

燃料电池成数据中心离网供电新选择

■本报记者 王林

燃料电池作为新兴现场供电技术，凭借灵活扩展、近零排放、低耗水等优势，可以有效应对人工智能（AI）算力激增带来的用电量指数级攀升，成为数据中心寻求离网可靠电力的新选项。燃料电池技术旨在通过化学物质如氢气、天然气与氧化剂反应将化学能转化为电能。当前，诸多科技巨头先后启动多个试点项目，标志着“燃料电池供能数据中心”正加速走向实际应用。虽然短期内燃料电池因高成本、基础设施等挑战难以取代传统电力，但不失为数据中心供能多元化的一个方向。

●可有效应对波动负载

随着电力可用性成为制约数据中心增长的决定性因素之一，数据中心开发运营商正将目光投向离网可持续供电方式，燃料电池技术引发关注。

伍德麦肯兹最新报告指出，2026年，全球数据中心用电需求预计达460太瓦时，到2030年将升至1280太瓦时，到2040年将增至3700太瓦时，年均增速达16%，较当前水平增长703%。

全球科技创新平台璞跃技术中心高级合伙人卡米拉·里齐表示，数据中心电力面临的最大挑战之一，是AI工作负载的电力需求具有极大波动性，单台服务器的电力负载可能在几秒钟内从15千瓦波动到30千瓦，传统电网无法承受这种幅度的波动，需要匹配负载“尖峰特性”的电力解决方案。

燃料电池和超级电容器能够轻松应对这种负载特性。与传统电网连接或大型天然气发电厂不同，燃料电池可以快速部署，目前使用天然气运行，随着氢气供应成熟，未来可过渡到沼气、可再生天然气或氢气，

同时其现场排放量低于燃烧式替代方案。

美国固体氧化物燃料电池开发商Bloom Energy高级能源转型团队负责人考沙尔·比利吉里介绍：“燃料电池和超级电容器这种组合能够对负载变化做出瞬时响应，实现超过20万次充放电循环，同时保持99.9%的可用性。”

燃料电池在效率方面同样具有优势。由于固体氧化物燃料电池会产热，可以捕获并利用这些热量，通过热电联产应用，燃料电池综合效率能从54%提高到90%以上。“我们可以将燃料电池与吸收式制冷机集成，制取冷冻水，并通过液体冷却回路进行循环。这能将电源使用效率（PUE）改善10%到15%，这是衡量数据中心能源效率核心指标。”考沙尔·比利吉里表示。

●市场规模将增长10倍

值得注意的是，地面数据中心建设正遭遇多重现实瓶颈。伍德麦肯兹研究总监Robert Liew表示，2015年以来，美国电网互联所需时间已增至原来3倍，目前大型负荷并网需要3—6年。同时，燃气轮机设备交付周期将持续紧张至2030年，干旱地区的数据中心冷却系统面临水资源供给不足问题。

对地面数据中心开发运营商而言，如何实现节约用地，也是一大挑战，燃料电池通过“向上要空间”可实现算力密度与土地利用效率的双重提升。燃料电池具有高功率密度，可以分层堆叠，通过撬装方式运抵现场，只需堆叠在钢结构上即可。同时，固体氧化物燃料电池的工作温度极低，不足以引发氮氧化物反应，因此几乎不产生氮氧化物污染。此外，由于含硫加臭剂在天然气进入燃料电池之前就被去除，也不



会产生硫氧化物污染。这使得数据中心开发运营商对燃料电池作为可行的长期电力来源愈来愈有信心。

睿咨得能源咨询公司预计，随着AI算力推动数据中心建设加速增长，2026至2030年间，数据中心对燃料电池累计需求将达到10.4吉瓦，到2030年约40%的美国数据中心容量不用依赖电网，可以自由选择专用的现场发电，届时燃料电池市场规模将增长10倍，从2025年约28亿美元增至2030年约300亿美元。

不过，受限于高昂成本和基础设施不足，目前燃料电池更多是设置于特定场景或试点项目。一方面，成本是主要障碍，尽管价格大幅下降，但燃料电池系统安装成本是太阳能的两倍，柴油发电机的数倍，尚未成为最经济的现场供电方式；另一方面，燃料供应受限明显，尤其是氢气等新型燃料的获取难度与成本较高。

●供应链风险仍有

燃料电池制造商正持续扩大产能以应对需求。目前，美国已签约燃料电池订单约9吉瓦。微软是氢燃料电池积极推动者，其合作开发了一个3兆瓦氢燃料电池系统，为一个数据中心持续供电两天，验证了替代柴油发电机的可行性。目前，微软在加利福尼亚州、怀俄明州、北卡罗来纳州、犹他州和得克萨斯州的数据中心氢燃料电池项目位于不同阶段，Bloom Energy、加拿大燃料电池技术公司Ballard Power Systems是燃料电池系统供应商。Bloom Energy通过合作积极推动燃料电池在数据中心领域扩张，4月与甲骨文达成合作，支持2.8吉瓦燃料电池装机容量。

