



# 智能配电网与配网自动化

## ——专访徐丙垠博士



徐丙垠：

(1961—)，1991年获得西安交通大学博士学位(与英国伦敦城市大学联合培养)，山东理工大学教授，山东大学博士生导师，山东科汇电力自动化有限公司董事长，第十届、第十一届全国人大代表；长期从事电力线路故障监测、配网自动化技术研究，获国家技术发明奖二等奖1项和四等奖1项。

现在智能电网很热。智能配电网跟配网自动化的联系很紧密。就智能配电网与配网自动化的一些问题，本编辑部特地采访了配网自动化方面的专家徐丙垠博士，结合国内外的情况，请他谈谈他的看法，以便总结经验教训，少走弯路。并将采访情况报告如下：

● 编辑：徐博士，首先请您谈谈为什么建设智能电网要特别关注配电网？

● 徐：建设智能电网要特别关注配电网有几个方面的原因。①首先是供电企业履行自身根本使命的需要。供电企业的根本使命是保证供电安全与质量，就是要做到尽量不停电。我国目前的情况是城市地区每年平均每个用户的停电时间长达十几小时，个别地区超过20小时。而且这些数据还只统计到10kV公共变压器，不是最终的低压用户。而在欧洲国家的用户年停电时间平均只有1小时左右，美国是90分钟左右，韩国与我国香港地区只有十几分钟，新加坡、日本供电可靠性更好，不到10分钟。由此可见，与他们相比，我们国家差距很大，要大

于我们在经济上的差距。尽管我国情况特殊，还是发展中国家，满足电力需求增长的任务很重，这么落后的供电可靠性长期存在，肯定不利于我国的经济发展。供电可靠性是衡量电网性能优劣、先进与否的基本指标。建设智能电网，第一位的就是要解决供电可靠性问题。而要提高供电可靠性，必须重点关注配电网。之所以这样讲，主要是目前在电力系统中，配电网是影响用户供电可靠性的短板。配电网的投资相对不足，自动化水平低，是一个十分薄弱的环节。世界各国都有这个问题，在我国这一问题更为突出。根据最近这几年的统计数据，扣除缺电因素，目前我国用户的停电时间95%以上都是由配电网引起的。这就是说，问题主要出在配电网上。即便是输电网一刻都不停电，而最终用户的平均停电时间仍然有十个多小时。这就像我们从北京到天津旅行一样，乘坐城际列车，半小时就从北京南站到达天津站了，而到达目的地实际花费的时间还是要在2小时以上，因为城市内部交通拥堵，很费时间。要想进一步缩短旅行时间，重点是要解决城市内部交通不畅问题。因此，我们要建设智能电网、提高用户供电可靠性，必须在配电网上狠下功夫，切实把配电网技术装备与管理水平搞上去。②供电企业追求的另一个经营目标是运营成本低，资产利用效率要高，损耗要小。目前，在电力系统的损耗中，配电网占大头。智能电网应是一个高效电网，而要提高运行效率，配电网显然是一个关键环节。③建设智能电网要服务于国家发展新能源这个战略大局。智能电网之所以能够引起社会这么大的关注，甚至上升到国家战略层面，关键就是要解决可再生能源发电的并网问题。可再生能源的特点是能量密度低、分布广，大多采用小容量的

分布式发电,就地接入配电网,向附近用户供电。这些分布式发电装置接入配电网,功率双向流动,对供电企业来说是个很大的挑战,因为传统电网是功率单向流动的辐射型网络,其规划设计和保护控制都没有考虑分布式电源接入。而通过建设智能配电网,可以解决此问题。举一个简单的例子,从前变电站的电源开关拉开了,线路就停电了,就可进行检修,可现在不行,说不定哪个用户屋顶的太阳能发电装置还在工作,线路可能还有电,无法安排检修。因此,要搞智能配电网,就要对用户的分布式发电装置进行远程监控。发展智能电网,还有一个重要原因,就是要支持与用户的互动,适应电动车发展的需要。电动汽车充电功率达数百千瓦,需要建设专用充电设施,未来电动汽车充电站将像现在的加油站一样遍布各地。在汽车应用较为普及的国家,社会汽车功率之和远大于发电装机容量。以中国为例,2008年社会汽车保有量超过6000万辆,按平均每辆汽车额定功率为50kW计,则社会汽车总功率将超过30亿千瓦,接近4倍的发电装机容量。可见,将来电动车充电负荷可能要在电网总负荷中占很大的比例。而电动汽车对什么时候充电要求并不很严格,是一种时间上可平移的负荷。对电网来说,这是一笔巨大的功率平衡资源。通过安装智能电表,实行实时电价,合理地调整电动车充电时间,将能显著地减少峰谷负荷差,提高电网容量利用率;此外,还可以很好地补偿可再生发电的间歇性,减少对系统备用容量的需求。由此来看,不管是分布式发电并网还是电动车充电,着眼点都在配电网。从这一角度讲,建设智能电网必须特别关注配电网。

● 编辑:智能配电网的主要特征是什么?

