



人工智能机器人的崛起

物理人工智能即将到来

花旗全球展望与解决方案

2024年12月

花旗是全球最大的金融机构之一，在所有主要成熟和新兴市场开展业务。在这些世界市场上，我们的员工进行着持续的多学科对话 - 获取信息，分析数据，制定见解和提出建议。作为我们的首要思想引领产品，花旗全球展望旨在帮助我们的读者应对全球经济面临的最具挑战性的问题，并预测一个快速变化且相互关联的世界中的未来主题和趋势。花旗全球展望汇集了我们全球对话的最佳要素，并整合了我公司各个高级专业人员的思想领导力。本文不是研究报告，也不构成对投资的建议或要约购买或出售任何金融工具。有关花旗全球展望的更多信息，请访问我们的网站www.citi.com/citigps。



Rob Garlick
技术负责人 & 创新
花旗全球洞察
robert.j.garlick@citi.com



Wenyan Fei
Citi全球洞察
wenyan.fe@citi.com



Tahmid Quddus Islam
Citi全球洞察
tahmid.quddus.islam@citi.com



Anjola Odunsi 花旗
全球洞察
anjola.odunsi@citi.com



Adam Spielman
健康未来主管 花旗
全球洞察
adam.spielman@citi.com



Martin Wilkie 欧
洲资本商品主管
花旗研究
martin.wilkie@citi.com



Helen Krause
数据科学负责人
洞察
花旗全球数据洞察
helen.krause@citi.com



马修·莫法特
花旗全球数据洞察
matthew.moffat@citi.com
卡罗尔·吉布森 花旗
环球洞察
carol.gibson@citi.com



亚历克斯·米勒
全球产品经理
alex.miller@citi.com



Anuj Gangahar Globa
l Editor-in-Chief
anuj.gangahar@citi.com

贡献者



Michael Brown
CEO Skyline Rob
otics



Ben Reed
首席营销官
Sanctuary AI



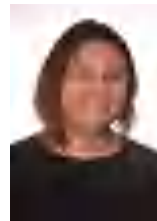
Felix Zhang 创始人
兼首席执行官 Pudu
Robotics



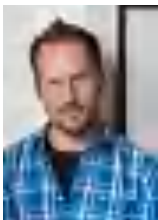
Dr Harry Kloor 联合创
始人兼首席执行官 Beyo
nd Imagination



William Santana Li
主席兼首席执行官 Kn
ightscope 公司



Aleksandra Faust 研
究主管 Google Deep
Mind



Ingmar Posner 应用
人工智能教授 牛津大
学工程学系

AI机器人的崛起

物理人工智能即将到来

我们正在进入一个新时代，人工智能机器人和人形机器人将在我们周围移动。我们的分析表明，到2035年，可能会有13亿个人工智能机器人，到2050年将达到40亿个。

英伟达CEO黄仁勋最近表示“人工智能的下一波浪潮已经到来。受物理人工智能驱动，机器人将彻底改变产业。1”特斯拉CEO埃隆·马斯克表示，某种形式的机器人市场——人形机器人——可能每年超过10亿台，我们最终将拥有的机器人数量将超过人类。2

这个新市场有3个主要推动因素：

1. 技术-多项技术进步，特别是人工智能（AI）的发展，已经显著改变了机器人的前景
2. 经济-机器人可以解决劳动力短缺问题。随着人口老龄化和更为严格的移民政策加剧，短缺问题变得更加棘手
此外，对于功能强大的机器人来说，投资回报周期相对于人类的吸引力越来越大。劳动力在全球国内生产总值中占比超过50%。因此，市场机会可能是巨大的
3. 改善-技术进步使人们摆脱了单调的任务，增加了休闲时间。继续这一趋势，人工智能机器人将为人们提供机器人清洁工、管家、司机、助手和护理人员等服务

通过分析这些动因，本报告分为3个主要部分：

1. 技术-我们在第1章突出了9个变革。其中最重要的变革来自人工智能的进步，使机器人可以看、学、动、说话、将指令转化为代码然后执行。最近才有了多模式人工智能使所有这些元素相互配合。人工智能逐渐具有具体形体和物理身体。在此过程中，灵巧性也在不断提升。一些机器人现在能穿针引线或缝合玉米粒。机器人正在由理论走向现实，由无用变得有用
2. 用例-静态机器人也在增长，但本报告的重点是在AI-启用移动的机器人。第2-8章探讨了AI机器人的潜在用例，从清洁、驾驶、交付，到工业、建筑、零售、酒店和护理领域的使用。我们对9个用例领域的专有分析预测到2050年将有41亿个机器人。对于一个用例，人形机器人，我们进一步将其分为7个领域。我们的方法论将在下文中进行总结。
3. 挑战 - 第10章探讨了值得关注、辩论和解决的12个挑战和解决方案。

尽管存在挑战，但我们得出结论：一个巨大的新市场正在形成（非人类），AI机器人将如约而至。

1 [NVIDIA CEO Jensen Huang在2024年台北国际电脑展的主题演讲](#)

2 [彭博科技 - 伊隆·马斯克表示，到2040年机器人的数量将超过人类](#)

AI机器人的崛起

物理人工智能即将来袭

我们预测到2035年时，将有13亿台AI机器人在我们周围移动，到2050年将达到40亿台。这其中的三个主要推动因素将是技术、经济和改善。以下是一些关于机器人崛起的数字。



机器人单位数量（以百万计）按类型预测

来源：花旗经济研究部

	2024	2025	2030	2035	2050	CAGR
自动驾驶汽车	27	34	126	380	1,858	17.4%
国内清洁机器人	286	326	541	793	1,188	5.3%
人形	0	0	1	13	648	60.7%
AGV与AMR	2	3	9	28	181	17.7%
无人机	37	40	54	73	149	5.4%
关爱机器人	0	1	6	18	71	20.0%
商用清洁机器人	1	2	6	14	25	10.6%
食品和杂货送货机器人	0	0	4	11	19	19.2%
餐饮服务机器人	0	0	3	10	15	17.2%
照顾重叠	0	0	(1)	(5)	(18)	
总计	354	405	749	1,337	4,136	9.7%



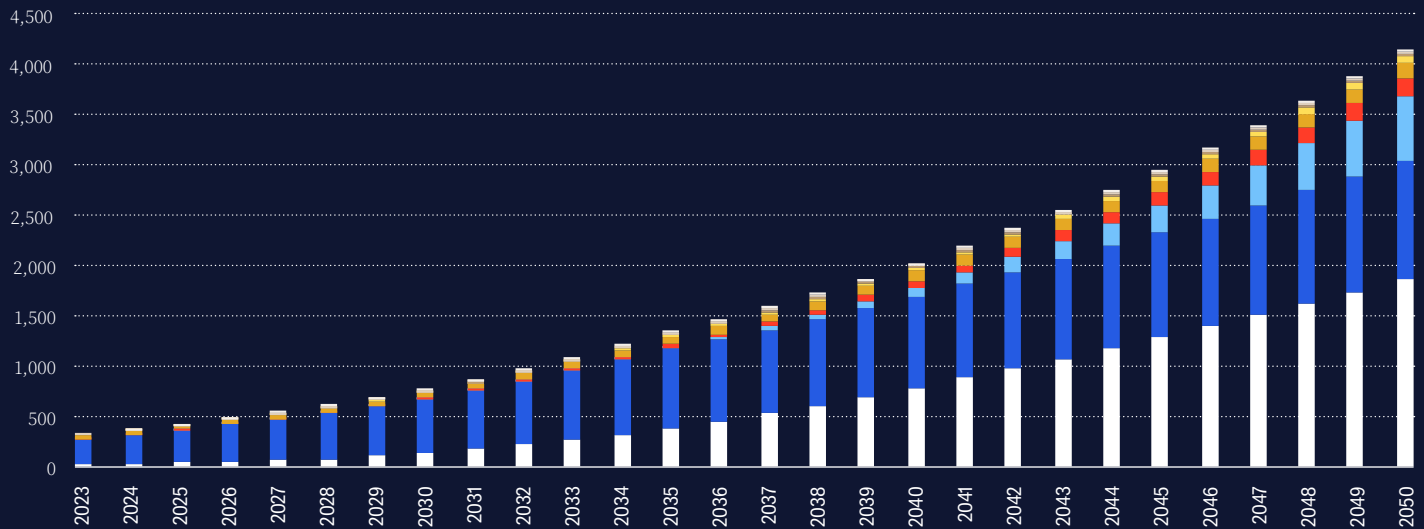
人形回收期灵敏度表（单位：周）

人形价格（美元）	15,000	20,000	25,000	30,000	35,000
Hourly wage 7.25	21.6	28.7	35.9	43.1	50.3
Hourly wage 16.00	9.8	13.0	16.3	19.5	22.8
Hourly wage 28.00	5.6	7.4	9.3	11.2	13.0
Hourly wage 41.00	3.8	5.1	6.4	7.6	8.9



按类型预测的机器人单位编号

来源：Citi GPS



内容

摘要与分析	6
技术进步	10
清洁与维护	19
交通运输	29
人形机器人	35
工业	42
服务机器人	45
医疗保健	51
安全、安全和军事	56
资本/专利	62
挑战	68
结论	78
相关阅读	79

摘要与分析

AI并非新领域（1950年代）。机器人也并非新事物（1960年代）。能移动的AI机器人是新兴领域。

过去十年中，人工智能方面取得了长足进步，使机器人能够看、动、说、学习和执行动作。本报告第1章介绍了其中9项技术进步。第2-8章讨论了AI机器人的不同用例和发展。

可以说，最复杂的领域之一是自动驾驶车辆（AVs），因为AV以每小时70英里的速度行驶而无需监督存在很高风险，导致监管批准进展缓慢是可以理解的。现在这一情况正在改变。Waymo每周进行10万次AV乘车。其他试验和批准也正在进行中，有机会减少死亡人数（每年有140万人死于车祸），增加无法驾驶的人的出行机会，以及解放人们的时间。我们的分析指出到2050年估计将有18亿辆AV。

AV目前非常昂贵。在价格和风险谱的另一端，AI智能机器人吸尘器已经在美国的20%家庭和中国的9%家庭中活动。我们的分析显示到2050年将有12亿台家庭和2500万台商业清洁机器人。

最新的机器人类别是人形机器人。这些机器人旨在适应人造环境，并在许多任务中提供多样性。在评估人形机器人的机会时，我们首先在工业领域（即制造和仓储）看到最大潜力，然后是在家庭中。我们在家庭中看到的主要功能是清洁和照料。虽然这个新领域需要时间建设，但我们预计到2050年将有6.48亿台单位和一个价值7万亿美元的人形机器人市场。

制造和仓库），然后是家庭。我们在家庭中看到的主要功能是清洁和照顾。尽管这个新行业需要时间来建设，但我们预计到2050年将有6.48亿台机器人和一个价值7万亿美元的人形机器人市场。

本报告的一个目标是尝试估算AI机器人的不同市场机会规模。分析的结论如下。已进行调整以消除在护理行业使用的机器人和在老年人家中协助护理的类人机器人的重复计数。

本报告还列举了在该领域活跃的几家公司，作为行动中案例的示例。

[3 https://waymo.com/about/](https://waymo.com/about/)

图1.按类型预测的机器人单位数量（百万）

	2024	2025	2030	2035	2050	CAGR
Autonomous Vehicle	27	34	126	380	1858	17%
Domestic Cleaning Robot	286	326	541	793	1188	5%
Humanoids	0	0	1	13	648	61%
AGV & AMR	2	3	9	28	181	18%
Drone	37	40	54	73	149	5%
Caring Robot	0	1	6	18	71	20%
Commercial Cleaning Robot	1	2	6	14	25	11%
Food & Grocery Delivery Robot	0	0	4	11	19	19%
Food Service Robot	0	0	3	10	15	17%
Caring Overlap	0	0	(1)	(5)	(18)	
Total	354	405	749	1,337	4,136	10%

来源: Citi GPS

我们的方法包括估计覆盖全球大部分地区的三个地区（发达地区、不发达地区、最不发达地区）市场总规模，然后为每种用例和每个地区应用不同的渗透率。

我们假设不发达市场的渗透率是发达地区的一半，最不发达地区的渗透率是不发达市场的一半。我们分析了每个地区的数据直至2050年。

我们认识到增补与替代的担忧既不一致也不直接。例如，AVs可能会替代一些驾驶职业（例如出租车），但一些驾驶职业涉及其他任务/服务（例如配送）。

配送）。

采用和渗透率将基于经济情况而变化。我们发现清洁领域的机会看起来很大（表1中显示的1188万个清洁机器人预测表明清洁领域的采用机会是巨大的）。当看到类人机器人时，令人惊讶的是与美国最低工资标准（7.25美元）对比时回收期似乎非常短，在加利福尼亚

（\$16.00），与工厂工人（美国平均\$28）或护士（\$41.00）相比，如下图所示4

图2.人形回本期敏感性表（按周计算）

Hourly Wage (\$/h) \ Humanoid Price (\$)	15,000	20,000	25,000	30,000
7.25	21.6	28.7	35.9	43.1
16	9.8	13.0	16.3	19.5
28	5.6	7.4	9.3	11.2
41	3.8	5.1	6.4	7.6

来源: 花旗环球

我们估计到2050年，在发达地区的工业设定中，人形机器人的渗透率将达到30% / 20% / 10%，较少发达和最不发达地区将分别为22% / 11% / 5%。我们的家庭估计受到80岁以上的老年人口数量和有清洁工的影响。考虑到护理和清洁机器人可能会惠及许多其他人，我们的渗透率假设可能过低。

我们还注意到，我们尚未分析几个潜在的巨大市场——如军事、安全、教育、农业。

虽然预计对大多数发达地区采用率将会更高，但我们认为到2050年，较不发达地区由于其人口规模和劳动力市场规模的原因，将占整体市场的相当大部分。下图显示，到2050年，较不发达地区将占人形机器人市场的三分之二。

图3.按发展组别细分的人形机器人分析（单位：百万）

Development Group	2035	2050	CAGR
More developed regions	8.0	181.2	23%
Less developed regions	5.3	433.1	34%
Least developed regions	0.0	33.8	62%
Total	13.3	648.1	30%

来源: Citi GPS

我们还注意到，亚洲对机器人的风险投资正在增加，根据专利数据，机器人创新在亚洲蓬勃发展。美国可能在人工智能领域处于领先地位，但我们的专有分析显示，过去20年中国占了所有机器人专利的78%。

谷歌首席经济学家哈尔·瓦里安曾经说过：“预测未来的一种简单方法就是看看富人今天拥有什么。”在以前的几代人中，这些包括自来水、冲水马桶、汽车、洗衣机、中等教育或点播音乐。正如我们在去年的AI助手报告中讨论的那样，人工智能可以为许多人带来个人助理、教练、无限耐心的教育导师和健康教练。正如本报告中所提到的，AI机器人也可以为人们提供清洁工、男仆、司机和照顾者。在适当的成本、能力和监管条件下，对这些服务的需求可能会非常大。

最近生成式人工智能的进展正指向认知任务或按需创作艺术。许多人真正想要的是在日常任务，如清洁方面获得帮助，以便能够更多地思考、创作艺术和休闲。人工智能机器人可以帮助实现这种乌托邦角度。

当然，人们对机器人取代工作的更加悲观担忧，正如在挑战章节中讨论的那样。然而，本报告的副标题‘AI-机器人正在追踪你’则是在暗示另一个潜在结果。人工智能从您的数据中获取信息，学到的越多就能为您提供更多价值。专有数据是竞争优势。个性化AI机器人助手可能也是如此。在过去30年间，大多数数字化企业的证据表明

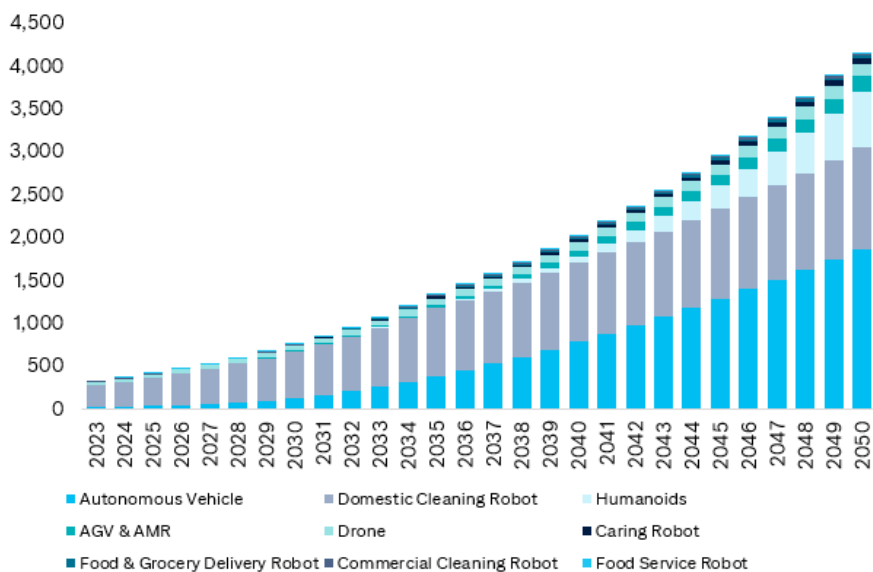
5 [人工智能机器人的崛起- humanoid正在追踪你](#)

[1] <https://www.ft.com/content/4329a987-9256-3059-b36f-1aba9338b800>

市场份额的竞争已成为取胜即拥有大部分份额的经济形势。如果这种情况发生在人工智能机器人领域，将加速采用。

当我们将这一数据点加入技术、经济和改善动力因素时，我们相信‘人工智能机器人正在接近你’。因此，我们预计到 2050 年，将有 40 亿台人工智能机器人在我们周围活动。这一结论如下图所示，并在本报告中有更详细说明。

图 4. 类型预测的机器人单位数量



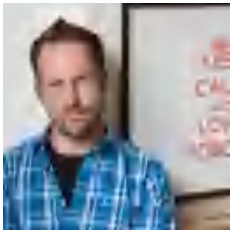
来源: Citi GPS

技术进步

配备人工智能，机器人可以越来越好地在复杂环境中导航，做出自主决策，并适应不断变化的条件，从而弥合人工智能和物理活动之间的鸿沟。

这种人工智能的实现将使机器人在制造业、医疗保健等行业承担越来越多的角色，将我们经常听到的软件进步转变为实际应用。

近年来，人工智能和相关技术的重大进步推动了下一代机器人的发展，将它们转变为智能、自主的系统，以彻底改变各个领域。



Ingmar Posner
应用人工智能教授
工程科学系
牛津大学

我们在哪些领域看到了人工智能机器人的技术进步？

近年来，机器人技术在稳健和坚固平台的可用性方面以及在能力方面都取得了快速进展。像波士顿动力的Spot和ANYbotics的ANYmal这样的机器人已经发展成为可靠、多功能的工具，现在广泛用于在具有挑战性的环境中进行检查、监视和搜救。支持这种转变的控制、规划和机器学习方法的技术进步现在越来越多地被应用到新一代人形机器人平台上。

同样，机器学习在机器人技术领域的进步已经导致能够执行对工业和公共领域价值逐渐增加的任务的能力强大的机器人操作器的出现。在操作和灵巧性方面取得了稳定的进展，虽然还远未解决，但能力的进步使得移动机器人操纵迅速成为即将到来的关键领域。大规模语言模型的出现有望填补人工智能中一个基础性挑战，即常识和常规知识的获取。尽管目前这些模型缺乏明确的推理能力，但它们已经可以作为机器人感知，行动和交互的支柱。

人工智能：常识和一般知识的获取。尽管目前这些模型缺乏明确的推理能力，但它们已经可以作为机器人感知，行动和交互的支柱。

展望未来3-5年，您对技术进步的哪些领域最乐观或最悲观？

人形机器人硬件的快速发展毫无疑问将继续进行，尽管目前尚不清楚在这段时间内这些系统将在多大程度上能够发展超出基本能力，如运动和拾取任务等。赋予大型预训练模型明确推理能力仍然是人工智能领域的一个前沿，将为机器人技术的广泛部署打开大门，在那里代理人在物理世界中行动和交互。模型大小以及模型在训练和推理中的能源消耗在将最新的大型模型部署到机器人技术中时仍然是主要瓶颈之一，因为系统通常具有资源约束。我期待在这些领域看到更多激动人心的发展。我是一位技术爱好者，我相信机器人技术，机器学习和人工智能等技术有望帮助我们解决当今一些最紧迫的挑战。然而，这项技术被用于对社会有害的目的，如信息误导和战争，仍然是一个重大关切。要将这一最新技术革命转变为我们所有人的成功，需要技术人员、立法者和整个社会共同努力。

1. 基础模型

强化学习是机器学习的一个领域，允许AI模型学习如何做出决策，通常是在新的和动态的环境中。

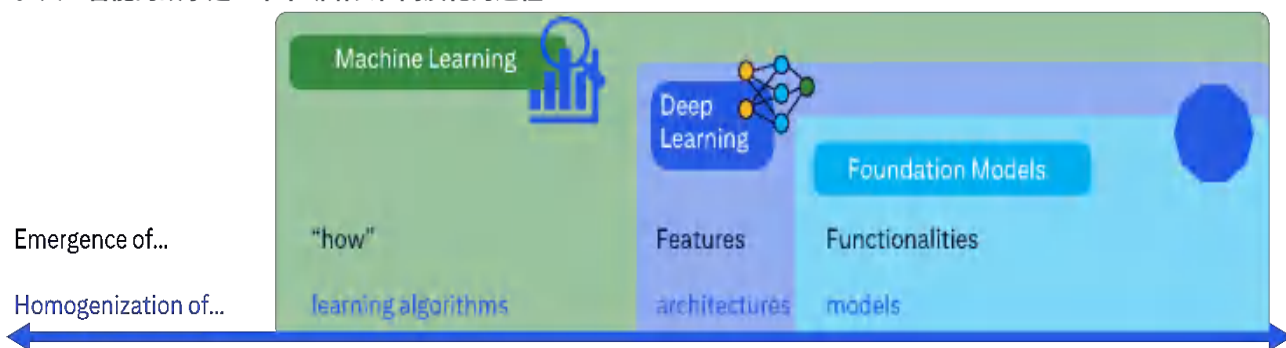
2017年由Google引入的“transformer”架构的出现，“为AI领域带来了革命性的变革，并且有望为机器人技术做出相同的贡献。它代表了AI系统设计和训练方式的根本变革。

transformer 不依赖于带标签的数据集，可以从非结构化和无标签的数据中学习，使其更加多功能且强大。

这一创新使得AI模型能够迅速扩展，这些模型的规模在不到5年的时间里增加了32000倍。

如Bommasani等人（2021年）定义的基础模型是“在广泛数据（通常使用规模上的自我监督）上训练的任何模型，可以适应（例如，微调）各种下游任务”。

图5。人工智能的故事是一个不断增长和同质化的过程



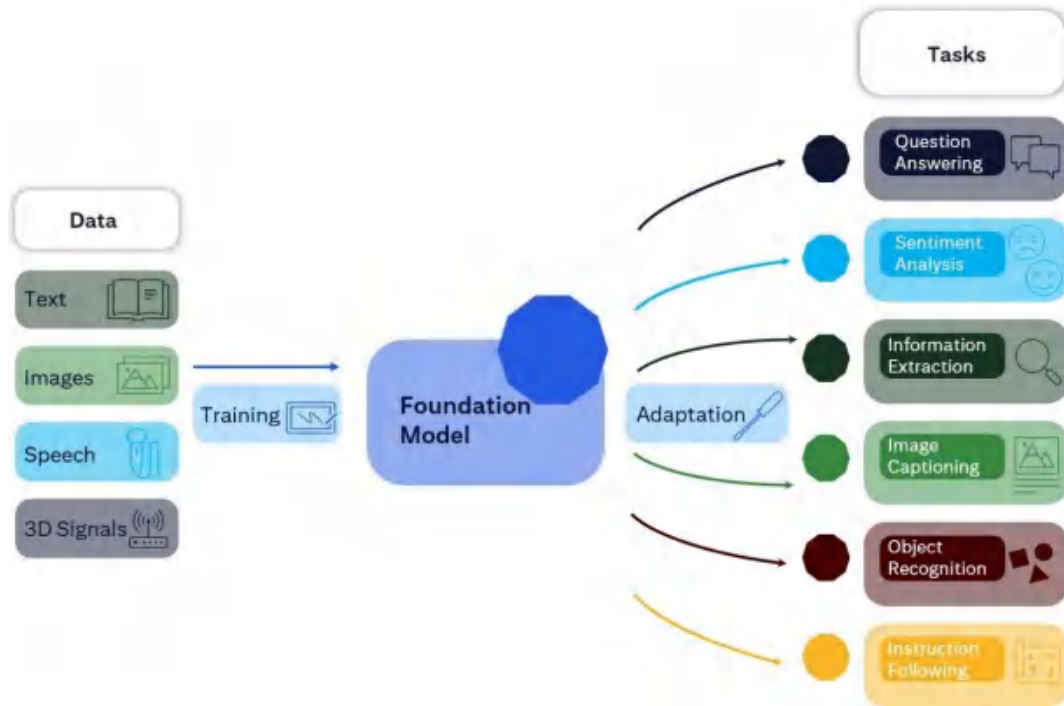
来源：关于基础模型的机会和风险

基础模型对机器人的影响深远。它们可以接收任务描述，将其转换为可执行代码，然后通过机器人将其转化为物理动作。这种能力可以使更多人接触到先进的机器人技术。

2. 多模态性

多模态性涉及整合各种人工智能技术，以增强机器人感知、解释和与环境互动的能力。这种方法涉及不同人工智能能力的融合。这种融合大于各部分之和，解决了早期模型的局限，这些模型通常独立运行。多模态人工智能使机器人能够更全面地理解其环境并完成更复杂的任务。

