

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1026.2012.16.001

从印度大停电透视电力系统的广义阻塞

薛禹胜, 肖世杰

(国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司, 江苏省南京市 210003)

摘要:“7·30”大停电暴露出印度在电源发展、电网发展、网架结构、体制管理、一次能源、环保约束、市场经济、信息技术等方面给电力系统可靠性埋下的隐患及在停电灾难中的推波助澜。这些因素像物理电网的输电阻塞一样,影响供电充裕性和安全性,不妨称为广义阻塞。各参与方藉此谋取利益的博弈又往往加剧这些广义阻塞。从这个视角反思印度停电灾难的必然性、实际触发事件的偶然性,以及停电演化过程的内在规律;研讨对中国的启示;探索中国减少大停电风险的措施;指出坚强智能电网在保障大能源安全与环境安全中的作用。

关键词:能源安全;电力阻塞;多领域交互;复杂系统;多米诺骨牌;综合防御;风险控制

0 引言

当地时间 2012 年 7 月 30 日凌晨 2:30 左右,印度北方邦从比纳到瓜利欧的 400 kV 输电线跳闸,随后的连锁反应导致了北方电网崩溃。灾难涉及首都新德里、中央邦、北方邦等在内的 9 个邦,影响 3.7 亿人口及 35.67 GW 负荷(占全国 18%左右的负荷)。火车停运,城市交通严重瘫痪,新德里地铁系统也完全停运,城市供水中断,200 多名矿工被困地下^[1]。

相关运营公司从印度东部和西部地区调电,并向邻国不丹紧急购电。恢复供电的速度较快,到当天 13:00 及 16:30,分别恢复 70%及 85%的负荷^[2]。

但 7 月 31 日 13:05,北部电网发生电压振荡,引发第 2 波大停电。除了北部电网再次崩溃外,东部电网及东北部电网也被波及。全国 28 个邦中的 20 个邦停电,涉及 50 GW 负荷。6.7 亿民众饱受停电之苦^[3-4]。

恰逢停电之日升职为内政部长的原电力部长,将此灾难归咎于各邦长期超额使用电力。但没有解释为什么如此严重的违规行为未被及时制止。无人说得清大停电的演化过程,特别是先后两波大停电之间有多大相关性。

这两波相继大停电创下了影响人口规模的世界纪录,其直接经济损失巨大,社会影响更是深远。印度政府规划委员会预计,全国经济增长速度将因此而下降 1.2%,并且影响印度吸引投资的能力^[4]。

居安思危,未雨绸缪,对于同样是能源资源匮乏且远离负荷中心,同样处于经济高速发展且发展方式转型,同样面临电源、电网和负荷的快速变化,同样受到环保减排巨大压力,化石类能源高度依赖外部等严峻挑战的中国,如何汲取经验教训,应该采取哪些措施来避免类似情况的发生呢?

对于这次大停电事件,目前的信息基本限于新闻范畴,缺乏其演化及决策过程的详细资料。因此,本文只能以宏观分析为主,反思灾难的必然性、偶然性、演化规律和启示,权作引玉之砖。

1 印度及其能源系统

印度是全球第十、亚洲第三大经济体,在发展中国家的排序中与巴西一起紧随中国之后。它通过发展高科技和承包软件设计,赢得“世界办公室”的美誉,高科技人才资源仅次于美国。在过去的 20 年里,印度经济保持着平均 7%的高速增长,即便在全球遭遇金融危机的 2009—2011 年,年均 GDP 增长也高达 7.8%^[5]。

但是,印度在跳过基础工业的支撑,直接发展新兴产业的战略下,长期忽视了制造业和基础设施。在世界经济论坛公布的全球竞争力指数中,印度基础设施目前在 139 个国家中排名第 91,甚至低于斯里兰卡和博茨瓦纳。因此,电站和电网的发展长期滞后,致使电力供应成了制约经济增长的瓶颈。发

收稿日期: 2012-08-11。

国家自然科学基金重大项目(91024028);国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2011AA05A105);国家电网公司科技项目(SG10&SG11);香港 RGC Grant(5151/10E)资助;澳大利亚 ARC(DP120101345)资助。

电容量的严重不足造成了缺电型停电,而输电容量不足则造成已有电站窝电及故障型停电。

从发电侧看,印度在 1960 年代的装机容量与中国大致相当,但 2012 年 5 月时的总装机容量仅为 200 GW,约为中国的 20%^[3]。2011 年印度的人均发电量只有全球平均水平的 26.4%,既无法确保经济与地区发展的均衡,及社会最基本的公平和稳定,也无力支撑经济的可持续发展^[6]。2011 年,印度人口的 25%(城市中为 6%,农村中为 33%)仍无电可用^[6]。

