

国外配网自动化建设模式对我国配网建设的启示

王海燕, 曾江, 刘刚

(华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

摘要: 在分析国外配网结构、配网自动化发展过程与建设情况的基础上, 总结各国配网自动化发展模式的特点, 其中包括几个典型的发达国家和次发达国家: 美、日、英、德、法、韩国、泰国和印度。国外配网建设对我国配网的改造工作具有很重要的现实意义, 分析不同国家建设配网自动化的经验和教训, 结合我国配网的特点, 提出针对我国配网自动化建设的一些看法和意见, 文章认为我国应因地制宜地进行配网建设, 重点应是建设以遥测、遥信为主的配电自动化综合信息系统, 通过减少停电时间、优化电网规划以提高供电可靠性和配电网的运行管理水平, 充分发挥其对配网建设的促进作用。

关键词: 配网自动化; 配电地理信息系统; 遥测; 遥信; 遥控

Enlightenment of DAS construction mode in foreign countries to China

WANG Hai-yan, ZENG Jiang, LIU Gang

(College of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In the paper, DAS construction modes in some countries are discussed. They are some developed countries and some developing countries, such as USA, Japan, England, France, Germany, Korea, Thailand and India. As concerned to DAS in China, the opinion of DAS construction adjust measures to local conditions is brought out. In China, the plan of DAS construction should be carried out step by step. In the beginning, the objective should be stressed to realize remote detecting and communication. In addition, SCADA and GIS system ought to be set up to realize distribution integrated automation. In a word, our emphasis should be put on to shorten the power-off time and improve the power system management. In this way, DAS will promote the construction of distribution network effectively.

Key words: DAS (distribution automation system); GIS; remote detecting; remote communications; remote control

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)11-0125-05

0 引言

配电自动化是电力系统现代化发展的必然趋势, 是应用现代电子技术、通信技术、计算机及网络技术, 将配电网实时信息、离线信息、用户信息、电网结构参数、地理信息进行安全集成, 构成完整的自动化及管理系统, 实现配电网正常运行及事故情况下的监测、保护、控制和配电管理系统。意义在于监测配网故障或异常运行情况, 迅速查出故障区段及异常情况, 快速隔离故障区段, 及时恢复非故障区域用户的供电, 缩短对用户的停电时间, 减少停电面积; 当配网正常运行时, 通过监视配网的运行工况, 优化配网运行方式, 根据配网电压合理控制无功负荷和电压水平, 改善供电质量, 达到经济运行的目的, 合理控制用电负荷, 从而提高设备利用率^[1]。

国外配网自动化发展的比较早, 技术比较成

熟, 对其他国家配网自动化的建设具有借鉴和参考意义, 为更好地进行配网建设, 有必要对国外配网自动化的建设模式进行研究, 对各国配网建设的理念进行总结和分析, 找出其规律和特点, 为我国配网建设提供更好的参考依据。

1 国外配网自动化的发展历程与建设内容

在 20 世纪 50 年代以前, 英、美、日等发达国家开始利用人工方式进行操作和控制配电变电所及线路开关设备。50 年代初期, 时限顺序送电装置得到应用, 用于自动隔离故障区间, 加快查找馈线故障地点; 70~80 年代, 电子及自动控制技术得到发展, 各种配网自动化设备相继被开发和应用, 如智能化自动重合器, 自动分段器及故障指示器等, 实现了局部馈线自动化, 但这一阶段的自动化因为没有远程实时监控功能, 且仅限于局部馈线故障的自动处理, 此阶段主要是结合配网的改造, 进行配电

系统自动化的试点工作阶段,且受经济条件的限制,即使在发达国家,馈线自动化技术的应用也非常有限,中压配网也仅在特别需要或不得不进行配电自动化的网络中实现配电自动化控制。

80年代,实现了包括远程监控,故障自动隔离及恢复供电,电压调控,负荷管理等实时功能在内的配电自动化技术,进入了系统监控自动化阶段。但也由于计算机技术的限制,当时的配电自动化系统多限于单项自动化系统。

