

汇智聚力 加强全国科技创新中心建设

——“2016年北京市科学技术奖”获奖项目巡礼(七)

编者按 十九大报告明确提出“绿水青山就是金山银山”的发展理念,并把节约资源和环境保护作为国家的基本国策。报告还指出,要推进绿色发展,壮大节能环保产业、清洁生产产业和清洁能源产业。作为特大城市,北京市长期以来面临着环保压力大、资源紧缺的巨大挑战。近年来,北京市科委坚持创新驱动发展战略,在加快全国科技创新中心建设中,坚持绿色发展,新型环保产业发展格局进一步形成壮大,助力北京经济“绿色增长”。如今,北京正在成为全国节能环保产业的技术创新“策源地”和应用“示范区”,这在2016年北京市科学技术奖获奖项目中得到充分体现,本期我们将为您推荐其中的两个优秀科技成果。

行波保护:电网的“安全卫士”

本报记者 申明

“煤从天上走,电从远方来!”

随着我国“西电东送、南北互供”能源战略的实施,随着智能电网和能源互联网建设的稳步推进以及“八交八直”特高压输电工程的投运,我国已经形成了全世界规模最大、电压等级最高的交直流互联大电网,为我国经济社会发展提供了坚强的电能保障。但是由于特高压电网输送容量大、距离长,对于继电保护提出了更高的要求。

继电保护是电力系统的第一道安全防线,通过快速检测并控制断路器切除故障设备,以达到保护故障电气设备不损坏、非故障部分电网继续安全稳定运行的目的。其中,行波保护不受电力系统振荡、过渡电阻、分布电容电流和电流互感器饱和等因素的影响,是理想的超高压线路继电保护方式。

由清华大学电机系董新洲教授带领的项目团队经过10余年的基础研究和攻关,揭示了行波与电力故障之间的依存机理,提出基于初始行波信息的电力线路继电保护思想和方法,攻克了行波保护关键技术,取得多项原创性发明并产业化。项目成果已广泛应用于10—1000kV不同电压等级的电力线路,显著提升了电力系统安全水平,产生了显著的经济效益和社会效益。在2016年北京市科学技术奖评选中,荣获一等奖。

行波保护是护卫“能源高速公路”的理想选择

美国电气和电子工程师协会(IEEE)继电保护委员会的调研表明:70%的大停电事故是由继电保护诱发或加剧的,从反面彰显了继电保护技术的极端重要性。优秀的继电保护技术既可以保护发生了故障的输电线路、发电机、变压器等电气设备不损坏,也可以显著改善整个电网的安全稳定水平。

随着电力事业的蓬勃发展,我国越来越多地采用超特高压输电技术作为远距离输电的方式。超特高压线路电压等级高、输电距离长、输送容量大、对电网稳定影响大、故障波及范围广。因此,如何保证超特高压输电线路安全运行成为整个保障电网安全可靠运行亟待解决的科学技术问题。

“电是以光速在电网中奔跑,北京用的电可能是来自内蒙古发电厂的电,也可能是来自甘肃风电基地的电,根本不知道源头在哪。”董新洲说,由于电网构成地域辽阔,输电线路运行环境恶劣,故障是不可避免的,线路一旦发生故障就必须立即切除。

“如果不及切除,巨大的短路电流会烧毁输电线路本身以及与之相连的发电机和变压器,造成大面积恶性停电事故,严重影响经济发展和人民生活,甚至引发严重的社会问题。2003年美加大停电、2012年印度大停电,今年的台湾大停电都是例子。”董新洲说。

我国一次能源和电力负荷呈现逆向分布,西部、中部地区“憋”着各种能源资源蓄势待发,东南部沿海地

区是急盼用清洁能源换取可持续发展的电力负荷中心,它们之间相距数千公里,超特高压输电成为必然的选择;随着互联网规模的扩大,电力系统愈来愈接近其稳定极限运行,迫使继电保护必须用更短的时间切除可能发生的各种故障。

从电磁场理论出发,电能是以波的形式进行传播,在输电线路发生故障或正常运行时,都会产生运动的行波。行波保护就是指利用输电线路发生故障时所出现的故障行波来判别故障并快速切除故障设备的重要保护措施。

“行波保护具有超高速动作性能,不受电力系统振荡、分布电容电流、过渡电阻和CT饱和的影响,是解决超特高压线路继电保护难题的理想选择,也是最为先进的电力线路继电保护技术。”董新洲说,行波保护原理新颖,技术上具有可实现性,性能优越,可有效保护超特高压长距离输电线路。

