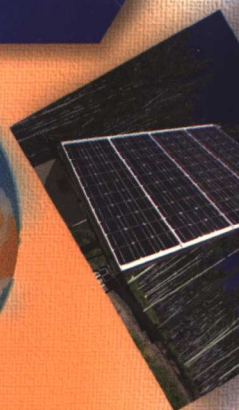
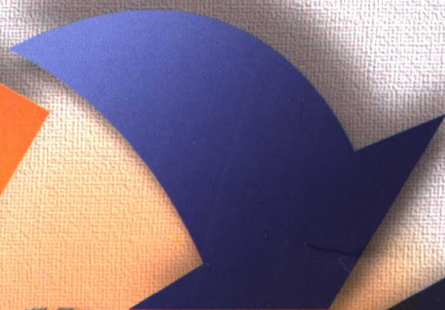


可 再生能源开发应用技术丛书

Technology
实用技术

太阳能光伏发电系统的设计与施工

〔日〕 太阳光发电协会 编
刘树民 宏伟 译



科学出版社

www.sciencep.com

可再生能源开发应用技术丛书

太阳能光伏发电系统的设计与施工

〔日〕 太阳光发电协会 编
刘树民 宏伟 译

科学出版社

北京

图字：01-2006-2189 号

内 容 简 介

本书是“可再生能源开发应用技术丛书”之一。本书主要介绍太阳能光伏发电系统的设计与施工,内容包括太阳能电池组件的特性、结构及种类,功率调节器的工作原理、功能、电路构成以及种类、选择方法,相关设备及部件如旁路元件、接线箱、蓄电池、防雷对策等,以及太阳能光伏发电系统设计与施工、维护检查及测量。在最后一章和附录中还介绍日本的安装太阳能光伏发电系统的相关法令及手续,以及并网系统技术要求准则、日本重要地区日照量数据等,该部分对国内相关部门及企业具有较高参考价值。

本书可作为从事太阳能应用相关领域工作的技术人员、研发人员及管理技术人员的技术指导书,也可供大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能光伏发电系统的设计与施工/(日)太阳光发电协会编;刘树民,宏伟译. —北京:科学出版社,2006

(可再生能源开发应用技术丛书)

ISBN 7-03-017088-1

I. 太… II. ①太… ②刘… ③宏… III. 太阳能发电-系统工程研究 IV. TM615

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 028787 号

责任编辑:崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:李 祥

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 4 月第一次印刷 印张: 16 插页 2

印数: 1 - 4 000 字数: 298 000

定 价: 39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

译者序

在2004年,我曾参与了科技部和中國華能集團組織的太陽能光伏并網發電示范項目的可行性研究、工程設計、模擬試驗、組織施工及測試并網的全過程。在此過程中我深深体会到,要想使太陽能光伏并網發電系統能長時間經受各種自然環境的考驗,并使系統一直穩定可靠地工作,每個工程技術人員必須在設計和施工中考慮更多的問題。

本書是日本太陽光發電協會組織日本國內多位專家學者以及從事太陽能光伏發電事業的工程技術人員編寫而成的,書中對太陽能光伏發電工程的設計與施工進行了全面的介紹和論述,包括太陽能電池光伏發電,功率調節器原理、性能與選擇,太陽能光伏發電系統的安裝環境、氣象條件、地理環境及場地選取,以及系統工程設計及政策法規等,對施工中的布線工程、接地工程、防雷、設備安裝、安全調試、組織驗收和運行維護等也都進行了詳細的介紹。

本書以引用大量詳實的實例、圖文并茂為特點。

雖然我們國家與日本的自然條件、地理條件有所差異,政策法規有所不同,但書中內容和涉及的問題都可以借鑒和參考。

在翻譯過程中得到了國家發改委、世界銀行、全球環境基金中國可再生能源發展項目辦公室及科技部的有關領導的支持和幫助;還有,王斯成、仲繼壽先生、北京大學彭海霞及北京華能電子技術有限責任公司的同志們都從不同角度給予了幫助;科學出版社也給予了大力支持和幫助,特別是崔炳哲編輯對譯稿進行了修改和完善,才使本書得以順利出版。

