



下一代引擎时代构建韧性

航空公司、MRO（维护、修理、大修）企业和航空航天业如何应对发动机可用性问题

OLIVER WYMAN
A MARSH BUSINESS

商业航空正面临飞机发动机短缺和交付延迟的问题，这可能是由于维护问题所致，并将可能影响该行业至2030年以后。

飞机闲置，发动机排队等待维修，而更多飞机仍积压在制造商的待交付清单中，等待其下一代发动机的交付。因此，尽管有更先进、更高效的设计可供选用，但老旧、燃油效率较低的飞机仍在服役。

停飞积压和发动机供应问题并非源于单一中断，而是由两大相互交织的行业趋势造成：对航空旅行的强劲需求，以及生产和维护新型发动机平台方面的困难，部分原因在于知识产权归属和专有解决方案。这些因素共同作用，从根本上改变了飞机可用性计划，给航空业带来了挑战，这些挑战将延续至当前十年的末尾。

引擎市场的压力正在改变航空业如何规划运营。过去这主要是一个工程问题，如今它已影响从机队增长到资本配置、网络规划以及长期投资等方方面面。随着供应持续受限而维护需求不断上升，航空公司、维护、修理和翻新（MRO）供应商以及航空航天制造商各自面临着不同的一套机遇与挑战。

导致飞机发动机短缺的一些因素是不可预见的。

目前，飞机制造商持有约17,000架飞机的订单积压，而航空公司则努力增加运力以应对需求，但运力增长仍显不足。虽然运力不足和劳动力短缺是部分原因，但最大的瓶颈之一是这些飞机所需新发动机的供应：多个发动机项目因关键材料和零部件短缺、交付周期长，以及大规模制造先进发动机技术的复杂性不断增加而持续延期。这些压力还因售后市场需求增长而加剧，后者在稀缺零部件和供应链产能方面与新增发动机生产竞争。

在传统发动机领域，发动机和模块的短缺，以及寿命有限零部件的长期供货延迟，也正拖累着整个行业的增长。

附件1：原材料成本上升

钛生产者价格指数（示意）2015 - 2025



10%-20%

新发动机-MRO零件的供需缺口

发动机车间交付时间有所增加

35%

用于旧版引擎

150%

新一代发动机

去年材料成本上涨了8.3%。

来源：Oliver Wyman MRO 预测，Statista，IATA，美联储经济数据，Oliver Wyman 分析

加剧了压力的是，目前服役的许多发动机现已进入其运行寿命的后期阶段，需要比最初预期的更多维护，并且需要更长时间、更频繁的维修厂访问。在某些情况下，航空公司不得不安排远超原始商业计划假设的第三次和第四次维修厂访问，从而增加了对备用零件和发动机维修厂访问时长的需求。

尽管预期新一代发动机的性能将有助于缓解下一代机型交付延迟所造成的一些压力，但其中许多平台反而面临着自身耐久性和可靠性问题。尽管这些较新平台在燃油消耗和排放方面有所改进，但它们也导致了非计划停场和翼上时间缩短。结果，老旧发动机的服务时间远超预期。这些因素共同对全球MRO（维护、修理、大修）能力、备件可用性以及航空公司的资产负债表持续施加压力。

发动机短缺正暴露出整个行业的结构性弱点。

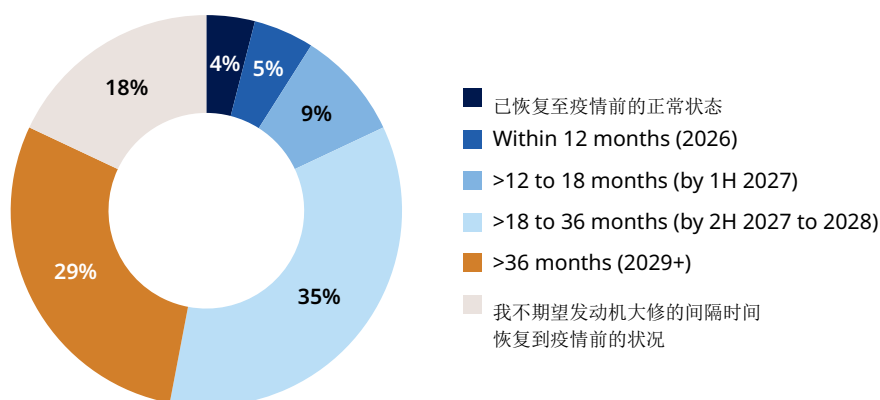
是什么扰乱了发动机生产？短缺的背后是多种趋势相互负面强化。供应链限制持续减缓生产和维修，先进材料的短缺、铸件和锻件的长交付周期，以及关键发动机部件供应商多元化有限，都在削弱整个发动机生态系统的韧性。

