

大型城市智能电网规划探索

李涛[✉], 许苑, 陈健, 王珂

(广东电网有限责任公司广州供电局, 广州 510620)

摘要: [目的] 智能电网是智慧城市的重要组成部分, 随着智慧城市的建设, 城市智能电网迎来加速发展时期。现有的城市智能电网规划多注重新技术的介绍, 对于如何选取新技术、如何系统地运用于智能电网建设, 没有深入地研究。[方法] 尝试构建体系化的规划方法, 通过梳理总结国内外先进城市智能电网的特点, 并结合目标城市自身条件, 找差距、补短板, 因地制宜制定目标城市智能电网发展目标, 并对照电力生产、管理各个环节, 提出智能电网建设举措。以广州电网作为大型城市电网的代表, 对城市智能电网规划建设进行了分析。[结果] 最后通过一系列评价指标的提升说明了智能电网建设的成效。[结论] 所提大型城市智能电网规划方法是可行并有效的, 可为其他大型城市智能电网规划建设提供指导。

关键词: 智能电网; 电网规划; 管控系统; 需求侧响应

中图分类号: TM7; TM715

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)S1-0013-05

开放科学(资源服务)二维码:



Exploration of Smart Grid Planning in Large Cities

LI Tao[✉], XU Yuan, CHEN Jian, WANG Ke

(Guangzhou Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510620, China)

Abstract: [Introduction] The smart grid is an important part of smart cities. With the construction of smart cities, the city's smart grid is ushered in a period of accelerated development. The existing urban smart grid planning pays more attention to the introduction of new technologies, and does not study in depth how to select new technologies and how to systematically apply them to smart grid construction. [Method] This paper attempted to construct a systematic planning method. By combing and summarizing the characteristics of smart grids in advanced cities at home and abroad, and combining the conditions of the target cities, we could find gaps and fill shortcomings, and formulate target cities' smart grid development targets according to local conditions. By comparing various aspects of power production and management, we proposed smart grid construction measures. This paper took Guangzhou Power Grid as the representative of large-scale urban power grid and analyzed the planning and construction of urban smart grid. [Result] Finally, through the improvement of a series of evaluation indicators, the effectiveness of smart grid construction was illustrated. [Conclusion] The large-scale urban smart grid planning method proposed in this paper is feasible and effective, and can provide guidance for the planning and construction of smart grids in other large cities.

Key words: smart grid; grid structure; control system; demand side response

0 引言

以电为中心、清洁化和智能化为特征的新一轮能源革命正在世界范围兴起^[1-3]。同时随着智慧城市的建设, 城市智能电网迎来加速发展时期。城市智能电网规划通过先进的理念, 清洁能源供应技术, 互联网+新技术等应用, 城市的产出高效特性

将得以突显, 城市布局紧凑, 功能综合, 其能源供应、城市的建设也将与环境融合度进一步提升, 城市的管理运行更加趋于数字化^[4]。目前对于城市智能电网的研究多关注新技术的介绍, 单个或几个电力环节的效率提升, 没有从系统的角度体系化地进行智能电网的规划^[5-8]。

本文以广州电网为例对城市智能电网规划思路和方法进行了探索。通过对标国际先进城市智

能电网,以目标电网自身条件为基础,制定合理的规划目标和指标体系,逐个挖掘电力各环节可提升的空间,提出有针对性且具有可操作性的举措,最终通过指标的提升,验证了本方法的有效性。

1 国际先进城市智能电网概况

新加坡、香港、日本东京、巴黎城区、韩国首尔等城市电网是国内外公认的先进城市智能电网。根据收资结果,初步掌握的智能电网情况概括如表1所示:

