

FADIANCHANG QUANCHANG TINGDIAN SHIGU SHILI YU FENXI

发电厂全厂停电事故 实例与分析

李玮◎编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

FADIANCHANG QUANCHANG TINGDIAN SHIGU SHILI YU FENXI

发电厂全厂停电事故 实例与分析

李玮◎编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以实际应用为主线,精选十多年来我国发电厂全厂停电典型事故 60 例,按自然灾害及外力破坏、一次设备(系统)故障、安全自动装置及继电保护装置故障、控制及二次回路故障、人为责任引发的事故进行分类阐述,对事故经过、事故原因进行详细分析,总结经验教训,针对每个事故实例在分析原因并提出整改建议及防范措施后,参考反事故措施、标准、设计规程、技术规范及专业知识点等相关内容,在每个事故分析后都配置了相关知识点,以便读者理论与实际相结合,更好地加深理解,有助于在理解的基础上严格执行反事故措施、规程、标准要求。

本书可供发电系统运行与维护人员及设计院、电力科学研究院和大学院校专业人员学习、借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂全厂停电事故实例与分析/李玮编. —北京:中国电力出版社, 2016. 3

ISBN 978-7-5123-8776-8

I. ①发… II. ①李… III. ①发电厂-停电事故 IV. ①TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 006639 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 3 月第一版 2016 年 3 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 19.75 印张 356 千字

印数 0001—2000 册 定价 60.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

电力是事关国民经济发展的**重要基础产业之一**，与人民的安居乐业、社会的繁荣发展息息相关，因此**安全生产是电力企业永恒的主题**。电力系统一旦发生事故将会对社会和经济带来灾难性的影响，但是依据系统论与可靠性的观点，任何系统都不会有100%的绝对可靠性，停电事故总是不可避免的。为总结电力生产事故教训，促进电力生产安全管理，不断改进和提高专业人员的安全生产管理及设备维护水平，保障社会经济发展和人民生活对电力需求的供给，实现“保人身，保电网，保设备”的目标，笔者在多年工作实践经验的基础上参考大量资料文献编写了本书。

本书参考十多年来我国发电厂的全厂停电事故资料，精选典型事故实例60例，按自然灾害及外力破坏引发的事故、一次设备（系统）故障引发的事故、安全自动装置及继电保护装置故障引发的事故、控制及二次回路故障引发的事故、人为责任引发的事故分类进行剖析，对事故经过、事故原因进行详细分析，总结经验教训，针对每个事故实例在分析原因并提出整改建议及防范措施后，参考反事故措施、标准、设计规程、技术规范及专业知识点等相关内容，在每个事故分析后都配置了相关知识点，以便读者理论与实际相结合，更好地加深理解，有助于在理解的基础上严格执行反事故措施、规程、标准要求。

生产事故的发生都有其自身的规律和特点，每次事故后的调查分析总能发现，事故前就存在却未得到重视的安全隐患。这些安全隐患是由各种原因造成的，存在于“人、机、料、法、环”的某些环节，存在于设备的设计、采购、施工、调试及运行维护等各个阶段。尽管工作人员对这些事故隐患未能及时发现或者对其已熟视无睹、习以为常，但只要在生产经营活动中存在这些可能导致事故发生的物的危险状态、人的不安全行为和管理上的缺陷，发生事故的概率就会大大增加。本书从问题出发，分析异常事件发生的机理，总结防范措施，以冀从源头切断异常事件发生的链条，筑牢安全基础，切实保障人身、设备安全。

“前车之鉴，后事之师”说明了总结事故教训的道理，安全生产的经验不能

简单复制，但可以学习、借鉴、积累，关键是要用心来感受、感知。本书以实际应用为主线，突出了专业技术人员应当重点掌握的基础知识、基本原理，有关规程、规定，反事故措施要点。通过对事故、事件原因的分析，总结出引以为戒的教训，再制订有针对性的整改措施，达到警示的目的，尤其是对防止同类事故再次发生有着重大的借鉴价值。很多安全生产法规、制度和技术标准都是吸取事故教训的结果。实践证明，事故的发生与其起因有着必然的因果关系，通过总结经验教训，消除发生事故的原因，以防止事故。对发生在“他厂”“他人”的事件要感同身受，切莫漠然视之、重蹈覆辙。本书的出版有助于推进有关专业人员的学习和培训工作，有助于各级继电保护的技术人员，技术工作和电力系统运行、管理人员以及有关设计、研发人员完整地、掌握继电保护装置安全、可靠运行和实现快速、正确动作的基本要求，有助于提高专业人员素质，从而提高继电保护装置的运行水平。本书的出版还有助于提高专业技术人员的技术技能水平、安全防控意识及异常事件的分析、应对处理能力。

