

应对电力系统安全挑战,建立多维应急保供机制

——西班牙大规模停电事件对中国能源安全的启示



■ 王永利 董焕然

4月28日,西班牙和葡萄牙遭遇欧洲近年来最严重的停电事件,中午12点30分左右,西班牙全国电力负荷在5秒内急剧下降约15吉瓦,降幅约60%,西班牙本土电力供应瞬间瘫痪,同时引发跨国电网连锁反应。该事件影响超过5000万人口,导致交通瘫痪、通信中断、医疗系统告急,甚至波及法国部分地区,停电事件持续10小时以上,部分地区长达20小时。该停电事件发生在西班牙刚刚庆祝其国家电网“首次在工作日实现100%可再生能源运行”仅仅6天之后,引发国际社会对能源转型稳定性和可行性的质疑。

■ ■ ■ 西班牙停电事件原因分析

西班牙停电事件可能由以下多方面因素导致。

一是能源波动与系统惯量双危机。一方面,西班牙可再生能源占比高且波动性大。截至2024年底,光伏和风电在西班牙电力总装机中的占比分别达到25%和24.4%,但储能容量仅为需求的0.3%。西班牙高度依赖可再生能源,受气候冲击显著,无法缓冲发电量的骤降平抑功率突变。停电当日,西班牙南部受极端气温与气象扰动,气温骤升,风速骤升叠加云层遮挡,导致风光伏发电量在数小时内锐减30%,暴露出可再生能源波动性缺陷。另一方面,转动惯量的缺失导致电网调节能力下降。太阳能发电没有惯性无法帮助稳定频率,也无法启动已断开的电网。因此,必须依赖天然气和煤炭发电厂自行启动,这是一个缓慢且资源密集型的过程,然而传统火电和核电占比的下降(仅23%),导致电网缺乏以旋转惯量支撑频率稳定。当电网频率骤降至48.8Hz(低于欧洲标准的49.5Hz下限)时,风光设备因保护机制自动脱网,引发连锁崩溃。此外,西班牙全国符合标准的新能源机组不到30%,风机机组未普遍安装“低电压穿越”功能,对电网波动敏感,电压轻微振荡即触发保护性停机。

二是基础设施老化与跨国互联短板。一方面,输电网络存在结构性隐患。西班牙40%的输电线路使用超过30年,未及时翻新存在设备老化问题。近年来,西班牙电网公司的资本支出多用于建设新线路以满足南部连接需求,对现有资产的维护投入不足,导致电网在面对外界干扰时抗风险能力较弱。另一方面,电网互联薄弱与跨国协调不足。伊比利亚半岛被称为“能源孤岛”,与法国仅通过3条总容量2800MW的线路互联,远低于欧盟2030年8GW的目标,严重制约跨区域调节能力。西班牙电网运营商表示,停电由“电网的强振荡触发保护性解列”引发,异常振荡存

在多重诱因:该振荡导致西班牙电力系统与欧洲电网断开。西班牙极端高温导致电缆热容量下降,叠加法国因核电机组检修减少跨境输电,致使负荷分配失衡突破临界值。尽管法国电网在事件后紧急启动支援,但受限于电网技术标准差异与跨境输电容量限制,严重削弱电力支援效果。这一系列技术壁垒暴露出欧洲电力市场一体



化进程中的深层矛盾。

三是保护系统失配与社会韧性缺失。停电当天,西班牙电网负荷5秒钟内骤降1000万千瓦,远超常规容错范围。传统保护系统无法适应新能源时代的波动,引发全网级联跳闸,导致危机迅速蔓延——轨道交通全面瘫痪,机场依赖备用电源但登机桥失效,通信中断引发金融系统停摆,民生领域出现超市抢购潮,医疗机构被迫推迟非紧急手术,马德里网球公开赛等公共活动被迫中止。这一系统性崩溃既暴露出应急预案失效,更揭示了新型电力系统“荷随源动”调节能力的结构性缺陷。对此,西班牙官方已启动网络攻击嫌疑调查,国家情报中心专项工作组介入。

