



我国电力系统第二个“973计划”项目： 提高大型互联电网 运行可靠性的基础研究 ——访“973计划”项目首席科学家周孝信院士

◆ 查仁柏 周文

2007年11月27日,本刊编辑部编辑就“提高大型互联电网运行可靠性的基础研究”(“973计划”项目)专访了“973计划”项目首席科学家、中国电力科学研究院总工程师周孝信院士。兹将采访情况报道如下,以飨读者。

编辑:20世纪90年代及本世纪初,国际上大电网发生了不少次重大事故。我国在“973计划”项目中立了重大项目,研究提高大型互联电网的可靠性问题。我们想请周总首先介绍一下“973计划”项目的立项背景和目的,为什么叫“973”?

周总:在世界范围内,电网互联程度的不断提

高促进了电力资源的优化配置,但也带来了一些负面影响,使电网的安全问题更为突出。20世纪90年代,美国发生了几次大电网停电事故,损失很大。2003年以来,国内外又相继发生了几次大规模的停电事故。比如,2003年美国的“8.14”大停电事故,损失电力6000万kW,涉及人口5000万。随后几年内,英国、瑞典、意大利、莫斯科和欧洲等地电网又相继发生大规模停电事故。因此,针对国内外发生的大规模停电事故,探究事故的成因机理、寻求应对措施已成为电力系统研究的热点。根据这种情况,我国于2004年设立了电力系统方面的“973计划”项目,项目

的正式名称为“提高大型互联电网运行可靠性的基础研究”。

“973计划”是由国家财政拨款、科技部组织的国家基础研究计划，其正式名称为“国家重点基础研究发展计划”。由于该计划是1997年3月由李鹏总理首先提出并经国务院通过的，因此也称为“973计划”。“973计划”定位于科学技术领域的基础研究。其特点不仅是基础研究在理论上的探讨，同时还紧密结合国家重大需求，针对国家经济社会发展各领域所面临的重大科学技术问题开展基础性、前瞻性研究。2004年9月开始执行的“提高大型互联电网运行可靠性的基础研究”项目，是国家“973计划”中的一个项目。它也是我国电力领域第2个973计划项目，第1个“973计划”项目是以清华大学卢强院士为首席科学家的“我国电力大系统灾变防治和经济运行的若干重大科学问题的研究”。

编辑：请周总谈谈我们这个“973计划”项目研究的主要问题。

周总：国内外近期发生的大停电事故大多是在大型互联电网内发生的。这些事故的显著特点是由单一故障引发多重故障，由局部地区小范围扩展到广大地区的大范围，并最终导致大面积停电甚至全网崩溃。造成电网大面积停电的原因已不再是单一的暂态稳定性、电压稳定性或小干扰稳定性破坏，而是在故障持续过程中电网内发生大范围电力负荷转移，发输变设备和线路过负荷或低电压效应跳闸、局部电网电压稳定性或暂态稳定性破坏、负阻尼低频振荡、电网解列、频率异常升高或降低等现象相互交织，呈现连锁反应的演化过程。

国内外现有的电网调度和安全稳定技术已难以正确应对类似于这种连锁反应式的故障。继电保护装置作为电网安全稳定的第一道防线起着十分重要的作用。然而多起大停电事故表明，即使保护装置正确动作，对那种过负荷连锁反应式的故障的演化已无能为力；此外，保护装置可能存在的“隐性失效”又会起着推波助澜的作用，使连锁反应事故扩大。电网中装设的安全稳定控制装置也缺乏应对连锁故障的能力。现有电网调度自动化系统，基本上只能实现基于稳态状态监测的调度功能；在电网在线安全监控方面，防止过负荷采用的是 $N-1$ 静态安全分析；对暂态稳定破坏的防范，则是采用基于典型方式的离线计算给出稳定极限在线应用的简单方式，也就是通过做电网离线分析，预期出现什么故障，电

网能否承受，会出现什么样的问题等，然后将分析结果用于实际运行时的在线指导。几次大事故的教训表明，在连锁故障过程中的运行和故障模式是离线分析所未能预计到的，而实际故障发生后对系统的状况又缺乏全面掌握和分析的手段，未能做出正确的判断和处理，从而导致事故的扩大。

长期以来，为了解决电网运行的安全稳定性问题，国内外学术界和工业界进行了大量的研究和实践。尤其是国内，多年来在电网分析方法和软件、安全稳定控制理论、继电保护和安全稳定装置等领域做了大量研究、开发工作，并在实际系统中得到广泛应用。20世纪80年代中期开始，我国主管部门针对国内电网实际相继制订和修订了《电力系统安全稳定导则》和《电力系统技术导则》，用以指导电网的规划设计和运行，大大提高了电网的安全运行水平，使电网稳定性破坏事故发生的频率大幅度降低。