从输配电环节看,由于区域互联不强,限制了平时运行方式的优化及故障时的紧急支援能力。

如果连水、电供应都无法保证,也就难以吸引海外制造业落户,基础工业的发展也进一步受制。这样,基础工业与经济发展之间就形成了负面的循环。

印度的能源资源以煤炭(集中在东部)和水力(集中在北部和东北部)为主,储量均居全球第 5,人均能源资源占有率比中国更少。煤炭大部分可露天开采,故煤价及电价便宜。但因为环保、土地征收及各种博弈制约了煤炭的开采,约十分之一的电站因无煤可用而闲置^[3]。其余为核电、油电和天然气发电。2011 年,印度的煤炭、石油及天然气的对外依存度分别为 24.8%,75.0%,24.5%。

政府若加大进口能源,必导致更大赤字而加重信用危机;电力企业若依赖进口昂贵的一次能源来发展,必将严重亏损甚至倒闭。因此,建设新电站的动力不足。7 月初雨季来临之前,缺电高达 18%,限电与停电的现象甚至在首都新德里都已成常态,市区的一些小区每天停电长达 8 h。

2011 年,火电和水电分别占总发电量的 80.8% 和 14.9%。主要负荷中心及人口稠密地区集中在北部、南部和西部地区^[6]。因此,其电力流主要是东电西送,辅以北电南送。

印度电网由北部、东部、东北部、西部及南部 5 个大区电网组成,前 4 个大区电网之间有交流同步互联,南部电网通过直流线路或直流背靠背与东部及西部电网互联。印度电网较多采用类似日本南北周边之间背靠背直流弱联网的方式,功率交换能力有限,影响到资源共享及紧急支援的水平。由于没有统一的调度管理机制,因此,事故处理中的协调难度大,局部事故容易演化为大停电^[3]。

2 印度停电灾难的必然性因素

电力系统可靠性包含充裕性及安全性两个方

面^[7]。充裕性反映系统在不同的时间尺度上是否都能提供足够的电力,它又包含发电充裕性和输电充裕性两方面。安全性则反映系统是否经得起各种扰动而不崩溃。不论是发电充裕性不够,还是输电充裕性不够,还是安全性不够,都可能造成局部、区域,乃至全局的停电。

常态化的停电无遗地暴露了印度电力工业深层体制及结构性问题。这些反映大停电灾难的必然性的宏观因素包括:政策的失误造成基础设施的长期落后,特别是电网的发展滞后,缺乏坚强的骨架电网,管理混乱;政府施政不力加剧了可用发电容量的短缺;体制的过度分割造成电能传输上的严重阻塞;过度市场化设计与高度市场力现实^[8]之间的矛盾。

印度是联邦制国家,电力行业由中央和邦双重管理。印度国家电网公司掌管中央输电基础设施,负责运行中央管理的电站和大型独立发电公司;邦电力局负责运行本邦的电站和邦内独立发电公司,配电部分则由邦电力局和私营供电公司负责。联合政府要依靠各邦长官,无力约束他们为地方利益而危及全局的行为。

印度电网的中央、区域、邦,及地区的四级调度结构中,各自代表不同的经济利益体,却又缺乏协调机制。管理体制的这些隔离造成了决策部门的不力及效率低下,甚至失误。

在规划上,各邦自行其是,重复配置。而联邦政府时而强调发展燃油火电,时而强调发展核电,时而又强推绿色能源,令基础设施投入低效。电力管理者屈从于政治压力,电价经常低于正常价格,而农民免费灌溉用电又被大量非法转用,电损和偷电率高达 24%~40%^[9]。

全国缺乏统一的调度管理体制,各邦往往不执行国家调度中心的控制命令。在平时运营中,彼此就明争暗抢,不但难以优化全局的运营效率,而且很容易引入过载或其他不安全现象。在缺电时从大电网超限受电,而国家调度中心只能通过印度中央电力监管委员会下达处罚通知,而无权直接干预。在紧急状态下则往往为了保全自己,而不顾全局。这样的调度体制在正常运行时已是难有作为,在紧急状态下的表现也就可想而知了。即使其影响在无故障时被容忍,但在紧急状态下则可能火上加油,反而加重灾难。