睿咨得能源咨询公司预计，到2030年，全球已运营和计划中的燃料电池制造产能

有望从目前的1.8吉瓦增至每年4吉瓦，届时固体氧化物燃料电池系统成本将下降20%—25%，降幅将取决于制造商在降低整套交付系统成本方面的能力。

“燃料电池已从小众应用，发展为稳定基荷电力来源组合中不可忽视的一部分。现在的问题是，供应链能否跟上需求同步扩张的步伐。”睿咨得能源咨询公司清洁技术供应链研究副总裁莱恩·曼·伯格马克强调。

以Bloom Energy为例，其固体氧化物燃料电池系统占迄今固定燃料电池累计交付量约53%，几乎持有目前可见订单中所有的主负荷固体氧化物燃料电池合同，这种集中度带来了供应链风险，即单一制造商的生产能力无法跟上需求增速。同时，其固体氧化物燃料电池系统对钐的依赖很大，这种用于电解质化学成分的关键金属一旦出现短缺，就会对其技术规模化带来严重影响。

当前，交通领域绿色转型正向高能耗场景延伸，在政策引导、技术迭代与市场需求的三重驱动下，甲醇电动车或将迎来市场化发展的关键机遇期，成为商用车新能源转型赛道中不可忽视的力量。

●甲醇展现独特优势

研究数据表明，交通领域的碳排放占全社会总量约10%，而商用车以仅占汽车保有量10%的比重，贡献了超过一半的道路交通碳排放。对此，中国汽车战略与政策研究中心副主任方海峰指出，商用车是碳减排的“重中之重”，其降碳不能依赖单一技术路线，必须多元协同。

“在商用车领域，甲醇具备较好的应用潜力。从能源角度来看，甲醇是二次能源，可以通过传统化石能源、二氧化碳+氢或生物质多种路径来制备，和可再生能源密切相关。”方海峰说，“从减碳效应来看，选取31吨的自卸车和49吨的牵引车两种典型的重卡车型来测算，从燃料周期碳排放来看，使用低碳甲醇的汽车碳排放已经低于柴油车和天然气汽车，如果使用绿色甲醇，减碳效果将更加显著。”

目前，甲醇混动车辆在城市物流、长途干线物流、矿山运输等场景已经得到应用，可以作为电和氢技术路线非常重要的有效补充。同时，甲醇在重载运输、高寒环境等难电气化的领域有明显优势。

企业也提供了实践样本。据吉利远程新能源商用车集团CEO范现军介绍，该公司甲醇电动轻卡覆盖6吨至14吨级需求，续航可达1500公里以上，在企业披露的特定运营条件下，与同吨位柴油车相比，运营成本可降低40%以上。

●试点推广迎来黄金窗口期

早在2019年，工信部等8部委发文鼓励在部分地区开展甲醇电动车应用，重点推动山西、陕西、贵州、甘肃等资源禀赋条件较好且有运行经验的地区，加快推广甲醇电动车。

同时，由于甲醇电动车采用醇氢电动技术，能够在寒冷气候下保持车辆性能稳定，在寒冷地区具备应用前景。2025年，沈阳市就曾提出，将加快推动甲醇电动车产业落地。

值得关注的是，香港目前也在重点推广甲醇电动车应用。香港理工大学协理副校长董澄表示：“香港新能源汽车发展已进入多种能源技术并行、按不同交通场景分工协作的全新格局。在纯电、氢能两大主流路线之外，甲醇电动车凭借落地门槛低、安全性高、低碳属性突出、综合经济性强等优势，迎来在香港试点推广的黄金窗口期。”

全球甲醇行业协会首席执行官Alex Doell指出，香港布局甲醇燃料具有先天优势，首先，香港毗邻全球最大甲醇产能集中区，成熟的供应链能够保障燃料稳定供应；其次，甲醇售价低于多数替代燃料，可在降碳的同时控制运营开支；再者，引入甲醇可破解单一能源依赖风险，提升城市能源体系韧性；此外，现有加油站仅需小幅改造即可转为甲醇加注站，适配香港土地资源紧张的现状。“绿色能源转型并非路线二选一，要因地制宜搭建安全、高效、多元的综合交通能源体系。”

●短期内或快速放量

“打造绿色交通闭环，甲醇是不可或缺的重要一环。”中国工程院院士陈清泉指出，甲醇电动车作为低碳清洁的增程技术路线兼顾安全性、环保性、可靠性、适应性、经济性，可适配公交、重卡、物流车等全场景。

