



# ▶ 垂直起降 空中交通的未来

评估 2035 年前载客、勘察和货运  
服务等领域的市场规模  
保时捷管理咨询研究

# 致读者

飞行给人特别的自由希冀，无拘无束。人类始终怀有在空中展翅翱翔的梦想。为了设计飞行器，天才的意大利艺术家、工程师和自然哲学家达芬奇（Leonardo da Vinci, 1452-1519）曾对鸟类进行研究。研究成果中，他主张采用肌肉力量作为飞行器的推进力。

早在达芬奇时代，垂直空中移动，包括垂直起降（VTOL）的移动能力已经占有一席之地。1490 年左右，达芬奇勾画出一架带螺旋桨的飞行器草图，这便是如今直升机的前身。达芬奇将这件发明称为“螺旋翼”。而早在 2500 年前，中国人已将这种向上运动的原理应用于民间流传的竹蜻蜓玩具。

达芬奇无法将他的发明理论付诸实践。他缺乏轻质和稳定的材料，市面上也没有足够强劲的驱动系统可供使用。随后，众多设计师也曾试图生产旋翼飞机。直到很久以后的 1901 年，第一架直升机终于在柏林成功升空。一个多世纪后的今天，旋翼机正在被赋予新的意义。作为小型多功能无人机，无论是四座空中公交、运输工具，还是勘察工具，在未来的多种互联交通模式之间，皆可发挥重要的纽带作用。

为什么这种小型飞行器引起了热切关注呢？航空工业经历了巨大发展，宽体客机可搭载多达 850 名乘客。乘坐飞机往来世界各地是目前常见的出行方式。然而，当前仅有超前的技术才能在短途出行时利用空中区域，尤其是在大城市上空。

环保的电力推进系统、极速充电的高性能电池、对起降的最小空间要求、高速计算机和大数据都为革命性的新应用奠定了基础。因为无人机已实现远程操纵，我们正在进入一个不需要飞行员和飞行执照，人人都能操作飞机的时代。乘客作为驾驶者，需要做的不过是选择目的地。

当然，所有新事物首先需要被接受。人类面对重大变革的自然反应是有所顾虑和担忧。本研究的作者们意识到这些可能的反应，并对此进行了阐述。同时作者们也确信，卓越技术必将包含必须的安全和保安性能，足以妥善消除人们的顾虑和担忧。因此，本研究采用了一种全面而综合的方法来分析垂直起降空中交通的可行性。

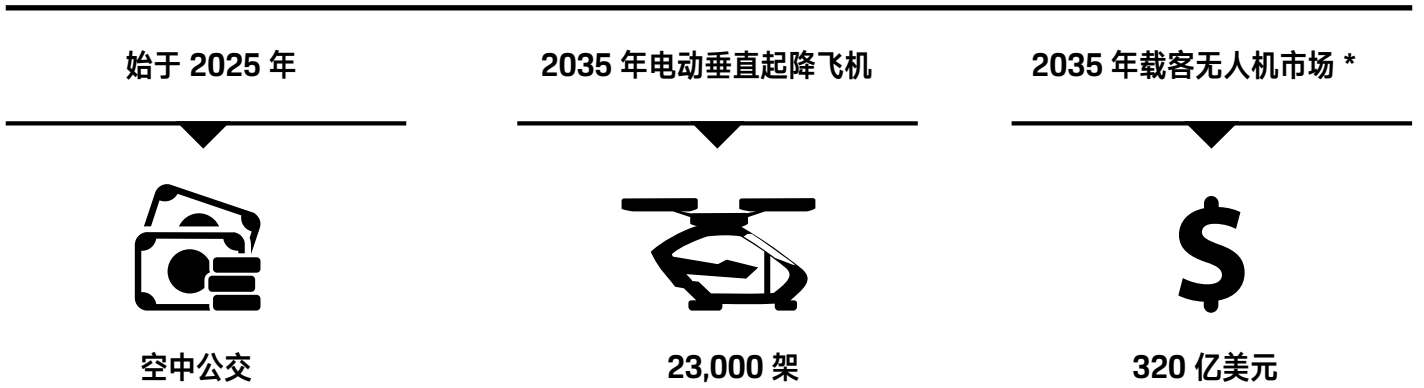
# 技术概览

垂直起降空中交通为人类提供了一个重要的机会，使每个人的飞行梦想成真。在勘察、货运和载客服务领域具有巨大潜力，在 2035 年之前可形成价值 740 亿美元规模的全球市场。

在初期的现场测试后，我们预计电动载客无人机或电动垂直起降（Electric Vertical Take-off and Landing, eVTOL）飞行器将于 2025 年开始提供商用移动服务。未来七年内，第一架无人驾驶空中公交将在世界各大主要城市起飞。这些空中公交主要连接

机场和市中心，为商务旅客提供短途转机服务。随后十年内，即 2035 年之前，无人机可能已组成精密的客运服务网络，其中约有 23,000 架飞机负责主要航线，打造价值 320 亿美元的市场（图 1）。

## 载客无人机



\* 市内与城际  
图 1、服务于每一个人的空中公交：商用载客无人机时间表。图表：保时捷管理咨询有限公司

要使这一愿景成为现实，必须在未来数年内探讨、设计和开发 eVTOL 生态系统的四大关键元素，即基础技术、监管框架、社会接受度和必备基础设施。即便有很多意见指出，垂直起降空中交通在未来将使个人交通提升至第三维度，但就现状看来，这仍是一个充满巨大风险的冒险计划。

在城市交通的迷局中，垂直起降空中交通只是其中的一方面，原因在于垂直起降空中交通的应用范围有限，且通常需要在 20 公里或更远距离的交通中才可体现出较其他方式（如出租车）的优越性<sup>1</sup>。这一最小范围几乎是平均 11 公里（1）市区内行程的两倍。尽管如此，垂直起降空中交通仍有望缓解城市热点地区的部分拥堵压力——但效果有限。如果有人试图通过空中出行解决所有的地面交通问题，那么无数的起降点也将成为新的拥堵点。

但我们无需担心无人机会导致空域堵塞，这是因为在不远的未来，实际不可能出现载客无人机和随地起降的飞行汽车。即使是拥有 500 万至 1,000 万居民的特大城市，到 2035 年，投入运营的载客无人机也不会超过 1,000 架。短期内，载客无人机仍然是一种枢纽到枢纽的出行选择，其依赖于其他交通方式，实际并非端到端的解决方案。

纵观无人驾驶 eVTOL 飞机，到 2035 年之前，勘察无人机市场将增长至 340 亿美元，共计 2,150 万架服役飞机，相应的货运无人机市场则价值 40 亿美元，拥有 125,000 架飞机。勘察无人机目前已投入使用，货运无人机也已在世界各地开展试验。到 2035 年，勘察、货运和载客无人机的支持服务市场将再度拓展 40 亿美元规模。

可以肯定的是，垂直起降空中交通的时代已经到来。唯一的问题在于市场规模及其发展速度。这便是以下报告的关注焦点。

<sup>1</sup> 由于不同行程距离所需的技术概念亦不相同，本报告对市区内和城际交通应用进行了分类。

# 序言

## 空中出租车

飞机场至城市通勤

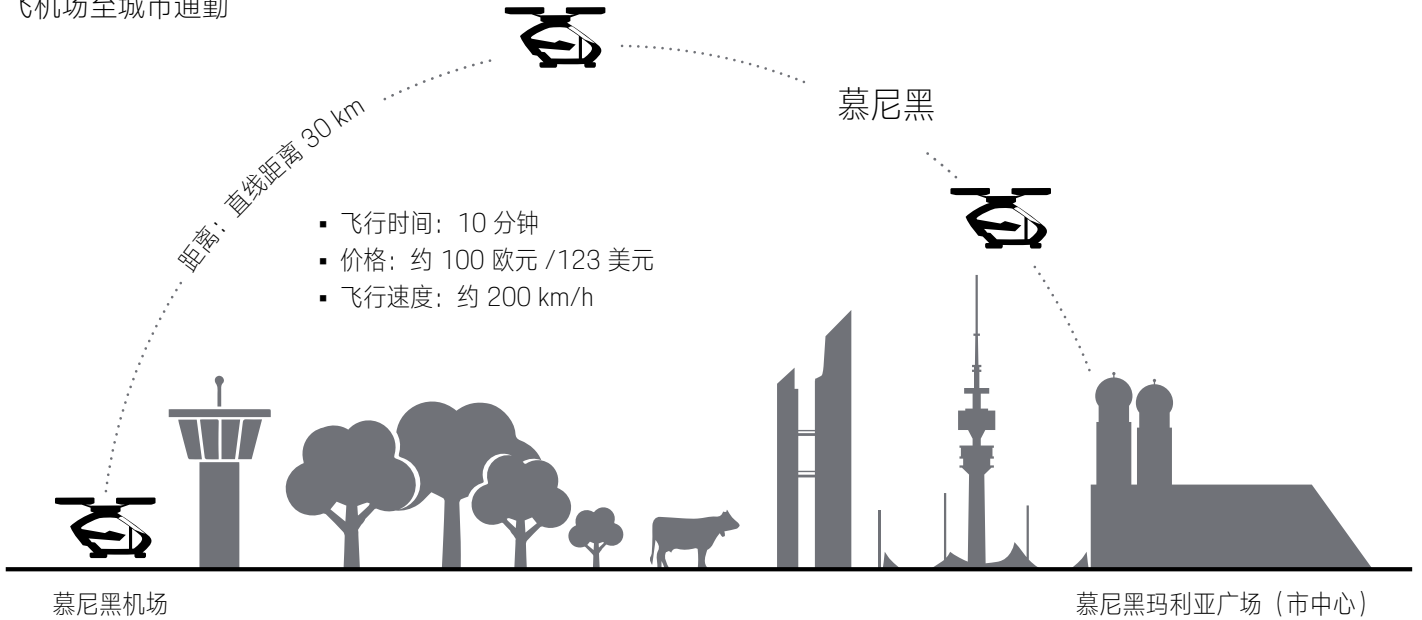


图 2、空中公交可用于机场和城市之间的快速交通：如在慕尼黑，最快通行仅需十分钟。 图表：保时捷管理咨询有限公司

本报告提出了深入分析的战略概述，旨在实现如下三大目标：

**01** 为垂直起降空中交通的炒作添加了一种现实基础的可行性，第一批载客无人机接受试验的同时，Uber Elevate 空中公交服务的各种细节开始呈现，由此激发公众对未来的畅想（2）。

**02** 遵循本公司“战略思考，务实行事”的使命，提出务实和中立的分析。

**03** 与企业、创业公司、城市政府、公众，以及航空航天和其他监管实体的生态系统分享研究成果。

在后续数页中，我们将就垂直起降空中交通生态系统的驱动因素和障碍进行确定和评估，并说明最有可能的发展路径和方案。其中描绘了一种立足于当前垂直移动模式和市场预测，并以市场为基础的模式。我们研究的焦点是电动旋翼飞机，并不涉及军用飞机领域。

本报告的编制离不开保时捷管理咨询有限公司，及航空航天、科学技术与汽车领域的 62 位国际知名专家的专业知识和技术投入。

我们希望在此回答全新起降环境提出的三个关键问题：

- 2035 年市场潜力如何？
- 未来将如何实现基本、保守和渐进的市场格局？
- 客户、城市、制造商、运营商和投资者有何机遇？

保时捷管理咨询有限公司将持续观察垂直起降空中交通领域。

对于帮助编制本报告的团队、外部合作伙伴和项目发起人，作者表示感谢。特别感谢我们的主要合作伙伴——德国航空航天中心（DLR）。

我们很期待听到您任何想法、意见和问题，请与我们就垂直起降空中交通的发展保持探讨。

---

## 目 录

---

技术概览	03
序言	04
<b>1 生态系统</b>	06
<b>2 垂直起降空中交通的好处</b>	13
<b>3 大事年表：逐步推广零排放“飞的”</b>	16
<b>4 评估到 2035 年的市场规模</b>	19
<b>5 抓住垂直起降空中交通的机会</b>	29
附录	32
作者、赞助商和合作伙伴	34

# 1 生态系统

一直以来，空中飞行都是人类想象创造的重要推动力，让艺术家和创造者们为之着迷，但直至近代才取得一定的技术创新——从电动推进系统到人工智能和通信网络，我们已为未来的发展可能打开了一扇窗户。

对于每个人来说，垂直起降空中交通已不再是种幻想或一厢情愿的想法，而是全球各地研究实验室和公司实际取得的稳步进展。在我们称之为“移动性”的莫测难题中，垂直起降空中交通正在成为其中的一部分。地面交通的新型约车和共乘服务已经表明，目前已有更多全新方法可以更效率和更经济地运送货物和人员。我们需要更加详细地了解垂直起降空中交通，及其在综合性无缝出行生态系统中所扮演的角色，以便更好地理解三大方面：消费者效用、监管机构面临的挑战，以及投资者和企业的市场机会。

如图 3 所示，如果垂直起降空中交通与第一英里和最后一英里交通方式相关，那么垂直起降空中交通将成为整体城市出行的一个组成部分。由于载客无人机速度快，且可即时用车，因此可以发挥较为重要的作用。由于所需的基础设施投资相对较少，且可以为二级和三级路线提供服务，因此载客无人机更具吸引力和竞争力，可以覆盖 20 公里或更远的出行距离。垂直起降空中交通还可帮助人们快速远离堵塞路线。

