



FROST & SULLIVAN

*60 Years of Growth, Innovation and Leadership*

# 中国深度学习软件框架 市场研究报告（2021）

A Frost & Sullivan  
White Paper

如有疑问引用及商务合作，请联系：  
朱晓雯 [carmen.zhu@frostchina.com](mailto:carmen.zhu@frostchina.com)  
李庆 [livia.li@frostchina.com](mailto:livia.li@frostchina.com)

# 目录

---

## 执行摘要

简介.....	2
关键发现点.....	3

## 章节一 中国深度学习软件框架市场定义分类

深度学习软件框架市场定义与解读.....	5
深度学习软件框架分类.....	6

## 章节二 中国深度学习软件框架市场概览

中国深度学习软件框架发展历程.....	7
中国深度学习软件框架产业链分析.....	8
中国深度学习软件框架市场驱动因素.....	9
中国深度学习软件框架市场趋势洞察.....	14
中国深度学习软件框架市场进入壁垒分析.....	17
中国深度学习软件框架市场关键成功因素分析.....	18

## 章节三 中国深度学习软件框架主要厂商竞争力评价

评价模型及指标体系.....	19
深度学习软件框架厂商竞争格局.....	20
深度学习软件框架厂商介绍.....	22

## 附录

# 执行摘要

## 简介

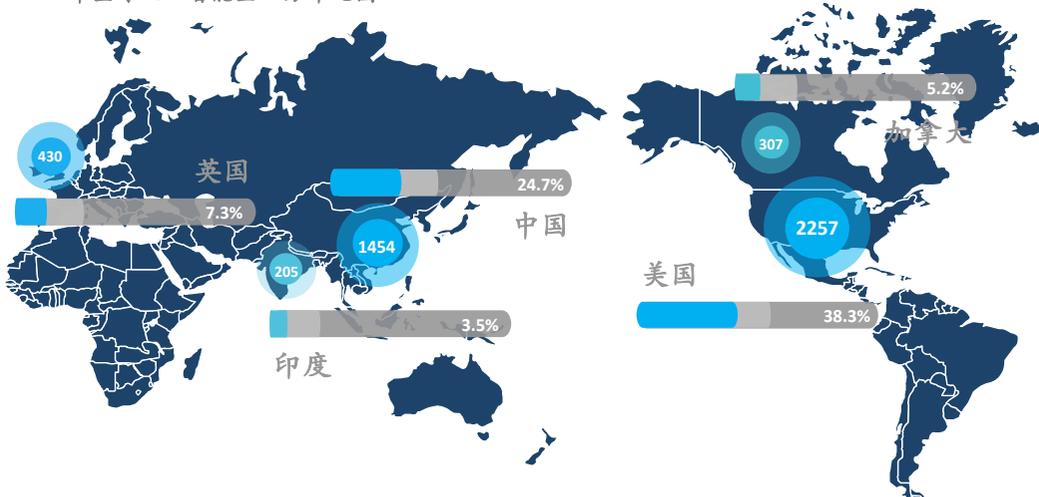
过去十年，是人工智能从实验室走向产业化的十年。AI技术革命掀起的产业浪潮，势不可挡地席卷了全球的各行各业。作为现今最为活跃的创新领域，人工智能在迅速融入细分场景的同时，也在不断地重塑传统行业模式，为经济社会输出独一无二的未来价值。

深度学习是本轮人工智能爆发的关键技术，也是这一时期AI技术的发展主线。计算机视觉和自然语言处理等领域取得的突破性进展，离不开深度学习技术的底层支撑。由于深度学习底层算法的开发具有较高的学术及技术门槛，在其发展早期缺乏底层开发工具的情况下，深度学习技术发展速度较慢，相关应用落地受到制约。而深度学习软件框架则是在此背景下出现的一种底层开发工具，通过对深度学习算法进行模块化封装，解决该技术“落地难”的困境。

当前，深度学习技术已然迈入升级优化阶段，带动相关产业高速蓬勃发展。2020年，深度学习软件框架的技术标志性工具谷歌TensorFlow下载量爆发式增长，仅一个月便超1000万次，占自开源以来下载总量的十分之一。此外，同等算法水平所需计算量每八个月降低一倍，技术成本快速下降使得业内众多平台形态纷纷涌现。

本报告旨在明晰深度学习软件框架的基本概念和分类，通过对行业发展历程及产业链的梳理探究行业核心驱动因素，剖析当下深度学习软件框架行业市场趋势，并基于应用、产品及生态三大关键维度构建厂商竞争力体系，评估主流玩家的核心竞争优势及综合壁垒，形成对中国市场深度学习软件框架发展情况的客观评价，并为行业未来发展提供参照建议与关键启发。

2020年全球人工智能企业分布地图



来源: 中国信通院, 沙利文整理

## 关键发现点

在深度学习技术迭代的过程中，深度学习软件框架行业整体格局将逐步成型。科技巨头生态体系建设叠加中国肥沃的政策和技术土壤，将为业内厂商提供前所未有的发展机遇。本报告将呈现从行业驱动因素洞察未来趋势，再从行业趋势推演竞争格局的逻辑分析过程：

- **驱动因素：**随着上游基础硬件及算法的升级和中游应用技术的成熟，深度学习软件框架行业下一阶段的驱动因素主要包含三个层面。其一，**下游应用场景加速渗透和具体细分场景规模化应用将为行业带来曙光。**从2021年AI领域融资事件来看，自动驾驶、智道。慧医疗和智能语音已经成为热门赛道。其中，自动驾驶具备广阔的发展前景，而百度正处于领跑地位。其二，**头部科技企业加速布局和产业生态体系垂直整合，将为不同厂商提供多元化的战略切入点。**目前，业内已形成算力、框架、平台和服务纵向一体化的共识，从而为云服务企业、AI头部企业及AI芯片巨头提供了多环节的战略布局思路。相关头部AI企业，有望引领本轮生态体系建设。其三，**在全球AI政策环境持续优化的趋势下，中国对人工智能产业的宏观战略规划将为行业提供肥沃的成长土壤。**人工智能已上升为中国的国家战略，《中国制造2025》等一系列政策的出台，将深度助力理论技术转化为落地实践。
- **市场趋势：**在核心驱动因素的催化下，中国深度学习软件框架行业展现出三大主要趋势，并在这个过程中逐步明晰竞争格局。其一，**中国原创技术创新突破加之人工智能政策导向，将推动市场产学研用融合创新共同体的成型。**中国具备全球领先的视觉、自然

语言处理、语音识别等智能任务的工程实现水平，深度学习原创技术创新正处于活跃期。技术突破结合2021年发布的十四五规划，将引导行业形成连通企业、高校、科研院所、政府等创新主体的共同体生态。其二，**全球产业生态雏形逐步显现，**一方面表现为以谷歌TensorFlow和Meta PyTorch为代表的头部企业构建开源的深度学习软件框架生态，试图占据应用接口和硬件适配的双向导权；另一方面展现在不同产业主体凭借自身优势形成的四种小生态模式。其三，**目前主流深度学习软件框架格局逐步清晰，已从百花齐放向几家逐鹿转变。**行业竞争焦点将从模型库转移至易用性和硬件适配优化，高级语言接口与硬件适配优化成为开源框架构筑壁垒的关键。

- **竞争格局：**在竞争格局渐趋明晰的过程中，相关厂商需要跨越技术、人才、资金和品牌四方壁垒，在技术实力、生态规模和功能体验三大成功要素上展开角逐。目前，深度学习软件框架行业的玩家主要包含谷歌TensorFlow、Meta PyTorch、百度飞桨PaddlePaddle、亚马逊MXNet和华为MindSpore，行业未来龙头将大概率从前三者中孕育而出。2016年发布的百度PaddlePaddle是中国首个自主研发、开源开放的产业级深度学习软件框架，已具备成熟的技术积累及生态优势。目前在中国综合市场份额超越PyTorch和TensorFlow，位居第一。根据基于应用、产品和生态能力构建的深度学习软件框架厂商竞争力评价模型，百度飞桨PaddlePaddle综合竞争力领跑行业，其次是Meta的PyTorch和谷歌的TensorFlow，目前三者细分领域项目上各有千秋。

