

绿色飞机发展的现状与展望(二)

电动飞机: 支线与通航的突破口



Electra公司生产的混电超短程起降飞机E19。

在绿色飞机的技术版图中,电动飞机以电能为核心动力,包括混电推进和纯电推进两条主要路径。它们虽然难以在短期内改变干线航空格局,却在支线市场、小型通航和低空经济中展现出独特的突破潜力。

□ 李拥军 杨慧娟

混电推进

支线市场的过渡方案

混电推进被普遍视为一条兼顾技术可达性和商业可行性的过渡路径。它不追求一步到位地摆脱燃油系统,而是通过电池、电机与燃气轮机联合工作,在起飞、爬升和巡航等不同阶段优化能量分配,从而降低油耗和排放。混电推进最适合的不是大型干线客机,而是对航程要求适中、对运营成本较为敏感的支线市场。

从产业进展看,混电推进已从实验室论证走向工程样机阶段。以法国初创企业AURA AERO的19座ERA、瑞典初创企业Heart Aerospace的30座ES-30,以及空客、赛峰等联合开发的6座涡桨分布式混电推进验证机EcoPulse为代表,欧洲企业正围绕短程支线场景探索不同的推进构型和业务模式。在美国, Ampaire公司的9座混电支线飞机Eco Caravan,以及Electra公司面向通勤市场开发的9座混电超短程起降飞机EL9等为代表,混电推进同样正从改装原型机、技术验证

机迈向可适航、可运营的工程样机阶段。行业之所以集中押注这一座级,不仅因为技术门槛相对可控,更因为这一市场长期面临“航程不长、航班频次偏低、盈利能力薄弱”的痛点,混电方案若能在能效和运营成本上取得突破,就可能重塑部分支线网络的经济性边界。

当前制约混电推进商业化的关键,不仅在于电池能量密度和电机功率密度面临瓶颈,更在于整机层面的系统集成能力,包括高压供配电安全、功率电子与热管理、系统可靠性以及相应的适航审定方法等。混电飞机竞争的核心,不再是“能不能飞起来”,而是“能否在可接受的成本和监管框架下实现持续运行与规模化商业应用”。

从中国的产业条件看,混电推进具有较强的战略弹性。一方面,它有望与支线航空振兴、通用航空发展和低空经济建设形成良性衔接。另一方面,相比直接跨越到氢涡轮或各类大型零排放干线客机构型,混电更适合作为中国积累电推进系统、飞发一体化和新型适航能力的中间台阶。因此,以10~30座级的短程支线为载体打造验证和示范机型,可能比过早追求“颠覆式替代”更符合产业节奏。

纯电推进

通航和低空经济的先行者

在绿色飞机路径中,纯电推进玩法最容易被公众理解,也最符合“未来出行”的想象空间。纯电推进完全依靠机载电池供电,由电机驱动推进系统,运行过程中零碳排放、噪声低、结构相对简单,因此在飞行培训、短途观光、低空物流等短程高频场景中具有较大的应用和吸引力。

从现状看,纯电推进已在小型飞机领域取得若干标志性进展。2020年,斯洛文尼亚轻型飞机制造商Pipistrel研制的2座纯电飞机Velis Electro获得EASA型号合格认证,成为纯电飞机商业化进程中的重要里程碑;以色列初创企业Eviation的9座纯电飞机Alice等更大座级项目,显示出产业界向更高功率和更大载荷迈进的意愿,但其认证进度和商业时间表多次后移,表明电池比能量、热安全和运行经济性仍然是难以绕开的硬约束;与此同时,一些早期明星企业,如德国的Lilium和Volocopter,已因资金链和商业模式等问题先后申请破产或被收购资产,而美国的Joby和Archer等企业虽仍在推进商业化,却也长期承受估值回调和监管不确定性的压力,提示纯电路线在迈向商业化的过程中同

样面临严峻的融资与市场风险。因此,纯电推进的现实边界,至少在当前阶段,仍主要集中于2~9座级平台以及部分电动垂直起降飞行器(eVTOL)场景。

纯电飞机不会率先改变大型航空公司的主力机队,却有可能优先改变通航和低空市场的服务形态。它的商业价值首先来自短程、高频、低噪等特点,与低空经济需求匹配,其次才是更远期的大座级延伸可能。纯电推进的发展速度不仅取决于航空技术本身,还取决于地方低空基础设施建设、充电体系以及空域管理和运行规则能否同步成熟。

