

福建电网与周边电网互联电力市场运行问题探讨——加州电力危机、美加和欧洲大停电事故的思考

禹红

(湖南水利水电职业技术学院, 湖南 长沙 410131)

摘要: 大电网互联系统与电力市场的安全稳定运行, 是目前包括我国在内的世界各国电力工程界最为关心的问题之一。在经济层面和物理层面分析归纳了加州电力危机、美加“8.14”大停电以及欧洲“11.4”大停电事故发生的主要原因的基础上, 对福建省电网电力市场的安全稳定运行问题进行探讨, 就发、输、配电容量的充裕度、联网方式、电力市场研究、防范电价风险、市场管制和安全运行等方面提出了一些建议性的意见。

关键词: 福建电网; 电力市场; 电力危机; 大停电事故

A preliminary analysis on operation of Fujian power system interconnected with adjacent power systems ——Pondering over power crisis in California and Blackout in US, Canada America and European

YU Hong

(Hunan Hydroelectric Vocational Technology College, Changsha 410131, China)

Abstract: The reliability and security of large electric network and the corresponding electricity markets are the most important consideration for every country in the world. Reasons of Crisis in California, "8.14" large scope blackout in US and Canada, and "11.4" large scope blackout in Europe are explained technically and economically. The reliability and security of Fujian power system interconnected with adjacent power systems and the corresponding electricity markets are explored, and suggestions are put forward about abundance of generation, transmission, distribution capacity, connecting mode, electricity research, electricity price risk, market regulation, security operation, and so on.

Key words: Fujian power system; electricity market; power crisis; large scope blackout

中图分类号: TM73; F123.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)07-0054-04

0 引言

电网互联和电力市场是目前电力行业的两大主要趋势。大电网互联系统的安全可靠运行与电力市场的安全稳定运行, 是目前世界各国电力行业最为关心的问题之一。自从2001年初美国加州电力危机后, 人们对电力市场的前途或多或少产生了疑惑; 而2003年8月14日的美加大面积停电、2005年5月25日莫斯科大停电以及2006年11月4日欧洲大停电等一系列事故的发生, 真可谓是警钟长鸣, 再次显示了电力系统的安全稳定运行和电力市场的稳定运行至关重要。我国大电网互联和电力市场的发展都还处于探索阶段, 所谓“他山之石, 可以攻玉”, 借鉴和学习国外电力系统和电力市场运行的经验和教训是非常重要的。本文从经济层面和物理层面对上述三次事故的主要原因进行分析归纳, 并在此基础上, 对福建电网与周边电网联网后的运行问题进

行探讨, 为福建电网互联后的安全稳定运行和参加大区域电力市场交易提供参考。

1 联网背景

福建电网与华东电网联网的一回、二回工程已分别于2001年11月6日和2003年1月10日正式投入运行。联网不仅缓解了福建电网以前存在的一系列问题带来的压力, 还带来了巨大的经济效益。

福建电网与华东电网联网前, 福建电网存在的主要问题是: (1) “大机小网” (后石等600 MW机组的投产) 突出的频率稳定问题。(2) 电力盈余, 难以兑现火电机组年设备利用小时 (有一部分电厂签有保发电小时数和电力短缺赔偿条款的购电合同)。(3) 占系统电源装机52%的水电, 大部分为径流式电站, 调节性能差, 丰枯季节水电出力悬殊。

福建与华东联网工程已表明^[1]: 与华东联网可以消除福建大机组故障所引起的电网频率下降和大

面积切负荷；联网后可以互相调剂余缺，还可以提高福建水电的利用容量；并可实现网间的相互紧急支援而减少备用容量。

更进一步，如果福建省电网再与周边其他（如广东电网、华中电网）电网联网，将可以在更大范围内获得联网效益：峰水期可以向华东多输电，这样可以适度满足华东地区的电力需求，又使福建省丰富的水资源得到充分利用，另一方面，枯水期可以利用后石的大机组向广东送电，提高系统效益，实现资源在大范围内优化配置。由于福建电网与华中电网联网效益不大（有关研究报告对这一结论进行了论证），本文所指的互联电网主要是指福建与华东、广东电网互联，福建电力系统互联简图如图 1 所示。