本書的出版是集體智慧和勞動的結晶,在此對大家的支持和幫助表示衷心的感謝。另外,還要感謝京瓷公司的小北晴夫先生對本書翻譯出版的支持。

由于譯者的水平和能力所限,以及本書所涉及的专业領域又很廣,不足之處在所難免,懇請讀者批評指正。

第 2 版前言

本书原著于 1996 年初版发行以来,作为太阳能光伏发电系统的设计与施工的实用书,在太阳能光伏发电的普及期受到了很多读者的欢迎,因此一直增印发行。自初版发行以来,太阳能光伏发电系统的相关技术有了很大的发展,对相关法律也进行了修改和完善,而且市场环境也发生了重大的变化。

特别是建材一体型和屋顶材料一体型的太阳能电池的开发成功,促成了建筑设计一体化的实现和新建住宅上的太阳能光伏发电系统的广泛普及。在设备方面,无变压器型逆变器的采用,对于设备体积上的小型化、重量上的轻型化和降低成本等方面都做出了贡献。

由于施工与设计过程中标准化不断完善,降低成本的方法也逐渐改进,因而本次修订改版中增添了最新的资料,如最新的设计和施工现场实例以及必要的内容,使本书既适合于初版读者阅读、又适合在现场使用。

本书修订改版工作得到了太阳光发电恳谈会公共产业分会专业团队的大力支持。谨向提供资料的太阳光发电恳谈会各加盟公司,以及在繁忙的工作之余执笔的专业团队的各位同仁表示衷心感谢。

另外,因篇幅所限,在本次修订改版中,为了添加新技术和已修改的法规内容,不得不删除了初版中的某些内容,因此对初版时做出贡献的该部分的执笔者表示歉意的同时再次表示感谢。并且,对于本次修订改版给予大力支持的(株)欧姆社深表谢意。

最后希望,在太阳能光伏发电系统的设计与施工之际,本书能成为读者充分灵活使用的参考用书,并为太阳能光伏发电的普及做出贡献。

太阳光发电协会(旧名:太阳光发电恳谈会)公共产业分会
主任 大桥孝之

第2版执笔者名单及执笔章节(◎表示领导,○表示副领导)

今坂制意(日本电池株式会社):第3章

上田敦史(Kinden Corporation):第6章,第8章

◎大桥孝之(日本电池株式会社,现在的株式会社资源综合系统):第4章,第5章,附录

加藤孝宏(石川岛风水力服务株式会社):第7章

久保田英(古河电气工业株式会社):第6章

○仓嶋省造(京瓷株式会社):第2章,第4章,第7章,附录

坂井则和(株式会社Mishawa Home综合研究所):第5章

田中俊哉(三洋电机株式会社):第1章,第5章,第7章

田泽健一(昭和壳牌石油株式会社):第2章

长尾兵彦(Gantan Beauty Industry Co.,Ltd):第2章,第5章

中西繁博(夏普株式会社):第5章

福原 正(三晃金属工业株式会社):第2章,第5章

水谷福男(中立电机株式会社):第3章

东急建设:第5章

太阳光发电协会(旧名:太阳光发电恳谈会)事务局:附录

第1版执笔者名单及执笔章节(按执笔顺序)

