

电力市场条件下电力系统可靠性问题

王锡凡，王秀丽，别朝红

(西安交通大学电力系，西安 710049)

摘要：在竞争的电力市场中，发电机组投资的决策取决于项目的回报，而不是预期的备用率，因此，与发电系统有关的可靠性是由电能价格来维持的；在电力市场环境下，电力交易瞬息万变，电力调度既要保证公平竞争，又要保证安全运行，因而必须全面审定并研究和制订新的安全运行导则，并开发新的为运行服务的软件；辅助服务是电力市场最重要的特征之一，关系电力系统的安全运行与可靠性；现代继电保护已发展成为非常可靠的系统，但原有的保护原则是否适合于电力市场的运作情况则是一个值得探讨的问题。文中对电力市场条件下的上述可靠性问题进行了探讨，希望能为进一步研究对策和制订可靠性准则提供参考。

关键词：电力市场；电力系统；可靠性

中图分类号：TM 732; F 123.9

0 引言

目前在世界范围内电力工业正经历一场结构改革。在这场电力工业重组的改革中，无论是国营还是私营的电力公司都必须面向市场，参与竞争。改革的核心有 2 方面：①实现以实时电价为基础的电力市场；②实现电网开放。前者是为了更好地发挥电价的杠杆作用，对原有体制运营无本质的影响；而后者则要求打破发电、输电、配电、售电一体化的传统结构和地区性垄断，对电力工业的管理、经营、体制、规划及调度等都将产生深层的影响和巨大的冲击。

在这种环境下电力市场的商业行为对电力系统可靠性可能产生影响，反过来，电力系统可靠性的规则也会对电力市场竞争产生影响。因此，建立合理的可靠性准则对于保证系统安全运行及电力市场的有效、公平竞争都是需要研究和解决的问题^[1,2]。

“电厂大家办，电网统一管”似乎是世界各国电力工业重组的共识。很明显，我们需要新环境下的可靠性规则，这些规则不应成为市场公平竞争的障碍。电网的运行规则应该由一个独立的机构来完成，并且应由行政机关监督。

本文探讨电力市场对电力系统可靠性的影响，提出新环境下可能出现的可靠性方面的问题，希望能为进一步研究对策和制订可靠性准则提供参考。

1 电力系统规划与可靠性问题

在电力市场条件下，原先在垄断运行情况下的

系统可靠性指标应重新考虑。特别是整个电力系统的可靠性指标应分为与发电有关的可靠性指标和与输电有关的可靠性指标 2 类^[1]。

与发电有关的可靠性是指直接与发电容量可用度有关的可靠性(假定输电系统容量无限大)。换句话说，发电可靠性只有增加该地区发电可用容量才能得到改善。发电系统可靠性将决定地区发电的质量，即以给定的概率保证供电(假定输电系统容量足够使发电机自由运行送电而不受限制)。与发电有关的可靠性指标的例子包括：①在 10 min 内启动足够的容量以顶替最大机组的故障运行；②在安排短期检修时避免两台最大机组同时检修；③电力公司有一定容量的规划备用(装机容量的某一百分数，如 22%)。

与输电有关的可靠性是指直接与输电容量可用度有关的可靠性(假设发电容量无限大)。因此，输电可靠性指标将决定地区电网以一定概率供电的可靠性。此时假定发电容量总能满足负荷。与输电有关的可靠性指标的例子包括：①变电站设计标准：超过一定负荷的变电站至少要用两回分开的输电线路供电；②运行标准：一条输电线路停运不会影响非中断用户的供电。

在引入竞争机制后，扩建或新建发电机组将由垄断电力部门的决策转向分散的发电公司的决策。在竞争的电力市场条件下，发电公司只在新机组能带来利润时才会投资，这一点和其他行业一样，因为发电公司主要关心的是赢利。

通常赢利的量度是投资的回报。发电公司评估一个新电厂主要是预测年收入的期望值(在电力市场中出售电能服务)及净运行费(燃料、职工工资、资

产和收入税、投资的利息等)。将这一预测资金流和电厂的投资流相比较,如果该项目内部回报率大于公司对该项目投资的门坎利息,则该公司就可能要争取这一项目。如果该项目预测的内部回报率未超过门坎利息,则该项目可能被推迟。因此,在竞争的电力市场中,发电机组投资的决策取决于项目的回报,而不是预期的备用率。