本书的出版问世不仅是编写者辛勤劳作的结果，更凝聚了众多为电力行业持之以恒努力奋斗的同仁、专家们的智慧和经验。囿于教材的体例，书中引用的专业理论、事例难以一一注明出处，谨在此向在本书编写过程中给予我帮助的电力科学研究院、设备厂家及大唐集团公司、大唐国际、基层电厂的同仁、专家们表示衷心的感谢！

编 者

2015 年 12 月

前言

第一章 大面积停电事故的综合分析与对策	1
第一节 概述	1
第二节 近年来国内外大面积停电事故回顾及简要分析	2
第三节 发电厂全厂停电的规律性分析	15
第四节 预防和控制发电厂全厂停电的相关措施	18
第二章 停电事故实例与分析	27
第一节 自然灾害及外力破坏引发的事故	27
例 1 与系统联系薄弱, 线路故障致全厂停电	27
例 2 单机运行遇线路遭雷击, 造成全厂停电	30
例 3 500kV 双回线路跳闸, 七台机组全部停运	33
例 4 线路覆冰相继跳闸, 机组被迫全停	42
例 5 雷电冲击设备损坏, 保护动作全厂停电	48
例 6 线路遭雷击, 保护越级跳闸全厂停电	53
例 7 厂房漏雨保护误动, 机组相继跳闸全厂停电	57
例 8 山火引发电厂全停, 保护配置不合理导致变电站全停	59
例 9 大雨造成冲沙底孔堵塞, 水漫厂房导致全厂停电	63
第二节 一次设备(系统)原因引发的事故	66
例 10 220kV 变电站故障失压, 发电厂全厂停电	66
例 11 支持绝缘子折断, 事故扩大致全厂停电	72
例 12 升压站绝缘子折断, 与系统解列全厂停电	77
例 13 倒闸操作绝缘子折断, 母差误动全厂停电	82

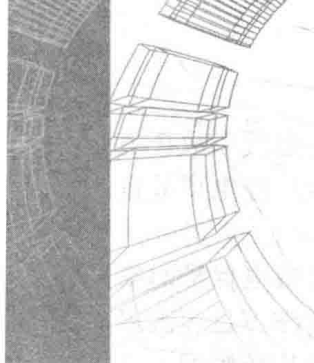
例 14	接触器触点卡涩, 母差保护动作全厂停电	86
例 15	主变压器中压侧元件故障, 连致两起全厂停电	90
例 16	绝缘子闪络放电, 谐振过电压致全厂停电	93
例 17	断路器无故偷跳, 机构失灵全厂停电	99
例 18	支撑绝缘子污闪放电, 接地不良引发全厂停电	103
例 19	绝缘子污闪放电, 母差保护动作全厂停电	114
例 20	处置不当, 电厂 220kV 母线全停	119
例 21	系统联网方式不合理, 机组振荡造成全厂停电	122
例 22	TV 二次反充电, 保护失压全厂停电	129
例 23	抗燃油泵跳闸, 电源开关故障引发全厂停电	133
例 24	TV 熔断器熔断, 保护退出线路全停	137
第三节	安全自动装置及继电保护装置故障引发的事故	139
例 25	进相运行遭雷击, 保护误动全厂停电	139
例 26	保护逻辑与机组调速功能不匹配, 系统故障引发全厂停电 ...	146
例 27	线路差动保护误动, 冲击电流致全厂停电	163
例 28	二次回路极性接反, 保护误动致全厂停电	168
例 29	断路器拒动, 失灵保护未启动引发全厂停电	172
例 30	母线故障引起联锁反应, 造成两厂失压停电	179
例 31	机组超速保护误动跳机, 引发全厂停电	183
例 32	辅机综合故障, 处置不当造成全厂停电	187
例 33	功率变送器输出畸变, 保护误动全厂停电	193
例 34	机组调速性能差, 系统故障时保护误动全厂停电	202
第四节	控制及二次回路故障引发的事故	208
例 35	对侧变电站母线故障, 出线解列全厂停电	208
例 36	电厂变压器引线故障, 导致对侧变电站全停	212
例 37	试验措施不当, 保护误动全厂停电	215
例 38	DCS 服务器失电, 事故扩大致全厂停电	218
例 39	DCS 交换机故障, 机组被迫全部停运	221
例 40	DCS 公用系统故障, 循泵跳闸全厂停电	226