图6. 人工智能的故事是逐渐出现和同质化的



来源：关于基础模型的机遇与风险

人工智能中的多模态概念在过去一年中得到了极大的主流关注，随着OpenAI的GPT-4和Google的Gemini等先进模型的开发。

早期的自然语言处理（NLP）模型经常在上下文方面遇到困难，导致句子缺乏连贯性和微妙之处。这在开发能够理解并回应复杂指令或进行有意义互动的机器人时是一个重要障碍。

2020年，OpenAI的GPT-3在各种语言任务中的人类水平表现上取得了22%的改进，包括阅读理解和文本补全。这一重大飞跃之后是GPT-4的开发，比如现在在回答医学考试问题方面优于人类。

语音识别是多模态人工智能的另一个关键组成部分，特别是对于需要直观与人类互动的机器人。2017年，微软的语音识别系统达到了5.1%的词错误率（WER），与人类抄录员的表现相匹敌。更近期的模型，如Google的WaveNet，在某些场景中比人类更准确。

人工智能在计算机视觉领域取得了显著进展，使机器人能够在其物理环境中导航和互动。2012年，引入了AlexNet，这一深度学习模型大幅降低了图像分类错误率至15%，有效地拉开了计算机视觉领域的现代深度学习时代的序幕。这一进展在2015年继续发展，微软的ResNet实现了3.6%的错误率，超越了人类估计的5-10%的错误率。

如今，机器人中的计算机视觉系统在特定应用中具有近乎完美的准确性，例如人脸识别和自主导航。

除了处理视觉和听觉信号外，机器人还必须能够理解和导航三维环境。虽然人类依靠视觉和听觉线索结合来感知三维空间，但机器人可以配备专用传感器，提供对周围环境更详细的理解。

一种这样的技术是光探测与测距（LIDAR），在过去十年中费用大幅降低，使其更易于用于机器人技术。LIDAR使机器人能够进行实时物体识别和导航，处理三维信号的速度是人类的数十倍。

3. 灵巧性

机器人发展受到一个被称为莫拉维克悖论的现象的制约——即“相对容易让计算机表现出成年人的智力水平，例如在智力测试或下棋方面表现出色，但在感知和移动能力方面很难乃至不可能赋予它们一岁孩子的技能”。

从历史上看，机器人的手和臂受限于执行简单重复的任务，但最近的突破已经开始缩小这一差距，使机器人更接近实现类似人类的灵巧性。

一个值得注意的例子是麻省理工学院的一个团队领导的项目，他们最近设计了一只高度灵巧的机械手，能够轻松重新定位2,000个不同形状的物体。这代表着在操纵各种形状和大小的物体方面迈出的重大进步。

近年来最具代表性的机器人灵巧示例之一是达芬奇手术机器人。这个系统在2019年获得了广泛认可，当时展示它在缝合葡萄时表现出的精准控制和细致触感。

随后，达芬奇机器人获得了美国食品和药物管理局（FDA）的批准，可用于各种广泛的手术程序。

到2023年，全球已有超过700万次手术使用机器人辅助进行，显著缩短了患者康复时间，提高了手术成果。

进行精细运动的能力意味着外科医生现在可以以人类手部只能达到的十分之一的尺度进行操作，极大地拓展了微创手术和其他复杂程序的可能性。

机器人灵巧性的发展也体现在现代机器人拥有的自由度（DOFs）不断增加。早期的机器人手臂通常只有3-4个DOF，严重限制了它们的活动范围和灵活性。相比之下，特斯拉的奥普蒂默斯人形机器人旨在辅助工业和家庭环境，在手部目前拥有11个DOF，计划在2024年底前增加到22个。

图7. 可调节的水果采摘机器人



来源: 田间机器人

图8. 高灵巧机器人示例



来源: 影子机器人

触觉敏感性的进展也提高了机器人执行精细任务的能力。Touch Lab表示，他们的织物条可以将机器人夹持器的灵敏度提高50%，使机器人能够像人手一样小心地处理易碎物品。

另一个突破性的机器人灵巧发展来自剑桥大学，研究人员开发了一种“第三只手指”，几乎任何人在试用几分钟后都能使用。

“第三只手指”是额外的机器人手指，可以附着在手上，为用户提供超出生物学可能的增强运动能力。

4. 新数据和合成数据

机器人产业发展面临的一个重大挑战是现实世界数据有限，无法训练智能机器。这形成了一种“先有鸡还是先有蛋”的局面：机器人的生产量较低意味着从现实世界互动中收集数据的机会较少，进而限制了改进和开发新机器人系统的能力。

随着强大的基础模型的出现，人工智能系统现在正在从各种来源的大量数据中进行训练，包括人类执行日常任务的视频。视频内容现在占据了所有互联网流量的惊人83%，为AI扩散模型提供了前所未有的数据量进行分析和学习。每天上传的大量新视频内容为训练AI模型提供了丰富资源，使机器人能够从观察人类行为在各种动态环境中的表现中学习，增强其在真实应用中的多功能性和鲁棒性。

除了利用现实世界视频数据外，机器人产业越来越多地转向合成数据，以克服稀缺或不完整数据集的限制。合成数据是人工生成的，通常通过计算机模拟生成，而不是从现实世界事件中收集。

合成数据最重要的好处之一是其可扩展性。例如，最新的启用物理仿真的三维环境使得如家庭助手等机器人系统能以惊人的速度进行训练。

每秒25,000次模拟步骤 这代表与当前模拟方法相比加速100倍。

根据Gartner的数据，到2030年，预计合成数据在人工智能模型中完全取代真实数据。

5. 边缘计算

为了使机器人能够在现实环境中自主有效地运行，它们必须能够实时分析数据并做出决策，而不依赖于集中式基于云的服务器。这种需求促使了边缘计算的日益重要，这是一种新的范式，涉及在网络的“边缘”处 - 而不是将数据发送到远程数据中心进行分析 - 处理数据。其好处包括：

减少延迟: 通过在本地处理数据，边缘计算显著缩短了机器人分析信息并做出决策所需的时间。

这种延迟的减少对于需要实时处理的应用至关重要。

增强数据隐私: 边缘计算还有助于通过将数据保留在设备本地来缓解数据隐私问题。

改进的连接性: 在网络连接不稳定或间歇性的环境中，边缘计算使机器人能够继续独立于云端运行。这对于在偏远地区操作的机器人尤为重要，比如农田或灾难区域，那里高速互联网的接入可能有限。

机器人边缘计算的一个关键因素是神经处理单元（NPU）的发展，这是专门设计用于加速人工智能计算的硬件。NPU技术的快速增长是近年来的发展趋势。这些改进使得直接在机器人上部署复杂的AI模型成为可能。

6. 小型语言模型（SMLs）

与边缘计算相关的是，在人工智能不断发展的格局中，焦点越来越多地转向小型语言模型（SMLs）的开发和部署。SMLs与更为人知的大型语言模型（LLMs）有相似之处，但提供效率、成本效益和适应性等品质，在机器人领域尤为宝贵。

在边缘计算相关领域，随着人工智能不断发展，焦点逐渐转向小语言模型（SLMs）的开发和部署。SMLs与更为人熟知的大语言模型（LLMs）有相似之处，但在效率、成本效益和适应性方面提供了特别有价值的特质，在机器人领域尤为重要。

SLMs最显著的优势之一是减少训练所需数据量，这直接转化为减少的训练时间和成本。对于AI能力的机器人，这可以导致更快地在实地部署。

SLM (Small Language Models) 的另一个关键优势是它们相对于LLM (Large Language Models) 具有较低的能耗。随着人工智能模型的规模不断增大, 用于训练的计算资源也在增加。例如, 最显著的LLM之一GPT-3 在其训练阶段据称消耗了将近1,300兆瓦时 (MWh) 的电量, 相当于约130个美国家庭的年度用电量。此外, 训练GPT-4所需的45吉字节数据费用估计约为1亿美元。

相比之下, SLM相对于LLM需要更少的能量进行训练和操作, 使其成为人工智能应用的更可持续选择。

除了效率和节能外, SLM还提供高度的可定制性, 使其能够根据具体任务进行微调, 而几乎不需要额外的培训。

正如微软生成式AI主产品经理Sonali Yadav所指出的, “我们即将看到的不是从大型模型到小型模型转变, 而是从单一模型类别到模型组合的转变, 客户将能够就什么是最适合他们场景的模型进行决策”。

7. 自主充电

AI机器人的实用性将受到其需要时运行的影响。

这需要改进功率管理, 包括稳健可靠的充电解决方案。目前, 重新为机器人充电的主要方法包括人工手动充电或人工更换电池。尽管有效, 但这些方法需要大量人工操作, 并可能导致停机时间。

考虑到电动汽车 (EVs) 更广泛的应用, 需要更自主的解决方案是显而易见的。一项调查显示, 超过70%的受访者认为充电基础设施匮乏是采用EVs的重要障碍。这个类比可以延伸到机器人技术。

开发机器人自动充电基础设施面临的挑战之一是不同机器人使用的电池类型、充电速率和电压的多样性。这种多样性使得统一的充电解决方案变得复杂。

然而, 标准化工作已经在进行中, 像WiBotic这样的公司正在推出技术, 为更具凝聚力的充电生态系统铺平道路。

图9. 通用自动充电枢纽



来源: Clearpath Robotics

要使自动充电系统有效，机器人必须能够自主导航到充电站。通过给机器人配备GPS接收器和近距离传感器，它们可以轻松地从远处找到充电基地，并准确对接，以最大限度地提高无线充电效率。

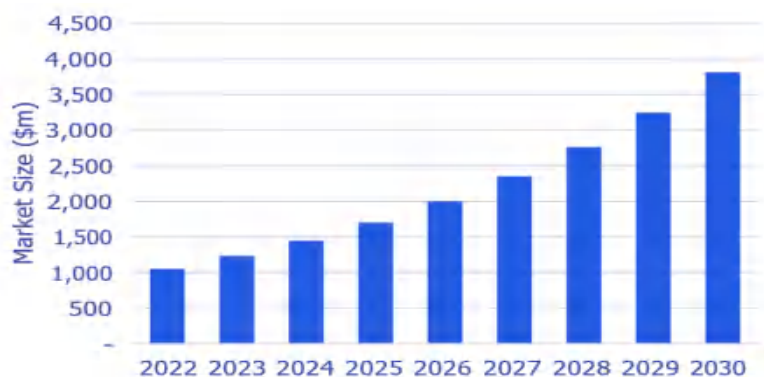
8. 机器人即服务 (RaaS)

"作为服务"模式的概念已经彻底改变了许多行业，为企业提供可扩展、灵活和具有成本效益的解决方案。其中，软件即服务 (SaaS) 的影响尤为深远。最初被视为一种利基产品，SaaS已经发展成为一个价值约3万亿美元的巨大全球市场，未来有预测显示其可能在2030年达到10万亿美元。SaaS和类似模式的成功为一种新的"一切皆服务" (XaaS) 模式打开了大门：机器人即服务 (RaaS)。

SaaS和其他"一切皆服务" (XaaS) 模式的增长在很大程度上归因于其云原生架构，该架构使得可以大规模租用虚拟服务，就像它们是实体产品一样。这种基于云的方法使公司可以在不需要进行重大前期投资的情况下访问尖端软件和服务。相反，企业可以根据自身需求按订阅方式支付这些服务的费用，并根据需要调整使用量。

RaaS是一种基于订阅的商业模式，允许用户租用机器人而不是直接购买它们。尽管还处于早期阶段，但RaaS市场已经价值约20亿美元，并有望在未来几年以17%的复合年增长率增长。

图10. 机器人即服务 (RaaS) 的市场规模预测



来源: Statista

RaaS模型提供了几个关键优势，使其成为各行各业企业的一个吸引人选择：降低资本支出、灵活性和可伸缩性、即插即用解决方案、无忧维护和升级。

除了运营优势之外，与传统人力相比，RaaS还能带来显著的成本节约。

例如，RaaS模式中的机器人通常每小时收费在2美元至8美元之间，而根据美国劳工统计局，美国工厂工人的平均小时工资约为28.196美元

此外，根据需求租用机器人的能力使企业能够更好地调整其劳动力与生产需求之间的关系。在需求高峰期，公司可以增加机器人的使用以提高生产率，而在生产需求减缓期间则可以减少成本。

9. 升级性和自我维护

人工智能（AI）领域的快速发展将大大重塑包括机器人在内的许多行业。快速的发展带来了令人难以置信的机遇，但也引发了购买AI-enabled机器人的潜在买家的担忧。而无线更新和自我维护的概念提供了有希望的解决方案。

投资者担心，随着更新、更先进的模型的发布，他们的投资很快就会过时，这可能会阻碍AI-enabled机器人的采用。

幸运的是，OTA更新为这个问题提供了高效的解决方案，使机器人能够在不需要进行物理修改的情况下获得新功能、增强和改进。

[6 <https://www.bls.gov/news.release/empsit.t24.htm>](https://www.bls.gov/news.release/empsit.t24.htm)

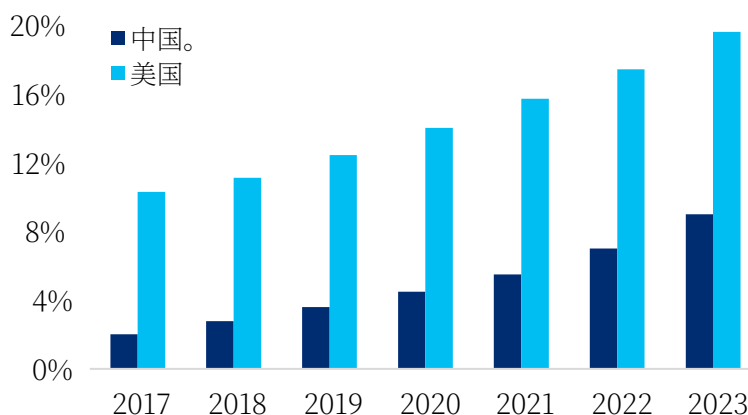
清洁与维护

家用清洁机器人

家庭清洁机器人市场目前已安装的单位数量最多，并且未来市场潜力巨大。

第一款商用家用吸尘机器人Trilobite问世于上世纪90年代。后来于2002年，iRobot成为家用吸尘机器人市场的第一大玩家，发布了第一款家用吸尘机器人Roomba。到2004年，Roomba销量超过100万台。预计2023年各发达经济体的渗透率为20%，发展中经济体如中国的渗透率为12%。市场依然以快速速度扩大中。

图11.家用吸尘机器人渗透率 (%)



来源：花旗全球洞察，Statista

这些机器人的工作很简单 - 根据预设时间表在家里四处吸尘和拖地，当电池电量低或工作完成后导航回充电站。

高端型号可以智能地根据地板类型调整清洁设置。例如，Roomba Combo® j7+等型号可以在移动到地毯上时自动收回拖地功能。11

AI 升级

人工智能为市场上的现有产品带来了巨大升级，使它们更智能化。

一些更先进的型号配备了大型语言模型 (LLM)，以便机器人能够理解用户的人类语言指令并以更为临时和定制的方式工作。例如，Ecovacs DEEBOT X5 PRO OMNI 的最新高端型号配备了 AI 语音助手 YIKO。

[iRobot 的 Roomba 机器人吸尘器销量突破100万 \(iRobot\)](#)

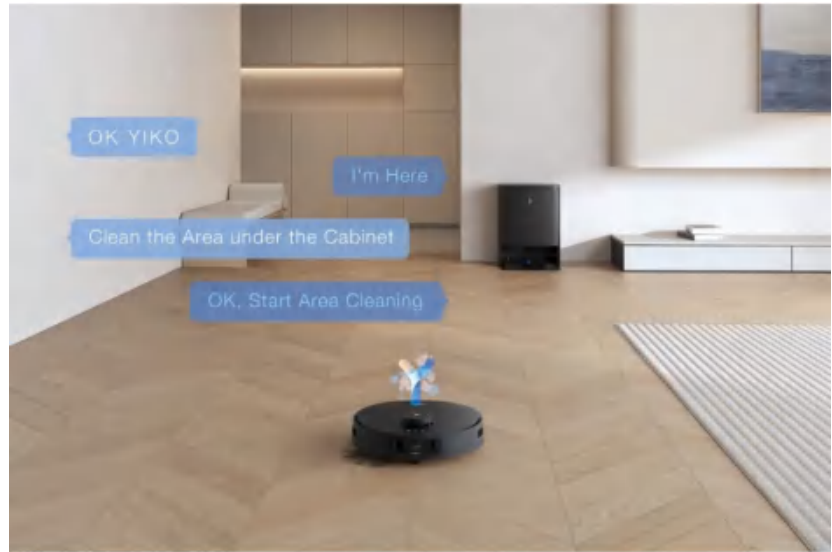
[美国安装了8个机器人吸尘器基地 \(Statista\)](#)

[美国家庭数量 \(Statista\)](#)

[中国机器人吸尘器渗透率 \(Statista\)](#)

[Roomba Combo® j7+ 机器人吸尘器和拖把 \(iRobot\)](#)

图12. Ecovacs YIKO AI 语音助手



来源: Ecovacs

区分高端和低端模型的关键在于它们如何在环境中导航而不会撞到障碍物或被困住。廉价和旧型号只是简单地运行算法，指导它们在撞到障碍物时转向另一个方向

许多高端型号采用仅视觉解决方案，只使用摄像头作为传感器。相同技术也支持特斯拉EV上的FSD（全自动驾驶）系统，该系统利用计算机视觉（CV，AI的一个子分支）来识别地板上的障碍物。机器人学习了各种障碍物的外观，如何优化路径并轻松地在非平坦区域周围导航

由于处理器、算法和AI模型设计的快速发展，仅视觉解决方案的准确性和智能性迅速赶上了其他替代方案。例如，iRobot的2022年Genius Home Intelligence平台iRobot OS能够通过从人们家中超过4300万对象的大型数据集学习来识别超过80种常见物体

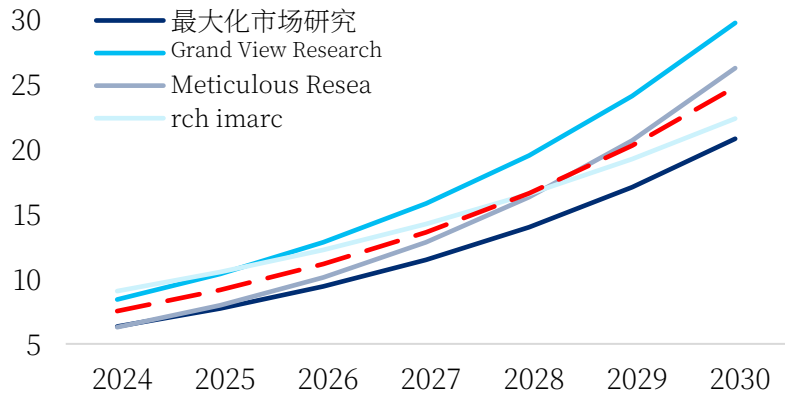
市场分析

根据欧睿信息咨询，2018年至2023年，全球机器人吸尘器市场规模以13%的复合年增长率从2018年的38亿美元扩大到2023年的70亿美元。4个独立来源的平均数据显示，到2030年，机器人吸尘器市场规模预计将从2024年的75亿美元增长到248亿美元，复合年增长率为22%

[12 iRobot发布iRobot OS \(iRobot\)](#)

13花旗研究报告全球机器人吸尘器市场

图13. 全球家用机器人吸尘器市场总销售额 (以十亿美元计算)

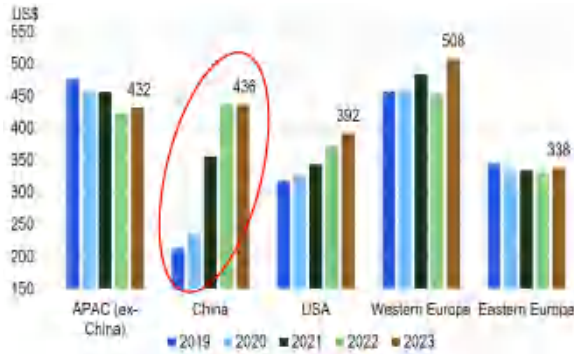


来源: 参见图表, 花旗全球洞察

根据欧睿信息, 2023年西欧的平均销售价格 (ASP) 最高 (为508美元)。在中国, 过去5年, 随着行业参与者迅速推出带对接站的高端机型, 家用扫地机器人经历了非常快速的产品升级。

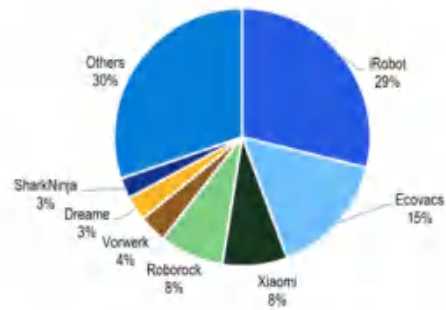
预计到2024年, 亚太地区将继续是家用扫地机器人的最大市场 (全球市场占比34%), 紧随其后的是西欧 (29%), 美国 (21%) 和东欧 (6%)。13

图14. 2019-23年各地区家用扫地机器人 ASP



来源: 欧睿信息, 花旗研究

图15. 2023年全球家用扫地机器人零售销售量市场份额



来源: 欧睿信息, 花旗研究

我们的专属分析

根据我们的分析, 预计2024年家用清洁机器人的全球装机数量将从2.86亿增长到2035年的7.93亿 (复合年增长率10%), 进一步增至2050年左右的12亿 (复合年增长率3%)。

我们首先通过以下公式将2050年各国家家庭数量推断出来 (包括156个国家): 家庭数量 = 人口 / 平均家庭规模。这156个国家按发展水平分为3个地区

根据联合国的划分: 更发达地区¹⁴, 较不发达地区¹⁵ 和最不发达地区¹⁶.