有了实时市场的存在,就可以用市场价格机制来实现和维持与发电有关的可靠性指标。用实时电价市场交易来反映发电可靠性(特别是在发电容量短缺时),可以把如何更好地保持可靠性留给按实时电价进行交易的发电公司去完成。竞争的发电公司和用户将估计如何使其成本极小化,包括实时电价的交易及不能兑现合同的处罚。这种情况下,“应维持20%的备用”的要求变为“在缺电时如不能充分供电的经济处罚”的警告。因此,竞争的发电公司将在承担处罚费用的风险与增加发电机容量以避免处罚之间进行权衡。

在电力市场中,竞争的发电公司将分别做出自己如何满足合同发电量的商业决策。这些决策主要由预测未来的电价期望值与处罚来决定。实际上“由上而下”的发电系统可靠性规则将被“由下而上”的对电价期望值的反映来代替(包括实时市场的可靠性价格机制)。

与过去的垄断经营相比,在市场环境下对一个发电项目的评估更加直截了当,但也可能更困难一些(因为对投资者来说风险较高)。与过去按可靠性要求进行多电源的电源优化不同,竞争的发电公司主要考虑回报问题。因此在电力市场情况下对未来电力需求及希望达到的可靠性并未直接处理,只是间接通过它们对电价产生影响。

这一结论表明了在竞争的市场条件下,与发电系统有关的可靠性是由电能价格来维持的。发电商受利益驱动,并不按发电可靠性标准约束去维持可靠性。

同样,输电系统的发展以及系统互联等也都是由投入产出分析决定的。作为输变电设备的所有者,只有在其投资有较好回报的情况下才会筹建新的工程项目。在这种条件下,必须量化可靠性的效益并能公平分配这些效益,才可能调动各方面积极性,使电网建设更趋合理。

我国要实现社会主义市场经济,要保证国家的全局和长远的效益,在电力工业的发展上应充分发挥宏观控制的作用。为此首先要重视进行中长期电源和电网的优化规划,并通过经济杠杆引导电源布局和网络布局尽量靠近这些目标;其次要制订科学合理的可靠性准则,使之成为实行监控的主要依据。

2 运行方式与可靠性问题

在电力市场条件下用户可任意选择供电者以双边交易的形式确定发电和用电的模式,因此系统潮流可能与预测的很不一样。新的运行问题由此产生,并可能导致输电阻塞、电压崩溃及不稳定等问题。关键在于要有强有力的在线分析软件去发现隐患。过去大多数电力调度没有用在线软件(如采用最优潮流计算、输电限制、机组开停组合优化、电压崩溃分析、可输送容量等软件)的紧迫感。为了维持系统安全运行,调度员必须要安排足够的辅助服务如运行备用、无功支持及负荷调节。这种运行模式和垄断条件的情况完全不同。

阻塞是电力市场条件下网络运行的一个核心问题。电力市场的交易一般有2种形式,即双边交易和竞价上网(即联营交易)。从市场经济学的观点来看,双边交易最能体现市场自由竞争的效益。但这种交易模式会给电力系统的统一调度带来困难。最突出的问题就是电力网络某些部分可能趋于功率极限,而使电力系统运行承受很大的风险,这就是电力市场环境下电力系统的阻塞问题。缓解电力网络的阻塞是保证电力市场环境下电力系统安全运行的关键,无论从缓解手段、预防策略及分析方法上都应进行研究。

在垄断环境下,整个电力系统的发电、输电、配电是统一管理和统一调度的,运行方式安排相对比较简单,系统运行的安全、可靠容易得到保证。在电力市场环境下,电力交易瞬息万变,电力调度既要保证公平竞争,又要保证安全运行。在这种环境下,必须全面审定并研究和制订新的安全运行导则,开发新的为运行服务的软件。这些软件的主要任务应包括:维持系统可靠运行,对输电系统状况进行估计,稳定校验,规划、安排辅助服务,确定辅助服务要求及定价,是否接受电能交易合同、修改市场参与者的调度要求,确定开机的最低要求,进行阻塞调度,确定输电系统阻塞电价,进行发电机组过负荷的调整。这些软件不仅要更多地注意经济与安全的协调,而且还应进一步提高其计算效率以满足系统分析及时性的要求。