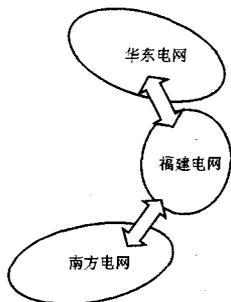


图 1 福建电网与周边电网联网关系图

Fig.1 Sketch connecting map of between Fujian and circumjacent power grid

跨大区联网和电力市场的发展在带来明显经济效益的同时，也对电力供应的物理及经济的安全性提出了严峻的挑战。不论在电力系统的物理稳定性方面，还是在电力市场的经济稳定性方面，都不乏惨痛的教训，2001 年美国加州电力危机和 2003 年 8 月 14 日的美加大面积停电事故就是最好的例证。

2 加州电力危机、美加大停电事故与欧洲“11.4”大停电事故

2.1 加州电力危机

从经济层面看，电力市场的稳定性是保证经济可靠的电力供应的必要条件。因此，电力市场的稳定运行至关重要。加州电力危机给各国电力市场的稳定运行上了沉重的一课。

2001 年 1 月中下旬，由于系统备用容量只有 1.5% 左右，加州经历了二次世界大战以来首次强制性的分区轮流停电，上百万人受到影响。停电使一些公司损失了数千万美元。以 IBM 和英特尔(Intel) 等高科技公司组成的硅谷厂商工会威胁：如果供电

问题不解决，其属下的一些公司将考虑从加州撤走。这次电力危机对加州，甚至于对美国经济整体的影响已经引起了广泛的关注。

加州是在 20 世纪 90 年代初开始构思电力市场，当时美国经济处于衰退期，因此假设的负荷增长率比较低。然而，美国经济在最近几年增长势头强劲，负荷增长比预期的快 3 倍多。具体到加州，自 2000 年夏天开始，发电供应开始不足，发电商在现货市场大肆发挥市场力抬高售价。在购买电价不断上升（自电力市场运行以来，现货市场电价上升了 10 多倍），而销售电价被冻结的情况下，导致电力公司入不敷出负债累累，最终破产。从而触发了前述的电力危机。

加州电力危机的主要原因^[2-4]包括：（1）发电投资严重不足；（2）冻结零售电价，没有利用用户的用电弹性特性；（3）缺乏发电安装容量市场；（4）市场管制与决策错误；（5）能源价格上涨导致发电成本上升；（6）输电容量不足；（7）环境因素；（8）其他因素，如有人认为加州采用的统一的市场清算价方法是引起电力危机的一个主要原因等。

2.2 美加大面积停电事故

从物理层面看，互联不但使系统的动态行为更复杂，也使局部故障波及的范围增大，更容易导致相继故障和大规模停电。

美国东部时间 2003 年 8 月 14 日 16:15 发生了有史以来最大的停电事故，100 多个发电厂（包括 22 个核电厂）、几十条高压输电线路停运，损失负荷达 61.8 GW，停电持续时间为 29 h，波及地域约 24 000 km²，事故主要影响美国 PJM 互联系统、新英格兰 ISO、纽约 ISO、中西部电网 ISO 和加拿大的安大略 ISO。魁北克水电系统也受到一定影响。事故首先从中西部电网 ISO 所属的 AEP、FE、METC 和 ITC 这 4 个电网公司所属区域开始。区域系统之间互联关系及所覆盖的地域如图 2 所示。受停电影响的人口 5000 万，经济损失达 300 亿美元。

美加大停电事故引起了世界各国对电力系统安全稳定运行的高度重视，很多电力专家对此进行了专门评述^[5-9]。一般认为，美加大停电事故的原因如下。

事故的直接原因是潮流大范围转移导致的快速电压崩溃^[7]。宏观原因是：

（1）没有统一的调度，管理体制有漏洞。事故发生后比较长一段时间里，未能及时采取措施把事故限制在最小程度。原因在于美国没有统一调度，美国电力系统由各区域的分系统组成，保护、控制自成系统，发生故障时没有全局观念，信息不通，

耽误了处理事故的时间。

- (2) 民用和商业用电增加过快。
- (3) 电网严重老化。
- (4) 输电系统严重堵塞。

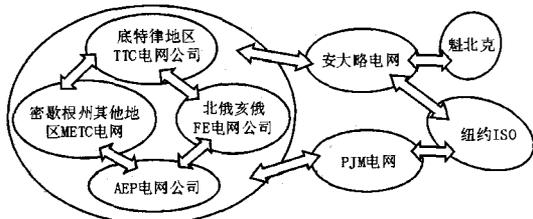


图2 北美事故中心区域各区域电网互联关系图

Fig.2 Centre area sketch map of large scope blackout in interconnected North America Power Grid