对于我国来说,纯电推进是最容易与“低空经济”形成共振的绿色飞机路径之一。当前,亿航智能、峰飞航空、时的科技、华羽先翔等多家eVTOL企业,和锐翔的4座纯电飞机RX4E、中航工业通飞的2座纯电轻型运动飞机AG60E等多个纯电固定翼项目,已相继完成验证机或原型机首飞,并陆续进入型号合格取证和示范应用阶段,政策层面也提出,在2030年前后实现400Wh/kg级航空动力电池的量产应用,并推动更高比能量产品的应用验证。因此,中国纯电飞机的重点应聚焦训练、巡检、短途客货运输、观光和城市、城际低空出行等可形成商业闭环的细分市场。

□ 韩忠楠

6月23日到25日,世界经济论坛第十七届新领军者年会(夏季达沃斯论坛)在大连举行。每一届夏季达沃斯,“能源”都是绕不开的话题。但今年,嘉宾们不再只专注于围绕气候承诺、减排路线或下一代技术突破展开讨论,而是不约而同地将目光投向同一个“变量”:人工智能(AI)对能源的旺盛需求。

国际能源署的数据在论坛上被反复引用:全球数据中心年耗电量将从2024年的约415太瓦时增长至2030年的约945太瓦时,增幅超过一倍。最新数据显示,截至5月底,我国的日均调用电量已达数百万亿。

晶科能源副总裁钱晶在论坛期间算了一笔账:传统化石能源按现有消耗节奏,或许尚能支撑三四十年的爆发式叠加,无疑将这个时间窗口狠狠压缩。她断言,未来数据中心的胜负手,不只看芯片算力,更看是否拥有稳定的电力底座,以及能否获得足够便宜、足够清洁的绿电供应。

宁德时代董事长曾毓群则提供了另一种视角。“AI用电没有想象中那么可怕。”在他看来,中国电网与能源体系发展十分成熟,新增数据中心的总耗电量相较于电力总占比有限。真正的问题在于能源结构,在于数据中心使用的是化石能源还是可再生能源。曾毓群表示,目前要求新建数据中心使用80%的可再生能源,“中国有能力解决这个问题”。他还提供了一个数据:宁德时代几家制造工厂采用AI系统后,电费支出减少了30%。这个数据进一步揭示了“算电协同”的必要性。AI不仅是能源的消费者,也可以成为能源的优化者。

如今,AI与能源协同发展、双向赋能的趋势已然成为一种共识。清洁能源规模化适配算力需求,AI反哺能源调配。不过,需要特别警醒的是,当能源成本成为AI时代最核心的变量时,这套体系的价值正在被重新评估。AI的竞争正在演变为能源的竞争;而能源的竞争,最终归结为电价的竞争。谁能够率先掌握低成本、高稳定、零碳化的电力供给能力,谁就能牢牢掌握全球算力产业的核心话语权,拿到人工智能时代的关键入场券。

据《证券时报》

上海首个国家级零碳园区“临港零碳湾”挑战关键目标

未来3年将绿电直连占比提升至50%

□ 文汇报记者 沈秋莎

在上海临港新片区,国家级零碳园区的“临港零碳湾”正在挑战一个关键目标:用3年时间,把内部使用的绿电比例从目前的20%直接拉升到50%。

作为项目的核心建设者和联合申报主体,上海电气给出的时间表清晰而紧迫:2026年形成绿电直供机制,2027年完成改造,2028年实现目标——这是上海电气(安徽)储能科技市场总监张海军在“2026 ALCTIC 国际低碳创新周”上给出的信息。

每10度电中已有近4度是“绿电”

零碳园区概念提出于2024年。去年,“十五五”规划进一步明确目标——在我国建成100个零碳园区。目前,首批52个园区已经公布,涉及产值3.5万亿元。“临港零碳湾”是全国首批、上海市目前唯一的国家级零碳园区建设试点。

