

国外典型大停电事故分析及对北京电网启示

电力是国民经济的支柱，电网安全可靠对国家的安定发展起着重要意义，因此对任何一次大停电事故进行分析，吸取其经验教训是十分必要的。本文阐述了大停电事故的衍生机理，分析了国内外各种典型停电事故的发生原因，以此类比北京电网，分析北京电网本身安全隐患，最后提出相应的应对措施，为北京将来的电网建设提供了参考案例和经验教训。

滕苏邨 宫一玉 张璞 高杨鹤 姜奇鹤/北京电力经济技术研究院

0 引言

电网安全可靠运行是社会生活正常运行的基础，任何一次停电都可能带来巨额的经济损失，严重影响人们的日常生活。近年来美国、俄罗斯、巴西、日本和一些欧洲国家相继发生了大面积停电事件，给当地经济发展、社会稳定及国际形象带来了极大的负面影响。从已掌握的信息可以看出，虽然近年来电力系统科技水平不断提高，管理方式日趋

完善，但大规模停电风险始终存在。北京作为中国首都，电网需满足符合首都标准的城市供电超稳定要求，以确保万无一失。因此总结其他国家大停电事故深刻教训并引以为戒，对北京电网进行安全可靠评估、完善电网薄弱环节是十分必要的。

1 大停电事故演生机理

大量的事例可以看出，导致大停电不会是个简单事件，因为电力系统一般都配备有相应的保护和控制措施，可以保证在适度可信事件下的安全性，不致演化为大面积停电。大面积停电往往是一系列事件和诸多偶然因素的综合发展结果。导致电力系统大停电的因素及其发展示意图如下图所示。由图可见，从系统运行角度来说，导致大面积停电的4个主要因素如下。

- 1) 功角稳定破坏，系统失步。
- 2) 过负荷连锁跳闸。
- 3) 电压崩溃。
- 4) 频率崩溃。



滕苏邨/工程师

关键词/Keywords

大停电 ·
电网安全 ·
可靠性评估 ·

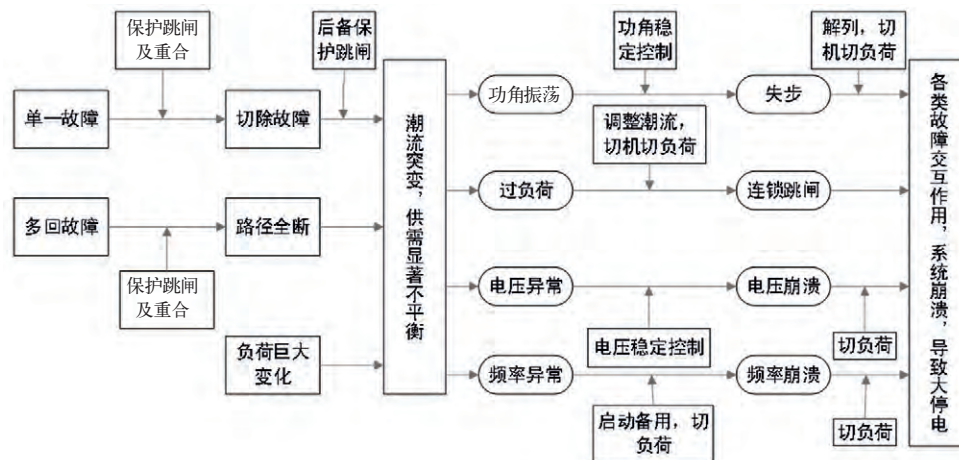


图 大停电事故发展过程图

上述几个因素一般不是孤立作用的，实际上导致系统大停电往往是各种因素相互作用的、相继的、综合的效果。各种事件及其相互作用有很大的偶然性，事先难以预计。

2 大停电事故主要原因

导致电网大停电往往是各种因素相互作用的、相继的、综合的效果。纵观国内外发生的各种大停电事故，恶劣气候、设备故障依然是引发电网事故的直接原因，但分析其内部原因大致可以分为4个方面。下表列举了国内外多次典型大停电事故，并按照引起事故的主要内部原因进行分类。

表 世界各国主要大停电事

事故分类	时间	事故
电力设备故障	1982-12-14	加拿大电网失去稳定大停电
	1983-12-27	瑞典电网电压崩溃失去稳定
	1984-04-18	巴西电网失稳瓦解大停电
	2003-08-28	伦敦大停电
	2011-02-04	巴西东北部电网振荡解列
	2012-07-30	印度北部大停电
	1987-07-23	东京电网电压崩溃过负荷跳闸
供需不平衡	1994-12-14	美国西部WSCC失稳瓦解大停电
	2003-08-14	美国和加拿大大停电
	2003-09-28	意大利电网失去稳定瓦解
	2002-01-02	印度北部电网过负荷跳闸失去稳定
	2006-07-01	华中电网大停电
	1989-03-13	加拿大电网失去稳定大停电
	1999-03-11	巴西电网失去稳定瓦解大停电
网架薄弱	2009-11-10	巴西大停电
	2011-09-24	智利大停电
	2013-06-05	上海大停电
	2003-09-23	丹麦-瑞典大停电
	1996-07-02	美国西部电网大停电
调度组织缓慢	2003-09-28	意大利电网失去稳定瓦解大停电
	2006-07-17	美国纽约大停电
	2006-11-02	欧洲互联电网大停电

