

英国电网建设及配电系统规划概览

杨晓梅

(国网江苏省电力公司经济技术研究院, 江苏 南京 210008)

摘要: 介绍了英国的经济社会、能源资源及电网基本情况, 围绕英国输配电技术标准体系、电网监管激励机制、智能电网背景下的配电系统规划等亮点和特色, 重点对供电安全标准 ER P2/6、创新激励机制、多场景规划等优化规划方法进行了阐述, 可为我国电网企业创新电网规划建设理念和实践提供借鉴和参考。

关键词: 英国电网; 电网规划; 供电安全标准; 激励机制; 优化规划

0 引言

英国电力工业历经100多年发展历程, 经多年实践形成的先进理念、丰富经验和标准规范, 尤其是成熟的电力行业监管环境和激励机制, 完备的输、配电网技术标准体系, 对于我国电力行业改革和电网规划建设具有较强的借鉴意义。近年来, 英国高度重视新能源、低碳技术变革给电网企业尤其是配电公司所带来的机遇和挑战, 在创新激励机制和智能电网背景下的配电系统规划建设方面所进行的探索和实践, 可为我国电网企业建设世界一流电网提供丰富的参考。

1 英国经济社会和能源资源概况

英国由大不列颠岛(英格兰、苏格兰和威尔士)以及爱

基金项目: 国家电网公司总部科技项目“省级公司‘世界一流电网’建设评估与决策优化”关键技术及应用研究。

尔兰岛东北部的北爱尔兰4个政区和周围5500多个小岛组成, 面积约24.5万km², 人口约6240万人。2012年国内生产总值2.5万亿美元, 位居欧盟国家第3位、世界第6位。私有企业是英国的经济主体, 占国内生产总值的60%以上; 服务业是英国经济的支柱产业, 约占国内生产总值的2/3。

英国是欧盟成员国中能源资源最丰富的国家, 主要有煤、石油、天然气、核能和水力等。海上风能资源较为丰富, 具有商业开发价值的风能资源高达48 000MW, 约占整个欧洲海上风电总量的1/3。1980~2010年, 英国国内生产总值增长了94%, 而能源消费总量基本稳定在2.86亿~3.43亿t标准煤, 单位GDP能耗持续下降。

2 英国电网发展情况

2.1 电力负荷

2010年, 英国大不列颠最大负荷59 134MW, 北爱尔兰最大负荷1873MW, 用电量合计3570亿kWh。用电结构如表1所示。

表1 2010年英国用电结构
Tab.1 Power consumption mix of UK 2010

分布	用电量 /亿kWh	占比 /%
A.全行业用电	2383	66.75
第一产业	40	1.13
第二产业	1331	37.3
第三产业	1011	28.32
B.居民	1187	33.25
全社会用电量	3570	100

2008年全球经济危机爆发以来, 受经济持续低迷影响, 英国电网最大负荷略有回升, 但用电量仍持续低迷, 2005~2010年英国电力电量情况见表2。英国电网负荷高峰出现在冬季, 低谷出现在夏季, 冬夏季高峰负荷约差20 000MW, 约为最高负荷的33%。夏季负荷曲线较为平坦, 冬季最大峰谷差约为38%。

表2 2005~2010年英国电力电量

Tab.2 Power load and consumption of UK 2005~2010

年度	最大负荷 /MW	用电量 /亿kWh
2005~2006	59 500	3490
2006~2007	57 500	3398
2007~2008	60 000	3399
2008~2009	58 600	3333
2009~2010	58 500	3207
2010~2011	59 130	3192

2.2 电力装机

2010年，英国电网装机容量90 208MW，装机构成见表3。

表3 2010年英国装机构成

Tab.3 Installed capacity mix of UK 2010

项目	容量/MW	占比/%
蒸汽轮机机组	35 196	39.02
联合循环燃气机组	34 099	37.8
核电机组	10 865	12.04
燃油或燃气发电机	1560	1.73
常规水轮机	1524	1.69
抽水蓄能	2744	3.04
风力机组	2260	2.51
除水力风力以外的可再生能源	1960	2.17
合计	90 208	100