80年代后期至90年代初期,地理信息系统(GIS)技术有了很大的发展,开始应用于配电网的管理,形成了离线的自动绘图及设备管理(AM/FM)系统,停电管理系统等,并逐步解决了管理的离线信息与实时SCADA/DA系统的集成,进入了配电网监控与管理综合自动化发展阶段。此阶段,配电自动化受到广泛关注,在一些工业发达国家,出现了涉及配电自动化领域的系统设备厂家及其各具特色的配电网自动化产品^[2]。

配电自动化系统分为配电管理系统(DMS)、配电自动化系统(DAS)和配电需求侧管理(DSM)三个部分。本文认为配电自动化系统在建设内容上具体而言包括:配电网架规划、馈线自动化建设、配电自动化主站/子站系统建设、通信系统建设。

2 国外配网自动化的建设模式分析

由于各国国情不同,国外配网自动化在建设理念、发展进程和建设模式上存在差异。发达国家进行配网自动化建设的主要目的是提高供电可靠性,如美国、英国、日本、法国、德国等,次发达国家主要根据国家对于配网建设的现实需求进行配网自动化建设的规划,如韩国、泰国、印度。

2.1 发达国家配网自动化的建设模式

英美国配电网线路以放射状为主,电压等级为14.4 kV,系统采用中性点接地方式。配网自动化的重心在于提高供电可靠性,减少停电时间,改善对客户的服务质量,增加用户的满意度。

美国配电自动化发展较早,其主要的经验是:

配电自动化主要目的是提高供电可靠性,原因是美国社会发展水平较高,配电网管理水平较好,对供电可靠性要求较高且效应十分明显。

设备水平较高,基本能实现免维护。

电池问题同样困扰美国配电自动化工程。

分布式智能应用于控制系统,减少了对中央处理系统的依赖。

美国配网长配电线路一般采用多级重合器进行配合,各级重合器之间利用重合次数与动作电流定

值的差异实现配合,分支线路上采用分段器实现上下级之间的配合,变电站为无人值守,通过安装可靠的通讯和检测装置实现监测。馈线自动化是美国提高配网系统供电可靠性最有效的技术手段之一^[3]。南加利福尼亚爱迪生公司(SCE)的DA工程是美国几大配网自动化建设工程之一,始于1993年,是当时美国在建的最大DA工程之一,其通讯及控制终端遍及公司服务的5万平方英里区域^[4]。SCE工程当时选定了1200条线路进行了配网自动化升级改造,线路通过分段开关确定并隔离故障,利用自动分断点的中心遥控闭合联络开关恢复非故障区的供电,摆脱了传统DA设备的束缚,降低了工程的投资费用,工程改造采用2万组光纤与无线电相结合的,由Metricom公司提供的无线电装置作为通讯系统,控制整个供电区域的设备联络。

英国电力公司为了提高供电可靠性,对配网自动化一直持积极态度。英国东方电力公司是英格兰和威尔士地区最大的电力公司之一,运行和维护了大不列颠的最大电网。东方公司自1995年以来已经改造成为英国最可靠的电网之一,为了提升公司的市场竞争力,1997年东方电网根据当时的二次配电网,进行工程“ARC”(自动化和遥控)建设。公司选择在电网关键点的电线杆上安装自动重合闸装置,并与选择电网的开断点一起实现监控(新型的地面安装式环网柜),通过使用远动系统解决电网的供电可靠性。公司在调研的基础上,采用了施耐德提出的分步阶段实施的规划方案,较快的收回投资,产生效益,并有计划地选择多家设备厂家的产品进行配网自动化建设,如施耐德电气公司的远动设备和环网柜,FKI Whipp公司和Bourne公司提供柱上自动重合闸装置,ABB提供户内开关装置等,经过两年的时间的改造,完成了东方电网名为“ARC”的项目,实现了两大目标:改善供电的安全性,减少用户停电15%(55次/100个用户);减少CML 30%(66 min)。