表1 国际先进城市智能电网情况

Tab. 1 International advanced city smart grid situation

地区	供电可靠性	一次网架	配网智能化	设备质量及运维
新加坡	用户平均停电时间 0.31 min	“花瓣形”合环	1)配电网具备自愈能力,实现故障自动隔离和复电。 2)通过需求侧响应,使负荷参与配电网运行调度。	1)设备选型全部采用国际知名企业的产品。 2)采用80%状态监测和20%状态检修运维策略。
巴黎	用户平均停电时间 10 min	双环网	1)配电网具备自愈能力,中压故障后2分钟内恢复70%的用户供电。 2)通过需求侧响应,使负荷参与配电网运行调度。 3)支持分布式能源和新型负荷的自由接入。	1)核心设备(包括配电变压器和开关柜)全部采用国际知名企业产品,投运年限低。 2)大力发展状态监测和状态检修。 3)对于故障设备的检修基本上都是采用带电检修作业。
东京	用户平均停电时间 2 min	双射	1)配电网具备自愈能力,中压故障后2分钟内恢复70%的用户供电。 2)通过需求侧响应,实现每个用户削减15%左右的用电量。 3)支持分布式能源和新型负荷的自由接入。	1)使用可靠的配电设备、规范化的设施,故障率很低。 2)实行以状态监测和状态检修为核心的设备管理策略。 3)普遍采用带电作业和不停电施工。
香港	用户平均停电时间 4.48 min	二线合环	1)配电网具备自愈能力,能够实现故障自动隔离和转供电。 2)逐步推广需求侧响应及节能服务。	1)依靠对供应商的规范管理,确保选择品质优良的供应商,提高设备的供货质量。 2)建立了有效的状态监测体系,全面开展以设备状态分析为基础的状态检修。
首尔	用户平均停电时间 10.9 min	多分段多联络	1)配电网具备自愈能力,能够实现故障自动隔离和转供电。 2)建成高级测量体系,实现需求侧响应。 3)建成数项智能电网和微网示范项目。	1)使用可靠的配电设备、规范化的设施,故障率很低。 2)建立了有效的状态监测体系,全面开展以设备状态分析为基础的状态检修。

综述以上情况,国际先进城市智能电网的特征体现在电网的能源互动性、资源节约、安全可靠、以及环境友好。国际先进城市智能电网应有如下内容:

1) 配电网拥有强健的信息系统和专家系统作为支撑,电网的建设经过合理的规划设计和严格的设备选型。

2) 高效的调度和运维管理。电网拥有高效实用的配电自动化系统,计量自动化系统、通信系统、资产管理系统等,实现对配网运行状态、设备情况、可调度负荷等元素的可观可测可控。

3) 配网运行的安全、可靠、优质和经济。配电网有能力保证运行时期的供电安全,如保证N-1通过

率,容载比等,并提供高质量的供电服务,如供电可靠性达到99.999%,停电时间达到国际先进水平。

4) 支持能源互动,保证电网的环境友好^[9]。支持新型能源、分布式能源及充电汽车的大规模接入与利用。通过智能电表、智能交互终端等互动设备,支持电网与用户之间的数据和电力双向交互。

2 广州智能电网建设基础条件

广州电网经过多年发展,220 kV电网已基本形成了以500 kV变电站为中心、地区骨干电源为支撑的分区分片供电模式,网络结构以双回链网和环网为主。同时与周边220 kV电网联系较为紧密。110 kV电网除在增城、花都、从化等地区仍保留有部分

110 kV链式接线外,已基本形成围绕220 kV变电站的“3T”辐射型接线,220 kV站之间保持有适当的110 kV联络。电网供电可靠性和供电能力得到大幅提高。

广州电网虽经大规模的发展,但自给率低(低于40%)、部分站点短路电流高、直流落点密集存在大面积停电风险的问题依然存在。随着现代化城市的不断发展,广州全面开始实施“智慧广州”战略。智能电网不仅可以解决传统电网现存问题,同时也可对“智慧广州”起到全方位的支撑作用。近年来,广州电网开展了一系列智能电网建设举措,建成了8个高可靠性示范区,实现A+区配电自动化和光纤通信全覆盖,开展智能电房试点建设,为广州推进智能电网发展奠定了基础。

