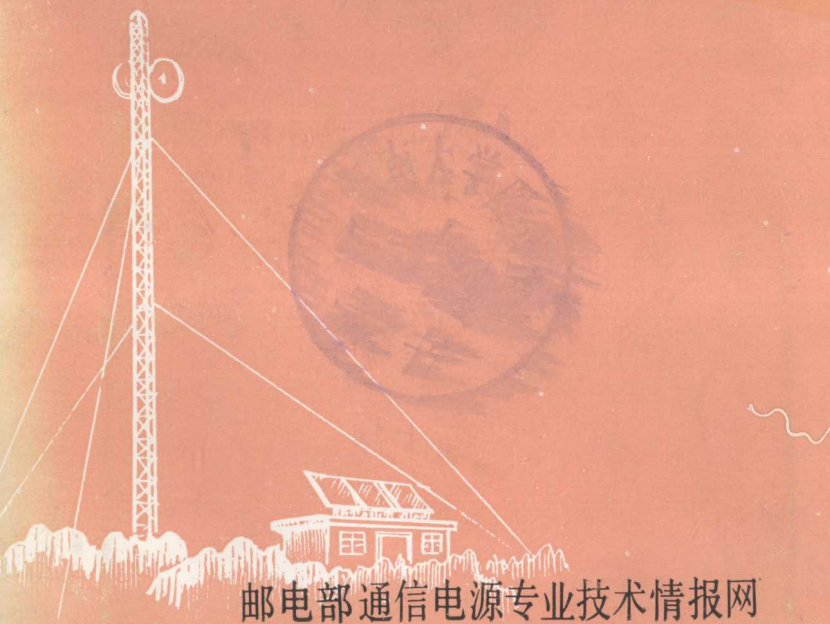


光伏电源技术

李正家 编著

朱雄世 审核



邮电部通信电源专业技术情报网



光伏电源技术

李正家 编著

朱雄世 审核

内 容 简 介

本书比较全面地介绍了光伏（太阳电池）电源技术，共分八章。在叙述太阳能资源和太阳电池原理的基础上，重点介绍光伏电源系统的组成与监控，设计与安装，配套蓄电池选择，太阳电池的选购、使用与维护，系统可靠性，典型系统与混合电源等。

可供从事光伏电源的研究、设计、安装和使用维护的工程技术人员阅读，也可作为讲授现代电源课程的教学参考。

光 伏 电 源 技 术

李正家 编著

朱雄世 审核

邮电部通信电源专业技术情报网

（联系地址：郑州市邮电部设计院）

开本：787×1092 1/32 印张：8 字数：169千

1989年10月 印数1—1000册 工本费：7元

豫内资料准印通字新出发第063号

前 言

目前，光伏（常称太阳能电池或太阳电池）技术发展极快，正在形成光伏工业，与其配套的专用蓄电池称光伏蓄电池。

随着太阳电池使用材料的更新、生产工艺的改进和变换效率的提高，每峰瓦太阳电池的售价急剧下降。现在的价格约为十年前的十分之一，给太阳电池在地面推广应用提供了十分有利的条件。

从1954年太阳电池发明到70年代初的二十年间，光伏电源主要用在宇航系统，70年代中期以后，是光伏电源在地面通信、电视广播中少量应用阶段，80年代则是光伏电源在缺电地区地面通信和电视广播中推广应用时期。太阳电池应用的潜在市场十分宽广，如农业生产的加工和灌溉等。

从1978年至今，光伏电源在我国地面通信局站的应用只有十年的历史，前几年处于试用阶段；随着通信事业的发展和太阳电池价格的降低，近几年各省缺电地区对太阳电池的应用大有“忽如一夜春风来，千树万树梨花开”之势。

