

大规模风电接入的输电网规划研究述评

崔晓丹^{1,2}, 李威^{1,2}, 任先成^{1,2}, 薛峰², 方勇杰²

(1. 国网电力科学研究院, 江苏南京 210003; 2. 中国电力科学研究院, 江苏南京 210003)

摘要:首先论述了风电大规模接入对输电规划的影响, 然后从评估指标和评估体系、大型风电场出力建模、风电带来的不确定性、政策管理及市场因素等方面评述了大规模风电接入下输电网规划方向的研究成果, 最后讨论了输电网规划需要关注的问题, 并对未来的研究给出了一些建议。

关键词:大规模风电; 输电网规划; 评估; 不确定性; 述评

中图分类号: TM743

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2012)06-0001-05

随着人们对环境保护和可持续发展的日益重视, 风能世界各国正得到广泛的开发和利用, 多个国家正积极促进风电事业的发展。我国已规划建设了吉林、蒙东、蒙西、河北、甘肃、新疆、江苏、山东 8 个千万 kW 级风电基地^[1]。到 2015 年, 我国风电开发总规模将达到 100 GW。与欧洲风电多为“分散式、小容量开发、接入中低电压等级、就地消纳”等特点不同, “大规模集中开发、中高压接入、远距离输送”是我国风电主要开发模式^[2]。

随着风电接入容量的持续增长, 电网建设已成为风电装机容量进一步增长的瓶颈。某些运行方式下的输电阻塞使得风电出力受限而造成了能源浪费及经济损失^[3]。世界各国正计及通过加快电网的建设来保证风电的有效利用。西班牙风能资源主要集中在北部和南部的沿海区域, 但其电力负荷区域主要集中在中西部地区, 大量风电需要跨地区输送。2005 年至 2009 年, 新增了 400 kV 输电线路 1 180 km。为满足 2016 年 30 GW 风电装机容量需求, 西班牙计划继续加大高电压等级输电网的建设力度, 2009 年至 2013 年将投资 40 亿欧元用于电网建设^[3]。美国是世界上风电装机总量最大的国家。NREL 发布的关于美国东部互联电网风电并网最新研究报告指出, 要达到预想的风电发展目标, 必须加大高压输电线路的建设投资, 提高美国洲际间的电力输送能力。美国东部互联电力系统中, 陆上风电资源大多集中在中西部大平原地区, 而负荷中心则位于东部大西洋沿岸地区。要实现风电电量 20%~30% 穿透率的预想目标, 需要在风资源区和负荷区进行大容量、远距离的电力输送^[4]。我国适于大规模开发风力发电的地区往往人口稀少, 负荷量小, 电网结构相对薄弱。受地区电网调峰能力限制, 大规模风电也需跨区消纳^[5]。因此, 亟需加强电网规划和建设满足大规模风电接入的需求。而风资

源地理上分布区域广, 自身运行及并网特性复杂的特点, 使得大规模风电接入后输电网扩展规划问题错综复杂。

1 计及大规模风电接入的输电网规划

1.1 输电网规划的发展回顾

输电网规划的任务是, 以负荷预测和电源规划为基础, 确定何时、何地投建何种类型的线路及其回路数, 在规划周期内达到所需要的输电能力, 在满足各项技术指标的前提下使系统的费用最小^[6]。随着电力市场的发展和对供电安全可靠性的提高, 多目标输电规划由于其兼顾经济性和安全可靠性的体现, 体现出系统的风险水平, 可以满足全社会效益的最大化, 成为电网规划部门的实际需要^[7]。输电系统不仅要满足负荷和各类交易的需求, 而且必须符合供电质量和安全标准, 因此输电规划需要满足大量约束条件, 等式约束有潮流约束, 不等式约束包括发电机出力上下限约束、支路热容量限制、电压和频率约束、动态和静态安全约束、线路走廊限制等。为保证优化算法的可行性及出于实际工程考虑, 通常只把 N 或 $N-1$ 静态安全作为必须满足的条件, 即要求系统在正常运行状态或任意断开一条支路后, 不会发生系统解列或其他元件过负荷现象^[7]。市场环境下输电规划面临更多的市场不确定因素, 主要包括规划期内的电源建设、负荷变化和系统运行方式变化等不确定性^[8-10], 如何处理这些不确定性因素, 使规划方案具有较好的灵活性和鲁棒性, 相对于传统的输电规划来说提出了更高的要求。针对不确定性因素的处理, 已有一些新的方法^[11-15]。