世界人口分析

根据联合国人口署的预测, 世界人口在2024年至2050年间预计增长18.7%。这一增长速度远远慢于2024-50年间的36.7%以及2024年之前26年间的53.7%。

- 更发达地区的人口数量应保持基本稳定 (因为2013)。诸如日本这样的人口结构具有挑战性的国家, 正在将机器人视为继续促进国内生产总值增长的方法。
- 在1960年至2050年间预计人口增长的绝大多数 (约70%) 来自发展较少地区, 原因在于其庞大的人口基数 (全球总人口的约2/3) 和快速增长率。
- 人口增长速度最快的地区将是发展程度较低的地区, 但起始基数较小。从现在到2050年这26年的时间里, 较少发达地区和极少发达地区将分别贡献全球人口增长的一半。

平均家庭规模分析

一个地区的经济发展程度越高, 家庭平均规模就越小。

- 自1960年以前, 较发达地区的家庭规模一直在缓慢下降。1960年时, 为2.9。到2050年, 我们预计这一数字将降至1.9。
- 较不发达地区的家庭规模直到1990年代才开始下降, 但在所有发展群体中下降速度最快。1992年, 平均家庭有4.8人, 但预计到2050年将降至3人。
- 家庭规模在不发达地区开始在21世纪初缓慢下降 (2000年平均5.4人), 预计到2050年将达到4.6人。

家庭数分析

- 我们预计更发达地区从1960年的314mn户增长到2050年的659mn户 (增长2.1倍)。
- 由于人口快速增长和平均家庭规模急剧下降, 不发达地区的家庭数量正在大幅增长。

从1960年的385mn户, 预计到2050年将增长至2,127mn户 (增长5.5倍)。到2050年, 不发达地区将占全球家庭的约2/3。

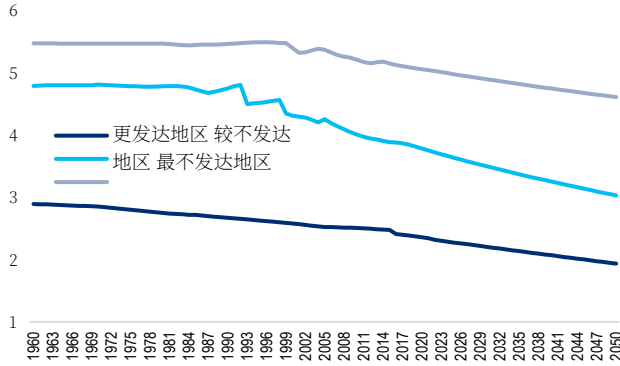
¹⁴ 更发达的地区: 欧洲、北美、澳大利亚/新西兰和日本

¹⁵ 较不发达的地区: 亚洲 (不包括日本)、部分非洲、拉丁美洲和加勒比海地区以及美拉尼西亚、密克罗尼西亚和波利尼西亚

¹⁶ 最不发达地区: 46个国家, 位于撒哈拉以南的非洲 (32个)、北非及西亚 (2个)、中亚和南亚 (4个)、东南亚和南亚 (4个)、拉丁美洲和加勒比地区 (1个) 以及大洋洲 (3个)

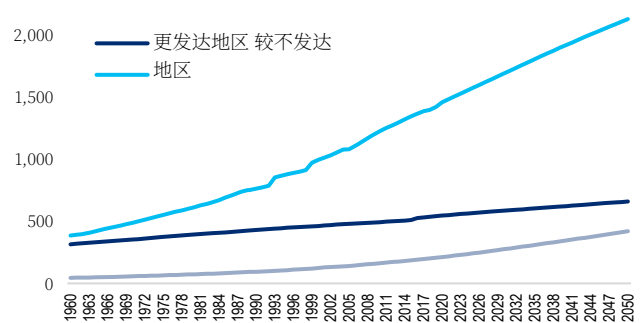
- 对于最不发达地区，家庭数量增长最快，尽管基数较小。最不发达地区在1960年拥有4400万户家庭，预计到2050年将达到4.2亿户家庭（增长了9.5倍）。

图16. 发展群体的平均家庭规模



来源：花旗全球洞察，《共居分析》

图17. 发展群体的家庭数量（单位：百万）



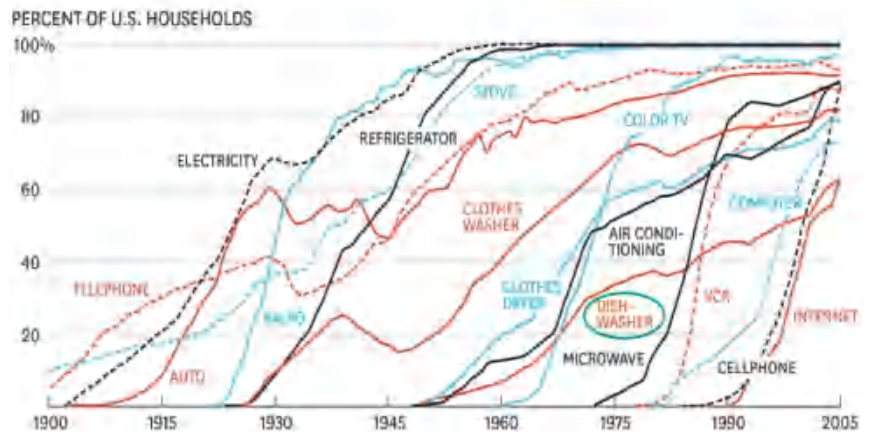
来源：花旗全球洞察

渗透分析

我们预计，到2035年，发达地区家用清洁机器人的渗透率将从2023年的20%/9%/0%增长到约50%/25%/12.5%——我们假设发达世界的渗透率类似于美国，发展较慢的世界类似于中国，然后以线性速度增长至2050年的65%/32.5%/16.3%。我们相信这些估计可能过于保守，因为：

- 罗宾机器人对2000名美国人进行的一项新研究调查了人们对家务和技术的态度，并显示73%的受访者认为如果有机器人做家务，他们的家会更干净17

图18. 与洗碗机相比，机器人吸尘器可能会有类似甚至更快的采用速度



来源：纽约时报尼古拉斯·费尔顿，花旗研究

17 十人中七人将完全信任机器人来做所有家务事（雅虎新闻英国）

- 根据花旗研究，与家用机器人吸尘器在普及方面相媲美的家电之一是洗碗机。根据美国能源情报署（EIA）最新数据，2020年有1.235亿户家庭中有9千万户，即73%的家庭安装了洗碗机。
- 一些多层住宅可能会使用两台或更多（每层一台）家用机器人吸尘器，因此每户家庭实际的家用机器人吸尘器平均数量可能高于我们使用的 1:1 比例。

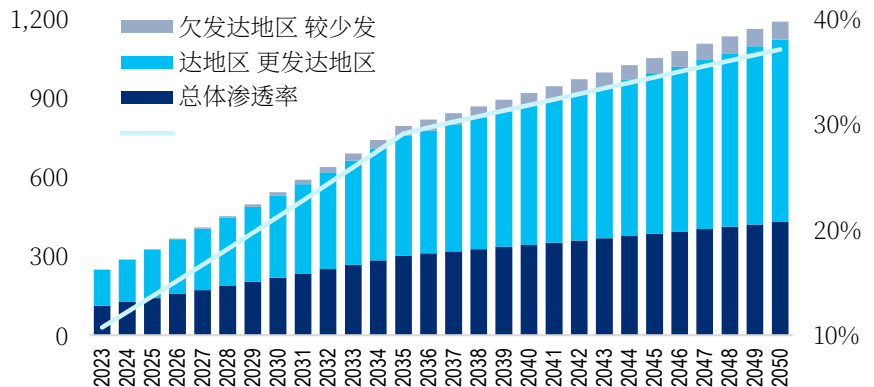
总单位预测

最后，我们使用单位数 = 渗透到家庭 * 家庭数量的公式来计算不同发展地区的单位数预测。

基于上述方法，我们估计在2023年更/不发达地区的家庭清洁机器人数量为1.11亿 / 1.37亿，预计到2035年将以8.7%/10.5%的复合年增长率增长至3亿/4.54亿，然后在2050年进一步增长至4.28亿/6.91亿，复合年增长率为2.4%/2.8%。

预计到2035年，全球总单位数量将达到794mn（复合年增长率：10%），并在2050年进一步增长至12亿（复合年增长率：3%）。总体渗透率将在2023年至2035年间从11%增长到29%，然后在2050年达到37%。

图表19. 国内清洁机器人总单位预测（以百万为单位）



来源: 花旗全球洞察

商用清洁/维护机器人

我们预计机器人会在商业建筑中大规模部署，鉴于预计的回报周期与人类看门人的薪水相比。机器人已经在办公室、医院、学校和机场等公共场所工作，比人类更有效率。

例如，来自狮城机器人的R12 Rex Scrub（图20）是用于商业用途的大型区域机器人地板清洁机。该机器人使用许多传感器，从激光雷达（光传感器）到摄像头（深度传感器）进行积极障碍跟踪。

[18_2020 RECS调查数据（美国能源信息管理局）](#)

Fybots (图21) 推出的扫地机器人SweepXL是一款完全自主的机器人, 具有自我清洁和自动排放垃圾功能。它使用内部构建的智能、导航和自我定位功能, 确保避开移动和固定障碍物。

图20. LionsBot的R12 Rex Scrub



来源: LionsBot

图21. Fybots的Sweep XL



来源: Fybots

案例研究: Skyline Robotics的Ozmo

天大楼窗户清洁机器人Ozmo来自Skyline Robotics。Ozmo具有一只带有刷子的六轴机械臂, 用于进行清洁。

Ozmo凭借人工智能、机器学习和计算机视觉技术, 大部分决策都是自主完成的。它每秒计算250次, 以确定在窗户上施加多大的压力, 刷子在哪里施加, 以及何时将脚手架移动到下一个层级 - 所有这些都是为了确定最有效和安全的清洁路径。它还考虑建筑外墙的状况, 并汇报需要解决的潜在问题的数据。

[会见改变数十亿美元窗户清洁行业的人工智能机器人 \(《财富》杂志\)](#)

图22. Skyline Robotics的Ozmo



资料来源: Skyline Robotics

清洁窗户是一项危险的工作，劳动力短缺问题日益严重。根据在线工作资源Zippia的一项研究，全国有75%的擦窗工年龄在40岁以上，而只有9%的人年龄在20-30岁之间。²⁰

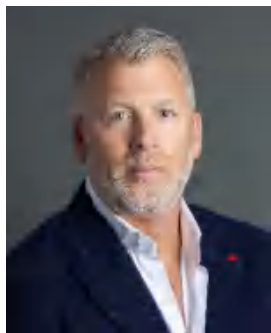
Ozmo的清洁速度是传统窗户清洁的3倍，并预计可将现场劳动力成本降低75%¹⁹。目前Ozmo的成本约为50万美元，回收期为3-5年。²²

Ozmo目前在特拉维夫和纽约使用，并已在曼哈顿的重要建筑物上进行作业，例如哈德逊 Yards、麦迪逊街383号、第3大街825号和世界贸易中心7号，在与该市最大的商业窗户清洁公司白金公司和房地产巨头The Durst Organization的合作中进行作业。²²

²⁰美国窗户清洁工的人口统计数据 (Zippia)

²¹ Skyline Robotics在纽约市部署Ozmo窗户清洁机器人 (Robotics 24/7)

曼哈顿摩天大楼有22台洗窗机器人在工作 (CNBC)



Michael Brown
首席执行官
Skyline Robotics

您提供哪些AI机器人解决方案？

Skyline Robotics专注于自动化清洁窗户行业。

我们是一家专注于深科技、机器人和自动化的公司，正在颠覆价值400亿美元的清洁窗户行业。我们认为所有在高度（5米以上）上的工作都应该实现自动化。Skyline认识到每年高处发生大量伤害，并且目前由人类独自完成的危险、乏味和脏乱的工作是可以被自动化取代的。公司的愿景包括机器人和人类之间的合作工作模式，结合各自的优势，实现技术在各种环境中的卓越效率。

Skyline的Ozmo是全球第一款带有机械臂的清洁窗户机器人，它能保持摩天大楼窗户清洁、提高工人安全性并创造新工作岗位。

- Ozmo带来运营可见性
- Ozmo通过运营效率弥补劳动力短缺
- Ozmo将真实世界的危险与数据和传感器相结合
- **Ozmo是清洁高处窗户的最安全解决方案您认为在未来3-5年中会面临哪些挑战？**

自动化劳动力中人工智能的接受在仓库、送货服务甚至交通中使用机器人的前景令人振奋。Ozmo虽然是自主的，但仍由人类使用屋顶上的计算机进行操作。最终结果是人类和机器人共同工作，使人类远离危险，而机器人则进行清洁。

Ozmo在纽约的部署标志着开始。Ozmo机器人未来将在伦敦部署，同时Skyline还从日本和新加坡获得了关键专利。

我们的专有分析

我们的分析预测，2024年全球商业清洁/维护机器人的装机量将从预计的150万台增长到2035年的1420万台（复合年增长率：23%），并在2050年进一步增长至2450万台（复合年增长率：3%）。

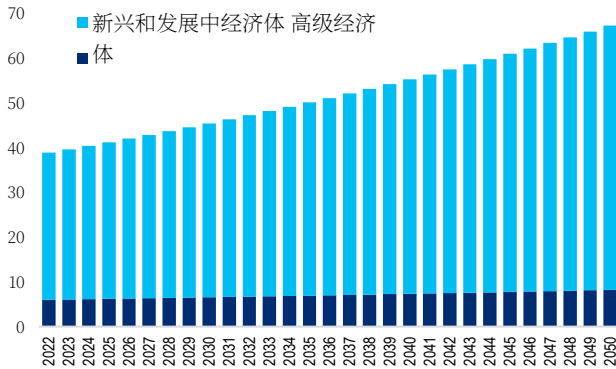
根据国际能源署（IEA）的数据，2023年，先进国家/新兴市场和发展中国家的建筑面积分别为91亿平方米/166亿平方米，预计到2030年，这一数字将增长至99亿平方米/192亿平方米。到2050年，全球先进国家/新兴市场和发展中国家的建筑面积预计将达到124亿平方米/292亿平方米。

据估计，2023年，先进国家/新兴市场和发展中国家的商业建筑面积为25亿平方米/57亿平方米。到2035年，这一数字预计将达到28.5亿平方米/73.5亿平方米，到2050年将进一步增长至34亿平方米/100.6亿平方米。

利用总商业建筑面积数据，我们估计在先进国家/新兴市场和发展中国家，假设保持各自的卫生工人生产率大致相同，预计2024年，有600万/3360万卫生工人。

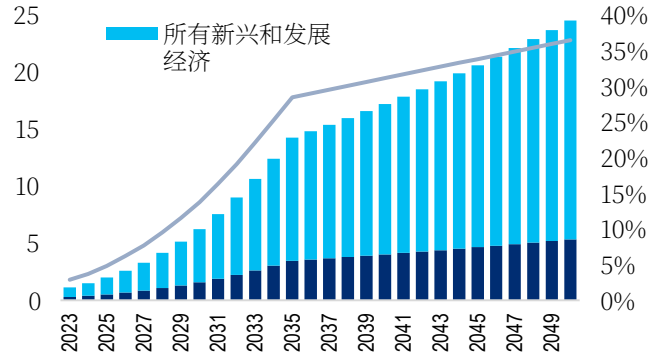
2023年的发展中新兴经济体。我们预测到2035年这将增至700万/4300万，到2050年将进一步增长至800万/5900万。

图23. 各发展群体保洁员人数（以百万计）



来源: 美国劳工统计局, 艾媒研究, 花旗全球洞察

图24. 商业清洁/维护机器人总单位预测（以百万计）



来源: 花旗全球洞察

我们假设2035年时，发达国家/新兴和发展中国家的渗透率将从2023年的5%/2.5%（低于国内清洁机器人的情况）增长到50%/25%，增长速度更为指数化，然后放缓至2050年的65%/32.5%（最终达到适应全球需求和有吸引力回报期的国内清洁机器人水平）。

尽管商业案例明显且增长迅速，但考虑到家庭数量更多，我们预计商用清洁/维护机器人的数量远低于家用清洁机器人。2023年，发达国家/新兴和发展中国家的家用清洁机器人数量为0.3mn/0.8mn。

我们预测到2035年时，这一数量将以23%/22%的复合年增长率增至3.5mn/11mn，然后继续增长到2050年的5.3mn/19mn，复合年增长率为2.9%/2.2%。

我们估计到2035年，全球总单位数量将达到1400万（年复合增长率：23%），然后进一步增长到2050年的2450万（年复合增长率：3%）。整体渗透率将在2023年至2035年之间从3%增加到28%，然后到2050年达到36%。

交通运输

自动驾驶汽车 (AV)

我们可以就自动驾驶汽车撰写一份花旗GPS报告，事实上，花旗在过去十年中已经发表了四份《未来汽车》报告，但本报告的篇幅允许我们在解释2050年之前的一些重点内容之前列举一些要点。

花旗在2014年的首份《未来汽车》报告出现得较早，而自动驾驶汽车的发展提醒人们技术进步通常是缓慢的，然后迅速的。这就是阿马拉定律。福特的道格·菲尔德指出，全面无人驾驶的自主性比将人类送上月球更困难，创造一款能够在拥挤的城市环境中运行的L4级无人出租车。考虑到为获得监管批准而进行的安全测试，进展缓慢并不令人意外。

“比将一个人送上月球更难，是在密集城市环境中创建一个能够运行的L4级Robotaxi。加入安全测试以获得监管批准，因此进展缓慢并不令人意外”

然而，许多工作正进行中。高级驾驶辅助系统 (ADAS) 的渗透率正在提高，从紧急刹车，到自适应巡航控制，再到车道偏离或碰撞警告。车辆自动化分为5个阶段，从无自动化 (0) 到在任何条件下没有驾驶员辅助的完全自动驾驶 (第5阶段)。

许多汽车具有1或2个自动功能。第3阶段允许自动驾驶，人类可以随时接管。第4阶段是全自动化，可以在一定范围内不需要方向盘或踏板。

图25. Waymo Jaguar I-PACE



来源: Waymo

图26. 百度Apollo 3.0



来源: Shutterstock

对于L3+，根据AVIA的2024年报告，AV已经在美国公共道路上行驶了7000万英里，在2023年7月的基础上增加了59%。继续Doug的月球类比，这相当于293次往返月球。

Waymo是从谷歌分拆出来的AV公司，已经行驶超过2500万英里。根据2023年8月加州公共事业委员会做出的具有重大意义的决定，允许Waymo在旧金山无需人员操作员的情况下行驶，该公司现在每周提供10万次出行。这是去年的10倍。

[23 未来汽车 v4.0 更新: 网络化移动性的未来之争](#)

[24 未来汽车: 改变我们所认识的移动性](#)

[25 福特-大众无人驾驶汽车合资项目由于技术挑战而失败](#)

[26 AVIA - 2024年AV现状](#)

[27 Waymo安全影响](#)

[28 Waymo目前每周在美国提供超过100,000次付费无人出租车乘车服务](#)

通用汽车的自动驾驶部门Cruise，在去年一辆车曾发生公开报道的事故，但已在凤凰城、休斯顿和达拉斯等地恢复了在人类监督下测试车辆。Amazon的自动驾驶子公司Zoox获得了2023年在公共道路上行驶的批准，并正在奥斯汀、迈阿密和拉斯维加斯进行测试。Uber与14家自动驾驶公司合作。

自动驾驶的发展和测试正在许多其他国家进行，包括英国、挪威、德国、阿联酋、新加坡、韩国、日本和澳大利亚。然而，最大的实验、动力和市场机会可以在中国找到。

截至 2023 年底，中国有60个城市发放了自动驾驶道路测试牌照。

许多国家朝着自动驾驶的未来前进的重要原因包括：

1. 挽救生命-每年有 140 万人死于交通事故。其中90%是由于人为错误造成的，技术可以提供帮助。机器人比人类有更好的视力和更快的反应时间。它们不会疲倦、困倦、分心、愤怒或喝醉。Waymo报道称，与人类驾驶员相比，事故率减少了 70%。
2. 服从规则-美国国家公路交通安全管理局的数据显示，每年有440万美国人闯红灯。202235，导致许多死亡。自动驾驶汽车被设计得比人类更好地遵守交通规则。更新的规则，比如速度限制，也可以同时传输给自动驾驶车队。
3. 省钱 - 美国国家公路交通安全管理局估计交通事故的年度社会成本高达数千亿美元³⁶。无人驾驶出租车承诺节省成本，因为没有人类司机，以及相对于贬值的停放资产而言降低了所有权成本。自动驾驶汽车还降低了停车费用，并且随着时间的推移可能会降低保险费。
4. 节省时间 - 美国人平均每天花费一小时在方向盘后面，总共每年在交通拥堵中花费50亿小时³⁷。自动驾驶出租车也可以节省停车时间和金钱。
5. 增加的机动性 - 自动驾驶汽车可以帮助那些无法驾驶的人 - 致残人士、年长者、年轻人或醉酒者 - 或那些担心和谁同车的人。

尽管存在这些潜在好处和正在发生的势头，显然还存在许多挑战。

- 在高速动态环境中安全稳定驾驶的技术是复杂且昂贵的，但两者都应该得到改进。例如，百度最新的无人驾驶出租车成本低于其上一款机型的一半，约为28,500美元³⁸。

²⁹ [邮轮重新启动带有安全驾驶员监督的自动驾驶](#)

³⁰ [Zoox - 我们将测试范围扩大至奥斯汀和迈阿密; Zoox - 拉斯维加斯, 让我们一起骑行](#)

³¹ [Uber - 推动自动驾驶向前发展](#)

³² [中国发布了1.6万份自动驾驶汽车测试许可证](#)

³³ <https://waymo.com/about/>

³⁴ <https://www.nature.com/articles/s41467-024-48526-4>

³⁵ <https://www.ft.com/content/03a2e26c-d501-4686-8d15-c26b34f329ff>

³⁶ [NHTSA: 2019年美国交通事故造成了3400亿美元损失](#)

³⁷ [未来的汽车: 改变我们所知的出行方式](#)

³⁸ [百度推出成本低于之前模型一半的自动驾驶出租车](#)

自我们首份《未来汽车》报告以来，启用自动驾驶（AV）的多模式人工智能系统在进展和成本降低方面取得了非凡的成就。

- 风险要求对于监管审批具有非常高的安全标准，这一标准高于人类驾驶员的标准。这导致了一个“先有鸡还是先有蛋”的局面，需要更多里程来产生数据、证据和信心。虽然需要更多的证据来允许更多的AV上路，但似乎已经达到了一个转折点，鉴于所驾驶的里程数和速度。
- AV的责任和保险法律框架需要时间。还存在来自软件更新失败、数据泄露或网络攻击的风险。被黑客攻击的AV可能被用作武器的前景仍将令人担忧。保护主义、市场集中担忧以及失业司机的抵制也可能上升。

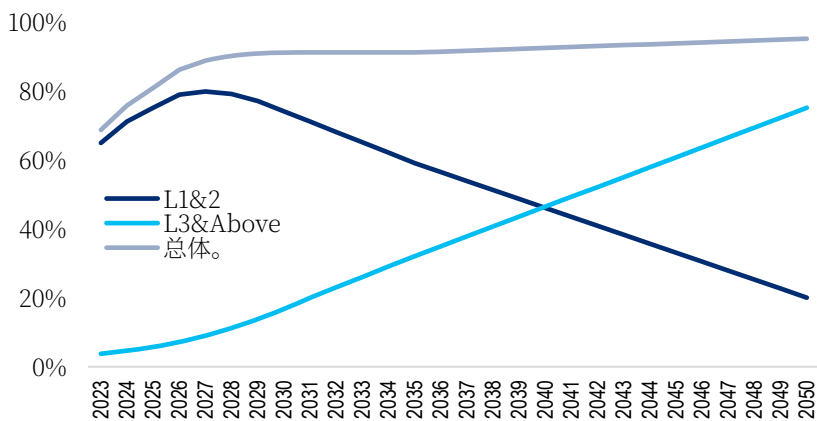
我们的专有分析

利用Citi研究的渗透率数据作为起始数据，我们预测Level 3及以上AV的全球销量将从2024年的预估2700万辆上升到2035年的3.8亿辆（年复合增长率：27%），然后再增长到2050年的19亿辆（年复合增长率：11%）。

我们预计到2050年将会延伸自动驾驶汽车的普及率。我们预计到2027年，新车上的辅助驾驶系统（ADAS）普及率将最高，届时80%的新车将具备某种级别的自动驾驶（AD）功能（L1-L2），例如停车辅助、自动紧急制动。

从2027年开始，更先进的自动驾驶（L3-L5）将会起飞，车辆可以执行所有驾驶任务并负责监控驾驶环境。

图27. 自动驾驶汽车的普及率



来源: 花旗GPS

总单位预测

我们根据更慢的增长率，从2035年到2050年推算了新车生产量和道路上汽车总数的数据。新车生产量以3.4%增长

流行前的复合年增长率为39%，我们假设到2035-50年间为2.5%。我们假设在2035年前汽车总数的2.3%年增长率将逐渐减缓至2035-50年间的0。

假设折旧周期为13年，我们可以计算出L3至L5级别的AD总数为
总AD数量 $t = \text{总AD数量 } t-1 + \text{年度}$

AD发货量 $t + \text{从ADAS升级到AD的年度} - \text{年度AD发货量 } t-13$ 。

对于L1至L2的ADAS，公式为总ADAS数量 $t =$

总ADAS数量 $t-1 + \text{年度ADAS发货量 } t - \text{从ADAS升级到AD的年度} - \text{年度ADAS发货量 } t-13$ 。

我们得出结论，到2035年，配备自动驾驶（AD）/高级驾驶辅助系统（ADAS）功能的汽车数量将达到3.8亿/9.47亿辆，到2050年这一数字将进一步增长至19亿/1.28亿辆，复合年增长率为17%/ -12%（逐渐由ADAS升级为AD）。到2035年，未来道路上的汽车中将有20%/50%具备AD/ADAS功能，到2050年将达到82%/6%。整体渗透率将于2035/2050年达到70%/88%。