2010年英国发电量3811亿kWh，其中：天然气发电量占45.92%，煤电发电量占28.26%，核电发电量占16.3%，水力、风力、燃油、生物质等发电量占8.7%。

2.3 输配电电压等级及资产规模

英国输电网电压等级主要为

400kV、275kV（苏格兰地区的132kV电网也属于输电网），拥有超过22 000km的架空线，1200km以上的电缆，拥有变电站685座，主变压器1160台。英国配电网主要由132kV、66kV、33kV、11kV、400V电压等级构成，城市配电线路主要为电缆。英国各电压等级输变电设备情况见表4。

表4 英国电网输变电设备规模

Tab.4 Electrical transmission and transformation equipments of UK power grid

项 目	400kV	275kV	132kV	其他	合计
架空线长度/km	11 634	5766	5254	—	22 654
电缆长度/km	195	498	216	327（直流电缆）	1236
变电站/座	163	127	395	—	685
变压器/台	363	487	290	20（移相变压器）	1160

英国目前有3条高压直流线路分别连接法国、荷兰和爱尔兰，内部有1条直流线路连接北爱尔兰和大不列颠电网。纵观英国电网，北部电源大于负荷，南部负荷大于电源，呈现北电南送的电力流格局。

2.4 输配电价及电网监管

英国电力供应链包括发电、输电、配电、售电、计量五个环节。其中发电、售电、计量领域已实现完全竞争，输、配电网运营仍为垄断或区域垄断，并实行价格管制。输、配电公司对使用其电网的发电商、供电商收取电网接入费和过网费。过网费包括输、配电网的建设、运行和维修成本，并由监管机构进行监管。监管机构对输、配电公司的监管主要集中于两方面：①基于合理的未来发展规划和合理的历史成本，设定下一个电价监管周期（一般为5年）内允许的收入水平，并纳入电价；②设定各公司在允许的收入水平下需要达到的绩效目标，并通过激励机制，促进输、配电公司有效运营。

2.5 智能电网建设

英国是低碳经济的倡导者和先行者，对风能、太阳能、热电混合等分布式电源的并网管理相对成熟，制定了比较完善的发展规划、技术方案和服务策略，并将客户端新能源发电接入作为常规业务；能效管理惠及所有用户，向居民提供节能指南，向企业提供的能效服务包括能源审计、能效指南和碳排放计算，客户通过能源管理软件可随时测量、监控和减少能源使用和碳排放；大力推广智能电网，2020年前将为3000万户住宅及写字楼共计安装5300万台智能电表。英国建立了基于GPS的管理系统，并给技术人员配备手持电脑，可迅速定位故障，合理调配人力，提升响应能力和工作效率。

3 英国电网的主要特点

3.1 具有完备的输、配电技术标准体系

3.1.1 四层级的标准体系

和英国其他公用事业类似，英国电力行业已经建立了基于法律法规、经营许可、工业标准和公司标准的四层级技术标准体系并形成良性循环，为各级电网的协调发展奠定了扎实基础。

电力法（Electricity Act 1989）作为英国电力行业标准体系的基础，规定了输、配电公司需达到的执行标准以及实践标准。实践标准是一系列与现场工作及员工职业健康相关的标准。执行标准主要包括承诺执行标准和综合执行标准。承诺执行标准主要和故障后供电恢复速度、供电中断通知、守约等相关，如不满足标准要求，将在用户有效投诉的先决条件下对客户进行赔付。综合执行标准定义了通常情况下为客户提供服务的最低水平。与执行标准相对应的具体的量化要求，由监管机构负责制订并监督执行。

经营许可类标准为输、配电公司必须遵循的强制性规范。部分标准对于输、配电网的使用者而言，也必须遵守。最基本的标准包括：输电导则、配电导则、供电安全标准ER P2/6等。

