



重振商用飞机供应链

是什么阻碍了商用飞机供应链——以及接下来该何去何从

内容

前言4

执行摘要

5

一、飞机市场规模及前景

9

II. 关键供应链结构

12

OEM价值链的演变与结构 15

MRO市场结构24

III. 供应链挑战 33

行业波动

34

飞机及部件交付延遲

36

维护周转时间增加

38

价格增长40

IV. 供应链挑战的根源 42

主题1：航天航空经济模型

43

主题2：供应链中断 46

主题3：劳动力挑战50

V. 对航空公司的 影响 52

延迟燃料成本效率 53	
增加飞机维护成本	55
引擎租赁成本	56
库存持有成本	56
其他成本	57

六. 结论：针对行业的行动 58

行动 1：提升合作	59
行动2：提升供应链洞察力	60
行动3：更好地利用库存和维护数据	61
行动4：扩展维护和零件供应	63
行动5：支持当前和未来劳动力	64

附件A：成本影响方法 附录A：成本影响方法 66

附录B：术语表 69

前言

航空业无法没有可靠的供应链。然而今天，停飞的飞机、延迟的交付以及不断攀升的维护和租赁成本是系统压力的明显症状。航空公司面临长时间的发动机和零部件等待，而原始设备制造商、维修、修理和大修部门以及供应商则受到产能和劳动力限制以及脆弱供应链的挑战。

飛機認證延遲和發動機可靠性問題正在累積積壓並延長交付時間。同時，航空經濟模式已經失衡，發動機和設備系統OEM從後市場維修和備件中獲得的盈利比例日益增加，而不是新設備銷售。

及时获取可维修零部件和维护对于保持飞机飞行和避免不必要的停飞至关重要。这需要恢复标准的供应提前期和维修周转时间。更强大的供应链也依赖于价值链各环节的透明度和协作。如果没有果断行动，这些瓶颈可能会限制航空业增长和可持续性。

该联合IATA-Oliver Wyman报告阐述了挑战的规模，并提供了改进的实际步骤。扩大能力、开拓MRO售后市场、改进预测和数据可见性，以及培养竞争和替代解决方案将至关重要。恢复供应链不是可选的；它是航空业未来的关键。

执行摘要

供应链挑战是当今商业航空业面临的最紧迫问题之一，航空公司获取飞机和零部件的等待时间都在延长。结果，航空公司被迫重新评估机队计划，并且在许多情况下让老旧飞机飞得更久，这给售后市场带来了更多复杂问题。

¹ 2025年，根据我们的估计，这些挑战可能导致航空公司行业损失超过110亿美元，这是由延迟的燃油成本节约、维护成本增加以及备件库存增加等多种因素驱动的。但这仅代表航空业因供应链挑战所面临的经济和运营影响的一部分；其他影响还包括服务扩张延迟、受影响的飞机和资产租赁率，以及更/长时间的运营中断。

在本报告中，我们详细分析了当前商业航天供应链的结构、挑战及其根本原因、对航空公司的影响以及推动行业发展的潜在措施。

航空市场展望——以及积压订单

航空市场尚未完全恢复到疫情前的规模，但预计到2027年将恢复。问题在于，商业飞机制造业高度集中、分层的结构难以吸收近期发生的多次相互重叠的市场冲击——从新冠疫情造成的混乱到地缘政治冲突导致的物资短缺和劳动力市场紧张。因此，航空公司一方面在等待燃油消耗更低的新飞机，另一方面又面临机队老化带来的更高维护和维修成本。

产业结构与挑战

当前商业航天工业结构始于20世纪80年代，在随后的几十年中通过一系列的整合浪潮逐渐形成。与此同时，航空公司开辟了新市场，刺激了需求，并提升了盈利能力；而原始设备制造商（OEM）在保持飞机前期购置成本相对具有竞争力的同时，为飞机技术带来了重大改进。如今，许多飞机部件都是由原始飞机项目规格独家供应的。维护、修理和大修（MRO）供应链也进行了整合，OEM正致力于越来越多地参与到发动机和部件的售后市场。

¹ 本报告中所有金额均以美元计

持续不断的航空业挑战，从广泛的供应链波动和价格上涨到飞机和零部件交付延迟，正在因当前飞机生产和售后供应链的结构及其相关的商业模式而加剧——这破坏了航空公司的运营。

供应链摩擦的根源

当前供应链挑战的根源主要集中在三个方面。第一个是整体航空航天经济模式导致了不平衡的状况，即原始设备制造商（OEMs）致力于在售后市场（维修和备件）而非新设备销售中获得更大一部分的盈利能力。

第二个问题是供应链中断，包括地缘政治不稳定、原材料短缺以及对军用/公务机的需求增加——这些与商业飞机共享供应链接触点。虽然一定程度的外部压力和供应链波动总是存在，但近年来一系列全球危机相互重叠，造成了一个更大的“窟窿”，减缓了新产能的投资，并使航空航天业更难摆脱困境。

最终，航天工业正受到劳动力市场紧张状况的严重制约。随着一波又一波的老员工退休，行业参与者正努力从年轻一代中招募、留住和培训足够数量的技术工人。

对航空公司的影响

尽管供应链挑战以各种方式影响着航空公司，但我们已确定四大主要影响，这些影响加起来可能使航空公司到2025年的成本超过110亿美元。最大的成本类别是燃油效率延迟（约42亿美元），由于航空公司不得不在等待新飞机积压缓解时运营较旧、效率较低的飞机。其次是额外的维护成本（31亿美元），因为全球机队比应有的年龄要老，而较老的飞机维护成本更高。第三，2025年的过度发动机租赁成本估计为26亿美元，因为必须租赁更多发动机（以弥补发动机在需要维护时在地面上停留时间更长）。除此之外，飞机租赁利率从2019年到2024年底增加了20-30%。最后，2025年的过度库存持有成本估计为14亿美元，因为航空公司增加了备件库存，以弥补不可预测的零部件供应。

行业行动

虽然商业航天产业面临的问题没有速效解法，但相信航空公司、原始设备制造商、出租公司和供应商可以采取步骤，开始应对当前的供需失衡，并为未来构建更强的韧性。这些措施包括：

提升合作 为了提高日程稳定性并尽早洞察供应链问题，以及开发针对特定风险区域的早期预警和联合应急计划，航空公司还可以考虑分享最佳实践并探讨进一步标准化的好处。

提升供应链洞察力 通过端到端的供应链映射和可视化，从而揭示潜在的瓶颈和隐藏的风险。这也将能够实现更好的协作和创新，例如整合数字工具以实现实时追踪和追溯。

更好地利用库存和维护数据： 航空公司拥有大量数据，

² 优化 通过公开的行业论坛等，可以将其用于虚拟“部件共享”的部件访问和库存，以及开发预测工具。这还可以包括用于作为共享知识库的航空维护数据中央存储库。

扩展维护和备件供应 通过提高材料修复能力，以及使用零件制造商批准（PMA）安排和可用服务材料

³ 借助OEM和MRO供应商的支持，这些行动将释放生产力（美国制造协会）。有能力专注于短期供应紧张的关键部件。航空公司还可以更好地利用现有协议中的保修/性能条款。

打开售后市场最佳实践 这将包括支持MRO机构受OEM驱动的商业许可模式约束减少，并鼓励新兴的、独立的MRO计划（以及获取材料和服务的替代来源）。这可以通过多种现有的行业使能者来实现，例如积极使用可再用服务材料（USM）、开发EASA Part 21和/或FAA DER维修说明、STC逆向改装解决方案、更广泛地部署PMA等。

² 举一个例子是 [国际航空公司技术人才库](#)。

³ 注意：PMA—航空当局批准的通用替代零件，作为OEM零件的替代品。USM—经过批准的Part 145组织（在维修、大修和/或检验试验后）认证为可服务性，因此可供再使用。

利用现有的合同赋能 为了增加竞争。这包括已经存在并且所有航空公司及其维修、修理和大修 (MRO) 部门都可以使用的框架。例如，空客供应商支持条件 (SSC) 和波音产品支持和保证协议 (PSAA) 框架及其授权机制，[IATA-CFM发动机维护协议](#) 和 [国际航空运输协会和罗尔斯·罗伊斯就维护航空航天市场竞争最佳实践发表声明](#)，美国联邦航空管理局指令8110.54A，用于无限制访问持续适航性说明 (ICA)，等等。

支持当前和未来的劳动力 通过培训、激励和招聘方面的创新。目前职场上的五代人有着不同的学习风格、技术接触和工薪价值观——劳动力项目和外展工作需要认识到这一点。

我们相信目前的商业航天供应链挑战是可以克服的。一个更广泛、团结的行业响应，更主动、灵活、战略性地进行，将有助于所有参与者更好地准备和应对供应链威胁，同时长期提升效率并降低成本。



SECTION I.

飞机市场规模与前景

商业航空航天市场预计到2025年将超过2300亿美元。尽管这低于2019年达到的2780亿美元峰值，但市场有望到2027年完全恢复其疫情带来的下滑。

级别，2024年交付总量为1,226架飞机，与2019年的1,374架（下降10%）相比，突显生产能力限制。这个瓶颈迫使航空公司延长现有机队的运营寿命，同时推迟机队更新，在某些情况下还会推迟扩张计划。

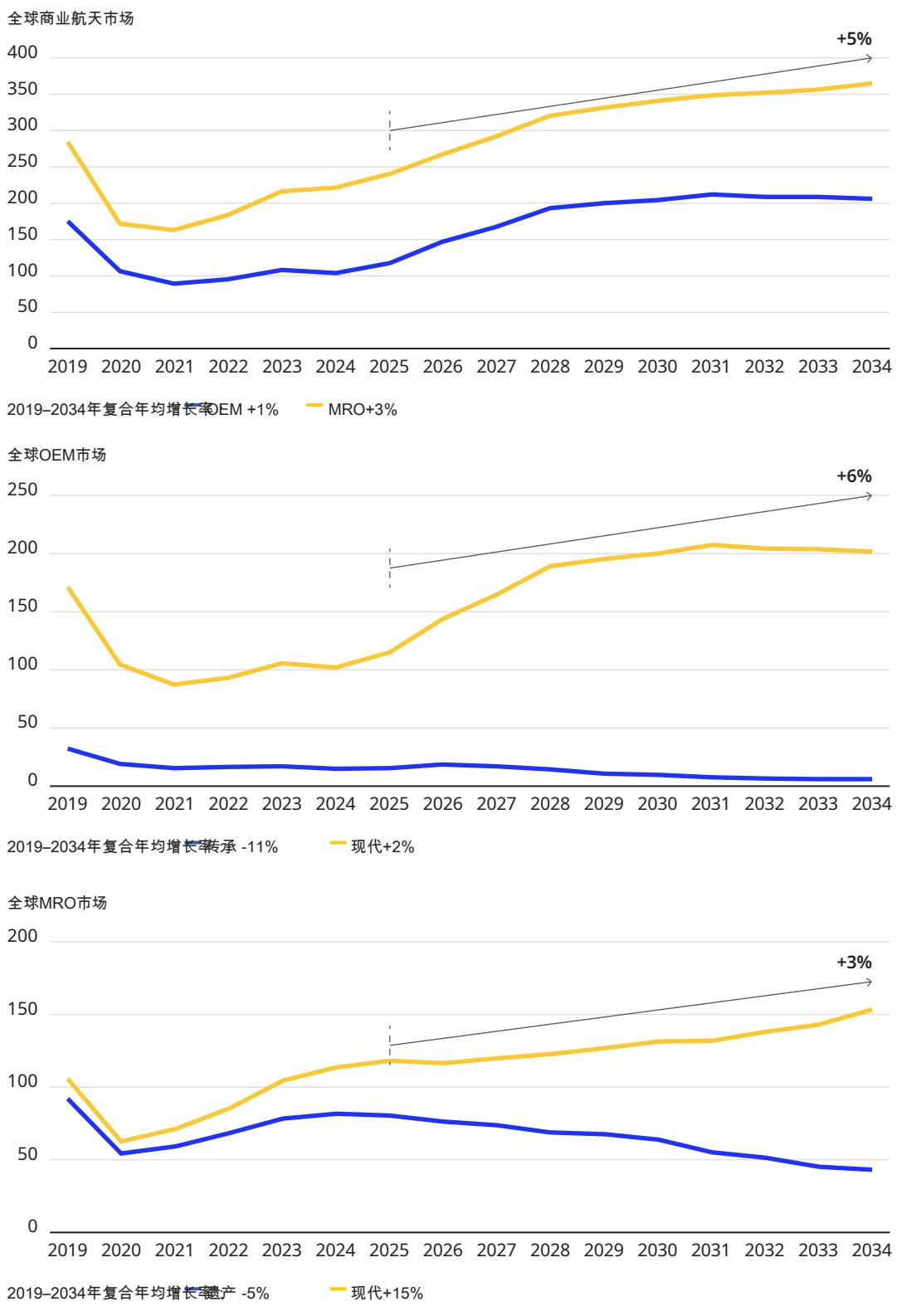
未来十年，预计市场将以每年5%的平均速度增长，其中原始设备制造商（OEM）市场的增长速度将超过维护、修理和大修（MRO）的两倍（见表1）。

MRO市场通常占全球航空航天市场的40%以上，其复苏速度比制造业更快。MRO市场预计将在2025年达到近1200亿美元，并在2030年超过1500亿美元。这种增长是由双重因素驱动的：机队老龄化需要更多维护，以及新飞机的维护需求，这些新飞机正经历磨合期——尤其是，但不仅限于，比预期更早发生的昂贵发动机维修。

全球商业积压量在2024年达到历史峰值，超过17000架飞机，显著高于2010年至2019年间每年约13000架飞机的积压量。尽管订单簿强劲，但原始设备制造商市场尚未恢复到2019年的水平。

OEM市场尚未恢复至2019年水平，2024年交付总量为1226架飞机，与2019年的1374架（下降10%）相比，突显了生产能力限制。

图1：2019-2034年全球商业航空航天、原始设备制造商和维修、修理和大修市场价值
百亿美元，复合年均增长率



来源：Oliver Wyman 分析和 Global Fleet and MRO Forecast

第二节。

关键供应链结构



本节探讨生产和售后供应链结构，并为后续章节中探讨的供应链问题提供背景。已了解这些结构的行业参与者可以继续阅读第三节的供应链挑战。

当今的航空航天价值链是一个分层结构，包含各种组织——每个组织都在该行业扮演着角色（图2）。不同层级的供应商生产关键部件，飞机制造商再将这些部件组装成成品

⁴ 这些飞机随后获得认证 飞机。各种管理机构之前

航空公司和租赁公司将它们投入使用。在整个飞机生命周期中，航空公司和维修、修理和大修（MRO）企业致力于保持飞机适航性，并确保其保持资产价值。本节描述了原始设备制造商（供应商和飞机制造商）和维修、修理和大修（MRO）企业的市场结构和关键动态。

航空公司和维修、修理和大修公司合作，以保持飞机适航性，并确保它们在整个生命周期内保持价值。

⁴ 飞机制造商是指波音、空客、中国商飞、巴西航空工业公司以及ATR等设计并执行飞机最终组装的制造商。

表2：商业航天价值链

非详尽

供应商	飞机制造商	所有者与经营者	维护，维修， 维护和翻新 (MRO)	
一级。				
航空结构件 和主装配	波音	客运航空公司	引擎，机身，航线， 和组件MRO	
发动机原始设备制造商他人		<ul style="list-style-type: none"> • 法国航空-荷兰皇家航空集团 • 美国 • 中国东方 • 阿联酋 • 英航集团 • 印度 • 澳洲航空 • 欧洲航空 • 西南 		
<ul style="list-style-type: none"> • 劳斯莱斯 • CFM • GE • 普拉特 & 惠特尼 		<ul style="list-style-type: none"> • 霍尼韦尔 • 柯林斯 • GKN • 精神 • 苏拉 • Aernnova 	OEMs <ul style="list-style-type: none"> • 劳斯莱斯 • GE • CFM • 苏拉 • 巴西航空工业公司 	
二级。	空客			
组件 和子装配				
<ul style="list-style-type: none"> • 麦哲伦 • 巴恩斯 • 卡门 • 拉托克雷尔 • 蒙大拿航空 • Sonaca 				
三级。	COMAC	货运航空公司	航空公司维修部门	
详细部件和 基本组件		<ul style="list-style-type: none"> • 联邦快递 • UPS空运 • Cargolux • 天图航空公司 • 卡塔尔航空货运 • DHL航空 	<ul style="list-style-type: none"> • 德尔塔技术运营 • 洛克哈德技术 • 土耳其技术 • AFI KLM 	
<ul style="list-style-type: none"> • 卡登斯航空 • 格林-朱德 • 科里 • 摩勒航空 • Silcoms • SKF 				
第4级。	MHIRJ	承租人	独立派	
原材料 铸件和锻件		<ul style="list-style-type: none"> • AerCap • BOC航空 • AVOLON • 空中客车公司 • BBAM 	<ul style="list-style-type: none"> • SR Technics • AAR • 标准航空 • ATS 	
<ul style="list-style-type: none"> • ATI • 翻砂铸造 • C++ • 霍尼韦尔航空航天 • PCC 				
	巴西航空工业公司			
	ATR			
	DHC			
监管机构和行业协会				
国际 民用航空 组织	国际 空中运输 协会	欧洲 航空 安全局	联邦航空 管理	民用航空 管理 中国的

来源：奥利弗·惠悦分析

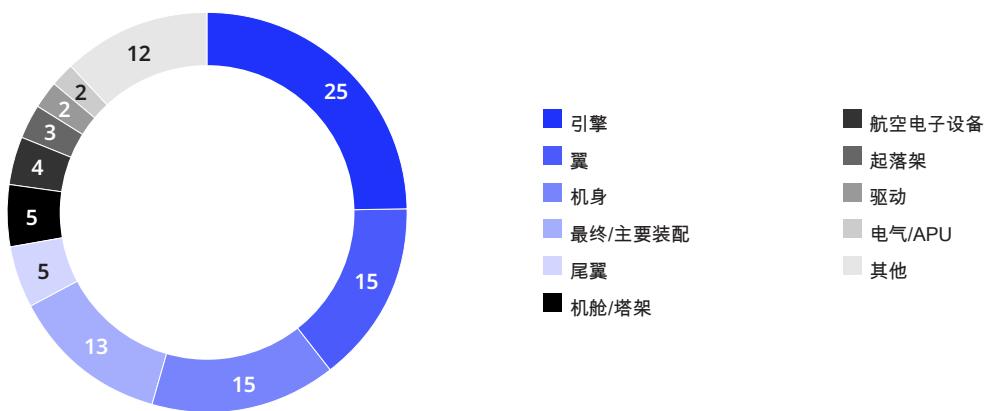
OEM价值链的演进与结构

当前OEM市场结构涵盖所有参与新飞机的研究、开发、设计和制造的相关方。该市场包括飞机制造商和主要系统生产商，如发动机、航空结构件（例如机翼和机身）、航空电子设备、辅助动力单元（APU）、起落架和客舱内部组件。相对价值

