

Grid-Connected PV Systems with  
Battery Storage

# 蓄电池储能光伏 并网发电系统

[澳] GLOBAL SUSTAINABLE ENERGY SOLUTIONS PTY LTD 著

中国电力科学研究院 译



Grid-Connected PV Systems with  
Battery Storage

# 蓄电池储能光伏 并网发电系统

[澳] GLOBAL SUSTAINABLE ENERGY SOLUTIONS PTY LTD 著

中国电力科学研究院 译



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

设计含电池储能的并网光伏发电系统, 最关键的技术是了解系统所有者的需求及系统运行条件。本书主要介绍了并网光伏发电系统的设计及安装, 包括工作场所健康与安全, 系统配置, 电池特性, 二次电池技术, 特定负荷选择与定容, 储能电池选型及定容, 光伏阵列容量配置, 太阳能控制器, 逆变器的型号、规格选型及参数调试, 系统效率以及电池储能对光伏系统发电量的影响, 系统接线, 系统安装等内容。

本书适合从事相关专业的技术人员, 以及高校师生参考阅读。

Title: Grid-Connected PV Systems with Battery Storage (ISBN: 978-1-921932-01-4)

Author: Global Sustainable Energy Solutions Pty Ltd, PO Box 614 Botany 1455 Australia

Copyright: This publication is for study and training purposes only. Photocopying, reproduction, storage or retrieval of the publication is only permitted with the written permission of Global Sustainable Energy Solutions Pty Ltd.

All Rights Reserved. This publication is an authorised translation from the English language edition published by Global Sustainable Energy Solutions Pty Ltd. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with China Water & Power Press and is not the responsibility of Global Sustainable Energy Solutions Pty Ltd. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, Global Sustainable Energy Solutions Pty Ltd.

北京市版权局著作权合同登记号为: 01-2016-9946

## 图书在版编目(CIP)数据

蓄电池储能光伏并网发电系统 / 澳大利亚全球可持续能源解决方案有限公司著; 中国电力科学研究院译

—北京: 中国水利水电出版社, 2017.1

书名原文: Grid-Connected PV Systems with Battery Storage

ISBN 978-7-5170-5449-8

I. ①蓄… II. ①澳… ②中… III. ①蓄电池—储能—太阳能发电—研究 IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第111578号

书 名	蓄电池储能光伏并网发电系统 XUDIANCHI CHUNENG GUANGFU BINGWANG FADIAN XITONG
原 书 名	Grid-Connected PV Systems with Battery Storage
原 著 者	[澳] GLOBAL SUSTAINABLE ENERGY SOLUTIONS PTY LTD (全球可持续能源解决方案有限公司)
译 者	中国电力科学研究院
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.25印张 267千字
版 次	2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	48.00元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前言

澳大利亚政府和社会都致力于发展清洁和绿色电力，在过去的几年里，光伏产业出现了爆炸式增长。如图 1 所示，澳大利亚的光伏总装机已经超过 2GW，其中以并网光伏发电系统为主。

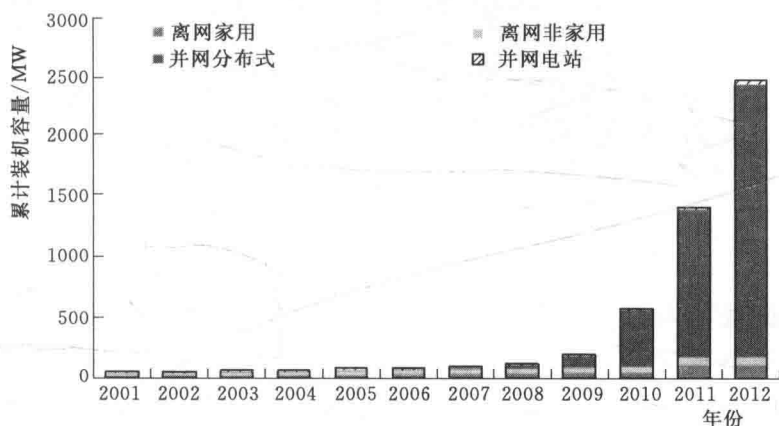


图 1 澳大利亚光伏发电累计装机容量 (来源: APVA)

