探寻 AI 创新之路

游戏科技与人工智能创新发展报告

EXPLORING THE PATH OF AI INNOVATION: REPORT ON THE INNOVATIVE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE DRIVEN BY GAME TECHNOLOGY

中国科学院虚拟经济与数据科学研究中心
中国科学院大数据挖掘与知识管理重点实验室

摘要

游戏科技与科学探索成为推动人工智能发展的双螺旋结构

随着 AlphaGo 战胜人类围棋冠军，OpenAI 推出 ChatGPT 大模型，人工智能正在成为 21 世纪对人类社会影响最为深远的科技领域之一。科学探索、游戏科技、产业需求是驱动人工智能突破性发展的重要动力，其中游戏科技是较为活跃的一个因素。报告提出游戏科技就是 21 世纪先进的数字科技全面作用于游戏产业所形成的科学、技术与人文综合生态。具体来讲，游戏科技是生发于游戏产业，伴随着游戏产业的发展而逐步完善的一种新技术集群，对人类休闲娱乐、教育学习、产业创新、文化传播、科学探索等需求产生越来越多的支持，在不断地与计算机、互联网和数字科技结合的过程中，不断构建的人类游戏相关理论、技术、伦理和文化的综合生态。

报告系统分析了游戏科技驱动人工智能创新发展的根源、历程和未来趋势。报告提出科学与游戏有着密切的关系，在科学的诞生和发展过程中，许多科学家正是在把科学当作一种高级游戏的过程中揭示了大自然的奥秘和真理，因此游戏是促进科学探索的重要动力就成为这部报告研究的理论基础。

人工智能是计算机学科的一个分支，具有很强的科学探索属性，基于计算机这个公约数，游戏科技成为促进人工智能发展的重要动力，本质上是游戏促进科学的延伸和范例。70 多年来，游戏科技与科学探索形成“双螺旋结构”，共同推动了人工智能的发展。

作为实证，报告对人工智能的起源和诞生、深蓝超级计算机战胜国际象棋世界冠军、AlphaGo 系统战胜围棋世界冠军、OpenAI 推出大模型工具 ChatGPT 等四个里程碑事件进行了深入分析，并提出其背后游戏科技起到的重要推动作用。

据研究组合作团队测算，游戏产业规模每增长 1%，人工智能上市企业的合计营业收入大约平均增加 1.42 亿元。未来，游戏产业对于人工智能产业的拉动规模持续增加，预计将从 2023 年的 315.76 亿元上升至 2030 年的 1038.1 亿元，年均增长率约达 16%。

人工智能已成为世界科技创新的主要领域，微软、DeepMind、腾讯、索尼、谷歌、OpenAI 等一大批 IT 界头部科技公司为了增强竞争力，也持续加大了游戏科技与人工智能的融合力度，在科学、工业、农业、金融、医疗、文旅、智慧城市等领域陆续产生诸多成果。随着游戏科技对人工智能的促进作用被各国关注和重视，世界多国陆续推出了促进游戏科技发展的相关政策。研究发现，游戏市场发达的国家往往也是人工智能创新能力强大的国家。

通过对游戏科技驱动人工智能发展的历程、规律、案例、产业、国际竞争等方面的深入研究，本报告旨在为政府部门、产业界、学术界和公众等各方更好地认识和应用游戏科技提供有益参考，为更好地通过游戏科技促进人工智能创新发展提供借鉴启发。同时，在当前我国大力提倡基础理论科学创新的背景下，关于如何理解科学的本质，用什么方式开展科学研究、科学探索等重要问题，本报告试图在游戏与科学、游戏科技与人工智能的关系探讨中寻找答案，这也是本报告要传递给社会的重要信息。

CONTENTS
目录

前言 人工智能创新发展的发动机 01

01 第一章 游戏科技成为人工智能创新发动机的根源 03

1.1 什么是游戏科技和人工智能 04

1.2 游戏与科学的渊源 06

02 第二章 游戏科技在人工智能创新历程中的作用 09

2.1 游戏科技是人工智能诞生的重要奠基力量之一 10

2.2 游戏科技在人工智能冬天持续提供支持和动力 12

2.3 游戏科技是人工智能迎来春天的重要驱动力量 14

2.4 游戏科技助力类 ChatGPT 人工智能大模型爆发 16

03 第三章 游戏科技参与人工智能创新发展的实证分析 21

3.1 游戏科技在人工智能领域的创新案例分析 22

3.2 游戏科技对人工智能技术创新的驱动力分析 24

3.3 游戏科技对人工智能创新驱动的国内外对比分析 27

04 第四章 游戏科技对人工智能创新的未来影响 33

4.1 游戏科技对人工智能基础理论研究的拉动 34

4.2 游戏科技对人工智能产业应用的拉动 36

4.3 游戏科技与人工智能结合对教育形成新贡献 38

4.4 游戏科技促进人工智能发展获得更多国际关注 40

05 第五章 总结与建议 43

前言

人工智能创新发展的发动机

21 世纪以来，人工智能（AI）在理论和实践上都得到了突飞猛进的发展，其成果包括深度学习、强化学习的提出，IBM 沃森（Watson）系统在智力问答电视节目中战胜人类冠军，AlphaGo 围棋系统战胜人类围棋世界冠军，大语言模型和人工智能生成内容技术的兴起等等。随着计算能力的大幅度提升、大数据技术的进步和算法的日新月异迭代升级，在互联网的加持下，人工智能正以前所未有的速度和规模改变着人类社会的生产、生活、教育、科研和娱乐方式，进而对人类的未来产生着深远的影响。当今世界，各国纷纷开展人工智能战略布局，将其作为提升国家科技核心竞争力的重要引擎，以至于 70 多年的人工智能领域的国际竞争激烈程度日趋加剧。

纵览人工智能发展史，可以发现，科学探索、游戏科技、产业需求在人工智能的起源阶段、稳步发展阶段和爆发阶段都发挥着重要的驱动作用，而游戏科技是其中较为独特的一种驱动力。几千年来，人们创造出各类不计其数的游戏，例如围棋、中国象棋、国际象棋、扑克、篮球、足球、乒乓球等。这些传统游戏连同后来人类发明的各种新型游戏，在与各种数字技术的不断结合中，共同构建起一个新的科技领域——游戏科技。由于都内含着好奇心、趣味性、探索性等共同属性，游戏科技与科学探索在一开始就形成了一种双螺旋结构，共同推动了人工智能的发展，如图 1 所示。

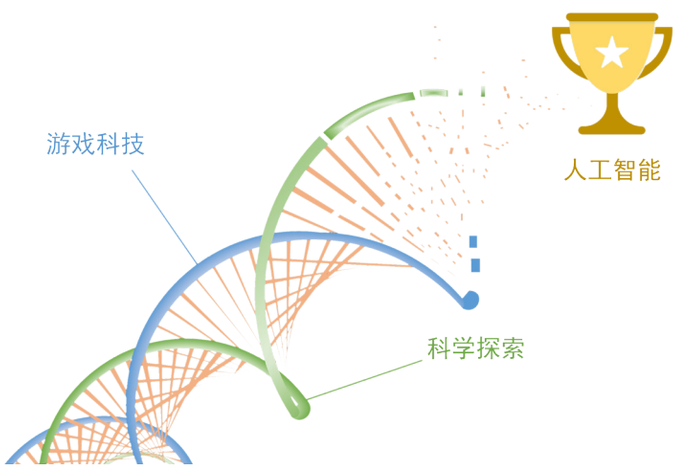

图 1 游戏科技与科学探索共同驱动人工智能发展的双螺旋结构

1950 年，图灵在人工智能领域的开创性论文《计算机器与智能》（Computing Machine and Intelligence）中详细地指出了人工智能研究与游戏的协作关系，提出棋类游戏是展示机器“思维”能力的重要场域。70 多年来，通过与游戏科技的融合，人工智能不断产生重大创新成果，特别是 2016 年谷歌 AlphaGo 围棋系统第一次战胜了人类围棋冠军。这一成果具有划时代的意义，意味着在人类发明的最为复杂的游戏之一——围棋中，人工智能已经突破了基于规则的智力游戏的极限，其产生的冲击波迅速从一场比赛扩散到教育界、学术界和产业界，由此拉开了称之为“人工智能革命”的序幕。

此后，人工智能在《星际争霸二代》（StarCraft II）、《我的世界》（Minecraft），及各类军棋、扑克和赛车等游戏中不断突破，产生了诸多重要科技成果，从而推动了人工智能在科学、技术和产业上的持续发展。2022 年 11 月问世的具有里程碑意义的大语言模型应用程序 ChatGPT 和 2023 年 3 月推出的 GPT4.0，就包含了 OpenAI 创始以来不断将人工智能与游戏科技进行结合所产生的多种科技成果。

爱因斯坦曾经说过，“提出问题往往比解决问题更为重要。解决问题是技能层面，而提出问题是探索性的思考 [1]”。在游戏科技领域，人类为了追求更清晰的可视化效果、更流畅的交互体验、更快的运行速度和更生动的游戏角色，不断从理论、技术和伦理层面对人工智能提出新的科学问题和技术需求，从而推动人工智能持续向前发展。在 21 世纪人工智能迎来新的春天之后，游戏科技继续扮演独特的角色，与科学探索、产业需求一起，为人工智能不断提供更强大、更全面的发展动力。

人工智能是一个飞速发展但理论体系尚未成熟，且对人类社会影响越来越深远的新兴科技领域。为了进一步推动人工智能在基础理论和产业应用上实现重大突破，增强我国在人工智能领域的国际竞争力，有必要对游戏科技驱动人工智能实现高质量、可持续的全面发展背后的内在规律进行深入研究，这是开展本报告研究最重要且最根本的目标。

01 第一章

游戏科技成为人工智能创新发动机的根源

科学与游戏有着密切的关系，牛顿曾说“我似乎只像是是一个在海边玩耍的男孩，不时找一颗平滑的卵石，或是比较美丽的贝壳来取悦自己”。在科学的诞生和发展过程中，许多科学家正是在把科学探索当作一种高级游戏的过程中揭示了大自然的奥秘和真理。因此，游戏是促进科学探索的重要动力就成为这部报告研究的理论基础。

人工智能是计算机学科的一个分支，具有很强的科学探索属性，同样在过去近 70 年中游戏产业不断与计算机、互联网和数字科技结合形成了一个广泛的科技生态。由此本报告提出了游戏科技的新定义，基于计算机这个公约数，游戏科技成为促进人工智能发展的重要动力，本质上是游戏促进科学的延伸和范例。

1.1 什么是游戏科技和人工智能

2022 年 7 月，在中国游戏产业创新发展论坛上，中国科学院研究团队发布了《游戏技术——数实融合进程中的技术新集群》报告。该报告明确提出了“游戏技术”的定义——“游戏技术”指的是在电子游戏中首次实现规模化应用，以丰富和提升人的交互体验为主要目标的技术集群。因其具有可交互、高仿真、强沉浸、实时渲染等技术特性，游戏技术正逐步被应用到社会经济的多个领域，成为推进“数实融合”发展的重要技术工具箱。

在此基础上，本报告对游戏科技的内涵做了进一步的阐明。一般而言，游戏是一种基于物质需求满足之上的，在特定时间、空间范围内遵循某种特定规则的，追求精神世界需求满足的社会行为方式。1946 年电子计算机诞生，游戏与之结合首先形成了电子游戏的概念。1969 年互联网诞生，同年在网络上出现了一款游戏《太空大战（Spacewar）》，由此网络游戏的概念被提出。到 21 世纪，随着社交网络、集成电路（半导体芯片）、人工智能、数字孪生、新一代通信技术、元宇宙等大量数字科技领域的技术出现，游戏产业持续蓬勃发展，并引发人类社会从法律、文化、伦理等方面的探讨，由此形成了一个新的科技综合生态。

基于游戏的新进展，本报告探索性提出：游戏科技就是 21 世纪先进的数字科技全面作用于游戏产业所形成的科学、技术与人文综合生态。具体来讲，“游戏科技”是生发于游戏产业，伴随着游戏产业的发展而逐步完善的一种新技术集群，对人类休闲娱乐、教育学习、产业创新、文化传播、科学探索等需求产生越来越多的支持，在不断地与计算机、互联网和数字科技结合过程中，构建的人类游戏相关理论、技术、伦理和文化的综合生态。

据市场调研公司 Newzoo 发布的《2022 年全球游戏市场报告》，2022 年全球游戏玩家数量达到 32 亿，并创造出 1968 亿美元的收入。这一数字远远超过图书（1201 亿美元）、电影（997 亿美元）和音乐（259 亿美元）行业的收入。总体来看，游戏已经成为一个蓬勃成长的产业领域，而游戏科技作为游戏产业重要的支撑要素也得到了充分的发展。

人工智能的发展历史已有 70 多年，但关于人工智能的定义目前还没有完全公认的结果。斯坦福大学人工智能研究中心的尼尔逊（N.J.Nillsson）教授对人工智能下了一个定义：“人工智能是关于知识的学科——怎样表示知识以及怎样获得知识并使用知识的科学 [1]。”麻省理工学院的温斯顿（Patrick Winston）教授认为，“人工智能就是研究如何使计算机去做过去只有人才能做的智能工作 [2]。”这些说法反映了人工智能学科的基本思想和基本内容，并产生了一个比较全面而简明的定义：人工智能是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人类智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新学科。

20 世纪七十年代以来，人工智能与空间技术、能源技术一起并称为世界三大尖端技术。到 21 世纪，又与基因工程、纳米科学一起被称为 21 世纪三大尖端技术。进入 21 世纪以来，人工智能快速发展，人工智能在众多科研和产业领域都获得了广泛应用，并取得了丰硕的成果，由此人工智能逐步成为一门独立的学科。

众所周知，物理学中有牛顿定律、相对论和量子力学等基础理论作为支撑。但是，到目前为止，人工智能依然不是一个成熟的学科，并没有像物理学那样已经建立起自身的理论体系。对于人工智能所涉及的概念，比如智能、意识、信息、知识等，尚未形成统一的共识。因此，在未来的很长一段时间里，一边探索一边应用都将是人工智能的基本特征。

人工智能脱胎于计算机学科，与计算机及其衍生的互联网、数字科技有着密不可分的关系，它首先是作为一门科学探索性极强的学科呈现在人类社会面前。同样，当游戏与计算机、互联网、数字科技结合形成游戏科技的时候，基于游戏与科学的天然联系，游戏科技也就自然成为人工智能崛起、发展和爆发历程中最重要的催化器之一。

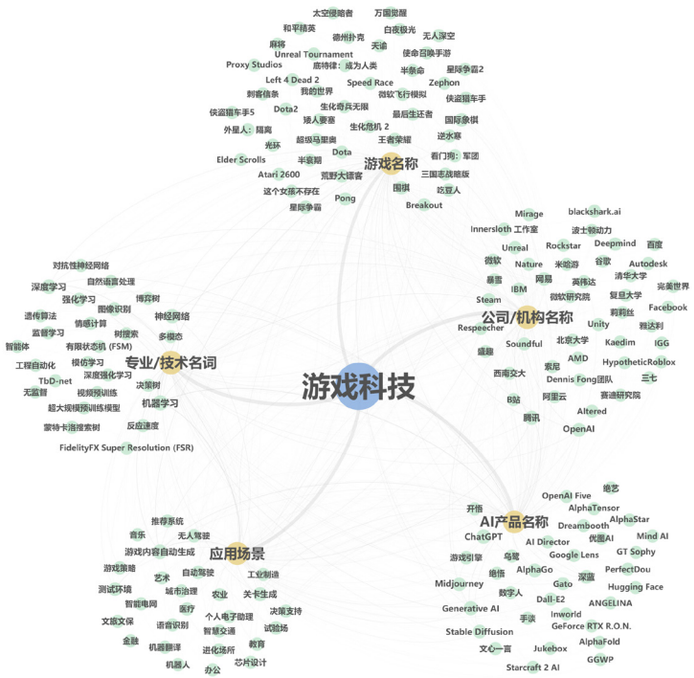

图 2 游戏科技与人工智能主体共现关系

注：基于游戏科技与人工智能交叉报道或讨论，获取 2022 年以来新闻网站、微博、微信公众平台等互联网舆论渠道中相关媒体报道与网民评论内容，采取机器命名实体识别技术辅以人工校正方式，提取相应文章和评论提及主体，并通过社会网络分析计算主体共现关联情况。

