



微电网优化配置 关键技术及应用

赵波 著



科学出版社

微电网优化配置关键技术及应用

赵波 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书较为全面地介绍了微电网优化配置所涉及的内容,阐述了相关理论、模型和方法,并依托实际工程,对优化配置问题进行了详细讨论。全书共8章,第1章介绍可再生能源以及微电网基本概念;第2章介绍微电网优化配置技术体系和相关优化配置软件;第3章讨论微电网发电模型、经济模型,以及自然资源模型;第4、5章分别讨论离网型微电网和并网型微电网的优化配置问题;第6章进一步讨论了考虑综合因素下的微电网优化配置问题;第7章论述微电网优化配置软件设计与实现;第8章以实际工程为例,对不同类型典型微电网优化配置问题进行分析。

本书可供从事微电网研究及工程设计的人员参考,也可作为相关电力专业的高年级本科生和研究生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

微电网优化配置关键技术及应用/曹波著. —北京:科学出版社,2015.6

ISBN 978-7-03-044745-6

I. ①微… ②电… ③电网—电力工程—优化配置

IV. ①TM727

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第124356号

责任编辑:张海娜 王 苏 / 责任校对:桂伟利
责任印制:徐晓晨 / 封面设计:蓝正设计

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社总发行 各地书店经销

*

2015年6月第 一 版 开本:720×1000 B5

2015年6月第一次印刷 印张:21 1/4

字数:415 000

定价:128.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

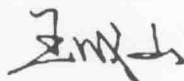
可再生能源是未来能源发展方向,开发和利用可再生能源有助于解决当前面临的能源和环境双重危机。近年来,世界各国都加大了可再生能源的发展力度。基于可再生能源的分布式发电和微电网技术凭借其优势也受到了越来越多的关注和应用。作为智能电网的有机组成部分,分布式发电与微电网技术未来将得到高速发展。

微电网是由多种分布式电源、储能系统、能量转换装置、负荷以及监控、保护装置汇集而成的小型发配电系统,是一个能够实现自我控制、保护和管理的独立自治系统,既可以与电网并网运行,也可以孤岛运行。由于微电网内常常由高比例的可再生能源分布式电源组成,电源出力波动性大、随机性强,有时需要配置不同类型的储能系统,系统组成和运行较为复杂,这对微电网优化设计提出了新的问题和挑战。微电网优化配置是微电网设计阶段需要解决的首要问题,是其能否充分发挥效用的关键,不合理的配置设计方案将会导致较差的性能表现和较低的投资效益。无论在理论研究还是示范工程建设与运行研究中,优化配置均是项目成败的关键因素之一。在微电网技术不断发展、建设项目不断增多的情况下,深入研究微电网优化配置技术与方法,具有重要的学术价值和实际意义。

赵波博士所带领的研究团队长期在分布式发电和微电网技术领域展开工作,是我国较早开展微电网技术研究的团队,近几年获得了丰富的研究成果。2010年,研究团队建成了我国首个自主研发的含多种分布式电源和储能系统的微电网实验平台,具备了较好的研究基础;同时,研究团队在微电网工程应用上积累了丰富的实践经验,如南京电力公司风光储微电网、舟山东福山岛风光柴海水淡化离网型微电网、南都光储一体化微电网、温州鹿西岛并网型微电网示范工程和温州南麂岛离网型微电网示范工程等,理论联系实际,取得了一系列重要的创新性成果。该书是赵波研究团队多年研究工作的总结,很好地阐述了微电网优化配置相关的理论和技术问题,并提出了具有较高实用价值的解决方法。

该书具有重要的学术和应用价值,相信该书的问世将对该领域的学术研究、工程应用和人才培养起到有力的推动作用。

天津大学



2015年6月19日

前 言

在能源和环境双重压力下,可再生能源发电技术得到了迅速发展。全球著名趋势学家杰里米·里夫金在其著作《第三次工业革命》中指出,第三次工业革命将向可再生能源转型,分布式发电将成为未来的趋势,每一大洲的建筑转化为微型发电厂,可方便地收集和利用可再生能源。这与微电网技术的发展趋势不谋而合。