# 章节一 中国深度学习软件框架市场定义分类

## 深度学习软件框架市场定义与解读

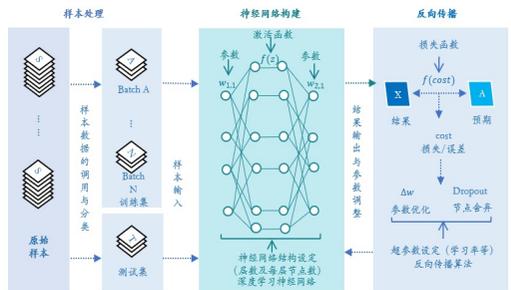
### 关键发现

- 深度学习软件框架是一种通过对算法进行模块化封装，以实现快速搭建深度学习模型的工具。作为一种底层开发工具，它可以有效降低AI应用开发技术门槛，助力深度学习技术突破发展瓶颈。近年来，国际标准化组织国内标准化组织都在研究深度学习软件框架问题。
- 深度学习软件框架可以从承担任务、部署位置和工作流程三个维度进行分类，各个大类的细分类型具有不同的关键技术要求，也为各类厂商提供了多样化的战略切入点。

### 深度学习软件框架定义与解读

深度学习是以人工神经网络为基础，融合数学、计算机科学、神经科学等多种学科，在此基础上对数据及信息进行学习的机器学习算法。深度学习软件框架通过对深度学习算法进行模块化封装，实现各种模型的训练、调优、测试和部署，并通过标准化流程快速搭建深度学习模型。深度学习软件框架的推出大幅降低了人工智能应用开发的门槛，推动人工智能行业应用的广泛普及。近年来，国际标准化组织、国外标准化组织以及中国标准化组织都在研究深度学习软件框架问题。

### 深度学习框架概述



来源：头豹研究院

### 深度学习软件框架相关定义与评论

相关定义/评论	关键词	理解与定义
深度学习软件框架是使用预建和优化的组件来定义的模型以实现对人工智能算法封装、数据调用和计算资源使用的一种工具。这成为全球首个深度学习软件框架领域的国际标准。	基础工具	是深度学习技术的基础工具，具有灵活、易用的特点和广阔的现实应用场景，并处于不断发展之中。
深度学习软件框架大大提高了人工智能的开发效率，是当代人工智能发展的引擎。目前，国内在深度学习软件框架方面的研究尚未拥有独立完成的研究成果，深度学习软件框架研究的标准化、系统化程度仍有待提高。	灵活易用	
深度学习软件框架是集深度学习核心训练和推断框架、基础模型库、端到端开发套件、丰富的工具组件于一体的工具。	应用广泛	
深度学习软件框架是一个完整的生态系统，可以帮助用户使用机器学习解决棘手的现实问题。	持续发展	
深度学习软件框架通过用户友好的前端、分布式训练以及工具和库的生态系统实现快速、灵活的实验和高效生产，并为用户提供易用性和灵活性。		

来源：沙利文咨询

# 深度学习软件框架分类

本报告对深度学习软件框架从承担任务、部署位置、工作流程三个维度进行分类。深度学习软件框架主要承担深度学习的开发、训练和推理三个任务，部署位置有云端、终端两种形式。此外，参考国际标准化组织对深度学习工作流程的分类，本报告按所参与工作流程，将深度学习软件框架分为底层运算、模型搭建、迭代训练和跨界框架四类。

- 按照部署位置划分，可分为云端框架和终端框架两类。云端框架在数据中心完成深度学习，终端框架则可以在手机、摄像头、汽车、智能家居、IoT设备等边缘计算终端设备上运行。

- 按照承担任务划分，可分为训练框架和推理框架两类。前者主要通过数据输入或采取增强学习等非监督学习方法完成深度学习模型训练，后者主要完成训练模型优化、部署和推断计算。前者关注生态建设，后者注重稳定性。
- 按照基本流程划分，可分为底层运算框架、模型搭建框架、迭代训练框架和跨界框架四类。底层运算侧重易用性、性能、底层优化和安全稳定性，模型搭建和迭代训练则关注模型处理和解决问题，跨界框架除满足对其他基本流程的技术要求外，还应满足兼容性、安全性和易用性。

## 深度学习软件框架具体分类

分类	部署位置		承担任务		基本流程			
	云端框架	终端框架	训练框架	推理框架	底层运算框架	模型搭建框架	迭代训练框架	跨界框架
具体类型	云端框架	终端框架	训练框架	推理框架	底层运算框架	模型搭建框架	迭代训练框架	跨界框架
定义	即在数据中心完成深度学习的框架	即可以在手机、安防摄像头、汽车、智能家居设备、各种IoT设备等执行边缘计算的终端设备上运行的框架	主要通过数据输入或采取增强学习等非监督学习方法完成深度学习模型训练	主要完成训练模型的优化、部署和推断计算	专注于深度学习基本开发流程中的底层基本运算环节	提供基本模块，支持深度学习模型创建，但本身不能接触底层运算模块	提供基本模块，支持深度学习模型训练中的流程优化，但本身不能接触底层运算模块	既能让用户接触底层数据模块，又可以提供现成的基本模块以实现快速建模
关键技术要求	算力、安全稳定性	安全稳定性	生态建设、易用性、性能、支持架构	易用性、性能、底层优化、安全稳定性	运算效率、数据精度、算法设计	模型处理、问题解决		除满足对其他基本流程技术要求，还应满足兼容性、安全性、易用性
案例								

来源：国际电信联盟（ITU），国际标准化组织（ISO），沙利文

# 章节二 中国深度学习软件框架市场概览

## 中国深度学习软件框架发展历程

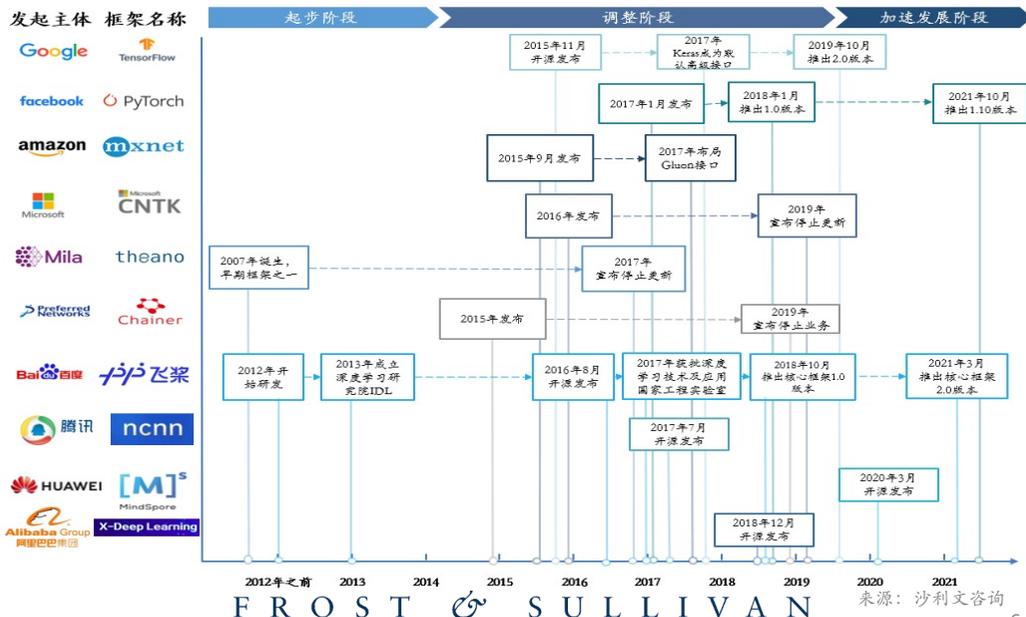
### 关键发现

- 2020年，深度学习软件框架开始迈入加速发展阶段。从产业链角度考察，上游基础运算升级、中游应用技术成熟以及下游应用场景融合，都将为其后续发展深度赋能。下一阶段，场景规模化应用、头部企业生态体系建设和国家战略政策将成为行业的核心驱动因素。
- 中国深度学习软件框架市场在融合技术创新体系的导向下，逐渐形成四类典型小生态模式，并由百花齐放向几家竞争的格局转变。在跨越技术、人才、资金及品牌壁垒的过程中，主要玩家将围绕技术实力、生态规模和功能体验三大成功因素展开角逐。

