

先进军民用航空涡扇发动机技术

中航工业动力所副总师 尚守堂

航空发动机是飞机的“心脏”，直接影响着飞机的使用性能、可靠性、经济性、生存力。自从 20 世纪 40 年代初诞生以来，燃气涡轮发动机，特别是后来出现的涡扇发动机就一直是航空飞行器的主要动力装置，并取得了飞速的发展。处于飞机技术最前沿的战斗机的速度已由亚声速提高到超声速，又由超声速发展到超声速巡航，同时机动性和敏捷性也显著提高。为了满足战斗机的超声速巡航能力、良好生存性/隐身性、高机动性与敏捷性和低全寿命期费用等要求，战斗机发动机主要追求高性能（高推重比等）、高可靠性、低信号特征、低油耗等。而民用航空发动机主要追求高可靠性、低油耗、低排放、低噪声等。军用运输机和轰炸机的动力发展需求与民用航空发动机的相近，但同时考虑低可探测性等具有军事用途特征的需求。

美国、英国、法国、俄罗斯和德国等航空工业发达国家都高度重视军民用航空发动机型号研制和先进航空发动机技术的预先研究工作，成功研制了众多航空发动机并在军民用航空领域得到广泛应用，同时持续实施一系列先进发动机研究计划，开发和验证先进航空发动机技术，为未来军民用航空涡扇发动机研制提供了坚实技术基础，并引领世界先进航空发动机技术发展方向。

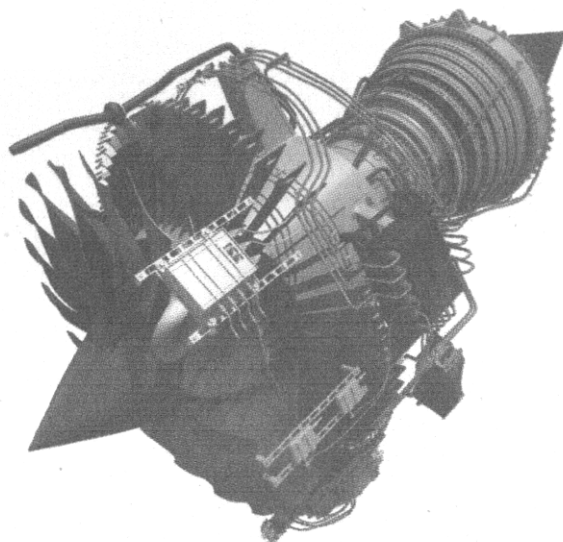
在军用航空发动机领域，20 世纪 90 年代以来，美国、英国、法国和俄罗斯等航空发动机技术先进的国家已经或正在研制 F119、YF120、F135、F136、EJ200、M88、AL41F 等第 4 代军用小涵道比涡扇发动机。与此同时，这些国家也在实施综合高性能涡轮发动机技术（IHPTET）、通用的经济可承受的先进涡轮发动机（VAATE）、先进的军用核心发动机（ACME）、先进的军用发动机技术（AMET）等多项发动机技术研究计划，开发和验证弯掠空心/复合材料的风扇、金属基复合材料整体叶环的高压压气机、陶瓷基复合材料低排放燃烧室、单级且对转的高压和低压涡轮、先进加力燃烧室、推力矢量喷管、智能的发动机电子控制系统等部件和技术，为改进推重比 10 级的第 4 代小涵道比涡扇发动机和全新研制推重比 15 级的第 5 代小涵道比涡扇发动机提供技术基础。

目前，F119、M88、EJ200 等发动机已经或正在利用 IHPTET、VAATE、ACME、AMET 等计划开发和验证的先进气动设计、复合材料整体叶环、推力矢量喷管等技术改型研制全方位推力矢量喷管型和推力增大型发动机。预计这些改进型发动机的推重比将达到 12~15 以上。同时，西方各国也在筹备采用开发和验证的计算流体力学、结构分析、材料、传热、冷却以及控制等技术，预研推重比更高、性能更先进的“第 5 代”小涵道比加力式涡扇发动机。虽然“第 5 代”发动机目前尚未正式列为型号进行研制，但是可以预计未来战斗机发动机的推重比、增压比和涡轮进口温度会更高，部件会更可靠、更耐久和更紧凑，可维护性、经济可承受性及低可探测性会更好，甚至会出现多电/全电发动机、智能发动机、新型变循环发动机、全复合材料发动机等新颖的发动机。