没有协调机制的分散调度,必然没有共享的信息系统,也就不可能有安全稳定的在线量化分析及控制决策支持,无法协调预防控制和紧急控制,更谈

不上采用自适应的系统保护装置和在线周期性地刷新各种潜在事故的应对预案。特别是在恢复控制过程中缺乏避免相继大停电的风险意识,导致第2波更大范围的停电事故。

在技术层次上,由于没有停电综合防御系统的顶层设计,缺乏应对灾难的自适应预案及控制的支撑手段,也缺乏风险管理的概念和应对停电灾难的预案。因此,在相继故障,特别是严重自然灾害下,多米诺骨牌形态的电网崩溃在所难免。特别在恢复控制的过程中,就很可能像这次印度大停电那样,导致新的更大范围的停电事故。

一方面由于管理体制不能适应快速发展的经济对电力的需求,决策部门的不力与失误,使基础设施,特别是电站和电网的发展长期滞后。加上一次能源和环境等众多方面引起的广义阻塞,导致可用发电容量和输电容量呈现常态化危机。在日常运行中就一直处于系统性的深度缺电状态,严重制约了经济发展。后者又进一步限制了对基础设施的投入。

经济系统与物理系统之间的交互影响紧密,必须在风险概念的原则下协调经济性与安全性^[10]。但在私有制的市场运营环境下,各参与方之间的利益博弈往往忽视了供电可靠性。2002年印度明确强调了私营公司在电力基建和改革中的主导性作用,这种模式显然被高估了。

在上述背景下,电力系统往往长期运行在不合理的状态。只要系统足够靠近其稳定极限,那么任何初始事件都可能推倒这副多米诺骨牌,更不用说有人祸的推波助澜了。对于目前状态下的印度电力系统来说,即使这次灾难的触发事件没有发生,大停电也是迟早的事。

3 该特定灾难的偶然性因素

大灾难往往由偶然故障引发,并经过一系列相继故障和人为错误的推波助澜演化而成^[10]。这次停电灾难深深刺痛了人们。但若换个思路,也许还要庆幸那个初始事件暴露了上述深层次的诟病,从而避免了另一场更大的悲剧。否则,这个长期处于崩溃边缘而浑然不知的电力系统并不会自我“觉醒”。如果某天一场极端的自然灾害在多处触发了这副骨牌,后果将更不堪设想。这个推理同样也适用于我们身边的其他灾难,比如发生在北京市排水系统的灾难。

对此次停电的发生时刻,一般归结为干旱的气

候降低了水电电量,又增加了灌溉用电量。对于为什么发生在通常是低负荷的午夜,有报道说当地为满足居民用电,在22:00前限制工业用电,这使午夜反而成了负荷高峰期^[11]。如果上述说法属实,令人不解的是,在这个应急措施已严重过调的情况下,调度部门居然一直不予修正。

4 警示与反思

现代社会一旦大停电,其经济损失可能远远超过市场竞争可能带来的经济收益,甚至危及国家和社会安全。文明就是在不断的灾害和挫折中发展的。从深刻反思中吸取经验,有助于人类规避更大风险,解决能源危机。中国与印度同为发展中的人口和能源需求大国,逆向分布的能源资源和负荷都需要远距离大容量的电力输送。这次印度大停电暴露出来的问题对中国来说也是重要的警示。印度电力系统十分堪忧的缺电和脆弱状态,对中国来说并不陌生。中国如果不及早摆脱化石类能源的依赖,不遵循电力流的客观规律,电力供应就很可能重新成为经济发展的严重瓶颈。

就目前掌握的信息来看,与全球历次大停电灾难中一致的教训是:应该在统一的框架下,综合电力体制、市场运营、监管规则、规划设计、仿真分析、信息工程、调度运行、控制技术、科技投入和人才培养等因素进行反思。应该加快建设坚强的智能电网,统一规划、统一建设、统一管理、统一调度,并且坚持输配一体化、电网调度一体化、城乡电网一体化。

两波大停电之间的演化机理特别值得反思。在第1波大停电处于基本恢复的情况下,又发生第2波规模更广、损失更大的停电,其演化机理应予以科学的数据追踪与分析。除了进一步佐证统一协调的调度体制的重要性以外,也凸显了预防控制、紧急控制、校正控制,及恢复控制之间协调的重要性。

强大的基础设施可以保证在正常情况或一般故障下的可靠供电。但这还不够,在极端自然或人为灾害下,还必须依赖缜密的管理和风险防御体系来协调应对。如果放松对停电防御框架的不断完善,即使强如美国东部电网,也有“8·14”之殇^[10]。

由于缺乏停电防御框架的顶层设计与实施,几乎可以肯定:在停电演变的各个阶段中,都没有抓住时机来中断这副多米诺骨牌的倾覆。包括:①在基础设施的规划与建设阶段中打造坚强电网,保证足够的发电充裕度及输电充裕度。②在运行控制中的智能化,例如安全运行中的自适应预防控制,故障发

