



香港中文大學(深圳)  
The Chinese University of Hong Kong, Shenzhen

# AI与可持续发展展望

AI and Sustainable Development Outlook





# AI与可持续发展： 人机共生的研究与分析框架

## 前言

FOREWORD

### 李孜

腾讯研究院资深专家

联合国《2030年可持续发展议程》强调“人类、地球、繁荣、和平与伙伴”，为全球提供了从传统发展模式向可持续发展模式转变的范式。2024年9月联合国未来峰会将进一步讨论人工智能、数字经济与可持续发展的关系。针对这样的背景，AI与全球可持续发展展望报告，将分析AI及大模型技术革新对全球可持续发展的挑战与机遇。

在21世纪，气候变化、AI技术进步与地缘政治的交融，正在深刻地重塑世界新格局，这将给我们带来什么挑战与机遇？如何构建一个跨学科，跨界的综合框架来支持分析与战略规划？

### 一. AI与可持续发展研究与分析框架

AI与可持续发展展望旨在分析和探索“AI与可持续发展框架”关键层面，为新世纪格局的科技、社会、经济与政治叙事提供框架。从科技企业AI技术与产业领导的未来人机交互界面（海平面），从而提供产品抓手来影响世界的关键层面，衍生到“海平面”之下主导AI及机器世界的基础设施与基础协议层面，以及海平面之上影响人思考与行为模式的各个层面，共计8个层面从底层到顶层简要介绍：

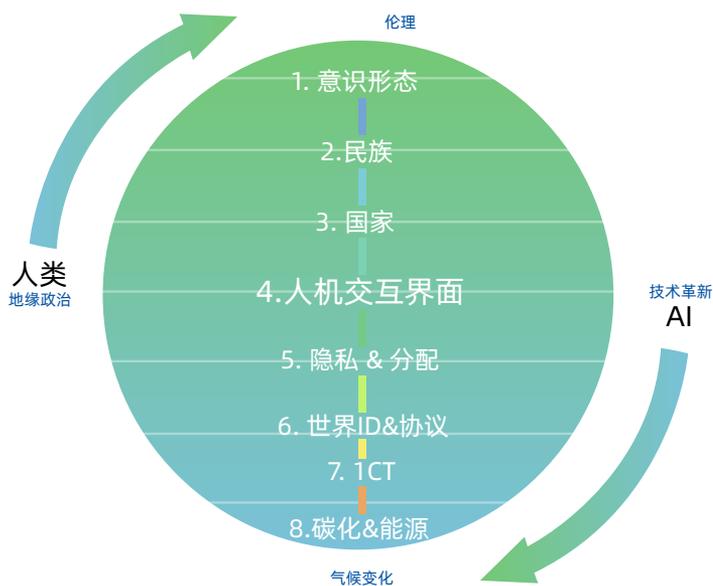


图1 AI与可持续发展：人机共生的研究与分析框架

## AI与气候变化及全球碳中和层面

“碳中和”能否通过社会、经济和政治结构成为一项关键原则？

这个层面强调了东西方之间新的核心共识，强调了碳中和的愿景，并强调了技术和价值观之间的关键交汇点。这个概念强调将环境和气候风险整合到新数字科技经济体系中，以促进可持续发展，减少气候变化的影响，并确保环境、经济和社会的协调发展。AI及大模型支持碳交易、碳捕获和碳储存等新模式是实现这一目标的关键工具。

## AI与信息通信技术基础设施层面

信息通信技术如何涵盖技术设计和价值系统设计之间的跨学科研究，特别是在地缘政治中的新战略定位？

信息通信技术构成了现代地理景观的基石。这个层面将技术堆栈分为技术基础设施、网络层、应用层和数据流。这些元素在信息传播、创新与社会变革中发挥着关键作用，但也在道德和隐私方面提出了挑战。

## AI与世界数字ID系统和协议层面

人机共生世界的基本问题是，我们如何在人类和人工智能之间进行区分，并建立一个全球数字身份系统？

在这个层面上，重点是“世界ID和基础协议”的概念，通过标识、识别和数据管理，以及可编程的金融科技，特别是与碳中和逻辑集成的可编程金融系统，将强调人工智能时代的新工作模式与分配制度。该框架强调了隐私保护的必要性，并可能通过人工智能产业收益实验全民基本收入（UBI）的可能性？

## AI与数据管理和资源分配层面

技术协议设计如何深刻影响数据的定义与资源分配？

定义和使用数据本身结构将在资源分配中做出决定作用？数据的定义、使用和共享或将决定数据产生的价值如何分配给不同的利益相关者，包括个人、企业和社会组织等。因此，数据管理不仅需要考虑个人隐私权，还需要考虑资源和公共管理，以确保公平性和可持续性。数据创造的商业和社会价值决定了其作为未来资源分配的关键因素的重要性。无论是在物质层面，如土地和自然资源，还是在虚拟层面，包括数据，它们都被认为是最重要的生产资料，需要高度重视数据和资源的重要性。

## AI与人机界面层面，及“海平面”

作为一个强大的工具，人工智能如何在实现东西方之间新的全球共识方面发挥关键作用？

该层面侧重于与“人工智能与人的需求”的技术设计与产品的相关的问题，是当下绝大多数数字科技企业的发展方向。因此，需要一种平衡的方法来充分利用人工智能的潜力来促进社会的整体利益，同时解决透明度、公平性、教育和监管等问题。这个场面需要深入探索关键领域，如技术设计、人工智能技术的应用、决策、道德、教育和监管。

## AI与国家治理层面

AI及数字技术的兴起对传统边界和国家治理可能带来了哪些挑战？

在过去与现在，由于非政府组织、跨国公司等非国家实体能够推动超越国家范围的变革和治理。在这一背景下，全球治理由上述非国家实体共同参与，作为国家机构的补充。

同时AI及数字技术和网络，让个人和一些组织能够参与到构建、参与并支持其建立的虚拟机构或“云国家”中。这些虚拟机构不依赖于地理位置，而是基于在线通信和数字协议。个人和机构根据自己的价值观选择加入这些虚拟国家，并通过区块链等技术实现自治和治理。这种观点挑战了传统国家主权的概念，将治理下放至个人和社区层面。

这些现象反映了AI与数字技术如何重塑了内部结构和治理的复杂性。一方面，数字技术促进了全球范围内的合作与治理，打破了传统国家边界；另一方面，它也提供了个人和社区自我组织和治理的新途径，挑战了国家的传统角色。

## AI与民族认同

我们应该如何看待民族在地缘政治中的作用，民族在地缘政治景观中发展新文明中的重要性？

纵观历史，民族身份和文明之间的竞争与合作的相互作用塑造了不同国家和地区的发展轨迹。中国历史上“华夷之辨”和西方罗马帝国文明的向心力等例子提供了这方面的历史经验。而当下社会发展的多样性和复杂性，需要我们更深入地思考AI对未来从文明体系到人类族群的演进的影响。

## AI与价值观和道德伦理层面

### 人工智能时代将形成何种价值观和全球道德伦理体系？

随着社会在应对气候变化和人工智能技术创新的同时，政治和经济系统正在经历根本性的转变。这包括政府决策对商业行为的影响、国际关系的演变以及全球新规范的建立。社会要求政府和企业采取更加负责任和可持续的行为，适应法律和法规的改革。

此外，国际社会正在努力构建一个全球性的未来议程框架，以解决气候变化、数字权利等跨领域问题。这种转变涉及到重新定义人类与AI及科技技术之间的道德关系，对治理结构和全球规范产生深远影响。它不仅要求我们重新思考技术发展与社会伦理之间的平衡，还涉及到如何在全球范围内协调行动，确保技术进步能够促进共同福祉，而非加剧不平等或环境破坏。这一过程需要跨学科的合作，包括法律、伦理学、政策制定、科技以及社会学跨界共同参与，以确保全球道德伦理体系的构建既符合人类共同利益，又能适应快速变化的技术环境。

总之，在“AI与可持续发展展望”框架试图结构性的理解和分析气候变化，大模型技术革新与地缘战略中的复杂问题。

在分析了“AI与可持续发展展望”的中长期框架后，未来几年的短期内AI及大模型技术突破是否可以支持AI与技术产业发展，社会与经济变革呢？

## 二.AI及大模型技术革新

这部分可以通过分析的四个主要因素即投资、计算能力的提高、算法效率的提升和如强化学习等技术带来的收益，由于对大模型研发的一个重要区域是美国，对美国的AI与大模型发展规模和效应做出合理判断，也是对中国有借鉴意义：

## 1.投资

2024年2月10日，OpenAI首席执行官Sam Altman 提出计划筹资7万亿美元兴建包括GPU堆栈在内的AI方面的投资。事实上，大型科技公司一直AI研发上大幅增加资本支出。微软和谷歌的资本支出可能会超过500亿美元，AWS和Meta今年的资本支出超过400亿美元。由于人工智能的蓬勃发展，以OpenAI为代表的美国AI研发与应用的公司带动的相关资本支出总额将同比增长500亿-1000亿美元。同时，通过削减其他资本支出，这些企业将更多资金转移到人工智能上。此外，其他科技企业也在大力投入人工智能，例如特斯拉今年在人工智能上将花费100亿美元。更重要的是美国政府也将大力投资人工智能。

美国今年在人工智能总投资预计可能达到1千亿美元。未来几年，美国平均每年的人工智能总投资预计可能达到 1 万亿美元<sup>1</sup>，这个数字听起来令人难以置信。

从 1996 年到 2001 年，美国在电信行业<sup>2</sup>在建设互联网基础设施上投资了近 1 万亿美元（按当时的美元购买力折算到今天）。

可见，在重大技术革新时期，特别是基础设施方面的巨大投资，美国存在先例与可行性。但是，如果美国的人工智能投资达到每年 1 万亿美元，将占 美国2024年 28.63万亿美元GDP 的约 3.5%，这也是巨大的。但是美国千亿级的投资已经开始，如Open AI、AWS、XAI、Google与Meta等公司在规划的GPA集群投资计划加在一起今年总和接近千亿美元。

# 前言

FOREWORD

<sup>1</sup>[《SITUATIONAL AWARENESS》的报告：  
<https://situational-awareness.ai/https://sgp.fas.org/crs/misc/RL34645.pdf>]

<sup>2</sup>[<https://www.latimes.com/archives/la-xpm-2002-jun-30-fi-billions30-story.html>]

## 2.AI的计算能力的提高

计算能力和投资额度的关系由两个趋势决定：1) 单位计算投资成本的下降和2) 总计算投资。如果未来1年内单位计算投资成本下降90%，而计算投资增长了10倍，计算能力会增长100倍。在阐述计算能力增长时需要讨论这两个点。使用 Epoch AI的公开估计来追踪从2019年到2023年的计算扩展，从GPT-2到GPT-3的扩展非常迅速，计算资源的使用也急剧增加，从较小的实验规模扩展到使用整个数据中心来训练大型语言模型。随着从GPT-3到GPT-4的扩展，需要为下一个模型构建全新的、更大规模的集群。然而，这种快速增长的趋势仍在继续。总体而言，Epoch AI估计表明，GPT-4的训练使用的计算量比GPT-2多约3000到10000倍。

Model	Estimated compute	Growth
GPT-2 (2019)	$\sim 4e21$ FLOP	
GPT-3 (2020)	$\sim 3e23$ FLOP	+ $\sim 2$ OOMs
GPT-4 (2023)	$8e24$ to $4e25$ FLOP	+ $\sim 1.5-2$ OOMs

*Estimates of compute for GPT-2 to GPT-4 by Epoch AI*

OOM (数量级, order of magnitude) : a 个 OOM 指的是  $10^a$

图2 Epoch AI 估计表

总体来看，这只是长期趋势的延续。由于投资的广泛增加以及专门用于 AI 工作负载的 GPU 和 TPU 等芯片的开发，未来几年里，通过价值数百亿美元的 GPU 堆栈集群，将实现现在计算量的100倍，似乎非常有可能实现。通过建设超过 1000 亿美元的 GPU 集群，实现现在计算量的1000 倍的也显得可行。

## 3.算法效率提高与硬件技术改进

从在过去四年的公开数据分析，可以推断：

·从API成本分析，在明确区分训练成本或效率，和使用成本或效率（包括输入和输出），一般来说训练成本比使用成本大得多。从计算成本变化=算法效率变化\*单位计算成本变化，可以推断出从 GPT-3 到 GPT-4 的单位计算成本下降或者效率提升是可能来

自于硬件设计的改进。

- 多种大模型正在通过算法改进，计算成本下降与硬件设计已数十倍降低计算成本，而且这个趋势还在继续强化。

- 甚至可能看到更多基础性、类似 Transformer 的突破，获得更大的收益。

未来3年到4年，相对于 GPT-4，预期算法效率将提高到当前算法效率的10到1000倍。

#### 4.其他技术与方法 (Unhobbling)

通过人类反馈进行强化学习(RLHF)使模型变得真正有用和有商业价值。比如，RLHF让小型模型在用户偏好上等同于一个非RLHF的百倍大模型。

思维链(Chain of Thought , CoT): 在解决数学和推理问题时，CoT相当于超过10倍的计算效率提升。

Scaffolding: 类似CoT的增强版，不同模型分工合作解决问题。

Tools: 目前，ChatGPT可以使用浏览器、运行代码等，类似人类使用计算器或电脑。

上下文长度(Context length): 模型的上下文长度从GPT-3的2k到GPT-4的32k，再到Gemini 1.5 Pro的100万以上。更长的上下文可以有效提升计算效率。

Posttraining improvements: 当前的GPT-4通过后训练改进显著提升了能力，可以在推理评估中的表现大幅提高。

Epoch AI 对一些技术（如 Scaffolding 和工具使用）进行了调查<sup>3</sup>，发现这些技术通常可以在许多基准测试中带来 5-30 倍的有效计算增益。METR（一个评估模型的组织）同样发现，通过优化相同的 GPT-4 基础模型，他们的代理任务性能得到了显著提升：从仅使用基础模型时提升了5%，到使用发布时的后训练 GPT-4 时提升了20%，再到今天通过更好的后训练、工具和代理脚手架，提升达到的近 40%。

<sup>3</sup>[ <https://epochai.org/blog/ai-capabilities-can-be-significantly-improved-without-expensive-retraining> ]

## 5.美国能源是否支持AI及大模型和带来的工业发展

美国，随着人工智能快速发展，巨量资金将投入 GPU、数据中心和电力建设。如果AI及大模型实现工业全面发展，到2035，美国用电量增长将介于15%-30%。一是人工智能本身是庞大的工业体系：每个新模型都需要一个庞大的新堆栈，配套新发电厂，还需要新芯片工厂。二是，AI及大模型全面渗透工业领域，机器人等技术的快速发展和广泛应用，甚至出现工业机器替换人工的大规模应用，用电需求将呈现较大幅度的增长。当前，媒体报道称，微软和 OpenAI 正在建造一个1000 亿美元的集群，定于 2028 年推出。亚马逊在核电站旁边建设一个电力装机容量1GW 数据中心园区。Meta购买了 350,000 个 H100芯片，需要电力支撑。随着每一代模型规模的增加震惊世界，进一步的加速可能还在后面。如何获得电力、土地、许可和数据中心建设成为AI及大模型公司下一步布局重点。由于美国自2014年页岩气革命发起的油气领域新突破与持续发展，如果通过相关政策，AI及大模型用电量都可以其本国自给。同时，美国新能源发展也成为重要的电力支持。

可见，从主要因素包括投资、计算能力、算法效率和如强化学习等技术革新，来判断：（1）大型科技公司和国家正在大力投资AI，美国今年AI投资可能将超过1千亿美元，未来美国每年AI投资可能将超过1万亿美元，这将显著加速AI的发展。（2）从2019年到2024年计算资源使用急剧增加的趋势判断，得益于广泛的投资和专门用于AI工作负载的芯片开发，未来几年AI训练计算量预计将增加100-1000倍个数量级。

（3）在过去四年里从GPT-2到GPT-4，算法效率提升了10到100倍；得益于AI实验室在算法改进方面的持续投入未来几年，算法效率将进一步提高10到1000倍。（4）通过人类反馈进行强化学习（RLHF）、思维链（CoT）、脚手架（Scaffolding）、工具使用（Tools）和上下文长度（Context length）等技术，使得AI模型更具实用性和商业价值，从而显著提升了计算效率和模型性能。（4）美国能源可以支持AI及大模型和带来的工业发展。

在分析与判断了未来几年的短期内AI及大模型技术突破，当前的可持续发展关键

点尝试在各界关注的四个方面展开了《AI与可持续发展展望报告》，及能源是否可以支持AI及大模型技术突破与发展，AI及大模型技术对气候变化与碳中和的机遇与挑战，AI及大模型技术能否支持包括具身智能技术突破的工业全面变革，和AI及大模型技术对航天探索的影响。

### 三. AI与可持续发展展望：AI及大模型技术对能源领域、气候变化领域、工业领域、航天领域的挑战与机遇

人工智能（AI）正以惊人的速度革新多个领域，其应用不仅重塑传统行业，还为全球性挑战提供解决方案。

- 1.在能源领域，AI优化生产、管理和消费，提升效率与可靠性，减少浪费，提高可再生能源利用率。
- 2.在应对气候变化方面，AI通过精准预测与分析，助力科学应对策略的制定，监测温室气体排放，评估政策效果，优化减排措施，并提供自然灾害预警。
- 3.工业领域，AI推动工业4.0进程，实现生产智能化、自动化，提高效率，降低成本，优化供应链，精准生产计划，减少资源浪费。
- 4.航天领域，AI技术在任务规划、飞行器控制、故障诊断与维护中提升精确性与安全性，加速科学发现和技术进步。

AI的应用展现了其在解决全球性挑战、推动科技进步与提高生活质量方面的巨大潜力。

### 四、小结

在AI时代，如何定义可持续发展的内涵与外延？

AI与可持续发展”，试图为分析人工智能（AI）及其大模型技术在推动全球可持续发展中的挑战与机遇提出分析与决策框架。通过八个层面构建了一个较全面的人机共生的分析框架，包括AI与气候变化、信息通信技术基础设施、全球数字身份系统、数据

# 前言

FOREWORD

管理、人机交互界面、国家治理、民族认同以及价值观和道德伦理。特别是AI在实现碳中和、优化资源分配、支持人机互动技术设计和产品发展、以及在全球治理中的重要性分析，对AI与可持续发展议题做出中长期关键层面分析。

对于短期及未来几年的AI与大模型技术是否可以突破的分析与判断中，强调了AI技术发展需要巨额投资，今年美国对AI的投资可能达1千亿美元。计算能力的显著提升和算法效率的大幅进步也将推动AI技术的快速发展。

《AI与可持续发展展望》报告，作为“AI与可持续发展”的系列报告的第一份报告，探讨了AI在能源、气候变化、工业和航天等热点领域的应用，展示了AI在提升效率，支持科学决策和推动技术进步方面的巨大潜力。

“AI与可持续发展”的议题的持续深入，需要跨学科合作，来适应快速变化的技术发展与环境变化。

# 智能与绿色： 迈向可持续发展的人工智能新时代

## 序言1

PREFACE 1

### 陶大程

澳大利亚科学院院士

在人类文明史的浩瀚进程中，科技的每一次跃迁都如同星辰闪耀，照亮了我们通往未来的道路。今天，我们正身处于一场前所未有的技术革命之中，在过去的十年中，人工智能（AI）技术经历了飞速的发展，推动着我们所处的数字世界不断向前迈进。AI不再仅仅是学术讨论中的概念或实验室中的技术原型，而是已经深深嵌入到我们日常生活和商业运作的方方面面。

人工智能的历史可以追溯到20世纪50年代，那时，计算机科学家们开始尝试开发能够模拟人类智能的算法和程序。从最早的符号主义AI到20世纪80年代的专家系统，再到21世纪初的机器学习，AI的发展经历了数次变革。然而，随着数据量和计算资源的不断增加，AI模型也逐渐从原本的“小而精”向“大而广”演进，以OpenAI的GPT（Generative Pretrained Transformer）系列为例，GPT-3，拥有1750亿个参数，能够生成极为逼真的文本，涵盖从技术文档到诗歌创作的各类内容。它不仅能在NLP领域表现出色，还在跨领域应用中展现出非凡的潜力，例如代码生成、情感分析、甚至复杂问题的推理。

在过去几年中，AI大模型领域不断涌现出新的研究成果和技术突破，GPT的发

展可以视作AI大模型技术的缩影。GPT-1诞生于2018年，尽管其参数量仅为1.1亿，但已经展现出了通过自监督学习（Self-supervised Learning）训练的强大能力。GPT-2在2019年发布，参数量增长至15亿，极大地扩展了模型生成文本的流畅度和一致性。真正令业界为之震撼的是GPT-3，它不仅在规模上实现了跨越式增长，其在多任务处理上的表现也让人们开始重新审视大模型的应用前景。如今，随着GPT-4的发布，AI大模型的能力得到了进一步的提升。GPT-4不仅在自然语言处理上超越了前代，其在多模态处理、情感理解、推理能力等方面也取得了显著进步。

在AI大模型的飞速发展，GPT的训练耗费引发了广泛关注和讨论。每次GPT模型的训练都需要庞大的计算资源，背后则是成千上万的高性能服务器昼夜不停地运转。这不仅带来了巨大的能源消耗，还产生了相应的碳排放。这种资源消耗引发了许多人对AI技术在可持续发展背景下的适应性的质疑。举例来说，为了训练一个像GPT-3这样的大模型，不得不建立一个庞大的数据中心，在机房中，成千上万的服务器正散发着巨大的热量，冷却系统不断工作，以防止设备过热。这带来了一个挥之不去的问题：为了追求更强大的AI能力，是否正在以环境为代价？这些AI模型是否真的符合我们可持续发展的理念？

在背后隐藏着人们对AI技术的深层次担忧。在现代社会，随着全球人口的增长和资源的不断消耗，环境保护和可持续发展已成为人类面临的最严峻挑战之一。面对气候变化、能源短缺、环境污染等一系列问题，传统的发展模式已难以为继。在这场AI技术与可持续发展的博弈中，如何找到平衡点，将成为未来发展的关键。一方面，研究人员开始探索更为环保的训练方法，如利用可再生能源供电、优化算法以减少计算需求，以及开发更加高效的硬件，以降低能耗。另一方面，在当前发展模式下，寻找新的技术手段以推动全球经济和环境的可持续发展，已成为各国政府、企业和学术界的共同目标。在这一背景下，人工智能作为新兴技术的代表，以其强大的数据处理能力和创新的解决方案，正逐步成为推动可持续发展的关键引擎，和其广阔的可持续发展应用前景相比，其本身训练和推理的消耗相对微不足道。

# 序言1

## PREFACE 1

AI的广泛应用在各个领域展现出巨大的潜力，尤其是在能源管理、环境保护、农业生产和城市规划等领域。通过智能化的决策支持系统，AI能够有效优化资源配置，降低能源消耗，减少碳排放，从而实现环境与经济的协调发展。例如，在能源领域，AI可以通过智能电网技术，实时监测和调整能源的供需平衡，提高能源利用效率，减少浪费和污染。此外，AI在环境监测和污染治理中的应用，也为环保工作注入了新的活力。通过卫星遥感数据和智能算法，AI能够精准预测气候变化趋势，并提出相应的应对措施，帮助政府和企业制定更为科学合理的环保政策。

然而，AI在促进可持续发展方面的潜力远不止于此。随着技术的不断进步，AI将更加深入地融入人类社会的各个层面，助力全球实现更高水平的可持续发展。未来，AI有望在资源管理、生态保护、绿色金融等方面发挥更大的作用，为构建一个更健康、更美好、更可持续的地球提供强有力的技术支撑。我们期待通过报告的分享，引发更多的思考与讨论，共同探索AI与可持续发展相结合的无限可能。

在这场关乎全人类命运的伟大征程中，AI不仅是一个工具，更是一种理念，一种推动社会进步与环境保护并重的新思维模式。未来的可持续发展道路，必然是在科技与生态的平衡中寻找最优解。我们坚信，AI将为全球可持续发展目标的实现带来前所未有的机遇，推动我们迈向一个更加繁荣、健康与可持续的未来。展望未来，AI大模型的发展将继续遵循规模化、精细化和多样化的路径。一方面，随着计算资源的进一步提升，模型规模还将持续扩大，性能也将更加出色。另一方面，AI模型的训练将更加注重效率和能源消耗，绿色AI的概念逐渐得到推广。在即将到来的AI时代，我们面对的不仅是技术的飞跃，更是对人类智慧和想象力的全新挑战。正如每一次科技革命一样，这场变革将深刻影响我们的生活方式、工作方式和思维方式。让我们以开放的心态迎接这一挑战，探索技术带来的无限可能，共同书写属于我们的智能时代新篇章。

# 科技赋能， 迈向可持续发展的新征程

## 董朝阳

香港城市大学电机系主任，教授

人工智能技术的发展正以前所未有的速度改变着各行各业。作为电力行业的长期观察者和参与者，见证了技术进步如何驱动行业变革，同时也深感人工智能在可持续发展中的巨大潜力。此次发布的《AI与可持续发展展望》报告，旨在为行业同仁和社会各界提供一份具有前瞻性和实际指导意义的研究成果。

近年来，AI技术，尤其是大模型的出现，为能源领域带来了前所未有的机遇。从智能电网的优化，到可再生能源的高效调度，再到整体行业的碳排放管理，AI正逐步成为行业转型的关键引擎。随着全球逐步向低碳经济转型，能源行业首当其冲。随着可再生能源占比的提升，电力系统的复杂性日益增加，传统的管理和调度手段已经难以应对这类变化。AI技术的引入，为解决这些难题提供了全新的思路。通过对海量数据的学习和分析，AI能够实时优化电力系统的运行方式，提高系统的稳定性和效率，减少能源浪费。AI技术还在推动能源系统的自动化与智能化，进一步降低人为操作带来的误差和风险。AI不仅在能源规划和政策制定中提供科学依据，还通过对历史数据的深度学习，帮助预测能源需求和供应，为长远战略的制定提供可靠的参考。

