

中国通用航空中小型发动机市场概述

Small and Medium-Size Engines Market Review of China General Aviation

■ 王翔宇 / 中国航发研究院 张平平 申余兵 / 中国航发动研所

在建设民用航空强国以及通用航空产业快速发展的新时期，国产中小型发动机市场占有率低、型谱不完善的问题依旧存在，尽快打破国外制造商垄断、实现通用航空动力的自主发展时不我待。

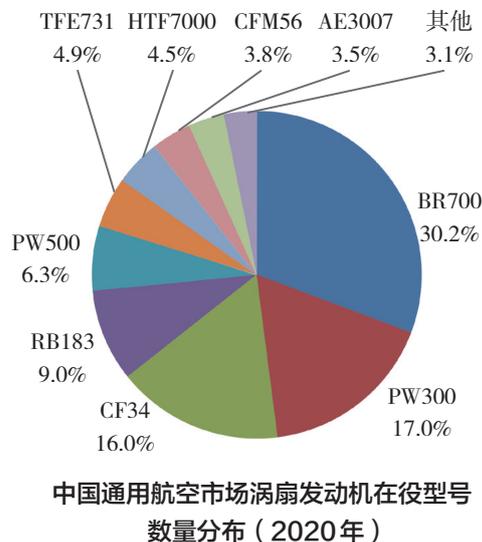
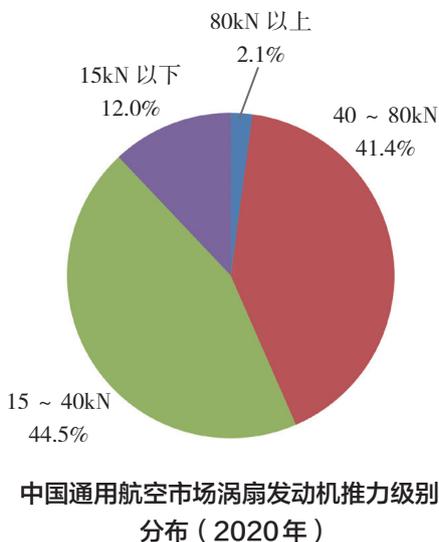
全球航空业至今仍未彻底走出新冠肺炎疫情的阴霾。凭借着出色的抗疫表现，2021年中国通用航空飞行作业时间达到118万h，同比增长20%，超过了2019年的106万h，为历史最高水平。在役通用航空飞机和发动机的数量将有望分别突破3000架和4000台，较疫情前机队规模扩大8%左右。在“十四五”取得良好开局的同时也必须认识到，长期以来我国通用航空市场的巨大需求与通用航空产业发展滞后的矛盾仍旧突出，与运输航空并称为“民航两翼”的通用航空将是后疫情时代实现多领域民航强国目标需要发力突破的重要战场，而作为通用航空飞行器的主要动力装置，中小型发动机对于通用航空产业的支撑作用也将越发显现。

涡扇发动机

在通用航空领域，中小型涡扇发动机主要用来配装市场价值相对较高的喷气公务机。根据睿思誉（Cirium）公司的统计数据，截至2021年年初中国在役涡扇发动机635台（不含备发，下同），为309架喷气公务机提供动力，除三发的“猎鹰”7X/8X/900外均为双发配置。罗罗公司的BR700系列发动机

占据了市场份额的30%，该型号起飞推力为65kN左右，对应的飞行平台主要是“湾流”G550/650和“环球”5000 / 6000等航程在9000km以上、可满足洲际飞行需求的远程大型公务机。普惠公司的PW300和GE公司的CF34在役量紧随其后，前者在“猎鹰”7X/8X、赛斯纳680和“湾流”G200等机型上得到应用，而后者70%以上的配装对象则是以庞巴迪CRJ100 / 200 / 700为代表的支线机改公务机。与欧美市场完全不同的是，那些不需要在拥挤的商业机场起降、能够给客户提供更多弹性和自由度的轻型公务机在国内受众极小，机队占比仅为15%左右，这也使得推力范围在15kN以上的涡