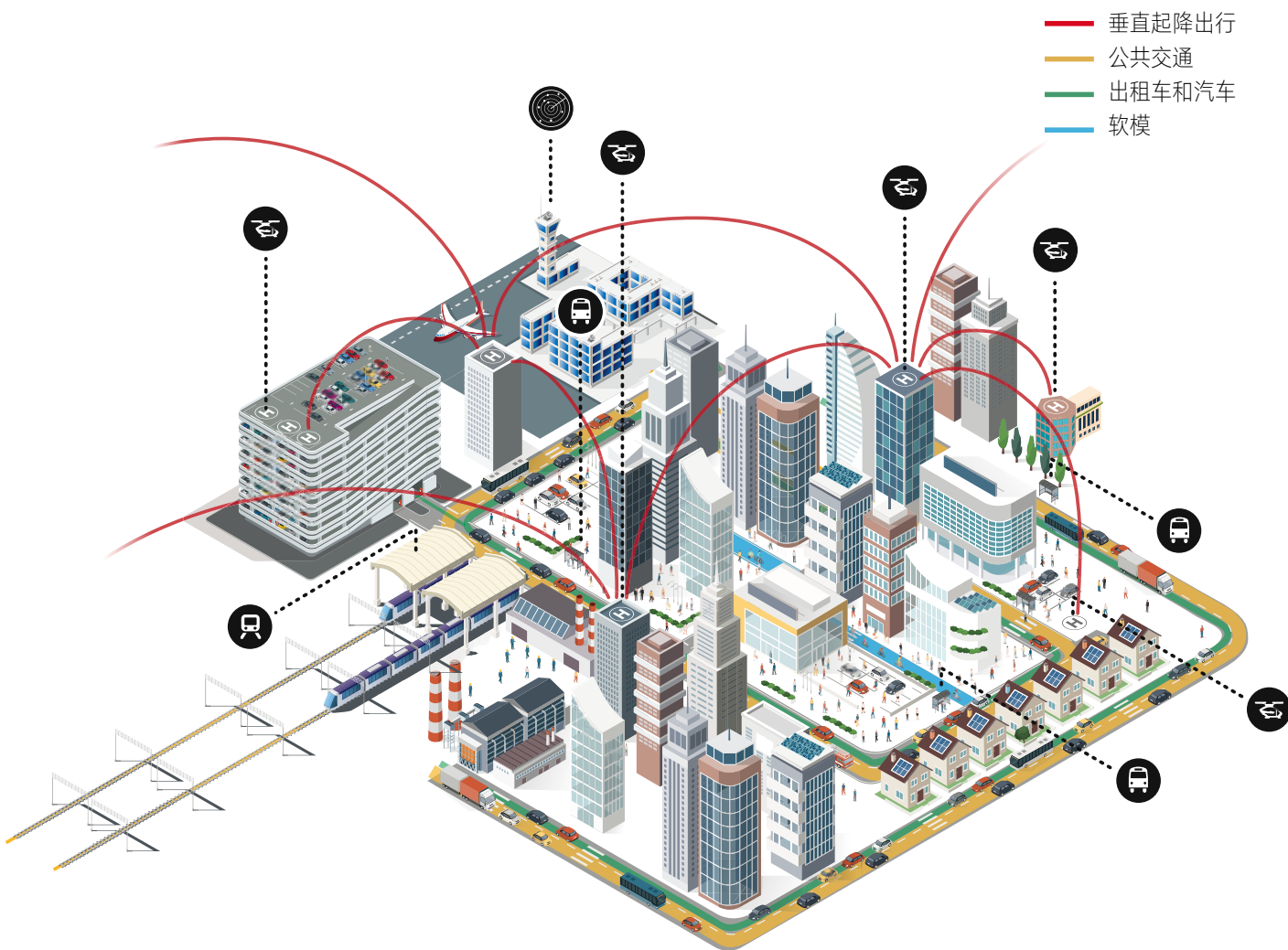


图 3、综合性难题：空中公交可为城市交通网络做出重大贡献。

图表：保时捷管理咨询有限公司

我们分析了垂直起降空中交通的四大领域：勘察、货运和载客无人机，以及无人机相关服务。无人驾驶的勘察无人机可帮助监测和调查基础设施或相关事件，而货运无人机则可交付高时效性货物。载客无人机可满足市内交通和城际长途运输的需求。第四领域涉及前三大市场，由无人机的各类支持服务组成。有人和无人驾驶无人机的空中交通管理（ATM）是保证未来出行生态系统可靠性，安全性和经济可行性的关键基础。

我们已确定了 26 个相关的垂直起降空中交通服务（图 4）和 70 多个详细的子服务。勘察无人机的主要目的是收集数据，而货运无人机负责运输和交付货物与包裹。顾名思义，载客无人机专为运送私人乘客而设计，同时可向广大公众提供多样的出行服务。最后，从运营和维护，到收费、保险和融资，支持服务可协助推进所述三大主要领域的工作。

## 垂直起降空中交通服务

### 勘察



- 业余用途无人机
- 媒体和娱乐
- 精准农业、耕作和林业
- 检查和监测
- Ad-hoc 通信网络
- 考察和测绘
- 学习、培训和收集科学数据
- 安保、执法和人员搜索

### 货物



- 栽培和施肥
- 维护和空气处理
- 最后一英里快递
- 货物运输
- 交付网络延伸（至偏远地区）
- 紧急运输（药物与器官移植）

### 载客



- 私人 eVTOL 飞机所有权
- eVTOL 飞机租赁
- 即时 eVTOL 空中公交（包括观光）
- eVTOL 空中巴士 / 公交
- eVTOL 救援使用

### 支持服务



- eVTOL 开发与生产
- 认证服务
- 空中交通应用管理服务
- 无人机防御
- 维护、维修与检修（MRO）
- 垂直起降机场 / 停止操作、充电与停放
- 保险与融资

图 4、四大集群提供 26 项服务：垂直起降空中交通服务一览。

图表：保时捷管理咨询有限公司

我们已就四大服务集群进行详细分析，各服务集群皆有其自身的机遇和挑战，但本报告的主要关注点是载客无人机市场。尽管如此，市场数据等与 eVTOL 生态系统相关的方面将以综合性方式得到解决。

为使垂直起降空中交通成为现实，生态系统需满足四个领域的需 求，否则这些领域将对无人机应用造成障碍（图 5）。首先是飞

机系统本身的技术要求，如推进等。其次是认证和法律领域的要求，以核准、操作和妥善维护新型飞机。第三，在噪音、安全性，以及用户和城市居民的安保方面，存在关键的社会接受度问题，二者将成为大规模应用的决定因素。基础设施是最后的重要因素，因为这种运输方式需要起降机场网络，以及空中交通管制、收费和停机场地等资源。

### 垂直起降空中交通生态系统

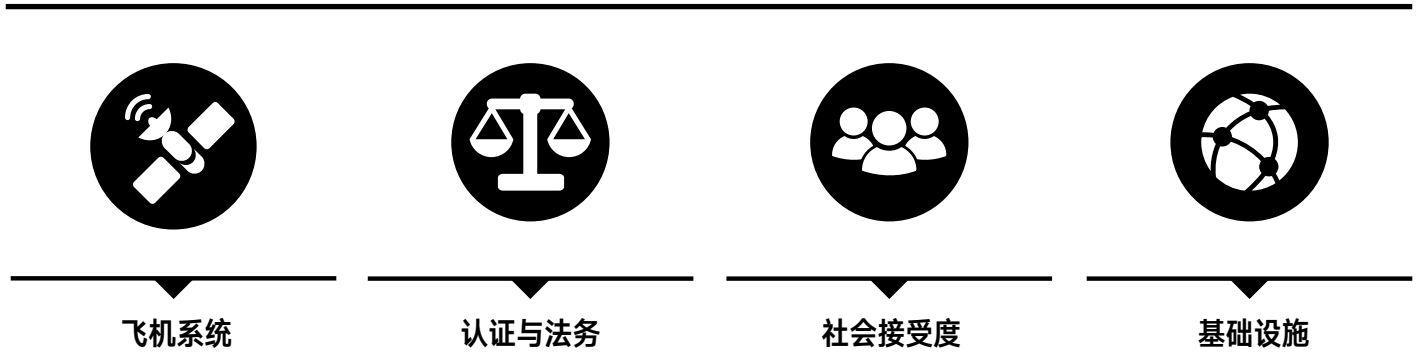


图 5、从无人机、法律合规性到停机坪：垂直起降空中交通生态系统的四大关键领域。

图表：保时捷管理咨询有限公司

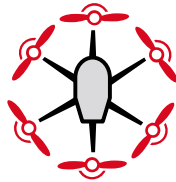

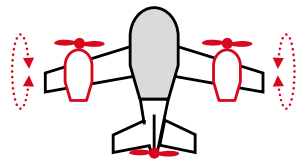


# 飞机系统

飞机系统的设计非常关键，该领域的公司正在试验数种空气动力学概念。我们可以将其区分为三大系统（图 6）。“多旋翼”系统，例如德国初创公司 Volocopter 的摄影无人机或摄影飞机，无人机外围分布多个电机以提供升力。“升力与巡航”概念（如 Aurora eVTOL）结合升力旋翼，以及用于前飞的固定翼。其他市场参与者，

例如 Lilium 的 eVTOL 概念飞机，依赖于“倾斜 x”设计，机翼、旋翼和涵道皆可倾斜。开发和改进正确的空气动力学概念是实现垂直起降空中交通的关键决定性因素。在涉及到上市时间、行驶速度、理想路线、效率和潜在市场规模等方面时，每种系统都有着自己的优缺点。

## 垂直起降空中交通的空气动力学简化概念

	单相	双相	过渡相
			
	<b>多旋翼</b> 升力	<b>升力与巡航</b> 组合	<b>倾斜 -X</b> 倾斜机翼、倾斜旋翼、倾斜涵道
	<b>最快认证</b>	<b>较慢认证</b>	<b>最慢认证</b>
	<b>约 70 - 120 km/h</b>	<b>约 150 - 200 km/h</b>	<b>约 150 - 300 km/h</b>
	<b>精选</b>	<b>全部</b>	<b>全部</b>
	<b>市内约 70%</b> <b>城际 0%</b>	<b>市内 100%</b> <b>城际 100%</b>	<b>市内 100%</b> <b>城际 100%</b>

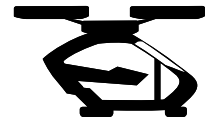
- 上市时间
- 行驶速度（参考性）
- 路线
- 潜力

图 6、更快、更进一步：无人机的三大空气动力学基本概念，各有利弊。

图表：保时捷管理咨询有限公司

顾名思义，多旋翼飞机是指带有两个或多个电机的旋翼飞机，电机通常环形排列安装在机舱周围或上方的环形区域。飞行操纵则是通过改变单个旋翼的速度完成。多旋翼系统具有结构简单、通

过冗余提供安全性的双重优点。其缺点是，多旋翼飞机受到低行驶速度的限制，且由于效率明显较低，导致重量和航程受限。但是，最初的多旋翼系统的风险较低，有助于逐步确定未来标准。



## eVTOL 与直升机对比

第二种类型的飞机系统由各种混合机型组成，全部配备有独立的传动系统用于升力和巡航飞行阶段。混合型飞机系统同时兼备固定翼飞机和旋翼飞机的优势。固定翼可延长飞行里程，而旋翼则有助于实现更有效的垂直起降且保持更高的航行速度。这两种类型机翼的基本技术都已经可以使用，而混合型飞机的总体复杂性属于中等水平，主要取决于特定系统的设计方式。下一代混合型无人机可以视为 eVTOL 飞机发展的第二个阶段，因为这一代无人机在速度和效率都有所提升。混合型无人机能够节省更多时间和运营成本，与其他交通方式对比，这是获得商业成功的两个关键驱动因素。

最后，倾斜-x 理念的飞机，其机翼、旋翼或涵道均采用倾斜设计方式。由于需要确保这种机型中的旋转部件能够可靠且安全地度过从上升到巡航的阶段，因此其倾斜系统要比前一代复杂得多。从设计上看，

倾斜机翼、旋翼或涵道的单点故障风险更高。因此相应的技术还不够成熟，不足以承担极端天气条件下的客运任务，还需要进一步发展以满足安全要求。同时，倾斜式飞机能够长距离高速航行，因此明显具有出行服务的潜力。

不论采用何种系统，eVTOL 飞机都将是一种进步。即使是在技术高速发展的今天，垂直起降空中交通仍然是有钱人的专利。与其他交通方式相比，直升机不仅价格高昂，而且噪音巨大，安全性也低。而普通消费者也无法选择按需使用。与传统直升机相比，电动载客无人机在噪音方面实现数量级降低，而且更可靠、更安全、价格更低（图 7）。

蓄电池是所有载客无人机系统的关键部件，而能量密度是它们的最大限制因素，也是未来发展的最重要驱动因素。



图 7. 安静、可靠、安全且便宜：eVTOL 飞机相对于传统直升机的主要优势  
图表：保时捷管理咨询有限公司

# 认证与法务

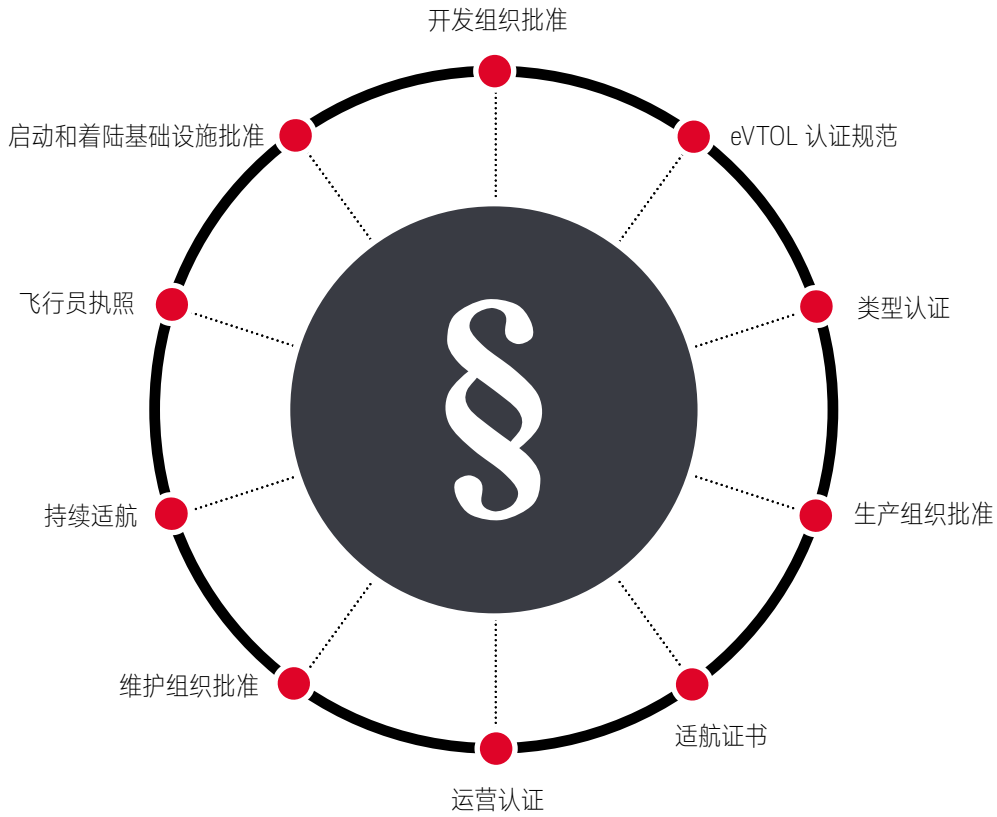


图 8、安全第一：无人机认证要求概述

图表：保时捷管理咨询有限公司

我们预计商业客运行业能够保持高度监管，持续接受两家全球领先监管机构的引导：美国联邦航空局（FAA）和欧洲航空安全局（EASA）。从监管要求和法定要求上，我们可以区分出针对飞机开发组织认证、飞机本身、飞机生产、运营、服务和飞行员执照的不同规定（图 8）。不论是直升机还是其他类型飞机的系统决定其当前适用哪些规定。举个例子，对于小型旋翼飞机或轻型运动型飞机（例如 CS-23、CS-27 或 CS-LSA）的欧洲标准将用于认证待测试的无人机；同等的组织标准包括 21J&G、145、M 部分和 OPS 部分（见附录）。但是这些标准将不会直接用于商用 eVTOL 认证。