现在的问题是要针对当前和未来我国电网大规模互联出现的问题，以及电网一次设备和二次系统技术进步的现状和前景，对电网的安全稳定性问题进行新的基础性和前瞻性的研究，为解决新形势下电网的安全稳定性运行问题奠定理论和关键技术的基础。这也就是我们这个“973计划”项目立项的目的。作为基础性的研究，我们的研究思路是从如何从整体上提高电力系统可靠性的角度出发，探索提高电网安全稳定运行理论、方法和关键技术。电网可靠性的概念早在20世纪60年代，美国发生纽约大停电事故后就已经提出，它包括电网的充裕度和安全性两个方面。经过几十年的研究和实践，在基于事件发生概率的可靠性定义、评价指标、计算方法和参数统计积累等方面的研究及应用已相当成熟。然而现有的电网可靠性理论和方法都是建立在规划电网研究基础上的，主要用于评价未来规划电网，做规划电网方案比较，起到指导和完善电网建设或扩展方案的作用。其中电源规划可靠性的应用方面更为成熟，对于电网和发输电系统可靠性的研究和应用方面还在不断完善。我们这个项目的研究是希望在理论上将可靠性的概念和定义从面向规划扩展到电网运行，因此首先提出“运行可靠性”的概念，进而通过研究，发展包括运行电网可靠性的定义、评价指标和在线计算方法等的一套完整体系。希望能对当前正常运行电网和故障发展过程中的电网及时进行可靠性评估，从而给出当前运行方式下的可靠性的运行指标、故障停电风险指标，指明电

网的薄弱环节、需要采取的调整策略和控制措施。

为了实现这一目标，我们在项目中设置了专门的课题（第8课题），从理论上研究“运行可靠性”和“风险评估”的概念、定义、指标体系和在线应用的计算方法。

为了更深入揭示大停电过程发生的机理，我们还设立了两个理论性较强的课题。一是用系统复杂性理论研究电网的可靠性，特别是连锁反应大停电问题（第2课题），希望借鉴其他领域复杂性研究的方法和成果，从一种新的视角探索分析互联电网连锁反应故障大停电的内在机理、特征指标，期望能建立起从宏观评价到微观分析的联系，以便能更好地从本质上把握电网的可靠性问题。另一理论性的课题是对大受端电力系统动态特性的研究（第1课题），重点研究当前和未来我国东部几个大规模的受端电力系统的可靠性问题，主要是接受多条西电东送大容量直流和交流输电的大量电力后，受端系统的电压稳定性和多馈入直流输电引发换相失败和闭锁停运带来的一系列安全稳定性问题，希望在机理分析、模型建立和分析方法上有所突破，为本项目的研究奠定理论基础。

为了实现在线运行可靠性评估和预警、控制的目标，项目中设置了两个涉及在线应用的基础性研究课题。一是大型互联电网分布式计算理论和方法研究（第3课题），希望利用计算机、通信和广域分布式计算方法的最新成果，充分利用电力系统计算机和光纤通信的丰富资源，研究相应的计算方法和系统体系结构，建立用于电力系统运行可靠性分析和评估的广域分布式计算系统；另一是大型互联电网在线运行可靠性评估、预警和决策支持系统研究

（第4课题）。这也是本项目涉及未来应用的核心课题，重点结合当前电网调度自动化系统的发展以及运行可靠性理论和算法的实现，研究相应的评估、预警和决策支持系统，包括各种在线稳定计算、报警和系统恢复处理等新的算法，建立未来可用于实际的仿真、试验、演示系统平台，为未来新一代调度自动化系统的实现奠定基础。

电力市场的发展为电力系统安全稳定运行提出了一些新的课题。市场化的运行模式为电网运行方式带来了一些新的不确定性。为此，我们专门设立课题研究电力市场对电力系统运行可靠性的影响（第5课题），从市场运行的特点出发，研究电网稳定性与电力市场稳定性的相互影响；研究电力市场条件下，电网潮流阻塞的解决办法和控制策略。

以上6个课题主要是针对电网运行可靠性中涉及安全性方面的问题，从电力系统的角度，从理论分析、计算方法和调度控制策略等方面进行研究。在提高电网可靠性的充裕度方面设立了两个研究课题。一是提高超高压交流输电线路输送能力的研究（第6课题），主要综合了近年来提高大容量远距离交流输电系统的新技术，提出柔性紧凑型的输电方式，用于大幅度提高500kV、750kV、1000kV交流输电系统的输送能力，解决实现中遇到的关键技术问题。另一课题是研究提高电网可靠性的大功率电力电子技术（第7课题），重点研究利用大功率电力电子器件提高电力系统输送能力的灵活交流输电技术（FACTS），以及研究解决电力电子设备本身的可靠性问题。

