

—《能源工程技术丛书》—

规模化储能 技术综论

肖钢 梁嘉 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

能源工程技术丛书

规模化储能技术综论

肖 钢 梁 嘉 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

规模化储能技术综论/肖钢,梁嘉编著. —武汉: 武汉大学出版社,
2017.9

能源工程技术丛书

ISBN 978-7-307-19490-8

I. 规… II. ①肖… ②梁… III. 大规模—储能—技术—研究
IV. TK02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 174919 号

责任编辑:李 晶

责任校对:邓 瑶

装帧设计:张希玉

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: whu_publish@163.com 网址: www.stmpress.cn)

印刷: 武汉市金港彩印有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 9.5 字数: 176 千字 插页: 2

版次: 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-19490-8 定价: 76.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

储能就是对能量的存储。在本书中,储能不仅指储电,还涵盖了储热、储氢等多种形式的能量。当然,最主要的还是对电的存储。如何更好地发挥规模化储能在电力系统中的作用也是本书讨论的重点内容。

传统模式下的电力系统,即一组发电侧变量和一组用电侧变量所形成的实时平衡的系统,具有即发即用的特点。用电侧负荷普遍存在较大的峰谷变化,给发电侧带来了较大压力,造成了电力系统的诸多弊端。利用储能技术可以把多余的电力储存起来,在适当的时刻再发出去,从而在电力系统中实现储能“调节、优化、增效、保护”的功能,使电能灵活分配,优化系统资源配置,提高运行效率以及保障系统稳定运行等。

在关注经济发展的同时,世界各国也都在积极关注环境问题。我国长期以来以煤炭为主的供能结构是造成目前严重的环境污染,尤其是雾霾等恶劣天气的主要因素。我国在签署《巴黎协定》时作出了减排承诺,到2030年我国单位国内生产总值二氧化碳排放量将比2005年下降60%~65%。建设美丽中国,就势必要进行能源结构调整,依靠绿色电力来支撑未来经济发展。在能源领域,可再生能源不仅被视为解决环境问题的有效手段,它还是满足人类能源需求的终极答案之一。在我国,通过大力发展可再生能源替代传统化石能源来满足能源需求增长的新征途已经开始——“十三五”能源规划提出,到2020年我国一次能源消费总量将控制在48亿吨标准煤左右,非化石能源占一次能源消费的比重将达到15%。虽然我国能源发展转型,大力发展可再生能源已经形成共识,但是可再生能源如风能、太阳能发电受到季节、昼夜、天气等多种因素影响,其发电具有不确定性和随机性,并网比例的上升会对电网安全造成严重影响。而储能对于可再生能源与电网友好接入起着至关重要的作用,所以为了实现可再生能源的大规模应用,就必须大力发展规模化储能。

现阶段,我国正在大刀阔斧地进行电力改革,也在不断探索发电、输电、售电等多个环节的革新,市场价格机制的改变可以为储能提供合理补偿甚至收益。储能在需求响应、辅助服务等领域已经显示出广阔的市场前景。

除此之外,新能源汽车的迅猛发展也在强力推动着储能产业的扩容。

总之,储能已成为能源结构转变的战略性支撑,它在可再生能源、节能减排、分布式发电和微网、新能源汽车和能源互联网等领域都有着巨大的潜力。

虽然储能如此重要,但是目前储能的商业化应用仍然面临效率较低、稳定性不足、规模化应用成本偏高、市场不成熟等问题。规模化储能还只是在与大型风电场和光伏电站相结合、电能质量调整、分布式发电与微网构建、电力输配侧应用等领域有示范和小规模商业化项目,还未实现大规模的商业化应用。