1.2 输电网规划面临的问题及挑战

与火电、水电、核电等常规电源相比, 风电机组有很多不同特点。大规模风电的接入给输电网规划带来了许多新问题和新的挑战。主要体现在以下几个方面^[16-18]:

(1) 风电机组的输出功率主要取决于流经风电机的风速,因此风电机组的可控性很差,不能像常规机组一样灵活地控制输出功率。

(2) 风电的随机性、间隙性和反调峰特性使得风电并网有可能使电网的等效负荷峰谷差增大,给电网调频、调峰带来不利影响。风电大规模并网后,系统对备用容量的需求大幅增加。

(3) 大型风电场并网可能会影响电网的电能质量,还会影响到电力系统的暂态稳定和电压稳定。传统的电网规划中一般不考虑暂态稳定性和电压稳定性约束,而是在调度运行中考虑。风电大规模接入后,系统暂态稳定问题和电压稳定问题变得突出。

(4) 风电的大规模发展,将极大改变电源配置分布情况及比例,电网运行开机方式和运行方式安排随之变化,当前的电网网架可能不再适应。

(5) 风电是一种清洁的可再生能源,但是风电的单位发电成本较高,在没有政策优惠和扶持的情况下,缺少了与常规电源的竞争力,在电网规划中需要凸显风电的环保价值,考虑风电的利用效率和充分消纳。

(6) 风能具有间隙性、波动性、随机性的特点,但从风电的年出力特性看,季节性和日特性明显。同一地区风电场之间出力也具有较强的关联关系。

大规模风电的接入对输电网规划提出了新的要求。由于风电自身特点及风电接入电网带来的新问题,不能简单地把风电场作为负荷来处理,也不能直接采用常规电网的规划模型。因此,采用风电机组作为系统的新增容量时,需采取适应风电特点的电网规划模型。

1.3 输电网规划的研究现状

国内外十多年来开展的大规模风电接入的输电网规划方面的研究工作总体来说尚处于初步阶段。对已经取得的一些研究成果,论述如下。

1.3.1 电网规划的评估指标及评估体系的建立

电网规划的评估指标及评估体系的建立是电网规划工作中的一项重要内容。大规模风电的接入给电网带来了诸多不确定性,使得电网规划方案的全面、综合、合理评估变得更加复杂和困难。国内外已有很多针对传统的以及电力市场环境下面临更多不确定因素电网规划评估指标、评估方法方面的研究工作^[19-21],而针对大规模风电的接入下电网规划评估指标及评估方法的文献则较少。文献[22]用输电线路不过负荷概率来量化大规模风电接入对输电系统规划的风险,给出在满足一定的过负荷概率下投资成本最低的规划方案。规划模型中的目标函数用以反映不同规划方案的优劣,亦可看作评估指标。文

献[23]采用成本效益法建立了以总投资费用和安全性风险指标为目标函数的含风电机组的输电系统规划模型。安全性风险指标为系统潮流不越限概率和系统潮流裕度之和,系统潮流不越限概率即研究范围内系统所有可能运行状态下所有支路潮流均不越限的概率,系统潮流裕度即所有运行状态下所有支路潮流与给定的下限差值的最小值。其局限性是,系统潮流不越限概率和系统潮流裕度均仅考虑了支路潮流,并没有考虑其他安全稳定问题。文献[24]分别以电网建设开发成本最小、系统网损最小、电网静态电压稳定裕度最大为优化子目标建立了含风电场的输电网多目标优化规划模型。电网建设开发成本和系统网损是从经济角度考量,电网静态电压稳定裕度从电网安全性角度考量,其局限性仍是考虑的安全性不够全面。文献[25,26]提出了价值评估方法,即通过内嵌安全约束经济调度模型可以获取系统每一时段(通常为1h)的整体成本,从而确定规划方案的经济价值,特别适合于含可再生能源电力规划的评估分析。但是其不足之处是:没有考虑常规火电机组功率调节能力对风电接纳的制约;经济调度模型中仅计及了静态安全约束,没有考虑动态安全约束,没有考虑当系统运行状态不满足安全约束情况下的校正性控制^[27]。