武冈明夫(三洋电机株式会社):第1章,2.3节,5.1节,7.1节,7.2节,第8章,附录-1

小林哲三(昭和壳牌石油株式会社):2.1节,2.2节

箕轮俊夫(旭硝子株式会社):2.1节,2.2节

中村茂昭(M. Setek Co.,Ltd):2.1节,2.2节

大桥孝之(日本电池株式会社):第3章,4.4节

吉见哲夫(京瓷株式会社):4.1~4.3节,7.3节,附录-2

大槻和司(音羽电机工业株式会社):4.5节

井田浩文(Misawa Co.,Ltd):5.2节

中村光博(社团法人太阳系统振兴协会):5.2节

中西繁博(夏普株式会社):5.3节

西冈 哲(东急建设株式会社):5.4节

高仓 望(东急建设株式会社):5.4节

三好国司(司电机产业株式会社):第6章

森田好雄(Minebea Co.,Ltd):7.1节,7.2节

太阳光发电恳谈会事务局:附录-3

目 录

第 1 章 太阳能光伏发电系统	1
1.1 概 要	2
1.1.1 构 成	2
1.1.2 种 类	3
1.2 设备构成	5
1.2.1 太阳能电池组件和太阳能电池阵列	5
1.2.2 功率调节器	6
1.3 设计及施工步骤	8
第 2 章 太阳能电池组件	9
2.1 何谓太阳能电池组件	10
2.1.1 特 性	10
2.1.2 外 观	12
2.1.3 端子箱	13
2.1.4 其 他	15
2.2 种 类	15
2.3 建材一体型太阳能电池组件	26
2.3.1 开 发	26
2.3.2 实 例	27
第 3 章 功率调节器	37
3.1 概 要	38
3.1.1 功 能	38
3.1.2 线路方式	38
3.1.3 无变压器方式的线路构成	39
3.1.4 逆变器原理	39
3.2 基本工作	40
3.3 功 能	41
3.3.1 自动运行停止功能	42
3.3.2 最大功率跟踪控制	42

3.3.3	单独(孤岛)运行防止功能	43
3.3.4	自动电压调整功能	44
3.3.5	直流检测功能	44
3.3.6	直流接地检测功能	45
3.4	停电时的独立运行系统	45
3.5	并网保护装置	47
3.6	种类和选择	47
3.6.1	电气方式和功率调节器的构成	47
3.6.2	太阳能电池电压和功率调节器	48
3.6.3	选择功率调节器时的检查要点	49
3.6.4	各公司功率调节器的规格一览表	49
第4章	相关设备和部件	55
4.1	旁路元件和防止逆流元件	56
4.1.1	旁路元件	56
4.1.2	防止逆流元件	57
4.2	接线箱	57
4.2.1	太阳能电池阵列侧的开关	58
4.2.2	主开关	59
4.2.3	避雷元件	59
4.2.4	端子板	59
4.2.5	集线箱	59
4.3	交流侧的设备	60
4.3.1	配电盘	60
4.3.2	电度表	60
4.4	蓄电池	62
4.4.1	并网系统用蓄电池的选择	64
4.4.2	独立电源系统用蓄电池的选择	68
4.4.3	关于蓄电池的安装	70
4.5	防雷措施	71
4.5.1	关于雷电	71
4.5.2	雷电浪涌措施	72
4.5.3	避雷元件的选择	73
第5章	太阳能光伏发电系统设计	77
5.1	太阳能光伏发电系统的概念设计	78

5.1.1	发电量的计算步骤	78
5.1.2	发电量的计算实例(倾斜住宅屋顶的场合)	79
5.1.3	发电量的计算实例(地面或平屋顶住宅的场合)	81
5.1.4	日照和阴影的研究	83
5.1.5	太阳能电池组件的强度	86
5.2	住宅用太阳能光伏发电系统的设计	87
5.2.1	从设计到施工的流程	87
5.2.2	事前调查(现场调查)	87
5.2.3	设计	88
5.2.4	设计及施工上的注意点	90
5.2.5	屋顶直接放置型	91
5.2.6	屋顶建材型	99
5.2.7	防火措施	106
5.2.8	相关法规	107
5.3	地面或平屋顶用太阳能光伏发电系统的设计	108
5.3.1	设计条件的整理	109
5.3.2	设计细节	111
5.3.3	太阳能电池阵列用支架设计基础	113
5.3.4	太阳能电池阵列用支架强度计算	122
5.3.5	阵列的固定方法(基础工程)	128
5.3.6	安装实例	129
5.4	地面上安装的太阳能电池阵列的基础部分设计	132
5.4.1	基础结构选择	132
5.4.2	基础稳定性计算	133
5.5	太阳能光伏发电系统的电气设计	141