2.3 欧洲“11.4”大停电事故

2006年11月4日晚上,欧洲发生了UCTE运行欧洲互联电网以来涉及区域最广、系统频率偏差最大的一次事故。从德国北部多条高压线路跳闸开始,造成UCTE电网解列为西部、东北部和东南部的三个孤立系统。三个孤立系统内均出现了严重的发供电不平衡,其中西部系统因发电出力缺额导致频率大幅跌落,造成西欧一千五百多万用户供电中断。

目前的调查,能够确认事故发生的几个主要原因:

- (1) 未严格执行N-1准则。
- (2) 各TSO间调度人员间的协调配合存在问题。
- (3) 部分并网发电机组对事故处理造成影响。
- (4) 调度人员事故中处理电网阻塞时受到相关法规限制。
- (5) TSO与DSO间在电网恢复时的协调不利。
- (6) 调度人员进行系统同期并列时协调不利。
- (7) 调度人员的培训有待加强。

3 三次事故对福建互联电力市场运行的启示

从上述加州电力市场失败、美加大停电及欧洲“11.4”的原因可得到以下几方面的启示。

3.1 保证发、输、配电容量的充裕度

电力市场的基本前提是电力富裕,电力供不应求的情况下引入竞争只会给电力企业以炒作的空间。保证电力富裕必须设立一套合理的市场机制引导发、输、配电投资,保证充裕的发输电容量是电力市场长期稳定运行的基础。福建省经济发展快,暂时的电力富裕并不能保证今后不出现电力短缺的情况。要保证福建电网发、输、配电容量的充裕度可以从以下两方面入手。

- (1) 发电容量:吸引外资投资发电市场。大力

开发水电、风力发电和潮汐能发电,弥补福建火力发电缺煤的状态。福建省风电条件得天独厚,由于台湾海峡的峡管效应,风能资源十分丰富,陆上蕴藏量10GW以上,居全国各省前列。福建潮汐能源丰富。据调查统计福建沿海具有潮汐能的理论蕴藏量1000万kW,为全国之首。在福建发展风力发电和潮汐能发电具有广阔的前景。

- (2) 加强输、配电网架:做好电力发展规划、加强电网建设,尽可能实现系统互联。

福建电网一直存在“大机小网”问题,与华东电网一回互联后,很大程度上消减了福建大机组故障所引起的一系列问题;而且可以互相调剂余缺,提高福建水电的利用容量;实现网间的相互紧急支援。目前福建电网与华东联网二回工程已经投入运行,功率交换量比以前增大了很多,如果联络线出现故障跳闸或解列,对福建电网的波动将会很大。同样如果福建大机组(如后石电厂)故障跳闸,华东电网将很难为福建电网提供足够的备用支持,而与广东联网,对福建电网抵抗事故的能力将会有很大的提高。因此,有必要将福建电网与广东电网互联问题提上议事日程。

联网只是加强电网安全稳定运行的辅助方式。保证福建电网安全稳定运行最根本的途径是加强福建电网建设,改善网架结构(如解开500kV与220kV电磁环网)。因此,必须加强电力系统可靠性的科学研究,尽快制定一批电力系统可靠性标准。监控和评估电力系统中的可靠性的薄弱环节。为网架扩建提供参考。

3.2 联网方式

魁北克电网虽然也处于事故中心区域附近,但是由于其与主系统主要通过直流互联,因此损失甚微。由此可见,直流互联对防止系统事故的扩大是十分有利的。

全世界高压直流输电系统多年来可靠运行的成功经验,通常得出的高压直流输电的特点是:

缺点:直流输电与交流输电相比造价要高一些。

优点:直流可构成非同步互联,而且不会明显提高故障水平。且直流电路中潮流易于实现快速控制。因此,如用适当的控制,直流系统可用来改善交流系统的稳定性。另外,无输电距离的直流站可用于不同的频率或不同的控制原理的交流系统的互联。

直联网虽然造价高,但对系统稳定运行有利。因此,选择福建电网与广东电网的联网方式时,要充分考虑福建电网的特点,对两种联网方式进行技术、经济比较。技术比较时不能仅局限于福建与华

东联网的情况,还应考虑华东通过华中与广东电网的联网情况。经济比较时不能仅局限于联网设备的价格比较上,还应考虑因这种联网方式而引起各网内网络加强和设备改造的那部分费用。