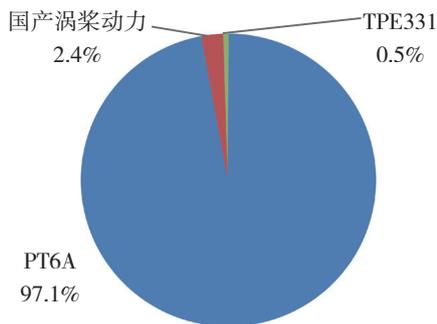
扇发动机成为了中国喷气公务机动力市场的绝对主体。出现这种情况的主要原因在于国内公务飞行市场处于起步阶段，公务机以其远高于其他通用航空飞机的购置和运营成本被更多地定位成超级富豪个人身份或者大型企业雄厚实力的象征，对“面子”而非“里子”的追求使得高端机型更易受到青睐，特别是新冠肺炎疫情初期一些高净值客户空前暴涨的包机服务需求一度将这种倾向推到顶点。正是在这种市场环境下，中国商飞在ARJ21支线飞机基础上研发了最大航程为5500km、12~29座的CBJ公务机，于2021年9月首次亮相珠海航展，如何加快实现其配装的CF34发动机国产化替代



再次引起了业界的广泛讨论。考虑到更先进更高效的PW1900G发动机随着E190/195-E2飞机问世以来取得了良好的反响，未来CF34发动机的市场空间有被逐渐压缩的态势，与之对标的国产公务机动力同样也面临更加严峻的竞争挑战。

涡桨发动机

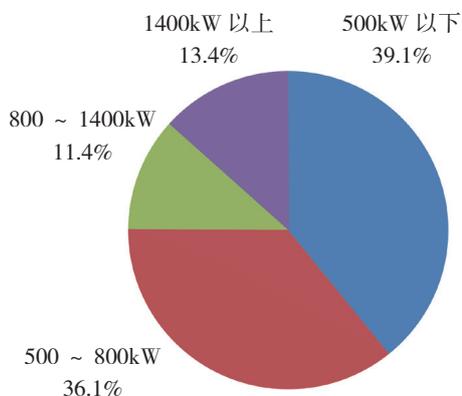
截至2021年年初，中国在役中小型民用涡桨发动机454台，97%以上的市场份额均被普惠公司的PT6这一型产品所占据，覆盖500~1200kW中等功率范围，在公务机和多用途固定翼飞机（如航空摄影、农林播种、测绘巡查和人工降水）中得到了极为广泛的应用，涉及单发的赛斯纳208、PC-12、AT500/800，以及双发的“空中国王”90/350等在内的10余个飞行平台。事实上，不仅仅是在中国市场一骑绝尘，PT6系列自投入市场至今50多年以来成为了全球应用最普遍的涡桨发动机，所配装的飞机类型比其他任何一种推力/功率级别的发动机（包括航空活塞式发动机）都多。2022年2月，奥地利钻石飞机公司宣布旗下全球首架全碳纤维材料制造的DART-750多用途涡桨飞机不再选用乌克兰马达西奇公司的动力产品，而是配装PT6A-25C发动机以促进其在欧美市场的推广。4月，法国飞机制造商大合（Daher）公司展示了其最新一代超高速单发涡桨飞机TBM 960，选用PT6系列最新款的PT6E-66XT提供动力，不但从起动到停机均采用创新的桨发单杆控制系统、大大降低了飞行员的操作量，而且该发动机的可靠性和耐用性也得到进一步提升，预计返厂大修间隔将从3500h



中国通用航空市场涡桨发动机在役数量分布 (2020年)

增加到5000h。就在普惠加拿大公司将PT6系列的发展推向新高度之时，由GE公司旗下Avio公司开发的下一代涡桨发动机“催化剂”(Catalyst)也于2021年年底完成首飞，涡桨动力新旧交替的市场格局有可能在未来2~3年内出现。