经过几年的发展,微电网的技术研究和应用推广已度过幼稚期,市场规模稳步增长。随着相关技术的成熟、设备成本的下降及化石能源价格的持续上涨,微电网的应用场合、规模等将会发生显著变化,在未来智能电网建设中扮演重要的角色。

微电网技术研究涵盖规划设计、运行控制、故障检测与保护、电能质量及接入标准等多个方面。其中,微电网优化配置问题是微电网设计阶段需要解决的核心问题,优化配置方案的优劣将直接决定微电网是否能安全、经济运行。因此,必须加强微电网优化配置课题的研究,完善和丰富微电网优化配置技术体系,以保证微电网优化配置方案的合理性和微电网的安全、高效运营。

微电网优化配置技术涵盖的内容相当丰富,涉及自然资源特性、分布式电源模型、评价指标、运行控制策略、优化配置模型与求解方法等多个方面,是一项十分复杂的任务,现有研究在建模、运行控制策略、优化分析等方面仍存在一定的不足。

作者及其所在团队近几年一直致力于从事分布式电源及微电网的相关技术研究,有幸参与设计及调试了国内几个较有影响力的微电网示范工程。在每个示范工程的设计阶段,微电网的优化配置均是困扰作者的一个难题,它是决定示范工程是否成功的核心因素之一。基于此,作者重点开展了含多种分布式电源的微电网优化配置研究的课题,期望以基础理论的突破去辅助实际工程的设计,而实际工程的反应用以不断提高基础理论的研究深度。在这种背景下,作者决心编写一部阐述微电网优化配置分析理论、模型和方法的著作,总结近几年所取得的经验和教训。

全书共8章,现分别简述如下。

第1章简要介绍太阳能、风能、水能、生物质能、地热能和海洋能等不同可再生能源及其特点,并阐述国内外微电网的发展现状、基本概念,以及规划设计、运行控制、经济运行与能量管理、建模与仿真等关键技术。

第2章介绍微电网优化配置方法论,并从建模研究、运行策略、评价指标、约束条件、求解方法、决策方法和分析评估等方面详细阐述微电网优化配置技术体系及其内涵,并分析比较了国内外典型的混合可再生能源发电系统辅助优化软件。

第3章详细介绍目前比较常见、技术较为成熟的分布式电源发电模型,包括风机、光伏、柴油发电机等,以及常见的储能系统模型,包括铅酸蓄电池、锂电池和液流

电池等,介绍典型负荷模型、微电网经济模型及自然资源模型。

第4章以光水储柴、光储柴、风储柴、风光储柴等类型为例介绍离网型微电网的典型应用场景,详细介绍离网型微电网经济性、可靠性和环保性等方面的评价指标,进一步阐述离网型微电网的不同运行策略,分析离网型微电网优化配置模型和优化求解方法,最后通过算例分析对离网型微电网优化配置过程进行流程说明。

第5章以光储、光储柴、风光储柴等类型为例介绍并网型微电网的典型应用场景,介绍并网型微电网经济性、可靠性和环保性等方面的评价指标,详细讨论并网型微电网不同运行策略的优化配置模型,通过算例分析对并网型微电网优化配置过程进行流程说明。

第6章详细阐述考虑间歇性电源引入的不确定性、分布式电源与需求侧的综合管理、蓄电池储能设备/复合储能系统的寿命优化,以及接入位置与接入容量的相互影响等诸多因素下的微电网优化配置问题。本章是作者近几年微电网优化配置研究成果的总结,能够进一步阐述相应的微电网优化配置方法。

第7章详细分析作者团队开发的微电网优化配置工具软件的体系结构、设计流程、关键功能及有待关注和完善的方面。

第8章以东福山岛、渔山岛、鹿西岛和阿里地区的实际微电网工程为例,从工程背景、运行策略制定、优化配置模型和方法等方面,详细阐述不同类型微电网的优化配置流程和方法。读者通过本章的学习,可以加深对实际微电网工程优化配置的了解和认识。