不仅如此，AI在新能源的开发和利用中也发挥着至关重要的作用。在太阳能发电

# 序言2

## PREFACE 2

领域，AI技术可以通过分析气象数据，预测太阳能发电量，并根据预测结果优化光伏发电设备的运行。在风能发电中，AI能够实时调整风机状态，最大化利用风能资源。这些技术提高了新能源的利用效率，加速了传统能源向可再生能源的转型。同时，AI在能源规划和政策制定中提供了科学依据，帮助政府和企业制定更合理的能源政策，推动碳中和目标的实现。

然而，AI的潜力远不止于能源领域。在全球应对气候变化的过程中，AI已成为关键工具。气候预测模型正变得更加复杂和精准，依靠AI对海量气象数据的分析，科学家们能够更好地理解气候变化的规律，并制定更有效的应对策略。AI不仅能预测极端天气事件，还能模拟不同政策对全球气候的长期影响，从而帮助决策者做出明智的选择。同时，AI在气候变化研究中的应用也推动了新能源技术的创新，进一步减少了全球碳排放。

在工业制造领域，AI也正在重新定义生产力。通过多模态大模型的应用，AI不仅能够优化生产流程，还可以在研发、设计、供应链管理等多个环节中发挥作用。AI在工业领域的应用已经极大地提升了生产效率和产品质量，同时减少了资源的浪费。未来，随着AI技术的不断进步，工业智能化将迈向新的高度，传统的制造流程将被更加灵活、高效、智能的生产方式所取代。这种变革不仅有助于提升企业的竞争力，也对实现全球的可持续发展目标起到了积极的推动作用。航天领域同样受益于AI技术的快速发展。通过大模型的应用，AI在航天任务的规划、执行和数据分析中扮演着越来越重要的角色。从优化火箭发射的轨迹，到精确预测太空天气，AI正在帮助航天工程师们以更高的效率和更低的风险完成复杂的任务。更重要的是，AI技术还在推进太空探索的步伐，通过对大量太空数据的分析和处理，AI有望揭示宇宙中更多未解之谜，为人类的未来探索铺平道路。

本报告深入探讨了AI如何在多个维度上推动可持续发展。AI通过提升资源利用效率，有助于减少环境负担；在环境监测与保护中，AI发挥着不可替代的作用。通过对生态环境数据的实时监测和分析，AI技术能够帮助我们更好地理解环境变化的趋势，

从而采取更加精准和有效的保护措施。AI在社会领域的应用，如智能化的教育系统和个性化的医疗服务，正在不断提升社会福利和人类福祉。这种技术进步不仅是为了提高生活质量，更是为了实现社会的公平与正义，使得每一个人都能够从中受益。

当然，AI在可持续发展中的应用并非没有挑战。随着技术的快速发展，数据隐私和安全性问题日益突出。此外，AI技术在应用过程中的不确定性和风险，也需要在开发和使用中保持高度警觉。然而，正如每一次技术革命一样，挑战的背后往往隐藏着巨大的机遇。

展望未来，AI在可持续发展中的潜力无疑是巨大的。随着技术的进一步成熟，AI不仅将继续在能源、工业、航天等领域发挥关键作用，还将扩展到更加广泛的社会经济领域，推动全人类迈向一个更加智能、高效、环保的未来。AI的发展将进一步加速全球社会的数字化转型，带来新的经济增长点和就业机会，同时也将促使各国在可持续发展领域展开更加深入的合作与竞争。在这个瞬息万变的时代，AI作为技术革命的驱动力，不仅是解决当前挑战的有力工具，更是我们探索未来、实现梦想的重要伙伴。它将重新定义人类与自然的关系，促进生态文明建设。期待在AI的助力下，我们能够共同迎接一个更加美好、更加可持续的未来，一个人与自然和谐共处的新时代。

# 拥抱AI时代： 释放创造力，让思考更深远

## 序言3

PREFACE 3

### 翟永平

腾讯碳中和高级顾问

记得从上个世纪八十年代开始，因为广播、影视、纸媒、书籍等媒介趋于多元化，令人应接不暇，那时就常听到这是个“信息爆炸”的时代。此后随着互联网技术和应用的不断快速发展和迭代，毫不夸张的说，我们已经处于“信息大爆炸”的时代。

“信息爆炸”乃至“信息大爆炸”本身不是坏事，怕就怕知识碎片化，使得系统性学习变得更加困难；更怕真伪难辨，被片面信息误导。过去很长时间以来，我都保持一个每天阅读两小时专业文献的习惯，并且做笔记、找脉络、看趋势，通过分析思考作出自己的判断。

现在，人工智能（AI）来了：我今天的阅读清单上增加了这份由腾讯研究院与香港中文大学精心编写的报告——《AI与可持续发展展望》。

这份报告结构清晰、内容详实，不仅仅局限于单一领域，而是探讨AI技术能源、气候变化、工业和航天等多个关键领域的应用。报告介绍了基于AI的自动化、预测性维护和智能决策支持系统，这些系统能够提高生产效率、降低运营成本，为决策者提

供科学依据，体现了AI在提升工业运营效率和可持续性方面的实用价值。报告通过多个具体案例，比如AI在智能电网、预测性维护、故障诊断等方面的应用，展示了AI技术的实际效果和价值。报告还涉及了航天领域，探讨了AI在自主飞行、卫星数据分析和空间探索等方面的应用。

我曾长期在亚洲开发银行工作，特别关注AI在气候金融和可持续发展方面的应用。读到报告关于AI赋能气候金融的部分，感到眼前一亮。报告详细阐述了AI在气候金融方面的应用，包括数据分析和风险评估、个性化金融产品设计、资本流动和融资渠道的开拓、审批流程的简化等方面。AI技术通过高效处理和分析碳排放数据，评估环境风险，确保资金流向环保项目，对于金融行业在应对气候变化方面的决策和投资具有指导意义。

报告也直面AI扩大应用可能面临的挑战，特别是AI自身能耗快速增加的问题。对此，报告提出了多种应对策略，包括软硬件协同创新，结合应用场景需求进行全栈设计和优化提高计算效率。同时，大力推动使用可再生能源，优化数据中心的能源供应结构，推动AI的可持续发展。

读罢《AI与可持续发展展望》这份报告，真切感受到AI技术给我们的社会方方面面带来的巨大变化，也包括我们的工作和生活方式的改变。进入AI时代就要拥抱AI，借助AI工具来学习，现在自己每天阅读的那些专业资源的不需要两个小时了。但是，我认为再强大的AI也不会代替我们的思考和创造。换句话说，AI让人类有更多的时间来深度思考，可以释放更多的创造力推动社会的可持续发展。

# CONTENTS

## 目录

### 1 p1

#### 背景介绍

#### BACKGROUND INFORMATION

### 2 p4

#### 能源

#### ENERGY

- 2.1 | 引言
- 2.2 | AI在能源行业的应用现状
- 2.3 | AI推动能源转型
- 2.4 | AI增强能源安全
- 2.5 | 总结与展望
- 2.6 | 参考文献

### 3 p14

#### 气候变化

#### CLIMATE CHANGE

- 3.1 | 引言
- 3.2 | 人工智能协助区域级碳监测
- 3.3 | 人工智能协助行业碳监测
- 3.4 | 人工智能协助企业级碳计量
- 3.5 | 多模态大模型集成分析环境表现
- 3.6 | 气候金融
- 3.7 | 总结与展望
- 3.8 | 参考文献

### 4 p26

#### 工业

#### INDUSTRIAL

- 4.1 | 引言
- 4.2 | AGI技术及大语言模型的能耗分析
- 4.3 | 工业领域具身智能的能耗分析
- 4.4 | 能源系统对工业领域AI替代人工的支撑能力分析
- 4.5 | AGI对劳动力市场的影响
- 4.6 | 讨论与展望

### 5 p40

#### 航天

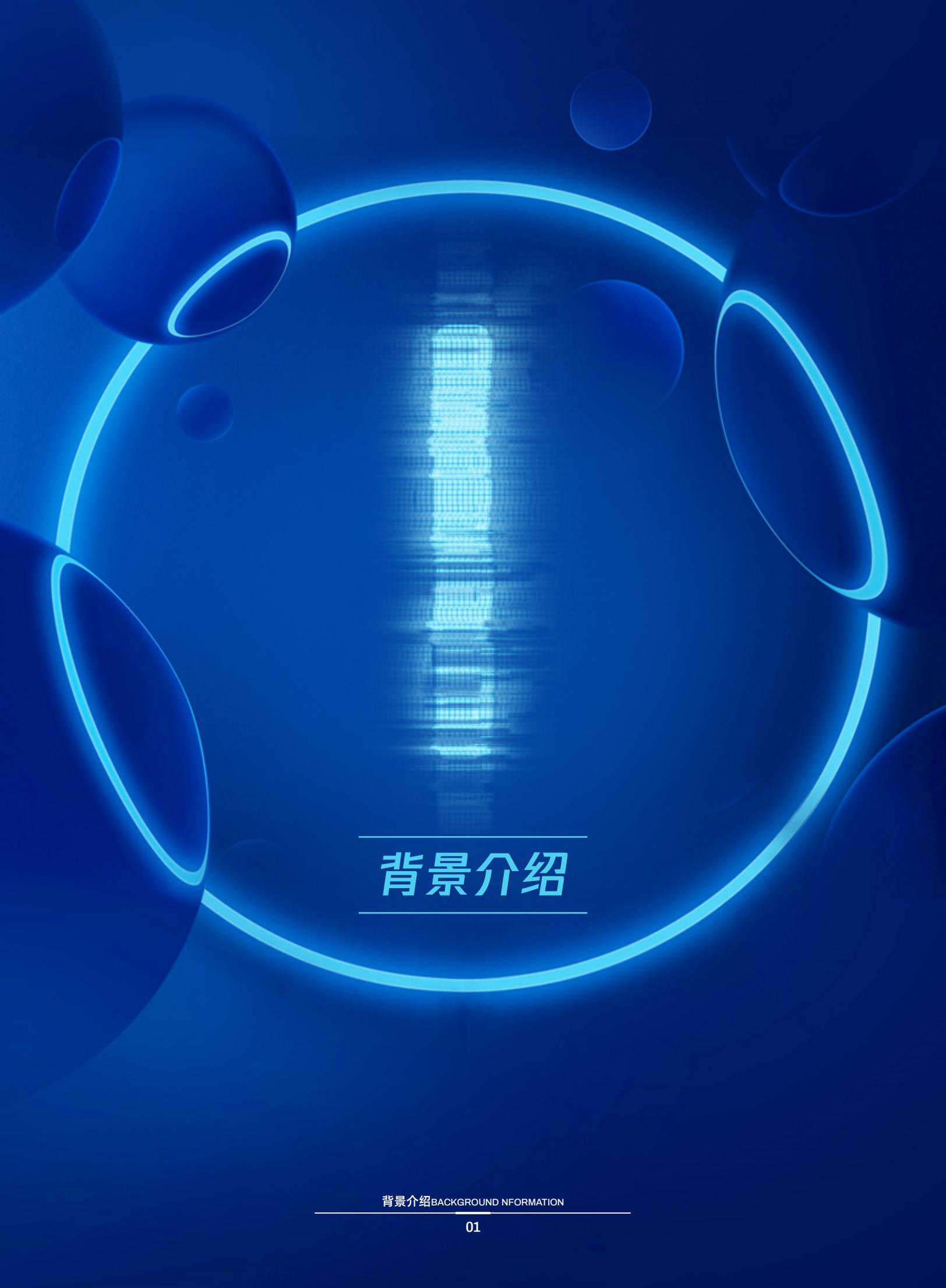
#### SPACEFLIGHT

- 5.1 | 引言
- 5.2 | 星际生活
- 5.3 | 星际贸易
- 5.4 | 航天领域的AI应用
- 5.5 | 总结与展望
- 5.6 | 参考文献

### 6 p61

#### 总结与展望

#### SUMMARY AND PROSPECT

The background is a deep blue with a futuristic, digital aesthetic. It features several glowing, light-blue circular and oval shapes of varying sizes, some appearing as if they are floating or orbiting. In the center, there is a vertical, glowing digital tunnel or data stream composed of small, bright blue squares, creating a sense of depth and movement. The overall effect is clean, modern, and high-tech.

# 背景介绍

# 报告结构

AI

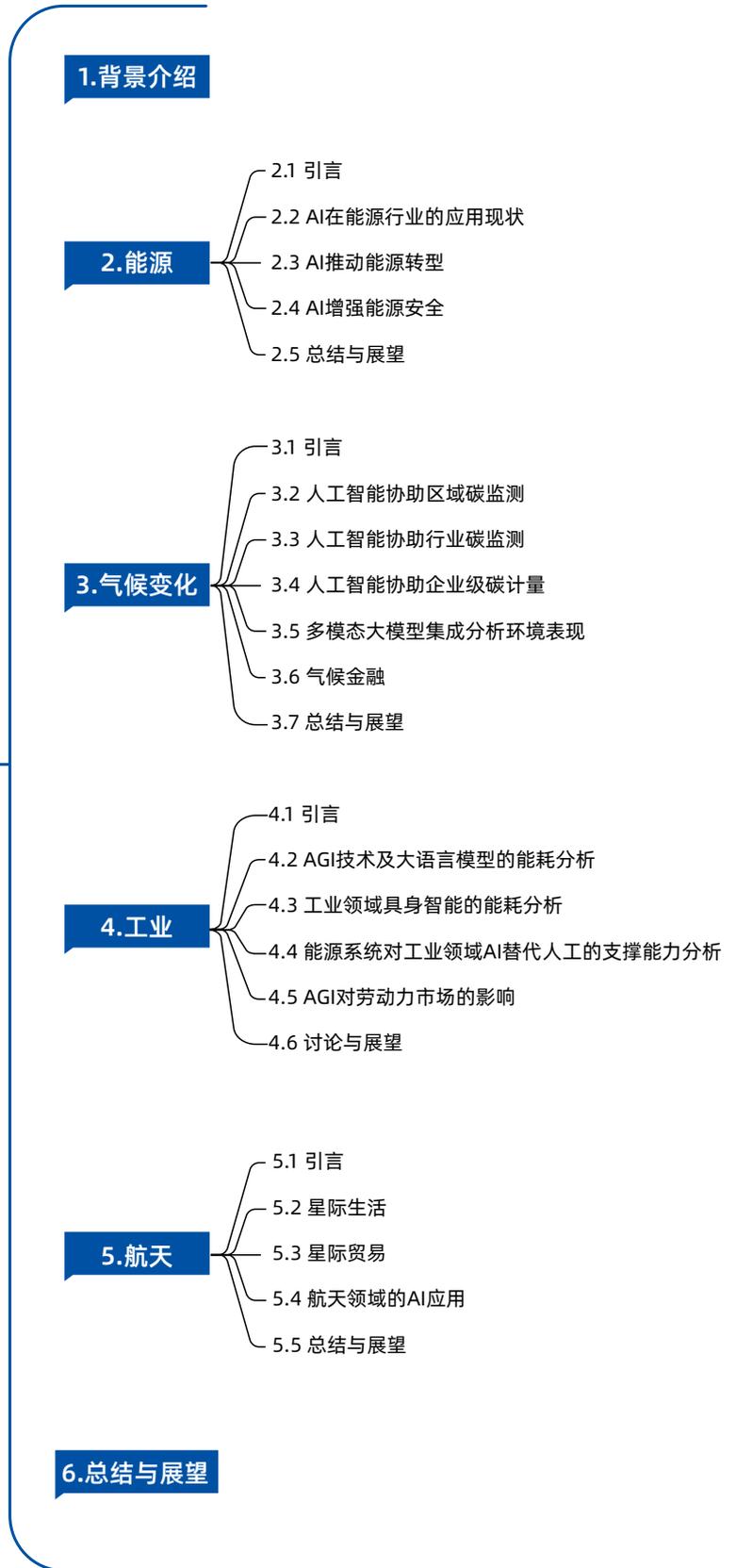


图 1.1 报告总结构

人工智能（AI）技术正在以惊人的速度革新多个领域，其应用不仅改变了传统行业的运作方式，还为应对全球性挑战提供了新的解决方案。

### 能源

在能源领域，AI通过优化能源生产、管理和消费，提升了系统的效率和可靠性。智能电网、预测性维护和能源储存优化等AI应用，有效降低了能源浪费，提高了可再生能源的利用率。此外，AI在能源交易市场中的应用，通过实时数据分析和预测市场趋势，帮助实现了更为灵活和高效的能源分配。

### 气候变化

气候变化是当今全球面临的重大挑战之一，AI在这一领域的应用也展现出巨大潜力。通过分析气候数据，AI可以更准确地预测气候变化趋势，帮助制定更加科学的应对策略。此外，AI技术在监测温室气体排放、评估气候政策效果、优化减排措施等方面发挥着重要作用。AI驱动的智能系统还可以实时监控自然灾害，提供早期预警，从而减少灾害带来的损失。



### 工业

在工业领域，AI的应用推动了工业4.0的进程，实现了生产过程的智能化、自动化和优化。通过机器学习和数据分析，AI可以提高生产效率，降低运营成本，优化供应链管理。智能制造、机器人技术、质量控制和设备维护等领域的AI应用，使得生产线更加灵活高效，产品质量得到提升。此外，AI还可以通过分析市场需求和生产数据，帮助企业制定更为精准的生产计划，减少资源浪费。

### 航天

航天领域作为高技术和高风险行业，AI的引入同样带来了深刻变革。AI技术在航天任务规划、飞行器控制、故障诊断和维护等方面的应用，提高了任务执行的精确性和安全性。例如，AI可以通过分析大量飞行数据，预测潜在故障，提前进行维护，从而延长飞行器的寿命。自动驾驶技术、无人探测器和空间站管理等AI应用，使得航天探索更加高效和安全。此外，AI在处理和从航天器传回的大量科学数据方面也发挥了关键作用，加速了科学发现和技术进步。



能源

## 2.1 引言

随着全球对可持续发展和减少环境影响的关注日益增加，能源行业正处于一个关键的转型期。近年来，能源供应紧张和价格飙升引发了新一轮的能源危机，特别是在电力、煤炭和天然气领域。为应对这些挑战，各国政府和国际组织正在加速推动能源的绿色低碳转型，旨在减少对化石燃料的依赖，同时提高能源系统的可持续性和安全性。

为深入推进能源革命，加快规划建设新型能源体系，中国已建成了全球规模最大的清洁发电体系，其中非化石能源的发电装机容量已超过50%。同时，中国政府强调，需要全面推动能源消费革命、供给革命、技术革命和体制革命，以建立一个清洁低碳、安全高效的能源系统。这不仅关系到碳达峰和碳中和目标的实现，也是推动经济社会全面绿色转型的关键措施。

能源转型过程中，需要重点强调能源安全，在保障能源安全的前提下有序推进能源绿色低碳转型，加

强转型中的风险识别和管控。在加快形成清洁低碳能源可靠供应能力基础上，逐步对化石能源进行安全可靠替代。这意味着新型能源系统不仅要能够应对供应中断、价格大幅波动的情况，还应当能够应对极端天气、重大事故、网络攻击等风险事件的冲击。考虑能源安全进行能源转型，加快构建清洁低碳、安全高效的能源体系，促进能源高质量发展和经济社会发展全面绿色转型，为科学有序推动如期实现碳达峰、碳中和目标和建设现代化经济体系提供保障。

在完善能源绿色低碳转型过程中，AI技术因其对海量复杂多维数据的高效处理能力、优异的自适应与学习能力而被广泛应用于从生产到消费的整个能源链，推动了能源系统的高效、安全转型。特别地，近几年AI的高速发展让我们看到了AGI的实现可能性。AGI所具备的认知多功能性、自主学习能力以及推理解决问题的能力，将进一步助推能源转型进程，增强能源安全，为形成绿色、低碳、高效的能源体系提供强劲助力。

## AI助力能源发展

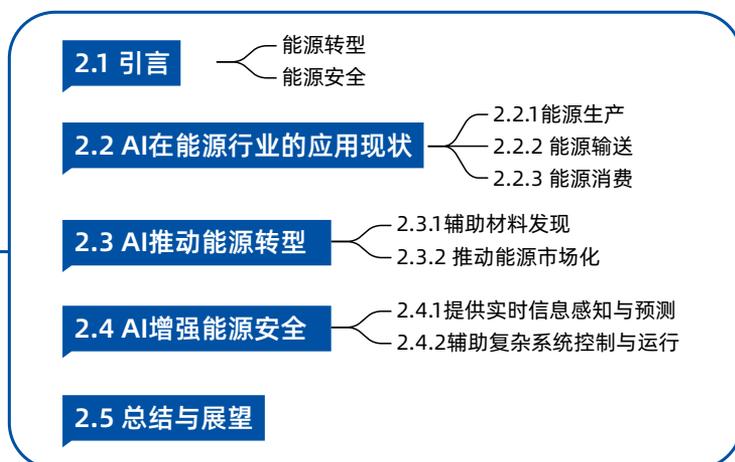


图 2.1 AI助力能源发展结构图

为阐明AI在推动能源转型和增强能源安全方面的潜在作用和影响，本章节内容按照以下结构展开叙述：2.2章节阐述当前AI技术在能源行业的应用现状，接着，在2.3章节与2.4章节中，我们对未来AI在助力能源转型、增强能源安全方面的可能性进行展望，最后在2.5节中总结本章内容。

## 2.2 AI在能源行业的应用现状

AI技术是计算机科学的一个分支，旨在创建可以模拟人类智能行为的软件。通过算法和大量数据训练，AI可以学习到现实中某些特定场景的复杂模式和规律。同时，AI可以快速处理和分析庞大的数据集，高效准确地完成某些特定的复杂和重复的任务。AI所具备的这些特点使其可以有效解决能源领域的潜在挑战，提高能源的使用效率。目前，AI已经被广泛应用于能源的生产、输送以及消费各环节。同时，AI的迅猛发展也将为能源行业的进步再添助力。本节将介绍当下AI在能源领域的应用情况，为展望AI在能源领域的未来应用进行铺垫。

### 2.2.1 AI在能源生产方面的应用



在当今能源生产领域，AI的运用正在逐渐提高能源产量和效率。AI通过智能分析和预测，对降低能源生产成本、优化开采分配以及提高生产效率起到了不可忽视的作用。尤其是在风能与太阳能的利用上，以及在油气储量的计算与开采中，AI的应用正推动着能源行业的现代化和智能化发展<sup>[1]</sup>。

在对新能源的利用上，以风电机组与光伏为例，AI的运用主要体现在三个方面。通过使用多种神经网络架构，目前行业内已经能够实现对风力和光伏发电量相对精确的预测。相对准确的预测数据极大地提高了发电企业的在前期选址策略的科学性，以确保前期投资的最优化<sup>[2]</sup>。AI提供的预测数据将直接影响发电机组运营策略的制定，对于寻找最优的机组组合与降低运营成本的策略十分重要，可以显著提升风电场的运行效率和能源产出<sup>[4]</sup>。此外，AI可以辅助风力发电系统的控制器调整，对风力发电系统进行健康监测，通过神经映射来识别故障模式，通过智能控制与辅助决策，保障风电机组的最优生产<sup>[5]</sup>。远景能源设计的一款基于AIoT技术风机的可以通过自我学习、自我进化、适应不同环境的能力。这款风机在机器学习的语境下，随着数据厚度的加深，使得风场的发电量反而有了上升的可能<sup>[6]</sup>。

AI在传统的能源领域，例如油气开采的应用上正日益成熟。首先，在油气储量计算方面，AI技术通过分析大量的地质和生产数据，不仅提高了储量评估的准确性，还能分析地震数据和其他地质信息，以识别潜在的油气藏。种类繁多的机器学习模型，譬如支持向量机（Support Vector Machines）和人工神经网络（Artificial Neural Network），在提高油气产量预测的精确度方面的极大潜力<sup>[7]</sup>。合适的模型与数据集可以优化油气田的开发策略，有潜力将石油产量从6%提高到8%<sup>[8]</sup>。其次，AI技术的结合催生了智能油田的概念，通过数字化仪表和基于网络与模型的知识交换来优化油田的开采生产过程<sup>[9]</sup>。在生产过程中通过AI实现自动化与辅助决策，这不仅提高了作业效率，

还能降低成本。此外，AI在提高油气开采稳健性上大有所为。通过预测性维护和状态监测，能源开发公司能够预防设备故障，减少意外停机时间，从而降低成本并提高生产力。据外网报道，Aker BP 与 Spark Cognition 的合作案例展示了AI在预测性维护中的应用，通过机器学习技术提前预警潜在故障，显著提高了能源生产效率<sup>[10]</sup>。

### 2.2.2 AI在能源输送方面的应用



AI在预测和防止油气管道故障方面发挥着关键作用<sup>[11]</sup>。AI可以利用大数据分析技术来识别管道系统中的潜在故障迹象。通过监测和分析传感器数据、运行日志、温度、压力和流量等参数，AI可以建立预测模型，识别管道系统中的异常模式，并预测可能的故障。通过历史数据来识别管道系统中的潜在风险和故障模式。还可以通过安装摄像头和使用计算机视觉技术，监测管道系统的外部 and 内部情况。这种技术可以帮助检测管道表面的腐蚀、裂缝或其他损坏，并及时采取措施修复。

AI可以利用GIS数据和地形信息，结合管道所需的最优路径，进行路径规划<sup>[11]</sup>。通过分析地形、土壤类型、地质特征等因素，AI可以确定最佳的管道敷设路径，以减少对环境和生态系统的影响，并利用实时传感器数据、天气信息、交通情况等数据，动态调整管道路径。这种实时数据分析可以帮助管道运营商更好地应对突发事件和环境变化，确保管道系统的安全和稳定运行。

AI可以利用机器学习算法和数据分析技术，对管道系统中的潜在风险进行预测和管理。通过识别风险因素，并采取预防措施，可以降低管道系统遭受外部威胁的风险，通过整合多源数据，包括传感器数据、气象数据、地质数据等，进行综合分析和预测<sup>[12]</sup>。通过综合考虑多种因素，可以更准确地评估管道系统的运行状态和风险，提高油气管道网络的韧性。