其实,家里的保险丝就是最早的、最基本的继电保护技术,通过感受电流增大发热而熔断、通过“断电”保护家用电器设备不损坏、不着火。

“继电保护是‘负的正能量’,它不能阻止故障的发生,但是通过快速发现故障并及时切除故障设备可以有效防止故障范围的扩大和蔓延,有效防止火灾事故的发生。”董新洲说,故障行波是电力线路特有的故障特征,利用故障行波构造保护可以灵敏检测各种输电线路故障,可以毫秒级地超高速动作切除故障线路,因此它是理想的超特高压线路保护技术。

行波保护研究取得重大突破

据了解,1976年瑞典ASEA公司研制出世界上第一套行波保护装置,并在500千伏的输电线路中进行了试运行,但是由于未能很好解决可靠性问题,早期行波保护研究以失败而告终。之后各国都加大了对行波保护研究的力度,不过由于行波保护构成复杂、技术门槛高,一直未能取得实质性突破。

“国外研究起步虽然早,但并没有真正解决可靠性等方面的挑战。”董新洲说,行波保护面临最大的挑战是受制于超高压电网的现场条件,“行波是宽频暂态信号,现场所使用的电容分压式电压互感器不能传变高频电压,真正的宽频行波无法获得。”

董新洲告诉记者,诞生于上世纪70年代的行波保护很长时间未获成功,主要问题在于:故障行波易逝且不可重复,信息源的标定、暂态信号的量化表示与实时算法问题尚未解决;行波与故障之间的联系规律和变化机理尚不明确;与之相关的关键实现技术像高速采集、快速处理等核心技术亟须突破。

“可靠性是行波保护的命脉。行波保护的特点是灵敏、快速,与之相对的就是易受雷电、噪声的干扰,抗干扰能力是行波保护能否成功的关键。”董新洲说,行波很灵敏,可靠和灵敏是天敌,如何平衡二者之间的关

系是关键。

针对上述问题,项目团队针对不同电压等级和线路结构的行波保护方法与保护装置研制开展工作,取得了重大突破。

项目团队系统地创建了基于小波变换的故障行波基础理论、核心算法与关键技术;发明了超特高压线路行波方向比较式纵联保护;发明了配电网单相接地行波选线保护。

针对超特高压线路无法获取电压行波难题,突破电磁暂态电路和电磁场割裂分析的瓶颈,创造性利用低频电压对宽频电流行波进行极化以获取故障方向,首创行波保护抗强电磁干扰技术,发明了行波方向比较式纵联保护,方向元件出口时间5ms,保护组动作时间15ms,比传统保护快10倍。

首套基于极化电流行波方向继电器的行波纵联方向保护于2011年12月,成功投运西北750kV输电线路“乾(县)一信(义)线”,并取得了良好的运行效果。之后,项目团队进一步开发出了基于低频行波的差动保护技术,并于2013年成功投运江苏省电力公司500kV超高压线路聚一政线,2016年投运蒙西—天津南百万伏特高压输电线路。

不仅如此,行波保护在配电网单相接地故障检测方面同样具有独特效果。我国10—35kV配电网普遍采用中性点非有效接地方式运行,这种方式的特点是:发生了单相接地故障后,线电压保持对称,可以不间断



▶运行在乾县750千伏变电站的行波保护装置

▼极化电流行波方向继电器

系是关键。

针对上述问题,项目团队针对不同电压等级和线路结构的行波保护方法与保护装置研制开展工作,取得了重大突破。

项目团队系统地创建了基于小波变换的故障行波基础理论、核心算法与关键技术;发明了超特高压线路行波方向比较式纵联保护;发明了配电网单相接地行波选线保护。

针对超特高压线路无法获取电压行波难题,突破电磁暂态电路和电磁场割裂分析的瓶颈,创造性利用低频电压对宽频电流行波进行极化以获取故障方向,首创行波保护抗强电磁干扰技术,发明了行波方向比较式纵联保护,方向元件出口时间5ms,保护组动作时间15ms,比传统保护快10倍。

首套基于极化电流行波方向继电器的行波纵联方向保护于2011年12月,成功投运西北750kV输电线路“乾(县)一信(义)线”,并取得了良好的运行效果。之后,项目团队进一步开发出了基于低频行波的差动保护技术,并于2013年成功投运江苏省电力公司500kV超高压线路聚一政线,2016年投运蒙西—天津南百万伏特高压输电线路。

不仅如此,行波保护在配电网单相接地故障检测方面同样具有独特效果。我国10—35kV配电网普遍采用中性点非有效接地方式运行,这种方式的特点是:发生了单相接地故障后,线电压保持对称,可以不间断

对用户供电;但是接地点会产生高温电弧、非接地相会产生过电压,给电网安全留下巨大隐患,因此需要可靠的接地故障检测技术。但是,由于中性点非有效接地,接地电流非常微弱,难以检测,成为困扰电网安全的世界性难题。

项目团队发现并证实行波与中性点接地方式几乎无关,只要故障发生,必然有行波产生,检测并比较不同线路上的初始行波,就可以可靠、灵敏检测出配电网单相接地故障。行波选线技术是行波保护技术在配电网上的推广和应用,是行波保护对电网安全的另一个重大贡献!