3.1.2 供电安全标准ER P2/6

作为电网安全标准的基础性文件，ER P2/6的核心思想是以最终客户的供电可靠性作为规划目标，巧妙地将系统安全性与客户负荷大小相关联，按照负荷组大小划分级

别，以“N-1”和“N-1-1”作为衡量手段，定量给出了各级电网所应达到的不同的安全和可靠水平，如表5所示。

表5 英国电网供电安全标准ER P2/6

Tab.5 UK's security standard of power supply ER P2/6

供电类别	组负荷大小	要求满足的最低供电需求	
		“N-1”故障	“N-1-1”故障
A	≤1MW	维修完成后恢复全部组负荷	没有要求
B	>1MW ≤12MW	(a) 3h内恢复组负荷 减去1MW; (b) 维修完成后恢复全部组负荷	没有要求
C	>12MW ≤60MW	(a) 15min内恢复组负荷 减去12MW或2/3的组负荷，取其小者; (b) 3h内恢复全部组负荷	没有要求
D	>60MW ≤300MW	(a) 立刻恢复组负荷 减去不超过20MW的负荷 (自动断开连接); (b) 3h内恢复全部组负荷	(c) 对于高于100MW的组负荷3h内恢复组负荷 减去100MW或1/3的组负荷，取其小者; (d) 在恢复计划停电时间内恢复全部组负荷
E	>300MW ≤1500MW	(a) 立刻恢复全部组负荷	(b) 立刻恢复2/3组负荷; (c) 在恢复计划停电时间内恢复全部组负荷
F	>1500MW	根据 GB SQSS	

注：1 “N-1”工况，即第一个元件故障或检修，此处元件定义为断路器、电缆、架空线、变压器、电抗器等，但是不包括母线。

2 “N-1-1”工况，即一个元件计划检修停运情况下，另一元件再发生故障停运。

3 修复时间的含义：“3h”是基于人工重构电网、恢复供电所耗时间；“15min”是基于遥控重构电网、恢复供电所耗时间；“立即”是指自动切换（<60s）。

ER P2/6供电安全标准为输、配电网一体设计，侧重于配电网。基于结构化的供电安全标准所构建的英国城市电网，充分体现了电网整体协调性和经济性目标：互联输电网结构坚强，奠定大电网坚实的安全基础；高压配电网结构和接线相对简化，与中低压配电网完善可靠的结构和强大的负荷转移能力和变压器容量裕度相配合（高压变电站一般配置多台主变压器，变电站最大负载控制在考虑“N-1”后的保证容量范围之内；在短路电流不超过控制标准的情况下，一般2~3台主变压器低压侧并列运行），共同保证终端用户的供电可靠性和全网的安全、经济性。英国电网典型结构如图1所示。