生后的自适应紧急控制。其中,需求侧管理不仅应该提高电力系统的经济性,还必须考虑电力安全层面的要求。③恢复控制中的风险意识,避免相继大停电。

除了技术层面的问题,电力体制、管理和调控能力也必须适应经济发展的需要。由于安全问题的复杂性,不应该片面地强调市场化,而忽视过度分散的电力规划、建设和调度运行体制及市场博弈行为对电力充裕及安全的影响。虽然安全性与平时的运行经济性有矛盾,但它与整体经济性却是完全统一的,应该在风险概念的原则下协调经济性与安全性。

电力改革的目的是建立公平开放、竞争有序的电力市场体系,优化电网环节监管,提高电力工业运行效率,推动电力工业可持续发展。电网在竞争市场中的基础作用主要体现在提供公平开放的物理平台,它在市场化改革中的核心任务是为市场提供无歧视的准入和公平开放。但是,由于输电和配电都具有自然垄断属性,在电网环节简单地引入竞争是不现实和不经济的。各国最初的改革方案都充分认识到电力行业独特的技术经济特征,通过在发电侧和售电侧引入竞争来获取改革的绝大部分收益,而在输电和配电环节保持政府监管。

各国根据自身电力工业和电网发展等国情,选择输配产权分开模式或一体化模式。选择输配分开的大多数电网是由于历史的延续;作为改革结果而采用输配分开模式的有俄罗斯和澳大利亚的部分州。俄罗斯在2008年发、输、配、售、调度、交易各环节完全独立后,最近又出现了输配电企业重新整合的趋势。日本、法国、德国、韩国等国家和美国、加拿大部分地区在电力市场化改革后仍然保持了输配一体化。欧盟第三能源法案规定,若发、售电环节已经有效独立,就不再强制要求其他业务从输电产权中分离。可见输配分开模式并非是改革的必然结果。

印度大停电灾难充分说明,对于正处于快速变化阶段中的发展中国家,存在大量不确定因素,输配分开的风险非常大。

输配一体化有利于规划、建设和运行的优化,有利于快速适应需求的变化,提高效率,及大范围优化配置资源。即使对于那些负荷不再显著增长的发达国家来说,输配一体化也有利于安全性及防灾能力的提高。

市场有效竞争主要在发电和售电侧,而输电和配电都具有自然垄断属性,两项业务不存在利益冲突,盈利模式、监管方式相同,通过一体化可以获得

较强的协同效益。

在电力快速增长期,输配一体化的统一规划、建设和运行,有利于快速适应需求的变化,提高效率,及资源的大范围优化配置。全球150个发展中国家和转型国家中,有137个国家保持了输配一体化管理。即使对于那些电网不再经常改变的发达国家来说,输配一体化也有利于安全性及防灾能力的提高。

显然,经济发展的不同阶段对输配电体制的要求也有所不同。对于处于城镇化、工业化加速发展阶段的中国,输配分开并不是好的选择。事实上,中国电网虽然网架薄弱,却保持了较高的可靠性,这与输配一体化有关。特别对于有大量可再生能源接入电网的情况,输配分开不利于协调运行,更会降低防御自然灾害和灾后恢复的能力。这在历次冰灾和震灾中已得到充分体现。因此,坚持开放发、售电侧,保持输配一体化,加强监管,完善电价体系是较好的选择。

如果应急管理 with 应急控制由不同的经济实体孤立进行决策,或将彼此紧密关联的预防、紧急、校正、恢复控制交由不同的部门处理,又没有全局协调,就很容易产生混乱,甚至在天灾之后增添人祸。

印度电力系统十分堪忧的缺电和脆弱状态,对中国来说并不陌生。虽然中国的电力系统已经或正在走出这样的阴影,但如果不及时摆脱一次能源的中长期阻塞,或者违背电力流的客观规律,就很可能重新进入一个阻碍经济发展的怪圈。

类比这次印度大停电的场景,对照分析中国电网的停电防御能力,不但可以增加我们的自信,也能帮助我们发现薄弱环节,提高电力可靠性。

5 中国在防御大停电方面做了哪些工作

坚强的智能电网是安全生产和反事故斗争的物质基础,以支撑潮流的大规模转移和应对连锁反应严重故障的能力。这就要求电网统一规划、统一建设、统一管理、统一调度,坚持输配一体化、电网调度一体化、城乡电网一体化。

中国电网在吸取各国经验教训的基础上,创新地提出并实施了以特高压电网为骨干网架,各级电网协调发展的坚强的智能电网战略^[12]。同时要加强电网运行风险评估分析及调度,发挥特高压跨区输电系统的作用优化能源配置;加强需求侧管理及设备全寿命管理。

