

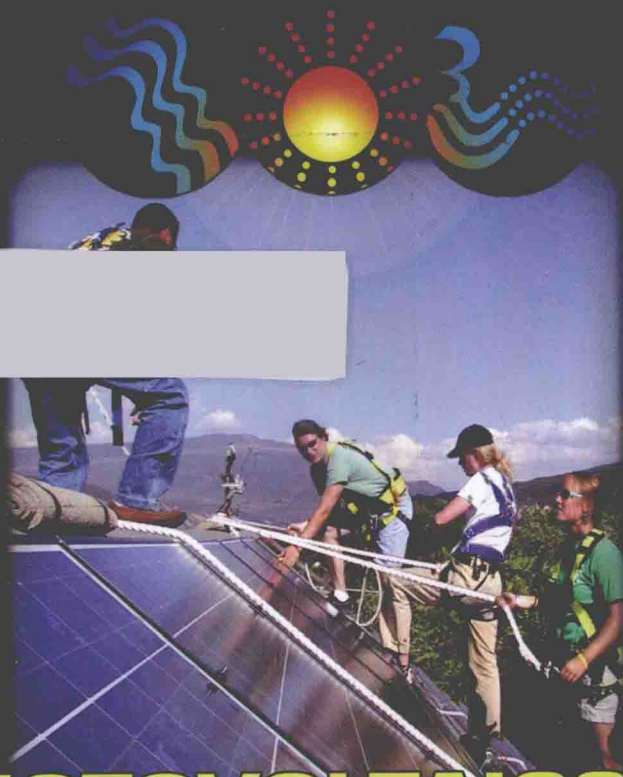
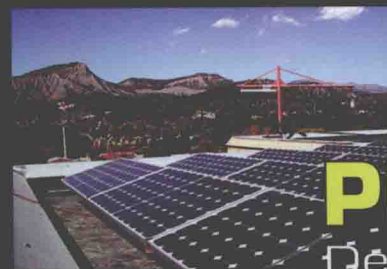
太阳能

光伏发电设计与安装指南

[修订版]

数十年工作经验的总结
100多个国家的太阳辐射数据
300多个网站权威统计

编著：美国国际太阳能协会 译者：李雅琪



PHOTOVOLTAICS

Design and Installation Manual

Revised and Updated



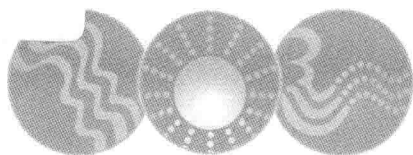
湖南科学技术出版社

太阳能

光伏发电设计与安装指南

[修订版]

编著：美国国际太阳能协会 译者：李雅琪



PHOTOVOLTAICS

Design and Installation Manual

Revised and Updated

CTSK 湖南科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

太阳能光伏发电设计与安装指南 [修订版] / 美国国际太阳能协会 编著 ; 李雅琪 译. -- 长沙 : 湖南科学技术出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-5357-7490-3

I. ①太… II. ①美… ②李… III. ①太阳能发电—设计—指南②太阳能发电—发电设备—安装—指南 IV. ①TM615-62
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 274153 号

湖南科学技术出版社通过 Grayhawk 代理公司与新社会出版社
获得本书中文简体版中国大陆地区独家出版发行权。

版权登记号: 18-2012-135

版权所有, 侵权必究

太阳能光伏发电设计与安装指南 [修订版]

编 著: 美国国际太阳能协会

译 者: 李雅琪

责任编辑: 杨 林 席小泉

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系: 本社直销科 0731 - 84375808

印 刷: 长沙市富洲印务有限责任公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 岳麓区银太俱乐部内

邮 编: 410013

出版日期: 2013 年 1 月第 1 版第 1 次

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 20.25

字 数: 364000

书 号: ISBN 978-7-5357-7490-3

定 价: 46.00 元

(版权所有 · 翻印必究)

对国际太阳能委员会的赞誉

感谢在过去的 10 天里我收到的各个方面的专业指导！正是 SEI（国际太阳能委员会）工作人员的热情和技术特长不断推进着世界能源需求问题的发展。谢谢！

——光伏设计安装参与者，2002

这门课程就是我一直所期盼的。它涵盖了所有关键领域的知识，并且在此基础上构建出连贯的章节。策划严谨并充满挑战性，具有很高的性价比。我期待着将这些知识应用到自己的设计当中。这些知识之间特殊的关联今后将会持续应用下去。