在储能产业化的初期,政策扶持具有非常重要的作用。为了推动储能产业健康发展,我国自2015年以来密集出台多项推动储能产业快速、健康发展的政策。《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》将发展储能和电动汽车应用新模式作为十大重点任务之一;《能源技术革命创新行动计划(2016—2030年)》和《能源技术革命重点创新行动路线图》明确了我国能源技术革命的总体目标,针对各类新型的储能技术提出具体的创新行动目标;《关于促进电储能参与“三北”地区电力辅助服务补偿(市场)机制试点工作的通知》明确了电储能设施的独立市场主体地位;《可再生能源发展“十三五”规划》中提出要推动储能技术在可再生能源领域的示范应用,实现储能产业在核心技术、应用领域和市场规模等方面的突破。尤其重要的是2017年国家能源局印发的《关于促进储能技术与产业发展的指导意见(征求意见稿)》首次明确了储能在我国能源产业中的战略定位——储能是推动主体能源由化石能源向可再生能源更替的关键技术,是构建能源互联网、促进能源新业态发展的核心基础,是提升传统电力系统灵活性、经济性和安全性的重要手段;提出了未来十年储能领域的发展目标——“十三五”期间实现储能由研发示范向商业化初期过渡,“十四五”期间实现其由商业化初期向规模化发展转变;还突出了储能发展的五大任务——储能技术装备研发示范工程,可再生能源利用水平提升工程,电力系统灵活性、稳定性提升工程,用能智能化水平提升工程和储能多元化应用支撑能源互联网发展工程。

从世界范围来看,现阶段储能仍处于发展的初期阶段,但近年来我国的储能行业已经呈现出多头并进的良好态势:传统的抽水蓄能等储能应用规模持续扩大;超导储能和超级电容等电气类储能,铅酸电池、锂离子电池、液流电池等电化学类储能和压缩空气储能等技术不断优化升级;储热、氢储能等也取得了不小的进展。随着相关政策的不断出台和实施,储能的技术和工艺将得到快速的提升,储能的成本也将大幅下降。在不远的未来,规模化储能完全能够利用自身效能实现巨大的经济价值,走上可持续发展的道路。

由于规模化储能技术的发展日新月异,同时作者水平有限,本书难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

肖 钢

2017年7月1日

目 录

1 概述	1
1.1 储能的定义	1
1.2 储能的发展和应用	1
1.3 储能技术的分类	2
1.4 储能在电力系统中的应用与发展	3
2 机械能储能	5
2.1 概述	5
2.2 抽水蓄能	6
2.3 压缩空气储能	10
2.4 飞轮储能	15
2.5 小结	19
3 电气类储能	21
3.1 概述	21
3.2 超导储能	21
3.3 超级电容储能	24
3.4 小结	28
4 电化学储能	29
4.1 概述	29
4.2 铅酸电池	31
4.3 钠硫电池	38
4.4 液流电池	44
4.5 锂离子电池	53
4.6 电池储能系统的典型构成	63
4.7 小结	64
5 化学类储能和热储能	65
5.1 化学类储能	65
5.2 热储能	71
6 储能技术的比选	76
6.1 表征储能特性的参数	76

2 规模化储能技术综论

6.2	储能技术对比	77
6.3	储能系统容量的选择	83
6.4	小结	84
7	可再生能源并网与储能	85
7.1	可再生能源的快速发展遭遇瓶颈	85
7.2	储能在可再生能源并网中的作用	86
7.3	典型示范工程介绍	87
7.4	风电场储能系统设计	90
7.5	风电场储能的容量匹配性分析	103
7.6	风电场储能的经济性分析	108
8	智能电网与储能	111
8.1	智能电网	111
8.2	储能在智能电网中的作用	113
9	分布式发电、微网与储能	114
9.1	分布式发电及微网	114
9.2	储能在分布式发电及微网中的应用	118
9.3	示范项目和工程应用	120
9.4	发展前景	121
10	新能源汽车与储能	122
10.1	概述	122
10.2	电动汽车与电网	126
10.3	电动汽车电池的梯次利用	128
10.4	小结	129
11	能源互联网与储能	130
11.1	能源互联网的提出与发展	130
11.2	储能在能源互联网中的作用	133
	参考文献	135

1 概 述

1.1 储能的定义

目前,人类所使用的大部分能源都是以不同形式储存下来的太阳能。煤炭、石油、天然气等化石能源就是太阳能在数十亿年的时间里所累积的产物,而水能、风能等可再生能源则是太阳能以年为单位累积的产物。

自然界中的能源供给通常都是不均衡的,由地理位置、季节气候等自然条件所决定。能源的需求同样不均衡,而且时常与能源的供给完全不匹配。因此,在能源的供给和需求之间就迫切需要一种装置,实现能量在空间和时间上的转移,这就是储能。