本书介绍的绝大多数分析方法都由作者及其所在的团队编写相应的计算程序。这些分析方法和软件已在一些微电网示范工程优化设计中得到了应用。

本书由赵波负责主要编写工作。周金辉、周丹负责第1章的编写,葛晓慧、吴红斌负责第3章的编写,陈健负责第4章的编写,薛美东负责第5章的编写,张雪松、李鹏负责第7章的编写,其余章节由赵波编写。全书由赵波、陈健和薛美东负责统稿。在本书的编写过程中,得到了天津大学王成山教授的热心帮助,在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中,虽对体系的安排、素材的取舍、文字的叙述尽了最大努力,但由于作者学识有限,疏漏之处在所难免,恳切期望读者批评指正。

作者联系方式:zhaoboju@163.com。

作者

2015年3月

于浙江杭州

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 可再生能源	1
1.1.1 太阳能	1
1.1.2 风能	3
1.1.3 水能	4
1.1.4 生物质能	5
1.1.5 地热能	6
1.1.6 海洋能	7
1.2 微电网	7
1.2.1 国外发展概况	9
1.2.2 国内发展概况	12
1.3 微电网基本概念	15
1.3.1 微电网结构	16
1.3.2 微电网运行方式	18
1.4 微电网关键技术	20
1.4.1 规划设计	20
1.4.2 运行控制	20
1.4.3 经济运行与能量管理	22
1.4.4 故障检测与保护	23
1.4.5 建模与仿真	24
1.4.6 电能质量	24
1.4.7 通信技术	25
1.4.8 实验研究	25
1.4.9 接入标准	25
参考文献	26
第 2 章 微电网优化配置概述	29
2.1 优化配置方法论	29
2.2 优化配置技术	30

2.2.1	建模研究	31
2.2.2	运行策略	32
2.2.3	评价指标	32
2.2.4	约束条件	34
2.2.5	求解方法	35
2.2.6	决策方法	36
2.2.7	分析评估	37
2.3	优化配置工具软件概况	37
2.3.1	微电网系统辅助优化设计软件	37
2.3.2	微电网系统优化设计可供借鉴类软件	46
2.3.3	光伏和风电系统分析软件	50
2.3.4	现有优化软件存在的不足之处	56
	参考文献	58
第3章	微电网模型	60
3.1	自然资源分析	60
3.1.1	风资源	60
3.1.2	光资源	66
3.1.3	水资源	69
3.2	负荷分析	72
3.2.1	主要工作内容	72
3.2.2	研究现状	73
3.2.3	负荷特性指标	73
3.3	风力发电系统	77
3.3.1	输出功率模型	77
3.3.2	影响因素	78
3.4	光伏发电系统	80
3.4.1	输出功率模型	80
3.4.2	光伏电池模型	80
3.4.3	影响因素	82
3.5	储能系统	84
3.5.1	铅酸蓄电池 KiBaM 模型	84
3.5.2	铅酸蓄电池其他模型	87
3.5.3	液流电池模型	89
3.6	冷热电三联供系统	93
3.6.1	微型燃气轮机模型	94

3.6.2	电解槽-储氢罐-燃料电池循环系统模型	96
3.6.3	燃料总费用与输出功率关系模型	97
3.7	柴油发电机系统	97
3.7.1	输出功率与耗油量关系模型	97
3.7.2	输出功率与燃料费用关系模型	97
3.8	小水电发电系统	97
3.8.1	河床式小水电模型	98
3.8.2	带蓄水库的小水电模型	98
3.9	典型负荷模型	99
3.9.1	重要负荷模型	99
3.9.2	可中断负荷模型	100
3.9.3	可转移负荷模型	101
3.10	经济成本模型	104
3.10.1	基于等年值的微电网综合经济成本模型	104
3.10.2	基于总净现费用的微电网综合经济成本模型	105
	参考文献	105
第4章	离网型微电网优化配置	108
4.1	离网型微电网典型应用场景	108
4.1.1	光水储柴微电网	108
4.1.2	光储柴微电网	109
4.1.3	风储柴海水淡化微电网	110
4.1.4	风光储柴微电网	112
4.2	离网型微电网评价指标	114
4.2.1	经济性	114
4.2.2	可靠性	116
4.2.3	环保性	119
4.2.4	其他	120
4.3	离网型微电网典型运行策略	121
4.3.1	专家策略	121
4.3.2	启发式规则	132
4.3.3	运行优化	133
4.4	离网型微电网优化配置综合模型	135
4.4.1	优化变量	136
4.4.2	优化目标	136
4.4.3	约束条件	136