中国创新地提出并广泛应用了大停电的综合防御技术,大大提高了电力系统的经济性及安全

性^[13-15]。中国具有完全自主知识产权的电网广域监测分析保护控制系统(WARMAP)已覆盖全国约 2/3 网省级电网。目前正在将广域信息的采集范围从电力系统内部扩大到自然环境^[16],将有效预警的时间尺度从分钟级扩大到小时级,将预警目标从单故障风险延拓到群发性相继故障的风险,将协调控制优化决策支持的范畴从正常的电网运行环境扩展到极端恶劣环境,将预案型安全防御提升为主动型防御,实现大电网安全稳定的协调与优化的综合防御,规避由外部灾害、偶然故障演化为电力灾难的风险^[17-18]。

6 如何减小各种大停电事故的风险

尽管中国两大电网公司(国家电网公司和南方电网公司)在推进电网建设过程中不断受到质疑,但不可否认的是,在过去较长一段时期内,中国尚未发生过如此大面积的停电事故。不管在将来市场化的进程中如何改革,电网安全仍然是第一要务。目前中国并不存在印度那样的系统性缺电,因此,关键任务是优化调度及综合防御。为此,需要在管理体制、基础设施、预防控制、紧急控制、校正控制、恢复控制等方面不断创新并完善。

必须正确看待小概率高风险事件,天灾不可能没有,但人祸则不容免责^[19]。

综合防御由小概率灾害带来的高风险,必须从技术、规划、措施、管理、公共危机处理等侧面进行多维度的时空协调综合防御。

首先,应该在国家层面上规划好全局应急体系,统筹各行各业对重大灾害的防范;明确各有关部门的应急职责及部门之间的接口,建立快速联动机制和协调机制,提升整个社会应对极端自然和人为灾害的能力;建立不同产业部门之间的相关信息共享机制,预警和决策的及时通报机制。

其次,统一规划,加快建设以特高压电网为骨干网架,各级电网协调发展的坚强的智能电网。这有助于在大范围内优化配置资源,增强事故时相互支援的能力。要提高供电可靠性,还必须加强配电网,并解决新能源大规模入网对安全性和充裕性的影响。同时也要加强电网运行风险评估分析及处置,发挥特高压跨区输电系统优化能源配置的作用,加强需求侧管理及设备全寿命管理。

再次,不断完善时空协调的大停电防御体系。将气象、地质、应急装备等自然环境和社会环境信息纳入风险分析的信息采集范围,完善并协调各级信

息系统,在线安全稳定的量化分析及控制决策,制定各种灾变的防御控制计划,协调预防控制和紧急控制,采用自适应的系统保护装置,在线周期性地刷新各种潜在事故的应对预案,实现多时间尺度、多风险目标的预警决策支持,从而实现主动型的大电网安全稳定综合防御,规避电力灾难的风险。

此外,安全可靠的先进设备也是打造坚强电网的关键。应从技术、产品、产业链上全面推进电工电器装备制造业向智能化、高端化和集成化方向发展,推进关键装备的国产化和系统化,提升行业的整体解决方案能力,为防御大停电提供可靠的装备。

电力系统是人类创造的最复杂的系统之一,停电事件不可能绝对避免。在系统被削弱的情况下,信息的不充分、自动化系统的故障、人为的决策失误等都可能诱发新的扰动。在一系列相继打击下,再强壮的系统也可能导致毁灭性灾难。

问题是,一旦发生这类危机,应该用主动有序的小规模停电来制止被动无序的大规模停电。为此,必须研究在不同的紧急状态下,如何主动实施足够强度的紧急控制和校正控制来阻止骨牌倾覆。即使无法完全阻止灾难,也应该主动采用代价尽量小,并处于受控状态的措施,以避免不受控的损失,减轻多米诺骨牌效应。

电力系统只是大能源系统和环境安全中的一个重要环节(见图 1),并与外部各环节密切关联。

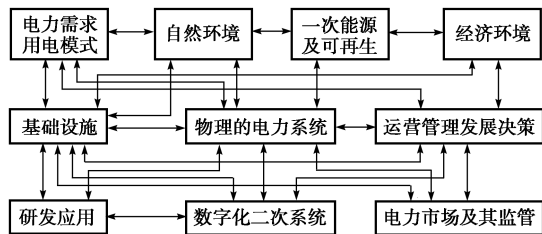


图 1 电力系统及其外部环境的交互关系
Fig. 1 Interactions between a power system and its external environment