本书在叙述太阳能资源和太阳电池原理的基础上，重点介绍光伏电源系统的组成与监控，专用蓄电池，设计与安装，选购、使用与维护，可靠性，典型系统与混合电源等。

作者在撰写本书的过程中，曾得到宁波太阳能电源厂张彰仁同志、武汉长江电源厂周承柏工程师、四川新光电工

厂研究所所长李国祥工程师和邮电部武汉邮电研究院廖忠恂高级工程师提供的有关资料和图片，在此表示衷心的感谢！

作者还对邮电部设计院电源研究设计处总工朱雄世主任高级工程师和人民邮电出版社蔡效平编审提供的宝贵修改意见表示衷心的感谢！

作者 1988年2月25日

序 言

太阳能电池（或称光伏）从实用化迄今已历35年，作为新能源，它从一开始就表现了推动现代科学技术发展的强大威力。对宇航技术和现代通信技术的发展作出了重大贡献。1978年，这一技术进入我国地面通信领域，十年来有了很大发展。随着通信事业的发展和太阳能电池价格的降低，光伏电源技术的推广应用将会进入一个新的阶段。

1986年10月，邮电部通信电源专业技术情报网召开的第四次技术交流会，主要议题是新能源在通信领域的推广应用。与会专家认为，目前技术进展迅速，资料匮乏，很有必要撰写（或翻译）一部光伏电源技术专著，以推动太阳能电池在通信领域的应用。

近几年，邮电部设计院高级工程师李正家同志，在工作之余，收集了大量国内外太阳能电池应用技术资料，并进行了分析、鉴别和筛选，精心编著了《光伏电源技术》一书，曾多次、多方面向有关专家征询意见，修改定稿。

《光伏电源技术》在叙述太阳能资源和太阳电池原理的基础上，介绍光伏电源系统的组成与监控，设计与安装，太阳电池和蓄电池的选择、使用与维护，系统可靠性与典型系统等。该书内容丰富，系统全面，实用性强，既有理论，又通俗易懂，是一本难得的太阳电池应用专著。我愿这本书早日与读者见面。

邮电部通信电源
专业技术情报网 网 长 王万峰

1989年元月

单位符号说明

一、单位

符 号	单 位	注
m	米	1 m=100 cm
cm	厘 米	
g	克	1 kg=1 000 g
s	秒	
min	分	1 min=60 s
h	小 时	1 h=3 600 s
d	天	1 d=24 h
y	年	1 y=8 760 h
kcal	千 卡	1 kcal=1 000 cal 1 cal=4.186 8 J
A	安 培	
V	伏	W/A
Ω	欧 姆	V/A
eV	电子伏特	1 eV=1.602 189 2×10 ¹⁹ J
erg	尔 格	1 erg=10 ⁻⁷ J
W	瓦	J/s
W _P	峰 瓦	
J	焦 耳	1 J=1 N m
N	牛 顿	1 kg=9.8 N
lm	流 明	
lx	勒 克 斯	lm/m ²

二、词头

符 号	英文名称	中文代号	因 数
G	giga	吉	10 ⁹
M	mega	兆	10 ⁶
k	kilo	千	10 ³
m	milli	毫	10 ⁻³
μ	micro	微	10 ⁻⁶
n	nano	纳	10 ⁻⁹