广州智能电网与国际先进智能电网相比,在规划、设计、建设、运行等全过程技术和管理标准化上存在差距。网架方面,中压线路标准化程度待进一步提高,光纤通信网覆盖率偏低;设备方面,智能化水平不高;运维方面,管理及监控手段不足,运行状态分析能力有待提升;客户服务方面,与客户互动手段不足;调控方面,在接纳分布式光伏和大量充电设施接入问题上面临一定挑战;信息平台方面,存在数据打架、割裂的问题。

从广州电网基础上看全国,我国大型城市电网主网架基本已成环网,但供电可靠性、智能化方面和国外先进城市智能电网还存在较大差距。因此,城市智能电网建设重点在于电网的高可靠性和精益性管理,以及对智慧城市的全面支撑。

3 广州智能电网规划

3.1 规划目标

按照南网智能电网“5个环节+4个支撑体系”框架,结合广州电网“一高三多、保供电任务重、自给率低、‘智慧广州’战略要求高、率先建设世界一流配电网责任重、运行环境复杂”的六大特色制定具有广州特色的智能电网规划目标,如表2所示。紧密围绕2020年广州电网全面建成世界一流电网的目标,构建开放、多元、互动、高效的能源供给和综合能源服务平台,打造集中与分布式协同、多能互补、供需侧互动、安全高效的现代电能供应体系,建成安全、可靠、绿色、高效的智能电网。

表2 广州智能电网规划目标

Tab. 2 Guangzhou smart grid planning target

目标	描述
安全	优化主配网,提高核心区域防灾保障能力,提高本地电源支撑比例,加强对输变电设备管控水平
可靠	建设坚强可靠的主配网和广泛覆盖的光纤通信网。满足配网可观、可测、可控、可追溯要求
绿色	提高分布式电源与配电网的协调能力,满足电动汽车充电设施灵活接入需求
高效	分布式资源共享共建。建成科学高效的电网运营管控体系,提升设备状态管理、运维管理能力和营配协同服务能力

3.2 指标体系

结合广州电网已有发展规划指标,本文以“安全可靠、绿色高效”作为核心特征,构建智能电网指标体系。如表3所示:

表3 广州智能电网考核指标

Tab. 3 Guangzhou smart grid assessment indicators

一级目标	二级目标	指标名称
安全可靠	安全	110 kV及以上变电站主变、线路N-1通过率
	可靠	供电可靠率
		用户平均停电时间
绿色高效	绿色	光纤通信覆盖率
		配电自动化覆盖率
	分布式电源消纳率	
	运维生产高效	综合线损率
		智能巡检覆盖率
信息高效	A+类区关键点智能电房覆盖率	
	主设备状态监测覆盖率	
	移动应用业务覆盖率	
	智能电表覆盖率	
	第三方满意度	

“安全可靠”供电是智能电网的第一要务和最基本要求,保障安全可靠供电,需要坚强的网架、优良的技术装备。网架结构水平和自动化支撑水平是影响安全可靠供电的关键因素,相关方面的指标是支撑城市供电可靠率的二级指标。支撑安全可靠的二级指标鱼骨图如图1所示。