——Alan Greszler，光伏设计在线工作室参与者，2003

这门完美的课程就是在我要开创的光伏/可再生能源方面的事业中所急需要学的！

——先进光伏参与者，2002

我迫不及待地要回家利用所学的知识一展身手！一起工作的指导员们真是 个充满活力的团队，非常棒。我一定会再回来的！

——女性光伏参与者，2002

我一定会再回到 SEI 的，并且会建议周围对可再生能源有兴趣的人参与 SEI 工作室的。非常感谢你们为我提供了用心生活所要迈出的第一步。

——女性光伏参与者，2002

此书很好地介绍了太阳能。我从中获得了许多意想不到的东西。

——光伏设计安装参与者，2003

整体来说，没有比这更好的入门教材了，涵盖了很多光伏系统的设计与安装的实践经验——谢谢 SEI！

——Fred Sharkey，光伏设计安装参与者，2003

指导员们非常出色。我从来没有遇到过这么有责任感、耐心并且富有教育

技能、科研能力的人。他们是最最敬仰的人。

——**Brian Burke**，光伏设计安装参与者，2003

这是世上另一个让人感到不可思议的工作室——我在其中受到的教育及与之产生的联系让我倍感荣幸。这是出色的人所构造出的不可思议的组织！

——**SEI 工作室参与者**，2002

这门课包含了所有我能想象到并能有幸参与的最重要、最翔实、最具有导向性的课程。非常感谢！

——**Jon Crowley**，SEI 工作室参与者，2003

谨以此书献给在这个星球上没有用上电的 20 亿人，希望会有更多的人能够通过太阳能获得电能，同时也献给近年来不断贡献自己力量开发光伏太阳能的所有先驱们。

致 谢

国际太阳能委员会要竭诚感谢以下人员：在 20 世纪 80 年代一同教书时开发光伏测试材料的 Steve McCarney, Ken Olson 和 Johnny Weiss；真诚感谢充满活力的，为事实调查、研究和本书撰写做出杰出贡献的 SEI 教员：Laurie Stone, Ed Eaton, Justine Sanchez 和 Carol Weis；另外还要感谢行政管理人员：Sandy Pickard, Kathy Fontaine, Jeff Tobe 和 Kevin Lundy。SEI 还要感谢技术校对人员：Dan Rauch (SEI 实习生)，Kevin Ulrich 和太阳耀斑研究所的 Dan Dean，圣胡安社区学院的 Paul Owens，还有来自 Pletz 能源的 Jay Pletz。我们还要感谢 John Wiles、西南技术发展研究所、国家可再生能源实验室、桑迪亚国家实验室、胡安·利文斯通、Mark Colby、SEI 西南协调员 Ian Woofenden、USGS、美国国家防火协会对本项目的技术支持。此外，还要感谢为我们提供书籍出版帮助的出版商：新世纪出版社、Harlan Federal、Marianne Ackerman、Gregory Keith、Rachel Tomich 和 Melody Warford。特别感谢 Richard、Karen Perez 和《家庭供电》(《Home Power》) 杂志社全体人员给我们的源源不断的启发、慷慨帮助和对可再生能源实践的贡献。最后，我们要热忱感谢可再生能源研究所的 Mark Fitzgerald 提出的宝贵建议和给予本书的有指导意义的帮助。

针对此版修订版 (07)，国际太阳能委员会要真诚感谢为不断充实和修订本书而做出竭力贡献的 Carol Weis, Jeff Tobe, Laurie Stone, Justine Sanchez, Laura Walters, Skye-Laurel Riggs 和 Khanti Munro。还要感谢技术校对人员：Kris Sutton, Christopher Freitas, Darren Emmons, Jeffrey Philpott, Kathy Fontaine, Kevin Lundy, Matthew Jarris, Rachel Connor, Soozie Lindbloom, Kathy Swartz 和 Dave Straumfjord。最后，我们要感谢出版本书的新世纪出版社、Marianne Ackerman 和修订本书封面的 SEI 实习生 Jason Albert。