这些用于新飞机的每个系统都在第3展品中显示。

这些大部分区域高度集中，仅由少数一级和二级供应商提供服务（见附图4）。OEM市场结构在理解飞机制造商积压订单和零件限制的复杂性方面起着关键作用。

图3：2024年按系统划分的平均新造商用飞机价值占比
在百分比中



注意：为分离主要系统值，已排除原始设备制造商（OEM）的一次性工程（NRE）成本和利润（以新造价值百分比表示）

来源：奥利弗·惠悦分析

图4：前五大供应商按细分市场的市场份额（T1和T2）
分别的市场收入百分比，不包括飞机制造商和发动机制造商



来源：Janes Capital Partners, Counterpoint Research, Oliver Wyman分析

飞机制造商

在20世纪60年代和70年代，飞机制造商维持着垂直整合的运营模式，将控制权掌握在公司内部，并实现了价值链的全程可见性。波音和道格拉斯飞机等主要公司内部自行生产航空结构件、主要系统和内饰，拥有数万名工程师和生产工人，他们靠近最终组装线共同办公。供应商主要专注于制造单个零部件和子系统，工程参与度有限。

欧洲，以及更远的地方。与此同时，数字设计和全球协作工具的进步使飞机制造商能够在国际边界协调复杂的工程项目。这些发展使得飞机制造商整合其供应商基础并将其更大的责任委托给精选的一级供应商既实际又经济上有利可图。

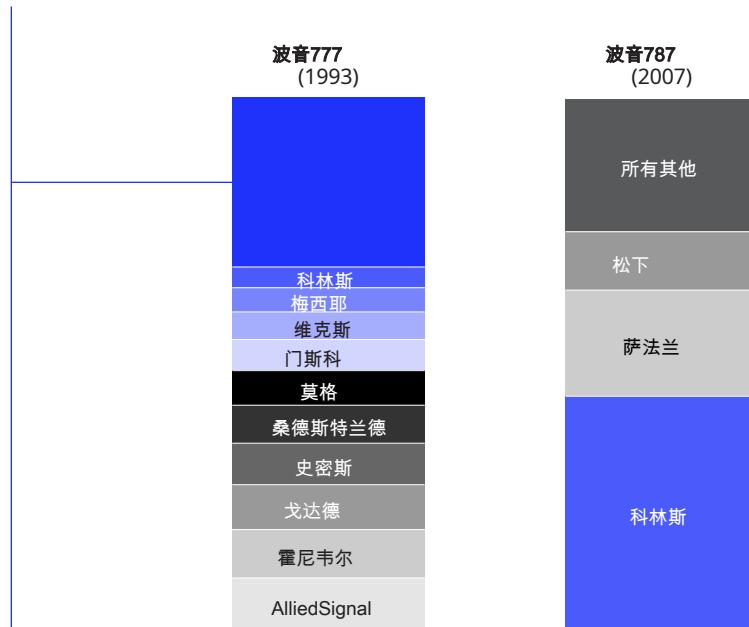
冷战结束和贸易自由化（例如通过1980年关于民用飞机的世界贸易组织协定）为中国、东

庞巴迪和巴西航空工业公司在20世纪90年代通过将重大的工程和财务风险转移给第一级合作伙伴，从而降低了自身的研发成本，开创了这一方法。该模式很快成为行业标准，从根本上重塑了航空供应链，如展位5所示。

图5：供应商整合示例：B777与B787的组件MRO支出

支出百分比

B/E航空
C&D
哈密尔顿
西班牙语瑞士
帕克
JAMCO
利顿
伍德沃德政府
轮廓
Recaro
德里森
波音威奇塔
Avox
卡尔顿
NordMicro
BAE
佩科
科技空间
Cox
起重机
CMC
梅吉特
太平洋科学
伊顿
休斯·特雷特尔



来源：奥利弗·惠悦分析

今天，波音和空客是全球领先的总装商，2024年交付的所有飞机占86%。预计这一领导地位将在未来十年继续，尽管其市场份额预计略有下降，至80%⁵。新兴制造商，如中国商飞（COMAC）⁵预计到2034年将占据约8%的市场份额。剩余的12%市场份额预计将被规模较小的飞机制造商，如空客和ATR所占据。

并为窄体机队中的大多数飞机提供动力。罗尔斯罗伊斯和通用电气专门生产宽体发动机，包括特伦特XWB系列和GEnx、GE9X、GE90。

制造商和发动机制造商在飞机和发动机的初始销售中都提供与标价相比显著折扣。发动机的折扣差异很大，但可以达到80%或更高。然后，发动机制造商期望通过维修、修理和大修（MRO）服务来收回这笔投资，包括备件销售和定期维护，这可以代表超过一半的发动机相关总收入。例如，2024年，通用电气公司（GE）和罗尔斯·罗伊斯公司的MRO服务分别占其总商业收入的74%和66%。发动机制造商的毛利润率在制造方面通常为-5%至10%，在MRO方面为20%至35%。

引擎

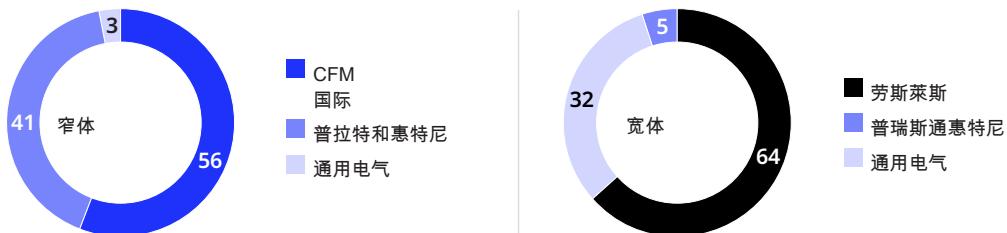
发动机是新型飞机价值中最大的单一组件，这是由于其技术复杂性以及使用了先进材料。商业航天航空发动机市场被四家公司瓜分：通用电气公司和萨弗朗公司各占50%股权的合资企业CFM国际、普惠公司、罗尔斯·罗伊斯公司以及通用电气航空航天公司。

发动机选择根据飞机类型而变化（图7）。空中客车A320是唯一在生产中的窄体机平台，可以选择发动机（LEAP或PW1000G）。在宽体机方面，波音787是唯一在生产中的平台，可以选择发动机（GEnx或Trent 1000）。

如附图6所示，CFM和普拉特·惠特尼主要关注窄体飞机发动机，包括CFM56、LEAP

图6：2024年窄体和宽体新机涡轮风扇发动机市场

OEM所占百分比



注意：百分比基于以美元计的总新建价值份额 来源：Oliver Wyman分析

⁵ 新舟900预计将占中国航空公司机队的比例越来越大，计划到2030年交付量将超过每年200架飞机。截至2024年，新舟900总共交付了16架，然而，由于显著的产量提升障碍

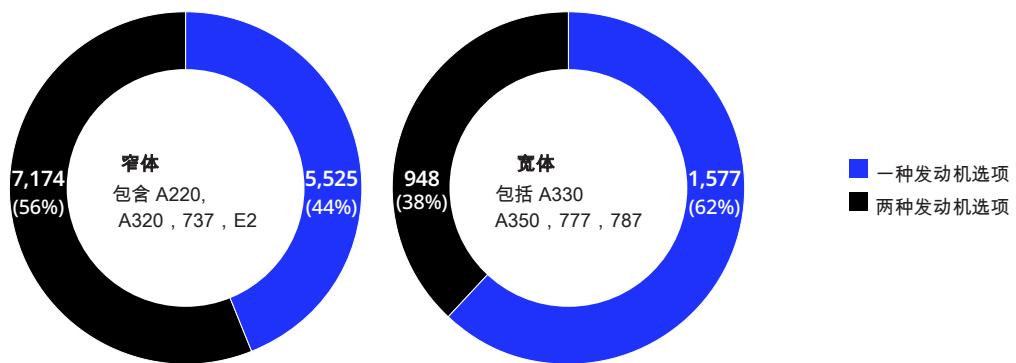
围绕发动机的选择，在可用的情况下，通常基于航空公司对性能特征（如燃油消耗和推力）和维护成本（维护协议和备用发动机/零件定价）的偏好。拥有者在做出发动机决策时，有时也会考虑支持区域冠军，欧洲航空公司选择通用电气或罗尔斯·罗伊斯，北美航空公司选择普拉特·惠特尼或通用电气。

型号合格证，所有者将直接与发动机制造商就性能保证、保修和其他产品支持要素进行协商。这些协商的结果会影响最终的发动机价格。如果所有者可以在发动机平台中进行选择，它将开展发动机选型活动，并直接与发动机制造商签订采购和服务协议。如果没有选择，所有者将尽力与飞机制造商和发动机制造商协商，以获得发动机采购成本、性能保证、保修和其他产品支持要素的折扣。

尽管发动机选项由飞机制造商预先确定并包含在飞机中

图7：按发动机选择划分的飞机积压分布

截至2025年5月的积压百分比



注意：具有两种发动机选项的飞机是A320和787。来源：Oliver Wyman分析

航空结构件

航空结构件市场涵盖了机身段、机翼、门、整流罩和推力反转器等关键飞机部件的设计和制造。市场格局呈混合状态：在第一层级，少数大型供应商负责主要航空结构件总成的生产（附图8）。在较低层级

供应链，航空结构件市场高度分散，全球有数千家企业，主要生产较不复杂的机加工件、钣金件和次要内饰。

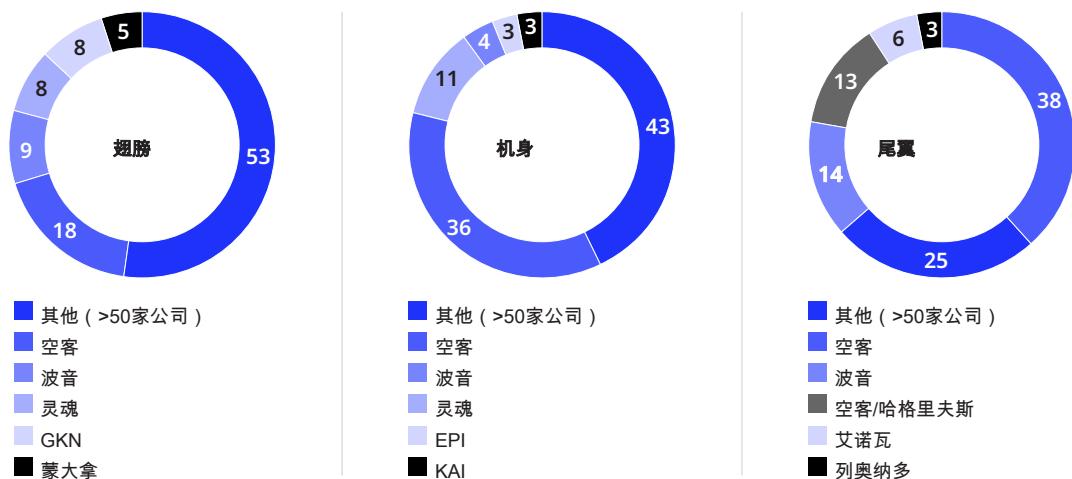
当前结构是过去二十年显著整合的结果。在20世纪90年代末，并持续到21世纪，飞机制造商

他们剥离了内部航空结构件设施，通过收购和整合小型一级供应商和二级供应商，为更大规模的一级供应商提供了发展机会，并将航空结构件供应基础重塑成一个更集中的网络（图9）。

主要飞机制造商在航空结构件采购方面的战略有所不同。自2005年以来，波音公司历史上将其大部分航空结构件制造外包给Spirit AeroSystems等供应商。近来，波音公司已着手将Spirit重新整合到其运营中，一份最终合并协议定于2025年关闭。

图8：2024年部分航空结构件的新建市场份额按公司划分

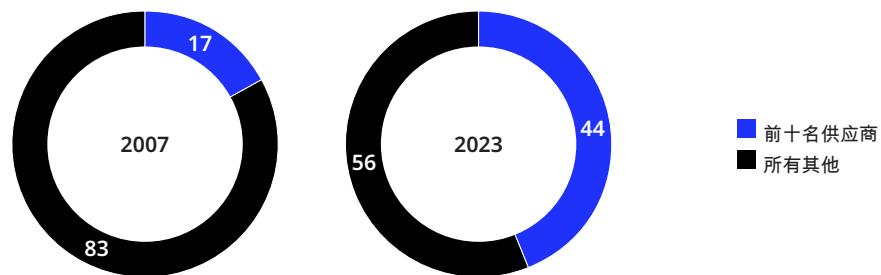
百分比



注意：百分比基于以美元计的总新建价值份额 来源：Oliver Wyman分析

图9：航空结构第二层随时间的整合

总Tier 2收入的百分比



来源：Jane's Capital Partners, Counterpoint Research, Oliver Wyman分析

空客一直推行垂直整合和集中化战略，将机翼等部件的制造和组装纳入内部，以掌控价值链并提升质量。这延续了2021年首席执行官居伊·富尔宣布的航空结构件将成为 [空客的核心业务](#)。空客围绕斯泰利亚航空和 Premium Aerotec 创建了两个集成航空结构件装配业务部门。

在霍尼韦尔和普罗特与惠特尼之间。APU被认为
是卖方提供设备 (SFE)。

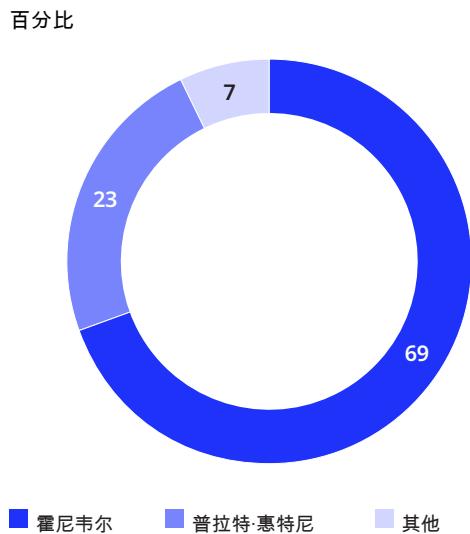
APU供应商直接与飞机制造商合作，并遵循与航空结构 (如上所述) 类似的合同和保修模式，即使在业主有选择权的平台上也是如此。在SSC或PSAA为关键部件如APU提供的保修和性能保证通常由航空公司和 OEM 之间签署的额外承诺函补充。与发动机类似，OEM及其授权的MRO合作伙伴在APU MRO售后市场具有优势，因为APU大修高度依赖部件更换。

航空结构通常是标准配置，航空公司几乎没有选择余地。合同关系存在于制造商和供应商之间。这些部件通常通过与供应商的合作和成本分摊协议独家采购，并包含在机身价格中。制造商负责确保其供应商按时生产，并执行其合同的相关条款和条件。

图10：2024年服务机队中APU市场份额

辅助动力单元 (APU)

阿普发动机市场集中度高：霍尼韦尔约占70%，供应空客A320系列 (包括neo)、A350XWB、737 MAX、777和A220；普惠 (RTX) 约占23%，供应空客A380、787和A320系列 (表10)。波音和赛峰曾于2019年通过成立初版 (Initium) 合资公司试图向市场引入更多竞争，但未能获得市场响应，该计划被搁置。目前，航空公司仅能选择生产中的A320飞机。



注意：以上APU供应商的在役飞机百分比，基于主要的宽体、窄体和区域喷气式飞机。来源：Oliver Wyman分析

起落架

起落架新建供应市场同样集中，一级供应商在长期协议下直接向飞机制造商提供起落架系统。与航空结构和辅助动力单元类似，起落架是SFE，并遵循类似的合同和保修模式。

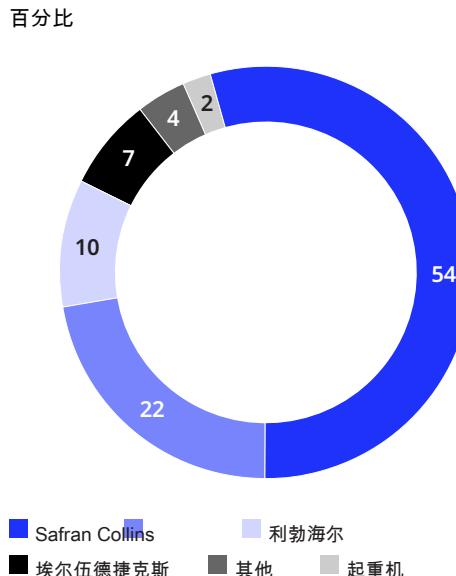
萨fran是最大的供应商，提供A320、A350和787；其次是科林斯（777、787和E2喷气式飞机）；Liebherr（737 MAX）；以及Heroux Devtek（区域喷气式飞机和777/777X）（见表11）。进入壁垒很高——包括漫长的设计和认证周期（5-8年）、重大的模具投资、特殊工艺以及与波音和空客的紧密伙伴关系——这已经阻止了任何新的西方一级供应商在20多年内进入市场。

航空电子设备

航空电子工业在20世纪80年代进行了整合，到1990年时缩减为五大主要供应商。艾利森信号公司通过收购霍尼韦尔在美国扩张，科林斯在与洛克威尔合并后与波音的联系更加紧密。史密斯公司在欧洲发展壮大（现为通用电气航空航天），法国的塞克斯坦航空电子公司（现为泰雷兹）与空中客车关系密切。到2010年代，四大主要供应商——泰雷兹、通用电气、霍尼韦尔和科林斯——各自专注于不同的航空电子领域。

如今，这些供应商提供一体化的航空电子系统，并与航空制造商的新平台开发周期紧密合作，以确保系统兼容性和认证合规性。较低层级的参与者满足特定的客户需求（例如显示、通信、导航和气象雷达），并通过直接的航空制造商关系或第一层分包合同融入供应链。