AI在能源输送中展现出强大的潜力。例如大地量子依托自主研发的“地球时空数据云平台”，基于“遥感+AI”技术，提供全覆盖、准实时、高精度的常态化安全运行监测和预警服务，为油气管道安全运行提供智能化、标准化的稳定服务。华为推出了单端检测距离达50km的 DAS 设备 Huawei OptiXsense EF3000，可以被广泛应用到油气管道、周界防护等多种基于光纤的分布式振动监测场景。

### 2.2.3 AI在能源消费方面的应用



在电力领域，AI已成为智能电网的核心组成部分<sup>[14]</sup>，其对于预测消费者消费模式并相应管理能源分配具有不可或缺的作用。特别是，长短期记忆网络（LSTM）被广泛用于学习和预测能源需求，从而实现供应与需求之间的有效平衡，确保能源分配的高效性。根据瑞士公司ABB报道，该公司开发了一个AI支持的能源需求预测应用，该应用不仅帮助客户做出更精确的能源管理决策，还允许商业建筑经理通过利用时间使用率优惠避免高峰时段的电费<sup>[15]</sup>。

在石油和天然气行业，AI的应用日益增多，特别

是在用户行为分析和需求预测方面。AI可以通过分析历史和实时数据来预测未来的供应链需求<sup>[16]-[17]</sup>。AI技术如神经网络、回归分析和时间序列预测等，被用来优化库存水平并防止过剩或短缺的产生。根据路透社报道，壳牌公司便是一个典型例子，他们利用AI来预测未来的石油和天然气需求，从而优化库存管理并降低成本<sup>[18]</sup>。

AI在煤炭行业的应用同样显示出其在预测和优化能源消耗方面的潜力。AI通过分析煤炭需求数据，可以预测市场趋势和价格变化，进而调整采矿作业和能源消耗，以适应市场需求<sup>[19]</sup>。例如，山东能源集团发布的新闻中提到，其与华为共同开发的盘古矿模型利用AI分析采矿过程中的各种数据，预测未来的需求趋势，并据此优化采矿作业，这不仅提高了资源利用率，还降低了运营成本<sup>[20]</sup>。

## 2.3 AI推动能源转型

低碳能源转型中的一个重要主题是降低能源的生产成本，提高能源生产效率。一方面，新型材料的高效发现可以助推能源生产流程的优化，带来能源生产成本的大幅降低；另一方面，充分的市场竞争和活跃的能源交易系统，是促进能源生产系统降低成本，提高效率的关键方法。本节将具体讨论AI在降低能源成本、推动能源转型方面的应用前景。

### 2.3.1 AI辅助材料发现



在能源转型的进程中，为了能够降低能源成本，

发现并采用全新的能源材料至关重要。其可以在能源转型的多领域得到应用，包括电池储能材料、新式发电机材料和高效催化剂材料等。引入全新的能源材料有助于在各个方向上提高能源效率、降低制造和运营成本，并增强能源系统的灵活性。

然而，传统的材料发现往往需要耗费大量时间和成本，同时存在成功率低和数据利用不足等问题，面临复杂性和不确定性的多重挑战。一方面，其从理论预测出发，到材料实际投产应用，整个过程往往耗时数十年，且实验合成和表征过程需要消耗大量人力和物力，成本高昂。此外，考虑到材料科学涉及众多变量和参数，理论模型往往难以全面描述实际情况，新材料发现通常是一个高度试错的过程，不仅成功率较低，同时也难以获得最优结果。

随着AI的发展，这一难题有了切实可行的解决方案。在人工智能，特别是LLM的帮助下，材料发现得到了多方面的辅助。首先，LLM可以对文献和数据进行分析和挖掘，通过快速总结大量文献，从现有数据库中提取有效信息，帮助发现潜在的材料特性和应用。其次，利用生成模型，AI可以预测和生成具有特定性能的新材料结构。例如，通过设计分子结构实现特定的光学、电学或机械性质。AI还可以进行反向设计，根据给定的材料性能要求，帮助研究人员设计或优化材料的结构和成分。此外，基于已有数据和机器学习模型，AI可以预测新材料的性能，如强度、导电性和热稳定性等。这不仅可以优化实验设计，减少试验次数，还能大大缩短实验和计算模拟的时间和成本。总体而言，AI的应用极大地提高了材料发现的效率和成功率，为能源转型提供了强有力的支持。

### 2.3.2 AI推动能源市场化



在能源转型过程中，能源交易市场化是实现能源行业效率和成本优化的重要途径。通过竞争，能源市场可以更有效地分配资源，降低成本，同时确保利益合理分配和最大化社会福利。另外，从相对可控的化石能源向相对不可控的可再生能源的转型，需要 we 们建立更灵活且高效的市场环境，实现稳定的能源供应。

然而，由于能源行业是社会生活中的核心行业之一，能源市场会受制于包括但不限于国际政治形势、气候变化等诸多不确定性因素的复杂影响，导致能源供需关系难以预测。另一方面，能源交易还受到市场主体的理性与非理性行为决策的影响，导致能源交易结果的不确定。因此，为建立一个灵活、可持续的能源市场体系，有必要对复杂社会环境下的能源市场进行准确建模与仿真，模拟不同场景下的能源市场交易过程，为市场体系的建设完善提供支撑。

在能源交易市场中，LLM等新兴AI技术可以帮助提高对市场复杂外部性信息的处理能力，助力灵活高效的市场体系建设与完善。一方面，以LLM为核心的新兴AI技术能够处理和分析包括文字、图像和音频等多种格式的海量复杂多元数据，这使得市场参与者可以即时获取并理解市场的最新动态，如能源需求的变化、能源价格趋势和政策变动等，从而可以快速调整自己的策略，提高市场主体灵活性，帮助市场主体适应市场的变化，实现利益最优。另一方面，以LLM为

核心的新兴AI技术还可以作为市场代理应用于市场仿真领域。通过对如能源、经济等特定的领域知识的学习，可以提高计算机代理对该领域知识的理解深度，结合LLM的泛化能力和逻辑思维，计算机代理将具备模拟真实市场主体行为的能力，真实反映市场主体对价格变化的敏感性，模拟不同偏好的市场主体在不同政策和经济环境下的市场反应，做出更真实的需求响应行为，实现现实能源市场的高精度仿真，帮助市场运营者更好地了解市场的可能动态，从而设计更有效的市场机制，制定相关政策。

## 2.4 AI增强能源安全

由于风、光等可再生能源具有强波动性、高不确定性的特点，增大了能源稳定持续供应的难度，使得在低碳能源转型过程中保障能源安全成为难点。克服可再生能源的不确定性带来的挑战，重点在于对能源供求情况的准确预测与对能源输送的灵活调节能力，建立灵活可靠的强韧性能源供应网络。本节将具体讨论AI技术在提高能源供应网络韧性、增强能源安全方面的应用前景。

### 2.4.1 AI提供实时信息感知与预测



在能源领域，准确的预测可以促进供需平衡、优化资源分配、降低运营成本、提升能源管理和促进可再生能源利用。许多研究聚焦于能源领域的预测问题，其中负荷预测和新能源发电预测分别针对电力需求和可再生能源发电量，提供了关键的数据支持和决策依据，从而确保能源系统的高效、稳定

和可持续运行。一方面，负荷预测作为传统的能源领域预测任务，可以帮助运营商制定合理的电力调度计划，确保电网稳定运行，并为需求响应计划提供支持，通过调整用户需求来平衡电网负荷。另一方面，随着风能、太阳能等可再生能源装机容量的提高，能源系统的复杂性和不确定性也在增加。新能源发电预测可以更好地整合可再生能源，确保电网的稳定运行，帮助电力调度中心制定合理的调度计划，提高新能源的利用率。

近年来，大语言模型，如GPT-4和其他基于Transformer架构的模型，具备强大的自然语言处理和生成能力，受到了广泛的关注，尽管它们主要用于处理文本数据，LLM也能在能源预测领域发挥重要作用。同之前的深度学习相比，语言模型可以处理并融合不同类型的数据，包括以气象报告、新闻文章、技术文档和社交媒体内容在内的文本数据和卫星云图等在内的图片数据等，大语言模型可以处理并融合这些不同类型的数据，而这其中就可能包含对能源需求和供给有影响的重要信息。

具体而言，大语言模型可以在下面几个方面较传统AI模型有所改进，例如在自然灾害方面，通过实时监控和解析有关地震、洪水和风暴等自然灾害的报道，LLM可以预测这些事件对能源基础设施的影响，并提供预警信息；LLM可以实时分析政府政策的变化，如环保法规的实施或能源补贴的调整，评估其潜在影响；此外，重大的社会事件（如大型体育赛事、政治活动或突发的公共卫生事件）也会显著影响能源需求，LLM可以实时跟踪这些事件的

发展，分析其对能源需求的潜在影响；最后，通过整合和分析实时天气预报和用电记录等，LLM可以调整负荷预测，帮助电网公司优化电力调度。

大语言模型在信息获取和处理方面的优势，能够显著提升能源预测的准确性和及时性。通过读取和理解网络信息，LLM可以实时跟踪和分析各种影响能源市场的因素，提供准确的预测和决策支持。这不仅有助于能源管理部门和企业应对复杂多变的市场环境，还能提高能源利用效率，推动能源行业的可持续发展。

## 2.4.2 AI辅助复杂系统控制与运行



以AI为主的新型技术正在深刻改变能源系统，在能源的生产、运输、分配和供给环节通过预测性维护、优化、安全等多个角度推动数字化转型。这部分将以电力系统为例，具体阐述AI在其中的可能应用。电力系统运行中，调度员通常需要根据实时负荷偏差，通过操作票对发电机组、线路等设备进行人工调度修正。随着人工智能的不断进步，许多调度步骤可以结合以LLM为代表的新型AI技术来提高效率和准确性。在电力系统调度时，调度员通常以事故（或称扰动，小至如负荷偏差等高频率低影响扰动的发生，大至如发电机故障、线路短路等低频率高影响事故的发生）发生的时间为基准，将调度动作进一步划分为事前、事中、事后三个阶段的控制与响应。以下从事前、事中、事后三个阶段探讨AI的作用，分别对应风险预测、实时响应到事故后分析的全过程。

在事前阶段，即，电力系统处于稳定正常运行阶段时，AI的应用包括智能成票和业务场景生成等。在智能成票方面，AI可根据实时系统状态和预定的工作任务，自动编制出符合要求的操作票，解决目前依赖人力的流程步骤繁琐、核对量大等痛点。值得注意的是，LLM在写作辅助方面已表现出强大的上下文生成和泛化能力<sup>[21][22]</sup>。经过特定任务微调后，LLM可以生成规范化的业务操作票，还可以利用检索增强生成（Retrieval-Augmented Generation, RAG）技术来提高生成结果的准确性。在业务场景生成方面，AI可以自动识别或预测当前电力系统的状态和需求，从而生成最适合当前条件的操作场景。通过分析现货市场等系统的数据，AI能够识别系统的运行状态或潜在问题，并提出预警和操作建议，包括计划停复电、断面控制以及事故处理方法等。

在事中阶段，即，电力系统正在发生故障时，AI的应用主要包括电力系统故障诊断和系统恢复等。在故障诊断中，以设备故障诊断为例，传统方法主要依赖感应数据进行故障类型识别。然而，不同类型设备的监测数据和故障诊断方法差异较大，且数据量有限，加之环境、天气等外部因素难以全面采集，使得提出一个高效且广泛适用的算法极具挑战性。而LLM凭借其强大的泛化能力，有望解决这些难题。在小样本环境下，通过特定任务微调，可以利用LLM获取适用于不同设备的诊断模型。此外，LLM还能够基于诊断结果和系统状态自动生成故障诊断综合报告，从而减少后续决策的时间。在系统恢复方面，LLM可显著辅助输电和配电系统的

恢复。例如，LLM可以根据调度员的需求，迅速生成配电系统恢复方案，并对输电网和配电网恢复方案进行安全综合评估。在维修过程中，LLM还可以通过语音和视频的方式，对现场维修人员进行操作指导和监督，确保操作的安全性和专业性。

在事后阶段，即，电力系统从故障中恢复后，AI的应用主要包括系统恢复的状态辨识和调控策略等。在事后恢复阶段，快速而准确地辨识系统状态是确保电力系统平稳恢复的关键。传统的状态辨识方法依赖于人工分析和经验判断，既耗时又容易出错。而AI，尤其是LLM，能够通过分析包括系统日志、调度电话录音、调度票等多模态信息，快速识别出系统的异常状态。例如，通过分析系统日志，AI可以检测到异常事件的发生和影响范围；通过对调度电话录音的分析，AI可以评估调度员的反应和处理情况，从而判断系统的当前状态。此外，LLM还可以从调度员的记录和反馈中提取关键信息，提供对系统状态的综合评估。而在调控策略方面，基于历史数据、已知调控策略和对调度员行为的分析和评估，AI可以识别操作中的不足之处，提出改进建议，从而优化调控流程和策略。

## 2.5 总结与展望

复杂社会环境下的低碳能源转型会受到能源行业内部环境，以及能源相关行业，如交通、环境等外部环境的种种不确定性的干扰与影响。针对能源安全为前提下的能源转型所面临的挑战，本章节首先总结了AI在能源生产、输送和消费全链条的先进

应用，突出了AI在处理能源领域海量复杂数据时的优势。接着，结合近几年AI发展的新趋势，考虑泛化性更强、信息处理能力与逻辑推理能力更强的大型语言模型等新兴AI技术的巨大优势，报告进一步展望了AI在推动能源转型、增强能源安全方面的应用前景。具体地，报告展望了AI通过辅助材料发现、推动市场化进程推动能源转型进程，以及通过结合实时信息进行时间序列预测、辅助复杂系统运行等方法增强能源安全。通过本章内容，报告初步揭示了AI在能源领域的巨大潜能，展望AIGC以辅助清洁能源供应的方式为人类社会共建绿色地球做出贡献，建设美好未来。

## 2.6 参考文献

- [1] 周孝信,陈树勇,鲁宗相,等.能源转型中我国新一代电力系统的技术特征[J].中国电机工程学报,2018,38(07):1893-1904+2205.DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.180067.
- [2] Sunil Kr. Jha, Jasmin Bilalovic, Anju Jha, Nilesh Patel, Han Zhang. Renewable energy: Present research and future scope of Artificial Intelligence. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 77, 297-317. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.001>
- [3] J. T. Dellosa and E. C. Palconit, Artificial Intelligence (AI) in Renewable Energy Systems: A Condensed Review of its Applications and Techniques, 2021 EEEIC / I&CPS Europe, Bari, Italy, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope51590.2021.9584587.
- [4] Chen Zhang, Tao Yang. Optimal maintenance planning and resource allocation for wind farms based on non-dominated sorting genetic algorithm-II. Renewable Energy, 2021, 164, 1540-1549. doi:10.1016/j.renene.2020.10.125.
- [5] K. Bose, Artificial Intelligence Techniques in Smart Grid and Renewable Energy Systems—Some Example Applications, in Proceedings of the IEEE, vol. 105, no. 11, pp. 2262-2273, Nov. 2017, doi: 10.1109/JPROC.2017.2756596.
- [6] 张子瑞. 这家公司让风机变得更“聪明”. 2019-07-09. 厦门大学能源学院.<https://energy.xmu.edu.cn/info/1013/1433.htm>
- [7] Anirbid Sircar, Kriti Yadav, et al. Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry. Petroleum Research, 2021, 6, 379-391. <https://doi.org/10.1016/j.petrores.2021.03.002>
- [8] Sachin Choubey, G. P. Karmakar. Artificial intelligence techniques and their application in oil and gas industry. Artificial Intelligence Review, 2021, 54, 3665-3683.<https://doi.org/10.1007/s10462-020-09935-1>
- [9] Hamzeh H (2016) Application of big data in petroleum industry. Department of Electronics and Computer Engineering Istanbul Sehir University hamedhamzeh@std.sehir.edu.tr
- [10] Aker BP Uses SparkCognition AI Solution to Accelerate Productivity. Offshore Technology News, March 27, 2019. <https://www.offshore-technology.com/news/aker-bp-sparkcognition/AI>
- [11] 张继研, 郝兆虹, 等.人工智能在故障诊断中的应用研究[J].辽宁大学学报2012,39(02):231-237.
- [12] 丛瑞,冯骋,沈晨,等.油气管道数字孪生技术应用[J].油气田地面工程,2022,41(10):108-113.
- [13] 徐磊, 侯磊, 李雨, 朱振宇, 雷婷.机器学习在油气管道的应用研究进展及展望[J].油气储运, 2021, 40(2): 138-145.
- [14] Aguiar-Pérez Javier Manuel, Pérez-Juárez María Ángeles. An insight of deep learning based demand forecasting in smart grids[J]. Sensors, 2023, 23(3), 1467.<https://doi.org/10.3390/s23031467>

[15] ABB. (2019, November 6). ABB uses AI to revolutionize energy management. <https://new.abb.com/news/detail/41194/abb-uses-ai-to-revolutionize-en>

[16] Seyedan Mahya, Mafakheri Fereshteh. Predictive big data analytics for supply chain demand forecasting: methods, applications, and research opportunities[J]. *Journal of Big Data*, 2020, 7(53), Article 53.<https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-020-00329-2#citeas>

[17] Colin Masson. Industrial AI: 25 use cases for sustainable business outcomes[J]. ARC Advisory Group, 2023, technology trends.<https://www.arcweb.com/blog/industrial-ai-25-use-cases-sustainable-business-outcomes>

[18] Reuters. (2023, May 17). Shell to use new AI technology in deep sea oil exploration. <https://www.reuters.com/business/energy/shell-use-new-ai-technology-deep-sea-oil-exploration-2023-05-17/>

[19] MINING.COM. (2023, August 30). AI's potential role in the coal industry.<https://www.mining.com/web/ais-potential-role-in-the-coal-industry/>

[20] 山东能源. 山东能源和华为联合发布矿山领域商用人工智能大模型.[2023-07-18]<http://www.shandong-energy.com/78593/78597/2023/07/26275379.html>

[21]Steven M Goodman, Erin Buehler, Patrick Clary, Andy Coenen, Aaron Donsbach, Tiffanie N Horne, Michal Lahav, Robert MacDonald, Rain Breaw Michaels, Ajit Narayanan, et al. Lampost: Design and evaluation of an ai-assisted email writing prototype for adults with dyslexia. In *Proceedings of the 24th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pages 1-18, 2022.

[22]Yue Zhang, Leyang Cui, Deng Cai, Xinting Huang, Tao Fang, and Wei Bi. Multi-task instruction tuning of llama for specific scenarios: A preliminary study on writing assistance. *arXiv preprint arXiv:2305.13225*, 2023.



# 气候变化

## 3.1 引言

人工智能技术正在迅速改变气象领域、气候变化研究和全球减排策略。过去，气象学家依赖于传统的统计模型和经验法则来预测天气，但这些方法受到数据量、数据精度和计算能力的限制。通过利用强大的数据处理能力和先进的算法，人工智能不仅提高了天气预报的准确性，还为气候变化研究提供了新的视角。人工智能通过深度学习等技术处理海量的气象数据，并发现隐藏在数据中的复杂模式。人工智能在气象领域的应用，不仅增强极端天气事件的预警能力，减少自然灾害带来的损失，还推动了气候模型的精细化和长期气候变化的研究。

此外，通过分析气象数据和环境数据，人工智能可以帮助多行业制定更有效的资源管理和减排策略。人工智能技术不仅可以协助区域级、行业级、企业级

碳监测，同时人工智能还可以赋能气候金融加速发展。随着大模型技术的应用，多模态大模型也可以集成分析多类环境表现，这一技术革命正在引领气象科学进入一个全新的时代，为全球应对气候变化提供了强有力的技术支持。

为阐明人工智能在解决气候变化问题的影响和应用，本章节内容按照以下结构展开叙述：3.2、3.3、3.4章节分别阐述当前AI技术在区域级、行业级、企业级碳监测的应用现状，接着，在3.5章节中，我们对未来多模态大模型在环境表现评估的可能性进行展望。3.6章节中总结人工智能在气候金融领域的应用，介绍AI技术如何推进企业自主减少碳排放并实现绿色转型。

### AI助力 气候变换 议题

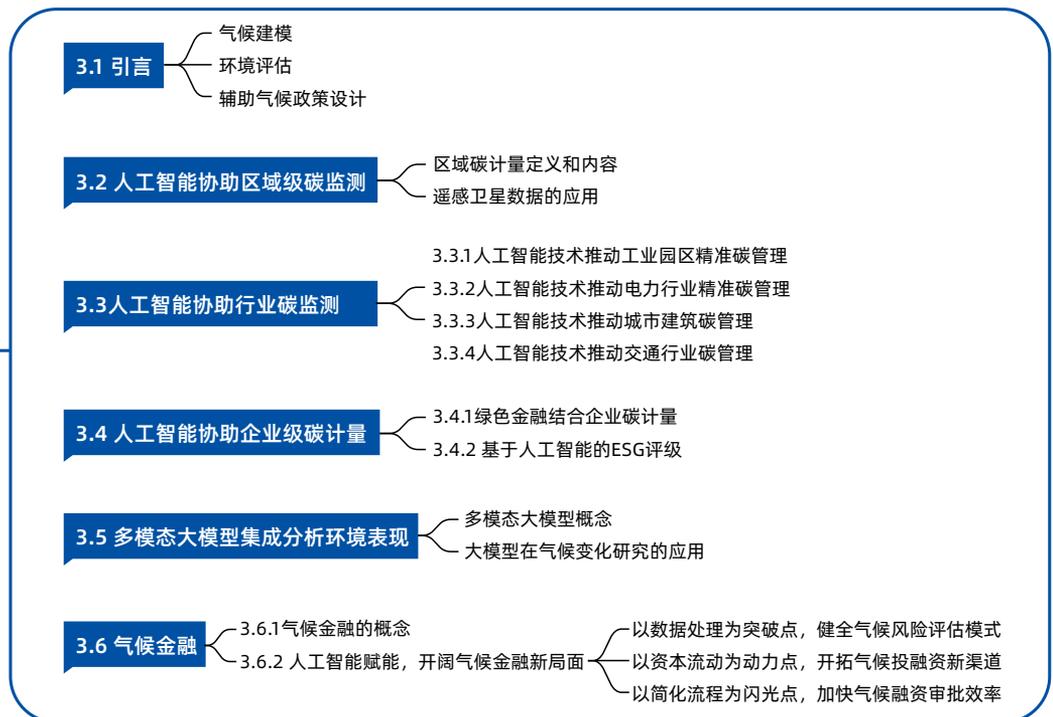


图3.1 人工智能与气候变化议题

## 3.2 人工智能协助区域级碳监测

人工智能在实时监测和评估碳排放源方面展现出独特优势。通过结合多源、多模态数据和深度学习算法，人工智能能够从复杂的数据集中溯源关键的碳排放点。这些排放点包括工业设施、电力生产、钢铁厂排放、城市楼宇以及城市交通系统等。通过对这些数据的深度分析，人工智能技术可以精确定位和量化各个排放源的碳排放情况，从而为制定减排策略提供科学依据。人工智能技术在优化碳排放测量精度方面也显示出显著的优势。传统的碳计量方法主要依赖于碳捕捉和存储技术（CCS）的设计和操作，这些方法虽然有效，但其成本相对较高。而通过开发和应用先进的AI算法，可以以较低的成本实现更高精度的区域碳排放模拟和预测。人工智能技术算法能够综合考虑多种变量，进行复杂的计算和建模，提供比传统方法更精确的碳排放数据。这种高精度、低成本的碳排放监测和评估方法，不仅提高了环境管理的效率，还为减少温室气体排放提供了强有力的技术支持。通过利用人工智能技术，政府和企业可以更好地监控和管理碳排放，实现环保和可持续发展的目标。人工智能技术驱动的碳排放监测系统还能够实时更新和反馈，为应对突发的环境事件和制定长期的减排策略提供及时和有效的信息支持。



### 基于人工智能技术分析遥感卫星数据

碳卫星是一种专门用于监测和测量大气中二氧化碳（CO<sub>2</sub>）及其他温室气体浓度的卫星。这些卫星利

用先进的传感器和光谱仪，通过遥感技术从太空中捕捉地球表面和大气层的反射和散射光谱数据，从而精确计算出不同区域的温室气体浓度。碳卫星在应对气候变化、环境监测和科学研究中发挥着重要作用。碳卫星能够提供全球范围内高精度的二氧化碳浓度数据，帮助科学家和政策制定者了解不同地区的碳排放情况。例如，美国国家航空航天局（NASA）的轨道碳观测卫星（OCO-2）<sup>[1]</sup>能够提供详细的二氧化碳浓度分布图，这些数据被广泛用于全球碳循环的研究。

碳卫星可以协助气候变化研究，通过长期监测大气中的二氧化碳浓度，碳卫星可以用于研究气候变化的趋势和影响。例如，欧洲空间局（ESA）的哨兵-5P卫星携带的TROPOMI光谱仪，能够监测包括二氧化碳在内的多种大气成分。科学家利用这些数据，对全球二氧化碳浓度的长期变化进行了深入研究，从而揭示了气候变化的趋势和影响。通过这些长期数据，研究人员能够更准确地模拟和预测未来的气候变化，并评估气候变化对环境、生态系统和人类社会的潜在影响。同时，通过分析碳卫星数据，研究人员能够识别出主要的碳排放源，如工业区和城市，用于评估不同地区的碳排放量。例如，基于深度学习技术，文章<sup>[2]</sup>建立模型处理OCO-2等碳卫星数据，对碳排放进行溯源。该模型基于风速、碳卫星数据和电厂用电数据，能够自动识别和溯源不同的排放源，极大提高了数据分析的效率和精度。通过此类算法，AI能够处理和分析大量复杂的遥感数据，提取出有价值的信息。

碳卫星高精度数据，使得科学家能够更准确地理解碳排放的动态变化和空间分布，识别大气中二氧化碳浓度的微小变化，并将这些变化与具体的地理区域

和时间段关联起来。通过与人工智能技术的结合，碳卫星还能够实现实时监测和预警功能。AI系统可以实时分析最新的卫星数据，识别出异常的二氧化碳浓度变化，并及时发出预警。例如，在2019年亚马逊森林火灾期间，碳卫星与AI技术的结合使得科学家能够迅速检测到火灾导致的二氧化碳排放增加，从而为政府和救援机构提供了重要的决策支持。这对于应对突发的环境事件，如森林火灾或工业事故，具有重要意义。