第 6 章 太阳能光伏发电系统的施工 147

6.1	施工步骤和注意事项	148
6.1.1	电气施工步骤	148
6.1.2	安全措施	148
6.1.3	搬运材料时的注意事项	149
6.1.4	检验单的有效利用	149
6.2	布线工程	150
6.2.1	太阳能电池组件和功率调节器之间的布线	151
6.2.2	从功率调节器至室内分电盘的布线	154
6.2.3	太阳能电池阵列的检查	155

6.2.4	电缆的选择	156
6.2.5	电缆的接头处理	156
6.2.6	防火隔墙贯通部分的处理	157
6.3	接地施工	158
6.3.1	接地施工的种类和适用范围	158
6.3.2	接地施工的实施方法	159
6.3.3	接地电阻的测量	163
6.4	布线施工材料集锦	163

第7章 太阳能光伏发电系统的维护检查和测量 165

7.1	太阳能光伏发电系统的维护检查	166
7.1.1	系统工程竣工时的检查	166
7.1.2	日常检查	166
7.1.3	定期检查	167
7.2	检查方法和试验方法	167
7.2.1	外观检查	167
7.2.2	运行状态的确认	168
7.2.3	绝缘电阻的测量	169
7.2.4	绝缘耐压的测量	171
7.2.5	接地电阻的测量	172
7.2.6	并网保护装置的试验	172
7.2.7	太阳能电池阵列输出功率的检查	172
7.3	太阳能光伏发电系统的测量	173
7.3.1	测量、显示所必要的设备和使用	173
7.3.2	住宅用系统的场合	175
7.3.3	试验研究用系统的场合	175
7.3.4	PR用显示装置	176
7.3.5	测量仪所消耗的电能	177

第8章 安装太阳能光伏发电系统的相关法令和手续 179

8.1	太阳能光伏发电系统的相关法令	180
8.1.1	电气事业法的相关法令	180
8.1.2	电气设备	181
8.1.3	事业用电气设备的技术标准适合义务	182
8.1.4	太阳能光伏发电系统的技术标准适合义务	183
8.1.5	关于系统并网技术要求准则	184

8.1.6 系统并网用逆变器等的强制认证制度	185
8.2 安装太阳能光伏发电系统时的手续	185
8.3 与电力公司的协议	188
8.3.1 与电力公司的事前协议和合同	188
8.3.2 关于电力公司购入剩余电力	189
8.4 电气安全协会和安全管理业务委托合同	190
8.4.1 电气主任工程师的选任和申报	190
8.4.2 委托电气安全协会的安全管理	191
8.5 关于确保安全的显示	192
8.5.1 关于制造产品责任法	192
8.5.2 产品使用说明书的概要	192
附 录	195
1 并网技术要求准则	196
2 日本主要地点的日照量数据	205
3 日本太阳能光伏发电相关公司一览表	229
参考文献	233
索 引	235

第 1 章

太阳能光伏发电系统

太阳能光伏发电系统应用在各种不同领域，其构成既有并网型也有独立型等多种形式。本章对于太阳能光伏发电系统的概要、种类及构成系统的各种设备进行介绍，除外还介绍系统的设计与施工的步骤。

1.1

概 要

1.1.1 构 成

太阳能光伏发电系统(Photovoltaic Power Generating System,简称 PV 系统)有很多类型。这里,为理解 PV 系统,以住宅用太阳能光伏发电系统为例进行介绍。

住宅用太阳能光伏发电系统如图 1.1 所示,由屋顶上安装的太阳能电池阵列、在室内(或室外)安装的功率调节器(包含逆变器和并网保护装置等)以及连接这些设备的布线及接线箱、安装在交流侧的电度表等构成。太阳能电池产生直流电,直流电通过功率调节器转换为交流电后并入电网,可以与电力公司提供的交流电一起使用。这种方式称为并网型 PV 系统。