第11项：2024年新机型起落架供应市场份额按公司划分



注意：百分比基于以美元计的总新建价值份额 来源：Oliver Wyman
分析

鉴于航空电子设备范围广泛，存在多种选择性和方法。飞机的核心安全关键航空电子设备（例如自动驾驶系统包以及某些通信和导航设备）通常是标准功能或SFE，并由飞机制造商独家供应。对于某些SFE航空电子设备，业主可以选择一套选项，就像他们对发动机和APU所做的那样。飞机制造商管理与供应商的关系，并确保设备按时交付生产。

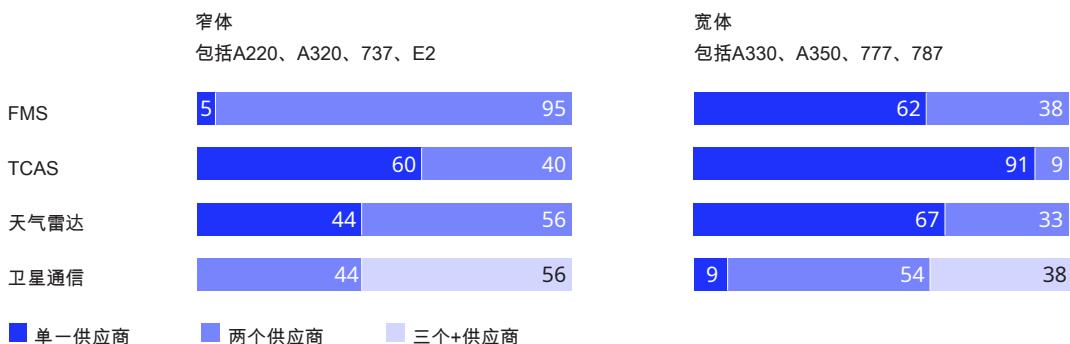
其他航空电子系统是买方-

⁶ 在航空电子技术中，提供设备（BFE）。BFE设备包括飞行管理系统、气象雷达、SATCOM选项和客舱连接服务器等。BFE合同由所有者和供应商之间管理，所有者直接与供应商谈判。所有者对选择合适的设备并确保其及时交付负有合同责任。飞机制造商通过飞机定制目录提供有关可用供应商/配置的指导。此外，BFE通常不包括在机翼价格中。

~30%为宽体机，其余为SFE。在BFE元件中，~70%为客舱内饰，其余为航空电子设备和氧气系统。BFE仅占窄体机（含发动机）基础价格的2-5%，占宽体机价格的8-12%。

据飞机监视器称，按部件数量⁷ 飞机的BFE部件仅占设备的一小部分（~窄体机的20%）

图12：按系统和飞机等级划分的航空电子设备供应商碎片化
截至2025年5月的积压百分比



注意：基于airframer报告的按平台划分的已知航空电子设备供应商。FMS = 飞行管理系统，TCAS = 交通碰撞避免系统，以及SATCOM = 卫星通信

来源：奥利弗·惠悦分析

⁶ 在新飞机交付时安装6 BFE，由每个飞机制造商为每个飞机平台定义。⁷ 基于主零件编号(MPNs)的数量。

船舶内饰

根据更广泛的市场，飞机内饰供应链已经整合，始于1987年B/E航空公司的收购。Zodiac航空航天公司遵循了类似的路径。监管变化和航空业对更轻、更安全机舱的需求在20世纪90年代和21世纪初加速了这一趋势。到2014年，Zodiac和B/E已经完成了数十次收购。这一趋势随后持续发展，包括2018年萨凡收购Zodiac，以及B/E与Collins航空航天公司的整合。

因此，如今的机舱内饰市场集中度较高，仅有少数科林斯、霍尼韦尔、几家主要参与者，包括萨弗、泰利斯和日本航空制造公司。这些供应商在关键细分市场生产多种产品，包括座椅、机上娱乐系统、顶置行李箱、地毯和厨房区域。对于某些专业细分市场，还有一些其他的专业供应商，由于航空公司需要维护和更新机舱内饰以满足乘客期望，该市场正在扩大。

客舱内部大多采用BFE，并遵循BFE合同模式，如前一节所述。飞机可选客舱设备的比例取决于飞机类型：宽体机通常比窄体机更具可定制性。宽体机通常配置为提供不同的机舱等级（如经济舱、经济舱升级、商务舱和头等舱），这需要更高数量的客舱内部材料。在设计窄体机时，航空公司、租赁公司和原始设备制造商优先考虑成本和效率，尽管定制化程度增加（如平躺座椅）正在长航线上逐渐兴起。

机主从制造商批准的供应商目录中选择内饰BFE部件，直接与供应商协商价格、交货时间和定制选项。航空公司通常倾向于机队范围内的标准化，以简化易损件管理和机组人员培训，同时确保选择与品牌和乘客舒适目标一致。承租人更喜欢具有标准化BFE配置的飞机，以保持更高的残值并促进成本较低的飞机过渡。

飞机制造商们曾试图通过波音的梦幻客机画廊和空客的合同供应商计划等项目，推动内饰前设备（BFE）的标准化和简化。这些努力旨在降低飞机制造商认证和整合内饰的复杂性，从而缩短交付周期。但这种方法在限制航空公司选择方面走得太远，飞机制造商不得不放宽限制，尤其是在航空公司开始要求为其飞机提供更多定制服务，包括与竞争对手有所区别的定制商务舱座椅时。因此，飞机制造商现在提供一种“受控定制”的方法，以平衡复杂性和客户需求。

航空公司通常倾向于机队范围内的标准化，以简化备件管理和机组培训

MRO市场结构

航空维修、修理和大修 (MRO) 市场分为四大主要 MRO 服务类别：发动机、机身 (包括改装) 、部件和定检维护 (图13) 。

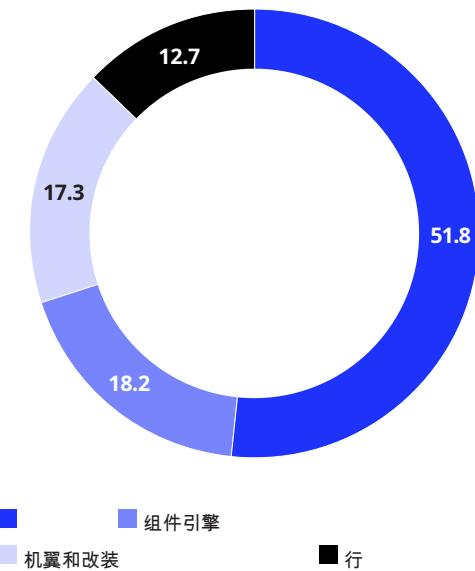
发动机维修保养 (MRO) 是最大的 MRO 细分市场。随着新的发动机技术经历首次车间检修，而老旧机队保持更长活跃期，发动机维修保养 (MRO) 在 MRO 支出中的比例正在增长，因而老化成昂贵的车间检修。发动机维修保养 (MRO) 从 2019 年的 48% 市场份额增长到 2025 年的 52% 。发动机维修保养 (MRO) 可分为发动机大修、零件维修和附件维修。大修通常是高度可预测、基于间隔的维护活动。

飞机的结构完好性。这些检查通常在固定的日历间隔时间进行，但也可能由飞机的利用情况驱动。

线路维护，最小的单元，主要包含劳动密集型、常规的日常检查和通常由航空公司 (在航空枢纽) 内部或通过合同维护在基地外站进行的小型维修。

图13：2024年各业务板块MRO支出

支出百分比



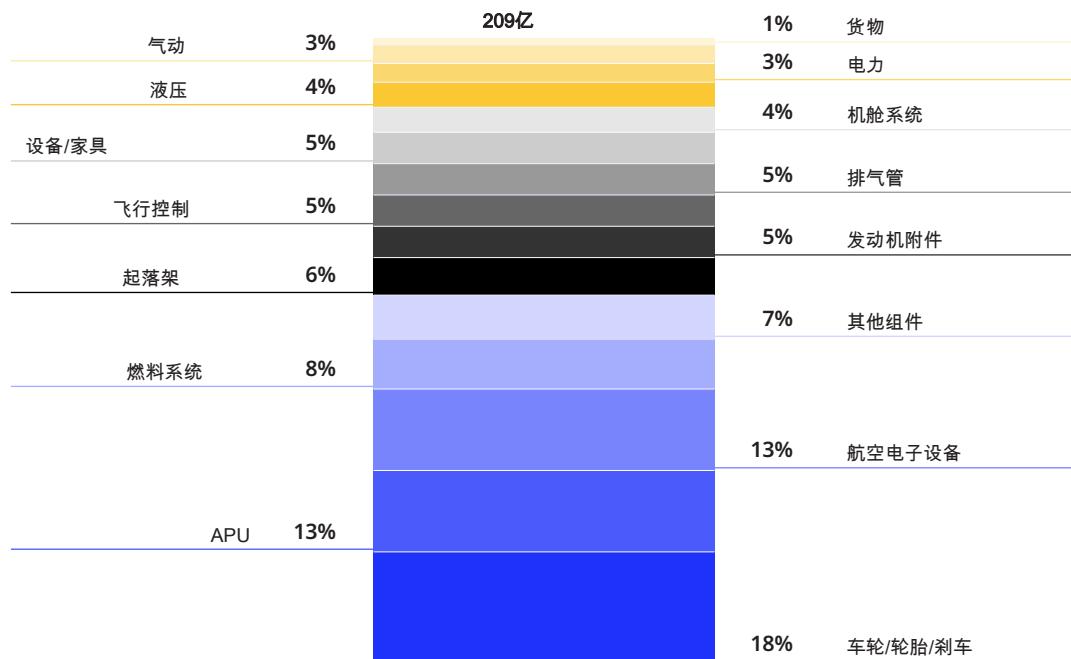
组件维修运营 (MRO) 是第二大业务板块，涉及维护飞机发动机以外的所有非结构元件 (见第 14 页图) 。这包括航空电子设备、起落架、轮子、轮胎、制动器、辅助动力单元 (APU) 、机舱系统、液压系统等。该板块中最大的类别分别是轮子、制动器、辅助动力单元 (APU) 和航空电子设备。维护方法因类别和零件级别而异；可以是状态维修，基于使用量或日历间隔。

机体维修大修 (包括改装和升级) 是第三大类，涉及定期的机库式检查和纠正，以确保

来源：奥利弗·惠灵顿全球车队及维修备件预测，2025-2035

引擎 MRO 从 2019 年的 48% 市场份额增长到 2025 年的 52% 。

图14：美国航空运输协会 (ATA) 各分会2024年零部件维修航油支出



来源：Oliver Wyman全球车队及MRO预测，2025-2035

劳动和材料内容

将材料归因于价值的程度与劳动力的MRO是一个关键驱动因素，决定哪些类型的业务参与每个市场细分。劳动密集型任务（拆卸、检查等）通常比材料和维修关联的知识产权（IP）壁垒更少。知识产权是指IP持有人在专利/设计（例如零件）、版权（例如技术手册和软件）和商业秘密（例如专有制造和维修工艺以及客户数据）方面的法定权利。⁸

材料含量在发动机和部件维护中最高（60%+），而在机身和外场维护中则要低得多（20%或更低）。在发动机和部件维护中，劳动集中在拆卸、检查、测试和再组装。这些步骤对发动机和单个部件来说比整个飞机（如在机身维护的情况下）更为直接。此外，发动机和部件维护中的材料在检查后经常被更换，并且其价值高于机身维护。内部组件（即设备和家具）是

更广泛地说，知识产权是指知识产权持有人拥有合法权利的无形资产，包括发明、设计、符号以及其他智力创造。这些权利允许知识产权持有人控制其知识产权如何被他人使用、共享和利用，并且在某些情况下，可以通过许可或销售从中获益。这包括专利、版权、专有技术、专有技术和商业秘密。

尤其是由于他们是为最终用户 (BFE) 设计的，高度定制以满足个人用户的需求，并且从原始设备制造商 (OEM) 那里可获得的维修服务有限，因此它们特别暴露在高物料成本之下。

维护或翻修组件（如发动机、辅助动力单元、起落架、航空电子设备和电力系统）所需的知识产权程度，是OEM制造商获取售后市场收入的关键优势。作为制造商，OEM拥有参与售后市场所需的详细设计、技术出版物、维修手册、测试设备和备件，从而能够有效参与售后市场。在发动机和组件维护等劳动力同质化程度有限、维修流程复杂且关键备件至关重要的领域，OEM具有优势。OEM通过多种方式利用其知识产权优势，直接参与售后市场，并通过商业许可和版税，向其选择的MRO维修供应商开放项目赋能途径。这可能并非总是被航空公司采购团队广泛了解，当他们在寻求外部MRO服务时，可能难以识别嵌入的许可/版税成本（以及与其他相关的限制），特别是在新的“日出”飞机平台方面。

公平竞争环境。例如，航空公司可以利用波音PSAA和空客SSC产品支持框架，并在适用情况下，将其对相关支持条款的访问权限委托给其自主选择的第三方MRO。像FAA令8110.54A和政策声明PS-AIR-21.50-01这样的监管框架也澄清了设计批准持有人（包括OEM）的义务，要求他们及时向航空公司及其指定的MRO提供持续适航指令（ICA）。业内还在就应在ICA中提供何种级别的信息进行持续辩论。

市场参与

每个MRO细分市场的碎片化程度差异很大（exhibit s 15）。发动机MRO，尤其是发动机大修，通常是最集中的市场，而机翼和部件MRO则更加碎片化。OEM在部件MRO中的参与度在更高价值、更技术复杂的类别中最为强烈，例如进气道/推力反推装置、航空电子设备、起落架和APU。其他不太复杂的类别由各种供应商执行，包括航空公司内部执行。

尽管 OEM 拥有知识产权优势，但仍有一些机制旨在帮助创造一个更

图15：2024年MRO市场各细分市场参与情况

按企业类型划分的百分比份额



注意：合资企业包括OEM+OEM合作伙伴关系，以及OEM+航空公司合作伙伴关系
来源：Oliver Wyman分析

发动机维护和修理

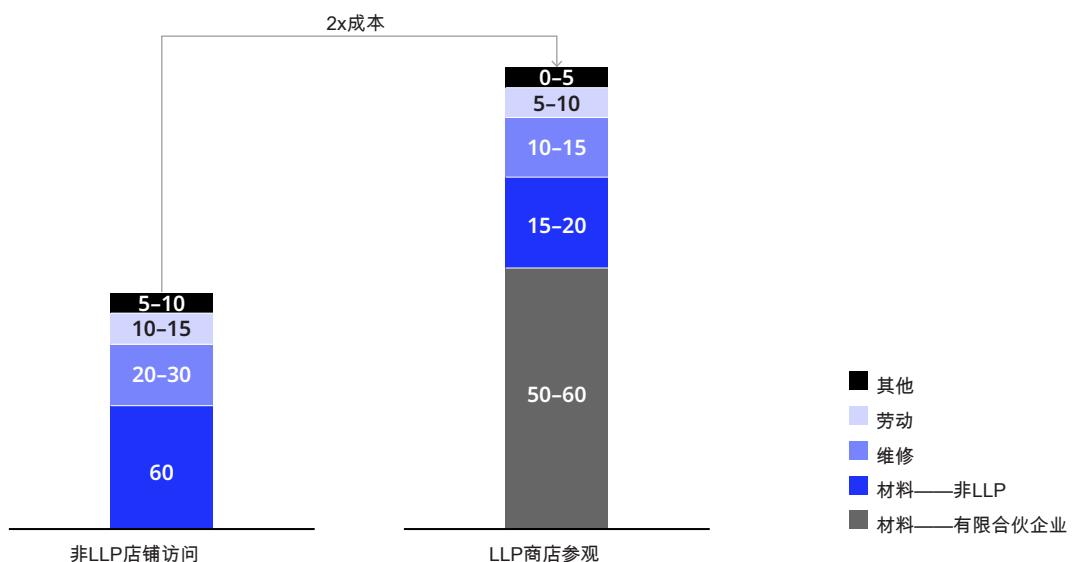
发动机制造商通过自身进行大修和维修，以及通过合资企业和授权大修车间进行。一架典型窄体发动机维护大修的直接成本约为材料成本的60%，另外20-30%为维修成本。如果大量更换寿命有限部件（LLP），那么维修车间的直接成本可能会翻倍甚至更多，LLP将使总材料成本达到大修成本的65-80%（图16）。

影响认证维修机构（与独立维修机构相对）的材料和维修成本，从而影响单个维修机构。认证维修机构（与独立维修机构相对）通常能获得材料折扣，并且可以更多地内部进行维修，使其能够更好地控制内部成本。随着材料和维修工艺复杂性的增加，获取原始设备制造商维修说明的重要性日益凸显。然而，认证维修机构通常受原始设备制造商商业许可条款的限制，无法使用其他经批准的维修方式（如EASA第21部分和/或FAA DERs）、维修管理办法（PMA）甚至美国维修大纲（USM）。独立维修机构不受这些限制，可以使用其他经批准的维修方式、维修管理办法和美国维修大纲来提高竞争力，前提是其客户（航空公司和租赁公司）接受。

oem许可证是发动机维护成本中的一个特别重要因素，因为它们用于管理对知识产权的访问。通过许可证，oem厂商提供对折扣材料、测试设备、手册和维修说明以及营销支持的访问。这些因素影响着竞争力

展品16：LLP和非LLP商店访问的发动机MRO成本分摊

涡轮风扇焦点（非穷尽）



注意：LLP=寿命有限的部件。其他包括可在线更换单元（LRU）、服务通告（SB）、运输和燃料。人工不包括内部维修
来源：Oliver Wyman分析

在整个引擎生命周期中，许可证在平台生命周期的开始时最为严格。随着时间的推移，未经授权的供应商开发出更低成本的维修方案，并更容易获得二手零件交易，以用可用的零件为他们的车间提供物资，而无需依赖原厂维修和材料。

发动机大修车间将某些零件维修转包给第三方供应商，尽管OEM通常执行更高价值的零件维修（见附表17）。许多发动机附件不是由发动机OEM生产的。OEM通常提供附件MRO解决方案，但将维修工作转包给不同的供应商。

发动机维护、修理和大修(MRO)合同主要分为三类：按小时收费(PBH)、固定价格和工时及材料(T&M)。PBH合同按飞行小时向航空公司收取协商费率，为航空公司提供可预测的经常性开支，为MRO供应商提供现金流。这些长期协议(8-12年)通常涵盖所有维修，并提供额外覆盖备用发动机和运输的选项。固定价格合同按事件定价，为指定的工范围协商预先费用。这些合同通常为5-8年，运输服务提供商通常由航空公司采购和支付。工时及材料合同按

