

西欧“11.4”大停电事故的初步分析及防止我国大面积停电事故的措施

李春艳, 孙元章, 陈向宜, 邓桂平

(武汉大学 电气工程学院, 湖北省 武汉市 430072)

Preliminary Analysis of Large Scale Blackout in Western Europe Power Grid on November 4 and Measures to Prevent Large Scale Blackout in China

LI Chun-yan, SUN Yuan-zhang, CHEN Xiang-yi, DENG Gui-ping

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei Province, China)

ABSTRACT: The “11.4” blackout in Western Europe is a large outage in European history. The development and recovery process of this outage is introduced here. According to the investigation reports of the “9.23” Sweden–Denmark blackout and “9.28” Italy blackout and “11.4” Western Europe blackout, the results of these investigations are analyzed. Based on these blackouts some problems in European power grid are indicated. Suggestions for developing new technologies to prevent large scale blackout in China are presented.

KEY WORDS: blackout; power system; security and stability; wide-area; defense measures

摘要: 介绍了西欧“11.4”大停电事故的发生、发展及恢复过程, 并根据公布事故调查报告分析了“9.23”瑞典–丹麦大停电、“9.28”意大利大停电和“11.4”西欧大停电的调查结果, 指出了欧洲电网目前存在的问题, 并提出了保证我国电网安全稳定运行应做的工作, 给出了防止我国大面积停电事故的措施。

关键词: 大停电; 电力系统; 安全稳定; 广域; 防御措施

0 引言

格林尼治时间 2006 年 11 月 4 日 21:30 左右(北京时间 2006 年 11 月 5 日 5:30), 西欧多国发生严重的大面积停电事故。大部分地区 1 h 后恢复供电, 部分地区断电最长达 90 min, 德国工业重镇科隆一度陷于瘫痪。此次停电事故导致约 1 000 万人受到影响。

停电波及西欧多个国家, 其中德国、法国、意大利 3 国受影响最大。法国约 15 个地区突然陷入一片黑暗, 其中包括巴黎、罗纳、伊泽尔、卢瓦尔、安河及索恩卢瓦尔, 约 500 万法国人的电力供应被

切断, 除东南部地区外, 全国电力供应几乎全部中断。法国总工会矿业及能源部门的领导表示, 这是法国 30 年来最严重的停电事故。在德国, 停电影响了至少 100 万人, 著名的鲁尔工业区也未能幸免。这次停电事故还波及意大利西北部的皮埃蒙特、利古里亚和东南部的普利亚地区。此外, 比利时包括安特卫普在内的 11 个城市和西班牙的马德里、巴塞罗那、萨拉戈萨等地也因为停电一片黑暗。

这是继 2003 年 9 月 23 日瑞典–丹麦大停电和 2003 年 9 月 28 日意大利大停电以来欧洲发生的又一次大停电事故。

1 事故概述及原因分析

1.1 电网概况

西欧输电协调联盟(union for the coordination of transmission of electricity, UCTE)的前身是发输电联合会(union for the coordination of the production and transport of electric power, UCPTE), 成立于 1951 年, 目的是改善二战后供电工业的运行情况, 提高电力生产的效率和服务的可靠性。国家间联网的概念是从这一时期发展起来的。

目前, UCTE 负责协调控制 23 个欧洲国家的传输系统运营者的利益, 其供电区域如图 1 所示, 其公共目标是保证互联电力系统的安全性。50 年来的联合运营使 UCTE 在世界范围内的互联电力系统同步运营质量上处于领先地位。通过传输网络, UCTE 向 4 亿 5 千万人提供了电能, 每年的电力消耗为 2.5 PWh。目前 UCTE 已在电网互联的技术、经济、组织方面积累了很多成熟的经验。



图1 UCTE 联合电网示意图

Fig. 1 The sketch map of the UCTE interconnected grid

1.2 事故的发生发展情况

UCTE 于 2006 年 11 月 5 日和 6 日公布了此次大停电事故的情况报告^[1-2], 事故的发生发展过程如下(时间采用格林尼治时间):