上述研究中,评估指标均未考虑大规模风电接入对系统动态安全性的影响。文献[27]提出了更完善的价值评估方法,构建了含大规模风电的电力系统规划方案评估的总体框架,实现了规划方案的全社会成本评估。其中,为计及风电出力波动性的影响,针对给定的规划方案和全年时序的风电出力与负荷数据,通过内嵌机组组合优化模型、计及静态和动态安全约束的经济调度模型及校正性控制模型,实现系统运行过程的模拟,从而详细评估全年每小时的系统燃料、环境、网损成本以及系统可靠性成本。再结合电源的容量成本和电网成本,获得方案的全社会成本。且该价值评估方法考虑因素全面,在进行全社会成本评估过程中动态模拟了电力系统运行过程。其局限是涉及模块较多,且某些组成成本计算中需要对全年8760h逐时段模拟,计算量显得较大。文献[28]针对中国当前促进新能源发展和节能减排政策,引入风电利用指标,并统筹风电利用及输电规划成本二者之间的矛盾,建立了用于规划的综合指标(综合指标=风电利用指标/建设成本)及相应的输电规划模型。引入风电利用指标,利于实现更大的风电渗透率,促进风能的利用,增大环保效益。这是适应大规模风电接入背景对传统模式下规划方案经济性、可靠性等指标的合理补充。

1.3.2 用于输电网规划的大型风电场出力的建模

国内外针对风机出力建模的研究一般从风速模型和风机特性两部分展开,由于精确的风速很难预测,风机出力大多采用概率模型进行描述^[22,29]。针对大型风电场出力特性的研究可分为两部分:一是研究风电场静态或动态聚合建模;另一是研究基于量测的统计和基于统计的风速预测方法,从而将两者结合起来即可建立较为精确的风电场输入输出特性。对于输电网规划而言,一般的风电场聚合建模方法基本可以满足规划模型计及动态稳定性约束的要求,重点是要准确把握大型风电的出力特性,尤其不能遗漏极端情形。对于大型风电场而言,其出力呈现出明显的时间特性和空间特性。例如我国大部分地区的风电出力在春季、冬季较大,夏季、秋季则较小;在白天负荷高峰时段较小,后半夜负荷低谷时段较大。另外,同一地区风电场之间出力也具有较强的关联性。文献[30]提出了江苏4个风电场的关联系数,给出了风电场的日出力曲线和月出力曲线。文献[31]基于2010年宁夏电网EMS实测风电功率数据,提出了考核风电功率变化规律的年、月、日统计指标;从时间轴和空间距离两方面对统计指标分别进行了纵向、横向比较,探讨了宁夏风电出力的时空分布特性;最后对风电功率变化量的概率分布进行了分析。指出时间尺度越长、空间距离越近,风电功率变化特性越相似。因此,在输电网规划中应该充分考虑大型风电场出力的统计特性及不同风电场之间的关联性。然而在目前输电网规划模型中对于同一地区风电场之间其出力具有较强关联性的情况未见考虑。

1.3.3 不确定性因素的考虑

风电的大规模接入给系统的运行方式带来了更大的不确定性,包括风电自身的不确定性及给电网带来的其他不确定性。在输电网规划中,只有充分考虑风电停运及其出力不确定性的影响,并结合其他与风电相关及不相关不确定因素影响,在规划算法中较为准确地模拟电网的运行状态,才能提出合理的规划方案。文献[25]考虑负荷和风电场有功出力的概率分布,通过改进经典的输电系统规划模型计及了负荷和风电出力的不确定性。文献[32]应用多场景概率的方法,将风电场的输出功率和在电网规划中涉及到的负荷变化、经济等不确定性因素,以场景分析加概率方式描述。目标函数即多场景下以下项之和和期望值:建设费用项,稳态下和 $N-1$ 事故条件下单条线路过负荷及总的线路过负荷惩罚项。根据决策者对 $N-1$ 事故校验下线路过负荷率重视程度的不同,采用权系数的方式区分。该文能够快速准