与此同时，具有更高涵道比和更高核心工作温度的新一代发动机平台，增加了设计复杂性和对先进材料的依赖，从而产生了一整套独特的性能与维护挑战。虽然随着新发动机平台的引入，早期可靠性有所下降是意料之中的，但这些问题的持续时间比预期的要长。再加上对运行条件更加敏感以及对外航制造商主导的维修依赖性增加，这些挑战持续限制着发动机的可用性。根据 Oliver Wyman 2026 年 MRO 调查，部分行业参与者预计需要超过三年才能完全恢复。

维修、修理和大修（MRO）能力是引擎市场的另一制约压力，因为只有少数专业供应商承担了大部分引擎维护工作。这是因为新型引擎需要专门的工具、劳动力培训以及原始设备制造商（OEM）的认证，使得新增产能令人望而生畏。

图2: Oliver Wyman年度MRO调查——发动机周转时间洞察

您认为当前的发动机大修间隔时间何时会恢复正常，达到疫情前的状况？选择每个选项的受访者百分比 | n=100



注意：此问题排除了6名回答“我的公司重修工期未遇到重大挑战”的受访者。

2026 MROSurvey

航空公司可以通过集成发动机全生命周期管理来应对新的发动机现实。

航空公司正受到当前干扰的严重冲击。我们看到了它们应对延误的五种主要方式，首先是其中最重要的优先事项——延长发动机的使用时间。

第一种方法涉及应用人工智能和实时数据采集，通过改进异常检测、故障预测和维护决策支持来提升预测性维护能力。先进的机器学习模型还可以分析发动机性能数据、检查图像、运行条件和全车队趋势，以比传统方法更早地检测到性能退化模式，从而实现更早的干预和更明智的维护决策。

尽管人类工程判断仍然至关重要，但这些技术使操作人员能够更主动地采取维护措施。其结果是，有望延长飞机在翼时间，减少可避免的拆换，提高发动机可用性，并更好地管理受限车间产能的需求。

第二种策略需要扩大机翼上和机翼附近的维修范围，以减轻系统压力。智能内窥镜等技术和模块更换，允许操作员推迟拆卸，同时不降低可靠性，从而减少对维护计划的影响。与原始设备制造商（OEM）和维修、修理和大修（MRO）供应商密切合作——或许通过伙伴关系或合资企业——也能解锁额外的经批准的机翼上和机翼附近的维修方案、运行延长时间以及数据驱动的维护实践，这些都有助于支持在真实世界条件下更长的机翼上运行性能。

第三，承运人还应以发动机全生命周期为基础制定计划，而非基于一系列维护事件。在规划过程中必须考虑发动机的可用性，将发动机视为长期、端到端的资产，而非一系列独立的维护事件。所有权、租赁、维护和运营相互影响，需要加强技术运营、维护、机队和网络规划之间的整合。航空公司需要全面管理翼上时间、维修厂访问成本和长期资产价值之间的权衡。

第四项指令：航空公司需要将发动机规划更紧密地与工程、机队、网络和供应链规划结合起来。通过更早地承诺发动机引进时段，它们可以确保稀缺的维护能力，而计划的移除则可以减少瓶颈，使维护工作更顺畅地进行。更强的情景规划，结合对上游限制因素（如发动机零部件或维修可用性）的更好可见性，可以帮助航空公司预见中断并保持时刻表的完整性。

最后，航空公司第五个重要的杠杆在于，通过与航空航天制造商和维修、修理和大修（MRO）企业更紧密地合作，在整个供应链中提升更强的韧性。在经济效益允许的情况下，航空公司可能希望储备备用发动机和模块缓冲库存，以提供运营灵活性并降低非计划停用风险。对于传统发动机，航空公司还可以拓展替代采购渠道，例如可用的二手材料以及根据零部件制造商批准计划（PMA）获得批准的零部件。更早地承诺维护时段也能提升可用性，并在发生延误时提供灵活性。

维修、备件及运营（MRO）供应商将面临日益增长的压力，要求扩大其产能和灵活性。

对于MRO供应商而言，当前环境既带来机遇也带来风险。发动机维护需求持续增长，但资本要求、劳动力限制以及原始设备制造商（OEM）的批准途径使扩张变得复杂且不均衡。成功将取决于MRO供应商专注于三个优先事项：做出自律的投资决策，将更大的灵活性融入运营，并通过合资企业（在可行的情况下）与OEM和航空公司建立更紧密的合作关系。

首要任务是进行纪律性的投资，这要求MRO企业专注于具有持久安装基础增长和强劲长期需求的平台，而不是尽可能多地覆盖各种发动机类型。同时支持多个机队可能仍然合理，但过于广泛的扩张会冒险消耗本就稀缺的工具、培训和工程资源。增长计划也需要与现实的OEM批准时间表保持一致。