4.5	离网型微电网优化配置求解方法	139
4.5.1	遍历法/枚举法	139
4.5.2	智能算法	140
4.5.3	混合算法	145
4.6	算例分析	145
	参考文献	151
第5章	并网型微电网优化配置	153
5.1	并网型微电网典型应用场景	153
5.1.1	光储微电网	153
5.1.2	光储柴微电网	154
5.1.3	风光储柴微电网	155
5.1.4	风光海流能储微电网	156
5.1.5	光储热微电网	158
5.2	并网型微电网评价指标	159
5.2.1	第一类指标	159
5.2.2	第二类指标	161
5.2.3	第三类指标	161
5.3	并网型微电网典型运行策略	164
5.3.1	联络线功率控制	164
5.3.2	专家策略	164
5.3.3	调度运行	167
5.4	并网型微电网优化配置综合模型	169
5.4.1	优化变量	169
5.4.2	优化目标	170
5.4.3	约束条件	170
5.5	并网型微电网优化配置求解方法	173
5.5.1	容量优化问题求解方法	173
5.5.2	位置优化问题求解方法	174
5.6	算例分析	175
	参考文献	182
第6章	考虑综合因素优化配置	184
6.1	考虑不确定因素	184
6.1.1	不确定性因素	184
6.1.2	随机场景技术	185
6.1.3	多状态建模技术	193

6.2	考虑需求侧因素	201
6.2.1	用电满意度模式	202
6.2.2	发供电匹配模式	214
6.3	考虑储能因素	223
6.3.1	蓄电池寿命因素	223
6.3.2	复合储能系统	234
6.4	考虑光伏并网接纳能力因素	247
6.4.1	光伏消纳能力评估分析	247
6.4.2	储能设备定址定容	249
6.4.3	算例分析	251
6.5	小结	258
	参考文献	260
第7章	微电网优化配置软件	261
7.1	考虑稳态运行约束的优化配置方法	261
7.1.1	潮流计算原理	261
7.1.2	稳态运行约束条件	264
7.1.3	算例分析	265
7.2	MG-ODS 优化配置软件	270
7.2.1	优化配置软件关键功能	270
7.2.2	优化配置软件体系架构	270
7.2.3	优化配置软件实现	273
7.3	微电网优化设计软件发展趋势	278
	参考文献	278
第8章	典型案例分析	279
8.1	东福山岛微电网案例分析	279
8.1.1	项目概述	279
8.1.2	系统构成	280
8.1.3	运行策略	281
8.1.4	优化配置模型	287
8.1.5	仿真分析	290
8.1.6	实际运行情况分析	294
8.2	渔山岛微电网案例分析	295
8.2.1	项目概述	296
8.2.2	资源及负荷分析	297
8.2.3	微电网初步分析	298

8.2.4	优化配置分析	299
8.3	鹿西岛微电网案例分析	305
8.3.1	项目概述	305
8.3.2	负荷分析	306
8.3.3	资源分析	307
8.3.4	基础条件设定	308
8.3.5	系统结构	309
8.3.6	优化配置分析	310
8.3.7	可靠性分析	313
8.4	阿里地区微电网案例分析	314
8.4.1	项目概述	314
8.4.2	阿里电网现状分析	315
8.4.3	太阳能资源分析及发电量评估	316
8.4.4	基础条件设定	317
8.4.5	计算分析	318
8.4.6	储能系统优化分析	326
	参考文献	328

