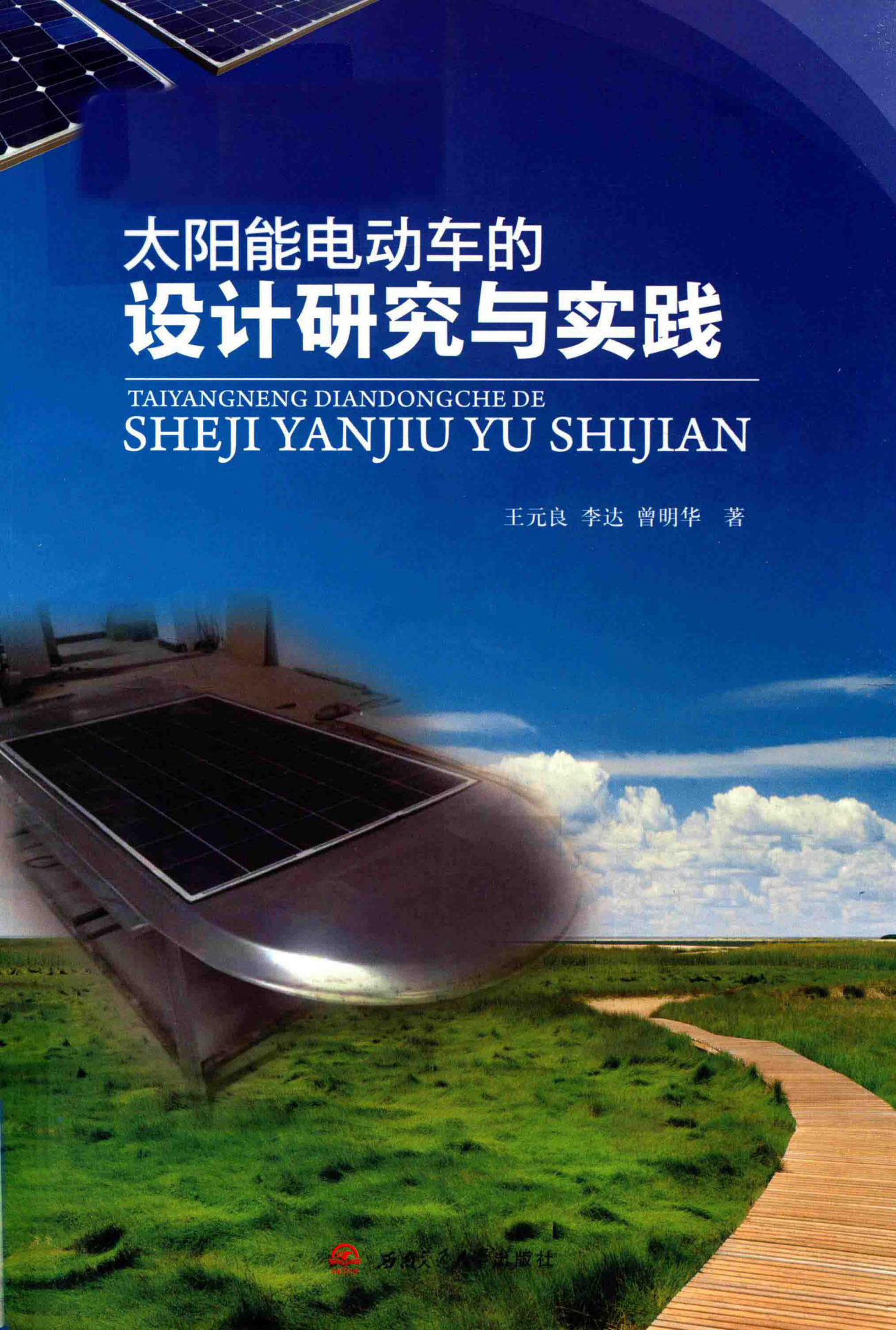




太阳能电动车的 设计研究与实践

TAIYANGNENG DIANDONGCHE DE
SHEJI YANJIU YU SHIJIAN

王元良 李达 曾明华 著



机械工业出版社

太阳能电动车的设计研究与实践

王元良 李达 曾明华 ◎ 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据
太阳能电动车的设计研究与实践 / 王元良, 李达,
曾明华著. —成都: 西南交通大学出版社, 2018.6
ISBN 978-7-5643-6227-0

I. ①太… II. ①王… ②李… ③曾… III. ①太阳能
汽车—电动汽车—设计—研究 IV. ①U469.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 126149 号

太阳能电动车的设计研究与实践

王元良 李 达 曾明华 著

责任编辑 李晓辉
助理编辑 何明飞
封面设计 严春艳

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)
邮政编码 610031
发行部电话 028-87600564 028-87600533
官网 <http://www.xnjdcbs.com>
印刷 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 16.75
字数 415 千
版次 2018 年 6 月第 1 版
印次 2018 年 6 月第 1 次
定价 89.00 元
书号 ISBN 978-7-5643-6227-0

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

根据世界能源大会资料,全球主要化石和矿物能源可供开采的年限大多在 100 年以内,石油、天然气及铀只有 30~40 年,而生成却要几千万年甚至上亿年。随着工农业生产的发展和人民生活水平的提高,对能源的需求日益增加。目前能源结构全球发电中煤、油、气发电占 65%,中国曾一度达 70%,温室气体和污染物排放问题日益加剧,化石能源逐渐枯竭。现在各国已把采用新能源来节能减排作为基本国策。

水电是开发最早且最有成效的清洁能源,但其地域限制大,对自然环境影响也大;风电新能源近年来发展很快,但存在与水电同样的问题;核电新能源效率高、发电成本低,但也依赖于矿物能源材料。21 世纪是人类能源革命的时代,一是由于工农业快速发展和人民生活水平的逐年提高,对能源的需求日益增加,造成的温室气体和环境污染随之加剧;二是目前应用最广的化石能源(煤、油、气、铀等)日益枯竭,影响国民经济的可持续发展。因此节能减排和广泛采用可再生能源成为当务之急。新能源中的太阳能无处不在(只有地区差异),获取容易,是取之不尽用之不竭且零排放的新能源。而且光伏器件价格逐年下降,太阳能发电将逐步代替煤、油、气发电被各行业使用,除了可作固定能源使用外,还特别适用于车载自发电能源。