2.1 电力设备故障

电力设备老化，是引起大停电事故最常见的起因之一，这主要是部分电网电力投资不足、设备超期服役、维护工作不到位，难以防范于未然。

2005年5月24日，俄罗斯莫斯科地区34座城市发生大面积停电事故，约200万人受到影响。其原因为该地区一座变电站设备老化引起变压器过负荷发生爆炸，同时引起13个变电站内变压器和若干条220 kV线路过载，陆续跳闸所致。

2005年印度尼西亚发生大面积停电事故，事故由线路故障引发，故障前系统已经接近运行极限，从而引发过载设备的连锁跳闸。事故损失负荷占全网负荷30%，约1亿人受到影响。

2.2 电力供需不平衡

经济社会发展促使社会用电量攀升，当地区发电容量不能满足电力负荷增长时，为了防止系统频率下降往往通过甩负荷来保持系统稳定，这样就必然会引起局部地区停电。当供电缺口继续扩大时，则有可能出现大面积停电严重事故。

2002年1月，印度北部电网发生大面积停电事故，损失负荷达到1 270万kW。分析其事故原因，主要为北部电网过负荷，供需不平衡，使得保护跳闸，最终导致系统解列。

2011年9月8日，美国西南部及美墨边界地区大停电事故，造成包括亚利桑纳州西南部、加州南部及墨西哥部分地区在内的140万户、超过500万人受到严重影响，超过1亿美元的经济损失。该地区作为高受电比的受电端系统，电力输送通道方向单一且输送能力较弱，电力供需平衡无法得到保证，一直存在电力供应的安全隐患。

2.3 电网网架存在薄弱环节

电网接线形式不合理、网架结构薄弱等，极易发生故障并引发其他设备过载跳闸的连锁故障。

2011年9月24日，智利中部地区发生大面积停电。停电主要原因由输电线路振动导致碰线引起。这次大停电事故反映出智利电网结构薄弱，电源配置过于集中。若电源配置相对分散合理，则可以避免因单一线路或走廊故障造成大面积停电事故的发生。

2.4 调度组织形式不合理

发达国家中的电力事业一般为商业化运作、市场化调节,缺乏统一调度。当系统发生严重故障时,电网中各个运行单位各自为战,没有形成完善的沟通、协调机制,给系统的故障处理带来障碍,降低了事故的处理进度,导致事故的蔓延扩大。

2006年7月,美国纽约地区发生大面积停电事故。事故时纽约地区受高温影响,负荷急剧攀升,使得线路过负荷,先后有10条27 kV电缆故障。因缺乏统一调度,未能采取果断措施,潮流过载引起连锁反应,变压器和线路陆续跳闸。事故波及纽约皇后区,约10万人受到影响。

2006年11月2日,欧洲互联电网发生一起大面积停电事故,波及法国、比利时、意大利和西班牙等多个重要城市。事故起因因为德国电力公司擅自将2条380 kV线路停电,导致局部电网过载,潮流转移发生连锁反应。究其根本原因是德国电力公司未严格执行N-1标准,以及各输电运营公司之间协调不当导致的。

3 北京电网大停电风险分析

“十一五”以来,北京电网实现了跨越式发展,设备水平大幅提高,网架结构不断优化,基本具备了国际化大都市电网特征。但高速发展背后仍然存在着一些问题,威胁着电网安全稳定运行,若对其置之不理,极端情况下有可能发生大面积停电事故。

3.1 电力设备风险

变电、输电设备设施、电力隧道长期高负荷运行或超龄服役将会加剧器件老化,成为电网安全风险潜在因素。目前北京电网通过逐年设备改造和隐患整治工程的实施,大批存在安全隐患和老旧设备得到更新改造,电网设备可靠性得到明显提升。但分析设备运行现状,仍有少量存在运行缺陷的设备,存在着安全运行隐患。

对于电力隧道来说,部分老旧砖混隧道由于建设年代较久,造成了隧道结构出现顶板开裂、积水等问题,对电缆线路的安全运行造成威胁;由于隧道规划不尽合理,造成部分隧道电缆数量过多,存在电缆1-N情况,即一条电缆着火或故障