第 1 章 绪 论

近年来,基于可再生能源的分布式发电技术得到了越来越广泛的应用,但分布式发电同样会带来诸多潜在的问题。当大量分布式电源接入电网时,有可能造成电网对其不可控制和难以管理的局面,并引发诸如安全性和电能质量等相关问题。国内外现有研究表明,将分布式发电系统以微电网的形式接入电网,是发挥分布式发电系统效能的有效方式。本章首先对不同可再生能源及其特点进行简要介绍,然后从微电网发展现状、基本概念及关键技术等方面进行阐述,为读者全面了解微电网优化配置的关键技术提供参考和帮助。

1.1 可再生能源

可再生能源是指在自然界中可以不断再生、永续利用、取之不尽、用之不竭的资源,它对环境无害或危害极小,而且资源分布广泛,适宜就地开发利用。可再生能源主要包括太阳能、风能、水能、生物质能、地热能和海洋能等。

1.1.1 太阳能

太阳能(solar energy)是太阳内部连续不断进行核聚变反应所产生的能量。广义上的太阳能是地球上许多能量的来源,如风能、化学能、水的势能。太阳能是一种洁净能源,其开发和利用几乎不产生任何污染,加之其储量的无限性,是人类理想的替代能源。

地球上,太阳能资源的分布与各地的纬度、海拔、地理状况和气候条件有关,资源丰度一般以全年总辐射量和全年日照总时数表示。就全球而言,美国西南部、非洲、澳大利亚、中国西藏、中东等地区的全年总辐射量或日照总时数最大,为世界太阳能资源最丰富地区。

我国属太阳能资源丰富国家,太阳能年总辐射量大致为 $930\sim 2330\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{年})$ 。以 $1630\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{年})$ 为等值线,自大兴安岭西麓向西南至滇藏交界处,把中国分为两大部分,其西北地区高于 $1630\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{年})$,此线东南侧低于这个等值线。大体上说,中国有 $2/3$ 以上地区的太阳能资源较好,特别是青藏高原和新疆、甘肃、内蒙古一带,利用太阳能的条件尤其有利^[1]。根据各地接受太阳总辐射量的多少,可将全国划分为五类地区,如表 1.1 所示。

表 1.1 我国太阳能资源区域划分

地区类型	年日照时数/h	年总辐射量 /[kW·h/(m ² ·年)]	等量热量所需标 准燃煤/kg	包括的主要地区	备注
一类	3200~3300	1855~2330	225~285	宁夏北部、甘肃北部、新疆南部、青海西部、西藏西部	最丰富地区
二类	3000~3200	1625~1855	200~225	河北西北部、山西北部、内蒙古南部、宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部、新疆南部	较丰富地区
三类	2200~3000	1390~1625	170~200	山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、广东南部、福建南部、江苏北部、安徽北部、天津、北京、台湾西南部等地	中等地区
四类	1400~2200	1160~1390	140~170	湖南、广西、江西、浙江、湖北、福建北部、广东北部、陕西南部、江苏南部、安徽南部、黑龙江、台湾东北部等地	较差地区
五类	1000~1400	930~1160	115~140	四川大部分地区、贵州	最差地区