必须保证能源流、资金流、信息流通畅及排放量可控,进而达到电力安全及能源与环境安全的目的,故必然受一次能源、环保排放、技术支撑及多方博弈等因素的制约。

电力系统是本质垄断行业,并在电力市场方式下运营,所以监管必不可少。然而,不当的监管对电力系统可能有更深远的破坏性。需要在物理模型和经济模型上通过实验经济学的仿真来支撑监管决策。

在管理制度上必须引起足够重视,加强事前对

信息的挖掘和披露以及建立在充分信息基础上的过程管控,并在不同的时间尺度上实现预警。人们往往按照事前设想好的固定方式应对灾害,而缺乏在管理突发性危机问题上的随机应变能力。掌握由偶然故障演变为灾难的规律和机理,就能针对各个演化阶段的特点,自动切换控制模式,实现功能的自组织,优化并统筹各阶段的对策。

防御系统中的通信网络安全性和信息可靠性问题已成为关注的重点。必须研究如何在危及本身的极端灾情下,保存核心控制功能,研究各种广域量测数据和仿真数据的完备性、适时性和价值的评估技术,研究在广域信息不完全条件下的分析、控制技术。还应该深入探索广域动态数据的挖掘技术,重视信息的深度加工和有效表达。

坚强的智能电网是能源防御体系和环境安全体系的重要环节^[20-21]。它有利于推动并最大程度接纳可再生能源,改变能源运输方式,支持能源在广域内的协调,提高电能终端能源中的比例。电动汽车智能充换电服务网络的建设和用电方式的转变也有利于清洁能源的有效利用和消纳,以及节能减排任务。

7 挑战与使命

电力系统只是能源系统和环境安全中的一个重要环节,而其他环节的故障都可能引起供电可靠性问题。电力系统的安全稳定性会影响各外部环节的正常运行,反之亦然。因此,必须考虑电力系统与外部环节的相互影响,研究大能源的充裕性和安全性问题。

电力系统是本质垄断行业,并在电力市场方式下运营,所以监管必不可少。因此,需要在物理模型和经济模型上通过实验经济学的仿真来支撑监管决策。

电网的管理体制应该符合电力流必须随时平衡的特点,确保统一规划、统一调度、协调控制的管理机制。必须高度重视市场因素对供电可靠性的影响,在风险概念的原则下协调经济性与安全性。

为此,应该在国家层面上规划好全局应急体系,统筹各行各业对重大灾害的防范;明确各有关部门的应急职责及部门之间的接口,建立快速联动机制和协调机制,提升整个社会应对极端自然和人为灾害的能力;建立不同产业部门之间的相关信息共享机制,预警和决策的及时通报机制。

坚强智能电网是安全生产和反事故斗争的物质

基础。统一规划,加快建设以特高压电网为骨干网架,各级电网协调发展的坚强的智能电网,有助于在大范围内优化配置电力资源,增强事故支援能力。要提高供电可靠性,还必须注意加强配电网,并解决新能源大规模入网的安全性问题和充裕性问题。

统一管理,统一调度,输配一体,对于负荷高速增长,发输配环节快速变化的中国电力的安全来说极为重要。根据其他商品的流通规律来强行分割电能传输环节,至少在电力系统仍处于高速发展的时期是有极大风险的。在这个阶段力主拆分调度或拆分输配,不会带来经济上的好处。希望能从印度大停电中接受这个警示。

中国独创了电力系统安全稳定性的量化分析、预警与决策优化技术,提出了停电防御系统的框架,并得到大规模的工程应用。但在处理相继自然灾害及各种不确定因素等方面还迫切需提高,没有任何理由固步自封。需要建立更完善的应急体系,保证在紧急情况下快速反应、协调有序、高效运转。

将广域信息的采集范围从电力系统内部扩大到自然环境和社会环境,就有可能预测冻雨、台风、雷击等自然灾害,以及一次能源和环境条件等的发展趋势,留出更长的时间来准备应对预案,调度救灾物资及部署抢修队伍。动态评估电力系统通信系统和公共通信系统的风险及其对停电防御的影响;将有效预警的时间尺度从分钟级扩大到小时级;将预警目标从单故障风险延拓到群发性相继故障的风险。将自适应优化的决策范畴从减少停电规模(通过预防控制和紧急控制)扩展到同时考虑减少停电时间(通过恢复控制^[22])。尽量避免突发的小概率事件演化为大范围的公共危机,并通过对灾难的善后处理尽快地回归正常秩序。