碳卫星提供的数据不仅用于科学研究，还可以应用于环境监测和政策制定。通过对大气中的二氧化碳和其他污染物数据的分析，政府能够更准确地评估各地的空气质量状况，并制定相应的环保政策。人工智能技术可以帮助政府和环保机构更有效地监控空气质量，评估减排措施的效果，制定和调整环境政策。例如，通过监测工业区和城市的二氧化碳排放，政府可以优化城市规划和产业布局，推动绿色发展。

## 3.3 人工智能协助行业碳监测

### 3.3.1 人工智能技术推动 工业园区精准碳管理



在环境监测和管理中，可以综合使用卫星数据、无人机数据和企业用电量数据。人工智能算法通过整合和分析这些多源数据，能够有效识别工业设施的超标排放和异常排放事件，展现出强大的应用潜力。人工智能算法能够整合碳卫星的区域排放数据、无人机获取的高分辨率环境数据以及企业的用电量数据。这

种多源数据的综合分析，能够提供对工业设施排放情况的全面了解。例如，碳卫星提供了大范围、高精度的二氧化碳和其他温室气体的浓度数据，而无人机则可以在低空拍摄，捕捉工业园区和特定排放源的精细图像和视频数据。企业用电量数据则反映了生产活动的强度和模式，结合这些数据，人工智能算法可以更精确地识别排放源和排放量。人工智能技术可以对工业烟囱的排放物质和浓度进行持续监测。通过深度学习和机器学习算法，人工智能技术能够实时分析排放数据，识别出不符合环保标准的排放行为。例如，当烟囱排放的污染物浓度超过设定的阈值时，人工智能技术会立即生成警报，并提供详细的排放报告。这些报告包括排放物质的种类、浓度、持续时间等关键信息，帮助工业园区了解问题的严重性和具体情况。此外，人工智能技术通过整合分析多源数据，提供更丰富实时的环境数据指导和支持，可以帮助工业园区企业迅速采取修正措施。例如，人工智能技术可以实时分析哪些具体的生产环节或设备可能导致超标排放，工业园区根据这些信息及时调整生产工艺或维护设备，避免进一步的环境污染。这种实时、精准的监测和反馈机制，使工业园区能够更主动地进行环境管理，提高了环保合规性。通过人工智能的辅助，环保监管变得更加高效和智能。

### 3.3.2 人工智能技术推动 电力行业精准碳管理



为了实现双碳发展目标，支撑新型电力系统发展，人工智能技术在实现智能电网中发挥着关键作用，通过数据分析、深度学习、优化算法和实时监

控等多种技术手段，使得电力生产、传输、分配和消费更加智能化和高效化，提升电网的效率、可靠性和可持续性。此外，人工智能技术在电网碳排放因子实时计量中发挥了至关重要的作用。通过综合应用传感器技术、数据分析、机器学习和深度学习算法，人工智能技术能够实现对电网排放因子的高精度实时监测和计量，为优化电力生产和减少碳排放提供了科学支持。人工智能技术可以全面且实时地监测和收集发电设备的运行状态、燃料使用情况、排放数据、电网负载和天气条件等多种信息，通过设计算法提取出有用的信息和特征，分析各类发电机组（如燃煤、天然气、风能、太阳能等）的排放数据，并结合电网负载和天气情况，计算出不同条件、不同时段、不同节点对应的电力排放因子。通过机器学习和深度学习算法，人工智能技术还可以对历史数据进行深度学习，从而预测不同时间段和负载条件下的电网排放因子。这种预测能力使电网运营商能够提前调整电力生产和分配策略，优化发电资源的使用。例如，在预测到高负载时期，人工智能技术可以建议优先使用低排放的可再生能源，减少高碳排放的化石燃料发电量。人工智能技术的应用不仅限于排放监测，还包括优化电力生产和资源利用。对于电力生产，人工智能技术能够分析发电过程中的碳排放效率，并优化发电设施和用电设备的运行。通过对历史排放数据和运行参数的深入学习，AI模型可以预测特定负载和天气条件下的最佳运行策略，从而最小化碳排放。通过对各种数据的实时分析，人工智能技术可以动态调整电力生产策略，确保能源利用效率的最大化。例如，AI可以在电力需求高峰期建议增加可再生能

源的使用，并在需求低谷期优化传统能源的使用，以平衡电网负载和降低碳排放。

### 3.3.3 人工智能技术推动城市建筑碳管理



人工智能在协助建筑楼宇实现节能方面，发挥着重要作用。首先，基于人工智能技术的数据集成系统可以通过传感器和智能电表收集建筑实时能源使用数据，并对此类数据进行实时分析，识别能源使用模式和趋势。基于分析结果，人工智能技术可以优化楼宇的能源使用，例如调整供暖、通风和空调系统的运行，以减少不必要的能源消耗和碳排放。人工智能技术还可以设计并支撑楼宇对可再生能源的智能使用，比如预测设备维护需求和能耗需求，智能优化用电设备的使用时间，并通过智能控制系统提供实时反馈和建议，帮助用户优化能源使用。通过集成人工智能技术的建筑管理系统，实现了全面的楼宇能源管理，在满足楼宇住户舒适度和功能需求的同时，最大限度地降低碳排放。

此外，人工智能能够赋能建筑楼宇降低碳排放，动态响应电网的碳排放水平。间接排放是建筑楼宇的主要碳排放来源，此类排放主要是由建筑楼宇用电、用热产生。要想实现建筑楼宇的碳排放量优化，则需要精细化管理楼宇用电水平和用电时间。基于碳排放成本的负荷响应作为先进的电力管理技术，可以协助楼宇管理碳排放，通过动态调整电力负荷到电网碳排放强度低的时刻，从而最小化企业间接碳排放量。该技术结合实时碳排放数据和电力负荷需求，利用人工

智能和机器学习算法，可以对建筑楼宇此类用电用户的能源使用进行智能管理和优化，在电网负荷高峰期或碳排放较高时，降低楼宇非关键设备的运行或推迟高能耗设备的使用。人工智能算法可以参与规划楼宇内高耗能设备在低碳时段运行，预测电网实时碳排放因子，减少整栋建筑楼宇碳排放，减少相应的环境成本。

### 3.3.4 人工智能技术推动 交通行业碳管理



对于城市交通系统，人工智能可以通过分析交通流量数据、车辆类型和路线信息来监测和评估交通引起的碳排放。人工智能技术在城市交通系统中的应用，显著提高了碳排放监测和管理的效率。在城市交通系统中，交通信号控制的优化是减少交通拥堵和车辆排放的重要手段。AI技术可以实时分析交通流量数据，动态调整交通信号灯的时间和协调性。例如，洛杉矶市的智能交通系统利用人工智能技术分析交通流量和车辆数据，在高峰期动态调整信号灯时间，结果减少了30%的交通拥堵，显著降低了车辆的碳排放。通过分析车辆的使用模式和排放特征，AI技术可以帮助城市交通管理者制定更加精准的减排策略。人工智能可以预测不同时段和不同区域的车辆需求，优化公共交通调度，减少空驶和过度拥挤的现象。

遥感卫星数据在交通行业的碳计量中也具有重要作用，通过提供高分辨率的地理和环境数据，使得碳排放的预测和监测更加精准和高效。此类数据通过人工智能技术进行处理和分析，能实现对交通行业碳排

放的精准计量。AI技术可以分析卫星影像数据，识别和分类不同类型的交通工具（如汽车、卡车、公共交通工具），并计算它们在特定区域和时间段内的流量，这些信息对于估算碳排放量至关重要。通过对道路和交通基础设施的使用情况进行监测，AI系统可识别高使用率和高排放的道路段。结合车辆类型和流量数据，系统能够精确估算每条道路的碳排放量。此外，遥感数据还可以用于监测交通活动对环境的影响，如空气质量和噪音水平。通过分析这些数据，可以评估交通排放对环境和公共健康的影响，并提供相应的改进建议。

## 3.4 人工智能协助企业级 碳计量

人工智能技术通过整合来自遥感技术、地面测量和卫星数据的多源信息，不仅能为区域进行高精度碳计量，更针对企业所需要的范围一、范围二、范围三计量数据进行更多补充。目前市场受限于企业级碳排放数据颗粒度低、数据标准不统一、数据更新滞后的局限，同时缺少受国际认可且数据覆盖全面的企业级碳排放数据库。通过利用人工智能技术，可以自动分析企业多类环境数据（包括企业自主披露环境数据、电力排放因子、企业用电数据、碳卫星、卫星图像等数据），精确地定位企业碳排放的来源，实时监测企业的直接/间接碳排放情况。企业级碳排放数据通过对企业自主披露数据和其他多源测算数据的融合与交叉验证，将重新校验企业范围一、范围二排放值，显著提升企业排放披露数据的准确度和计量科学性。此外，企业电力大数据深度反映了其生产运行方式，通

通过分析其电力数据厘清其内在特性，可以实现企业的实时碳排放计量。通过可视化工具，可以直观地分析和比较不同企业、行业和地区的碳排放情况，可协助企业进行碳管理和制定碳交易决策从而实现碳中和目标。

企业级高精度碳排放数据便于协助企业进行碳管理和制定碳交易决策，从而实现企业碳中和目标。人工智能技术能进行企业碳排放趋势分析和预测，帮助企业制定长期的环保策略。通过分析碳卫星数据，不仅能够实时识别工业设施的超标排放和异常排放行为，还能提供帮助企业迅速采取修正措施。对于监管机构来说，AI提供的精准数据和分析结果，可以大大提升监管的效率和效果，减少漂绿、洗绿现象。这种高效、精准的环境监测和管理方式，为实现可持续发展提供了强有力的技术保障。

### 3.4.1 绿色金融结合企业碳计量



基于人工智能的企业绿色金融，正在成为推动可持续发展的重要手段。绿色金融致力于为环保项目、可再生能源、能源效率和其他可持续发展领域提供资金支持，而通过人工智能技术对企业碳排放进行精确计量，可以确保资金流向真正环保的项目，并提高投资决策的科学性和透明度。绿色金融的核心理念是通过金融手段推动环境保护和可持续发展。这包括为低碳项目、清洁能源、环保技术和可持续基础设施提供融资，以及鼓励企业和机构减少碳排放。绿色金融旨在通过市场力量促进环境友好型经济的转型，推动全球气候目标的实现。



### 碳排放数据分析

人工智能技术可以高效地处理和分析大量的碳排放数据。通过对企业的生产、运输和能源使用等环节的碳排放数据进行全面分析，人工智能技术可以精确计算出企业的碳足迹。这种精确计量对于绿色金融机构评估企业的环保表现至关重要，确保资金流向环保效益显著的项目。



### 风险评估和管理

人工智能技术可以帮助金融机构评估环境风险和气候变化对投资项目的影 响。通过分析历史数据和环境变化趋势，人工智能技术能够预测未来可能的环境风险，帮助金融机构制定更科学的投资策略。例如，人工智能技术可以基于跨域多源数据，识别出高碳排放企业的潜在环境风险，建议金融机构规避高风险投资。

绿色债券（绿债）是一种专门用于资助环保项目的债务工具，旨在推动可持续发展和应对气候变化。企业发行绿色债券可以获得多方面的优势，其中包括但不限于降低资金成本、提升企业形象、吸引长期投资者和提高市场竞争力。目前，全球首只结合“碳卫星”、“碳无人机”等技术认证的绿色债券于港交所成功发行<sup>[4]</sup>。深圳市人工智能与机器人研究院和深圳数据经济研究院团队将“碳卫星”、“碳无人机”等先进技术结合人工智能算法，实现了企业范围一、二和三的碳排放数据计量。通过资金驱动的绿色金融手段，促成了企业对

自身碳排放信息的主动披露。此次合作既是对国内外碳排放披露要求日趋强制化的正面响应，也是企业积极践行国家“双碳”战略要求的重要体现。该SPO报告框架符合国际绿色金融市场规则、数据采集完整合理、技术来源科学有效。

### 3.4.2 基于人工智能的ESG评级



环境、社会和治理（ESG）评级是评估企业在环境保护、社会责任和公司治理方面表现的重要指标。随着可持续投资理念的普及，投资者和监管机构越来越重视企业的ESG表现。基于人工智能的ESG评级技术，通过高效处理和分析大量数据，为企业提供更加全面、精准和客观的ESG评级，推动了可持续发展。

基于人工智能的ESG评级系统通过多种途径收集和整合企业的ESG相关数据。在环境方面，人工智能技术能够利用传感器、卫星遥感和物联网设备，实时监测企业的碳排放、能源消耗和资源使用情况。此外，人工智能技术还可以监测企业在生产过程中的污染物排放，包括废水、废气和固体废物等数据。社会数据的收集则包括员工福利、劳动条件、健康与安全等信息，这些数据可以通过企业内部系统和第三方调查获取。同时，人工智能技术可以评估企业在社区发展、慈善捐助和社会公益等方面的表现，通过社交媒体和新闻报道获取公众反馈。治理数据的收集涉及企业的董事会构成、管理层薪酬、股东权益保护等治理结构信息，以及企业的法律合规情况、财务透明度和信息披露质量，这些数据可以通过新闻、法律文献和监管报告获取。

人工智能技术通过机器学习和自然语言处理（NLP）等算法，对收集到的ESG数据进行深度分析和处理。人工智能系统能够高效处理海量数据，快速提取有价值的信息，避免人工分析带来的主观偏差和效率低下。利用NLP技术，人工智能技术可以对新闻报道、社交媒体评论和公众意见进行情感分析，了解社会舆论对企业ESG表现的评价。此外，通过机器学习算法，人工智能系统能够识别企业ESG表现的历史模式和趋势，预测未来的ESG风险和机会。基于人工智能的ESG评级模型结合多种数据源和分析方法，构建科学、客观的评级体系。该模型将环境、社会和治理三个维度的表现进行量化评分，综合评估企业的ESG表现。根据不同行业和地区的特点，人工智能技术可以动态调整各个维度的权重，确保评级结果的公正性和准确性。同时，人工智能技术能够实时更新ESG数据和评级结果，反映企业最新ESG表现，提供及时、准确的评级信息。

## 3.5 多模态大模型集成分析环境表现

基于多模态数据的大模型分析仍是一个前沿的应用领域，它利用人工智能技术处理和分析多种类型的数据，从而提供更全面和深入的环境表现洞察，目前主要应用在计算机视觉领域。而多模态数据分析涉及将来自不同来源的数据集成到一个分析框架中。这种集成允许模型从多个维度理解和预测环境现象，如气候模式、极端天气事件和生态系统变化。借助强大的计算能力，大模型（如深度神经网络和集成学习系统）能够处理和分析大规模的数

据集，识别其中的复杂模式和关联。这些模型可以自动调整和优化，以提高预测的准确性和可靠性。

多模态数据大模型在气象变化研究，特别是在碳排放计量方面，可以发挥重要的作用。首先，多模态数据大模型能够整合和处理来自多个来源的多种类型的数据，包括卫星图像、地面气象观测数据、海洋和大气传感器数据以及社会经济数据。卫星图像提供全球范围内的碳排放信息，包括森林砍伐、城市扩张等。地面气象观测数据提供精确的温度、湿度、降水量等信息，有助于理解局部气候变化的影响。海洋和大气传感器数据监测海洋中的二氧化碳吸收量以及大气中温室气体的浓度。社会经济数据包括能源消耗、工业活动、交通运输等，可以直接反映人类活动对碳排放的贡献。多模态数据大模型利用深度学习和集成学习技术，可以在大规模数据集上进行训练。这些模型能够自动学习和识别数据中的复杂模式和关联，提高对碳排放的预测精度。例如，深度学习网络通过多个层级的神经网络，可以捕捉到碳排放与环境因素之间的非线性关系。集成学习系统则结合多个模型的预测结果，能够减少单一模型的误差，提高预测的稳定性和可靠性。

此外，多模态数据大模型为环境政策的制定和评估提供了科学依据。通过模拟不同减碳措施的效果，模型能够帮助政策制定者选择最有效的减排策略。利用实时数据监测政策实施后的实际效果，确保减排目标的实现。例如，在碳交易市场中，多模态数据大模型可以帮助建立和优化碳交易市场，通

过精确的碳排放量计算，确保碳信用的公正和有效交易。在城市规划中，模型可以预测不同规划方案对碳排放的影响，支持低碳城市建设。多模态数据大模型大大增强了气象变化研究和碳排放计量的能力，为应对全球气候变化挑战提供了强有力的技术支持。

## 3.6 气候金融



### 3.6.1 气候金融的概念

气候金融，也被称为气候投融资，是国际社会为应对全球气候变化而实施的一系列资金融通工具和市场体系、交易行为及相关制度安排的总称。当前的金融市场对气候金融尚未存在统一的定义，但可大致将其分为狭义气候金融和广义气候金融。狭义的气候金融概念主要聚焦于具有制度创新性质的碳交易制度，将碳排放权（排放配额）及其衍生产品视为商品，并允许其进行交易。广义的气候金融除了涵盖传统金融活动的改造升级，还涉及为应对气候变化而采取的各类直接和间接金融交易活动，并涵盖了为低碳转型活动提供资金支持的金融活动，亦或是开发可再生能源等各类有利于气候保护的开展，例如高碳技术产业升级或是太阳能板安装等，旨在满足低碳发展的各项投融资需求。

2020年10月，生态环境部、人民银行等五部委联合发布了《关于促进应对气候变化投融资指导意见》，正式对气候投融资进行了明确的定义：

“气候投融资是指为实现国家自主贡献目标和低碳发展目标，引导和促进更多资金投向应对气候变化领域的投资和融资活动，是绿色金融的重要组成部分”。该《指导意见》将气候金融的活动范围分为减缓气候变化和适应气候变化两个部分。尽管国际上对气候金融的定义还没有形成统一的意见，但是发展气候金融的主要目的是一致的，即通过满足碳密集型行业绿色转型的资金需求来应对气候变化。气候金融是可持续金融的重要组成部分，通过引导市场资金流动从而降低气候变化带来的风险，减少温室气体排放，助力国家达成碳达峰、碳中和的战略目标。

### 3.6.2 人工智能赋能， 开阔气候金融新局面



#### （一）以数据处理为突破点， 健全气候风险评估模式

当前，业界在气候风险评估领域普遍面临一项挑战，即对于企业投资项目所产生的碳排放量难以进行精确预测，对企业的ESG评级标准也存在较大差异（见图1）。由于缺乏标准化的气候风险数据和评估方法，这不仅导致监管机构不能有效追踪企业的ESG动态，同时也使得银行在发放绿色金融贷款时无法准确评估企业的相关能力，进而制约了企业低碳转型的进程。

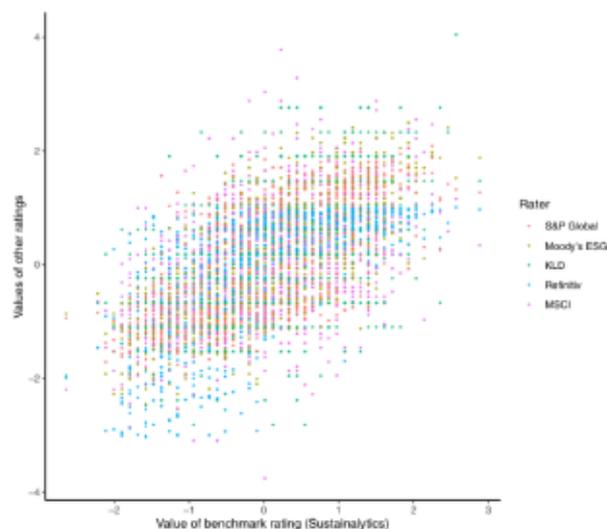


图1 ESG评级差异

注：该图说明了ESG评级差异。横轴表示作为每家公司基准的Sustainalytics评级值(n=924)。其他五位评分者的评分值以不同颜色绘制在纵轴上。对于每个评估者，值的分布已归一化为零均值和单位方差

资料来源：Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings

而人工智能的出现，为应对此类困难带来了突破性的变革。一是人工智能能够提升对气候数据的处理能力。在评估企业气候风险时，不但需要同时处理大量的数据，还要确保数据的质量，并对数据做一定的保密处理。二是运用集成人工智能的终端可以实现全流程自动化。集成了人工智能的信息终端能够实时采集企业的碳排放数据，建立完整的数据库，为金融机构、企业和监管部门提供数据信息服务。在此基础之上，人工智能能够通过整合现有数据，并结合不同地区的环境情况，自动建立符合当前地区的多维风险模型，提升气候风险评估与预测的精准度<sup>[5]</sup>。



## (二) 以资本流动为动力点， 开拓气候投融资新渠道

气候适应性融资在大多数国家仍然存在巨大的缺口。联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯（António Guterres）在首届气候脆弱金融峰会上提到：“每年只有167亿美元的气候融资被用于环境适应和复原，但是发展中国家的适应成本为每年700亿美元，并且可能会在2030年提升至3000亿美元<sup>[6]</sup>。”靠国际公共资金无法填补这一缺口，政府也无法在不增加财政空间的情况下大规模吸收贷款融资。

人工智能可以利用卫星图像、手机数据、传感器信息、无人机拍摄画面以及地理标记的社交媒体内容等多样化的替代数据来设计个性化的金融产品，进而吸引投资者通过购买相关金融产品的方式参与气候投融资活动。以银行为例，其可依托农作物生长情况的遥感监测数据以及农民的交易历史记录，对农民的信用风险水平进行全面而准确地评估，进而为符合条件的种植作物或耕作技术改进项目提供专门的贷款支持。相较于传统的信用评分机制，人工智能算法在解析替代数据方面能够展现出更高的精确性和效率，从而有效推动气候金融领域的创新与发展。此外，在农业保险领域，农民购买保险产品后，保险公司可利用人工智能技术对气象站实时监测的天气触发因素进行精准识别，实现自动化索赔处理，提升保险服务的便捷性和准确性。



## (三) 以简化流程为闪光点， 加快气候融资审批效率

气候融资流程一般基于标准工作流程，此类工作流程往往是简单但重复的，例如收集文件、验证资格、管理合规性等。以人工的形式对这些资料进行审核，不仅会极大地降低融资审批效率，也容易出现审核失误等非系统性风险。

利用人工智能处理这类较为繁琐的流程，能够提高审批效率，还能最大限度地减少人工失误。例如通过人工智能自动处理非结构化数据，并从中提取关键信息进行填单，在减轻员工工作量的同时降低了贷款方的操作难度。另一方面，这种全自动的信息处理提高了气候融资流程的标准化程度，增强了信息透明度，还能降低银行的管理费用，使银行在风险控制和业务扩张之间找到更加平衡的发展路径。

## 3.7 总结与展望

人工智能技术正迅速改变气象领域、气候变化研究和全球减排策略。传统气象学因数据和计算能力有限，而人工智能利用其强大的数据处理和先进算法，提高了天气预报的准确性，并为气候变化研究提供了新视角。通过深度学习处理海量气象数据，人工智能发现了隐藏的复杂模式，增强了极端天气事件的预警能力，减少了自然灾害损失，推动

了气候模型的精细化和长期研究。

人工智能在监测和评估碳排放方面表现出独特优势，通过多源数据和深度学习算法，能够追溯关键碳排放点，优化碳排放测量精度，提供高精度、低成本的碳排放模拟和预测。碳卫星技术的应用，使全球二氧化碳浓度监测更为精确，有助于研究气候变化趋势和评估其影响：在行业层面，人工智能推动了工业园区、发电设备和城市建筑的精准碳管理，通过综合分析多源数据，识别超标排放和异常排放行为，优化能源使用，减少碳排放。此外，人工智能在交通系统中的应用，通过分析交通流量数据、车辆类型和路线信息，优化交通信号控制，减少拥堵和排放；在企业层面，人工智能整合多源信息，精确定位碳排放来源，实时监测直接和间接碳排放，提高企业碳管理和交易决策的准确性。绿色金融结合人工智能，推动可持续发展，通过高效处理和分析碳排放数据，评估环境风险，确保资金流向环保项目，提高投资决策的科学性和透明度；多模态大模型集成分析技术整合多种数据，提供更全面的环境表现洞察，增强气候变化研究和碳排放计量能力，为制定和评估环境政策提供科学依据。

人工智能不仅推动了气候变化研究和碳管理的精细化，还赋能气候金融，通过高效数据处理、风险评估、个性化金融产品设计等方式，推动全球应对气候变化，助力实现碳中和目标。

## 3.8 参考文献

- [1] Crisp, David. "Measuring atmospheric carbon dioxide from space with the Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2)." *Earth observing systems xx*. Vol. 9607. SPIE, 2015.
- [2] 章政文, 顾津锦, 赵俊华, 等. 基于碳卫星与电力排放数据的碳计量[J]. *电力系统自动化*, 2024, 48(1): 2-9. DOI: 10.7500/AEPS20230314004. ZHANG Zhengwen, GU Jinjin, ZHAO Junhua, et al. Carbon Measurement Based on Carbon Satellite and Electricity Emission Data[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2024, 48(1): 2-9. DOI: 10.7500/AEPS20230314004.
- [3] Liu, Guolong, et al. "Real-time corporate carbon footprint estimation methodology based on appliance identification." *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 19.2 (2022): 1401-1412.
- [4] <https://airs.cuhk.edu.cn/article/1116>
- [5] 薛志华 & 杭歆婷. (2023). 金融科技赋能绿色金融的问题及对策研究. *国际金融* (12), 9-17. doi: 10.16474/j.cnki.1673-8489.2023.12.001.
- [6] Developing countries could face annual adaptation costs of \$300 billion by 2030, secretary-general warns in message to climate vulnerable finance summit | meetings coverage and press releases United Nations. Available at: <https://press.un.org/en/2021/sgsm20816.doc.htm> (Accessed: 23 May 2024).