3.3 加强电力市场研究

加州电力危机给管理者提供了深刻的教训:在设计市场模式的时候应该充分考虑电力系统的特殊性;电力系统独特的运行方式决定了电力市场模式应该保持传统电力系统运行的特点——保证电力系统的稳定运行至关重要。因此,必须加强电力市场研究,尤其是与保持电力系统稳定运行密切相关的辅助服务研究。辅助服务包括自动发电控制(AGC)、备用、无功电压支持、黑启动等。对辅助服务市场(如备用市场)的设置要考虑与能量市场的耦合情况。另一方面,结合输电网络的建设开展输电服务(诸如可用传输容量ATC、阻塞管理等)研究,确保电力系统的静态安全性。最后,对辅助服务与输电服务之间的协调调度问题也应予以充分的重视。所有这些问题的研究对加强福建电力市场的安全稳定运行具有现实意义。

3.4 防范电价风险

主要通过三方面来防范电价风险:(1)保证一定数量(80%左右)的长期购电合同,实践证明这不仅可以减小发供电方的电价风险,而且对电力市场的稳定运行非常重要。福建电网与一部分集资电厂之间存在保证5000小时/年的发电合同,能否妥当处理这些合同(时限多为10~15年)对电力市场的顺利进行极为关键。考虑这些合同的延续性,在电力市场中,可以通过差价合约或者协商进行处理。

(2)实行发电侧和用户侧电价联动机制,充分利用需求侧管理,激励用户响应市场电价,削峰添谷。需求侧管理是保证电力系统稳定与电价稳定的重要手段之一。传统的需求侧管理靠供电企业推行,用户出力被动状态;电力市场中需求侧管理主要通过价格调节,激励用户自愿响应价格的变动达到优化用电的目的,如高峰电价比谷负荷电价高很多时,用户会尽量在谷负荷时用电避开昂贵的峰负荷电价,从而实现削峰添谷。福建电力系统是一个多水电系统,丰枯季节水电出力变化很大,枯水期备用电源不足,这种情况下实行需求侧管理将具有很大的经济效益。因此,对需求侧管理的价格激励机制与配套的规则与设施(如电量电费计量系统等)的研究与设计是一个急需尽快解决的问题。(3)设定最高限价,这是一种不得已的手段。

3.5 市场管制

加强市场管制,保证市场竞争的效率。

加州电力危机在某种程度上是大批发电公司漫天要价所致,存在着严重的市场垄断行为。因此,要加强发电市场垄断行为的研究^[10],掌握各竞价发电商的边际发电成本信息,加强市场监管,提高市场效率。

3.6 安全运行

加强三道防线建设,加强继电保护和安全稳定自动装置的配置,做好电网事故预案和“黑启动”方案。完善电网应急处理机制。

4 结论

充裕的发、输、配电容量,合理的电力市场结构、运行规则及有效的监管和调控,是保证电力系统和电力市场安全稳定运行的基础。随着福建省经济的发展,负荷的增加,要保证有足够的动力来鼓励投资建造新的发电厂,始终确保有充分的发电容量。另一方面,加强输电系统和尽可能实现系统互联,扩大市场覆盖范围,使得尽可能多的发电机能够参与市场竞争,从根本上减小发电公司具有的市场势力。完善市场管制条例,制定法规限制发电公司结盟,对发电公司故意在用电高峰期减产、试图抬高电价的行为给予有效的监督和及时的惩处。

参考文献

- [1] 李晶生,许新生,黄文英,等.福建与华东联网后安全经济运行分析[J].电网技术,2003,27(9):45-48.
LI Jing-sheng, XU Xin-sheng, HUANG Wen-ying, et al. Analysis of Secuer and Economical Operation for Interconnected of Fujian Power System and East China Power Grid[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 45-48.
- [2] 文福拴, David A K. 加州电力市场失败的教训[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(5): 1-5.
WEN Fu-shuan, David A K. Lessons from Electricity Market Failure in California[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(5): 1-5.
- [3] 戴铁潮. 美国加州电力市场危机的思考[J]. 浙江电力, 2001, (4): 1-4.
DAI Tie-chao. Thoughts About Electricity Market Crisis in California of America[J]. Zhejiang Electric Power, 2001, (4): 1-4.
- [4] 朱成章. 美国加州电力危机和美加大停电对世界电力的影响[J]. 中国电力, 2003, 36(11): 1-6.
ZHU Cheng-zhang. Influence of Power Crisis in California and Blackout in US and Canada on World Power industry[J]. Electric Power, 2003, 36(11): 1-6.