近十年来全球及中国太阳能产能增长速度很快,我国由 2005 年的 0.42 GW 上升到 2011 年的 30 GW,占全球的 63%,已超过全球需求量,产品主要用于出口,自用极少。当遇到全球金融危机和遭到欧美反倾销时,国内光伏产业损失惨重。2013 年,国务院总理李克强多次主持召开国务院常务会议部署节能减排和支持光伏产业走出困境并健康发展的措施,经过国家的大力倡导和政策扶持,拓展分布式光伏发电应用,大众创业万众创新,使国内装机容量迅速增长。由 2010 年的 1 GW(装机不到 10%)到 2015 年的 48 GW(装机 30%,但只是预定目标的 50%),而且装机容量东部首超西部。太阳能发电量在“十三五”时期有望得到大幅度提升,到 2020 年底,太阳能发电装机容量将达到 1.6 亿千瓦,其中光伏发电将达 1.5 亿千瓦。太阳能在农业、工业、交通、城镇建设和生活中的应用前景广阔,必须加强其研究开发,迅速提高太阳能发电的装机容量。

2016 年冬季雾霾成灾,连成都这样在以前雾霾波及较少的地区,也发出红色预警。《成都商报》2016 年 12 月 12 日登载:形成 PM_{2.5} 的主要污染源移动源占 27.9%、燃煤源占 25.1%、扬尘占 20.8%、生活源占 7.3%、工业生产占 6.0%、其他占 12.9%(目前全市机动车保有量 464 万辆,年增长速度 14%以上)。为减少城市大气污染源,在农业、工业、交通、城镇建设和生活中应用太阳能成了必由之路。2016 年 2 月 14 日,国务院常务会议进一步提出支持新能

源汽车产业发展的措施，以能源结构优化推动经济绿色发展。

从 21 世纪初本书作者就开始关注“低碳经济”，即以低能耗、低污染、低排放为基础的经济模式，并从事焊接方面的节能减排工作。2010 年发表了《低碳焊接》一文，提出采用资源丰富和可再生的清洁能源（水能、风能、太阳能），对现有焊接技术进行节能减排改造。当时国家提出发展 8 大支柱产业，其中新材料、新能源、新能源汽车、节能环保和先进制造等一大半产业都与作者从事的专业技术有关，因此尝试研制一款“太阳能焊接工程车”可涉及上述 5 大产业，以此为目标阅读有关书籍，收集媒体资料，到相关产业调研，加上自己的分析思考，写出了《太阳能材料器件及其在工业交通中的应用》，并于 2013 年 6 月出版。由于太阳能材料和器件已有多部专著出版，该书只择需简述，着重在应用。而应用中除在太阳能资源丰富地区建大型太阳能电站外，只在太阳能热水器、太阳能路灯、太阳能屋顶电站和小家电等方面应用较多，也比较成熟，而在耗能最大且增长迅速的工业和交通产业中应用极少，因此该书重点讨论在工业交通中应用的必要性和可行性，以唤起有关部门和人员在这片待开垦的处女地涉足拓荒。

2013 年 6 月，西南交通大学冯晓芸副校长在材料学院调研时，在二号教学楼顶参观了最原始的 20 W 光伏电源与一台报废气割小车组合的太阳能小车缓慢运行，认为新能源工程车辆是未来的发展方向，建议设立该研究方面的研究生创新项目；同年 9 月，“太阳能焊接工程车”立项获批准，一年内送出该方向的硕士生和学士生各一名。由低年级的研究生参加设计制作了 5 种小功率太阳能代步车和轮椅，建立了一座 4.5 kW 的集装箱体离网太阳能电站车体。2015 年，一名研究生完成了太阳能输出 4.5 kW 供电系统和焊接工程车。2016 年，又有 3 名研究生分别设计出较大功率的太阳能轮式房车、轨式焊接工程车及太阳能车的供电及控制系统，同时完成了一台试验样车。2017 年，又有两名研究生设计了一台太阳能冷藏车和研制了一套跟日系统。根据一年多对城市轨道交通的调研和西南交通大学有关部门的研究成果与中车长春、唐山、四方、成都和资阳几大工厂及新津新筑公司先后下线的新型轨道车，本书作者认为成都太阳能产业实力雄厚，品种齐全，轨道车产业发展较快，可以利用成都双流密集的各种太阳能材料和器件的优势与近期新建的车用蓄电池的研发和生产优势，研究开发推广太阳能电动轨道车。因此在过去几年团队师生从小到大的太阳能电动车的研制实践和论文设计成果的基础上，写出了这本《太阳能电动车的设计研究与实践》。目的是说明研究和推广太阳能电动轮式车特别是轨道车的必要性和可行性（本书只是初步样机或设计）。对太阳能的利用，提出以下建议：

（1）促使大众创业万众创新，将分布式太阳能电站应用于各种场合。即使在太阳能资源贫乏地区也具有一定经济效益，特别是社会效益，不可低估。

（2）研究发展推广移动太阳能电动车和工程车。目前全国主要生产和使用排污严重的燃油汽车，建议汽车工业尽快向纯电动汽车转型，加速太阳能汽车的研究开发及生产，逐步推向全国并进入“一带一路”沿线国家。