“行波保护虽然国外研究的早,但现在已经被中国超越。现在国外要跟我们走,我们是头羊。”董新洲骄傲地说。

“但是国外吃的很紧,走第一步容易,第二步能否走坚实了,很关键。”虽然取得了成功,但董新洲抱有很强的忧患意识,他告诉记者,现在国外的一些厂商已经开始跟进上来。如果我们不能坚持研究、及时推广应用,扩大领先优势,我们很难取得原创性成果和优势,完全可能被别人超越。尽管国内外同行把行波保护的桂冠给予了董新洲团队,但他的脊梁骨依然“疼得慌”。

广泛应用于我国电网

目前,针对不同电压等级不同线路结构的行波保护技术已由国电南京自动化股份有限公司和北京衡

天北斗科技有限公司产业化,数千套不同型号的行波保护装置应用于我国电力、石化、钢铁、油田以及军工领域,在保护电力系统安全方面发挥了重要作用。针对中性点有效接地系统的配电网高阻接地故障检测技术还被阿尔斯通公司产业化,在世界多国电网使用。

据了解,目前,我国的两大电网公司(国家电网公司和南方电网公司)和五大发电集团都采用了该项目的技术,用于所辖的电力线路保护。

董新洲告诉记者,采用该项技术能大幅降低电力线路故障所造成的设备损坏,减少电网失稳风险,降低电网停电损失,缩短停电时间,减少停电范围。快速切除故障,有效防止一次电网失稳而造成的大停电事故,即可挽回经济损失数百亿元。

项目成果推动了电力科学技术的进步,将电力系统继电保护的构成基础由工频暂态故障信息扩展到暂态行波信息,解决了电力系统中超特高压长距离输电线路保护和配电网单相接地保护难题,丰富了电力系统继电保护和故障检测技术的内容。

此外,行波保护技术的突破还掀起了行波研究与应用的新高潮,引领了继电保护的发展方向,推动了相关产业的技术升级和更新换代,显著提升了我国继电保护的国际化地位和竞争力,提升了智能电网消纳大规模可再生能源的能力,保障了电力乃至国家安全。

“海绵乡村”破解生态难题

本报记者 申明

模式已成为村镇快速发展亟待解决的关键问题。

由北京建筑大学等单位组成的研究团队对国内外现有技术进行了突破和创新,建立了在线无动力分离—渗蓄滞留减排—生态净化回用的村镇雨水处理新模式,构建了村镇雨水分区分级处理与资源化利用的集成技术体系,形成了多点、多途径、多功能的雨水资源化利用技术体系,有效地支撑了海绵乡村的建立。在2016年北京市科学技术奖评选中,荣获二等奖。

可持续的水循环已成村镇发展的关键

新型村镇是国家新型城镇化战略的重要体现,村镇地区建设速度、开发强度空前,但与此同时伴随着资源、能源的快速消耗和生态环境恶化等问题,内涝与水污染问题并存,已成为新农村建设和城乡统筹发展的瓶颈问题。

我国村镇雨水技术研究起步较晚,在建设、运行费用高,维护管理复杂,截污和资源化水平低等问题,且小型或微型的水污染治理技术研究相对滞后。现有技术多针对村镇的污水处理的达标技术,缺少基于地下水补给、养殖、农灌、景观等多功能回用的村镇雨水深度处理与资源化回用的技术。

“生态处理系统是解决村镇雨水资源化利用的有效途径。”项目负责人、北京建筑大学教授袁冬海说。但村镇雨水具有颗粒物含量高、粒径范围广、峰

值流量大等特征,给生态技术应用带来了巨大的挑战,往往一场大雨过后的生态处理设施就会发生致命性的堵塞,系统功能完全失效。

“如何解决村镇雨污水中颗粒物及瞬时水力负荷冲击的问题,是生态处理技术能否成功用于村镇雨水深度处理与资源化利用的关键。”袁冬海说。

因此,开展村镇雨水生态处理与资源化利用关键技术及实用装备研究,攻克系列技术难题,对保障国家新型城镇化战略稳步推进,实现海绵乡村建设具有重要的意义。

有效解决了村镇雨水污染问题

据了解,该项目由北京建筑大学、中国环境科学研究院以及相关环境公司联合组成“产学研”联盟,进行系统研究与工程实践。研究团队开展了关键技术攻关,在开发高效的径流控制与雨水资源化利用装置方面取得了重大突破,有效解决了城市化进程中村镇径流污染、水资源流失和生态环境破坏等突出问题。