接下来，MRO企业需要兼顾规模与灵活性。它们需要具备能够快速适应不同工作量的店铺布局、工装和流程，同时投资于发动机变体，以便更有效地应对需求波动和物料限制。MRO企业还需尽早投资于人才储备，以获取专业技能，并与维修链上的合作伙伴更紧密地协作，而非仅仅依赖人员规模扩张。合作与合资企业也能通过提供更快的审批、人才和客户获取途径，同时降低资本与执行风险，来加速扩张。

MRO供应商关注的第三个领域是与航空公司和航空航天制造商建立更紧密的关系。扩展机上和机翼附近服务，并辅以便捷的航空配餐能力，有助于他们在发动机可用性和可靠性方面发挥更积极的作用。这也让他们能够超越交易性维护，成为更长期的 lifecycle（全生命周期）合作伙伴。在某些情况下，这可能需要以牺牲更低的利润率为代价，来换取长期的业务量和稳定性。

航空航天制造商在稳定航空领域发挥着决定性作用

航空航天制造商处于发动机设计、生产和售后市场表现交汇点，使其拥有独特能力影响整个生态系统的发动机供应。我们认为，他们有三项优先事项，以帮助行业适应新的发动机现实：重新思考产品支持、改进价值链协调以及强化供应链。

第一步是重新思考产品支持和售后战略。OEM厂商需要通过选择性许可安排、扩大维修网络合作伙伴关系、加强与独立维修机构的合作以及加快批准维修方案资质认证，来平衡知识产权保护与行业日益增长的维护能力需求。其目标是创建足够的维修能力，以支持不断增长的机队规模，同时保持质量和经济可持续性。

OEM厂商在与航空公司、维修、修理和大修机构（MRO）以及供应商的合作中，也扮演着独特的协调角色。通过支持更灵活的合作模式，他们能够帮助扩大运力，同时在技术问题和可靠性趋势方面提供更高的透明度，从而帮助航空公司和MRO供应商更有效地进行规划并减少运营中断。

最终优先事项是加强和重新平衡供应链。这包括更积极地投资二级和三级供应商，在可能的情况下减少对关键部件单一来源的依赖，并为具有长交付周期的风险较高的组件建立更大的库存缓冲。监管机构也应在不牺牲安全的前提下，通过加速审批途径发挥作用。

生态协作将定义航空业的下一个时代

发动机维护的挑战不仅涉及航空公司、维修、修理和大修（MRO）提供商以及航空航天制造商，供应商、监管机构和租赁方在整个生态系统中都发挥着作用，有助于提升（发动机）产能和可用性。

航空业正适应由供应链限制、发动机技术演进和持续维护需求所塑造的新稳定状态。虽然这带来了挑战，但也为利益相关者重新思考传统运营模式、增强韧性提供了机遇。成功将取决于所有利益相关者的主动行动。网络内各方的协作将增强价值链的韧性，扩大产能和能力，并优化发动机全生命周期的性能。

威灵顿咨询公司（Oliver Wyman）， Marsh（纽约证券交易所代码：MRSH）旗下的企业，是一家以深刻行业洞察、大胆创新和协作方法为核心的管理咨询公司，致力于化繁为简，帮助组织应对其最具定义性的转型时刻。Marsh是全球在风险、再保险和资本、人力资源与投资以及管理咨询领域的领导者，为130个国家的客户提供建议。公司年营收达270亿美元，拥有超过9.5万名同事，通过提供独特的视角，帮助客户建立信心，实现蓬勃发展。

欲了解更多信息，请访问 oliverwyman.com，或在领英（LinkedIn）和推特（X）上关注我们。

亚太地区
+65 6510 9700

美洲
+1 212 541 8100

欧洲
+44 20 7333 8333

印度、中东和非洲
+971 (0) 4 425 7000

作者

Hansa Malpathak

Principal

hansa.malpathak@oliverwyman.com

Doug Carlucci

Partner

douglas.carlucci@oliverwyman.com

Brian Prentice

Partner

brian.prentice@oliverwyman.com

Luiz Pinto

Principal

luiz.pinto@oliverwyman.com

版权所有。未经 Oliver Wyman 书面许可，本报告不得全部或部分转载或重新分发。

在此方面，奥利弗·怀曼对第三方行为概不负责。

本报告中的信息及观点由 Oliver Wyman 整理。本报告不构成投资建议，亦不应被视为投资建议或替代专业会计师、税务、法律或财务顾问的咨询。Oliver Wyman 已尽一切努力使用可靠、最新及全面的信息和分析，但所有信息均未经保证，亦不构成明示或暗示的任何保证。Oliver Wyman 不承担更新本报告中信息或结论的责任。对于因依据本报告或本报告中引用的任何其他报告或信息来源所采取或未采取的任何行动而导致的任何损失，或因任何后果性、特殊或类似损害，即使已被告知此类损害的可能性，Oliver Wyman 亦不承担责任。本报告不构成买卖证券的要约或招揽买卖证券。未经 Oliver Wyman 书面同意，本报告不得出售。