（3）建立太阳能充电站。成都双流公交充电场站占地 50 906.32 m²，将 10 kV 的高压转为 380 V 交流，再通过充电模块转为直流为公交车充电。

（4）建立发展太阳能集装箱移动电源和充电车。如所研制的集装箱式 4.5 kW 的离网太阳

能电站，可作为家用或小型充电站，也可搭载蓄电池组充电待用和为电动车充电。

(5) 大力发展轨道交通。轨道交通与公路交通相比运行阻力小、所需动力少、车身长宽，而且早已进入电力拖动时代，比汽车产业更适于发展太阳能车。近年来，中低速的近程和郊县的中低速轨道交通迅速发展。中低速磁悬浮列车已开通运行，特别是空轨交通比一般轨道交通更胜一筹，更适于发展太阳能。我国高速铁路从一无所有到不到十年就发展成运营里程、运量和速度全球第一，已逐步建立全国高速铁路网并成为走向国外的一张名片。但要再较大幅度提速，最好的办法是发展真空管道高温超导列车，如在真空管道顶部布置柔性太阳能电池板，就可为列车供电，而且有可能并网运行，减少投资。

本书的目的在于为交通运输的能源革命提出思路，可解决化石和矿物能源日益枯竭，雾霾和空气污染日益严重等问题，有利于节能减排和社会可持续发展。

由于作者水平所限，书中疏漏之处在所难免，请广大读者与同行批评指正。

作 者
2018 年 6 月

目 录

1 太阳能总论	1
1.1 太阳能资源	1
1.2 太阳能的发展现状	2
1.3 太阳能产业现状	7
1.4 太阳能应用方式及领域	9
1.5 太阳能光伏电站及应用	11
1.6 消除雾霾必须从源头抓起	25
2 太阳能能源特性分析及应用	27
2.1 太阳能能源特性简述	27
2.2 太阳能的光电转换	28
2.3 太阳能电池板的选用	33
2.4 薄膜光伏电池及应用	39
2.5 跟日器与聚光太阳能电池及应用	46
3 太阳能电动车的储能设备	49
3.1 车用蓄电池的基本原理及铅酸蓄电池	49
3.2 锂电池	53
3.3 超级电容储能电池	56
3.4 蓄电池容量	59
3.5 太阳能集装箱车体电池能源系统计算实例	60
4 太阳能电动车的走行传动系统	62
4.1 发展太阳能电动车是运载工具发展的未来方向	62
4.2 车用齿轮传动系统	63
4.3 车用电机	64
4.4 轮式车动力分析	71

4.5	现有轮式电动车的技术特征及技术参数分析	74
4.6	轨道车动力分析	79
5	车体材料及结构轻量化	89
5.1	太阳能车体材料及结构轻量化的主要途径	89
5.2	进一步轻量化的材料选择	95
5.3	复合材料	96
5.4	铝塑复合板的性能及应用	98
5.5	转向架的轻量化	101
5.6	高速列车轻量化的焊接结构特点	102
6	步速老年代步电动车及太阳能电动车	106
6.1	社会需求	106
6.2	电动轮椅及太阳能电动轮椅	107
6.3	低速代步车	111
6.4	电动自行车及太阳能电动自行车	116
6.5	自平衡车与太阳能电动自行车	120
6.6	国内典型产品及应用	123
6.7	国内几种太阳能电动车示例	126
7	中速太阳能电动车	128
7.1	前 言	128
7.2	现有市售典型中速电动车的分析	128
7.3	太阳能集装箱电站车身一体化	131
7.4	太阳能多用车的研制	137
8	高速太阳能电动乘用车	146
8.1	太阳能汽车的探索	146
8.2	国产太阳能家用小微车及小轿车	148
8.3	超级电容电动车的发展	156
8.4	氢燃料电池与太阳能制氢	158
9	房车与太阳能房车	162
9.1	房车发展现状	162
9.2	现有房车种类构造及其应用	162

9.3	太阳能房车	166
9.4	新型太阳能电动房车设计	169
9.5	太阳能能源系统	176
9.6	蓄电池选型设计	177
10	太阳能冷藏车	180
10.1	综 述	180
10.2	冷藏车的制冷系统	183
10.3	半导体制冷系统及应用	183
10.4	自研太阳能电动冷藏车	189
10.5	新型太阳能电动冷藏物流车的设计	190
11	太阳能焊接及焊接工程车	198
11.1	太阳能焊接系统	198
11.2	太阳能焊接工程车系统	199
11.3	几种自带太阳能电源的电动小型焊接服务车	200
11.4	几种自带太阳能电源的电动中型焊接服务车	210
11.5	太阳能轨式焊接工程车	223
12	发展太阳能轨道车的探讨	230
12.1	发展太阳能轨道车的必要性和可行性	230
12.2	有轨电车的兴起与发展	231
12.3	太阳能双层客车与立体快巴	240
12.4	空中轨道列车与太阳能空中轨道列车	242
12.5	磁悬浮和真空管道磁悬浮列车太阳能的应用	248
	后 记	254
	参考文献	255

1 太阳能总论

1.1 太阳能资源

1. 太阳能源无处不在

太阳是由炽热气体构成的巨大球体，中心温度约 10^7 K ，表面温度 $5\,000\text{ K}$ ，其内部在不停地进行热核反应，产生巨大的能量，只有 22 亿分之一辐射到地球，经过大气层的反射、散射和吸收，约有 70% 到达地面，可供能量约 $1.8\times 10^{18}\text{ kW}\cdot\text{h}$ ，等于 1.3×10^6 亿吨标准煤，相当于目前世界主要能源探明储量的一万倍。由于地球对太阳的自转和公转造成了两者距离的变化，形成了不同地区和春夏秋冬的辐射强度不同。由图 1.1 看出，所有可再生能源中，唯有太阳能是取之不尽用之不竭的新能源。太阳能利用的核心问题是如何解决由于地球相对于太阳的距离和日照方位不同，日照强度随多种因素变化。

