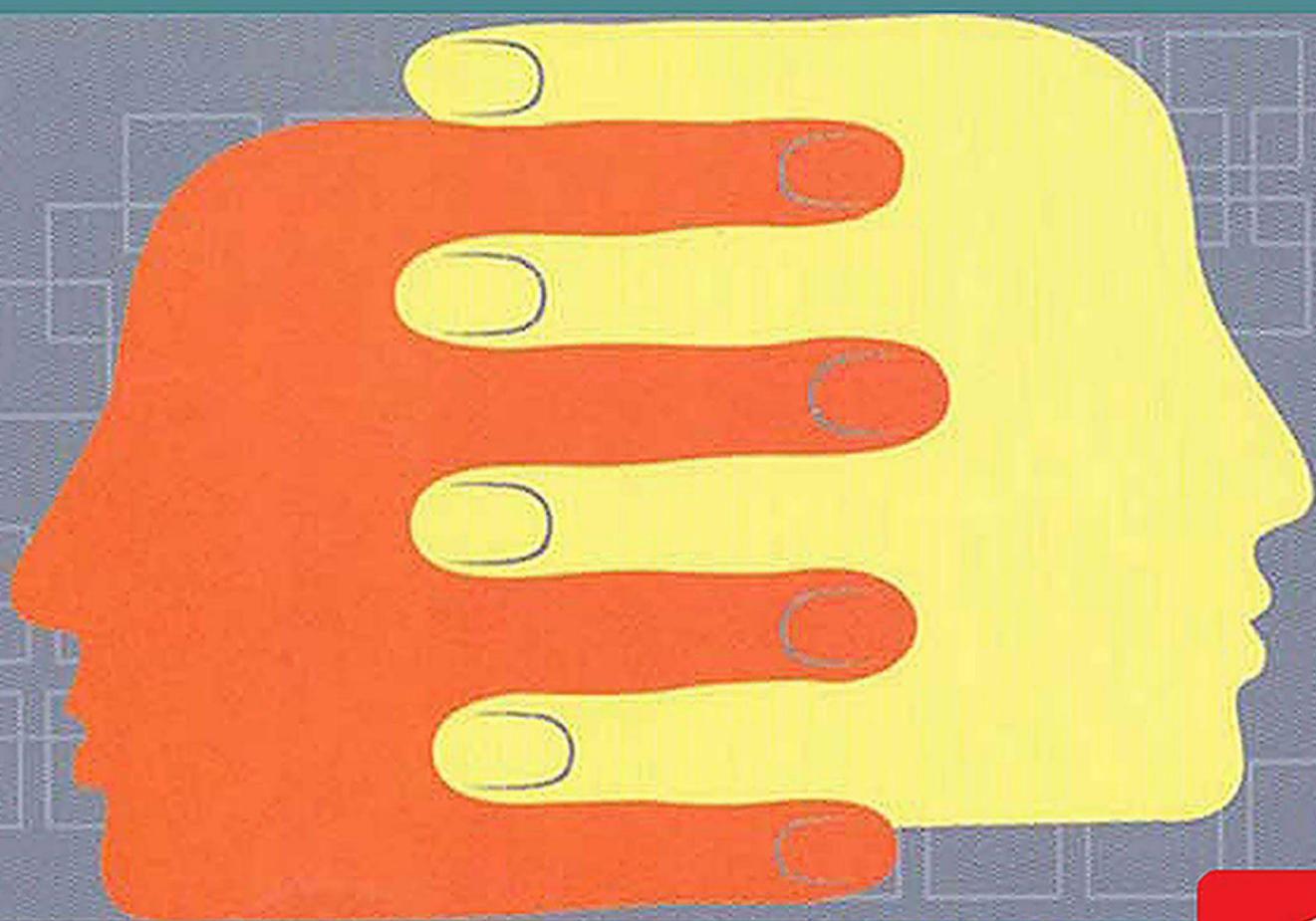


智能微电网控制技术

主编 李一龙 蔡振兴 张忠山



北京邮电大学出版社



普通高等教育“十三五”新能源类规划教材

智能微电网控制技术

主 编 李一龙 蔡振兴 张忠山
副主编 王 华 林逢春 王玲维 张建生



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书共分两篇。第1篇共8章:第1章微电网概述,主要介绍微电网的发展历史、现状及发展趋势;第2章微电网与分布式发电,主要介绍微电网中经常用到的分布式发电;第3章微电网的构成与分类,主要介绍微电网的构成、运行及控制模式、接入电压等级以及分类;第4章微电网的控制与运行,主要介绍了微电网的并离网控制技术、运行控制技术以及并离网的运行过程;第5章微电网的保护,主要介绍了微电网接入对配电网继电保护的影响、微电网的保护策略以及微电网接入配电网的保护配置方案;第6章微电网的监控与能量管理,主要介绍了微电网监控组成、能量管理以及优化控制方法;第7章分布式电源并网与控制,主要介绍了微电网通信的特殊要求、设计原则、微电网通信系统的设计方案;第8章电力系统动态模拟,主要介绍了微电网电力系统模拟方案的选择、模拟系统的故障。第2篇为本书相关的实验。

微电网技术的发展历史较短,有很多技术处于研究阶段,本书可作为高等院校(本科院校、高职院校)新能源技术及应用、光伏发电技术及应用新能源科学与工程等专业的教学用书,也可作为太阳能电池企业的技术人员和管理人员以及广大太阳能电池发电爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能微电网控制技术 / 李一龙, 蔡振兴, 张忠山主编. --北京: 北京邮电大学出版社, 2017. 8
ISBN 978-7-5635-5241-2

I. ①智… II. ①李… ②蔡… ③张… III. ①智能控制-电网 IV. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第197200号

书 名: 智能微电网控制技术
著作责任者: 李一龙 蔡振兴 张忠山 主编
责任编辑: 刘 颖
出版发行: 北京邮电大学出版社
社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编: 100876)
发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578
E-mail: publish@bupt.edu.cn
经 销: 各地新华书店
印 刷:
开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张: 13.75
字 数: 341千字
版 次: 2017年8月第1版 2017年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-5241-2

定 价: 35.00元

· 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

随着能源问题和环境问题的日益突出,发展低碳经济、建设生态文明、实现可持续发展,成为人类社会的普遍共识,开发清洁的可再生能源资源已成为世界各国经济和社会可持续发展的重要战略。为协调大电网与分布式发电间的矛盾,最大限度地发掘分布式发电在经济、能源和环境中的优势,学者们提出了微电网的概念。微电网是将分布式发电、负荷、储能装置及控制装置等结合,形成的一个单一可控的供电系统。它可以降低馈线损耗、增加本地供电可靠性、提高能源利用的效率等。

随着智能电网的发展,微电网及其关键技术成为世界各国关注的热点。为进一步推广微电网技术,指导微电网的工程建设,作者撰写了本书。本书全面系统地介绍了微电网的基本概念、关键技术、相关标准、实用设计方法和原则,同时给出典型微电网工程设计实例。

本书共分两篇。第1篇共8章:第1章微电网概述,主要介绍微电网的发展历史、现状及发展趋势;第2章微电网与分布式发电,主要介绍微电网中经常用到的分布式发电;第3章微电网的构成与分类,主要介绍微电网的构成、运行及控制模式、接入电压等级以及分类;第4章微电网的控制与运行,主要介绍了微电网的并离网控制技术、运行控制技术以及并离网的运行过程;第5章微电网的保护,主要介绍了微电网接入对配电网继电保护的影响、微电网的保护策略以及微电网接入配电网的保护配置方案;第6章微电网的监控与能量管理,主要介绍了微电网监控组成、能量管理以及优化控制方法;第7章分布式电源并网与控制,主要介绍了微电网通信的特殊要求、设计原则、微电网通信系统的设计方案;第8章电力系统动态模拟,主要介绍了微电网电力系统模拟方案的选择、模拟系统的故障。第2篇为本书相关的实验。

微电网技术的发展历史较短,有很多技术处于研究阶段,本书仅对现有的研究和实践结果进行总结。随着微电网研究的不断深入,必将有大量新的技术不断涌现,今后我们将根据微电网技术的发展对本书进一步修订。

本书由李一龙、蔡振兴、张忠山担任主编,王华、林逢春、王玲维、张建生担任副主编。具体编写分工如下:李一龙编写第5~7章,蔡振兴编写第1~3章,张忠山编写第4、8章,王华编写实验第1章,林逢春编写实验第2章,王玲维编写实验第3章,张建生编写实验第4章,全书理论由蔡振兴统稿,实验由王玲维统稿。