---

# 工业

---

## 4.1 引言

工业

AI

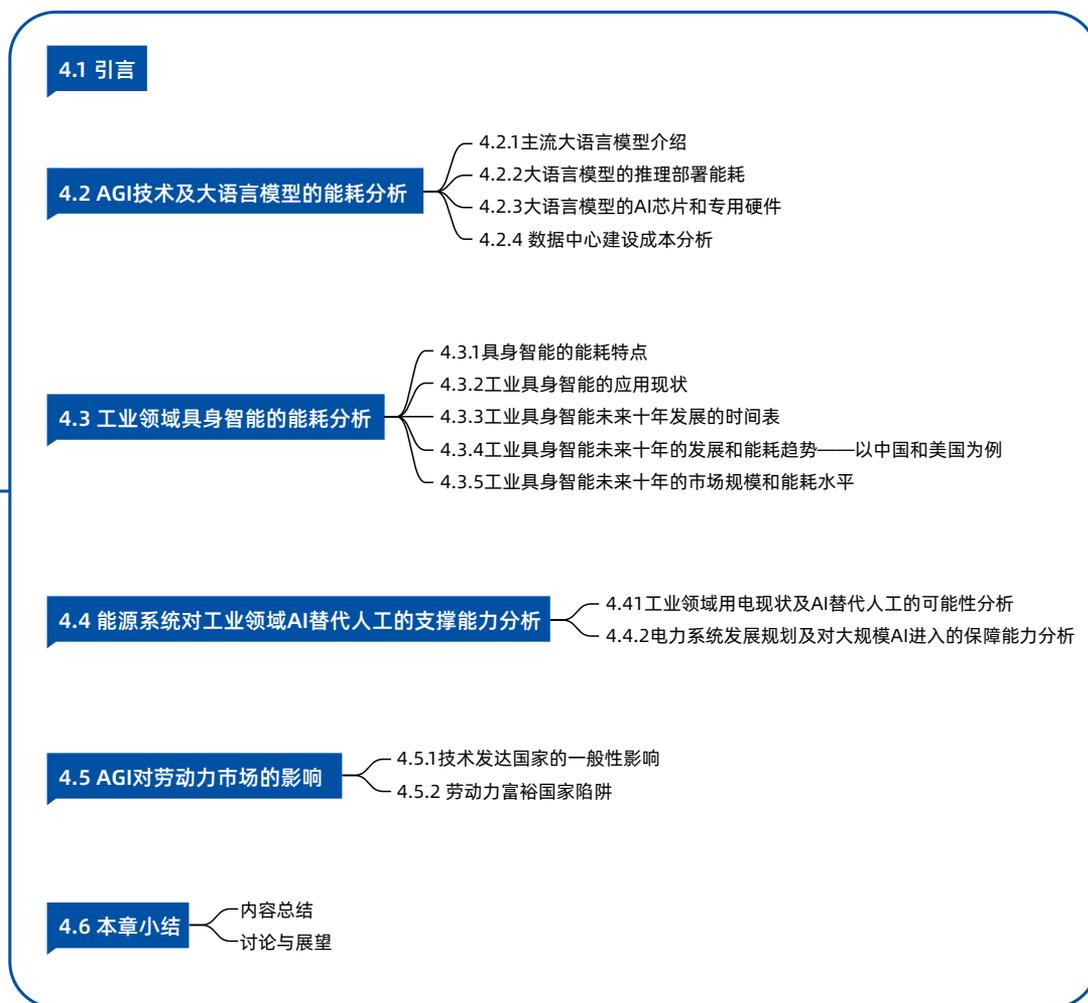


图4.1 AI助力工业结构图

随着人工智能技术的迅猛发展，具身智能和大语言模型在工业领域的应用前景备受瞩目。具身智能赋予机器人和其他物理实体以感知、理解、交互和自主行为的能力，使其能够在真实世界中智能地执行任务。这不仅提升了工业系统的智能化水平和效率，也带来了新的能耗挑战。大语言模型，如OpenAI的GPT-3和谷歌的PaLM等，虽然在自然语言处理方面表现出色，但其训练和推理过程消耗的能源巨大。据统计，GPT-3的一次训练总能耗约为1287MWh，相

当于120个美国家庭一年的用电量。而谷歌的PaLM消耗了3436MWh，超过了GPT-3的两倍多；GPT-4的一次训练总能耗超过50GWh，约为GPT-3的50倍，约占加利福尼亚州一年发电量的0.02%。面对如此巨大的能耗压力，如何在提升模型性能的同时，兼顾训练效率和能源可持续性，成为了业界关注的焦点。本章将详细探讨大语言模型在工业具身智能中的能耗特点及其优化策略，探究未来十年内工业领域AI技术的发展趋势及其对能源系统的影响。

## 4.2 AGI技术及大语言模型的能耗分析

训练大型语言模型需要消耗大量能源，其电力需求远高于传统数据中心。OpenAI的报告显示，自2012年以来，AI训练应用的电力需求呈指数级增长，每3到4个月翻一番。华为AI首席科学家田奇指出，过去10年AI算力增长了至少40万倍。由此可见，AI大模型的能耗问题十分突出。

### 4.2.1 主流大语言模型介绍



随着人工智能技术的飞速发展，大语言模型已经成为了自然语言处理领域的重要突破性成果。当前主流的大语言模型，如OpenAI的GPT-3、谷歌的PaLM、DeepMind的Gopher以及Meta的LLaMA2等，都拥有海量的参数和强大的性能。以GPT-3为例，其参数量高达1750亿个，PaLM则达到了5400亿个，Gopher和LLaMA2分别为2800亿和700亿个。然而，训练这些大模型需要耗费大量的计算资源和电力。据OpenAI披露，GPT-3的一次训练总能耗约为1287MWh，相当于120个美国家庭一年的用电量；GPT-4的一次训练总能耗超过50GWh，约为GPT-3的50倍，约占加利福尼亚州一年发电量的0.02%。谷歌的PaLM则消耗了3436MWh，超过了GPT-3的两倍多。即使是相对较小的Gopher和LLaMA2，其训练能耗也分别高达1066MWh和688MWh。这些数字远远超过了传统数据中心的能耗水平。训练一个大语言模型通常需要数周甚至数月的时间，并且需要大规模的并行计算。以GPT-3为例，如果只使用单个NVIDIA

V100 GPU，训练时间将长达288年。实际训练时，OpenAI使用了1000多个GPU进行并行计算，才将训练时间缩短到了几个月。其他大模型的情况也大抵如此。随着模型规模的不断增长，训练成本也呈指数级上升。这不仅对计算资源提出了更高的要求，也引发了人们对于能源消耗和环境影响的担忧。如何在提升模型性能的同时，兼顾训练效率和能源可持续性，已经成为了业界亟待解决的难题。

### 4.2.2 大语言模型的推理部署能耗



面对大语言模型训练成本和能耗的急剧增长，业界正在积极探索更加高效和可持续的部署方式。目前，主要有几种部署大语言模型的方式，每种方式在能源效率方面各有特点。云端API调用是最常见的方式之一，用户可以通过API接口调用云服务提供商的模型服务。这种方式的优势在于云服务商通常拥有优化的基础设施和高效的模型实例，可以在不同用户之间共享资源，提高利用率。但是，API调用可能涉及网络传输的额外能耗。本地部署则是在自己的服务器或工作站上部署模型，可以使用开源的模型实现。这种方式允许用户对硬件和软件进行定制优化，减少了网络开销。但是，单个用户可能无法充分利用计算资源，能效取决于具体的硬件配置和优化程度。此外，还有边缘部署这一方式，即将模型部署在边缘设备(如智能手机、IoT设备)上，通过模型压缩等技术减小模型体积。边缘部署可以减少网络传输，但受限于设备的算力和能效，更适合推理任务而非训练。除了单一的部署方式，业界也在探索混合部署和分布式部署。混合部署结合了云端和本地/边缘部署，针对不同任务

采用不同的部署方式，在灵活性和效率之间取得平衡。分布式部署则是将模型分布在多个节点上，通过并行计算来加速训练和推理。分布式部署可以充分利用计算资源，提高吞吐量和速度，但也需要考虑节点间通信和同步的开销。总的来说，云端API调用和大规模分布式部署通常能效更高，而本地部署和边缘部署在隐私、安全和实时性方面有优势。混合部署则可以根据具体需求权衡利弊。不同部署方式的能效差异还取决于硬件选型、软件优化以及应用场景等因素。

2024年6月3日，微软公司宣布，公司计划斥资337亿瑞典克朗（约合32亿美元）在瑞典扩建云服务和AI基础设施，原因是生成式AI技术发展导致云服务需求激增。北欧国家全年气温较低，可以节省制冷成本。例如，在挪威的北部地区，冬季的平均气温约为零下4度，夏季则不超过12度。业内人士表示，普通的数据中心人工制冷成本高昂，占到总支出的25%到35%。另一方面，北欧国家提供低价的清洁能源，有助于降低成本。此外，在地缘政治环境恶化的情况下，北欧成为美国以外为数不多的安全地区。

此外，为了进一步提升大语言模型部署的能效，业界还需要在多个方面进行持续的创新。一方面，需要研发更加高效的专用AI芯片和硬件架构，如优化的GPU、TPU、FPGA等，以减少能量消耗。另一方面，也需要从算法和软件层面入手，如采用稀疏矩阵运算、量化训练、混合精度训练等技术，提高计算效率。同时，采用可再生能源，优化数据中心的能源结构，也是推动大语言模型可持续发展的重要举措。未来，模型压缩和高效部署技

术的进步，以及共享协作生态的建立，也将为解决大语言模型的能耗问题贡献力量。

### 4.2.3 大语言模型的AI芯片和专用硬件



目前，AI芯片和专用硬件已成为提升大语言模型能效的重要途径。主流的AI芯片，如NVIDIA的A100、H100 GPU，以及Google的TPU v4等，通过优化的架构设计和先进的制程工艺，在能效方面取得了显著的进步。以A100为例，其每瓦性能比上一代V100提升了1.7倍。而TPU v4则通过片上互联、稀疏矩阵加速等技术，进一步提高了能效表现。与通用CPU相比，当前的AI芯片在特定任务上的能效优势可达数十倍至数百倍。

未来的10年内，AI专用硬件的能效有望得到进一步的大幅提升。一方面，芯片制程工艺的不断演进，如3nm、2nm乃至更先进的工艺的应用，将带来单位功耗性能的显著提高。另一方面，针对AI应用特点的架构创新，如更高效的数据复用、存储访问优化、稀疏计算加速等，也将极大地改善芯片的能效表现。

此外，片上异构集成、先进封装等新兴技术，有望突破当前芯片能效的瓶颈。通过将计算、存储、互联等不同功能单元集成在同一芯片或封装中，可以显著减少数据移动的能耗开销，提高系统效率。一些前沿的研究，如类脑计算、模拟计算等，也为未来AI硬件能效的突破提供了新的思路和可能。

根据一些研究机构的预测，未来10年，AI专用硬件的能效有望在当前基础上提升100倍以上。这将大大降低大语言模型训练和部署的单位能耗，缓解其对能源资源的需求压力。但是，考虑到模型规模和计算需求的同步增长，AI系统的总能耗可能仍将保持增长态势，只是增速可能趋缓。未来，芯片技术与系统软件协同设计、软硬协同优化将成为大势所趋。只有软硬件协同创新，结合应用场景需求进行全栈设计和优化，才能最大限度地发挥AI专用硬件的效率优势，全面推动大语言模型乃至整个AI领域的能效提升和可持续发展。

#### 4.2.4 数据中心建设成本分析



随着人工智能和大数据技术的快速发展，数据中心作为关键基础设施的重要性日益凸显。本节以美国为例，介绍数据中心的建设成本构成，并分析其未来可能的影响因素。根据 Synergy Research Group 的数据，2023年美国数据中心市场规模达到730亿美元，预计到2028年将突破1000亿美元。

数据中心建设成本主要包括四个方面：土地成本、基础设施成本、IT设备成本和运营成本。在美国，一个大型数据中心（约10万平方英尺）的总体建设成本通常在8亿到12亿美元之间，具体取决于位置、规模和技术配置等因素：

##### 1) 土地成本

占总成本的5%-10%，主要受地理位置影响。北弗吉尼亚、达拉斯、芝加哥等传统数据

中心集中地区的土地成本较高，而新兴的亚利桑那、内华达等地区则相对较低。

##### 2) 基础设施成本

占总成本的45%-55%，包括建筑、电力系统、冷却系统和网络基础设施等。其中，电力和冷却系统占据了大部分开支。美国平均每瓦IT负载的基础设施成本约为7-9美元。

##### 3) IT设备成本

占总成本的30%-40%，主要包括服务器、存储设备和网络设备。随着AI芯片和高性能计算设备需求的增加，这部分成本呈上升趋势。

##### 4) 运营成本

虽然不属于初始建设成本，但在数据中心生命周期中占据重要地位。每年的运营成本约为初始资本支出的5%-10%，主要包括能源、人力和维护费用。

影响数据中心建设成本的关键因素包括：

##### 1) 能源价格

数据中心的能源消耗巨大，电价直接影响运营成本。美国西部和中部地区由于可再生能源丰富，往往能源成本较低。

##### 2) 气候条件

寒冷地区可利用自然冷却降低制冷成本，如华盛顿州和俄勒冈州。

### 3) 税收政策

许多州为吸引数据中心投资提供税收优惠，如弗吉尼亚州、德克萨斯州等。

### 4) 技术创新

高密度计算、液冷技术等创新可显著提高能效，降低单位计算能力的成本。

与其他地区相比，美国数据中心建设成本处于中等偏上水平。相较于欧洲，美国的能源成本和土地成本普遍较低；但与亚洲一些地区（如中国内陆）相比则偏高。然而，美国在技术创新、人才储备和基础设施完善度方面具有显著优势，这些因素部分抵消了成本劣势。

未来，美国数据中心建设成本将受到以下其他方面因素的影响：

1) 边缘计算的兴起可能导致大量小型数据中心的建设，改变传统的成本结构。

2) 可再生能源的广泛应用有望进一步降低运营成本。目前，谷歌、微软等科技巨头已承诺使用100%可再生能源。

3) AI技术的发展将推动更高密度、更高能效的数据中心设计，可能带来单位计算能力成本的下降。

尽管美国数据中心建设成本较高，但其强大的技术创新能力和完善的生态系统，仍将保持其在全球数据中心市场的领先地位。未来，如何平衡成本控制与技术升级，将是美国数据中心产业面临的主要问题。

## 4.3 工业领域具身智能的能耗分析

具身智能是指赋予机器人或其他物理实体以感知、理解、交互和自主行为的能力，使其能够在真实世界中智能地执行任务。大语言模型通过海量语料训练，可以理解和生成自然语言，是实现具身智能的重要基础。具身智能需要语言交互、知识理解、逻辑推理等能力，而大语言模型恰好可以为其提供强大的语义理解和生成能力。两者的结合将促进人机交互、认知推理等方面的进步，推动具身智能向更高水平发展。未来10年，具身智能在工业领域的应用将逐步深入和广泛，从简单任务到复杂任务，从特定场景到通用场景，从单一智能体到多智能体协同，从感知控制到认知决策，不断提升工业系统的智能化水平和效率。



### 4.3.1 具身智能的能耗特点

具身智能与纯软件智能系统相比，在能耗特点上有一些显著的差异。具身智能需要感知、决策和控制等多个模块的协同工作，每个模块都有其独特的能耗特点。

感知模块通常需要处理来自多个传感器的大量数据，如视觉、听觉、触觉等，对计算能力和功耗有较高的要求。特别是视觉感知，需要进行图像预处理、特征提取、目标检测和跟踪等计算密集型任务。但是，与纯软件系统相比，具身智能可以通过在前端集成专用的低功耗传感器和处理器，在数据源头进行压缩和筛选，减少后端的计算负担和能耗。

决策模块需要在实时性、准确性和能耗之间进行权衡。传统的基于规则或逻辑推理的决策方法能耗较低，但难以处理复杂和动态的环境。基于深度学习的决策方法虽然能适应更广泛的场景，但在计算和存储方面的能耗较高。针对具身智能的特定任务，可以通过设计高效的神经网络架构、压缩模型、量化等方法来优化决策模块的能效。

控制模块需要根据决策的结果，实时地规划和执行运动控制指令，对实时性和稳定性有很高的要求。传统的基于物理模型的控制方法计算量较小，但难以应对未知环境。基于强化学习等数据驱动的控制方法虽然具有更好的适应性，但在训练阶段的能耗很大。针对具身智能，可以采用模型预测控制、分层控制等策略，在保证性能的同时降低控制的频率和计算量，从而优化能效。

尽管具身智能需要多个模块协同工作，但与纯软件系统相比，它们可能带来显著的能效提升。首先，具身智能可以通过感知和交互直接获取环境信息，减少对大规模数据收集和处理的依赖。其次，具身智能可以利用物理世界的规律和约束，简化建模和问题求

解的复杂度。再者，具身智能可以通过柔性材料、被动动力学等机制，在机械层面实现能量优化利用。更重要的是，具身智能与环境的实时交互和反馈，有助于不断优化和改进系统的性能和能效。通过端到端的学习和适应，具身智能可以找到特定任务和环境下的最佳策略和参数，避免了大规模数据和计算资源的浪费。

对于基于大语言模型的AGI技术而言，具身智能的能效优势将助力其广泛应用。大语言模型虽然在语言理解和生成方面表现出色，但在感知、交互和控制等方面仍有局限。将大语言模型与具身智能相结合，可以在降低整体系统能耗的同时，扩大AGI技术的应用范围和实用性。例如，在智能机器人领域，大语言模型可以为其提供自然语言交互、知识理解、任务规划等高层认知能力，而具身智能则负责感知、导航、操作等底层实时控制。两者的紧密集成，将大大降低对数据和算力的需求，提高系统的鲁棒性和适应性。类似地，在智能家居、工业控制、自动驾驶等场景中，具身智能也将成为大语言模型等AGI技术落地应用的有效载体和补充。

#### 4.3.2 工业具身智能的应用现状



目前全国有很多国家在工业具身智能领域都有广泛的应用探索，涵盖工业机器人、自动驾驶、智能制造等多个方面。本部分将以中国和美国为例来介绍这三个方面现有工业具身智能应用成果。

在工业机器人方面，中国方面，新松机器人自主

研发了工业机器人本体及控制系统，应用于汽车、电子、机械等行业。珞石机器人则专注于面向3C电子行业的高速、高精度机器人和自动化设备。美国方面，优傲机器人(Universal Robots)开发的协作型机器人UR系列，凭借其灵活性、安全性和易用性，在工业领域得到广泛应用。这些机器人可以与人类工人并肩工作，执行装配、搬运、检测等任务。域得到广泛应用。这些机器人可以与人类工人并肩工作，执行装配、搬运、检测等任务。

在自动驾驶领域，中国方面，百度Apollo开放平台已与金龙客车、北汽等合作，开展自动驾驶巴士和乘用车的路测和小规模运营。华为、京东等也都在自动驾驶卡车领域开展先进的技术研发和应用探索。美国方面，Waymo公司在真实道路环境下开展了大规模的自动驾驶汽车测试，累计测试里程超过2000万英里。特斯拉也在推进其AutoPilot系统的迭代升级和商业化部署。

智能制造是工业具身智能的重要应用方向。中国在智能制造领域也有诸多探索，如海尔COSMOPlat工业互联网平台，连接用户、工厂和供应链，实现大规模个性化定制。树根互联基于边缘计算打造了根云平台，将人工智能技术与工业控制系统深度融合，优化生产流程。美国通用电气公司推出了基于工业互联网的Predix平台，可以优化产品设计、生产流程和运营维护等环节。西门子的MindSphere平台聚焦工业数据分析和优化，助力企业实现数字化转型。

总体而言，美国在工业具身智能领域起步较早，

技术积累深厚，涌现出一批世界领先的科技公司和产品。特别是在自动驾驶、智能机器人等前沿领域，美国企业在核心技术和产业化方面保持领先优势。中国近年来在该领域的投入和发展速度明显加快，政府出台了一系列支持政策，产学研协同创新生态日益成熟。一些中国企业在细分领域已经形成了自主可控的核心技术和完整的产业化能力，在国内市场占据了重要份额。

### 4.3.3 工业具身智能未来十年发展的时间表

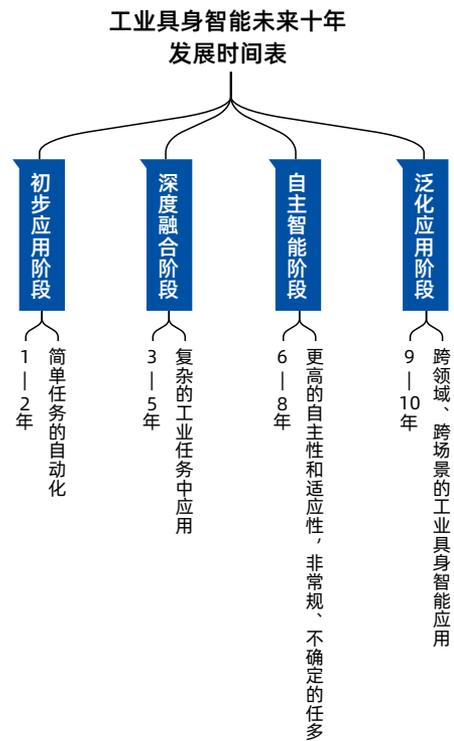


图4.3 工业具身智能未来十年发展的时间表

考虑未来十年，工业具身智能的发展可划分为以下几个阶段：

#### 初步应用阶段(1-2年)

主要以简单任务的自动化为主，如物料搬运、装配等，并着力推进具身智能系统与传统工业设备的集成和改造。

#### 深度融合阶段(3-5年)

具身智能将在更复杂的工业任务中得到应用，如质检、维修、操作等。多模态感知、认知决策等能力将显著提升，人机协作更加自然高效。

#### 自主智能阶段(6-8年)

具身智能系统将具备更高的自主性和适应性，能够执行非常规、不确定的任务。大规模多智能体协同优化将成为可能，显著提升工业系统的整体效能。

#### 泛化应用阶段(9-10年)

跨领域、跨场景的工业具身智能应用将不断涌现，助力智能制造、智慧物流等产业变革。同时，通用人工智能在赋能工业领域的探索也将取得阶段性突破。

### 4.3.4 工业具身智能未来十年的发展和能耗趋势——以中国和美国为例

未来十年，中美两国将在工业具身智能领域持续加大投入，推动技术创新和产业升级。

#### 初步应用阶段(1-2年)

美国凭借其在人工智能、机器人等领域的先发优势，将继续引领工业具身智能的早期应用探索。政府和龙头企业将加大研发投入，聚焦感知、控制、人机交互等关键技术，推出一批Pioneer项目和示范应用。中国也将通过政策引导和产业基金等方式，鼓励企业加快工业具身智能的落地部署，重点突破一些特定场景下的自动化需求，如3C制造业、仓储物流等。

#### 深度融合阶段(3-5年)

中美两国将进一步深化产学研协同创新，加速推进工业具身智能的技术进步和规模应用。美国将在智能工厂、数字孪生、网络物理系统等方面取得新突破，形成一批创新解决方案和标杆项目。AR/VR、5G、边缘计算等技术也将与工业具身智能加速融合，赋能更多应用场景。中国将发挥制造业规模优势和应用牵引力，在智能装备、工业软件、系统集成等方面加快追赶，涌现出一批掌握核心技术和产业化能力的领军企业。

#### 自主智能阶段(6-8年)

工业具身智能将进入成熟期，成为中美两国制造业数字化、智能化转型的重要支撑。美国将继续保持全球领先，深度学习、群体智能、类脑计算等前沿技术将不断拓展工业应用的广度和深度，高度自主的智能系统将在更多工业场景中得到部署。中国也将基本建成工业具身智能的创新体系和产业生态，关键核心技术和高端产品将实现自主可控，一些优势企业将进入全球产业链中高端，参与国际竞争与合作。

#### 泛化应用阶段(9-10年)

工业具身智能将进一步向纵深发展，推动制造业的智能化、服务化、生态化变革。美国将加快人工通用智能(AGI)技术与工业领域的融合创新，探索更具颠覆性的应用模式和商业路径。数字化设计、个性化定制、服务型制造等新业态将进一步发展，推动产业价值链重构。中国也将进一步聚焦产业链部署和价值链提升，推动工业互联网等新型基础设施建设，构建大中小企业融通发展、多产业协同创新的工业具身智能生态，走出一条高质量发展的新路径。

未来十年，中美两国将在工业具身智能领域加速竞争，共同引领全球新一轮科技革命和产业变革。预计两国在该领域的年均研发投入将保持10%以上的增速，重点聚焦前沿理论、共性技术、创新应用等方面，产学研用协同创新的力度将持续加大。部分关键技术如认知智能、自主学习等将取得重要突破，融合应用的深度和广度将不断拓展。一批引领性重大科技项目、国家级创新平台和龙头企业将加速成长，有力推动制造强国和科技强国建设。

### 4.3.5 工业具身智能未来十年的市场规模和能耗水平



#### 初步应用阶段(1-2年)

工业具身智能的市场规模预计将突破500亿美元，但在制造业整体投资中的占比还不高。能耗水平总体可控，主要来自机器人本体、传感器、通信等设备的用电，以及数据存储、传输等信息化能耗。

#### 深度融合阶段(3-5年)

工业具身智能的渗透率将明显提升，预计市场规模将超过1500亿美元，成为新的经济增长点。随着应用规模和复杂度的增加，以及数据量的激增，工业具身智能的能耗总量和强度将有所上升。但通过系统优化设计、智能调度控制等手段，单位产出的能耗水平有望实现下降。

#### 自主智能阶段(6-8年)

工业具身智能将成为支柱产业之一，预计市场规模将突破5000亿美元，覆盖制造业的各个环节。智能化水平的大幅提升将带来显著的节能增效，工业系统

的能源利用效率将较目前提高30%以上。同时，可再生能源的规模化应用，也将进一步降低工业具身智能的碳排放强度。

#### 泛化应用阶段(9-10年)

工业具身智能将全面赋能制造业转型升级，有望催生超过万亿美元的新增市场。由于通用人工智能的加速发展和融合应用，这一阶段的能耗增长可能出现拐点。一方面，AGI系统的能耗强度可能显著高于传统工业控制系统；另一方面，AGI驱动的颠覆性创新也将带来更高的资源配置效率和清洁生产水平。能耗结构将发生深刻变革，清洁低碳将成为主流趋势。