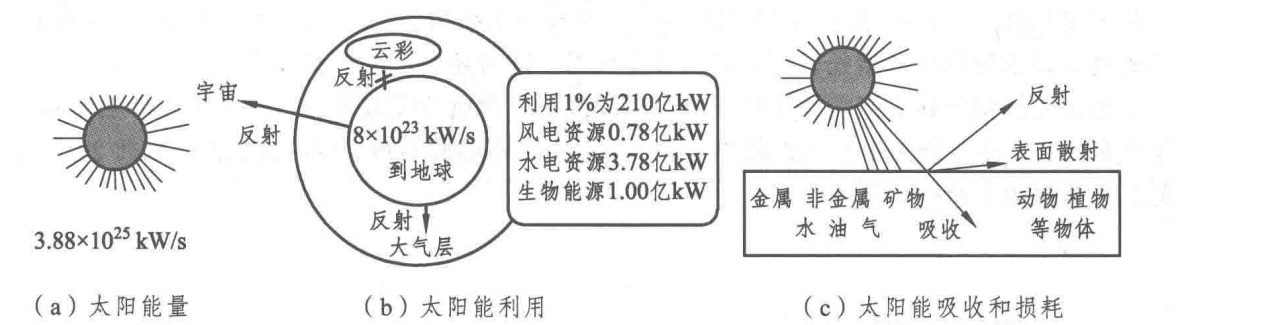


图 1.1 太阳能资源与利用

由上所述，太阳能资源在不同地区、不同季节、不同月日、不同时间和不同天气都有所不同，但其变化规律是相似的。对于各个地区来说主要与所处的经纬度有关，一般按所在地区的太阳能资源的丰缺程度分为 5 类。表 1.1 列出了我国太阳能资源量的有关参数。

表 1.1 我国不同地区的太阳能资源量

类别	包含地区（太阳能丰缺程度）	年日照时间/h	年辐射量 / (mJ/m^2)	日辐射量合 / ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$)	同样热量用煤合/kg
1	宁北，甘北，疆东，青西部，藏西（丰富）	3 200 ~ 3 300	6 680 ~ 8 400	5.1 ~ 6.4	225 ~ 285
2	冀和晋西北，疆其余、内蒙古和宁其余，甘中西，青东其余，藏东南北（较丰富）	3 000 ~ 3 200	5 652 ~ 6 680	4.5 ~ 5.1	200 ~ 225
3	鲁、豫、吉、辽、滇、粤、苏。冀和甘东南，闽和晋南，疆、皖北，陕西北，台西南（中）	2 200 ~ 3 000	5 016 ~ 5 652	3.8 ~ 4.5	170 ~ 200

续表

类别	包含地区（太阳能丰缺程度）	年日照 时间/h	年辐射量 /（ mJ/m^2 ）	日辐射量合 /（ $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ）	同样热量用 煤合/kg
4	湘、鄂、桂、赣、浙、闽、黑，闽和苏北， 陕西南，皖南、台东北（较贫乏）	1 400～ 2 200	4 190～ 5 016	3.2～3.8	140～170
5	四川和贵州（贫乏）	1 000～ 1 400	3 334～ 4 190	2.5～3.2	115～140

由表 1.1 看出，太阳能虽无处不在，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，我国大部分地区太阳能资源都在中等以上。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。川西南的西攀地区日照较为充足，太阳能的利用较为普遍，而其他地区太阳能的利用则不太充足。与四川资源相近的重庆，太阳能热水器和路灯的应用已经比较普遍。

2. 太阳能是万物生存之源

万物生长靠吸收太阳能的电光合化学作用，四季变化靠地球与太阳相对运动时辐射热强度不同所造成的温差作用，人类的衣食住行和社会发展都离不开太阳能。西周时期我国先民就开始用聚光取火，进而人们应用集中热能加热物品，才使社会由石器时代进步到铜器时代和铁器时代。将热能变成动能驱动工具和机械，广泛应用于工业各部门，以交通运输设备为例，就从人力车发展到蒸汽车、内燃车和电动车。现在人们的学习生活和工作都离不开电，生活质量越高，工业越发达，用电量就越大。现在用电结构主要还是以煤、油和气发电为主，随着能源需求量的日益增长，能源材料日益枯竭，同时还会产生大量的废气排放，造成空气污染和生成温室气体，影响国民经济的可持续发展。因此节能减排和广泛采用可再生能源成了当务之急。再生能源中唯有太阳能是取之不尽用之不竭的零污染的清洁能源，因此 21 世纪必是人类能源革命的时代。

1.2 太阳能的发展现状

1. 全球能源资源

根据 2006 年世界能源大会资料，全球资源可开采的年限大多在 100 年以内。电能是工农业现代化和提高人们生活水平的主要能源，而油、气、煤燃料发电比例高达 65%[见图 1.2(a)]，我国更高，仅煤电就达 70%[见图 1.2(b)]。由图 1.2(c) 可以看出，油、气、煤电是碳排放的主体，水电、风电很少，只有太阳能是零排放。

2. 几种新能源的比较

目前国家把发展新能源作为基本国策之一。太阳能的优点最为突出，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，太阳无处不在，取之不尽，用之不竭；并且能光热综合利用，能量转换效率只低于核电，但远高于风电和生物电。目前利用太

阳能主要的缺点是硅太阳能材料制造过程能耗大，太阳能的发电成本过高。解决的办法是在发展初期国家给予补贴，提高太阳能材料和器件的转换率和储能设备的单位质量的输出功率和能量，同时降低发电成本。近期发展了在普通材料上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和节能。另外，聚光太阳能电池也得到了发展及应用，由于输出功率的提高，其发电成本有可能达到煤电水平。几种清洁能源的优缺点比较如表 1.2 所示。