四是调节能力缺失与恢复体系孱弱。欧盟早在2014年就制定了《能源安全法案》,但西班牙直到2024年仍未建立国家级应急电力储备,2025年第一季度统计显示,西班牙和葡萄牙两国储能装机容量仅占新能源发电总量的8%,远低于国际能源署建议的20%安全阈值,导致电网系统失去“减震器”。同时,这次西班牙电网的“黑启动”过程暴露其技术缺陷——新能源机组缺乏自启动能力,无功功率支撑不足使电压控制困难,有功功率平衡耗时远超传统机组。西班牙耗时16小时完成黑启动,葡萄牙因储能布局更弱耗时更长,凸显了新型电力系统对储能的高度依赖与现有体系的严重不匹配。

■ ■ ■ 西班牙电力系统可能面临的风险

西班牙电力系统面临多维度挑战,供给侧新能源出力受极端气象扰动加剧;用电负荷受极端高温、政策变量与新兴负荷特征影响,不确定性明显;电力系统源网荷供需互动方面,跨国输电瓶颈突出,需要进一步挖掘灵活性资源,突破源网荷储一体化协同调度技术。

一是新能源出力波动与系统惯量不足的叠加风险。一方面,火电机组强化保障作用。西班牙传统火电占比降至23%,但长周期顶峰运行导致设备故障率上升,其检修周期与极端高温用电高峰期重叠,加剧了电力缺口风险。另一方面,复合气象导致新能源出力波动,无法提供有效可靠的电力支撑。光伏发电受昼夜特性影响显著,风力发电则因台风过境引发停机避险,持续高温推升负荷峰值,叠加干旱、静风、阴天等持续异常天气导致风机、光伏、水电出力受限,短时供需平衡波动率提升。同时,水电调节能力受限。尽管西班牙水电占比不足10%,但持续干旱导致水库蓄能不足,进一步削弱了电力系统的调峰能力。

二是用户负荷突变与应急响应能力不足。一方面,极端高温天气呈现不可预测性。在气候系统临界点加速突破背景下,超预期高温事件发生频率、持续时间及影响范围均存在显著不确定性,西班牙停电

当天南部气温骤升至45°C,空调负荷激增,电网瞬间超载,用电需求达历史峰值;另一方面,新型负荷随机性加剧调度难度。电动汽车充电桩与数据中心负荷快速增长,其用能行为难以预测,导致日内负荷波动率提升;同时,社会应急体系脆弱性凸显。停电后电子支付系统瘫痪、备用电源不足、通信中断等问题的出现,暴露用户侧储能与需求响应机制的缺失。

三是电力系统调度资源复杂多样,实现源网荷储协同运行困难。一方面,跨国输送能力受限。西班牙“能源孤岛”的属性,需要跨国外送实现电力电量平衡,但是跨国通道存在物理传输极限,部分负荷缺口或调节需求还需进一步探索灵活性资源;另一方面,系统灵活性资源挖潜不充分。负荷侧可调节资源尚未形成规模化响应能力,用户侧储能配置与电网侧调频需求存在时空错配,分布式光伏与储能的协同消纳机制缺失,难以实现跨主体协同优化与双向互动。同时,源网荷储一体化仿真调度体系缺乏。现有源网荷储存在分而治之现象,缺乏互联互通,导致各类设备呈现孤岛化特征,无法捕捉真实交互中的复杂交互效应。

■ ■ ■ 对电力系统安全韧性的启示

第一,平衡电力系统安全性与经济性,将“事件损失”转化为“资源储备”。据西班牙商业组织联合会初步统计,此次大规模停电对该国经济的总体影响约为16亿欧元。事件造成的一次性损失远大于电力系统安全保供与灵活性资源储备的常态化成本支出,这就需要全面的风险经济评估,探索经济与安全间的平衡点。在中国,能源安全是国家安全的重要组成部分,是能源系统运行的红线。大规模新能源接入对我国新型能源体系带来较强不确定性,仍需探索如何将“事件损失成本”合理转化为“资源储备成本”的有效路径,落实能源供给安全与能源价格安全等多维安全目标。