例 41	控制系统无防护, 系统死机全厂解列	230
例 42	水冷壁爆管, DCS 误动全厂停电	234
例 43	监控系统网络故障, 燃机电厂全厂停电	238
例 44	监控系统死机, 造成电厂全厂停电	242
例 45	操作箱内交流串直流, 开关跳闸全厂停电	246
例 46	升压站交流串直流, 断路器跳闸全厂停电	251
例 47	直流消失故障无法切除, 机组烧毁全厂停电	255

第五节 人为责任引发的事故 260

例 48	检修人员误接线, 交流混入直流致全厂停电	260
例 49	升压站预试擅改措施, 保护误动全厂停电	264
例 50	调试人员误碰, 交流串直流全厂停电	269
例 51	走错间隔误分带电设备, 导致全厂停电	271
例 52	沙带坠落封母短路, 断路器故障全厂停电	275
例 53	误入带电间隔人身触电, 保护拒动全厂停电	281
例 54	焊接作业母线接地, 出线跳闸全厂停电	284
例 55	循环水中断, 连发四起全厂停电	290
例 56	误操作致循泵跳闸, 保护跳机全厂停电	293
例 57	疏于对外协人员的管理, 监护不到造成全厂停电	295
例 58	检修人员违章, 运行人员误判断造成全厂停电	297
例 59	备用电源自投逻辑有误, 电缆着火导致全厂停电	299
例 60	输煤皮带着火, 引发全厂停电	303

参考文献 306



第一章

大面积停电事故的综合分析与对策

第一节 概述

电力工业是国民经济重要的基础产业,是社会发展重要的公共事业,保证电力工业的安全发展、安全生产和可靠供应尤为重要。近几年来,我国电力工业取得了长足的发展,但是,随着我国电力工业步入大电网、大机组、大容量、超高压、交直流混合、远距离输电的发展阶段,电力系统的复杂性明显增加,电网的安全稳定问题日显突出,电力设备及系统的可靠性、能够安全稳定地输送电能已经成为彰显电力企业社会责任、社会形象的标志,电力系统的安全运行和连续可靠的发供电所发挥的重要作用也日益显著。

电力安全直接关系到人民群众的生命财产安全和国家安全,电力供应也直接影响着工农业生产和人民群众的生活,任何一次事故,都有可能给社会带来无法挽回的损失,特别是发电厂全厂停电、变电站全站停电以及由全厂(站)原因诱发的电网大面积停电事故,对社会造成的危害和影响更是难以估量的。近年来,随着电力系统发展规模的不断扩大和复杂程度的逐步增加,在世界范围内,由发电厂或单个网点故障诱发的电力系统发生大面积停电的次数越来越多,仅2003年世界各地就发生了多次大面积停电事故,2003年8月14日“美加大面积停电事故”发生后,紧接着8月28日英国伦敦,9月1日马来西亚、澳大利亚悉尼,9月23日瑞典和丹麦,9月28日意大利全国等都发生了不同程度的大面积停电事件。我国的多个电厂(变电站)也相继发生过多起全厂(站)停电事故,本书在第二章分析了近十年来我国发生的具有一定代表性的发电厂全厂停电事故。事实证明,发电厂全厂停电以及由于发电厂全停诱发的变电站停电、电网大面积停电必将引起社会极大的动荡和经济上的重大损失,给国家发展和人民生活造成不可挽回的经济损失,同时也给社会带来了极为恶劣的影响。

研究证明,电力系统发生全厂(站)大范围停电事故是不可能绝对避免的,其发生的概率虽然很小,但一旦发生必将造成极大的危害,给社会带来的影响也是灾难性的。长期以来,我国的电网建设落后于电源建设,而电源建设又落后于负荷增长的需要,而且我国火电基地集中在北部区域,水电资源集中在中西部区域,风能资源主要分布在东北、华北、西北及东南沿海地区,而负荷中心大多集中在东部和南部,为了保证电力平衡,必须进行大容量远距离输电,