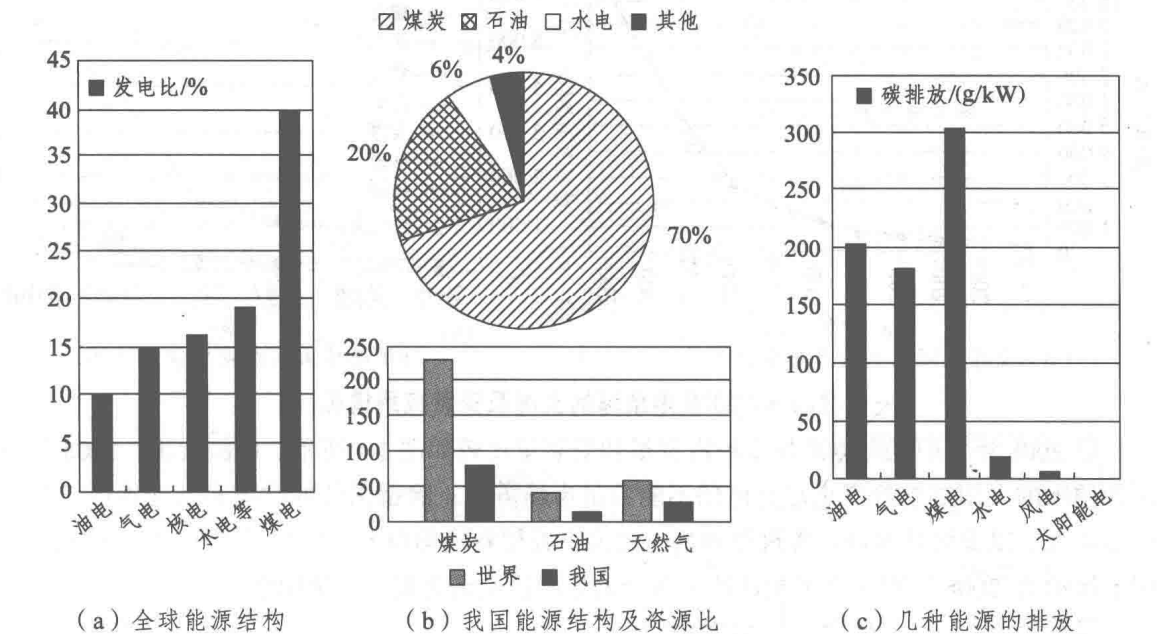


图 1.2 资源-能源结构-碳排放比较

表 1.2 几种新能源发电的综合比较

与传统能源比	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	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
全程转换效率	1%	千分之几	33%	15%~20%
稳定性	稳定	不稳定，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

3. 太阳能材料和器件产业的曲折发展

(1) 全球的发展。太阳能电池近几年在全球的发展及安装应用情况如图 1.3 所示。由图可以看出,近十年来太阳能电池产量以两位数的速度增长,但安装量只有德国增长很快,其他国家增速很慢,其中中国增速最慢,说明供需差距日益增大。

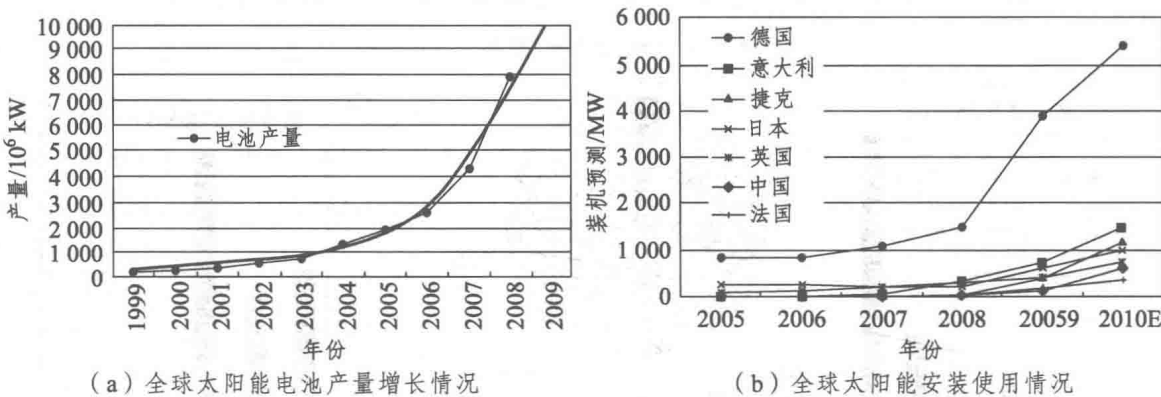


图 1.3 2008 年全球的发展及安装应用情况

以 2008 年太阳能电池产量市场需要量和安装量比较如图 1.4 所示。由图看出,2008 年中国和德国的太阳能电池产量最高但仍不能满足市场需求;除德国外的欧洲和其他地区产量少但需求大。以安装量来看,西班牙和德国最大,其他各国均较少,中国只占全球的 0.7% (图中未显示)。2008 年以后我国光伏产能在全世界的比重迅速提高,见图 1.5。