欧洲配网自动化发展较早,德国在20世纪中叶就开始了对于配网自动化的研究。建设配网自动化过程中,德国的一些配电公司从实际需要出发,通常采用的建设方式:在网架结构成熟区域,经过站点优化和技术经济比较后,在网络关键站点实现自动化功能,以较少的投资来换取较大幅度减少的恢复供电时间;在电网结构相对稳定后,局部区域网络关键点实施应用自动化技术,这对德国配网而言是比较有利的^[5,6]。

总体而言,德国配网有以下特点:

德国配网普遍采用环式供电。

德国低压电网一般不采用远动和自动装置。

德国电网结构相对稳定,电力系统供电可靠性已经达到了很高的水平,客观上对配电自动化的需求较少,诸如提高运行管理水平,优化网络结构所带来的效益对于德国电网而言并不明显,因此其配网建设的主要目标不在于电网的扩张,而是在网络关键点实现配网自动化,以减少投资换取较大幅度减小的恢复供电时间。

法国配网供电等级较高,经过全国范围的升压改造后,目前法国的中压配网等级基本为20 kV,显著降低了线损,但同时导致供电线路较长,故障率较高,对配电自动化有较迫切的需要。法国配网主要停留在SCADA水平,在SCADA的基础上,基本能实现故障区域的隔离和非故障区域的恢复供电,提高了供电可靠性。但是法国通信线路仍采用电话通信,较为落后,限制了配电自动化功能的扩展^[6]。

日本配电自动化经历了从自动重合断路器和自动配电开关配合实现故障隔离和恢复供电,再到利用现代通讯及计算机技术,实现集中遥讯、遥控,并对配电网系统实现信息的自动化处理及监控的发展过程。日本供电可靠性处于世界领先地位,日本大量实施了配电自动化,并在6 kV和200 V的线路和设备上大力推进不停电作业技术,大大提高供电可靠性。日本配电自动化系统功能少而精,但随着通信技术的快速发展及计算机水平的提高,更多的功能已经逐渐在日本配电自动化系统上大量应用。日本中压配网普遍采用电力载波通信技术^[7]。

日本与欧美国家有所不同,其供电半径小,可靠性要求高,环网供电方式比较多,变电站多采用具有2、3次重合闸的重合断路器,并在变电站设有短路故障指示器,根据短路电流的大小,推算出故障距离的长度,实现故障隔离。

2.2 次发达国家建设模式

韩国配网网架结构为复杂的网络状链接结构,配电电压普遍升压为22.9 kV,配电线路较长,配电网中的开关设备主要采用户外SF₆环网柜,负荷开关型为主。架空线路主要采用SF₆负荷开关,并安装与之配套的FTU^[8]。

韩国配网自动化建设的特点:

在建设过程中非常注重投资回报,在投资时尽量不采用豪华配置,而采用低端配置。

注重发挥配电自动化系统作用,产生经济效益。韩国配电自动化系统的建设初衷也是提高供电可靠性,但建设后意外地发现配电自动化系统建设带来的最大收益并非是减少停电时间获得的经济收益,而是通过推迟配网投资和降低网损、扩大供电范围的方式得到的巨大收益,尽管通过提高供电可

靠性带来的形象改善也带来一定的附加效益,但韩国的配电自动化系统自此走上了可靠性和经济效益并重的建设模式。

整体上,韩国馈线自动化主要采用两种方法、三种模式。对于人口集中的大城市供电网络,主要采用大规模DAS和单服务器型大规模DAS相结合的配网模式,对于人口少的农村地区,采用小规模DAS。

韩国配电网比较注配电网自动化的通信建设。

近年来,韩国的通信技术飞速发展,开发和制造配电自动化系统正好利用这一有利趋势,利用以无线电和光缆为媒体的PCS系统,增强现有通讯网络的通量和传输能力。韩国的通讯方式逐渐向光纤、CDMA和TRS方式集中,但由于电话线通讯方式在农村地区采用太多,今后相当一段时间内难以全部更换。

泰国配网自动化工程实行统一外包,实现一步到位。泰国的电力供应主要由一家发电公司(EGAT)和两家供电公司(PEA和MEA)来承担,MEA负责首都曼谷和周边两省的供电,其他所有地方均由PEA负责。