由于编者水平有限,书中的疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 篇 微电网及其关键技术

第 1 章 微电网概述	3
第 2 章 微电网与分布式发电	5
2.1 分布式发电的基本概念	5
2.2 发展分布式发电的意义	6
2.3 分布式发电技术	7
2.4 分布式发电与并网技术	10
2.5 分布式发电研发重点与应用前景	15
第 3 章 微电网的构成与分类	17
3.1 微电网的构成	17
3.2 微电网的体系结构	17
3.3 微电网的运行模式	19
3.4 微电网的控制模式	19
3.5 微电网的接入电压等级	21
3.6 微电网的分类	22
第 4 章 微电网的控制与运行	25
4.1 独立微电网三态控制	25
4.2 微电网的逆变器控制	27
4.3 微电网的并离网控制	28
4.4 微电网的运行	32
第 5 章 微电网的保护	35
5.1 DG 特殊的故障特性	35
5.2 微网接入对配电网继电保护的影响	36
5.3 微电网运行保护策略	41
5.4 微电网接入配电网保护方案	41

第 6 章 微电网的监控与能量管理	45
6.1 微电网的监控系统架构	45
6.2 微电网监控系统的组成	45
6.3 微电网监控系统设计	49
6.4 微电网能量管理	50
第 7 章 分布式电源并网与控制	56
7.1 永磁同步风力并网发电	56
7.2 双馈异步风力并网发电	62
7.3 太阳能光伏并网发电	68
7.4 燃料电池并网发电	82
第 8 章 电力系统动态模拟	88
8.1 电力系统动态模拟的特点	88
8.2 电力系统主要元件模拟	88
8.3 电力系统模拟方案的选择	89
8.4 电力系统动态模拟试验系统的组成	89
8.5 模拟系统的继电保护	90
8.6 模拟系统的故障检验	94

第 2 篇 实 验

第 1 章 微电网运行控制实验	109
实验一、微电网并网运行启停实验	109
实验二、微电网离网运行启停实验	119
实验三、微电网并离网无缝切换实验	129
第 2 章 光伏并网发电实验	132
实验一、光伏组件的测试与安装	132
实验二、逆变器发电性能测试实验	135
实验三、逆变器保护性能测试实验	138
实验四、逆变器电能质量测试实验	139
第 3 章 控制软件编程实验	144
实验一、PLC 编程与控制实验	144
实验二、MCGS 组态编程实验	156

实验三、远程电力监控编程实验	173
实验四、中央管理机控制编程实验	182
第 4 章 微电网调度与能量管理实验	188
实验一、继电保护与控制实验	188
实验二、手动自由功率调度实验	195
实验三、模拟交换功率调度实验	199
实验四、自动功率平衡调度实验	203
参考文献	209

第 1 篇 微电网及其关键技术

- 第 1 章 微电网概述
 - 第 2 章 微电网与分布式发电
 - 第 3 章 微电网的构成与分类
 - 第 4 章 微电网的控制与运行
 - 第 5 章 微电网的保护
 - 第 6 章 微电网的监控与能量管理
 - 第 7 章 分布式电源并网与控制
 - 第 8 章 电力系统动态模拟
- 

第 1 章 微电网概述

微电网(Micro-Grid, MG)是一种将分布式发电(Distributed Generation, DG)、负荷、储能装置、变流器以及监控保护装置等有机整合在一起的小型发输配电系统。凭借微电网的运行控制和能量管理等关键技术,可以实现其并网或孤岛运行、降低间歇性分布式电源给配电网带来的不利影响,最大限度地利用分布式电源出力,提高供电可靠性和电能质量。将分布式电源以微电网的形式接入配电网,被普遍认为是利用分布式电源有效的方式之一。微电网作为配电网和分布式电源的纽带,使得配电网不必直接面对种类不同、归属不同、数量庞大、分散接入的(甚至是间歇性的)分布式电源。国际电工委员会(IEC)在《2010—2030 应对能源挑战白皮书》中明确将微电网技术列为未来能源链的关键技术之一。

近年来,欧盟成员国、美国、日本等均开展了微电网试验示范工程研究,已进行概念验证、控制方案测试及运行特性研究。国外微电网的研究主要围绕可靠性、可接入性、灵活性 3 个方面,探讨系统的智能化、能量利用的多元化、电力供给的个性化等关键技术。微电网在我国也处于实验、示范阶段。这些微电网示范工程普遍具备以下 4 个基本特征:

(1) 微型。微电网电压等级一般在 10 kV 以下,系统规模一般在兆瓦级及以下,与终端用户相连,电能就地利用。

(2) 清洁。微电网内部分布式电源以清洁能源为主。

(3) 自治。微电网内部电力电量能实现全部或部分自平衡。

(4) 友好。可减少大规模分布式电源接入对电网造成的冲击,可为用户提供优质可靠的电力,可实现并网/离网模式的平滑切换。因此,与电网相连的微电网,可与配电网进行能量交换,提高供电可靠性和实现多元化能源利用。

微电网与电网之间信息交换量将日益增大并且在提高电力系统运行可靠性和灵活性方面体现出较大的潜力。微电网和配电网的高效集成,是未来智能电网发展面临的主要任务之一。借鉴国外对微电网的研究经验,近年来,一些关键的、共性的微电网技术得到了广泛的研究。然而,为了进一步保障微电网的安全、可靠、经济运行,结合我国微电网发展的实际情况,一些新的微电网技术需求有待进一步探讨和研究。

微电网是未来智能配电网实现自愈、用户侧互动和需求响应的重要途径,随着新能源、智能电网技术、柔性电力技术等的发展,微电网将具备如下新特征。

(1) 微电网将满足多种能源综合利用需求并面临更多新问题

大量的入户式单相光伏、小型风机、冷热电三联供、电动汽车、蓄电池、氢能等家庭式分布电源,大量柔性电力电子装置的出现将进一步增加微电网的复杂性。屋顶电站、电动汽车充电、智能用电楼宇和智能家居等带来微电网形式的多样化问题、多种微电源响应时间的协调问

题、现有小发电机组并入微电网的可行性问题、微电网配置分布式电源和储能接口标准化问题、微电网建设环境评价和微电网内基于电力电子接口的电源与柔性交流输电系统(FACTS)装置控制耦合等问题,这些问题将成为未来微电网研究的热点。

(2) 微电网将与配电网实现更高层次的互动

微电网接入配电网后,配电网结构、保护、控制方式,用电侧能量管理模式、电费结算方式等均需做出一定调整,同时带来上级调度对用户电力需求的预测方法、用电需求侧管理方式、电能质量监管方式等的转变。为此,一方面,通过不断完善接入配网的标准,微电网将形成一系列典型模式规范化建设和运行;另一方面,将加强配网对微电网的协调控制和用户信息的监测力度,建立起与用户的良性互动机制,通过微网内能量优化、虚拟电厂技术及智能配网对微网群的全局优化调控,逐步提高微电网的经济性,实现更高层次的高效、经济、安全运行。

(3) 微电网将承载信息和能源双重功能

未来智能配网、物联网业务需求对微电网提出了更高要求,微电网靠近负荷和用户,与社会的生产和生活息息相关。以家庭、办公室建筑等单位的灵活发电和配用电终端、企业、电动汽车充电站以及物流等将在微电网中相互影响,分享信息资源。承载信息和能源双重功能的微电网,使得可再生能源能够通过点对网络的方式分享彼此的能源和信息。

第 2 章 微电网与分布式发电

分布式发电技术是充分开发和利用可再生能源的理想方式,它具有投资小、清洁环保、供电可靠和发电方式灵活等优点,可以对未来大电网提供有力补充和有效支撑,是未来电力系统的重要发展趋势之一。

2.1 分布式发电的基本概念

分布式发电目前尚未有统一定义,一般认为,分布式发电是指为满足终端用户的特殊要求而接在用户侧附近的小型发电系统。分布式电源(Distributed Resource, DR)是指分布式发电与储能装置(Energy Storage, ES)的联合系统($DR = DG + ES$)。它们规模一般都不大,通常为几十千瓦至几十兆瓦,所用的能源包括天然气(含煤气、沼气)、太阳能、生物质能、氢能、风能、小水电等清洁能源或可再生能源,而储能装置主要为蓄电池,还可能采用超级电容、飞轮储能等。此外,为了提高能源的利用效率的同时降低成本,往往采用冷、热、电联供(Combined Cooling, Heat and Power, CCHP)的方式或热电联产(Combined Heat and Power, CHP 或 Co-generation)的方式。因此,国内外也常常将冷、热、电等各种能源一起供应的系统称为分布式能源(Distributed Energy Resource, DER)系统,而将包含分布式能源在内的电力系统称为分布式能源电力系统。由于能够大幅提高能源利用效率,节能地、多样化地利用各种清洁能源和可再生能源,未来分布式能源系统应用将会越来越广泛。分布式发电直接接入配电系统(380 V 或 10 kV 配电系统,一般低于 66 kV 电压等级)并网运行较为多见,但也有直接向负荷供电而不与电力系统相连,形成独立供电系统(Stand-alone System),或形成所谓的孤岛运行方式(Islanding Operation Mode)。采用并网方式运行,一般不需要储能系统,但采取独立(无电网孤岛)运行方式时,为保持小型供电系统的频率和电压稳定,储能系统往往是必不可少的。