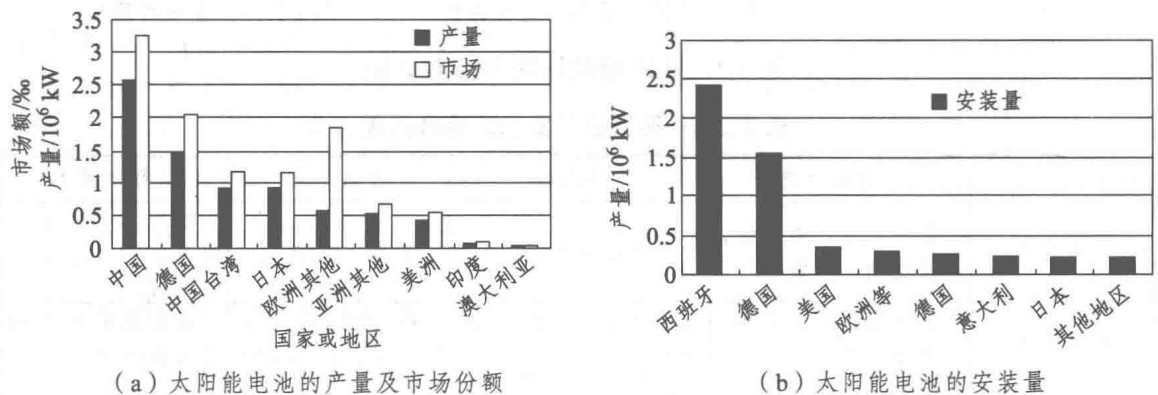


图 1.4 2008 年世界上主要国家和地区的太阳能产量及装机量比较

(2) 我国的发展。由图 1.5 可以看出,2008 年以来全球产能迅速增加,中国增长速度很快,所占比例由 26% 猛升到 63%,其总量已超过全球的需求。我国的太阳能发展是两头在外,主要花高价引进高端技术及设备,多点大上生产线,生产产品出口,不注意高端核心技术的研发及国内应用的研究开发。在遭到欧美反倾销时,国内光伏产业损失惨重,很多光伏产业停产和倒闭,四川也不例外。其中最典型的是中国第一家光伏企业在短短 12 年内就走过了迅速兴起到破产重组的道路,最初为我国光伏产业的发展做了很大贡献,及后迅速扩张,产能过剩,又遇全球金融危机,再遇欧美双反,不到 7 年就资产清零破产重组 (见图 1.6)。由光伏产业发展的兴衰历程,可总结出:我国大量引进技术而自我创新不足,大量外购设备盲目扩产,产品 95% 以上出口,国内安装使用量很低,对国内节能减排贡献小,受全球金融风暴影响大。

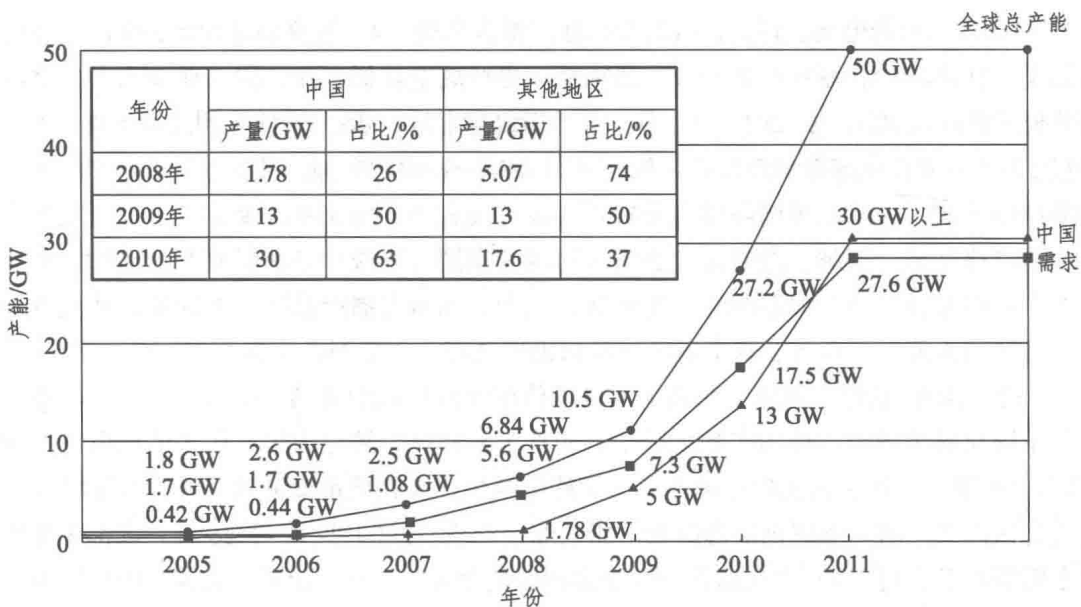


图 1.5 全球光伏产能和装机需求及中国产能的对比

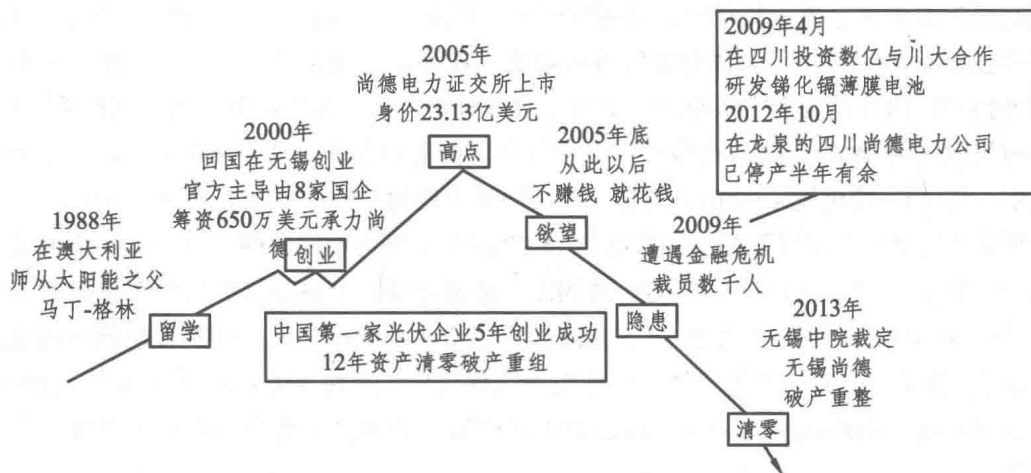
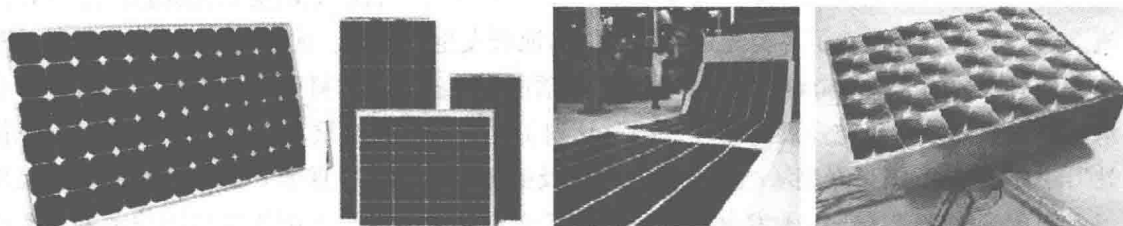