泰国PEA公司配电自动化有如下几个特点:

规模大,投资较集中;工程全部外包,由一家公司统一负责,尽量减少各系统集成时的兼容性问题。

多数是乡村地区,因此用了不少的微波等无线通信手段,其优劣目前尚难下定论,效果尚待观察。

DMS中的CIS、GIS等集成度较高,并与馈线自动化几乎同步建设。

2000年7月,泰国PEA与加拿大蒙特利尔的SNC-Lavalin合作,共同建设的一个DMS系统,工程进展非常顺利,共建设了集计算机系统、SRTU、FRTU及MARS通信系统及六个调度中心大楼为一体的一揽子工程。使泰国配电自动化在很短的时间内,就达到了较高的水平^[9]。

印度电网具有以下特点:

印度电力短缺状况严重,全国至今只有不到50%的家庭能用电,而且由于输变电设备落后,导致电力损耗率极高。

重视电力建设,大力建设火力、水力电站,改造老电站延长使用寿命,加快更新输变电设施。目前除了电站成套设备外,对变压器、高压电缆、继电器、导线、电容器、断路器以及电能管理控制系统等需求较大。

印度作为电力系统相对落后的发展中国家,在进行配网建设时,虽然没有走西方发达国家开发馈

线自动化后逐步进行配网自动化建设的老路,而是把重点放在了提高配电管理系统水平上,因地制宜地选择开发自动抄表系统(AMR),但是效益却非常明显,解决了当前告急的由于窃电带来的严重问题,同时也解决了回收电费困难、偷电普遍等影响电力公司正常运营的大问题,仅2年半时间就收回投资,这种建设理念值得我国借鉴。

印度的电力系统重视远方抄表系统的开发和应用。主要是为了解决印度配电网面临的配电网网损极大的问题。印度配电网网损官方统计为20%,事实上可能超过30%,这些网损中大量的网损是由于偷电、拒缴电费等原因造成。印度各电力局为了降低网损,对于安装远程自动抄表系统具有极为迫切的需要^[9]。如印度孟买电力,建立了自动抄表系统(AMR),实现了自动抄表,账单发放,收集等功能,极大程度上解决了由于回收电费困难、偷电普遍等大问题。AMR具有较高的可靠性和易操作性,为了提高系统的技术水平和系统精度,在建立系统的同时,公司同时致力于对其他电力公司在这一方面的发展趋势进一步的研究,并对应采用技术及在实施过程中做技术上的调整等等^[10]。经过研究者详细的成本/效益分析,2005年,系统刚刚建成的时候,投入最大,收益最小,但是,随着系统的投入运行,经济效益随之回升,2008年前,已经可以收回投资。可见,这一系统的投资收益是非常高的。事实上,在新德里的Vidut建成的AMR系统,仅在2000年,就通过AMR系统增加了11%的收入。

总之,国外配网自动化的发展模式上看,各国的建设模式存在较大差异。美、英、日、法等发达国家对于配网自动化建设的态度是非常积极的,目标也非常明确,就是在相对经济的情况下提高供电可靠性,其中德国的态度相对谨慎。而次发达国家如韩国,其配电自动化系统的建设模式在照搬发达国家经验后,很快就根据国情进行了调整。泰国和印度配网自动化水平有自己的特色,泰国的配电自动化水平较为落后,但完全外包且一步到位式的建设模式也有其优点。印度优先发展远方抄表系统,杜绝了本国偷电、窃电严重的现象,带来了巨大收益。

国外推行配电自动化的主要目的是提高供电可靠性,但随着配电自动化技术的发展、实践经验的积累以及其他相关技术的快速变化,配电管理系统的效益逐渐显示出来。目前国外对配电自动化系统逐渐统一,认为实行配电自动化,主要可以得到以下几个收益:提高供电可靠性;提高供电企业电网运行和规划水平。