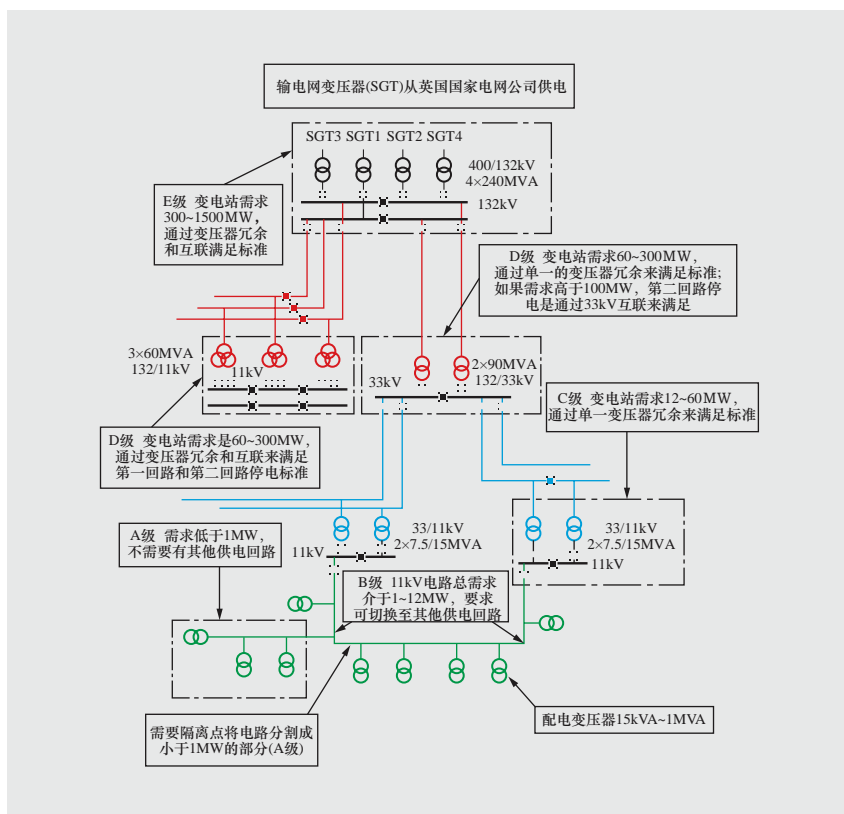


图1 英国电网典型网络结构

Fig.1 Typical structure of UK electric network

3.2 高效的监管激励机制

3.2.1 投资与运营成本激励机制

输、配电公司需要根据经营许可和相关标准的要求,进行电网的规划和运行。一旦监管机构确定了监管周期内允许的投资与运营成本水平,输、配电公司将重新审视其电网发展规划,对投资项目进行优先排序和确定,同时允许部分项目适度超前,部分项目适当延后,体现规划实际操作的灵活性。监管机构并不过于关注投资与运营的细节,如果某一公司通过提高管理效率和技术创新节约了投资与运营成本,节约部分可以保留在公司——这正是成本激励机制的本质特征。

3.2.2 绩效指标激励机制

以配电公司为例,针对其提供的各类服务,监管机构以最终客户供电可靠性作为基准,设定了一系列绩效目标:①每百个供电客户的年供电中断次数(CI);②每个供电客户的年失电时间(CML);③一小时内恢复供电客户的百分比。监管机构对上述指标提出目标,并对配电公司实施考核。对于极端条件(如极端气候)下引起的事故,经监管机构认可,所产生的停电时间或次数可不计入考核。若配电公司达到或超过考核目标将会得到经济补贴,否则将会受到经济惩罚,通过奖惩机制,促进配电公司提高绩效水

平。以最终客户供电可靠性为基准的绩效指标激励体制,也使得配电公司的规划目标和运行管理得到了统一。

3.2.3 创新激励机制

英国政府高度重视新能源、低碳技术变革及社会发展给电网企业带来的机遇和挑战。为了促进新能源、电动汽车等低碳技术在电网中的应用,监管机构在新一轮的监管周期中引入了新的监管模型,在传统的绩效指标激励机制之外,建立了创新激励机制。监管机构主导设立了低碳电网专项基金(由政府 and 全体配电公司共同出资,鼓励配电公司开展创新研究。配电公司提交项目立项申请,说明投入需求,以及应用创新技术后可实现的效益和节约的成本。由监管机构组织专家进行评估、审查,一旦某一公司的项目申报成功,将由专项基金提供资金来源,最终形成的研究成果在行业内共享,以促进全行业的技术创新和效率提升),通过项目申报、实施和成果推广机制,促进配电公司立足长远,在保持高质量的供电可靠性和安全性的同时,更多通过技术创新和智能化解决方案,节约电网投资,提升电网效率,提高新型负荷和分布式发电消纳能力。

4 开放的配电系统规划

4.1 多场景规划

由于低碳技术的发展与经济发展等一系列因素密切相关,其发展条件与速度在未来10~20年内存在着较大的不确定性,监管机构要求配电公司应用多场景规划方法,开展

“动态规划”，对于各种可能的低碳技术发展预期（概率），研究制定不同场景下的规划方案，加强规划风险管控，提升配电网络的灵活性和适应性。

4.2 规划优化

相对输电网和高压配电网而言，配电公司对于低压配电网的负荷、潮流、电压等数据和信息一般掌握最少。由于缺乏数据和信息的支撑，规划人员在设计构建低压网络时，往往简单套用相对保守的规划设计原则，很多情况下远未达到优化的水平。新型负荷和分布式发电的接入，加大了配电系统规划设计和运行管理的复杂程度，尤其对以居民和商业客户为主的低压配电网所产生的影响最大。为应对上述挑战，英国西部配电公司通过申报低碳电网专项基金开展示范项目，结合智能电表以及其他智能监控终端的推广应用，加强对低压用户信息、馈线负荷、潮流、电压以及屋顶光伏发电特性等实时数据和信息跟踪收集和分析应用。通过对低压配电网络的全面、动态感知和理解，准确评估、预测低压配电系统的裕度、性能以及分布式发电接入对配电系统产生的影响，为配电优化规划和高效运营提供支撑。

