展; 另外, 粮食生产乙醇汽油也在进行, 美国和巴西是乙醇汽油的消费国和生产国, 其产量分别占全球总量的 48% 和 31%。1998 年, 我国由于粮食的积压, 也开始推行用陈粮生产乙醇汽油, 到 2005 年, 产量达到 102 万吨, 消费量和生产量仅次于巴西和美国, 2006 年达到 144 万吨。2007 年 9 月, 国家发改委发布《关于促进玉米深加工工业健康发展的指导意见》中强调发展燃料乙醇应坚持“非粮”原则。但利用生物工程技术培养能源植物, 发展能源植物农场, 生物能源有可能成为未来可持续能源系统的组成部分。

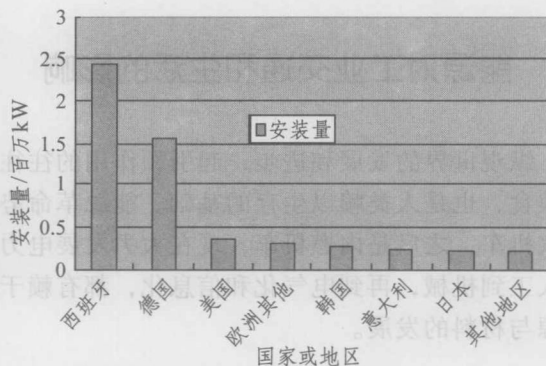
1.3 太阳能的发展

太阳能资源丰富, 无处不在, 无需运输, 无环境污染, 无运行费用, 自建电站可大可小, 还可联网使用, 是使用最方便、最持久、最节能、最环保的新能源。近年来, 太阳能研究和生产发展很快, 日本、欧洲、美国发展最快。2007 年, 全球光伏组件增速达 40.74%, 装机容量增速达 32.83%; 2008 年, 全球光伏组件增速达 85%。几个主要国家及地区的太阳能电池的产量和场所占份额及装机容量如图 1.2 所示, 由图 1.2 (a) 看出, 我国是太阳能电池的生产大国, 产量居世界第一位, 2008 年, 我国的生产总量超过 2.51 百万 kW, 占全球市场

份额 32.7%，德国、中国台湾和日本分别占第 2、3 和第 4 位。由图 1.2 (b) 看出，西班牙和德国在太阳能应用和安装量中遥遥领先，其中，西班牙占全球的 46.45%，德国占 27.27%，日本占 4.18%。中国光伏安装量只有 4 万 kW，只占全球安装量的 0.73%。近几年来，我国太阳能电池安装量得到了快速发展。太阳能材料和电池生产是耗能较高且有污染的产业，我国大量生产出口外销，在国外装机使用，以节能减排，而我国高价引进技术和设备生产虽能获得一定的附加效益，但对国内节能减排的效果不大。因此，必须掌握和研发太阳能材料和电池生产的核心高端技术和太阳能装机应用技术，扩大太阳能发电和应用产业，以开发国内太阳能材料和电池市场，提高装机和应用量，达到节能减排的效果。抓两头，带中间，加强高端科技的研究开发和扩大太阳能发电及应用产业领域，这应该是我国发展太阳能的重中之重。特别是近几年由于欧、美、日经济不景气，我国太阳能材料和电池出口市场大受影响，使太阳能电池生产过剩，这更需要加强太阳能发电和应用的推广。需要国家出台政策，推动内需，发动各行各业人士关心太阳能、认识太阳能、应用太阳能和推广太阳能。



(a) 太阳能电池的产量及市场份额



(b) 太阳能电池的安装量

图 1.2 2008 年世界上主要国家和地区的太阳能的产量及装机量比较

1.4 太阳能应用中的问题及解决途径

太阳能发电的主要问题是太阳才有电，太阳能资源的分布有较大的不均衡性。有人对国内太阳能资源的分布作了分类，详细情况如表 1.2 所示。

由表看出，太阳能无处不在，但各地区可利用的资源有较大差异，贫乏地区只有丰富地区的 1/2 左右，大部分地区太阳能资源都在中等水平以上。像四川这样的太阳能贫乏地区能否利用太阳能，是大家最大的疑问和十分关心的问题。2011 年 1 月，作者曾到绵阳、梓潼、什邡等地，看到灾后重建的农村屋顶不少都安装了光热转换利用的太阳能热水器，有的在屋顶晒台上用钢架结构支撑着太阳能电池，说明有一些家庭建立了家庭太阳能小型发电站。当问到在四川这样阳光较少的地方，太阳能热水器是否管用时，他们的回答是肯定的。