原版前言（04 版）

本指南的改革是个很大的冒险。本书通过很多太阳能专业人员的多次重写、更新和修订不断有组织和计划地成长发展。在 20 世纪 80 年代初期，Steve McCarney, Ken Olson 和 Johnny Weiss 为我们在 Colorado Mountain 大学发展起来的太阳能培训计划编写了一本光伏教材。经历数十年，通过 Luke Elliot 和 Mark Mccray 博士的帮助，衍生出不同的版本作为协同我们行业培训的教科书。随后，国际适当技术协会，太阳能技术研究所以及国际可持续发展技术的相关机构，将本书列为重要的培训材料。自 1991 年以来，国际太阳能委员会（SEI）作为一个符合 501（c）（3）标准的非盈利教育组织，不断修订本书作为其正在进行的光伏培训计划的一部分。

如今，现在的 SEI 技术团队以出版太阳能光伏发电：设计与安装指南为傲。这一新的巨大努力包括了在系统线路连接、公共设施互连系统和光伏建筑一体化方面的新章节。着重更新和扩充了所有的章节、附录和术语表。这种“教科书”式的格式是以提高光伏工作者的工作效率为基础的，并且提出了一种非特定方式生产的做法。

SEI 希望这本新修订的指南能够通过课堂教学，实验培训及亲自动手现场安装的方法，加深受训者对光伏系统的设计及安装的认识和理解！

愿这个光伏冒险旅程不断发展！

Johnny Weiss
SEI 执行理事
2004 年 4 月

图片清单

图 1-1	日用系统	6
图 1-2	带蓄电池的 DC 系统	7
图 1-3	带直流、交流负载的系统	8
图 1-4	混合供电系统	8
图 1-5	不含蓄电池的并网系统	9
图 1-6	含蓄电池的并网系统	10
图 2-1	电路	14
图 2-2	PV 模块的串联	15
图 2-3	PV 模块的并联	15
图 2-4	PV 模块的串并联	16
图 2-5	蓄电池组的串并联	17
图 2-6	高压光伏方阵	17
图 2-7	负载的串联	18
图 2-8	负载的并联	19
图 3-1	全年太阳运行路径-北纬	35
图 3-2	美国的磁偏角	35
图 3-3	世界范围内磁偏角分布图	36
图 3-4	北半球的方位角和地平高度	37
图 3-5	倾斜角对效率的影响	38
图 3-6	不同倾斜角度下, 光伏方阵的能量产出效率	39
图 3-7	太阳能窗系统	41
图 4-1	常见虚拟负载的电能消耗	45
图 5-1	光伏学术语	59
图 5-2	光伏模组 (BRAND X) I-V 特征曲线 (额定电压为 12 VDC)	61
图 5-3	规格铭牌	63
图 5-4	日照量对光伏模组效率的影响 (额定电压为 12 VDC)	64
图 5-5	电池温度对光伏模组效率的影响 (额定电压为 12 VDC)	65
图 5-6	阴影对光伏模组工作效率的影响 (额定电压为 12 VDC)	66
图 6-1	标准铅酸蓄电池的纵切面	71
图 6-2	日均放电深度与蓄电池充放电循环次数的关系	77
图 6-3	温度对蓄电池容量的影响	78

图 6-4	12 V 蓄电池系统的接线方式	82
图 6-5	24 V 蓄电池系统的接线方式	83
图 6-6	48 V 蓄电池系统的接线方式	84
图 7-1	无 MPPT 的光伏模组输出功率对蓄电池的影响	91
图 7-2	控制器的降级特点	91
图 8-1	常见逆变器的输出波形	103
图 8-2	4000 W 逆变器的效率特性图	105
图 9-1	直流负载、交流负载示意图	131
图 9-2	接地 (由《家庭供电》杂志提供)	136
图 9-3	单个独立系统的设备接地示意图	137
图 9-4	并网系统设备接地示意图	138
图 9-5	有设备接地的系统示意图	142
图 10-1	样例系统选型练习的示意图	153
图 11-1	无蓄电池作后备电源的并网系统	158
图 11-2	有蓄电池作后备电源的并网系统	160
图 11-3	不间断电源系统 (由《家庭供电》杂志提供)	161
图 11-4	电力回馈: 并网系统	163
图 11-5	样例系统选型练习的示意图	171
图 12-1	基座类型	175
图 12-2	光伏墙面 (PV facade) ——锯齿式设计	179
图 13-1	水泵的特性曲线	188
图 13-2	太阳能窗系统范围的确定	194
图 C-1	太阳路径图表 (北纬 28°)	291
图 C-2	太阳路径图表 (北纬 32°)	292
图 C-3	太阳路径图表 (北纬 36°)	293
图 C-4	太阳路径图表 (北纬 40°)	294
图 C-5	太阳路径图表 (北纬 44°)	295
图 C-6	太阳路径图表 (北纬 48°)	296
图 C-7	太阳路径图表 (北纬 52°)	297
图 C-8	太阳路径图表 (北纬 56°)	298