太阳能具有如下优点。

(1) 太阳光无地域限制，处处皆有，可直接开发和利用，无须开采和运输，便于采集；

(2) 开发利用太阳能不会污染环境，它是最清洁的能源之一；

(3) 每年到达地球表面上的太阳辐射能约相当于 130 万亿 t 煤，是现今世界上可以开发的最大能源；

(4) 根据太阳产生的核能速率估算，氢的储量足够维持上百亿年，而地球的寿命也约为几十亿年，从这个意义上讲，可以说太阳的能量是用之不竭的。

其缺点如下。

(1) 尽管到达地球表面的太阳辐射总量很大，但是能流密度很低；

(2) 由于受到昼夜、季节、地理纬度和海拔等自然条件的限制及晴、阴、云、雨等随机因素的影响，到达某一地面的太阳辐射照度既是间断的，又是极不稳定的；

(3) 太阳能利用装置因为效率偏低，成本较高，经济性还不能与常规能源相竞争。

太阳能发电主要有两大类：一类是太阳光发电（也称太阳能光伏发电）；另一类是太阳热发电（也称太阳能热发电）。

太阳能光伏发电是将太阳能直接转变成电能的一种发电方式，包括光伏发电、光化

学发电、光感应发电和光生物发电四种形式。在光化学发电中有电化学光伏电池、光电解电池和光催化电池。

太阳能热发电是先将太阳能转化为热能,再将热能转化成电能。它有两种转化方式。一种是将太阳热能直接转化成电能,如半导体或金属材料的温差发电,真空器件中的热电子和热电离子发电,碱金属热电转换,以及磁流体发电等;另一种是将太阳热能通过热机(如汽轮机)带动发电机发电,与常规热力发电类似,只不过其热能不是来自燃料,而是来自太阳能。

1.1.2 风能

风能(wind energy)是地球表面大量空气流动产生的动能。由于地面各处受太阳辐照后气温变化不同及空气中水蒸气的含量不同,因而引起各地气压的差异,在水平方向,高压空气向低压地区流动,即形成风。风能资源取决于风能密度和可利用的风能年累积小时数。

地球上的风能资源十分丰富。根据相关资料统计,每年来自外层空间的辐射能为 $1.5 \times 10^{18} \text{ kW} \cdot \text{h}$,其中2.5%(即 $3.8 \times 10^{16} \text{ kW} \cdot \text{h}$)的能量被大气吸收,产生大约 $4.3 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 的风能。风能资源受地形的影响较大,世界风能资源多集中在沿海和开阔大陆的收缩地带,如美国的加利福尼亚州沿岸和北欧一些国家。世界气象组织于1981年发表了全世界范围风能资源估计分布图,按平均风能密度和相应的年平均风速将全世界风能资源分为10个等级。8级以上的风能高值区主要分布于南半球中高纬度洋面和北半球的北大西洋、北太平洋及北冰洋的中高纬度部分洋面上,大陆上风能则一般不超过7级,其中以美国西部、西北欧沿海、乌拉尔山顶部和黑海地区等多风地带的风级较大。

中国风能资源丰富,最新风能资源普查初步统计结果显示,中国陆上离地10m高度的风能资源总储量约43.5亿kW,居世界第1位。其中,技术可开发量为2.5亿kW,技术可开发面积约20万 km^2 ,此外,还有潜在技术可开发量约7900万kW。另外,海上10m高度的可开发和利用的风能储量约为7.5亿kW。全国10m高度的可开发和利用的风能储量超过10亿kW,仅次于美国、俄罗斯,居世界第3位。陆上风能资源丰富地区主要分布在三北地区(东北、华北、西北)、东南沿海和附近岛屿^[2]。

风能具有如下优点。

- (1)风能为洁净能源,无污染,绿色环保;
- (2)风能设施日趋进步,大量生产降低成本,在适当地点,风力发电成本已低于其他发电机;
- (3)风能设施多为不立体化设施,可保护陆地和生态;
- (4)风能为可再生能源,可满足未来长远能源需求。

其缺点如下。

- (1) 风能具有间歇和波动性,风能无法存储(除非储存在电池里),风能也不能被驾驭,以满足电力需要的时机;
- (2) 一般比较好的风力发电站往往设在偏远地区,远离城市及负荷中心区域;
- (3) 风力发电需要大量土地来兴建风力发电场,才可以生产比较多的能源;
- (4) 进行风力发电时,风力发电机会发出巨大的噪声,造成声污染。

1.1.3 水能

水能(water energy)是一种清洁绿色能源,是指水体的动能、势能和压力能等能量资源。广义的水能资源包括河流水能、潮汐水能、波浪能、海流能等能量资源;狭义的水能资源指河流的水能资源。全球水能资源的理论蕴藏量约为 39.9 万亿 kW·h,技术可开发量约为 14.6 万亿 kW·h,其中亚洲占比最大。

我国国土辽阔,河流众多,大部分位于温带和亚热带季风气候区,降水量和河流径流量丰沛;地形西部多高山,并有世界上最高的青藏高原,许多河流发源于此;东部则为江河的冲积平原;在高原与平原之间又分布着若干次一级的高原区、盆地区和丘陵区。地势的巨大高差,使大江大河形成极大的落差,如径流丰沛的长江、黄河等落差均有 4000 多米。