太阳能发电是有阳光才发电，夜晚和阴雨天不发电，与用电的时间不相吻合，这就必须有储能设备——蓄电池相配合，把晴天用不完的电储存起来，在夜晚和阴雨天使用。只要有足够能量的蓄电池，也可以弥补一些太阳能资源的不足。

表 1.2 国内不同地区的太阳能资源量

包含地区 (太阳能丰缺程度)	年日照量/h	年辐射量/(MJ·m ⁻²)	合电/(kW·h·m ⁻²)	合煤/kg
宁夏北部、甘肃北部、新疆南部、青海西部、西藏西部	3 200~3 300	6 680~8 400	5.1~6.4	225~285
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	3 000~3 200	5 652~6 680	4.5~5.1	200~225
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、江苏北部、安徽北部、台湾西南部	2 200~3 000	5 016~5 652	3.8~4.5	170~200
湖南、湖北、广西、江西、浙江、福建北部、广东北部、陕西南部、安徽南部、黑龙江、台湾东北部	1 400~2 200	4 190~5 016	3.2~3.8	140~170
四川和贵州 (贫乏)	1 000~1 400	3 334~4 190	2.5~3.2	115~140

1.5 能源对工业交通和生活的影响

纵观世界的发展和进步，起引领作用的往往是材料、能源和交通。其中能源不止是工业的粮食，也是人类赖以生存的基础。能源革命势必带动工业革命，以铁路运输为例，最早是蒸汽机车，之后是内燃机车，现在大力发展电力机车，未来太阳能机车也会出现。生产方式由人工到机械，再到电气化和信息化，都有赖于能源和材料。人们的衣食住行也无不依赖于能源与材料的发展。

1.6 太阳能的能源转换原始材料

太阳能是无处不在，取之不尽，用之不竭的能源，但要把太阳的光能转换为电能必须用太阳能电池。太阳能转换为电能的材料很多，其中应用最多，资源最丰富的是硅，地壳中含 27.6%，以二氧化硅形式存在于砂石中，约占地壳总量的 87%。硅是很多钢铁和有色金属的添加材料，以满足不同要求；与陶瓷和金属组成复合材料兼有陶瓷和金属的优点。高纯单晶硅是半导体的主要材料，引领了电子信息产业的发展，光纤通信的发展离不开二氧化硅制成的玻璃纤维。太阳能转换为电能的材料的硅的纯度比半导体硅的纯度低一些，甚至可以用多晶硅、薄膜硅和非晶硅，这样可以大大降低太阳能电池的成本，可解决化石能源的枯竭及工业和生活日益增长的能源需求的矛盾。我国硅矿资源丰富，硅材料生产厂家很多，但多为高耗能的冶金硅，以低价出口国外，现在又发展了多晶硅，有的厂做成太阳能电池出口，同时国内装机和应用较少，由于国外受经济危机影响对太阳能电池需求大减，国内安装量又不足，因此很有必要拉动内需，加强应用研究，提高太阳能电池的安装量，以节约化石能源，减少排放。

由此看出，从化石能源减少至枯竭和日益增长的能源要求考虑，从节能减排的要求出发，从资源充分利用入手，在 21 世纪，大规模利用太阳能的能源革命必将到来。

2 太阳能及其应用概述

2.1 太阳能资源特点

2.1.1 可持续性

根据 2006 年世界能源会议资料和公布, 全球资源可采年限为: 石油 41 年, 天然气 65 年, 煤 155 年, 铀 85 年。由于工业发展和人民生活水平提高需要, 能源消费量日益增长, 可开采能源日益枯竭, 而太阳能取之不尽, 用之不竭, 是不用即失的新能源。有资料介绍, 太阳能每秒钟发出的能量大约是 3.88×10^{23} kW, 其中到达地球的只有 22 亿万分之一, 一年内到达地球表面的太阳能总量约为 21 万亿 kW, 开发 1% 也有 210 亿 kW, 是目前世界上主要能源探明储量的一万倍, 远大于生物能 1 亿 kW, 水电 3.78 亿 kW, 风电 3.78 亿 kW。太阳能转换效率高, 晶体硅转换效率为 15%~20%, 是食用生物转换效率的 10~30 倍, 是通过玉米生产乙醇转换效率的 50~100 倍, 是新建电站建设运行投入产出的 15~20 倍。太阳能可就地取用, 无输送成本, 是无税能源。

