

新型能源电力系统高质量发展探究

■ 张文泉

展望“十五五”时期新型能源电力系统的高质量发展,既要考虑新型能源电力系统的机、电、热、光等有关可靠性(R-Reliability)、可用性(A-Availability)、维修性(M-Maintainability)、安全性(S-Safety)及保障性(S-Supportability)等基础性要求,又要考虑新型电力系统适应新业态新发展的有关韧性(R-Resilience)、最低风险可行性(A-ALARP)、灵活性(M-Maneuverability)、稳定性(S-Steady)及经济性(E)新要求;既要宏观上横览新型能源电力系统源—网—荷—储集成一体化的发展态势和云大互移智链有机融合的发展趋势,又要从微观上纵观新型能源电力系统结构与功能、材质与质量、性能与品质等变化和电力电子系统、子系统、机、电、热、光、设备、零部件、元器件、分子、原子及量子在不确定性环境中的工作状态。因此,“十五五”时期新型能源电力系统高质量发展,要以嫡定律为指导,以能源(E-Energy)、经济(E-Economy)与环境(E-Environment)间E³问题为导向,以“双碳”(C²)目标为宗旨,以可靠性(R-Reliability)及韧性(R-Resilience)(R²)、可用性(A-Availability)及最低风险可行性准则(A-ALARP)(A²)、维修性(M-Maintainability)及灵活性(M-Maneuverability)(M²)、安全性(S-Safety)及保障性(S-Supportability)和稳定性(S-Steady)(S²)为性能指标,创新构建E³C²R²A²M²S²新型能源电力系统。

由于新型能源电力系统具有高比例可再生能源和高比例电力电子装备、多能互补综合能源、数字化智能化智慧能源等,从而对电力系统的安全保证、技术结构、运行方式等都提出新的要求。“双碳”(C²)目标下,如何科学推进固、液、气电升级改造及有序退出,促进新能源消纳也是重要研究课题。究其原因,一是受资源禀赋及行业发展历史等因素影响,我国仍保有大量固、液、气火电机组,若简单关停处理,不利于电力平稳过渡,从而要求采取科学技术手段,推进存量固、液、气电机组升级改造,继续发挥其启动灵活、快速响应、调节范围广的基础性保障和灵活调节(调峰)作用;二是由于以风、光伏发电为主的可再生能源的波动性、间歇性及随机性、机组出力的不确定性、弱抗扰动性及弱动态调节性对电力系

统安全稳定运行也带来严重冲击。为此,需要大大增强其系统灵活调节资源及其功能。新能源电力系统的发展,输电、用环节引入更多电力电子装备,电力系统呈现弱电性、强电磁性。推动煤电机组深度调峰、快速爬坡等高效调节能力提升,以促进可再生能源吸收消纳。此外,还要考虑分布式抽水蓄能群、负荷侧高比例电气化和随机性、数字化智能化电力装备、AI芯片和物联网等广泛应用的特性和其影响。新型电力系统既包括固(煤炭)、液(石油)、气(天然气)态与水、风、光等可再生能源一次能源生产、运输与使用系统,又包括由发、输、变、配、储及用构成的电力系统;既涉及新型电力系统及其组成部分的质量与数量、功能与结构等“有形”成分,也涉及政策法规、管理决策和运行机制等“无形”成分;既从字、球、宏观上考虑新型电力发展战略、指导思想、价值目标、发展布局、风险治理及国际合作的情景及其态势,又从中、微、渺、量子观上考虑新型能源电力系统组成部分、元器件、分子、原子及量子的性能及状态等。

新型电力系统高质量发展和高品质运行,要依据RAMS理论,系统考虑其可靠性(R)、可用性(A)、维修性(M)、安全性(S)及保障性(S)等功能性能基础性要求。

欧盟航空航天等行业已证明,可靠性(R)、维修性(M)和保障性(S)及其综合,既可提高其可用性(A),也能降低寿命周期成本(LCC)。新型能源电力系统高质量发展的新要求主要包括灵活性(M-Maneuverability)、韧性(R-Resilience)、风险最低合理可行准则(A-ALARP)、稳定性(S)和经济性(E)。