进入 2023 年，游戏科技与人工智能逐渐形成了紧密的科学、产业、技术和社会舆论互动关系。研究组通过网络大数据调查形成图 2 所示的游戏科技与人工智能主体共现关系图。在“游戏科技 × 人工智能”社会关注话题中，经常出现的主要有五类主体：

游戏产品。在电子游戏诞生之初的《乒》(Pong)、《吃豆人》(Pac-Man)等游戏中就有人工智能的身影。从在国际象棋、围棋等游戏中人工智能击败人类对手引发全世界轰动，到今天《王者荣耀》、《星际争霸》II 等游戏已成为人工智能的“试验场”，游戏产品都是话题的主要出现主体之一。

公司、研究机构等。比如，DeepMind、OpenAI，以及微软、谷歌、腾讯、英伟达等国内外科技或游戏公司与互联网中的相关讨论紧密关联。此外，西南交大、清华大学、赛迪研究院等高校或研究机构的身影，也出现在相关文章或讨论中。

国内外各类 AI 产品。国外产品有在围棋和国际象棋中战胜人类的 AlphaGo、深蓝，以及 AI 绘画工具 Midjourney、AI 音乐工具 Jukebox 等；国内产品则有已在游戏中应用的 AI 产品“绝悟”、大语言模型产品“文心一言”，以及围棋类的 AI 产品“绝艺”、“手谈”等。

应用场景。在同时谈及游戏科技与人工智能话题时，很多应用场景也会被提及，如自动驾驶、游戏内容自动生成、城市治理、教育、智慧交通等，这些应用场景凸显出社会对相关技术发展和产业应用前景的期待。

专业术语或技术名词。社会在分析和介绍游戏科技及人工智能时，常会提及到其中涉及的专业术语或核心技术名词，如深度强化学习、神经网络、机器学习等。

1.2 游戏与科学的渊源

游戏科技是游戏与计算机、互联网和数字科技相结合的产物。人工智能自诞生之日起同样与计算机、互联网和数字科技有着密不可分的关系，在很长一段历史时间里，除了科学探索一直是人工智能重要的推动力之外。为什么游戏科技也同时对人工智能的发展起到非常重要的推动作用？除了它们有着先天的共同技术底层逻辑之外，更重要的是因为游戏与科学之间原本就存在特殊和紧密的关系。这种关系是一种根植于基因的特征，也体现在游戏科技对人工智能的促进作用之中。

一直以来，大众很少把活泼轻松的游戏娱乐与严肃严谨的科学探索关联在一起。其实，纵观科学史，游戏与科学的关系十分紧密。就科学的基本特性而言，早期科学家从事科学的目的远离功利，仅是为了满足其好奇心和求知欲。例如，哥白尼在童年时代就是从数星星发展到对神秘星体的观察，从而不断积累天文学知识，最终步入天文学的殿堂 [3]。对于牛顿来说，他的一生伴随着各种各样的科学发现和发明创造，只因他

把探索世界的奥秘看作最快乐的游戏和最甜美的满足。他这样描述自己的一生：“我并不知道我在世人眼中是什么模样，对我来说，我似乎只像是一个在海边玩耍的男孩，不时找一颗平滑的卵石，或是比较美丽的贝壳来取悦自己 [4]”。

在科学研究成为一种正式的职业之后，科学就是游戏的观念依然在发挥着极其重要的作用。科学家愿意从事科学研究最重要的动力多半是出自好奇心、求知欲和对大自然的热爱。美国西北大学的化学教授约瑟夫·B·兰姆伯特（Joseph B. Lambert）回忆说，他小时候喜欢与小伙伴一起用沙子堆积成一些在小孩看起来非常复杂的结构。长大后他进了耶鲁大学，他觉得在有机化学实验室里做试验同小时候玩沙子一样有趣。法国科学家比埃尔·拉斯洛（Bill Laslow）教授则解释到，其实科研过程就是玩思想创造游戏的过程。当科学家打算让不同科学要素互相打照面的时候，其期待心理与小孩子把不同颜料搅到一起看看会变出什么新的色彩时的心情是完全一样的 [5]。

此外，我们耳熟能详的那些著名科学实验，例如欧内斯特·卢瑟福 (Ernest Rutherford) 带着学生们用 α 粒子轰击金属板并发现原子有核结构的实验；托马斯·杨 (Thomas Young）通过双缝干涉发现光的波粒二象性实验；亨利·卡文迪许 (Henry Cavendish）通过扭矩发现万有引力常数大小的实验；莱昂·傅科（Jean-Bernard-Léon Foucault）通过钟摆发现地球自转的实验——这些重要的科学实验本质上是科学研究，但也可以看作是有趣的科学游戏。

游戏对科学的重要作用，归根结底体现为促进各种科学理论、各门具体学科的形成和发展上。大量事实证明，许多科学家正是在把科学当作一种高级游戏的过程中揭示了大自然的奥秘和真理。按照让·皮亚杰 (Jean Piaget）的认知心理学观点，无论在儿童认知发展还是科学家的科学探索过程中，游戏都起着举足轻重的作用。儿童和科学家们从中获得乐趣，提高了他们的思维能力、想象力和创造力，并通过自我效能的实现不断激励其心智的持续成长 [6]。

人工智能作为 21 世纪最活跃的科学探索领域，其游戏属性也是通过游戏科技的形式展现出来的。无论是在人工智能诞生的早期，还是处于长期低潮的两次冬天，游戏始终为人工智能的发展提供着活跃而坚强的底层逻辑，并促使了人工智能的厚积薄发。2023 年 3 月，OpenAI 联合创始人兼首席科学家 Ilya Sutskeve 在与英伟达 CEO 黄仁勋对话时表示，“在 OpenAI 公司中完成的第一个真正的大型项目是我们解决的一个大型竞技游戏，这个游戏叫做 DOTA2。我们训练了一个强化学习模型来进行互相对抗，目标是进化到一定水平，以便与世界上这个游戏的最强战队竞争。DOTA2 为 ChatGPT 的强化学习机制奠定了技术基础，并转化为人类正向反馈的强化学习 [7]。”

产业界普遍认为，下一个人工智能里程碑事件可能会在复杂的策略游戏中诞生。在未来，当人工智能学会了和人类一样实时感知、理解、推理、决策、行动和交互时，就可能在多变、复杂的真实环境中发挥更大的作用，而通用人工智能或许就在人工智能与游戏科技不断相互促进的过程中悄然实现。

02

第二章

游戏科技在人工智能创新历程中的作用

在 70 多年的发展历史中，人工智能经历了三起两落、跌宕起伏的过程，而游戏科技在其中始终承担着激励和启发的重要角色和作用。在人工智能萌芽之初，游戏科技就起到了重要的推动作用；在人工智能经历两次“冬天”的关键节点，游戏科技能够化身燃烧的火炬，给予人工智能温暖和动力。近二十年来，伴随着人工智能第三波浪潮的崛起，游戏科技与科学探索和产业需求一起创造了一系列举世瞩目的创新成果，推动人工智能呈现爆发性的发展。追根溯源，游戏科技凭借其“先导性”的应用场景优势对人工智能前沿领域的大规模创新带来了可持续的积极影响。

对于人工智能从诞生之日到当前涌现的许多重要节点性事件，如果设置两个条件，可以进一步确立其中具有里程碑意义的事件。第一是对人工智能具有特别重大意义的公认事件，如人工智能的诞生；第二是产生巨大的世界影响力的突破性成果，对人工智能后续的理论创新、研究信心或产业应用有重大提升作用，如深蓝，AlphaGo、ChatGPT 等 [1]。

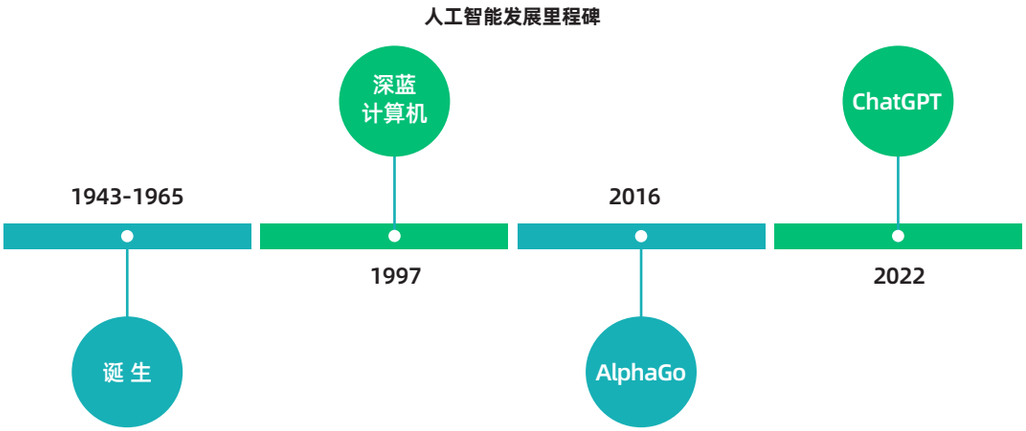

图 3 人工智能发展里程碑事件演变图

纵观人工智能发展史，有四个重要节点符合里程碑事件的条件，如图 3 所示。它们分别是：人工智能的起源和诞生；1997 年，IBM 深蓝超级计算机战胜国际象棋世界冠军卡斯帕罗夫（Гарри Кимович Каспаров）；2016 年，DeepMind 研发的 AlphaGo 系统战胜围棋世界冠军棋手李世石 [2]；2022 年，11 月 OpenAI 推出大模型工具 ChatGPT。本章将对游戏科技在人工智能这四个里程碑事件中起到的作用进行详细阐述。

2.1 游戏科技是人工智能诞生的重要奠基力量之一

人工智能这一概念虽然是在 1956 年的美国达特茅斯学院的会议上被正式提出，但它的萌芽却发生在 20 世纪 40 年代至 60 年代。在这个时期，人工智能的主要理论和核心技术不断被建立，如神经网络、逻辑推理、

机器学习、搜索、自然语言处理等。回顾这段历史会发现，无论是人工智能的产生还是其各个重要领域的发展都与游戏科技有着密不可分的关系（图 4）。

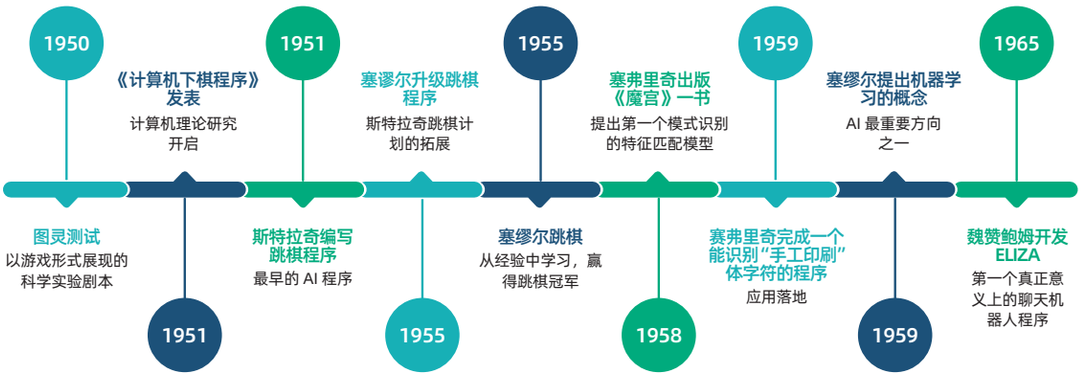

图 4 游戏科技在人工智能诞生时期标志性事件的示例图

1950 年，图灵在人工智能领域的开创性论文《计算机器与智能》（Computing Machine and Intelligence）中提到人工智能研究与游戏的关系，认为棋类游戏是展示机器“思维”能力的重要场域。在这篇论文中，图灵提出了人工智能领域最著名的一个测试程序——图灵测试。该测试某种意义上是一个以游戏形式展现的科学实验剧本，其核心内容是如何让人工智能体成功“骗过”人类考官，让人类考官误认为测试场景幕后的人工智能体就是人类 [3]。很多科学家们把如何在图灵测试中让人工智能体获胜作为推动人工智能发展的最重要动力之一。无独有偶，另外一位人工智能科学先驱、美国贝尔实验室的克劳德香农（Claude Shannon）于 1950 年在《哲学杂志》期刊发表了《计算机下棋程序》(Programming a Computer for Playing Chess) 一文，开启了计算机下棋的理论研究，其中的核心思想在后来发明的“深蓝”国际象棋机器系统和 AlphaGo 围棋系统中都能看到印迹 [4]。

严格地说，最早的人工智能程序是里斯托弗·斯特拉奇（Christopher Strachey）在 1951 年编写的跳棋（draughts）程序，它首次在英国曼彻斯特大学的费兰蒂 1 号（Ferranti Mark 1）通用电子计算机上运行成功，斯特拉奇后来也成为牛津大学编程研究小组的主任。

此后，游戏在人工智能诞生之初的魅力之花逐渐绽放开来。1952 年，机器学习之父亚瑟·塞缪尔（Arthur Samuel）受图灵和斯特拉奇的影响，接手了斯特拉奇跳棋计划的要点，并在数年的时间里对其进行了大力拓展。他于 1955 年增加了一些功能，使该计划能够从经验中学习。作为人工智能搜索技术的最早案例之一，这些改进最终使他的程序赢得了一场对美国康涅狄格州前跳棋冠军的比赛。塞缪尔在游戏科技领域的实验

和积累，帮助他在 1959 年提出了机器学习的概念，后来机器学习也成为人工智能领域最重要的方向之一。1958 年，模式识别之父奥利弗·塞弗里奇（Oliver Selfridge）在《魔宫：一种学习范式》（Pandemonium: A Paradigm for Learning）一书中用一个游戏场景的“魔鬼城堡”提出第一个模式识别的特征匹配模型。1959 年，塞弗里奇根据他的理论完成了一个实用化的能识别“手工印刷”体英文字符的模式识别程序。1965 年，麻省理工学院计算机实验室的约瑟夫·魏赞鲍姆（Joseph Weizenbaum）开发出世界上第一个真正意义上的聊天机器人程序 ELIZA，为后续自然语言处理的发展提供了动力源泉 [5]。

总体来看，在人工智能诞生之初的 20 年里，无论在理论研究还是应用实践上，人工智能都与游戏科技有着很强的基因吻合性，有着密不可分的历史渊源。可以说，游戏科技与科学探索一起为人工智能的诞生奠定了重要的科学基础。

2.2 游戏科技在人工智能冬天持续提供支持和动力

人工智能的发展并非一帆风顺，从上个世纪 40 年代开始，已经历了两次寒冬（图 5）。在 1956 年美国达特茅斯会议之后，人工智能进入第一次大繁荣时代。大量成功的人工智能程序和新的研究方向不断涌现，研究学者也给予了热情洋溢的预言。在 1958 年，著名的人工智能先驱西蒙（H. A. Simon）提出，“二十年内，机器将能完成人类能做到的一切工作。”