(1) 11 月 4 日 21:38, 为保证新出厂的巡航邮轮“挪威珍珠”号从位于帕彭堡的梅耶船厂安全开出, 德国能源公司(energy and illumination, E.ON)断开了爱姆斯河流上方的一条名叫 Conneforde—Diele 的 380 kV 双回高压输电线。此前已经做过断开该线路的常规仿真, 此次切换操作没有引起人们的关注。在断开该线路后, 电力潮流从南部其它线路流过, 这种状态仍然是稳定的。

(2) 大约在 22:00, E.ON 电网的控制区域负荷为 13.5 GW, 同时, 注入的风能达到 3.3 GW。由于电力传输, 通往西部的传输线已经满负荷运行, 但这种情况还处于正常状态。

(3) 一段时间后, E.ON 电网出现了更大的负荷, 特别是莱茵—威斯特法电力公司 (Rhine—Westfal electric power corporation, RWE) 的电网与 E.ON 电网之间的传输线 Wehrendorf—Landesbergen (威斯特伐利亚的东部) 重载。

(4) 在 22:10, Wehrendorf—Landesbergen 和 Bechterdissen—Elsen 的线路断开。此次系统的反应和断开的时间以及与 UCTE 互联的传输运营商 (transmission system operator, TSO) 都将被统筹考虑分析。

(5) 因为 2 条高压线路断开, 导致系统更多的联络线在几秒内过负荷, 随之断开。如同多米诺骨牌效应一样, 首先从德国北部到东南部的电网开始解列, 然后扩展到奥地利, 使奥地利电网分成 2 部分, 导致 UCTE 互联系统解列为 3 个频率不同的孤岛。

(6) 从该时刻起, 地理发电功率不再均匀地在系统中传输, 从目前存在的数据来看, 系统的东

北部(解列后)有多余的发电容量 6 GW, 相反西部和东南部却缺乏功率。为了重新对发电和用电建立平衡, 减载(切除工业和民用负荷)装置动作, 执行情况如表 1 所示。

表 1 部分传输运营商的减载情况

Tab. 1 Load-shedding of some TSO

国家/TSO	减载容量/GW
奥地利/APG	1.5
奥地利/Tiwag	0.04
比利时/Elia	0.8
法国/RTE	5.2
德国/E.ON	0.4
德国/RWE	2
意大利/TERNA	1.5
荷兰/TenneT	0.4
葡萄牙/REN	0.5
西班牙/REE	2.1
斯洛文尼亚/ELES	0.1

(7) 在传输系统运营者执行紧急控制之后, UCTE 电网在 22:47(事故发生后 38 min)重新并网, 用户逐渐恢复了供电。

1.3 对事故原因的推测及分析

事故发生后, UCTE 于 11 月 6 日早上专门成立了 UCTE 调查委员会, 负责调查此次大停电事故的起因, 以及找出可能的额外的方法来阻止此类事故的再次发生。根据 UCTE 调查委员会公布的有关事故初步报告资料^[1-2]及有关评论报道^[3], 初步推测的事故原因如下:

(1) 为保证新出厂的巡航邮轮“挪威珍珠”号从位于帕彭堡的梅耶船厂安全开出, 11 月 4 日深夜德国能源公司 E.ON 暂时关闭了爱姆斯河流上方的一条 380 kV 的双回高压输电线。该公司此前也关闭过该高压线路, 并没有出现任何问题, 但由于 11 月 4 日晚气温骤降至 0℃, 用电量突然暴增, 线路停运再加上负荷骤增, 使系统供电短缺, 导致德国西北部电网负荷过重。

(2) 德国电网当初是按照电能从中心向外围的传输方式进行设计的, 原有的电网结构还不能应对大量风力电能的注入。当系统出现供电短缺时, 电网不能及时注入大量的风力电能。

(3) 风力不稳定, 风力和风向时常改变, 使得注入电网的风能经常变化, 导致电网进一步变化, 当远方区域的风力电厂将上百兆瓦的电能通过线路传输过来时, 德国的局部电网濒临紧急状态。

(4) 欧洲电网实行能源市场自由化后, 使得葡萄牙从乌克兰购入电力能源成为可能, 这个几乎跨越整个西欧大陆的电力能源传输经常会导致线路潮流过载。

(5) 德国是欧洲电力供应的中心环节, 也是最重要的电力传输国, 无论对本国还是对欧洲, 德国电力供应的安全性都至关重要。

以上原因导致整个欧洲电网电力供应严重失衡, 东部电力输出负荷过重, 而西部电力输入严重不足。要尽快改变欧洲电网这种失衡的状况, 避免电网的全面崩溃, 有效的方法就是有目标地中断一些地区供电。首先从德国北部到东南部的电网开始解列, 然后扩展到奥地利, 使奥地利电网分成 2 部分, 并引发欧洲电网连锁反应。