关于实际使用的劳动力和材料，通常是短期或一次性协议（1-3年），航空公司从多个供应商处采购。

市场参与度随发动机制造平台的生命周期而变化（图18）。第一阶段，发动机投入服务（EIS），主要由OEM主导。由于他们了解该平台并拥有更强的财务实力，因此在平台生命周期早期就占据了有利地位，因为他们可以向航空公司提供风险转移协议（例如，每飞行小时成本协议）。这使OEM能够在生命周期早期收回研发支出，尽管收回这些成本可能会受到OEM必须解决的早期发动机耐久性/可靠性问题的阻碍。在这个第一阶段，航空公司第三方和独立MRO公司专注于通过例如OEM授予的商业协议（例如，许可证）来获取MRO使能者（例如，维修说明、手册、测试设备）的准入。[IATA-CFM发动机维护协议](#) ¹¹ [markdown](#) and [国际航空运输协会和罗尔斯·罗伊斯公司关于维护航空航天市场竞争最佳实践声明](#) 也旨在创造一个更公平的竞争环境。

随着材料和维修工艺复杂性的不断增加，获取OEM维修说明变得越来越重要。

第17号展品：发动机后市场竞争格局

涡轮风扇焦点（非穷尽）

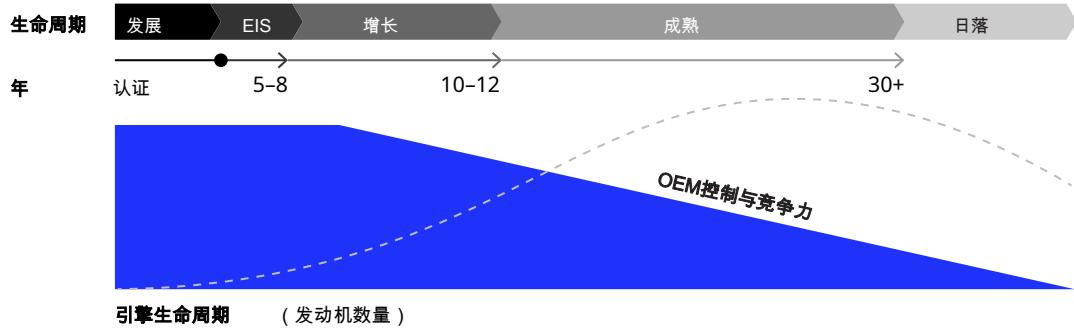


来源：奥利弗·惠悦分析

随着特定型号（第二阶段）发动机交付总量的增加，OEM厂商会增加维护供应，向MRO企业网络提供许可协议，成立合资企业，并扩大OEM产能。随着发动机成熟（倒数第二阶段），MRO

网络通常会开放，服务可以从广泛的MRO中获取。随着平台的逐渐淘汰，市场逐渐更加关注部件维修和回收，因为USM和PMA的使用成为新OEM部件的良好替代方案。

图18：发动机全生命周期中的OEM参与情况



来源：奥利弗·惠悦分析

组件MRO

组件维修工作涉及除发动机外的所有系统的维护（例如，轮子、轮胎、刹车、辅助动力单元、航空电子设备、燃油系统、起落架、机舱设备、液压系统、电力系统）。

组件维修服务市场比发动机维修服务市场更加分散（图19）。竞争者在地理重点和ATA章节覆盖范围上差异很大，从涵盖多个组件类别的全球大型集成商到专注于一两个客户和一两个类别的“跑道尽头”维修店。

BFE设备（例如客舱设备）是根据航空公司（或所有者，通常是作为飞机航线定制主导人的承租人）与原始设备制造商直接协商的双边协议来定义的。对于非机翼制造商专有部件的SFE机翼系统设备（例如辅助动力单元、轮式和制动器、液压系统、燃油系统、电气系统、空调设备等），通常可以通过SSC和PSAA等框架为所有者和航空公司提供全面的产品支持条款。这些SFE产品支持框架由机翼制造商在最初为新飞机项目选择原始设备制造商供应商时提供并获得授权，并为SFE机翼系统供应商的零件号提供产品支持保护，同时指定飞机所有者和运营商为这些保护的共同受益人。航空公司采购团队可以在与SFE系统原始设备制造商讨论MRO服务时，根据其裁量权决定使用这些现有条款（或单独协商更好的条款）。航空公司还可以将这些条款委托给其选择的第三方MRO，为独立MRO创造更公平的竞争环境。

与发动机MRO类似，霍尼韦尔、科林斯和萨fran等OEM通过利用维修说明、材料、测试设备以及工程设计能力参与部件MRO市场。OEM的参与在高价值、高复杂类别的市场（如航空电子设备、起落架、反推系统等）中更强劲，而在较简单的类别（如液压系统）中则较低。

如上所述，机翼系统组件是BFE和SFE的组合。产品支持条款为

图19：组件竞争格局

值得注意的是环境控制（热交换）、燃油系统、起落架和航空电子设备（列举不完）



来源：奥利弗·惠悦分析

机体维修、修理和大修

机身维修外包市场分散化，航空公司和独立服务商在此细分市场中占据最大份额。竞争者规模跨度很大，从每次能服务一架或两架飞机的单机库运营到拥有全球业务的服务商。

跨区域的大型机库基地。区域市场差异也存在：合资企业在中国 Asia (例如 GAMECO 和 HAEKO) 较为突出，而在 North America，过去十年的整合导致了更少但规模更大的公司，例如 AAR、ATS 和 MRO Holdings。

机身MRO的OEM份额较低，因为大量工作涉及劳动密集型的机身拆卸、检查和重新组装。考虑到OEM的劳动力主要集中在北美和欧洲等高成本地区，他们在这些领域没有优势。此外，所需的维修通常涉及机身结构或结构件，在这些领域，知识产权/专有技术和维修成本较低。

主要原因是区域喷气式飞机机队集中在北美，竞争力已经优先用于窄体飞机和宽体飞机。此外，由于区域喷气式飞机的安装基础相对较小且机架结构较简单，制造商往往更直接地参与其中，为航空公司提供必要的支持水平。

唯一的例外是区域喷气式飞机市场，其中巴西航空工业公司和MNIIRJ共同支持了超过70%的机翼需求。这



供应链挑战

一段整合的历史导致了当今商业航天市场的结构。但近年来，这种结构未能跟上市场需求。因此，广泛的价格波动、价格上涨、飞机和零部件交付延误以及更长的维护周转时间 (TAT) 等问题不断加剧。这些挑战共同削弱了航空公司的运营，迫使航空公司运营老化机队、吸收不断上升的成本，并应对加剧战略和机队规划的市场波动。

行业波动

航空业面临着由供需波动引发的重大挑战，这导致供应链内部缺乏信任。大型飞机制造商根据预期的飞机需求量加上产量来设定生产目标，然后供应商相应调整其产出以达成这些目标。然而，当飞机制造商无法确保整个供应链能够持续达到这些目标时——或者当实际需求低于预测时——生产目标可能就会受到妥协（图20）。

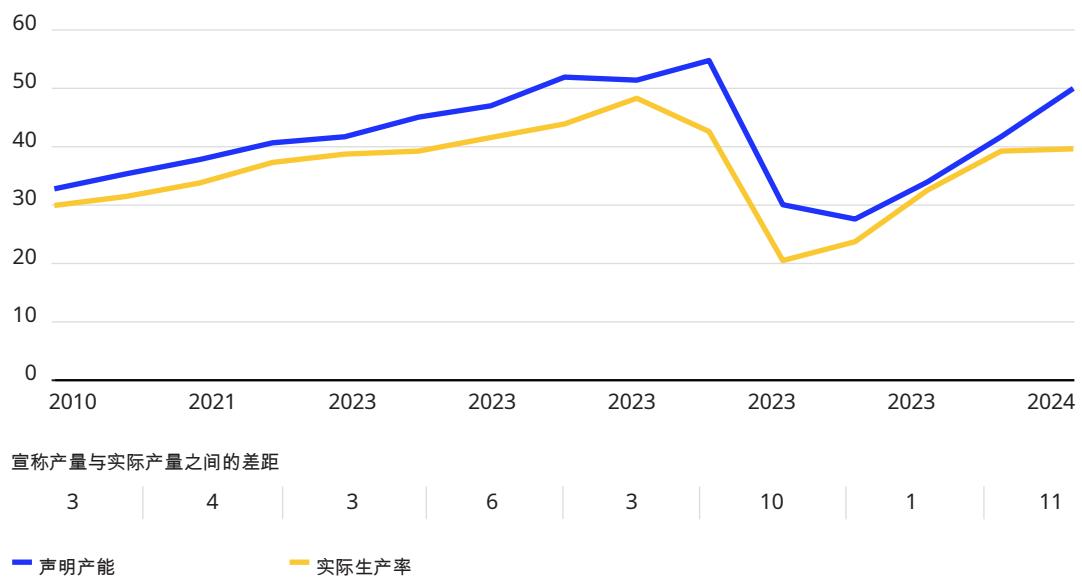
当预测不可预测地波动时，供应商往往会增加产量并大量投资原材料以满足预期需求，却面临订单突然取消或延迟的风险。这种不匹配侵蚀了供应商对OEM承诺的信心，加剧了供应链各环节的关系紧张，并破坏了协作规划工作。生产水平的不明确也使得在产能扩张方面的投资更加困难。这种波动性对小供应商尤其具有挑战性，因为它们没有能力吸收这些变化或调整库存，以及对Tier 4（例如：原材料供应商）来说，它们的交付周期更长。这种波动性的结果是供应链上下游的零部件供需不匹配，导致生产延迟以及售后市场备件短缺。

缺乏可靠的飞机制造商生产预测，供应商通常会根据他们的预测和产能制定各自独立的生产预测，导致供应链呈现碎片化格局，预测和实际的生产率差异很大。

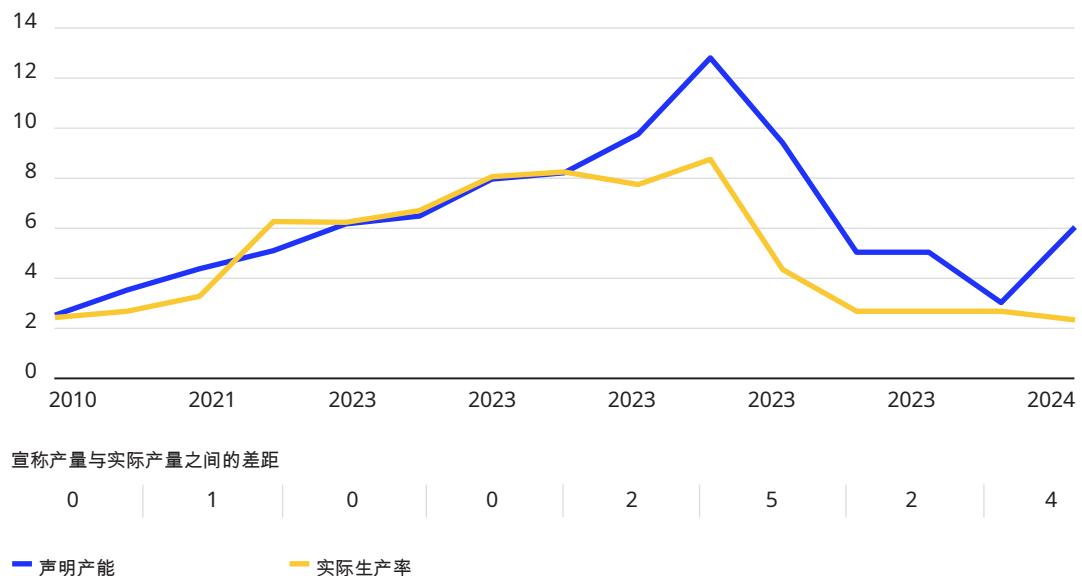
展品20：飞机声称与实际生产率，2010-2024

每月单位

窄体飞机



宽体机



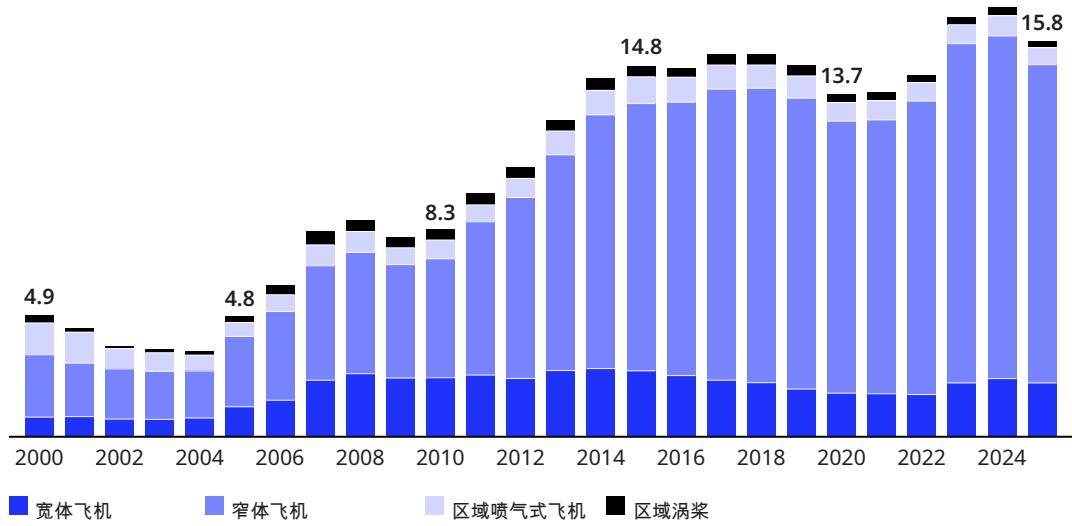
来源：波音和空客新闻稿，奥利弗·惠曼分析

飛機及部件交付延遲

2024年，商用飞机订单积压达到历史新高，订单超过17000架，相当于按当前速率生产超过12年的产量（图21和图22）。自21世纪初以来，积压数量和处理时间已显著增加，并且进一步增加。

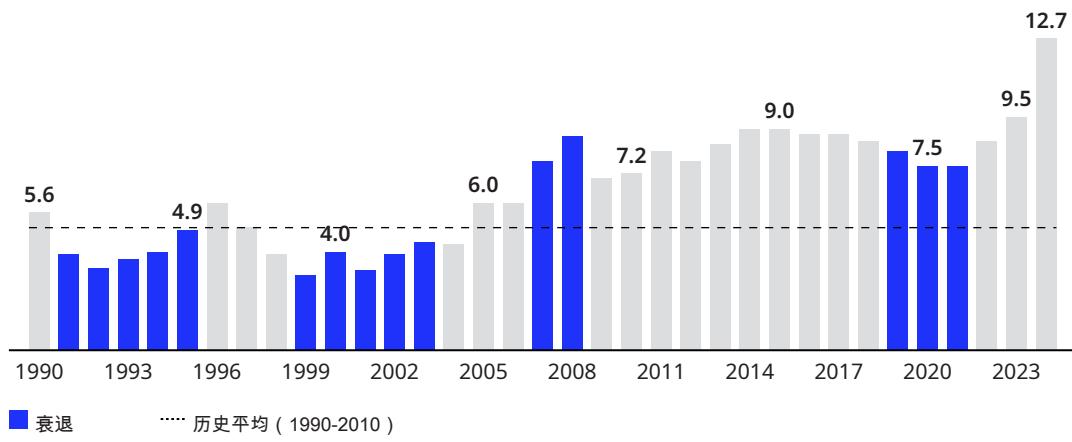
后疫情时代。尽管需求强劲，主要飞机制造商的年交付量仍远低于峰值：空客2024年交付了766架飞机（较2019年的高点863架有所下降），而波音的交付量大幅下降，从2018年的806架减少到2024年的348架。

图21：2000-2025年按机型划分的商业飞机订单积压情况
以千为单位



来源：Cirium, Oliver Wyman分析

图22：2000-2024年商用飞机生产年份的积压量



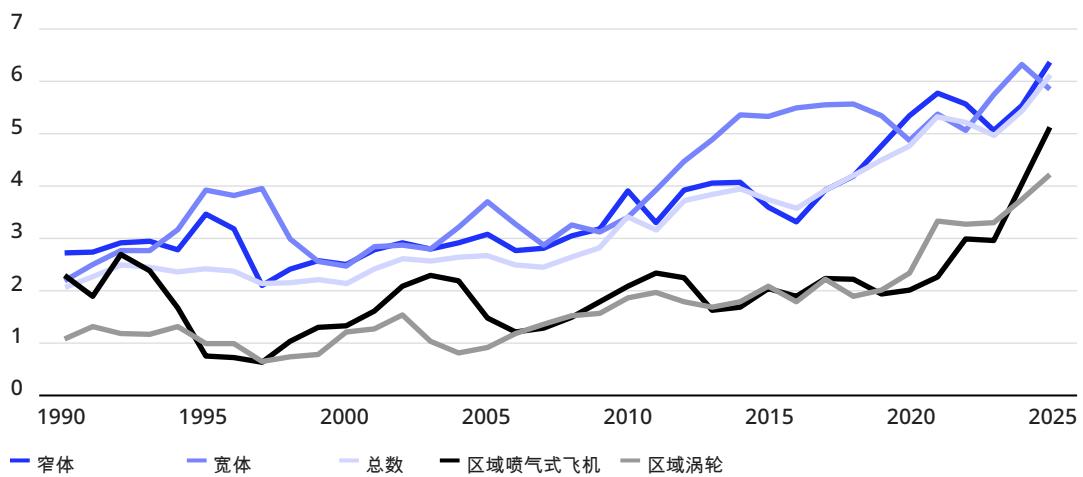
注意：基于各年OEM全价生产报表；2024年基于总待交付量除以2025年总飞机制造量

来源：Cirium, Oliver Wyman分析

现有积压加上较低的产量，导致整体交付周期变长。2024年交付的飞机用了6.8年时间才交付给航空公司，相比2018年的4.5年有所增加（Exhibit 23）。

航空公司，这意味着机队更新计划延迟和运力增长受限。这导致老旧飞机的实际服役时间超过了计划，推迟了退役并增加了运营成本。

展品23：飞机平均交付时间，1990-2025
在年份



注意：交货时间是指从订单日期到飞机交付日期的时间长度。来源：国际航空运输协会可持续发展和经济、Cirium、Oliver Wyman分析

积压的驱动因素之一是飞机认证所需时间的增加。历史上，认证时间在1到2年之间（图表24）。新一代平台往往处于这个范围的高端，但值得注意的是，波音737 MAX 7/10和777x的认证分别已进入第四年和第五年，而这些平台可能要到2026年才能获得认证。这些平台分别占窄体和宽体订单簿的14%和24%。

