

# 电网事故原因分类浅析及其预防策略

张良栋<sup>1</sup>, 石辉<sup>2</sup>, 张勇军<sup>2</sup>

(1. 广东电网公司电力营销部, 广东 广州 510600; 2. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 通过对历年电网事故, 特别是近年来国内外重大停电事故分析总结, 认识到引起电网停电事故的几类主要因素, 即自然因素、设备因素、人为因素、网架因素、市场因素。针对各类因素的特性, 结合相应的事故案例, 分析各因素对电网停电事故的影响。以预防电网事故为主要目标, 提出应对各类事故因素的措施, 并结合国内现状提出若干建议和设想。

**关键词:** 电网; 事故; 安全; 预防

## Analysis of causes and prevention methods for power network accidents

ZHANG Liang-dong<sup>1</sup>, SHI Hui<sup>2</sup>, ZHANG Yong-jun<sup>2</sup>

(1. Guangdong Power Grid Company, Guangzhou 510600, China;

2. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Through the analysis and conclusions to the power network accidents at home and abroad over the years, especially the ones in recent years, some of the major factors are recognized, namely, natural factors, equipment factors, human factors, network factors and market factors. Taking the characteristics of various factors into account, as well as the accident cases, analysis about the impact of various factors on the power network accidents are made. And several proposals and ideas are put forward to prevent accidents of power networks.

**Key words:** power network; accident; security; prevention

中图分类号: TM71 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)04-0130-04

## 0 引言

近年来, 国内外电网事故频发, 引起多起大停电事故<sup>[1-3]</sup>。在国外, 2003年“8.14”美加大停电, 酿成北美历史上最为严重的大停电事故; 2005年俄罗斯莫斯科大停电, 导致附近25个城市发生大面积断电事故; 2006年西欧大停电, 引起西欧多国发生严重停电事故, 约1 000万人受影响; 此外, 还有东京大停电, 洛杉矶大停电, 印尼大停电等。在国内, 有2005年新疆“8.22”事故, 2006年华中电网“7.1”事故等; 而影响最大, 危害最广的当属2008年初南方冰灾导致的大停电事故。在当今社会高度依赖电力的情况下, 任何一次停电事故都会带来巨大的损失。电力安全直接影响到社会秩序稳定和社会经济和谐发展, 因此, 必须予以高度重视。

上述电网停电事故引起人们深刻反思和积极探索, 相关领域的研究从不同角度分析了事故原因, 并提出了大量的改进措施。本文在借鉴相关研究成果的基础上, 将电网事故原因粗略分为自然因素、

设备因素、人为因素、网架因素和市场因素几个方面, 分别结合事故简述, 提出相应的预防或解决措施, 以及一些规划设想。

## 1 自然因素

自然因素一般指导致系统发生连锁故障的自然灾害或恶劣的气候条件。造成大停电事故的自然因素主要有强风、冰雪、地震、雷击、沙尘暴、洪水、山体滑坡等。针对近年来国内自然灾害引发的大停电事故和频发事故, 本文主要讨论强风、冰雪和地震几个方面的因素。

在引发电网事故的自然灾害中, 风灾是最为严重的一种<sup>[4]</sup>。根据已有数据统计, 近二十年来国内外几乎每年都有风灾引起的电网事故发生。在东南沿海一带主要是强台风, 在内陆地区主要是飓风, 龙卷风等。强风能够导致输电线路闪络、雷击跳闸等, 严重时会造成输电线路杆塔倒塔。在历次风灾事故中, 倒塔现象比较普遍, 危害也比较深远, 需引起重视。2005年6月14日发生的江苏泗阳500 kV

任上 5237 线风致倒塔事故, 一次性串倒 10 基输电塔, 并引起临近 5238 线跳闸, 对华东电网造成严重影响。事故表明, 现有输电塔设计规定所确定的横隔面数量及位置设置不足以约束结构变形, 需对强风地段的输电塔综合考察并特别设计。

