

广东抽水蓄能电站功能发挥情况研究

罗莎莎¹, 韩冰¹, 刘云¹, 刘国中²

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663;

2. 中国南方电网有限责任公司调峰调频发电公司, 广州 510630)

摘要: 全面回顾了广东抽水蓄能电站的运行历程, 重点总结了广州抽水蓄能电站投运 20 多年来所发挥调峰、调频、调相、事故备用、黑启动等功能的情况以及惠州抽水蓄能电站近 5 年来的运行情况, 并通过对广东电网不同发展阶段典型运行方式分析, 研究了系统调度发挥抽水蓄能电站不同功能的运行规律和演变过程。文章可为改善抽水蓄能电站的调度运行管理和后续规划提供重要参考。

关键词: 抽水蓄能电站; 运行功能; 运行效益

中图分类号: TV743

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)03-0069-06

Research on the main functions of pumped-storage plants in Guangdong

LUO Shasha¹, HAN Bing¹, LIU Yun¹, LIU Guozhong²

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. CSG Power Generation Company, Guangzhou 510630, China)

Abstract: This paper reviews previous operations of pumped-storage plants in Guangdong and summaries main functions of Guangzhou Pumped-storage Plant over last two decades and Huizhou Pumped-storage Plant over the past five years, such as peak regulation, frequency regulation, phase regulation, emergency reserve and black start-up. According to the analysis of typical operation patterns of Guangdong power system during different stages of development, this paper also studies the patterns and transition of various functions of pumped-storage plants in power system. This paper can possibly serve as a major reference to improve dispatching operation and planning of pumped-storage plants.

Key words: pumped-storage plant; operation function; operation benefit

广州抽水蓄能电站(以下简称广蓄)自 1993 年投产以来,在广东电力系统中已运行约 20 多年,发挥了调峰、调频、调相等静态功能以及事故备用、黑启动等动态功能,机组年均总启动次数超过 1 万次、年应急启动次数十余次,对保障系统供电安全、提高供电质量发挥了重要作用^[1-2]。惠州抽水蓄能电站(以下简称惠蓄)于 2009 年建成投产,主要是配合南网西电东送战略,在受端地区建设抽

水蓄能电站吸纳低谷电能,减少西电低谷弃水,充分利用西电资源。整理和归纳广蓄和惠蓄自投产以来的运行情况及功能发挥情况,总结过去若干年的运行经验,有助于提高对抽水蓄能电站的认识,更好地发挥抽水蓄能电站在电力系统中的作用,可为改善抽水蓄能电站的调度运行管理和后续规划提供重要参考,也有利于做好后续广东省中长期抽水蓄能电站的规划和建设工作^[3-4]。

1 广东抽水蓄能电站概况及建设必要性

1.1 广州抽水蓄能电站

广蓄电站总装机容量 2.4 GW,分两期建设,首台机组于 1993 年 6 月投产,2000 年 6 月全部投入商业运行。大亚湾核电站投产后,系统存在约 1.0 GW 的调峰缺口。广蓄电站有助于解决电网低

收稿日期: 2017-08-09

基金项目: 中国能建广东院科技项目“抽水蓄能电站关键技术研究”(EX03741W)

作者简介: 罗莎莎(1988),女,湖北荆门人,工程师,硕士,主要从事电源规划优化、调峰电源运行规划等研究工作(e-mail) luoshasha@gedi.com.cn。

谷时段吸收大亚湾核电出力困难的问题,进而保障粤、港电网的安全经济运行。此外,广蓄电站可充分利用广东部分弃水电量抽水蓄能,系统负荷高峰时发出,缓解系统的调峰压力^[5]。

1.2 惠州抽水蓄能电站

惠蓄电站总装机容量 2.4 GW,2009 年底第一台机组投入运行,2011 年 7 月,8 台机组全部投产。建设惠州抽水蓄能电站不仅是广东电力需求快速增长的需要,更是广东电源结构优化、“西电东送”的需要,它的建设对提高系统运行的安全性、可靠性和灵活性具有十分重要的意义^[6]。