图 2 表示由于德国北部事故快速作用而导致 UCTE 电网分裂成的 3 个孤岛。



图 2 UCTE 联合电网分裂成的 3 个孤岛

Fig. 2 Three split islands in UCTE interconnected grid

第 1 个孤岛由德国的西部、荷兰、比利时、法国、西班牙、葡萄牙、瑞士、意大利以及斯洛文尼亚和奥地利的一部分组成; 第 2 个孤岛由德国的东部、波兰、捷克斯洛伐克、斯洛伐克、匈牙利以及奥地利的一部分组成; 第 3 个孤岛由欧洲东南部的国家组成。

第 1 个孤岛的特性是能量不平衡(系统缺少电源), 由于德国的风能是由属于第 2 孤岛的北部地区注入的, 导致第 1 孤岛的频率降至 49 Hz, 依据 UCTE 标准, 导致系统自动减载过程(切除负荷)启动。

依据 UCTE 的安全标准, 所有的传输系统运营者必须立即采取紧急控制措施来阻止此次扰动转变为欧洲的大范围停电。

2 欧洲近几年发生的 2 次大停电事故

2.1 2003 年 9 月 23 日瑞典-丹麦大停电

2003 年 9 月 23 日当地时间 12:30 左右, 北欧电网中的瑞典中部和南部电网及丹麦的东部电网(负荷中心)发生大面积停电事故。停电区包括瑞典首都斯德哥尔摩、重要城市马尔及丹麦首都哥本哈根。500

万人受到影响, 损失负荷 1.8 GW, 当晚 19:00 左右大部分负荷恢复供电。下面根据事故调查的中期报告^[4]简要介绍此次大停电事故:

(1) 事故前的运行方式。

事故前, 丹麦东部电力系统中有若干机组和 400 kV 线路停运, 但其实系统总出力为 1.85 GW, 总负荷为 1.8 GW, 其中 400 MW 输出到南部瑞典地区, 总可用容量为 3.3 GW, 系统可用容量充裕, 系统运行稳定, 并且能满足 775 MW 的备用要求。同样, 南部瑞典电力系统事故前也处于稳定运行状态, 系统负荷处于低水平的 3 GW, 距离系统安全运行极限有较大的裕度。

(2) 事故发生的原因。

1) 瑞典南部地区 Oskarshamn 电站 3 号机组故障退出运行, 而后 Horred 变电站有 4 条 400 kV 线路跳闸, 这是事故的直接原因。

2) 上述事故导致瑞典南部地区严重缺电, 随后瑞典北部和丹麦东部地区机组快速提高出力, 向瑞典南部供电, 结果线路过载, 主力机组跳机。

3) 由于瑞典南部电网和电源设计中“大机小网”问题突出, 主力机组跳机后系统因为缺少电源导致电压崩溃, 最终丹麦东部和瑞典南部地区与瑞典北部地区完全隔离。

4) 设备故障无法避免, 但恰当、快速的紧急控制可以减少停电损失。如果瑞典南部地区有良好的低压低频减载系统, 或许丹麦东部大停电事故可以避免。

2.2 2003 年 9 月 28 日意大利大停电

2003 年 9 月 28 日当地时间凌晨 3:30, 意大利发生全国大停电, 受停电影响的居民达 5 400 万人(约占全国人口的 93%)。停电数小时后北部城市米兰等首先恢复供电, 继之首都罗马在当天中午开始供电。根据事故调查报告介绍的此次大停电事故, 南部地区到 29 日才恢复供电, 此次停电损失约 3 亿欧元。下面根据事故调查的中期报告^[5]简要介绍此次大停电事故:

(1) 事故前的运行方式。

意大利为一长形半岛, 其电网是一个大的受端系统。事故前系统总负荷为 27.702 GW。意大利从欧洲电网受电总量为 6.651 GW, 其中从瑞士受电量较多, 为 3.610 GW, 从法国受电 2.212 GW, 从斯洛文尼亚受电 638 MW, 从奥地利受电 191 MW。由 6 条 220 kV 和 9 条 380 kV 线路组成的意大利-欧洲输电断面负荷水平接近安全极限。

(2) 事故发生的原因^[5]。

1) 瑞士一条 380 kV 的线路 Mettlen—Lavorgo 因为重载发生接地故障, 多次重合闸失败。线路 Sils—Soazza 潮流超过了长期热极限的 10%, 但线路可在短期极限内运行 15 min。

2) 瑞士调度可能没有考虑线路热极限取决于诸多因素, 或者对事故的严重性认识不足, 应对措施不力, 线路只能过载 15 min, 却使用了 20 min 进行校正控制。

3) 为缓解线路过载, 瑞士调度请求意大利调度减少负荷 300 MW。意大利减负荷后, 潮流超过长期热极限的线路 Sils—Soazza 可能因为下垂导致接地故障, 线路跳闸。此后, 大批相邻线路因为过载跳闸, 同时意大利机组和欧洲机组之间发生同步失稳, 意大利被解列于欧洲电网之外。由于大批意大利机组跳闸, 孤立的意大利系统失去暂态稳定, 由此带来频率稳定破坏, 系统崩溃。

4) 输电走廊对地间距可能不合理, 该原因还需要进一步证实。

3 欧洲几次大停电事故反映的问题及教训

(1) 电网缺乏统一规划, 网架结构不合理, 电网建设滞后。

UCTE 负责协调控制 23 个欧洲国家的输电系统运营者的利益, 整个电网由 23 个国家电网联合而成, 电网规模不断扩大, 大区电网不断互联, 由于没有实行统一规划, 电网结构的复杂程度增加, 事故时很难实施有效的控制和解列措施。瑞典—丹麦大停电的起因是电网设计中的“大机小网”问题^[6], 这样的问题只有在电源和电网设计时加以考虑才有可能避免。

欧洲拥有世界上 70% 的风力发电机, 2007 年还要安装更多的海上风力电厂。丹麦目前的风力发电量已达到全国发电总量的 25%, 德国计划建立 18 GW 的风力发电机。但各个国家电网当初都是按照电能从中心向外围的传输方式进行设计的, 原有的电网结构还不能应对大量风力电能的注入。由于电网建设滞后, 导致线路负载过重, 一旦有异常情况发生, 容易引起连锁反应, 导致大面积停电。

(2) 电网管理缺乏有效的协调机制, 难以统一调度, 统一指挥。

电力的发、供、用瞬间同时完成, 电力的生产和消费必须保持瞬时平衡。大电网必须实行统一调度, 协调控制, 事故时统一指挥, 这是由电力生产的客观规律决定的, 在欧洲却因为电网管理体制和

运行机制的制约而难以实现。UCTE 系统各国家电网实行统一调度, 但整个联盟电网采取分散管理模式, 每个电网管理上相对独立, 各个传输系统运营商之间协调管理, 运行时没有统一调度, 事故时缺乏统一指挥。事故时常常出现优先考虑局部利益而置全局利益不顾的情况, 结果导致事故扩大。从目前几次大停电的教训^[6-7]来看, 各国应加强能源合作, 制定统一的电力政策, 建立电力供应管理机构。

(3) 电网运行缺乏足够的备用容量。

欧洲这几次事故(尤其是“11.4”大停电)大多发生在电网大负荷运行期间, 电源备用不足。一旦电网进行检修、退出运行, 或一些线路发生故障, 大电源退出, 就会因供电不足而产生连锁反应, 使事故扩大。

(4) 预防控制和紧急控制水平有待加强。

线路检修、设备故障无法避免, 但恰当、快速的紧急控制可以控制事故范围, 减少停电损失。可以想象, 如果瑞典南部地区有性能良好的低压低频减载系统, 或许丹麦东部大停电事故就可以避免; 如果意大利电网能采取合适的紧急控制措施, 尽量维持与欧洲电网同步运行, 则停电范围应小得多; 如果德国在停断线路前能充分预测到系统负荷变化, 准确给出预防控制措施, 增加备用容量, 或许“11.4”欧洲大停电事故可以避免。意大利电力系统长期以来确实进行了在线动态安全分析, 但当时却没有发现系统处于紧急状态, 可能是系统的模型不够准确, 没有实时模拟欧洲电网。