这就决定了我国电网联系不紧密、结构薄弱但供电范围却极广，电厂事故极有可能导致电网大面积停电事故的必然局面。因此，对于发电厂全厂停电事故进行分析与研究，总结经验教训是非常有必要的。

停电事故的起因虽然多种多样，但是都与电网结构不合理、继电保护与安全自动装置的配置或原理不合理、对特殊运行方式的事故预想考虑不足等因素有关。电力市场环境下电网接近极限状态运行时，电力系统相对比较脆弱，对于单个网点、电厂事故的抵御能力较差，是发生大面积停电的根本原因，对于非市场化的电力环境，为了经济性而使设备输送较大的容量也有类似的问题。

针对事故预想准备不足，没有对特殊运行方式下薄弱的系统做出合理的事故预想，也是造成发电厂全厂停电（甚至会进一步导致变电站全站停电）的原因之一。因此，在日常的工作中应加强学习培训，经常开展事故预案的演练，增加各级人员处置应急异常情况的能力。当事故来临时，在充分的事故预案指导下，运行人员应被授权能不失时机地处理紧急事故。在紧急情况下，运行值班员要具有足够的控制系统稳定的能力与权力，必要时甚至需要牺牲局部机组或系统来保证全电厂设备的安全、运行能力的维持。

继电保护和安全自动装置的配置或原理不合理也是全厂停电事故的罪魁祸首。提高继电保护硬件装置可靠性，减少误动和拒动是对继电保护的基本要求。可以使用成熟的分布控制、广域控制等理论对继电保护进行重新整定计算和改造，以消除“传统的继电保护和安全自动装置的动作行为是为了保护设备不受损害而设定的”局部性。

研究资料表明，在国外，大面积停电的应急事件与灾害天气、流行疾病和恐怖袭击等紧急事件同样都由政府的紧急事件处理部门进行统一管理。近年来我国在几次大的卫生（空气污染）事件、公共场所突发事件的促动下，也开始重视应急体系和应急理论的研究，其成果最终表现为我国事故应急体系的建立，在国务院纲领性文件的指导下，民航、交通、卫生、电力、通信甚至财政等各方面均做了相关的应急体系建设。在河南和海南大面积停电事故教训的基础上，我国的电力管理部门和电力企业也做了详尽的大面积停电的应急体系建设工作，准备了较好的应急预案。

第二节 近年来国内外大面积停电事故回顾及简要分析

一、国内外主要大面积停电事故回顾

1. 中国海南大停电事件

(1) 2005年9月26日凌晨1时左右，第18号台风“达维”对海南电力设

施造成了严重破坏,引发了部分电厂相继跳机解列,最终系统全部瓦解,导致了罕见的全省范围大停电。海南“9·26”大停电事故有两个明显的特点:一是停电波及面广,省内电厂全部解列,停电范围涉及全岛;二是从正常状态到主网崩溃时间较短,仅4min左右就电网全黑。

(2) 分析认为,电网设计水平偏低、孤立运行、设备老化严重、大机小网和薄弱联系的电网结构,是导致海南“9·26”大停电事故的主要原因。

2. 中国南方冰冻灾害大停电

(1) 2008年1月10日~2月2日,我国南方地区先后出现4次大范围低温雨雪冰冻天气,遭遇了50年一遇的冰雪灾害,使电网安全运行经历了前所未有的严峻考验。由于暴雪、冻雨导致河南、湖南、湖北、江西、安徽、浙江、福建等地输变电路出现大范围的断线倒塔事故,造成大面积停电、限电,包括重要交通枢纽及设施等基础供电的中断,严重影响了电网安全运行。甚至部分地区电网瓦解,江西赣州电网进入了孤网运行,湖南郴州断电断水十多天。随即引发交通运输、物资调运、市场供应等多方面的连锁反应,人民生活一度陷入了困境。全国范围内电网此次因灾停运电力线路共37606条,因灾停运的变电站共2027座,110~500kV线路因灾倒塔共8165基。