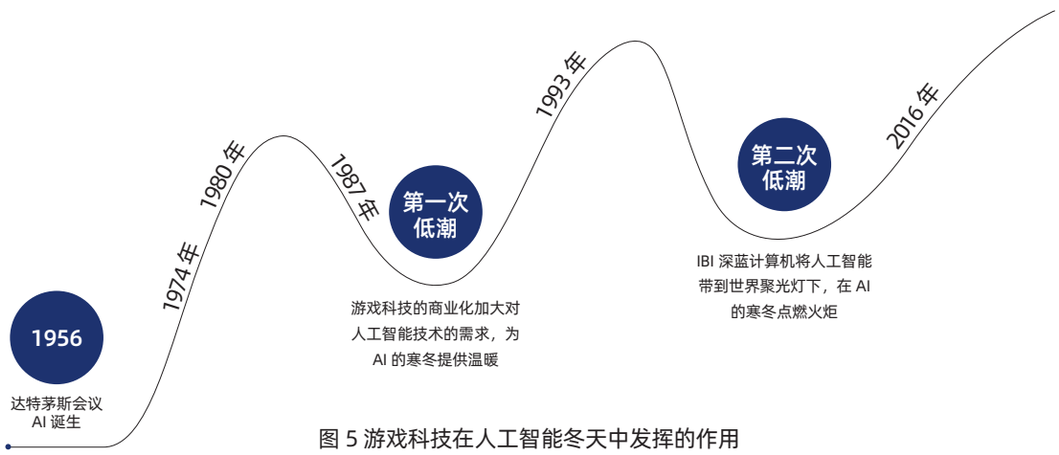

图 5 游戏科技在人工智能冬天中发挥的作用

20 世纪 70 年代，人工智能遭遇到发展瓶颈。人们逐渐发现，虽然人工智能拥有了简单的逻辑推理能力，却又有着当时无法克服的基础性障碍。人工智能停留在“玩具”阶段止步不前，远远达不到曾经预言的完全智能。于是，公众开始激烈批评人工智能，许多官方机构不断减少对人工智能研究的资助。例如，在 1966 年，咨询委员会的一份报告认为：“尚不存在通用科学文本的机器翻译，近期也不会有”，并在随后取消了所有

学术翻译项目的美国政府资助 [6]。

游戏科技在人工智能第一个寒冬时所起的作用是帮助人工智能在一个大众喜闻乐见的领域找到用武之地。20 世纪 70 年代，游戏科技逐步走向商业化。1971 年，投币式游戏机《电脑空间》（Computer Space）正式投入市场。1976 年，著名游戏公司雅达利（Atari）推出电子游戏《帝国》（Empire）。这些游戏中都应用了人工智能诞生阶段产生的成果。在这个时期游戏科技公司为了追求更快的游戏速度，更流畅的游戏体验和更生动的游戏角色，不断对人工智能提出技术要求，特别推动了计算机图形学、人机交互等技术的发展，在寒冬里为人工智能默默提供了温暖和持续发展的动力。

到了 20 世纪 80 年代，人工智能领域的“专家系统”开始兴起并为国际大公司所采纳，能够每年为 DEC 公司、杜邦公司等节省数千万美金，人工智能研究迎来了新一轮高潮。另外一个标志性事件是日本经济产业省启动第五代计算机的研发，其目标是创造出能够与人对话、翻译语言、解释图像和能够像人一样实现逻辑推理的机器。作为回应，美国组建了微电子和计算机技术公司 (MCC) 以增强美国的竞争力 [7]。但好景不长，到了 20 世纪 90 年代初，人工智能专家系统的市场需求突然下降。产业界发现，专家系统虽然很有用，但它的应用领域过于狭窄，而且更新迭代和维护成本非常高。同期，苹果公司（Apple）和 IBM 公司生产的通用计算机性价比不断提升，最终挤掉了专家系统的生存空间 [8]。与此同时，日本第五代计算机计划也受到了严重的挫折。到 1991 年，第五代计算机计划已花费了 4 亿美元，但因其目标远远没有实现而被迫中止 [9]，由此人工智能的第二次寒冬降临。

需要指出的是，人工智能的第二次寒冬持续时间很长，下一个真正春天的出现在 15 年之后才逐步到来。但在这个过程中，与游戏科技密切相关的棋类游戏在人工智能领域获得了巨大突破。

1996 年 2 月，IBM 研发的超级计算机系统“深蓝”（Deep Blue）与国际象棋世界冠军加里·卡斯帕罗夫（Гарри Кимович Каспаров）进行了第一场比赛，在比赛中卡斯帕罗夫击败了深蓝计算机，得分是 4：2。1997 年 5 月，升级后的深蓝计算机再次对阵卡斯帕罗夫，结果以 3.5：2.5 赢得了比赛。深蓝计算机成为第一个在标准国际象棋锦标赛时间内击败卫冕世界冠军的人工智能系统。“深蓝”的成功被认为是人工智能历史上的一个里程碑，并成为了许多科幻小说和电影的灵感来源 [10]。

从原理上讲，“深蓝”的能力不是自己“学”出来的，而是被“教”出来的：IBM 的程序员从国际象棋大师那里获得信息，向它输入了 100 年来所有国际象棋大师几十万局棋的开局和残局下法，提炼出特定的规则，再通过编程灌输给它。深蓝大部分逻辑是以“象棋芯片”的形式，用硬件电路的方式实现的，核心算法是“暴力穷举”。也就是说，它会生成所有可能的走法，不断对棋局进行评估，找出最佳走法 [11]。

深蓝计算机虽然采取了暴力搜索的方法，但对“有完全信息的组合游戏”产生了压倒性胜利，使得人工智能在第二个寒冬中获得了“雪中送炭”般的温暖，让人工智能又一次站到了世界舞台的聚光灯下，被全人类所关注。深蓝的成功提升了人工智能领域科学家和工程师的信心，鼓舞他们为迎接真正的春天而继续努力。

深蓝计算机战胜国际象棋世界冠军这一里程碑事件对人工智能的后续发展产生了诸多推动作用。人工智能领域的探索者们意识到机器处理速度和数据存储空间的重要性，收集了更多的数据，为当时的机器学习算法提供了不可或缺的训练数据。通过吸收深蓝计算机的成功经验，后来的人工智能棋类博弈项目将重点转向软件系统程序的设计与通用芯片的结合，而不是使用专用的棋类芯片。这个转变也对 20 年后第三个人工智能里程碑事件——AlphaGo 的诞生产生了重要影响。

2.3 游戏科技是人工智能迎来春天的重要驱动力量

在本世纪前十年，随着移动互联网的兴起，投向科技领域的目光逐渐被社交网络、云计算、物联网、3G 移动互联网、大数据和工业互联网等新兴技术所吸引。即使有 2012 年图像识别和语音识别产品性能的飞速提升，人工智能也几乎被世界所淡忘。但是，一批理想坚定的人工智能科学家对人工智能的广阔前景坚信不疑、砥砺深耕，其中最具代表性的人物当属获得 2018 年图灵奖的“深度学习三巨头”杰弗里·辛顿 (Geoffrey Hinton)、杨立昆（Yann LeCun）和约书亚·本吉奥 (Yoshua Bengio)。他们的科学探索工作最终与围棋这个游戏的场景结合，使得人工智能终于迎来了新的春天。

2016 年 3 月，谷歌旗下 DeepMind 公司开发的 AlphaGo 围棋系统战胜了当时的人类围棋世界冠军李世石，成为令全球震惊的新闻。此次人机大战事件之所以如此轰动，是因为围棋玩法在难度上要远远高于国际象棋，已经涉及到人类深层次的智慧。图 6 是 AlphaGo 在国际顶尖学术期刊《自然》（Nature）封面上的展示。

图 6《自然》（Nature）封面的 AlphaGo

围棋曾经被认为是代表了人类最高智慧的游戏。作为中国最著名的棋类游戏之一，围棋拥有着几千年的悠久历史。围棋棋盘由 19 条横线和 19 条竖线组成，共有 19*19=361 个交叉点，围棋棋盘上每一个纵横交叉点都有三种可能性：落黑子、落白子、留空，所以围棋拥

有高达 3^361 种局面，围棋的每个回合有 250 种可能，一盘棋可长达 150 回合，所以围棋的计算复杂度为 250^150，约为 10^170，然而全宇宙可观测的原子数量只有 10^80，这足以体现围棋博弈的复杂性和多变性 [12]。

在深蓝计算机赢得国际象棋的比赛后，该系统基于穷举法的计算模式已无法应用在围棋的博弈中，更无法参透围棋中的“势”与“格局”。因此，专业人士曾普遍认为人工智能要在围棋中胜过人类，至少还需要数十年的时间 [13]。

从原理上讲，AlphaGo 采用了稍作修改的蒙特卡罗算法，但更重要的是通过深度强化学习来增强自身的学习效果。该系统涉及的神经网络是通过与围棋大师的 16 万场比赛得到训练的，代表了能够捕捉人类模式的新一代神经网络。

AlphaGo 围棋系统成功地将人工智能带到世界的聚光灯下，深刻影响了科学、游戏、文化、哲学、军事、经济等各个活动领域。这是人工智能的基础性研究成果与大数据和超级算力通过围棋这个游戏科技具体应用场景获得的重大突破，也是科学探索与游戏科技之间发生“化学反应”取得的重大突破。

AlphaGo 胜利的示范效应对人类社会应用人工智能的影响是巨大的。据 Gartner CIO 调查报告显示，2015 到 2019 年的四年间，全球采用人工智能（AI）技术的企业比例从 10% 增长至 37%，增长率高达 270% [14]；在 2017 年之后的两年中增长了 3 倍，而且所有行业的企业在各种应用中大都采用了人工智能。据中国信通院数据研究中心监测显示，截至 2022 年 7 月底，全球人工智能企业超过 23,000 家，有半数是 2017 年及之后成立的初创企业 [15]。

图 7 近十年游戏科技与人工智能结合产生的部分标志性成果

受谷歌 AlphaGo 在游戏科技领域展现出的巨大产业影响启发，2017 年以后，世界著名科技公司和科研机构纷纷推进人工智能与游戏科技的深度结合，目标是争取在人工智能的基础理论、技术创新、产业应用等方面产生新的突破，部分案例如图 7 所示。

其中的典型案例包括：2017 年 1 月，美国卡耐基梅隆大学开发的人工智能系统 Libratus 战胜了 4 名人类顶尖德州扑克选手 [16]。2019 年 10 月 30 日，DeepMind 团队在《自然》（Nature）刊登《使用多智能体强化学习在 < 星际争霸 II> 中达到宗师级别》（Grandmaster level in StarCraft II using multi-agent reinforcement learning）的论文。该文宣布，人工智能系统 AlphaStar 在《星际争霸 II》比赛中的表现超过了 99.8% 的人类玩家 [17]。2022 年 11 月，OpenAI 宣布用 70,000 小时的游戏视频成功训练了可自由操控《我的世界》(Minecraft) 游戏的机器人程序，这项研究成果也为人工智能的第四个里程碑事件积蓄了力量。

研究组合作团队利用上市企业数据和各省数据，估算了游戏科技对中国人工智能企业和人工智能产业的影响。研究表明，在 2010-2015 年间，人工智能企业与非人工智能企业的平均营业总收入无显著差异。而在 2016-2021 年间，即游戏科技与人工智能进一步结合后，人工智能企业相对于非人工智能企业的营业总收入要高出 0.339%，意味着人工智能企业相对于非人工智能企业的平均营业总收入要高出 2874.7 万元左右。此外，游戏科技还使得人工智能企业相对于非人工智能企业的总资产要高出 0.298%，说明在游戏科技得到大力发展后，人工智能企业相对于非人工智能企业的平均总资产大约要高出 1.45 亿元。

以 2021 年为例，估算了游戏产业对人工智能企业营业总收入的拉动金额。游戏产业在 2021 年对人工智能产业的贡献金额大约为 210.51 亿元，相比起 2020 年的 155.58 亿元增长了 54.93 亿元。而 2021 年人工智能产业规模为 1816 亿元，相对于 2020 年的 1546 亿元提升了 270 亿元，其中游戏产业就贡献了约 54.93 亿元，占总提升金额的 20.3%。

研究组合作团队将涉及游戏产业和人工智能产业的 2010-2020 年上市企业营业收入数据汇总到省级层面，以衡量游戏产业和人工智能产业发展规模和相关性。由此估算出，游戏产业规模每增长 1%，人工智能上市企业的合计营业收入大约平均增加了 1.42 亿元。上述结果说明，游戏科技对于人工智能产业的发展有着一定程度的拉动力。

2.4 游戏科技助力类 ChatGPT 人工智能大模型爆发

2022 年 11 月 30 日，美国 OpenAI 公司正式对外发布了对话式大型语言模型 ChatGPT[18]。通过

OpenAI 公布的接口，世界各地的用户都可以注册一个帐户，与 ChatGPT 进行交流。ChatGPT 能够回答连续的问题、生成文本摘要、翻译文档、对信息分类、写代码，等等。同时，它也会承认错误、质疑不正确的前提并拒绝不恰当的请求 [19]。

ChatGPT 的问世意味着自然语言处理技术的飞速发展和应用领域的广泛拓展。GPT 是“生成式预训练变换模型（Generative Pre-trained Transformer）”的缩写 [20]。从原理上讲，ChatGPT 是基于 GPT-3.5 架构实现的。到 2023 年 3 月 15 日，OpenAI 宣布正式发布 GPT-4.0 版本。它拥有图像识别功能、高级推理技能，以及处理 25,000 个单词的能力，且回复的准确性较原来 ChatGPT 基于的 GPT-3.5 版本有明显提高，可以用所有流行的编程语言写代码。

ChatGPT 的推出快速引起了世界性的轰动，并成为全球性的焦点话题。在多个主流热点趋势指数中，ChatGPT 带来的热度一度超过 AlphaGo 在 2016 年创造的峰值。ChatGPT 在发布后的 4 天时间里，其用户量到达百万级。上线两个月，其月活用户已经突破 1 亿。

ChatGPT用户数量增速惊人

消费级应用	1亿用户达成时长（月）
ChatGPT	2
TikTok	9
Instagram	30
Pinterest	41
Spotify	55
Telegram	61
Uber	70
Google Translte	78

图 8 ChatGPT 搜索量与用户量发展趋势图

根据 Sensor Tower 和 World of Engineering 整理的排名显示，苹果 iTunes 达到 1 亿用户用了 6 年半，Twitter 用了 5 年，Meta（Facebook）用了 4 年半，WhatsApp 用了 3 年半 [21]，Instagram 用了 2 年半，TikTok 用了 9 个月。由此看出，ChatGPT 成为史上用户增长速度最快的互联网智能应用程序（如图 8 所示）。

虽然距离 ChatGPT 的推出还不到半年时间，但基于其在全世界产生的影响力以及对诸多产业起到的变革性作用，微软公司比尔·盖茨（Bill Gates）评价 ChatGPT 时称，这种人工智能技术出现的重大历史意义，不亚于互联网和个人电脑的诞生 [22]。如果说 AlphaGo 是推动人工智能迎来春天的第一级火箭，那么

ChatGPT 可以被看做是人工智能崛起的第二级火箭。

在某种意义上，ChatGPT 是一个面向消费者和产业界的商业级人工智能应用程序，产业需求的拉动力更为强劲。但无论是从 OpenAI 的发展历史，还是从 ChatGPT 的自身属性来看，游戏科技并不是一个置身事外的旁观者，而是对 ChatGPT 的诞生与发展起到了有力的助推作用。OpenAI 通过游戏科技开展人工智能探索的过程和取得的部分成果如图 9 所示。