在英美日等国,对供电可靠性比较重视,而德

国电网由于本身供电可靠性已经较高,而德国电网非常稳定,通过优化规划等手段带来的投资效益很小,因此对配电自动化持谨慎态度。

在韩国,推行配电自动化系统建设,与其说是为了得到供电可靠性带来的综合效益,不如说是为了优化电网建设,减少电网建设的投资。对在配电自动化建设上的投资上,韩国电网相当节省,非必要的投资决不浪费。

因此,在配电自动化系统的建设上,必须特别注意根据自身条件和需求,针对性地进行配电自动化系统的建设,比如印度优先建设远方抄表系统的思路,就特别值得借鉴。

3 国外配网建设的经验和教训对我国配网建设的启示

我国配电网的建设和运行具有以下特点:

(1) 配电网建设不足,欠帐严重,导致全国性的配电网架相当薄弱。

(2) 配电网的供电可靠性较低,其中故障性停电所占比例较小,以计划停电(包括检修和限电等)为主。据电力可靠性中心简报数据表明,现阶段影响供电可靠性的主要因素不是配电网的故障停电,75%以上的问题出于按照固有传统周期例检方式导致的人为预安排停电。

(3) 配电网建设发展较快,变化较大。由于国家电力需求增长较快,因此各个地方电网的配电网建设任务非常重,有些地方电网的配电网结构常常变化,运行人员常常不能全面掌握配电网的当前情况。

(4) 配网系统分布广,分散性大,点多结构复杂。

(5) 中性点接地方式多样化。

(6) 我国目前还存在缺电、一次网架不合理、原始资料和数据不全等现象,基础管理工作不完善。

(7) 配电网运行的员工人员素质尚不够高,总体的运行管理水平尚处于较低水平。

综合这些特点,结合国外建设配电自动化系统的经验,本文认为,要赶上发达国家配电网运行管理水平,必须大力进行配网自动化的建设。从长远看,与国际先进水平相比,我们电网运行管理水平还有很大的差距,现在发达国家的用户停电年平均时间一般在50 min以下,有的仅几分钟,而我们的年平均停电时间却在9个小时左右。较低的供电可靠性和社会日益提高的供电服务水平要求形成了很突出的矛盾。在我国配电网建设长期滞后,总体运行管理水平处于较低水平的情况下,要在较短时间

内提高供电可靠性,提高配电网的运行管理水平,只能通过大力发展信息化、自动化系统的建设,实现配电网的跳跃式发展,而配电自动化系统正是最佳的选择。

当然,目前我国配电自动化系统的建设重心尚不是全面推行馈线自动化系统的建设,而是优先发展以实时监控为基础,提高配电网运行管理规划水平的综合管理信息系统。从提高供电可靠性的目的出发,由于馈线自动化主要的作用是减少故障停电时间,对于计划停电无能为力,我国计划停电时间所占比例常常高达80%,馈线自动化对提高供电可靠性的作用显著地低于日美等发达国家;从提高运行管理水平出发,目前我国配电网最大的问题是对10 kV配电网的状况一无所知,而改善这一点只需要建设信息收集系统;从优化电网规划出发,只需要提供配电网的详细信息(包括实时、非实时信息),就能改变目前配电网规划的落后状况。

另外,特别需要指出的是,必须高度重视配电自动化的系统建设中的免维护问题。由于目前配电网运行人员素质的提高不能一蹴而就,因此设备的维护工作量尽可能小,设备质量要高,电池寿命要长。比较落后的电网,可采用就地控制方式,这样既可以有效提高供电可靠性,又避免了复杂的维护工作量。

总之,为了提高供电可靠性、提高供电企业的运行管理水平,供电企业须积极创造条件,推广配电自动化技术,进一步提高电网运行管理水平。借鉴各国根据不同国情发展不同模式的配电自动化的经验,我国的配电自动化建设也需要根据自身的条件和需求进行建设。我国许多经济发达城市,电网建设及基础管理比较好,用户对供电可靠性及服务质量提出了更高的要求,完全有必要上马包括馈线自动化在内的配电自动化系统以进一步提高电网运行管理水平。对于经济不发达的地区,则可以根据地区对于电网的最切实的需求,因地制宜地进行配网自动化系统的建设,既可选择重点建设以遥测、遥信为主包括远方抄表等方式的二遥系统,也可以干脆建设架空自动化系统,节省投资。