灵活性(M)作为电力系统灵活调节的能力指电力系统电源出力与负荷需求短、中及长期波动时,保持系统正常稳态运行的灵活调节能力,也是电力系统源网荷储相互协调保持正常运行的必要条件。新型能源电力系统中,以风电、太阳能发电为主的可再生能源占比高,对灵活性资源的需求巨大、要求更高。能源电力系统灵活性仿真分析表明,在风电、太阳能装机占比超过70%的情况下,电力系统正常运行除要有足够的煤电、气电及各类储能等灵活性资源参与调节外,还要配置光伏、电解水制氢等能源转换装置作为负荷可调节容量予以配合。在极端气候条件下,更需要长周期绿能储备如绿氢及甲烷、甲醇及氨等绿色气体液体燃料参与能源电力供应。主动负荷虽具有一定的自主调节能力,但很多主动负荷和用户行为都会增加负荷的波动

性、电力系统实时平衡调度的难度,继而要求提升电力系统灵活性。

韧性(R)是指系统在考虑系统风险的情况下,对于随机干扰而改变自身状态或在随机干扰后能快速恢复,不发生崩溃、解列而保持正常运行的能力。在能源电力系统中,韧性亦指系统应对“小概率、大影响”的极端条件下,能调整系统状态减少故障造成的损失的能力。韧性作为逆境中发生的过程,是开放的、动态的及复杂的,还涉及多样性、冗余性和灵活性。韧性看似与可靠性相似,但其关注点和适用范围却不同。随着全球气候日渐恶化,仅利用可靠性不足以描述“小概率、大影响”极端事件的影响;而韧性则正好补充可靠性对于此类极端事件考量的缺失。韧性可增强应急情景下的电网应变能力,保证在电网发生故障时,能迅速辨识、定位故障的位置及其潜在的传播路径,对电网系统进行系统风险评估,继而形成闭环安全防御策略,增强极端情景下的电网恢复力,保证电网遭受极端事件情况下,能迅速恢复正常供电,最大限度地减少故障损失,体现感知力、协同力、应变力、防御力、恢复力和学习力等技术特点。

稳定性(S)作为系统承受各类扰动后

保持暂态、动态稳定或重新恢复到运行平衡状态的能力,是电力系统正常及扰动后安全稳定运行的基本条件。随着高比例新能源接入并网,源、网、荷、储及其一体化系统特性发生变化,新型电力系统既将面临系统低惯性、频率电压稳定性、宽频振荡及信息物理系统、多能耦合系统稳定性等众多挑战,也面临电力电量平衡、短路电流、同步稳定、宽频振荡、电压稳定和频率稳定等多重问题。由于历史与现实所致,我国能源电力系统会较长时间处于新能源与常规能源的混合时代,因强随机性、间歇性与不确定性的影响而产生稳定性问题。

根据最低风险可行性【A-ALARP(As Low As Reasonable Practicable)】准则,可将新型电力系统风险划分为不可接受区、可接受区和可忽略区。风险与成本间要进行权衡分析:如风险水平在不可接受线之上,则该风险不可接受;如风险水平在可接受线之下,则该风险可接受,无需采取风险措施;如风险水平在不可接受线与可接受线之间,即落入ALARP区(可容忍区),就要进行风险投资的成本收益分析,以决定该风险是否被接受。

新型电力系统的经济性(E)分析,其核心是通过寿命周期成本(LCC)最小化而进行技术经济综合评价。基于寿命周期理论,寿命周期成本(LCC)包括设计建造成本C_{sj}、运行维修成本C_{yw}和固定成本。通过求导数并令其为零,便可求得使LCC最小时的新型能源电力系统功能F_k,也就是设计建造成本C_{sj}与运行维修成本C_{yw}相等时的功能F_k,又是新型能源电力系统的最适宜功能F_k。在LCC最小化的基础上,经工程经济学的成本效果分析就可求得新型能源电力系统的成本效果比,继而进行技术经济综合评价。