储能,即能量的存储。

广义的储能是指通过某种介质和装置,把以电能、热能、机械能、化学能等为代表的某一种形式的能量,转化为另一种形式的能量存储起来,在需要的时候再将其转化为特定形式的能量并释放出来的一系列的技术和措施,它包括煤、石油、天然气等化石能源以及电力、热能、氢能、成品油等二次能源的存储。

狭义的储能一般是指电能的存储。因为电能是目前应用最广泛的二次能源,所以储能的转换大多与电能的生产、利用和消耗相关。电能的存储是储能中最为重要的形式。

1.2 储能的发展和应用

18世纪末,随着第一块电池——“伏特电堆”的出现,人们开始把储能与“电”紧紧地联系在一起。19世纪,铅酸电池的发明逐渐揭开了工业储能的序幕。进入20世纪,电力行业的高速发展、电子产品的快速普及以及可再生能源的大规模应用驱动着储能产业向前发展,各种新型储能技术不断出现,储能向着大型化、高效率、低成本的方向发展。

传统电力系统的运行必须时刻保持发电与负荷之间的动态平衡,也就是“即发即用”。因此,电力系统的规划、建设和运行保障等都遵循“供需平衡”的基本原则。随着社会经济的发展和人们生活水平的不断提升,电力系统中的高峰负荷也在不断地大幅增加。为了满足这些短时间的高峰负荷,发电企业和电网公司只能不断地投资发电、输电、配电等电力设备,这导致电力系统的整体负荷率偏低,电力资产的综合利用率也较低。

对于电力系统应用而言,储能的作用体现在功率等级及其作用时间上。储能的作用时间是区别于传统电力系统即发即用设备的最显著的标志,先进、高效的大规模储能系统能够为这些问题的解决和电力系统升级改造提供有效手段。

传统化石能源的日益匮乏和环境的日趋恶化驱动着可再生能源的发展。以传统化石能源为代表的火力发电通常按照用电负荷进行调度。以风能、太阳能为代表的可再生能源发电则取决于自然资源条件,它具有天生的波动性和不确定性,调节控制的难度较大。先进、高效的大规模储能可以在很大程度上缓解可再生能源发电的不确定性和波动性,使间歇性的、低能源密度的可再生能源得到更广泛的利用。

实际上,规模化储能技术的应用贯穿于电力系统的发电、输电、配电、用电各个环节,可以满足高峰负荷的供电需求,有效减少发电厂和电网不必要的建设,提高现有发电装机的利用率和电网的运行效率;可以有效应对电网故障,提升用电可靠性;实施削峰填谷、计划跟踪、平滑输出等策略,有效降低可再生能源发电的波动性和不确定性,减少弃风、弃光造成的浪费;实现电动汽车的规模化使用,并可通过“梯次利用”等技术实现与电力系统的有效配合。

总而言之,规模化储能技术能够改变现有电力系统必须供需瞬时平衡的传统模式,它在未来的能源革命中将会发挥越来越重要的作用。

1.3 储能技术的分类

按照不同的分类方法,储能技术有如下的分类。

(1) 按照储能的原理分类,储能可分为:机械能储能、电化学储能、电气类储能、热储能以及化学类储能等。

(2) 按照储能的时间长短分类,储能可分为:短时储能,通常放电时间为数秒到数分钟;中期储能,通常放电时间为数分钟到数小时;长期储能,通常放电时间为数小时到数天。

(3) 按照储能的功能分类,储能可分为:能量型储能(energy-usage energy storage, EES)和功率型储能(power-usage energy storage, PES)两种。能量型储能的特点是比能量高,放电相对较慢,主要用于较大能量输入和输出的场合;功率型储能的特点是比功率高,以高放电率快速放电,主要用于瞬间高功率输入和输出的场合。

在之后的章节中,我们将按照储能技术的分类来分别介绍机械能储能、电气类储能、电化学储能、化学类储能和热储能。其中,机械能储能主要包括抽水蓄能、压缩空气和飞轮储能;电气类储能包括超导储能和超级电容储能;电化学储能主要包括铅酸电池、锂离子电池、液流电池和钠硫电池等电池储能技术;化学类储能主要是指利用氢(H_2)或合成天然气(SNG)作为次级能量载体的储能方式;热储能主要指通过利用水等相变材料将电能转变为热能的储能方式。