冰雪灾害, 是引发电网事故的又一大因素, 比较普遍的事故现象是开关设备冻结卡死, 输电设备覆冰裹雪导致闪络, 导线舞动, 以及线路、杆塔断裂损毁等。冰雪灾害以其覆盖面广、持续时间长、受损设备维修困难等特征, 通常引起大范围停电事故。有时冰雪灾害与强风相互作用, 扩大事故影响。2008 年初南方几省发生的特大冰雪灾害事故, 导致国家电网高压线路杆塔倒塌 17.2 万基, 受损 1.2 万基, 各电压等级线路停运 15.3 万条, 变电站停运 884 座, 直接财产损失达 104.5 亿元; 南方电网杆塔损毁 12 万多基, 受损线路 7 000 多条, 变电站停运 859 座。除冰雪灾害的极端严重性外, 造成此次事故重大损失的因素还有: 对冰灾认识不足, 导致输电线路和杆塔设计标准远低于实际覆冰厚度; 绝缘子覆冰闪络严重, 存在技术缺陷; 网架结构可靠性不够高; 冰灾初期, 部分地区没有引起足够重视, 没有及时除冰和抢修, 隐患累积造成事故; 通信系统不够完善; 系统解列后局部地区配电系统分散管理效率低等。

地震灾害引发的电网事故一般集中在震中附近, 而强烈地震则会引发大范围电网事故, 有时对电网设备造成毁灭性破坏。系统中高压变电装置通常因其结构细长, 安装时“头重脚轻”而易于损毁, 在地震灾害中倍受关注。2008 年 5 月发生的四川汶川地震, 波及临近数个省份。地震导致国家电网受损 110 kV 及以上变电站 258 座, 110 kV 及以上输电线路 204 条, 停运 110 kV 及以上变电站 90 座, 线路 181 条, 电力损失负荷 685 万 kW。设施损毁根本原因在于地震烈度高于设防标准。因此, 有必要针对地震带地区专门设计更为严格的设备防震标准, 以及加强对设备防震的经验总结和技术研究。

引起电网事故的自然因素主要是极端的气候、环境变化, 具有突发性和强破坏性, 无法避免。近些年国内外对自然灾害的统计表明, 随着人类生态环境的变化, 这些因素将有增无减, 并会更频繁、更多样、更剧烈地出现在我们周围。应对自然因素引发的电网事故, 最重要的是要做好预防工作:

(1) 迫切需要建立灾害预警预测预报系统, 特别是中长期预测系统。建议电网企业高层与国家地质、气象部门及高校地理、气候学专家合作成立专项部门长期研究各种自然灾害的规律及其对电网的

影响并做出准确预报预警。

(2) 建立应对灾害紧急预案系统<sup>[5-6]</sup>, 提高旧有的灾害防御级别, 扩充应对非常规灾害的内容, 并采取不定期反事故演习加以训练。改变以往紧急预案设想简单, 策略单一的缺点, 结合雪灾和地震的经验教训, 综合考虑大事故后电网运行与社会交通、物资、大众心理等状况; 对少见的自然灾害也应早作救灾预案, 充分估计灾害程度; 通过不定期反事故演习训练领导应变指挥能力, 人员、设备救灾能力及部门协调, 系统解列、自组合运行能力等。

(3) 充分利用检修、灾后重建的时机优化系统, 对系统进行升级改造。这样既能有效提高电网健壮性, 又能节约时间和人力物力。在江苏风灾事故灾后抢修中, 施工人员不仅对受损杆塔采用重新设计, 而且更换新型导线, 加固未受损杆塔, 起到明显效果。

## 2 设备因素

因设备老化或质量、性能缺陷导致非正常工作引发电网停电事故, 称为设备因素导致事故。一般, 设备因素多指继电保护装置或开关拒动、误动。在现代电力系统中, 电网设备自动化水平越来越高, 电网安全越来越依赖于自动化设备的可靠工作。然而, 目前国内外技术水平还远达不到使各设备完全可靠地工作。自动化设备大都结构复杂, 任何一个环节出问题都有可能造成设备故障, 甚至引发连锁反应导致电网事故。