确地得到基于决策者偏好的含大型风电场的输电网柔性规划方案,具有简单有效,工程实用性较强的特点,但是对发生场景的依据及其发生概率阐明不够,如在考虑场景时对于风电机组出力情况只考虑了额定出力和零出力两种状态。文献[33]针对大规模风电并网后的输电网有功与无功综合扩展规划进行了研究。其数学模型取网络设备投资的年值成本与全年所有不满足安全约束场景下的控制措施成本之和为目标函数。“全年所有不满足安全约束场景”是指计及风电在多时间尺度上(天/月/季)不同出力特性,根据风电与负荷全年每小时的时序数据建立的全年按小时为单位的各种场景下,计及安全约束发电调度后电网仍不安全的场景。该文利用了风电全年实际出力统计数据,对风电已经建成且能获取实际详细统计数据的情形有较大优势,并且对调度运行进行了模拟,计及了风电不同出力下的发电再调度。为了解决其模型计算场景多、计算量庞大的问题,提出了基于分层极端场景集的求解方法。文献[34]在输电规划目标函数中引入需求侧响应成本,建立了基于需求侧响应机制的输电规划模型。通过在输电规划中引入需求侧响应机制,能够促使用户根据实时供用电情况改变电量消费行为,有利于消纳风电容量,应对风电并网带来的不确定性。

风电的大规模接入给电网规划问题带来的不确定性因素较多,研究人员应在考虑诸多影响因素重要程度的基础上把握关键因素,准确考虑各种因素的关系并予以合理的权衡,才能建立合理有效并符合工程实际的规划模型。

1.3.4 政策、管理、市场因素的影响

风电的大规模开发离不开政策、管理、市场的作用和影响。风电大规模接入电网同样受到来自政策、管理、市场等方面的引导。因此,输电网规划过程中除了经济技术因素外,也要考虑政策、管理、市场等方面作用。文献[35]研究了基于可靠性分析的含有大型风电场的电网扩展规划。在制定输电网扩建方案时,根据承担连接风电场与系统的线路建设的责任人的不同,分为3种情况:(1)风电场投资方承担全部的输电线路费用;(2)电网公司承担部分的输电线路费用;(3)采用可靠性成本效益分析。分析表明采用可靠性成本效益分析得到的电网扩建方案较好地实现了可靠性投资和收益之间的平衡。文献[36]提出了一种计及技术和管理因素的输电网及配电网规划方案,其目的是解决巴西可再生能源并网的技术和管理上的问题。文献[28]针对中国当前促进新能源发展和节能减排政策,引入风电利用指标。并统筹风电利用及输电规划成本二者之间的矛盾,

建立了用于规划的综合指标及输电规划模型,是对国家新能源产业政策下风电集中接入电网输电规划思路和方法的一种探索。文献[37]讨论了陆上和海上风力发电,以及从加拿大东部和纽约输送风电到新英格兰的多种配置方案。对方案的评估计及了区域边际价格和生产成本和二氧化碳排放。该文从政府角度提出了区域可再生能源发展框架,概述了输电成本分摊特征。

在输电规划过程中,应在充分借鉴国外对于政策、管理、市场等因素考虑方法的基础上结合我国国情和风电开发特征,与其他技术因素结合,研究相适应的方法。

2 输电网规划研究的建议

(1) 风电场及风电场群出力模型的构建。目前风电概率模型大多以随机模型处理,忽略了其出力在特定自然条件和建设规模下的实际规律和统计特性,往往缺乏实用性。距离相近的风电场之间的出力特性又有较强的关联性。因此,需要研究风电场及风电场群基于统计方法的概率出力模型。

(2) 风电大规模接入后系统运行过程和运行状态的模拟。为满足风电等新能源消纳的需要,以及电力市场作用对于能源格局重新调整客观事实,其他常规电源将可能最大限度停运或降出力运行,这极大改变了原有的系统开机方式和运行方式,系统潮流分布将发生大幅变化,当前网络的强壮性可能不再满足要求。因此,输电网规划的模型要充分考虑风电接入而引起的系统开机和运行方式的变化,准确进行风电大规模接入后系统运行过程和运行状态的模拟。