2.1.2 太阳能的减排比较

太阳能是零排放清洁能源, 有资料介绍, 太阳能在开发利用时几乎不产生任何污染和废料。3 kW 太阳能发电系统相当于减排放 CO_2 : 540 kg/年, 石油: 729 L/年, 换算森林面积: 5 544 m^2 。太阳能光伏发电 1 kW 的碳排放量为 0, 风电为 6 g, 水电为 20 g, 天然气为 181 g, 油为 204 g, 煤为 304 g。因此, 太阳能是最清洁能源, 减排的效果最显著。

2.1.3 太阳能的总体节能贡献

制造太阳能电池也需要消耗能量。有资料介绍, 太阳能电池 2.2 年的发电量即可收回制造太阳能电池时使用的电力。

2.2 全球光伏产业的发展

近 30 年来, 太阳能技术在研究开发利用、商业化生产、市场开拓方面都获得了长足发展。

21 世纪 70 年代以后,世界各国加大了对太阳能研究开发的投入,太阳能热水器、太阳能建筑、太阳能光伏发电等项目发展速度加快,规模逐渐扩大,但在其他工业、交通和工程方面发展较慢。各国光伏产业的发展见图 2.1 (a),按《太阳能行业 2009 年及 2010 年展望报告》统计资料比较,其安装量大约为 60%。图 2.1 (b) 为按《太阳能行业 2009 年及 2010 年展望报告》统计资料绘出的全球主要国家太阳能电池安装量的变化情况,可以看出 2008 年全世界并没有因为美国太阳能行业的萎缩而放慢发展速度,相反像日本、欧洲等国家却是加快发展的一年。光伏产业主要包括太阳能电池的生产量和太阳能电池的安装量。由图看出,全球光伏产业的发展主要在近几年,太阳能电池生产迅速增长。要达到节能减排的目的要看装机容量,从装机容量来看,以德国发展最快,位居第一;意大利和捷克在近几年才迅速发展,到 2010 年超过了日本和美国,位居第二和第三。中国位居第六,还不到德国的 1/10,但中国的发展速度较快,超过全球的平均水平。