3.1 经济发达城市的配网自动化建设

对于有条件进行配网自动化建设的经济发达的地区,可以借鉴发达国家配网自动化的建设理念,采用配网自动化系统以提高供电可靠性以及电网运行管理水平,实现一步到位,如北京城区采用集中主站控制模式的配电自动化系统结构,基于地理背景一体化设计的配电SCADA功能、配电网故障检测分析处理功能(DA)、基于实时系统的配电网综

合信息、管理和辅助分析功能、WEB浏览服务功能以及与其他自动化系统数据接口通信等功能,尽管如此,三遥水平的馈线自动化的建设仍然要慎重。

3.2 经济欠发达地区配网自动化建设

对经济欠发达、配电网较为落后的地区或小城市,小城市的配网自动化建设必须坚决杜绝求全求新,而应根据实际情况大力促进以二遥(遥控和遥信)为主的配电网自动化系统建设,并适当地参考泰国模式,实现一步到位。在功能设计上要统筹兼顾,避免盲目地以提高供电可靠性作为改造建设配电网的目的,在设备选择上盲目求好求,缺乏通盘考虑,忽视自身基础,结果新设备上马、老设备犯卡,无法取得整体优化的效果。

4 总结

国外的配电网自动化建设存在不同的模式:美日欧等发达国家的配电自动化建设的目的以提高供电可靠性为主,三遥水平的馈线自动化较为发达;韩国的配电自动化建设兼顾供电可靠性和经济效益,不追求一味的三遥,对主站系统和通信系统的建设均较为节省;印度等不发达国家的配电自动化系统建设则常常仅根据急需的某项功能选择性地突击建设,或者一次性地完成主要部分的建设。总之,配电网的自身条件、需求和定位、资金实力和技术实力对配电自动化系统的建设模式都会产生很大的影响,所以很难给出一种通用的配电自动化建设模式,各个供电公司应该根据自己的运行规模以及生产运行管理的实际情况确定配网自动化系统的构架找到一套适合自身发展的模式。需要指出的是,在电网发展期,适合采用运行费用相对较高但运行灵活、适应性较强的方案建设配电自动化系统,而不是盲目地照搬发达国家的经验。在电网逐渐稳定以后,可考虑采用一些首次投资较大的方案,降低运行费用。

我国的配电自动化建设,三遥水平的馈线自动化不应得到追捧,相反,重点应是建设以遥测、遥信为主,以配电SCADA和配电GIS的配电自动化综合信息系统,努力通过减少计划停电时间、优化电网规划、挖掘现有电网潜力提高供电可靠性和配电网的运行管理水平,真正发挥配电自动化系统对配电网建设的促进作用。

参考文献

- [1] 徐腊元. 国内配网自动化综述[J]. 农村电气化, 2004, (3): 5-6.

(下转第134页 continued on page 134)

Engineering, 2003, (6):7-8,11.

[5] Cruz J L, Diez A, Andres M V, et al. Fiber Bragg Gratings Tuned and Chirped Using Magnetic Fields[J]. Electron Lett, 1997;33(3):235-236.

[6] Fabiny L, Vohra S T, Bucholtz F. High-resolution Fiber-optic Low-frequency Voltage Sensor Based on the Electrostrictive Effect[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1993,5(8):952-953.

[7] IEE Sang-shin, AHN Seh-won, OH Min-cheol, et al. Integrated Optical High-voltage Sensor Based on a Polymeric Y-branch Digital Optical Switch[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1996,8(7):921-923.

[8] 罗苏南, 叶妙元, 徐雁. 光纤电压互感器稳定性的分析[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20 (12): 15-19.

LUO Su-nan, YE Miao-yuan, XU Yan. Stability Research on Optical Fiber Voltage Transformer[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20 (12): 15-19.

[9] Cruden A, Richardson Z J, McDonald J R, et al. Compact 132 kV Combined Optical Voltage and Current Measurement System[J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 1998,47(1):219-223.