(3) 风电大规模接入后输电网规划模型中对于动态稳定问题的考虑。风电大规模接入将显著影响当前系统备用容量格局。通过提高电网输电能力来扩大风电平衡区域范围,达到备用容量协调,关键是要准确识别制约风电送出的电网薄弱环节和制约因素。电网规划长期以来都以线路建设的经济性为优化目标,由于电网在抵御大扰动能力上的不足,历史上多次发生大停电事故。这使人们认识到输电规划在考虑投资费用的同时,还应考虑系统的安全稳定性。风电大规模接入下,导致系统动态稳定问题扰动发生的概率增加,在计及 $N-1$ 准则外,还需考虑系统动态稳定问题的影响。

(4) 风能资源的环保效益和保障风能充分消纳。为了优化电力工业结构和布局,各国开始实施节能发电调度,优先调度风能、太阳能、核能等清洁能源发电,对火电机组,按照煤耗水平调度发电,煤耗

低的多发、满发,煤耗高的机组少发或不发。为了促进风电的发展,我国《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》规定风电在并网时享有优先调度权,并要求电网全额收购风电的电量。因此在输电网规划模型中要充分考虑环保政策及环保效益。

(5) 风电大规模接入下输电网规划与电源规划的协调发展规划。良好的电源结构和充足的备用容量是风电消纳的基础,风电开发需要灵活调节电源与之相匹配。电源布局的变化需要与之协调发展的电网。因此,应该考虑风电接入后电源和电网联合规划。例如,在厂网分开的竞争体制下,原来的单一投资主体分化为多个投资主体,如何在多投资主体决策的相互影响下进行含有风电场的电源电网联合规划需要深入研究。

(6) 风电大规模接入的输电网规划评价指标和评价体系的建立。风电场接入电网将给系统的充裕性、安全稳定特性、资源配置方式、运行方式安排,环境影响等带来一系列的影响。充分考虑这些影响,建立综合电力系统物理特性、环保效益、市场规律和经济性的电网规划模型,首先要研究公平合理的评价指标,建立相应的评价体系。

3 结束语

风电的迅猛发展给电力系统带来了一系列影响,输电网规划也面临着重大挑战。当风电容量达到一定的穿透率时,会给系统的潮流分布、可靠性、电能质量、稳定性、运行调度等带来较大影响。因此,在输电网规划中要考虑风电的特点和影响,研究相适应的输电网规划模型。本文分析了风电接入对电网规划的影响,总结了国内外风电接入下输电网规划的研究现状,提出了风电接入后电网规划需要着重考虑的问题。如何在电网规划中计及这些问题;如何把握这些问题的关联性和本质差异,如何协调影响这些问题的因素、突出重点、同时体现出市场的公平性是电网规划研究人员需要不断探索的问题。

参考文献:

- [1] 我国拟建八个千万千瓦级风电基地 [EB/OL]. http://ny.china.com.cn/2011-03/29/content_4096926.htm. 2011.
- [2] 朱凌志,陈宁,韩华玲. 风电消纳关键问题及应对措施分析 [J]. 电力系统自动化, 2011, 35(22): 29-34.
- [3] AULT G W, BELL K R W, GALLOWAY S J. Calculation of Economic Transmission Connection Capacity for Wind Power Generation [J]. Renewable Power Generation, IET, 2007 (1): 61-69.
- [4] World Wind Energy Association. World Wind Energy Report 2009 [EB/OL]. http://www.wwindea.org/home/images/stories/world_wind_energy_report2009_s.pdf, 2010.