● 徐:更高的供电质量,很高的资产利用率,可大量接入可再生能源发电,能够与用户互动,适应电动车的发展。这些都是智能配电网的主要特征。关于更高的供电质量,除前面我讲到的供电可靠性问题外,还要解决短时供电中断、电压短时下降带来的问题。随着数字经济的发展,出现了对电能质量十分敏感的高科技设备,如半导体生产线、可编程逻辑控制设备等。我们习以为常的重合闸、刀闸操作引起的仅有几秒的停电都可能导致这些设备停机或出现误操作,造成严重的后果。智能电网具有良好的自愈能力,要能够保证用户供电一刻都不中断。

关于智能配电网的特征,还可以从“1+1>2”这个角度去理解:即将计算机、通信、自动化、电力电子等这些新技术在配电网中的应用进行集成、融合、升华,实现更高的供电质量、资产利用效率。除了自动化系统、信息系统之间的无缝集成外,更重要的是实现一次与二次技术的协调、融合。比如,对输电线路来说,为防止稳定被破坏,并避免因过负荷发热引起故障,线路实际输送的功率比较小,裕度很大,而通过应用广域测量与线路运行工况监控技术,就可以在保证安全稳定的前提下,多送功率,提高一次设备利用率。再比如,110kV变电站的设计,为保证“N-1”,变压器容量一般按最大负荷的两倍设计。如果配网自动化搞好了,几个变电站之间的负荷可以互相转供,变压器冗余容量完全可以降下来。这就通过应用二次技术,减少了一次设备投资,达到了“电子换钢铁”、节省整体投资的效果。

● 编辑:配网自动化主要有哪些技术内容?

● 徐:从前我们所说的配网自动化,即DA(Distribution Automation),主要包括中低压配电网运行管理自动化与用电管理自动化这两方面的内容。现在有了智能电网的概念,用电管理自动化内容更为丰富。为使DA概念更有针对性,建议将其限定为配电网中低压配电网的运行管理自动化。中低压配电网运行管理自动化又分为运行自动化与生产管理自动化或信息化两项内容。配电网运行自动化是实时功能,包括数据采集与监控(SCADA)与故障自动隔离、电压无功控制等功能。配网生产管理信息化包括基于地理信息系统(GIS)平台的设备管理、停电管理、作业管理等功能。完成运行自动化功能的系统,称为配电网运行自动化系统或馈线自动化系统,也有人直接将其称为配网自动化系统。完成生产管理信息化的系统称为配电网生产管理系统,常简称为配网GIS。此外,还有配电管理系统,即DMS,它是配电网运行自动化系统与生产管理系统集成而成的,与输变电调度自动化系统EMS相对应。

● 编辑:智能配电网与配网自动化之间是什么关系?

● 徐:配网自动化,简称DA,和智能配电网有着密切的联系与广泛的共同性。DA是现代计算机、通信与测控技术在配电网中的应用,而这些新技术也是智能配电网的主要技术手段。DA的技术



内容完全包含在智能配电网内，且是其主要部分，具有举足轻重的作用。但与DA相比较，智能配电网也有着革命性的变化。它是各种电力新技术在配电系统中应用的总和，几乎涉及配电系统一次与二次的所有技术领域。智能配电网以提高系统整体性能、节约总体成本为目的，强调各种技术的有机融合、协调应用。更为重要的是，智能配电网要支持分布式电源的大量接入、深度渗透；能够适应电动车发展需要，实现与用户的互动。从我国配电网实际需求、技术成熟程度来看，建设智能配电网，主要搞DA的应用。