3 辅助服务与可靠性问题

辅助服务是电力系统必须具备的一种满足供电质量和电力系统安全水平的机制。在传统的电力系统管理运作方式下,辅助服务问题一直未引起足够的重视,因为电力系统研究和关心的对象是电能。在电力市场中,发电厂和用户提供辅助服务应该是有偿的。换句话说,电力市场中的商品除电能以外还应

包括各种辅助服务。因此必须量化这些服务并给予合理的补偿,使辅助服务的供应者能够得到应有的报酬。辅助服务与发电、输电、配电的各环节密切相关,而且为达到某种期望的运行状态,系统调度员需要采购并协调各种辅助服务,这就增加了电网运行和控制的复杂性,因而增加了导致电网功角不稳定、电压不稳定、过负荷和电力系统崩溃等的因素^[3,4]。

辅助服务向电力系统提供有功和无功电源使输电系统安全稳定运行,主要包括:频率控制,旋转备用,运行备用(非旋转备用),无功备用和电压控制,能量不平衡的消除,有功网损补偿,事故后的恢复,系统安全控制,发电再计划(校正计划)。

根据市场结构的不同,辅助服务的交易可在电能交易所或独立系统运行员(ISO)中进行。辅助服务可捆绑在一起成套提供,也可以分开提供。英国的NGC属前一类型,而美国电力市场多属后一类型。

辅助服务可以由用户自己提供或由ISO提供。可以由输电用户自己提供的辅助服务包括:调节备用、旋转备用、辅助备用(非旋转备用)及电能不平衡的消除等。如果用户不能自己保证,则必须向ISO购买。以下2种辅助服务必须向ISO购买:无功/电压支持和系统控制/再调度。

对于互联电力系统而言,辅助服务还包括以下几种:大面积停电启动,损耗补偿,动态调度,备用支持,负荷跟踪。

辅助服务是电力市场最重要的特征之一,关系到电力系统的安全运行与可靠性。在电力市场环境下,如何量化辅助服务并制订合理的价格,在运行中如何优化辅助服务的构成、协调各方面的利益是电力市场理论和实践的难点,至今未得到很好的解决。

4 电力市场条件下的继电保护与安全控制

继电保护是防止故障及扰动对电力系统危害的第一道防线。现代继电保护已发展成为非常可靠的系统。由于电力工业在过去是发、输、配一体化的结构,因此,其继电保护的构成原则也适用于这种垄断的管理形式。但这种保护的原则是否适合于电力市场的运作情况则是一个值得探讨的问题^[5]。

近期计算机及通信技术的发展使继电保护有了显著进展,自适应保护已成为现实。在这种情况下,是否需要特殊的保护系统满足市场化后的电网是今后应深入研究的问题。以下就是这方面的例子。

虽然保护动作的正确率非常高,但由于保护系统的隐患仍可能在某些情况下扩大事故。像纽约大停电及1996年WSCC大停电都与保护的不正确动作有关。我们认为在列举事故模式时应将保护系统的动作情况考虑在内。

在电力市场情况下,可用输送容量是很重要的概念。可用输送容量是电网可进一步增加电力交换的容量。两区之间的可用输送容量是在给定运行条件下两区间可增加的输送电力容量。给定的运行条件包括一些元件故障停运。通常多重故障是由保护系统的隐患引起的。因此,在计算可用输送容量时,应把保护的隐患考虑在内。

电力市场的输送容量有时和校正措施有关。一般采用校正措施使系统切负荷最少,但在电力市场情况下,是否应有一个切负荷顺序,被切负荷的发电公司是否参与了校正措施的制订和设计,是否会为系统可靠性付出很高的费用都应该给予充分考虑。

安全性与可靠性的要求对继电保护来说有一定的矛盾。现代电力系统的保护系统偏向于保证可靠性,这可能导致降低安全水平。在系统处于紧张状态时,即在冗余设备容量较小的情况下,这种原则就不合适,此时应该尽量避免错误开断非故障设备。应该注意,目前保护拒动的概率是非常小的,而增大一点拒动的概率以防止大的系统连锁故障仍可以考虑。