2 广蓄投产 20 年以来广东电力系统发展情况及典型发展阶段

2.1 广东电力系统 20 年发展回顾

20 世纪 90 年代以来,广东省电力需求旺盛,广东电力供应不足,缺少备用容量。从 2004 年开始广东逐渐出现了电力电量双缺的供应紧张形势。2008—2009 年,受经济危机影响,企业开工有所减少,用电量增长速度放缓。2010 年开始随着经济的复苏,用电量较 2009 年大幅增长,尤其是 2011 年由于缺煤少水导致全省总体缺电超过 10%,供需矛盾十分尖锐。2012 年,全省电力供需形势趋于缓和,广东全年未发生电源性计划错峰,仅有部分时段因检修原因导致网络受限错峰。广东电力供应形势情况见图 1。

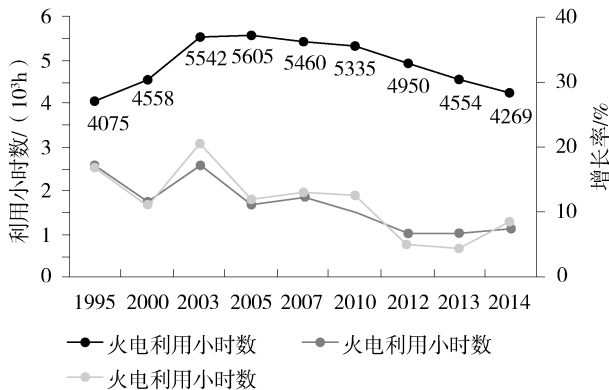


图 1 广东电力供应形势情况

Fig. 1 Power supply in Guangdong province

2.2 广东电力系统典型发展阶段划分

为了更好地分析广蓄电站 20 年在广东电力系统中发挥的作用,将广东电力系统发展历程划分为 3 个阶段。

2.2.1 阶段一(1995—2003 年)

该阶段电力负荷需求约(13.6~34.0)GW,省内装机规模(22.7~39.2)GW,接受西电电力(0.16~5.68)GW,西电电量(1.5~15.9)TW。广东省电力供应缺乏,备用容量不足。电网调节手段较少,煤电机组整体调节能力较差。

2.2.2 阶段二(2004—2011 年)

该阶段电力负荷需求约(44.1~71.5)GW,省内装机规模(42.6~76.3)GW,接受西电电力(7.38~24.38)GW,西电电量(54~100)TW。广东省电力紧缺,供需不平衡,电力电量双缺。该阶段广东新建一批燃气燃油电厂,调节手段增多。

2.2.3 阶段三(2012—2014 年)

该阶段省内装机规模(78.1~91.63)GW,接受西电(24.38~321.39)GW,西电电量(11.27~15.74)GW,负荷需求约(82.0~92.5)GW。该阶段广东省供需形势好转,系统中超过 80% 的煤电机组安装了 AGC,大煤电机组多,调节能力强。

3 广蓄电站运行功能总结

3.1 广蓄电站典型运行方式及运行规律

在广东电力系统三个发展阶段中,广蓄电站年利用小时数、启动次数、年发电量等运行参数都是呈现先增大,后减小的规律。从效率方面来看,机组效率基本上在 77.1%~78.8% 之间变化。广州抽水蓄能电站运行情况见表 1。