无人机

自主无人机已经成为一个庞大、快速增长且重要的市场。这个领域的一个例子是Zip line公司。该公司已在全球飞行了900万英里，进行了125万次商业交付，包括紧急输血、疫苗或医疗用品。它还运送食品和消费品，一次飞行最多可飞行140英里，并可以精确到一厘米的位置。该公司声称，其交付速度比传统汽车快10倍，成本更低，噪音更小，零排放。鉴于其部分交付的关键性质，美国联邦航空管理局允许Zip line进行超出观察者视线的交付。

或者参观今年举办的无人机世界大会，吸引了500多家无人机公司和1万名与会者。在2024年的活动中展出的最大无人机可携带400公斤并行驶4500公里。其他无人机可以运送人员。或者加入无人机竞速比赛。但请注意，自主系统已经比人类世界冠军赛车手更快。这些系统还聚集了8100架无人机进行新的全球纪录展示，飞越深圳上空。

图28. 企业无人机使用案例示例



来源: Citi GPS

我们的专有分析

全球无人机单位数量预计将从2024年的约3710万增长到2035年的7340万（年复合增长率：6.4%），进一步增长到2050年的1.494亿（年复合增长率：5%），数据来源为Levitate Capital。

根据Levitate Capital的预测，消费者无人机市场预计将从2025年的42亿美元增长到2030年的53亿美元，而企业无人机市场在基准情景下估计将从2025年的160亿美元增长到2030年的290亿美元。虽然消费者和企业无人机的预计单位数量相似，但企业的更高价格点导致到2030年市场总可获得市场规模相比消费者市场高出5.5倍。

根据我们自己的分析延伸到2050年，我们制定了四个主要假设。首先，消费者和企业无人机之间的50/50单位分配比例将持续。其次，我们假设从2023年的1240万架无人机出货到2035年的2600万架，单位增长率为6%。然后再将消费者/企业无人机的年度出货增长率降至与2050年长期GDP增长率3.1%相匹配的水平。

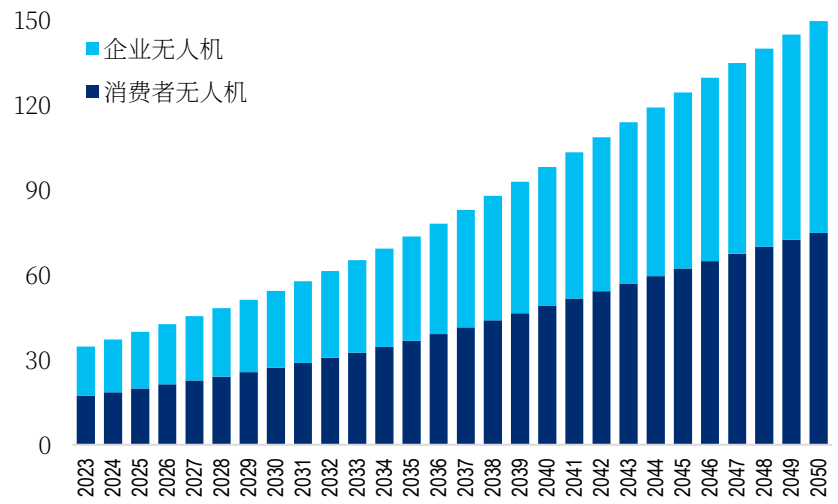
最后，我们假设无人机的折旧寿命为3年。

我们使用以下公式计算单位数量：总单位数 = (上一期总单位数 * (1 + 当期出货量 / 上期总单位数)) * 折旧寿命。2023年，消费者企业无人机数量从2022年的1750万(1750)增长到2670万(2670) (复合年增长率为76%)，并且总数量在2023年进一步增长到470万(470)。复合年增长率为76%。预计在单位数量在2025年达到7340万，然后进一步增长到2030年的4940万。

40 <https://levitatecap.com/levitate/wp-content/uploads/2020/12/White-Paper-v4.pdf>

40 <https://levitatecap.com/levitate/wp-content/uploads/2020/12/White-Paper-v4.pdf>

图29。无人机总量预测



来源: 花旗全球洞察

请注意，我们没有将分析扩展到军事、执法或在诸如消防等安全领域中使用无人机。这表明此期间使用的无人机总数可能更高。不过，这些领域在本报告的第8章中有所讨论。

仿人机器人

仿人机器人不再局限于科幻领域。在机器人领域取得了巨大进步，正如我们在下文中所强调的，仿人机器人将成为一个非常大的新市场机遇。

在第1章讨论的技术进步领域中，所有领域都支撑着仿人机器人所发生的变化，但AI和灵巧性的结合最为引人注目。多模态人工智能使仿人机器人能够看到、移动、与人类交流、学习、理解任务并执行。

例如，源政的Agibot声称已经可以穿针。

我们发现全球开发了50多种类型的仿人机器人。它们拥有越来越多的能力。Unitree H1可以以3.3m/s的速度移动并能跳舞；如果您想要一个能够做空翻和跑酷的机器人，波士顿动力公司的Atlas可以；凤凰公司的Gen 7可以在不到24小时内学会复杂任务；Unitree的G1仿人机器人可以折叠自己以适应柜子43中。

图30. Optimus Gen 2 – 特斯拉



来源：特斯拉

图31. H1 Evolution V.30 - Unitree



来源：Unitree

人形机器人的能力将继续提升，部分原因是可寻址市场规模可能是全球最大之一 - 劳动力在全球 GDP 中所占比重超过 50%，在北美超过 60%⁴¹。不断增长的智能和灵活性意味着人形机器人可以替代越来越多的工作。如下表所示，如果埃隆·马斯克对特斯拉 Optimus 价格点为 25,000 美元（20-30,000 美元）的预测是正确的，使用美国最低工资标准 7.25 美元，36 周的回报期是可能的。加州的最低工资标准（16 美元），平均工厂工资（28 美元）和美国护士的平均工资（41 美元）被添加以突出其他回报情景。每种情况的结论都很明确，即从经济角度看，人形机器人可能非常具有吸引力。

⁴¹ <https://www.unitree.com/h1>

⁴² <https://www.msn.com/en-us/news/other/sanctuary-ai>

⁴³ <https://www.unitree.com/g1>

⁴⁴ <https://ourworldindata.org/grapher/labor-share-of-gdp?tab=chart>

图32。人形机器人投资回收期敏感性表（以周计）

Hourly Wage (\$/h) \ Humanoid Price (\$)	15,000	20,000	25,000	30,000
7.25	21.6	28.7	35.9	43.1
16	9.8	13.0	16.3	19.5
28	5.6	7.4	9.3	11.2
41	3.8	5.1	6.4	7.6

来源: Citi GPS

人形机器人的论点不仅仅是经济上的。一些工作对人类来说危险或者不受欢迎，更适合机器人。在其他情况下，存在劳动力短缺，可以填补这些角色。机器人也不会请假或休假。



本·里德
首席营销官
圣殿AI

您提供什么AI机器人解决方案？

Sanctuary AI构建人形机器人以及驱动它们的AI控制系统。目标是制造理解并像人一样行动的机器，以便进行工作。我们领先于行业的Phoenix™通用机器人具有足够的智能、能力和灵巧，可以像人一样工作。我们正在开发这项技术以帮助解决日益严峻的劳动力挑战。仅在美国，9月的劳动数据显示大约有820万个职位空缺，但只有720万名失业工人。我们目前专注于在汽车、制造和物流等行业中有重大职位空缺的应用。预计市场需求的增长和AI发展加速的速度将在未来十年将人形机器人推向一个数十亿美元的市场。过去一年AI的发展使人形机器人能够更快地学习任务，Sanctuary看到新任务自动化时间从几周缩短到不到24小时。

在接下来的3-5年中，您认为会面临哪些挑战？

有两个因素会释放通用人形机器人的潜力：类似人类的灵巧手部和能够操控它们的AI控制系统。手部灵巧和精细操纵使得超过98%的工作成为可能，强大的AI控制系统是使机器人能够在非结构化或动态环境中与物体互动和操控的关键。为了创建这些AI系统，我们需要数据。但是尽管大型语言模型（LLMs）可以从互联网文本中学习，但收集高质量、高保真度的训练数据并不那么简单。目前，大多数人形机器人公司都集中在数据收集阶段。

该领域的公司还将专注于批量生产的路径。

批量制造和部署AI人形机器人将有助于收集训练控制机器人的AI系统所需的数据。在未来的3-5年中，您应该期待通用AI人形机器人的设计和建造成本有显著改进，这将是市场准备就绪的重要指标。

人形机器人的命题的重要部分很简单 - 我们已经把我们人造的世界设计成适合人类，所以人形机器人可以直接适应而无需进行重大基础设施更改。

我们看到并分析了机器人的七个主要用例。由于经济和环境因素，第一个用例领域将是工业领域，包括制造业和仓储业。这些领域提供了更加封闭的区域供机器人操作，并且美国存在岗位空缺问题。机器人可以在搬运、运输、装载、组装、库存补充或检查缺陷方面发挥作用。

第二个类似的用例是在建筑领域，机器人可以搬运、铺砖或涂漆。全球建筑劳动力规模庞大，但在工地中避开障碍物的挑战限制了我们的初始采用估计。

在零售业，机器人可以帮助整理货架、提供客户服务（如寻找物品）或清洁。人形机器人可以帮助解决最后一公里的配送瓶颈，导航路径、楼梯、敲门或打开派送箱。

在酒店业，机器人已经在中国活跃，为酒店客房送货。人形机器人可以接手这项工作，并扩展至欢迎或协助酒店服务，例如下图所示的Kime人形机器人用于调酒。

图33. KIME - Macco Robotics



来源：Macco机器人

图34. EVE - IX Technologies



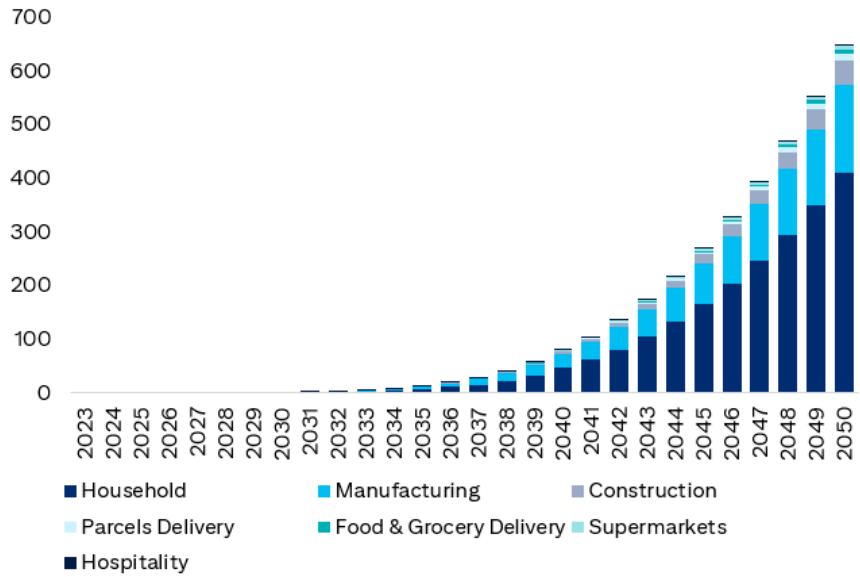
来源：IX Technologies

最大的机会之一是改善对老年人或体弱者的护理。这在报告的护理部分中有更详细的介绍。人口老龄化和护理/社会工作者短缺将推动需求。人形护理工作者还可以让人们在家中更长时间地得到全年7天24小时的帮助，减少对搬家的亲属或护理人员依赖。

虽然人形机器人可以增强医院和养老院的护理，但我们认为大部分需求来自老年人的家庭。家庭中人形机器人的另一个主要用途是帮助打扫卫生：吸尘；使用洗碗机；整理；洗衣。

在这七个用例中，我们估计到2035年全球人形机器人的数量可能达到1330万，到2050年将增长到6.48亿。

图35. 按类型预测的人形单位数量



来源: Citi GPS

我们看到首个重要的使用案例出现在工业领域。我们预测到2050年家庭将成为最大的单位市场。虽然其它使用情况可能令人信服，比如在酒店进行交付或在酒店进行货架堆放，但这些市场在单位规模上被家庭和工业领域所压倒。

图36. 按用例（以百万单位计）拆分的人形分析

Use Case	2035	2050	CAGR
Home Services	7.9	411.2	30%
Industrials	4.6	164.2	27%
Construction	0.4	44.4	37%
Parcel Delivery	0.0	13.3	48%
Food & Grocery Delivery	0.0	6.9	44%
Supermarkets	0.2	6.4	25%
Hospitality	0.0	0.8	22%
Total	13.2	647.2	30%

来源: Citi GPS

在每个使用案例中，我们估计了未来三个地区（发达地区、欠发达地区、最不发达地区）的总市场规模，以涵盖世界大部分地区，然后对每个使用案例和每个地区使用不同的渗透率。我们通过2050年分析了家庭、超市和酒店房间的数量。我们还分析了估计将在工业、建筑和交付领域工作的人数。

目前还不清楚增加速率与替代速率可能是多少。例如，每台拖拉机并不直接替代一个工人或一匹马。事实上，如今最强大的拖拉机Big Bud 747拥有760马力。或者，更有可能是一个

45 <https://www.williamsbigbud.com/>.

机器人每天运行23小时（特斯拉的目标），相当于三名人工劳动力的工作量（即1-3比例）。很明显，这将取决于具体情况，但为简单起见，我们目前在分析中假设需求比例为1-1。

我们对基于供应、经济和环境的启动周期进行了假设。终端渗透率各不相同。我们在2050年的工业领域为发达地区/较少发达地区/最不发达地区分别分析了30% / 20% / 10%的比例。

在家庭中，我们考虑了22% / 11% / 5%。这考虑到了80岁以上的人口，但许多80岁以下的人也可能受益于支持。

图37. 按发展组别细分（以百万单位计）

发展集团	2035	2050	复合年增
更发达地区	7.9	179.5	23%
较不发达地区	5.3	433.9	34%
最不发达地区	0.0	33.8	63%
总计	13.2	647.2	30%

来源: Citi GPS

尽管由于工资经济学的原因，发达地区一开始采用可能更高，但我们的估算得出结论，由于人口规模和劳动力市场的庞大，到2050年 less developed regions 将占到人形机器人市场的三分之二。

有关我们人形机器人分析的更多细节，请参阅我们最近发布的[人形机器人](#)文稿。



哈利·克洛博士
创始人兼首席执行官
超越想象

您提供哪些人工智能机器人解决方案？

我们专注于为专业化、高技能角色提供机器人，从生物制造开始。这些高薪工作需要密集和专门化的培训，要求高精度，并且由于需要在封闭设施里完成工作而具有一定的体力需求。

我们先进的AI大脑架构融合了许多不同的AI模块，像人脑的叶叶一样协同工作。这使我们的机器人能够处理复杂数据，做出明智决策，并减少人为干预即可学习新任务。AI大脑旨在像人类一样学习——通过观察、重复和持续改进——还能使机器人在整个队伍中无缝共享知识。此外，AI大脑是从头开始构建的，完全可以进行审计，透明且安全，可与人类一起工作。

人工智能仿人机器人可以执行各种复杂任务，实现的成本节约和生产增长具有强大的吸引力，我们预计总服务地址可能达到数万亿美元。如果一台机器人可以完成三到四个人的工作，并且可以全天候工作，这将大幅提高生产力。

您认为未来3-5年会面临哪些挑战？

AI机器人面临的重大挑战是展示其在不同环境中安全执行各种现实任务的能力。

虽然模拟和受控演示突显了AI动力人形机器人的潜力，但它们在设置之外的行为可能是不可预测的，在某些情况下甚至是不安全的。

迄今为止，没有公司在真实环境中展示过人形机器人的部署。没有人展示过在工厂使用人形机器人实现实际成本节约。也没有人接近展示完全自主的机器人行为。

通过针对特定垂直领域的目标和我们的工程团队对挑战行业假设的执着，我们有信心我们将在不久的将来开始部署试点机器人。

尽管到2050年拥有6.48亿个人形机器人很重要，但我们遇到的一项预测认为到2040年将达到100亿。为什么会有这样的差异？除了本报告后面第10章中涵盖的12个普遍机器人挑战之外，我们认为人形机器人市场需要时间建立的原因很多：

1. 人形机器人如此新颖，以至于最先进的只处于原型、试点或初期生产阶段。到目前为止，我们能找到的最高数量是远征计划在2024年11月每月生产100台。特斯拉建议在2025年在特斯拉工厂商业生产其Optimus机器人，并在2026年向外客户出售。人工智能公司计划在2025年开始生产几百个人形机器人。中国的生产比世界其他地方更先进，但预计2026年只有1万台机器人。需要时间扩大产量。

2. 根据图1.1，人形机器人的能力增长经过验证，技术发展的历史表明，S型曲线初期的发展往往需要时间，尤其是对于硬件。例如，CETech已在汽车生产线上部署了人形机器人，CEO指出它们的效率仅达到人类效率的20-40%，预计在接下来的12个月内将达到50%，然后超过人类水平，因为它们可以工作更多小时。当然，这个时间表可能很长。

3. 人形机器人的成本很高，需要降低以促进大规模采用。根据中国蓝皮书，全球平均价格为86,000美元。Unitree的G1是我们目前市场上发现的最便宜的型号，定价为人民币100,000元（14.3k美元），是其之前的H1型号（90k美元）的六分之一。正如埃隆·马斯克所建议的，如果特斯拉的Optimus定价为20-30k美元，与人工劳动相比的回报期可能大大缩短。但价格仍需具竞争力，与其他非人形机器人相比。

3. 人形机器人成本高，必须降低才能促进大规模采用。全球平均价格为86,000美元，据中国蓝皮书称。Unitree的G1是我们目前市场上所知最便宜的型号，售价为人民币100,000元（14.3k美元），是其之前的H1型号（90k美元）的六分之一。如埃隆·马斯克所建议，特斯拉的Optimus定价为20-30k美元，与人力相比，回报周期可能大幅缩短。然而，价格仍然需要与其他非人形机器人竞争。

4. 人形机器人的多功能优势如果更专业化的机器人在某些任务中表现更好，比如吸尘等，则可能成为劣势。⁴⁶ <https://www.diamandis.com/blog/10-billion-humanoid-robots-life-on-mars>

⁴⁶ <https://www.diamandis.com/blog/10-billion-humanoid-robots-life-on-mars>

⁴⁷ https://www.sohu.com/a/801928918_114877

⁴⁸ <https://www.theguardian.com/technology/article/2024/jul/23/elon-musk-tesla-humanoid-robots-optimus>

⁴⁹ http://www.china.org.cn/china/Off_the_Wire/2024-08/24/content_117385824.htm

制造。瑞士军刀不是屠夫的选择刀。

人形机器的普遍能力可能意味着最初没有一个杀手级应用程序。此外，与用于替换现有汽车的电动汽车相比，形成全新市场更加困难。在这样做时，重新设计生产线以使用其他机器人可能比插入人形机器人更有效或更经济。马没有被电动马设计取代。

5. 成本将随着时间降低，但这个行业是如此新颖，目前没有专门化的供应链。大多数公司似乎正在建造自己的零部件，通常借助于3D打印。违约率应该会随着时间的推移而改善，但可能会限制短期内的生产。随着供应链的改善，成本和缺陷将会降低，但规模经济也需要更多的销售，因此需要时间。

6. 人形机器人的经济学包括维护成本和更换周期。想象之外估计更换率为7年。这与吸尘器平均寿命8年，电动汽车寿命12年，iPhone寿命3年相比。目前尚无法确定总拥有成本。

7. 发展、生产和维护也将取决于人才。

在去年发布的Citi GPS《释放人工智能》报告中，我们强调了人工智能领域存在重大人才短缺问题，每个专业人士平均有4.7个工作岗位。鉴于人形机器人市场相对新兴，增长机会巨大，人才短缺问题可能也同样存在。

8. 上述许多因素取决于资本来支持研发、生产和人才储备。正如第9章所强调的，资本已经开始流入人形机器人领域，但仍处于非常初期阶段。

9. 我们认为支持性政策会起到一定作用。正如电动车市场在挪威（渗透率达到80%）、或中国（22%）比在美国（6%）更快地被采纳一样，补贴、监管和协调的生态系统也很重要。

9. 逐渐增多的保护主义和安全担忧也可能影响市场。

这些因素影响了我们对未来发展的时间和规模的预测，但我们仍然得出结论：技术可能性、使用案例和经济学将使新兴的人形机器人市场最终变得非常庞大（我们预计到2050年将达到6.48亿个单位）。随着未来价格的下降，我们估计人形机器人的总可寻址市场在2035年可达到2090亿美元，到2050年可达到7万亿美元。

日益增加的保护主义和安全担忧可能也会影响市场。

这些因素影响了我们对未来发展的时间和规模的预测，但我们仍然得出结论：技术可能性、使用案例和经济学将使新兴的人形机器人市场最终变得非常庞大（我们预计到2050年将达到6.48亿个单位）。随着未来价格的下降，我们估计人形机器人的总可寻址市场在2035年可达到2090亿美元，到2050年可达到7万亿美元。

50 <https://www.idealhome.co.uk/house-manual/cleaning/how-long-should-vacuum-cleaners-last>

51 <https://www.caranddriver.com/features/a31875141/electric-car-battery-life/>

52 <https://www.iphonelife.com/content/how-long-do-iphone-last-how-to-know-when-to-upgrade-your-iphone>

53 <https://www.wri.org/insights/countries-adopting-electric-vehicles-fastest>

工业

未来，越来越少的工厂工人会忙于在产品和零件周围搬运，这可以通过名为自动移动机器人（AMR）的专业机器人更有效、轻松地完成。与只能遵循预定路线并且通常需要操作员监督的前辈自动引导车辆（AGV）不同，AMR更加智能，可以独立导航工厂车间。

AMR智能背后的秘密是同时定位和制图（SLAM）技术。SLAM技术使每个机器人能够通过不断绘制区域地图并通过实时信息流跟踪自身位置，探索未知但不断变化的环境。当前的工业解决方案专注于视觉SLAM，即机器人配备先进摄像头和人工智能处理器，以实现视觉和自动化决策（例如路径规划和碰撞回避）。

2024年7月，美国制造业最近的劳动力存储量达到了505,000人，约占该行业总就业人数的3.8%。物料处理仍然是劳动力费用的重要组成部分，在工厂的总运营成本中占20%-50%。展望未来，根据德勤和制造业学院的数据，美国制造业在2024年至2033年间可能需要多达380万个工作岗位净增长。如果不进行重大改变，其中逾半或190万个工作岗位到2033年可能无人填补，这种人力资源挑战未得到解决可能会导致美国经济到2030年损失1万亿美元。

随着机器人成本迅速下降，在同一时间，AMR解决方案吸引了努力寻找高质量工人的制造商的关注。根据Interact Analysis的数据，由于来自中国的竞争加剧，以及随着生产规模扩大而产生的规模经济，一些移动机器人类型的价格将在2021年至2027年间下降多达60%。

在智能工厂中，AMR部署仍处于早期阶段 — 大规模商业交付始于2021年，那时AMR首次在收入方面超过AGV。

根据IFR的数据，2023年全球运营着超过4百万台工业机器人，为2013年至2023年间的年复合增长率为12.4%。五大国家（中国、日本、美国、韩国和德国）在2023年全球工业机器人出货量中占比高达79%，其中中国独占51%。尽管有再工业回流趋势，中国在份额方面的主导地位预计将继续。

[54个职位空缺水平和率（美国劳工统计局）](#)

[55种材料处理策略对窗户制造中时间和劳动疲劳的影响（IAARC）
制造业](#)

[56至2033年美国制造业可能需要多达380万新员工（德勤）
（德勤）](#)

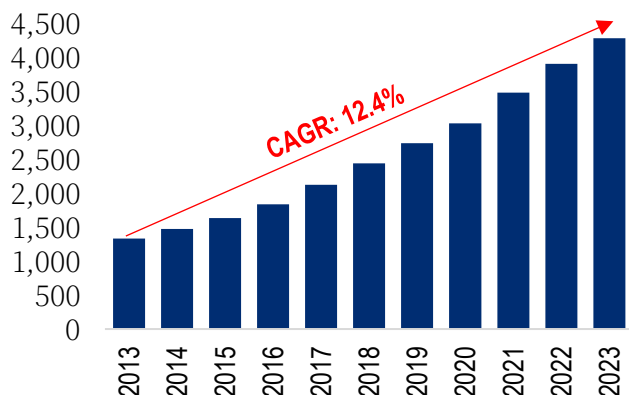
[57为明天的劳动力创造途径今天（德勤）](#)