在民用航空发动机领域，自 20 世纪 80~90 年代起，美国、英国、法国、德国等航空发动机技术先进的国家研制和改进了 GE90、PW4084、Trent800、CFM56、V2500、BR715 等大涵道比涡扇发动机，并正在研制 GP7200、GENX、Trent1000、PW8000 等新一代大涵道比涡扇发动机。与此同时，这些国家也在实施超高效发动机技术（UEET）计划、TECH56 技术计划、经济且环保的节能发动机（5E）计划、经济且环保的高效发动机（E3E）计划和 VITAL 计划等多项发动机研究计划，开发和验证结构紧凑的核心机、先进的降低排放与降低噪声技术、新颖结构、轻质高温材料和智能控制技术，为性能高、经济性好、环保性好、可靠性高的未来大涵道比涡扇发动机提

供技术基础。预计近些年，一些技术创新的、绿色的、经济可承受的、智能控制的大涵道比发动机以至超大涵道比涡扇发动机将开始研制，甚至可能投入使用。

世界航空工业发达国家在军民用航空发动机型号研制和先进航空发动机技术的预先研究工作上高度重视，规划清晰，计划明确，成功研制了众多先进航空发动机并得到广泛应用。特别是通过实施一系列先进发动机研究计划，开发和验证先进航空发动机技术，引领先进航空发动机技术发展方向。国内发动机行业应充分抓住历史机遇，密切跟踪掌握先进军民用航空涡扇发动机的技术发展趋势，大力开展研究工作，并积极实施技术创新和管理创新，实现技术创新对型号研制的推动与型号研制对技术需求的有机迭代，促进航空发动机技术的创新、跨越式发展。



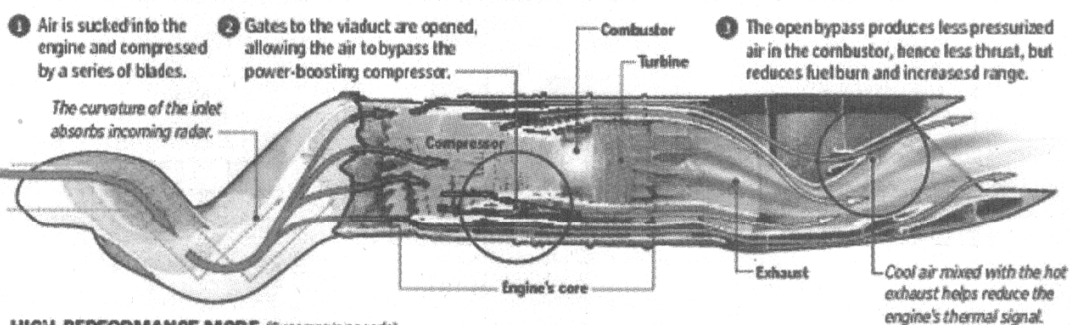
Trent1000 民用发动机结构图。

Next generation jet engine

A new variable-cycle engine the ADVENT program seeks to develop would provide jets with power when they need it and fuel efficiency when they don't by regulating the flow of air in the engine's core.

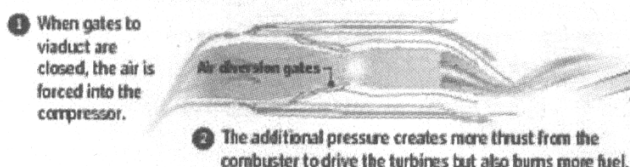
FUEL-EFFICIENCY MODE (Subsonic speeds)

At cruising the engine operates more efficiently when more air moves around the engine, rather than through the compressor.



HIGH-PERFORMANCE MODE (Supersonic speeds)

To provide the thrust needed to achieve high speeds during take-off, acceleration, or combat, more air must move rapidly "through" the engine's core.



The ADVENT engine shown in a prototype.

SOURCES: US Air Force Research Laboratory; General Electric

JAMES ABUNDIO/GLOBE STAFF

美国媒体披露的当前正在研究的先进军用发动机技术，具有更大推力和更低能耗。