- [5] 白建华,辛頌旭,贾德香. 我国风电大规模开发面临的规划和运行问题分析[J]. 电力技术经济,2009,21(2):7-11.
- [6] 王锡凡. 电力系统优化规划[M]. 北京:水利电力出版社,1990.
- [7] 麻常辉,薛禹胜,鲁庭瑞,等. 输电规划方法的评述[J]. 电力系统自动化,2006,30(12):97-101.
- [8] DAUID H, LE K D, HESS S W, et al. Current Issues in Operational Planning[J]. IEEE Trans on Power Systems,1992,07(3):1197-1210.
- [9] YEHA M, CHEDID R. A Global Planning Methodology for Uncertain Environments: Application to the Lebanese Power System [J]. IEEE Trans on Power Systems,1995,10 (1):332-338.
- [10] MARTIN A, SALMERON J. Electric Capacity Expansion under Uncertain Demand: Decomposition Approaches [J]. IEEE Trans on Power Systems,1998,13(2):333-339.
- [11] EKEL P Y, TERRA L D B, JUNGES M F D. Methods of Multicriteria Decision Making in Fuzzy Environment and Their Applications to Transmission and Distribution Problems [C]. IEEE Transmission and Distribution Conference, 1999.
- [12] CROUSILLAT E O, DORFNER P, ALVARADO P, et al. Conflicting Objectives and Risk in Power System Planning [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 08(3):887-893.
- [13] TORRE D T, FELTES J W. Deregulation Privatization and Competition: Transmission Planning Under Uncertainty [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14(2):460-465.
- [14] 朱海峰,程浩忠,张焱. 考虑线路被选概率的电网灵活规划方法[J]. 电力系统自动化,2000,24(17):20-24.
- [15] 杨宁,文福拴. 基于机会约束规划的输电系统规划方法研究[J]. 电力系统自动化,2004,28(14):23-27.
- [16] RICHARD P, DALE O. Wind Energy Delivery Issues [J]. IEEE Power & Energy Magazine, 2005,03(6): 47-56.
- [17] ZHANG X S,YUAN Y,WU B W, et al. A Novel Algorithm for Power System Planning Associated with Large-scale Wind Farms in Deregulated Environment[C]. Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies(DRPT), 2011 4th International Conference,2011.
- [18] ZHANG Q, WANG Z W, XIE Z J, et al. 10 000 MW Wind Power in Jiangsu Power System in 2020 [C]. Electricity Distribution (CICED), 2010 China International Conference, 2010.
- [19] HUANG D,BILLINTON R. Power System Reinforcement Planning Considering Wind Power and Load Forecast Uncertainty using the Well-being Analysis Framework [C]. Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2010 45th International Conference,2010.
- [20] 杨高峰,康重庆,LI F R,等. 电网规划方案的适应性与风险评估[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(23):1-7.
- [21] 杨高峰,康重庆,谷兴凯,等. 电力市场中基于情景分析的电网规划方案适应性评估[J]. 电网技术,2006,30(14):64-70.
- [22] 于晗,钟志勇,黄杰波,等. 考虑负荷和风电出力不确定性的输电系统机会约束规划[J]. 电力系统自动化,2009,33(2):20-24.
- [23] 郑静,文福拴,李力,等. 计及风险控制策略的含风电机组的输电系统规划[J]. 电力系统自动化,2011,35(22):71-76.
- [24] 卢冰. 基于静态电压稳定性的含风电场的输电网规划方法研究[D]. 杭州:浙江大学,2010.
- [25] LAWHORN J, OSBORN D, CASPARY J, et al. The View from the Top [J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2009, 07(6): 76-88.
- [26] CORBUS D, LEW D, JORDAN G, et al. Up with Wind [J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2009,07(6): 36-46.
- [27] 余怡鑫,周金辉,秦超. 基于价值的含大规模风电电力规划评估[J]. 天津大学学报,2011,44(11):941-947.
- [28] 高赐威,何叶. 考虑风力发电接入的电网规划[J]. 电力科学与技术学报,2009,24(4):19-24.
- [29] ZHAO S, NAIR N K C. Assessment of Wind Farm Models from a Transmission System Operator Perspective Using Field Measurements [J]. Renewable Power Generation IET, 2011,05(6):455-464.
- [30] 周天睿,王旭,张谦. 大规模风电对江苏电网规划影响的实证分析[J]. 中国电力,2010,43(2):11-15.
- [31] 常康,丁茂生,薛峰,等. 宁夏风电出力时空特性研究 [C]. 中国电机工程学会电力系统自动化专业委员会第三届一次会议暨 2011 年学术交流会. 南京,2011.
- [32] 袁越,吴博文,李振杰,等. 基于多场景概率的含大型风电场的输电网柔性规划[J]. 电力自动化设备,2009,29(10):8-12.
- [33] 周金辉,余怡鑫,曾沅. 大规模风电接入下输电网扩展规划的启发式优化算法[J]. 电力系统自动化,2011,35(22):66-70.
- [34] 曾鸣,吕春泉,邱柳青,等. 风电并网时基于需求侧响应的输电规划模型[J]. 电网技术,2011,35(4):129-134.
- [35] BILLINTON R, WANGDEE W. Reliability-based Transmission Reinforcement Planning Associated with Large Scale Wind Farms [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2007, 22(1):34-41.
- [36] PORRUA F, CHABAR R, THOME L M, et al. Incorporating Large-Scale Renewable to the Transmission Grid: Technical and Regulatory Issues [C]. Power & Energy Society General Meeting, PES '09. IEEE, 2009.
- [37] HENDERSON M, COSTE W, PLATTS J. ISO New England Wind Integration Studies and the New England Governor's Renewable Energy Blueprint [C]. Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE,2010.