由于这种发电技术正处于发展过程,因此在概念和名称术语叙述和采用上尚未完全统一。CIGRE 欧洲工作组 WG37-33 将分布式电源定义为:不受供电调度部门的控制、与 77 kV 以下电压等级电网联网、容量在 100 MW 以下的发电系统。英国则采用“嵌入式发电”(Embedded Generation)的术语,但文献中较少使用。此外,国外有文献和教科书将容量更小、分布更为分散的发电(如小型用户屋顶光伏发电及小型用户用燃料电池发电等)称为分散发电(Dispersed Generation)。本书所采用的 DG 和 DR 的术语,与 IEEE1547—2003《分布式电源与电力系统互联》中的定义相同。

目前,分布式发电的概念常与可再生能源发电和热电联产的概念发生混淆。有些大型的风力发电和太阳能发电(光伏或光热发电)直接接入输电电压等级的电网,则称为可再生能源

发电而不称为分布式发电;有些大型热电联产机组,如燃煤或燃气机组,它们直接接入高压电网,进行统一调度,属于集中式发电,而不属于分布式发电。

当分布式电源接入电网并网运行时,在某些情况下可能对配电网产生一定的影响,对需要高可靠性和高电能质量的配电网来说,分布式发电的接入必须慎重。因此需要对分布式发电接入配电网并网运行时可能存在的问题,对配电网的当前运行和未来发展可能产生正面或负面影响进行深入的研究,并采取适当的措施,促进分布式发电的健康发展。

2.2 发展分布式发电的意义

发展分布式发电系统的必要性和重要意义主要在于其经济性、环保性和节能效益,以及能够提高供电安全可靠性及解决边远地区用电等。

1. 经济性

有些分布式电源,如以天然气或沼气为燃料的内燃机等,发电后工质的余热可用来制热、制冷,实现能源的阶梯利用,从而提高利用效率(可达60%~90%)。此外,由于分布式发电的装置容量一般较小,其一次性投资的成本费用较低,建设周期短,投资风险小,投资回报率高。靠近用户侧安装能够实现就近供电、供热,因此可以降低网损(包括输电和配电网的网损以及热网的损耗)。

2. 环保效益

采用天然气作燃料或以氢能、太阳能、风能为能源,可减少有害物(NO_x 、 SO_x 、 CO_2 等)的排放总量,减轻环保压力。大量的就近供电减少了大容量、远距离、高电压输电线的建设,也减少了高压输电线的线路走廊和相应的征地面积,减少了对线路下树木的砍伐。

3. 能源利用的多样性

由于分布式发电可利用多种能源,如清洁能源(天然气)、新能源(氢)和可再生能源(生物质能、风能和太阳能等),并同时为用户提供冷、热、电等多种能源应用方式,对节约能源具有重要意义。

4. 调峰作用

夏季和冬季往往是电力负荷的高峰时期,此时如采用以天然气为燃料的燃气轮机等冷、热、电三联供系统,不但可解决冬、夏的供热和供冷的需要,同时能够提供电力,降低电力峰荷,起到调峰的作用。

5. 安全性和可靠性

当大电网出现大面积停电事故时,具有特殊设计的分布式发电系统仍能保持正常运行。虽然有些分布式发电系统由于燃料供应问题(可能因泵站停电而使天然气供应中断)或辅机的供电问题,在大电网故障时也会暂时停止运行,但由于其系统比较简单,易于再启动,有利于电力系统在大面积停电后的黑启动,因此可提高供电的安全性和可靠性。