(2) 电力设施对极端气候灾害防范的设计标准不够,在冰冻严重灾害到来时,重电源、轻电网的处理思路是造成这次南方冰冻灾害大停电的主要原因。

3. 华中电网“10·29”低频振荡

(1) 2005年10月29日,华中电网大部分500kV线路出现功率摆动,系统潮流有较大摆动,电网频率摆动范围为49.9~50.1Hz。三峡电厂外送的500kV线路潮流摆动较大的是斗双线(振荡最大,振幅达73万kW)、鄂湘联络线(振幅49万kW)、鄂赣联络线(振幅24万kW)。220kV线路潮流摆动较大的是丹江电厂的送湖北出线;机组摆动较大的是三峡电厂机组(振荡最大)、左二电厂(单机振幅达27万kW)及襄樊电厂3、4号机组,湖南、江西部分电厂机组也有小幅摆动;500kV中枢点中,左二500kV母线电压振荡最大,振幅为40kV。

振荡造成江陵换流站一台交流滤波器因电压高自动切除,鄂西北竹山地区有5个水电厂总计4万kW机组被迫解列。

(2) 十堰地区小水电外送超静稳极限是造成此次系统振荡的原因。另外,鄂西北电网由弱阻尼引发的同步振荡导致主网相近频率强迫振荡的可能性较大,需对由于三峡电厂自身原因诱发或扩大功率振荡的可能性做进一步研究分析。

4. 巴西大停电事件

(1) 2009年11月10日,巴西全国范围内发生大面积停电,损失负荷24.436GW,约占巴西全部负荷的40%,受影响人口约5000万,约占巴西总人

口的 26%，是近年来世界上影响较大的大停电事故之一。

(2) 巴西电网大停电属于故障连锁反应所致：雷电和暴风雨使依泰普水电站输电系统的圣保罗受端变电站的变压器短路接地，两条输电线路同时断开，在几秒钟内第三条输电线路跳开，形成故障连锁反应，造成南部—东南部互联电网 15 条输电线路跳闸断开，引起依泰普水电站全部运行机组与电网解列，南部—东南部互联电网大面积停电，依泰普水电站运行机组解列，同时造成巴拉圭电网大停电。

5. 美加“8·14”大面积停电事故

(1) 美国东部时间 (EDT) 2003 年 8 月 14 日下午，以北美五大湖为中心的地区发生大面积停电事故，包括美国东部的纽约、密歇根、俄亥俄、马萨诸塞、康涅狄格、新泽西州北部和新英格兰部分地区及加拿大的安大略等地区。这是北美有史以来规模最大的停电事故。停电涉及美国整个东部电网，事故中至少有 21 座电厂停运，停电持续时间为 29h，损失负荷 61800MW。约 5000 万人受到影响，受灾地域约 24000km²，其中纽约州 80% 供电中断。

(2) 简要经过和原因分析。

1) 第一能源公司 (FE) 的三条输电线路由于离树枝太近导致短路跳闸，是大停电的最初原因。

2) 由于 FE 公司控制室的报警系统未正常工作，而控制室内的运行人员也未注意到这一点，没有及时发现输电线路跳闸，因此未能及时采取减负荷等相应的措施，致使故障扩大，最终失去控制。

3) 正是由于 FE 公司未意识到出现问题，也就没有通告相邻的电力公司和可靠性协调机构，否则也可协助解决问题。

4) 此时，MISO 作为该地区 (包括 FE) 的输电协调机构，也出现问题：MISO 用过时的数据支持系统的实时监测，系统分析工具在 8 月 14 日下午未能有效地工作，结果未能检测出 FE 公司的事态发展，也未采取缓解措施；MISO 缺乏有效的工具确定是哪条输电线路断路器动作及其严重性，否则 MISO 的运行人员可以根据这些信息更早地意识到事故的严重性。

5) MISO 和 PJM 互联机构 (控制宾夕法尼亚、马里兰和新泽西等地) 在其交界处对突发事件各自采取的对策缺乏联合协调措施。

总体而言，美加“8·14”大面积停电事故是诸多因素连锁反应所致，包括通信设施差、人为错误、机械故障、运行人员培训不够及软件误差等。从复杂的计算机模拟系统到简单的输电走廊树枝修剪，都未给予足够的重视。

6. 北欧大停电事故

(1) 2003 年 9 月 23 日，北欧电网中的瑞典中部和南部电网及丹麦的东部

电网发生大面积停电，停电区域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，瑞典东部奥斯卡斯汉姆核电厂 3 号机组（1135MW）及西部林哈尔斯核电厂 3 号机组（920MW）及 4 号机组（885MW）停运。