除了环境效益，接近负荷侧的并网光伏系统有可能减少对电网的依赖，提高能源安全性及经济性。如图 2 所示，本地的发电装置产生的电力无需经过输电和配电网。随着电价的不断增长，预计未来还会持续增长，特别是在负荷高峰期，安装并网光伏系统对消费者而言非常具有吸引力。

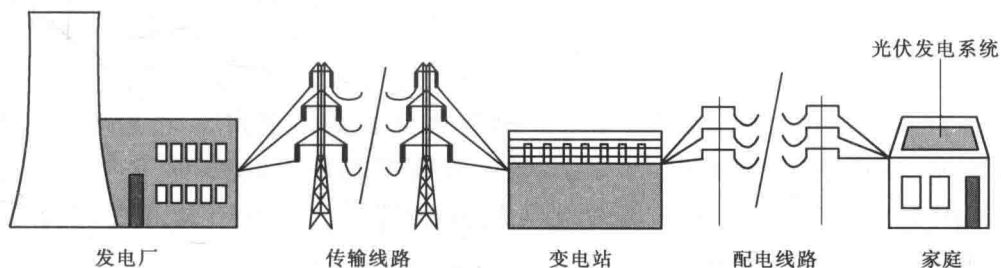


图 2 本地的发电装置

图 2 中本地发电装置减少了对大型电站的电力需求（大型电站依赖化石能源同时还会造成环境污染），同时减少了通过输电网的电力（输电网基础设施成本高且存在损耗）。

然而，由于光伏发电的瞬时特性，使用电池储能可以最大限度地发挥本地光伏发电的优势，当然还取决于电价结构。如图3所示，没有储能，光伏系统只能在白天供电，限制了其作为本地电源的供电能力。除此之外，在某些情况下，储能系统可以使光伏阵列在电网故障期间正常运行从而提高系统收益，通常情况下，为了防止孤岛效应需要光伏阵列停止发电。

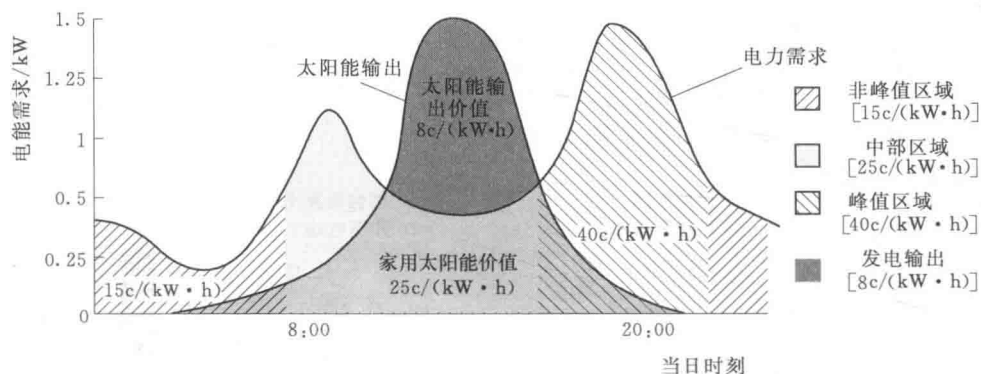


图3 无电池储能的并网光伏发电系统示例

住宅光伏发电与用电系统。在这种情况下，用户白天使用光伏发出的电而此时电网电价更便宜（处于分时电价结构的肩峰时段）。而光伏发出的多余电量必须上网，此时只能获得较小的回报。同时他们还需要在晚上花更高的价格来为其用电买单。