未来十年工业具身智能的能耗总量可能较现在增长3-5倍，但单位产出能耗强度将持续下降，碳排放强度也有望下降50%以上。通过能效提升、智能优化、清洁能源等多种举措，工业具身智能将逐步实现高质量、绿色化发展。

## 4.4 能源系统对工业领域AI替代人工的支撑能力分析

能源系统，尤其是电力系统，是工业领域人工智能替代人工的重要基础设施。充足可靠的电力供应，是支撑工业机器人、自动化生产线、智能控制系统等AI应用的根本保障。未来，能源系统的智能化、绿色化转型，将进一步提升其对工业领域AI发展的支撑和赋能作用，推动制造业实现更高质量、更可持续的智能化增长。本部分将以美国为例对该内容进行展开讨论。

#### 4.4.1 工业领域用电现状及AI替代人工的可能性分析



工业领域的用电量庞大，在用电结构中占据重要地位。以美国为例，根据美国能源信息署(EIA)的数据，2023年美国工业部门的用电量约为9890亿千瓦时，占全国总用电量的25.76%。其中，制造业是工业用电的最大组成部分，约占工业用电总量的70%。在制造业内部，化工、金属制品、机械制造等行业是主要的用电大户。此外，采矿业、农业等产业部门的用电量也不容小觑。近年来，随着美国工业的复苏和转型升级，工业用电需求保持稳定增长，年均增速在1%左右。

未来，随着人工智能等新兴技术在工业领域的加速应用，机器换人趋势将带来显著的用电需求增量。据麦肯锡估计，到2030年，美国约有50%的工业活动有望实现自动化，相当于6000万个全职工作岗位。这将直接带动工业机器人、自动化设备、数字化系统的大规模部署，从而提升工业领域的用电需求弹性系数。初步估算，在乐观情景下，当工业自动化率每提高10%，用电量将增加5%-8%；在基准情景下，用电弹性系数约为0.3-0.5。考虑到未来工业领域AI应用的广度和深度将远超当前水平，实际的用电需求弹性可能更高。同时，5G、云计算等新型基础设施建设，也将进一步带动工业数字化转型，形成新的用电增长点。综合测算，到2035年，美国工业领域AI替代人工可能带来15%-30%的用电量增长，对电力系统的支撑能力提出更高要求。

#### 4.4.2 电力系统发展规划及对大规模AI进入的保障能力分析



本小节仍以美国为例，首先讨论美国电力系统的发展现状和规划。美国拥有世界上最大的电力系统，2023年装机总量约为11.8亿千瓦。目前，化石能源仍占主导地位，煤电和天然气发电分别占总装机容量的19%和44%。核电约占19%，水电等可再生能源占18%左右。近年来，随着清洁能源转型的加速推进，风电、太阳能发电等新能源装机快速增长，成为电力供给侧优化的重要力量。2023年美国的总发电量为4178TWh，其中用于AI训练和应用的能耗约为652TWh，占总发电量的16%。

美国电力系统规划致力于进一步提升清洁能源比例，保障电力供应安全。根据EIA的预测，到2050年，美国的总发电装机容量将较目前增加近50%，其中可再生能源装机占比有望提升至40%以上。大量在建、拟建的风电、太阳能、核电项目将为电力供给提供有力支撑。同时，随着电网基础设施的升级改造，特别是智能电网、微电网、储能系统的建设，电力系统的稳定性、灵活性、互动性也将显著增强。

然后讨论电力系统对工业领域机器替代人工大规模应用的保障能力。随着工业领域AI、机器人等技术的快速发展和广泛应用，用电需求将呈现较大幅度的增长。在需求增量情况下，电力系统在总量和局部平衡能力方面面临一定挑战，但总体上仍有望满足工业机器换人的用电需求。

从电力供给总量来看，现有电源建设规划及技术进步趋势，有望在相当长一段时间内满足工业领域的用电增量。但在局部地区，特别是大型工业园区、智能制造集群等用电负荷高度密集的区域，电网平衡调节能力将面临严峻考验。新能源的波动性、间歇性，也将对电力供需实时平衡带来挑战。

为更好地保障工业机器换人的大规模应用，电力系统需要采取一系列应对举措。首先，加快电源侧结构优化，大幅提升可再生能源装机占比，实现“碳中和”目标下的供给保障。其次，加快电网基础设施智能化升级，提升电网的韧性、灵活性和互动性，推动源-网-荷-储协同优化。再次，完善电力市场机制，充分发挥电力需求侧响应的作用，引导工业用户合理用电。最后，因地制宜推进“风光水火储一体化”的多能互补发展，提升区域电力系统对工业负荷的适应能力。

## 4.5 AGI对劳动力市场的影响

大规模应用AGI可能对国家劳动力市场产生双向的影响。一方面，AGI可替代部分人工，提高生产效率，释放人力资本，促进产业升级和经济增长；另一方面，AGI也可能导致部分岗位流失，加剧结构性失业，加大就业市场的匹配难度。反之，目前劳动力过剩的国家或地区，可能会阻碍AGI的大规模应用。

### 4.5.1 技术发达国家的一般性影响



AGI技术的成熟和广泛应用，将对不同行业的基

层工人职位产生显著的替代效应。制造业、物流运输、零售服务等领域，大量涉及重复性、规则化操作的岗位面临较高的替代风险。例如，装配线工人、仓储搬运工、收银员等职位很可能被智能机器人和自动化系统所取代。

据世界经济论坛估计，到2025年，智能自动化将导致全球8500万个工作岗位流失。假设AGI在2030年左右成熟并广泛应用，基层职位的替代速度将进一步加快。初步测算，AGI推广后10-15年内，发达国家35%-50%的基层职位可能被替代，发展中国家的比例可能更高。全球范围内，数亿基层工人面临失业风险。

麦肯锡全球研究院近日发布名为《工作的新未来：在欧洲及其他地区部署人工智能和提升技能的竞争》的报告，预计到2030年，AGI将帮助美国和欧洲近三分之一的工作时间实现自动化。AGI的快速发展可能使就业市场两极分化：一方面，高技能和高薪岗位难以招募到合适人才；另一方面，低薪行业可能出现劳动力过剩的情况。预计在欧洲，高薪职位的比例将增加1.8%，而低薪职位比例将减少1.4%。报告预计，到2030年，欧洲可能需要多达1200万人进行职业转型，是疫情前的两倍。在美国，所需的过渡可能达到近1200万人，符合疫情前的标准。此外，预计到2030年，德国将有约300万个职位受人工智能影响，占总就业人数的7%。其中，办公室行政管理类职位受影响最大，这类职位变动占有受人工智能影响工作的54%。

AGI导致职位流失的基层工人，普遍存在受教育

水平不高、工作技能单一的特点，转岗再就业难度较大。他们中的不少人已经中年，学习新技能的能力和意愿较弱，难以适应智能经济时代的就业需求。

纵观历史上的技术革命，如第一次工业革命、电气化革命等，机器替代人工导致的结构性失业往往会持续较长时间。部分失业人员通过学习新技能在新兴行业实现再就业，但也有相当一部分人难以完成转型，或长期处于失业状态，或退出劳动力市场。

因此，AGI时代亟需提升基层工人的就业能力，加强针对性的教育培训，提高其数字技能和适应能力。同时，要建立健全的失业保障和再就业援助机制，兜住民生底线。政府、企业、社会组织等各方应携手合作，聚焦“人”的因素，促进包容性发展，让智能革命成果惠及每一个人。

## 4.5.2 劳动力富裕国家陷阱



劳动力富裕国家陷阱是指一国拥有大量剩余劳动力，但却难以接受和适应AGI（通用人工智能）工业化改革，从而阻碍国家长期经济发展的困境。

这类国家通常具有以下特点：人口基数大，劳动力供给充裕，但劳动力素质和技能水平普遍不高；产业结构以劳动密集型为主，技术和资本密集型产业发展不足；制度环境相对僵化，创新活力不够，社会流动性较差。短期内，廉价劳动力确实为经济发展提供了动力，但从长远看，过度依赖人口红利，缺乏技术进步和产业升级，反而可能成为经济转型的障碍。

当AGI工业化浪潮来临时，这些国家可能出于维护就业稳定、保护传统产业等考虑，对智能化变革持谨慎甚至抵触态度。大量剩余劳动力似乎降低了AGI应用的紧迫性，使得政府和企业对技术升级和产业转型缺乏足够重视和投入。然而，从长期看，不接受AGI工业化将使国家错失新一轮科技革命的历史机遇，陷入“中等收入陷阱”“创新不足陷阱”等多重经济陷阱。

首先，AGI工业化是提升全要素生产率、实现高质量发展的关键动力。错失这一轮变革浪潮，意味着与发达国家在产业竞争力和核心技术上的差距将进一步拉大。其次，不进行AGI改革，传统劳动密集型产业终将因比较优势丧失而衰退，大量低技能工人将面临失业困境。再次，过度依赖人口红利，忽视人力资本开发和劳动力素质提升，也将制约国家长期增长潜力。

因此，要摆脱劳动力富裕国家陷阱，关键是要主动迎接和引领AGI工业化变革，加快新旧动能转换和经济结构优化升级。一方面，要加大AGI等前沿技术研发和产业化应用，抢占新一轮科技革命制高点。要在制造业、服务业等领域率先布局，打造一批智能化标杆企业和产业集群，以点带面促进产业体系整体升级。另一方面，要加强劳动力的教育培训和技能提升，增强其适应智能时代发展的能力。政府应完善职业教育体系，鼓励企业和社会力量参与，共同培养复合型、创新型人才。对于受智能化冲击的传统产业从业者，要提供针对性的技能培训，帮助其实现转岗就业。同时，要健全社会保障体系，加强再就业服务，维护劳动者权益，化解智能化转型阵痛。

此外，还要深化体制机制改革，优化创新创业环境，加强知识产权保护，为数字经济发展营造良好的制度环境。总之，只有正视劳动力富裕陷阱风险，以智能化变革倒逼经济转型，加快构建人机协同、数智驱动的现代产业体系，才能实现创新引领、动力转换和效率提升，跨越“中等收入陷阱”，开创高质量发展新局面。

## 4.6 讨论与展望

未来十年，工业具身智能的发展将分为四个阶段：初步应用阶段（1-2年）、深度融合阶段（3-5年）、自主智能阶段（6-8年）和泛化应用阶段（9-10年）。在初步应用阶段，具身智能将主要应用于简单任务的自动化，如物料搬运和装配，并着力推进具身智能系统与传统工业设备的集成和改造。在深度融合阶段，具身智能将在更复杂的工业任务中得到应用，如质检、维修和操作，多模态感知、认知决策等能力将显著提升。

自主智能阶段将见证具身智能系统具备更高的自主性和适应性，能够执行非常规、不确定的任务，大规模多智能体协同优化将成为可能，显著提升工业系统的整体效能。在泛化应用阶段，跨领域、跨场景的工业具身智能应用将不断涌现，助力智能制造、智慧物流等产业变革。同时，通用人工智能（AGI）在赋能工业领域的探索也将取得阶段性突破。

中美两国将在工业具身智能领域持续加大投入，推动技术创新和产业升级。美国凭借其在人工智能、机器人等领域的先发优势，将继续引领工业具身智能

的早期应用探索。中国则将通过政策引导和产业基金等方式，鼓励企业加快工业具身智能的落地部署，重点突破特定场景下的自动化需求，如3C制造业和仓储物流。

综合本章所述内容，未来十年，工业具身智能和大语言模型的结合，将显著提升工业系统的智能化水平和效率，推动制造业的转型升级。同时，通过持续的技术创新和优化能源利用，工业具身智能将实现高质量、绿色化发展，为全球科技革命和产业变革注入新的动力。



---

# 航天

---

## 5.1 引言

人工智能（AI）在星际生活、星际贸易和航天领域的应用日益广泛，并展现出巨大的潜力和发展前景。在星际生活中，AI通过实时监控和预测性维护，显著提高了航天器的整体安全性和可靠性。在星际贸易方面，AI优化算法能够最大化利用航天器的空间和重量，确保资源配置合理，避免浪费。在航天领域，AI涵盖任务设计与模拟、自主导航与控制、通信与数据处理以及新材料与技术发展等多个方面。例如，

AI在任务设计中优化轨道参数，提升任务成功率和成本效益；在自主导航中实现避障与着陆，提高操作能力；在数据处理方面优化深空任务的信息传输，提高可靠性和效率；在材料研发中加速新材料的创新，提升航天器性能。总体而言，AI在这些领域的应用不仅提高了航天任务的成功率和成本效益，还在资源配置优化、新材料开发和深空通信等方面展现出巨大的潜力，为未来的星际探索和发展奠定了坚实的基础。

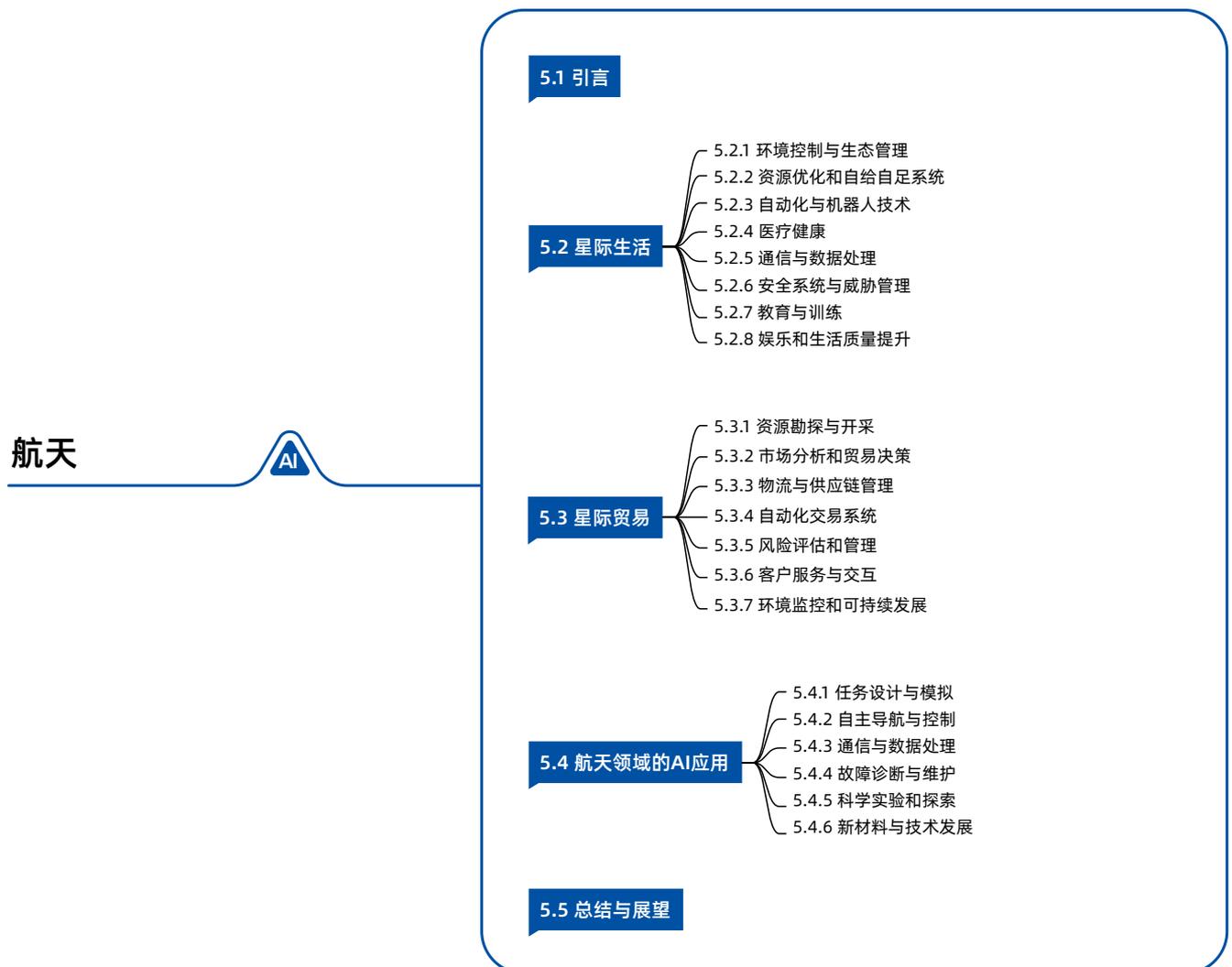


图5.1 AI助力航天结构图

## 5.2 星际生活

### 5.2.1 环境控制与生态管理



在环境控制与生态管理领域，AI的应用能够大幅提升外星居住地的效率和可靠性。AI可以通过综合分析气象数据、居住者活动数据和居住环境传感器数据，实时调整温度、湿度、通风、氧气系统<sup>[1]</sup>。例如，AI系统能够根据天气预报和内部活动水平自动调节暖通空调系统，以保持舒适的温度；通过监测湿度传感器数据，自动调节加湿器或除湿器，维持适宜的湿度水平；并根据空气质量和居住者数量动态调整新风系统，确保持续的新鲜空气供应。AI还利用传感器网络持续监测空气中的氧气、二氧化碳、挥发性有机化合物（VOCs）和其他有害物质的浓度。AI系统可以实时分析空气质量数据，识别潜在污染源，并在空气质量下降时自动开启空气净化器或增加通风量。基于历史数据和模式识别，AI能够预测未来的空气质量变化并提前采取预防措施，确保居住者呼吸到洁净的空气。在水资源管理方面，AI通过智能监控和控制系统，优化水的使用和循环。智能水表监测用水量，识别漏水或浪费；AI算法优化污水处理过程，提高水的循环利用效率；并根据土壤湿度传感器数据和气象预报，自动调节控制灌溉系统，确保植物得到适量的水分，避免水资源浪费。为了维护生态系统的平衡，AI通过智能管理系统确保动植物和微生物的健康和多样性。利用传感器和摄像头监测生态系统内的生物活动，AI能够识别异常情况并采取对应措施。根据监测数据，AI可以调节光照、温度和湿度等重要环境参数，促进植物生长和动物健康。此外，利用先进算

法，AI能够提前检测和预防植物和动物疾病的爆发，保护整个生态系统的稳定性和健壮性。

### 5.2.2 资源优化和自给自足系统



在星际生活中，资源的有效利用和自给自足系统至关重要，AI在这一过程中发挥着关键作用<sup>[2]</sup>。首先，在食物生产方面，AI通过实时监控垂直农场的温度、湿度、光照和营养水平，利用算法预测和调整这些环境参数，以优化植物生长条件。AI还能通过计算机视觉和图像处理技术识别病虫害，及时采取防治措施，减少农药使用，并基于大数据分析预测产量，优化种植策略，提升资源利用效率。在合成生物学方面，AI帮助设计和优化植物和微生物的基因序列，使其在特定环境下具有更高的生长效率和抗逆性，如优化藻类基因以提高光合作用效率。AI还通过模拟和优化微生物的代谢网络，生产所需的营养物质和生物制品，如蛋白质和维生素。在能源管理方面，AI通过预测太阳辐射和天气情况，优化太阳能电池板的角度和位置，最大化太阳能捕获效率。AI算法用于储能系统的实时监控和管理，优化能量存储和分配，确保能源供应的稳定性和高效性。在核能领域，AI用于核反应堆的实时监控和控制，通过复杂算法优化反应堆的运行参数，确保安全和高效的能量输出。AI还可以优化核废料的处理和存储策略，减少环境影响并提升安全性。在水资源回收与净化方面，AI结合传感器网络和大数据分析，实时监控水资源的使用情况和质量，优化水资源的分配和回收。通过机器学习模型，AI可以预测水质变化趋势，提前预警可能的污染事件，并采取对应的预防措施。AI还用于优化水净化系统中的膜技术，通

过模拟和实验数据改进膜材料和结构，提高净化效率和使用寿命。此外，AI还可用于构建一个综合资源管理平台，实时监控和调度食物、能源和水资源，协调各系统的运行，最大化提高整体资源的利用效率。AI通过数据分析和预测模型，提供资源利用的最佳方案，帮助决策者制定长期规划和紧急应对策略。

### 5.2.3 自动化与机器人技术



在星际生活中，AI驱动的自动化与机器人技术在建设基础设施、进行地质勘探、挖掘矿产资源以及日常维护和紧急修复中起到了至关重要的作用<sup>[3]</sup>。这些机器人通过先进的机器学习算法和传感器网络，在极端或危险环境中操作，将大幅减少人员风险。在基础设施建设方面，AI驱动的建筑机器人能够自主进行各种建设任务，如搭建栖息地、道路和桥梁等。通过机器学习算法，这些机器人可以根据实时环境监测数据，动态调整施工方案以优化建造过程。它们可以精确执行切割、焊接、装配和涂装等任务，确保建筑质量和施工速度。例如，在建造星际栖息地时，机器人可以在恶劣的环境下完成复杂的结构组装和外部防护层的建设，减少人类暴露在危险环境中的时间。在地质勘探中，AI控制的机器人利用先进的传感器和数据分析技术进行详细的地质调查。这些机器人能够在地面探测和地下钻探中采集岩石、土壤和矿物样本，并实时分析其化学和物理成分。通过AI分析收集到的数据，机器人可以识别出有潜力的矿产资源和水源位置，帮助科学家制定进一步的勘探和开采计划。例如，在火星上，机器人可以勘探地下水冰的存在和分布，为未来的水资源开发提供关键信息。在矿产资源

挖掘方面，AI驱动的矿产挖掘机器人能够在极端环境下高效、安全地进行矿产资源的开采工作。通过计算机视觉和路径规划算法，这些机器人可以自主导航到目标矿藏区域，进行精准的挖掘和采集。AI还用于优化挖掘策略，最大化资源回收效率，减少能源消耗和环境影响。例如，机器人可以通过实时调整挖掘力度和角度，减少矿石损失，提高资源利用率。在日常维护和紧急修复任务中，AI驱动的维护机器人能够自主执行设备检测、故障诊断和维修工作，确保系统的稳定运行。这些机器人配备了各种工具和传感器，可以进行复杂的维修操作，如更换部件、修补结构损坏等。在紧急情况下，AI可以快速评估情况，部署维修机器人进行及时的修复工作，防止事故扩大。例如，当出现气压泄漏或辐射泄漏时，机器人可以迅速到达现场，采取紧急修复措施，确保安全。AI驱动的机器人在极端或危险环境中操作，显著减少了人员风险。这些机器人能够在极端温度、辐射、高压或低重力环境下执行任务，如探测火山活动、研究冰层下的海洋等。通过AI的实时决策能力，机器人可以迅速响应环境变化，调整操作策略，确保任务成功和安全。例如，在极寒环境下，机器人可以通过内部加热系统保持工作温度，继续进行冰层钻探和样本采集任务。AI赋予机器人高度的自主性和协同工作能力。多个机器人可以通过无线网络相互通信和协调，共同完成复杂任务。AI算法使它们能够分工合作、相互支持，提高整体任务效率。例如，在建设大型结构时，多个机器人可以同时进行不同部位的施工，互相配合完成整体工程。通过AI控制的任务分配和进度管理，这些机器人能够高效协调工作，减少施工时间和资源浪费。

## 5.2.4 医疗健康



在星际生活中，AI在医疗健康监控方面的应用至关重要，通过健康监控、疾病预防、定制医疗建议和治疗，以及远程医疗操作和手术，AI显著提升了医疗服务的质量和效率<sup>[4]</sup>。AI通过整合各种生物传感器和可穿戴设备，实时监控居民的健康状况。这些设备可以连续采集心率、血压、血糖、体温等生理数据，AI算法分析这些数据，及时发现异常情况。例如，通过机器学习模型，AI可以识别早期的心血管疾病迹象，提示用户进行进一步检查或采取预防措施。健康监控系统还可以记录居民的运动、睡眠和饮食习惯，提供个性化的健康建议，帮助维持良好的生活习惯。在疾病预防方面，AI通过分析大规模健康数据，识别流行病的早期迹象，制定有效的防控措施。例如，AI可以通过分析生物传感器和环境传感器的数据，预测感染性疾病的爆发趋势，并及时向居民发出预警。AI还可以根据个体健康数据，评估居民的健康风险，提供个性化的预防建议，如疫苗接种、饮食调整和运动方案，降低患病概率。AI在定制医疗建议和治疗方面具有重要应用。基于个人的基因组数据、健康记录和生活习惯，AI可以提供个性化的医疗建议和治疗方案。例如，通过分析基因数据，AI可以预测个体对某些药物的反应，制定最有效的药物治疗方案，减少副作用。AI还可以根据实时健康监控数据，调整治疗计划，如调整药物剂量或改变治疗方式，确保最佳治疗效果。在星际环境中，远程医疗操作和手术尤为重要。AI辅助的远程医疗系统通过高精度的机器人手臂和实时视频传输，允许地球上的专家为星际居民进行

手术操作。AI算法在手术过程中提供支持，包括图像识别、路径规划和实时反馈，确保手术的精确性和安全性。例如，AI可以实时分析手术区域的三维图像，辅助医生进行复杂的手术操作，减少手术风险和时​​间。此外，AI还可以在术后监控病人的恢复情况，提供个性化的康复建议，确保术后恢复顺利。还可通过AI构建一个综合健康管理平台，整合健康监控、疾病预防、医疗建议和远程手术等功能。该平台通过大数据分析和机器学习模型，提供全面的健康管理服务。居民可以通过平台实时查看自己的健康数据，接受个性化的健康建议和医疗服务。平台还可以与其他系统（如环境监控系统）协同工作，提供更全面的健康保障。例如，当环境传感器检测到空气质量下降时，平台可以提醒居民采取防护措施，减少健康风险。

## 5.2.5 通信与数据处理



在星际生活中，AI在通信与数据处理方面的应用至关重要，通过高效处理和分析从地球和其他星球传输来的大量数据，提升通信效率和数据的使用价值<sup>[5]</sup>。AI还能够优化数据传输方法，减少星际通信中的延迟和数据丢失，确保信息的及时和准确传递。AI在数据处理与分析中发挥重要作用。由于星际任务产生的大量科学数据，传统数据处理方法难以应对。AI利用先进的算法和机器学习技术，能够快速处理和分析这些数据。例如，AI可以实时处理来自星际探测器的图像和传感器数据，识别和分类地质特征，发现潜在的科​​学价值点。通过大数据分析，AI还可以从海量数据中提取有用信息，支持科学研究和决策制定。AI通过优化通信协议和路由策略，提高星际通信