（2）停电的主要原因是被暴风雪压倒刮断的树木破坏了供电线路，随之进一步引起连锁跳闸导致停电事件发生。

7. 莫斯科大停电事故

（1）2005 年 5 月 23 日，俄罗斯莫斯科地区电网发生一系列故障，到 5 月 25 日 11 时左右，莫斯科市大部分地区及附近 25 个城市发生大面积停电，莫斯科电网共断开 321 座变电站，除最先停电的 500kV 恰吉诺变电站外，还包括 16 座 220kV 变电站、201 座 110kV 变电站、104 座 35kV 变电站。直接损失负荷达 3539.5MW，近 400 万人的生活受到了影响，造成了 15 亿~20 亿美元的直接经济损失。

（2）事故的直接原因是气温高，用电负荷大幅增长，线路过负荷跳闸引起连锁反应，线路相继跳闸，导致大面积停电。事故前一天，运行了 40 多年的变电站电流互感器爆炸起火，造成 220kV 线路停运，负荷改由 110kV 线路带是过负荷的直接原因。而设备运行维护不当造成电流互感器爆炸是事故发生的导火索。引起事故的恰吉诺变电站建于 1963 年，设备均已严重老化，且电网处于过负荷运行状态，运行人员未引起足够注意，缺乏严格的操作规程约束及协调手段。

8. 智利大停电事件

（1）2011 年 9 月 25 日，智利发生 2 个多小时的大面积停电，包括首都圣地亚哥在内的大多数地区漆黑一片，全国 1600 万人口中有近千万人受到影响。由于通信信号系统中断，在外的人们无法使用手机同家人取得联系。断电期间，首都圣地亚哥一家商场发生骚乱事件，警方为此加强了街头巡逻。

（2）大面积停电因一个变电站故障引起的，中央电力互联系统由于输电线路振动导致碰线引起相继跳闸而断开。

9. 伦敦大停电事故

（1）2003 年 8 月 28 日下午，英国伦敦经历了 16 年来第 1 次大面积停电。英国国家电网公司所属的伦敦南部电力传输系统发生故障，导致该系统从当日的 18 时 20 分至 18 时 57 分电力供应中断。停电影响了 EDF 能源公司的 410000 个用户，事故主要发生在伦敦南部地区，东至贝克斯利，西至金斯顿，北至泰晤士河畔，南至贝肯汉姆均受到影响，停电共损失负荷 724MW，约为当时整个伦敦负荷的 20%。

（2）英国国家电网公司在事故后迅速进行了调查，故障发生的原因是在 2001 年更换老设备时安装了一个不正确的继电器，致使自动保护设备被误启

动，切除了 Hurst 变电站的变压器，是造成本次事件的直接原因，它使伦敦电力供应量瞬间减少了 1/5。由于电力缺额过大，连锁反应最终导致了这次大面积停电事故。

10. 意大利全国大停电事故

(1) 2003 年 9 月 28 日凌晨，意大利发生全国大面积停电，受停电影响的居民多达 5400 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有电。南部地区到 29 日才恢复供电。

(2) 这次事故的直接原因是从法国通往意大利的两条 400kV 高压输电线路因暴雨中断。但是在短暂的电力中断之后，意大利方面未能及时连通法、意之间的电力电缆，导致意大利国家电网有功出力不足，从而引发一连串的停电事故。

11. 印尼大停电事故

(1) 2005 年 8 月 18 日上午，印尼发生了包括首都雅加达在内的大面积停电事故，首都雅加达也彻底断电，总共波及近 1 亿人口，接近印尼国家总人口的 1/2。城市交通、铁路及航班也受到严重影响。

(2) 造成大停电的原因主要是爪哇岛和巴厘岛的电力输电网发生故障，连带影响到雅加达等地区的供电，导致供电系统出现问题。

12. 西欧大停电事件

(1) 欧洲当地时间 2006 年 11 月 5 日，欧洲电网发生一起大面积停电事故，事故中欧洲 UTAE 电网解列为 3 个区域，各个区域发供电严重不平衡，相继出现低频或高频情况。事故影响范围广泛，波及法国和德国人口最密集的地区以及比利时、意大利、西班牙、奥地利的多个重要城市，大多数地区在半小时内恢复供电，最严重的地区停电达 1.5h。整个事故损失负荷高达 16.72GW，约 1500 万用户受到影响。