● **编辑：什么是高级配网自动化？与大家熟悉的配网自动化有何区别与联系？**

● **徐：**高级配网自动化或称高级配电自动化是美国电力研究院的专家提出的。所谓“高级”是指智能电网概念下的DA。它是以前DA概念的继承与发展。它首先要适应分布式电源的大量接入，把分布式电源纳入运行监控范围，解决线路上功率双向流动带来的问题。第二是要高度标准化，做到即插即用。因为配网自动化设备众多，一个中等城市的监控点达几千个，大城市要上万个，因此必须将数据模型、通信接口标准化，能够像USB盘一样，插到计算机上就能用，否则，逐一进行配置、调试，工作量相当大。另一方面，设备标准化了，生产批量上去了，成本也就能降下来。第三个特点是分布式智能控制，即现场终端装置能够通过局域网交换信息，实现故障隔离、电网无功调节等控制功能。采用分布式智能控制，主要是提高响应速度。传统的DA技术主要依赖控制中心的主站集中完成数据处理与控制功能，处理速度难以满足实时性应用要求。以故障隔离为例，应用分布式智能控制技术，可在几秒之内解决问题，而通过主站集中处理，最快也需要1分钟的时间。

● **编辑：怎样看待配网自动化的作用与效益？供电企业实施配网自动化的动力是什么？**

● **徐：**DA说起来有很多好处，包括提高电压质量、改善客户服务、提高管理效率、减少损耗、延缓一次设备投资等，但根本的一条还是减少停电次数与停电时间，提高供电可靠性。首先通过对配电设备的监控，及时发现并消除故障隐患，减少故障的发生；二是通过自动故障隔离与恢复供电，避免或减少故障造成用户停电时间；三是快速定位故障，快速调度、派修，缩短故障抢修时间；四

是远程遥控分段开关，进行倒闸操作，避免人工操作造成长时间停电。实施DA，供电企业能够在增加电费收入、减少人工成本、在社会树立优质服务形象等方面获得回报，但最突出的效益还是体现在减少用户停电损失、保障社会正常运转上。停电除造成停工停产、产品报废外，还可能引起社会秩序混乱，带来严重的后果。目前我国每千瓦时电产生的GDP在10元以上，而1千瓦时的电费只有五六毛钱。如此推算，停电给社会带来的经济损失约为供电企业因停电少收电费损失的20倍。

谈到实施DA的动力，如果仅考虑供电企业自身的回报，很难论证DA投资的必要性，必须把社会效益计算在内。我们知道，一个城市的DA项目往往需要数亿元的投资，而供电企业获得的收益是因少停电增加的电费收入，每年不过是几百万元，但由此产生的社会效益是数千万甚至上亿元。这就要求供电企业能够主动承担社会责任，在进行DA建设决策时，为用户着想，把社会效益放在第一位。另一方面，政府要合理权衡供电企业与社会利益，对供电可靠性提出明确的要求，推动供电企业的技术进步。从国际上的情况来看，DA之所以能够在一些国家和地区获得广泛应用，主要是由于政府电力监管机构对供电可靠性提出了严格的要求。供电可靠性达不到要求，企业受罚，不让股东分红，严重的还要被取消特许经营权。供电企业头上悬着这样一把剑，所以会应用包括DA在内的各种技术手段，千方百计地提高供电可靠性。以英国为例，根据该国2005年颁布的电力监管条例，监管机构每年根据各个供电企业的实际情况，为其设定年均停电时间、停电次数目标。例如，2007/2008财务年度为伦敦供电公司设定的这两个目标分别为40.1分钟与0.36次。为提高供电可靠性，伦敦供电公司自2001年起，实施中压电网监控项目，2002年第一期工程完工，安装终端5000多套。另一例子是我国香港中华电力公司，其中压电网全面实现了自动化。中华电力这样做的原因，主要是1994与政府签订了特许经营权协议，承诺10年内将供电可靠性提高40%。他们的DA项目于1997年正式启动，2003年底完工，安装终端1万多套。据报道，中华电力用户年平均停电时间已由以前的20多分钟降到现在的十几分钟。对照我国的情况，前些年各地上了不少DA项目，实际运行效果并不理想。除了超前建设、技术不成熟的因素，根

本原因还是国家对供电可靠性没有提出硬性要求，供电企业缺少提高供电可靠性的外在压力。最近新颁布的电力监管条例，要求城市供电可靠率不低于99%，即用户年平均停电时间不超过87.6小时。尽管这个指标太低，还很难真正起到推动供电企业重视DA的作用，却是一个良好的开端。随着社会与经济的发展，用户对供电质量的要求日益提高，相信DA会在我国逐步推广开来。