[58移动机器人（互动分析）](#)

[59在2021年发货的10万台移动机器人（互动分析）](#)

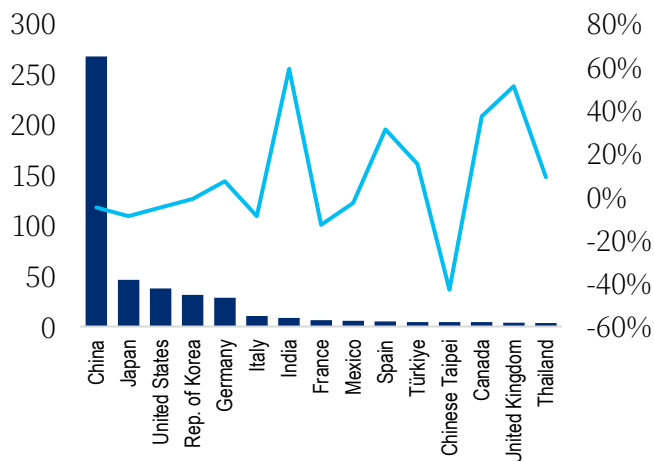
[60年世界机器人（国际机器人联合会）](#)

图38. 2023年全球工业机器人装机量（单位：千台）



来源：World Robotics 2024

图39. 2023年工业机器人年装机量（单位：千台）



来源：World Robotics 2024

OTTO Motors是工厂中提供AMR作为服务解决方案的一个例子。在一个占地100万平方英尺、所有运输都通过AMR车队完成的超大工厂中，每天完成5,200项任务，总行驶里程为1,100英里。61

据OTTO称，规模化部署时潜在的成本节约很高。标准的OTTO 100型（1:1人力容量比）每年运行24/7/52的费用为每辆车15,000-25,000美元（约每小时2.3美元），而较大的OTTO 1500型（4:3人力容量比）每年每辆车的费用为40,000-50,000美元（约每小时3.9美元）。OTTO AMR的成本仅为人力等效设备的10%，可叉车驾驶员等效设备的20%，输送系统等效设备的50%，AGV系统等效设备的66%。因此，回收期非常有利-系统租赁不到1年，仅车辆租赁为1-2年。61

人工智能和机器人：近期市场驱动因素是周期性逆风，而非人工智能采用

对于像AMR和AGV这样的轻型工业存储和检索机器人，在大流行病以来市场出现了两种非常明显（且互相抵消）的市场趋势。与许多应用一样，人工智能的能力和性能取得了飞跃，但自动化和机器人终端市场本身仍面临巨大挑战。轻型AS/RS（存储和检索）市场在2022年达到了顶峰，低利率和高电子商务渗透率推动了采纳。随着利率上升和电子商务渗透率（暂时）逆转，这些投资被提前收回。美国仓储建设支出在同比下降约20%，电子商务在总零售销售中所占比重直到2024年中期才恢复到大流行病开始时的高点。

61 [制造业中自主移动机器人（AMRs）的商业案例（OTTO Motors）](#)

降低成本是近期的重点

近期预期的应用重点是大幅缩短工业设施（包括编码）的设立时间、设计中的效率识别以及在服务中。低代码和无代码应用，包括使用LLM来编程机器人和其他智能自动化设备，已经在2024年开始实施。今年早些时候我们参加的汉诺威工业自动化展会上，看到了多个应用人工智能专注于利用AI提高自动化的设置效率，特别是在使用LLM模型方面。

很多自动化公司指出顾客通过AI领导的自动化设置提高EBIT 20%或更多的潜力

我们已经看到应用解释自然语言指示用于工业机器人，尽管AI软件和机器人控制软件之间仍然存在API。这种应用已经在一些优化仓库自动化的情况下进行了应用。

虽然通过设立时间降低成本目前是最常见的情况，但明显出现了新的情况。我们预计这些情况会随着时间的推移而加快。

- AI模式识别是监控机器人（或无人机）的关键要求。使用案例包括检测管道中的甲烷泄漏、输电网中的电气故障或结构中的裂缝。
- 物流应用中的AI路线优化
- 产品和流程设计中的AI模拟，利用人类可能甚至没有考虑过的场景
- 进一步发展“数字孪生体”概念，实时数字渲染物理产品和流程，并实现自然语言交互

我们的专有分析

根据Interact Analysis和Statista的数据作为起点，预计2024年至2035年工厂楼或仓库中运行的自动导引车（AGV）和自动移动机器人（AMR）的全球单位数量将从2024年的240万增长到2830万（复合年增长率：25%），并进一步增长至2050年的1.814亿（复合年增长率：10%）

根据Interact Analysis，在2019年，自动引导车（AGV）占工厂楼或仓库中移动机器人年度出货量的一半以上。但自疫情爆发以来，AGV面临来自更智能的AMR的竞争逐渐呈下降趋势。到2035年，AMR将占有AMR和AGV出货量的91%，而AGV占9%

我们进一步假设，该年度出货比例在2035-50年间基本保持稳定，AGV年度出货增长率逐渐降至2050年的全球长期GDP增长率（3.1%）

假定AGV / AMR的折旧年限为10年，我们可以使用以下公式计算总单位数量：总单位数量_t = Total Unit Number_{t-1} + 年度出货量_t - 年度出货量_{t-10}

。在2023年，AGV / AMR数量为0.6mn / 1.1mn，在CAGR为16%/28%的情况下将在2035年增长至4mn / 24.3mn，然后在CAGR为7%/10%的情况下进一步增长至16.5mn / 165mn

。© 2024花旗集团

服务机器人

酒店机器人

机器人已经在包括住宿、餐饮、娱乐、零售等在内的服务行业投入使用。餐厅和酒店是最重要的使用案例之一

在餐厅，机器人可以充当服务员，迎接和引导顾客入座，接受订单，上菜或者餐后清理餐桌

在酒店，机器人可以帮助人类员工处理多项任务，包括清洁、为下一位客人准备房间、将行李送至客房以及将食品订单或各类客房服务送至客房

BellaBot案例研究

浦都机器人 - 中国专注于服务机器人的机器人供应商，已向客户交付超过80,000台机器人。他们的机器人被应用于餐厅、零售店、酒店、医院、工厂和学校等各个行业

他们的机器人贝拉身高1.3米，重55公斤，移动速度为0.2-1.2米/秒⁶²。贝拉最大载重量为40公斤，单次充电可工作超过10小时（或者可以简单更换电池，实现全天候工作）⁶²。贝拉在中国的零售价格为人民币62,000元（8,600美元）。

贝拉已经在中国的大型餐饮连锁店和酒店进行了试用。一个例子是海底捞，中国前五大餐饮品牌，在火锅类别中排名第一，在中国164个城市拥有超过1,300家门店，在海外拥有超过100家门店。北京和上海的智能海底捞餐厅无需人工干预即可运营。

贝拉可以引导顾客就座，并能理解自然语言指令，将食物送到特定的桌子上。他们托盘上的智能重量传感器确保顾客每次都拿对的菜品。如果看到顾客挥手，他们会停下来。他们最新的3D视觉避障技术确保在运行过程中永远不会撞到顾客。

Tem i V3案例研究

Tem i提供机器人即服务（RaaS）解决方案。Tem i V3是他们最新的自主个人AI助手机器人（内置Alexa）。Tem i V3身高1米，重12公斤，移动速度为1米/秒。单次充电可工作长达8小时，并在需要时通过空中更新自己的软件⁶³。

内置的人工智能系统使Tem i V3能够自学习周围环境，了解自己所在的位置、所看到的内容以及即将前往的位置⁶³。Tem i V3可以自主导航，精度达到5厘米，或者跟随人类。

该机器人可用于各种场景。移动视频通话功能使其成为远程医疗的理想选择。在办公室，Tem i V3可以将咖啡或食物送到办公桌或会议室。在餐厅，Tem i V3可以作为主人和服务员迎接客人，为客人安排座位并根据语音或触摸屏接受点菜。

⁶² [Pudu Robotics](#)

⁶³ [Tem i Robot](#)



**张玮 创始人兼首席
执行官 浦都机器人**

您正在提供什么AI机器人解决方案？

浦都机器人专注于开发针对各行业量身定制的先进服务机器人，重点解决劳动力短缺问题，提升客户体验，优化运营效率。我们的产品范围包括：

商用配送机器人（例如BellaBot, KettyBot）：广泛应用于餐饮、零售和酒店行业，用于食品配送、客户迎接和营销互动。

商用清洁机器人：多功能机器人，可用于扫地、擦洗、吸尘和拖地。

工业配送机器人：适用于工厂和仓库，优化物料运输和物流操作。

通过利用先进的人工智能技术——如大型语言模型（LLM）、计算机视觉、机器学习、传感器融合、深度学习和拓扑

导航-我们使我们的机器人直观、精确和高效。这些创新推动了我们的机器人的商业化和广泛部署，显著提高了生产率和可靠性

根据Markets and Markets的数据，到2028年，全球商业服务机器人行业预计将达到848亿美元，年复合增长率为15.4%。

您在未来3-5年中看到的主要变化和挑战有哪些？未来3-5年，人工智能算法、传感器技术和电池效率的进展将使机器人能够更自主、更精准地执行复杂任务。

这些改进也将导致更多种类的机器人形态，包括半人形和人形机器人，与人类自然互动并处理更广泛的任務。浦逗机器人正在积极投资这些领域。

机器人形态包括半人形和人形机器人，能自然地与人类互动，并处理更广泛范围的任务。Pudu Robotics 正在积极投资这些领域。

降低组件成本并实现规模经济将使先进机器人更加负担得起，推动跨行业采纳。增强的物联网连接性将提高实时数据处理和运营效率。

然而，随着机器人在日常运营中的整合以及处理敏感信息，强大的网络安全和数据隐私措施将至关重要。

此外，公众看法、法规合规和员工再技能将是确保顺利整合和广泛接受的关键。通过解决这些挑战，人工智能机器人行业将增强跨行业的效率、生产力和生活质量。

我们的专有分析

我们最近的一份报告中研究了在酒店业中使用仿人机器人的机会。展望到2050年全球范围内机器人招待员的机会，我们的分析预测2035年达到960万，2050年达到1500万（年复合增长率：3%）。

基于样本国家的数据，我们假设侍者/女侍者在发达地区/中等发达地区/欠发达地区占人口的0.8%/1.2%/0.4%。

尽管在美国、英国、日本和中国等国家（例如贝拉、天宫餐厅）有很多试点项目，尝试使用机器人侍者为餐厅或酒吧提供食物和饮料，但规模化部署餐饮服务机器人尚未开始。

鉴于机器人搬运餐桌上的能力已经很强，我们相信只是时间和经济问题，这些试点项目最终会转变为实际部署。

虽然机器人可能不适合高端餐厅，但如果它们能加快或改进其他餐饮领域的服务，随着时间的推移它们可能会得到更多文化认可。我们假设到2035年，发达地区/中等发达地区/欠发达地区的渗透率将从2023年接近0%以更指数方式增长，然后减速以线性增长到2030年时的20%/10%/3%，到2050年时增长到30%/15%/5%。

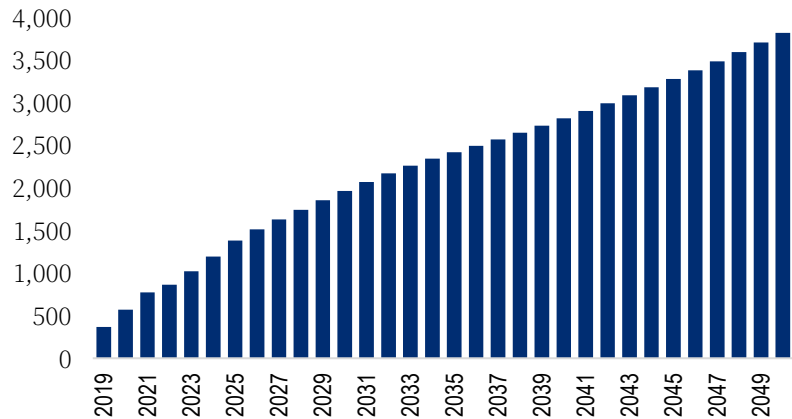
我们使用公式 $\text{单元数量} = \text{渗透率} * \text{侍者/女侍者数量}$ 来计算不同发展地区的单元数字预测。

我们得出结论，到2035年，发达地区/中等发达地区将有200万/730万款待机器人，到2050年将进一步增长到300万/1160万款待机器人，复合年增长率为2.7%/3.1%。我们预测，到2035年，全球总体单元数量将达到960万，然后到2050年进一步增长至1500万（年复合增长率：3%）。整体渗透率将从2023年的接近0%增长到2035年的11%，然后到2050年达到16%。

送餐机器人

食品和杂货配送

全球在线配送市场（包括餐饮和杂货）在2019年价值3675亿美元，预计到2029年将达到1,853亿美元，年复合增长率为18%。我们预计市场将继续增长，到2050年将达到3,8185亿美元（假设年增长率逐渐放缓至3.1%=国际货币基金组织(IMF)的全球长期GDP增长率）年复合增长率为4%。

图40. 全球食品外卖市场规模（以十亿美元计）

来源: Statista, Citi Global Insights

预计未来机器人将协助人类食品和杂货配送司机/骑手，包括接单、通过路线优化确保及时送达、查找地址以及与客户沟通

Starship Technologies案例研究

Starship配送机器人已完成超过6百万次配送，在全球60多个位置操作数千台配送机器人。该机器人能够配送食品、外卖和包裹

Starship Technologies发展迅速——公司花费78个月时间实现了首个百万次配送的里程碑，平均仅需要7.5个月就能实现接下来的500万次配送。公司计划扩展至美国50所大学校园

每台机器人配备12个摄像头，可看到周围环境，确保准确和安全导航，最高速度约每小时4英里，类似于快速步行速度。它还可以携带多达三袋食品

在英国，每次食品配送费用为£0.99-2.99，取决于物品重量，包裹配送费用为£7.99/月，可无限次配送

包裹投递

前五个国家（中国、美国、日本、印度、德国）在2022年占据全球包裹投递的88%。全球每日包裹量正在经历疫情后的显著增长，主要受到发展中地区增长的推动。

根据Effigy Consulting的数据，发达地区在2022年仅贡献全球包裹总量的四分之一，从2015年的约60%下降。假设增长趋势逐渐放缓（发达地区包裹量增长速度下降比发展中地区更快），预计到2035年，发达地区的包裹量份额将仅降至5%。

[65 星际科技](#)

[66 Starship包裹投递](#)

我们预计，疫情过后发展和发达地区的每日包裹量增长率将逐渐放缓，并最终在2035年后与长期实际GDP增长率相匹配（根据IMF数据，发达地区为1.7%，发展中地区为3.9%）。

图41. 星舰科技机器人



来源：星舰科技

图42. Manna 无人机



来源：Manna 无人机送货

Manna提供无人机（UAV）最后一公里送货服务，用于运送包裹、药品、食品、邮件和其他小件物品。该公司现在在都柏林和德克萨斯州达拉斯-沃斯堡提供无人机送货服务。六月份，它在都柏林每天进行200-300次配送，并计划于今年在首都及其他地方推广。

我们的专有分析

我们对食品和杂货机器人的分析预测，市场规模从2024年的数千增长到2035年的1120万，进一步增长到2050年的1910万（复合年增长率：4%）

我们假设，按需交付订单数量增长的50%将转化为司机/骑手数量的增长（另外50%预计来自于他们的生产力和能力的增长）

全球食品和杂货配送司机/骑手数量在2030年之前预计将快速增长，但此后增长将逐渐放缓。2019年全球有1560万食品和杂货配送司机/骑手，我们预计到2050年这一数字将以4.4%的复合年增长率增长至5870万。发展中地区将是食品和杂货配送员的主要增长驱动力

尽管在不同地方进行了许多试点（例如Starship、Kiwibot），但它们在部署和渗透方面仍处于早期阶段。室内食品配送机器人的渗透率应该比室外食品配送机器人增长更快（例如将咖啡或食物送到办公桌或会议室），因为在公寓楼或商业建筑内部导航比在室外更容易（例如办公室和酒店）

对于室内配送，我们假设发达/发展中经济体中的渗透率将在2035年增长到20%/13.3%，然后以线性速度增长至2050年的30%/20%。对于室外配送，我们假设在

[67曼纳无人机配送](#)

[68爱尔兰时报：无人机配送在都柏林试验中通过冰淇淋测试](#)

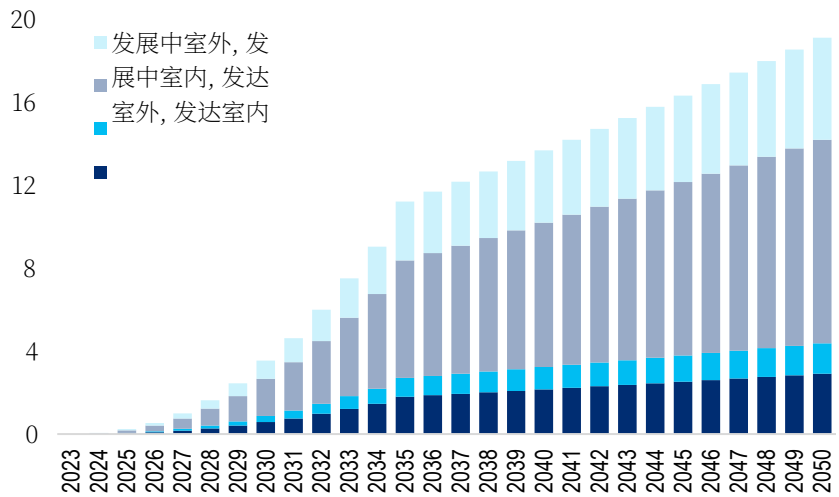
发达/发展中经济体到2035年将增长至10%/6.7%，随后到2050年将增至15%/10%，跟室内配送的模式类似。

最后，我们使用公式“单位数量 = 室内/室外配送渗透率 * 食品配送快递员数量”来计算不同发展地区的单位数量预测。

对于室内配送，我们得出结论，到2035年在发达/发展中经济体将有1.8百万/5.7百万台机器人，到2050年这个数字将进一步增长至2.9百万/9.8百万台，年复合增长率为3.3%/3.7%。对于室外配送，我们得出结论，到2035年在发达/发展中经济体将有0.9百万/2.8百万台机器人，到2050年这个数字将进一步增长至1.5百万/4.9百万台，年复合增长率为3.3%/3.7%。

全球单位数量预计到2035年将达到11.2百万，随后到2050年将进一步增至19.1百万（年复合增长率：4%），如下所示。

图43. 机器人食品和杂货配送总单位预测（以百万为单位）



来源：花旗全球洞察

我们分析了在最近一份报告中发表的关于人形分析中包裹投递的使用案例。

医疗保健

护理机器人主要设计用于帮助护理病人、老年人或残疾人的机器人。随着人口老龄化、护理人员短缺和医疗成本上升，护理机器人有很大的机会为护理人员和接受护理的人提供支持。

到2050年，全球每6人中就有1人年满65岁，而欧洲和北美地区每4人中就有1人年满65岁⁷¹，到2080年，65岁以上的人数将超过1870年以下的儿童。随着人口老龄化，对护理的需求增加，但人类护理者数量不足。在英国，护理技能组织报告称，2022年成年护理部门的空缺率为9.9%—这相当于约15.2万个未填补的职位。在美国，每个需要护理的80岁以上人群只有3个潜在的护理者，而2010年有8个对应的人数⁷²。这种短缺导致现有护理人员承受压力增加，往往导致疲劳和离职率比其他工作岗位高出36%⁷³。

医疗保健成本的上升也促使寻找更高效的解决方案。2021年，全球卫生支出达到9.8万亿美元，长期护理是其中最昂贵的组成部分之一。有压力要找到在不影响质量的情况下提供护理的成本效益方式。机器人提供了填补这些空白的机会，承担例行任务，减轻现有医疗保健提供者的压力。

图44. 长颈鹿机器人



来源：远程预SENLe机器人

图45. 护理机器人



来源：理研

护理机器人可在各种角色中使用

在医疗保健中移动AI机器人的主要潜在用例包括：

- 远程监控：远程出席机器人为无法定期亲自接受护理的患者提供解决方案。它们允许医护专业人员通过执行任务，如促进视频通话、记录生命体征、提醒服药等，远程监控和关心患者。

⁶⁹ https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_10KeyFindings.pdf

⁷⁰ <https://reliefweb.int/report/world/world-population-prospects-2024-summary-results>

⁷¹ 护理技能，成年社会护理人员数据，2022/23

⁷² 美国退休人员协会，2013

⁷³ 护理技能，成年社会护理人员数据，2022/23

⁷⁴ 世界卫生组织，全球医疗支出趋势

Giraff机器人能够让医生和家人通过安装在移动机器人平台上的屏幕和摄像头进行访问和互动。它主要旨在支持生活独居的老年人，具有血压监测站、定时药物分发器和压力敏感垫等功能，可在睡眠或休息期间监测生命体征。

- 辅助护理：一些老年人可能需要日常活动方面的支持，如移动或穿衣。用于抬举和移动患者的物理辅助机器人可帮助减轻人类护理者的体力负担，同时增强患者和护理者的安全性。
- 陪伴：孤独是老年人面临的一个突出问题。43%的60岁以上美国人表示自己感到孤独，一项研究显示，孤独对健康的影响与吸烟一样糟糕。花旗全球洞察AgeTech报告深入探讨了如何通过人工智能和陪伴机器人解决打击孤独的问题。陪伴机器人的例子包括那些旨在通过对话与用户互动或协助进行记忆回溯活动以使老年人保持精神活跃和投入。
- 送货机器人：机器人可用于专门的护理相关任务，如药品送货或物资分发。例如，ZENA RX机器人安全地送达药房、实验室和其他临床材料。

目前正在进行的试验。

欧盟的旗舰研究计划Horizon为探索人工智能、数据、机器人技术以及支持与护理机器人相关的具体项目，贡献了13亿欧元用于公私合作伙伴关系。在2015年至2020年间，欧盟为“老龄化福祉机器人”倡议拨款8500万欧元，旨在将机器人解决方案整合到老年照护环境中，以减轻人类护理者的负担。类似地，英国政府于2019年投资3400万英镑用于支持老年患者的机器人项目，作为其革新成年社会保护的战略的一部分。日本经济、贸易和工业省（METI）主导了机器人护理设备开发和引入项目，成功设计了Paro等机器人。

尽管有这些投资，由于几个关键原因，采用情况仍然有限。

- 成本：这些机器人价格昂贵。尽管有政府补贴帮助，购买、维护和培训员工使用这些机器仍然是一个限制因素。
- 工作量增加：这些机器人通常需要设置、监督和维护，使其减轻人类护理者负担的初衷适得其反。

75 <https://telepresencerobots.com/robots/giraff-telepresence>

76 [孤独和社会孤立是导致死亡风险的因素之一](#)

77 <https://www.socialeurope.eu/robots-in-social-care-the-human-touch-at-risk>.

78 <https://www.technologyreview.com/2023/01/09/1065135/japan-automating-eldercare-robots/>

79 <https://www.telegraph.co.uk/global-health>.