勘察和货运无人机的现有认证标准以及现行航空标准可以作为载客无人机认证的基础。我们希望这些不同认证标准能够成为开发和认证所示的不同空气动力学理念的起点。有关当局已经做好对

话准备，推动制定全新认证标准并确定标准测试区域。此外全球各地也都有足够的测试和认证新型无人机的机会。值得记住的是，航空领域的认证通常是渐进式、一步一步的过程，需要提供充分的理由。从现有稳定系统开始，渐进式认证逐步考察分布式电动推进（DEP）、检测和避免技术和设备自主性等内容。

其他法律问题主要围绕空域和流量管理两个方面。eVTOL 飞机将如何应对不同天气状况，如何检测并避免其他飞机？它们将使用集中式还是分散式通信信道？未来的空域如何布局才能适应常规航空和无人机的需求？就这一点而言，一个主要驱动因素就是传统飞行的安全性，因为勘察和货运无人机的数量将往百万级发展。如今，飞机安全已经是一个重要议题，有关无人机报道几乎每天都可以看到。这也将引起公众持续讨论无人机的安全风险以及被犯罪分子或恐怖分子利用的可能性。

## 社会接受度

想让公众接受、甚至开始使用 eVTOL 飞机，首先必须解决关于其安全性以及视觉和噪音污染的风险，并证明这些系统融入城市出行方式后每个人都能够从中获益，而不是像现在的私人飞机一样，仅富人可以获益。

据专家预计，一架无人机飞行高度为 300 英尺时，噪音会达到大约 65 dBA，是一架私人飞机所释放噪音的四分之一。当前无人机的噪音水平实际值取决于环境噪音、与无人机的距离、其噪音特征和最高噪音水平等因素。

这其中首要目标是权衡个人利益和大众适用性之间的关系，并确定如何才能协调越来越高的出行舒适性和载客无人机带来的大范围文化变迁的关系。不同大洲、不同国家、不同城市的公众对于垂直起降空中交通的认知和看法都不一样，包括恐惧、怀疑、完全支持等各种情绪。

在对新技术测试持更开放态度，而且拥有更快决策流程的区域我们将会看到首批载客无人机的使用，例如新加坡、迪拜和中国。这些使用过程和结果以及得出的经验教训将塑造人们对于无人机安全的认知，并提供解决视觉和噪音污染的方法。

## 基础设施

垂直起降空中交通成功的关键因素在于无人机起降、充电、保养、停放待客所需的基础设施。虽然空域资源充足，但是如何与现有交通方式对接是其中的关键。eVTOL 飞机只有良好妥善地融入城市的整体交通网络，才能成为未来出行的有用工具。从飞机的位置、数量和尺寸来看，eVTOL 飞机着陆区，或者称为垂直起降机场对于生态系统而言是决定性因素。除了进行空中交通管制所需的必要资源之外，一个城市中还必须拥有足够的起降和充电空间。最后，eVTOL 城市基础设施在配置过程中必须在效益和干扰之间寻求一个合理的平衡，例如屋顶妥善使用的定义和分区。

许多城市已经拥有直升机机场，因此已经具备起降的必要基础设施。在第一阶段，只要五个直升机机场就能建立有吸引力的线路。在第二阶段，所选区域将拥有最多 40 个垂直起降机场，作为专门用于载客无人机的相对小规模起降区。最后一个阶段，人口达到 500~1,000 万的大城市将配置 100 个此类垂直起降机场，确保良好的服务覆盖率。

初始扩建阶段以及随后的扩张和细化阶段将驱动基础设施发展，越来越多的垂直起降机场将会为日益增加的载客无人机服务。其他需要建设的内容都是标准化的，具有很高效率，例如快速充电站和空中交通管制（ATC）通信系统。

## 2 垂直起降空中交通的好处

垂直起降空中交通能够解决困扰我们已久的交通瓶颈问题，带来广泛社会效益。



图 9、时间、空间和成本效益：载客无人机将成为未来都市出行不可分割的一部分。

图表：保时捷管理咨询有限公司

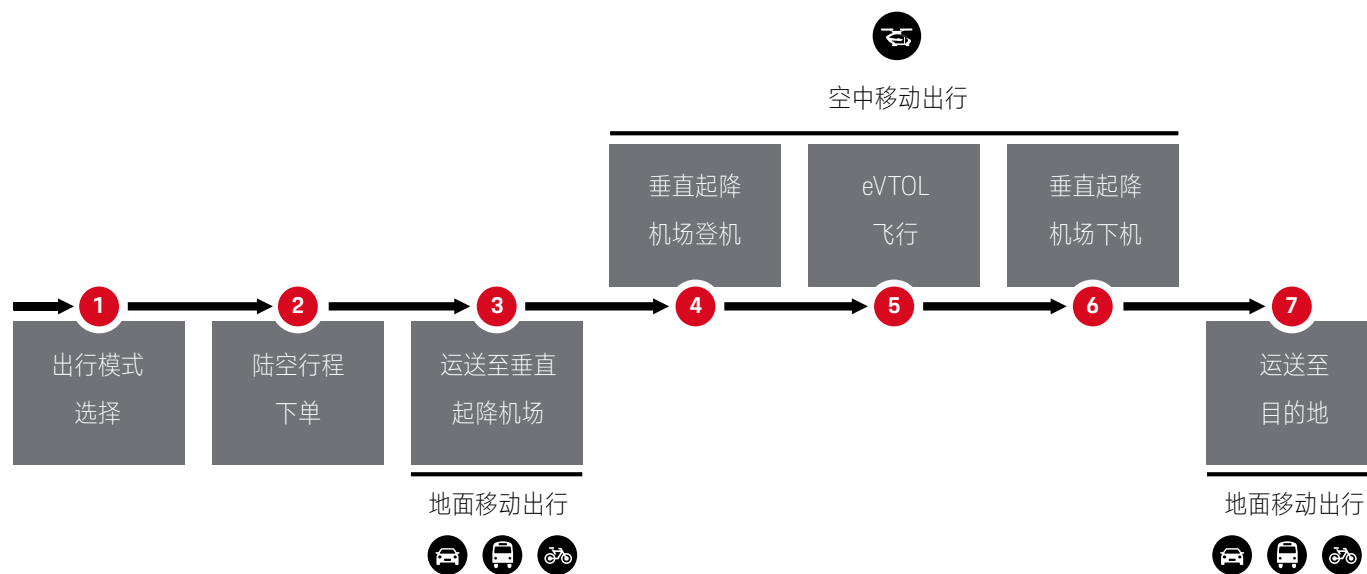
交通堵塞是一个常见的全球现象，带来严重的不良后果，包括浪费时间，增加能耗，增加排放，财产和生命损失。全球城市提供用于引导不断增加的交通流量的基础设施在很多情况下由于缺乏资金或可用空间等原因，已经到达或即将到达极限。如今新建公路和高速公路的成本越来越高，而且越来越复杂，而且道路数量增加也会对居民的生活质量带来消极影响。

因此日益增加的城市人口花在路上的时间越来越多。最近的估算数据显示，洛杉矶居民平均每年在交通堵塞上浪费的时间大约为 102 小时，紧随其后的是莫斯科和纽约的 91 小时，排名第三的是圣保罗，达到 86 小时。德国城市中，慕尼黑的司机在缓慢行驶中浪费最多时间，每年达到 51 小时。总体而言，德国司机人均承

受交通相关损失仅仅在 2017 年就达到 1,770 美元 (3)。虽然交通堵塞日益恶化，城市对于人们的吸引力并未受到影响。据联合国估计，截至 2050 年，全世界 70%~80% 的人口将实现城市化，这对更高效的可持续性出行解决方案带来新挑战和新机遇 (4)，包括通过垂直起降空中交通缓解交通堵塞。

作为未来城市出行的重要部分，载客无人机拥有一些明显的优势(图 9)。这些无人机具有创新性，而且速度快，需要的基础设施投资少，因为“空中道路”几乎不需要任何成本，而且不受传统限制因素的束缚，例如十字路口。无人机出行灵活性还很高，因为它们配置容易，采用的是城市中的二三级连接。

## 按需使用 eVTOL 空中出租车的客户旅程



### 限制条件

- 没有端到端机动性——必须在其他交通模式之间转运
- 基础设施限制（启动和着陆）
- 仅限辅助起飞服务

图 10、从点击到起飞：eVTOL 出行服务整合地面及空中交通的出行服务。

图表：保时捷管理咨询有限公司

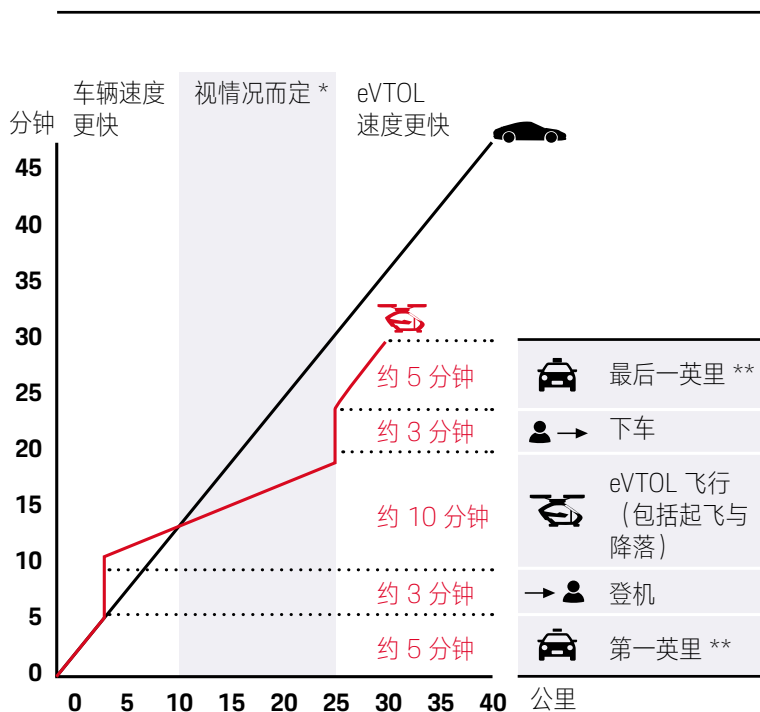
节省出行时间，或者避免地面交通堵塞是这个市场发展的基本前提条件。同时，枢纽对枢纽的架构要求乘客必须中转，这也会耗费一定的时间。大多数情况下，只有当乘客可以节省至少 20% 的出行总时间时，相较于其他出行方式，他们才会选择垂直起降空中交通（尽管需要换乘）。

流畅的乘坐体验将成为空中出行服务模式大获成功的另一关键（图 10）。目前，乘客有多种出行方式可选择，而载客无人机必将在其中占据一席之地。人们可以选择有固定路线的出行方式，比如

地铁、火车或商务机，事先规划从 A 地前往 B 地，也可以选择个人出行方式，比如骑自行车、驾驶私家车。而个人航班可以按乘客需求为其提供流畅的出行体验，包括快速组合出行方式，预定空中公交和路面交通工具，通过路面交通抵达垂直起降机场，然后登上 eVTOL 航班，降落后通过打车完成最后的短程距离。另外，这种出行方式的组合还可以缓解路面交通的拥堵情况，有效利用当前路面交通遭遇瓶颈的有利形势。

## 陆运与空运的出行时间比较——直通与转运

### eVTOL 和车辆的行程比较



### 机场与玛利亚广场的直通



### 转运 (包括第一英里和最后一英里)



\* 取决于路面交通的拥堵情况以及选择路面 + 空中出行方式组合至少可以节省多长时间

\*\* 取决于垂直起降机场的位置 图表: 保时捷管理咨询有限公司

图 11、进入与发展: 就出行时间而言, 无人机明显优于汽车 (以下这个取材于慕尼黑示例也说明了这一点)。

如图 11 所示, 如果行程距离达到或超过 20 公里, 相比于一般的出租车, 可能更多人愿意搭乘载客无人机。路面上的道路拥堵情况越严重, 人们想要搭乘载客无人机的愿望就越强烈。

总之, 未来将会有主航线用于人员货物的大众运输和快速交通, 辅之以次级航线甚至更细分的路线, 就像生物有机体内精细划分的循环系统一样。垂直起降空中交通可以为运输能力较弱的二级

或三级交通连接点提供快速服务, 成为一种创新的出行方式选择。然而, 需要指出的是, 尽管垂直起降空中交通不能成为解决路面交通拥堵问题的万能药, 但它将是缓解路面交通拥堵的关键, 也是一种综合的解决方案。例如, 有限的起飞和降落地点限制着 eVTOL, 因为空中交通也面临拥堵的风险。