8 结语

对印度大停电的幸灾乐祸或自我盲目乐观都极不明智。类比这次印度大停电的场景,对照分析中国电网的管理体制和停电防御能力。在提高自信的同时,揭示薄弱环节,并以持续的创新来完善电力工业。事实上,中国的基础设施、管理体制、灾变应对技术等各方面也存在很大的风险。我们的城市建设等不也处在与之相似的尴尬中吗?认真从中吸取教训,减少发展中的风险,印度大停电的噩梦对于中国的各行各业都是宝贵的教材。

综合防御由小概率灾害带来的高风险,必须遵循大能源的观点^[23],从技术、规划、措施、管理、公共

危机处理等方面进行多维度的时空协调综合防御。拓展中国电力系统行之有效的“三道防线”理念,以保证对那些小概率高风险的非常态突发事件仍能有序地控制。

中国正在不断努力建设坚强的智能电网,充分利用分布式电源,发展储能和微电网。提高输入信息的充裕性和安全性,保证决策的强壮性,支撑输出信息的可用性和披露灾情的透明性。在线自动刷新预案,在实际发生事故后有序应对,以有效应对高风险的小概率事件,保证重要负荷在非常态突发灾难中的供电。

感谢我的博士生们仔细阅读并讨论了 my 的论文,特别是赖业宁博士协助我收集了有关资料。

参考文献

- [1] 印度大停电——全球规模最大停电[EB/OL]. [2012-08-01]. <http://www.china5e.com/special/show.php?specialid=575>.
- [2] 印度被迫向邻国不丹购电新德里已完全恢复供电[EB/OL]. [2012-08-01]. <http://world.people.com.cn/n/2012/0802/c157278-18656175.html>.
- [3] 人民财评:印度大停电“骨牌”是如何最终倒下的[EB/OL]. [2012-08-07]. http://news.xinhuanet.com/coal/2012-08/07/c_123541585.htm.
- [4] 时评:大停电令印度大国梦醒[EB/OL]. [2012-08-02]. <http://finance.sina.com.cn/review/sbzt/20120802/103312739109.shtml>.
- [5] 印度爆发史上最严重停电潮,经济“裸泳”风险凸现[EB/OL]. [2012-08-02]. <http://finance.qq.com/a/20120802/000387.htm>.
- [6] 透视印度大停电系列报道之一:经济要发展,电力须先行[EB/OL]. [2012-08-05]. http://www.indaa.com.cn/dwxw2011/dwyw/201208/t20120805_1101677.html.
- [7] 昆德. 电力系统稳定与控制[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [8] 薛禹胜,李天然,尹霞,等. 广义阻塞及市场力的研究框架[J]. 电力系统自动化,2010,34(21):1-10.
XUE Yusheng, LI Tianran, YIN Xia, et al. A research framework for generalized congestions and market power[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(21): 1-10.
- [9] 印度艰难恢复电力供应[EB/OL]. [2012-08-05]. http://www.ccei.org.cn/show_trz.asp?ID=90979.
- [10] 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.
XUE Yusheng. The way from a simple contingency to system-wide disaster—lessons from the Eastern inter connection blackout in 2003[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(18): 1-5.
- [11] ROMERO J. Lack of rain a leading cause of indian grid collapse[EB/OL]. [2012-07-31]. http://spectrum.ieee.org/energywise/energy/the-smarter-grid/disappointing-monsoon-season-wreaks-havoc-with-indias-grid/?utm_source=techalert&utm_medium=email&utm_campaign=080212.
- [12] 肖世杰. 构建中国智能电网的技术思考[J]. 电力系统自动化,2009,33(9):1-4.
XIAO Shijie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(9): 1-4.
- [13] 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.
- [14] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架:(二)广域信息、在线量化分析和自适应优化控制[J]. 电力系统自动化,2006,30(2):1-10.
XUE Yusheng. Space-time cooperative framework for defending blackouts: Part II reliable information, quantitative analyses and adaptive controls[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(2): 1-10.
- [15] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架:(三)各道防线内部的优化和不同防线之间的协调[J]. 电力系统自动化,2006,30(3):1-10.
XUE Yusheng. Space-time cooperative framework for defending blackouts: Part III optimization and coordination of defense-lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(3): 1-10.
- [16] XIE Yunyun, XUE Yusheng, CHEN Jiahong, et al. Extensions of power system early-warning defenseschemes by integrating wide area meteorologicalinformation[C]// The Forth International Conference on DRPT, July 6-9, 2011, Weihai, China.
- [17] 薛禹胜,费圣英,卜凡强. 极端外部灾害中的停电防御系统的构思:(一)新的挑战与反思[J]. 电力系统自动化,2009,32(9):1-6.
XUE Yusheng, FEI Shengying, BU Fanqiang. Upgrading the blackout defense scheme against extreme disasters: Part I new challenges and reflection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 32(9): 1-6.
- [18] 薛禹胜,费圣英,卜凡强. 极端外部灾害中的停电防御系统的构思:(二)任务与展望[J]. 电力系统自动化,2009,32(10):1-5.
XUE Yusheng, FEI Shengying, BU Fanqiang. Upgrading the blackout defense scheme against extreme disasters: Part II tasks and prospects[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 32(10): 1-5.
- [19] 薛禹胜,肖世杰. 综合防御高风险的小概率事件:对日本相继天灾引发大停电及核泄漏事件的思考[J]. 电力系统自动化,2011,35(8):1-11.
XUE Yusheng, XIAO Shijie. Comprehensively defending high risk events with low probability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(8): 1-11.
- [20] 赵俊华,文福拴,薛禹胜,等. 电力信息物理融合系统的建模分析与控制研究框架[J]. 电力系统自动化,2011,35(16):1-8.
ZHAO Junhua, WEN Fushuan, XUE Yusheng, et al. Modeling analysis and control research framework of cyber physical power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(16): 1-8.
- [21] 薛禹胜. 智能电网对能源与环境安全的支撑[J]. 电网与清洁能源,2010,26(7):7-11.
XUE Yusheng. Smart grid supporting energy security and environmental safety[J]. Power System and Clean Energy, 2010, 26(7): 7-11.