1.4 储能在电力系统中的应用与发展

目前,我国的电力系统广泛采用集中式供电方式,发电中心与负荷中心在空间上往往存在较长的距离,电能需求曲线与供给曲线在时间上也往往不匹配,导致电力系统的低效率。

如图 1-1 所示,将储能引入电力系统可对其各个环节产生帮助。

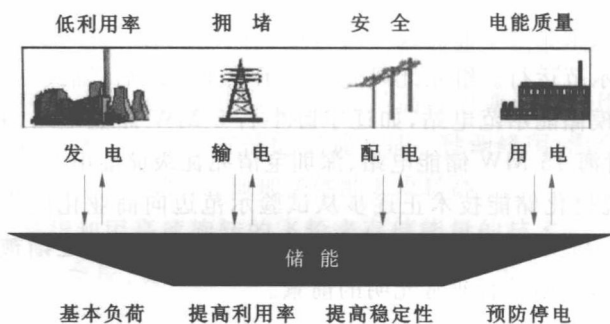


图 1-1 储能系统在电力系统中的应用

在可再生能源并网方面,以风电、光伏为代表的可再生能源发电普遍都存在波动性和不确定性,如果大量并网将对电网的稳定运行产生冲击。储能系统可以对可再生能源发电进行能量缓冲与调节,以便其更好地被电网所接纳,从而提高可再生能源发电的利用率。

从电网侧来看,如果通过新增发电和输配电设备的方法来满足不断增加的高峰负荷,那么需要增加昂贵的设备投资,同时扩容的容量利用率非常低。此

外,传统的火力发电站、水力发电站以及核电站对负荷的响应时间较长,通过增加设备容量的方法难以做到对需求的快速响应。因此,建设包括抽水蓄能电站在内的各类大型储能电站进行电力调峰和电能质量优化,可以起到能量缓冲的作用。

从用户侧来看,随着信息技术、网络技术和自动化技术的快速发展,一些重要的用电设备对电能质量提出了更高的要求。储能系统可以对电网电压波动、频率偏移、谐波、三相不平衡等电能质量问题进行优化,对断电、电涌等突发事件提供应急保护,有助于满足用户更高的用电要求。

在中关村储能技术联盟(CNESA)发布的《储能产业研究白皮书(2011)》中,也对储能在电力系统中的意义进行了归纳,主要包括未来电网的必要需求、大规模可再生能源的接入、削峰填谷节约能源、提高电网效率延缓建设、保证电力系统的安全性这五大方面。

考虑到规模化储能对我国能源发展和能源保障的重要意义,近年来国家频繁出台针对储能的利好政策。除了《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》外,中华人民共和国国家发展和改革委员会(以下简称“发改委”)、国家能源局也陆续颁布了《电储能参与“三北”地区电网调峰辅助服务的通知》《能源技术革命创新行动计划(2016—2030年)》《关于在能源领域积极推广政府和社会资本合作模式的通知》等一系列重要政策,极大地促进了我国储能的产业化发展。

强有力的政策驱动了储能技术的快速发展。目前,许多兆瓦级电池储能系统已经进行了示范运行。继张北风光储输示范工程之后,陆续出现了一大批有代表性的大规模储能示范电站,如辽宁卧牛石5 MW储能电站、甘肃酒泉兆瓦级储能电站、青海15 MW储能电站、深圳宝清兆瓦级储能电站等。

现阶段,规模化储能技术正逐步从试验示范迈向商业化应用,如何实现高能量转换效率、高安全性、低成本、长寿命等关键技术也在逐渐被突破。未来,规模化储能技术应用具有非常光明的前景。

2 机械能储能

2.1 概 述

目前比较常见的机械能储能(mechanical energy storage)技术主要包括抽水蓄能(pumped hydroelectric storage, PHS)、压缩空气储能(compressed air energy storage, CAES)和飞轮储能(flywheel energy storage, FES)这三种。

抽水蓄能是其中技术最为成熟、应用最为广泛的规模储能方式。抽水蓄能电站有高、低两个不同水位的水库,在电力负荷低谷期将水从低水位水库抽到高位水库,将电能转化成重力势能储存起来;在电网负荷高峰期通过释放高位水库中的水来发电而满足负荷需求。目前,抽水蓄能的装机容量在总装机容量中的比重,世界平均水平不超过5%,仅有部分国家超过10%。抽水蓄能电站现已被广泛地应用于电力系统调峰、调频和应急备用等,但是它对选址要求较高,在建设场地上受到了限制。