(5) 电力市场环境下缺乏对电网的实时监控。

目前的几次大停电研究报告都没有指出事故与电力市场的直接联系, 而实际上大停电多少受到电力市场的间接影响。欧洲电网实行能源市场自由化后, 使得葡萄牙从乌克兰购入电力能源成为可能, 这些几乎跨越整个西欧大陆的电力市场交易导致系统潮流变化加剧, 有时还会导致线路潮流过载, 使电网常常工作在危险区或边缘区。因此, 在电力市场环境下需要加强电网的实时安全监视与分析, 采用新技术提高电网的传输容量, 提高系统的安全稳定性。

4 保障我国电网安全可靠供电的措施

随着西电东送、南北互供、全国联网的推进, 我国电网的规模和电力交换的规模都在不断扩大, 大电网事故的影响面和影响程度越来越大, 应吸取世界上几起大停电事故的教训, 认真研究电力系统的安全问题, 完善应急处理机制, 采取有效措施,

确保电网安全稳定经济运行。

(1) 坚持统一规划, 加强电网结构建设。

在电力发展中必须坚持统一规划, 切实做好“十一五”发展规划和 2020 年远景目标规划。要适度超前建设电源, 保证必要的系统备用容量; 适度超前建设电网, 使其具有足够的输配电能力, 建设以特高压^[8-15]为核心的坚强国家电网, 进一步加强区域电网网架和大区域联网建设^[16]。

(2) 坚持行之有效的电网安全管理模式。

坚持电网的统一调度和统一管理, 将防止电网瓦解破坏和大规模停电放在反事故措施的首位, 按照电网稳定控制要求, 全网统一部署“三道防线”^[17], 以保证正常情况下系统的安全稳定运行和事故时能及时正确地切除故障, 防止事故扩大, 事故时坚持安全第一, 统一指挥事故处理, 严格执行事故应急处理预案。

(3) 建立和完善重大电网事故应急处理机制。

为了正确、有效、快速地处理大规模停电事件, 最大程度地减少大规模停电造成的影响和损失, 国务院颁布了《电网大面积停电应急预案》。统筹考虑电网、发电、用电和社会各个环节, 在国家统一指挥和协调下, 通过应急指挥机构和电网调度机构组织开展事故处理、电网恢复等各项应急工作, 保证应急机制的协调运行和反应速度。

(4) 加强对电力设备的检修与维护, 以及对继电保护和安全稳定自动装置的优化配置。

电力设备是构成电力系统的基本元件, 担负着生产、输送、分配电能的任务, 是电网安全稳定运行的基础。应加强对电力设施的检修与维护, 为电网安全稳定运行创造良好的环境。世界上几次停电事故的扩大都与继电保护和安稳装置的配置有关^[6-7,18-20]。我国电网结构薄弱, 需要发展先进、可靠的继电保护装置和稳定控制技术, 搞好三道防线的建设, 防止事故扩大, 避免大规模停电事故的发生。

(5) 做好关键技术研究, 构建电力系统的广域安全防御体系。

西电东送、全国联网、电力市场化对电力系统的安全稳定运行和基础研究提出了新的挑战^[21]。世界上发生的大规模停电事故已暴露出电力系统安全防御问题的严重隐患, 电力系统的安全性已经纳入国家的安全防御体系^[22]。广域安全防御系统涉及的关键技术^[23]包括: 电力系统的精确建模和超大规模电力系统的仿真实验; 超大规模电力系统动态行为分析与特征研究; 大电网广域安全防御系统的保

护与控制方法研究; 电力系统广域安全防御的信息支持系统; 保证电力系统安全性的电力市场机制研究。要构建一个新形势下确保系统安全稳定运行、避免大规模停电事故的现代电力系统的防御框架, 包括: 广域的静态和动态测量、安全稳定性的量化分析、时空多道防线的优化协调。