方海峰预计，“未来5年，我国甲醇电动车产业将加速发展，逐步成为推动交通领域系统性脱碳的重要技术路线之一。”

与此同时，资本市场对甲醇电动车增长潜力也高度看好。香港大湾区金融家协会主席王龙预测，未来，甲醇汽车有望迎来快速放量，全球甲醇汽车市场规模将从2025年的20亿元增长至2032年的400亿至500亿元，年复合增速超50%。

为此，方海峰建议，通过开展“绿色甲醇+甲醇电动车”试点示范，推动甲醇电动车产业化进程，并且引导通过耦合绿电或绿氢的方式生产低碳甲醇，探索根据减碳量给予相应的支持。同时，要尽快健全标准体系，比如制定统一的绿色甲醇标准并推动与国际认证接轨。此外，还应加强基础设施融合，进一步完善甲醇加注体系的建设。例如，可以建设布局综合一体化加注站，鼓励地方将存量加油站改造为综合能源补给站。

南瑞助力国内首套大型流域梯级电站大坝强震智能联动系统投运

■陶家祥

近日，国电南瑞承建的雅砻江流域强震智能联动系统正式投运，实现大坝强震安全监测从“被动应对”向“主动防控”、从“震后人工补测”向“秒级智能响应”的跨越式升级，填补了国内流域梯级电站在强震工况下大坝监测系统实时联动管控的技术空白。

作为国家西南清洁能源重要基地，雅砻江流域的水电安全稳定运行事关国家能源保供大局。该流域坐落于青藏高原东缘新生代构造强烈活动带，地处地质结构复杂的“川滇菱形块体”核心区域，鲜水河、安宁河、甘孜—理塘等多条区域性深大断裂带贯穿全流域，断层差异运动显著、活动断裂极度发育，是我国典型的高地震烈度区域，流域基本地震烈度达Ⅶ度。该流域已开发两河口、杨房沟、锦屏一级、锦屏二级、官地、二滩等多座核心大型水电站，是西南清洁能源体系的重要支柱。

复杂的地质条件与重要的能源战略地位，对流域大坝安全监测提出了极高要求。长期以来，雅砻江流域原有大坝监测系统存在明显技术短板，数据采集、运算解算效率不高，应急供电、通信保障能力薄弱，且缺乏震时自动触发监测机制与极端工况下的数据稳定传输手段。面对强震等突发极端场景，传统系统难以实现大坝状态实时监测，风险快速研判和高效应急处置，搭建一套智能化、自动化、高可靠的全流程强震联动监测体系，成为保障流域水电安全的迫切需求。

针对雅砻江流域高地震风险隐患与传统监测系统的诸多短板，国电南瑞下属南瑞水电公司联合雅砻江流域发电公司，精准锚定行业痛点需求，攻坚核心技术瓶颈，采用国际首创的流域级强震联动核心技术，构建“快速感知、自动联动、应急保通、智能研判”的全流程智能化管控模式，实现震情快速捕捉、全域智能研判，破解了高震区大型流域水电工程安全管控的行业难题。

强震联动全域落地 开创大坝智控全新范式

此次投运的系统创新融合“强震监测+大坝监测+卫星通信”多源感知联动技术，实现雅砻江流域水电安全管控模式的颠覆性升级，形成一套可复制、可推广的高烈度地震区大坝智能监测“雅砻江方案”。相较于传统监测模式，系统监测效率实现质的飞跃：传统同规模大坝监测系统完成



南瑞水电技术人员开展现场强震联动测试。

一次完整巡回需耗时60分钟以上，而全新联动系统仅需5分钟即可精准获取大坝核心震测数据，整体应急研判处置时长压缩至原来的1/10。这一突破彻底打破了“定时巡回、事后补救”的被动管控局限，推动流域大坝安全管理正式迈入“自动感知、事前预警、事中可控”的智能化安全管控新阶段。

软硬件全域升级 重塑监测行业安全管控标杆

为适配极端工况监测需求，项目实现全域软硬件一体化升级。流域原有老旧采集传输设备全面更新为新一代南瑞DAU3000智能高速测控系统。该系统依托先进的多任务并行处理架构，构建“先测先传、快测快传”的高效采集传输模式，数据同步效率较改造前提升8倍以上，精准匹配地震应急场景下快速研判、即时处置的刚性需求。同时，项目打通现地监测系统与流域云端平台的数据壁垒，搭建跨平台实时采集管控体系，实现远程召测、主动回推、异常告警全功能全覆盖，织密全域协同、互联互通的大坝智能监测网络。

双冗余应急保障 极端工况坚守监测底线

针对地震极易引发的市电中断、光

甲醇电动车迎来发展新机遇

■本报记者 张胜杰