深度学习软件框架发展历程大致分为起步、调整和加速发展三阶段。自2000年至今，人工智能基础性算法理论研究逐渐趋于成熟，各大厂商纷纷投入到算法的工程实现并发力建设算法模型工具，进一步将其封装为软件框架供开发者使用。2014年开始，全球人工智能学术界及产业界各研发主体陆续开源旗下自主研发的深度学习软件框架，并以框架为主体搭建人工智能开源开放平台，推动人工智能产业生态的建立。

其中，由谷歌团队开发的TensorFlow及由Meta团队开发的PyTorch两款深度学习软件框架占据业界相对主导地位。同时，中国正在快速形成开源框架的系统化布局，百度飞桨PaddlePaddle、腾讯优图NCNN、华为MindSpore、阿里XDL等自研的开源深度学习软件框架加速升级。其中，百度飞桨PaddlePaddle作为中国首个最成熟完备的深度学习开源框架，已广泛应用于智能制造、智能金融、智能医疗等业务场景。

### 主流深度学习软件框架发展历程



## 中国深度学习软件框架产业链分析

深度学习软件框架产业链主要由上游计算硬件、中游框架开发商和下游应用场景构成。上游是深度学习实现的基础，主要指计算硬件（芯片），为深度学习软件框架提供算力支撑。中游是深度学习软件框架的核心，以模拟人的智能相

关特征为出发点，构建应用技术路径，主要包括语音识别、计算机视觉和自然语言处理。下游主要为深度学习软件框架在各细分场景的应用，主要包括制造、安防、金融、医疗、零售、交通、物流、农业等领域。

深度学习软件框架产业链



来源：沙利文咨询

上游基础运算加速升级，赋能深度学习软件框架发展。基础运算作为深度学习软件框架的产业上游，主要为深度学习提供算法以及算力支持。算法方面，深度学习算法的不断演进提升了软件框架的任务处理能力。深度学习算法包含多个层级的数据处理网络，可以根据输入的数据和分类结果不断调整网络参数设置，特征提取和规则构建均由机器完成。算力方面，GPU、ASIC（包括 TPU、NPU 等深度学习专属架构芯片）等各类硬件助力深度学习实现更快迭代，加速软件框架的运算效率，推动其广泛应用。

中游应用技术趋于成熟，行业格局基本

形成。深度学习软件框架在应用层面致力于解决具体类别问题，语音识别、自然语言处理和计算机视觉是三大主要技术方向。

下游行业与应用场景深度融合，赋能行业加速发展。目前，主流深度学习软件框架已逐步应用于各类行业场景中，模拟人类解决实践问题。ResNet、GPT-3 等模型不断提升视觉处理、阅读理解等基础智能任务水平，语音识别、自然语言处理和计算机视觉等感知类任务上的应用技术成就可直接应用于实践产品，带来了广阔产业应用前景。

# 中国深度学习软件框架市场驱动因素

## 关键发现

- 应用技术日渐成熟，促使深度学习软件框架向各类场景渗透，规模化应用将为行业带来潜在增量。从2021年融资事件来看，自动驾驶、智慧医疗和智慧语音已成为其中的热门赛道。
- 随着纵向一体化成为全球头部科技企业的共识，以谷歌、微软、百度为代表的科技巨头开始加速产业布局并垂直整合生态系统，引领行业整体发展。
- 中国已将人工智能上升为国家战略，密集的政策出台将为深度学习软件框架行业提供肥沃的生长土壤，推动相关技术逐步走向落地实践。

## 应用场景逐步明晰，规模化应用已现曙光

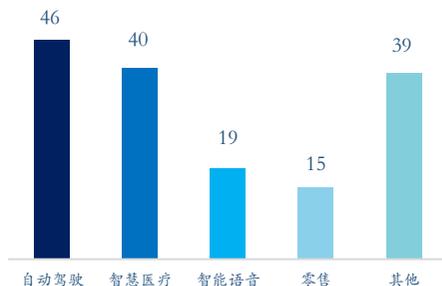


来源：沙利文咨询

深度学习软件框架的应用技术日渐成熟，推动其向各类应用场景加速渗透。语音识别技术主要应用于家居、医疗、金融、教育、交通、汽车、地产等场景，而计算机视觉技术应用场景更为广泛，可应用于零售、库存管理、医疗保健、农业等领域，自然语言处理则主要应用于机器翻译、语音助手、教育等场景。在深度学习软件框架应用的各类场景中，零售、营销等场景产品仍然处于实验室或小规模量产阶段，需进一步深耕；教育、金融、汽车等场景产品基本成熟，开始进入市场，市场认可度快速上升；安防、医疗、制造、农业等场景产品价值已经得到认可，将正式开启规模化应用，企业也将通过产品、服务、解决方案获得相应的营收回报。

根据沙利文统计数据显示，2021年AI领域金额过亿的融资事件共有158笔，其中自动驾驶、智慧医疗和智慧语音融资数明显超过其他领域，成为深度学习软件框架应用的热门领域。

2021年中国企业AI领域金额过亿融资事件数



来源：沙利文咨询

## 中国深度学习软件框架市场驱动因素

### 深度学习软件框架应用场景——交通领域

近年来，深度学习技术在交通领域应用广泛。目前，其在交通领域主要致力于解决三方面痛点：第一，大规模交通数据的处理；第二，符合交通场景和需求的深度学习模型的研发；第三，深度学习模型在实际交通环境中的部署。

深度学习模型在实际交通应用场景中产生了显著的效果，这离不开深度学习软件框架的支撑。当前主流深度学习软件框架基于张量（Tensor）对数据进行操作，可以方便地使用GPU进行计算，大幅提升了数据运算速度，也为高效灵活地处理和利用海量交通数据奠定基础。与此同时，深度学习软件框架还提供了一些灵活的数据处理算子，以便使用者对数据进行处理。随着深度学习技术在交通领域的探索，诞生了一批有效的神

经网络模型，如：ST-ResNet用于城市交通流量的预测，YOLO用于行人检测等。这些模型均使用了一些经典的网络结构，如卷积神经网络（CNN），循环神经网络（RNN）等。

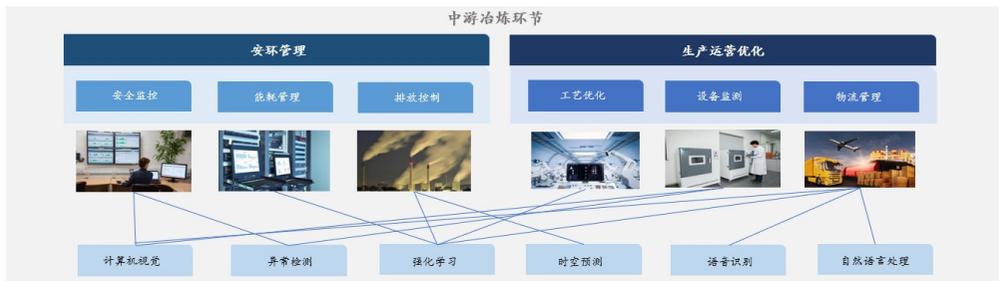
### 深度学习软件框架在交通领域的应用



来源：沙利文咨询

### 深度学习软件框架应用场景——工业制造领域

#### 深度学习软件框架在工业制造领域的应用



来源：沙利文咨询

深度学习软件框架在工业制造领域同样具备价值。以钢铁行业为例，其产业链较短，但制造过程流程长、工序多，而中游冶炼环节则占据核心地位。目前，钢铁行业主要存在安环压力大、生产运