6. 边远地区的供电

许多边远农村、海岛地区远离大电网,采用光伏发电、小型风力发电和生物质能发电的独立发电系统是一种优选的方法。

2.3 分布式发电技术

2.3.1 燃气轮机、内燃机、微燃机发电技术

燃气轮机、内燃机、微燃机发电技术是以天然气、煤气层或沼气等为常用燃料,以燃气轮机(Gas Turbine 或 Combustion Turbine)、内燃机(Gas Engine 或 Internal Combustion Reciprocating Engines)和微燃机(Micro-Turbine)等为发电动力的发电系统。

1. 燃气轮机

燃气轮机由压缩机、燃烧室和涡轮电机组成。它可以利用天然气、高炉煤气、煤层气等作为燃料。燃气轮机将燃料燃烧时释放出来的热量转换为旋转的动能,再转化为电能输出以供应用。燃气轮机有轻型燃气轮机和重型燃气轮机两种类型。轻型燃气轮机为航空发动机的转型,优点是装机快、体积小、启动快、快速反应性能好、简单循环效率高,适合在电网中调峰、调节或应急备用。重型燃气轮机为工业型燃机,优点是运行可靠、排烟温度高、联合循环效率高,主要用于联合循环发电、热电联产。

燃气轮机技术十分成熟,其性能也在逐步改进、完善。一般大容量的燃气轮机(如 30 MW 以上)的效率较高,即使无回热利用,效率也可达 40%。特别是燃气-蒸汽联合循环发电技术更为完善,目前已有燃气、蒸汽集于一体的单轴机组,装置净效率可提高到 58% ~ 60%。这种联合循环式燃气余热的蒸汽轮机具有凝汽器、真空泵、冷却水系统等,使结构趋于复杂,因此容量小于 10 MW 的燃气轮机往往不采用燃气-蒸汽联合循环的发电方式。燃气轮机发电的优点是每兆瓦的输出成本较低,效率高,单机容量大,安装迅速(只需几个月时间),排放污染小,启动快,运行成本低,寿命较长。目前,以天然气为燃料的燃气轮机应用极其广泛。

2. 内燃机

内燃机的工作原理是将燃料与压缩空气混合,点火燃烧,使其推动活塞做功,通过气缸连杆和曲轴驱动发电机发电。由于较低的初期投资,在容量低于 5 MW 的发电系统,柴油发电机占据了主导地位。然而随着对排放的要求越来越高,天然气内燃机市场占有率不断提升,其性能也在逐步提高。在效率方面,相同跑量和转速条件下,柴油发电机有较高的压缩比,因而具有更高的发电效率。天然气内燃机发电机组瞬时负荷的反应能力较差,却能较好地恒定负荷供电。柴油发电机由于其较高的功率密度,在同样的输出功率下,比天然气内燃机发电机体积更小;对于相同的输出功率,柴油发电机比天然气内燃机发电机更经济。然而,由于按产生相同热量比较,天然气比柴油更便宜,因此对于恒定大负荷系统,包括初期投资和运行费用在内,使用天然气发电机可能会更经济。尽管天然气内燃机发电机的效率没有柴油机发电机高,但在热电联供系统中却有更高的效率,各种燃料类型的内燃机发电效率为 34% ~ 41%、热效率为 40% ~ 50%,因此总效率可以达到 90%,而柴油发电机只有 85%。

在分布式发电系统中,内燃机发电技术是较为成熟的一种。它的优点包括初期投资较低,效率较高,适合间歇性操作,且对于热电联供系统有较高的排气温度等。另外,内燃机的后期维护费用也相对低廉。往复式发电技术在低于 5 MW 的分布式发电系统中很有发展前景,其在分布式发电系统中的安装成本大约是集中式发电的一半。初期成本较低、生命周期运营费用较低,运行适应性更高。

目前,内燃机发电技术广泛应用在燃气、电力、供水、制造、医院、教育以及通信等行业。

3. 微燃机

微燃机是指发电功率在几百千瓦以内(通常为 100 ~ 200 kW 以下),以天然气、甲烷、汽油、柴油为燃料的小功率燃气轮机。微燃机与燃气轮机的区别主要如下:

- (1) 微燃机输出功率较小,其轴净输出功率一般低于 200 kW。
- (2) 微燃机使用单级压气机和单级径流涡轮。
- (3) 微燃机的压比是 3: 1 ~ 4: 1,而不是燃气轮机的 13: 1 ~ 15: 1。
- (4) 微燃机转子与发电机转子同轴,且尺寸较小。