表格清单

负载估算表	51
表 4-1 常用设备的日常功率消耗	53
负载估算表	55
表 5-1 阴影对光伏模组功率的影响	66
表 6-1 适用于 12 V 系统的铅酸蓄电池的电压设置点	73
表 6-2 不同容量的蓄电池的放电率	76
表 6-3 不同温度下的蓄电池温度乘数	79
表 6-4 液态电解质冰点, 比重及电压	79
表 6-5 蓄电池选型表	84
表 6-6 蓄电池选型练习的答案	85
表 7-1 控制器选型表	94
表 7-2 控制器选型表 (答案)	95
单个独立方阵与 MPPT 控制器选型表	96
表 8-1 逆变器选型表	110
表 8-2 逆变器选型表 (答案)	111
表 9-1 导线类型	115
表 9-2 导线的颜色代码	116
表 9-3 电缆型号	117
表 9-4 铜制导线的载流能力 (部分)	118
表 9-5 压降损失为 2% 的 12 V 铜制导线系统的线路长度 (英尺)	121
表 9-6 压降损失为 2% 的 24 V 铜制导线系统的线路长度 (英尺)	122
表 9-7 压降损失为 2% 的 48 V 铜制导线系统的线路长度 (英尺)	123
表 9-8 电压降落指数表	128
线路选型表	129
单个独立系统选型练习答案	151
并网系统选型练习答案	167
表 13-1 太阳能窗系统的四个方向上的方位角	195
表 13-2 安装材料举例	198

目 录

第一章 太阳能光伏发电技术的概述	1
1.1 光伏学的发展历史	2
1.2 当下崛起的产业	3
1.3 光伏发电技术的优势	3
1.4 光伏发电技术的劣势	4
1.5 环境、健康及安全问题	4
1.6 光伏系统的组成部分	5
1.7 光伏系统的类型	5
第二章 光伏发电原理	11
2.1 专业术语	12
2.2 系统配置	13
2.3 电气线路	13
2.4 电源的串并联连接	14
2.5 电气负载的串并联连接	18
2.6 串并联布线连接练习	19
2.7 布线连接练习解答	26
第三章 太阳能源	33
3.1 太阳辐射的基本原理	34
3.2 地方数据的收集	39
3.3 太阳能系统选址的分析比较	40
第四章 电气负载分析	43
4.1 节能	44
4.2 电气负载要求	45
4.3 制冷	46
4.4 照明	47
4.5 负载估算的注意事项	50
4.6 负载估算	50
第五章 光伏模组	57
5.1 光伏发电原理	58
5.2 光伏模组的特点	60
5.3 光伏模组的性能	61
5.4 影响光伏模组性能的主要因素	63

第六章 蓄电池	69
6.1 蓄电池的类型及使用	70
6.2 蓄电池的规格	73
6.3 蓄电池的安全使用	80
6.4 蓄电池的接线方式	81
6.5 蓄电池的选型练习	84
第七章 光伏控制器	87
7.1 控制器的类型	88
7.2 控制器的特点	89
7.3 控制器选型	93
7.4 控制器选型练习	95
第八章 逆变器	101
8.1 逆变器的工作原理	102
8.2 逆变器的类型	103
8.3 逆变器的特点	104
8.4 不含蓄电池的并网型逆变器	105
8.5 以蓄电池为后备电源的并网型逆变器	107
8.6 单个独立型逆变器	108
8.7 AC耦合系统	110
8.8 单个独立型逆变器的选型练习	110
第九章 光伏系统接线	113
9.1 概述	114
9.2 导线规格	117
9.3 系统导线选型练习	124
9.4 过电流保护	132
9.5 过电流保护选型练习	133
9.6 分断连接	134
9.7 接地	134
9.8 浪涌抑制	140
第十章 单个独立光伏系统的选型	143
10.1 光伏系统选型概述	144
10.2 设计误区	144
10.3 选型表解析	145
10.4 样例系统练习	147
10.5 带发电机的混合系统	154