### 3 大事年表：逐步推广零排放“飞的”

#### 投放市场的时间窗口

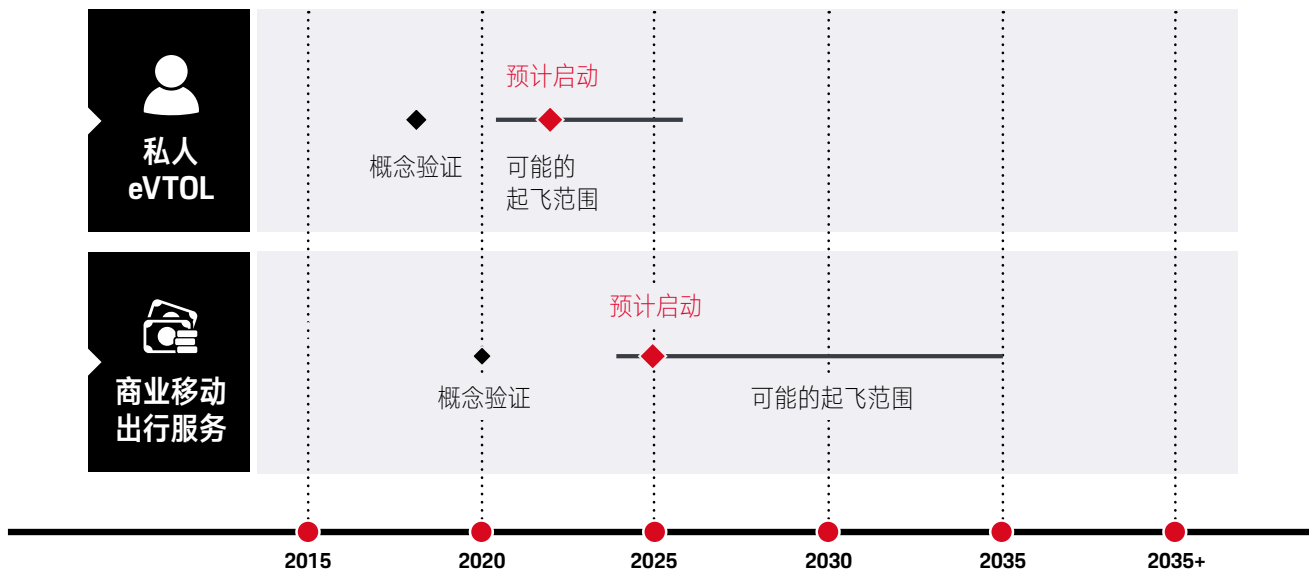


图 12、针对未来大规模市场的设计：截至 2035 年私人市场和商业市场的发展历程。

图表：保时捷管理咨询有限公司

将电动的载客无人机引入市场需要经历几个阶段，而后这些无人机才能成为广泛使用的“飞的”——一种成熟的、具有商业价值的综合出行方式。如图 12 所示，私人 and 商用载客无人机的初步设计已经有了各种概念验证。2022 年，载客无人机将在一个利基市场投放。2025 年至 2035 年十年间，载客无人机将开始覆盖大规模市场。

我们已经确定了三个主要的驱动因素，这些驱动因素将从不同方面促进载客无人机的普及。这三个驱动因素的差异带来了不同的促进作用。第一个因素是初步测试和服务的开始时间以及具体技术的研发速度。其次是改进多代 eVTOL 飞机的速度，以达到更高的整体设备效率。影响每一发展走向的第三个，也是最后一个因素是载客无人机的采用率，或者说有多少城市修建了垂直起降机场以及其他必要的基础设施。

私人拥有载客 eVTOL 飞机（拥有所有权），允许用于个人目的可能在未来五年内实现。我们一开始的预想是，让载客无人机成为一个利基市场，在 2022 年至 2025 年期间逐步推广私人 eVTOL 飞机。这主要是因为相比于商用载客无人机，私人机的认证门槛较低，更容易被社会大众接受，而且载客无人机的推出也会反过来影响现有的法律体制。

eVTOL 私人机将成为一种奢华或顶级的出行服务选择，替代或补充直升机的功能。但这类无人机只是占据一个极小，甚至微不足道的利基市场，因此不会成为一个规模市场。商业的空中出行服务（如空中公交）将从 2025 年开始于 eVTOL 共同推出。

在技术和基础设施方面大量投资将加快整个生态系统的创建，在全球各城市推动增长。

若要较早启动项目，我们必须在世界各地取得有利的突破性发展，但这同时也会带来更快、更频繁的机型迭代。而且可能会把载客无人机的认证和研发过程压缩到仅仅五年的时间。更新周期缩短后，2025 年至 2035 年间可能出现多代技术更加成熟的无人机系列。另一方面，较晚启动项目可能会导致出现连续缓慢的发展进程，在这个过程中，认证和研发需要八年时间，2025 年至 2035 年间只产生一代无人机。

投放载客无人机的过程可以分为三个时间段：目前至 2020 年、2020 年至 2025 年、2025 年至 2035 年。每个阶段都是技术研发、认证和商业拓展的重要里程碑。目前阶段主要侧重于测试，而 2020 年后的五年内将围绕首次上市开展工作，2025 年后的十年内将专注致胜理念的定义和改进。



## 目前至 2020 年： 大量测试阶段

第一波私人空中公交的设计已于 2015 年发布，许多公司（Ehang、Volocopter、Airbus Vahana 和 SureFly）分别于 2017 年和 2018 年首次成功试飞了它们的原型机。

我们已经测试了多种商业出行服务模式，预计在未来十年内推出电动空中公交和飞机租赁服务。新加坡、迪拜、圣保罗或达拉斯 / 沃斯堡等创新城市将成为 eVTOL 飞机的首批试点城市。我们将在这些城市进行测试，为全球推广做准备。我们可以预计，在测试商用空中公交的服务理念时，会涉及传统的直升机。由于当前的能量密度限制为 250Wh/kg，不考虑有效载荷和额外的安全时间（即紧急降落的缓冲时间，又称备用时间），一架载客无人机最多只能在空中飞行 30 分钟。

商业化的空中出行服务是否能够如上所述成为现实取决于首批试点城市能否成功完成测试。业内众多公司一开始都争先成为将空中出行概念推向市场的先行者。而后，大家会把关注点逐渐转向新技术的研发和实现速度。

## 2020 年至 2025 年： 率先上市阶段

我们将在 2020 年至 2025 年这五年间进行各种各样的测试和实验，从不同的技术层面和商业层面进行评估。在与现有的出行方式展开竞争时，力求普及出行新概念的 Lilium、Volocopter 或 Uber Elevate 等公司在未来必须用事实证明它们在私人出行市场的理想和抱负。eVTOL 飞机是一种创新的交通工具，各方面性能尚未经过严格认证，其较低的安全标准隐藏着一种风险，即现场参与者表现得过于冒险或大意。由此产生的任何后果都有可能对社会大众无法接受这种出行方式。

在这一阶段，我们会在电池技术和降噪方面进行重大改进。我们希望，到了 2025 年的时候，现今使用的常规锂电池的能量密度可以达到 300Wh/kg。假设可实现的充电速率为 2C 至 4C（参见术语表），电池可在 15 分钟至 30 分钟内充满 80%，因此只能实现 500 至 700 次的短暂使用寿命。

噪音是影响接受度的另一障碍因素。直升机的噪音太大，我们显然需要对 eVTOL 飞机的噪声进行深入研究，因为整体噪声量也取决于一座城市内运行的无人机数量及其起降的频率。目前，有许多地区因为噪音污染而限制使用直升机，这意味着所有预先计划的观光航班通常只有一半数量能够获得起飞许可。

认证标准将扩大认证范围并重新定义，成为认证 DEP（分布式电力推进）技术的依据。这些认证标准将逐步制定。技术因素和监管要求将有助于明确无人机系统的设计范围。我们认为，商业航空严格的安全标准是认证无人机的必要基础，这一点不可改变，尽管一些扰乱市场规则的新入者声称当前业余型无人机的安全标准足以达到要求。在这种情况下，业余型无人机（10-5）普遍接受的风险模型意味着 23,000 架载客无人机每年飞行近 5000 万小时，每隔一天将发生一起重大事故（不一定是致命事故），这显然是无法让人接受的。

载客无人机是否能够普及在很大程度上取决于人们是否认为这类无人机能够为社会的方方面面带来福利。无人机在搜救和安防行动中的作用能够证明 eVTOL 飞机有很高的适用性。随着时间的推移，这些系统必将证明，它们带来的效益远远超过投入的成本，人们将迎来出行服务的更多选择。

公众也应当相信法律会对私有财产进行明确定义，防止隐私遭到侵犯。此外，显然需要制定适当的网络安全保障措施，允许远程驾驶员在紧急情况下代替飞机上的驾驶员操作，但同时也要防止远程滥用的情况，例如恐怖分子接管 eVTOL 飞机。

视觉污染和噪音污染的敏感话题也必须加以解决。我们可以针对极易受到影响的地区制定空域限制或将空中交通整合到现有的通勤网络中。同时，我们需要进行更多测量和研究工作，以确定对于某一区域（比如垂直起降机场附近区域）而言，哪个噪声级别是可以接受的。

在推出的第一阶段，机场和停机坪等现有基础设施将用于支持市内和城际范围的私人出行。载客 eVTOL 飞机一开始将按照预先划定的空中路线飞行，便于专家设计和改进现有的空中交通管理系统 (ATM)。未来，我们预计将推出无人机系统交通管理平台 (UTM)，包括自动化的管制塔台。

## 2025 年至 2035 年： 关注致胜理念阶段

一旦这一领域的先行者开始将他们的概念引入市场，随后便会把更多关注转移到技术研发方面，加快推出创新产品的速度。这个领域将会像一个充满活力的生态系统：越来越多的人投身其中，各种概念层出不穷，现有系统不断更新换代。总之，围绕垂直起降空中交通展开的竞争将在 2025 年至 2035 年的十年间愈演愈烈。

未来，我们将会见证各项关键技术的改进，其中一项便是电池技术，从而实现更长的飞行距离和更高的有效载荷。我们的目标是，在 2035 年之前达到 400 至 500Wh/kg 的能量密度，比现今的大约增加一倍。2025 年至 2035 年期间，我们会研发出更先进的电池技术，如锂硅电池、锂硫电池或全固态电池，其能量密度有望达到 350 至 400Wh/kg 之间，甚至更高。新技术将使电池的使用寿命延长至 700 至 1,000 次，并提高充电速度，这意味着只需 15 分钟即可充满 80% 的电量。

如果汽车电池能接受无人机的充电次数，则只能维持几个月左右。载客无人机也需要针对紧急情况预留充足的时间，目前计划多出 45 分钟的飞行时间。即使备用着陆点分布密集将安全缓冲时间缩短到 15 分钟，无人机仍然需要消耗目前电池的一半电量。

在这十年间，eVTOL 飞机的监管体制和法律框架将进一步完善。国际标准机构无人系统规则制定联合体（JARUS）目前正在制定无人机系统相关标准（尚未完成），日后载客无人机的认证流程可以此为依据。同时还可选择现有的其他认证标准（如适用于微型机的标准或 ASTM、CS-LURS、CS-LUAS、CS-23、CS-25、CS-27、CS-29），以确定适航性并对特定飞机进行认证。

如前所述，载客无人机的组织机构和服务内容也需要认证。我们可以料想到，关于飞行员执照的现有规定将在日后进行修改和调整，以涵盖载客无人机的相关要求。此外，越来越多的城市目前正在开发垂直起降空中交通的基础设施，这会让越来越多的地区把垂直起降机场作为常用的交通枢纽站。我们预计，辅助系统或无人驾驶系统将在这十年间获得认证。垂直起降空中交通必须在专门设定的交通环境内推行。载客无人机将在城市高空高速度飞行，无需应对众多其他驾驶人员和交叉路口。

随着 eVTOL 飞机的不断普及，市内的出行服务必须新建垂直起降机场等基础设施。垂直起降机场的开发是决定载客无人机能否获得商业成功的关键，同时将会受到社会接受度以及当局行动的影响。这一阶段需要加快城市一体化，以便修建起降点，包括新建充电设施，为高效充电提供标准化的硬件和软件。

最后，空中交通管理系统需要进行扩容，以纳入空中交通管理和无人机系统交通管理相关的内容，从而让载客无人机实现更高的交通密度。这种情况极有可能从勘察无人机以及货运无人机操作相关的最佳实践中演变而来。

## 4 评估到 2035 年的市场规模

概述：勘察、货运、载客

2035 年，勘察、货运和载客无人机以及支持服务的市场规模总额有望达到 740 亿美元左右。勘察无人机的市场规模有望达到 340 亿美元，载客无人机的市场规模有望达到 320 亿美元（市内载客无人机的市场规模有望达到 210 亿美元，城际载客无人机的市场规模有望达到 110 亿美元），货运无人机的市场规模有望达到 40 亿美元，支持服务的市场规模有望达到 40 亿美元（图 13）。

### 2035 年的垂直起降空中交通市场规模

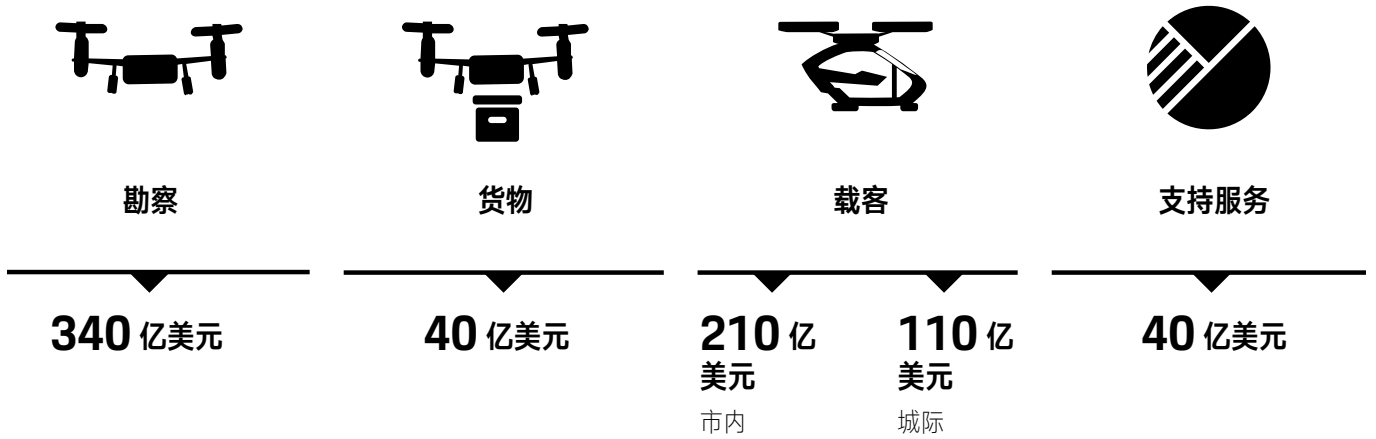


图 13、十亿级：勘察、载客和货运无人机以及支持服务的市场规模 图表：保时捷管理咨询有限公司

### 城市地区的飞行出租车：2035 年的载客无人机市场

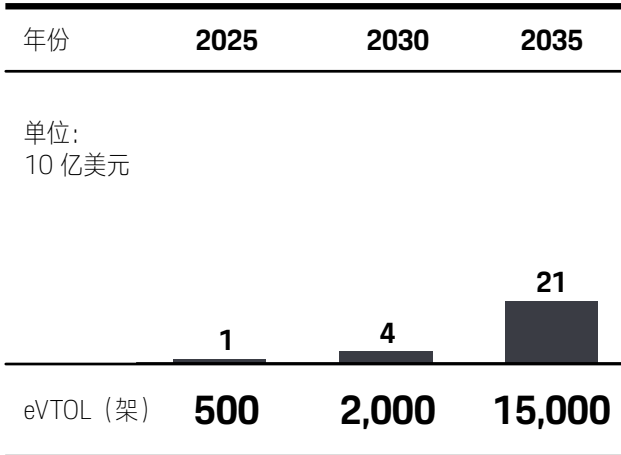
从 2025 年的较小基数开始，城市载客无人机的市场规模有望以大约 35% 的复合年均增长率 (CAGR) 快速增长，市内移动出行市场规模到 2035 年达到 210 亿美元，暂时不考虑城际移动出行 (110 亿美元)。<sup>2</sup>