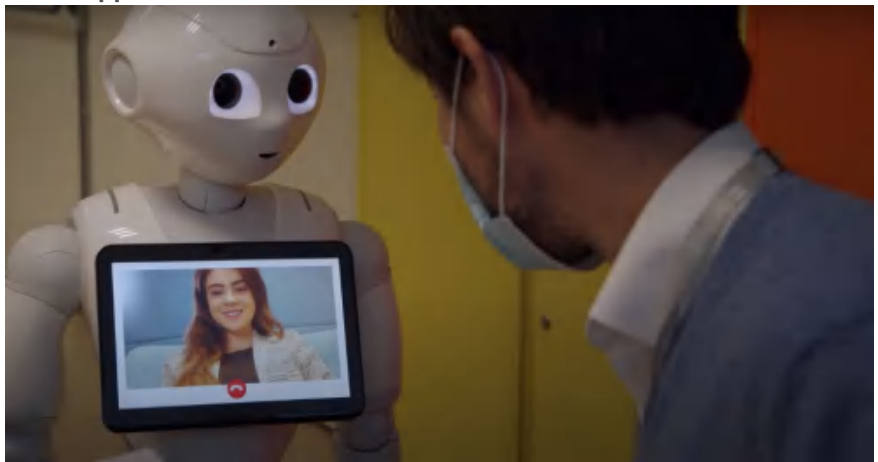
- 文化抵抗：许多年长者和照顾者仍然抵制让机器人接管亲密任务的想法，更倾向于人际互动。此外，长期依赖机器人提供情感支持可能削弱人际接触的深度。
- 技术上的限制：当前的模型，尽管复杂，缺乏执行所有必要照料功能的多方面能力，尤其在情感支持方面常常表现不佳。
- 数据隐私：强大的隐私协议对保护患者数据免受网络安全漏洞的侵害至关重要，尤其在家庭环境中。

案例研究: 日本

日本一直走在发展和采用机器人解决方案的最前沿，因为日本是世界上老龄人口最多的国家之一，超过80岁的人口占总人口的十分之一，到了2080年，预计将有近35%的人口年龄在65岁以上，医护人员严重短缺，到2040年预计将有57万人的缺口。

日本投资于Paro（一种用于治疗痴呆症患者的治疗海豹）和Pepper等机器人，Pepper是一种社交人型机器人，能够识别人脸并进行基本的人类互动和沟通。

图46. Pepper - 社交人型机器人



来源: Aldebaran

日本政府鼓励将这些技术整合到护理设施中，通过机器人护理设备开发和引入项目等倡议，甚至提供补贴以鼓励采用。尽管如此，采用率仍然令人惊讶地低，仅有10%。

80 <https://www.weforum.org/agenda/2023/09/elderly-oldest-population-world-japan/>

81 National Institute of Population and Social Security Research <https://www.bbc.co.uk/>

82 <https://www.asahi.com/ajw/articles/15346218>.

83 <https://www.aldebaran.com/en/pepper>

养老院报告使用任何类型的机器人，通常被放置在橱柜里。

有趣的是，尽管日本与流行文化中的机器人相关联，但机器人在养老护理中的使用却遭遇阻力。日本文化中植根于人文关怀的人类因素常常与机器人的机械、非个人化特性直接冲突。

虽然许多年长者对机器人表示好奇，但在涉及亲密、情感性任务时，明显更偏爱人类护理人员。这是因为人们担心机器人缺乏提供有意义护理所需的情感深度和同理心。机器人提供个人护理的想法也可能成为采用的障碍。

AI护理机器人的潜力

随着技术的发展，我们预计护理机器人将变得更智能、适应性更强，更具自主性。护理机器人具有巨大潜力来彻底改变个性化医疗保健，增强情感支持并无缝集成到智能家居环境中。我们看到机器人可能利用机器学习来预测患者需求，调整护理计划并应对紧急情况。

我们的专有分析

根据我们专有的需求分析，预计全球护理机器人单位数量将从2024年的接近零增长到2035年的1800万，进一步增长至2050年的7100万（复合年增长率：7%）。

我们首先对80岁以上老年人进行地区分析。世界人口老龄化速度加快。到2050年，全球将有近5%的人口年满80岁以上，而1960年仅为0.6%（增长了7.7倍）。到2050年，将有4.46亿人口年满80岁以上。⁸⁶

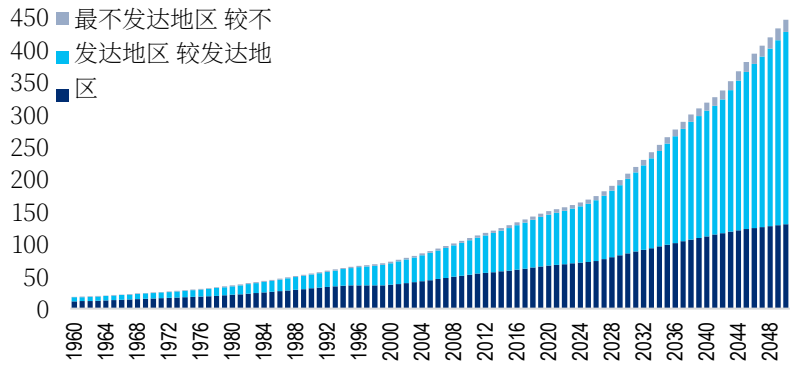
- 发达地区拥有年龄最大的社会。老年人口从1960年的1100万人（占总人口的1%）增长到如今的7100万人，联合国人口署预测到2050年将增长到1.31亿人（占总人口的5.5%，比90年前增长12倍）。
- 欠发达地区也在迅速老龄化。联合国人口署预测这些地区的老年人口将从现在的8700万人增长到2050年的3.4倍。到2050年，这些地区将有2.97亿80岁以上的老年人（占总人口的4.6%，比90年前增长50倍）。

⁸⁴ <https://www.technologyreview.com/2023/01/09/1065135/japan-automating-eldercare-robots/>

⁸⁵ <https://www.cornellpress.cornell.edu/robots-wont-save-japan-eldercare-reality-care-robots-james-wright-09-12-2023/>

⁸⁶ 联合国人口估计

图47. 各发展组别（以百万计）中的老年人口（> 80岁）



来源:花旗环球洞察,联合国

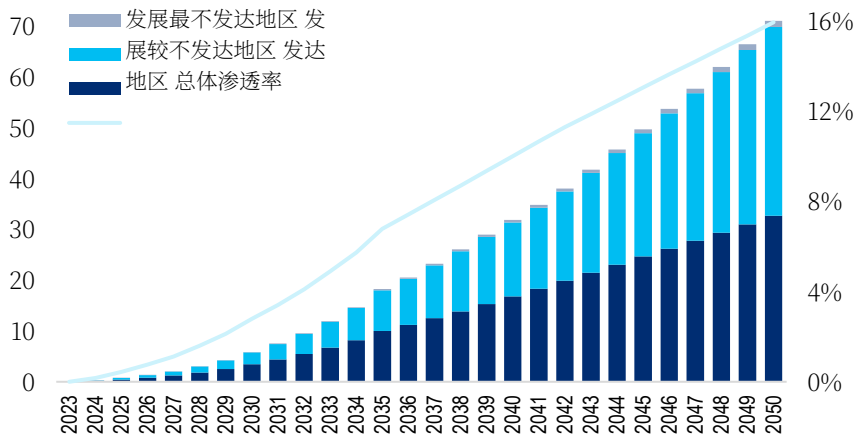
多项研究^{87,88,89}表明,大约有7成老年人愿意或对日常活动被机器人照顾持漠不关心的态度。

因此,我们推测,到2035年,更/较/较不发达地区的渗透率将从2023年的0增长至10% (7.0%的)/5% (较发达地区的一半)/2.5% (较不发达地区的一半),然后以较慢的速度线性增长至2050年达到25%/12.5%/6.25%。

我们使用公式 $Unit\ Number = Penetration\ into\ Elderly\ Population * Number\ of\ Elderly\ Population$ 来计算不同发展地区照顾机器人预测的单位数量。

基于以上输入,我们估计到2035年,更/较不发达地区将拥有800万/1000万的照顾机器人,到2050年这一数字将进一步增长至3260万/3700万,复合年增长率为6%/8%。

图48. 关爱机器人的总单位预测（以mns为单位）



来源: 花旗全球洞察

[87 老年人对机器人的偏好和接受度](#)

[协助日常生活任务 \(NIH\)](#)

[88 大多数爱尔兰老年人倾向于“照料机器人”来照顾他们, 研究发现 \(爱尔兰审查报\)](#)

[89 在何种情况下, 个人选择照料机器人而不是人类照顾者? 来自关于不确定环境下选择的实验室实验的见解 \(爱思维尔\)](#)

安全、安保和军事

随着机器人技术的不断发展，一些最有影响力的应用可能主要出现在与安全、安防和军事相关的领域，机器人越来越多地被部署用于执行那些可能对人类来说太过困难或危险的任务。

安全机器人

安全机器人是一种至关重要的应用，特别是在人类生命受到威胁的环境中。

众所周知的安全机器人是波士顿动力（Boston Dynamics）开发的Spot。

图49. 波士顿动力 - Spot



来源：波士顿动力

例如，Spot可以被部署在核设施中，用于检查反应堆和其他关键部件，而无需让工人暴露于辐射之下。同样地，它可以用于化工厂，以便检测泄漏或其他危险，从而降低暴露于有毒物质的风险。

另一个特别有趣的与安全相关的机器人应用是在消防领域，它们可以协助扑灭火灾，并在危险环境中进行搜救行动。消防员经常面临极端高温、建筑物坍塌和有毒烟雾等威胁生命的情况。

安全机器人开始改变这个高风险职业。

例如，热剂RS3消防机器人已经被部署在各种火灾紧急情况中。它可以远程操作，使人类消防员远离危险环境。

90洛杉矶市消防局推出RS3：美国首辆消防机器人车

其他专门设计用于检测特定类型危险的机器人。例如，Taurob Gasfinder 被研发用于探测有害气体。

图50. Taurob – Gasfinder



来源: Taurob

安保机器人

安保机器人可能在公共和私人场所变得越来越普遍。这些机器人被设计用于执行诸如检查财产、预测安全威胁等任务。仅在英国，估计大约有15万安保人员。⁹¹

安保机器人的一个例子是 Knightscope K5，这是一款专为室内外设计的自主安保机器人。K5配备了诸如360度高清视频流和录制、热异常检测以及先进的威胁分析人工智能等功能。

K5具备独立运行的能力，可提供全天候监控，使其成为购物中心和停车场等环境中的有效犯罪威慑力。其热异常检测功能还使其能够识别潜在的火灾危险或未经授权的人员，确保安保团队能够及时应对任何事件。

<https://lafd.org/news/lafd-debuts-rs3-first-robotic-firefighting-vehicle-united-states>
在2021年第4季度至2024年第1季度英国保安人员的预估数量为91 <https://www.statista.com/statistics/785269/security-guards-in-the-uk/>



威廉·桑塔纳·李，
主席兼首席执行官，
Knightscope公司

[Knightscope, Inc. \(NASDAQ: KSCP\)](#) 构建技术以提高公共安全，我们的长期目标是使美利坚合众国成为世界上最安全的国家。我们的自主安全机器人（ASR）正在美国各地巡逻，结合了自主、机器人、人工智能和电动汽车技术，帮助执法人员和警卫提供前所未有的情况感知，更好地保护人们居住、工作、学习和参观的地方。此外，ASR提供了一种物理威慑，有助于在负面行为开始之前缓解。我们相信，长远来看，有机会建立一家类似于国防承包商的公司，但专注于美国司法部、国土安全部、19000家执法机构和8000家私人保安公司，提供各种尖端技术。

我们的技术现已在全国各地运行超过300万小时，自2015年以来，全天候、全年无人驾驶（非远程控制），经历了多个冬夏。我们目前的重点是优化和扩大运营。

接下来3到5年的一个重大挑战是电信成本和数据传输能力与边缘计算需求之间的紧张关系。从长远来看，大量机器人将在没有工业级WiFi优势的区域运行。移动网络的成本太高，传输所有数据到云端进行处理速度太慢。

因此，现在正在竞相缩小计算和功耗需求，以便在场地内进行计算工作，而不是在云端进行-这是不幸的。

对于地形影响较大的环境，Ascento Guard旨在提供多功能解决方案。这款全地形自主安全机器人设计用于检测与入侵者通信，监视周界完整性，并管理停车等任务。

图51. Ascento Guard



来源: Ascento

军事机器人

机器人增强了军事力量的能力，同时降低了在危险或敌对环境中对人类士兵的风险。军事机器人被设计用于执行各种任务，从运输和后勤到侦察、搜索和救援，甚至直接作战。

无人机

无人机，也称为无人驾驶飞行器（UAVs），是一种没有机上飞行员的飞行器，由地面远程控制。这些多功能设备用于各种应用，包括航空摄影、货物递送和军事行动。随着人工智能的进步，无人机现在可以组成协调的群体飞行，增强它们在不同环境下的操作能力。

战斗无人机，例如由通用原子公司开发的MQ-1捕食者，被视为现代军事行动中的关键资产。这些无人作战飞行器用于情报收集、监视、目标获取和侦察。

图52. 通用原子公司-MQ-1 捕食者



来源: 莱斯利·普拉特中校-afrc.af.mil

例如MQ-1 捕食者装备有各种飞行器武器，包括导弹和反坦克制导导弹，使其能够有效地对目标进行打击，同时使人类飞行员远离危险。这种无人机的使用通过提供持续监视和精准打击改变了军事战略。此外，尽管军用无人机被认为是相对较大的车辆（例如MQ-1捕食者的情况下超过8米），但我们越来越多地看到使用被用于军事目的的微型化无人机。

消费级别的无人机具有先进的功能、低成本和易获得性，尤其是用于比赛的第一人称视角（FPV）无人机正在变得越来越重要。一个例子是由Shield AI生产的一种紧凑型无人机（<30厘米长），重量仅为1.5千克，能够利用人工智能来帮助绘制环境地图。

监视和侦察机器人

其他军事机器人提供宝贵情报，同时让人类操作者保持安全距离。例如，PackBot 5 25被设计为多功能机器人，用于处理炸弹，监视和侦察任务。能够执行

92 乌克兰的无人机作战如何改变战争

<https://www.reuters.com/graphics/UKRAINE-CRISIS/DRONES/dwpkeyjwkp/>

93 Shield AI: Nova 2

https://www.epequip.com/wp-content/uploads/2022/07/Shield-AI-Nova-2_Brochure_EPE_Branded.pdf

承重44磅（20公斤），PackBot 525 可配备各种传感器和摄像头，执行检查可疑物体、探测化学或生物危险品、在敌对环境收集实时情报等任务。这些机器人可部署于城市环境、偏远地区，甚至建筑内部。

图53. Teledyne Flir - PackBot 525



来源: Teledyne Flir国防

武装机器人

军事机器人的一个引人注目的例子是武装机器人的发展，例如中国军方展示的四足机器狗。

这些机器人背上装备有自动步枪，可以自主运行两至四小时。

图54. Robodog



来源: YouTube / 央视视频新闻社

这种机器人的部署代表了作战能力的重大进步，允许在冲突地区进行远程控制或自主操作。武装机器人的使用引起了重要的伦理和法律问题，特别是涉及规则执行和在作战情况下可能出现意外后果的问题。然而，从军事角度看，这些

机器人通过使部队参与作战，同时最大限度地减少对人类士兵的风险，提供了显著的优势。

结论

安全与安保行业涵盖了广泛的领域，包括国防承包、网络安全、物理安全和执法。这些部门在维护国家主权、公共安全和保护私人实体方面发挥着至关重要的作用。它们也预算庞大。例如，2020年全球军事支出达到将近2万亿美元。

全球范围内，这些部门雇佣了数百万人员，涉及各种职位。例如，全球范围内，约有2800万名现役军事人员，包括来自不同国防部队不同分支的全职士兵和军官。仅美国就拥有约50万现役人员。同样，根据司法统计局的数据，仅在2018年，美国拥有大约120万名全职执法人员，全球范围内更是有数百万人，根据维基百科的数据，大约有1千万人。此外，私人安全行业在全球雇佣了2000万人。因此，即使仅提高5-10%，通过机器人来增加这样的劳动力，可能将等同于数百万台机器人。

超出本报告范围的是对这种需求进行建模，但我们确实认为，全球部署的机器人数量在2050年可能高于我们4.1亿的估计。

同样，超出本报告的范围，读者可能想要思考几个相关问题：

1. 除了大规模资本支出外，可能存在什么其他限制国家正在建立军队的军事机器人？
2. 鉴于许多AI法规范围之外，包括欧盟的AI法案，这一领域将如何在全球范围内受到管理？人工智能驱动的机器人在国家间移动可能带来什么网络安全风险和解决方案？
3. 人工智能风险考虑事项在本报告的挑战章节中有涵盖。机器人在国家间移动会产生哪些网络安全风险和解决方案？

本报告的挑战章节涵盖了额外的人工智能风险考虑事项。

94 2020年世界军事支出趋势 <https://www.sipri.org/sites/>
95 世界-武装部队人员 <https://tradingeconomics.com/world/>
96 美国武装部队-统计数据和事实 <https://www.statista.com/>
97 2018年州和地方执法机构人口普查-统计表 <https://bjs.ojp.gov/library/>

98 个通过警员人数列出的国家和地区
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_and_dependencies_by_number_of_police_officers

99 2千万私人保安人员
<https://www.forbes.com/sites/niallmccarthy/2017/08/31/>

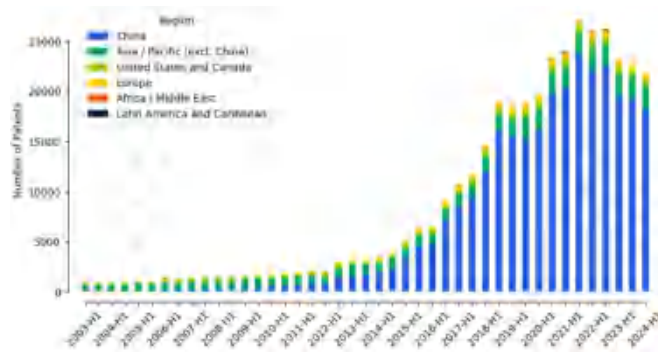
资本/专利

为了更好地了解全球早期机器人创新的发展情况，花旗全球数据洞察(CGDI)进行了机器人领域专利的专属分析。然后将这一结果与最近从Revelio获取的招聘信息进行比较，以评估专利持有者如何将创新转化为未来的商业机会。接下来讨论了风险资本流向该领域的情况。

CGDI 每半年查看过去20年中的专利申请，即2003年至2024年，以了解机器人创新趋势。这些研究是从QuantIP获取的。

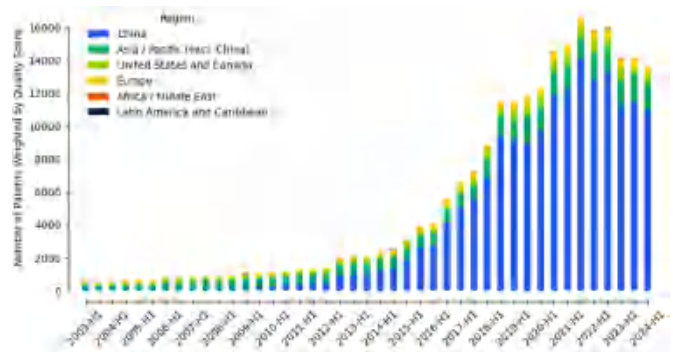
新专利数量的增加显示出过去十年机器人出版物数量急剧上升。这种增长主要在中国，中国占过去二十年来机器人专利总量的78%。日本和韩国分别以7%和5%的比例紧随其后，而美国仅贡献3%，突显了亚洲地区在机器人创新方面的实力。2022年至2023年间机器人专利减少了12%。将此相对于同期全球专利总数进行归一化后，发现这也相当于同期全球专利总数减少了16%。

图55 2003年至2024年各地区机器人专利数量



来源: 花旗全球数据洞察, QuantIP

图56 2003年至2024年各地区权重机器人专利计数



来源: 花旗全球数据洞察, QuantIP

为了减轻因低质量专利而导致专利数量虚高的风险，然后按照每个半年期专利的质量评分(由QuantIP提供)对专利数量进行加权。在这种加权之后，中国的主导地位仍然强势，表明中国在机器人创新的数量和质量方面处于领先地位。

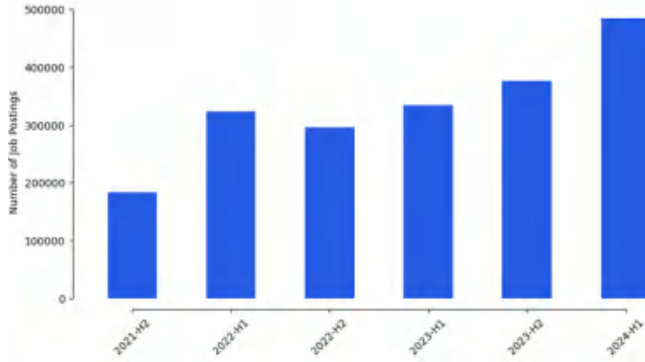
当审查创建专利申请的实体类型和它们所在行业时，私营公司在生产的专利数量方面明显超过了上市公司和教育机构。然而，近年来这一差距已经缩小，这表明自2022年以来机器人专利总量下降的原因是因为私营公司的活动减少。

进一步分析公共和私营公司的行业领域，数据显示最近制造业公司的专利数量随着整体机器人趋势而减少，而消费领域则呈现稳定增长。自2021年上半年以来，生产制造业专利数量减少了22%，而电子技术和健康技术分别增长了19%和22%。这种对比增长表明，虽然

工业机器人专利数量仍然很高，消费电子和医疗保健行业的创新增长更为强劲。

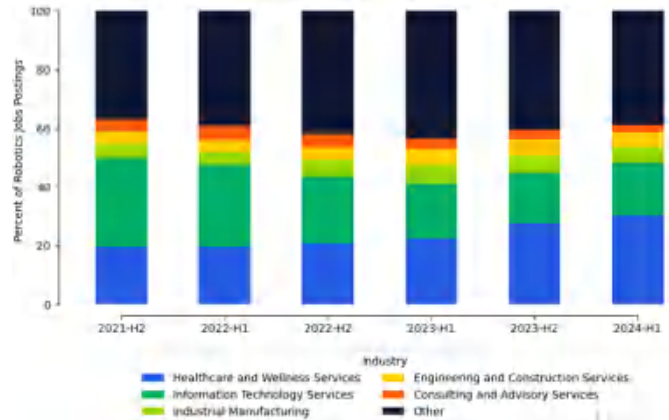
为了评估最近机器人专利申请总量下降是否意味着行业对机器人的兴趣减少，我们研究了这一时期与机器人相关的新工作职位发布。下图显示自2021年下半年以来工作量显著增长。机器人领域的新工作职位总数以65%的复合年增长率增长，达到了近50万个新的工作职位在2024年上半年。

图57. 机器人相关工作职位数量



来源: 花旗全球数据洞察, Revelio实验室

图58. 各行业机器人工作职位百分比 (%)

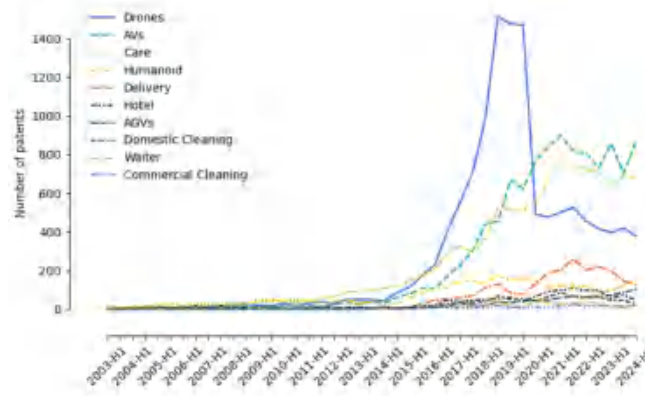


来源: 花旗全球数据洞察, Revelio实验室

更深入地剖析，按行业划分显示，在过去几年中，保健和健康服务行业出现了54%的显著增长，而信息技术服务行业则下降了40%。

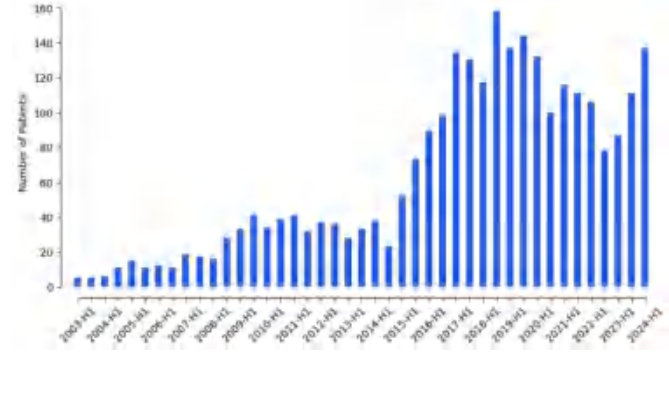
为了理解不同类型机器人的专利创作，我们将专利按10种用途进行分类。将每项专利归类到特定类型的机器人可能具有挑战性，因为许多创新并不一定是针对特定类型的机器人。例如，某些传感器、执行器、控制器和末端执行器可能并不能直接归因于送货机器人，也可能被用于设计用于护理或餐厅服务的机器人。因此，为了确保在将专利与机器人类型进行关联时具有较高的精度，我们专注于基于申请文件中使用的语言，将专利直接关联到每种用途的较小一组专利。