营增效难等痛点问题。深度学习软件框架助力钢铁行业解决痛点需求，形成了安环管理、生产运营优化两大应用模式，及安全监控、能耗管理、排放控制、工艺优化等六大应用场景。

# 中国深度学习软件框架市场驱动因素

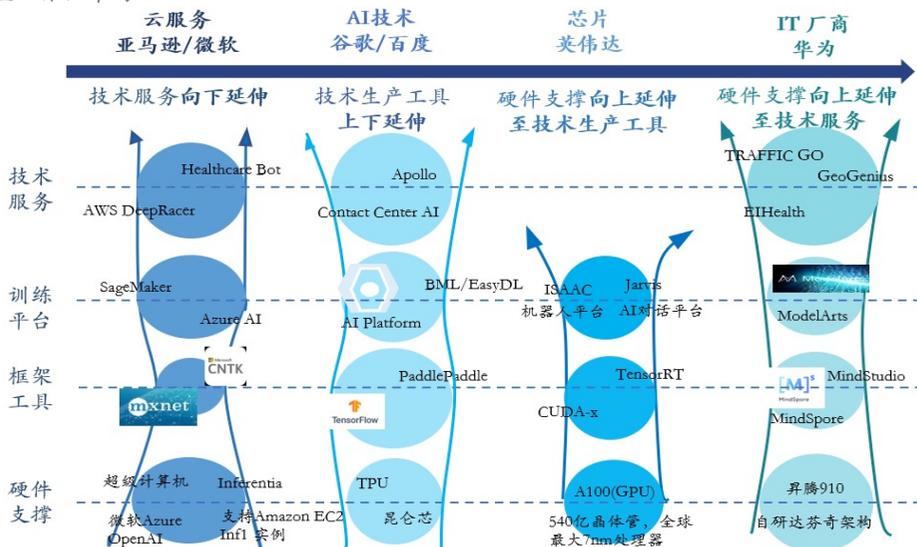
## 头部企业加速布局，产业生态体系逐步完善

近年来，由于深度学习发展所需算力、算法、数据等要素的高位起点以及硬件、软件框架、平台等核心环节间的紧耦合衔接特点，谷歌、微软、百度等头部科技企业加速产业布局，不断完善技术生产工具（深度学习软件框架、数据处理、验证分析、部署监测等完备研发工具链），加速建立全栈智能计算技术体系（形成基础计算理论、芯片、软硬协同、系统协同全栈技术支撑能力），垂直整合生态系统，引领产业整体发展。

算力、软件框架、研发平台、技术服务的纵向一体化几乎成为全球头部科技企业的共识，驱使不同环节具备点状竞争力的科技巨头争相探索行业实际应用需求。目前，产业仍为早期发展阶段，任何一个环节的水平化都尚未完全确立。

### 垂直一体化布局

因此，科技巨头加速从自身优势能力出发，延伸至行业应用的多个中间环节，试图以这种方式准确把握智能时代的需求方向。战略布局模式主要分为三类：一是以亚马逊、微软为代表的云服务企业不断强化其智能服务能力，紧抓面向基础技术服务、研发训练与推断等智能计算需求，布局深度学习软件框架等技术生产工具及底层专用硬件芯片；二是谷歌、百度等AI技术优势显著的AI头部企业基于先进算法和技术优势布局深度学习软件框架，并以此为核心上下延伸，构建智能服务生态体系；三是以英伟达为代表的AI芯片巨头加速提升面向智能任务的芯片性能，积极丰富性能库、编译器软件配套，通过多样化方式壮大开发者社区及产业合作伙伴规模，力图构建软硬协同的产业生态体系。



来源：中国信通院

# 中国深度学习软件框架市场驱动因素

## 上升国家战略地位，政策环境持续优化

中国高度重视人工智能技术进步与行业发展，人工智能已上升为国家战略。政策的密集出台为深度学习软件框架行业发展提供了沃土，助力技术逐渐转化为行业实践。

中国加快AI行业布局与规划，先后出台了《中国制造2025》、《新型数据中心发展三年计划（2021-2023年）》等一系列重要文件。政策着重关注深度学习软件框架基础技术的发展，及其与实体经济（制造、农业、物流等行业）的融合应用。社会各界对人工智能的认识趋于人工智能上升为国家战略

成熟，对人工智能的未来应用场景（如机器人、智能制造）和支撑技术（如深度学习等）给予高度关注。

在2021年3月颁布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划》中，“深度学习框架”被列入“新一代人工智能”领域，成为国家重点支持的前沿创新技术。规划提到，构建深度学习框架等开源算法平台，并在学习推理决策、图像图形、音视频、自然语言识别处理等领域创新与迭代应用。在政策支持之下，行业将迎来蓬勃发展期。

主体	政策名称	政策内容
中国	《国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知》	确定新一代人工智能发展三步走战略，人工智能上升为国家战略
中国	《全国人大常委会2020年度立法工作计划》	重视对人工智能、区块链、基因编辑等新技术新领域相关法律问题的研究，继续推动理论研究工作的常态化、机制化，发挥科研机构、智库等外脑作用，加强与有关方面的交流合作，抓紧形成高质量的研究成果
中国	《国家创新驱动发展战略纲要》	加强类人智能、自然交互与虚拟现实等技术研究，推动宽带移动互联网、云计算、物联网、大数据、高性能计算、移动智能终端等技术研发和综合应用
中国	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划纲要》	培育壮大人工智能、大数据等新兴数字产业，“推动通用化和行业性人工智能开放平台建设。在战略性的基础核心领域，规划重点提及了人工智能、量子信息、集成电路、生命健康、脑科学等八大前沿领域。这些被重点强调的领域或能够在“十四五”期间获得更多资金、政策、人才等多方面的支持
中国	《国务院关于积极推行“互联网+”行动的指导意见》	加快人工智能核心技术突破，促进人工智能在智能家居、智能终端、智能汽车、机器人等领域的推广应用，培育若干引领全球人工智能发展的骨干企业和创新团队，形成创新活跃、开放合作、协同发展的产业生态
中国	《中国制造2025》	把智能制造作为两化深度融合的主攻方向；着力发展智能装备和智能产品，推进生产过程智能化，全面提升企业研发、生产、管理和服务的智能化水平
中国	《国家新一代人工智能标准体系建设指南》	到2021年，明确人工智能标准化顶层设计，完成关键通用技术、关键领域技术、伦理等20项以上重点标准的预研工作。到2023年，初步建立人工智能标准体系，重点研制数据、算法、系统、服务等重点急需标准，并率先在制造、交通、金融、安防、家居、养老、环保、教育、医疗健康、司法等重点行业和领域进行推进
中国	《新型数据中心发展三年计划（2021-2023年）》	推动新型数据中心与人工智能等技术协同发展，构建完善新型智能算力生态体系
中国	《新一代人工智能伦理规范》	旨在将伦理道德融入人工智能全生命周期，为从事人工智能相关活动的自然人、法人和其他相关机构等提供伦理指引
中国	《新一代人工智能发展规划》	到2025年，人工智能基础理论实现重大突破，部分技术与应用达到世界领先水平，人工智能成为带动我国产业升级和经济转型的主要动力，智能社会建设取得进展
中国	《“十三五”国家科技创新规划》	发展先进技术，重点加强云计算、智能计算等技术研发及应用。重点发展大数据驱动的类人智能技术方法；在基于大数据分析的类人智能方向取得重要突破，实现类人视觉、类人听觉、类人语言处理和类人思维，产智能产品的发展
中国	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	加快信息网络新技术开发应用，重点突破大数据和云计算关键技术、自主可控操作系统、高端工业和大型管理软件、新兴领域人工智能技术