图 1.6 中国第一家光伏企业发展的兴衰历程

(3) 四川和成都的发展实例。四川有我国建设最早的半导体单晶硅的研究生产基地，而且最早发展了多晶硅，后期由于扩展过快而且分散，很多厂关停并转。目前由于抓住成本低廉耗能又少的多晶硅和第二代光伏产品薄膜太阳能电池和第三代聚光太阳能电池的研究开发和建设生产，成都光伏科技及产业逆势而上。目前太阳能电池的类型如图 1.7 所示。



(a) 单晶硅太阳能电池 (b) 多晶硅太阳能电池 (c) 薄膜太阳能电池 (d) 聚光太阳能电池

图 1.7 太阳能电池的类型

① 多晶硅太阳能电池。目前，四川多晶硅产量占全国 1/4。与单晶硅相比，多晶硅生产过程较简单，耗能较少，原料纯度和尺寸要求低，生产成本较低，在光伏产业步入严冬之际，发展非但未停反而加快。据 2011 年 8 月 1 日《华西都市报》载：“通威集团建设 6 000 吨多晶硅项目 2012 年就可在成都双流投产。同年 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集聚，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。

② 薄膜太阳能电池。薄膜太阳能电池可以使用价格低廉的玻璃、塑料、陶瓷、石墨，金属片等不同材料为基板，使用多种多样的沉积技术来制造，被称为第二代太阳能电池。2009 年 10 月 10 日，一条 5 兆瓦碲化镉薄膜太阳能电池生产线在成都双流建成并宣布正式投产。这是当时国内唯一的一条碲化镉薄膜太阳能电池生产线。2009 年 12 月 26 日，成都中光电阿波罗太阳能有限公司“500 兆瓦碲化镉薄膜太阳能电池项目”在双流开工建设。四川阿波罗公司，前身是四川鑫炬矿业公司，其拥有全球首个独立成矿的锑铋矿山，以前是把矿石出售到国外制造薄膜太阳能电池。几年前，阿波罗也试图从国外引进技术，曾与德国一家企业联系，但在全球技术封锁的背景下，谈判进行得很艰难。在国际金融风暴爆发后，欧洲市场萎缩，不少国外公司转而开拓发展中国市场，重启了双方合作，共建碲化镉薄膜太阳能电池生产线。公司将销售收入的 9%以上投入研发，目前拥有多项自主知识产权的专利技术，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。2012 年 6 月 5 日，阿波罗通过重组后的汉能控股收购德国 Q-CELLS 子公司铜铟镓硒（CIGS）薄膜电池制造商 Solibro。该企业的铜铟镓硒（CIGS）薄膜太阳能电池具有全球最高的模组转换效率，研发转化率已达 20.5%。2013 年 7 月 25 日，汉能再次成功并购全球领先的薄膜太阳能美国 Global Solar Energy 公司，它所生产的柔性太阳能电池组件可广泛应用于光伏建筑一体化（BIPV）、太阳能屋顶系统、电动汽车等领域。这标志着汉能通过全球技术整合，占据了薄膜发电技术的最前沿。

③ 聚光太阳能电池。聚光光伏技术是通过廉价的太阳光反射镜或透射镜，将太阳辐射的能量汇聚，实现太阳能电池上的阳光能量成倍地增加，号称第三代太阳能电池。聚光电池的效率已达 41.0%，可大幅降低光伏发电的成本。聚光光伏系统与常规平板太阳能电池组件相比，发电量提高 40%，组件成本降低 40%，系统的发电成本可降低 60%以上。通过运用聚光光伏系统很可能把高昂的光伏电价降到煤电水平。2010 年 6 月，首个太阳能聚光光伏产业园花落双流。至此成都双流建立了各类先进的太阳能电池研发生产集群。成立于 2002 年的成都钟顺科技发展有限公司，从 2004 年至今，承担了多项国家、省、市的科研攻关项目。2006 年，公司承担了国家高技术研究发展计划（“863”计划）先进能源领域重点项目“MW 级并网光伏电站”中的“MW 级聚光型（CPV）并网电站及关键设备研制”课题。太阳能跟踪技术及理论、太阳能聚光光伏（CPV）发电技术、跟踪式光伏发电技术、太阳能热利用技术等前沿科技的研发，形成了多项专利技术并享有自主知识产权，拥有成熟的跟踪聚焦太阳能光伏发电技术和产品。已成功用于西藏自治区大型太阳能聚焦热利用系统，得到了一致好评。2007 年，

公司经四川省科技厅批准组建了“四川省太阳能聚光应用工程技术研究中心”，着力于太阳能的光伏、光热及光纤传输等技术产品的研发。主要产品有：“ZS”太阳能自动跟日器系列；太阳能聚光光伏（CPV）发电系统；太阳能平板跟踪发电系统；太阳能专用复合材料菲涅尔聚光器；太阳能跟踪及充电控制器等数十个系列产品，并承担大型太阳能并网电站工程建设。

由上看出，光伏产业是新能源产业的重要发展方向，我国光伏产业已具有相当国际竞争力，只要找准方向，加强核心和关键技术的研究，提高产品质量和转化效率，降低成本，倡导大众创业万众创新，加强应用研发，开发供给侧产品，扩展国内市场，光伏产业一定会走出困境并健康发展。