设计含电池储能的并网光伏发电系统（以下简称并网光储系统），最关键的是了解系统所有者的需求及系统运行条件。驱动因素及制约因素都将影响到系统配置、指定负载、电池储能容量及类型、变流器容量及类型，控制器（可选）容量及类型、光伏阵列容量等方面的选择。安装光储系统主要基于三大驱动因素。

(1) 供电可靠性。当电网异常，如停电时，系统可以提供一个备用电源为重要负荷及敏感负荷供电。

(2) 削峰。在电网负荷高峰时，此时电价较高，使用本地电源供电可以减少电费。对于居民负荷而言，高电价一般出现在晚上（图4）。

(3) 尽可能减少光伏发电与电网间的电量交换。出于经济或环保考虑，在某些情况下，电网可以看做是本地供电的一个备用电源。

以上三种驱动因素对应三种应用方案，在每章中都有论述，以对不同的应用需求进行示范同时用于阐述相应章节所论述的观点。这些方案请详见第5章、第6章、第7章、第8章、第9章末尾部分。

此外，还可能还有其他原因需要安装光储系统。例如，配电网要求上网的

光伏发电系统必须具备功率预测功能，在一些地区大于50kW的光伏系统必须配置电池系统才能并网。储能电池必须安装在这些系统中，通过设定的爬坡率控制可以给电网提供可预测的可再生能源发电。从而确保了即使在光伏阵列没有输出的情况下，如间歇性的云层覆盖时，可再生能源仍然能保持预期的输出功率值。

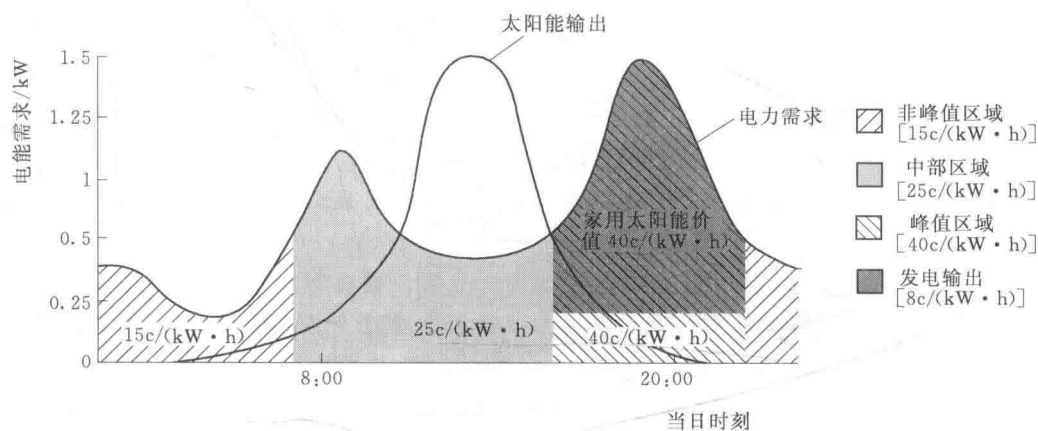


图4 并网光储系统示例

此案例中，光伏发电白天产生的电能先被储存起来，多余的电力被输出。所有电能可以在晚上电网电价较高时使用，这样光伏发电系统可以创造更高的经济回报。

光伏发电系统安装电池储能时还需要考虑一些约束条件，包括：

- (1) 系统总成本的预算。
- (2) 电网异常情况发生的频率。
- (3) 电力分销商及零售商的定价机制。
- (4) 电池储能与电网间允许的互动，这由当地的电网供应商（NSP）决定，即是否允许电池储能向电网输送功率或从电网吸收功率。
- (5) 足够的空间安装电池储能。
- (6) 足够的空间安装光伏阵列。
- (7) 现有的设备约束，如现有的光伏阵列和标准的并网逆变器。

考虑不同设计标准的并网光储系统设计培训手册已制定。设计的前提条件是其前期工作“并网光伏系统：设计和安装”已完成。了解更多信息请参阅 GSES 其他的出版物。

图5为并网光储系统的设计和安装步骤。需要注意的是并网光储系统的许多设计步骤都会相互反馈。这意味着，实际设计过程中可能不需要完全按照这些步骤执行，许多步骤可能只需要进行一次就已经解决了。本书中，相关