作为过去半个世纪以来在欧洲自行设计、开发和制造的首型涡桨发动机，“催化剂”较PT6A的耗油率下降了10%，最大功率提升了20%，在兼容可持续航空燃料(SAF)的同时具备向军用领域扩展的潜力。相比之下，目前国产通用航空涡桨发动机仍以相对老旧的第二代为主，在役数量少，性能也差强人意，仅为不足10%的国

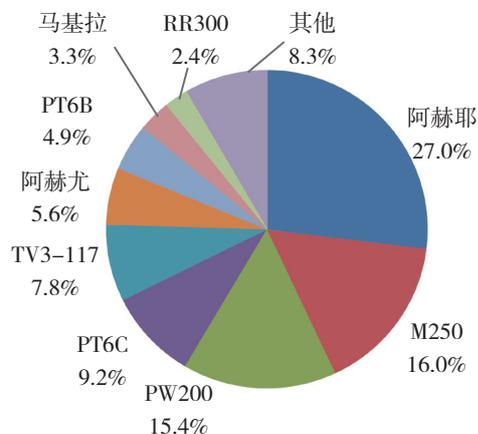


中国通用航空市场涡桨发动机在役数量分布 (2020年)

产涡桨固定翼飞机提供动力。一方面随着AG600大型水陆两栖飞机不断取得市场新突破，配装国产涡桨动力的“三防”能力提升和适航取证相关工作已经显得十分紧迫；另一方面国产涡桨发动机功率量级集中在600kW以下和3000kW以上这两端，缺乏直接对标PT6A和“催化剂”的中等功率产品，从某种意义上说这更能代表当下通用航空涡桨飞机（3~5t级单发或6~10t级双发）的主体动力需求。

涡轴发动机

2021年年初，国内在役涡轴直升机为662架，配装的涡轴发动机为986台，疫情前二者的年化增长率均在20%左右，接近全球发展速率的10倍，是我国发展最为瞩目的一个通用航空细分市场。起飞功率不超过800kW的涡轴发动机占据总量的2/3以上，其中500kW以下的小功率涡轴发动机372台，代表产品主要有配装贝尔206、贝尔407和恩斯特龙480等轻型单发直升机的M250-C发动机以及为贝尔427、贝尔429和H135等轻型双发直升机提供动力的PW200发动机。而在500~800kW区间赛



中国通用航空市场涡轴发动机在役型号数量分布 (2020年)

峰集团的阿赫耶 (Ariel) 发动机占比超过了75%，对应为8型、200架以上的直升机，也是目前国内在役最多的一型涡轴动力产品。PT6C则几乎垄断了800 ~ 1400kW功率区间，在役数量接近100台，全部配装AW139中型双发直升机，不过该发动机主要针对1300kW市场，1000kW功率级发动机仍是一个市场空白。1400kW以上的大功率涡轴发动机市场份额为134台，占据发动机总量的14%，TV3-117的优势仍旧较为明显，而在全球市场表现亮眼的CT7发动机在国内则似乎是中规中矩。

特别需要注意的是，涡轴发动机大部分市场增量仍由进口产品主导，在役的国产发动机只有配装AC311/312的涡轴8系列和配装AC352的涡轴16两型，据睿思誉公司统计的在役量尚不足30台，约有40%的国产直升机采用的是国外动力装置。国内轻型直升机机队数量激增显著拉抬了800kW以下涡轴发动机的市场行情，M250、PW200以及阿赫耶等产品仍旧处于成熟期的巅峰，牢牢占据市场主导地位。在这种情况下近几年数量增长很快、已经逐渐接近大功率发动机机队规模且产品存在断档区间的中等功率发动机市场将是国内发动机制造商大举进军通用航空动力领域的一个难得的突破口，作为继中法合作的涡轴16之后我国又一型具有自主知识产权的涡轴发动机产品AES100的发展前景值得期待。

2021年6月，赛峰集团的阿拉诺 (Arrano) 发动机已获得美国联邦航空局 (FAA) 颁发的型号合格证，并随空客公司最新直升机H160投放市场。该发动机同样定位在阿赫耶