压缩空气储能是指通过将空气压缩并将其存储在岩洞、深井中,在电力负荷较低时可以吸收电网中的富余电能,在负荷高峰时通过释放压缩空气来驱动燃气轮机发电的技术。压缩空气储能实质上是一种调峰用、混合式发电厂。压缩空气储能与抽水蓄能类似,对地理条件的要求较高。

飞轮储能是指利用高速旋转的飞轮来存储能量的技术。飞轮储能具有功率密度高、使用寿命长、安装维护方便、对环境危害小等优点。近十多年,随着高强度复合材料、磁悬浮技术、高速电机以及电力电子技术的迅猛发展,飞轮储能呈现出了巨大的发展潜力。

下面我们分别对抽水蓄能、压缩空气储能和飞轮储能进行介绍。

2.2 抽水蓄能

2.2.1 抽水蓄能的原理及特点

在电网的负荷较低时,抽水蓄能电站利用过剩电力将水从低标高的水库抽到标高高的水库;在电网峰荷时,高度较高水库中的水回流到高度较低水库推动水轮发电机发电(图 2-1)。

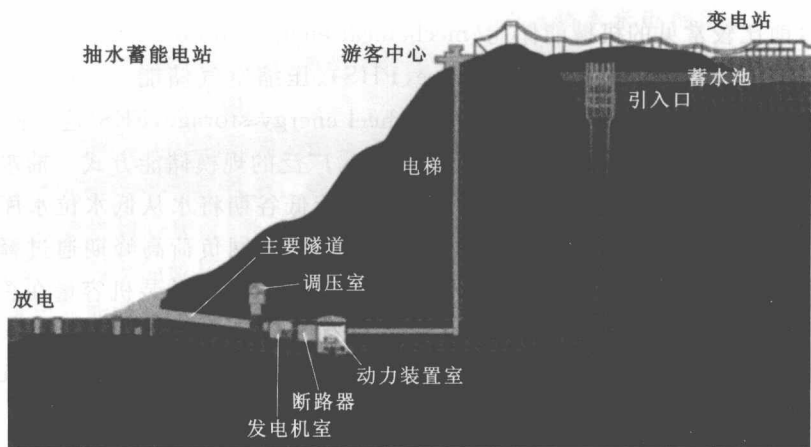


图 2-1 抽水蓄能示意图

这种储能方式早在 18 世纪 90 年代就在意大利和瑞士等国家开始使用。在规模化储能技术中,抽水蓄能技术是最成熟、最实用、所占比重最大的储能方式。

目前,抽水蓄能电站的综合效率为 65%~80%,比如我国装机容量为 180 万千瓦的天荒坪抽水蓄能电站,从 1998 年 9 月首台机组投产发电到 2008 年 8 月底共计完成高峰发电电量 207.67 亿千瓦时,低谷抽水电量 258.65 亿千瓦时,综合效率达到 79.2%。

作为规模化储能技术的代表,抽水蓄能电站主要承担对电力系统的调峰、调频和事故备用等重要作用,能有效提高系统的能源利用率和综合效率。

按照不同的分类方式,抽水蓄能电站有以下几种分类:

- ① 按照布置特点可分为地面式、地下式和半地下式的抽水蓄能电站;
- ② 按水库座数和位置可分为两库式、三库式、地下下池式抽水蓄能电站;

③ 按机组组成和功能作用可分为纯抽水蓄能电站、混合式抽水蓄能电站、调水式抽水蓄能电站；

④ 按水库调节性能可分为日调节、周调节、季调节、年调节等抽水蓄能电站。

抽水蓄能的特点:能够实现大规模、集中式的能量储存,技术成熟、转换效率较高;具有日调节能力,适合于配合核电站、大规模风力发电和光伏发电等;建设成本低、使用寿命长、运行安全稳定、清洁环保等。但是抽水蓄能电站的建设依赖特殊的地理条件,所以其发展具有一定的局限性。