“绿色高效”致力于提升电网对环境的友好程度,提高电网企业运行和信息高效。各因素又可分解成下一级指标,具体见图2所示。

3.3 规划举措

3.3.1 网架结构

坚强可靠的主配网和广泛覆盖的光纤通信网是

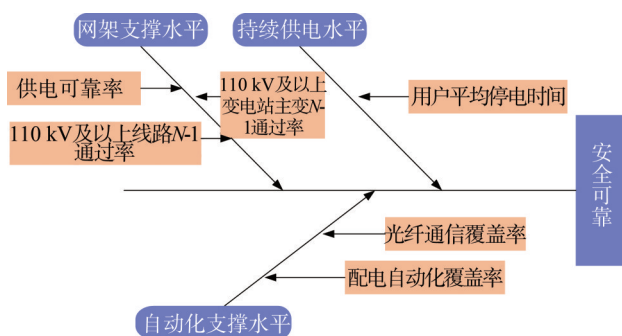


图1 支撑安全可靠维度的二级指标鱼骨图

Fig. 1 Safe and reliable dimension of the secondary indicator fishbone diagram

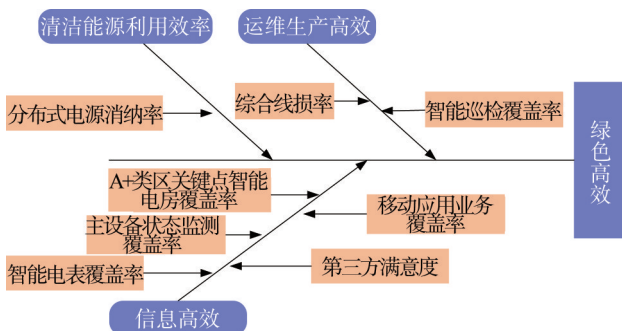


图2 支撑绿色高效维度的二级指标鱼骨图

Fig. 2 Two-level indicator fish bone map of green efficient dimension

支撑智能电网的基础。坚持以化解电网风险为导向开展电网规划工作，科学规划、构建坚强网架结构，提升电网抗灾能力。根据区域发展和可靠性要求，做好主网与配网之间的有序衔接，构建各类供电区域的典型目标网架。根据智能配电网发展要求，全面开展光纤通信网建设。以满足“三遥”自动化业务、智能配电房通信需求为基本，建设骨干光纤网，新增工程同步建设光纤网络。借助新建小区、社区微改造、城市更新等契机，利用“四网融合”打通光纤入户“最后一公里”。

3.3.2 精益化管理

1) 运维精益有效

完善配网移动应用管控系统，实现人员行为全业务管控，实现移动应用对作业行为管控的全覆盖。打造智能设备监控系统，为多维度系统协同、辅助决策、设备全生命周期跟踪以及延长工作有效时间等方面提供基础支撑，实现设备状态全信息监控。优化快速复电及客户服务协同体系，深化数据挖掘和辅助决策体系，利用云平台汇总、

分析和处理数据，打造数据挖掘和辅助决策体系，为智能决策提供依据，实现配网智能运维管理。

2) 调度高效灵活

提升配电网双向互动水平。提升可再生能源消纳水平，推广即插即用并网设备等技术，满足新能源、分布式电源广泛接入的要求。满足电动汽车充电设施灵活接入需求，做好配电网规划与电动汽车充换电设施规划的衔接，加快配套电网建设与改造，确保及时接入电网。

3.3.3 用户优质互动

用户侧互动重点在于广泛部署高级量测体系^[10]，推动智能小区与智能家居建设，积极推动需求侧响应。通过智能电表开展用电信息深度采集，满足智能用电和个性化客户服务需求。结合高级量测体系建设，构建居民侧智能用电技术支撑体系，实现与用电设备之间的信息交互，推动智能家居与智能小区的技术发展。推动需求侧管理平台应用，配合政府建立完善需求侧响应机制，引导非生产性空调负荷、工业负荷等柔性负荷主动参与需求侧响应。

4 预期成效

至2002年底，广州智能电网建设将在“安全可靠、绿色高效”三方面取得显著进步，如表4所示，电网运行指标有较大提升。

5 结论

智能电网贯穿了电力系统各个环节，是推动能源革命的重要手段，是构建清洁低碳、安全高效现代能源体系的核心，是支撑智慧城市发展的基石。城市智能电网的规划是个系统性工程，需自上而下成体系地开展研究。有别于传统重点研究智能电网技术的做法，本文尝试从规划方法的角度对城市智能电网展开研究。提出以目标电网特点作为研究基础，以目的为导向，通过查找目标电网和先进智能电网的差距，定位出目标电网需提升方面，有针对性地提出智能电网建设举措。本文注重研究内容的全面性，从全流程的角度开展全覆盖全环节的电力系统规划，理念先进、方向正确，具有较高的引领带动作用，对大型城市智能电网发展具有参考价值。在以后的研