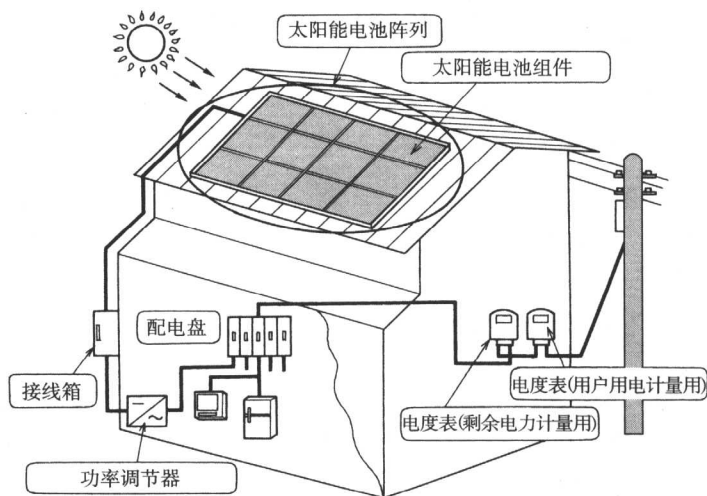


图 1.1 住宅用太阳能光伏发电系统

PV 系统也属于发电设备,和火力发电厂及水力发电站同样由电气事业法来进行规范。以前 PV 系统作为专用电气设备(non-utility electrical facilities)使用,需要选任电气主任工程师和基于安全条例定期检查。1995 年 12 月电气事业法修改实施后,规定和家庭的一般电气设备(general electrical facilities)一起安装的小功率(不足 20kW)PV 系统为一般电气设备。因此,作为一般电气设备的 PV 系统不再需要选任电气主任工程师,并且定期检查也被自主检查取代。这样,PV 系统的

电气工程可以由持有第二类电气工程师资格证书者施工。有关电气事业法将在第 8 章讲解,请参照。

1.1.2 种 类

PV 系统是根据系统构成和负载种类等进行分类的,大致分类如图 1.2 所示。首先,分为并网型和独立型,再按照负载的形式(直流、交流)、蓄电池的有无等分类。在采用 PV 系统的场合,应根据用途选择合适的系统构成。下面介绍具有代表性的系统。

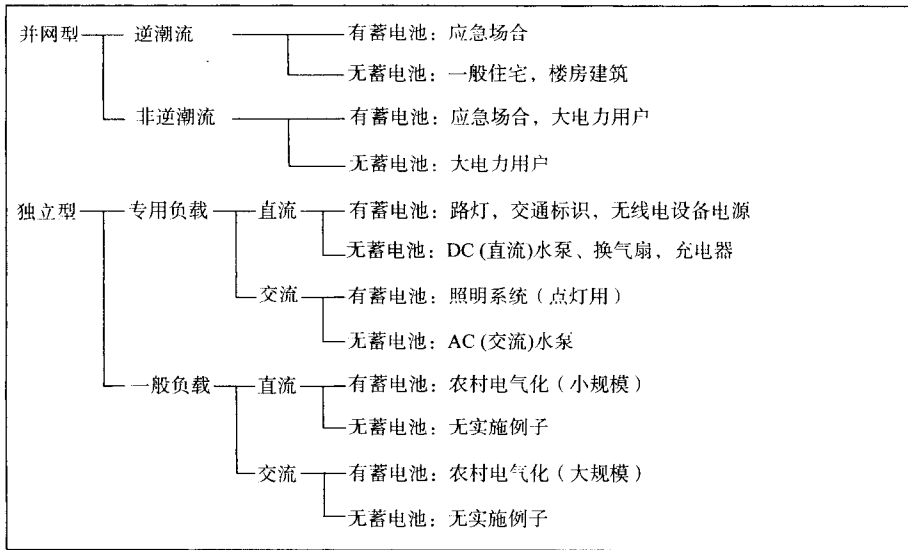


图 1.2 太阳能光伏发电系统的分类

1 并网型系统

并网型系统分为逆潮流系统和非逆潮流系统两种(见图 1.3)。在 PV 系统中,若产生剩余电力,逆潮流系统采用由电力公司购买剩余电力的制度。因为 PV 系统由天气决定其输出功率,为了使住宅等使用稳定的电,有必要和电力公司的电力系统并网运行。当太阳能电池的输出功率不能满足某一区域需求的情况下,不足部分是由电力公司的电网补充;相反,太阳能电池的输出电力的剩余部分,则向电力公司的电网逆潮流送入,由电力公司买进。现在,住宅用的 PV 系统几乎都采用逆潮流系统。