# 中国深度学习软件框架市场趋势洞察

## 原创技术创新突破，打造融合创新共同体

中国专利申请总量于全球总量的占比 中美专利申请总量比较



中国深度学习原创技术创新正处于前所未有的活跃期。从全球专利分布来看，中国人工智能领域专利申请量占全球总量的39%，排名第一；美国占比25%，排名第二；日本、韩国依次分别占比10%和9%。由此可见，全球83%的人工智能专利申请集中在中美日韩4个国家。截止2021年9月，中国人工智能领域申请专利共计909401件，授权专利253811件。其中，2021年，百度深度学习专利申请量排名全球第一。截至2022年4月，百度全球人工智能专利申请超过2.2万件。同时，中国视觉、语音等智能任务全球比赛的参与度和入榜率极高，多次在对话式问答、阅读理解、人脸识别等全球比赛中刷新智能任务的SOTA13模型准

中国人工智能投资额与投资笔数 (亿元) 中国人工智能投融资及以前比例 (2021)

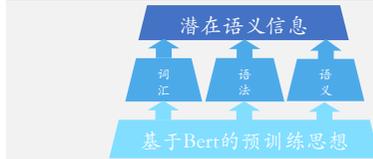


中国人工智能投资方向 (2021)



来源：桔子

百度的ERNIE模型



确率。中国发起的全球性比赛规模不断扩大，iFLYTEK A.I.开发者大赛2020年参与团队达9000余支。2021年，百度飞桨AI Studio人工智能学习与实训社区用户量已经突破100万。

中国视觉、语音、自然语言处理等基础智能任务的工程实现水平全球领先，算法模型的二次创新优化能力也非常突出。中国人工智能算法技术的发展着重于对业内主流算法模型的吸收改造与产业化应用，一方面，中国拥有一批追求算法技术极致优化的人工智能企业，如百度推出的ERNIE大模型支持词汇、语法、语义三个层次的预训练任务，可获得更多的潜在语义信息，在中文任务上已超越Bert模型水平。另一方面，中国在视觉、语音、自然语言处理等多类基础任务的全球比赛中名列前茅已成常态。人工智能领域的比赛加速升级，从粗粒度图像识别、目标检测等较为简单的任务向人体识别、推断理解等复杂任务转变。

随着上述技术在未来不断实现创新突破，结合近年国家对AI行业的规划布局引导，深度学习技术融合创新生态系统将逐渐形成。2021年发布的十四五规划中提出形成以企业为主体、市场为导向的产学研用深度融合技术创新体系，引导创新生态体系升级为连通企业、高校、科研院所、政府等创新主体的共同体生态。

# 中国深度学习软件框架市场趋势洞察

## 生态体系雏形渐显，多种小生态同步形成

当前，全球人工智能产业生态雏形渐显，中国的AI生态亦随之稳健发展。从产业链全局角度看，深度学习软件框架是芯片、应用开发等多个主体集聚的环节，伴随时间积累，将具有很强的不可替代性和制约性。目前，谷歌、Meta等人工智能全球头部企业围绕深度学习软件框架构建的核心生态已初步形成。聚焦国内，百度则于2021年7月建立了国内首个飞桨人工智能产业赋能中心。该中心将充分发挥辐射带动作用，在产业赋能、人才培养和生态共建等方面展开工作。同时，飞桨将在不同区域进行产业赋能，聚焦当地产业集群发展重点，深度赋能企业智能化升级。

从产业主体角度看，人工智能产业既对信息产业自身的产品形态、运行模式产生很大变革，同时影响传统行业生产运营方式和运行效率。因此，产业参与主体几乎涵盖全信息产业以及传统行业企业，云计算、芯片、ICT设备、互联网、智能技术服务、垂直行业AI企业和传统行业企业等多主体正在围绕自身优势不断摸索产业生态模式。

### 产业主体形成四小生态模式



来源：沙利文咨询



来源：沙利文咨询

一方面，头部企业将构建开源的深度学习软件框架生态，试图形成应用接口和硬件适配的双向主导权。首先，TensorFlow、PyTorch等开发框架将不断完善其高级语言接口，推动业内大量的算法模型和智能应用基于其高级语言接口进行研发。由于转换框架会影响模型性能并增加研发成本，长此以往将形成深度绑定。此外，框架市场份额领先的AI头部企业正在依托框架与智能芯片适配构建标准化硬件接口，有望进一步增强其对智能芯片的话语权。另一方面，产业主体将以自身优势切入，初步形成四种小生态模式（见下图）。

## 中国深度学习软件框架市场趋势洞察

### 格局逐步清晰，从百花齐放向几家逐鹿转变

目前主流深度学习软件框架格局逐步清晰，已从百花齐放向几家逐鹿转变。微软CNTK、日本初创企业首选网络（preferred networks）Chainer、加拿大蒙特利尔大学主导的Theano等早期热点框架已通过与主流框架合并或直接停止更新的方式退出历史舞台。谷歌开发的TensorFlow依托工业界的部署优势持续位于第一，Meta的PyTorch（合并Caffe2）凭借其易用性迅速突起，在各大顶级学术会议论文中占比超过50%，百度推出中国首个开源框架飞桨PaddlePaddle兼具效率与灵活性，有赶超势头。各平台在稳定性、调试难度、执行速度、内存占用等方面各有所长。“开源+巨头支持”是目前市面上深度学习软件框架的主流模式，主流框架普遍由行业头部企业介入并主导内部应用和搭建。

深度学习软件框架竞争焦点已从模型库

转移至易用性和硬件适配优化。高级语言接口与硬件适配优化成为开源框架构筑壁垒的关键。一方面，高级语言接口封装后端框架中关键的模型构建、训练等功能，降低研发门槛。目前，三大主流框架加速绑定或构建高级语言接口，已出现合作圈地现象。TensorFlow与Keras形成排他性合作，提升框架易用竞争力，与近期以易用性为优势快速提升地位的PyTorch抗衡；MXNet与Gluon联合，由亚马逊与微软共同维护；PyTorch以Torch和Caffe2作为后端框架，内部先天构筑高级语言接口；百度飞桨PaddlePaddle则具备“动静统一”的编程模式，兼顾灵活性和效率。另一方面，硬件适配优化试图解决多样硬件编译工具导致的适配复杂和性能参差不齐问题，统一编译工具与编译语言成为主流开源开发框架的布局重点。目前，谷歌、脸书加速构建统一的编译语言（IR），试图引导硬件厂商主动适配，获取框架适配的话语权。

百花齐放



几家逐鹿

开源开放框架主导权

TensorFlow

PyTorch

合并或停更

微软  
CNTK

日本初创企业首选网络  
Chainer

蒙特利尔大学  
Theano

国产框架加速升级

百度飞桨  
PaddlePaddle

华为  
MindSpore

旷视  
MegEngine

清华大学  
Jittor

竞争焦点



高级语言接口易用性

目前，三大主流框架加速绑定或构建高级语言接口，已出现合作圈地现象。TensorFlow与Keras形成排他性合作，MXNet与Gluon联合，PyTorch与Torch和Caffe2内部先天构筑高级语言接口，百度飞桨PaddlePaddle则具备“动静统一”的编程模式。

硬件适配优化

硬件适配优化试图解决多样硬件编译工具导致的适配复杂和性能参差不齐问题，统一编译工具与编译语言成为主流开源开发框架的布局重点。目前，谷歌、脸书加速构建统一的编译语言（IR），试图引导硬件厂商主动适配，获取框架适配的话语权。