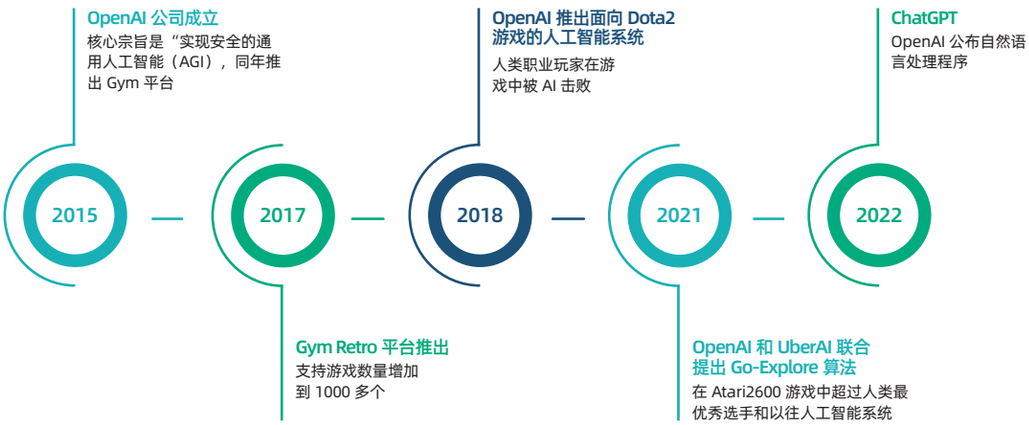

图 9 OpenAI 通过游戏科技开展的人工智能探索历程中的典型案例

OpenAI 是在 2015 年成立的非盈利人工智能研究机构，其核心宗旨是“实现安全的通用人工智能 (AGI)”。在成立不到一年的时间里，OpenAI 推出了 Gym 平台，两年之后进化形成了完整版游戏强化学习研究平台——Gym Retro。Gym 平台对游戏的支持数量从 70 个雅达利游戏和 30 个世嘉游戏增加到了 1000 多个游戏，其中包括对任天堂 Game Boy 等各种模拟器的支持。利用 Gym 平台中的游戏场景，OpenAI 对强化学习算法及学习能力的泛化不断进行研究，研究成果为 ChatGPT 对深度强化学习机制的充分利用提供了宝贵的经验。

2018 年 8 月，OpenAI 宣布其研发的人工智能系统已经在电子竞技游戏 DOTA 2 中击败了一个名为 Dendi 的人类职业玩家，OpenAI 的研究水平通过游戏科技平台进一步得到提升。据 OpenAI 官方介绍，为 DOTA 2 研发的人工智能系统不断观察和学习比赛视频，通过自主学习训练形成了较高的游戏技能。此外，2021 年 2 月，OpenAI 和 Uber AI Labs 联合在《自然》(Nature) 杂志发表了一篇论文，提出了一种创新的增强学习算法 Go-Explore，这个算法在雅达利经典游戏中的得分超过了人类最优秀的选手和以往的人工智能系统，在《蒙特祖马的复仇》（Montezuma’s Revenge）和《陷阱》（Pitfall!）等一系列探索类游戏中达到了目前最先进的水平。该类算法改善了对复杂环境的探索方式，是人工智能向真正的智能体进化迈出

的重要一步。这项研究探索了如何让智能体发现、记忆之前状态并能够返回到之前的状态，然后不断地尝试和探索以形成简单的逻辑，这对于人类创建更强的人工智能系统具有重要的启示作用 [23]。

2022 年 11 月，OpenAI 公布了一项人工智能领域的最新成果——最擅长玩《我的世界》（Minecraft）的人工智能程序，这一成果也直接对 ChatGPT 的研发提供了支持。OpenAI 将 YouTube 等视频网站的海量资源当作庞大的训练数据集，让智能体观看的时间超过了 70,000 小时，并学会执行更多的任务，从而成为最擅长玩《我的世界》的人工智能程序。从原理上讲，OpenAI 在该游戏中使用的是一种被称为模仿学习的技术，使人工智能程序可以通过观察人类和世界进行训练和学习，学习的内容包括控制机器人手臂、驾驶汽车或浏览网页等。

OpenAI 通过游戏科技为 ChatGPT 的推出提供了源源不断的动力。从游戏科技获得多少帮助，提升了什么能力最有发言权的是 OpenAI 的领导者，2023 年 3 月，OpenAI 联合创始人兼首席科学家 Ilya Sutskeve 这样描述道“DOTA 2 为 ChatGPT 的强化学习机制奠定了技术基础，并转化为人类正向反馈的强化学习”。

ChatGPT 除了作为强大的产业服务平台、研究平台和学习平台之外，它在人类使用的过程中也体现出了明显的互动游戏平台属性。很多人抱着好奇心与 ChatGPT 进行交流，通过指出各种有趣的问题与 ChatGPT 进行互动，或惊叹于 ChatGPT 的智慧，或发现 ChatGPT 的机智，或探寻到 ChatGPT 撒谎的证据。

在研究过程中，我们对使用过 ChatGPT 的 1129 名用户发出了调查问卷，调查他们使用 ChatGPT 的目的。调查内容有四个选项（允许多选）：（1）工作需求；（2）学习需求；（3）研究需求；（4）娱乐需求。调查共收到 834 名用户的反馈。统计结果显示，812 人选择了工作需求，629 人选择了学习需求，384 人选择了研究需求，567 人选择了娱乐需求，如图 10 所示。

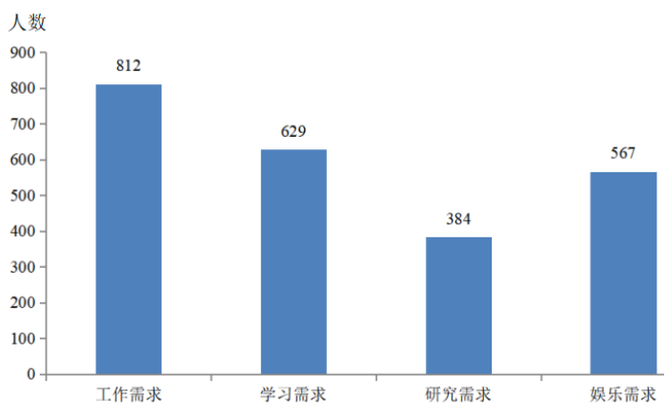

图 10 ChatGPT 用户使用目的调查统计结果

从调查结果看，ChatGPT 本身可以被看作是游戏科技的一个验证平台，通过游戏和娱乐驱动人类与之交互，从中获得宝贵的人类知识和互动经验，这为 ChatGPT 的下一步发展提供新的动力和资源。

03

第三章

游戏科技参与人工智能创新发展的实证分析

从人工智能的发展历程来看，在四个重要的里程碑事件中，游戏科技都起到了关键或重要的作用。到 21 世纪，随着人工智能技术的进一步发展成熟，从交通到医疗，从金融到文旅，游戏科技作为助力之一，与产业需求、生活需求一起，推动人工智能从实验室走向社会经济的各个领域。例如，索尼在《游戏世界》中进行自动驾驶测试，腾讯的游戏驱动机器人加速智能学习、游戏《奋进处方》（EndeavorRx）获 FDA 认证成为数字新药等——由此一大批游戏科技与人工智能的交叉成果不断涌现出来。

在人工智能技术创新方面，因为游戏企业追求更智能、更流畅、更清晰的效果，游戏科技也在不断对人工智能提出新的需求，从而加速推动了人工智能技术的发展。根据对 3192 名互联网从业者展开的调查，受访者总体认为在人工智能的 17 个分支中，游戏科技在 11 个分支中展现出很强的驱动力，在 6 个分支具有较强的驱动力。

从国际和国内利用游戏科技推动人工智能创新发展的现状看，我国与发达国家在不同领域出现不同的强弱对比：在基础科学研究领域，自 2015 年以来发表的 17 篇顶级期刊的相关封面文章中，只有 2 篇来自中国；在国际和国内游戏公司人工智能专利的质量和分布上，我国头部企业已经能够处于世界领先位置，但产业平均得分，国际公司得分为 8.3，而我国公司只有 6.4。

3.1 游戏科技在人工智能领域的创新案例分析

随着成熟度与影响力的不断提高，人工智能在各个领域的应用不断扩大和深入，游戏科技与人工智能产业结合所形成的创新案例也日益丰富。在本节，我们选取国内外 8 个典型案例进行介绍，如表 1 所示。

表 1 游戏科技在人工智能领域的典型创新案例

1	Akili Interactive 开发的《奋进处方》成为数字新药，用于儿童注意力缺陷与认知障碍的治疗 [1]。
2	日本索尼公司利用游戏 Gran Turismo（GT 赛车）开展自动驾驶研究，并在《自然》杂志发表论文 [2]。
3	游戏引擎公司 Unity 与 DeepMind 合作，创建虚拟实验场域，用于自动驾驶和机器人等领域 [3]。
4	微软和 OpenAI 允许人工智能研究人员在游戏场景中进行探索和按需定制 3D 环境 [4]。
5	腾讯依托《王者荣耀》模拟环境，结合算法、数据与算力的优势，为学术研究人员提供 AI 研究应用探索平台 [5]。
6	国家文物局指导、敦煌研究院与腾讯联合，利用游戏科技打造的全球首个超时空参与式博物馆“数字藏经洞”正式上线。
7	腾讯与中科院高能物理所合作“全变源追踪猎人星座”计划，把游戏中的多智能体 AI 算法应用到多颗在轨天文卫星的自主协同观测 [7]。
8	网易伏羲发布了游戏行业 AI 解决方案，为游戏科技产业提供 AI 辅助制作剧情动画、竞技机器人、对战匹配系统和反外挂系统等四部分组件服务 [8]。

纵观全球，一方面，游戏科技已经直接进入到医疗、交通、金融等领域。2020 年，由 Akili Interactive 公司开发的《奋进处方》（EndeavorRx）游戏获得了美国食品药品监督管理局（FDA）的处方药批准认证，成为数字新药，正式用于儿童注意力缺陷与认知障碍（ADHD，即多动症）的临床治疗中。2022 年，日本索尼公司在《自然》杂志发表论文阐述了他们的 AI 程序在赛车对战游戏 Gran Turismo（GT 赛车）中如何战胜了世界冠军级人类玩家。高精度数字建模的地图，自主决策能力优秀的 AI 技术——这些源自游戏的技术大幅度推动了索尼公司在自动驾驶领域的技术开发。

另一方面，国际著名游戏科技公司加强了与 DeepMind、OpenAI、麻省理工学院等著名人工智能研究机构与大学的合作，对人工智能产业的未来发展进行探索。例如，从 2018 年开始，游戏引擎公司 Unity 就与 Alphabet 旗下的人工智能公司 DeepMind 合作，以创建虚拟实验场域，供训练人工智能代理人之用，目的是用于自动驾驶和机器人训练等领域。

作为游戏科技的一支重要力量，微软在收购《我的世界》视频游戏之后，向内部研究人员发布了该游戏的一个新版本，允许研究人员探索和按需定制 3D 环境，这启发 DeepMind 向开发人员开放了公司的虚拟 3D 世界平台。同样，OpenAI 也发布了一个元平台（meta-platform）系统。

微软、谷歌和 OpenAI 通过游戏提供的开放测试环境，为研究者和开发者们的程序测试提供了更简便的方式，同时使程序在类似现实世界的全新虚拟环境的探索中获取到更多的新技能。华盛顿大学的机器学习研究者 Pedro Domingos 表示，“这样的开放环境对人工智能未来的发展意义重大。” 2019 年，微软开始重金支持 OpenAI 开展科技创新研究。三年后，OpenAI 推出了 ChatGPT，对人工智能和游戏产业都带来了革命性的影响。

在国内，腾讯、网易等头部游戏科技公司也加大了通过人工智能实现产业创新的步伐。成立于 2016 年的腾讯 AI Lab 目前已成为腾讯在 AI 研发领域的主力。继 2016 和 2018 年分别推出《野狐围棋》AI 绝艺和《王者荣耀》AI 绝悟之后，AI Lab 在 2022 年与《王者荣耀》游戏团队共同研发了人工智能开放研究平台——开悟，成为中国为数不多的研究多智能体博弈的开放算法平台。开悟以多智能体作为核心研究主题，依托《王者荣耀》模拟环境，结合算法、数据和算力的优势，该平台为学术研究人员提供了 AI 研究和应用探索的宝贵资源。

2022 年 6 月 27 日，腾讯游戏宣布将以人工智能技术助力中科院高能所粒子天体物理重点实验室“全变源追踪猎人星座”（CATCH：Chasing All Transients Constellation Hunters）计划，该合作有望将我国空间天文观测技术推向新的高度，并且在时域天文学的后随观测上做出重要贡献。CATCH 计划是粒子天体物理重点实验室提出的、由上百颗微卫星组成的智能化 X 射线天文星座，其核心科学目标是“刻画极端宇宙的多维度动态全景”。CATCH 计划利用腾讯游戏的 AI 技术，到 2030 年实现星座的在轨自主协同观测等功能。

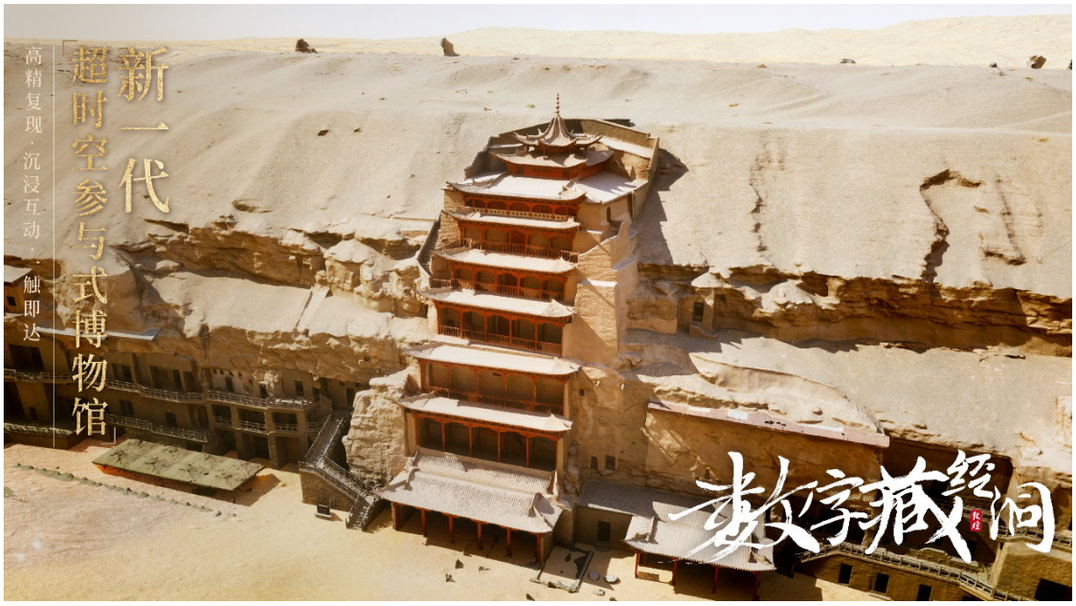

图 11 全球首个超时空参与式博物馆“数字藏经洞”

2023 年 4 月 18 日，国家文物局指导、敦煌研究院和腾讯联合打造的基于游戏科技打造的全球首个超时空参与式博物馆“数字藏经洞”，运用 AI 技术生成了所有历史人物（NPC）的面部表情。“数字藏经洞”综合运用高清数字照扫、游戏引擎的物理渲染和全局动态光照等游戏科技，在数字世界生动再现了藏经洞及百年前室藏 6 万余卷珍贵文物的历史场景。以 4K 影视级画质、中国风现代工笔画美术场景与交互模式，让公众“穿越”晚唐、北宋、清末等历史时期，亲身“参与”到藏经洞的厚重历史之中，在关键历史场景的“见证”和变幻中，直观地感受和了解敦煌文化艺术的价值与魅力，为公众提供身临其境的沉浸体验，其中所有历史人物 NPC 的面部表情都由 AI 驱动生成。未来，人工智能生产内容（AIGC）技术在其中的场景和人物生成方面将发挥了重要作用。

另一家中国互联网公司网易对游戏 AI 研究的应用和布局，则有两条明显的主线——成立于 2017 年底的网易伏羲实验室和网易互娱 AI Lab。2021 年 7 月，网易伏羲发布了游戏行业的 AI 解决方案，包括 AI 辅助制作剧情动画、竞技机器人、对战匹配系统和反外挂系统四部分组件。