非逆潮流系统,在区域内的电力需求通常比 PV 系统的输出电力大,因此在不可能产生逆潮流电力的情况下被采用。因为在非逆潮流系统中无法确认 PV 系统产生的剩余电力是否逆潮流送入电力公司电网,所以该系统应具有即使产生很小的逆潮流电流的场合,降低 PV 系统的输出电力或者停止 PV 系统运行的功能。

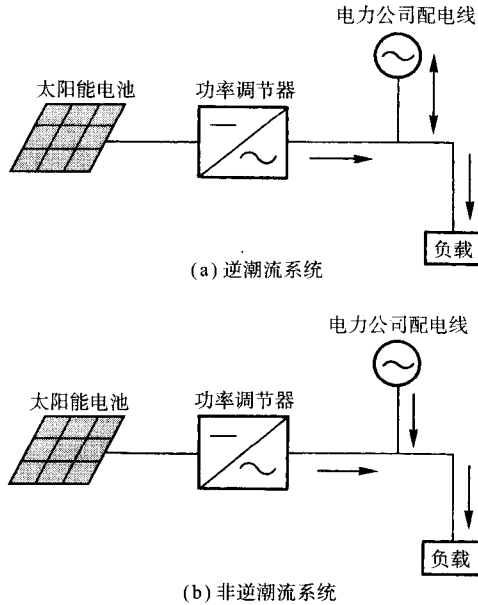


图 1.3 并网型系统

另外,由《并网技术要求准则》可知,根据并网 PV 系统的电力系统的电压区分可以确定所要安装的保护装置等的并网要求,因此根据受电点的不同电压,并网系统分为低压并网和高压并网两种。

2 独立型系统

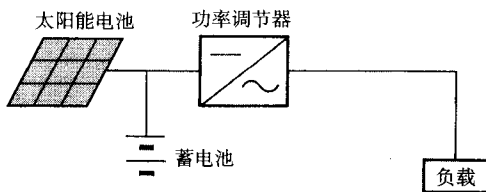


图 1.4 独立型系统

没有与电力公司的配电网并网的系统称为独立型系统。一般的构成如图 1.4 所示。在这种系统中要把使用的电量限制在 PV 系统的发电量以下,考虑到夜间和雨天 PV 系统不能发电,此时需要由蓄电池供给电力,蓄电池必须预先充电。这样的系统多在离电力公司电网较远的山区、岛屿等

地区采用。独立型系统有小到给计算器供电的、不到 1W 功率的系统和大到如向道路信息显示板供电的数 W 至数 kW 的多种多样的实用型系统。

1.2

设备构成

下面就关于构成 PV 系统的主要设备的功能和目的等简单叙述。详细介绍请参看第 3 章至第 5 章。

1.2.1 太阳能电池组件和太阳能电池阵列

太阳能电池以把光能转换成电能的最小单位的太阳能电池单元为基片。太阳能电池单元一般是边长为 10~15cm 的硅板上形成 pn 结的半导体的一种。因为太阳能电池单元本身产生的电压约低于 0.5V, 所以使用时必须串联连接作为电池组件使用。

1 太阳能电池组件

将数十个太阳能电池单元进行耐候性封装可以构成太阳能电池组件。把太阳能电池组件内的太阳能电池单元以适当方式相连接能得到规定的电压和输出功率。太阳能电池组件的转换效率, 单晶硅太阳能电池为 12%~15%, 多晶硅太阳能电池为 10%~13%, 非晶硅太阳能电池和化合物半导体太阳能电池(Cds, CdTe 等)是 6%~9%。