● 编辑：请您介绍一下国际上配网自动化的应用情况和我国的存在问题。

● 徐：国际上DA应用做得最好的还是东亚的一些国家和地区，这些地方的供电可靠性也很高。我国香港中华电力公司、新加坡电力公司、日本东京电力公司中压电网已基本全面实现了DA，韩国DA覆盖率已达58%。此外，泰国电力公司自2001年起应用DA，已安装监控终端2000多套。欧洲发达国家的DA应用也搞得比较好，配电地理信息系统获得了广泛应用，配电调度、停电投诉处理、故障抢修管理基本都实现了计算机化。在馈线自动化方面，奥地利EVN公司维也纳地区的中压电网基本实现了自动化，安装配电终端一万多套；意大利ENEL公司全国有8万多个中压/低压开关站实现了远程遥控，法国EDF公司80%的20kV中压网络实现了自动化，此外在英国、德国、芬兰、葡萄牙、丹麦等国馈线自动化都有一定的应用面。美国长岛地区LILCO公司1994起对120条故障易发的配电线路进行自动化改造，取得了良好的效果；卡罗兰纳的Progress Energy在美国是馈线自动化覆盖率最高的供电公司，包括1000多条配电线路；南加州Edison公司有3100多台中压线路开关、7500台线路无功补偿电容器实现了远方遥控。但总的来说，美国的DA应用主要还是集中在配电管理流程计算机化上，馈线自动化应用面还有限。随着智能电网的发展，许多美国公司开始或在计划大面积应用DA。

我国20世纪90年代就开展DA技术研发与应用工作。1998年国家城网改造计划与当时国家电力公司的创一流活动，极大地推动了我国DA应用工作。到2003年，有100多个地级以上城市开展了DA系统工程试点工作，有的DA规模很大，如绍兴DA系统，安装终端近5000套，基本覆盖了整个城区的配电网。到2003年，不少已建成的DA系统暴露出运行不正常、管理维护困难等问题，再加上全

国缺电局面的出现，DA应用进入了相对沉寂的阶段。最近，随着我国社会经济的发展对供电可靠性要求的提高与智能电网的提出，DA应用工作又迎来新一轮的发展。南方电网公司已着手在15个大城市大面积实施DA，广州、深圳两地的DA项目已全面启动。国家电网公司也在积极规划，推动DA的应用，启动了北京、杭州、厦门、银川4个城市的DA试点工作。

总结我国前段时间的DA工作，总体来说应用水平还比较低，没有发挥出应有的作用。线路自动化覆盖面有限，形不成规模效益；“自动化孤岛”现象严重，条块分割，没有做到整个配电管理流程的计算机化，应用功能有限。究其原因，一方面是一些地区配电网网架结构、一次装备以及基础管理工作较薄弱，还不具备应用DA的条件，出现所谓的“超前建设”现象；有些系统的功能结构规划不合理、设备质量不过关；我国城市建设与配电网扩容任务繁重，配电设备异动率高，数据录入与更新工作量大，也是一个因素。但最主要的，还是这些供电企业对提高供电可靠性的认识不足，不重视DA的应用工作，DA运行人员的配备、技改经费没有保证，管理维护工作没有跟上。

● 编辑：如何判断一个地区是否具备建设配网自动化的条件？

● 徐：首先要看这个地区经济和社会发展程度，对供电可靠性的要求高不高。具体可以从人均GDP、负荷密度这两个指标来分析。如果一个地区人均GDP接近或超过1万美元，每平方公里的负荷密度超过10兆瓦，说明这个地区对电力的依赖程度已经很高了，停电损失比较大，需要考虑上DA。另一个简单但不失为可行的依据是，看交通拥堵情况，如果过路口需要等2次以上的红绿灯才能通行，说明这个城市的经济比较发达，对供电可靠性要求高，依靠人工巡线抢修要花费很长的时间，十分有必要应用DA。另一方面，还要看配电网一次网架是否具备应用DA的条件，企业管理与人员素质是否都有了一定的基础。这也可以用量化的指标来衡量。如果说一个地区供电可靠率已经达到99.94%以上，即用户年均停电时间少于5小时，说明该地区配电网基础已经比较好了，需要通过应用DA继续提高供电可靠性，否则，首先要在改造一次网架、提高基础管理水平上下功夫。

● 编辑：怎样做好配网自动化系统的建设规



划?

