

“碳中和”目标牵引下的航空动力发展分析

Analysis to the Development of Aero Engine to Achieve Carbon Neutrality

■ 韩玉琪 袁善虎 王飒 / 中国航发研究院

近年来,为积极应对全球气候变化问题,各国纷纷提出“碳中和”目标以及相应的发展战略。2021年10月26日,空客、波音、达索、GE、普惠、罗罗和赛峰等7家航空制造企业的首席技术官(CTO)在伦敦发布联合声明,重申要推动航空业的可持续发展,在2050年前实现航空业净零碳排放的目标。而航空运输业的“碳中和”目标能否按期实现,关键在于航空动力技术的减碳创新发展。

世界气象组织(WMO)发布的《2020年全球气候状况》报告显示,2020年是有气象记录以来3个最暖年份之一。2020年全球平均气温比工业化前上升了大约1.2℃,上升速度远远超过预期,而气温上升2℃就会对自然界造成重大危害,如图1所示。为减缓全球变暖趋势,近200个缔约方于2015年12月共同通过了《巴黎协定》,其制定的长期目标是将全球平均气温较工业化时期上升幅度控制在2℃以内,并努力将温度上升幅度限制在1.5℃以内。为此,全球逾20个国家宣布要实现“碳中和”。根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的定义,“碳中和”是指一个组织在1年内的二氧化碳排放通过二氧化碳去除技术应用达到平衡。2019年12月11日,欧盟公布了《欧洲绿色协议》,并在其中设定了2050年欧洲实现“碳中和”的目标;2020年9月22日,中国在第75届联合国大会上提出,中国的二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现“碳中和”;2021年1月20日,美国总统拜登上任第一天就宣布重返《巴黎协定》,其在气候领域的目标是,“到2035年,通过向可再生能源过渡实现无碳发电;到2050年,

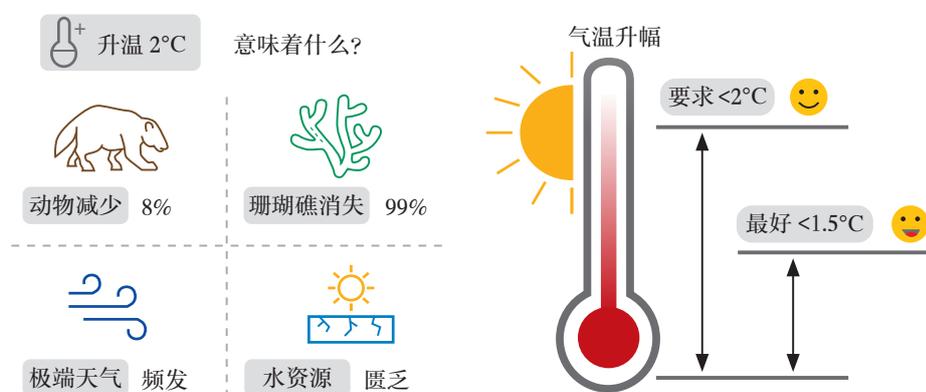


图1 气温上升对自然界的影响及《巴黎协定》控温目标

让美国实现“碳中和”。

“碳中和”对航空运输业提出重大挑战

航空运输业的“碳中和”目标

2019年,航空运输业的碳排放总量已经占到全球交通运输行业碳排放量的10%(2020年受新冠疫情影响,航空运输量大幅下降,2019年的数据更具参考意义),占全球碳排放总量的2%,脱碳已成为航空运输业面临的重大挑战。