的设计步骤还考虑了系统的驱动因素。

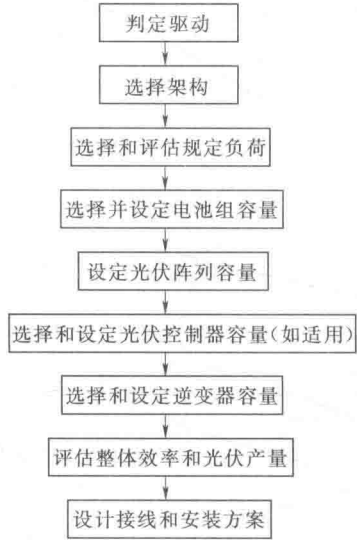


图 5 并网光储系统的设计和安装步骤

# 术 语

**AC 交流电流** 交流电的电压和电流波形都类似于正弦波。

**Battery Bank 电池组** 多个电池进行串联和/或并联形成电池组。

**Battery Cell 单体电池** 一个单体电池含有一对正负极，多个单体电池进行串联和/或并联形成电池组。

**BMS (Battery Management System) 电池管理系统** 对电池进行充放电控制以防止对电池造成损伤。

**Charge Controller 充电控制器** 见光伏控制器。

**Critical Load/s 重要负荷** 需要提供备用电源的负荷，该类负荷断电可能引起经济损失，设备损坏，造成安全问题甚至威胁生命。

**CCC (Current Carrying Capacity) 载流容量** 导线能够承载的最大电流量。

**DC 直流电流** 直流信号的电压与电流是恒定的。

**Disconnection from the Grid 电网解列** 系统运行于与电网断开状态，可能是计划性的，如用于抵消峰值负荷，也可能是因为电网故障。

**Efficiency 效率** 在包括电网损耗情况下，传输到负荷侧的功率与电源侧功率的百分比。

**ELV (Extra Low Voltage) 超低压** 超低压是指直流电压低于 120V 或交流电压有效值低于 50V 的电压。

**Float Voltage 浮充电压** 电池充满状态下的电压，为保持充电状态，电池端电压保持在浮充电压值。

**Flooded Batteries 富液式电池** 见排气式电池。

**Grid 电网** 配电柜电网侧的供电系统，低压电网是指 230V/400V (三相)。

**Grid - Connect Inverter 并网逆变器** 逆变器本身无法独立产生与电网相同的正弦波交流电，必须引用另一个电源，通常是电网，才能运行。

**Grid Failure 电网故障** 电网处于无法供电的状态，可能是停电，或是供电质量过低，如低电压、低频率、过电压和过频率。

**Gross Consumption Meter 用电计量总表** 用于计量供给负荷的总用电量的单向电表。

**Gross Generation Meter 发电计量总表** 用于计量光伏阵列的交流总发电量的单向电表。

**HV (High Voltage) 高压** 高压是指直流电压高于 1500V 或交流电压有效值高于 1000V 的电压。

**Inverter 逆变器** 可以将直流转换成交流的装置。一些装置还可以将交流转换成直流。



**Isolation 隔离** 电气断开。隔离设备应该是可见断开点的，除非已经经过校验。

**Load Curve 负荷曲线** 系统或单台用电设备日用电平均值。

**Load Diversity 负荷不同时性** 表征负荷同时运行的可能性。负荷不同时性高意味着负荷同时运行可能性低，负荷不同时性低或无意味着负荷可同时运行。

**LV (Low Voltage) 低压** 低压是指直流电压 120~1500V 或交流电压有效值 50~1000V 的电压。

**MPP (Maximum Power Point) 最大功率点** 光伏阵列 I-V 特性曲线的某个点，对应当前运行状态下光伏阵列能够产生的最大功率。

**MPPT (Maximum Power Point Tracker) 最大功率点跟踪** 光伏控制器能够搜索到光伏阵列的最大功率点，然后控制光伏阵列的输出电压和电流使其始终工作在当前运行状态下的最大功率点上。

**Multimode Inverter 多模式逆变器** 逆变器既可并网运行，也可离网运行，当与电网断开时为指定负载负荷供电。多模式逆变器通常都包含一个储能充电器，可以从交流侧（电网或通过逆变器连接的光伏阵列）为电池组充电。某些情况下多模式逆变器还包含光伏控制器，可以控制接入的光伏阵列的输出。