从移动出行的发展演变来看，2025 年，eVTOL 的市场规模将达到 10 亿美元，安装基数达到 500 架。2030 年，eVTOL 的市场规模将达到 40 亿美元，安装基数达到 2000 架。2035 年，eVTOL 的市场规模将达到 210 亿美元，安装基数达到 15000 架 (图 14)。

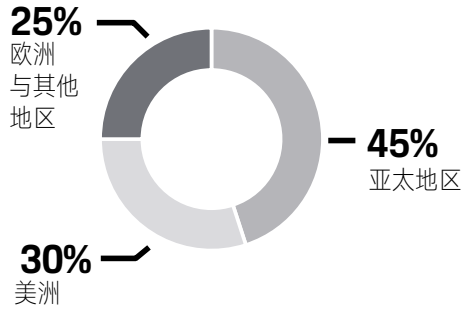
<sup>2</sup> 基于保时捷管理咨询的市场模型



### 市场规模



### 2035 年区域划分



### 总体目标市场

理论上可实现的，具备成熟基础设施的市场

2,300 亿美元



eVTOL (架) 200,000

图 14、逐步增长：载客无人机市场到 2035 年在全球范围内的增长情况。

图表：保时捷管理咨询有限公司

从全球范围内来看,到 2035 年,安装基数有望达到 17 亿辆汽车(5) 和 4.2 万架飞机, 其中, 每架飞机的载客量超过 100 人, 载货量超过 10 吨 (6) 。

这是根据每座城市建造 100 个垂直起降机场做出的估计, 假设“先行者”城市推出了移动出行服务, 建造了必要的基础设施, 全球范围内的其他城市也纷纷效仿。2035 年, 市场饱和预计不会出现, 但这取决于监管框架以及城市地区的社会接受程度。

从理论上来看, eVTOL 的潜在市场规模要大得多, 市场规模有望达到 2300 亿美元, 安装基数有望达到 20 万架, 但这取决于服务价格、可用的基础设施以及社会接受程度。但这个数量不太可能实现。要想以类似于当今出租车费率的价格点实现 20 万架的安

装基数, 载客无人机必须部署到全球范围内的各类城市——不仅包括大型城市和超大城市, 还包括中小型城市。这些城市必须提供成熟的垂直起降机场网络。超大城市和大型城市的潜在市场规模不会超过 7.5 万架营运飞机, 在不进行大规模基础设施建设的情况下, 这一数字不会超过 4 万架营运飞机。

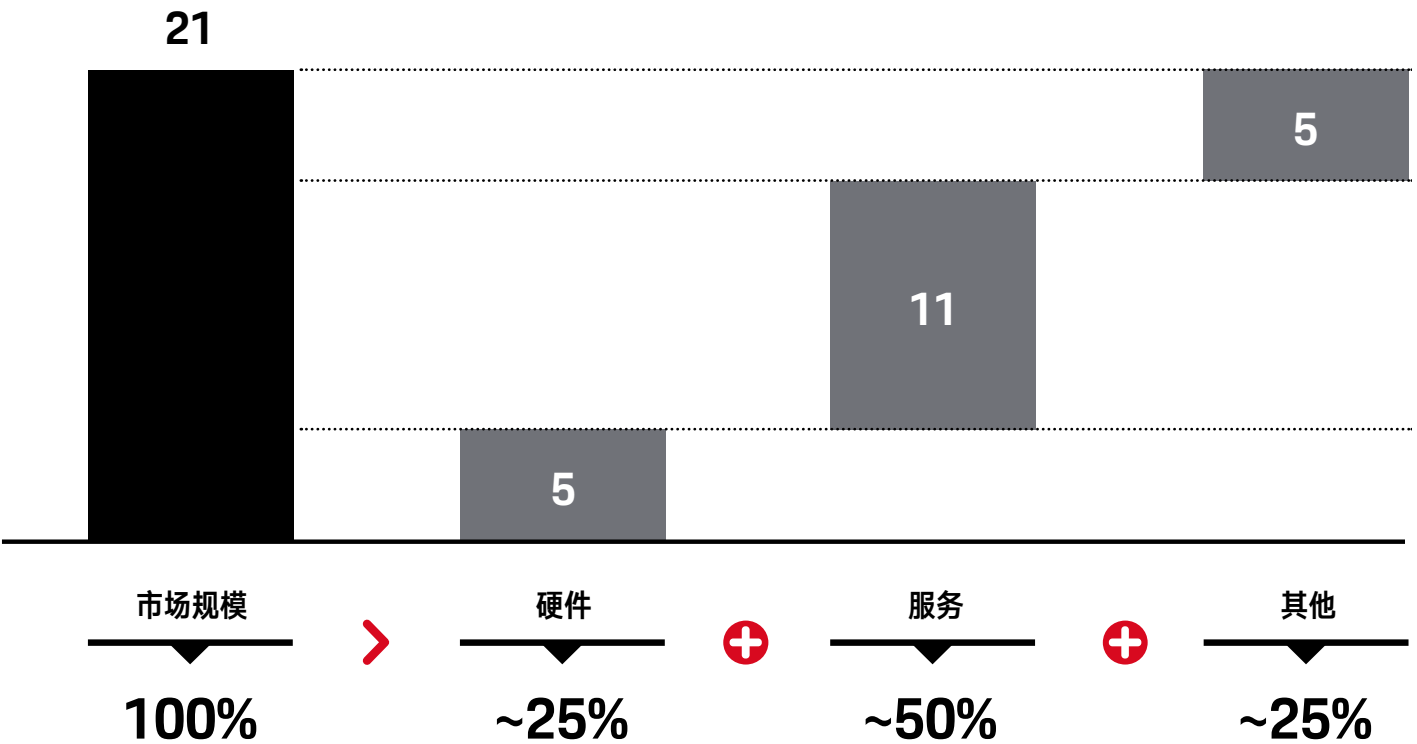
到 2035 年, 亚太地区有望占到大约 45% 的市场份额, 市场规模达到 95 亿美元, 安装基数达到 6750 架。美洲地区紧随其后, 有望占到大约 30% 的市场份额, 市场规模达到 63 亿美元, 安装基础达到 4500 架。欧洲和世界其他地区有望占到剩余 25% 的市场份额, 市场规模达到 53 亿美元, 安装基数达到 3750 架。

## 市内移动出行的价值链： 硬件、服务和其他

2035年，载客无人机市场的价值链可以分成三大类（图15）。硬件的市场规模将达到50亿美元，仅占到价值链的25%左右，包括产品、认证和充电基础设施。服务将占到价值链的50%左右。从服务类型来看，我们预计大部分的市场需求是按需交通服务，

剩余的市场需求包括eVTOL租赁、私人所有以及其他移动出行服务。随着时间的推移，我们预计服务趋势会朝着按需交通服务转变。剩余25%的市场规模高达50亿美元，包括保险、维护、认证以及其他服务。

### 2035年 eVTOL 的市场规模分布（十亿美元）——市内移动出行情景



图表：保时捷管理咨询有限公司

## 市内移动出行示例

### 富有吸引力的垂直起降空中交通城市

在分析 eVTOL 飞机和服务对城市移动出行的影响时，有必要对规模和人口各异的不同城市进行仔细研究。全球范围内的城市可以分成 50 至 60 座人口不低于五百万的超大城市、约 100 座人口不低于三百万的大型城市、约 400 座人口不低于一百万的中型城市、以及 3500 座小型城市。在本研究中，我们根据密度、聚居区和收入结构对城市进行了分类，从城市到城郊和农村，划分成不同的收入水平。随后我们对由此产生的五个城市集群进行了仔细分析，每个类别至少选择一座样本城市。每座样本城市的未来情景包括地形地貌、移动出行模式、移动出行需求、交通流量等标准以及生活工作模式在地理区域内的分布。

### 圣保罗示例

巴西圣保罗是一座超大城市，都市区人口估计在 2100 万左右。在完全建成的情况下，圣保罗能够容纳大约 1050 架载客无人机，因为它们很可能取代多种交通模式，首先就是用于满足通勤、商务旅行、购物、休闲等目的的私家车、公共交通和出租车。另外 130 架 eVTOL 飞机有望取代圣保罗现有 400 多架营运直升机中的三分之一（图 16）。

不论我们分析哪座城市，每座城市都有各不相同的交通模式，可用性水平也各不相同，同时也面临着各自的瓶颈。例如，达拉斯几乎没有公共交通，而伦敦则处于另一个极端。归根结底，每座城市都拥有各自的移动出行特点，由此产生了各自的优势和痛点，而这些痛点则可以通过引入垂直起降空中交通来解决。

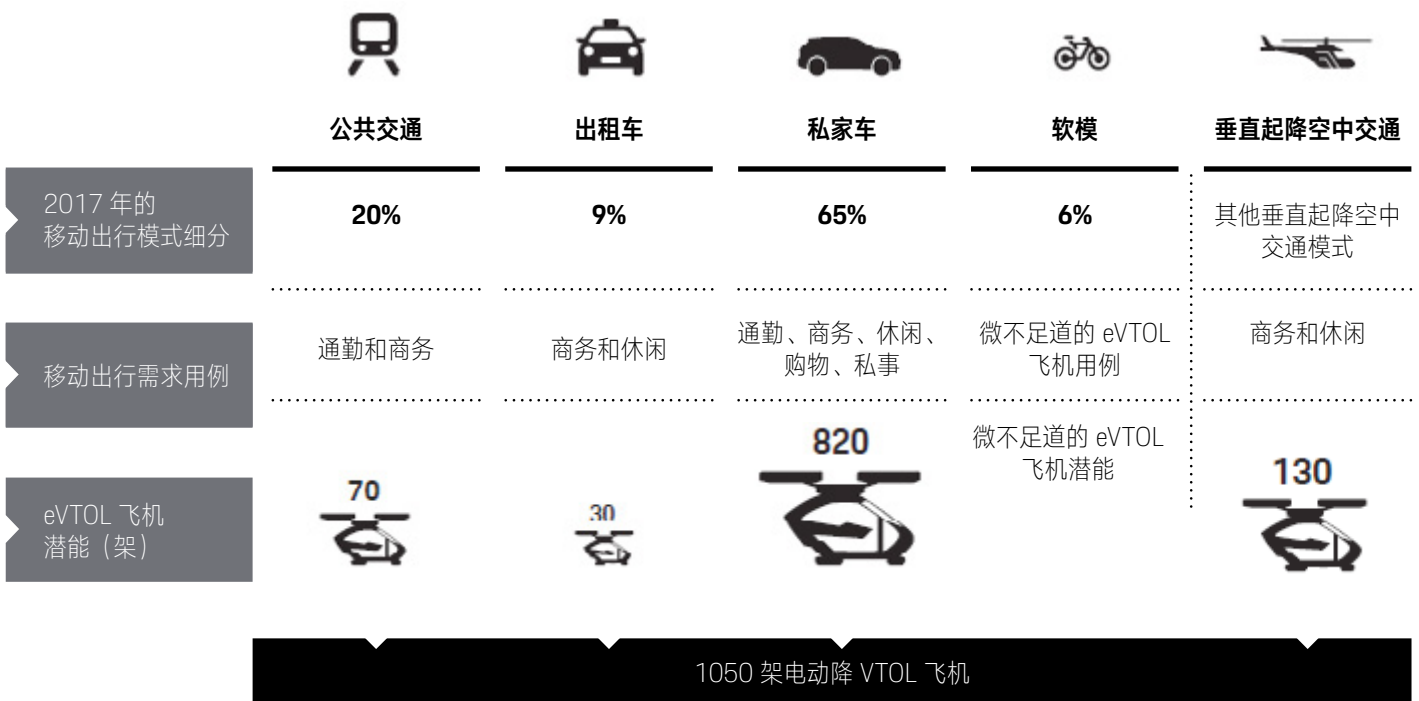


图 16、取代私家车和公共交通：载客无人机对于圣保罗这种超大城市来说的潜能。

图表：保时捷管理咨询有限公司

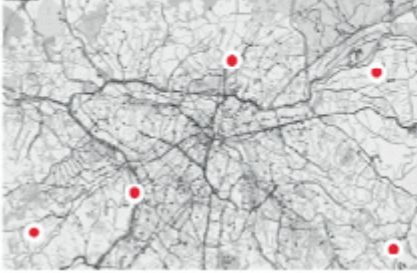
## 样本城市圣保罗的垂直起降机场基础设施建设

01

### 起始

将枢纽与现有的直升机停机坪连接起来

 5  120

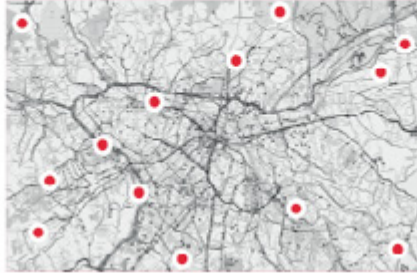


02

### 扩张

增加通勤者和城市游客的固定路线

 40  390



03

### 细化

按需服务以及减少最初和最后一英里

 100  1050

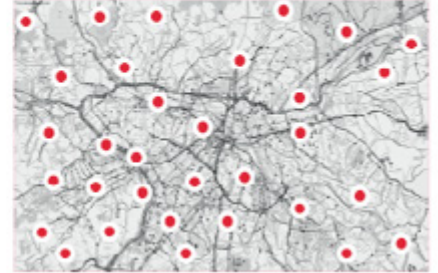


图 17、三步扩张：针对载客无人机数量的市内移动出行垂直起降机场建设。

图表：保时捷管理咨询有限公司

未来，我们运输人员和货物的方式将发生变化，而这种转变已经开始。由驾驶员或车主驾驶的私家车已经开始为共享汽车和自动驾驶汽车让路。出租车正在被优步、Lyft、Uber Pool、MOIA 等打车和拼车服务补充和取代。创新甚至正在开始改变软交通模式，步行和骑车得到了电动自行车和城市共享单车的补充。与之类似的是，作为目前垂直起降空中交通唯一选项的直升机将与载客无人机共享广袤的天空。要想对各种移动出行模式加以高效利用，城市需要打造一个能够将所有模式整合到一起的多模体系。