一般保护在逻辑上是并联的,因此任何一个主保护都可以作用于跳闸。然而为了保证绝对安全则应在所有主保护动作的情况下才切除故障(串联逻辑)。在3个主保护动作的情况下可以用表决方式确定是否切断设备。可以设想安全性与可靠性之间的关系可根据系统情况进行调整。系统处于冗余度较小的情况下应更多考虑安全性。显然,在连锁反应事故中,应很快地减少误动的概率以防止由于保护而引起的事故扩大。

在电力市场某种条件下是否可能改变安全性与可靠性两者的侧重点?例如,如果线路被保护误动切除导致巨大的经济惩罚,是否可考虑稍微增加一点拒动的概率(拒动的概率实际上非常小)?

在电力市场条件下输变电设备的所有者和系统调度并不同属于一个电力公司。因此在保护整定上就有潜在的矛盾。输变电设备所有者肯定要尽可能保护其设备,并希望按相应的原则进行保护整定,而系统调度则自然地倾向于在安全性和可靠性之间折衷。这里误动引起的售电收入损失和损坏设备造成的损失是矛盾的。

此外,在电力系统安全控制方面的手段包括控制和切除发电机组,控制或切除负荷以及设置系统解列点等。在电力市场条件下构成电力系统的电气主设备和控制装置属于不同的公司,因此这些控制手段都需要仔细研究,以确保“责”和“利”的平衡。

5 结语

电力市场的推进打破了电力工业传统的垄断模

式,对电力系统规划、运行诸方面产生了深刻的影响。在新环境下如何保证电力系统安全可靠运行面临很多新的问题。本文初步探讨了这些问题,得出:

- a. 应该重新审定原有的电力系统安全运行的导则、指标,使之适应电力市场的要求。
- b. 开发一批新的系统分析软件,应特别注意经济与技术之间的协调性;尽可能提高软件计算效率,以适应瞬息万变的运行状态。
- c. 继电保护及安全控制应根据电力市场条件研究审查原有保护和控制的原则。
- d. 建立电力市场条件下电力工业的监督、管理体制。

参 考 文 献

- 1 Ilic M, Galiana F, Fink L. Power System Restructuring. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998

- 2 Anderson J A. Power Delivery in a Regulated Market. IEEE Power Engineering Review, 1999, 19(9): 22~25
- 3 Ali Vojdani F A. Meet the Emerging Transmission Market Segments. IEEE Computer Application in Power, 1999, 12(1): 26~32
- 4 于尔铿, 韩 放, 谢 开, 等(Yu Erkeng, Han Fang, Xie Kai, et al). 电力市场(Power Market). 北京: 中国电力出版社(Beijing: China Power Publisher), 1998
- 5 Thorp J S, Phadke A G. Protecting Power Systems in the Post-Restructuring Era. IEEE Computer Application in Power, 1999, 12(1): 33~37

王锡凡,男,教授,博士生导师,从事电力系统分析、规划及电力市场的教学研究工作。

王秀丽,女,博士,副教授,从事电力系统规划、可靠性及电力市场的研究工作。

别朝红,女,博士,讲师,从事电力系统可靠性及电力市场的研究工作。

POWER SYSTEM RELIABILITY ISSUES IN POWER MARKET ENVIRONMENT

Wang Xifan, Wang Xiuli, Bie Zhaozhong (Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: It is vital to carefully consider the impact on power system security and reliability when the existing structure of electric power industry is transferred into a competitive power market model. First, generation related reliability criteria are complemented, supplemented or even replaced by energy market prices and commercial performance incentives. Secondly, how we meet reliability standards in a large integrated power system open to competition is quite different from how we met them when we operated in the traditional power industry. Thirdly, the ancillary service is an important measure to maintain reliability. How to define and price it must be carefully considered. At last, relay protection and security control systems will face new issues such as how to set relay protection systems in the deregulated system. This paper introduces these important issues and challenges. Suggestions for revising the security and reliability codes of power systems are also presented.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 59937150).

Keywords: electricity market; power systems; reliability