2005 年 8 月 22 日晚, 新疆石河子地区恶劣气候导致一条 110 kV 线路出现接地故障<sup>[7]</sup>, 故障电压随即引起下级变电站另两点故障。由于某 35 kV 线路保护装置出现误动作, 而另一 110 kV 开关跳闸拒动作, 引起事故扩大。华中电网 2006 年“5.29”事故<sup>[8]</sup>, “7.1”事故<sup>[3]</sup>, 莫斯科“5.25”事故, 乃至美国“8.14”事故, 经调查, 都与保护及开关设备不正确动作密切相关。设备因素在事故初始阶段的恶劣影响往往是事故扩大的直接原因。

当前, 欧美发达国家的自动化设备制造水平高于我国, 其安全可靠性指标有目共睹, 然而, 仍然无法避免设备因素导致的电网事故。可见, 要预防设备因素导致的电网事故, 还应从以下方面入手。

(1) 积极引入高可靠性技术手段, 加快普及和优化配置高性能自动化设备, 并切实投入使用, 发挥设备性能优势。普及高性能设备是全面提高电网可靠性的核心环节, 也是现代化电网的发展趋势。

(2) 在检修或灾后检查时, 对同一品牌的产品针对已有故障进行专项排查, 并建立可查询的网络

电子档案,各电力企业可随时进行查询或交流。

(3) 在电网重要环节考虑使用不同工作原理,不同特性,不同厂家的设备作为备用和替换设备,以尽量确保系统再次故障时自动装置能准确动作,控制事故发展;对预警装置设置可靠的声、光、文字记录协同预警方式;建设灵活可靠的通信网络。

(4) 针对设备生产厂家为赶工期,忽视产品质量的现象,电力企业可与之达成产品事故责任制协议,使厂家参与设备维护,可在一定程度上提高设备质量水平。

### 3 人为因素

人为因素主要指人为故意破坏或运行人员的误操作等。传统的人为因素有偷盗电缆电线,窃电,施工破坏电力设备,运行人员误操作、误决策等,新型人为因素还包括恐怖袭击,战争袭击等。人为因素引发的大停电事故相对少见,一般只造成区域断电。然而,这一因素也不容忽视。

2003年伦敦大停电,造成社会秩序混乱,产生严重影响。究其根源,是操作人员安装了一个错误规格的保险丝,导致自动保护设备启动,切断主要电力供应;2005年洛杉矶大停电,是由于几名电工将配电站电缆错接引起;2006年东京大停电,是由于交通事故引发吊车碰到高压输电线导致;2009年1月,长沙因野蛮施工钻断一条220 kV电缆造成城市大面积停电。

在国内,造成或扩大停电事故的人为因素大多是由操作人员引起的<sup>[9]</sup>。2006年华中电网“5.29”事故,以及2008年南方冰灾事故中,都有运行操作人员处理滞后,决策失误的现象存在。预防人为因素导致的电网事故,可以在以下几方面加以尝试。

(1) 从思想入手,树立“宁可防十九空,不求亡羊补牢”的理念,把防范意识作为安全工作的首要条件。电力操作人员的懈怠和疏忽大意是造成电网事故的重要因素之一,因此,树立主动防范的思想和高度警惕、认真细致的工作态度是对每一名电力员工的基本要求。

(2) 探索建立更为高效合理,且更为人性化的调度人员责任制。基于对电网安全的重视,电力企业对调度人员的选用是极为慎重的,对出现事故的调度人员惩罚也十分严苛,这就往往导致调度人员心理压力过重,在系统出现异常情况时往往采取保守措施,贻误处理事故的最佳时机;或效率低下,或慌乱失措,丢失主动权。建议对调度人员建立个人信息库,引入生理、心理、情绪等指标考查,并尝试更为灵活的奖罚制度。