国内其他游戏公司也在不断加大对人工智能方向的投入，并增强了与科学、教育和产业等领域的合作。

上述国内外游戏科技行业的人工智能创新案例表明，游戏科技对人工智能及其产业应用已经形成了价值外溢效应，释放了更多效能，为人工智能的可持续、创新发展提供了更加丰富的基础场景。

3.2 游戏科技对人工智能技术创新的驱动力分析

计算机科学与技术是人工智能和游戏科技的重要公约数。一方面，人工智能的发展史是与计算机科学的发展史密切联系在一起的。另一方面，从游戏科技的定义来看，游戏科技的产生和发展也离不开计算机科学技术的支撑。

起初，人工智能作为计算机科学的一个重要分支，其目标是探索智能的本质，并构建出一种新的能与人类智能相似的方式做出反应的智能系统。经过近 70 年的发展，人工智能已经发展成为一个庞大的技术集群，主要包括深度学习、人机交互、自然语言处理和图像识别等 17 个分支（图 12）。

图 12 与游戏科技相关的人工智能技术分支

游戏科技在发展的过程中既得到了人工智能技术最新成果的支撑，同时也不断反哺人工智能技术向前发展。

例如 1976 年开始进入游戏科技领域的雅达利公司，为了追求更高质量的游戏画面，在图形显示领域不断进行创新研究。当公司的研发成果应用到家用游戏机上后，获得了用户的一致好评。雅达利和 Atiri 等公司的产品都为今天计算机图形学的进步提供了技术基础 [9]。

从 20 世纪 90 年代开始，日本游戏公司逐步在家用游戏机市场占据垄断地位。为了实现更好的用户体验，家用游戏机在人机交互技术上取得了很大进步，从旋钮到摇杆，从按键到触控，从整体造型到震动反馈，家用游戏机的人机交互设计经验为人工智能的人机交互技术提供了宝贵的经验。大数据中控台的控制界面、无人机及无人驾驶汽车的操作平台 ..... 从众多前沿技术成果中，我们都能看到当年家用游戏机人机交互技术的影子 [10]。

为了让游戏中的非玩家角色（NPC）能够以更高的智能水平与游戏玩家进行互动，如何提高 NPC 的智能水平就成为游戏科技驱动人工智能技术在多个领域发展的一个重要动力。20 世纪 80 年代，《小蜜蜂》

（Galaxian）增加了复杂多样的敌人运动状态，包括脱离编队的单独机动模式；《吃豆人》则塑造了性格各异的 4 个 AI“幽灵”。21 世纪，在《我的世界》AI 开发平台上，用户可以在游戏中使用上帝模式测试 AI，开发人员可以训练 AI 如何爬山。显然，游戏科技对 NPC 智能水平提高的需求对人工智能领域的人工生命、机器人、自动推理和知识图谱等技术都产生了很强的驱动力 [11]。

在棋牌类游戏中，为了让代表机器一方的选手战胜人类，不断对人工智能技术的搜索技术、多智能体博弈、深度学习、强化学习等技术提出要求，最终在棋牌类游戏的人工智能领域中产生了深蓝和 AlphaGo 这两个里程碑式的突破性成果。

纵观游戏科技的发展历史，游戏科技对某项人工智能技术提出的问题越多，有待突破的需求越旺盛，对人工智能技术的驱动力也就越强。为了能了解游戏科技对各类人工智能技术的需求度和驱动力的强弱，我们对 3192 名互联网从业者进行了调研。并按五个等级对 17 个技术领域进行评估，得出的结果如表 2 所示。

表 2 游戏科技对人工智能技术的驱动力调查结果

游戏科技的驱动力程度						
序号	人工智能技术分类	强驱动		中等驱动	弱驱动	
		很强	较强	中等	较弱	很弱
1	图像识别	40.90%	36.70%	16.90%	4.40%	1.00%
2	多智能体博弈	40.40%	36.60%	16.50%	5.40%	1.10%
3	人机交互	40.40%	39.60%	16.60%	3.00%	0.50%
4	智能机器人	40.10%	36.30%	17.80%	5.00%	0.80%
5	强化学习	39.50%	37.20%	17.40%	4.90%	1.00%
6	知识图谱	39.10%	38.30%	16.70%	5.00%	1.00%
7	迁移学习	39.00%	39.60%	15.70%	4.60%	1.10%
8	（中文） AIGC	38.70%	39.30%	16.70%	4.10%	1.20%
9	计算机图形学	38.60%	38.10%	17.40%	4.70%	1.20%
10	语音识别	38.50%	37.30%	19.90%	3.80%	0.60%
11	人工生命	38.40%	37.50%	18.40%	5.00%	0.70%
12	搜索技术	38.00%	37.00%	18.60%	5.30%	1.00%
13	逻辑推理	37.80%	37.40%	17.60%	6.00%	1.10%
14	深度学习	36.30%	43.70%	16.90%	2.40%	0.80%
15	人工神经网络	36.20%	38.90%	18.60%	5.40%	0.80%
16	自然语言处理	35.10%	39.70%	19.00%	5.50%	0.80%
17	情感计算	32.40%	35.50%	21.30%	8.60%	2.20%

注：研究组通过面向全国互联网从业者网民随机投放问卷，共计回收 3192 个合格问卷样本，覆盖 31 个省、自治区、直辖市。本次调研样本量，超过在 95% 的置信度和 3% 的抽样误差条件下所需的最低样本数量，样本符合统计学有效性要求。

从调查结果看，在 17 个人工智能技术分支中，有 11 个分支展示出游戏科技“具有很强驱动力”，分别是图像识别、多智能体博弈、人机交互、智能机器人、强化学习、知识图谱、计算机图形学、语音识别、人工生命、搜索技术和逻辑推理；有 6 个分支展示游戏科技“具有较强驱动力”，分别是迁移学习、AIGC、深度学习、人工神经网络、自然语言处理和情感计算。

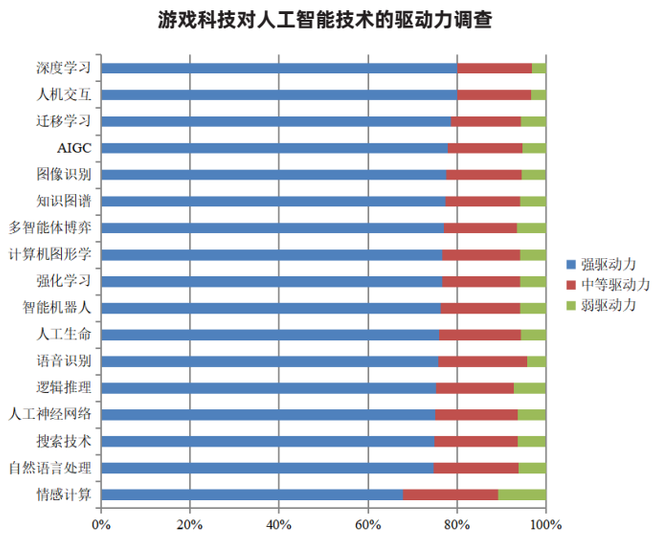

图 13 游戏科技驱动人工智能技术发展的强弱分布图

如果将调查表中的较强和很强合并为强驱动，将较弱和很弱合并成弱驱动，可以形成图 13 所示的驱动力强弱分布图。经调查，受访者认为，游戏科技对人工智能技术有强驱动力排名前五的领域分别是深度学习、人机交互、迁移学习、AIGC 和图像识别。除情感计算技术外，游戏科技对其他各项技术的强驱动力占比均在 70% 以上，这说明游戏科技对人工智能各个技术分支的发展都有着重要的驱动作用。

根据对游戏科技和人工智能领域专业人员的调查结果来看，目前游戏科技领域最重要的问题是内容生产力低下的问题。由于整个游戏工业化程度相对较低，游戏科技的内容生产力不高，因此，很多 3A 级别的游戏制作成本非常高，也非常耗时，制作一款 3A 游戏的投入的时间可能要达到几年、耗费的资金可能需要几千万美金。其中，最大的成本是人力成本，需要雇佣策划、开发和测试等各种人员，把游戏从故事、画面到玩法都打磨得非常精细，这种方式成本高且风险大。

AIGC 技术的不断创新，为解决这一问题带来了曙光，并可能在很大程度上降低游戏产业的生产成本，提升工作效率。例如，在有原画和设定的基础上，用 AI 快速生成参考图片或场景，游戏专业人员的工作效率会大幅度提升；游戏策划专家还可以向 AIGC 的大模型系统询问某个场景的创意并获得多个创意思路。也许游戏策划人员不会完全利用 AI 生成的创意，但可能会产生启发，从而降低游戏策划人员的创意难度，节约从创意到执行的时间。在未来，对于游戏中的内容生成、玩法设计和角色构建，AIGC 都将具有很大的应用潜力。

3.3 游戏科技对人工智能创新驱动的国内外对比分析

人工智能从诞生之日起，就与游戏科技形成了互促互进的关系。通过对人工智能领域中游戏科技的相关论文和全球游戏科技领域公司的人工智能专利进行分析，可以发现，中国与欧美等发达国家在如何利用游戏科技开展人工智能创新方面，在不同领域的强弱对比并不相同。

3.3.1 游戏科技与人工智能交叉研究的国内外对比

根据 João Paulo Sousa 等发表的研究论文《电子游戏与人工智能研究回顾与分析》（Review and analysis of research on Video Games and Artificial Intelligence: a look back and a step forward），在 1971 年到 2021 年间，国际上与游戏科技相关的人工智能论文总数为 2604 篇，具体分布结果如图 14 所示。从图中可以看出，从 1997 到 1998 年间，论文数量开始突然增加，说明深蓝计算机带来的影响开始显现。特别是在 2015 年到 2016 年间，论文数量有一个突跃式的爆发，这说明 2016 年谷歌 AlphaGo 的推出对人工智能和游戏科技的交叉研究产生了很大的影响。

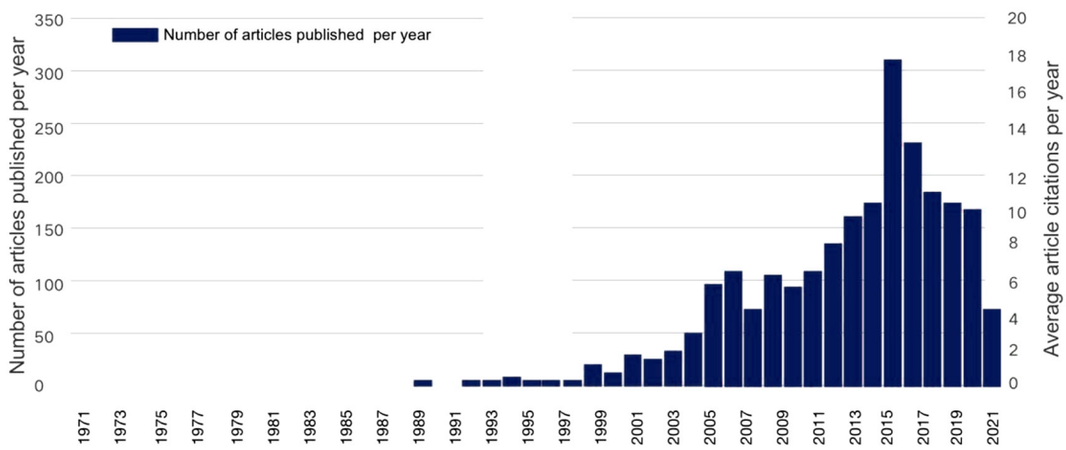

图 14 1971-2021 年游戏科技相关的人工智能领域论文分布图

按照 João Paulo Sousa 的方法对 2015 年到 2022 年间的相关论文进行梳理可以发现，全球范围与游戏科技相关的人工智能论文总数为 1625 篇。其中，来自中国的论文 223 篇。登上顶级学术期刊《自然》和《科学》封面上的游戏科技相关的人工智能论文为 17 篇，来自中国的论文有 2 篇，如图 15 所示。

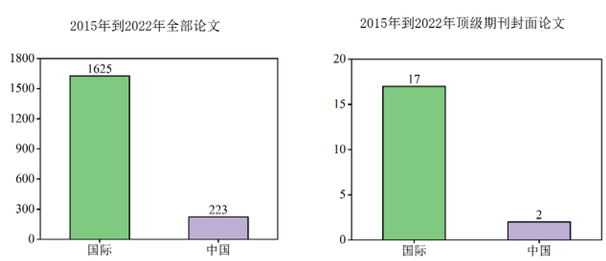

图 15 人工智能领域游戏科技相关论文数量对比

2022 年在《自然》和《科学》上最新发表了三篇游戏科技相关的人工智能封面论文，我们重点对其中的两篇进行介绍。第一篇论文阐述了日本索尼公司用其创建的名为 Gran Turismo Sophy（GT Sophy）的人工智能程序，能够在赛车模拟游戏《GT 赛车》中击败世界冠军级别的人类玩家。该游戏由索尼和国际汽车联合会合作设计，主打真实驾驶感，配置有最新的车辆动力学模拟，模拟了空气阻力、轮胎摩擦、悬架运动引起的方向变化等动态，并结合了现实生活中赛车的技术支持，能够较为真实地再现现实中赛车行驶的各种细节 [12]。第二篇论文介绍了 DeepMind 公司的人工智能程序 DeepNash 在西洋陆军棋（Stratego）中战胜人类专业级玩家，成功跻身前三名。Stratego 是一款经典的棋盘游戏，比象棋和围棋更复杂，而且因为玩家无法看到对方的旗，因此具有不完全消息特性，大幅增加了人工智能游戏的难度 [13]。

中国有两篇论文成为《自然》和《科学》的封面文章。第一篇论文介绍了一辆可以自动驾驶的自行车，展示了清华大学类脑计算研究中心施路平团队研发的“天机芯（Tianjic）”的智能处理能力。第二篇论文介绍了来自浙江大学和之江实验室的科研团队开发的一种能用于深海探测的软体机器人。他们通过在马里亚纳海沟最深 10,900 米处和南海最深 3,224 米处进行了实际测试，验证了这种机器人具有极好的耐压和游泳性能。2015 年到 2022 年八年间，《自然》与《科学》刊载的游戏相关人工智能封面论文发表情况如表 3 所示。

表 3 2015-2022 年顶级期刊游戏科技相关人工智能封面论文

期刊	论文题目与简要介绍
Nature	2015.02.26，美国，《Human-level control through deep reinforcement learning》，用深度强化学习通过 Atari 游戏实现智能体达到人类水准
Nature	2015.05.28，法国，《Robots that can adapt like animal》，提出一种智能试错法算法，算法允许机器人快速适应破坏，完全不需要自我诊断或是提前准备应急措施
Science	2015.12.11，美国，《Human-level concept learning through probabilistic program inductionHuman-level》，向论文中设计的人工智能系统展示一个来自陌生文字系统的字符，它就能很快学到精髓，像人一样写出来，甚至还能写出其他类似的文字
Nature	2016.01.28，美国，《Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search AlphaGo》使用深度神经网络和树搜索 技术的谷歌 AlphaGo 精通围棋并战胜人类围棋冠军
Science	2017.05.05，加拿大，《Deepstack: Expert-level artificial intelligence in heads-up no-limit poker》，“DeepStack” 在“一对一无限注”德州扑克中击败职业选手。结合了递归推演、分解运算以及深度学习技术，该算法原理可能有助于解决现实世界中“信息不对称”问题
Nature	2017.05.18，美国，《Locally noisy autonomous agents improve global human coordination in network experimentsAI》，通过简单的在线游戏发现随机运行的人工智能系统可以促使人类更好地协调行动，更快地完成任务
Science	2018.09.14，荷兰，《A tailless aerial robotic flapper reveals that flies use torque coupling in rapid banked turns》，本研究研发出一可编程的自由飞行机器，通过其扑翼的仿生运动变化控制飞行