[10] 程云国, 刘会金, 李云霞, 等. 光学电压互感器的基本原理与研究现状[J]. 电力自动化设备, 2004, 24 (5): 87-90.

CHENG Yun-guo, LIU Hui-jin, LI Yun-xia, et al. Basic

Principle and Current Development of Optical Voltage Transformer[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24 (5): 87-90.

[11] 聂国星. 浅谈电子式复费率电表设计[J]. 江西煤炭科技, 2004, (2): 50-51.

NIE Guo-xing. Notes on Design of Time-sharing Electricity Meter[J]. Jiangxi Coal Science & Technology, 2004, (2): 50-51.

[12] 杨莉. 浅析预付费电能表的应用[J]. 云南电力技术, 2006, 34 (6): 69-70.

YANG Li. Shallow the Applying of Prepaid Electric Energy Meter[J]. Yunnan Electric Power, 2006, 34 (6): 69-70.

收稿日期: 2008-06-29

作者简介:

李静(1981-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行、控制与分析; E-mail: jing20052006@yahoo.com.cn

杨以涵(1927-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统运行分析与控制、人工智能在电力系统中应用等;

于文斌(1976-), 男, 博士后, 研究方向为光电测量技术及其在电力系统中的应用。

(上接第 129 页 continued from page 129)

XU La-yuan. Summarization of Domestic Distribution Automation[J]. Rural Electrification, 2004, (3): 5-6.

[2] 李金安, 崔爱国. 城市配网综合自动化应用技术初探[J]. 现代电力, 2001,18(1):41-42.

LI Jin-an, CUI Ai-guo. To Probe into City Integrated Automation Technology of Distribution Network and Its Application[J]. Journal of Shandong College of Electric Power, 2001,18(1):41-42.

[3] Markushevich N. Voltage and VAR Control in Automated Distribution Systems[J]. International Symposium on DA/DSM, 1993,(3): 478-485.

[4] 蔡运清. 北美的配电自动化[J]. 中国电力, 1998,31(8): 58-59.

CAI Yun-qing. Distribution Automation in North America[J]. Electric Power, 1998,31(8):58-59.

[5] 孙晓韡, 姜秋海. 对德国配电网的考察[J]. 供用电, 2006,23(3): 74-76.

SUN Xiao-hua, JIANG Qiu-hai. To Inspect Distribution Network in Germany[J]. Distribution & Utilization, 2006,23(3): 74-76.

[6] 范明天, 苗竹梅, 王敏. 赴意大利、法国考察供电技术管理的报告[J]. 电力设备, 2004,5(6): 72-75.

FAN Ming-tian, MIAO Zhu-mei, WANG Min. Report on Inspection of Distribution Technology Management in Italy and France[J]. Electrical Equipment, 2004,5(6): 72-75.

[7] 刘恩德. 日本关西电力公司的高级配电自动化系统[J].

国际电力, 2003,7(1):33-35.

LIU En-de. An Advanced Distribution Automation System in Kansai Electric Power Company[J]. International Electric Power, 2003,7(1):33-35.

[8] 袁明军. 韩国的配网自动化系统[J]. 山东电力技术, 2003,(3): 80-82.

YUAN Ming-jun. Distribution Automation System in Korea[J]. Shandong Electric Power Technology, 2003,(3): 80-82.

[9] Hoffman R, Aouad P. Communications for a Large Distribution Automation Project in Thailand[A]. In: Power Engineering Society General Meeting IEEE[C]. 2004. 1446-1451.

[10] Krishna Rao M V, Reuven Peri Kay, Clinard N, et al. Development and Evaluation of a Distribution Automation System for an Indian Utility[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995,10(1): 452-456.

收稿日期: 2008-07-14; 修回日期: 2008-08-12

作者简介:

王海燕(1983-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统防雷技术研究; E-mail: wanghaiyan09@126.com

曾江(1972-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为电能质量、配网自动化;

刘刚(1969-), 男, 博士、副教授, 主要研究方向为电气设备在线监测与故障诊断、过电压及其防护、输变电外绝缘特性。