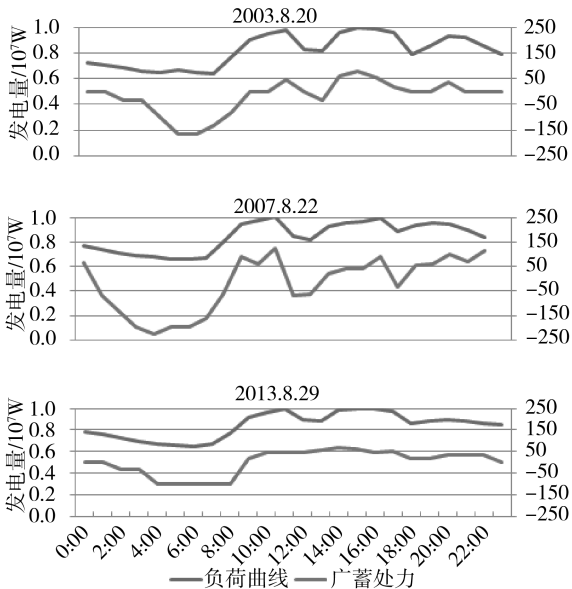
表 1 广州抽水蓄能电站运行情况

Tab. 1 Operation of GZPP (Guangzhou pumped-storage plant)

年份	利用小时数/h	启动次数/次	发电量/TWh	发电效率/%
2000	1 221	7 702	2.93	78.76
2001	1 017	6 848	2.44	78.71
2002	938	8 062	2.25	77.85
2003	913	8 082	2.19	77.11
2004	1 288	11 220	3.09	77.64
2005	1 363	11 451	3.27	77.67
2006	1 375	11 971	3.30	77.83
2007	1 654	11 855	3.97	77.84
2008	1 554	10 493	3.73	78.20
2009	1 421	8 943	3.41	76.80
2010	1 579	9 028	3.79	78.79
2011	1 554	8 509	3.73	77.87
2012	908	5 109	2.18	77.58
2013	625	3 653	1.50	77.32
2014	908	5 751	2.18	77.10

注:发电效率为含天然来水的循环效率,下同。

广蓄典型日出力曲线与广东日负荷曲线变化趋势基本吻合, 即负荷较高时段蓄能处在发电状态, 负荷较低时段处在抽水状态。广蓄出力曲线与负荷曲线对比如图2所示。



注: 2013年, 因近区短路电流过高, 广蓄电站开机受限。

图2 广蓄出力曲线与负荷曲线对比图

Fig. 2 Power curve of GZPP and load curve of Guangdong province

第一阶段和第二阶段中午负荷降低时段广蓄均有开泵运行, 配合调峰。第二阶段广蓄使用最多, 一方面是因为这一阶段广东电力供应紧张, 需广蓄顶峰发电, 另一方面, 调度机构CPS考核严格, 广蓄电站作为主调频电厂使用频繁。第三阶段, 受制于增城近区短路电流水平过高, 网络受限较大程度上影响了广蓄电站的功能发挥, 另外, 此阶段广东电力供需形势宽松, 广东电网公司对广蓄机组采用“电力紧缺时, 以发定抽; 汛期以及节假日, 以抽定发; 枯期, 少抽少发”的原则, 使用减少。

3.2 广蓄电站功能发挥情况及其演变

3.2.1 广蓄电站功能发挥情况

3.2.1.1 调峰

第一阶段, 广蓄电站建设之初主要是配合大亚湾核电运行, 广蓄电站低谷抽水, 保证核电站平稳出力。

第二阶段(2008—2009年除外), 在系统电力供应紧张时期, 广蓄电站采用“以发定抽”的原则, 替代同等规模的火电装机, 顶峰发电, 配合解决高峰电力供应问题。

第三阶段, 广东汛期西南水电基本不参与调峰, 在汛期来水较充裕时期或节假日期间以及夏季强台风期间, 省内煤电机组的低谷降出力压力大大增加。广东蓄能机组在汛期、春节期间有效配合解决低谷电力盈余, 保证核电、煤电机组平稳运行, 以及多吸收西电电量。

3.2.1.2 调频

第一阶段, 广东电网电源结构简单, 以火电为主, 除了煤电机组的调速器进行有差一次调频之外, 只有部分有调节功能的水电和广蓄电站参与系统调频, 广蓄投运AGC容量占系统投运AGC总容量比重高达79%, 发挥了主调频的功能。