目 录

序 言

单位符号说明

第一章 绪论..... 1

参考文献 14

第二章 太阳能资源和太阳电池..... 17

第一节 太阳能资源 17

一、太阳能 17

二、太阳光谱 17

三、地面上的日射 19

四、太阳常数 20

五、太阳高度 21

六、大气质量 23

七、大气透明度 25

八、太阳辐射量的计算 26

九、我国太阳能资源 31

第二节 太阳电池的原理、种类与制造 41

一、太阳电池的原理 42

二、太阳电池的构造 43

三、太阳电池的种类 44

四、硅太阳电池 46

五、非晶硅 (a -Si) 太阳电池 50

六、化合物半导体太阳电池 54

第三节 太阳电池的特性与测试 58

一、太阳电池的输出特性和等效电路 58

二、太阳电池在不同光源照射下的输出特性 62

三、太阳电池的温度特性 64

四、太阳电池特性的测量与计算	66
五、太阳光下的变换效率与输出特性	68
参考文献	70
第三章 太阳电池的组件与系统	71
第一节 太阳电池组件	71
第二节 聚光器	80
一、透镜法	80
二、反射镜法	82
三、萤光板法	83
第三节 混合组件	84
第四节 太阳电池系统	86
一、光伏电源系统的基本组成	86
二、太阳电池方阵	86
参考文献	93
第四章 光伏电源的蓄电池	94
第一节 选择蓄电池	94
第二节 镉-镍蓄电池	95
第三节 铅酸蓄电池	101
第四节 氧化银蓄电池	109
第五节 新型蓄电池	111
参考文献	112
第五章 光伏电源系统的控制部分	113
第一节 对控制部分的要求	113
第二节 各种控制电路	114
一、没有蓄电池时的电压控制电路	114
二、防逆流二极管	116
三、电流控制电路	117
四、电压控制电路	119
第三节 充电调节器	120
第四节 方阵对太阳的跟踪方法	128

一、传感器法	128
二、计算机控制法	128
三、阴影跟踪法	129
参考文献	132
第六章 光伏电源系统可靠性	134
第一节 可靠性概念、失效现象与机理	134
一、可靠性概念与计算	134
二、太阳电池的常见故障现象	135
三、故障机理及改进措施	137
第二节 提高光伏电源系统可靠性的措施	139
第三节 太阳电池的可靠性试验	143
参考文献	154
第七章 光伏电源系统	156
第一节 系统的基本设计方法	156
一、发电系统	156
二、系统设计方法	159
第二节 对通信站设备的要求	168
一、减少天线馈线损耗	168
二、提高发射机效率、降低设备功耗	169
三、改善设备安装和维护性能	169
四、设备要能适应严格的环境条件	166
第三节 设备的掩体	173
一、自然通风掩体	170
二、无源空调掩体	172
第四节 典型的光伏电源系统	177
一、通信用光伏电源系统	177
二、地下金属管道的阴极保护电源系统	189
三、农业灌溉用的光伏电源系统	191
四、小型家庭用光伏供电系统	192
五、大型的光伏电源系统	193
六、光伏电源的各种用途	195

第五节 太阳能电池的选购、安装和使用维护	196
一、太阳能电池的选购	196
二、太阳能电池的安装	198
三、太阳能电池的使用维护	202
参考文献	204
第八章 混合电源系统	207
第一节 混合电源的组成	207
一、适合与光伏电源组合的几种能源	207
二、混合电源的组合	210
第二节 混合电源的计算	212
一、储备燃料能的计算	212
二、蓄电池容量的计算	214
第三节 太阳能与风能的混合电源	216
一、风力发电机与我国风能资源	216
二、太阳能与风能的混合	224
三、光伏电源与风力发电机的混合系统	226
第四节 三元组混合电源系统	229
第五节 太阳能电池发电与市电的混合供电	232
一、连接系统	232
二、逆变器系统	233
参考文献	238
厂家介绍：国营长江电源厂简介	241

第一章 绪 论

光伏电源应用小史

太阳电池的光伏效应是 1839 年法国科学家 培 克 雷 尔 (Becgural) 在电解槽中发现的。在 1883 年，夫利兹 (Fritts) 描述了第一个用硒制造的光伏电池情况；1941 年奥勒 (Onle) 制出了单晶硅生长结光电池，当时的变换效率很低，小于 1 %。直到 1953 年，人们对阳光发电还持悲观看法[1]。

随着晶体管技术的发展，1954 年 4 月由美国贝尔实验室的查平 (Daryl Chapin)、富勒 (Calvin Fuller) 和皮尔逊 (Gerald Pearson) 首先研制成功太阳电池，效率达 6 %，次年就使变换效率增加了一倍，并在现场进行了试验，在技术上和工程上证明了硅太阳电池用于发电的可行性。然而，当时太阳电池成本太高，实际应用是不经济的[2]。