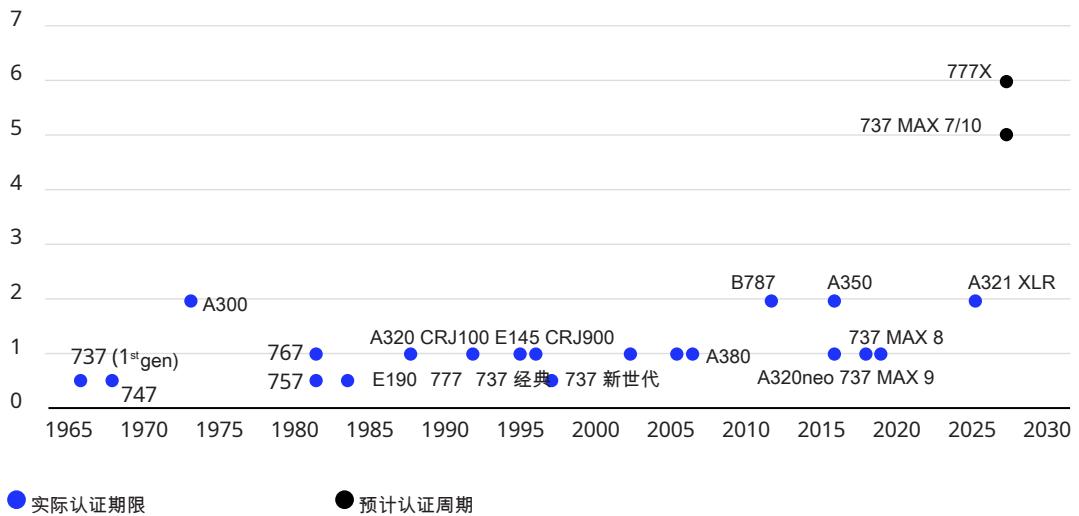
内饰定制，以及调压器容量。许多调压器，包括美国联邦航空管理局（FAA）和欧洲航空安全局（EASA），正面临人员短缺和吸引专业人才方面的挑战。例如，在2023年，据报道40%的美国联邦航空管理局（FAA）认证工程师不到两年⁹。FAA处理流程也多年的经验。经常需要纸质文档，而不是数字副本。此外，不断变化的法规要求更全面的文档和证明，迫使制造商重新审视过去的工作。

若干问题可能共同影响了认证时间线，包括但不限于OEM设计变更，航空公司

⁹ 根据通用航空制造商协会（GAMA）。

图24：特定机型认证时间表，1965-2030

从首飞到认证，用年数



来源：奥利弗·惠悦分析

试图减少飞机和零部件交付延误的努力，由于制造商和航空公司对供应商缺乏话语权而进一步复杂化。自2010年以来，只有四个“新”或“白纸”平台投入生产——787、A350、A220和C919。其余的都是对较旧设计的增量升级（例如A320和737）。

程序。并且，鉴于批准新主要组件和系统的成本和监管负担，替换已知表现不佳的供应商是具有挑战性的。

航空公司由于飞机订单较少，以及相对于飞机制造商对市场的有限影响力，对供应商的议价能力较弱。因此，表现不佳的供应商仍然牢牢占据供应链中，加剧了飞机和零部件交付的整体延误。

真正的新平台缺乏，降低了飞机制造商对表现不佳的供应商进行惩罚的杠杆，以前的形式是从未来的潜在排除。

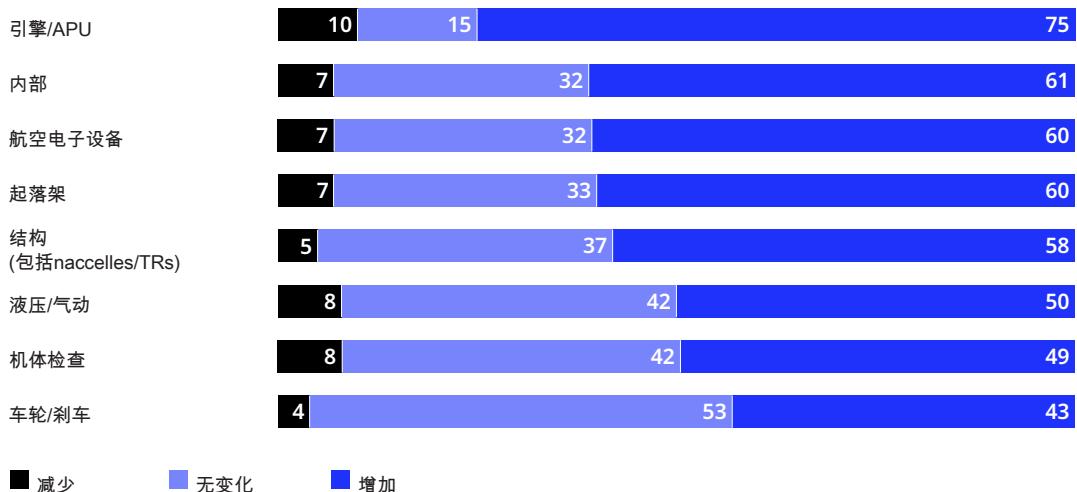
维护周转时间增加

随着飞机积压量和交付时间的增加，行业正面临TAT普遍上升，这进一步限制了航空公司的运营。Oliver Wyman的2025年MRO调查发现

超过75%的调查受访者报告2024年至2025年间发动机维护TATs延长，超过60%的人指出内饰、航空电子设备和起落架存在类似的延误（图25）。

表25：过去一年的周转时间变化

选择每个选项的MRO调查受访者百分比



注意：TR = 推力反转器 来源：Oliver Wyman 2025 MRO Survey

对于发动机来说，周转时间已从行业标准的30至60天急剧增加。在某些情况下，车间访问时间超过300天，全面翻新需要75天，快速翻新需要50天。类似地，在正常情况下通常持续45天的起落架翻新，现在需要90至120天，这一趋势也体现在许多其他部件上，包括辅助动力单元。

然而，在使用USM的情况下，满足需求的能力正受到可拆解的旧飞机可用性降低的限制，因为许多预期退役的旧飞机仍然在积极服务中。同样，部署PMA的能力也可能受到PMA选项可用性或一些航空公司和租赁商考虑飞机过渡中使用PMAs的意愿的限制。

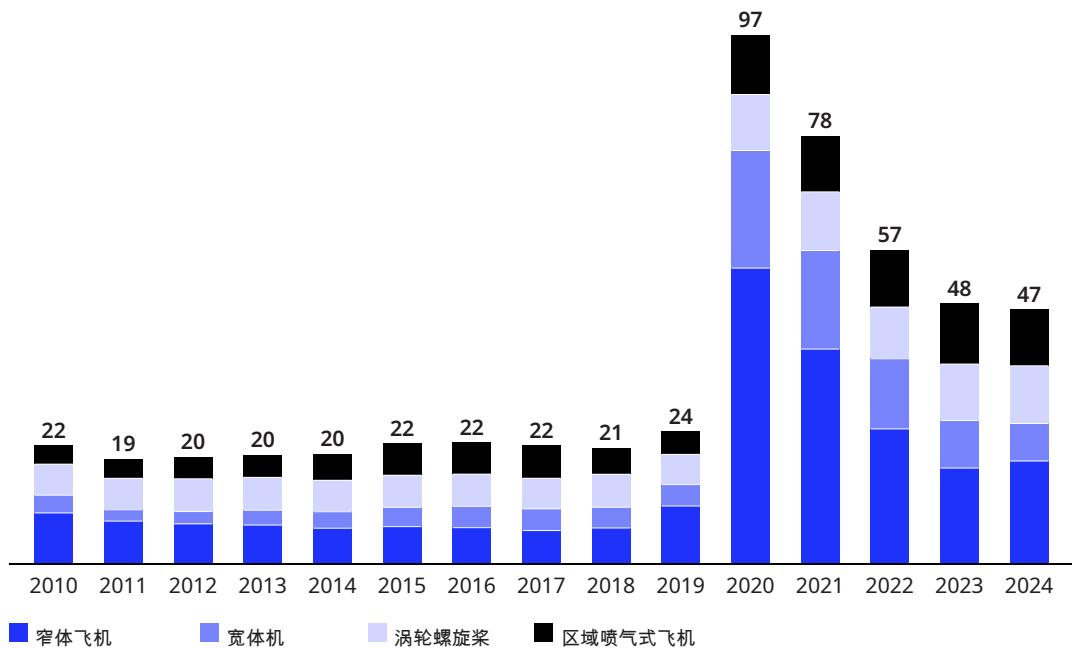
备件短缺，尤其是对于机队较老的航空公司而言，在TAT增加中发挥着作用。当被问及TAT为何增加时，Oliver Wyman 2025年MRO行业调查的80%受访者表示，备件可用性是首要问题——这一问题超越了供需失衡、劳动力不足以及OEM对关键维修的控制。这种短缺反过来又推动了人们对USM和PMA作为经济高效、可靠选择需求的增加。

更长的TAT会导致维修周期中的库存增加，而货架上的可用库存减少，无法供航空公司使用。这意味着航空公司要么需要持有更多库存才能保持与之前相同的可用量，要么需要接受更差的性能。并且由于货架上的库存减少，备件短缺成为一个问题，增加了飞机地面停场时间，这些停场需要备件来解决，如果必须在最后时刻寻找替代备件，成本还会增加。

增加周转时间 (TATs) 和备件不足最终在降低运营能力，导致停场飞机数量增加（定义为停场至少七天的飞机）

连续多日）。虽然疫情导致2021年和2022年储存的飞机数量激增，但总体数字仍然远高于历史正常水平，即使航空出行需求已恢复（图26）。

第 26 号展品：按类型分类的存储飞机，2010-2024
以千为单位



来源：航空周刊，Oliver Wyman分析

价格上涨

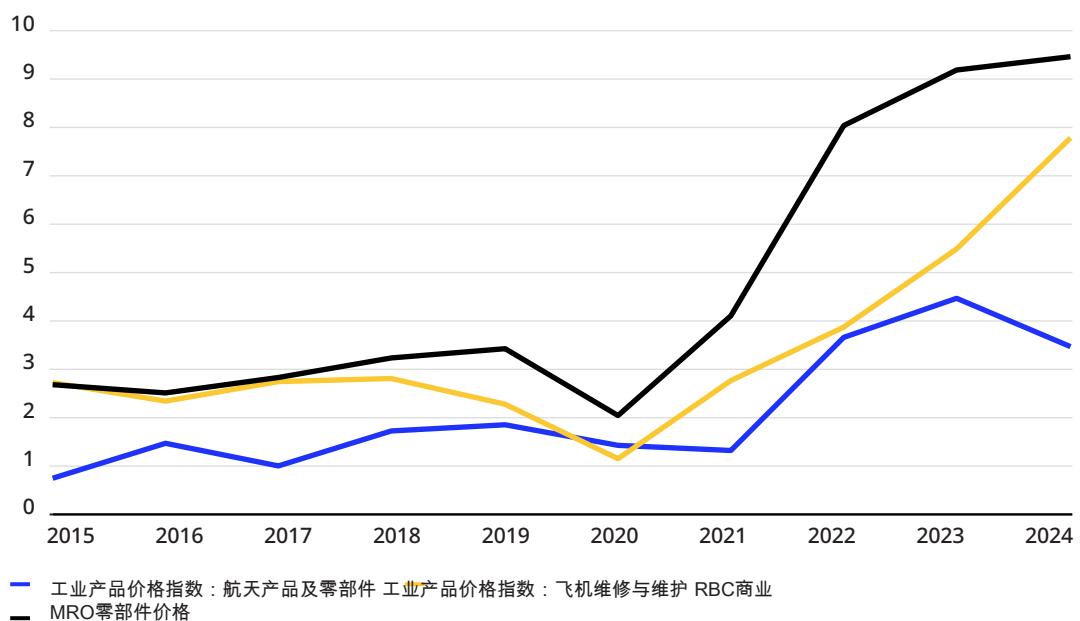
供应链挑战导致价格急剧上涨，尤其是备件和维护服务。例如，美国联邦储备的生产者价格指数 (PPI) 在2023年的峰值时，航空航天产品和备件增长了近5%——远高于约1.5%的历史平均水平。PPI涨幅最大的是飞机维修和维护——

2024年年度增幅超过8%。RBC Capital Markets的年度MRO调查证实了这一趋势，显示2023年和2024年MRO材料价格变化均约为10%。¹⁰

由于该调查衡量的是消费者实际支付的价格，因此10个大类商品价格上涨，而生产者价格指数反映了成本基础。

图27：航空航天零部件随时间通货膨胀，2015-2024

年百分比变化



来源：圣路易斯联邦储备银行，RBC资本市场的MRO调查

欧文莱维特的最新MRO行业调查进一步证实了这一趋势，参与者表示过去一年材料成本增加了超过7%。OEM和MRO供应商报告称经历

比航空公司稍微更大的成本压力（图28）。对航空公司而言，这意味着不仅在购买新飞机方面支出增加，而且在保持老机队运行的时间也比计划的长。

附件28：过去一年材料成本的增长，2024年与2025年对比

按公司类型划分的MRO调查受访者百分比，加权平均变化率



注意：“其他”包括经纪人、拆卸服务提供商和MRO、USM交易商、维修店、服务提供商、咨询公司、OEM分销商、GSE供应商、PE发起人/所有者，以及工程师服务

来源：Oliver Wyman 2025 MROSurvey



第四节。

供应链挑战的根源

当前影响航空公司的供应链挑战是相互关联的，具有多个根本原因。这些挑战主要源于以下三个核心主题：当前的航空经济模式、供应链中断和劳动力短缺。

主题1：航天航空经济模型

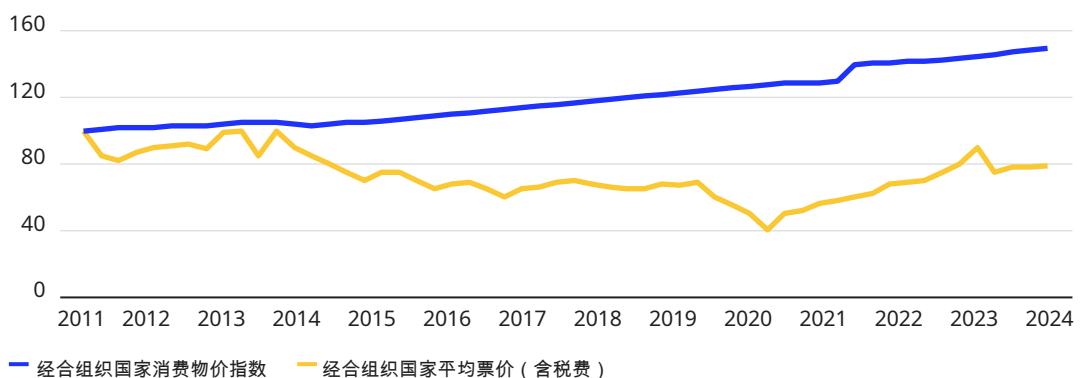
航空公司压力

自2011年以来，航空票价落后于通货膨胀，如今经合组织国家的平均票价低于2011年的水平。这有效地压缩了航空公司的每位乘客收入，加剧了盈利压力（展示29）。

航空公司最大或第二大支出（与人工竞争），占总运营成本的约20-30%。为了管理这一成本，航空公司严重依赖新飞机世代的燃油效率提升。例如，波音737新一代（NG）相比早期的737经典系列，燃油效率提升了约10-15%。而737 MAX相比737 NG，燃油效率又额外提升了14-20%。这些提升帮助航空业随着时间的推移稳步降低每可用吨公里（ATK）的燃油消耗：从1990年到2019年，按每ATK升数计算的行业燃油效率每年提升了1.5-2.0%。

航空业EBIT自2010年以来一直在增长，处于中高个位数（不包括2020-2022年）。然而，个别航空公司的盈利能力历史上一直波动较大，且经常为负。影响盈利能力的一个主要因素是燃料成本。燃料通常占

第29张图：2011-2024年索引平均票价与消费者价格指数（CPI）
2011 = 100



来源：国际航空运输协会可持续性与经济、直接数据解决方案(DDS)和经济合作与发展组织统计数据

除了燃料成本挑战外，航空公司还面临拥有成本的压力，并改变了他们购买飞机的方式，这对他们可用的材料和维修产生了下游影响。从2005年到2019年，飞机的清单价格平均每年增长3%（范围为0%至6%）。随着出租人进入全球市场为机队更新提供融资，飞机租赁的百分比从1970年代的10%增长到2023年底的58%。在欧洲、拉丁美洲和亚洲，机队的70%是租赁的，而在北美，机队的40%是租赁的。

一项更大的租赁机队带来的副作用是更倾向于使用原厂部件和维修。许多租赁人传统上在维护期间更喜欢使用原厂部件和维修，以保持资产价值，确保全球市场竞争，并保障未来的租赁机会。此外，一些航空公司由于内部政策、缺乏认识、合同压力以及无法说明商业案例，历史上一直不愿意接受非原厂部件和维修。包括国际航协鼓励在内的多种行业倡议正在推进，以提高替代部件和经批准的维修说明的意识和接受程度。实现这些目标需要航空公司、租赁人、原厂制造商和维修保养机构等所有利益相关方的合作。

科技发展

对提高燃油效率的追求推动OEM企业投资研发集成先进技术的新飞机型号。历史上，发动机通常在新飞机平台上提供最大的效率提升。例如，2010年代中期投入服务的最新一代窄体发动机，提供了一些新功能。这些发动机具有更高的涵道比、更大的风扇直径和更高的内部温度，需要新材料和专用涂层。反过来，更大的风扇需要更宽的整流罩，推动使用更轻的复合材料来控制重量。此外，某些起落架、吊挂和飞行控制系统必须重新设计，以支持新窄体发动机的尺寸、重量和安装位置的增加。

某些技术进步为定制件（OEM）零部件和售后市场服务创造了优势，并限制了非定制件选项的发展。像先进涂层和复合材料这类利用工艺技术制造和修复的技术更难进行逆向工程和证实等效性，为原始设计持有者提供了知识产权优势。

从2005年至2019年，飞机清单价格每年平均增长3%（范围在0%至6%）。

然而，尖端技术的引入增加了维护的复杂性。新材料、推进系统和航空电子设备需要创新的维护方法和专业知识。在设计阶段，由于使用更先进材料，原始设备制造商必须权衡重量/燃料优化和维护成本之间的取舍。和许多新技术一样，最新的飞机创新在可靠性和耐久性方面遇到了挑战，这些挑战仍在解决中。