“针对村镇的开发强度以雨水源头控制与资源化利用实现雨污的分流,建立了基于生态净化与回用的不完全分流制新型村镇排水体系,解决村镇雨污水分流的技术难题。”袁冬海说。

项目团队针对传统雨污分流建成成本高,后期管理难度大,以恢复开发前自然条件下的雨量产流状态为目标,对我国近200个地区30年的日降雨量进行了

统计,基于对24小时降雨量的气象统计学与可实施性分析,绘制了设计雨量等值线图,提出了各区域年径流总量控制率及其对应的设计降雨量值关系,开发了以年径流总量控制率为目标的雨污水处理和利用设施的设计新方法。

基于低影响开发,建立了“在线无动力分离—渗蓄滞留减排—生态净化回用”的村镇雨水三级处理技术体系,通过增加对径流雨水的渗透和滞留,从而减小到达合流制管道时的径流峰值流量,延缓径流到达合流制管道的时间,并减少进入合流制系统的径流总量,最终实现减少合流制溢流的发生频率和溢流量,将合流制溢流污染降低到最小,通过源头控制与资源化,实现了雨污水的水量、污染物排放总量的双减量。

依据村镇不同类型下垫面雨水颗粒物粒径的分布特征与沉降性能,研发了针对初期雨水大粒径颗粒物比例高的初期雨水弃流设施、村镇道路雨水径流的多级集成化流体动力旋流分离装置、庭院雨污水一体化净化设施及屋面雨水高速在线过滤装置4套雨污水径流在线无动力分离技术及装备,系统解决了初期雨污水中颗粒物含量高,通过处理的技术问题。

针对村镇雨污水峰值流量高、瞬时水力负荷冲击大、末端生态净化难度高的问题,研发了3项强化渗透减排技术,研制了新型人工分子筛和生态混凝土材料、基于吸附材料制备生态混凝土及用于水质净化的方法,并构建了植生透水生态混凝土边坡稳定净化技术

系统、地表漫流生物处理系统和处理方法、新型植被浅沟雨水径流处理技术和生物滞留处理技术。

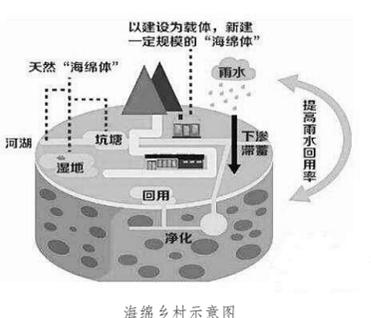
50万农户享受到全新生态体验

据袁冬海介绍,项目成果已在北京、深圳、宁夏、江苏、上海、湖北、河北、山西等11个省市得到规模化推广与应用,发挥了示范引领、辐射带动作用,解决了约50万户农村居民雨水、生活污水生态处理与安全回用问题。

在西北旱寒地区,建立了村镇低耗损处理、多级微型、分质回用、增温越冬等多介质生态处理与回用系统,年治理污水3000万立方米。

针对长三角地区人口密度大、土地资源紧张的特点,在上海、江苏等地区系统集成强化了增强渗透技术、生物滞留技术、微构式多介质开挖下渗滤系统等雨水生态处理与资源回用技术,建立了“节能、节地”村镇雨水生态处理与资源回用技术模式,推广了8000套处理设施与装备。

针对华北城郊村镇水资源短缺、水污染并存,地下水超采、雨污水污染严重等问题,研发了微米级透水材料、多介质高效净化功能材料,并以该材料为基础研发出系列生态透水产品、装置,开发出系列基于多功能回用的复合人工湿地出水安全回用装置,在北京、河北、山西等省市新农村建设过程中铺装成功推广,年节水水量达400余万立方米。



海绵乡村示意图

下雨时像海绵一样吸收雨水,需要的时候能将雨水“吐”出来。海绵乡村,借助自然力量排水,“源头分散”“慢排缓释”,就近收集、存蓄、渗透、净化雨水,让乡村如同生态“海绵”般舒畅地“呼吸吐纳”。

如今,越来越多的乡村“颜值”更美,村民生活更方便、更舒心、更美好。

海绵城市并不是城市的专属,广大的乡村也同样需要。目前我国正处在城乡一体化、新农村建设和新农村建设的的关键时期,但在农村城镇化过程中,面临着水污染加剧、水资源短缺,水生态环境恶化等突出问题。因此,如何提高雨水资源化水平,构建可持续的水循环