效率。在星际通信中，信号需要穿越极长的距离，导致延迟和数据丢失问题。AI利用自适应算法，优化数据包的传输路径，选择最佳路由，减少延迟和丢包率。AI还可以通过动态调整通信参数，如频率和带宽，适应不同的通信环境，确保信号的稳定传输。例如，AI可以根据实时分析的通信质量，调整天线的方向和功率，提高信号接收质量。AI在数据传输优化方面具有显著优势。通过压缩算法，AI能够有效减少数据的大小，降低传输时间和带宽需求。AI还可以对数据进行优先级排序，将重要数据优先传输，确保关键信息及时到达。采用分布式计算和边缘计算技术，AI可以在数据传输过程中分担计算负荷，提高整个系统的效率和可靠性。例如，在火星探测任务中，AI可以在火星车上对部分数据进行初步处理，仅传输关键信息回地球，减少传输带宽需求。AI通过预测和纠错技术，减少星际通信中的延迟和数据丢失。利用深度学习算法，AI可以预测通信链路的状态变化，提前调整传输策略，避免潜在的通信中断。AI还可以应用纠错编码技术，自动检测和修复传输过程中出现的数据错误，确保数据的完整性和准确性。例如，在星际通信中，AI可以实时检测数据包的完整性，利用冗余信息修复丢失或损坏的数据，保证传输质量。AI在智能数据缓存与调度方面发挥重要作用。通过预测数据需求，AI可以在不同节点之间智能缓存数据，提高数据访问速度和效率。AI还可以根据任务优先级和资源利用情况，动态调度数据传输，优化资源配置。例如，在星际基地中，AI可以预测科研人员对数据的需求，将常用数据预先缓存到本地服务器，减少数据访问延迟。可以通过AI构建一个综合通信管理平台，整合数据处理、传输优化、延迟和丢失减少

等功能。该平台通过大数据分析和机器学习模型，提供全面的通信管理服务。星际任务中的各类通信设备和传感器可以通过平台实时监控和管理，确保通信系统的高效运行。平台还可以与其他系统（如导航和控制系统）协同工作，提供更全面的任务保障。例如，当通信链路出现异常时，平台可以自动调整通信策略，切换备用链路，确保通信不中断。

## 5.2.6 安全系统与威胁管理



在星际生活中，安全系统与威胁管理至关重要。外星环境面临许多未知威胁，包括宇宙辐射、微陨石冲击和潜在的生物危害<sup>[6]</sup>。AI在这一领域发挥关键作用，通过实时监控、风险预测和自动部署防护措施，保护居民的安全。AI通过整合多种传感器技术，实时监控外星环境中的潜在威胁。传感器网络包括辐射探测器、微陨石撞击传感器和生物危害检测装置，覆盖居住区和关键基础设施。AI系统不断分析这些传感器数据，识别异常情况。例如，AI可以检测到宇宙辐射水平的变化，及时警告居民和启动防护措施。对于微陨石冲击，AI能够监测并记录每次冲击的强度和位置，评估对结构的影响。AI利用大数据和机器学习算法，预测潜在的威胁并制定预防措施。通过分析历史数据和环境变化趋势，AI可以识别出高风险区域和时间段，提前做出预警。例如，AI可以预测宇宙辐射暴增的可能性，并建议居民避开高风险时段进行室外活动。AI还可以通过模拟和预测微陨石流的轨迹，提供防护结构的优化方案，减少冲击损害。面对检测到的威胁，AI能够自动部署防护措施，保护居民和设施的安全。对于宇宙辐射，AI可以控制智能防护屏障



或调节辐射防护材料的厚度，确保内部环境的安全。对于微陨石冲击，AI可以激活应急防护系统，如自动加固结构或调整外壳角度，以减轻冲击力。AI还能够管理生物危害防护系统，通过自动检测和隔离潜在的生物威胁，防止感染传播。宇宙辐射是星际生活中的重大威胁。AI通过实时监控辐射水平，结合预测模型，优化辐射防护措施。例如，AI可以调整居住区的防护屏障，根据实时辐射数据动态调节屏障的防护等级。AI还能够分析不同材料的辐射屏蔽效果，推荐最适合的防护材料和结构设计。微陨石冲击频繁且难以预测，AI系统通过高灵敏度传感器网络实时监控微陨石活动。AI算法分析传感器数据，预测微陨石的轨迹和冲击位置，及时采取防护措施。AI可以控制自动加固系统，对即将受到冲击的结构进行加固，或调整结构表面的角度和位置，减少冲击损害。外星环境中潜在的生物危害也是重要的安全威胁。AI通过生物传感器和基因检测技术，实时监控环境中的微生物和潜在的生物危害。AI能够自动检测和隔离异常生物活动，防止感染扩散。例如，在检测到潜在的有害微生物时，AI可以启动空气过滤和净化系统，并通知工作人员进行进一步检测和处理。可以通过AI构建一个综合安全管理平台，整合实时监控、风险预测和防护措施自动部署等功能。该平台通过大数据分析和机器学习模型，提供全面的安全管理服务。居民可以通过平台实时查看安全状态，接收个性化的安全建议和警报。平台还可以与其他系统（如医疗健康监控系统）协同工作，提供更全面的安全保障。例如，当检测到辐射水平升高时，平台可以自动调整防护措施，并通知医疗团队做好应急准备。

## 5.2.7 教育与训练

在星际社会中，AI在教育与训练方面发挥着至关重要的作用，通过提供个性化的学习和培训方案，帮助新一代居民适应星际生活的独特需求<sup>[7]</sup>。这些培训方案涵盖技术培训、生存技能训练以及文化和社交技能的发展，确保居民能够有效应对星际环境中的各种挑战。AI利用先进的机器学习算法和数据分析技术，提供个性化的学习体验。通过分析每个学习者的能力、兴趣和进度，AI能够制定专属的学习计划，确保每个人都能在最适合自己的节奏下学习。例如，对于需要掌握复杂技术的工程师，AI可以提供定制化的课程，涵盖相关理论知识、实践操作和案例分析，帮助他们迅速掌握必要技能。在星际环境中，技术培训是确保任务成功和居民生存的关键。AI可以模拟各种技术操作和环境条件，通过虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，提供沉浸式的培训体验。例如，AI可以模拟宇宙飞船的维修操作，训练居民如何在零重力环境下进行复杂的修理任务。AI还可以根据最新的科学和技术发展，持续更新培训内容，确保居民掌握最前沿的知识和技能。星际生活中，掌握基本的生存技能至关重要。AI可以提供全面的生存技能训练，包括应急处理、医疗救助、环境适应等。通过模拟各种紧急情况，如舱内失压、火灾和辐射泄漏，AI帮助居民熟悉应急程序，提高应对突发事件的能力。此外，AI还可以提供心理健康支持，帮助居民适应长期隔离和高压环境下的生活。在多样化的星际社会中，文化和社交技能的发展同样重要。AI可以通过个性化的社交技能训练，帮助居民提高沟通和合作能力。AI可以模

拟不同的社交场景，如团队协作、跨文化交流和冲突解决，提供实时反馈和建议。文化教育方面，AI可以提供丰富的多媒体课程，介绍不同文化背景的知识和习俗，促进居民之间的相互理解和尊重。AI系统能够实时监控学习和训练过程，提供即时反馈和评估。通过分析学习者的表现，AI可以识别他们的优点和不足，并及时调整培训方案。例如，在技术培训中，AI可以根据学员的操作记录，指出他们的错误和改进方法，确保每个步骤都正确无误。在生存技能训练中，AI可以模拟应急演练，根据学员的反应和决策，提供具体的改进建议。AI通过资源整合与共享平台，提供丰富的学习和培训资源。平台整合了各类教学材料、模拟器、培训课程和专家讲座，供居民随时访问。AI可以根据学习者的需求，推荐最合适的资源，并提供个性化的学习路径。例如，对于新加入的居民，平台可以提供入门课程和基础培训，帮助他们迅速融入星际社会。对于有特定兴趣或专业需求的居民，平台可以提供高级课程和专项培训资源，满足他们的个性化学习需求。AI还支持居民的持续学习与职业发展。通过分析居民的职业背景和发展目标，AI可以制定长期学习计划，帮助他们不断提升技能和知识水平。AI提供的职业培训包括新技术的掌握、跨学科知识的融合以及领导力和管理能力的培养。例如，AI可以为科学家提供最新的研究方法和工具培训，为工程师提供前沿技术的应用课程，为管理人员提供团队领导和项目管理培训。AI系统可以充当虚拟教练和导师，为居民提供一对一的指导和支持。虚拟教练利用自然语言处理技术，能够理解和回应居民的疑问，提供详细的解释和指导。通过定期的学习评估和进度跟踪，虚拟教练可以帮助居民设定学习目标，规划学习路径，并提

供持续的激励和支持。例如，AI教练可以帮助居民准备重要的考试或认证，提供模拟测试和复习材料，确保他们达到最佳水平。可以通过AI构建一个综合学习管理平台，整合个性化学习、技术培训、生存技能训练和文化社交技能发展等功能。该平台通过大数据分析 and 智能算法，提供全面的学习管理服务。居民可以通过平台查看学习进度、访问学习资源、参加在线课程和模拟训练。平台还可以与其他系统（如健康监控和安全系统）协同工作，提供全面的支持和保障。例如，在进行应急处理培训时，平台可以结合健康监控数据，提供个性化的应急预案和训练方案。星际社会中的居民来自不同的文化和背景，AI通过适应多样化需求，提供包容和个性化的教育与培训方案。AI能够识别和理解不同文化背景的需求，提供多语言支持和文化敏感的内容。例如，AI可以提供多语言的培训材料和课程，帮助不同语言背景的居民轻松学习。AI还可以根据文化习惯和社交礼仪，提供特定的文化培训，促进居民之间的文化交流和融合。

## 5.2.8 娱乐和生活质量提升



在星际生活中，AI在提升居民生活质量方面具有重要作用。通过虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术提供丰富的娱乐和休闲活动，AI还能通过智能家居系统提升居住舒适度，确保居民在远离地球的环境中拥有高质量的生活体验<sup>[9]</sup>。AI结合VR和AR技术，提供多样化的娱乐和休闲活动，为居民创造沉浸式的体验。通过VR技术，居民可以虚拟旅行，探索地球上的自然奇观和文化遗产，体验身临其境的感觉。AR技术则可以将虚拟元素与现实环境相结合，增强现实中

的互动和娱乐。例如，居民可以通过AR眼镜参与虚拟运动比赛，或者在居住区内创建虚拟艺术展览，丰富日常生活。AI利用大数据分析和推荐算法，提供个性化的娱乐内容。通过分析居民的兴趣和偏好，AI可以推荐电影、音乐、书籍和游戏等娱乐资源，满足个性化需求。例如，AI可以根据居民的观影历史和评分，推荐他们可能感兴趣的新电影，或者根据听歌习惯推荐新的音乐专辑。个性化推荐不仅增加了娱乐的多样性，也提高了居民的满意度和幸福感。AI通过社交互动平台和虚拟社区，帮助居民建立和维护社交关系。在星际环境中，居民可能会感到孤独和隔离，AI通过虚拟社交网络，提供多样化的社交互动机会。居民可以通过虚拟社区参与讨论、交流经验和分享兴趣爱好，建立紧密的社交网络。例如，AI可以组织虚拟聚会、兴趣小组和在线游戏比赛，促进居民之间的互动和联系。AI在智能家居系统中发挥关键作用，通过自动化和个性化设置提升居住舒适度。智能家居系统整合了照明、温控、安全和娱乐设备，AI可以根据居民的习惯和需求，自动调节家居环境。例如，AI可以根据室外环境和个人偏好，自动调节室内温度和湿度，提供最舒适的居住环境。AI还可以通过智能照明系统，根据时间和活动类型调节灯光亮度和颜色，营造不同的氛围。AI提供健康与健身支持，帮助居民保持良好的身体状态和心理健康。通过健康监控设备和健身应用，AI可以提供个性化的健身计划和健康建议。例如，AI可以根据居民的身体状况和健康目标，推荐适合的锻炼计划和饮食方案。AI还可以通过虚拟教练提供实时指导和反馈，帮助居民进行科学的锻炼，预防健康问题。

在高压的星际环境中，精神健康和放松至关重要。AI可以提供多种放松和减压的方法，如冥想指导、自然音效和心理咨询。通过分析居民的情绪和压力水平，AI可以推荐适合的放松方法和心理支持。例如，AI可以根据居民的情绪变化，播放舒缓的音乐和自然声音，帮助他们放松和缓解压力。AI还可以通过虚拟心理咨询，提供专业的心理支持和指导，帮助居民应对心理挑战。AI支持居民的持续学习与兴趣发展，提供丰富的学习资源和兴趣活动。通过在线课程和教育平台，AI可以帮助居民不断提升知识和技能，探索新的兴趣爱好。例如，AI可以推荐在线课程和学习资源，帮助居民学习新的语言、技能和知识。AI还可以组织兴趣活动和工作坊，提供实践和交流的机会，促进居民的全面发展。

## 5.3 星际贸易

### 5.3.1 资源勘探与开采



在星际资源勘探与开采领域，AI的应用显著提高了效率和准确性<sup>[9]</sup>。通过先进的AI算法进行地质分析和矿产勘探，能够有效识别地表和地下的有价值矿产资源。此外，AI控制的机器人可以进行自动化挖掘，大幅减少人力需求，提高操作安全性和生产力。AI在地质分析中利用机器学习和深度学习算法，处理和分析大量的地表和地下扫描数据，如卫星图像、雷达数据和地震波数据。这些算法可以快速识别和分类不同的地质特征，识别出潜在的矿产资源。例如，AI可以通过分析高分辨率卫星图像，检测地表

异常，初步确定矿藏位置。AI还能结合多种地球物理数据，生成地下三维模型，精确定位矿产资源。在矿产开采过程中，AI控制的机器人和自动化设备发挥了关键作用。这些机器人能够在极端和危险的环境中进行精确的挖掘和采矿操作，确保开采工作的高效和安全。例如，AI控制的钻探机器人可以根据地质模型，自动选择最佳钻探路径和深度，最大化矿产回收率。自动化运输设备可以无缝衔接矿石的开采和运输流程，提高整体作业效率。AI系统通过实时监控和优化开采过程中的各项参数，进一步提高资源利用效率和安全性。传感器网络可以实时收集开采现场的各种数据，如设备状态、环境条件和矿石质量，AI通过分析这些数据，及时调整操作策略。例如，当检测到设备故障或异常环境条件时，AI系统可以自动调整开采计划或启动应急措施，确保生产连续性和人员安全。AI在矿产开采中的自主学习和适应能力，使其能够不断优化操作策略和提高工作效率。通过对历史数据和实时数据的分析，AI可以总结出最佳操作模式和参数设置，持续改进开采工艺。例如，AI可以学习不同地质条件下的最佳钻探速度和压力，优化能耗和开采效率。AI还可以根据开采过程中积累的经验，改进机器人控制算法，提高自动化设备的智能化水平。AI在资源勘探与开采中还注重可持续性和环境保护。通过精准的地质分析和高效的资源利用，AI可以减少不必要的开采和资源浪费，降低对环境的影响。例如，AI可以优化开采路径，减少矿区的生态破坏和地质扰动。AI还可以监控和管理开采过程中的废弃物处理和污染控制，确保符合环保标准和可持续发展要求。可以通过AI构建一个综合管理平台，整合地质分析、

矿产勘探、自动化挖掘和实时监控等功能。该平台通过大数据分析和智能算法，提供全面的矿产开采管理服务。矿产开采企业可以通过平台实时查看开采进度、设备状态和环境监测数据，进行科学决策和高效管理。例如，当市场需求或地质条件发生变化时，平台可以提供相应的调整建议，确保开采计划的灵活性和适应性。

### 5.3.2 市场分析和贸易决策



在市场分析和贸易决策领域，AI的应用大大提升了数据处理和分析的效率，使得决策更加科学和战略性<sup>[10]</sup>。通过分析全球和星际市场的数据，AI能够预测资源需求的变化，帮助企业和政府制定精准的贸易策略，优化资源配置和市场响应。AI系统可以从多个来源收集和整合大量市场数据，包括地球和其他星球的经济数据、贸易流量、资源库存和价格波动信息。通过接入卫星遥感数据、传感器网络和市场监测平台，AI能够实时获取并处理各种数据，提供全面而精确的市场信息。例如，AI可以从星际运输系统和贸易平台中提取货物流通数据，分析资源供需状况。AI利用机器学习和深度学习算法，对收集到的市场数据进行分析，预测资源需求的变化趋势。通过对历史数据和实时数据的分析，AI可以识别市场需求的周期性变化和潜在的影响因素。例如，AI可以预测某种矿产资源在未来几个月的需求量变化，基于经济发展、技术创新和政策变化等多种因素，提供准确的需求预测。基于市场趋势预测，AI帮助企业和政府制定更具战略性的贸易决策。AI系统可以模拟不同贸易策略的效果，评估其对资源

供需平衡、市场价格和贸易收益的影响。例如，AI可以建议在某种资源需求高峰期提前囤积或释放库存，以获取最大利润。AI还可以优化贸易路线和运输方案，降低成本，提高效率。AI在市场分析中还扮演着风险评估和管理的重要角色。通过分析市场数据和环境因素，AI可以识别潜在的市场风险和不确定性，如政策变化、自然灾害和技术革新带来的影响。AI系统能够提前预警，并提供相应的风险应对方案，帮助企业和政府减少损失。例如，AI可以预测某地区可能发生的政策变动对资源贸易的影响，并建议调整贸易策略以规避风险。AI驱动的自动化交易系统可以实时分析市场动态，执行快速和精准的交易操作。这些系统利用高级算法，在市场波动中捕捉最佳交易时机，进行自动化的买卖操作。例如，AI系统可以根据实时市场数据，自动调整资源的买入和卖出策略，确保在最优价格点进行交易，提高贸易收益。AI还可以进行市场竞争分析，帮助企业了解竞争对手的策略和市场表现。通过分析竞争对手的市场活动、产品定价和销售数据，AI可以提供详细的竞争情报，支持企业制定竞争策略。例如，AI可以识别竞争对手的优势和弱点，建议相应的市场进入策略和产品定位方案，提升市场竞争力。AI在市场分析中也关注可持续发展和合规管理。通过监测市场行为和贸易活动，AI可以确保企业遵守相关法律法规和环境标准。AI系统能够识别不合规的交易行为，提供合规管理建议，帮助企业规避法律风险。例如，AI可以监控资源开采和贸易过程中是否符合环保标准，建议可持续的贸易策略和措施。可构建一个基于AI的综合市场分析平台，整合数据收集、趋势预测、风险评估和贸易决策等功能。该

平台通过大数据分析和智能算法，提供全面的市场分析和决策支持服务。企业和政府可以通过平台实时查看市场动态、预测结果和决策建议，进行科学的市场分析和战略决策。例如，当全球资源需求发生重大变化时，平台可以提供及时的市场洞察和应对方案，确保贸易策略的灵活性和前瞻性。

### 5.3.3 物流与供应链管理



在物流与供应链管理领域，AI技术通过高度优化和自动化的手段，显著提升了物流规划和管理效率<sup>[11]</sup>。AI能够计算星际运输的最佳路线，实时调整运输计划以应对外部变化如空间天气条件，优化货物装载，减少运输成本，提高整体效率。AI利用先进的算法和数据分析能力，计算从一个星球到另一个星球的最佳运输路线。通过综合考虑距离、燃料消耗、运输时间和成本等因素，AI能够设计出最优的运输路径。AI还可以使用历史数据和实时数据，分析各个星际运输路线的可靠性和风险，为决策者提供精确的路线选择。例如，当某条运输路线存在高风险或成本较高时，AI可以建议替代路线，以确保货物安全和运输成本最低。空间天气条件和其他外部变化因素可能影响星际运输的顺利进行。AI通过实时监控空间天气数据和运输环境，动态调整运输计划。AI可以分析太空天气预报、太阳风暴、陨石活动等因素，预测可能的运输风险，并自动调整航线和时间安排。例如，当预报显示未来几天某条运输路线将受到空间风暴影响时，AI系统可以提前调整运输计划，避开危险区域，确保货物安全到达目的地。AI在货物装载优化中发挥关键作用，通过

智能算法和优化模型，最大化货物装载效率，减少运输成本。AI可以根据货物的体积、重量和特性，设计最佳的装载方案，确保运输空间的充分利用。例如，AI可以通过三维装载优化算法，计算货物在运输舱内的最佳排列方式，减少空隙和浪费，提高装载密度。同时，AI还可以考虑货物的取放顺序，优化装载和卸货流程，减少操作时间。

AI驱动的自动化物流管理系统可以实时监控和管理整个供应链的物流活动。这些系统利用物联网（IoT）技术和传感器网络，实时采集货物状态、运输设备和环境条件等数据，通过AI算法进行分析和优化。例如，AI可以监控运输设备的运行状态，预测可能的故障和维护需求，提前安排维修和保养，避免运输中断。AI还可以实时跟踪货物位置和状态，提供精确的物流信息，确保供应链的透明度和可控性。AI在供应链优化中通过综合分析供应链各环节的数据，提升整体效率和响应能力。AI可以预测市场需求变化，调整供应链的生产和库存策略，避免资源浪费和供应不足。例如，AI可以根据市场需求预测和生产能力，优化库存管理，确保供应链的灵活性和可靠性。AI还可以通过供应链模拟和仿真，测试不同供应链策略的效果，选择最优的方案，提高供应链的响应速度和效率。AI提供智能决策支持，帮助物流和供应链管理者做出更科学和高效的决策。通过大数据分析和机器学习算法，AI可以提供深度的市场洞察和风险评估，为决策者提供可靠的决策依据。例如，AI可以分析全球市场数据，预测资源价格波动和需求变化，建议最佳的采购和运输策略。AI还可以评估供应链的风险和瓶颈，提出改进措施，

确保供应链的稳定和可持续发展。通过AI构建一个综合物流管理平台，整合最佳运输路线规划、实时计划调整、货物装载优化和供应链管理等功能。该平台通过大数据分析和智能算法，提供全面的物流和供应链管理服务。企业和供应链管理者可以通过平台实时查看运输进度、设备状态和市场动态，进行科学的物流规划和管理。例如，当供应链出现突发事件时，平台可以提供及时的应对方案和调整建议，确保物流活动的连续性和稳定性。

### 5.3.4 自动化交易系统



在星际贸易中，AI驱动的自动化交易系统具有显著的优势。通过部署这些系统，可以实现无人工干预的自动买卖商品，快速响应市场变化，执行复杂的交易策略，增加市场流动性和效率<sup>[12]</sup>。AI自动化交易系统能够在没有人工干预的情况下，自主进行商品买卖操作。通过预设的算法和规则，这些系统可以根据市场数据和趋势进行实时决策，确保在最佳时机执行交易。例如，当某种资源的价格达到预设的买入或卖出条件时，系统会自动执行交易，避免人为操作带来的延迟和错误。AI交易系统具备快速响应市场变化的能力。通过实时监控市场数据，如资源价格、供需动态和交易量，AI系统可以立即调整交易策略，优化交易结果。例如，当市场出现突然的价格波动或供需变化时，AI系统能够快速分析数据，调整交易指令，确保在市场波动中获得最佳收益。AI交易系统能够执行复杂的交易策略，超越人类交易员的能力。利用机器学习和深度学习算法，AI系统可以分析历史数据和市场模式，制定并

执行高级交易策略。例如，AI可以利用套利策略，在不同市场间的价格差异中获利，或使用趋势跟踪策略，在价格上涨或下跌趋势中进行买卖操作。AI系统还可以通过风险管理算法，控制交易风险，确保稳定收益。AI自动化交易系统通过频繁和高效的交易操作，增加市场的流动性。高频交易算法能够在短时间内执行大量交易，确保市场中有足够的买卖订单，提高市场的流动性和交易量。例如，AI系统可以在市场中持续提供买卖报价，确保资源交易的顺畅进行，减少市场中的买卖差价，提升整体市场效率。AI交易系统依靠大数据分析和实时数据处理，提供数据驱动的决策支持。通过分析海量的市场数据和经济指标，AI系统可以识别市场趋势和潜在的交易机会，为决策者提供可靠的交易建议。例如，AI可以分析全球市场的数据，预测资源价格的走势和供需变化，建议最佳的交易策略和时机，提高决策的科学性和准确性。AI系统在自动化交易中注重风险监控与管理。通过实时监控市场风险和交易行为，AI系统能够提前预警潜在的交易风险，并采取相应的应对措施。例如，当检测到市场出现异常波动或交易策略的风险超出预设范围时，AI系统可以自动调整交易策略或暂停交易，确保交易活动的安全和稳定。AI交易系统具备自主学习和优化能力，通过不断学习市场数据和交易结果，持续改进交易策略和算法。利用强化学习和自适应算法，AI系统可以从交易经验中学习，提高交易的智能化水平。例如，AI可以根据市场的反馈和交易结果，调整参数和优化算法，确保交易策略始终处于最佳状态。AI构建了一个综合交易平台，整合市场数据分析、自动化交易执行、风险管理和决策支持等功

能。该平台通过大数据分析和智能算法，提供全面的交易管理服务。企业和交易员可以通过平台实时监控交易活动，查看交易策略和风险预警，进行科学的交易决策。例如，当市场环境发生变化时，平台可以提供及时的交易调整建议，确保交易活动的灵活性和适应性。