E³C²R²A²M²S²新型能源电力系统为由资源流、能量流、信息流、人力流和价值流构成的开放的具有耗散结构的复杂巨系统,因热量、温度、湿度、受力、冲击、震动、电场力、磁场力及量子力等作用,都将对其性能功能状态产生巨大影响,对此,应基于嫡定律进行分析研究。因此,E³C²R²A²M²S²新型能源电力系统高质量发展,任重而道远,有待理论探索,实践砺行。

(作者系华北电力大学经济管理学院教授)

因地制宜推进城镇住宅建筑电气化

■ 徐鹏鹏 刘贵文 魏亿钢

城镇住宅建筑碳减排是实现建筑领域“双碳”目标的关键。一方面,城镇住宅建筑运行碳排放存量仍然巨大,2022年城镇居住建筑运行碳排放达到8.9亿吨,占全国建筑运行碳排放总量的40%左右。另一方面,随着城镇化的进一步发展和人民日益增长的美好生活需要,城镇住宅建筑运行碳排放预计未来仍会持续保持刚性增长。如何平衡建筑碳减排目标以及满足人民日益增长的美好生活需要,在实现城镇住宅人均建筑能耗上升的同时,稳妥有序保持碳排放下降已经成为实现建筑部门碳减排任务的重要挑战之一。

建筑电气化是优化能源消费结构的重要手段,国家发改委等十部门联合发布的《关于进一步推进电能替代的指导意见》明确提出“加快推动建筑领域电气化”。城镇住宅建筑电气化的推进受区域地理气候和资源禀赋影响,能源供给和消费结构呈现出典型的区域异质性。同时,现行建筑能源消费模式具有很强的路径依赖特征,产生明显的碳锁定效应。因此,为避免“一刀切”或“运动式”减碳,应因地制宜推进建筑电气化。

■ 现状及问题

一是城镇住宅建筑电气化呈区域不平衡态势。各地区城镇住宅建筑电气化的发展基础具有较大区域差异性。从总体电气化水平来看,城镇住宅建筑电气化率呈现出“南高北低、东高西低”的空间格局。这是由于北方城镇受地理气候因素影 响,需要大量集中供热,目前集中供暖热源仍以煤与燃气为主,制约了该地区城镇住宅建筑电气化发展。据测算,除北京外,其余集中供暖区域的省市城镇住宅建筑电气化率均在30%以下。从能源用途分项来看,空间采暖、炊事和生活热水电气化率在各省市之间也存在巨大差异。在炊事方面,全国炊事电气化率已经处于较高水平,全国均值为70.39%;分户采暖方面,西北地区是需要提升电气化率的重点区域,陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆分户采暖平均电气化率仅为21.44%,不足全国平均水平的一半;生活热水方面,四川

和安徽两省生活热水电气化率均不到30%,远低于全国平均水平。总体而言,受到地理气候因素和资源禀赋的影响,各地区城镇住宅建筑电气化的基础存在较大差异,这对各地区制定建筑电气化发展目标提出挑战。

二是城镇住宅建筑电气化受电力供给系统和能源效率双重制约。随着建筑电气化的进一步发展,电力碳排放强度已经成为影响城镇住宅建筑碳排放总量的关键,城镇住宅建筑电气化的脱碳效果严重依赖于清洁电力供给系统。就各区域电网电气脱碳速度来看,实现城镇住宅建筑电气化的关键时间节点还未完全到来。研究显示,各地区分户采暖电气化关键时间节点分布于2031年至2034年间;同时,高效节能电器的推广是实现脱碳电气化的关键因素。就现阶段电力碳排放强度而言,大规模电力替代反而会引起碳排放上升,电气化的减碳效应几乎全部由能源设备的能效提升实现,能效提升还能使脱碳电气化的关键时间节点提前。综上所述,电力脱碳和电器能效提升是实现城镇住宅建筑脱碳电气化的关键因素,如何根据实际电力脱碳水平和高效节能电器普及率制定相应的电气化目标,是推进城镇住宅建筑电气化的重要任务。