[22] 薛禹胜,王昊昊,DONG Zhaoyang,等. 电力市场环境下载联电网恢复控制的评述[J]. 电力系统自动化,2007,31(21):110-115.
XUE Yusheng, WANG Haohao, DONG Zhaoyang, et al. A review on restoration control in interconnected grids under electricity market environment [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(21): 110-115.

[23] 刘振亚. 中国电力与能源[M]. 北京: 中国电力出版社,2012: 48-51.

薛禹胜(1941—),男,通信作者,中国工程院院士,国网电力科学研究院名誉院长,博士生导师,主要研究方向:电力系统自动化。E-mail: xueyusheng@sgepri. sgcc. com. cn

肖世杰(1962—),男,研究员级高级工程师,南瑞集团公司总经理,国网电力科学研究院院长,主要研究方向:电力系统自动化。E-mail: xiaoshijie@sgepri. sgcc. com. cn

Through the India’s Blackout to Perceive the Generalized Congestions in Power Systems

XUE Yusheng, XIAO Shijie

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: India’s potential power reliability hazards in aspects like generation planning, transmission planning, grid infrastructure, management system, primary energy, environmental constraint, market economy and information technology, which together aggravate the power disaster, have been revealed by the “7·30” blackout. These factors, which influence the power supply adequacy and security in a similar manner as transmission congestion does, can be called by a generic term as generalized congestions. Different participants’ attempts to benefit from multi-gaming by utilizing generalized congestions, will in turn aggravate congestions. From this perspective, the inevitability of India’s power disaster, occasionality of trigger event and inherent evolution law of blackout are reflected, the enlightenment on China’s power industry is discussed, and blackout risk control measures are explored in this paper. The positive role of strong smart grid in ensuring energy and environment security is highlighted.

This work is supported by Major Program of National Natural Science Foundation of China (No. 91024028), National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (No. 2011AA05A105), State Grid Corporation of China (No. SG10&SG11), Hong Kong RGC Grant (No. 5151/10E), and Australia ARC (No. DP120101345).

Key words: energy security; electric power congestion; multi-domain interaction; complex system; domino; integrated defense; risk control

关于《电力系统自动化》录用稿优先数字出版的说明

为缩短学术论文发表周期,提高学术成果的传播和利用价值,争取科研成果的首发权,《电力系统自动化》于2012年7月加入了“中国知网”学术期刊优先数字出版平台(<http://www.cnki.net>),将对已录用的论文先于印刷版在“中国知网”优先数字出版。近期刊网站(<http://www.aeps-info.com>)正在做升级调试,升级后的本刊网站也将设有优先数字出版专区。

由于优先数字出版未经编辑加工和严格校对,不免存在病句、错字甚至逻辑上的错误,非常期待读者及时指正,帮助编辑更好地做好印刷版。同时印刷版一经确定,将上传至网络出版平台并取代优先出版的数字版。

国内外优先数字出版体制和学术评价体系尚在探索阶段。若有作者参阅本刊优先数字出版文献并引为参考文献的,敬请标注其印刷版发布的出版年、卷、期。可能给您的工作增加不便,请见谅!

若有不同意优先数字出版的作者,请投稿时特别说明。近期将对已录用而未发表的论文逐一征得作者授权同意。

《电力系统自动化》编辑部

联系电话:025-83409559

2012-07-01