第二阶段, 火电AGC机组投曲线跟踪模式, 未自动跟踪负荷, 系统的调节策略是采用省内水电和蓄能机组实时跟踪负荷, 广蓄电站在系统中仍承担主调频任务, 起到快速跟踪负荷, 迅速调频作用。

第三阶段, 随着广东煤电机组调频容量增加, 系统AGC调节容量充足, 另外, 火电机组一次调频、AGC参数不断改进提高, 广东电力系统转变成采用火电机组作为主调频、水电和蓄能机组作为辅助调频的调频模式。广蓄电站参与调频的频率和次数大幅度降低。

3.2.1.3 事故备用

南方电网主网强直弱交特性明显, 单回直流输电规模大, 直流闭锁等故障将导致广东电网大功率缺额。广东目前接受西电容量已经超过30GW, 目前有多回直流集中馈入珠三角地区, 各逆变站间电气距离较近, 当网内发生运行设备故障时, 可能引起多个逆变站电压降低, 导致直流换相失败, 安全稳定特性复杂、驾驭难度大。

广东抽水蓄能电站每年紧急启动数十次左右(包括西电交直流故障或省内其它机组跳机等原因), 为电网提供事故备用电源, 有利于广东电网及联网系统频率和电压稳定, 保障了电网安全运行。此外, 香港中华电力公司购买了广蓄A厂50%容量40年的使用权, 为保障香港电网的安全稳定运行保驾护航。

3.2.1.4 调相

广蓄电站靠近负荷中心, 是重要的无功调节装置。在春节、五一、国庆等重大节假日时, 广东珠三角地区城市负荷下降迅速, 造成全网无功富裕而导致系统电压升高, 需要抽水蓄能机组迟相运行吸

收无功, 确保电压稳定。2007年2月18日, 广蓄B厂四台机组CP运行, 最大吸收无功功率500 MW, 将500 kV电压稳定在530 kV左右, 确保了电压的稳定。

3.2.1.5 黑启动

一旦广东电力系统出现全黑的情况, 可通过流溪河水电站自启动, 送厂用电至广蓄B厂, 或以柴油发电机带厂用电。广蓄B厂机组黑启动成功后送电至增城站, 并通过500 kV内环网去启动沙角电厂机组(3.88 GW), 之后快速恢复一些重要负荷。

3.2.2 广蓄电站功能演变

广蓄电站在广东电力系统运行20年来, 每个时期都发挥了调峰填谷、调频、事故备用等功能, 但是, 由于每个阶段电力系统需求不同, 广蓄电站各类功能发挥侧重点不同。

第一阶段, 由于系统电源结构简单, 广蓄电站按照建设初衷运行, 在低谷时段吸收大亚湾核电出力, 保障大亚湾核电满发和系统稳定运行, 调峰功能发挥较多。

第二阶段, 广东电力供应紧张, 广蓄机组替代火电装机, 首要满足供电需求, 采取“以发定抽”原则解决系统高峰电力供应的问题; 此外, 第二阶段调度机构CPS考核要求严格, 广蓄电站作为主调频电厂频繁使用。该阶段广蓄电站主要是发挥调峰调频功能。

第三阶段, 广东供需形势好转, 调度机构对广蓄机组采取“少抽少发”的节能经济调度原则。该阶段系统中超过80%的火电机组安装了AGC装置, 承担主调频任务, 广蓄机组转变为辅助调频的手段。并且, “十二五”期间, 受限于增城近区短路电流水平过高, 广蓄电站长期开机受限, 蓄能机组仅作为顶峰负荷、负荷快速变化段、事故响应等应急调节备用手段。