第二,打造多能互补能源安全体系,提升煤电兜底作用和存续能力。在我国新型

电力系统发展过程中,还需构建多能互补能源体系,保障电力系统安全韧性。适当保留燃气机组、燃煤电站等灵活调节电源作为系统稳定器,在高压节点部署大型飞轮和电池储能系统,实现“虚拟惯量”在线支撑,而非全权依靠新能源装机,新能源装机规模应与系统调节能力匹配。同时,还需进一步关注煤电机组、储能机组的建设与收益方式,统筹投资回报需求与高调峰、低电量调度方式的矛盾,合理配置容量补偿、辅助服务市场收益等多重收益模式,提升煤电等灵活性调节机组的兜底作用和存续能力。

第三,发挥多级电力市场调节作用,保障调峰机组的优先发电权。通过中长期、现货、辅助服务的多级电力市场交易体系,从电力电量角度实现发电资源统筹,明确新型电力系统源荷供需主体的发电责任,并通过执行情况设定偏差考核。同时,考虑煤电、气电等调峰机组的基础发电量需求,明确市场化主体优先发电规模,采用“保量保价”和“保量竞价”相结合的方式,推动优先发电参与市场,保障调峰机组的基础出力空间。

第四,提升新兴负荷预测精度,发挥负荷侧资源互动能力。融合气象数据、新能源出力特性和负荷变化规律,加强风光出力变化预测跟踪,引入AI与大数据分析,对频率、电压、功率波动进行实时模型预测,动态调整保护阈值;同时,推行“区域微网隔离”策略,局部故障即时孤立,结合政策、产业链等环境要素影响,提升新能源预测与负荷预测精度,降低预测偏差导致的突发性调节需求,保障用电可靠性。此外,持续深化建立综合平台,通过建立统一的综合平台,整合各类需求响应主体,实现资源集中管理和调度,提高协同效应。通过电力需求侧管理结合各种技术手段应用,实现电力消费智能化,提升电力利用效率、革新电力利用方式,为实现电力系统的可持续发展和规模化调节提供支持。

(王永利系华北电力大学能源互联网研究中心副主任;董焕然系华北电力大学能源互联网研究中心研究员)

生物能源稳中求进,直面欧美关税挑战



■ 冀星

目前,美国和欧盟对华关税存在显著差异。根据美国白宫5月12日发布的《修改对等关税税率以反映与中华人民共和国会晤情况的行政令》,美方已于美东时间5月14日凌晨00:01撤销根据2025年4月8日第14259号行政令和2025年4月9日第14266号行政令对中国商品(包括香港特别行政区和澳门特别行政区商品)加征的共计91%的关税,修改2025年4月2日第14257号行政令对中国商品(包括香港特别行政区和澳门特别行政区商品)加征的

34%的对等关税措施,其中24%的关税暂停加征90天,保留剩余10%的关税。2025年2月11日,欧盟委员会发布公告称,对原产于中国的生物柴油作出反倾销肯定性终裁,决定对涉案产品征收10.0%—35.6%的反倾销税,对税则号列1518项下的生物能源的原料不采取反规避和反倾销惩罚性关税,对于生物航煤不采取反倾销反规避征税,对于生物柴油和HVO采取10%—35.6%的反倾销关税。