Science	2018.12.07，美国，《A general reinforcement learning algorithm that masters chess，shogi，and Go through self-playAlphaZero 》，通过自对弈掌握国际象棋、将棋、围棋的通用强化学习算法 AlphaZero
Nature	2019.03.20，美国，《Particle robotics based on statistical mechanics of loosely coupled components》，描述了一种能模拟生物细胞集体迁移的机器人。研究为开发具有预先确定性行为的大规模机器人系统提供了一种替代方法
Nature	2019.06.26，美国，《Untethered flight of an insect-sized flapping-wing microscale aerial vehicle》，一款名为 RoboBee X-Wing 的仿飞行昆虫无缆机器人。这个小型机器人长度不足 5 厘米，重量仅为 259 毫克，或能在狭窄空间中执行环境监测或导航任务
Nature	2019.07.31，中国，《Towards artificial general intelligence with hybrid Tianjic chip architecture》，创造一款类脑计算人工智能芯片“天机芯”，用一个无人自行车系统验证了这一混合芯片的处理能力
Science	2019.08.30，美国，《Superhuman AI for multiplayer poker》名叫“Pluribus”的人工智能扑克牌机器人在六人无限制德州扑克这项复杂游戏中，首次在规模超过两人的复杂对局中击败顶级人类玩家
Nature	2021.03.03，中国，《Self-powered soft robot in the Mariana Trench》，自供电的深海机器人探索马里亚纳海沟等特殊海洋环境
Nature	2021.03.17，美国，以色列，《An autonomous debating system AI》，一种能与人类进行竞技辩论的自主智能体。虽然人类辩手被判定最终获胜，但作者认为，人工智能或具备参与复杂人类活动的能力
Nature	2022.2.10，日本，《Outracing champion Gran Turismo drivers with deep reinforcement learning》，索尼公司人工智能程序 GT Sophy，能够在赛车模拟游戏《GT 赛车》中击败世界冠军级别的人类玩家
Nature	2022.10.13，美国，《Discovering faster matrix multiplication algorithms with reinforcement learning》，AlphaTensor 建立在 AlphaZero 之上，训练了一个神经网络来指导规划过程，以搜索有效的矩阵乘法算法，为一个 50 年来悬而未决的数学问题找到了新答案：找到两个矩阵相乘的最快方法
Science	2022.12.1，美国，《Mastering the game of Stratego with model-free multiagent reinforcement learning》，人工智能程序 DeepNash，在西洋陆军棋（Stratego）中战胜专业级人类玩家，成功跻身前三名。

从人工智能领域游戏科技相关论文的发表情况来看，中国与发达国家或地区特别是美国之间还有较大差距。2015 年到 2022 年全球发表的与游戏科技相关的人工智能领域论文有 1625 篇，但中国只有 223 篇。同时，《自然》和《科学》两个顶级期刊上在 2015 年到 2022 年有 17 篇封面文章涉及到游戏科技与人工智能交叉领域，其中有 15 篇论文的作者来自于美国、法国、英国、日本和加拿大等发达国家，但来自中国的论文只有 2 篇。这说明中国科学家在人工智能的创新研究中还没有充分利用游戏科技提供的场景和启发，中国科学家就如何利用游戏科技推动人工智能获得重大突破性进展方面还需要进一步努力。

3.3.2 国内外游戏科技公司的人工智能专利状况对比

关于游戏科技公司（包括有游戏业务的相关公司）的人工智能专利情况，本研究报告选择了动视暴雪 、索尼、微软、任天堂等 10 大国际主要游戏厂商，选择了腾讯、网易、金山软件等 10 家国内主要游戏厂商（表 4）。基于相关专利研究报告和专利数据库的数据，本报告对上述公司在人工智能方向的专利情况进行了分析。

表 4 国际和国内主要游戏厂商一览表

序号	国际主要游戏厂商	国内主要游戏厂商
1	ATVI 动视暴雪	腾讯
2	Sony 索尼	网易
3	Electronic Arts	世纪华通
4	Ubisoft	三七互娱
5	Psyonix	哔哩哔哩
6	Microsoft 微软	金山软件
7	Nintendo 任天堂	完美世界
8	Utopos Games	网龙
9	Inworld	搜狐
10	Epic Gam	IGG（全球电子互动娱乐媒体公司）

按照调研机构机构 Statista 根据 LexisNexis PatentSight 的数据统计，截止 2021 年，全球 AI 专利数量前 10 名中，其中腾讯以 9614 件位于排行榜第一，百度以 9504 件处于第二。IBM 持有 7000 多件专利位居第三，三星、中国平安、微软、谷歌依次为第四到第七名，英特尔、华为、苹果依次为第八到第十名（图 16）。

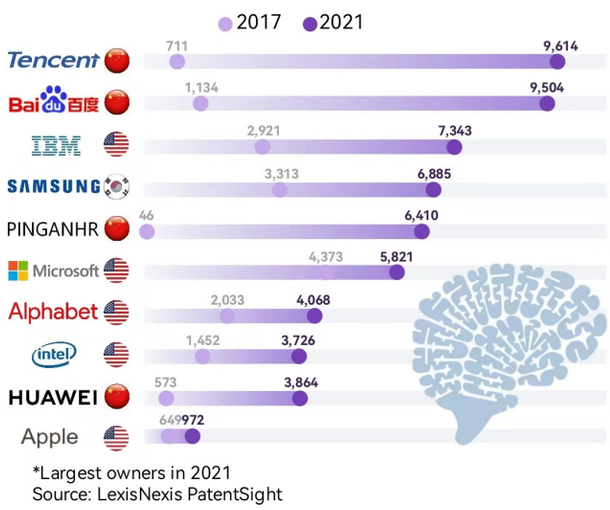

图 16 世界科技公司人工智能专利排名
来源：Statista

人工智能专利质量与布局的得分是根据有效发明专利的总量、有效发明专利占比、平均专利家族规模、专利家族授权比例、平均引证率、专利地理分布等 6 大指标综合计算得出的。利用平均专利家族规模以及平均引证率，不仅可以反馈企业对技术的保护情况，同时也可体现企业的技术领先情况。如果用人工智能专利质量与布局对世界 10 大游戏科技相关公司和中国 10 大游戏科技相关游戏公司进行评分，可以形成如下对比排行榜，如图 17 所示。

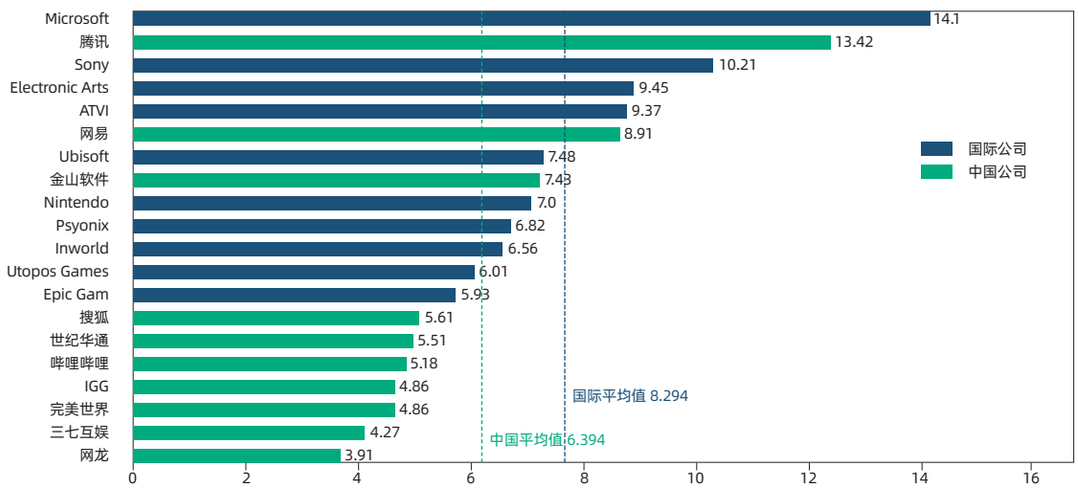

图 17 世界和中国互联网科技公司的人工智能专利质量与布局对比

从人工智能的专利质量和布局来看，20 家游戏公司中，得分进入前 10 名的中国公司只有腾讯科技、网易和金山软件三家公司，其中腾讯科技以 13.42 排名第二，仅次于微软。从得分的均值看，10 家国际游戏公司的平均得分为 8.29，而 10 家中国游戏公司平均得分为 6.4。因此，总体来看，中国游戏科技公司在头部竞争中并不落下风，但从全部 20 家公司平均角度，人工智能专利上的质量和布局与国际游戏科技公司总体还有一定的差距，水平处于中游和下游的公司还有较大提升空间。

04

第四章

游戏科技对人工智能创新的
未来影响

在人工智能 70 多年的发展历程中，游戏科技陪伴人工智能经历了风风雨雨和跌宕起伏，并不断为人工智能提供着支持和动力。直到 2023 年，随着大模型技术与应用取得重要突破，人工智能进一步获得腾飞的动力。同时，AIGC 的兴起也为游戏科技的爆发提供了重要能量。

游戏科技与人工智能的双向促进也必将对它们的未来产生深远影响。在未来，无论是人工智能的基础理论研究与技术创新突破，人工智能产业的扩大与深化，人类教育方式与内涵的提升，游戏科技都将继续扮演重要的角色。观于人工智能的国际发展状况，相关数据表明，游戏市场发达的国家，往往也是人工智能创新能力强大的国家。对于游戏科技，欧盟等经济体在不同时期出台了关注点不同的扶持政策。

4.1 游戏科技对人工智能基础理论研究的拉动

从开发新药物分子、新材料，到解决气候变化问题.....在各大自然科学领域，人工智能将扮演越来越重要的角色，这催生了“AI+Science”研究方向的一个重要分支——“AI for Science”（人工智能驱动的科学研究）。与此同时，还有另一个对偶分支——“Science for AI”（现代科学启发下的人工智能发展）。

严格地说，人工智能目前还处于感知智能技术蓬勃发展和广泛应用的周期之中。人类正在攻克的认知智能难题，以及面向未来的通用人工智能，甚至是超级人工智能，都已经摆在了议事日程之上。因此，各界需要持续解决人工智能领域研究和应用过程中涉及的各种基础理论问题。

展望未来，游戏科技将从玩法创新、可视化创新、交互式创新和人机环境创新四个维度做出突破，使游戏朝着更智能、更生动、更友好、更完善的方向发展。这四个维度分别涉及到游戏的策略规则优化、可视化效果呈现、友好交互和人机环境升级等关键环节，每一个维度所涉及的关键科学问题的解决都需要诉诸于人工智能基础理论研究上的突破性创新，进而拉动人工智能基础研究的发展。

1. 玩法创新

玩法创新的核心价值在于对一些关键的、富有挑战性的科学问题的巧妙解答。不像棋类游戏中的完美信息博弈问题和扑克类游戏中的非完美信息博弈问题，未来的游戏将更具沉浸感，涉及到复杂环境下的场景感知和多智能体交互问题，这就会促进多模态、多任务和多智能体交互等人工智能基础理论问题的深入研究，从而将用户与环境、场景和目标（游戏中的 NPC）的协同感知、实时交互和最优决策集于一体。

2. 可视化创新

随着视频游戏的产生，视觉场景变得越来越复杂，很多游戏科技公司都朝着拟真或超现实的方向去打造

视频环境。这些游戏包含了复杂的光影，对其中的人物和场景的模拟以及视觉效果的渲染等要素都需要非常精细的刻画，这会带来复杂的计算机图形学问题，包括模拟物理现实的问题。面对这些问题，传统的计算机图形学方法难以应对，急需将人工智能领域的计算机视觉技术、AIGC 技术与计算机图形学技术相结合，从而使游戏中的画面越来越逼真、越来越自然。更为重要的是 AIGC 对于提高游戏产业的生产效率，降低创作成本和门槛将具有重要价值。

3. 交互式创新

在未来，基础语言大模型必将与外部世界建立实时且可靠的映射，以便学习如何与各种各样的参与者和环境进行交互，这在游戏开发中尤其重要。特别是随着数字人技术和元宇宙的融合发展，更需要具备这样的功能。这一功能超越了人机之间简单直接的对话，将赋予大模型更强的逻辑推理能力，不仅可从逻辑上产生与每次人机互动适配的字符，还能让人工智能体产生一定的行为，并为基于语言模型的语义理解带来更广泛的应用。

因此，从 AIGC 向人工智能生成行动（AIGA）的升级成为必然趋势。我们相信，无论是 AIGC 还是 AIGA，都一定会在未来对游戏科技的交互式创新产生显著的影响，为游戏科技的开拓性发展提供全新的视角和方法，为游戏生产模式带来全面的革新。在此背景下，基于游戏科技的 AI 前沿创新和基于 AI 技术的新形态游戏将实现协同共生。

2023 年 3 月 27 日，科技部启动“人工智能驱动的科学研究”专项工作，游戏科技将为人工智能驱动的科学研究提供不可替代的实验和研究场景。这个政策的出台也将为游戏科技参与中国“人工智能驱动的科学研究”提供更广阔的空间。

4. 人机环境创新

游戏科技为人工智能等科技领域的创新和创作带来了空前的机遇与可能性。未来，游戏的形式和定义将变得更加多样与开放；科技创新和创作的方式也将更加智能与协作；体验的环境将是虚实结合、沉浸与社交互动。游戏整体将走向一个更加丰富的人机环境系统方向。

游戏新技术带来的变革，也需要科学家、技术人员、艺术家和机构跟上时代步伐，理解并运用新工具，开拓创新视野，与人工智能技术结合探索未知领域。游戏科技与创造力的结合，将孕育出全新的科技系统、艺术体系和产业形态，将人类文明带入更高更先进的境界。

游戏将引发更多意想不到的火花，共同驱动人工智能等科技领域以及各种艺术形态的快速迭代进化。人

机环境系统合作创造出的游戏杰作，也将成为这场革命中最为璀璨的明珠。

4.2 游戏科技对人工智能产业应用的拉动

按照 2022 年度中国游戏产业年会上发布的《游戏科技能力与科技价值研究报告》，81% 的受访者认为游戏对人工智能技术发展具有推动作用，30% 以上的受访者认同了游戏对于 5G、渲染技术、扩展现实（XR）、GPU、云计算、屏幕显示和人机交互技术等前沿科技的促进作用。上述数据表明，不论是在人工智能，还是更广泛的深度科技领域，游戏科技带来的拉动效应已成为共识。

在人类社会进入虚实交互、数实融合发展阶段的同时，生发于游戏产业并持续伴随游戏产业发展而发展的游戏科技将进一步走出“娱乐圈”，成为一种泛在化、通用化的存在，并加速推动人工智能在各产业的应用。

研究组合作团队分别使用 ARIMA 模型、灰色预测模型和 VAR 模型预测了 2023-2030 年中国游戏市场规模情况，采用一次函数拟合方法、灰色预测模型和指数平滑算法来预测 2023-2030 年人工智能产业规模情况，得到了三种游戏产业规模预测结果和三种人工智能产业规模预测结果，理论上共存在 9 种预测组合，并对由不同方法估计得到的 2023-2030 年游戏产业实际销售收入和人工智能核心产业规模取平均值。根据以上预测数值，研究组合作团队测算了在 2023-2030 年间每一年游戏产业发展对于拉动人工智能产业规模的具体数值，和拉动产业规模在总规模占比。

研究表明，2019-2022 年，每年游戏产业为人工智能产业发展贡献了约 104.54、155.58、210.51 和 257.04 亿元资金，期间共增长 150 亿元左右，年增长率为 25.2%。未来，随着游戏产业的不断发展，游戏产业对于人工智能产业的拉动规模持续增加，预计将从 2023 年的 315.76 亿元上升至 2030 年的 1038.10 亿元，年均增长率约达 16%。这些分析结果表明游戏产业与人工智能产业的融合程度越来越高，游戏所提供的技术支撑和应用场景对未来人工智能技术探索和突破愈发重要（图 18）。