微燃机发电系统由燃烧系统、涡轮发电系统和电力电子控制系统组成。助燃用的洁净空气通过高压空气压缩机加压同时加热到高温高压,然后进入燃烧室与燃料混合燃烧,燃烧后的高温高压气体到涡轮机中膨胀做功,驱动发电机,发电机随转轴以很高的速度($5 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$ r/min)旋转,从而产生高频交流电,再利用电力电子装置,将高频交流电通过整流装置转换为直流电,再经逆变器将直流电转换为工频交流电。

微燃机技术主要包括高转速的涡轮转子、高效紧凑的回热器、无液体润滑油的空气润滑轴承、微型无绕线的磁性材料发电机转子、低污染燃烧技术、高温高强度材料及可变频交直流转换的发电控制技术等。

微燃机可长时间工作,且仅需要很少量的维护,即可满足用户基本负荷的需求,还可作为备用调峰以及用于废热发电装置。另外,微燃机体积小、重量轻、结构简单、安装方便、发电效率高、燃料适应性强、燃料消耗率低、噪声低、振动小、环保性好、使用灵活、启动快、运行维护简单。基于这些优势,微燃机适用于微电网。

2.3.2 光伏发电技术

光伏(Photo-Voltaic, PV)发电技术是一种将太阳光辐射能通过光伏效应,经光伏电池直接转换为电能的发电技术,它向负荷直接提供直流电或经逆变器将直流电转变成交流电供人们使用。光伏发电系统除了其核心部件光伏电池、电池组件、光伏阵列外,往往还有能量变换、控制与保护以及能量储存等环节。光伏发电技术经过多年发展,目前已获得很大进展,并在多方面获得应用。目前用于发电系统的光伏发电技术大多为小规模、分散式独立发电系统或中小规模并网光伏发电系统,基本属于分布式发电的范畴。光伏发电系统的建设成本至今仍然很高,发电效率也有待提高,目前商业化单晶硅和多晶硅的电池效率为 13% ~ 17% (薄膜光伏电池的效率为 7% ~ 10%),影响了光伏发电技术的规模应用。由于光伏发电是在白天发电,它所发出的电力与负荷的最大电力需要有很好的相关性,因此今后必将获得大量应用。

单体光伏电池的输出电流、电压和功率只有几安、几伏和几瓦,即使组装成组件,将电池串联、并联起来,输出功率也不大。使用时往往将多个组件组合在一起,形成所谓的模块化光伏电池阵列。

光伏发电具有无须燃料、环境友好、无转动部件、维护简单、维护费用低、由模块组成、可根据需要构成及扩大规模等突出优点,其应用范围十分广泛,如可用于太空航空器、通信系统、微波中继站、光伏水泵、边远地区的无电缺电区以及城市屋顶光伏发电等。光伏发电系统由光伏电池阵列、控制器、储能元件(蓄电池等)、直流-交流逆变器、配电设备和电缆等组成,如图 2-4 所示。

一般可将光伏发电系统分为小规模分散式独立供电系统和中小规模并网发电系统,以及与小风电和柴油发电机等构成的混合供电系统。对于并网系统可不用蓄电池等储能元件,但

独立供电系统储能元件是不可缺少的,因此光伏发电系统各部分的作用和功能对不同系统而言并不是完全相同的。

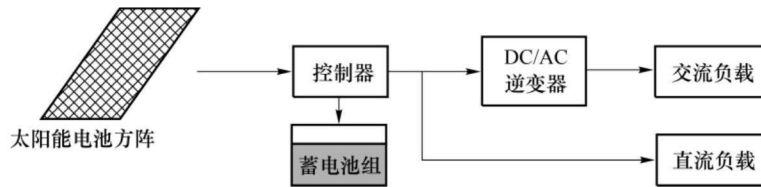


图 2-1 光伏发电系统示意图

2.3.3 燃料电池发电技术

燃料电池(Fuel Cell)主要包括碱性燃料电池、质子交换膜燃料电池、磷酸燃料电池、融入碳酸盐燃料电池、固体氧化物燃料电池等。燃料电池的分类及特性参见表 2-1。