(下转第60页 continued on page 60)

重要,不管是降低电能损耗还是改善用电方式,最终还是要依靠相应的技术与设备,而能源绩效管理是加强企业用电监督和引导促进节能技术推广的有效措施,两者相辅相成;除了电网销售电价,其他经济、技术措施如峰谷分时电价、季节性电价等形式以及用户在尖峰时段中断用电或者用天然气等其他能源替代电能,配合避峰,以及加强用户控制负荷能力等,它们直接影响到负荷管理系统;负荷管理系统更是有效控制高峰负荷、移峰填谷缓解日益扩大的峰谷差所带来的低用电效率,也对电力系统经济运行有长远好处;还有分布式电源一般采用性能先进的中小型和微型的发电机组。开机、停机方便,能够快速有效解决用户用电需求,为电网调峰、错峰,减轻电网负荷压力提供了支持;电力需求侧管理的有效推广,离不开宣传,人民只有了解了它的利处才会支持它,因此对示范工程项目的宣传,能生动形象地展现电力需求侧管理带来的综合效益,也更利于人们接受。

3 结束语

本文运用 ISM 分析了某地区影响电力需求侧管理效率因素之间的关系,找出了它们之间的递阶层

次关系,通过分析可知,在制定需求侧管理措施时候不光要看表层因素,更要看到中层因素和深层因素,在不能面面俱到的情况下抓住主要矛盾,寻找针对措施。

参考文献

- [1] 汪应洛.系统工程理论、方法与应用[M].北京:高等教育出版社,1998.
WANG Ying-luo. Systems Engineering Theory, Methods and Applications [M]. Beijing: Higher Education Press, 1998.
- [2] 季强,李志祥,徐仁武,等.新时期电力需求侧管理[J]. 电力需求侧管理,2006,(5): 1-4.
JI Qiang, LI Zhi-xiang, XU Ren-wu, et al. Power DSM in New Period[J]. Power Demand Side Management, 2006,(5): 1-4.

收稿日期:2006-09-13; 修回日期:2006-12-05

作者简介:

周肖(1981-),女,硕士,研究方向为资源管理,需求侧管理; E-mail: glgc04@126.com

黎娜娜(1971-),女,博士,副教授,硕导,主要从事企业管理、规划方面的研究;

杨莹(1965-),女,硕士研究生,从事企业管理方向研究。

(上接第 57 页 continued from page 57)

- [5] 周孝信,郑健超,沈国荣,等.从美加东北部电网大面积停电事故中吸取教训[J]. 电网技术,2003,27(9).
ZHOU Xiao-xin, ZHENG Jian-chao, SHEN Guo-rong, et al. Lessons from Electricity Market Failure in California [J]. Power System Technology, 2003, 27(9).
- [6] 胡学浩.美加联合电网大面积停电事故的反思和启示[J]. 电网技术,2003,27(9): 2-6.
HU Xue-hao. Rethinking and Enlightenment of Larger Scope Blackout in Interconnected North America Power Grid[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 2-6.
- [7] 徐航,张启平,励刚,等.美加“8·14”大停电教训和启示——兼谈华东电网化解“8·29”和“9·4”重大风险[J]. 华东电力,2003,(9): 3-13.
XU Hang, ZHANG Qi-ping, LI Gang, et al. Lessons Learned and Enlightenment Obtained from Blackout Occurred on August 14th in U.S. and Canada[J]. East China Electric Power, 2003, (9): 3-13.
- [8] 郭永基.加强电力系统可靠性的研究和应用——北美东部大停电的思考[J]. 电力系统自动化,2003,27(19): 1-5.

GUO Yong-ji. To Focus on Improving Power System Reliability——a Pondering over the East North-America Major Blackout[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(19): 3-13.

- [9] 薛禹胜.综合防御由偶然事故演化为电力灾难——北美“8.14”大停电的警示[J]. 电力系统自动化,2003,27(18): 1-5.

XUE Yu-sheng. The Way from a Simple Contingency to System-wide Disaster——Lessons from the Eastern Interconnection Blackout in 2003[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(18): 1-5.

- [10] 曾次玲,张步涵,王大光,等.电力市场中的市场势力问题初探[J]. 水电能源科学,2002,20(2): 81-84.
ZENG Ci-ling, ZHANG Bu-han, WANG Da-guang, et al. Discussion on Market Power Issues in Electric Power Markets[J]. Hydroelectric Energy, 2002, 20(2): 81-84.

收稿日期:2006-11-17; 修回日期:2006-12-30

作者简介:

禹红(1973-),女,讲师,硕士,主要从事电力市场及电工技术等方面的研究。E-mail: leisure10@163.com