三是建筑电力替代与其他清洁能源利用缺少有效协同。电力属于高品位能源,在建筑能源消费过程中使用清洁能源将会更有能源效率。例如,在集中供暖地区,可充分利用工业余热作为热力来源;在太阳能丰富的地区,充分利用光热作为炊事和生活热水能源来源,将比电加热更能提升能源利用效率。目前,相关政策仅提出加快建筑电力替代的指导性意见,因此在建筑电气化的过程中,倘若不充分考虑能源利用效率,很可能出现了完成建筑电气化率的既定目标而强行采用电力供暖的情况,例如在原本适合采用太阳能热水器地区推广电热水器,这将造成巨大的资源浪费。因此,科学合理的建筑能源系统应当由多能互补的清洁能源系统构成。这表明,完全的电气化并不是建筑的最终发展目标。对于各地区而言,建筑电气化应当充分考虑各地区可利用清洁能源的资源条件,不能为了提升建筑电气化率而强行要求各建筑用能都实现全面电气化。

■ 对策建议

第一,打造多能互补的清洁供暖系统,提高北方地区清洁取暖率。建议对于西北、东北和华北等由于集中供暖而导致城镇住宅建筑电气化率较低的区域,提高清洁取暖率、调整热源结构,推进集中供暖电气化和工业余热供暖体系,因地制宜、因时制宜地推进北方地区清洁取暖工程。同时,积极推广地热供暖、生物质清洁供暖、太阳能供暖等技术应用;根据电力资源、电网能力积极推进各种类型的电供暖;完善工业余热供暖体系,继续做好工业余热供暖工作;作为平衡成本和环境的方式,对没有资源条件的地区暂时以清洁燃煤作为基础性热源使用。

第二,大力推广高能效家电设备,推动相关产业提质升级。对于华中地区、华东部分电气化水平中等的地区,例如四川、安徽,考虑到不可能完全按照关键时间节点立即大幅度提升建筑电气化率,因此城镇

住宅建筑电气化工作应当提前部署,在电力脱碳水平还未完全达到电气化的关键阈值之前,侧重推广高效节能家电等设备,鼓励居民加快淘汰低效落后用能设备,发挥脱碳电气化的能效提升作用。统筹重点能源终端技术更换工作,在生活热水用能技术上全面推广电加热和光热设备,并完善相关废旧产品回收利用规范。相关金融机构可为相关企业研发制造高效产品设备提供信贷支持,引导和支持企业主动实施技术工艺升级、提升产品能效水平,为高效家电研发保驾护航。

第三,畅通“绿电”通道,应用碳捕捉技术加快电力脱碳。对于南方、华东地区等城镇住宅建筑电气化水平较高的区域,例如福建、广东等,应充分发挥电气化率高的优势,加快企业脱碳速度,加快城镇住宅建筑降碳。同时,进一步优化电源结构,加快发展东南沿海风电建设,深入推进“三江流域”大型水电基地建设,稳步推动藏东南地区水电开发;推进规模化碳捕集利用与封存技术研发、示范和产业化应用,发挥“火

电+CCS”技术优势;打通清洁电力输送通道,加快长途输电系统建设,协调各区域电力清洁化发展水平。

第四,转变建筑用能角色,大力发展“光储直柔”建筑。对于建筑部门自身而言,进一步推广光伏建筑一体化技术,实现建筑用能向建筑产能、储能的角色转变。建设集光伏发电、储能、直流配电、柔性用电于一体的“光储直柔”建筑。大力发展分布式光伏技术,充分利用城镇屋顶闲置空间进行光伏发电,将分布式光伏纳入电网系统,满足建筑用能本身需求同时向外部输出额外电能;大力发展建筑储能技术,将城市建筑作为分布式储能“蓄电池”,消纳光伏、风电等,实现能源充分利用;大力发展直流电建筑,提高光伏利用效率;大力发展建筑柔性用电机制,加强建筑用电可中断、可调节能力。

(徐鹏鹏系重庆大学城乡建设与发展研究院副院长、教授;刘贵文系重庆大学副校长、教授;魏亿钢系北京航空航天大学副教授)