4.3 配电资源整合规划

传统的配电系统规划，配电公司更多关注配电网络自身的扩展与加强，一般通过加大电网投资（例如新建变电站、线路，网络加强和设备更新等），降低运营成本来满足电网发展需要和监管要求。针对配电系统中大量分布式能源资源的接入以及用户对于电力和供电可靠性所提出的差异化要求，英国配电公司在深入分析各类用户不同的用电需求，以及分布式能源资源有效性和可用性的基础上，将用户侧资源、分布式发电、配电系统当做一个整体，开展配电资源整合规划，创新技术解决方案和商业运营模式，提供智能互动服务，在追求系统整体最大效益的同时，实现配电网络和各类用户共享需求侧管理、高效节能、分布式发电等所带来的效益。以英国西北配电公司的低碳电网专项基金项目为例，通过创新电源变电站电压调控技术，借助需求侧响应，在为居民和商业用户提供增值服务的同时，削减高峰时段负荷需求，避免了数十亿英镑的电网投资。据介绍，这一创新技术不仅可以用于削减高峰负荷需求，也为分布式发电接入相对集中的配

电网络提供了一种低成本的电压调控手段。

5 结语

英国电网在规划建设的理念和实践应用等多个方面，值得我们学习借鉴：

1) 完善的技术标准有助于指导各级电网协调发展，在成本和效益之间寻求最佳平衡点。

2) 有效的激励机制将有助于引导电网企业立足长远，科学设定关键业绩指标，制订规划建设方案，取得一流供电绩效，不仅可用于外部监管机构评价、考核电网企业，也可用于指导电网企业内部评价、考核下级单位运营业绩。

3) 开放的配电系统规划将有助于电网企业适应新能源、低碳技术发展的需要，依托智能电表、大数据分析应用和智能互动服务，开展多场景规划、资源整合规划等，可以提高配电系统规划的适应性，更好地应对未来发展的不确定性。 **DU**

收稿日期：2015-05-05

作者简介：

杨晓梅（1973—），女，硕士，高级工程师，长期从事电网规划工作。

参考文献

- [1] 国网江苏省电力公司. “世界一流电网”深化研究成果系列报告[R]. 2014.
- [2] 国网江苏省电力公司. “世界一流电网”国际对标成果系列报告[R]. 2012.
- [3] 国网江苏省电力公司. 南京城市电网规划国际咨询成果系列报告[R]. 2006.
- [4] The Application of Engineering Recommendation P2/5 Security of Supply[R]. The System Development Sub-

- Committee of the Chief Engineers' Conference System Design and Development Committee, London, 1979.
- [5]Long Term Development Statement for Southern Electric Power Distribution plc's Electricity Distribution System[R]. Scottish and Southern Energy Power Distribution, 2009.
- [6]Long Term Development Statements[R]. Western Power Distribution, 2014.
- [7]Report for Stakeholders[R]. Western Power Distribution, 2009.

An Overview of UK Power Network Construction and Distribution Planning

YANG Xiaomei

(State Grid Jiangsu Economic Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: General information of the economy and society, energy and resource, and electric network situation of UK is introduced, including technical standards, incentive mechanisms for regulation, optimized planning methods for distribution system under the background of smart grid, and some other highlights and features. The security standard of power supply ER P2/6, innovation incentives mechanism, and multi-scenarios planning are expounded emphatically, which can provide reference for Chinese power grid enterprises to innovate the principles and practices of distribution network planning and construction.

Key words: UK power network; power network planning; security standard of power supply; incentive mechanisms; optimized planning

(上接第 58 页 continued from page 58)

Practice of Opower in Providing Energy Services Based on Data Analytics

Jake Levine¹, ZHANG Dongxia², MA Wenyan²

(1.Opower, Arlington, 22201, USA, 2.China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: Opower is a well-known SaaS (Software as a service) company in the energy sector in the U.S. In this paper, the practice of Opower in supplying utilities and customers with technological consulting in improving service and energy efficiency based on customer energy usage data. Data platform, the method of combining behavior science and data science, and the results are introduced.

Key words: data science; behavior science; energy service