图59. 每种机器人类型的专利数量



来源: 花旗全球数据洞察, QuantIP

图60. 人形机器人专利数量 (2003年至2024年)



来源: 花旗全球数据洞察, QuantIP

我们看到的趋势突显出更成熟的机器人用例，如自主飞行器和自动驾驶汽车。在2018-19年期间，无人机特别受到创新兴趣的推动，主要由少数公司推动。然而，自那时以来，专利申请减少，而自动驾驶车辆和与护理相关的机器人创新已经停滞不前。

当我们转而关注历来数量较少的人形机器人，我们发现过去几年的趋势与整体机器人领域的趋势相反，自2022年上半年以来成长迅速。属于更为小众领域的人形机器人专利仅占机器人专利总量的0.7%，但增长显著。

这些专利申请微妙地暗示人形机器人在研发兴趣方面似乎正在增强，但信号不是十分明确。因此，我们再次从直接参考人形或拟人机器人的工作岗位出发，以另一个角度看待问题。根据Revelio数据（第57图），自2021年下半年以来的过去2.5年时间里，直接提到人形机器人或类人机器人的工作职位数量增长远远快于整体机器人领域的职位，每年增长率达177%，相对于所有与机器人相关的工作职位，年增长率为88%。

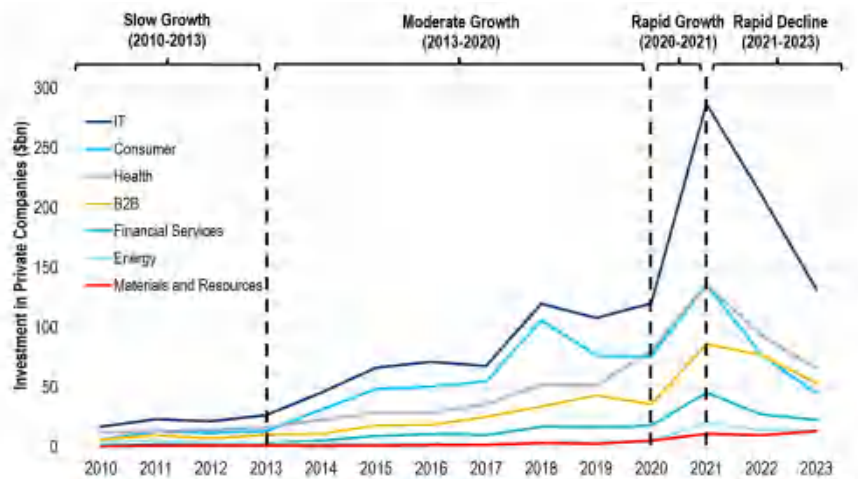
风险投资流向

要了解机器人领域内风险投资的趋势，首先了解全球风险投资的长期趋势至关重要。

整体风险投资趋势

自全球金融危机以来历史低利率使风险投资增加投资。风险投资从2010年的490亿美元增长到2020年1000年的3,400亿美元，增长了7倍。随后，应对新冠疫情的紧急利率调整导致2021年进一步激增至7230亿美元。这意味着在2010年至2021年期间，风险投资基金的总投资增加了14倍。

图61. 随时间变化的风险投资总体



来源: Citi GPS, PitchBook Data Inc

100本节所有历史数据均来自PitchBook Data。2024年全年数据由按照1H24数据进行比例核算计算得出。

2022年初出现30%的下降，至5100亿美元，接着在2023年进一步下降了32%，至3460亿美元，略高于2020年，与2018年持平。在地缘政治紧张局势加剧导致能源价格上涨和通货膨胀的背景下（2021-2023年），风投投资迅速下降，导致利率上升和风投投资下降。

因此，尽管不同领域的风投投资水平变化不一，但科技领域在2023年同比下降了38%。

机器人风险投资趋势

2010年机器人领域的风投投资增长了40倍，从2010年约1.8亿美元增长到2020年的75亿美元，然后在2021年再次翻了一番，达到165亿美元，在2010年至2021年期间增长了90多倍。导致机器人领域的投资激增的一个可能原因是复杂机器人开发成本的下降，正如报告中前面提到的。

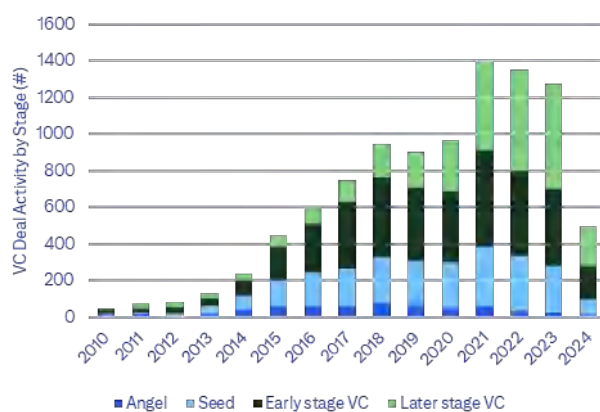
尽管如此，从2021年的峰值下降了总共40%，至2023年约100亿美元，与科技行业整体情况大致相符。

图62. 不同阶段的机器人风险投资变化



来源: 花旗全球视角 (Citi GPS), PitchBook Data Inc

图63. 不同阶段的机器人风险投资交易活动



来源: 花旗全球视角 (Citi GPS), PitchBook Data Inc

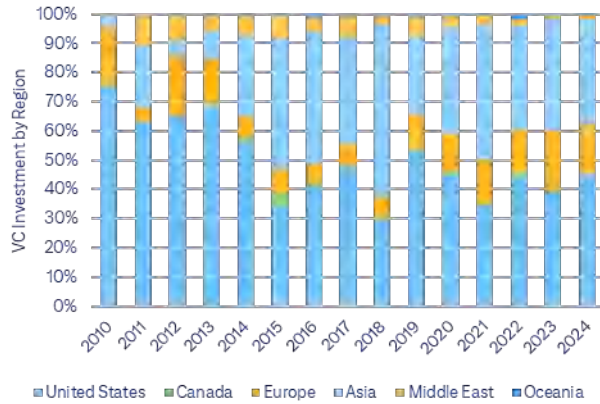
通过分阶段（天使轮、种子轮、初创阶段风险投资、后期阶段风险投资）来查看机器人领域风险投资的情况，我们发现后期阶段风险投资在风险投资层面中所占比例逐渐增加。

而在过去十年上半叶，机器人领域风险投资中只有30-40%的金额被归类为“后期阶段风险投资”，而最近几年这一比例已提高至70-80%。

在看待交易活动（以每年交易次数来衡量）时，我们观察到类似的趋势，增长一直持续到2021年，之后有所下降。然而，尽管最近有所减少，交易活动仍然保持较高水平。自上个十年初每年50-100笔交易开始，交易活动经历了逾10倍的增长，达到过去几年一直保持在100多笔以上。

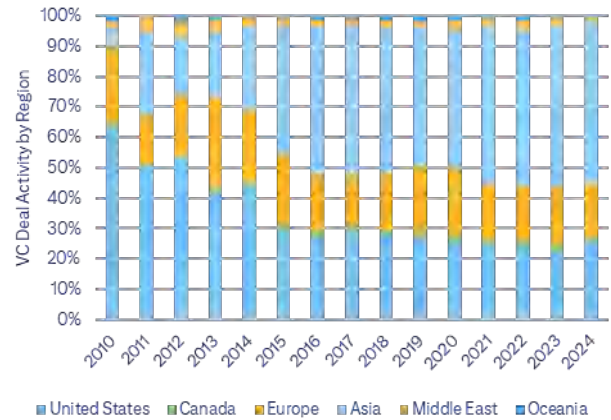
© 2024 花旗银行 (Citigroup)

图表64. 按地区划分的机器人风险投资



来源: 花旗全球视角, PitchBook Data Inc

图表65. 按地区划分的机器人风险投资交易活动



来源: 花旗全球视角, PitchBook Data Inc

在2010年代初期, 美国的全球风险投资占比平均为66%, 而现在平均约为45%。在此期间, 我们可以看到亚洲如何将其全球份额从平均13%增加到38%。

在同一时期内观察交易活动时, 亚洲的作用更为明显, 从过去十年初期的约10-20%增长到如今近年来全球所有交易活动中约占50%。类似地, 美国在与机器人相关的交易活动中的主导地位已经从50-60%下降到20-30%。从这个意义上讲, 交易活动中变化的趋势可能被视为全球风险投资金额变化趋势的前兆。

机器人子类目

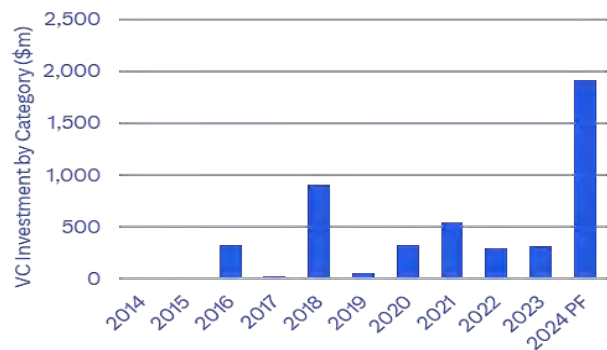
为了确定机器人风险投资领域内许多趋势的驱动因素, 我们看了PitchBook所称的“新兴领域”。这些领域之间存在一定的重叠, 并不一定加起来就是100%, 但它们确实展示了有趣的故事。

人形机器人在风险投资方面出现了显著增长。2024年的前6个月筹集的资金几乎达到10亿美元, 超过了以往任何一年的总和。按照这个速度, 2024年全年的增幅将达到500%, 与2023年相比。

这是我们研究的所有与机器人相关的子类别中筹集的最多风险投资。

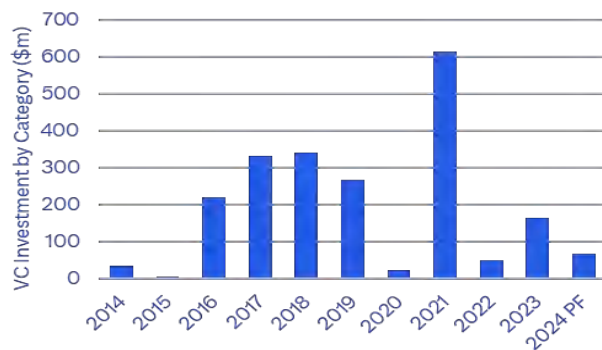
机器人在医疗领域的另一个重要领域。正如本报告中早些时候提到的, 像达芬奇手术系统这样的机器人已经获得FDA批准用于外科手术。然而, 有趣的是, 这一领域的投资并不连续, 有些年份只有数千万美元的风险投资, 而另一些年份则是数亿美元。投资在2021年达到顶峰, 达到6亿美元, 这很可能是由于大流行, 但此后下降了近90%, 预计2024年为7,000万美元。

图66. 人形机器人风险投资



来源: 花旗环球研究, PitchBook Data Inc

图67. 医疗机器人风险投资



来源: 花旗环球研究, PitchBook Data Inc

建筑机器人近年来出现了显著的增长和减少, 大致符合机器人整体投资。投资在本十年初显著增加, 达到2022年的峰值为2.7亿美元, 但自那时已减少了超过85%, 预计到2024年会下降到4,000万美元左右。

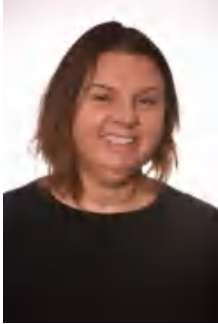
另一方面, 餐饮机器人和机器人部门近年来的风险投资相对稳定。尽管整体格局以及特别是机器人领域发生了变化, PitchBook数据显示自2017年以来, 投资基本上保持在8,000-12,000万美元的范围内。

其他类别, 如机器人流程自动化, 虽然不是机器人的一种类型, 但在过去十年中也有显著增长。例如, 投资从2014年的约4000万美元增加到2021年的近10亿美元, 但自那时已减少了超过25倍, 预计到2024年将下降到约3,500万美元。

机器人领域的整体风险投资仍然强劲。然而, 当全球范围内以及按子行业来看支出情况时, 存在显著差异, 这是由技术变革和公众对某些领域的兴趣所推动的。

挑战

本报告的第一章强调了科技进步，应加速采用AI机器人。随后的章节深入探讨了一些使用案例以及未来25年内一些新兴市场的潜在规模。



Aleksandra Faust
Google DeepMind
研究总监

您认为人工智能机器人的进展或采用面临的主要挑战是什么？

人工智能在最近几年取得了显著进展。大型语言模型简化了人机交互，而基础模型解锁了新的泛化和学习能力水平。这些创新为通用机器人应用的开发和广泛采用铺平了道路。

然而，仍然需要解决重大挑战才能将机器人大规模引入现实世界。首先，尽管机器人有潜力执行超越人类能力的任务，解决劳动力短缺问题，以及在各种应用中增强人类，但采用取决于识别具有吸引力且在规模上具有经济可行性的应用。

其次，机器人系统组件的开发，包括软件、硬件和芯片，很大程度上是分散进行的，存在过度设计的组件和昂贵的系统开发和集成风险。对整个系统设计采用以应用为先的方法，涵盖软件、硬件和芯片设计，在其中所有系统组件一起协同设计，可以促进可扩展物理系统的创建。

在动态的、无结构环境中，最后，自然且安全的人机交互对于机器人在现实世界中成功部署至关重要。以人机交互（HRI）研究为重点，侧重于直观沟通和协作任务执行，并借助大型语言模型的进展，将使非技术人员能够接触到机器人。

总的来说，这是机器人技术令人兴奋的时刻。人工智能的最新进展为解决系统设计和机器人与人类交互中长期存在的挑战提供了基本构建模块，这些挑战在历史上曾阻止机器人离开实验室。

还有其他让您夜不能寐的潜在未知因素吗？

解决伦理考量和潜在的社会经济影响，比如劳动力转移和算法偏见，将是至关重要的。致力于道德发展和部署，确保公平获取和负责任使用，无疑对利用人工智能机器人的变革潜力造福社会至关重要。

然而，在大规模推广之前，AI机器人必须克服一些重大挑战。我们列出其中的12项。

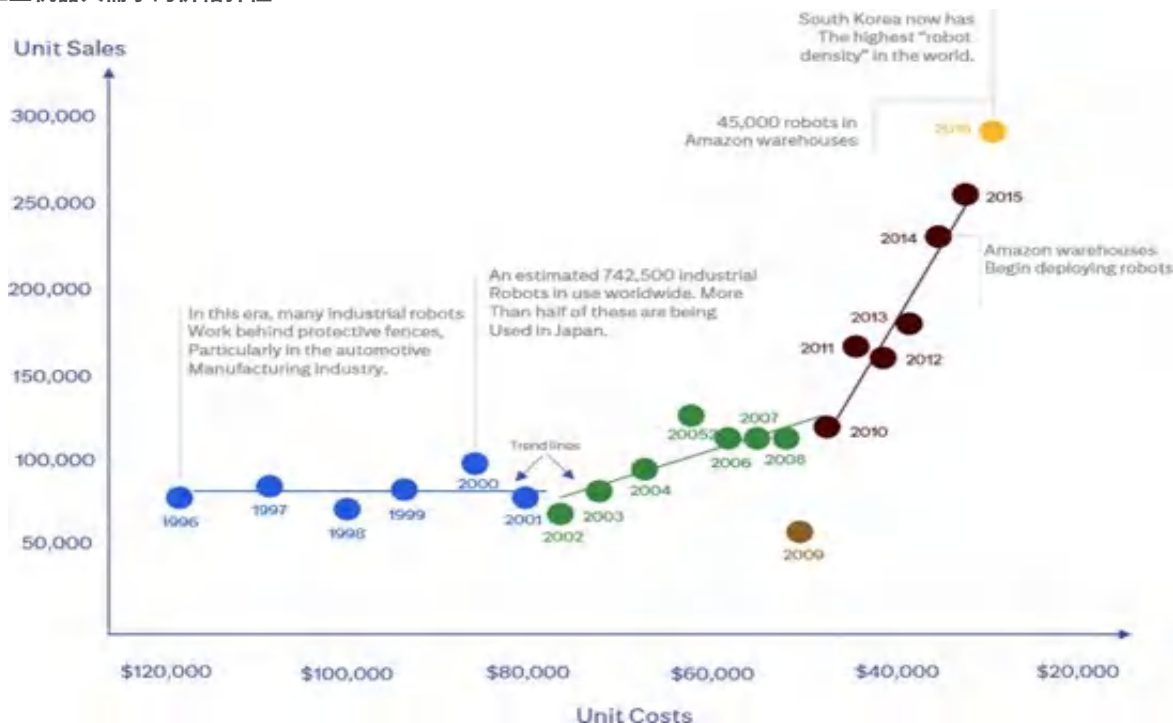
1. 制造成本

面临广泛采用的最重大挑战之一是当前机器人的高制造成本。尽管长期的规模经济可能会

降低价格 - 自1990年以来，美国机器人的价格已经减半，即使劳动力成本翻了一番- 近期的成本障碍仍然相当可观。

我们分析家用清洁机器人高渗透的一个原因是它们的价格实惠。根据欧皖表示，机器人吸尘器的平均价格为436美元。然而，其他机器人的不断提升的复杂性和功能性伴随着更高的成本。例如，波士顿动力的机器狗价格约为75,000美元。我们在市场上找到的最便宜的仿人机器人是Unitree的G1，售价为14,000美元，但根据中国的“蓝皮书”，仿人机器人的平均价格为86,000美元。

图68. 工业机器人需求的价格弹性



资料来源: Visual Capitalist

降低成本对采用率的影响在上图所示的工业机器人销售中是显而易见的。直到2010年代单位成本降至50,000美元以下，工业机器人的销量才开始增加。

考虑到建造、购买和维护机器人的高成本，资本获取可能是决定哪些公司能有效利用这些技术的关键因素。拥有雄厚资金和实现规模经济的大公司通常更有能力投资于机器人技术。

大公司吸收机器人高昂成本的能力赋予它们竞争优势，使它们能够以小公司难以做到的方式进行实验、创新和优化运营。

中国的产业战略包括建设世界一流的机器人生态系统，在中国正在发生大量的机器人创新。如果使用补贴，或者在较长时期内接受低回报率，这可能会影响机器人产业的经济。

2. 坚固性

随着人形机器人的发展，制造商面临的关键挑战是确保这些机器足够强大，能够承受碰撞或波动的环境条件。尽管机器人可以按照适合受控实验室环境的标准进行构建，但要制造出符合商业标准的产品则需要耐久性和弹性。

为了应对这些挑战，为商业用途设计的机器人必须融入坚固材料和施工技术。

为确保环境韧性，制造商可能需要实施诸如增加温度调节系统等保护措施。

使机器人足够强健以满足商业用途的挑战不仅是技术上的，也是经济上的。制造更耐用的机器人通常会导致更高的制造成本，因为需要更坚固的材料和更复杂的施工方法。然而，这些额外成本必须与使机器人保持负担得起的需要取得平衡。

此外，机器人能够在不经常维修或更换情况下适应真实环境条件的能力是其投资回报率（ROI）的关键因素。

3. 电池电源

在自主机器人的开发和部署过程中最重要的挑战之一是电池功率的问题。现代机器人技术，特别是那些融合先进人工智能功能的机器人，越来越依赖可靠且高效的能源来源。

现代电池，特别是锂离子电池的能量密度仍然是机器人应用中的关键限制。目前，锂离子电池的能量密度约为每千克250瓦时（Wh/kg）。虽然这对于较小的消费类电子产品已经足够，但对于机器人能够在不频繁充电的情况下长时间运行而言，更高能量密度至关重要。

这在移动和自主系统中尤为重要。

造成能量密度受限的问题的另一个因素是人工智能模型对机器人的能量需求迅速增长。虽然电池能量密度通常以每年约5-8%的速度提高，但AI模型的能量需求增长速度明显更快。这种差距意味着，如果没有电池技术方面的重大进展，能源供应和需求之间的鸿沟将继续扩大，潜在地限制了人工智能驱动机器人的能力。

AI驱动的机器人需要大量的计算能力来实时处理数据、作出决策，并从环境中学习。这种计算密集度直接转化为更高的能量消耗，对现有电池技术造成额外压力。

未来有一些令人期待的进展，包括石墨烯电池和固态电池。

根据某些估算，石墨烯电池预计将比传统的锂离子电池提高300-400%的能量密度。

4. 处理效率

处理效率是AI机器人面临的另一个挑战。使AI能够执行复杂计算的强大处理器同样耗电。

驱动现代AI应用程序的处理器，特别是在机器人领域，主要建立在复杂指令集计算机（CISC）架构上，具体来说就是x86架构。该架构非常适合处理AI处理所需的复杂和计算密集型任务，比如深度学习和神经网络操作。但它们也很耗电。

为解决这些挑战，机器人产业可能会转向更节能的架构。一个选择是ARM的精简指令集计算机（RISC）架构。

自2015年左右以来，基于ARM的芯片在性能上有了显著进步，提高速度大约是x86芯片的两倍。这种快速提升使ARM处理器能够驱动性能高的设备，包括苹果最新款MacBook中的处理器。ARM架构的效率不仅降低了AI处理的功耗需求，还使得设计更加紧凑轻巧。

5. 能量消耗

人工智能在多个行业的快速发展引发了对所需能源消耗规模的担忧

据世界经济论坛（WEF）称，人工智能所需的计算能力大约每100天翻一番。到2027年，全球人工智能相关的电力消耗可能超过每年134太瓦时（TWh），与阿根廷和瑞典等整个国家的总用电量相当。这种消耗水平凸显了更节能的人工智能技术和基础设施的迫切需求

为解决人工智能不断增长的能源需求问题，迫切需要开发更节能的算法。在这一领域的创新可能包括优化现有算法以提高效率，开发需要更少计算能力的新人工智能模型，以及利用修剪或量化等技术来减少神经网络的复杂度

除了算法改进，人工智能行业还需要关注支持人工智能运营的基础设施，特别是数据中心。数据中心是人工智能的支柱，提供处理和分析大量数据所需的计算能力和存储容量

使数据中心更节能的努力可能涉及一系列策略，从改进冷却系统到实施先进的能源管理软件

101 Ossila [\(链接\)](#)

102 纽约时报 [\(链接\)](#)

6. 电子废料

电子废料，或称电子废物，将是机器人行业面临的另一个挑战。来自现代技术的电子废料的处理和回收已经是一个重要且不断增长的全球性问题。机器人的日益普及可能会加剧这一问题，除非采取相应的措施。

2021年，全球产生了大约57.4百万公吨的电子废料¹⁰³，其中相当大一部分来自智能手机、笔记本电脑和其他消费类电子产品。除了电子废料的增长，很大一部分未得到适当回收，导致环境污染和有价值材料的流失。

专有元件的使用加剧了电子废料问题。虽然人工智能软件更新是可能的，但硬件更新更加困难。许多机器人设计有特殊部件，这些部件是特定制造商或型号独有的。这使得维修或升级机器人更加困难和昂贵，因为替代部件可能难以获得或价格高昂。

针对不断增长的电子废料问题，“维修权”运动和相关法律在欧盟等地区已经获得了强劲的势头。这些倡议主张消费者有权维修其设备，而非被迫更换设备。

对于机器人行业而言，秉承“维修权”的原则可以延长产品寿命并减少电子废料对环境的影响。

7. 信任

信任是任何技术广泛采用的关键因素，在近年来，对人工智能的信任显著下降。随着技术越来越接近更自主、潜在影响力更大的形式，如通用人工智能（AGI）以及超级人工智能（ASI），这种下降尤其令人担忧。

根据 Axios104 进行的全球调查显示，在 24 个国家中，对人工智能的信任从 2019 年的 61% 下降到 2024 年的 53%。在美国，同一时期信任水平的下降更为显著，从 50% 下降到 35%。这种下降趋势表明公众对人工智能技术的安全性、可靠性和道德影响产生了日益增长的怀疑。

有几个因素造成了这种信任下降。其中一个主要关注点是人工智能系统中解释能力、透明度和因果关系的低水平。许多人工智能模型，特别是基于深度学习的模型，操作时表现为“黑盒子”，即决策过程并不容易被开发人员理解。

有几个因素导致了这种信任的下降。其中一个主要问题是人工智能系统中解释性、透明性和因果性的低水平。许多人工智能模型，特别是基于深度学习的模型，作为“黑匣子”运行，决策过程甚至连开发人员都很难理解。

这种缺乏透明性使得用户难以信任人工智能驱动的结果，尤其是在高风险情景中。

信任水平还可能受到机器人外观的影响。人们更倾向于信任那些外貌不太像人类的机器人。这种现象通常被称为“幽灵谷效应”，表明外貌与人类相似的机器人更容易受到人们的不信任。