(3) 建立电力企业人员流动制,将企业间人员流动作为技术交流及奖罚制度的重要内容。国有企业“铁饭碗”的形象由来已久,由此产生的弊端,诸如责任心不强,效率低下等也在一定程度上束缚着电力企业的发展。将人员流动纳入企业奖罚制度,能有效提高员工和企业的活力,也能促进电网安全高效运行。

(4) 加大力度培养电力员工的专业素质;加快完善和监督执行电力法规,采用摄像头和警报装置防治盗窃电缆电线,窃电行为;对骨干线路的设计施工考虑防恐怖袭击的因素。

### 4 网架因素

从大电网角度而言,几乎所有的电网停电事故都与网架结构缺陷有关。网架因素即是指电网结构薄弱或规划不合理,当系统受扰动时易发生稳定破坏的情况。造成大停电事故的网架因素主要存在于输电网中。我国电网易受扰动的几种结构有:长距离联系阻抗过大的单回路;高低压电磁环网;弱联系特大环网;受端系统过弱;主要电源支持;头重脚轻结构;弱联系联网;主系统受电比重大且联系薄弱的受端或地区电网;大用户侧供电结构不合理等。总体上,我国电网正处于从区域电网向全国大电网过渡的阶段,电压等级不断升高,输电方式也灵活多样,网架结构逐渐优化。然而这也客观上提高了电网复杂性和控制难度,加之我国特有的大电源-大负荷、跨地区远距离输电现状,网架因素正朝着系统化、复杂化方向发展,需引起重视<sup>[10]</sup>。预防网架因素引起的电网事故,应考虑:

(1) 加快国内大电网互联的同时,促进与国外电网的互联。电力企业走向国际是经济全球化的结果,也是我国电网安全,电力企业壮大的良好契机。东北沿海,西南云贵地区已实现不同程度的国际电网互联,均取得良好效果。

(2) 提高经济发达地区的电力自给水平,减少对大电网的依赖。我国经济发达地区,特别是东南沿海工业城市,大都严重依赖外来电力供应。这些城市分布集中,电力需求大,一旦出现停电事故将损失严重。建议沿海城市加大力度研究建设分散分布的高效、中小型核电电源,可以降低成本,同时提高电网安全水平。条件允许的可以将核电厂建在近海岛屿或人造岛屿上,尽量避免出现核安全事故。

(3) 加强分布式发电和微电网技术。开发风电、太阳能发电、垃圾发电等新型电源,作为城市公共照明辅助电源,或结合储能技术,开发城市分布式后备电源;研究微型核电技术,开发车载的事故抢

险或工程用移动核电电源; 引导电器制造企业开发自带 UPS 电源的各种电器产品, 以应对电网保护重合闸或短时停电。

## 5 市场因素

美国“8.14”大停电事故引发世界电力行业对电力安全的探讨, 其中, 电力系统高度市场化被视为事故原因之一。本文借鉴此观点, 将电力市场化列为电网事故因素之一加以分析。

美国“8.14”大停电事故看似是由各种客观因素综合作用导致的, 而其事故根源在于电力市场机制的某些缺陷。美国东北部电网实行开放上网电价, 限制销售电价的政策, 而发电侧多个垄断寡头形成价格同盟, 客观上制约了输电公司获利以致难以维持。输电公司无力更新和改造电网, 设备超负荷运转和超龄服役现象普遍, 最终出现电网事故也是可以预料的<sup>[1]</sup>。

我国电力市场化改革正在积极进行中, 前景广阔。但上述事故说明, 高度市场化的电力行业仍存在严重弊端, 必须有所认识。针对事故教训, 本文提出以下几点建议:

(1) 在引入市场机制的过程中要重视电力市场模式的取舍和创新。不同的经济社会文化背景和国情决定了不同电力市场的生命力, 国外电力市场化改革有成功, 也不乏失败的案例。我国社会现状和电力行业状况有诸多无法复制的特点, 因此, 电力市场化改革应积极探索, 稳步进行, 不能盲从冒进。

(2) 严格的监管制度是保障电力市场改革顺利进行的基础, 建议将社会专家和群众纳入监管制度, 推广听证会, 信息透明化, 避免将电网经济性凌驾于安全性之上的现象发生。