2.2.2 国内外应用和发展

在规模化储能技术中,抽水蓄能起步较早,规模上也占据绝对优势。

美国、日本和欧洲经济发达国家和地区在 20 世纪 60—70 年代就进入了抽水蓄能电站建设的高峰期,目前他们的机组容量占世界抽水蓄能电站总装机容量的 55% 以上。据美国能源部全球储能数据库 2016 年 8 月的数据显示,全球累计运行的抽水蓄能项目总装机容量为 16 123 万千瓦(316 个在运项目),占全球全部储能装机的 96%。其中,美国抽水蓄能装机容量为 2 256 万千瓦(38 个在运项目),占美国全部储能装机的 94%;日本抽水蓄能装机容量为 2 617 万千瓦(41 个在运项目),占日本全部储能装机的 99%;德国抽水蓄能装机容量为 653 万千瓦(28 个在运项目),占德国全部储能装机的 86%(表 2-1)。

表 2-1 最近 20 年国外投入运行的 8 大抽水蓄能电站

电站	国家	装机容量/MW	投入年份
落基山	美国	760	1995 年
锡亚比舍	伊朗	1 000	1996 年
奥清津 II	日本	600	1996 年
葛野川	日本	1 600	1999 年
拉姆它昆	泰国	1 000	2000 年
金谷	德国	1 060	2003 年
神流川	日本	2 820	2005 年
小丸川	日本	1 200	2007 年

与上述国家相比,我国抽水蓄能电站的建设起步较晚,20世纪90年代才开始进入发展期。我国抽水蓄能电站的整机、监控、励磁、调速和启动装置的设计和制造技术,特别是核心技术和重要部件的制造技术,与国外公司仍然存在差距。

中国电力工程顾问集团公司的研究显示,在以煤电为主的电力系统中,以调峰为目的的建设抽水蓄能电站是目前最经济的方案。理论上,抽水蓄能的容量占总发电装机的7%~15%比较合适,但是目前我国只有约2%,比重较低。

基于此,我国发改委于2014年11月发布的《关于促进抽水蓄能电站健康有序发展有关问题的意见》中明确指出,要适度加快抽水蓄能电站的建设步伐,到2025年全国抽水蓄能总装机容量达到1亿千瓦。在该政策的刺激下,抽水蓄能的建设开始提速。“十二五”时期,我国抽水蓄能电站总开工规模创历史新高。数据显示,“十二五”时期的前4年,我国累计开工共计11座电站,总规模达1460万千瓦,包括金寨抽水蓄能电站等。

金寨抽水蓄能电站位于安徽省六安市金寨县的响洪甸水库上游(图2-2),总装机容量为120万千瓦(4台单机容量30万千瓦发电机组),年设计抽水电量为26.8亿千瓦时,发电量为20.1亿千瓦时。该电站于2015年6月开工建设,预计到2020年全部投产完成。

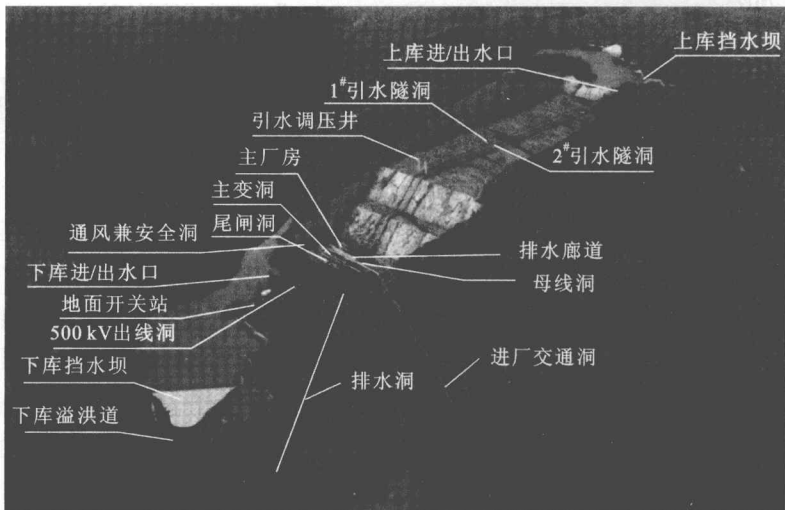


图 2-2 金寨抽水蓄能电站三维透视图

仙居抽水蓄能电站是目前国内单机容量最大的抽水蓄能电站(图 2-3)。它位于仙居县湫山境内,地处浙东南用电负荷中心。该电站共安装 4 台 37.5 万千瓦的立轴单级可逆混流式抽水蓄能机组,总装机容量为 150 万千瓦。该抽水蓄能电站于 2010 年年底开工建设,2016 年年末建成并全面投产。其核心部件的水泵水轮机、发电电动机以及自动控制系统均由我国自主设计、开发和制造,这标志着我国完全实现了抽水蓄能机组设计和制造的自主化并顺利通过多台机组运行检验。