与阿蒂丹 (Ardiden) 之间1100 ~ 1300kW的中等功率量级，能够降低10% ~ 15%的燃油消耗，采用的新一代数字式控制系统可进一步提高飞行响应能力。虽然H160的前身AS365和EC155在国内市场表现差强人意，从阿赫耶这样的中小功率发动机到阿拉诺这样的中等功率发动机也需要运营商在使用维护上进行调整适应，不过为了更好地应对未来中型直升机/中等功率发动机市场的变化与竞争，应更多地从专业化使用的角度设计生产，即在所谓多用途直升机/发动机的基础上具体使用场景需求 (如热门的警用执法和医疗救护) 进行改进，更好地体现出国内市场的针对性。

活塞式发动机

活塞式发动机一般用来配装超轻型直升机和小型固定翼飞机，性能与燃气涡轮发动机相比较弱，不过也具有购置成本低、易于维护的优点，普遍应用于飞行培训、农林作业和航拍观光等诸多领域。截至2021年年初，我国在役活塞式直升机在500架左右，全部为单发直升机且超过80%的产品是在最近10年交付的，其中罗宾逊公司的R44直升机占据了总量的60%以上，也是目前国内在役量、交付量最大的直升机产品。而配装的活塞式发动机全部来自莱康明公司，包括315台O-540系列发动机 (配装R44)、186台O-360系列发动机 (配装其余各型活塞式直升机) 以及5台O-320系列发动机 (已停产)。活塞式直升机/发动机市场的垄断、独占特征非常清晰，虽然产品总量不如涡轴直升机/发动机，但是单个型号的市场数量和份额却

是涡轴直升机/发动机完全无法达到的。考虑到活塞式直升机起飞质量一般在600 ~ 1200kg，相应的发动机功率为130 ~ 200kW，基本上填补了涡轴发动机在200kW以下的空白，呈现出较明显的互补态势。

活塞式固定翼飞机则占据了国内通用航空机队总量的1/3以上，其中超过85%的产品为单发配置。作为全球航空业最为长寿且产量最多的机型，赛斯纳172在国内也一如既往地延续了这种强劲的市场表现，相应地也带动了O-360发动机的旺盛需求，在役量达到了334台。钻石飞机公司自行投资研发的Austro发动机是当前DA40/42系列活塞式飞机的标配动力，市场份额约为O-360的一半，由于历史的原因还有相当数量 (8%) 的钻石飞机依旧采用德国蒂勒尔特公司的“百夫长”系列发动机。更多用于无人机动力的Rotax 912发动机数量占比排名第三，虽然市场份额仅为11%，但根据亚翔公司的统计数据，该发动机在国内多达21型活塞式飞机上得以应用，远超其他动力产品。总的来看，活塞式发动机在200kW以下功率量级有着燃气涡轮发动机不具备的性价比优势，仍将是未来相当长的一段时期内轻/小型通用航空飞行器的主要动力装置，当然该领域也是与全电/混合电推进系统竞争的焦点。

市场特点与展望

相比商用航空，通用航空运营资产较轻，飞行成本也低得多，天然的多用途属性使其在纯粹的商业活动之外还能够承担很多的工农业生产使命与民生功能，同时分散的制造商、运营商架构也带来了较强的市场稳定性，即

便是在新冠肺炎疫情的冲击下也未出现大规模的机队封存、交付停滞的情况，显示了较强的市场鲁棒性。而这也意味着，虽然全球通用航空市场需求远未饱和（特别是发展中国家），但在政治经济局势越发波谲云诡的背景下出现爆发式扩张的可能性同样微乎其微。不考虑电动飞行技术进步对通用航空市场的根本性变革，未来通用航空市场的发展既不会像某些朝阳产业那样群雄逐鹿、剧烈竞争，也不会像某些夕阳产业那样止步不前、日渐萎缩，平稳增长将是其后续发展的主旋律。