参考文献

- [1] Union for the Coordination of Electricity Transmission (UCTE). Further facts about the system disturbance on 4.11.06 [R/OL]. <http://www.ucte.org/>, 2006-11-06.
- [2] Union for the Coordination of Electricity Transmission (UCTE). First facts about the system disturbance on 4 November[R/OL]. <http://www.ucte.org/>, 2006-11-05.
- [3] United Press International. Analysis: European power grid ailing? [R/OL]. <http://www.pserc.wisc.edu/>, 2006-11-10.
- [4] Ekraft System. Power failure in eastern Denmark and southern Sweden on 23 September 2003—final report on the courses of events [R/OL]. <http://www.pserc.wisc.edu/>, 2003-11-04.
- [5] Union for the Coordination of Electricity Transmission (UCTE). Interim report of the investigation committee on the 28 September 2003 blackout in Italy[R/OL]. <http://www.pserc.wisc.edu/>, 2003-10-23.
- [6] 甘德强, 胡江溢, 韩祯祥. 2003 年国际若干停电事故思考[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 1-4.9.
- [7] 唐葆生. 伦敦南部地区大停电及其教训[J]. 电网技术, 2003, 27(11): 1-5,12.
- [8] Gan Deqiang, Hu Jiangyi, Han Zhenxiang. Thinking over several blackouts in 2003[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(3): 1-4,9(in Chinese).
- [9] 齐旭, 曾德文, 史大军, 等. 特高压直流输电对系统安全稳定影响研究[J]. 电网技术, 2006, 30(2): 1-6.
- [10] Qi Xu, Zeng Dewen, Shi Dajun, et al. Study on impacts of UHVDC transmission on power system stability[J]. Power System Technology, 2006, 30(2): 1-6(in Chinese).
- [11] 周浩, 余宇红. 我国发展特高压输电中一些重要问题的讨论[J]. 电网技术, 2005, 29(12): 1-9.
- [12] Zhou Hao, Yu Yuhong. Discussion on several important problems of developing UHV AC transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(12): 1-9(in Chinese).
- [13] 吴敬儒, 徐永禧. 我国特高压交流输电发展前景[J]. 电网技术, 2005, 29(3): 1-4.
- [14] Wu Jingru, Xu Yongxi. Development prospect of UHV AC power transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(3): 1-4(in Chinese).
- [15] 舒印彪. 1000 kV 交流特高压输电技术的研究与应用[J]. 电网技术, 2005, 29(19): T1-T6.
- [16] 袁清云. 特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[J]. 电网技术, 2005, 29(14): 1-3.
- [17] Yuan Qingyun. Present state and application prospect of ultra HVDC transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(14): 1-3(in Chinese).
- [18] 张运洲. 对我国特高压输电规划中几个问题的探讨[J]. 电网技术,

- 2005, 29(19): T11-T14.
- [14] 苏宏田, 齐旭, 吴云. 我国特高压直流输电市场需求研究[J]. 电网技术, 2005, 29(24): 1-4,41.
Su Hongtian, Qi Xu, Wu Yun. Study on market demand of UHVDC power transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(24): 1-4,41(in Chinese).
- [15] 舒印彪, 刘泽洪, 袁骏, 等. 2005年国家电网公司特高压输电论证工作综述[J]. 电网技术, 2006, 30(5): 1-12.
Shu Yinbiao, Liu Zehong, Yuan Jun, et al. A survey on demonstration of UHV power transmission by state grid corporation of China in the year of 2005[J]. Power System Technology, 2006, 30(5): 1-12(in Chinese).
- [16] 陈海波, 廖宗高. 特高压输电线路杆塔结构可靠性分析[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(25): 235-240.
Chen Haibo, Liao Zongao. Analysis on reliability of UHV transmission line tower structure[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(25): 235-240(in Chinese).
- [17] 薛禹胜. 综合防御由偶然故障演化为电力灾难——北美“8.14”大停电的警示[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(18): 1-5,37.
Xue Yusheng. 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): 1-5,37(in Chinese).
- [18] 印永华, 郭剑波, 赵建军, 等. 美加“8.14”大停电事故初步分析及应吸取的教训[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 8-11,16.
Yin Yonghua, Guo Jianbo, Zhao Jianjun, et al. Preliminary analysis of large scale blackout in interconnected North America power system grid on August 14 and lessons to be drawn[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 8-11,16(in Chinese).
- [19] 何大愚. 一年以后对美加“8.14”大停电事故的反思[J]. 电网技术, 2004, 28(21): 1-5.
He Dayu. Rethinking over “8.14” US-Canada blackout after one year[J]. Power System Technology, 2004, 28(21): 1-5(in Chinese).
- [20] 傅书邈. IEEE PES 2004 会议电网安全问题综述及防止大面积停电事故建议[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(8): 1-4.
Fu Shuti. Summary on power system security problems on 2004 IEEE PES meeting and recommendation for developing defense measures[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(8): 1-4(in Chinese).
- [21] 孙元章, 梅生伟. 国际合作, 优势互补, 开拓电力系统科研新领域[J]. 中国科学基金, 2003, 17(3): 185-187.
Sun Yuanzhang, Mei Shengwei. Exploring the new advantages of the electric power system through international cooperation[J]. Science Foundation in China, 2003, 17(3): 185-187(in Chinese).
- [22] 杨以涵, 张东英, 马骞, 等. 大电网安全防护体系的基础研究[J]. 电网技术, 2004, 28(9): 23-27.
Yang Yihan, Zhang Dongying, Ma Qian, et al. Study on the architecture of security and defense system of large-scale power grid[J]. Power System Technology, 2004, 28(9): 23-27(in Chinese).
- [23] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架(一)从孤立防线到综合防御[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(1): 8-16.
Xue Yusheng. Space-time cooperative framework for defending blackouts Part I From isolated defense lines to coordinated defending [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(1): 8-16(in Chinese).