作者简介:

崔晓丹(1981),男,江苏东台人,工程师,从事电力系统分析与规划方面的工作;

李威(1976),男,江苏睢宁人,高级工程师,从事电力系统分析与规划方面的工作;

Research on Distribution Feeder System of with Distributed Power

CHEN Chong¹, CHEN Xiao-wei², SHEN Ming-kang¹, SHEN Dan¹

(1. Suzhou Department of Jiangsu Electric Power Company's Maintenance Branch Suzhou 215000, China

2. Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: With the development of smart distribution grids (SDG), more and more distributed power (DG) will be allowed to SDG. The importing of DG changes the size and direction of fault current which is perceived by feeder terminal unit (FTU) in distribution feeder system protection, therefore, SDG requires that system protection fault should be handled more quickly and accurately distinguish different fault flow direction. Protection starting components and fault direction criterion based on the instantaneous power is proposed in this paper. Calculation of fault feature according on the instantaneous value of the voltage and current has features of small amount of computation, quick speed and good real-time. PSCAD / EMTDC simulation results verify the feasibility and reliability of such a fast algorithm.

Key words: smart distribution grids; distributed power; system protection; feeder terminal; instantaneous power

(上接第 5 页)

任先成(1980),男,山西繁峙人,博士,从事电力系统分析与规划方面的工作;

薛峰(1971),男,江苏无锡人,研究员级高级工程师,从事电

力系统分析、规划与控制方面的工作;

方俊杰(1964),男,河北蔚县人,研究员级高级工程师,从事电力系统分析、规划与控制方面的工作。

Review of the Research on Transmission Network Planning with Large Scale Wind Power Connected

CUI Xiao-dan^{1,2}, LI Wei^{1,2}, REN Xian-cheng^{1,2}, XUE Feng², FANG Yong-jie²

(1.State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China;

2.China Electric Power Research Institute; Nanjing 210003, China)

Abstract: Firstly, the effect of large scale wind power connection on transmission planning was discussed. Then various research works in transmission planning filed considering large scale wind power connected were reviewed from many respects, such as evaluation index, assessment system, modeling of large scale wind power, uncertainty of wind power, policy management and market factors. Lastly, some issues focused on were discussed for transmission planning and some suggestions were offered for the research in the future

Key words: large scale wind power; transmission planning; assessment; uncertainty; review

下 期 要 目

- 电网广域监测系统的数据库集成方案
- 日前发电计划安全校核系统开发与应用
- 基于模块化多电平换流器结构的柔性直流系统控制策略研究
- SVC 电压稳定控制和抑制低频振荡交互影响研究
- 基于改进牛顿法的 VSC-HVDC 潮流计算
- 电动汽车无线充电技术
- 银东直流西北侧电网稳定控制系统实现
- 一起 110 kV 主变差动保护动作原因分析
- 扩大外桥式接线改建工程相关问题分析
- 某 660 MW 汽轮发电机组漏氢量超标原因分析及处理
- 电厂电动执行机构软启动器设计