4. 光伏科学技术与产业

光伏科学的核心是光电转换，是光学、材料学、电学、化学、热力学等交叉的综合学科。光伏技术的关键是利用光伏科学的成果研制光伏材料和器件，并发展应用为工农业和人民生活服务的创新产品。由 2013 年公布的自然科学基金“面向能源的光电转换材料”重大研究计划 2014 年度项目指南可以看出，该计划为“面向国家解决能源问题的重大战略需求，以光-电/电-光转换为核心，以材料设计和制备为基础，发挥光电材料的理论与模拟的引领作用，重视微纳结构和表面界面工程研究，旨在揭示高效光-电/电-光转换的机理，突破现有原理和技术局限，为光电转换材料和器件在可再生能源的开发与能源高效利用方面提供新思路和技术支撑。”目的是“通过材料、化学、数理和信息等多学科交叉，在理论和实验的源头创新上取得突破，揭示提高光-电/电-光转换性能的新机制，建立和发展高效光电转换材料制备新方法，发展具有自主知识产权的材料体系，为可再生能源的开发和能源的高效利用提供新途径，造就一支有国际影响力的研究队伍，提高我国在光电材料和器件研究领域的整体创新能力。”光伏工程学科领域涉及机械、电机、电子、材料冶炼提纯和加工、电气化和自动化、器件的设计制造和运用等方面。光伏产业涵盖光伏材料产业、光伏器件产业、光伏发电产业、光伏应用产业（涉及重型机电工业、轻工及家用电器、农林业、军事、医药卫生、化工及压力容器、食品、机车车辆、汽车、轮船、航空航天等）。由此看出，其学科基础之深，知识门类之宽，生产应用之广，需要多方面的专家和技术人员从各个层面通力合作才能做大做强，是我国产业结构改革发展供给侧需求，解决节能减排问题和化石能源危机，改善人居环境的主要途径。

1.3 太阳能产业现状

1. 产能过剩安装应用不足

2008 年前，我国太阳能生产和安装的统计情况如图 1.8 所示。由图看出，我国太阳能电池产量自 2005 年起迅速增加，到 2008 年占全球产量的 26%，2011 年已达 5 000 MW 以上，占 63%，甚至达到全球的需求量，但国内安装量极少且增长极慢。安装量主要在并网发电和路灯等，少量在工业通信和农村电气，内需和供给侧消费严重不足。各处纷纷投资贷款买进

口技术和设备，产能严重过剩，加上全球经济危机和欧美光伏应用大国实行双反，中国光伏产业走到低谷。成都选定的新型太阳能电池集群发展，重研究开发，扩展安装应用是一条健康发展之路，但必须进一步大力发展供给侧消费，拓展分布式光伏发电应用，不断发展太阳能应用产品，才能可持续发展。

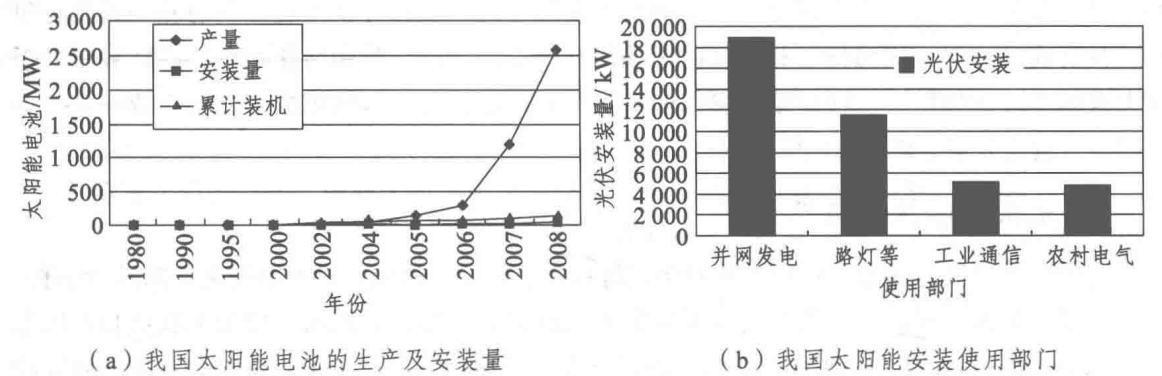


图 1.8 我国太阳能的发展

2. 现在的形势

由于工农业快速发展，人民生活质量的提高，城乡建设的需求扩大，用电量迅速增长，因发电造成的废气及粉尘排放日益加剧，使空气被污染，雾霾加重。有资料指出，空气质量的恶化，能源消耗所占比例高达 65% 以上。开车 1 km，碳排放约 0.2 g，但乘坐高铁或骑电动代步车 1 km，碳排放可降到约 0.05 g，如使用太阳能电动车可做到零排放，因此清洁能源是实现节能减排的重要途径。为此，国务院总理李克强曾主持召开国务院常务会议，研究部署加快发展节能环保产业，促进信息消费，拉动国内有效需求，推动经济转型升级。率先推广使用新能源汽车，使高效节能产品市场占有率提高到 50% 以上。加快节能环保重点工程建设，开展绿色建筑行动，提升产业技术装备水平。加大关键共性技术攻关，提高自主创新能力。随后，国家发改委下发文件，明确了全国范围内分布式光伏上网电价补贴标准为 0.42 元/kW·h，建设成本补贴一类资源区为 0.90 元/kW·h，二类资源区为 0.95 元/kW·h，三类资源区为 1.0 元/kW·h。这一系列的部署和政策引导了光伏技术和产业的发展。

3. 光伏产业度过寒冬迎来久违的春天

由于国家多次政策推动，解难题，把方向，出措施，从 2014 年起，我国光伏产业实现扭亏，经营状况得到了较大改善。光伏产业利好政策频频出台，其中包括规范光伏开发秩序、开展光伏扶贫工程、推进分布式示范区建设等一系列政策措施，在规范市场的前提下，大力拓展了国内光伏市场，树立了一大批示范性项目，对整个行业的健康发展起到了极为重要的作用。2015 年，光伏行业建立示范园区由 12 个扩展到 30 个。中国光伏协会数据显示，2015 年多晶硅产量超过 16.5 万吨，同比增长 21%；以多晶硅电池为主的光伏组件产量超过 43 GW，同比增长 20.8%，占全球 70% 以上；国内光伏装机量新增 15 GW，同比增长 40%。新增装机容量和累计装机容量均居全球第一，但离国家对装机容量的要求和生产量仍有较大差距。2016 年 2 月 14 日，国务院常务会议又进一步提出支持新能源汽车产业的发展措施，以结构优化推