收稿日期: 2006-12-01。

作者简介:

李春艳(1980—), 女, 博士研究生, 主要从事电力系统稳定控制方面的研究, E-mail: spridoris@163.com;

孙元章(1954—), 男, 教授, 博士生导师, 长江学者特聘教授, 主要从事 FACTS、电力系统非线性控制、电力系统安全经济控制等方面的研究;

陈向宜(1976—), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统仿真、电力系统分析与控制方面的研究;

邓桂平(1981—), 女, 博士研究生, 主要从事独立电力系统的分析与控制方面的研究。

(责任编辑 沈杰)

国内首个国家级生物质发电示范工程竣工投产

2006年12月1日, 我国第一个国家级生物质发电示范项目——国家电网公司国能单县生物质发电有限公司正式投产, 这标志着我国生物质能发电事业实现了新的突破。国家电网公司副总经理曹志安出席竣工投产典礼并讲话。山东省政府、国家发改委等相关部门对该项目的投产表示祝贺。

该项目是国家发改委核准的国家级生物发电示范工程。工程位于山东单县经济技术开发区, 装机为1×25 MW 单级抽凝式汽轮发电机组, 配一台130 t/h 生物质专用振动炉排高温高压锅炉, 投资约3亿元。该电厂年消耗农林废弃物15~20万t, 发电量约160 GWh, 每年可为当地农民带来的直接收入达4000万元, 可为当地农村劳动力直接提供1000余个就业机会。

单县生物发电有限公司是国家电网公司所属专门从事生物质发电的专门化公司国能生物发电有限公司的所属企业, 国能生物发电有限公司在国内独家引进国际先进的生物质直燃发电技术, 利用中国丰富的生物质资源, 积极投资、建设、运营生物质能发电厂, 生产、开发生物质能燃料及燃烧废料的综合利用。目前该公司已核准项目22个, 除单县项目外, 在建项目14个, 装机容量达到350 MW。到2010年, 规划建设约2 GW 的生物质能发电能力, 届时将占中国生物质发电能力的36%左右。

我国是世界第二大能源生产国和消费国, 2005年能源消费总量达22.2亿t标准煤, 约占全球能源消费总量的14%。但人均能源消费仅为1.7 t标准煤, 不到发达国家的四分之一。据初步估算, 我国可开发的生物质能资源总量近期约为5亿t标准煤, 远期可达到10亿t标准煤。如果中国生物质能利用量达到5亿t标准煤, 就可解决目前中国能源消费量的20%以上, 每年可减少排放二氧化碳的碳量近3.5亿t, 二氧化硫、氮氧化物、烟尘减排量近2500万t, 产生巨大的环境效益。因此, 发展资源分布广、环境影响小、可永续利用的生物质等可再生能源, 成为我国能源发展的重要战略。