**Net Meter 网络电表** 双向电表，可以计量从电网输入的所有电能，并计量光伏发电的输出电量，即已供给负载（或电池组）后的多余电能。

**Nominal Cell Voltage 电池额定电压** 电池的基准电压，可以被定义为电池处于全充及全放中间状态时的中点电压值。

**Non-Specified Load/s 非指定负载** 从电网断开后将不从电池组供电的负载。

**Offsetting Peak Load 削峰** 当电网电价较高时，如峰值电价，用本地光伏或储能电源为负荷供电。

**Power Factor 功率因数** 供给负荷的有功功率与电源视在功率之间的比值。感性负载，如电机，将降低功率因数，这意味着电源需要提供更多的功率来补偿这种较低的供电效率。

**Primary Battery 一次电池** 非充电电池。

**Protection 保护** 当电压或电流过高时为了防止设备损坏，将熔断器或断路器用作电气隔离元件。

**Pulse Width Modulation 脉宽调制** 控制充电电源开关器件的通断，使其平均输出功率为原始充电电源功率的某一百分比。

**PV Array 光伏阵列** 光伏电池板经过串联和/或并联组成的单元，光伏电池板可将太阳光的能量转换成直流电能。

**Sealed Batteries 密封电池** 电池是密封的，从而在充电过程中产生的气体通常会重组还原成水。如果气体过多，密封电池有一个压力阀可以将这些气体释放。通常这是被禁止的，因为会导致电解质中水的损失，从而减少电池寿命。

**Secondary Battery 二次电池** 可充电电池。

**Sensitive Load/s 敏感负荷** 必须保持连续供电的负荷，可能是为了防止敏感设备损坏或是保持重要的监测。

**Solar Controller 光伏控制器** 独立单元或被集成到多模式逆变器中，控制电池组充电电压和电流值，防止过充与过放。光伏控制器的设计必须匹配电池类型。

**Specified Load/s 指定负载** 被设定为当从电网断开后采用电池组供电的负载。

**String 组串** 光伏组件或电池单元串联组成。在适当情况下，组串可以并联以获得更高的电压。

**Surge 浪涌** 超出正常电力需求的瞬间尖峰电力值。通常发生于电机启动时。

**Switchboard 配电柜** 电网与用户系统之间的连接点。配电柜是电表及主隔离点的位置。

**Tariff 电费** 由电网供应商和电力零售商所设定的用电价格。价格可能随时间变化（分时电价），也可能是固定的（固定电价）。

**UPS (Uninterruptible Power Supply) UPS 不间断电源** 定义为能够提供满足要求的瞬时电力供应的备用系统。

**Vented Batteries 排气式电池** 电池有通风孔，允许产生的氢气和氧气逸出。氢气由水性电解质电解产生，通常水可以很容易地添加到电解质中。为了防止氢气积聚引起爆炸，排气式电池的通风很重要。

**Voltage Regulator 电压调节器** 见光伏控制器。

**Wet Cell Batteries 湿电池** 见排气式电池。

# 目 录

前言

术语

<b>第 1 章 工作场所健康与安全 (WH&amp;S)</b>	1
1.1 现场风险评估	1
1.2 并网光储系统各组件安全性	2
1.2.1 光伏阵列	3
1.2.2 电池组	4
1.2.3 逆变器	5
1.2.4 燃机	5
1.3 危害	5
1.3.1 物理危害 (非电气非化学危害)	5
1.3.2 电气危害	6
1.3.3 化学危害	7