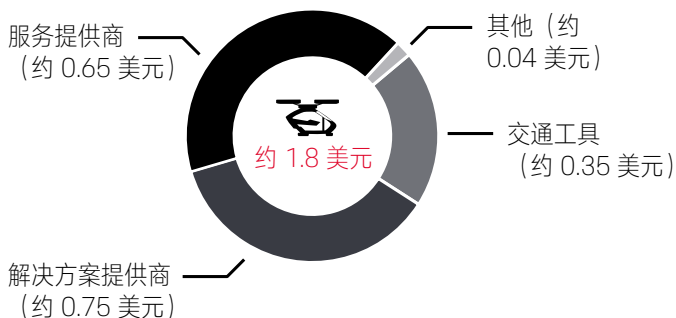
我们预计，城市中无人机起降基础设施的发展将分成三个阶段，主要是因为这涉及相当大的基础设施成本（图 17）。在起始阶段，垂直起降空中交通服务将始于现有的交通枢纽，例如机场和火车站，部分取代直升机，利用现有的直升机停机坪在严重拥堵路段提供快速连接。我们设想在主要交通枢纽建设五个垂直起降机场，例如在机场和酒店楼顶，满足大约 120 架 eVTOL 飞机的营运需求。

在扩张阶段，将有越来越多交通大动脉沿线的固定路线为通勤者和游客提供服务。根据城市的不同，经常访问的交通枢纽的垂直起降机场数量可以扩张至 40 个，满足 160 架至 390 架载客无人

机的营运需求。城市交通网络的全面服务阶段或细化阶段将凭借按需载客无人机的吸引力吸引越来越多的顾客。垂直起降机场的数量有望扩张至 100 个，满足 400 架至 1050 架载客无人机的营运需求，因为这能够对城市进行充分覆盖，确保垂直起降机场以步行和骑车的方式便可抵达，这是很多城市中最初和最后一英里的标准软模式交通出行选项。

我们预计市内载客无人机主要在白天营运（平均每天 12.5 小时），估计每公里成本 1.80 美元（图 18）。在总成本中，20% 将是产品相关成本，其中包括折旧、电池和 eVTOL 飞机认证；42% 将落到解决方案提供商头上，其中包括降落费、充电费等。飞行员、运行、空中交通管理、维护等服务提供商成本将占到总成本的 36%，保险索赔等其他成本将占到剩余的 2%。这个成本情景根据的是最初需要飞行员驾驶营运无人机。一旦自动驾驶系统上线，载客无人机飞行将变得没那么昂贵。

## eVTOL 飞机每公里的移动出行服务成本



## 产品硬件成本 \*

25 万至 100 万美元

## 基础设施成本 (示例)

垂直起降机场 > 400 万美元

充电基础设施 > 10 万美元

\* 成本取决于概念、座位、数量等因素  
图 18、资金投入：根据服务、硬件和基础设施细分的载客无人机每公里成本。  
图表：保时捷管理咨询有限公司

垂直起降空中交通还涉及其他成本，其中建造一个小型垂直起降机场需要大约 400 万美元，安装一个高速充电桩需要大约 10 万美元，这取决于现有的基础设施，特别是电网。根据产量和空气动力性能的不同，每架无人机的成本在 25 万美元至 100 万美元之间，甚至更高。我们预计无人机的生命周期相对较短，主要原因有两个：首先，无人机技术迭代较快，创新周期较短。其次，与维护一支老化机队相比，量产将变得越来越高效。尽管商业航空领域的飞机经过定期维修和大修能够平均使用 30 年，载客无人机只会使用五六年，而它们的数量则会在它们的产品生命周期中不断增加。

与其他预测一样，实际的数字对重大假设具有敏感性。eVTOL 飞机的上行和下行潜能主要受到四大因素的影响，但影响程度各不相同（图 19）。较高或较低的每分钟飞行价格、城市中较少数量的垂直起降机场、较慢的 eVTOL 飞机巡航速度以及更加严格的安全勘察导致登机换乘时间增加，所有这些都对市场产生重大影响。显著增加的拥堵指数——城市中交通拥堵情况更多——仅会对市场产生较小影响。总的来说，我们认为按需空中公交的价格范围在每分钟 8 美元至 18 美元之间。考虑到速度更快、距离更短、载客数量可能不止一人，这相当于高档出租车费率。

## 市内移动出行市场规模敏感性

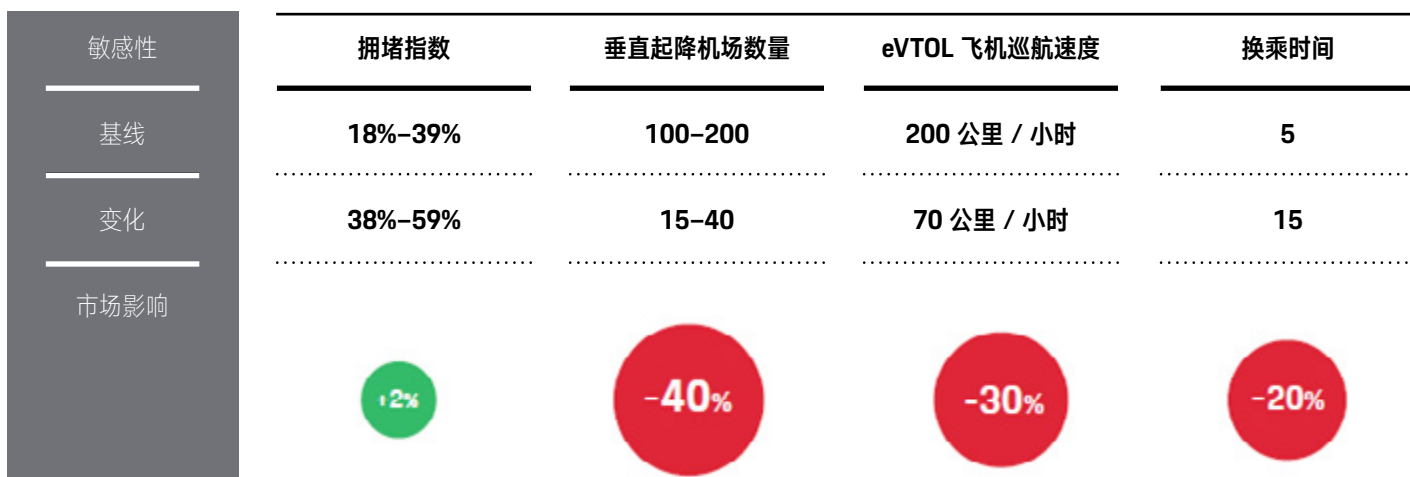


图 19、价格很重要，交通拥堵情况没那么重要：根据各大因素对 eVTOL 飞机移动出行市场进行的敏感性分析。

图表：保时捷管理咨询有限公司



## 市内移动出行市场情景： 保守和激进

垂直起降空中交通的未来发展情景要比前面提到的情景多得多。因此，有必要通过一个保守展望和一个激进展望对这个基础情景进行补充（图 20）。

根据保守假设，2025 年，市场规模为零，安装基数为零；2030 年，经过缓慢增长，市场规模达到 10 亿美元，安装基数达到 1000 架，覆盖四座主要城市；2035 年，市场规模达到 40 亿美元，安装基数达到 3000 架 eVTOL 飞机，覆盖 16 座城市。根据激进假设，

2025 年，市场规模达到 20 亿美元，安装基数达到 1000 架，覆盖 16 座城市；2030 年，市场规模达到 180 亿美元，安装基数达到 1.2 万架，覆盖 25 座城市；2035 年，市场规模达到 580 亿美元，安装基数达到 4.3 万架，覆盖 64 座城市——这是我们能想象得到的最激进情景。这个激进展望以半自动驾驶和全自动驾驶无人机为基础。否则，数万名人类飞行员的缺口将成为垂直起降空中交通的发展瓶颈。

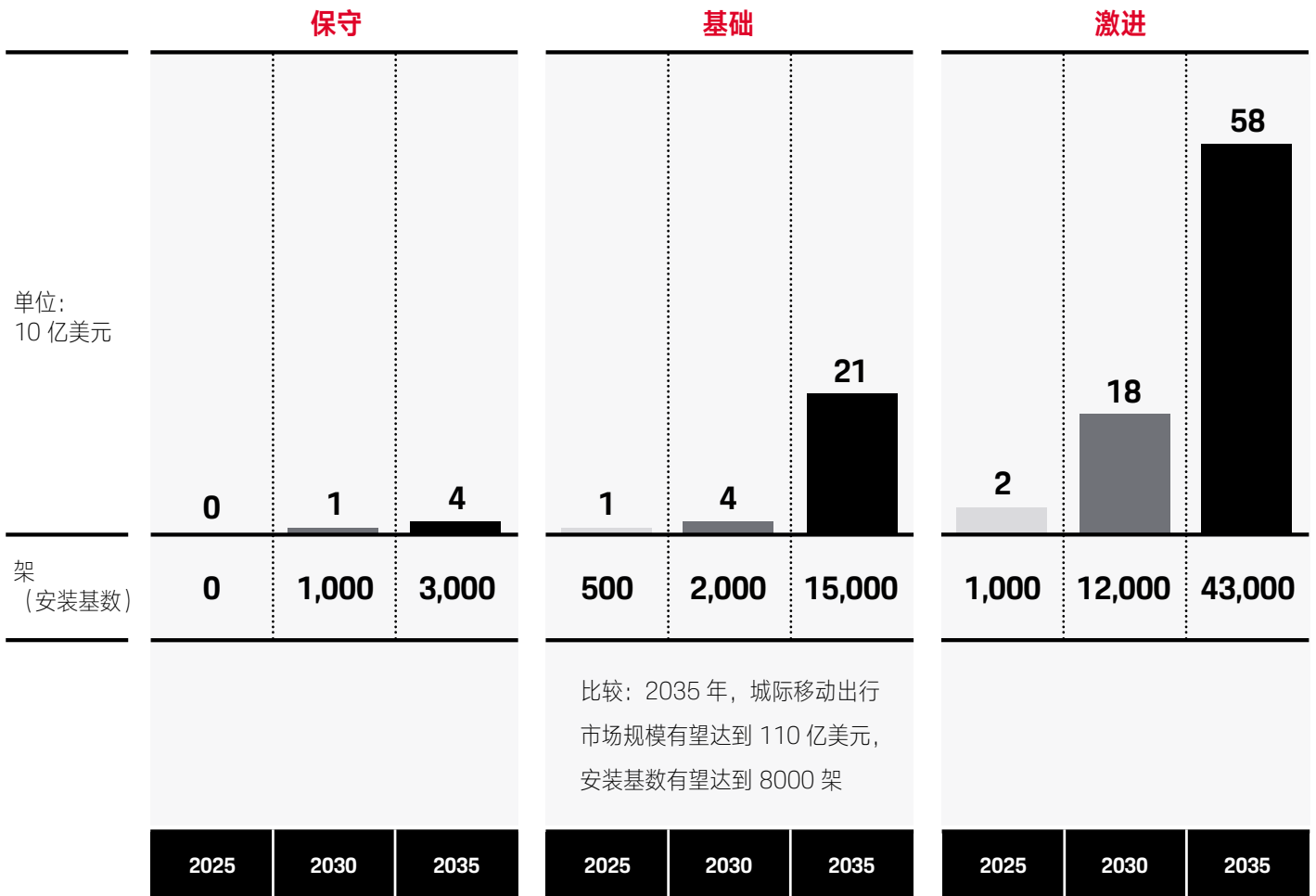


图 20、从适度到最大：载客无人机市场发展演变的保守情景和激进情景。

图表：保时捷管理咨询有限公司

## 其他市场：

### 城际移动出行和其他旅行

除了市内载客无人机市场之外，其他两个市场也值得关注。2035年，除了市内交通 210 亿美元的市场规模外，城际交通的市场规模有望达到 110 亿美元（图 21）。城际飞行创造的更多市场区隔以及对全新移动出行服务需求的增加目前难以估计，但载客无

人机的发展演变肯定会带来更多收入和商业机会。我们设想这些全新的交通出行是一系列自发的按需旅行，快速地从—个地方到另—个地方，前往乡村度假，前往邻近城市购物或参加活动。

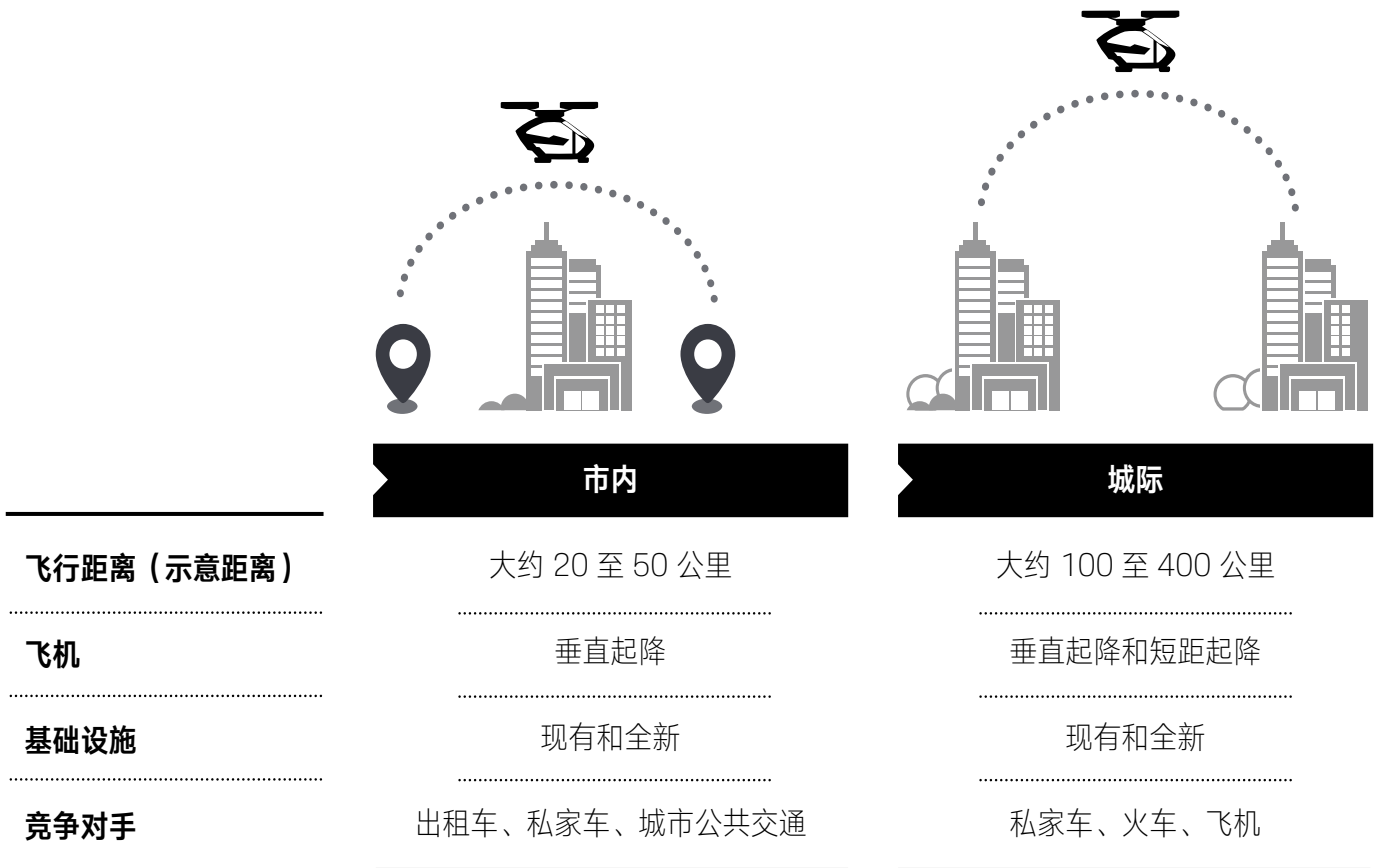


图 21、更进一步：城际旅行代表的是价值数十亿美元的市场区隔。

图表：保时捷管理咨询有限公司

## 勘察和货运无人机市场： 简要概述

不论是查看田地里的作物成熟情况和森林里的虫害情况，巡查位置偏远的大桥、风力发电机等不动产和基础设施，拍摄影视剧，还是创造引人入胜的现场娱乐，例如最近在韩国举行的奥运会，现如今的小型 eVTOL 飞机都经常在全球范围内广泛用于勘察目的。