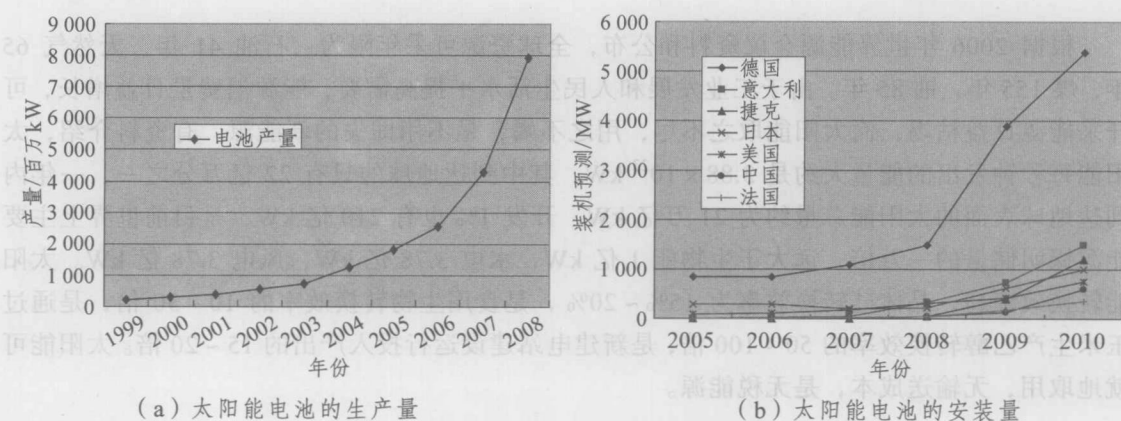


图 2.1 全球光伏产业的发展

2.3 我国太阳能产业的发展

2.3.1 我国光伏产业的发展

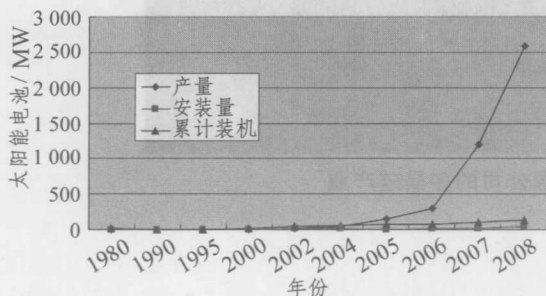
我国光伏产业的发展如图 2.2 所示。从 2005 年以来,太阳能电池产量上升很快[见图 2.2 (a)],主要集中在江苏、河北、浙江、上海、湖南和北京,2008 年太阳能电池产量分别为 1 383 MW、559 MW、301 MW、98 MW、35 MW、34 MW。到 2008 年,耗能生产的硅片和太阳能电池出口,中国排名第一,占全球市场总份额的 32.7% (其次是德国 21%、中国台湾和日本各占 12%),但是,光伏系统安装量极少。2008 年的光伏安装量才 4 万 kW,只占全球的 0.73%,根据《太阳能行业 2009 年及 2010 年展望报告》统计,近几年我国光伏安装量发展很快,2009 年比 2008 年增加了 3 倍。

2006 年起,我国实施《可再生能源法》,2009 年 3 月 28 日,财政部和城建部发布《太阳能光电建筑应用财政补贴资金管理暂行办法》,极大地推动了我国光伏产业的发展。中国太阳

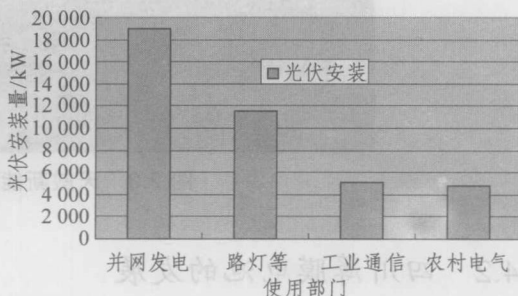
能电池项目一下子增加了许多,如上海航天科技、武汉、深圳等,中国太阳能产业的生产能力也在这一年得到了发展壮大。以现有的基础来看,单晶硅、多晶硅及非晶硅太阳能电池仍是我国目前产业化发展的主要产品。2010年,在安徽又有一家千兆瓦级的多晶硅生产基地开工建设。

2.3.2 我国光伏应用领域

我国光伏使用部门及安装量如图 2.2 (b) 所示,由图看出,除并网发电外,主要用在路灯、工业通信和农村电气,在耗电量大的冶炼、热加工、交通运输、化工等部门及应用最广的家庭生活中应用很少,因而对国家节能减排的贡献极少。我国光伏产业是两头在外,太阳能材料的提纯和高能量密度的新材料制造技术的研发在国外,下端的太阳能电池发电集成技术和应用在国外。国外企业得到了大部分太阳能经济效益和节能减排的实惠。这种现象的转变,一要靠科技支撑,二要靠政策支持。现在发达国家有计划地推行城市并网发电(屋顶太阳能发电和兆瓦级中大型发电系统)以扩大装机容量。我国也多次在国务院会议中提出发展策略和出台相关政策。



(a) 我国太阳能电池产量



(b) 我国使用部门及安装量

图 2.2 我国光伏产业的发展

2.4 四川的太阳能发展

2.4.1 四川硅电池产业的发展

四川的硅产业发展很早,早在 20 世纪 60 年代三线建设时期,四川峨眉 739 厂是我国建设最早和规模最大的单晶硅生产基地,该厂技术人员研制成功了多晶硅,随后在乐山建立了多晶硅生产基地,另外在新津也建立了多晶硅生产基地。现在多晶硅材料是太阳能电池的主要材料。单晶硅太阳能电池的转换率高,但成本最高;多晶硅太阳能电池由于制作较容易,材料纯度要求较低,目前是太阳能电池的主体。近几年来多晶硅产业发展迅速,目前四川的多晶硅产业占全国的 1/4,而乐山集中的新光硅业、乐电天威、四川永祥、峨眉半导体等占四川的 80%。天威新能源公司旗下的乐电天威、新光硅业和新津硅业是我国为数不多的千吨级多晶硅企业,实现了从硅晶片加工、硅晶片电池片到光伏组件、光伏电站组成的产业链