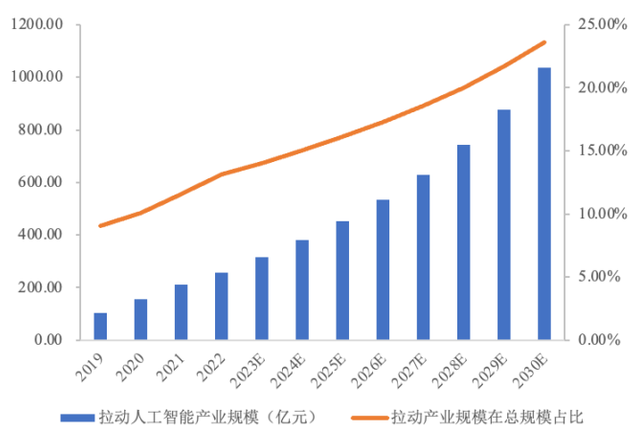

图 18 2023-2030 年游戏产业对于未来人工智能产业拉动情况
数据来源：研究组合作团队计算所得

1. 游戏科技为数字基础设施建设提供新动力

游戏科技因其跨界特征，以及对大量算力的需求，将推动 AI、5G/6G、千兆网、区块链、云计算和边缘计算等新兴技术的开发与应用。据 2022 年《游戏技术——数实融合进程中的技术新集群》报告中的数据，2020 年游戏技术对我国芯片产业的技术进步贡献率大约为 14.9%；对于 5G 和 VR/AR，游戏技术的科技贡献率分别达到 46.3% 和 71.6%。

在未来，基于人工智能、区块链、VR/AR 等技术的虚实结合的交互场景将成为数字经济的底层运营平台。游戏科技将从平台的运行设计、业态搭建、场景应用和资产交易等方面提供有效的前期演练和技术保障。

同时，游戏化的人工智能以海量数据、复杂场景、虚拟形象设计等数据素材为基础，将助推传统产业实际应用场景在数字化世界中的解析与重构，从而构建起以场景为单元的真实模拟和沉浸式的数字化环境，最终到达全真互联网的发展阶段。在这样的新阶段，游戏科技与 AI、AR/VR 等人机交互技术互促互进，进而形成虚拟世界与实体产业的融合共生。

2. 游戏科技改变传统产业的交互与运行方式

作为游戏科技的重要组件，诸如面部表情识别、语音识别、动作捕捉、虚拟触觉、眼动追踪等众多游戏交互技术将加速人工智能与各产业的融合应用。这种融合将深度改变传统产业中人与人、人与机器之间的交互方式，将不同主体间的物理接触和互动进一步延展为数据的互联与流通。当交互技术贯穿于整个产业的全流程时，从设计到生产，从运维到供应链，各环节的协同程度和运行效率将得到显著提升。

文化产业同样与游戏科技有着天然的结合点。与游戏科技紧密相关的数字人、数字身份、数字资产等各种新元素将催生出文化产业的新场景、新模式、新业态和新消费方式。根植于游戏化的数字世界也将为中华民族优秀传统文化的保护、传承、弘扬与传播提供全新的路径和方法。

3. 游戏科技通过重塑数字化环境提高行业生产力

目前，融合了游戏科技的虚拟现实环境已经在多个行业和领域得到应用。例如工业部门的生产和运维管理，医疗领域的认知障碍、精神类疾病的治疗及病患康复训练，等等。随着游戏引擎在图像渲染、光照、特效、阴影、纹理、光晕等方面技术的持续突破，如何持续为各产业打造出可视化、仿真化、沉浸式的数字环境，特别是一些高技术要求、危险、复杂的作业环境，从而不断提高生产力，游戏科技将提供一种有效的方案。

通过在游戏世界中构建数字孪生城市，以及基于人工智能、物联网、大数据、云计算、边缘计算、区块链等技术的数据获取、分析与流通，将有力推动城市治理中的跨部门、跨产业数据整合与管理协同，为探索

出城市治理的最优路径和方案做出贡献。此外，经游戏化验证的 AI 技术将有助于各城市结合其产业特点与优势，打造具有地方特色的数字经济产业集群。

4. 游戏科技推动科研创新与关键技术突破

游戏科技有助于科研设备与实验室环境的数字化迁移。在数字化环境中，人工智能将改变传统科研模式，提升科研效率，加速科研成果的创造与转移转化，缩减从科技理论提出、模型验证到小范围测试、大规模应用的周期与投入。此外，游戏化的数字世界拥有各种以兴趣为划分标准的去中心化社群，能够为科研提供更广泛的群体基础和规模化的数据测试基础，推动“公民科学”与科研众包的发展。

游戏科技的普及与大规模的数字生成，有利于推动 AI 算力基础设施的布局和建设，提升 AI 基础数据供给，并推动 EPU、HPU、GPU 等基础芯片的研发与创新。同时，游戏科技在 AI 产学研的跨界联动之下，将促进 AI 算法、开发平台及计算机视觉、自然语言处理和机器学习等应用技术的自主创新与关键技术的突破。

4.3 游戏科技与人工智能结合对教育形成新贡献

伴随着生产力的发展，社会的进步与科技革命的冲击，人类教育不断达到新的发展阶段。在朝着高质量发展的目标前进的道路上，游戏科技也由此登上了人类教育的大舞台。从本质上来说，游戏科技通过教育游戏（Educational Games）与游戏化教育（Gamified Education）两种形式，实现其教育功能。前者指围绕某个教学课程或教育主题而开发的游戏，后者则是在教育中融入相关的游戏元素或游戏规则。目前，我们正处在由教育游戏向游戏化教育拓展的阶段。

展望未来，通过与人工智能的融合，以及传统教育领域向数字世界的迁移，游戏科技很可能成为人类教育不可或缺的一项基础工具，并持续为之做出贡献。教育理念、教学环境、课程体系、师资力量、教学对象、教学方法、教学评价…… 游戏科技将浸润到人类教育的整个生态中，并为我们呈现出一幅全新的未来图景。

1. 重构教学环境

如何构建帮助学生进入深度学习状态的教学环境，是提升教学效果的一项重要课题。在数字化时代，通过移动互联网、扩展现实、元宇宙等新技术和新模式的融合，传统教育的时间与空间限制将得以打破，知识获取的渠道和方式也将得到拓展。同时，游戏科技的引入有助于形成开放式、沉浸式、交互式的教学环境，使得知识的传递与接收变得更加轻松和快捷。此外，游戏化的体验可以更有效地引导学生进入深度学习状态，提升学习效果。

2. 重建教学内容

游戏科技有助于开发更精准、更个性化的教学内容。基于 AI 分析的互动式游戏科技可以在学生掌握的知识基础，为每一位学生绘制个性化的学习画像，提供定制化的学习内容与技巧，实现学习状态的“千人千面”。同时，游戏科技有助于开发跨学科和综合性的教学内容。通过游戏科技，可以更好地打破各学科边界，实现学科内容的融汇贯通，打造一体化的学科教育培训体系，从而实现以多种体验为手段，以思维培养为核心的现代教育培训体系的目标。

3. 重组教学师资

随着数字化教育基础设施与教育技术向个人端的下沉，游戏化教育技术将绕开物理世界的教学师资不平衡，实现教学资源的跨地区流动，推动师资力量在数字世界中的再分配，从而达成更大程度的教育资源公平性。

游戏科技可以推进人工智能在教育辅助领域的应用，帮助教师精准把握教学重点和难点，结合每一位学生的认知与掌握程度，进行教学方法的整体设计和改进，从而提升教学效率和质量。同时，随着人工智能技术的发展，距离每个人都拥有属于自己的人工智能助手这一愿景已经并不遥远。在此背景下，人工智能助手也有望为每一个人的终身学习赋能。

4. 重聚教学对象

当今世界，各种新技术的持续突破和应用，推动了各产业的快速变革，对个人成长也提出了新的要求。在此基础上，个人所掌握知识的更新迭代变得更加快速，终身学习成为不可避免的社会大趋势。

游戏科技拓宽了教学对象的范围，将更多的人纳入到终身学习的进程中。不同于儿童、青少年的校园教学，成人再教育更具定向化、目标更明确、学习周期更短、学习时间和方式更加灵活多变。游戏化数字教育技术将有助于成人再教育体系搭建、教学内容设计和教学方式的快速迭代和低成本更新，从而实现成人再教育的个性化和主动定制化。

5. 重设教学方法

游戏科技可以推动教学理念与教学方法从单向到交互、从机械到灵活、从枯燥到有趣的转变。游戏化教学方法可以将游戏化思维融入到教学方法中，并推动传统教学流程和教学方法的重新设计与开发，以充分发挥游戏在激发个人学习动力方面的内在驱动价值。

游戏元素、游戏化设计和游戏理念可以有效激发学生的学习兴趣，摆脱传统的枯燥且机械的学习方法，能够以更轻松的游戏化心态来学习，并有助于培养学生的好奇心、主动性、控制力、抗压力、竞争意识和团

队协作意识等品质。

6. 重塑教学评估

在传统教学情境下，老师的教学效果和学生的学习效果评价主要依赖各种考试、测验或升学率等指标。这种事后的教学评估体系存在不及时、准确性差、效率低下和不公平等问题。随着游戏科技与教育领域的加速融合，强调参与性和互动性的游戏化教育方法将打破传统教学评估的种种弊端，促使教学评估重心从关注结果向关注过程的转移。

在数字化教学环境下，基于 AI 分析的学习者参与、交互、专注、持续、反馈等行为都可纳入更科学、更智能化的学习效果评估体系中。各种 AI 技术可以提供实时的学习状态评估结果，并对学习内容和教学进度进行实时调整，提升知识掌握与技能运用的效果。

4.4 游戏科技促进人工智能发展获得更多国际关注

到 2023 年，人工智能通过与大数据、移动互联网、云计算、物联网、区块链、5G 等数字科技的结合，已逐步渗透到经济、科技、产业、军事、文化和教育等领域。据 IDC 于 2022 年末发布的最新的调查数据显示，全球人工智能市场在 2022-2026 年预计实现 18.6% 的年复合增长率，2023 年将突破 5000 亿美元，到 2026 年达到 9000 亿美元。

为了在世界数字科技和数字经济中占据优势地位，人工智能已成为各国进行科技创新的主要领域。据英国牛津洞察智库在 2022 年 1 月发布的《政府 AI 就绪指数报告》称，全球已有约 40% 的国家发布或将要发布国家人工智能战略。各国均试图通过国家战略层面的率先布局谋划，成为人工智能领域的领先者。

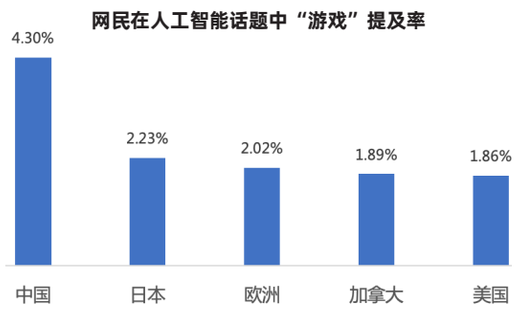

图 19 世界各国网民在人工智能话题中游戏的提及率

注：研究组通过企鹅有调对相关国家网民的相关话题进行调查，其中“欧洲”参考欧洲各国游戏产业市场规模，圈定英国、德国、法国、意大利、西班牙五国数据作为代表。其中中国网民相关讨论数据来源于微博，他国网民相关讨论数据来源于推特。他国网民国别根据推特用户选择的国家及发文定位综合判定。

通过收集世界主要社交网络 2022 年以来各国网民关于人工智能的相关讨论总量，并计算相关内容中“游戏”的提及率发现，中国网民的提及率显著高于日本、欧洲、加拿大和美国网民，如图 19 所示。其中中国网

民在人工智能话题相关讨论中，“游戏”一词的提及率最高。这说明，近年来中国网民对游戏与人工智能的关系，比其他国家有更强烈的认知，这也为游戏科技和人工智能下一步发展提供了相对更好的舆论环境。

2022 年 11 月，欧洲议会高票通过电子游戏产业发展决议，提出了支持游戏科技的 38 条政策，正式认可游戏科技背后所潜藏的巨大的经济、文化、教育和科技价值。在决议现场，欧洲议会重点提出游戏科技产业的发展将成为包括人工智能在内的科研领域的助燃剂，极大推进科学技术的研究，具有极强的创新价值。同时，游戏产业在科普、继续教育等领域拥有发展潜力，并能够鼓励新一代欧洲人进入工程、科研、生物和艺术等多个领域 [1]。

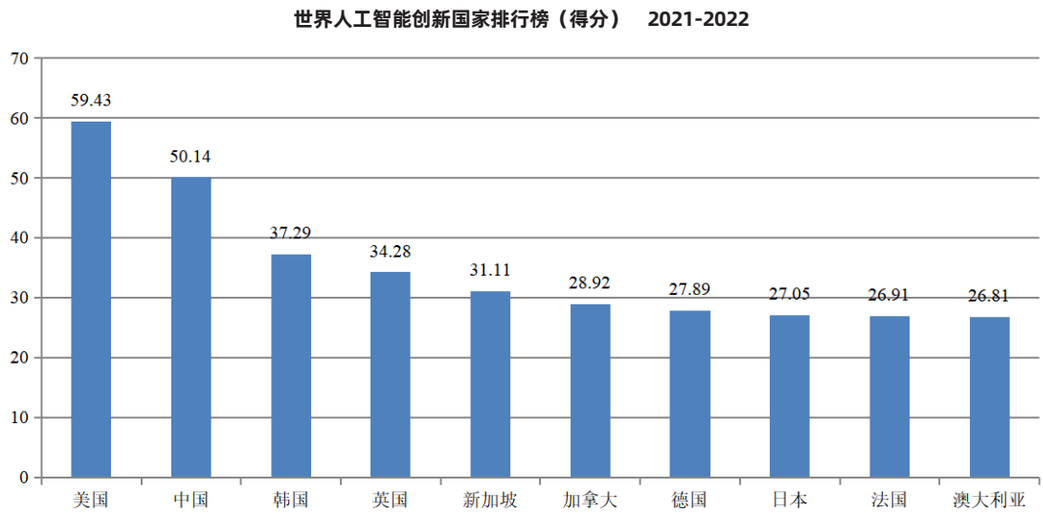

图 20 世界人工智能创新国家排名

来源：中国科学技术信息研究所《2021-2022 全球人工智能创新指数报告》

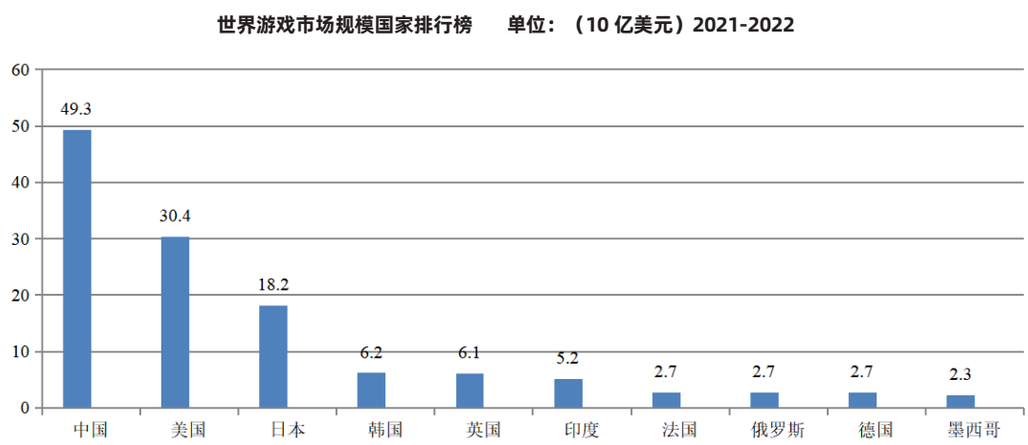

图 21 世界游戏市场规模国家排名

来源：Statista Digital Market Outlook

如果把 2021 至 2022 年全球人工智能前 10 大创新国家（图 20）和游戏科技市场规模前 10 大国家（图 21）依次展示出来，可以发现，美国、中国、日本、韩国、德国、英国、法国等 7 个国家在两大排行榜中均有出现。这两个排行榜的前 3 名也全部来自于这 7 个国家。这说明游戏科技的兴盛与人工智能的创新发展有着密不可分的关系。在未来人工智能的国际竞争中，将会有越来越多的国家重视游戏科技在其中扮演的角色和产生的驱动作用。可以说，那些更有力地推动游戏科技与人工智能互促互进的国家将在未来具有更高的人工智能产业竞争力。