1.4 安全设备	7
1.4.1 个人安全资源	7
1.4.2 现场作业安全资源	7
1.5 现场安全	8
1.6 急救	8
<b>第 2 章 系统配置</b>	9
2.1 配置 1: 单台多模式逆变器单元	9
2.1.1 光伏阵列	10
2.1.2 多模式逆变器	10
2.1.3 电池储能	10
2.2 配置 2: 带独立光伏控制器的单台逆变器	10
2.2.1 光伏阵列	11
2.2.2 光伏控制器	11
2.2.3 电池储能	11
2.2.4 多模式逆变器	11
2.3 配置 3: 通过互连开关装置相连的两台逆变器	12
2.3.1 光伏阵列与并网逆变器	13
2.3.2 电池储能与多模式逆变器	13

2.3.3	互连开关装置	13
2.4	配置 4: 含并网逆变器的两台逆变器直接并网	14
2.4.1	光伏阵列与并网逆变器	15
2.4.2	电池储能与多模式逆变器	15
2.5	配置 5: 含并网逆变器的两台逆变器直接与特定负荷连接	15
2.5.1	光伏阵列与并网逆变器	16
2.5.2	电池储能与多模式逆变器	16
2.6	电池与电网的交互许可	17
2.7	削峰	18
2.8	发电机	18
<b>第 3 章</b>	<b>电池特性</b>	<b>19</b>
3.1	电池储能及容量	19
3.1.1	电池能量	19
3.1.2	质量比能量密度和体积比能量密度	20
3.1.3	电池容量	20
3.1.4	放电深度 (DOD)	22
3.1.5	最大放电深度和日放电深度 (日 DOD)	22
3.1.6	荷电状态 (SOC)	23
3.2	SOC 计算	23
3.2.1	比重	23
3.2.2	开路电压	24
3.2.3	放电和充电电压	24
3.3	电池充电和放电	25
3.3.1	放电倍率	26
3.3.2	自放电速率	26
3.3.3	充电倍率	26
3.3.4	抗过充和过放能力	27
3.3.5	放电截止电压	27
3.3.6	电池效率	27
3.3.7	电池电压	28
3.3.8	温度的影响	29
3.4	电池寿命和维护	31
3.4.1	循环寿命	31
3.4.2	析气反应	32
3.4.3	电气维护——均衡	32
3.4.4	物理维护——检修	32
3.5	电池安装	33

3.5.1	电池连接	33
3.5.2	电池的失效电流	34
3.5.3	安全需求	34
3.5.4	位置选择	35
3.5.5	充足通风	36
3.5.6	电池后处理/回收	37
<b>第4章 二次电池技术</b>		<b>38</b>
4.1	电池类型概述	38
4.2	铅酸电池	40
4.2.1	电气和化学成分	40
4.2.2	充电和放电	41
4.2.3	失效问题	41
4.2.4	富液式铅酸电池	43
4.2.5	阀控密封铅酸电池 (VRLA)	43
4.2.6	安全和后处理	44
4.2.7	可商业化铅酸电池	44
4.3	锂离子 (Li-Ion) 电池	45
4.3.1	工作原理	45
4.3.2	种类	45
4.3.3	放电曲线	46
4.3.4	温度影响	47
4.3.5	过充和过放	47
4.3.6	故障电流	47
4.3.7	电池管理系统	48
4.4	锂离子电池衍生品	48
4.4.1	锂离子单体和模块	48
4.4.2	温度影响和热失控	48
4.4.3	过充	50
4.4.4	过放	50
4.4.5	内置安全功能	50
4.4.6	BMS 工作原理	51
4.4.7	集中式和分散式	52
4.5	镍镉 (NiCd) 电池	52
4.5.1	电气和化学成分	52
4.5.2	充电和放电	53
4.5.3	密封镍镉电池	53
4.5.4	镍镉湿电池	54