编辑：请周总介绍一下我们这个“973计划”有哪些目标，如何实现这些目标。

周总：以上介绍了项目主要研究的问题以及为什么要研究这些问题。项目总的目标是希望通过以上课题的研究，在提高大型互联电网运行可靠性的理论、方法、关键技术以及平台实现等方面有一些实质性的进展，所提供的基础性研究成果为进一步深化研究和具体实施奠定基础。

具体来说，我们希望在基础性理论研究、前瞻性关键技术研究 and 基础性应用平台建设等3个方面有较大的进展：

(1) 在基础性理论研究方面。提出并建立或完善：电力系统运行可靠性理论和分析方法；电力受端系统建模分析的理论



2007年11月，周总在2007中国电机工程学会年会上

和方法; 基于复杂性理论的大电网安全评估分析的理论和方法。

(2) 在前瞻性关键技术研究方面。研究建立: 大型互联电网分布式计算理论和方法; 大型互联电网在线运行可靠性评估、预警和决策支持系统的理论及方法; 提高电网运行可靠性的大功率电力电子技术; 提高超特高压交流输电线路输送能力的柔性紧凑型输电技术。

(3) 在基础性应用平台建设方面。研究建立: 互联电网分布式计算试验平台; 互联电网在线运行可靠性评估、预警和决策支持系统平台; 电力市场与电力系统安全运行仿真试验平台; 大功率电力电子装置和系统仿真试验平台。

此外随着研究的进展, 在实际电力系统中的应用工作也将逐步展开。我们希望, 在项目结束的时候, 部分研究成果能在实际系统中发挥作用。

为了实现研究目标, 我们在制定研究计划时就广泛征求了国内专家的意见, 并由国内在本领域的优势单位参加研究工作。在本“973计划”项目的8个课题中: 第1课题“电力受端系统的动态特性及安全性评价的基础研究”, 由中国电力科学研究院、华北电力大学、河海大学和四川大学共同完成; 第2课题“大电网安全性评估的系统复杂性理论研究”, 由浙江大学、中国电力科学研究院和清华港大深圳电力系统研究所共同完成; 第3课题“大型互联电网分布式计算理论和方法研究”, 由清华大学和中国电力科学研究院共同完成; 第4课题“大型互联电网在线运行可靠性评估、预警和决策支持系统”, 由中国电力科学研究院、清华大学和天津大学共同完成; 第5课题“电力市场对电力系统运行可靠性的影响研究”, 由国网南京自动化研究院和西安交通大学共同完成; 第6课题“提高超高压交流输电线路输送能力的研究”, 由清华大学和华中科技大学等共同完成; 第7课题“提高电网可靠性的大功率电力电子技术基础理论研究”, 由中国电力科学研究院和清华大学共同完成; 第8课题“大型互联电网在线运行可靠性的基础理论研究”, 由清华大学、重庆大学和合肥工业大学共同完成。

编辑: 您能否给我们介绍一下该项目的研究进展情况。

周总: 本项目自2004年9月开始到现在已有3年时间。研究工作进展顺利, 在国家科技部专家咨询



组、项目专家组的指导下, 在项目承担单位的精心组织 and 各参研单位以及参研科技人员的共同努力下, 已经取得了一些成果。2007年1月, 通过了国家科技部主持的项目中期评估。在基础理论研究方面, 已发表学术论文340篇。除了理论研究, 我们也注重发展核心技术, 在工作进程中不断推出新成果, 比如, 大型互联电网在线分布式计算分析系统及平台, 三维协调的新一代电网能量管理系统、关键技术及应用, 大功率电力电子装置试验等效机理和等效试验方法的研究系列成果等。到2009年底项目结束还有两年时间。最近项目专家组到各课题承担单位进行了年度工作检查, 进一步明确了重点研究内容和预期目标, 部署了后两年的工作。

编辑: 请周总给我们描绘一下此项基础研究完成之后, 我国电力系统将会呈现什么样的面貌。

周总: 近几年我国电网发展的速度超出原先的预料。不久的将来, 我国电网将发展成为世界上规模最大、结构复杂、技术先进的电网。在电网的发展过程中, 最大限度地保证电网的可靠运行是一项十分艰巨的任务。要想完全排除大型电网大停电的风险, 实现电网绝对安全是不可能的。我们希望通过本项基础研究, 能为降低大电网大停电的风险性提供理论基础和具有重要应用前景的关键技术, 并提供进一步研究和开发的平台。我们目前所做的研究, 国内外还没有完整的理论体系和方法, 也没有成熟的技术, 尽管我们电网的规模大、面临的问题复杂, 然而有国家的支持, 可以集中各方面的力量和资源, 相信通过本项目的研究能做出一些有用的东西来。■