表4 广州电网现状指标与目标指标对比情况

Tab. 4 Comparison of current status indicators and target indicators of Guangzhou Power Grid

一级目标	二级目标	指标名称	现状值	2020年目标值
安全可靠	安全	110 kV及以上变电站主变、线路N-1通过率	变电站87%、线路96%	100%
		综合电压合格率	99.98%	99.998%
	可靠	供电可靠率	99.963%	99.99%
		用户平均停电时间	3.25 h	0.83 h
		光纤通信覆盖率	4%(站房)	100%(三遥点)
		配电自动化覆盖率	90%	100%
绿色高效	绿色	分布式电源消纳率	100%	100%
	运维生产高效	综合线损率	7.41%	<6.5%
		智能巡检覆盖率	0%	50%
	信息高效	A+类区关键点智能电房覆盖率	1%	100%
		主设备状态监测覆盖率	0%	50%
	信息高效	移动应用业务覆盖率	试点开展	覆盖核心业务
		智能电表覆盖率	100%	100%
		第三方满意度	86分	≥87分

究中,建议关注智能电网各环节间的技术融合,对智能电网整体如何发挥最优效果进行进一步分析。

参考文献:

- [1] 童光毅,王梦真,杜松怀,等.关于智能电网发展的几点思考[J].南方能源建设,2018,5(4):21-28.
TONG G Y, WANG M Z, DU S H, et al. Some ideas on the development mode of smart grid [J]. Southern Energy Construction, 2018, 5(4):21-28.
- [2] 郭昊坤,吴军基.Agent技术在中国智能电网建设中的应用[J].电网与清洁能源,2014,30(2):12-16.
GUO H K, WU J J. Application of agent technology in China's smart grid construction [J]. Power System and Clear Energy, 2014, 30(2):12-16.
- [3] 张文亮,刘壮志,王明俊,等.智能电网的研究进展及发展趋势[J].电网技术,2009,33(13):1-11.
ZHANG W L, LIU Z Z, WANG M J, et al. Research status and development trend of smart grid [J]. Power System Technology, 2009, 33(13):1-11.
- [4] 高志远,严春华,郭昆亚,等.智能电网与智慧城市业务互动研究[J].电力系统保护与控制,2016,44(2):65-73.
GAO Z Y, YAN C H, GUO K Y, et al. Research on interactive operation between smart grid and smart city [J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(2):65-73.
- [5] 尤海涛.智能电网技术的研究现状及发展趋势[J].黑龙江科学,2018,9(12):108-109.
- [6] 张东霞,姚良忠,马文媛.中外智能电网发展战略[J].中国电机工程学报,2013,33(31):1-15.
ZHANG D X, YAO L Z, MA W Y. Development strategies of smart grid in china and abroad [J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(31):1-14.
- [7] 余贻鑫,栾文鹏.智能电网评述[J].中国电机工程学报,2009,29(34):1-8.
- [8] 陈树勇,宋书芳,李兰欣,等.智能电网技术综述[J].电网技术,2009,33(8):1-7.
- [9] 黄晓莉,李振杰,张韬,等.新形势下能源发展需求与智能电网建设[J].中国电力,2017,50(9):25-30.
- [10] 彭显刚,李壮茂,邓小康,等.智能电网框架下的高级量测体系研究述评[J].广东电力,2017,30(12):7-14.

作者简介:



李涛

李涛(通信作者)

1979-,男,湖北荆门人,高级工程师,电力系统及其自动化硕士,主要从事智能电网、能源互联网规划、研究、示范项目建设和管理工作(e-mail) litym@163.com。

(责任编辑 李辉)