当然也必须认识到，我国通用航空市场仍处于高速发展时期，即便是在新冠肺炎疫情前国内经济呈现新常态、国内生产总值（GDP）增速有所放缓的情况下，通用航空服务的强烈需求反而逆势而上，年化增长率甚至保持在前所未有的15%以上，保守估计未来至少还有10年以上的市场机遇期，也很可能是同期全球最活跃的一个市场。随着国民经济的进一步高质量发展，国内企业数量快速增长成为了通用航空市场的主要参与者，日益扩大的高净值人群规模对购买或租赁通用航空飞机产生了强烈的意愿，有力带动了公务飞行、城市空运、私人飞行以及飞行培训等领域的市场需求，明显改变了之前国内机队偏重于工农业生产、执法救援的应用结构。

目前，国产中小型航空发动机市场占比在1%~2%，甚至还不到国产通用航空飞机份额的1/3，产品谱系很不完整，与整体市场规模井喷式扩大形成了鲜明的对比。可以说在这样广阔的市场空间下，尽快全面且彻底覆盖国产高端通用航空

飞机的动力需求（特别是1500kW以下功率等级涡轴/涡桨发动机及中大型公务机用涡扇发动机）将是国产中小型民用航空发动机发展至为关键的一步。此外，过去的10年全球商用飞机/涡扇发动机经历了一场令人印象深刻的更新换代，不过与此同时通用航空市场似乎稍显平静。那些非常成熟的产品依旧是市场需求的主导力量，甚至20年以上机龄产品的保有量几乎与最近10年的交付量持平，可见就算是“催化剂”这样的新产品也无法像LEAP和PW1000G那样在短时间内改变整体机队结构，后来者想要进入这一产品变革缓慢的市场并占有一席之地可能面临更大的困难。

相比通用航空飞机市场，中小型航空动力产品份额更加集中、少数制造商垄断的趋势更加明显。数据表明一型中小型航空发动机衍生出的子型号可为多型通用航空飞机提供动力，而反过来通用航空飞机却很少选用多型发动机。优秀的中小型航空动力产品具有强大的渗透力，发动机市场比飞机市场更体现了胜者通吃的特点。市场上每一类推力/功率等级中小型发动机几乎都有唯一一型、或者最多两型发动机产品占据支配性地位，同时几乎所有保有量排名靠前的发动机在交付量上仍旧保持着优势。产品的垄断同时带来了企业的垄断，在国内通航市场的中小型民用涡扇发动机、涡桨发动机和涡轴发动机这3个主要细分领域，普惠公司一家甚至占据了40%以上的份额。业界普遍认为依托全新的通用航空飞行平台对于国产动力产品打入市场有很大帮助，否则直面那些成熟产品的选发竞争

必将是一场苦战。

结束语

《“十四五”民用航空发展规划》明确提出了构建我国运输航空和通用航空一体两翼、覆盖广泛、多元高效的航空服务体系，通用航空有望成为我国经济发展的新增长点。然而，低空空域资源供给不足、运营基础设施建设滞后以及产品严重依赖进口成为了制约通用航空产业快速健康发展的三座大山，特别是最后一点，2022年2月底爆发的俄乌冲突更是使业界清楚地认识到在欧美诸国无所不用其极的制裁面前，航空产业的自主发展、航空市场的国产化保障有多么重要。经过多年的发展，国内面向通用航空市场的中小型航空发动机的研制已经具备了坚实的技术基础，在相关支持到位的前提下较短时间内完成产品研制、快速投放市场参与竞争是完全有可能的，进而从满足国产通用航空飞机急迫的动力需求逐步向通用航空动力产品全领域谱系化布局。同时，还应在中小型民用航空发动机适航取证、成本控制、市场营销等方面加大研究力度，构建适合所研发中小型动力产品成果和商业成功的管理模式，为多领域民用航空强国宏伟蓝图的实现切实贡献行业力量。

航空动力

（王翔宇，中国航发研究院，高级工程师，主要从事航空发动机发展战略研究）

参考文献

- [1] 蔡建兵. 我国通用航空发动机发展思考[J]. 航空动力, 2019(6):12-16.
- [2] 亚翔航空. 2021 China general aviation report.[R/OL]. <https://www.asianskymedia.com/chinaga>.