(3) 保留政府参与制定上网电价和销售电价的政策。电价是电力市场的核心内容, 不仅影响到整个电力系统的协调发展, 也关系着国计民生。政府参与定价, 才能全局把握, 并引导电力市场化改革朝着合理的方向发展。

## 6 结语

近年来国内外一系列电网事故导致相关地区遭受重大损失, 引起人们反思, 如何才能保障现代高度自动化的电力系统安全运行。本文认为, 应对电网停电事故, 要防治结合, 重在预防。大多数电网事故的演变都是由自然、设备、人为和网架结构等多种因素同时作用导致的, 而某些时候, 深层次事故原因还涉及电力市场环境乃至社会经济政治环境等主观因素。要避免电网停电事故, 就应当从上

述因素入手, 结合所提的建议, 采取科学合理的措施, 排除事故隐患, 提高各项安全指数, 将事故消灭在萌芽状态。

## 参考文献

- [1] 陆佳政, 蒋正龙, 雷红才. 湖南电网 2008 年冰灾事故分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (11): 17-19.  
LU Jia-zheng, JIANG Zheng-long, LEI Hong-cai. Analysis of Hunan Power Grid Ice Disaster Accident in 2008[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (11): 17-19.
- [2] 贾长朱. 从美、加停电事故看我国电力系统安全[J]. 现代电力, 2004, 21 (3): 70-73.  
JIA Chang-zhu. Analysing Our Electric Networks Safety from the US / Canada Power Down Event[J]. Modern Electric Power, 2004, 21 (3): 70-73.
- [3] 周勇, 陈震海. 华中(河南)电网“7.1”事故分析与思考[J]. 湖南电力, 2008, 28 (3): 28-30, 47.  
ZHOU Yong, CHEN Zhen-hai. Analysis of the “7.1” Network Incident of Central China (Henan) [J]. Hunan Electric Power, 2008, 28 (3): 28-30, 47.
- [4] 林建勤. 建立科学高效的电网防台风暴雨应急机制[J]. 供用电, 2007, 24 (4): 9-11, 14.  
LIN Jian-qin. Establishing Scientific and Highly Efficient Mechanism for Power Network to Cope with Typhoon and Rainstorm[J]. Distribution & Utilization, 2007, 24 (4): 9-11, 14.
- [5] 汪若品, 孙国彬. 电网应对冰雪灾害防范措施的探讨[J]. 供用电, 2008, 25 (3): 32-34.  
WANG Ruo-pin, SUN Guo-bin. Discussion on the Prevention Measures of Power Network Against Snow and Ice Disaster[J]. Distribution & Utilization, 2008, 25 (3): 32-34.
- [6] 蒋利发, 蒋春芳. 地方电网大面积停电事故应急预案的制订[J]. 供用电, 2007, 24 (3): 27-28, 34.  
JIANG Li-fa, JIANG Chun-fang. Contingency Plan Formulation for Large Area Power Outage of Regional Power Grid[J]. Distribution & Utilization, 2007, 24 (3): 27-28, 34.
- [7] 陈敏智. “8.22”电网事故教训[J]. 电力安全技术, 2007, 9 (6): 26-28.  
CHEN Min-zhi. Lessons for the “8.22” Power Grid Accident[J]. Electric Safety Technology, 2007, 9 (6): 26-28.
- [8] 李国柱. 华中电网“5.29”事故处理及分析[J]. 华中电力, 2007, 20 (6): 36-39.  
LI Guo-zhu. The Treatment and Analysis for “5.29” Accident of Central China Power Grid[J]. Central China Electric Power, 2007, 20 (6): 36-39.

(下转第 150 页 continued on page 150)

10 (3) : 1-7.

[78] 文福拴, 韩祯祥, 田磊, 等. 基于遗传算法的电力系统故障诊断的解析模型与方法, 第二部分: 软件实现[J]. 电力系统及其自动化学报, 1998, 10 (3) : 8-14.