4.5.5 安全和回收处理 .....	54
4.6 镍金属氢化物电池 (NiMH) .....	55
4.6.1 电气和化学成分 .....	55
4.6.2 充电和放电 .....	55
4.6.3 安全和后处理 .....	56
4.7 全钒液流电池 .....	57
4.7.1 电气和化学成分 .....	57
4.7.2 充电和放电 .....	57
4.8 锌溴电池 .....	57
4.8.1 电气和化学成分 .....	58
4.8.2 充电和放电 .....	58
4.9 钠硫电池 (NA-S) .....	58
4.9.1 电气和化学成分 .....	59
4.9.2 充电和放电 .....	59
4.10 钠离子 (NA-Ion) 电池 .....	59
<b>第5章 特定负荷选择与定容 .....</b>	<b>60</b>
5.1 特定负荷选择 .....	60
5.1.1 驱动因素 1: 可靠性 .....	61
5.1.2 驱动因素 2: 平抑峰值负荷 .....	61
5.1.3 驱动因素 3: 电网与光伏系统之间交换电量最小化 .....	62
5.2 特定负荷评估 .....	63
5.2.1 预期脱网评估 .....	63
5.2.2 脱网期间的能量需求评估——使用表单 .....	63
5.2.3 功率因数 .....	64
5.2.4 负荷的多样性 .....	66
5.2.5 基于负荷曲线分析减少浪涌需求 .....	66
5.2.6 脱网期间的能量需求——使用交流功率分析仪 .....	67
5.3 案例 .....	67
5.3.1 案例 1 .....	67
5.3.2 案例 2 .....	69
5.3.3 案例 3 .....	69
<b>第6章 储能电池选型及定容 .....</b>	<b>71</b>
6.1 电池技术的选型 .....	71
6.1.1 目的 1: 可靠性 .....	71
6.1.2 目的 2: 削峰 .....	71
6.1.3 目的 3: 尽可能减少光伏发电与电网间的电量交换 .....	71
6.1.4 系统约束条件 .....	72

6.2	电池组容量设计准则 .....	72
6.3	确定电池组电压 .....	72
6.4	电池组容量配置 .....	73
6.4.1	电池组必须提供的总能量 .....	74
6.4.2	最大放电深度 .....	74
6.4.3	最大功率需求和最大浪涌需求 .....	75
6.4.4	最大充电倍率 .....	75
6.5	电池单元并联设计 .....	75
6.5.1	场景 1: 电池组配置 .....	76
6.5.2	场景 2: 电池组配置 .....	78
6.5.3	场景 3: 电池组配置 .....	80
<b>第 7 章</b>	<b>光伏阵列容量配置 .....</b>	<b>83</b>
7.1	光伏逆变器配置选择 .....	83
7.2	光伏系统驱动因素 .....	84
7.2.1	因素 1: 系统可靠性 .....	84
7.2.2	因素 2: 补偿峰值负荷 .....	84
7.2.3	因素 3: 减小光伏系统与电网之间的交换电量 .....	85
7.3	系统约束条件 .....	85
7.3.1	系统总成本 .....	85
7.3.2	系统设备组成 .....	85
7.3.3	电网对储能电池的许可和交互能力 .....	85
7.3.4	空间约束条件 .....	86
7.4	案例 .....	86
7.4.1	案例 1: 光伏阵列容量计算 .....	86
7.4.2	案例 2: 光伏阵列容量计算 .....	87
7.4.3	案例 3: 光伏阵列容量计算 .....	87
<b>第 8 章</b>	<b>太阳能控制器 .....</b>	<b>89</b>
8.1	充电/放电周期 .....	89
8.2	控制器的类型 .....	91
8.2.1	开关控制器 (脉冲调制式) .....	91
8.2.2	最大功率跟踪 (MPPT) 控制器 .....	93
8.3	控制器的其他特点 .....	94
8.3.1	过放电保护 .....	94
8.3.2	温度补偿 .....	94
8.4	控制器类型与容量的选择 .....	95
8.4.1	标准 PWM 控制器 .....	95
8.4.2	MPPT 控制器 .....	96