表 2-1 燃料电池的分类及特性

电池类型	碱性燃料电池	质子交换膜燃料电池	磷酸燃料电池	熔融碳酸盐燃料电池	固体氧化物燃料电池
英文名及简称	Alkaline Fuel Cell (AFC)	Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)	Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)	Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)	Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)
电解质	KOH	质子交换膜 PEM	磷酸	$\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-K}_2\text{CO}_3$	YSZ(氧化锆等)
电解质形态	液体	固体	液体	液体	固体
燃料气体	H_2	H_2	H_2 、天然气	H_2 、天然气、煤气	H_2 、天然气、煤气
工作温度/°C	50 ~ 200	60 ~ 80	150 ~ 220	650	900 ~ 1 050
应用场合	空间技术、机动车辆	机动车辆、电站、便携式电源	机动车、轻便电源、发电	发电	发电

燃料电池在技术上尚未完全过关,电池寿命有限,材料价格也较贵。尽管国外已有各种类型和容量的商品化燃料电池可供选择,但目前在国内基本上处于实验室阶段,尚无大规模的国产商业化产品可用。

燃料电池发电技术在电动汽车等领域有所应用,其基本流程如图 2-2 所示。

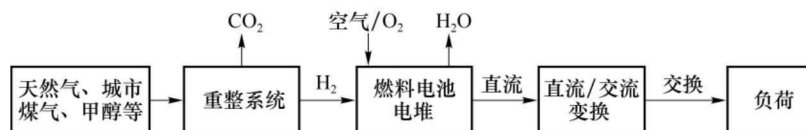


图 2-2 燃料电池发电的基本流程

这种静止型发电技术的发电效率与容量大小几乎无关,因此在小规模分布式发电的应用中有一定的优势,是一种很有前途的未来型发电技术。

2.3.4 生物质发电技术

生物质(Biomass)发电系统是以生物质为能源的发电工程总称,包括沼气发电、薪柴发电、农作物秸秆发电、工业有机废料和垃圾焚烧发电等,这类发电的规模和特点受生物质能资源的制约。可用于转化为能源的主要生物质能资源包括薪柴、农作物秸秆、人畜粪便、酿造废料、生活和工业的有机废水及有机垃圾等。生物质发电系统装置主要包括:

(1) 能源转换装置。不同生物质发电工程的能源转换装置是不同的,如垃圾焚烧电站的转换装置为焚烧炉,沼气发电站的转换装置为沼气池或发酵罐。

(2) 原动机。如垃圾焚烧电站用汽轮机、沼气电站用内燃机等。

(3) 发电机。

(4) 其他附属设备。

生物质发电的工艺流程图如图 2-3 所示。



图 2-3 生物质发电系统工艺流程图

生物质发电的优点包括:①生物质是可再生的,因此其能源资源不会枯竭;②粪便、垃圾、有机废弃物对环境是有污染的,大量的农作物秸秆在农田里燃烧会造成大气污染和生产一定的温室效应,如用于发电则可化害为利,变废为保;③由于生物质资源比较分散,不易收集,能源密度低,因此所用发电设备的装机容量一般也较小,比较适合作为小规模的分分布式发电,体现了发展循环经济和能源综合利用的方针,是能源利用的极好形式,同时也解决了部分电力需求。

2.3.5 风力发电技术

我国自 20 世纪 50 年代开始风力发电,最初是用于农村和牧区的家庭自用小风力发电机,之后在新疆、内蒙古、吉林、辽宁等省建立了一些容量在 10 kW 以下的小型风电场,还在西藏、青海等地建立了一些由小型风力发电、光伏发电和柴油机发电共同构成的联合发电系统。这些小型发电系统往往远离大电力系统而以分散的独立小电力系统的形式运行,因此可归入分分布式发电的范畴。在国外,也有在城市郊区建设少量(几台)大单机容量(1 MW 以上)的风力发电机组,并接入低压配电网,这些风力发电也可归入分分布式发电的范畴。

2.3.6 分布式储能技术

当分布式发电以独立或孤岛方式运行时,储能系统是必不可少的,因此电能储存技术和设备正越来越多地受到人们的关注。分布式储能技术主要包括蓄电池、飞轮、超级电容器、超导磁储能等。另外,还有利用电加热蓄热储能,以及制冰机冷水储能等。

2.4 分布式发电与并网技术

分布式发电接入配电网时,除基本要求外,还需要满足其他一些要求,如对配电网事故情况下的响应要求、电能质量方面的要求、形成孤岛运行方式时的要求、控制和保护方面的要求以及投运试验的要求等。