和完整的光伏产业群，年销售收入达 200 亿以上（见图 2.3）。2010 年 9 月 27 日，天威新能源投资 7 000 万元建立的天威技术中心和院士工作站在成都亮相，9 月 28 日，在国内外 383 家新能源机构和企业巨头参加的中国（成都）新能源国际峰会暨展览会在双流召开，国家发改委为“成都新能源产业国家技术产业基地”揭牌。新能源企业纷纷向园区聚集，积极推进新能源产业连片、链式发展，按照从组配件加工型向系统集成型转变，从产品制造型向产品研发型转变。从经济结构分析，已开始由劳力型经济、资本型经济向知识型经济、创新型经济转变。

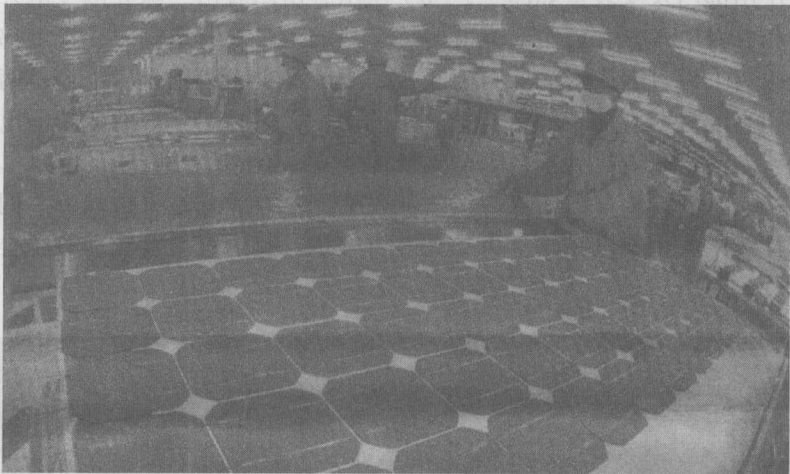


图 2.3 天威新能源公司的多晶硅产业

2.4.2 四川薄膜电池的发展

薄膜太阳能电池可以使用价格低廉的玻璃、塑料、陶瓷、石墨、金属片等不同材料当基板来制造，形成可产生电压的薄膜厚度仅需数 μm ，图 2.4 为薄膜太阳能电池。使用各式各样的沉积技术，把 p 型或 n 型材料一层又一层地长上去。常见的薄膜太阳能电池有 a-Si（非晶硅）、nc-Si（微晶硅）、CuInSe₂（CIS）（铜铟硒化物）、CuInGaSe₂（CIGS）（铜铟镓硒化物）和 CdTe（碲化镉）等。薄膜太阳能电池除了平面之外，也因为具有可挠性可以制作成非平面构造，其应用范围更大，可与建筑物结合或是变成建筑体的一部分。