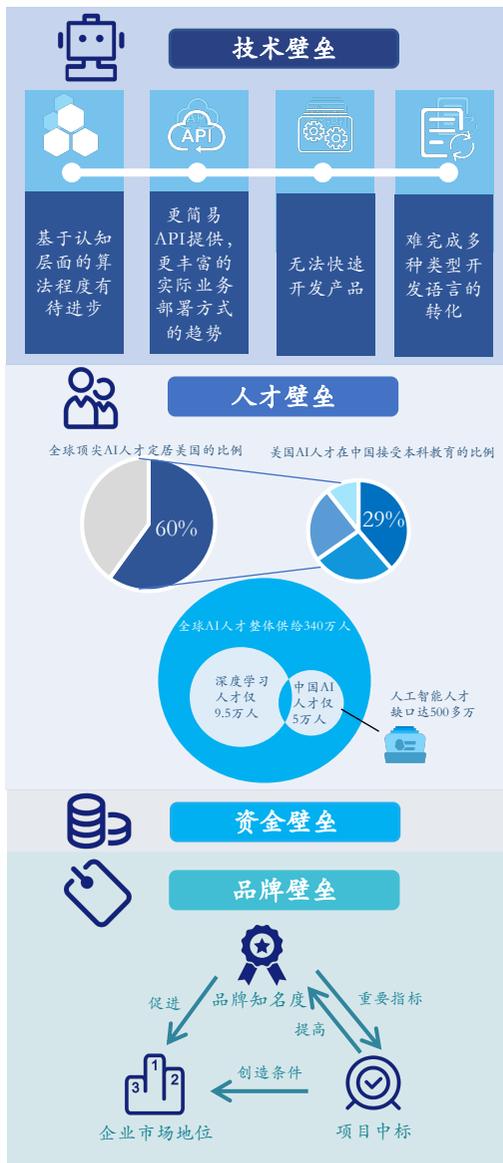
## 中国深度学习软件框架市场进入壁垒分析

**技术壁垒：**作为深度学习实现的核心，算法将成为未来中国行业最大的竞争门槛。未来，监督学习、非监督学习和强化学习三个人工智能重点范畴的算法竞争将进入白热化阶段。就目前中国人工智能算法总体发展而言，感知层算法虽已获得阶段性突破，但基于认知层面的算法程度还待进步，这也是将来竞争的核心范畴。此外，由于在人工智能技术及计算机基础技术方面积累不足，传统企业不仅会在实际使用深度学习软件框架进行深度学习模型训练及应用开发时陷入无法快速开发产品的困境，同时也很难完成多种类型开发语言转化。因此图形化开发需求，更简易的API提供，更丰富的实际业务部署方式将是未来趋势。

**人才壁垒：**人工智能深度学习领域的人才需求日益增长与人才稀缺的矛盾成为制约当前中国深度学习软件框架行业快速发展的瓶颈之一。截至2020年底，全球顶尖AI人才近60%定居美国，其中在中国接受本科教育的人才占比最高，达到29%。此外，全球AI人才整体供给在340万人左右，其中深度学习人才仅9.5万人且流动性较大，进一步加大缺口。

**资金壁垒：**深度学习软件框架的前期投入、后期持续投入及行业特性等因素决定企业资金需求较高从而构成资金壁垒。

**品牌壁垒：**招标过程中，企业品牌是招标方专家组考察企业实力的重要指标，具有较高品牌知名度的企业往往借助品牌优势占据较为有利的地位。同时，重大项目中标又进一步提升了企业的知名度，为企业开拓市场创造有利条件。



# 中国深度学习软件框架市场关键成功因素分析

## 关键发现

- 制胜中国深度学习软件框架市场关键因素有三，即技术实力、生态规模和功能体验。市场需求通过技术实力以满足，可反映为厂商的产品能力；硬件算力、社区教育生态则是底层支撑，主要体现为企业的生态能力；功能体验则决定用户粘性，可呈现为厂商的应用能力。
- 在竞争格局渐趋明晰的过程中，相关厂商将在三大成功要素上展开激烈角逐。其中，百度飞桨PaddlePaddle不仅具备深厚的技术积累，在产业实践落地层面亦拥有极强的竞争优势。



### 产品能力：技术实力



#### 安全问题

数据的安全使用  
第三方数据安全保密处理



#### 资源共享

保证已有的开源技术进行封装后  
实现资源共享



#### 运算效率

运算效率、分布式训练线性加速  
比表现要求高



#### 定制化

应用在工业领域定制化要求高  
使框架供后续批量使用的情况提供支持



### 生态能力：生态规模



#### 硬件生态

能为深度学习软件框架提供规模化  
算力支持的中国企业有限，整体  
在硬件设施方面准备不足



#### 教育社区

良好的教育、社区生态培育，将  
使深度学习软件框架被更加广泛  
和频繁的使用



### 应用能力：功能体验



产业的友好度



框架的用户粘性



无停机更新  
模型间无缝切换  
可预测时间的批处理

形成行业惯性



以工程师为主导

已创建超过  
47.6万个模型



对实际问题的解决方案实践落地



飞行器森林巡检方案

200倍



巡检范围



落地东南亚155个森林公安局



CT影像分析AI模型

病灶识别精准度达到92%



OPPO的OS推荐系统

训练速度提升8倍

# 章节三 中国深度学习软件框架主要厂商竞争力评价

## 评价模型及指标体系

### 三方维度诠释主要厂商综合竞争力

- 应用能力：**中国深度学习软件框架厂商市场应用覆盖范围越广，市场份额越大，体现企业具备更强和更完善的能力去满足不同客户的定制需求。此外，深度学习软件框架的应用行业数量越多，细分应用场景数量越多，则证明企业覆盖的行业应用、场景应用更广泛。基于深度学习软件框架的产品数量越多，针对不同场景的解决方案数量越多，则证明该厂商在企业应用深度方面远超于其他厂商，其产品拥有更好的兼容和适应性，进而能为用户提供稳定且更有保障的使用体验。
- 产品能力：**主要从深度学习框架功能完备性、产业级模型库丰富度、深度学习工具链及企业级平台、服务质量等多个维度衡量中国深度学习软件框架厂商的产品能力。
- 生态能力：**主要从社区生态繁荣度、教育生态繁荣度、硬件生态繁荣度这三个维度来评价深度学习软件框架的生态能力。生态能力越强，则证明深度学习软件框架被更加广泛和频繁地使用，其生态合作、产业协作能力越强。