“零碳园区不是要求绝对的零排放,而是在尽最大努力的情况下接近净零水平。”清华大学碳中和研究院院长助理鲁玺教授解释,园区不同于单个工厂,它包含公共配套设施,是一个微缩的社会生产单元。根据最新发布的通知,零碳园区的能耗强度目标被锚定在0.2吨二氧化碳/标煤,而目前全国园区的平均水平是2.1吨,降幅达90%。

如何实现这一跨越?张海军表示:“绿电直连是打造零碳园区的主流核心路径。”所谓绿电直连,就是园区直接接入风电、光伏等清洁能源,通过自建发电、储能、输配电和智慧能源管理系统,形成一个相对独立的绿色微电网。

这背后是宏观层面的强力支撑。中国科学院院士、上海交通大学碳中和发展研究院副院长黄震用一组数据说明了大势:2020年底我国风电、光伏(风光)累计装机容量合计为5.3亿千瓦;到2025年,这一数字已达18.4亿千瓦,提前6年半完成原定目标。国家已明确,到2035年还要翻一番,从18亿千瓦增至36亿千瓦。

据介绍,我国已建成全球最大的可再生能源体系。目前全社会用电量中,每10度电中已有近4度是“绿电”。“十五五”期间,国家电网经营区风光新能源装机容量预计年均新增2亿千瓦左右。

储能领域的“美国加州鸭子曲线”

然而,绿电直连面临一个根本性难题:太阳会落山,风会停歇。正如电力行业著名的“美国加州鸭子曲线”所揭示的那样——午间光伏大发时消纳困难,晚高峰保供压力巨大,这一矛盾在我国许多地区同样频繁上演。

“如果说绿电直连是构建能源供应的骨架,那么长时储能就是让骨架活起来的血液。”张海

军用这个形象的比喻,指向了临港零碳湾破题的关键。

所谓长时储能,业内一般指持续放电4小时以上、能够实现跨日甚至跨季节能量时空转移的技术。数据显示,2025年全国已投运的新型储能项目平均储能时长为2.58小时,同比增加0.3小时;4小时以上项目占比上升到27.6%。一个最新的应用场景来自AI算力中心。张海军透露,他们正在跟进的一个项目,对储能的要求是10兆瓦功率、持续放电15小时。“随着算力中心不断铺开,对长时储能的需求会越来越密集。”

中国科学院院士、华东理工大学党委常委、副校长朱为宏表示,能源、双碳领域的核心技术突破,离不开化学、化工、材料学科的底层支撑,双碳创新需形成“原创基础研究—技术开发—产业应用”的完整链条。比如,他的团队研发的智能响应光子变色玻璃,可让建筑节能18%~27%,印证了基础研究产业化的价值。长时储能亦要重视基础研究和产业化转化。

从“源随荷动”到“荷随源动”

临港的实践,指向的其实是一场更深层的观念变革。

“传统电力系统一直是源随荷动,随着新能源成为主体,这个关系要颠倒过来。”黄震提出了一种“新电力观”——荷随源动。也就是说,



临港零碳湾。

负荷侧必须变得智慧、柔性,主动去适应风光发电的波动特性。新能源大发时全量消纳,低谷时多能互补。

这意味着整个系统必须更加灵活。黄震表示,必须依托大数据、云计算和人工智能,构建起强大调节能力的新型电力系统。根据《上海市新型储能示范引领创新发展工作方案(2025—2030年)》,2026年力争应用规模80万千瓦以上,2030年力争应用规模超过200万千瓦。这些正是为平衡新能源波动而部署的关键棋子。

从更加宏观的视角看,中国工程院院士、清华大学碳中和研究院院长贺克斌认为全球正经历一场“范式革命”。《科学》杂志在评选

2025年度十大科学突破时,将可再生能源排在首位,评语是“在多个领域超越传统能源,是一场真正的范式革命,这场革命主要由中国引领”。

施普林格·自然大中华区总裁安诺杰也佐证了这一观点。他表示,由于中国在清洁能源领域的巨大投资,中国在自然指数中的清洁能源研究产出不断快速增长。2019年到2024年,中国清洁能源研究产出在自然指数中的份额远高于其它前10个国家份额的总和。中国在该领域的主导地位还体现在2019—2024年能源研究产出百强机构排名中,中国有63家机构上榜,排名前20的机构全部来自中国。