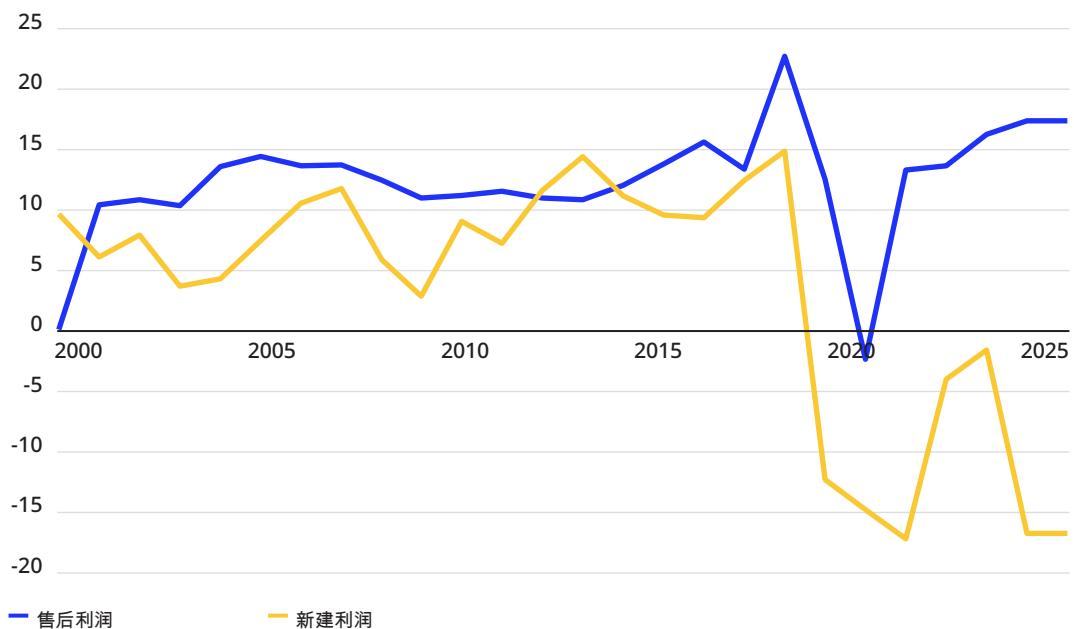
生产线上和服务中心的部分数量增加了，延长了新飞机的等待时间和维护的周转时间，从而影响了机队可用性。

OEM 售后服务参与

与飞机技术开发相关的高额非经常性工程 (NRE) 成本，以及为获取航空公司订单所需的新飞机的竞争性定价，促使原始设备制造商 (OEM) 增加其在售后市场的参与度，通过高利润率的服务来收回投资。服务历史上比新制造 (Exhibit 30) 提供更高的、更稳定的利润率。对于飞机制造商和发动机 OEM 来说，服务的重要性从收入的最少 10-20% 到超过 70% 不等。

新技术和投入服务挑战给OEM和MRO供应链带来了压力。OEM为满足产能提升目标而苦苦挣扎，同时面临着在役飞机维护和备件需求的额外压力。由于没有现成的替代方案，交付周期

展品30：2000-2024年指示空中机队运营利润率
在百分比中



注意：基于主要飞机制造商公开发布的分解数据
来源：S&P资本智囊，Oliver Wyman分析

为了降低自身研发成本和风险，飞机制造商们对新飞机项目采用了风险分担模式。Tier 1 OEMs 投资于这些项目，并期望以此获得其系统的 MRO 市场和售后市场收入。然而，随着时间的推移，供应商们整合以实现规模经济并提高与飞机制造商的谈判杠杆。这导致整个价值链中的供应商数量减少，

市场后段更大的供应商控制。

该模式给独立服务商开发竞争性售后解决方案带来了更大的挑战，进而导致MRO市场替代方案减少（超出那些通常与OEM紧密合作的许可MRO之外），这反过来又常常与航空公司更高的维护成本相关联。

主题 2：供应链中断

近年来，空客和波音都推出了窄体机型的再发动机版本：A320neo和737 MAX。这些飞机凭借新发动机和气动改进，实现了显著的燃油效率提升，降低了燃油消耗、二氧化碳排放，并提高了航程。鉴于A320和737系列飞机是市场上仅有的两款提供容量和性能的机型，其需求空前高涨，两家飞机制造商都试图将产量提升到新的高度。

在售后替代方案更少的情况下。此外，波音公司在数起困扰飞机制造商的事件之后面临了巨大的生产挑战。

地缘政治不稳定

地缘政治不稳定正在严重扰乱全球供应链，其中俄乌战争是一个突出的例子。在这场冲突初期（2022年2月），与俄罗斯汉密尔顿标准-纳乌卡合资生产波音787梦想机散热器的科林斯航空航天公司停止了在俄运营，并将生产转移到美国和英国的设施。当时，波音梦想机的生产率低到足以让科林斯在转型期间满足需求。但随着波音旨在提高产量，搬迁的生产线却难以保持步伐。

然而，这一增长却与地缘政治不稳定、原材料短缺、运输物流问题以及军事/公务机需求增加等外部干扰相吻合，这些都促成了行业当前的供应链挑战。这种情况正在因原始设备制造商（OEMs）的更强控制力而加剧，导致

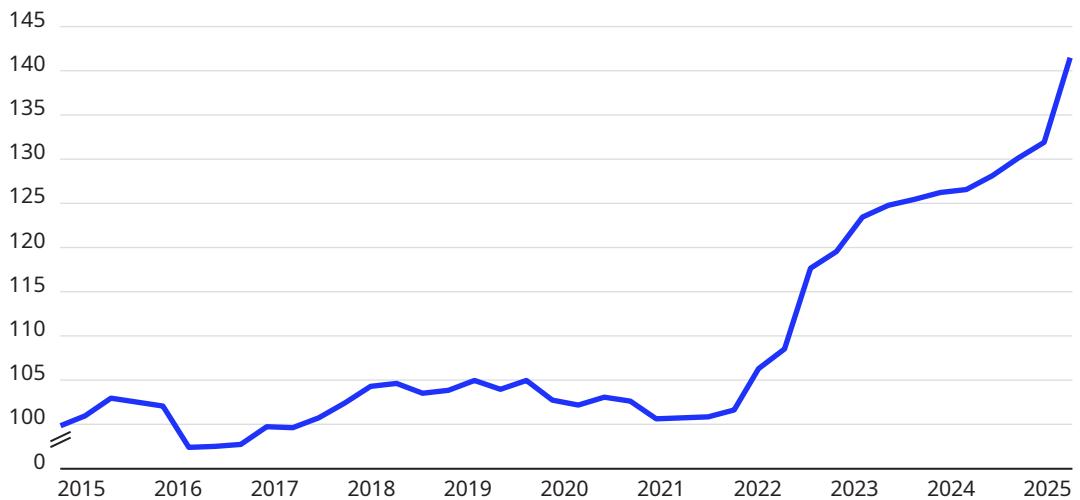
同时，波音公司结束了与一家主要俄罗斯钛供应商的合资企业。钛等原材料对于制造既轻便又耐用的航空零部件至关重要。在冲突之前，俄罗斯一直是波音公司和空客公司以及发动机原始设备制造商的关键全球钛供应商。冲突引发了约90%的钛价上涨，而价格仍然居高不下，反映了持续的市场不确定性（表31）。对四级（即原材料）公司的影响可能会摧毁大型复杂的供应链，影响材料供应、生产能力，并最终影响航空航天制造的时间表和成本。

免税以允许飞机、发动机和相关部件及组件的自由流动。芝加哥公约（ICAO文件7300）的第24条（“关税”）以及文件8632—国际航空运输领域国际民航组织的税收政策—已被世界各国政府采用，以促进跨境此类流动。1979年民用飞机贸易协定，其缔约国有33个国家，也规定了民用飞机、发动机、飞行模拟器和相关部件及组件的免税贸易。然而，贸易紧张局势给这些协议和商品的自由流动带来了压力。发动机、组件和各种飞机零件跨越多个边境，使其容易受到海关延误、复杂的出口/进口管制和不一致的政府法规的影响。

此外，地缘政治问题给全球航空产品的免税流通带来了挑战。历史上，商业航空

表31：钛生产者价格指数，2015-2025年

2015=100



来源：美联储经济数据

材料短缺

原材料短缺正在商业航空供应链中制造重大瓶颈，影响了全球关键航空航天供应商。众多第一层级供应商和其他供应商面临铝和钢材短缺的问题，除了钛之外，这些短缺已扰乱了铸造运营，并阻碍了他们按时供货的能力。这些短缺也包含特殊材料，如因科镍尔，一种高温合金家族，对发动机部件和其他高应力应用至关重要。

材料稀缺源于一方面全球需求增加，特别是那些扩大国防能力的国家，另一方面特种涂层和加工制造能力受限。疫情进一步加剧了这些问题，因为许多金属工厂要么关闭，要么将生产线转移到受影响较小的工业部门，这使得重启特定航空航天制造变得缓慢且昂贵。

供应挑战因需求变化和回收动态而加剧。在疫情驱动下航空航天制造的下滑期间，废金属的产生量急剧下降，减少了通常用于补充原材料供应的回收钛、镍、铬和镁的可用性。由于主要飞机制造商在2022-23年宣布雄心勃勃的生产目标，超合金的需求也意外激增，对已经紧张的物料供应施加了额外的压力。

原材料约束共同减缓了生产爬坡速度，增加了成本，并增加了航空航天供应链的复杂性。

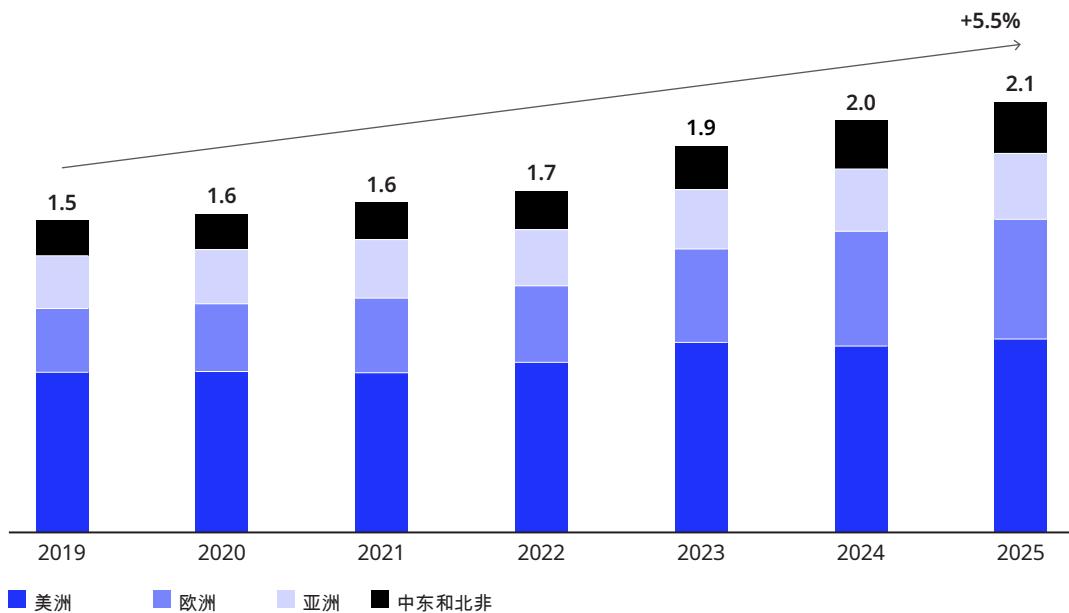
军费和商管费用影响

不断升高的地缘政治紧张局势正在增加军事开支，而不断变化的市场动态则推动着商业和通用航空(B&GA)的增长。这些趋势共同加剧了与商业航空在关键资源方面的竞争。全球冲突加剧——包括乌克兰战争、中东动荡以及印太威慑行动——已经推动了军用飞机采购预算的增长，该预算从2019年到2025年每年平均增长5% (图表32)。重大计划，包括F-35和大型无人机，正在加速生产和维护活动。

同时，疫情也助推了公务机和私人飞机的全球需求，公务机的使用率仍然超过 **较疫情前水平高出15%** 在与湾流、庞巴迪和巴西航空工业公司等主要制造商保持强劲订单 backlog。

这些需求激增得益于客户愿意接受更高的价格和更短的合同条款，使供应商能够比商业航空中典型的长期固定价格合同更好地管理通货膨胀压力。但当这些项目与商业航空竞争相同的材料和制造供应时，它们会给共享的供应链瓶颈带来更大压力。

图 32：2019-2025 年按地区划分的全球国防支出
兆美元



来源：简氏GPS，国际头条

例如，铸件和锻件等关键部件——包括高压涡轮 (HPT) 盘和起落架梁——供应有限。像F-135、GE T408和CFM56这样的军用发动机的维护和翻修窗口与PW1100G和LEAP等商用发动机项目重叠，导致仓库容量出现瓶颈。

同样地，军事项目也激烈地与商业航空竞争一个严重有限的技能劳动力库（见主题3）。

这些来自军机和商机的压力共同加剧了供应链的制约，推迟了商用飞机的生产，增加了成本，并使满足日益增长的航空需求的工作变得复杂。

主题 3：劳工挑战

全球航空航天业正经历一场明显的劳动力短缺，这源于大量老员工的退休（推高了整个供应商行业的工资）。这种劳动力短缺在机械师和飞机维护技术员（AMT）中尤为突出，因为该行业在招募Z世代和千禧一代员工方面存在困难，但也能在整个监管人员中看到。由于年轻一代更注重技术驱动解决方案和在高度监管的环境下采用创新的问题解决方法，因此在招募年轻一代方面存在挑战。

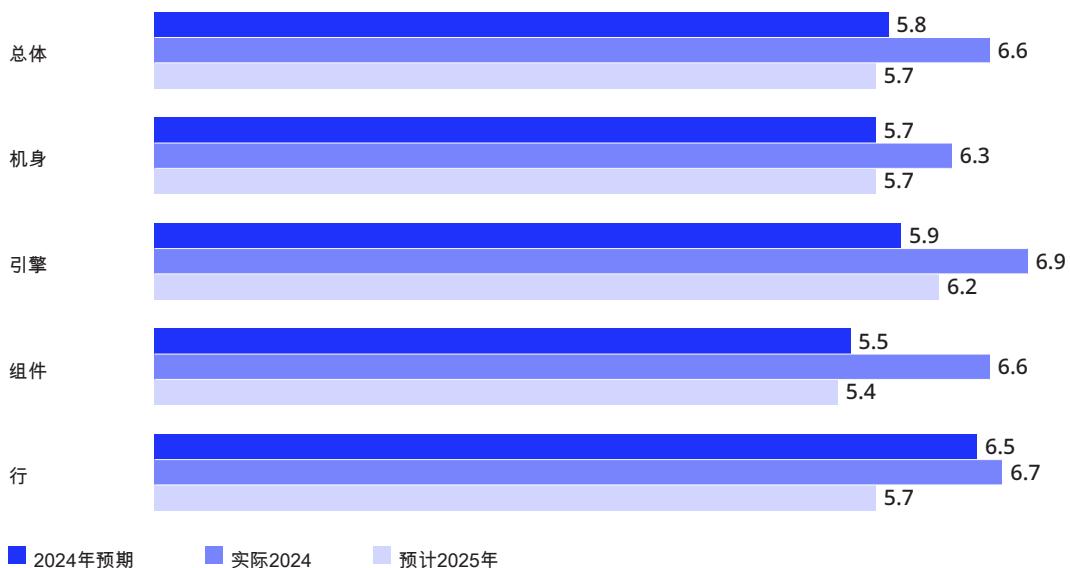
受访者预计工资同比将增长5.8%，但实际上增长了6.6%，这表明该行业的工资通胀仍然持续（图表3-3）。

北美的三分之一的飞机机械师已接近或达到退休年龄（图34）。这群拥有高度内部知识的专业技术人员随着他们未记录在案的技术一起退出劳动力市场。随着更多初级员工填补空缺，航空公司和独立MRO报告称，新的AMT需要2-3年才能完全投入生产。这意味着需要更多员工来完成任务，或者周转时间可能会更长，直接影响航空公司。