容易引起同隧道内其他电缆的故障。

3.2 供需平衡风险

北京本地能源相对匮乏,能源对外依赖度较高,本地电力供应能力不足,仅相当于东京电网20世纪80年代中期水平,使得北京电网为典型的受电端电网,从外部受电的比例高达70%。随着北京经济的发展和人口的增加,北京电网负荷逐年增加,但发电能力增长缓慢,巨大的供需差额只能依靠外送电力予以平衡。然而外受电力通道潜力有限,安全裕度逐年下降,预计2017年后将面临严重的用电紧张局面,电力供需“紧平衡”将转化为不断扩大的“硬缺口”。

3.3 网架结构风险

现状北京电网与东京、巴黎等城市相似,基本形成了高压外围成环,深入市区的网架结构,总体安全水平较高,但局部网架依然存在一些问题,亟待解决。

1) 500 kV环网缺少枢纽站。北京500 kV外部的双环网构架已基本形成,但布局仍需调整和完善。环网中的枢纽站接纳外受电力不均,昌平、顺义和安定3座500 kV变电站接纳电力占总受电的84%,上述任一故障站,会造成环网中的潮流大规模转移,严重时造成地区负荷损失。

2) 局部地区供电可靠性低。部分220 kV负荷变电站电源方向单一,尤其在远郊地区仍缺乏220 kV变电站布点,供电可靠性低。例如平谷、怀柔、密云等地区现状均仅有1座220 kV变电站,若220 kV变电站发生全停等极端事故,将发生区域性停电的严重事故。

3) 重负荷地区缺少电源支撑。随经济发展,北京地区尤其中心城区负荷增长加快,使得电源支撑逐渐呈现疲态。对比2012年7月的印度大停电事故(此次事故主要由于负荷中心缺乏电源支撑,远距离的输电救援无法为事故中心的振荡起到支撑作用,最终出现了大面积停电),将足够电源量引入到负荷附近,将对区域电网的安全运行起到至关重要的作用。

4 应对措施

客观上讲,任何电力系统的安全供电都是相对的。而随着社会发展和科技进步,全社会对

电的依赖越来越强,停电事故影响的面将越来越宽。北京作为世界城市的供电要求,急需再进一步提高电网抵御灾害的能力,建立全社会应对电网事故的应急机制。

4.1 高可靠性设备运行标准

北京作为首都对供电可靠性的高要求,需要高标准建设的电网,需要采用高标准的施工工艺和高可靠的设备,对老旧设备进行及时检修更换,确保首都电网的安全稳定运行。

4.2 保障外部电力供给

北京电网作为受电端电网,外受电力超过70%,北京电网的安全可靠运行和电力平衡与华北电网息息相关,因此特高压网架以及华北网架的发展要考虑北京首都的特殊地位,保证北京电网的电能供给和电源支撑。

4.3 进一步完善网架结构

推进重点输变电工程建设,以满足负荷增长,减少主变过载率。加强电网联络线建设,提高供电可靠性。使电源深入负荷中心,提供有力电源支撑。

4.4 建立应急保障体系

建立和完善各级停电应急预案,定期开展应急演练。在发生大面积停电情况下,能够做到快速响应,有效维护社会秩序。正确发布信息,保持社会稳定,将事故损失控制在最小程度内。重视重要用户及场所保安备用电源的建设和管理。

5 结束语

大面积停电、严重缺电能够迅速波及整个网络,使大城市顷刻间陷入瘫痪,其损失、后果和造成的影响都是难以估量的。电力安全越来越关乎国家安全。上表所列的这几起大停电事故为我们敲响了警钟,电力安全生产事关社会稳定,事关经济发展,事关人民群众生活。这些大停电事故充分表明,只有电网坚强才能满足不同运行方式的需求并抵御负荷大幅度变化等可能给电网安全运行造成的影响。这些为北京将来的电网建设

提供宝贵的参考案例和经验教训。

参考文献

- [1] 何大愚. 一年后对美加“8.14”大停电事故的反思[J]. 电网技术, 2004, 28(21): 1-5.
- [2] 印永华, 郭建波, 赵建军, 等. 美加“8.14”大停电事故初步分析以及应吸取的教训[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 8-9.
- [3] 西门子公司输配电集团. 全球大停电的经验教训[J]. 中国电力, 2007, 40(10): 75-81.
- [4] 蔡洋. 电网调度管理须与电网发展俱进——北美东北电网事故浅析[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 11-14.
- [5] 甘德强, 胡江滋, 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.
- [6] 甘德强, 胡江滋, 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.
- [7] 李春艳, 孙元章, 陈向宜, 等. 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[J]. 电网技术, 2006, 30(24): 16-21.

(收稿日期: 2015-05-15) EA

作者简介

滕苏邨(1986-), 男, 工程师, 硕士研究生, 主要从事电力系统仿真、电力系统规划设计相关工作。

宫一玉(1987-), 女, 工程师, 硕士研究生, 主要从事电力系统规划设计相关工作。