4 惠蓄电站运行功能总结

4.1 惠蓄运行情况

2012—2014年, 惠蓄利用小时数在400~900 h范围内。2011年惠蓄启动次数近5 000次, 2013年运行次数有所减少, 2014年对惠蓄的使用增多, 运行次数出现回升。2009年, 惠蓄投入机组0.9 GW, 发电量为0.296 TWh, 2011年所有机组投入后, 年发电量达到2.394 TWh。2009—2014年, 惠蓄电站发电效率基本维持在80%左右。惠蓄电站运

行情况见表2。

表2 惠蓄电站运行情况

Tab. 2 Operation of HZPP (Huizhou pumped-storage plant)

年份	利用小时数/h	启动次数/次	发电量/TWh	发电效率/%
2009	—	923	0.296	82.90
2010	—	3 524	1.520	79.31
2011	—	4 999	2.394	79.90
2012	884	4 268	2.121	80.19
2013	425	2 627	1.019	80.55
2014	613	3 467	1.472	79.00

惠蓄电站执行南网总调制定的日发电计划曲线, 在实际运行中, 惠蓄电站根据调度安排, 计划修改频繁, 具体表现在临时交易次数多、临时交易电量大大并且短时修改频繁。

惠蓄电站装机2.40 GW, 仅占全网0.16 TWh总装机容量的1.5%, 但是在2011年全年, 惠蓄电站临时交易电量为8.7亿度, 占全网临时交易总电量68.3亿度的13%, 临时交易次数为2 323次, 是全网临时交易总次数12 104次的19%, 如表3所示。

表3 2011年惠蓄交易情况

Tab. 3 Trade of HZPP in 2011

类别	绝对电量/TWh	临时交易次数/次
惠蓄	0.87	2323
全网	6.83	12 194

注: 惠蓄绝对电量占13%, 临时交易次数占19%。

2013年惠蓄的运行情况, 如图3所示, 可见低谷调峰仅占惠蓄临时启停的次数的57%, 剩下将近50%的机组启停体现了抽水蓄能电站的其他动态功能, 如调控断面、配合楚穗孤岛调试、配合吸纳西部水电等。

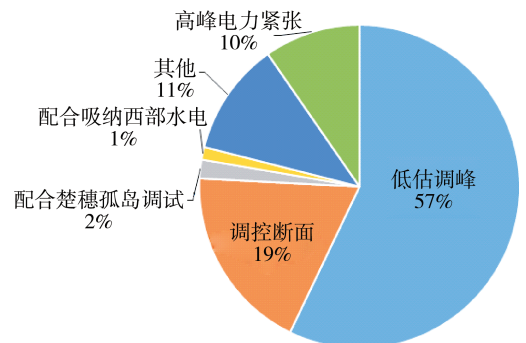


图3 2013年惠蓄运行情况

Fig. 3 Operations of HZPP in 2013

惠蓄电站历年来对电网系统故障应急启动情况统计见表4,2013—2014年惠蓄电站应急启动台次增加,其中2014年惠蓄应急启动共14次,启动台次高达33台次。

表4 惠蓄电站启动情况
Tab. 4 Startup of HZPP

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014
应急启动次数/次	5	8	4	2	4	14
应急启动台次/台次	5	12	8	7	15	33
应急启动容量/GW	1.50	3.30	2.40	2.10	4.50	8.25
启动成功率/%	100	100	100	100	100	100

对惠蓄电站投运以来应急启动的原因进行统计,表5反映了惠蓄机组历年来对电网系统故障快速响应情况,2014年,惠蓄电站因西电故障应急启动次数达到5次。

表5 惠蓄电站对系统故障快速响应原因统计

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014
应急启动次数	5	8	4	2	4	14
因核机组跳机	0	0	0	0	0	0
因火机组跳机	0	3	1	0	0	0
因西电故障(包括直流及交流输电)	0	2	2	2	2	5
其它	5	3	1	0	2	9