在此背景下,中国生物柴油、生物柴

油原料、HVO和生物航煤企业应充分利用欧盟和美国对华关税政策差异,实现稳进。具体来说,就是要保持“两进两稳”。“两进”层面,一方面,要抓紧生物航煤出口和高质量低离子含量生物能源原料的适度出口。商务部等四部门发布的《关于同意江苏省连云港市开展生物航油“白名单”出口先行先试的批复》批准生物航油按照产能配额出口,并确定商品编码为27101911,开辟了生物航煤出口的直接通道。生物航煤产业要抓紧出口,在欧盟生物航煤尚未形成与我国对等竞争力之前,尽最大可能出口,争取在产业发展竞争中取胜。可以预见,欧盟生物航煤生产能力

崛起后,大概率会出现类似欧盟对中国生物柴油的反规避反倾销局面,在这之前大约有3—5年的窗口期。另一方面,生物柴油和生物能源原料产业要积极融合,将全球高质量生物航煤原料掌握在自己手里。当前,国际上多家生物航煤技术公司向中国转让技术,并对金属离子、非金属离子含量提出很高要求,如氯离子不得超过7ppm,钠、钾、钙、镁、铁、锌等金属离子共计不得超过10ppm。这就要求生物柴油和生物能源原料产业共同努力。

“两稳”意味着HVO和生物柴油企业要稳住新加坡市场,同时逐步稳定欧盟市场。2024年11月15日,财政部、税务总局发布《关于调整出口退税政策的公告》,取消化学改性的动、植物或微生物油、脂等产品出口退税。在我国HS1518项下的出口退税13%取消后,税负环境发生很大变化。2018年至2024年11月,HS1518项下的废弃油脂出口退税税率为13%,生物柴油出口退税税率为0。这意味着,5年内,生物柴油和废弃油脂的出口退税会有13%的差距。HS1518项下废弃油脂13%退税取消之后,实际上欧盟对华反倾销征税的0%回到26%,也就是说,26%将成为新的零基准点。换句话说,在10%—35.6%的反倾销征税区间,仅剩反倾销税率在26%—35.6%之间的企业有出口难度,其他企业出口综合税率已取得新平衡。在此背景下,生物柴油企业应积极与欧盟进口企业协商,争取恢复出口。

2023年4月,欧盟对华开展ISCC涉嫌造假调查、反规避调查和反倾销调查时,美国并未对中国生物柴油和生物航煤、HVO等进行相关调查,但我国生物柴油和生物航煤等企业并没有及时将出口

方向从欧盟调整到美国,错过了一些发展机遇。

值得一提的是,我国生物柴油和生物能源原料、废弃油脂出口总量并不大,共约500亿元人民币,极易被一些国际游资聚集“盯上”,从中渔利,进而导致价格不稳。2018—2024年,废弃油脂在HS1518项下存在出口退税,刺激一些生物柴油企业转产高质量低离子含量的废弃油脂。这也使得HS1518项下出口的废弃油脂,虽然税则号列没有变化,但离子含量大幅降低,在价格没有显著增长的情况下,外方购得高质量极低离子含量的生物航煤原料。这种变化极大压缩了废弃油脂收集商的生存空间。目前,大量废弃油脂收集商高价进货,生存面临很大压力。

在此背景下,一方面,建议生物能源原料和生物能源产业融合发展,避免国际游资带来的冲击。另一方面,建议生物能源原料和生物能源产业注意出口模式创新。传统的出口模式是中国生物能源出口到欧盟,卖给石油公司,石油公司经调和后,加注到车、船和飞机上。现在,这种模式要创新,B24生物船用燃料要从中国加注,实现生物能源在中国调和后加注到船与飞机等交通工具的转变,这样可以避免欧盟关税制裁。因此,建议大力发展B24生物船用燃料和生物航煤产业,绕开关税制裁。

值得注意的是,中美、中欧之间的贸易与关税问题是动态平衡的,需要随时调整,尤其是美国近期频繁调整对华关税政策,我们应稳住阵脚、冷静观察、实事求是,将中美之间的生物能源贸易与经贸会话、关税调整联动,趋利避害,稳健发展。

(作者系中国科学院青岛生物能源与过程所客座研究员)