第十一章	并网光伏系统	155
11.1	概述	156
11.2	并网光伏系统的类型及优势	156
11.3	系统选型及其经济性	161
11.4	互连协议的获取	162
11.5	电力回馈	163
11.6	样例系统练习	165
第十二章	光伏模组的支架系统	173
12.1	支架系统的类型	174
12.2	光伏建筑一体化	177
第十三章	发展中国家的光伏应用情况	181
13.1	对稳定电能的需求	182
13.2	照明	182
13.3	电视及广播	183
13.4	卫生保健及制冷	183
13.5	微型企业	184
13.6	抽水系统	185
13.7	通过太阳路径图表确定日光照射入口	192
13.8	安装材料举例	195
第十四章	光伏系统安装	201
14.1	安装地点评估	202
14.2	光伏方阵安装	202
14.3	蓄电池安装	203
14.4	控制器及逆变器安装	204
14.5	光伏系统接线安装	205
14.6	光伏系统安装最终检验清单	207
第十五章	系统维护及检修	213
15.1	材料及工具清单	214
15.2	光伏系统组件的维护	214
15.3	系统常见故障检修	216
15.4	用万用表检修系统接线故障	217
15.5	具体故障排查	220
第十六章	系统安装的安全准则	227
16.1	概述	228
16.2	基本安全准则	229

16.3	安全进行高压测试.....	231
16.4	危害.....	232
16.5	安全设备.....	234
16.6	工地安全.....	235
16.7	急救.....	237
附录 A: 专业名词解释.....		243
附录 B: 太阳能数据.....		255
附录 C: 太阳路径图表.....		291
附录 D: 系统选型表.....		299

第一章

太阳能光伏发电技术的概述

- 1.1 光伏学的发展历史
- 1.2 当下崛起的产业
- 1.3 光伏发电技术的优势
- 1.4 光伏发电技术的劣势
- 1.5 环境、健康及安全问题
- 1.6 光伏系统的组成部分
- 1.7 光伏系统的类型



1.1 光伏学的发展历史

光伏系统是直接利用太阳能产生电能的系统。光伏系统已有广泛的应用，它可以在不消耗化石燃料的基础上产生清洁、可靠的能源。常见的光伏技术应用是为手表和收音机供电。近年来，许多公用设施安装了大量的光伏方阵，为用户提供由太阳能产生的电能或者将其用作关键设备的后备电源。

光伏技术的研究历史可追溯到一百多年前。1873年，英国科学家威洛比·史密斯（Willoughby Smith）注意到化学元素硒对光反应很敏感。史密斯推断出在光的照射下，硒的导电能力会随光通量的增加而增强。这项关于光伏效应的发现引起了许多科学家的注意，他们用这种相对稀有的元素做了很多实验，希望能够利用这种物质发电。1880年，查尔斯·弗里茨（Charles Fritts）发明了第一块硒太阳能电池。这块电池可以在不消耗任何物质的基础上发电，并且其本身不会产生热量。

然而直到1905年，阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）光伏效应实验的公开，才使光伏作为一种动力源被广泛接受。爱因斯坦的理论使人们对太阳能光伏发电的物理过程有了更广泛的认识。虽然这种硒太阳能电池效率低下且花费高昂，但直到20世纪30年代，科学家们仍坚持进行着相关方面的研究。

20世纪50年代早期，贝尔实验室（Bell Laboratories）开始了一项关于远程通讯系统可靠供能的研究。贝尔实验室的科学家们发现地壳中储量位居第二的硅元素对光线的反应也很敏感，并且当掺入一定杂质之后，它会产生一定的电压。1954年，贝尔实验室研制出了第一个效率为6%的硅电池。

在20世纪50年代后期，光伏技术得到了第一次非实验应用：用于向一个位于佐治亚州乡村地区的电话中继站供电。美国国家航空航天管理局（NASA）的科学家们也一直在寻找一种轻便、耐用、可靠且适合于外太空的能源。后来，他们为美国一颗名叫先锋I号的卫星安装了一个由108个电池组成的光伏系统。到20世纪60年代早期，光伏系统被广泛应用于卫星和宇宙飞船等方面。

现如今，太阳能电池模组为全世界超过一百万户家庭供电。这项技术为人们提供了数千个工作岗位并使经济的可持续发展成为可能。2005年，全世界太阳能光伏发电市场销售了总计达146万千瓦的装置，为全球市场创造了超过70亿美元的资产（源自Solar Buzz有限公司2005年年度报告）。这些装置包括通讯设备、冷却设备（用于卫生保健事业）、农作物灌溉设备、水净化设备、照明设备、阴极保护装置、环境监测装置、航海航空导航装置、公共电源以及