当机器人不太像人类时，人们倾向于更加信任它们。这种现象常被称为“诡异山谷效应”，它表明当机器人具有。

103 WEEE 论坛 ([链接](#))

104 Axios ([链接](#))

看起来更机械化或显然非人类的形象被认为不那么具威胁性，更值得信赖。

历史表明，进步不会一帆风顺，而是包括向前、向侧甚至向后的步伐。1830年利物浦和曼彻斯特铁路的开通受到了一起死亡事故的影响，但并没有阻止铁路的发展。第一位死于汽车事故的人是在1896年，时速只有每小时4英里。随着时间的推移，驾驶执照（1903年）、限速规定（1934年）和安全带（1983年）被逐步增加以提高安全性，但每年仍然有大约120万人因道路事故死亡。实施对机器人的安全措施，能够让用户更加信任和控制这项技术，很可能对其成功融入社会至关重要。就像汽车一样，这可能是一个需要时间的迭代过程。

8. 隐私

随着机器人越来越多地融入日常生活，它们带来了与隐私和信息安全相关的独特和重大挑战。

特别是那些设计用于家庭和其他个人空间的机器人，有潜力收集非常个人化的数据。这些数据不仅可以包括视觉和听觉信息，还可以包括用户的习惯、偏好，甚至生物特征数据。虽然这些信息可以用来提升用户体验和改善机器人的功能，但如果不得到适当管理和保护，也会带来重大风险。

一个鲜明的例子发生在2015年，当时由电子学习玩具制造商Vtech生产的超过六百万件玩具在一次重大的安全漏洞中受到了损害。这次漏洞使黑客能够访问使用这些玩具的儿童的照片和其他个人信息，突显了收集和存储敏感数据的AI设备的脆弱性。

对隐私的担忧并非局限于孤立事件。有多起关于家庭闭路电视系统被黑客攻击的报告 - 例如，有超过30人投诉未经授权访问他们的安全摄像头。

针对对数据隐私日益增长的关注，欧盟等地实施了《通用数据保护条例》（GDPR）等法规，为保护个人数据提供了法律框架。

9. 法律问责

随着以人工智能驱动的机器人在社会中变得更加普遍，关于法律责任的问题将变得越来越重要。随着机器人承担越来越多涉及决策和直接与人类互动的角色，现有的法律框架，这些法律框架主要是为人类决策者设计的，正在受到考验。

环境不仅复杂且快速变化，而且很可能变得昂贵。欧盟《AI法案》对人工智能的使用实施了严格的监管，

105 国家汽车博物馆（链接） [_____](#)

106 世界卫生组织（链接） [_____](#)

107 卫报（链接） [_____](#)

对于不遵守规定的最高罚款设定为公司全球营业额的7% -

明显高于一般数据保护规则（GDPR）规定的最高罚款为4%。对于使用AI技术的公司，欧盟AI法案不仅适用于软件，还适用于机器人本身，增加了另一个复杂性和潜在责任层面。

在法律责任讨论中的一个基本问题是确定机器人造成危害时谁应对。传统的法律框架假定人类是主要决策者，因此对其行为负责。

在讨论法律问责责任时，一个基本问题是确定当机器人造成伤害时谁应该承担责任。传统的法律框架假定人类是主要的决策者，因此应对其行为负责。

然而，随着机器人变得更加自主且能够在没有人类干预的情况下做出决策，这一假设受到越来越多的挑战。

法律需要发展以适应机器人而不是人类成为主要行为者决策过程的场景。

10. 数据

数据将影响信任、法规和法律框架。数据对于人工智能也至关重要。系统在现实环境中部署以人工智能驱动的机器人面临的最重要挑战之一是训练数据的可用性和质量。

人工智能机器人的成功，特别是在高风险应用中，严重依赖于它们从大量准确和相关的学习中学习的能力。然而，目前的数据收集状态存在“先有鸡还是先有蛋”的困境：我们需要更多机器人在现实世界中收集数据，但我們也需要更多数据让机器人能够在现实世界中安全运行。

自动驾驶车辆是培训机器人中的一个当前示例。

考虑到高风险环境，自动驾驶车辆（AVs）必须接受数百万英里的驾驶数据培训，以处理它们可能在道路上遇到的各种情况。尽管技术取得了进步，但如果不允许更多AV在我们的道路上行驶，就很难收集必要的数据来训练它们。缺乏足够的训练，AVs可能不够先进，无法安全地大规模部署。高风险的医疗保健领域可能面临相同的问题。

收集真实世界数据是一个具有挑战性且需要大量资源投入的过程。与受控实验室环境不同，现实世界可能是混乱的，有无数变量和不可预测的事件可能影响数据质量。例如，收集驾驶数据的自动驾驶车辆必须在不断变化的道路条件、天气模式和人类行为中导航。

此外，收集真实世界数据通常需要大量的财务投资。收集大量数据可能需要多年时间和大量资源，可能会减缓发展速度，并使拥有更充裕资金的公司获益。

此数据收集过程的速度也会因监管环境而异。然而，这种方法也存在风险，需要在促进创新和确保AI驱动机器人的安全性和可靠性之间取得平衡。

11. 基础设施

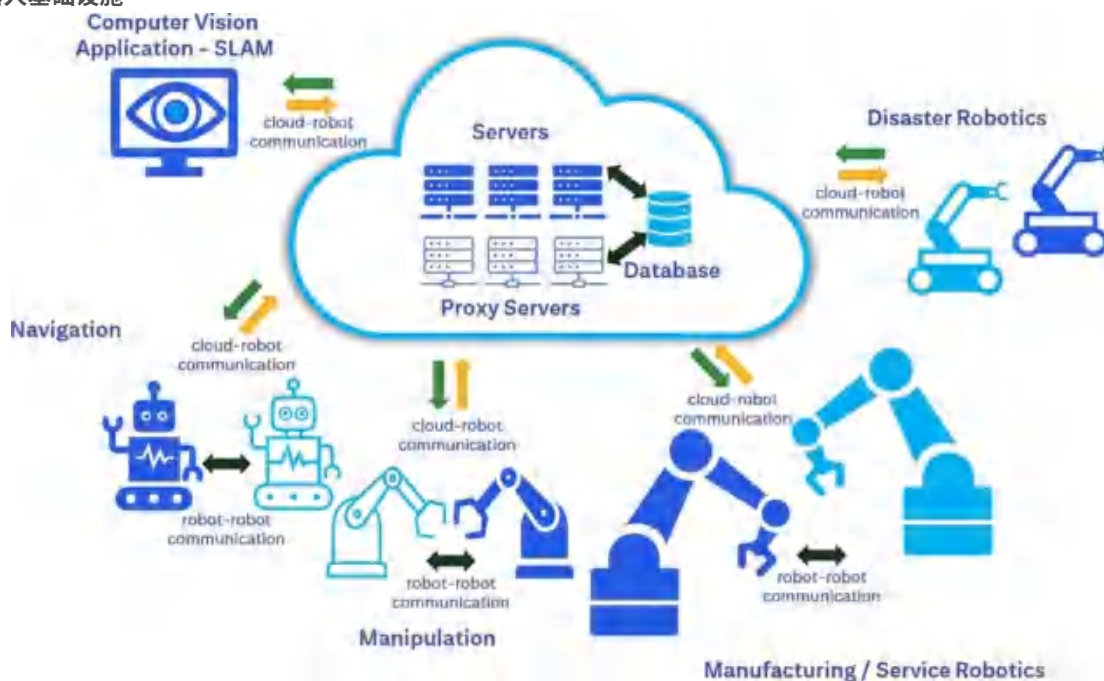
在各个领域广泛采用机器人需要与支持它们部署、维护和运行的必要基础设施同步进行。

机器人采用所需的一个基础设施组件是建立充电站。就像电动汽车（EV）需要安装广泛的充电点一样，机器人也需要专用的充电基础设施。

从电动汽车（EV）的经验可以看出，建立充电站网络可能非常复杂，需要规划、投资和协调政府机构、公用事业公司和私营部门的各方利益相关者。对于机器人来说，充电站将需要位置战略性地设置，以确保可访问性和便利性。

随着电动汽车和人工智能技术的采用增加，许多地区的电力网已经难以跟上需求。大量需要定期充电的机器人的增加可能进一步加剧电力网的压力。扩大和升级公用事业电力基础设施可能是必要的，但这样的项目复杂且需要相当长的时间来实施。

图69. 机器人基础设施



来源: Citi GPS

除了充电基础设施之外，机器人的大规模采用将需要建立服务维修中心和机器人维护商店。正如汽车维修中心对于安全维护车辆至关重要一样，机器人维修中心将在机器人的生命周期管理中发挥关键作用。

建立这样的服务基础设施将需要一支足够训练有素的工程师队伍，他们可以安装、操作和维护这些系统。尽管全球正在推动促进工程和技术职业的发展，

行业在面对人才短缺的挑战。考虑到对多元化人才的需求，这种短缺更加突出。

技能缺口可能会减缓发展的速度，需要教育机构、行业领袖和政府部门之间的合作，制定针对性的培训计划和倡议。提供实践经验和实用知识的机器人职业培训和学徒项目可以帮助弥合学术学习和行业需求之间的鸿沟。

总之，大规模采用机器人将需要一个全面且精心规划的基础设施生态系统，包括充电站、维修服务中心、充足的动力、电力网升级和人才培养。

12. 就业安全

随着机器人变得越来越智能、灵巧和机动，它们迅速承担起传统由人类执行的角色。值得注意的是，我们对AI机器人的预测包括许多领域，将为人类创造更多时间，而不是取代工作，例如驾驶汽车或清洁家庭。

然而，这种转变也引发了关于就业安全的重要关切，特别是在机器人可能代替人力的行业，如出租车司机或商业清洁工的行业。了解机器人对劳动力的潜在影响是至关重要的，因为我们正在朝着自动化在经济活动中扮演核心角色的未来迈进。

机器人最显著的机会之一是它们能够在缺乏合格或愿意从事工作的领域执行任务。

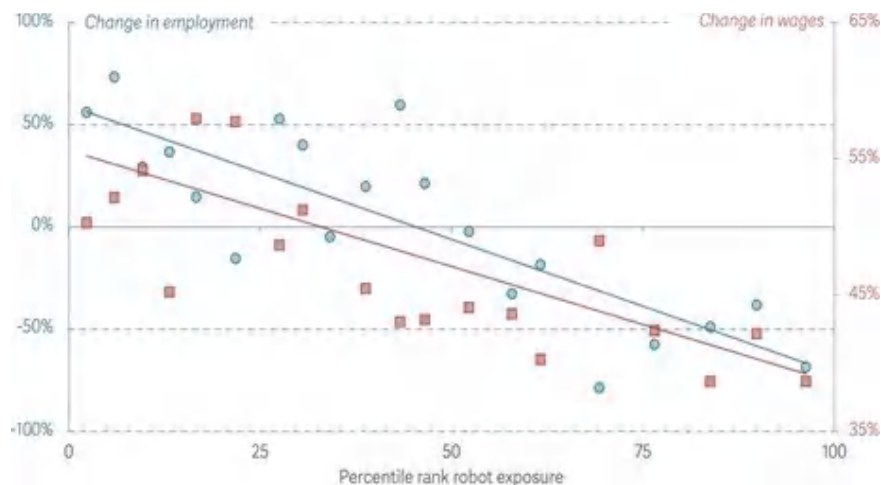
可以在像汽车制造这样的领域看到未来的预览，那里的机器人装配线已经取代了大量的工人。一项关于美国1990年至2007年机器人采用的麻省理工研究得出结论，每个机器人取代了3.3名工人。

机器人的成本动态是确定其对就业安全影响的关键因素。从历史上看，随着技术创新和制造规模经济的提高，机器人的成本一直在下降。如上所示，自1990年以来，机器人成本已经下降了50%，而同期工资成本有了实质性增长。

以人形机器人的经济学为例。如果一个人形机器人的成本为2万美元-每天工作16小时（考虑到充电时间），每周工作六天（为了进行维护），以美国的最低工资标准7.25美元/小时计算，回本期仅为29周。

机器人的采用对劳动力市场有几方面影响。除了替代性的担忧之外，过去40年将机器人引入各个市场已经倾向于抑制人类工人的工资。随着部署由人工智能驱动的机器人，这种趋势预计将继续，因为数字化通常会对通货紧缩施加压力。

图70。1981年至2019年就业和工资增长在机器人暴露的不同百分位之间的变化



注：将1981年至2019年间每个职业就业份额的DHS变化和每个职业平均全职周工资的DHS变化的散点图进行分箱处理。机器人暴露的百分位排名是根据1981年就业职业结构的就业权重百分位计算的

来源：CEP对LFS、ASHE和Michael Webb（2020年）进行的分析，《2030年经济调查》解决方案基金会

然而，机器人与就业安全之间的关系是复杂的。虽然一些角色可能会被机器人取代，但采用这些技术也可能会创造新的工作机会，如机器人维护技术人员、AI系统培训师和数据分析师，后者可以解读机器人生成的数据。

为了减轻就业岗位流失的影响，迫切需要定向的再培训项目，帮助工人从旧角色过渡到新角色。政府和行业领袖需要共同努力开展培训计划，为工人提供在一个日益自动化的世界中蓬勃发展所需的技能。

例如，欧盟数字技能与就业联盟旨在培训20到2030年，数字技能培训将有数百万人受益

除了从事先前经济不可行的任务外，机器人还有潜力通过承担更加乏味或需要身体劳动的任务，提升工作质量，让人类专注于工作的更加复杂、面向人类或有创造性的方面

积极的措施，如有针对性的再培训计划和支撑性政府政策，可以帮助管理向更加自动化的机器人经济转变的过渡，使工人和社会受益。有关AI对工作影响的更详尽探讨，请参阅我们最近的CGI报告“AI的工作毁灭还是繁荣”以及“机器无法掌握的技能：在AI时代蓬勃发展的技能”

结论

那么，在这份报告的旅程中，我们学到了什么？

1. 快速技术进步，特别是人工智能方面，正在发生并走到一起。
 2. 一些市场正迅速崛起（例如清洁领域），而另一些可能正处于S曲线的低谷（例如自动驾驶汽车）。
 3. 消费者可能会欢迎为他们节省时间的AI机器人从清洁工、司机、男仆、看护人员到个人助理。
 4. 企业很可能会欢迎可以减少人员短缺的AI机器人，特别是随着移民限制加剧和人口老龄化；在大流行后重新调整供应链，以及地缘政治风险加剧；并提供较短的回报期与人力相比。
 5. 按子行业的机器人部署单元预测差异很大，但根据我们的预测，到2050年累计达到41亿。请注意，我们分析了9个主要领域（其中人形机器人又分为7个子市场），但未包括在安全、军事、安全、教育或农业中使用的机器人。

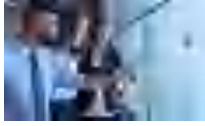
4.1bn by 2050 based on our forecast. Note we analyzed 9 primary areas (with humanoids then broken down into 7 sub-markets) but did not include robots used in security, military, safety, education, or agriculture.
 6. 我们没有分析大多数市场的平均销售价格，因为它们差异很大，但对于人形机器人的分析显示可能达到7亿美元的总地址市场。一些非常大的新市场正在兴起。
 7. 鉴于AI机器人的巨大经济机会，资金正在流入这个领域。这将进一步推动创新、生产和采用。
 7. 考虑到人工智能机器人的巨大经济机遇，资本正在涌入这个领域
 - 8.
 8. 这份报告的副标题 - AI机器人正在接近您 - 是对数据在个性化、实用性、规模经济成本降低和监管批准方面重要性的一种体现。与互联网早期以及数字化业务的赢家通吃经济类似，我们认为争夺成为您的机器人的战斗将由资金雄厚的公司（或国家）领导。
 9. 中国在几个领域领先，例如：工业机器人安装；创新专利；以及价格降低。
 10. 机器人可能成为压低工资和利率的通缩力量。
 11. 尽管许多挑战仍然存在，我们认为这些挑战会因市场而异 - 例如自动驾驶汽车的监管批准或个人数据的使用。仍然存在重大的开放问题，例如在军事环境中的使用或AI对齐。
 12. AI机器人可能会创造新角色（例如维护），增强角色（例如安全机器人）或替代角色（例如出租司机）。我们分析了一对一的替代率，但这还有待讨论。鉴于重大变化即将来临，AI机器人不会等待工人赶上，我们将会指引有远见的读者参阅我们最近的GPS报告“机器无法掌握的技能”。

前方道路通畅 - AI机器人正在接近。

作为我们的首席思想领导产品，花旗全球展望与解决方案（Citi GPS）旨在帮助读者应对21世纪最严峻的挑战和最伟大的机遇。我们汇集了与花旗高级专业人士、学者和企业领袖进行的全球对话中的最佳元素，预见当今快速变化和互连的世界中的主题和趋势。



所有花旗GPS报告均可在我们的网站www.citigroup.com/global/insights/citigps上找到



2030年的财政

现代化还是冒险陷入无关紧要的风险
2024年12月



自然

可持续发展的下一个前沿
2024年11月



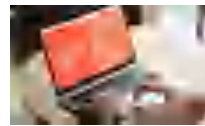
全球贸易不确定政治、政策和供应链重组
2024年11月



肥胖及其后果 GLP-1受体激动剂的意外影响
2024年10月



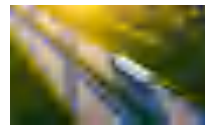
跨境支付24x7更快、更简单、更智能
2024年10月



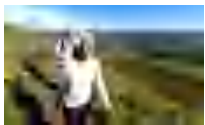
全球赠与慷慨及慈善经济
2024年10月



可持续过渡：
释放财务力量
2024年8月



难以减排行业和排放II走向脱碳化
2024年7月



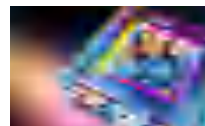
拥抱人口转变
2024年7月



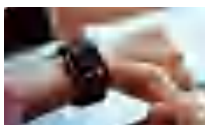
金融中的人工智能
机器人、银行与未来
2024年6月



机器无法掌握的人类技能在人工智能时代中蓬勃发展
2024年5月



颠覆性创新X 十大需要停下来思考的事情
2024年5月



医疗的未来
2024年5月



缩小种族财富差距 重新阐述经济案例
2024年4月



供应链融资 构建韧性
2024年1月



解锁气候和发展金融 创造可贷款项目
2023年12月



[应对这一关键环节的食品、水资源和气候变化解决方案](#) 2023年11月



[亚太经济展望：应对不断变化的动态](#) 2023年11月



[供应链](#)
借助新技术获得的教训 2023年11月



[粮食安全](#)
应对完美风暴的解决方案 2023年11月



[财政领导力是否重要？](#)
2023年11月



[慈善和全球经济v3.0：对未来赠与的展望](#) 2023年10月



[供应链技术改善效率、韧性和透明度](#) 2023年10月



[工作中的技术版本7.0 全球化的第三阶段](#) 2023年10月



[非洲](#)
一个新的增长模式 2023年10月



[付得起的技能](#)
具体回报
技能 2023年10月



[跨境支付的未来 谁将在未来五年内移动250万亿美元？](#)
2023年9月



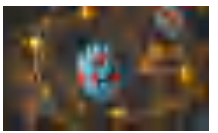
[释放人工智能 人工智能军备竞赛](#) 2023年9月



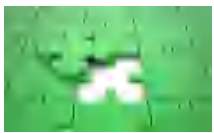
[氢](#)
对氢热潮的现实检验 2 2023年8月



[量子计算 迅速从理论走向现实](#) 2023年7月



[未来低碳环境下的核能发展——分裂与聚变先进反应堆将占主导地位](#) 2023年7月



[自愿碳市场 净零拼图的关键部分](#) 2023年7月



[经济和社会流动性 企业在改善成果中的作用](#) 2 2023年6月



[可持续的海洋经济 绘制繁荣的蓝图](#)
未来：从风险到韧性 2023年6月



[亚洲作为通往未来的时光机，亚洲提供洞察未来的七个领域](#) 2023年5月



[货币、代币和游戏，区块链的下一个十亿用户和价值数十万亿美元](#) 2023年3月

如果您有视力障碍，并希望与花旗代表就本文件中的图形细节进行交流，请致电美国1-888-800-5008（TTY: 711），美国境外请致电+1-210-677-3788

重要披露

本通讯由花旗环球市场编制并通过其当地授权的关联公司进行分发（统称为“公司”）。本通讯不旨在构成适用法规所定义的“研究”，尽管可能包含已包含在研究报告中或可能包含在研究报告中的主题内容。除非另有说明，对研究报告或研究推荐的任何引用均不意味着代表整个报告，并且本身不被视为推荐或研究报告。本文中每位作者发表的观点属于其个人观点，不一定代表其雇主或任何关联实体或其他作者的观点，可能与这些实体的其他人员的观点不同，并可能会发生变化而无需通知。

您应该假定以下情况：公司可能是本通讯中提到的金融工具的发行方，或作为主要交易者交易这些金融工具或其他相关的金融工具。本通讯的作者可能已与公司内的其他人讨论了此处所包含的信息，该作者和其他公司人员可能已根据这些信息采取行动（包括为公司的自营账户交易或将此处所包含的信息传达给公司的其他客户）。公司为这些金融工具的发行方提供或力图提供投资银行业务和其他服务。公司、公司的人员（包括与本通讯准备过程中可能已咨询过的人员）以及公司的其他客户可能对本文所涉及的金融工具持有多头或空头头寸，可能已以不再可用的价格和市场价格条件购买这些头寸，并且可能存在利益与您的利益不同或相反的情况。

此通讯仅供信息和讨论目的而提供。它不构成购买或出售任何金融工具的要约或邀请。本通讯中包含的信息基于公司认为可靠的来源获得的普遍可用信息，尽管其准确性和完整性并不保证。公司的某些人员或部门可能可以访问或已获得可能对本通讯中所含信息产生影响（积极或消极）的具有重大非公开信息，但这些信息并不为此处通讯的作者所知或掌握。公司对用户或第三方关于数据的质量、准确性、及时性、持续可用性或完整性，以及因使用本通讯中的信息导致或与本通讯相关而导致的任何特殊、直接、间接、附带或因果性损失或损害不承担责任，前提是此责任的排除不排除或限制公司根据适用于公司的任何法律或法规的责任。

信息的提供不基于您的个人情况，不应依赖于作为对特定产品或交易的适用性评估。即使我们掌握关于您与任何交易、交易系列或交易策略有关的目标的信息，这也不足以构成对您的任何交易、交易系列或交易策略的适用性的评估。

公司不充当您的顾问、受托人或代理，并不管理您的账户。本资料并不构成投资建议，公司不对所提及的任何产品或交易的适用性作任何推荐。您做出的任何交易或投资决策应基于您自己的分析和判断或您的顾问的分析和判断，而不是依赖于我们。因此，在进行任何交易之前，您应该在没有任何依赖公司的情况下确定该交易的经济风险或优点，以及交易的法律、税收和会计特征和后果，并确保您能够承担这些风险。

以外币计价的金融工具受汇率波动影响，可能对这些产品的价格或价值产生不利影响。金融工具的投资具有重大风险，包括可能损失已投资的本金额。投资者应当征求自己的税务、财务、法律及其他顾问的意见，并仅根据投资者自身的目标、经验和资源做出投资决策。

本通讯并非旨在预测或预示未来事件。过往表现不构成对未来结果的保证或指示。此处提供的任何价格（除历史价格外）仅作参考，不代表价格或规模的确定报价。如对购买或出售任何金融工具或实施本通讯中提及的任何交易策略感兴趣，应直接联系当地代表。本公司不对因使用本通讯中所含信息或据此衍生而导致的任何损失（无论是直接、间接还是附带损失）负责。尽管本公司与花旗银行有关，

尽管本公司与花旗银行（包括其全球子公司和分支机构，“花旗银行”）有所关联，您应当知悉，在本通讯中提及的其他金融工具（除非另有明确说明）既不是（i）得到联邦存款保险公司或任何其他政府机构保险，也不是（ii）花旗银行或任何其他受保护存款机构的存款或其他义务，也没有得到其担保。本通讯包含对本公司专有且受版权和其他知识产权法保护的数据编制、文案和信息，未经许可，您不得将其以任何目的重新分发或传送给他人。

© 2024花旗集团全球市场有限公司。会员SIPC。保留所有权利。Citi和Citi及弧形设计是花旗集团或其关联公司的商标和服务标志，并在全球范围内使用和注册。