航空运输行动小组(ATAG)呼吁从2020年起实现“碳中和”增长,并在2050年之前将排放量减少到2005年的50%。2016年10月,

国际民航组织(ICAO)第39届大会通过了国际航空碳抵消和减排计划(CORSIA),形成了第一个全球性行业减排市场机制,航空业也由此成为世界上第一个由各国政府协定实施全球碳中和增长措施的行业。在CORSIA计划下,全球航空业2035年的二氧化碳排放量不超过2020年的排放量水平,即“碳达峰”;2050年的二氧化碳排放量应达到2005年排放水平的50%及以下;最终实现“碳中和”增长,将全球航空运输业的碳净排放量稳定在2019年的水平(5.8亿t吨)。2020年7月,ICAO理事会决定将2019年作为全球航空运输业“碳中和”方案及减

排计划的基准线，得到国际航空运输协会（IATA）的支持。2022年，ICAO大会将审议是否需要进一步修正该基准线，以解决新冠肺炎疫情带来的影响，从而确保该计划成功实施。

航空运输业减碳关键在于航空动力

发达国家的航空运输业需求稳定甚至出现下滑，减碳压力相对较小，而以我国为代表的发展中国家，由于经济增长带动航空运输业需求持续增长，从而面临着巨大的减碳压力。根据法国巴黎银行的调研，航空运输业的碳排放主要在于燃烧航空煤油，约占总排放量的79%，于是航空运输业的减碳关键就在于降低与航空燃料相关的碳排放。由此可见，我国的航空动力行业减碳压力尤为巨大。

我国航空动力减碳创新发展的

战略意义

从政治角度来看，2020年我国石油的对外依赖度为73%，航空动力的减碳创新发展能够使之降低，减少我国对通过马六甲海峡输送石油的依赖，有益于国家安全，有利于在大国竞争格局中占据有利位置；从经济角度来看，根据CORSIA的要求，在2027—2035年间，所有成员国将按照2018年的收入份额来承担CORSIA责任，即超过指标的那部分碳排放需要各航空公司缴纳“碳税”，航空动力的减碳创新发展关乎航空运输业的切身利益；从社会角度来看，航空动力的减碳创新发展有助于气候温控目标的实现，从而降低极端天气发生的频率和生物的灭绝速度，是履行自身社会责任的应有之义；从技术角度来看，减碳创新发展将伴随着大量“换道超车”机会的涌现，我国的航空动力行业要

想在此新一轮产业革命中把握机会，关键在于减碳技术的科技创新。

航空动力减碳创新的主要技术路径

航空动力领域实现降低碳排放主要采用两种技术路径，如图2所示：一是基于现有技术进行渐进式改进，提升燃油效率，当前燃油效率平均每年提高2%，难以在规定时间内实现真正的脱碳目标，即2050年时将碳排放量减少至2005年的50%；二是变革性发展，采用低碳排放的新型能源，届时可满足碳排放的要求。

提升燃油效率的渐进式改进

渐进式改进提升燃油效率主要有两种方式：一是提高推进效率；二是提高热力循环的效率。

从航空涡轮发动机的原理来说，提高推进效率需要降低排气速度，主要有3种方式：一是涡桨发动机在低速飞行时有很高的推进效率，以及涵道比的增大显著提升了涡扇发动机的推进效率，从而改善了高亚声速飞行时燃油经济性；二是采用分布式推进技术，通过以适当数目的中型或微型的推进器，代替常规布局中的2个或4个集中安装或吊挂在机翼的推进器，提高整个系统的等效涵道比，以及吸取机翼表面的边界层提升推进效率；三是采用开式转子技术（等效涵道比为25~60，远大于现在涵道比10左右的最新商用窄体机的动力），在飞行马赫数（ Ma ）为0.8的巡航状态下，开式转子的推进效率较传统的带有机匣的涡扇发动机大幅提高，而涡扇发动机受到短舱质量、阻力、管道损失的限制，无法达到对应最小耗油率的风扇压比，如图3所示。