WEN Fu-shuan, HAN Zhen-xiang, TIAN Lei, et al. An Analytic Model and Genetic Algorithm Based Methods for Fault Diagnosis in Power Systems Part II: the Software Implementation[J]. Proceedings of The CSU-EPSA, 1998, 10 (3) : 8-14.

作者简介:

林 圣 (1983-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统故障诊断; E-mail: linsheng-1@163.com

何正友 (1970-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为小波分析在电力系统故障分析中的应用、新型继电保护原理、配网综合自动化;

钱清泉 (1936-), 男, 中国工程院院士, 从事电力监控系统及其自动化研究。

收稿日期: 2009-02-10; 修回日期: 2009-04-17

(上接第 112 页 continued from page 112)

参考文献

[1] 洪宪平. 走向网络化的远动系统[J]. 电力系统自动化, 2001, 27 (13) : 1-3.

HONG Xian-ping. Telecontrol System Tending Towards Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 27 (13) : 1-3.

[2] 张岳匀, 何志伟. SCADA系统通信规约的标准化及建议[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12 (5) : 42-44.

ZHANG Yue-jun, HE Zhi-wei. Protocol Standardization of SCADA System and Advice to IT[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 12 (5) : 42-44.

[3] 潘莹玉. 我国电网调度自动化系统的发展与现状[J]. 继电器, 2000, 28 (6) : 58-62.

PAN Ying-yu. Development and Current Situation of Power Dispatching Automation System in China[J]. Relay, 2000, 28 (6) : 58-62.

[4] 王恒, 谢小荣, 童陆园, 等. 集中分层式安全稳定控制系统的开发及其在贵州电网中的应用[J]. 继电器,

2005, 33 (2) : 75-78.

WANG Heng, XIE Xiao-rong, TONG Lu-yuan, et al. Development of a Centralized Hierarchical Stability Control System and Its Application in Guizhou Power System[J]. Relay, 2005, 33 (2) : 75-78.

[5] 宋人杰, 王强. 组态软件通信接口在DCS仿真界面设计中的应用[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (1) : 93-95.

SONG Ren-jie, WANG Qiang. Application of the Industrial Control Configuration Software Communication Interface in the Design of DCS Simulation Operation Contact Interface[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (1) : 93-95.

收稿日期: 2009-03-04; 修回日期: 2009-07-11

作者简介:

王 滔 (1982-), 男, 硕士, 从事电力系统自动化调试维护方面的工作; E-mail: wangtao\_8282@tom.com

邱 武 (1971-), 男, 学士, 工程师, 从事电力系统自动化调试维护方面的工作。

(上接第 133 页 continued from page 133)

[9] 梁广, 张勇军, 黎浩, 等. 变电运行人因事故分析的拟 REASON 模型[J]. 继电器, 2008, 36 (3) : 23-26.

LIANG Guang, ZHANG Yong-jun, LI Hao, et al. Quasi-reason Model for Human Errors Analysis in A substation Operation[J]. Relay, 2008, 36 (3) : 23-26.

[10] 陈海波. 国内外城市大面积停电分析及启示[J]. 广东电力, 2008, 21 (2) : 34-39.

CHEN Hai-bo. Analysis and Inspiration of Large-scale Blackout in Cities at Home and Abroad[J]. Guangdong Electric Power, 2008, 21 (2) : 34-39.

[11] 张锋. 预防和应对电网大停电事故的研究[J]. 华东电力, 2007, 35 (4) : 37-40.

ZHANG Feng. Prevention and Handling Measures for Blackouts[J]. East China Electric Power, 2007, 35 (4) : 37-40.

收稿日期: 2009-02-21; 修回日期: 2009-03-17

作者简介:

张良栋 (1974-), 男, 硕士, 高工, 主要从事配电网运行管理和电力营销工作;

石 辉 (1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定、运行与控制;

张勇军 (1973-), 男, 博士, 副教授, 主要从事电力系统无功优化和电压稳定、电力系统可靠性与规划等研究。E-mail: zhangjun@scut.edu.cn