(2) 事件的起因是德国最大的能源公司——E.ON 电网公司为了让迈尔（Meyerwerft）造船厂新制造的“挪威珍珠”号轮船通过埃姆斯（Ems）河驶入北海，断开了河上从 Conneforde 到 Diele 的 380kV 双回线路。经协商，于 11 月 4 日 21 时 38 分进行开断操作，22 时 10 分 13 秒时，Landesbergen 到 Wehrendorf 的线路由于过负荷保护跳闸。随之发生了一系列连锁跳闸，导致欧洲输电协调联盟（UTAE）电网解列为 3 个区域，并大量切机切负荷。

二、大停电事故主要原因总结及应对措施

1. 造成停电的主要原因

电力系统大面积停电有直接的、间接的、表面的、深层的、设备的、人为的等多方面原因，而且往往是多种因素的重叠作用所致。

(1) 直接原因。

- 1) 酷暑引起电力急增 (如意大利停电);
- 2) 输电线路事故引起波及、扩大 (如美国、加拿大的最大停电);
- 3) 变压器警报故障引起输电线路中断 (如英国的停电);
- 4) 酷暑季节引起高负荷运行枢纽电站停机 (如莫斯科大停电事故);
- 5) 核电站停机引发后续事故和系统电压稳定性被破坏 (如丹麦、瑞典);
- 6) 国际连线的连锁中断引起国内供电不足 (如意大利)。

上述原因只是表面上的, 国外的几次电网大面积停电事故, 还暴露出更深层次的原因, 涉及电力工业市场化、自由化, 并导致输电网络趋于公共载流化。由于许多市场参与者相互之间复杂的交易而导致电力流通领域的扭曲和畸变, 进而陷入混乱并导致线路或局域网过负荷状态的多发事故。

(2) 共性原因。在电力市场化的竞争环境下, 引起电网大面积停电事故的原因往往带有共性、普遍性, 但并未引起人们的高度重视。

1) 设备投资不足。重收入 (利润)、轻支出 (投资) 是商家带有的普遍性的而且是根深蒂固的思潮。由于思想认识的局限性, 导致了电力事故的在所难免。如 2003 年美加大规模停电事故的教训, 已经引起美国对输电网络现代化建设急迫性的重视。

2) 保护系统欠妥。美加大停电事故源于无功功率不足和长距离委托送电。由于短路跳闸后造成无功功率供电中断, 地区网络电压降低, 最终负荷中断。其他没有断电的发电机提供电力过剩, 频率急升, 导致长距离联系的地域之间电力波动、振荡, 最终波及、扩大事故。

3) 支撑系统薄弱。事故发生初期, 电力公司对事故状态没有充分把握好, 支援系统监视工具机能不足, 系统监视和骨干系统警报发生故障。

4) 无功功率缺乏。发电机输出无功功率对于维持电网系统电压稳定具有重要作用, 却往往不被重视。

5) 情报交换不畅。国际上的这几次大规模停电事故都有着共性之处, 即一个系统 (地域) 停电时, 事故情报没有及时传递到相邻系统, 系统之间的信息传递不协调。

6) 安全网络失灵。安全网络不完善, 不能事前预测事故的发生, 重大事态发生时又不能自动动作并启动安全控制或自动调节保护系统。其实, 安全自动系统网络虽然费用较大但却是全地域性覆盖。

7) 接触树林接地。架线初期不会接触树木。天长日久, 树林长高长大, 加上电线过负荷过热伸长下垂而接触, 发生接地短路事故。

8) 人员素质不高。由于对运行操作人员培训不到位, 面对系统大范围停止

运行的问题,是否下达发电设备和负荷中断的指令,多数犹豫不决,又不能预测是否会在相邻地域也引起事故。

2. 防止电网大面积停电的主要应对措施

通过对近年来一系列停电事故的研究分析,发现在这些事故发生时总会暴露出各种弊病,针对这些影响安全性和可靠性的因素,应当从以下几方面吸取教训、采取有效措施加以防范:

(1) 强化安全管理,加强安全监管。电力安全,责任重大;电力安全,重在管理。要进一步落实电力企业电力安全生产的主体责任,把安全管理落到实处;加大安全生产的资金投入,确保设备技改、大修、反事故措施等安全措施到位。