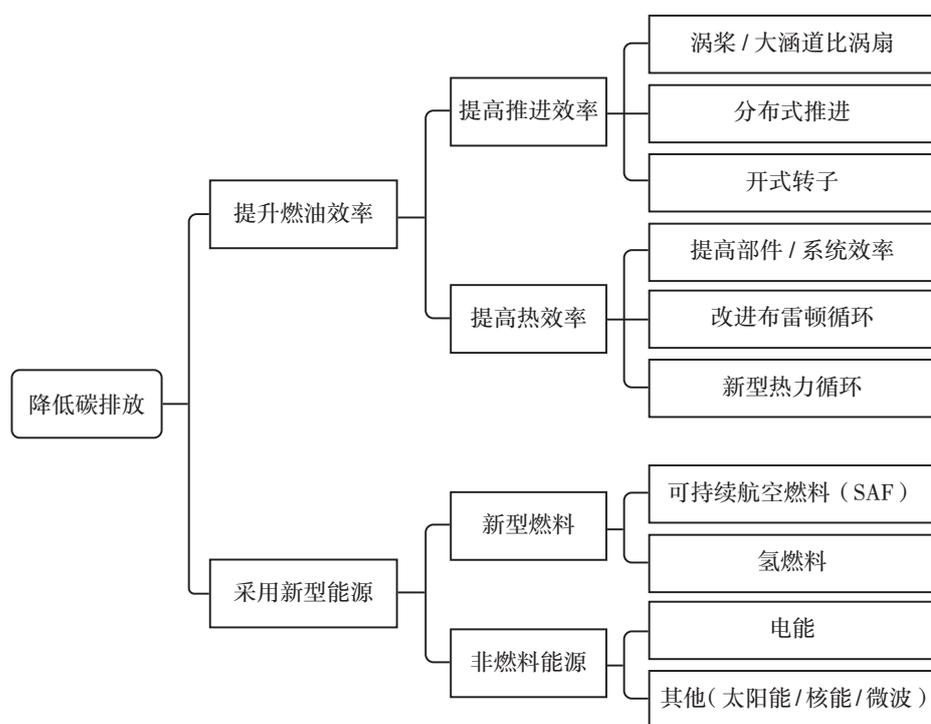


图2 航空动力降低碳排放的主要技术路径

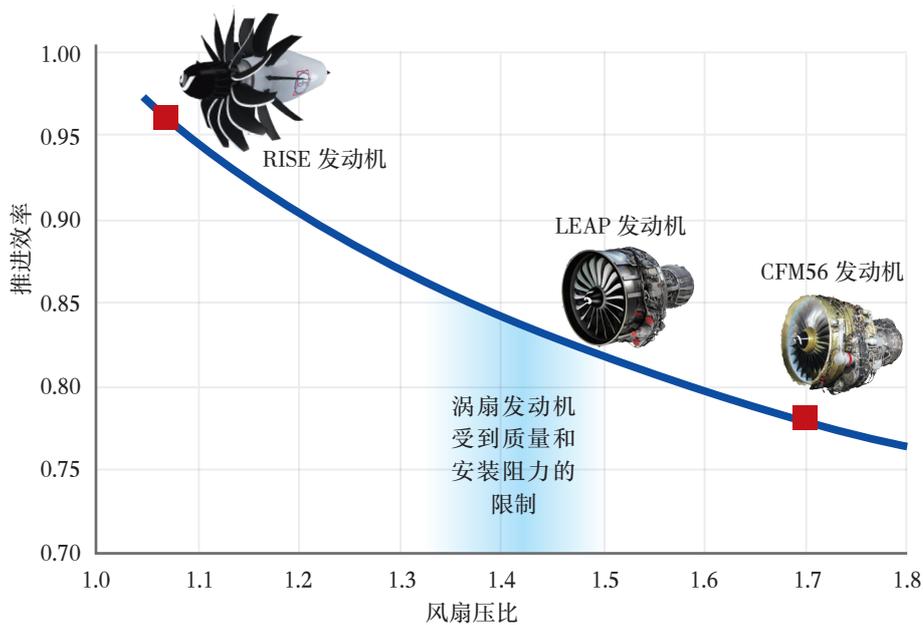


图3 开式转子与涡扇发动机推进效率对比 (Ma0.8)