此外，无人机货运还进行了现实世界实地测试。事实上，无人机货运始于 2016 年。进行无人机货运测试的主要公司包括亚马逊、全球快递服务 DHL 以及中国公司京东，测试地区包括美国和部分欧洲国家到亚洲和澳大利亚。

非载客无人机市场发展<sup>3</sup>的主要驱动力是远程运行的自主化水平。不论是消费者应用，还是商业应用，当前的飞机都需要依赖视距内运行（VLOS）。未来三到五年的时间里，飞机将实现视距外运行（BVLOS）。目前的限制就是大多数国家尚未批准此类视距外运行（BVLOS）。视距外运行（BVLOS）能够扩大应用范围，让一个人控制很多无人机。自动驾驶无人机将在未来 10 到 25 年的时间里成为现实。世界各地的航空公司和航空管理局已经开始对此进行讨论，货运飞机有望在农村地区进行测试。

作为最后一英里的货运选项，货运无人机需要与其他的新老货运选项展开竞争，例如单车快递员以及能够在道路上和人行道上行驶的城市货运机器人。货运机器人在视距外运行（BVLOS）方面

拥有很好的商业案例，例如将药物和应急物资送到偏远地区，但在第三个发展阶段——半自动驾驶——成为现实之前，这不会得到广泛部署。自主运行能够让这些无人机获得其他货运方式所不具有的效率优势。

对未来的无人机系统（UAS）进行认证是无人系统规则制定联合体（JARUS）的责任。无人系统规则制定联合体（JARUS）由来自 54 个国家的国家航空管理局和区域航空安全组织以及欧洲航空安全局（EASA）的专家组成。无人系统规则制定联合体（JARUS）致力于针对无人机系统（UAS）的适航认证和安全运行推荐一套统一的技术、安全和运行要求。这个组织机构旨在提供指导材料，让各国主管部门能够更加容易地制定各自的要求。一旦框架确定，它将影响勘察、货运和载客无人机的认证和使用。在两种情况下，非常相似的安全担忧都必须得到解决。

勘察无人机市场将以 20% 的复合年均增长率（CAGR）实现增长，到 2035 年市场规模达到 340 亿美元，营运无人机数量达到将近 2200 万架，其中商用市场是其最大的驱动力（图 22）。从 2020 年开始，这个市场将由市场规模高达 80 亿美元的商用无人机市场和市场规模高达 10 亿美元的个人爱好用无人机市场组成。2019 年至 2025 年，这个市场有望实现快速发展，但这取决于

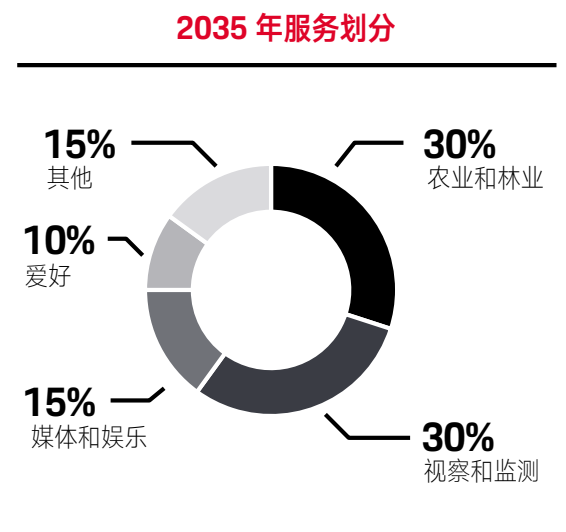
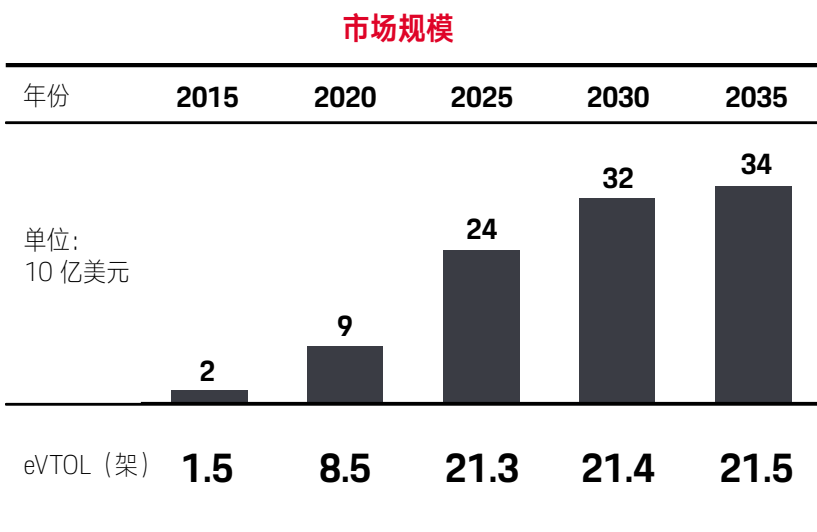


图 22、掌握作物和基础设施情况：2035 年勘察无人机市场细分。

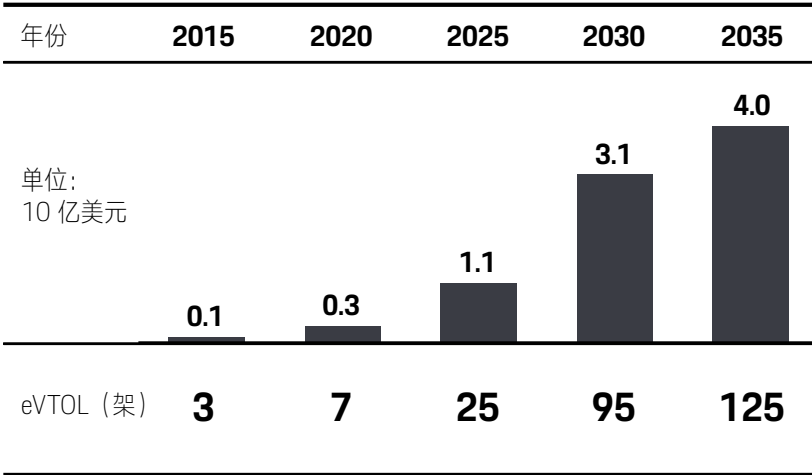
图表：保时捷管理咨询有限公司

<sup>3</sup> 为了给市场发展建立模型，本研究调取了大量基本数据，重要信息来源已标注于参考文献部分（7-12）。

当地法规和服务区域，到 2025 年市场规模将达到 240 亿美元，营运无人机数量达到 2130 万架。到 2030 年，市场规模将达到 320 亿美元；到 2035 年，市场规模将达到 340 亿美元的峰值。2035 年，营运无人机的数量将基本保持不变，达到 2150 万架。

2035 年，主要收入将来自农业、农耕和森林应用（30%）以及对不动产、基础设施等资产进行勘察和监测（30%）。收入的第三大来源是媒体和娱乐应用，将占到 15%。2035 年，围绕个人爱好用无人机的服务仅会占到 10% 的市场份额。

### 市场规模



### 2035 年服务划分

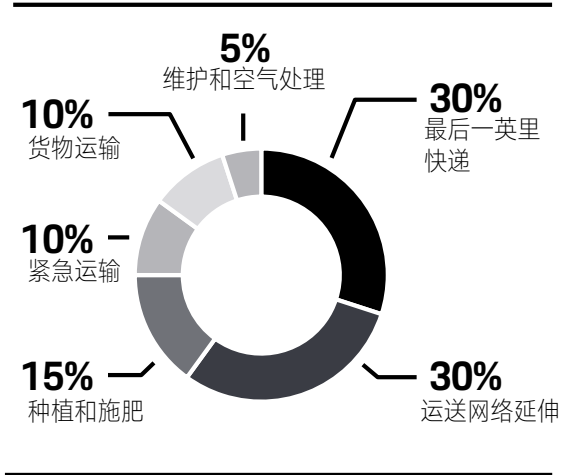


图 23、时间至关重要：2035 年的货运无人机市场及其在各个领域的应用。

图表：保时捷管理咨询有限公司

相对较小的货运无人机市场规模将从 2020 年的 3 亿美元增长到 2025 年的 11 亿美元，从 2030 年的 31 亿美元以大约 20% 的复合年均增长率（CAGR）增长到 2035 年的 40 亿美元（图 23）。监管框架和新型货运机器人预计将限制这一市场的发展，对成本结构产生影响。营运无人机的数量将从 2020 年的 7000 架增长到 2025 年的 2.5 万架，2030 年达到 9.5 万架，2035 年达到 12.5 万架。由于多个原因，货运无人机的市场规模要比勘察和载客无人机的市场规模小得多。货运市场竞争已经非常激烈，由单车等现有模式以及自动导引车（AGV）等新型解决方案主导。

无人机在着陆点可用性和城市地区噪音限制方面同样受限。与此同时，在农村地区，货运无人机相较于自动驾驶汽车几乎没什么优势，因为城市拥堵地区之外的交通密度并不那么重要。换言之，并没有必要以空运的形式在城市地区大量货运。

货运无人机仅在时间紧迫或位置偏远的情况下才具有优势。它们在特定距离范围内的载重量有限。全球 CEP（宅配、快递、小包裹）市场规模高达 1450 亿美元，但要求即时、同日、高可靠性的时间紧迫货运仅占到了全球 CEP 市场的五分之一（13，14）。此外，

2035 年，大部分的货运无人机收入将来自最后一英里货运，占到 30% 的市场份额，而为延伸已经建立的货运网络而部署的无人机也将占到 30% 的市场份额。农业栽培和施肥无人机将占到大约 15% 的市场份额。货运无人机的第四大和第五大应用将是紧急运输和货物运输，各占 10% 的市场份额。2035 年，维护和空中处理将占到剩余 5% 的市场份额。

## 5 抓住垂直起降空中交通的机会

从空中俯瞰城市就是观察一个永不停息的世界。移动出行是我们城市的命脉，通过让人员和货物不停移动维持城市生活。城市移动出行最强的一层就是由地铁、火车和公交车组成的公共交通网络，每天沿着固定路线接送成千上万的人们上下班。城市移动出行的另一层是私人交通，这是由私家车和出租车组成的动态拼图，模式抽象多变。还有就是一辆辆卡车，货运，接单，运走垃圾或回收物。最后是软模式交通出行，例如步行、共享单车和小型摩托车。在空中，直升机能够满足紧急情况的运输需求。

### 垂直起降空中交通生态系统中的参与者需要强大的合作伙伴

垂直起降空中交通生态系统中的参与者需要在公私实体之间建立强劲的合作伙伴关系才能取得成功。他们需要证明这对于广大民众来说的社会效益，确保参与各方齐心协力，步调一致：我和你、城市和立法者、硬件和服务参与者以及投资者。



图 24、最佳出行方式：多模移动出行服务能够对城市资源进行高效利用。

图表：保时捷管理咨询有限公司

### 我和你

垂直起降空中交通需要经过几个阶段的发展才能最终成为你我的交通出行方式。最开始的时候，它将为商务旅行者和有钱人提供点到点交通出行服务，就像当今的有钱人用得起直升机一样。经过一段时间的发展，载客无人机有望推动垂直起降空中交通的普及。

eVTOL 飞机能够覆盖相对较长——随着时间的推移会变得更长——的距离，长达几百公里，其中包括城际交通。它们将从最初的高档产品变成大多数人都负担得起的交通出行方式。例如，无人机将使得人类的飞行梦成为现实，随时前往绿色的郊区环境中与家人共度美好时光。

此外，eVTOL 飞机还能够对应急、安全和救援产生积极影响。载客无人机让患者运输变得更加容易，货运无人机能够确保药物、血液或供体器官的及时交付。勘察无人机能够在危机时刻或自然灾害发生后执行重要的安全和监视任务。

与其他交通模式一样，安全总是放在第一位的。要想让垂直起降空中交通取得商业成功并被社会接受，首先要得到公众认可。个人对飞行的期望与渴望必须得到法律法规框架的支持，确保 eVTOL 飞机人人可及，价格合理，噪音可以接受。

## 城市和立法者

先锋城市将率先设定标准，但它们必须保持对基础设施的控制，充分利用垂直起降空中交通提供的各种可能。一旦垂直起降机场建成，它们必须向所有提供商开放，就像旨在预防互联网上出现优先流量的网络中立性概念一样。垂直起降机场的中立性在最初的基础设施

建设阶段尤为重要，应当适用于所有关键交通枢纽，从而确保垂直起降空中交通生态系统不被垄断主导。因此，城市规划者、政客和监管者应当聚焦每座城市的交通痛点，确保能够及时提供试验台，保证 eVTOL 飞机基础设施的网络中立性（图 25）。