(2) 切实提高抵御突发事件和自然灾害的能力。要切实加强应对自然灾害等突发事件的协调机制和完善电网大面积停电应急处理预案体系,开展有针对性的反事故演习。积极推进各地电力突发公共事件应急联合演练,达到加大预案宣传、检验预案的目的,切实提高政府、电力企业和社会各界对电网大面积停电时的组织协调能力和应急处置水平。

(3) 依靠科技进步,保证电力安全。随着大容量、超高压、交直流混合、长距离输电工程的不断投入运行,对电网控制技术提出了更高的要求。因此,要高度重视和利用先进的科学技术,加强电网稳定基础问题的研究,不断提高设备整体水平,提高系统稳定控制能力。通过科技进步,提高电力系统的安全水平。

(4) 重视重要用户及场所保安备用电源的建设和管理。我国一些重要用户安装了备用电源,但数量有限,管理也不够规范。因此,要加强重要用户、重要场所等保安备用电源的规划、建设和管理问题。要重视研究发展符合产业政策、节能高效的“分布式电源”的建设问题。

三、综合减灾保障措施

1. 加强综合减灾的组织措施

(1) 加强综合减灾工作体系建设。在现有自然灾害应急指挥体系基础上,进一步完善国家电网公司、省公司、各发电供电公司综合减灾指挥体系。制订防灾减灾工作方针,加强减灾工作的制度建设,根据国家有关灾害预防的法律、法规,建立综合减灾长效工作机制,全面提高各级减灾指挥体系的管理水平和技术水平。

(2) 做好综合减灾预案的编制。紧密围绕保障电网安全的首要任务,制订发电企业防、抗结合的综合减灾预案,以及防地震、防台风、防暴雨、防洪、

防泥石流等专项减灾预案。

(3) 综合减灾培训与演练。根据减灾预案定期组织开展培训和演练,采取多种形式加强防灾减灾文化建设和教育培训工作,使电力企业各级人员了解和掌握防灾减灾工作知识,不断提高各级减灾救灾工作人员的素质。

(4) 加强防灾减灾宣传,及时通报灾害信息。积极争取地方电网对电力企业减灾措施的支持,及时发布减灾预案及灾害处置信息,做好防灾减灾工作宣传。

2. 加大综合减灾资金投入与技术支持

(1) 综合减灾预警体系的建设。电力企业建立与地方监测网(减灾预警系统)的联系或根据本地区灾害特点建设电网减灾预警系统,积极获取对电网以及发电企业有影响的自然灾害信息,及时、准确预测可能发生的灾害,适时启动减灾应急预案。

(2) 综合减灾重点技术问题的研究。加大防灾减灾技术研究资金的投入,加强电网减灾技术研究工作,重点支持减灾预警系统、提高发电企业升压站及输电线路抵御自然灾害能力等项目。

3. 综合减灾应急保障

(1) 人力保证。建立和加强应急抢险队伍的建设,明确抢险队伍职责,配置必要的装备、车辆,定期开展有针对性的演练,检验完善应急体制,提高灾害应急响应和处置能力。

(2) 资金和物质保证。加强物资储备体系建设,建立减灾物资储备和省际间、区域间发电企业互援机制,每年根据灾害发生情况和灾情预报,制订计划和预算,保证减灾资金的投入,补充应急物资,提高电网灾害救助和恢复重建能力。

四、电力系统的稳定性与稳定控制

电力系统由于具有规模大、覆盖面广、网际互联、电网潮流的非线性分布、电能不可储存或不可有效地大量储存、故障地点及其对系统行为的影响难于预测等特点,使其稳定性、可靠性的分析、评估和管理决策较之其他工程系统更为复杂。

《电力系统稳定控制技术导则》(GB/T 26399—2011)以电力系统三道防线为主线,对预防控制、防止系统失稳控制、防止系统崩溃控制等方面的控制目标、控制原则、控制措施及恢复原则等,提出了控制目标、控制原则、应用条件等;对电力系统稳定控制所涉及的规划设计、科研制造、生产运行管理、计算分析、装置的功能等提出了要求,既规范了现有的技术和控制设备标准,又鼓励新技术的开发和应用。

合理的电网结构是电力系统安全稳定运行的基础,应根据国民经济发展的