图 2-3 国内单机容量最大的抽水蓄能电站——浙江仙居抽水蓄能电站

截至 2016 年 4 月,我国的抽水蓄能电站装机容量为 5 032.5 万千瓦(其中运行容量 2 338.5 万千瓦,在建容量 2 694 万千瓦),在运行的项目有 34 个,主要集中在我国东部沿海地区。

当前,随着我国能源供应出现了阶段性宽松,我国能源发展的不平衡、不协调、综合效率不高等问题逐步显现出来,突出表现为煤炭产能过剩、煤电利用小时数下降、系统调节能力与可再生能源发展不相适应等。解决这些问题的主要途径就是优化能源系统,这就必须加大我国抽水蓄能的建设力度。因此,《水利改革发展“十三五”规划》中指出,在“十三五”期间,全国计划新开工抽水蓄能电站将达 6 000 万千瓦,到 2020 年抽水蓄能总装机容量将达 4 000 万千瓦。随着调峰需求的日益增加,我国的抽水蓄能电站建设进入加速期。

“十三五”期间,我国还将重点研究试点海水抽水蓄能技术,力争掌握规划、设计、施工、运行、材料、环保、装备制造等整套技术,推动建设海水抽水蓄能电站示范项目。

2.3 压缩空气储能

2.3.1 压缩空气储能的原理及特点

1. 压缩空气储能的原理

压缩空气储能以空气为储能介质。大型压缩空气储能装置利用电力系统负荷低谷时的剩余电量,由电动机带动空气压缩机将空气压入并储存在一个地下的结构,即将电能转化成压缩空气的气压势能贮存于贮气室中;在用电高峰期,可将压缩空气经换热器与油或天然气混合燃烧导入燃气轮机进行做功发电,以满足系统调峰需要。

压缩空气储能系统包括储气室、电动机/发电机、燃气轮机、功率变换器等(图 2-4)。

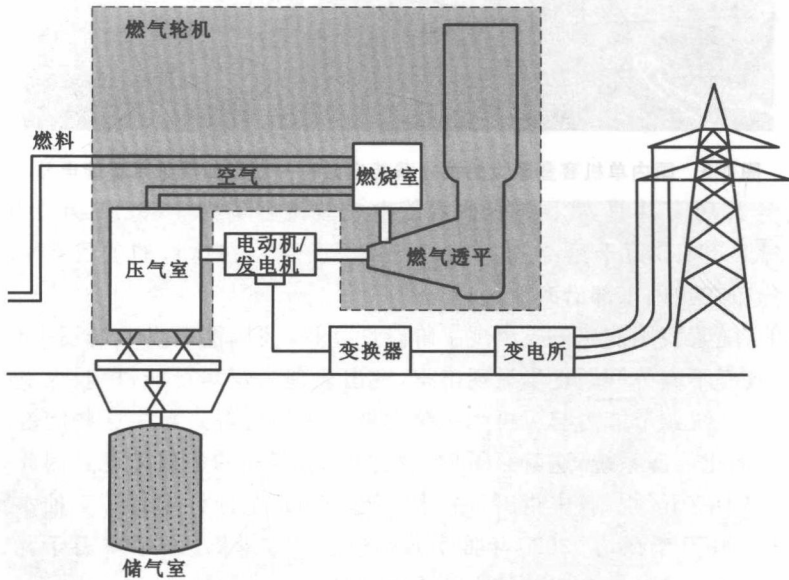


图 2-4 压缩空气储能系统组成示意图

(1) 储气室。

任何压缩空气储能系统都有储存压缩空气用的储气库。因为压缩空气储能系统所需要的空气量非常巨大,在地面上储存相对困难,所以大部分需要在地下进行储存,通常选用地下储气库、岩洞或者废矿井等。储气室有三种地下