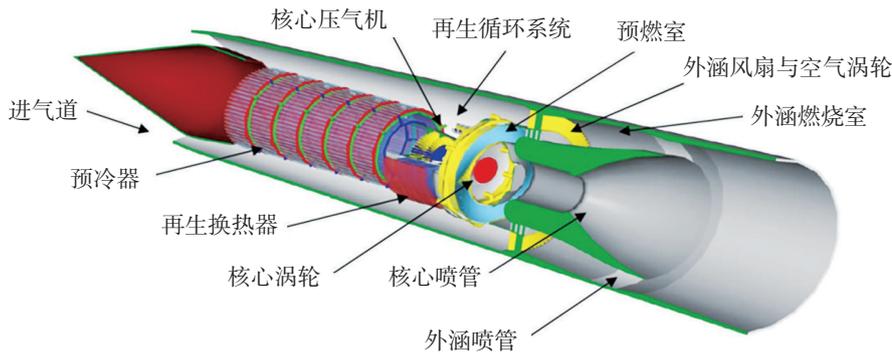


图4 “弯刀”发动机部件组成示意图

航空发动机作为热机，目前其热效率为25% ~ 40%，提高其热力循环效率主要有3种方式：一是提高部件或系统效率，使得实际循环的损失减小，更接近理想的布雷顿循环，从而得到更大的热效率；二是对传统的涡轮发动机的布雷顿循环进行热力循环子过程局部改变，以超越传统循环的理论限制，提高热效率，如“弯刀”（Scimitar）强预冷发动机（如图4所示）在常规压气机前增加以氦为换热工质的预冷器，又如采用间冷回热技术增加压缩空气中间冷却和排气回热两个过程；

三是采用新型的热力循环，如爆震发动机和波转子发动机采用了等容燃烧，爆震涡轮发动机的热效率达到了45%。

采用新型能源的变革性发展

就实现航空动力的“碳中和”目标而言，采用低碳排放的新型能源的变革性发展方式更为可行：一是采用新型燃料；二是采用非燃料能源。

在新型燃料方面，主要有可持续航空燃料（SAF）和氢燃料，增加SAF的供应和使用，并将氢作为未来的一种燃料，正是近期7家航空制

造企业CTO在伦敦发布的联合声明中所提及的核心技术领域之一。可持续航空燃料与传统燃料相比，全生命周期内可减少80%的二氧化碳排放，并且SAF仍属于航油，适用于绝大部分现役飞机和发动机，无须对发动机做出结构设计上的改变，只需替换油品即可，且可与航空煤油混合使用，当前制约SAF大范围使用的障碍是成本和产能问题（目前SAF成本为航空煤油的2.5 ~ 8倍，产量仅占全球商用航空燃料的0.1%）；氢燃料代替化石燃料可实现二氧化碳零排放，且氢燃料的能量密度大约是航空煤油的3倍，氢燃料既可直接作为航空涡轮发动机的燃料来使用，也可用作燃料电池的能量来源，通过燃料电池转化为电能后再驱动推进器为飞机提供前进动力。

在非燃料能源方面，可采用的方案主要有电能和其他能源（如太阳能、核能、微波等）。电推进技术是目前确认的不会在飞行中产生排放的替代方案；而其他能源在飞行中也不产生排放，目前也在探索研究中。

结束语

“碳中和”目标对航空运输业提出了巨大挑战，实现这一目标的关键在于航空动力技术的创新发展。针对“碳中和”目标，航空动力领域采用传统的提升燃油效率的渐进式改进技术路径将难以在规定的时间内达成，需要采用低碳排放的新型能源（新型燃料或非燃料能源）等变革性发展的技术路径。

航空动力

（韩玉琪，中国航发研究院，高级工程师，主要从事航空发动机综合技术论证）