随着空间科学的发展，硅太阳电池首先于 1958 年 3 月 17 日用在 美国发射的第一颗卫星“先锋 1 号”上，随之就成为 60 年代崛起的通信卫星的主要供电设备，同时作为各种人造卫星、宇宙飞船和星际电站中的主要电源大量应用。1973 年 5 月 14 日美国发射的“天空实验室”，安装的光伏电源方阵，总输出功率达 21kW。

60 年代初期，一些国家就做了太阳电池用于地面通信设备供电的试验工作，虽然试验是成功的，但由于当时太阳

电池成本仍然太高，而通信设备功耗又大，因而限制了它在通信和电视广播中的推广使用。在60年代，太阳电池除在空间技术应用外，在地面主要用在耗电极少的装置中，如航标灯、无人气象站、信号灯和个别微波中继站。

70年代初期，由于能源危机，环境保护呼声很高，用之不尽、无环境污染的太阳能引起了各方面的兴趣。另一方面，60年代中期至70年代末的十多年里，伴随着固态器件和集成电路技术的飞速发展，通信电视广播设备发展也经历了四个阶段，由电子管型、半固态型、全固态型到集成电路的低功耗型。具有同样性能设备的功耗下降了一个数量级以上，一个1800路微波中继站的功耗由数千瓦下降至100瓦以下，一部36cm的黑白电视机的功耗由180瓦下降到10多瓦，而太阳电池每峰瓦售价也下降了一个数量级以上。在通信和电视广播设备中选用太阳电池供电就有了实际价值，因而很多国家开始了在这方面的试验和应用。

80年代是光伏电源在地面通信和电视广播领域推广应用发展更快的年代，已经由给载波机、电视差转机、微波中继站的供电发展到给电视机、电话增音站、光通信站、卫星通信地球站、雷达站的供电。并且，正在向缺电地区的家庭、学校、灌溉、工厂用电挺进，已经进行10兆瓦级的发电与市电并网。

近几年，每峰瓦太阳电池组件价格急剧下降，我国目前的价格（每峰瓦40元）是7年前的1/7；日本的价格也由1976年的1万日元下降到1986年的1200日元；澳大利亚的价格已由1974年的100澳元降到1984年的8澳元；美国在1985年的价格为5美元，是10年前的1/10以下；其它国家

的价格下降率也与此大致相当。图 1—1 为 1975 年至今太阳能电池价格下降情况，预计今后几年价格还会进一步下降[25]。

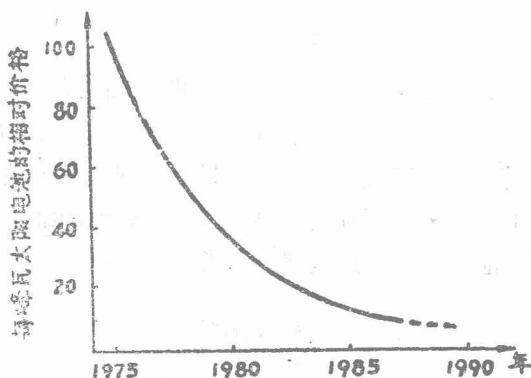


图 1—1 1975 年以后太阳能电池价格下降情况

光伏电源的优缺点

太阳能电池能够在通信、电视广播和其它方面得到推广应用，并取代一些电源设备，是和它所具有的一系列优点分不开的，主要表现在下述十个方面：

1. 扩大通信和电视广播的覆盖范围

随着经济的发展，各国的偏僻边远地区要求能与经济发达的外界建立迅速的通信联系，并能享受到现代科学技术成果——电视广播，而这些地区往往不靠近电网，即使象美国这样电力网分布很密的国家，仍有约 10%~20% 的微波中继

站不靠近电网^[3]，发展中国家约有一半微波中继站不能利用电网电力，而且不能保证24小时连续供电。为了扩大通信网的建设，人们寻求新能源来满足这种需要；在一定条件下，太阳电池可以把太阳能变换为电能来提供电力。