● 徐: 搞好DA建设规划, 首先要有量化的目标, 不能只提一些“自动化上水平”、“创一流”、“国际领先”、“提高可靠性”之类的空口号。量化目标, 最主要的还是供电可靠性改进目标: 用户年平均停电时间缩短了多少? 3分钟以上的供电中断减少了多少? 负荷转供时间提高了多少? 故障抢修时间缩短了多少? 等等。有了这些指标, 才好确定系统应该怎么建, 自动化覆盖率是多少, 一个具体的开关要不要上遥控等。如果没有量化指标的约束, 往往会出现为自动化而自动化的现象。比如, 在实际DA工程中, 经常出现这样的情况, 不是根据对供电可靠性的贡献, 而是看一个开关是否具备条件、改造工作量有多大来决定是否将其纳入监控范围。有些地区, 花了不少钱, 仅实现了故障检测结果的远传, 不能对开关进行遥控, 对供电可靠性改进的作用有限。另一方面, 要避免功能规划“大而全”, 要重点保证“三遥”与故障隔离这两个基本功能的实现, 其他像负荷预测、潮流分析、无功全局优化等高级应用功能目前都没有必要上。数据刷新频率也不要照搬调度自动化, 每隔几秒就上传1次数据。正常情况下, 10分钟甚至1小时上传1次数据即可, 出现遥测越限、故障等异常情况时能够及时上报即可。

● 编辑: 建设配网自动化系统, 要解决哪些关键技术问题?

● 徐: 第一个是通信问题。现在看, 比较稳定可靠的还是光纤通信。随着技术的发展, 光纤设备的价格下降很多, 主要困难是敷设问题。对于光纤达不到的站点, 可采用电缆屏蔽层载波、公网GPRS等辅助通信方式。这两种通信方式掉线率比较高, 可能达到5%以上, 需要引起注意。第二个是终端电源问题。采取蓄电池储电, 寿命在3~5年之间, 且经常出问题。一个城市有成千上万个站点, 现场维护工作量是个大问题。近年来, 超级电容技术发展迅速, 像常规蓄电池这么大的体积, 容量可以做到十几个法拉, 能够维持终端工作半个小时, 采取一些特殊的技术措施, 能够满足DA应用要求。第三个是互感器问题, 使用常规电压、电流互感器, 体积大, 安装很不方便, 需要开发适用于DA的传感器。第四是要解决小电流接地故障检测问题。在中性点非有效接地系统中, 小电流接地故障占绝大多数, 已有的DA系统均不具备检测小电

流接地故障的功能, 因而其应用效果大打折扣。目前, 已开发出基于故障暂态或注入信号的小电流接地故障定位技术, 成功率在90%以上, 很有前途。最后是解决“自动化孤岛”问题, 应用基于IEC61968标准的企业信息集成总线技术, 打通SCADA系统、配电GIS或生产管理系统、营销管理系统或CIS、负控系统、AMR系统、TCM系统之间的联络, 充分发挥配电网管理信息化的作用。

● 编辑: 如何避免配网自动化系统成为摆设, 怎样才能使它真正发挥作用?

● 徐: 合理规划系统功能、选用成熟的产品, 是保证DA实用化的基础。但DA能不能发挥作用, 最大的风险不在技术问题上, 而是建起来了之后有没有人管。系统没人管, 维护工作跟不上, 就不可能发挥作用。比如一些已建设的DA系统, 投运时没问题, 后来线路结构发生了变化, 而系统的拓扑连接关系却没有随之更新, 最后导致显示的数据“驴唇不对马嘴”。要解决此问题, 供电企业要树立强烈的社会责任意识, 把提高供电可靠性作为根本目标, 下决心搞好DA系统管理维护工作, 使其能够真正用起来。要做到制度落实、人员落实、经费落实。

● 编辑: 在建设配网自动化系统过程中, 如何贯彻智能电网的概念?

● 徐: 目前, 在我国分布式电源、电动车应用还十分有限, 供电企业应用DA的重点还是要放在解决以前出现的问题, 提高供电可靠性上。另一方面, 也要树立长远观点, 做好与建设智能配电网的衔接工作。应建设覆盖配网主要节点的IP通信网, 为对配电网进行全面的监控、实现各种智能配电网应用功能打好基础。应用企业信息集成总线技术, 实现各种自动化系统有效集成。要把保证系统的开放性、即插即用放在突出的位置上。在系统接口设计与通信协议的选择上, 一定要贯彻IEC61968/61790与IEC61850标准, 绝不能选用“非标”产品, 更不能贪图方便或以“有特色”为由, 另起炉灶自行定义标准。在拥有特别重要的用户、对供电可靠性要求特别高的区域, 可应用基于分布式智能的快速故障自愈技术, 将故障隔离与恢复供电时间缩短至几秒钟以内, 甚至实现“无缝”自愈, 做到任何用户的供电都不中断。此外, 在具备条件的情况下, 可进行一些分布式电源并网监控、电动车充电站监控等试点工作。■