我国水能资源居世界第一。根据 2003 年全国水力资源复查结果,我国水能资源的理论蕴藏量、技术可开发量分别为 6.08 万亿 kW·h 和 2.47 万亿 kW·h(随着进一步的勘察,水能资源量可能会进一步增加),均居世界第一,分别占世界水能资源的 15% 和 17%。从分布上看,主要分布在西南地区 and 长江、雅鲁藏布江等流域,四川、西藏、云南、贵州、重庆等西南省(市、地区)占比在 70% 左右,长江、雅鲁藏布江及西藏诸河、西南国际诸河占比 80% 左右^[3]。

水能具有如下优点。

- (1) 水能发电成本低,积累多,投资回收快,大中型水电站一般 3~5 年就可收回全部投资;
- (2) 水能无污染,是一种清洁能源;
- (3) 水电站一般都有防洪灌溉、航运、养殖、美化环境、旅游等综合经济效益;
- (4) 水电投资与火电投资差不多,施工工期也并不是长,属于短期近利工程;
- (5) 操作、管理人员少,一般不到火电 1/3 的人员就足够了;
- (6) 运营成本低,效率高;
- (7) 可按需供电;
- (8) 控制洪水泛滥,提供灌溉用水,改善河流航动。

其缺点如下。

- (1) 对生态有一定的破坏作用,大坝以下水流侵蚀加剧,河流的变化及对动植物

的影响等；

- (2)需筑坝移民等,基础建设投资大,搬迁任务重；
- (3)在降水季节变化大的地区,少雨季节发电量少甚至停发电；
- (4)下游肥沃的冲积土减少。

1.1.4 生物质能

生物质是指通过光合作用而形成的各种有机体,包括所有的动植物和微生物。而所谓生物质能(biomass energy)就是太阳能以化学能形式储存在生物质中的能量形式,即以生物质为载体的能量。它直接或间接来源于绿色植物的光合作用,可转化为常规的固态、液态和气态燃料,取之不尽、用之不竭,是一种可再生能源,同时也是唯一一种可再生的碳源。生物质能的原始能量来源于太阳,所以从广义上讲,生物质能是太阳能的一种表现形式^[4]。

很多国家都在积极研究和开发利用生物质能。生物质能蕴藏在植物、动物和微生物等可以生长的有机物中。有机物中除矿物燃料以外的所有来源于动植物的能源物质均属于生物质能,通常包括木材、森林废弃物、农业废弃物、水生植物、油料植物、城市和工业有机废弃物、动物粪便等。地球上的生物质能资源较为丰富,而且是一种无害的能源。地球每年经光合作用产生的物质有 1730 亿 t,其中蕴含的能量相当于全世界能源消耗总量的 10~20 倍,利用率不到 3%。

依据来源的不同,可以将适合于能源利用的生物质分为林业资源、农业资源、生活污水和工业有机废水、城市固体废弃物和畜禽粪便等五大类。

生物质能具有如下优点。

(1)生物质能属可再生资源,生物质能由于通过植物的光合作用可以再生,可保证能源的永续利用；

(2)生物质的硫含量、氮含量低、燃烧过程中生成的 SO_x 、 NO_x 较少,可有效地减轻温室效应；

(3)生物质能分布广泛,缺乏煤炭的地域,可充分利用生物质能；

(4)生物质能是世界第四大能源,仅次于煤炭、石油和天然气。随着农林业的发展,特别是炭薪林的推广,生物质资源还将越来越多；

(5)生物质能源可以以沼气、压缩成型固体燃料、气化生产燃气、气化发电、生产燃料酒精、热裂解生产生物柴油等形式存在,应用在国民经济的各个领域。

其缺点如下。

(1)由于其分散性,生物质能适合于小规模分散利用；

(2)植物的光合作用仅能将少量的太阳能转化为有机物,能量密度较低；

(3)根据现有技术和相关支持政策,生物质能的规模利用和高效利用尚有一定的困难,经济效益较差。