2. 节省电力线的建设

输电线架设费用日趋提高，尤其是在山区，国内外每公里建设费用约合人民币4~5万元^[4,23]，若架设10km电力线，则需40~50万元的投资。如果改为埋设电缆供电，则投资增加1~3倍，而且还需要有人做经常性的维护工作。采用太阳电池可以免去这些费用，大大节省投资。

3. 避免把雷电引入站区^[4,5]

国内外都有这样一种经验，因山区雷电较多，电力线常常把雷电引入通信或广播站，使设备遭到雷击，以致防雷成了一个严重的问题。采用太阳电池后，这种情况可以避免。

4. 提高通信系统可靠性

在无市电地区，如果采用两套油机发电机和整流器、浮充电池组合给设备供电，因发电机有机械旋转部分，可靠性不高，平均无故障工作时间(MTBF)最多达 5×10^3 h，一般为 $2 \sim 3 \times 10^3$ h。而现在低功耗微波收发信机的MTBF已达 3×10^5 h以上，即使是通用的微波收发信机的MTBF也已达 1.5×10^5 h。所以，据统计^[6]，微波中继站70%以上的故障来自电源设备。太阳电池的MTBF类似于固体器件，可靠性可以和低功耗微波收发信机媲美。

5. 可减少微波中继站的数目和降低塔高[7]

采用光伏电源的微波中继站的位置不受供电条件、山高和道路的限制，几乎可以在有阳光的任何地方选择站址，这就可以按电波传播特点的要求来选取最佳点，不必绕道，从而减少中继站的数目，并可降低天线塔的高度。而铁塔的建设费用几乎和它的高度的平方成正比，所以可节约投资。

6. 对设备不产生交流干扰

太阳能电池可以通过串并联组合来满足无线电设备的电压和功率要求，不需要交流供电的整流变换设备，也没有电力线引入的外部噪声，因而不会对设备产生交流干扰。

7. 不需要公路建设和不破坏自然环境

采用太阳能电池电源的微波中继站，不需要经常供应燃料，建站时可由人工背负设备上山，或由直升飞机运送，因而无需在山上建筑公路，消除了筑路费用；而且不破坏环境的自然美，这在风景区显得十分重要。

8. 可建成能够搬迁的微波中继通信系统[8]

一般微波中继站需要把大型抛物面天线架设在高高的铁塔上，还要建筑能安装柴油发电机的钢筋混凝土结构机房，所以施工建设需要相当长的时间。而且，一旦建成很难搬迁。

低功耗微波中继设备体积小、重量轻，采用光伏电源供电，空气电池作为备用，则可用简单组装式机房代替混凝土

结构；由于铁塔高度可以降低，就可采用简易构件式结构，能在2~3天内建立起来。这就使得微波中继系统能够较快地建成，而且整个微波干线可以搬迁，具有较大的灵活性。

9. 没有环境污染和噪音

10. 维护简单

太阳电池一般不需要维护，每年只需要给蓄电池加水和除去阵面灰尘，特别适宜于无人值守站。

光伏电池的主要缺点是由于阳光因天气变化而具有随机性，因昼夜交替而具有间歇性，因普照大地而具有分散性。

为了保证给设备连续而又稳定地供电，必须有贮能和泄能装置；为了得到足够的功率，和其它发电设备相比，布设方阵需占用较大的地面。另外，由于太阳电池电源输出的是直流，对于需要交流供电的负载，则需要有逆变器把直流变换成交流。

另外，目前太阳电池价格还较贵，限制了它在更大范围的应用。

光伏电源在国内外地面通信、电视广播中应用现状

70年代中期以后，光伏电源在通信部门进入了实用阶段，从为个别的通信站供电发展到为干线微波中继通信系统、光纤通信系统和卫星通信地球站提供电力。

八年前有人估计^[3]，当时世界上大约有数百个无线电中继站和微波装置采用光伏电源供电。而目前，仅澳大利亚一国就有数百个通信站靠光伏电源供电^[9]。