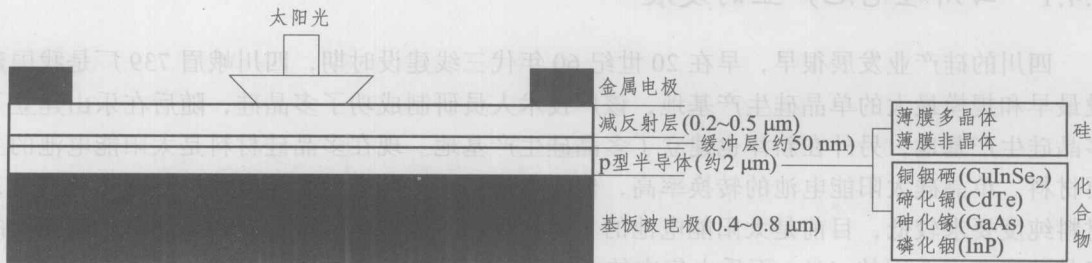


图 2.4 薄膜太阳能电池

特别值得一提的是四川阿波罗太阳能科技有限责任公司建立了一个近 10 kW 的太阳能发

电示范基地,该公司的 60 MW 的非晶硅薄膜电池项目已试生产成功。2009 年 10 月,一条 5 MW 碲化镉薄膜太阳能电池生产线建成并宣布正式投产,据负责该项目建设的四川阿波罗太阳能科技有限责任公司董事长、首席执行官侯仁义介绍,这是当时国内唯一一条碲化镉薄膜太阳能电池生产线,拥有靶材制作等多项专利。这条生产线建成投产,打破了国外在该行业的垄断状况,对发展我国新型太阳能电池产业和四川光伏产业结构调整都将产生重要影响。2009 年 12 月 26 日,四川阿波罗太阳能科技有限责任公司(简称四川阿波罗)“500 MW 碲化镉薄膜太阳能电池项目”,在双流县西南航空港经济开发区开工建设。这是中国建材集团与四川阿波罗太阳能科技有限责任公司在新能源领域投资的又一重大举措。四川阿波罗的前身是四川鑫炬矿业资源开发股份有限公司,尽管其拥有全球首个独立成矿碲铋矿山,但其主业只是出售矿石给其他太阳能制造商。该公司提出“必须做下游产业、发展终端产品。”为获取关键技术,在自主研发 5 MW 碲化镉薄膜太阳能电池生产线的同时,四川阿波罗也试图从国外引进技术,并于几年前与德国一家企业联系。在全球技术封锁的背景下,谈判进行得很艰难。转机出现在国际金融危机爆发后,欧洲市场萎缩,不少公司转向开拓发展中国市场。就在此时,四川阿波罗自主开发的 5 MW 碲化镉薄膜太阳能电池生产线试验成功。当这家德国企业主动找来时,谈判的天平明显变了。重启的谈判按四川阿波罗的预想进行,双方协定:由四川阿波罗投资 10 亿元人民币,在德国建立一条 80 MW 的生产线,生产过程由中德双方技术人员共同参与,随后的第二条生产线则移至中国国内,且四川阿波罗占股不低于 60%。普通的太阳能电池,4 个 9 的碲化镉就完全可以了,而目前该公司能够提纯出 5 个 9、甚至 6 个 9 的相关产品(4 个 9,指的是产品的纯度,达到 99.99%,而 6 个 9 就是 99.999 9%)。从原材料展示到单体靶材、合金靶材等,几乎所有材料提纯技术,都是四川阿波罗所拥有的自主知识产权。纯度每提高 1 个 9,价格就相应要提高 10 倍甚至 20 倍。目前,公司从资源—提纯—新材料—新能源—终端产品(碲矿—5~7 N 碲—碲化镉/硫化镉—第二代薄膜太阳能电池),在企业内部就已经形成了一条完整的运用产品链,同时公司以超过销售收入 9% 的资金投入到研发上来。目前,公司拥有两个国家高技术产业项目,拥有高纯金属生产技术等专利 7 项、非专利自有技术 16 项。公司拥有独立的自主知识产权,获得碲化镉薄膜太阳能电池 3 项发明专利,46 项非专利自有技术——独立技术。自主创新研发出硫化镉(CdS)、碲化镉(CdTe)及其合成太阳能电池材料的生产工艺技术——硫化镉湿法生产工艺和碲化镉液相生产工艺,高纯碲已实现规模化生产。四川阿波罗制定了整个公司的发展规划——要创建一流的太阳能电池生产基地。公司以资源为基础,一是在新材料发展方面,重点生产经营高纯半导体材料、光伏、光电材料和靶材产品。二是在新能源发展方面,力争在三年内实现碲化镉薄膜太阳能电池 500 MW 年规模化生产;实现年销售额 70 亿元,创利税 14 亿元。三是 5~8 年内达到实现化合物薄膜太阳能电池 3 000 MW/年生产规模,建设太阳能电站 1 万个,实现年销售额 350 亿元,创利税 70 亿元。

2.4.3 聚光太阳能电池的发展

光伏发电经历了第一代晶硅电池和第二代薄膜电池,目前产业化进程正逐渐转向高效的聚光光伏系统发电。聚光光伏技术是一种旨在实现低成本太阳能电力的新型技术,通过廉价的太阳光反射镜或透射镜,将太阳光发射的能量汇聚,实现太阳能电池的阳光能量成倍地增