4.2 广蓄和惠蓄对比

4.2.1 年发电利用小时数

对广蓄和惠蓄近几年的使用情况对比见表6,惠蓄电站近三年年发电利用小时数在425~884 h范围,广蓄电站的使用更多,年发电利用小时数在626~908 h。

表6 广蓄和惠蓄年发电利用小时数

年份	2012	2013	2014
广蓄年发电利用小时/h	905	626	908
惠蓄年发电利用小时/h	884	425	613

4.2.2 调度运行差异分析

目前惠蓄电站由南网总调调度,总调根据次日广东统调负荷预测、广东次日调峰需求以及西电东送计划编制惠蓄的发电计划,惠蓄电站执行总调的发电计划。广蓄电站则由广东中调调度,广东中调根据广东负荷预测、广东境内断面约束、广蓄电站

水位以及西电东送计划制定广蓄A、B厂发电计划下达给广蓄电站,并结合次日系统调峰需求,对计划实时修改执行。广蓄和惠蓄电站发电计划编制及调度执行过程详见图4。

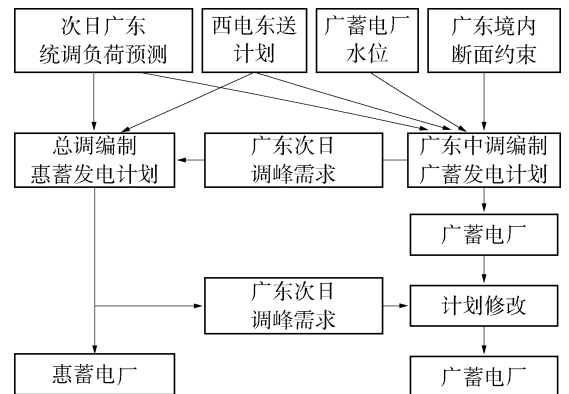


图4 广蓄和惠蓄发电计划编制及调度执行图

Fig. 4 Generation schedule and schedule execution of GZPP and HZPP

4.2.3 出力受限问题对比

“十二五”期间,穗水线路解口入增城站后,广蓄电站受限于增城近区短路电流水平过高,广州蓄能电站长期开机、开泵台数受限,目前停机5台,断开广蓄电站—增城一回线路可临时多开2台。惠蓄则在2014年溪洛渡直流投产后,受能博线热稳影响,小方式最多开泵5台。

4.2.4 运行情况比较分析

惠蓄电站由总调直调,主要按计划参与系统调峰。广蓄电站由广东中调直调,根据系统实际负荷的变化,实时参与系统调峰调频。仅当预测负荷与实际负荷偏差较大时,广东中调才向总调申请,调整西电计划或惠蓄的发抽计划。由此,造成了广蓄电站承担系统调节的任务远远超过惠蓄电站。

5 结论

在广东电力系统近20年的发展过程中,广蓄电站和惠蓄电站在电力系统中的运行情况和功能发挥情况呈现出了较强的阶段性特征。因各阶段电力系统的需求不同,广东抽水蓄能电站的调峰填谷、调频、事故备用等各类功能的发挥情况有所不同。

抽水蓄能电站服务于电力系统,势必随着电力系统情况的变化,作用也发生变化,需要用发展的眼光去看待其功能。未来随着国家经济结构调整和转型升级,能源结构调整势必要求加强核电、风电

等清洁能源的消纳和利用,抽水蓄能电站可配套清洁能源进一步发挥其调峰功能;另外,随着区域间远距离大容量直流通道的建设,抽水蓄能电站可在直流闭锁情况下快速启动,提供紧急功率支援,进一步发挥其事故备用功能。今后抽水蓄能电站在系统中将发挥调峰填谷和事故备用等重要功能。

参考文献:

- [1] 华丕龙. 广州蓄能水电厂水工运行总结与思考 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(2): 29-33.
HUA P L. Summary and thinking of hydraulic operation in GP-SPS [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(2): 29-33.
- [2] 李品清, 卢宏振, 刘国中. 广州抽水蓄能电站 20 年运行评析及借鉴 [C]//抽水蓄能电站工程建设文集, 2015: 421-425.
LI P Q, LU H Z, LIU G Z. Evaluate and analyse 20 years' operation of Guangzhou pump water station [J]. Symposium on Construction of Pumped-Storage Power Station, 2015: 421-425.
- [3] 柳丕钢, 陈晓东. 浅析抽水蓄能电厂对电网安全的作用 [J]. 广西电力, 2005, 11(5): 64-67.