奥利弗·惠悦最新对行业高管的MRO调查显示，在2024年，

图33：预期/实际2024年及预测2025年维护人工费率增加

按百分比，各细分市场MRO调查问卷回答的平均值



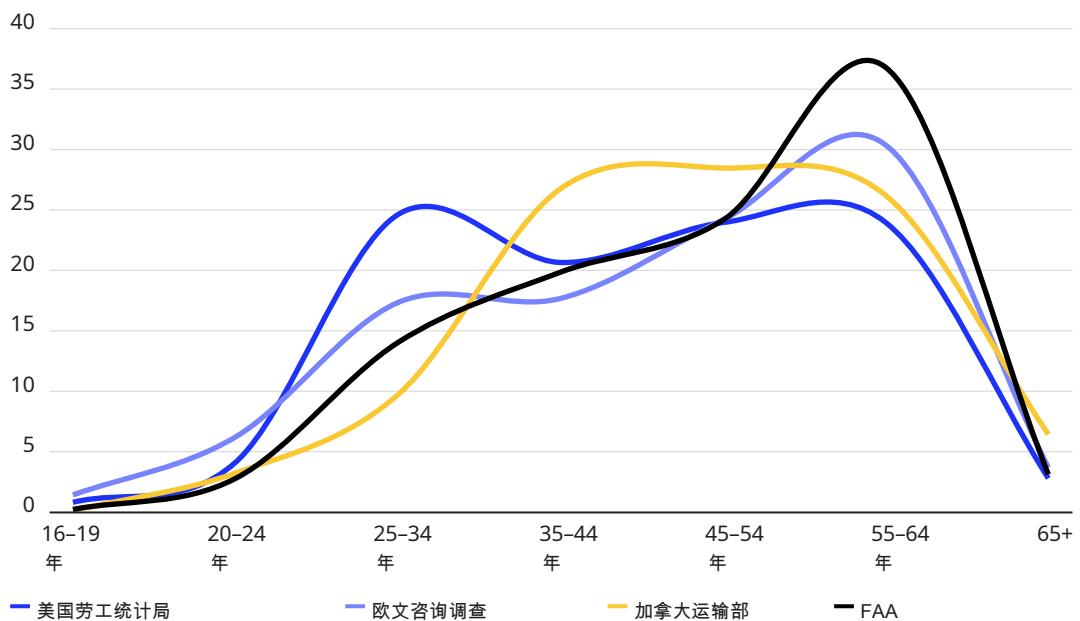
来源：Oliver Wyman 2025 MRO调查

仅在美国和加拿大，Oliver Wyman 预计到2025年将短缺17800名商业航空维修人员，到2027年这一数字将上升到22000名。

尽管这些短缺在发达经济体中最为严重，但它们在中国和新兴市场中也已被报道。

图34：维修技术人员年龄分布

数据来源



注意：Oliver Wyman调查包括在独立MRO工作以及区域、干线和货运航空公司的认证和非认证人员

来源：美国劳工统计局、加拿大运输部、联邦航空管理局、奥利弗·怀曼调查与分析

第五节。

对航空公司的 的影响

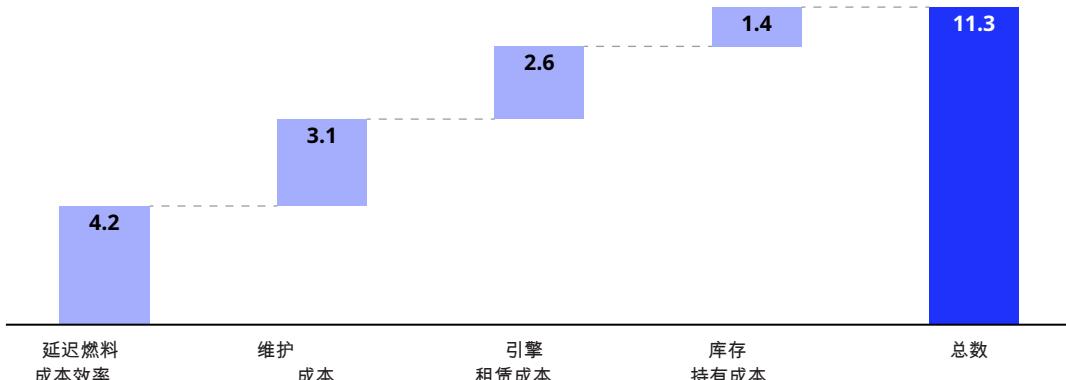


供应链挑战影响各层级航空公司——从收入损失和客户满意度下降到运营成本增加和温室气体排放增加。

在众多影响中，Oliver Wyman量化了四个主要影响：因使用效率较低的飞机而导致的燃油成本改善延迟；由于使用较老的飞机以及OEM限制对新型飞机型号的MRO竞争，导致维护成本增加；由于发动机租赁成本增加

tats；以及更高的库存持有成本。这些影响加起来可能导致该行业在2025年损失113亿美元（见展位35）（成本方法见附录a）。此外，增加的复杂性、风险、罚款和低效率可能导致额外的成本影响。

图 35：供应链挑战对航空公司潜在成本影响估算，2025年
百亿美元



来源：奥利弗·惠悦分析

延期燃料成本效率

由于飞机交付延迟，航空公司增加的燃油成本约为1.6%

正在运营着全球每年2600亿美元的航空燃料中，更老旧、燃油效率更低的部分

还会排放更多温室气体。运营成本增加（与737 NG相比）仅2025年就可能达到42亿美元（基于2024年每加仑2.34美元的飞机燃油平均价格）。¹¹这些旧型号对总体影响，而不是新型号，而宽体机则

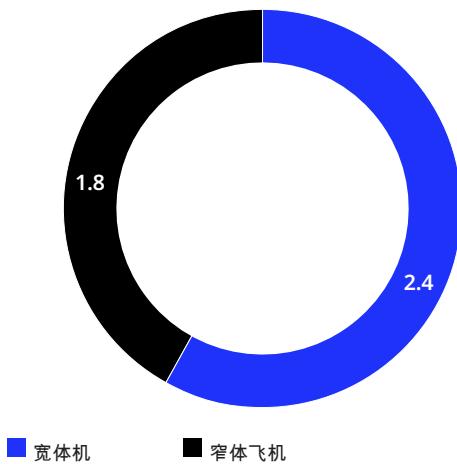
（例如，A320neo与A320ceo，737 MAX占比60%，因其燃油消耗率更高

商业航空运输业的支出。窄体机占（图36）的40%。

¹¹ 考虑到喷气燃料价格的波动性，总影响可能从低至17亿美元（基于2020年每加仑约1美元的燃料价格）到高达60亿美元（基于2022年每加仑超过3美元的燃料价格）。

图36：2025年不同机型对航空公司燃油效率成本的影响

百亿美元



来源：奥利弗·惠悦分析

从每可用座位英里 (CASM) 成本和盈利能力角度来看，影响更为显著 (展示37)。根据国际航空运输协会 (IATA) 统计，[全球行业支出约为9040亿美元](#)，燃油成本

占所有运营成本的29%。燃料成本的42亿美元变化代表了航空公司运营成本的0.46%变化，并且在可用座位里程不变的情况下，也代表了CASM的0.46%变化。此外，这也代表了利润的13%变化，基于 [2024年全球航空公司的净利润达320亿美元](#)。

除了直接的经济影响外，环境后果同样重大。传统飞机型号的持续运营导致了大约1700万吨的可避免二氧化碳排放——占航空业年总排放量 (大约9500万吨) 的1.8%。在单个航空公司层面，机队更新是实现2050年净零目标的重要杠杆，通常占总减排量的15-20%。

证据37：燃油效率延迟对航空公司潜在成本和盈利能力的影响
基于航空煤油价格/加仑情景

	使用 2024 极光 燃料价格					
喷气燃料价格/加仑	\$1.0	\$1.5	\$2.0	\$2.3	\$3.0	\$3.5
成本影响	18亿	2.7亿	36亿	42亿	54亿	62亿
CASM冲击 (假设行业 支出 = 904B)	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%
盈利影响 (假设行业 利润 = \$32B)	-6%	-8%	-11%	-13%	-17%	-19%

来源：奥利弗·惠悦分析

增加飞机维护成本

全球机队平均年龄比2019年几乎增长了两年（见表38）。如果所有预期的飞机交付都已到位，那么今天的全球机队年龄将比2019年只增长一年。这些经过更多飞行小时和周期的老飞机，维护成本比新飞机更高。在总体层面，假设使用老飞机而不是新飞机，到2025年全球航空公司可能需要额外支出31亿美元维护费用。

腐蚀以及其他需要维修或更换的损坏。这通常在检查或故障期间被检测到，并在飞机设计寿命后期变得更加频繁。强制性适航指令（AD）和服务公告（SB）通过要求的改装和持续的安全检查增加了成本。与老化相关的结构、布线和油箱维修，以及中期法规改造，进一步增加了维护的复杂性，最终成本在服务结束时趋于稳定。

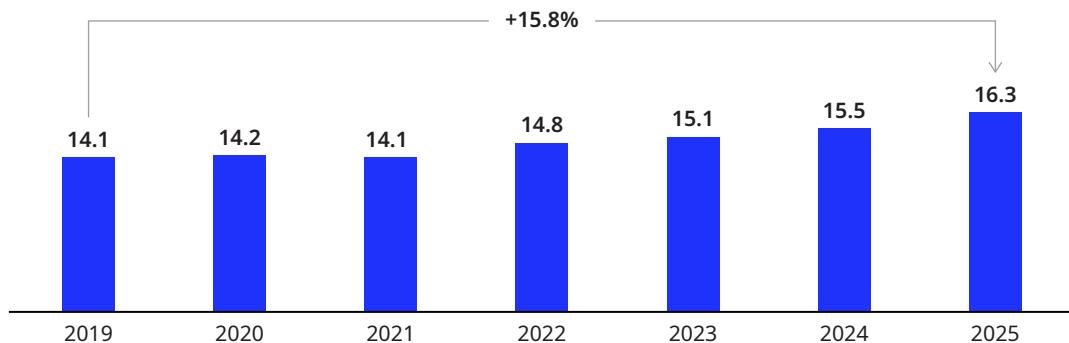
老化飞机的维护成本因以下几方面而上升：常规维护的频率和复杂性增加，因为计划检视发现更多问题，并且发动机和起落架等关键部件需要在生命周期关键阶段进行昂贵的翻修。为防止广泛疲劳损伤的监管检视要求也增加了显著的开销，包括为延长适航性而需要的结构改造。

所有飞机型号（不仅限于老旧型号）也受到零部件维护成本普遍上升的影响，这归因于备件交付周期延长和设备车间维修周转时间延长。例如，航空公司不得不为额外的部件更换和替代性借用服务花费更多。较长的交付/周转时间是由于零部件短缺造成的，而其他因素，如OEM网络之外的维修手册获取受限，以及DER/第21部分维修和PMA部件使用受限，正在加剧这种短缺。

非计划维护也随之增加，因为应力、环境和使用造成的材料老化导致出现裂纹。

证据38：全球平均机队年龄，2019-2025

在年份



来源：奥利弗·惠悦分析

引擎租赁成本

由于零件和人工短缺（以及其他原因），发动机维护的TAT增加，导致飞机因等待发动机而停场，对备用发动机的维护需求增加，以及需要租赁发动机。所有这些共同造成了财务负担

在可能从26亿美元到50亿美元的行业（基于发动机大修的TATs从60天基线增加到90-120天）。这个数字可能会根据TAT增加的严重程度而有所不同（图39）。

展品39：发动机访问周转时间增加：对行业成本的影响

周转天数 (假设基线=60)	70	80	90	100	110	120
成本影响	9亿	17亿	26亿	34亿	42亿	50亿

来源：奥利弗·惠悦分析

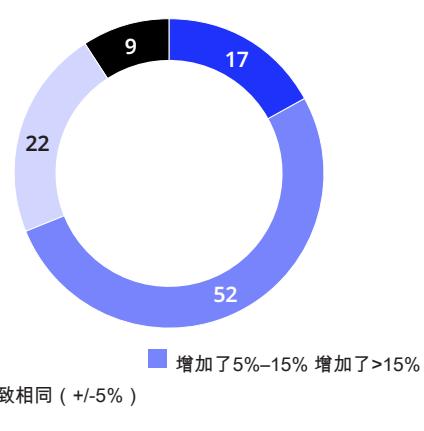
库存持有成本

由于维护周转时间和供应链提前期增加，航空公司已在能够做到的地方增加了备件库存。根据 Oliver Wyman 对 MRO 行业高管的调查，当前库存水平很可能平均比历史正常水平高 8%，一些受访者表示库存水平高出了 15% 以上（图 40）。

持有过量库存可能导致全球机队总成本增加13亿美元。对于航空公司而言，这相当于窄体机每年增加4.4万美元的持有成本，宽体机每年增加6.9万美元。

图40：库存水平上升以弥补更长的交付周期/供应链不确定性

选择每个选项的MRO调查受访者百分比



来源：Oliver Wyman 2025 MRO调查

其他成本

上述量化影响绝非航空公司潜在成本影响的全部。在上述量化之外，对航空公司可能产生的进一步影响包括（但不限于）：

- 因飞机交付延迟造成的收入损失，阻碍了服务扩张
- 未达到客户期望，由于继续使用设备更少、乘客便利设施较差的旧飞机
- 由于使用老旧、可靠性较低的飞机；维修时间增加；以及备件短缺，需要额外的备用飞机来支持持续时间较长的维护事件
- 由于缺乏可用库存以主动增加地面停场（AOG）的频率和持续时间

解决导致航班中断（如最低设备清单派遣限制）和/或响应航班中断事件的问题，导致旅客重新住宿费用、旅客权利罚款、机组人员替换等

。

- 由于零件短缺，导致最后时刻零件采购成本增加（例如通过AOG服务台）
- 飞机构型退化，从最后一刻的零部件采购，其中可能需要接受替代件号来满足需求
- 由于老旧、效率较低的飞机排放增加，额外碳交易和抵消成本

第六节。

结论：产业行动



供应链挑战正影响着商业航天领域几乎所有组织，从航空公司和租赁公司到OEM、供应商和MRO。每个组织都在寻求更好地满足自身客户的需求、控制成本、提高利润率，并雇佣足够的人才。

解决这个问题没有简单的办法。但虽然一些杠杆超出了行业的控制范围，我们在此描述了五项我们认为可以帮助行业加速恢复的行动。

行动 1：提升合作

一个关键的第一步是，商业航天工业的参与方需要在其供应链中的所有利益相关者之间，开发一种更根本和战略性的协作方法，目标是找到解决现在压在行业身上的问题的集体解决方案。显然，各公司单凭自身努力，在更好地满足飞机生产和维护需求方面，并没有能够取得进展。

那些有助于提升供应链稳定性的条款，例如“取货或付款”合同。

强化早期预警和应急预案制定

OEMs，在某种程度上是飞机供应链的“第一站”，可以在向航空公司和供应商提供潜在供应链问题预警方面发挥至关重要的作用。供应链中潜在的麻烦信号——例如零件短缺、物流延误或产能限制——可以使供应链参与者触发常见和个人策略，以防止此类问题升级。在库存管理政策、首选供应商、采购政策以及销售、库存和运营计划（SIOP）方面的透明度可以进一步提高可见性。

提高计划稳定性

飞机制造商和原始设备制造商可以更好地与供应链合作，以重建预测的信心，从而创造更多的日程稳定性以及统一的可实现的产能爬坡率。这可能需要更长时问以较低速率运行，并逐步增加。产能爬坡目标应该是令人向往但可实现的，基于供应链的所有要素。飞机制造商和原始设备制造商还可以考虑采用其他方法

OEMs也可以在制定针对特定风险领域的联合应急计划方面发挥领导作用，通过优先考虑关键

组件（如那些具有长交付周期或单一来源或复杂的组件）。同样，飞机制造商可以促进更频繁的协调会议和工作组，以审查新出现问题的状态，并在整个供应链中向关键供应商发出警报。

和风险。例如，分享更多关于维护延迟或零件短缺的技术根本原因的数据，可以帮助确定系统性问题，这些问题可以通过协作式问题解决来跟进。

分享最佳实践

在客户方，航空公司可以在行业工作组及开放论坛的框架内进行合作，以增进其对供应链问题的理解。这可能涉及建立正式机制，以确保持续分享经验教训，突出低效环节和最佳实践。

改进文档一致性

航空公司也可以致力于制定更一致的方法，以确定备用零件和发动机交易所需的文件深度和类型。对所需维护记录数量（即，从出生到现在的记录）或一致标准（例如，在重大翻修后需要重置的文件）采取更一致的方法，可以提高市场的流动性并加速交易，从而增加零部件的可用性。

更透明、更集体的沟通也有助于航空公司识别和减少浪费的过程

行动2：改进供应链洞察

在整个供应链的可见性长期以来一直是行业的目标。虽然目前供应链的高层存在一定的可见性，但行业普遍缺乏像汽车行业那样存在的端到端完全透明度。

此外，全面深入了解整个全球供应链，包括所有层级、物流合作伙伴和客户，有助于更主动地管理供应链问题并提高效率。

飞机制造商和一级原始设备制造商签署支持协议（如空客SSC和波音PSAA），这些协议对它们提供的零部件和系统包含性能、可靠性、成本上升等方面的义务。对这些协议的良好理解和可能的自动化监控是实现更高供应链可见性的第一步。

揭示关键风险

映射可能揭示隐藏的依赖关系和潜在的瓶颈，例如唯一来源供应商或关键物流节点，这些可能会扰乱生产。风险预警和评估将得到加强，从而能够管理供应链

更主动地，而不是只在问题出现时才做出反应。这反过来将支持整个供应链中更有效的库存管理。

培养更强的协作和创新，通过明确供应商关系并实现数字工具（如物联网（IoT）和区块链）的集成，以实现实时追踪和溯源。最后，这些见解将有助于在采购、产能规划和适应市场或地缘政治变化方面做出更战略性的决策。

识别漏洞还将使OEM能够制定有针对性的缓解策略，例如双重采购或替代路线，从而加强风险管理并提高韧性。

工具和先进分析能力用于绘制和监控供应链的可用性正在提高，但要获得更好的供应链洞察也需要全行业的承诺以及安全可靠的数据共享流程。

暴露低效

增强可见性也能暴露低效之处，并能够实现更精简、更协调的生产流程。它能够

行动3：更好地利用库存和维护数据

航空公司可以获取大量关于其机队和各个部件性能的信息。现代飞机产生的数据比以往任何时候都多，通用电气公司估计全球机队每年产生的飞行、维护和运营数据达到1000亿字节（或1亿太字节）。这些数据可以更好地被利用来提高备件的可获得性和预测，减少维持高性能所需的库存量。

航空公司。实现这一目标有几种选择。第三方提供的传统盈利零部件共有池已经存在很多年了，但由于所有权、访问优先级、配置标准、成本和治理等问题，使用情况参差不齐。更详细的零部件历史数据可以帮助提高此类共有池的使用率。

其他池子，例如国际航空公司技术池（IATP），使航空公司能够在中立的平台上提供和寻求零件，从而促进交易。航空公司还可以考虑“虚拟池”，它提供了对跨航空公司集团零件可用性的更实时可见性。这将有助于促进传统的贷款、借入或购买交易。

使用传统和虚拟部件池

一种减少库存需求的方法是通过共享库存

开发用于预测工具的高级支持流程

预测性维护可以帮助航空公司避免非计划性维护，减少最后一刻采购零件的需要（这会使供应链紧张并可能增加成本）。预测性维护有潜力将非计划性事件转变为可预测的需求信号，从而可以进行计划，有可能减少库存安全库存。

然而，要实现这一点，需要航空公司、租赁公司、维修、修理和大修（MRO）公司和原始设备制造商（OEM）之间的合作，以发展流程和商业协议。航空公司必须学习如何利用预测维护系统的输出，并结合其他信息（例如库存水平、通过/不通过清单和最低设备清单类别）。航空公司和维修提供商需要发展商业协议，以适应并审查潜在的“未发现故障”增加，并确定谁对执行“预测”服务订单负有责任。

集中维护数据

通过飞机制造商的支持，通过开放数据访问（即遵循ARINC规范等开放标准），所有航空公司都能从飞机维护数据的中央存储库中受益。这将作为一个对所有开放、无差别的共享知识库。这样一个集中式数据中心可以促进有效使用数字和AI工具来更好地分析和传播维护信息。

通过利用人工智能驱动的洞察力并利用其自身机队产生的数据，航空公司可以提高维护能力，有可能减少非计划维护事件并避免不必要的日常维护活动。最近行业的举措，如IATA促成的《飞机运营数据原则》，在2024年10月由几家原始设备制造商同意，旨在实现此类开放数据访问，但需要投资和坚定的合作来推动这些举措。