图 25、对所有人开放：公共基础设施为什么需要网络中立性才能实现繁荣发展。

图表：保时捷管理咨询有限公司

一座城市能够凭借较少数量的垂直起降机场保持较高的交通灵活性，因为这些起降点支持很多潜在连接。例如，一个由 10 个垂直起降机场组成的网络等同于 45 个潜在连接。

建造成本从数亿美元到数十亿美元不等，具体要看是与地面齐平、高架还是位于隧道内。相比较之下，载客无人机仅需要少量资源，例如垂直起降机场和充电站。

城市还能够从较低的基础设施成本中受益。相较于其他的交通模式，垂直起降空中交通的优势在于载客无人机每单位距离的资本支出更低。一段 35 公里的市内高速公路或一条轻轨或地铁线的

同时需要采取措施以安全的方式对城市中勘察和货运无人机的飞行进行管理。集成空中交通管理（ATM）/ 无人机系统交通管理（UTM）方案必须包含网络安全，从而预防勘察和货运无人机的滥用。

## 硬件和服务参与者

这一新兴领域的硬件和服务参与者将由现有飞机制造商（例如波音、空客）、汽车原始设备制造商、初创公司（例如亿航、Jobi Aviation、Lilium、Volocopter）、英特尔等科技公司以及优步等移动出行服务提供商组成。

eVTOL 飞机、充电设备、其他设备、电池以及分布式电力推进（DEP）。后者将在很大程度上取决于其声学剖面。

硬件是这一未来生态系统的关键组成部分，能够对基础设施、法律法规以及社会接受程度产生重要影响。我们所说的硬件指的是

正如此前提到的那样，多旋翼概念的优势在于能够率先上市。速度更快、效率更高的其他概念将随之而来。目前尚不清楚哪种飞机系统能够胜出。不同的参与者正在探索评估多种空气动力概念，但可以肯定的说，在出行速度和效率方面，带有机翼的无人机系

统拥有明显的优势。该领域的公司既要率先在市场上推出产品，又要考虑特定概念的固有优势，同时还要与监管机构合作制定未来标准。最开始，所有概念的无人机都将由人类飞行员负责驾驶，之后慢慢发展演变成辅助系统和自主系统。

由于移动出行服务将占到这一全新市场的最大份额，硬件始终是规模更大的集成服务的一部分。未来属于那些能够通过无缝集成到更大规模的移动出行网络的载客无人机提供移动出行服务的提供商。

## 投资者

垂直起降空中交通的投资总额已超过 30 亿美元。仅 2016 年的投资额就高达 5 亿美元。我们预计一种载客无人机实现量产的成本在 5 亿至 10 亿美元之间（图 26）。在所有市场区隔进行必要的投资，需要建立合作关系。截至目前，最大的赌注压在了载客无人机硬件和新型空中交通管理系统上。

对垂直起降空中交通进行投资需要目光长远。生态系统刚刚开始成型，2025 年至 2035 年将经历重大拐点，直到其成为未来电气化移动出行的重要组成部分。希望活跃于此领域的投资者需要意识到 eVTOL 飞机市场的各种风险，从技术开发、认证、监管到商业可行性和公众接受度。

### eVTOL 飞机开发成本（百万美元）

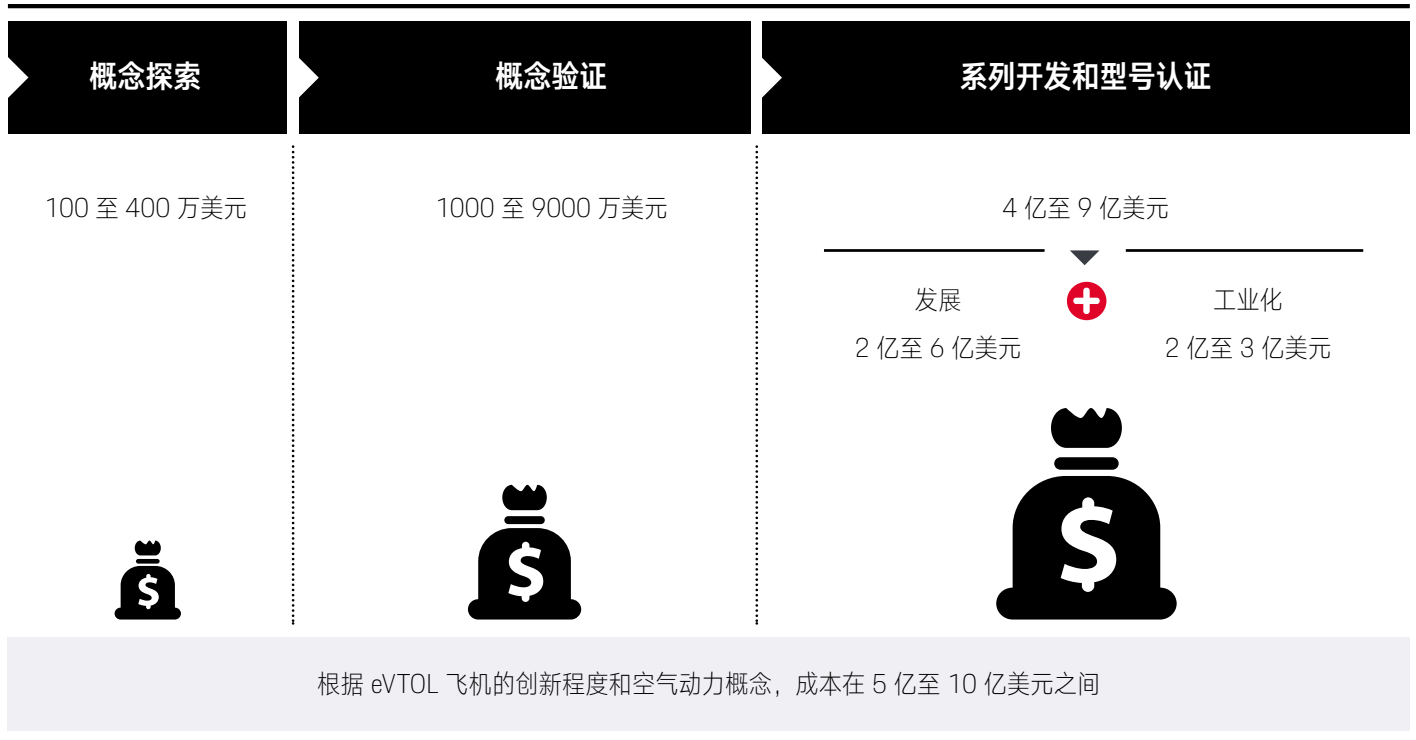


图 26、十亿美元级：eVTOL 飞机从概念到系列开发的成本范围。

图表：保时捷管理咨询有限公司

# 附录

## 参考文献

- (1) 德国联邦统计局, 2017年, Verkehr auf einen Blick, <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/BroschuereVerkehrBlick0080006139004.pdf?blob=publicationFile>。
- (2) 优步科技公司, 2016年, 展望未来的按需城市空中交通出行, <https://www.uber.com/elevate.pdf>。
- (3) INRIX 2017年, 2018年, 交通记分卡——München bleibt Deutschlands Stauhauptstadt, Hamburg und Berlin holen auf, <http://inrix.com/press-releases/scorecard-2017-ger/>。
- (4) 联合国, 2015年, 世界城市化展望, 2014年修订版, <https://esa.un.org/Unpd/Wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>。
- (5) 国际能源署, 2012年, 世界能源展望 2012, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/German.pdf>。
- (6) 空中客车公司, 2017年, 成长的地平线 2017/2036, [http://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/Airbus\\_Global\\_Market\\_Forecast\\_2017-2036\\_Growing\\_Horizons\\_full\\_book.pdf](http://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/Airbus_Global_Market_Forecast_2017-2036_Growing_Horizons_full_book.pdf)。
- (7) 弗若斯特沙利文咨询公司, 2017年, 飞行汽车的未来 2017-2035, <https://store.frost.com/future-of-flying-cars-2017-2035.html>。
- (8) MarketsandMarkets, 2017年, 目标无人机市场——全球预测至 2022 年, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/target-drone-market-115334135.html>。
- (9) MarketsandMarkets, 2017年, 无人机市场——全球预测至 2022 年, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/commercial-drones-market-195137996.html>。
- (10) 弗若斯特沙利文咨询公司, 2016年, 全球民用直升机市场分析, <http://www.frost.com/sublib/display-report.do?id=MBCF-01-00-00-00>。
- (11) SESAR Joint Undertaking, 2016年, 欧洲无人机展望研究——为欧洲解锁价值, [https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European\\_Drones\\_Outlook\\_Study\\_2016.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf)。
- (12) 美国联邦航空管理局, 2017年, 美国联邦航空管理局航空预测——2017财年至 2037财, [https://www.faa.gov/data\\_research/aviation/aerospace\\_forecasts/media/FY2017-37\\_FAA\\_Aerospace\\_Forecast.pdf](https://www.faa.gov/data_research/aviation/aerospace_forecasts/media/FY2017-37_FAA_Aerospace_Forecast.pdf)。
- (13) 万国邮政联盟, 2015年, 全球邮政网络——关键数据, <http://news.upu.int/insight/backgrounders/key-figures/>。
- (14) International Post Corporation, 2016年, 2016年关键发现——邮政行业报告, [https://www.ipc.be/en/Reports-library/Publications/IPCReports\\_Brochures/gpir2016-key-findings](https://www.ipc.be/en/Reports-library/Publications/IPCReports_Brochures/gpir2016-key-findings)。



---

## 法规

欧洲航空安全局 法规 CS-23/CS-25/CS-27/CS-29/CS-LSA, <https://www.easa.europa.eu/documentlibrary/certification-specifications> (2018)。

无人系统规则制定联合体 (JARUS) CS-LURS 法规, [http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/storage/LibraryDocuments/jar\\_01\\_doc\\_jarus\\_certification\\_specification\\_for\\_lurs\\_-\\_30\\_oct\\_2013.pdf](http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/storage/LibraryDocuments/jar_01_doc_jarus_certification_specification_for_lurs_-_30_oct_2013.pdf) (2013)。

无人系统规则制定联合体 (JARUS) CS-LUAS 法规, [http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar\\_05\\_doc\\_cs-luas\\_v0\\_3.pdf](http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar_05_doc_cs-luas_v0_3.pdf) (2016)。

美国联邦航空管理局 ASTM 法规, [https://www.faa.gov/aircraft/gen\\_av/light\\_sport/media/StandardsChart.pdf](https://www.faa.gov/aircraft/gen_av/light_sport/media/StandardsChart.pdf) (2018)。

---

## 词汇表

2C/4C	充放电速率。与 2C 相比, 4C 充放电速率表示相同时间间隔内的电流使用是 2C 的两倍。
AGV	自动导引车
APAC	亚太地区
ATC	空中交通管制
ATM	空中交通管理
BVLOS	视距外运行 (有时候也称 BLOS)
CEP	宅配、快递、小包裹
DEP	分布式电力推进
DLR	德国航空航天中心
欧洲航空安全局	欧洲航空安全局
eVTOL	电动垂直起降飞机
美国联邦航空管理局	联邦航空管理局
无人系统规则制定联合体 (JARUS)	无人系统规则制定联合体
Li-NMC	锂镍锰钴氧化物电池
NAA	国家航空管理局
服务提供商	驾驶、飞行运行、空中交通管理服务、MRO 服务等
解决方案提供商	着陆费、充电费等
STOL	短距起降
TAM	目标市场规模, 理论上可实现的, 具备成熟基础设施的市场
UAS	无人机系统
UTM	无人机系统交通管理
垂直起降机场	拥有多个起降坪以及充电基础设施的垂直起降枢纽
垂直起降点	拥有较少基础设施的单个垂直起降坪
VLOS	视距内运行
VTOL	垂直起降

---

# 作者、赞助商和合作伙伴

---

## 作者

Gregor Grandl  
保时捷管理咨询有限公司高级合伙人

Martin Ostgathe 博士  
保时捷管理咨询有限公司高级经理

Jan Cachay 博士  
保时捷管理咨询有限公司经理

Stefan Doppler  
保时捷管理咨询有限公司高级顾问

John Salib  
保时捷管理咨询有限公司高级顾问

Han Ross  
保时捷管理咨询有限公司顾问

---

## 联合作者和赞助商

Jan Detert  
保时捷汽车控股公司战略总监

Robert Kallenberg 博士  
大众汽车公司集团战略规划负责人

---

## 执行赞助商

Philipp von Hagen  
保时捷汽车控股公司执行董事会成员

Thomas Sedran 博士  
大众汽车公司集团战略高级副总裁兼秘书长

---

## 合作伙伴和专家

德国航空航天中心 (DLR)

Stefan Levedag 博士教授, 德国航空航天中心 (DLR) 飞行系统研究院负责人

Mark Azzam 博士, 德国航空航天中心 (DLR) 智库负责人

---

## 保时捷管理咨询有限公司

保时捷管理咨询有限公司总部位于德国斯图加特, 是跑车制造商保时捷股份公司的子公司。保时捷管理咨询有限公司成立于 1994 年, 当时仅有四名员工, 现有拥有超过 500 名员工。保时捷管理咨询有限公司是一家在国际上非常活跃的公司, 在米兰、圣保罗、亚特兰大和上海和贝尔蒙特拥有四家国际子公司, 是德国领先的管理咨询公司之一。保时捷管理咨询有限公司为全球范围内汽车、航空航天、工业品、金融服务、消费品、零售和建筑行业的大中型公司提供咨询服务。

---

## 谋于思, 践于行

作为将战略付诸实践的领先咨询公司, 我们拥有明确的使命: 通过可以衡量的结果提供竞争优势。我们采取战略思维, 务实行动。我们坚持以人为本的原则。这是因为, 成功来自于与我们的客户及其员工合作。只有当我们调动所有参与者的积极性, 并让他们热情投入到必要的变革之中, 我们才能实现我们的目标。

---

## 设计: Daniel Vogel

出版: Luisa Boger、Dunia Fernández、Heiner von der Laden 和 Darius Selke

未来, 飞行将成为我们日常生活的自然组成部分。我们很期待听到您任何想法、意见和问题, 请与我们就垂直起降空中交通的发展保持探讨。我们欢迎各种反馈意见, 请将反馈意见发送至 [verticalmobility@porsche.de](mailto:verticalmobility@porsche.de)。

---

**“探索。梦想。发现。”**

马克·吐温

## 保时捷管理咨询有限公司

斯图加特 | 汉堡 | 慕尼黑 | 米兰 | 圣保罗 | 亚特兰大 | 上海 | 贝尔蒙特  
[www.porsche-consulting.com](http://www.porsche-consulting.com)

© 保时捷管理咨询有限公司 2018 年