- LIU Y G, CHEN X D. The importance of Guangzhou pump water station to Guangdong electric power grid [J]. Guangxi Electric Power, 2005, 11(5): 64-67.
- [4] 陈旭, 左正敏. 抽水蓄能电站在广东的发展分析 [J]. 电网技术, 2006, 3(5): 57-61.
CHEN X, ZUO Z M. Analysis on development of pumped-storage station in Guangdong province [J]. Power System Technology, 2006, 3(5): 57-61.
- [5] 广东省电力设计研究院. 广东电网“十三五”及中长期调峰电源规划研究 [R]. 广州: 广东省电力设计研究院, 2014.
China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangdong Power Grid “in 13th five-year” and the long-term peaking power planning study [R]. Guangzhou: China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., 2014.
- [6] 陈志刚. 惠州抽水蓄能电站建设的必要性 [J]. 电网技术, 2001, 25(7): 67-71.
CHEN Z G. Necessity of building Huizhou pumped-storage power station [J]. Power System Technology, 2001, 25(7): 67-71.

(责任编辑 高春萌)

(上接第 68 页 Continued from Page 68)

- [16] 冉兵, 宋晓辉. 配电网线损影响因素分析 [J]. 华中电力, 2009, 22(6): 30-33.
RAN B, SONG X H. Analysis on influencing factors of distribution network line loss [J]. Central China Electric Power, 2009, 22(6): 30-33.
- [17] 苏志雄, 曾民星, 孔灿, 等. 基于线损影响因素的配电网线损计算方法研究 [J]. 电气应用, 2013(增刊 2): 413-416.
SU Z X, ZENG M X, KONG C, et al. Research on distribution network line loss calculation method based on line loss impact factors [J]. Electrotechnical Application, 2013 (Supp. 2): 413-416.
- [18] 傅鹏, 江振源, 李蒙赞. 配电网技术线损影响因素 [J]. 山西电力, 2016(5): 30-33.

- FU P, JIANG Z Y, LI M Z. Influencing factors on technical line losses of distributed network [J]. Shanxi Electric Power, 2016(5): 30-33.
- [19] 徐维超. 相关系数研究综述 [J]. 广东工业大学学报, 2012, 29(3): 12-17.
XU W C. A review on correlation coefficients [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2012, 29(3): 12-17.
- [20] 平狄克, 鲁宾费尔德. 计量经济模型与经济预测 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
PINDYCK R S, RUBINFELD D L. Econometric models and economic forecasts [M]. Beijing: China Machine Press, 2003.

(责任编辑 黄肇和)

《南方能源建设》编辑部采访孙昕教授

2017年4月21日,中国能源研究会常务理事兼能源互联网专家委员、中国电机工程学会、常务理事兼电力建设专委会主任委员孙昕教授在《南方能源建设》期刊主办单位中国能建广东院作“十三五能源(电力)规划及我国能源(电力)转型”的专题报告。《南方能源建设》编辑部就“十三五”期间加速抽水蓄能电站建设的经济性和前景问题采访了孙昕教授。孙昕教授指出:“目前电力系统发展的多能互补平台建设尚有一个过程,为保障‘十三五’规划的各种非化石能源正常入网和发挥作用,当前加大抽水蓄能电站建设(包括启动海水抽蓄电站研发)是解决‘十三五’及今后一段时间电力系统调峰问题的重要措施,但从长远看应该在电力系统各环节发展多种储能调峰设施,特别是电化学储能,今后应是储能发展的主流方向。”

(《南方能源建设》编辑部)