05

第五章

总结与建议

作为一种人类追求精神世界需求满足的社会行为方式，游戏承载了太多的元素——它不仅具有娱乐属性，还具有教育属性、文化属性，现代科技的赋能，又让它呈现了科技属性，游戏产业的繁荣，也让它具有鲜明的商业属性。因此，游戏已经变成一个多元化的科技生态系统，让科技赋能，又反刍于科技，不断推动现代科技的飞速发展。

本研究报告集中阐明了游戏科技在发展壮大的过程中对人工智能创新发展的推动作用。研究结果表明，游戏科技俨然已经成为人工智能创新发展的“试验田”和“孵化器”，在人工智能发展历程的重要节点上多次起到了关键作用，不仅在人工智能度过艰难的冬天时，提供了持续发展的动力，更是在近十年持续加速推进了人工智能的创新发展，全速高能地助力了人工智能呈裂变性的迭代升级。从过去到现在，再到将来，游戏科技已经并将继续充当人工智能创新发展的驱动引擎。

从本报告的研究结果可以发现，在人工智能四个重要里程碑事件中，游戏科技在前三个里程碑事件的产生过程中起到了关键性作用，对第四个里程碑事件的产生也起到了重要作用。具体到游戏科技对人工智能技术的驱动力上，在人工智能技术的 17 个分支中，游戏科技对其中 11 个具有很强的驱动力，对另外 6 个具有较强的驱动力。这些实证分析结果表明，游戏科技对于人工智能发展历程的重大创新突破和人工智能各大技术方向的发展都形成了显著的驱动作用。

同时，本报告发现，在游戏科技驱动人工智能发展的力度上，我国与国际发达国家之间还有一定差距。在学术研究领域，由最具科技含量的顶级期刊《自然》和《科学》发表的相关论文可见，在 2015 到 2022 年间，共有 17 篇封面文章涉及人工智能与游戏科技的交叉领域，但只有 2 篇来自我国；在游戏科技公司申请的人工智能专利方面的质量和布局上，腾讯和网易等公司可以进入到世界第一阵营，但我国游戏科技公司与世界优秀公司之间总体上还有较大的差距。

回顾历史，无论是聚焦于人工智能创新发展中的里程碑事件，还是对人工智能技术创新和产业驱动力的实证探索，游戏科技不仅为人工智能的理论创新点发展注入了强大的能量，更像是一种灵魂，贯穿于人工智能创新应用的方方面面。而且，在未来，游戏科技对于人工智能的基础理论研究、产业应用、人类教育和伦理研究都会全面渗透。

鉴于上述结论，并结合我国当前已经将人工智能提升到战略性新兴产业的大背景，本报告提出如下建议：

第一、提高社会各界对游戏科技重要性的整体认识

推动游戏科技与其它前沿产业的有机融合。重视游戏科技对 AI、图形处理、AR/VR、5G/6G、千兆网、区块链、机器人、自动驾驶、高性能芯片、云计算、边缘计算、算力基础设施等基础技术的溢出效应，将游戏科技视为前沿科技的一个重要方向，并纳入到前沿科技整体生态进行布局。推动游戏科技与人工智能、文化创意、社会心理、创新管理等学科的交叉融合，促进跨学科人才培养。争取人工智能领域第五次或第六次里程碑级别的创新突破能

够在我国发生，助力科技强国建设。

第二、强化游戏科技“产学研用金”全链条贯通

游戏科技领域的企业应着力加强人工智能科学研究和技术创新。一方面，通过新一代人工智能技术的赋能获得更强的国际竞争力；另一方面，积极推动游戏科技领域催化的人工智能创新成果及时向科学探索、产业应用和文化教育等领域汇集。同时，鼓励具有人工智能学科背景的科研院所与游戏科技行业的产业联盟、研发机构和投资机构加强合作与交流，大力支持联合攻关，共同开展科学探索实验，加速人工智能相关技术的落地和应用。

第三、推动游戏科技在传统产业的深度应用

随着《数字中国建设整体布局规划》国家战略规划文件的发布，数字经济、数字政府、数字文化、数字社会、数字生态文明建设将全面提速。在此背景下，需要大力推动游戏科技以及与之紧密关联的人工智能、数字孪生、空间计算、数字人、AR/VR 等技术族群在农业、能源、制造、交通、医疗、零售等传统产业的应用，从而推动传统产业持续升级。

第四、充分发挥动游戏科技对教育的促进作用

充分发挥游戏科技的科普与科学教育功能，鼓励游戏科技企业开发适合不同教育阶段的优质教育游戏，开展形式多样的游戏化教育。以游戏科技为牵引，推动文学、艺术、科技、工程等学科的跨界融合和跨学科教育，全面助力从基础教育到继续教育各阶段的教育水平，促进全民科学素养和文化素养的持续提升。

第五、用游戏科技弘扬中华民族优秀传统文化

从全球来看，游戏科技已经成为推动全球文化数字化共享和弘扬优秀传统文化的重要承载平台。同时，通过与人工智能、区块链、元宇宙等新技术、新模式的融合，游戏科技与设计、出版、影视、音乐、体育、旅游等文化产业形成了越来越紧密的联动。在此背景下，建议制定相关政策，深度挖掘中华民族优秀传统文化，赋予游戏科技新的创意和创作内涵，推动游戏科技在文化传播和文化输出方面发挥更有力的作用。

第六、增强正向引导，优化游戏产业监管政策

一方面，通过科学传播和教育，大力提高全社会对游戏科技的科学认知度，正向引导大众通过游戏科技提高学习和工作效率，丰富精神生活，参与科学探索，提升幸福指数；另一方面，建立起科学性、系统化、前瞻性的游戏产业监管政策，在信息安全、隐私保护、防沉迷、反欺诈、反赌博、反洗钱等方面筑牢“防线”，促进游戏科技健康和高质量可持续发展。

图示目录

图 1 游戏科技与科学探索共同驱动人工智能发展的双螺旋结构 01
图 2 游戏科技与人工智能主体共现关系 05
图 3 人工智能发展里程碑事件演变图 10
图 4 游戏科技在人工智能诞生时期标志性事件的示例图 11
图 5 游戏科技在人工智能冬天中发挥的作用 12
图 6 《自然》（Nature）封面的 AlphaGo 14
图 7 近十年游戏科技与人工智能结合产生的部分标志性成果 15
图 8 ChatGPT 搜索量与用户量发展趋势图 17
图 9 OpenAI 通过游戏科技开展的人工智能探索历程中的典型案例 18
图 10 ChatGPT 用户使用目的调查统计结果 19
图 11 全球首个超时空参与式博物馆“数字藏经洞” 24
图 12 与游戏科技相关的人工智能技术分支 25
图 13 游戏科技驱动人工智能技术发展的强弱分布图 27
图 14 1971-2021 年游戏科技相关的人工智能领域论文分布图 28
图 15 人工智能领域游戏科技相关论文数量对比 28
图 16 世界科技公司人工智能专利排名 31
图 17 世界和中国互联网科技公司的人工智能专利质量与布局对比 32
图 18 2023-2030 年游戏产业对于未来人工智能产业拉动情况 36
图 19 世界各国网民在人工智能话题中游戏的提及率 40
图 20 世界人工智能创新国家排名 41
图 21 世界游戏市场规模国家排名 41

表格目录

表 1 游戏科技在人工智能领域的典型创新案例 22
表 2 游戏科技对人工智能技术的驱动力调查结果 26
表 3 2015-2022 年顶级期刊游戏科技相关人工智能封面论文 29
表 4 国际和国内主要游戏厂商一览表 31

参考文献

前言

[1] 爱因斯坦 , 茵菲尔 . 物理学的进化 [M]. 上海科学技术出版社 , 1962.

第一章

[1] 尼尔逊 . 人工智能原理 [M]. 科学出版社 , 1983.

[2] 温斯顿 . 人工智能 = Artificial intelligence[M]. 清华大学出版社 , 2005.

[3] 托马斯·库恩 , 吴国盛 , 张东林 , 等 . 哥白尼革命 [M]. 北京大学出版社 , 2003.

[4] John Conduitt. An Account of the Life and Writings of Sir Isaac Newton.Philosophical Transactions of the Royal Society, 1740(29).

[5] 武夷山 . 科学与游戏 [J]. 学习时报 , 2004, 56(2):1.

[6] 陈英和 . 皮亚杰学派与现代认知心理学关于儿童认知发展观点之比较 [J]. 北京师范大学学报：社会科学版 , 1995(1):8.

[7] Interview between Huang Renxun and Ilya Sutskever .[EB/OL].[2023-3-27].https://www.bilibili.com/video/BV1kv4y157Lh/

第二章

[1] 游戏科技在人工智能四个里程碑中的作用调查 . 人工智能学家 . 2023-03-18. https://mp.weixin.qq.com/s/5q17vFjR_lVEMAP_ZPJ30g

[2] AI 异军突起，人工智能掌握未来走向？百度 . 2022-12-04. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1749619565580109547&wfr=spider&for=pc

[3] Turing, A.M. Computing machinery and intelligence [M]. 1950. https://www.doc88.com/p-2028733310000.html

[4] Shannon, Claude E . Programming a computer for playing chess[J]. Philosophical Magazine, 1950.

[5] Selfridge O G. Pandemonium: a paradigm for learning. 1988.

[6] 人工智能简史 . 简书 . 2019-05-09. https://www.jianshu.com/p/bebf9f406d07

[7] 科普时间丨人工智能简史，快来了解！ [Z/OL]. 微信公众号 .2022-10-24. https://mp.weixin.qq.com/s/WRM7v_RgHdS_d1fjGakXFw

[8] Python 学习笔记之人工智能 . CSDN. 2020-08-31. https://blog.csdn.net/XXXGDZM/article/details/108318607

[9] 野心勃勃的日本第五代计算机，是如何一步步走向失败的 .CSDN. 2022-06-20.https://blog.csdn.net/coderising/article/details/125383496

[10] 过去热点今天看：1996 年 2 月 10 日深蓝计算机首次挑战卡斯帕罗夫。百度。2019-02-10. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1625004534403640487&wfr=spider&for=pc

[11]20 年前的“深蓝”打开了人工智能这扇门 . 亿欧网 .2017-05-13. http://app.myzaker.com/news/article.php?pk=5916b0ea1bc8e0017c000001

[12] 浅谈围棋人工智能 . 文秘帮 .2022-07-24. https://www.wenmi.com/article/pv5gcu04be1q.html?ivk_sa=1024320u

[13] 为什么人工智能的预测这么糟糕 的终极答案是 ?. 搜狐网 . 2017-06-20.

https://www.sohu.com/a/150478189_223764

[14] Gartner：全球近四成企业采用 AI 技术 4 年来增长 270%. 人民网 . 2019-01-29. http://industry.people.com.cn/n1/2019/0129/c413883-30596912.html

[15] 全球人工智能产业进入高速发展阶段 . 百度 . 2022-08-31. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1742653857959591885&wfr=spider&for=pc

[16] 颤抖吧！人工智能又赢了人类，这次是德州扑克 . 上观 . 2017-01-31. https://www.jfdaily.com/news/detail.do?id=43688

[17] Grandmaster level in StarCraft II using multi-agent reinforcement learning[J]. Nature, 2020, 2019 年 575 卷 7782 期 :350-354 页 .

[18] ChatGPT 类生成式人工智能产品及技术对我国网信和舆情工作的影响浅析 . 财经头条 .2023-03-28. https://t.cj.sina.com.cn/articles/view/2194035935/82c654df0010198p2

[19] ChatGPT 万亿美元商业化狂想 . 百家号 .2023-02-04. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1756915334346686771&wfr=spider&for=pc

[20] 能写诗会谈心的 ChatGPT 引深思，人类工作会被 AI 取代吗？院士称不可能替代人类思考 . 百家号 .2023-02-07. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1757185186620875855&wfr=spider&for=pc

[21] 首都在线：ChatGPT 标志新算力时代来临 . 凤凰网 . 2023-02-06. https://tech.ifeng.com/c/8NBFBRfA3iI

[22] 比尔·盖茨：ChatGPT 表明人工智能历史意义不亚于“PC 或互联网诞生”. 新浪科技 . 2023-02-03. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1756766207179811763&wfr=spider&for=pc

[23] Ecoffet A. Huizinga J. Lehman J. et al. First return. then explore[J].Nature. 2021.

第三章

[1] FDA Permits Marketing of First Game-Based Digital Therapeutic to Improve Attention Function in Children with ADHD.FDA.2020-06-15. https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-permits-marketing-first-game-based-digital-therapeutic-improve-attention-function-children-adhd

[2] Outracing champion Gran Turismo drivers with deep reinforcement learning .nature .Published 2022-02-09. https://www.nature.com/articles/s41586-021-04357-7

[3] Unity and DeepMind partner to advance AI research.Unity.2018-09-26. https://blog.unity.com/technology/unity-and-deepmind-partner-to-advance-ai-research

[4] Microsoft is testing an AI powered Minecraft where you tell it what to build. forbes.2023-02-17. https://www.forbes.com/sites/paultassi/2023/02/17/microsoft-is-testing-an-ai-powered-minecraft-where-you-tell-it-what-to-build/

[5] 腾讯开悟「王者荣耀 AI 开放研究环境」启动申请，为学术研究提供探索平台 . 腾讯开悟 . 2023-02-17. https://aiarena.tencent.com/aiarena/zh/news/acca0db963b7ef58003412d12aeb9beb

[6] 腾讯游戏携手中科院高能所粒子天体物理重点实验室，公布“AI 技术实现天文卫星星座的协同观测”合作项目 . 腾讯游戏 .

[7] 敦煌研究院发展数字创意技术 打造“数字藏经洞”. 中国新闻社 .2022-06-16. https://vs.cns.com.cn/video/detailTemp/379114.html?id=379114
2022-06-27.https://game.qq.com/web202207/technology-7.html

[8] 网易伏羲亮相世界人工智能大会，发布游戏行业 AI 解决方案 . 新浪网 . 2022-07-10. http://k.sina.com.cn/article_1652484947_627eeb530200179nx.html

[9] JungHyunHan. 计算机图形学 [M]. 清华大学出版社 , 2013.

[10] 王远顺 . 人工智能驱动的人机交互技术挑战及应用思路研究 [J]. 科学与信息化 , 2020.

[11] 何赛 . 游戏人工智能关键技术研究与应用 [D]. 北京邮电大学 , 2015.

[12] Peter R. Wurman, Samuel Barrett.Outracing champion Gran Turismo drivers with deep reinforcement learning[J]. Nature.2022

[13] JULIEN PEROLAT , BART DE VYLDER.Mastering the game of Stratego with model-free multiagent reinforcement learning.[J]. Science.2022

第四章

[1] 人民网 .. 欧洲议会通过首项电子游戏产业发展决议 [EB/OL].2022