8.5 控制器的安装 .....	98
<b>第9章 逆变器的型号、规格选型及参数调试</b> .....	<b>100</b>
9.1 逆变器的类型 .....	100
9.1.1 并网逆变器 .....	100
9.1.2 储能逆变器（电池管理系统） .....	100
9.1.3 并网储能逆变器（电池管理系统） .....	100
9.2 逆变器设计标准 .....	101
9.2.1 标准1：使逆变器与光伏阵列容量相匹配 .....	101
9.2.2 标准2：根据特定负荷要求确定逆变器容量 .....	101
9.2.3 标准3：基于电池再充电时间确定逆变器容量 .....	102
9.3 各种配置方式中逆变器容量配置小结 .....	103
9.4 不同系统配置方式中的逆变器容量选择方法 .....	103
9.4.1 配置1：单台多模式逆变器单元 .....	103
9.4.2 配置2：带独立光伏控制器的单台逆变器 .....	103
9.4.3 配置3：通过互连开关装置相连的两台逆变器 .....	104
9.4.4 配置4：含并网逆变器的两台逆变器直接并网 .....	104
9.4.5 配置5：含并网逆变器的两台逆变器直接与特定负荷连接 .....	104
9.5 并网储能逆变器参数设置及调试 .....	105
9.5.1 常用参数的概念 .....	105
9.5.2 建议流程 .....	108
9.5.3 储能逆变器的功能调试 .....	109
9.5.4 切换继电器 .....	110
9.5.5 定时器设置 .....	111
9.6 案例 .....	111
9.6.1 案例1：逆变器规格选型（一） .....	111
9.6.2 案例2：逆变器规格选型（二） .....	114
9.6.3 案例3：逆变器的规格选型（三） .....	115
<b>第10章 系统效率以及电池储能对光伏系统发电量的影响</b> .....	<b>118</b>
10.1 系统效率 .....	118
10.1.1 组件效率 .....	118
10.1.2 系统耦合对效率的影响 .....	119
10.2 光伏系统发电量 .....	120
10.3 拓扑1的效率和光伏系统发电量 .....	121
10.3.1 效率 .....	121
10.3.2 光伏系统发电量 .....	122
10.3.3 允许的计量 .....	122
10.4 拓扑2的效率和光伏系统发电量 .....	122



10.4.1	效率	122
10.4.2	光伏系统发电量	123
10.4.3	允许的计量	124
10.5	拓扑 3 的效率和光伏系统发电量	124
10.5.1	效率	124
10.5.2	光伏系统发电量	125
10.5.3	允许的计量	125
10.6	拓扑 4 的效率和光伏系统发电量	125
10.6.1	效率	126
10.6.2	光伏系统发电量	126
10.6.3	允许的计量	126
10.7	拓扑 5 的效率和光伏系统发电量	126
10.7.1	效率	126
10.7.2	光伏系统发电量	127
10.7.3	允许的计量	128
10.8	光伏发电通过电网给电池充电	128
10.9	电网异常条件对光伏发电量的影响	129
<b>第 11 章 系统接线</b>		130
11.1	电缆尺寸	130
11.2	线路损耗 (压降)	131
11.3	导体允许电压降	132
11.4	过电流	134
11.5	电路保护	135
11.6	电池主熔断器设计	135
11.7	电池隔离	137
11.8	控制器保护	137
11.9	电池柜接线	138
11.10	完整的系统接线	138
<b>第 12 章 系统安装</b>		140
12.1	电池组安装	140
12.1.1	电池柜布局	140
12.1.2	电池组通风	141
12.2	多模式逆变器安装	143
12.3	开关柜内的系统互联	143
12.3.1	拓扑 1: 单台多模式逆变器单元	144
12.3.2	拓扑 2: 带独立光伏控制器的单台逆变器	144
12.3.3	拓扑 3: 通过互联开关装置相连的两台逆变器	145