2 太阳能电池阵列

太阳能电池阵列是指安装在屋顶或地面上的太阳能电池组件的组合。图 1.5

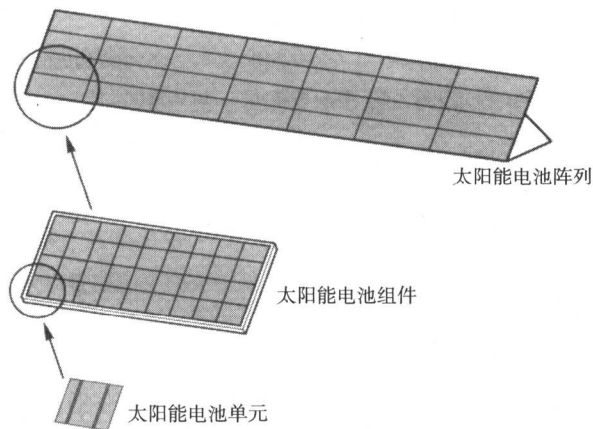


图 1.5 太阳能电池阵列的构成

示出了太阳能电池单元、太阳能电池组件及太阳能电池阵列之间的关系。太阳能电池阵列由若干个太阳能电池组件串联及并联连接构成,能够得到所需的直流电压和输出功率。太阳能电池阵列集合了一定数量的太阳能电池组件,为了使其牢固地固定在屋顶上,使用金属支架。要安装太阳能电池阵列需要占一定的面积,例如 3kW 的太阳能电池阵列大约占 20~30m² 面积。

PV 系统的容量是用标准太阳能电池阵列输出功率(太阳能电池组件的最大输出功率之和)来表示的。PV 系统的输出功率受辐射照度(日照强度)的强烈影响,也受太阳能电池组件内的太阳能电池单元的温度影响,因此用在日照强度为 1kW/m²、单元温度为 25℃ 的标准条件下的最大输出功率表示标准太阳能电池阵列的输出功率。

3 太阳能电池阵列的电路构成

太阳能电池阵列的电路构成如图 1.6 所示,是由太阳能电池组件集合体的太阳能电池组件串(string)、防止逆流元件、旁路元件和接线箱等构成的。这里所谓太阳能电池组件串,是指由太阳能电池组件串联连接构成的太阳能电池阵列满足所需输出电压的电路。在电路中各太阳能电池组件串通过防止逆流元件相互并联连接。在日本国内对太阳能电池阵列的直流电路不接地是惯例。

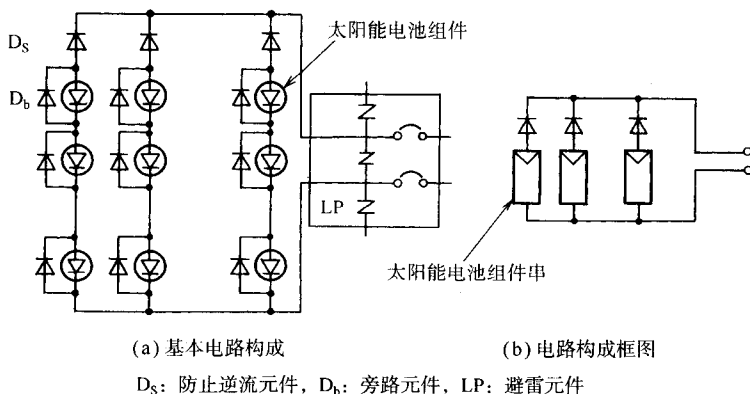


图 1.6 太阳能电池阵列的电路图

1.2.2 功率调节器

1 功率调节器的作用

功率调节器大体由将直流电转变为交流电的逆变器 and 当系统发生故障时保护系统的并网保护装置构成。其中,逆变器将太阳能电池阵列产生的直流电转换为与电力公司供给的相同电压和频率的交流电。因为功率调节器的主要部分是逆变器,所以功率调节器也可称为逆变器。

由功率调节器供电和由电力公司供电关系如下。例如,住宅内使用 1kW 电力