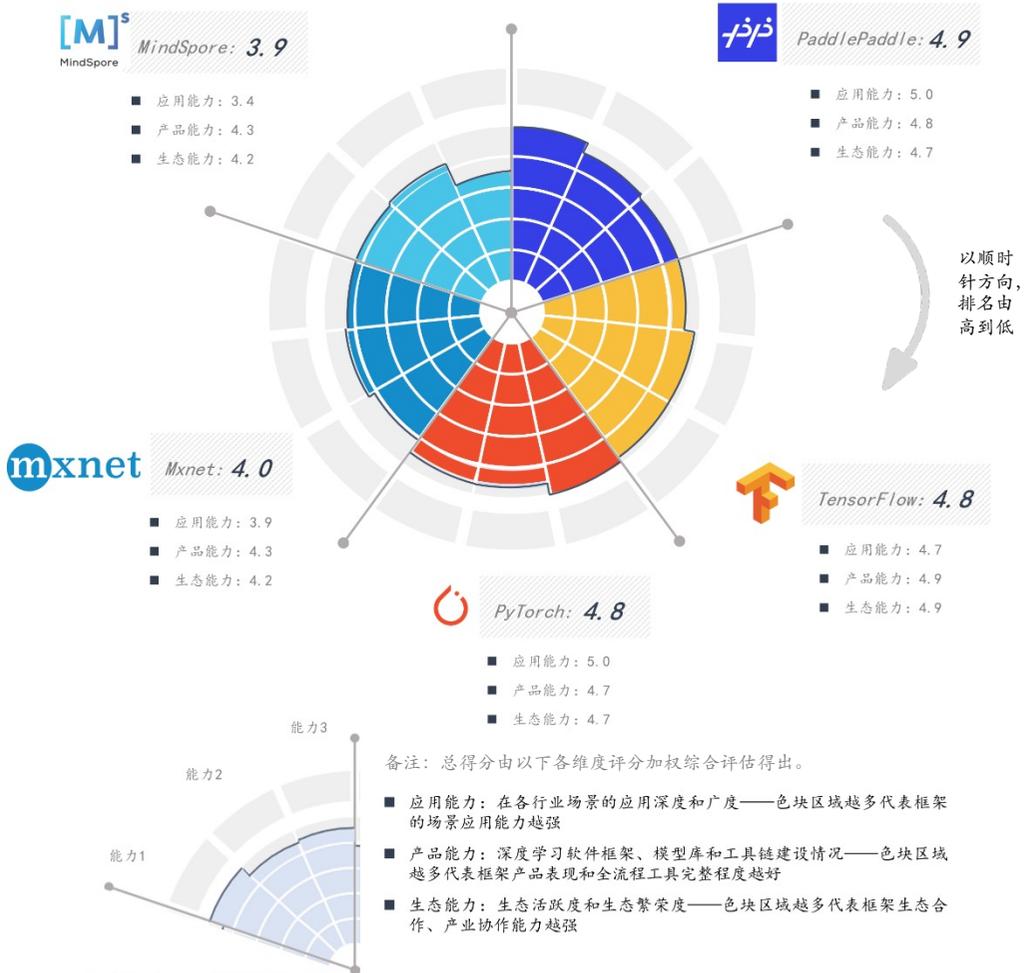
一级指标	二级指标		权重
应用能力 (40%)	中国企业市场应用覆盖		20%
	行业应用广度		40%
	企业应用深度		40%
产品能力 (25%)	深度学习框架	功能完备性	20%
		技术前瞻性	
		使用效率	
		运算效率	
		兼容性	
	产业级模型库	模型库丰富度	30%
		算法配套工具链的完善度	
深度学习工具链及企业级平台	工具产品形态的丰富度	20%	
	企业落地成本和全流程落地体验		
	服务质量		30%
生态能力 (35%)	社区生态繁荣度		20%
	教育生态繁荣度		40%
	硬件生态繁荣度		40%

# 深度学习软件框架厂商竞争格局

## 关键发现

- 本报告根据评价深度学习软件框架在应用、产品、生态能力三个维度的综合表现，对比主流深度学习软件框架厂商的综合竞争力。报告结果得出：深度学习软件框架厂商中百度竞争力综合排名第一，在应用能力、技术能力和生态能力层面均具备显著优势。

## 厂商竞争力评价模型结果



## 深度学习软件框架厂商介绍

### 飞桨PaddlePaddle：百度产业级深度学习开源开放平台

百度飞桨是中国首个自主研发、功能丰富、开源开放的产业级深度学习软件框架，核心技术积累深厚。2016年8月百度开源了深度学习框架PaddlePaddle，并于2019年正式中文命名为“飞桨”。截至2021年，飞桨平台已拥有406万开发者，服务15.7万企事业单位，创建模型达47.6万个。百度飞桨产业级深度学习开源开放平台

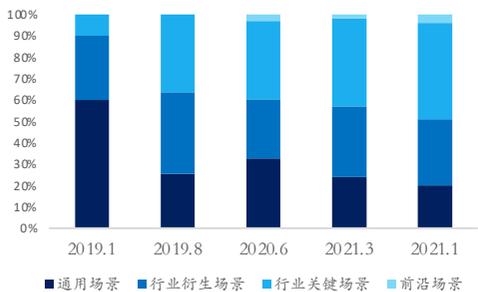
市场份额方面，百度飞桨在中国综合市场份额已超越TensorFlow和PyTorch，位居中国深度学习市场第一。飞桨较为注重深度学习技术的产业应用能力，不仅在业内率先实现了动静统一的框架设计，而且在保证开发灵活性的同时，更加适配产业应用场景，从实际产业需求出发形成了一套满足产业级业务需求的深度学习开源平台。

工具组件	AuroDL 自动化深度学习	PARL 强化学习	PALM 多任务学习	PaddleFL 联邦学习	PGL 图神经网络	Paddle Quantum 量子机器学习	PaddleHelix 生物计算	AI Studio 学习与实训 社区			
	PaddleHub 预训练模型 应用工具		PaddleX 全流程开发工具		VisualDL 可视化分析工具		PaddleCloud云上任务提交工具				
端到端 开发套件	ERINEKit 语义理解	PaddleClas 图像分类	PaddleDetection 目标检测	PaddleSeg 图像分割	PaddleOCR 文字识别	PaddleGAN 生成对抗网络	PLSC海量 类别分类		ElasticCTR 点击率预估	Parakeet 语音合成	
基础模型库	PaddleNLP		PaddleCV		PaddleRec		PaddleSpeech		文心大模型		
核心 框架	开发		训练		推理部署						
	动态图	静态图	大规模分布式训练		产业级数据处理	PaddleSim	Paddle Inference		Paddle Serving	Paddle Lite	Paddle.js

来源：百度官网

过去几年来，百度飞桨官方发布的产业级开源算法模型已经超过了400个，并发布13个精度与性能平衡的产业级PP系列模型，覆盖工业、农业、交通、科学计算等20多个行业领域。近年来，凭借深厚的工业基因，飞桨在行业关键和前沿场景的渗透率不断提升。

百度飞桨行业各场景渗透率



来源：百度AICA培养计划

飞桨在中国市场上芯片适配数量稳居一位，形成软硬协同优势。飞桨与英特尔、英伟达、海光、飞腾等在内的25家国内外硬件厂商，完成了超过30种芯片或IP的适配和优化。作为英伟达支持的三大框架之一，飞桨是英伟达唯一深度适配的中国框架。

百度飞桨适配芯片

规格		适配硬件						
CPU		Intel	龙芯	申威	飞腾	华为	海光	兆芯
深度学习 训练 芯片	数据中心	NVIDIA	昆仑芯	海光	华为	Graphcore	寒武纪	天数智芯
	深度学习 推理 芯片/IP 厂商	ARM	高通	华为	苹果	Imagination	芯原	
FPGA	边缘 计算	Intel	XILINX					

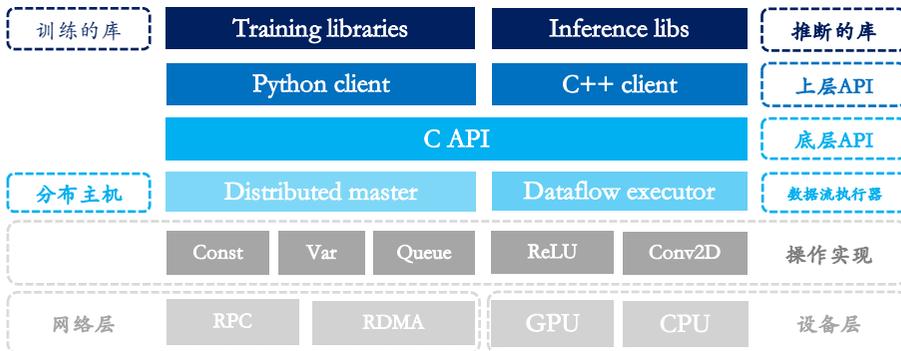
来源：百度官网

## 深度学习软件框架厂商介绍

### TensorFlow：谷歌全面生态系统

谷歌大脑自2011年成立起开展了面向科学研究和谷歌产品开发的大规模深度学习应用研究，其早期工作即是TensorFlow的前身DistBelief。它在研究和商业应用中的不同Alphabet公司中的使用迅速增长。2015年11月，在DistBelief的基础上，谷歌大脑完成了对“第二代机器学习系统”TensorFlow的开发并对代码开源。相比于前作，TensorFlow在性能上TensorFlow系统架构