预测性维护可以帮助航空公司避免非计划性维护，减少最后一刻寻找零件的需求。

行动4：扩展维护和零件供应

由于零件短缺且维修周期长，供应链需要考虑替代方案以增加产能。

此外，监管机构可以评估减少监管周期时间和积压的方法，以便对那些不属于微小变更类别的DOA提交的新维修说明进行适用性批准，以及审查并阐明在持续适航指令（ICAs）中提供的信息的期望。

增加材料修复

每个可修复的部件都取代了备用部件的需求，减轻了供应链的压力，使更多的部件可用于生产线以及无法进行维修的场合。修复部件通常也比生产新部件对环境的影响更小。这需要航空公司、原始设备制造商、出租人、维修、修理和大修机构、经批准的设计组织（DOAs）以及监管机构之间进行更积极的协调。

增加替代部件和USM使用

通过faa的所有者航空公司生产的部件和/或利用easa的145部件本地制造特权和pma增加从替代供应商处使用材料可以缓解传统供应商的供应链压力。对于较老的平台上的部件，这可以是一种特别有效的策略，因为这些部件通常会对oems造成干扰。有许多供应商愿意并配备更好来承担这种低产量、高混合度的工作，并且可能存在航空航天生态系统之外的、可以被纳入的、非传统供应商。

OEM厂商可以支持维修的更快速发展，尤其是在更新的平台上，并评估向更多维修维修组织（MRO）提供维修服务。这将提高维修能力和容量。航空公司反过来可以更舒适地接受OEM厂商维修以外的替代方案，并更积极地使用FAA DER和EASA Part 21。这可能需要在当前商业上不鼓励或限制替代维修的地方与租赁方合作更新条款。租赁方历史上一直接受补充型号合格证（STC），而对于Part 21“小变更”的接受，是当前实践的自然演变，用于开发其他批准的维修说明。没有设计认可证书（DOA）的MRO可以与独立DOA合作设计和论证维修，从而为他们的客户提供新的选择。这对未经许可的MRO可能尤其有帮助。

增材制造技术的进步可以简化使用替代材料制造零件的设计和开发，从而缩短上市时间。这些技术可以更快速地进行原型设计和制造首件样品，并且非常适合这个领域所需的快速响应、低批量生产运行，而更传统的技术在这方面可能在时间和成本基础上被证明是无法承受的。

OEM的参与和承诺可以帮助扩大替代材料的使用。OEM可以直接向其他

制造商，支持质量控制，并适应替代零件，释放 OEM 容量以专注于阻塞供应链的关键零件。独立的 PM A 制造商可以通过进一步开发自己的目录带来额外价值。

也存在利用大量美国军用标准件 (USM) 的机会，无论是维修车间中的全套可替换单元 (LRU) 和/或子组件组装件。Aerochange 和 IATA MRO Smarthub 等行业平台是可用于识别、评估和交易 USM 的工具示例。

并与 BFE 和维护服务相关的保证，因为他们直接与供应商协商此类协议。然而，航空公司可以提高他们对涵盖 SFE 的协议的认识和利用程度。波音 PSAA 和 空客 SSC 可供航空公司使用，并描述了机身 SFE 设备原始设备制造商将提供的支持。其他协议，如国际航空运输协会发动机维护协议和关于维护航空航天市场竞争最佳实践的国际航空运输协会和罗尔斯·罗伊斯声明，在航空公司与原始设备制造商谈判时也可以被利用。

利用现有的合同赋能

航空公司可以更好地利用现有协议中的保修条款和性能保证来开辟额外的解决方案、产能，并有可能降低成本。许多航空公司对保修管理相当熟悉

随着售后市场的变化，这些协议需要继续进行评估和更新——特别是当本世纪下半叶窄体发动机首次进入维修车间时，可以吸取经验教训。最后，其他 OEM 可以考虑类似于罗尔斯·罗伊斯和 CFMI 协议的额外框架，以开辟额外的供应链解决方案。

行动5：支持当前和未来劳动力

在行业内，各方都在努力吸引、留住并有效培训当前和未来的劳动力，特别是为了应对现代飞机日益增长的复杂性。鉴于劳动力发展的复杂性，这项行动包括短期（如培训和激励计划）以及长期（如扩大人才管道、行业协调）举措。

革新培训和激励计划

培训计划必须采用创新方法（如虚拟现实和人工智能），以迎合现在进入职场的新一代，他们更精通技术，但也比老一代人有不同的学习风格。在另一方面，作为老一代、经验丰富的

工人退休后，建立数字仓库来捕捉和分享其机构知识，有助于保留该专业知识、标准化指导以及加速入职。

与学院和职业学校合作。招聘策略必须广撒网，考虑具有可转移技能的相关行业，如汽车和公用事业；经验丰富的前军事人员；以及来自更多样化背景的人。

激励计划需要量身定制，以降低当今竞争激烈市场的离职率，同时也要吸引每一代人所重视的价值。多样化的选择菜单可以确保广泛的吸引力，包括绩效奖金、指导/教练、灵活的工作选择和职业发展路径，以及认证合作。由于目前有五代人在职，\"一刀切\"的方法根本行不通。

投资于全行业方法

最后，航空业需要实施一种协调的、全行业办法来吸引人才。例如，为了应对美国造船业面临的类似挑战，海军和关键行业的成员启动了“蓝色熔炉联盟”，它除了其他职责外，还协调行业推广与持续有吸引力的营销；全国广告投放；以及“buildsubmarines.com”招聘网站。商业航空航天价值链中的所有组织都能从一种类似的协调方法中受益。

扩大人才管道

拓宽人才输送渠道将需要航空公司和原始设备制造商持续努力与各级教育机构接触——从中学和高中阶段的 STEM 接触到联合认证

总之，当今的机队规模更大、技术更先进、燃油效率更高，前所未有。然而，为交付这支机队而发展起来的生产和售后供应链及经济模式，却加剧了供应链的挑战。这些挑战给航空公司带来的成本是真实的，并对行业的健康和可持续性构成阻碍。

重新评估当前行业经济结构如何影响未来平台，可能为重新平衡新 OEM 项目与航空公司承担的后市场成本之间的平衡关系铺平道路。这场危机可能成为行业公开重新审视当前 OEM 商业模式的基石的机会。

最终，一个更广泛、更团结、更主动、更灵活和更具战略性的行业响应将有助于所有利益相关方解决当前的供应链问题，并更好地为未来的挑战做准备。

附录A

成本影响方法论

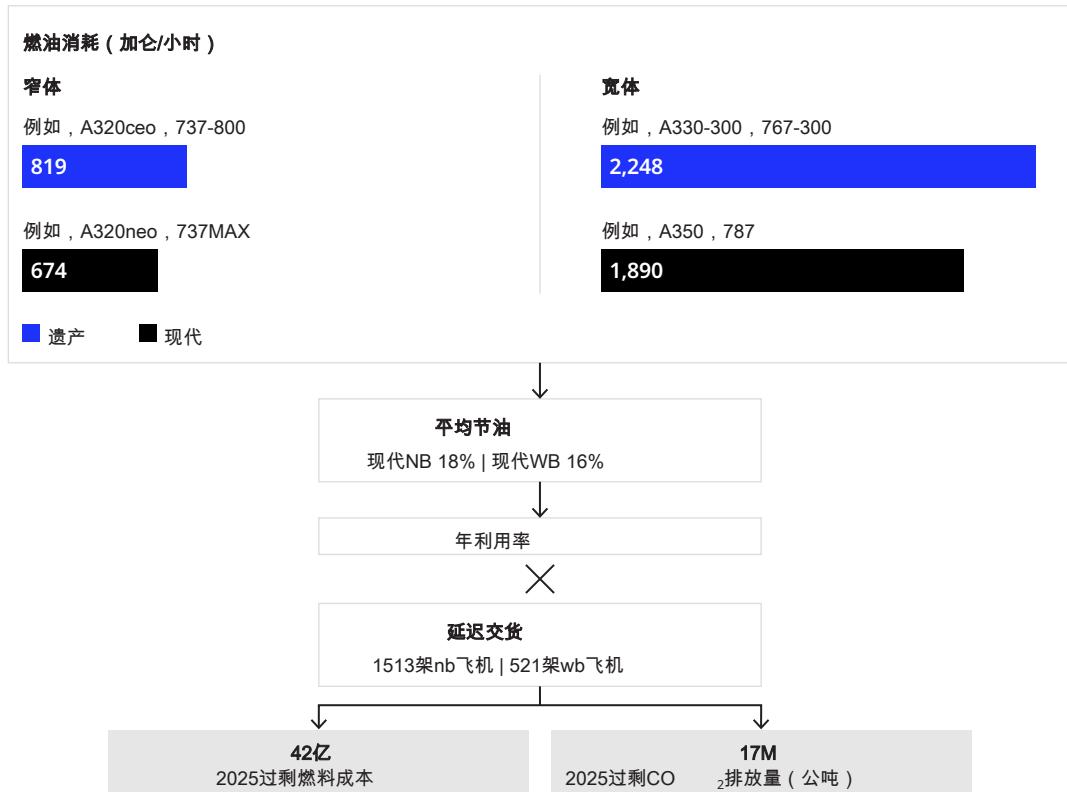
下列成本影响数据基于主要飞机型号（如737 MAX、A320neo、787、777等）。2020年和2021年的交付量已剔除，以消除新冠疫情的影响。交付量缺口基于奥利弗·惠悦2019年和2025年的机队预测，涉及2019年至2025年间预计但未发生的约2000架交付量。

延期燃料成本效率

为了量化航空公司燃油成本的影响，采用了一个四步流程：首先，针对一系列飞机选项，计算了每小时的燃油成本和CO2排放节省量。这些每小时的节省量是基于老旧型号的排放量（例如，A320ceo，767）相对于新型号排放量（例如，A320neo，787）计算得出的。接下来，确定了2025年实际服役飞机与2019年预测之间的“差距”，并将疫情期间的交付量（2020年和2021年）清零。然后将这个“差距”或未交付飞机的数量乘以每种飞机的平均年飞行小时数和每小时燃油/CO2成本差值。最终得出42亿美元的最终数字，代表如果所有飞机都已交付，则可以避免的燃油成本（图41）。

据我们估计，如果所有预期的飞机都已交付，将避免42亿美元的燃料成本。

图41：燃油成本效率计算



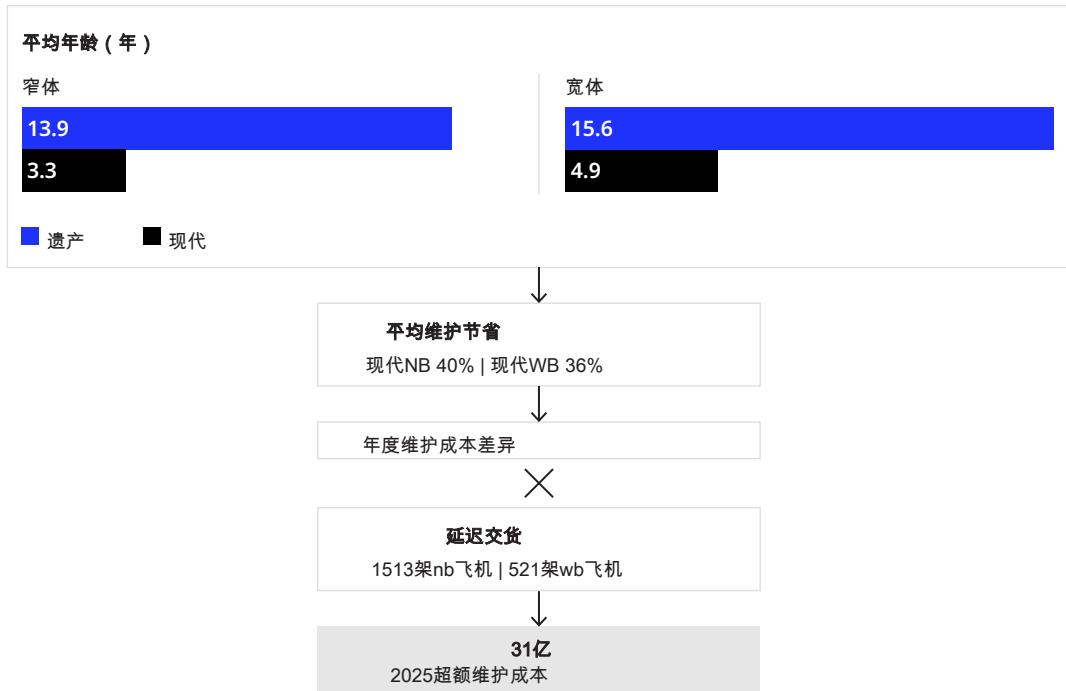
注意 : NB=窄体飞机 , WB=宽体飞机
来源 : Oliver Wyman分析

维护成本

为推导航空公司维护影响 , “典型”飞机每年的维护成本被使用。例如 , 如今平均新窄体机 (基于 737 和 A320 等主要机型) 约 3 岁 , 而较老的窄体机近 14 岁。一系列机型 (A320 、 A330 、 737 MAX 、 A220 、 A350 、 195-E 和 787) 的汇总数据显示 , 较老的窄体机相较于较新的窄体机维护成本高出 40% 。

同样 , 平均新宽体机龄为 5 年 , 而老旧宽体机近 16 年 , 维护成本高出 36% 。然后将此成本差异乘以 2025 年实际服役飞机与 2019 年预测之间的“差距” , 以得出全面成本影响。最终的 31 亿美元数字代表如果所有飞机都已交付 , 则可以避免的维护成本 (图 42) 。

展品42：维护成本影响计算



注意：注意：NB=窄体机，WB=宽体机。维护成本数字是基于一组飞机型号（包括A320、A330、737 MAX、A220、A350、195-E2和787）的示例数据。来源：Oliver Wyman分析

引擎租赁成本

为发动机大修设定了60天的基线TAT。使用Oliver Wyman的专有OEM价值地图获取了经历TAT增加的选定型号的全球发动机数量（例如CFM56、V2500、GE90和CF6）。基于我们的行业知识和经验，将这些发动机群体应用10-15%的年度大修率假设，估算了每年进行大修的发动机数量。据此，计算了基线和延长TAT情景下每年的“发动机在访问中”的总天数。然后将该数字转换为所需的年度发动机备件数量，乘以当前发动机价格后，提供了对行业总成本影响的估计。

库存持有成本

为了量化库存增加对航空公司成本的影响，估计了每架飞机的典型库存持有成本。这些成本可能高达宽体飞机280万美元，涡桨飞机约为75万美元。假设持有成本率为库存价值的30%。库存增加是根据Oliver Wyman 2025年MRO调查得出的，该调查表明平均增长率为8%。将该百分比应用于平均库存水平，以计算额外的持有成本。

附录B

术语表

AD	适航指令	LLP	寿命有限零件
AMT	航空维修技师	LRU	可替换行单元
AOG	地面飞机	MRO	维护、修理和大修
APU	辅助电源单元	NRE	非经常性工程
ATA	航空运输协会	OEM	原始设备制造商
ATK	可用吨公里	PBH	按小时计费
B&GA	商业和通用航空	PMA	零件制造商批准
BFE	买方提供设备	生产者价格指数 ^或 消费者价格指数	
CASM	可用座位英里成本	PSAA	波音产品支持与 保证协议
DER	指定工程代表	卫星通信	卫星通信
死亡格斗	设计组织批准	SB	服务公告
EASA	欧洲航空安全局	SFE	卖方提供的设备
EIS	投入服务	SSC	空客供应商支持条件
FAA	美国联邦航空管理局	STC	补充型号合格证
FMS	飞行管理系统	STEM	科学，技术， 工程，数学
HPT	高压涡轮	T&M	工时和材料
IATA	国际航空运输协会	TAT	周转时间
ICA	持续适航性说明	TCAS	交通碰撞避免系统
IP	知识产权	USM	已使用可使用材料

贡献者

斯图尔特·福克斯

导演飞行和技术运营

Dragos Budeanu

高级经理工程及维护

兰德尔

飞机制造供应链

米莉安·盖斯

高级专家律师反垄断

克里斯·马克尤

首席技术运营官

凯瑟琳·卡齐尼斯卡

企业通信助理导演

奥利弗·惠悦

马修·皮特劳斯

合作伙伴

简纳·瓦尔吉

高级顾问

史蒂夫·贝克伊

合作伙伴

瑞贝卡·巴特莱特

主编

山姆·萨金特

主旨

奇亚拉·阿苏亚

市场监督

金·劳德

主旨

山田 亜那

设计师

关于国际航空运输协会

国际航空运输协会 (iata) 是世界航空公司的行业协会，代表约350家承运商和全球80%以上的航空运输量。iata通过与政府和监管机构合作，制定支持航空业在连接人民、货物和经济体中发挥作用的政策，来代表全球航空公司。它通过全球标准引领行业，使飞行安全、可靠和高效，同时改善乘客体验和降低成本。它还通过产品、服务和专业知识为行业提供服务，帮助航空公司有效和可持续地运营。欲了解更多信息，请访问 iata.org 或继续

领英 和 [X](#) .

关于奥利弗·怀曼

Oliver Wyman (Marsh McLennan集团旗下公司，股票代码：MMC) 是一家管理咨询公司，它将深厚的行业知识与专业特长相结合，帮助客户优化业务、提升运营和加速绩效。Marsh McLennan是风险、战略和人才领域的全球领导者，在Marsh、Guy Carpenter、Mercer和Oliver Wyman四个业务板块为130个国家的客户提供咨询服务。凭借230亿美元的年收入和超过85,000名同事，Marsh McLennan通过视角的力量帮助客户建立信心，实现繁荣发展。

获取更多信息，请访问 oliverwyman.com 或在领英和推特上关注我们。

美洲
+1 212 541 8100

欧洲
+44 20 7333 8333

亚太
+65 6510 9700

印度，中东及非洲
+971 (0) 4 425 7000

版权所有 ©2025 OliverWyman

所有权利保留。本报告不是投资建议，不应被视为此类建议的依据或代替咨询专业会计师、税务、法律或财务顾问。Oliver Wyman 已尽一切努力使用可靠、最新和全面的信息和分析，但所有信息均不提供任何明示或暗示的保证。Oliver Wyman 不承担更新本报告中信息或结论的责任。Oliver Wyman 对因本报告或本报告引用的任何报告或信息来源而采取或未采取任何行动所导致的任何损失概不负责，即使已被告知此类损失的可能性。本报告不构成买卖证券的要约或招揽买卖证券的要约。未经 OliverWyman 书面同意，本报告不得出售。