有显著改进、构架灵活性和可移植性也得到增强。TensorFlow主要用于进行机器学习和深度神经网络研究，同时也可以应用于众多领域。由于谷歌在深度学习领域的巨大影响力和强大的推广能力，TensorFlow一经推出就获得了极大的关注。此后TensorFlow快速发展，截至稳定API版本2.0，已拥有包含各类开发和研究项目的完整生态系统。



来源：谷歌官网

### TensorFlow模型构造和执行流程



来源：谷歌官网

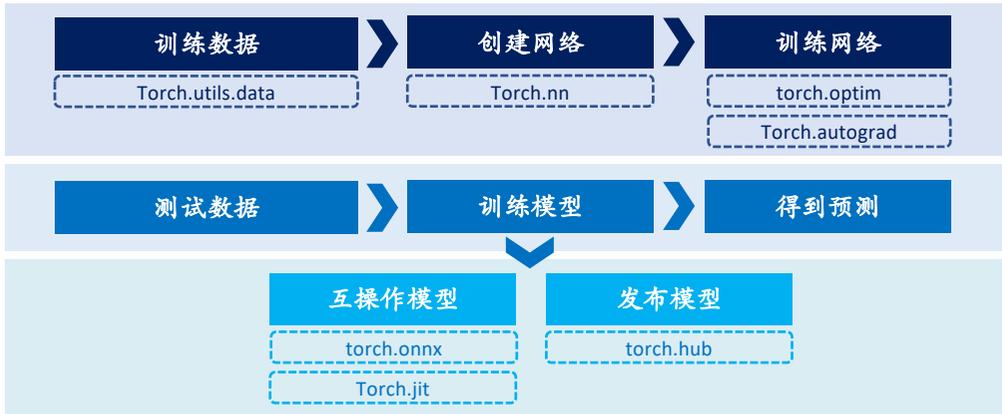
## 深度学习软件框架厂商介绍

### PyTorch : Meta Python机器学习库

PyTorch是Meta开发的用于训练神经网络的开源Python机器学习库，也是Meta倾力打造的首选深度学习软件框架。2017年1月首次推出，Meta人工智能研究院（FAIR）在GitHub上开源了PyTorch，迅速占领了GitHub热度榜首。Meta用Python重写了基于Lua语言的深度学习库Torch，PyTorch不是简单的封装Torch提供Python接口，而是对Tensor上的全部模块进行了重构，新增了自动求导系统，使其成为最流行的动态图框架，这使得PyTorch对于开发人员更为原生，与

TensorFlow相比也更加年轻活力，PyTorch继承了Torch灵活、动态的编程环境和用户友好界面，支持以快速和灵活的方式构建动态神经网络，还允许在训练过程中快速更改代码而不妨碍其性能，即支持动态图形等尖端AI模型的能力，是快速实验的理想选择。PyTorch专注于快速原型设计和研究的灵活性，很快就成为AI研究人员的热门选择，流程度增长十分迅猛。自2017年开源以来，陆续推出了Tensor与Numpy互转、支持Windows系统、ONNX转换、支持Tensorboard、分布式训练等功能。

PyTorch工作及关联模块



来源：Meta官网

### PyTorch库深度学习流程



来源：Meta官网

## 深度学习软件框架厂商介绍

### MindSpore: 华为全场景AI计算框架

MindSpore是华为于2020年推出的一种全新的深度学习计算框架，旨在实现易开发、高效执行、全场景覆盖三大目标。为了实现易开发的目标，MindSpore采用基于源码转换（SCT）的自动微分（AD）机制，该机制可以用控制流表示复杂的组合。函数被转换成函数中间表达（IR），中间表达构造出一个能够在不同设备上解析和执行的计算图。在执行前，计算图上应用了多种软硬件协同优化技术，以提升端、边、云等不同场景下的性能和效率。由于采用了基于源码转换的自动微分机制，所以动态图和静态图之间的模式切换非常简单。为了在大型数据集上有效训练大模型，通过高级手动配置策略，MindSpore可以支持数据并行、模型并行和混合并行训练，

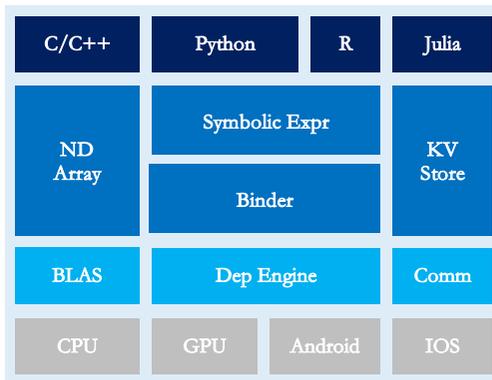
### MindSpore全场景深度学习框架



来源：华为官网

具有很强的灵活性。此外，MindSpore还有“自动并行”能力，可实现快速并行策略。

### Mxnet系统框架



来源：亚马逊官网

### MXNet: 亚马逊轻量级深度学习库

MXNet是亚马逊选择的轻量级深度学习库。它拥有类似于Theano和TensorFlow的数据流图，为多GPU配置提供了良好的配置，有着类似于Lasagne和Blocks更高级别的模型构建块，并且可以在你可以想象的任何硬件上运行。对Python的支持只是其冰山一角—MXNet同样提供了对R、Julia、C++、Scala、Matlab和Java的接口。

MXNet是一个旨在提高效率 and 灵活性的深度学习框架。像MXNet这样的加速库提供了强大的工具来帮助开发人员利用GPU和云计算的全部功能。虽然这些工具通常适用于任何数学计算，但MXNet特别强调加速大规模深度神经网络的开发和部署，并集成了Gluon接口。其优势在于具有兼容性、扩展性以及移植性最强、支持混合编程和多种编程语言接口、支持生成对抗网络（GAN）模型。

# 附录

## 名词解释

ITU	<p><b>国际电信联盟：</b>国际电信联盟是联合国负责信息通信技术（ICT）事务的专门机构，旨在促进国际上通信网络的互联互通并制定技术标准以确保实现网络和技术无缝互连。ITU从2016年开始开展人工智能标准化研究，目前是国际人工智能标准化领域的权威机构。</p>
ISO	<p><b>国际标准化组织：</b>国际标准化组织的主要活动是制定国际标准，协调世界范围的标准化工作，以及与其他国际组织进行合作，共同研究有关标准化问题。ISO主要在工业机器人、智能金融、智能驾驶方面等开展了人工智能标准化研究，是国际标准化领域中一个十分重要的组织。</p>
GPU	<p><b>Graphics Processing Unit：</b>GPU是图形处理器，又称显示核心、视觉处理器、显示芯片，是一种专门在个人电脑、工作站、游戏机和一些移动设备（如平板电脑、智能手机等）上做图像和图形相关运算工作的微处理器。GPU使显卡减少了对CPU的依赖，能很好地解决电影级图像质量需要解决的透明性、高质量反走样、运动模糊、景深和微多边形染色等问题。</p>
ASIC	<p><b>Application-Specific Integrated Circuit：</b>ASIC是专用集成电路，是针对特定用户要求和特定电子系统设计、制造的专有应用程序芯片，其计算能力和计算效率可根据算法需要进行定制。ASIC芯片广泛应用于人工智能设备、虚拟货币挖矿设备、军事国防设备等智慧终端。</p>
IoT	<p><b>物联网：</b>物联网是指互联网的延伸，其终端是嵌入式计算机系统及其配套的传感器，硬件或产品连上网所发生的数据交互称为物联网。</p>

附注：感谢百度对本报告提供的相关数据资源支持