### 5.3.5 风险评估和管理



在星际贸易中，风险评估和管理尤为关键，因其涉及跨星球的交易，面临更高的不确定性和复杂性<sup>[13]</sup>。AI在这一领域的应用可以显著提高风险识别和评估的效率，并提供有效的应对策略，保障贸易活动的安全和稳定。AI系统能够分析全球和星际政治动态，通过大数据和自然语言处理技术，识别潜在的政治风险。通过分析政府政策、国际关系、新闻报道和社交媒体信息，AI可以预测政治变动的可能性及其对贸易的影响。例如，当某个星球的政府即将出台新的贸易限制政策时，AI系统可以提前预警，帮助企业调整贸易策略，避免潜在损失。跨星球贸易涉及不同星球的法律和法规，AI可以帮助企业实时监测这些法律环境的变化。通过对各星球法律文件、法规更新和法律案例的分析，AI系统可以识别出可能影响贸易活动的法律风险，并提供相应的合规建议。例如，AI可以提醒企业注意某个星球即将生效的新税收政策，并建议调整贸易合同和价格策略，以确保合法合规。在星际贸易中，技术故障可能导致严重的贸易中断和损失。AI系统通过实时监控运输设备、通信系统和其他关键技术设施，预测潜在的技术故障风险。利用机器学习和预测性

维护算法，AI可以识别设备运行中的异常，提前安排维护和修复，避免因技术故障导致的贸易延误和损失。例如，AI可以监控星际运输飞船的关键部件状态，预测可能的故障，并提前安排维修计划，确保运输的顺畅进行。AI通过分析市场数据和经济指标，评估市场风险，预测市场波动和需求变化。利用机器学习算法，AI可以识别出市场中的潜在风险因素，如价格波动、需求不确定性和竞争对手行为，并提供应对策略。例如，当AI预测到某种资源的市场价格即将大幅波动时，可以建议企业调整库存和贸易策略，规避市场风险，优化资源配置。AI系统能够实时监控星际贸易的各个环节，识别和评估突发事件的风险，如自然灾害、供应链中断和安全威胁。通过物联网（IoT）和传感器网络，AI可以收集和分析实时数据，快速响应突发事件，提供应急管理方案。例如，当检测到星际运输路线中的自然灾害风险时，AI系统可以立即调整运输路线和计划，启动应急预案，确保货物和人员的安全。AI提供全面的风险预警和决策支持服务，通过综合分析各种风险因素，提供科学的决策依据。AI系统可以生成详细的风险评估报告，预测不同情景下的风险水平，并提供相应的应对措施和策略建议。例如，当评估到某个贸易项目的综合风险较高时，AI可以建议企业采取风险规避或分散策略，确保贸易活动的安全和收益。可构建一个基于AI的综合风险管理平台，整合政治风险、法律风险、技术风险、市场风险和突发事件风险的识别、评估和应对功能。该平台通过大数据分析和智能算法，提供全面的风险管理服务。企业和决策者可以通过平台实时监控风险状况，查看风险预警和评估报告，进行科学的风险管理和

决策。例如，当星际贸易中出现新的风险因素时，平台可以提供及时的风险分析和应对方案，确保贸易活动的连续性和稳定性。

### 5.3.6 客户服务与交互



在星际客户服务与交互领域，AI驱动的聊天机器人和虚拟助手正成为不可或缺的工具<sup>[14]</sup>。首先，这些AI系统能够提供24/7全天候服务，确保客户在任何时间都能获得帮助，解决了由于不同星球时区差异导致的服务不便问题。它们可以高效处理各种订单查询，包括实时更新订单状态、预计发货时间和运送详情，确保客户能随时掌握自己的订单信息。在支付问题方面，AI助手能够处理支付失败、退款和账单查询等复杂事务。通过整合支付网关和银行系统，AI可以自动化处理这些支付相关问题，减少人工干预的需求，提高了处理效率和准确性。当客户遇到交易争议时，AI系统能够通过分析交易记录、客户沟通历史和公司政策，提出合理的解决方案，并在必要时将复杂问题升级到人工客服处理，确保问题能够及时解决。多语言操作是这些AI系统的另一大优势。利用先进的自然语言处理（NLP）技术，AI助手可以实时翻译和理解多种语言，打破了不同星球间的语言障碍。这不仅使客户能够用自己的母语进行沟通，减少误解和沟通障碍，还显著提升了客户体验和满意度。例如，一家星际旅行公司可以利用AI助手帮助客户预订旅行、查询航班信息和解决行李问题，客户无需担心时区和语言的限制。在星际电子商务平台上，AI助手可以帮助客户浏览商品、下订单、处理支付和解决售后问题。通过分析

客户的购买历史和偏好，AI助手还能提供个性化的商品推荐，提高销售额和客户满意度。对于星际金融服务领域，AI助手可以提供账户管理、交易查询、风险评估和投资建议等服务，使客户能够方便快捷地进行理财咨询和金融交易，享受高效的金融服务。

### 5.3.7 环境监控和可持续发展



在星际环境监控和可持续发展领域，AI发挥着至关重要的作用，能够显著提升资源管理和环境保护的效率与效果<sup>[15]</sup>。首先，AI通过高分辨率的卫星图像和遥感数据，能够实时监测资源开采地区的环境变化。这些图像和数据帮助识别非法开采活动，评估生态破坏程度，并提供具体的保护措施建议。例如，当AI检测到某区域的植被覆盖率显著下降时，可以立即发出警报，促使相关部门采取行动，防止进一步的环境损害。此外，AI驱动传感器网络能够部署在星球表面，实时收集有关空气、水源和土壤质量的数据。这些传感器可以自动识别污染源，并迅速做出响应，减少环境污染的蔓延和恶化。例如，当水源监测系统检测到污染物含量超标时，可以自动启动应急响应机制，关闭污染源头，并启动清理程序。在资源循环利用方面，AI算法能够深入分析资源的使用模式，找出浪费和低效利用的环节，从而优化资源回收和再利用流程，最大化资源利用率。AI可以预测资源需求变化，调整生产和供应链管理，减少资源浪费。例如，AI可以根据市场需求预测，优化制造业的原材料采购和库存管理，减少过量生产导致的资源浪费。在分析贸易活动对环境的影响时，AI通过大数据分析能够识别出高污染和

高资源消耗的贸易活动，并提出相应的改进措施。这些措施可能包括改变运输路线以减少碳排放，优化供应链管理以减少中间环节的资源浪费。例如，通过分析全球物流数据，AI可以建议更环保的运输方式，减少航空运输改为海运，降低整体碳排放。AI还可以计算每一项贸易活动的碳足迹，帮助企业 and 政府了解并减少温室气体排放。通过智能算法，企业可以找到减少碳排放的最有效方法，从而实现绿色贸易。例如，AI可以帮助企业优化生产工艺，选择低碳材料，并提高能源使用效率，全面减少碳足迹。在生态保护和修复方面，AI可以模拟生态系统的动态变化，预测生态修复措施的效果，帮助制定更有效的生态恢复计划。通过这种方式，可以最大限度地恢复自然环境，维持生态平衡。例如，AI可以模拟植被恢复的过程，确定最适合的植物种类和种植方式，提高生态修复的成功率。此外，AI技术还可以用于监测星际生物多样性的变化，及时发现并保护濒危物种。利用机器学习算法，科学家可以分析生态监测数据，识别不同物种，跟踪它们的数量和分布变化，提供准确的生物多样性数据，支持保护措施的实施。基于AI的决策支持系统为政府和企业提供详尽的环境数据分析和预测，帮助制定科学有效的环境保护政策。例如，AI可以分析历史环境数据和未来趋势，预测环境政策的效果，帮助决策者制定更加科学的保护措施。此外，AI可以对已有的环境政策进行效果评估，找出不足之处并提出改进建议，确保环境政策的持续优化和有效执行。

## 5.4 航天领域的AI应用

### 5.4.1 任务设计与模拟



在任务设计与模拟领域，AI发挥着至关重要的作用，通过优化航天任务的各个环节，大幅提升了任务的成功率和成本效益<sup>[16]</sup>。首先，AI可以高效设计航天任务的轨道，利用复杂的算法快速分析各种轨道选项，计算最优轨道参数，确保航天器能够以最低的燃料消耗完成预定任务。例如，AI可以通过模拟地球引力、太阳辐射压力和其他空间环境因素，找到最节省能量的轨道路径。AI还能够模拟不同的飞行条件，包括极端温度、辐射和微陨石撞击等情景，帮助工程师提前预判并应对可能的挑战。这些模拟可以预测航天器在不同环境下的表现，优化设计以提高抗风险能力。AI还能模拟各种可能的风险场景，如设备故障、通信中断或轨道偏离等，通过全面的风险分析，提供改进建议和应急预案，确保任务在各种不利条件下仍能顺利完成。在载荷配置优化方面，AI通过三维建模和优化算法，最大化利用航天器的空间和重量，确保所有设备和仪器得到合理布置，避免空间浪费和重量分布不均。AI可以精确计算各载荷的重量分布，确保航天器的重心稳定，避免因重量分布不均导致的飞行不稳定或燃料消耗增加。例如，AI可以通过模拟重心变化对航天器的影响，调整载荷位置，确保在发射和飞行过程中保持最佳的重心位置。此外，AI进行多目标优化，平衡不同载荷的需求，如电力、冷却和通信资源等，确保所有载荷能够在任务期间正常工作。通过这些优化，AI能够最大化航天器的任务执行能力。例如，

NASA使用AI进行任务规划和轨道设计，在火星任务中，AI帮助优化了火星探测器的着陆路径，确保探测器在燃料和时间上达到最佳效率。SpaceX也利用AI优化其猎鹰系列火箭的载荷配置，确保每次发射都能达到最高的有效载荷能力，显著降低发射成本。

### 5.4.2 自主导航与控制



在自主导航与控制领域，AI展现出极大的应用潜力，通过自主飞行控制和避障与着陆技术，显著提升了航天器在复杂环境中的操作能力和任务成功率<sup>[17]</sup>。AI在自主飞行控制方面，能够实时处理来自航天器传感器的数据，自动调整飞行路径，以应对复杂或未知环境中的挑战。例如，当航天器接近小行星时，AI可以根据最新的观测数据，动态调整轨道，避免潜在的障碍物或危险区域，减少对地面控制的依赖，提高任务的灵活性和响应速度。此外，通过深度学习算法，AI能够感知和理解周围环境，在飞行过程中识别并分析环境变化，生成最优飞行路径，确保航天器在安全轨道上运行。在避障与着陆技术方面，AI通过图像处理和模式识别技术，能够在着陆阶段分析地形数据，识别安全着陆区域。例如，AI通过摄像头和激光雷达传感器的数据，绘制详细的地形图，找到平坦且无障碍的着陆地点。在着陆过程中，AI可以实时识别和评估障碍物，执行精确的避障操作，确保着陆的平稳和安全。AI技术在火星探测任务中尤为关键，显著提高了着陆的安全性和精确性。例如，NASA的“洞察号”和“好奇号”火星探测器就使用了AI技术，成功实现了自主着陆和避障，显著提高了任务成功率。欧洲空间

局（ESA）的“罗塞塔”探测器也在“菲莱”着陆器着陆过程中使用了AI技术，帮助着陆器选择安全的着陆点，并在着陆过程中避开危险区域。

### 5.4.3 通信与数据处理



在通信与数据处理领域，AI通过深空通信优化和大数据分析，极大地提升了深空任务的数据传输和信息处理能力，支持科学研究和技术开发<sup>[18]</sup>。深空通信是航天任务中的一大挑战，由于距离遥远，信号在传输过程中会受到衰减和干扰。AI在管理和优化深空任务数据传输方面发挥了重要作用，确保信息的准确传递。首先，AI能够实时监控和调整通信参数，如频率、带宽和发射功率，以应对信号衰减和干扰问题。例如，当航天器与地球的距离变化时，AI可以动态调整传输参数，优化信号质量，确保数据的高效传输。此外，AI利用机器学习算法，可以优化数据编码和调制方式，提高数据传输的可靠性和效率。自适应编码技术根据实时通信条件自动选择最优的编码方案，减少错误率并提高数据传输速度。在大数据分析方面，AI能够快速处理和分析从航天器传回的海量数据，识别重要信息，支持科学研究和技术开发。从深空传回的数据往往包含大量复杂和多样的信息。AI通过机器学习和数据挖掘技术，能够快速识别和分类这些数据中的重要信息。例如，在行星探测任务中，AI可以分析图像数据，自动识别地形特征、矿物成分和潜在的生物迹象，大大提高了数据处理的效率。此外，AI还可以将大数据分析结果提供给科学家和工程师，支持他们进行更深入的研究和技术开发。例如，AI可以分

析探测器传回的环境数据，帮助科学家了解行星的大气、气候和地质特征，从而推动行星科学的发展。具体实例包括NASA利用AI优化深空通信，在“新视野号”探测器任务中，AI帮助管理和优化了从冥王星传回的数据传输，确保了高质量的数据接收。欧空局（ESA）的“盖亚”任务利用AI处理和分析海量的天文数据，AI帮助快速识别恒星的位置和运动信息，推动了天文学研究的发展。通过这些应用，AI在通信与数据处理中的重要性显而易见。AI不仅提高了深空通信的效率和可靠性，还通过大数据分析加速了科学研究和技术开发，确保航天任务能够获得和处理高质量的数据，为未来的深空探索提供了坚实的技术基础。

### 5.4.4 故障诊断与维护



AI技术在航空航天领域的故障诊断与维护中发挥着重要作用，特别是在实时系统监控和远程维修指导方面<sup>[19]</sup>。首先，通过安装在航天器关键部位的传感器，AI系统能够实时采集温度、压力、振动等各种数据。这些数据被迅速处理，并通过复杂的机器学习算法进行分析，从而对航天器的运行状态进行评估。AI系统能够识别出潜在的故障迹象，并基于历史数据和当前状态预测未来可能发生的故障。通过这种方式，AI实现了预测性维护，使得地面工程师可以提前安排检查和维修，避免意外故障导致的任务中断或损失。不仅如此，AI在故障诊断方面也表现出色。AI系统可以分析故障数据，快速确定故障原因，并生成详细的诊断报告。这使得地面工程师能够迅速了解问题所在，减少了故障排查的时

间。基于故障类型和历史维修记录，AI系统还能够建议最优的维修方案，提供具体的操作步骤和注意事项，确保维修过程的高效和准确。更为先进的是，AI系统还可以进行远程控制和操作。在一些特殊情况下，特别是在深空任务中，AI可以远程控制机器人进行维修操作。例如，在火星探测任务中，地面工程师通过AI系统远程指导机器人进行精细的维修工作，大大提高了任务的灵活性和可靠性。AI技术在这些应用中带来了诸多优势。首先，AI能够快速处理和分析大量数据，极大地提高了故障检测和维修的效率。其次，AI系统提供的诊断和维修建议基于大量数据和算法分析，减少了人为判断可能带来的错误，增强了维修过程的准确性和可靠性。此外，通过预测性维护和远程维修，减少了意外故障导致的高额维修成本和任务损失，进一步降低了整体运营成本。最重要的是，实时监控和预测性维护大大降低了系统突发故障的风险，显著提高了航天任务的整体安全性。具体案例分析方面，NASA利用AI技术对火星探测器进行实时监控和故障预测，成功避免了多次潜在的设备故障。AI系统不仅帮助地面团队快速识别问题，还提供了详细的维修指导，甚至远程控制机器人进行必要的维修操作。在国际空间站，AI系统被用于实时监控各种设备的运行状态，并提供维修指导，确保空间站的长期稳定运行。

#### 5.4.5 科学实验与探索



AI技术在航空航天领域的科学实验与探索中发挥着关键作用，特别是在自动化科学实验和地形与地质分析方面<sup>[20]</sup>。首先，在国际空间站（ISS）或

其他航天实验平台上，AI系统可以根据预定的实验方案，自动控制实验设备执行各项操作，确保实验的精确性和重复性。例如，在微重力条件下进行的流体力学实验中，AI可以精确控制实验参数，如温度、压力和流速，保证实验结果的一致性。实验过程中产生的大量数据通过AI实时处理和初步分析，AI算法能够快速识别数据中的关键特征和趋势，从而为科学家提供即时反馈。这些即时反馈可以帮助科学家迅速调整实验条件，优化实验设计，提高实验效率和结果的准确性。除了实验执行自动化，AI还在数据处理与初步分析方面表现出色。在复杂的生物医学实验中，AI可以实时分析细胞生长情况，通过图像处理技术识别细胞形态变化，并快速检测到异常情况。通过机器学习，AI能够不断优化实验过程，调整实验参数，提高实验效率和结果的准确性。这种优化过程大大减少了实验周期，加速了科学研究的进展。在月球和火星等天体的探测任务中，AI技术的应用同样至关重要。AI系统能够处理来自探测器的图像和传感器数据，自动生成高精度的地形图，支持探测器自主导航。自主导航系统使探测器能够避开危险地形，选择最佳行进路线，确保任务的安全性。例如，NASA的火星车利用AI技术自主规划路径，成功在复杂地形中行驶。此外，AI可以分析岩石和土壤样本数据，识别不同的地质特征，确定科学研究的重点区域。通过机器学习算法，AI能够发现传统分析方法可能忽略的细微差异，从而揭示更深层次的地质信息。AI系统还能够根据实时数据动态调整探测任务，优先探测科学价值最高的区域，这种动态调整能力使得探测任务更加灵活高效，能够最大化地获取科学数据。具体案例分析方

面，在国际空间站，AI系统被用于自动执行复杂的科学实验，实时处理和分析实验数据。例如，在微重力条件下进行的材料科学实验中，AI系统能够自动控制实验参数，并即时反馈实验结果。在NASA的火星探测任务中，“好奇号”和“毅力号”火星车利用AI技术进行自主导航和地质分析。AI系统分析火星地形，规划行进路线，并识别科学研究的重点区域，如古代湖床和矿物丰富的地区。

#### 5.4.6 新材料与技术发展



在新材料与技术发展领域，AI正以其强大的数据处理和分析能力，显著加速和优化材料研发和技术创新的过程<sup>[21]</sup>。首先，在材料发现方面，AI通过机器学习（ML）模型，能够分析海量的材料数据，准确预测材料的物理和化学性质。这种方法大大加快了新材料的筛选过程，相比传统的实验方法，效率得到了显著提升。AI与高通量计算相结合，通过模拟和优化，快速识别出具有潜在优异性能的新材料，极大地减少了实验时间和研发成本。在新材料的具体应用方面，AI可以帮助开发出耐热性更高、耐腐蚀性更强、重量更轻的材料，显著提升航天器的性能。例如，通过AI模拟高温超导材料和新型陶瓷材料的行为，研究人员能够设计出在极端温度下性能更佳的材料。AI还可以预测材料在各种环境条件下的腐蚀行为，优化材料成分，提高其耐腐蚀性，确保航天器在长时间任务中的稳定性。此外，AI可以优化复合材料的微观结构，提升材料的强度和刚度，同时减轻重量，这对降低发射成本和提高航天器效率至关重要。在仿生技术开发方面，AI的作用

同样不可忽视。AI通过模拟自然界的结构和系统，帮助研究人员设计出具有优异力学性能的航天器结构。例如，仿生学研究可以借鉴贝壳的层状结构和鸟类的翅膀形态，设计出轻量化且高强度的航天器结构。AI还利用生物启发的优化算法，如遗传算法和神经网络，模仿自然界的进化和适应过程，优化航天器设计，提高其整体性能。例如，遗传算法可以优化燃料系统设计，提高燃料利用效率，减少航天器的发射重量和成本。

### 5.5 总结与展望

随着人工智能（AI）技术的迅猛发展，其在星际生活、星际贸易和航天领域的应用变得愈加广泛和重要。AI在这些领域的应用，不仅提升了人类探索和利用太空资源的能力，也为未来的太空经济和社会发展奠定了坚实的基础。在星际生活方面，AI技术为人类在太空中的生活提供了智能化的支持系统。通过AI对环境数据的实时监测和分析，可以优化资源利用，确保生命支持系统的稳定运行。同时，AI还可以辅助进行医疗诊断和健康管理，为宇航员提供个性化的医疗方案，提升生活质量和健康水平。此外，AI的智能家居系统可以自动调整居住环境，提供舒适、安全的生活体验。在星际贸易中，AI通过高效的数据分析和自动化流程，促进了星际间的贸易流通。AI可以优化供应链管理，预测市场需求，提升贸易效率，减少资源浪费。同时，AI还可以在物流和运输中发挥重要作用，通过智能调度和路径规划，提高运输效率，降低运输成本。通过这些创新应用，AI不仅提升了星际贸易的效率和效益，也

推动了星际经济的发展。在航天领域，AI的应用更为广泛和深入。AI技术可以用于航天器的自主导航与控制，通过机器学习和智能算法，实现精准的轨道计算和飞行路径规划，确保航天器的安全和高效运行。此外，AI还可以用于故障诊断与维修，通过实时监测和分析航天器的状态，提前发现潜在故障，并提供智能化的维修方案，延长航天器的使用寿命。AI在任务规划与优化方面的应用，也极大地提升了航天任务的成功率和效率。通过综合分析各种任务参数和环境条件，AI可以提供最优的任务方案，确保任务的顺利完成。总之，AI技术在星际生活、星际贸易和航天领域的广泛应用，为人类探索和利用太空资源提供了强有力的技术支持，也为未来的太空经济和社会发展奠定了基础。随着AI技术的不断进步和创新，其在这些领域的应用前景将更加广阔和深远。

## 5.6 参考文献

- [1] Verma A, Prakash S, Kumar A. AI-based building management and information system with multi-agent topology for an energy-efficient building: towards occupants comfort[J]. IETE Journal of Research, 2023, 69(2): 1033-1044.
- [2] Chen Q, Li L, Chong C, et al. AI-enhanced soil management and smart farming[J]. Soil Use and Management, 2022, 38(1): 7-13.
- [3] Muthumanickam N K, Pless S, Rothgeb S, et al. Industrialized and Robotic Construction Advances in Terrestrial Construction and Opportunities in Space Construction[R]. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2022.
- [4] Rath K C, Khang A, Rath S K, et al. Artificial intelligence (AI)-enabled technology in medicine-advancing holistic healthcare monitoring and control systems[M]//Computer Vision and AI-Integrated IoT Technologies in the Medical Ecosystem. CRC Press, 2024: 87-108.
- [5] Koskina A, Sykioti O, Plionis M. AI-Driven Innovation and Discoveries in Space Exploration: The Need for an Adapted Regulatory Regime[C]//International Conference on Frontiers of Artificial Intelligence, Ethics, and Multidisciplinary Applications. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023: 377-390.
- [6] Garcia-del-Real J, Alcaráz M. Unlocking the future of space resource management through satellite remote sensing and AI integration[J]. Resources Policy, 2024, 91: 104947.
- [7] Sanders L M, Scott R T, Yang J H, et al. Biological research and self-driving labs in deep space supported by artificial intelligence[J]. Nature Machine Intelligence, 2023, 5(3): 208-219.
- [8] Bannova O, Camba J D, Bishop S. Projection-based visualization technology and its design implications in space habitats[J]. Acta Astronautica, 2019, 160: 310-316.
- [9] Sun T, Feng M, Pu W, et al. Fractal-Based Multi-Criteria Feature Selection to Enhance Predictive Capability of AI-Driven Mineral Prospectivity Mapping[J]. Fractal and Fractional, 2024, 8(4): 224.
- [10] Al-Surmi A, Bashiri M, Koliouisis I. AI based decision making: combining strategies to improve operational performance[J]. International Journal of Production Research, 2022, 60(14): 4464-4486.
- [11] Woschank M, Rauch E, Zsifkovits H. A review of further directions for artificial intelligence, machine learning, and deep learning in smart logistics[J]. Sustainability, 2020, 12(9): 3760.
- [12] El Hajj M, Hammoud J. Unveiling the influence of artificial intelligence and machine learning on finan

cial markets: A comprehensive analysis of AI applications in trading, risk management, and financial operations[J]. *Journal of Risk and Financial Management*, 2023, 16(10): 434.

[13] Stroup R L, Niewoehner K R, Apaza R D, et al. Application of AI in the NAS-the Rationale for AI-Enhanced Airspace Management[C]//2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference (DASC). IEEE, 2019: 1-10.

[14] Hoyer W D, Kroschke M, Schmitt B, et al. Transforming the customer experience through new technologies[J]. *Journal of interactive marketing*, 2020, 51(1): 57-71.

[15] Akter M S. Harnessing Technology for Environmental Sustainability: Utilizing AI to Tackle Global Ecological Challenge[J]. *Journal of Artificial Intelligence General science (JAIGS) ISSN: 3006-4023*, 2024, 2(1): 61-70.

[16] Tipaldi M, Feruglio L, Denis P, et al. On applying AI-driven flight data analysis for operational spacecraft model-based diagnostics[J]. *Annual Reviews in Control*, 2020, 49: 197-211.

[17] Habib T M A. Artificial intelligence for spacecraft guidance, navigation, and control: a state-of-the-art [J]. *Aerospace Systems*, 2022, 5(4): 503-521.

[18] Shah V. Next-Generation Space Exploration: AI-Enhanced Autonomous Navigation Systems[J]. *Journal Environmental Sciences And Technology*, 2024, 3(1): 47-64.

[19] Gültekin Ö, Cinar E, Özkan K, et al. Real-time fault detection and condition monitoring for industrial autonomous transfer vehicles utilizing edge artificial intelligence[J]. *Sensors*, 2022, 22(9): 3208.

[20] Ćirković M M. Enhancing a person, enhancing a civilization: a research program at the intersection of bioethics, future studies, and astrobiology[J]. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*, 2017, 26(3): 459-468.

[21] Li J, Lim K, Yang H, et al. AI applications through the whole life cycle of material discovery[J]. *Matter*, 2020, 3(2): 393-432.



# 总结与展望

## 总结与展望

人工智能(AI)已经成为一项变革性的技术,为能源、气候变化、工业和航天等多个领域带来了巨大机遇。在能源领域,AI已被广泛应用于提高效率、优化生产和改善电网管理。通过集成基于AI的预测分析,能源公司可以更好地预测需求,优化资源配置,促进可再生能源的整合,从而推动能源转型向可持续发展的方向。在气候变化领域,基于AI的模型和模拟有望深化我们对复杂气候系统的理解,实现更准确的预测,并制定针对性的减缓和适应策略。基于AI的遥感和数据分析有助于监测环境变化、检测毁林,并为决策者和环保组织提供支持。工业领域也见证了AI带来的变革性影响,从优化制造过程和供应链管理,到提

高产品质量和减少浪费。基于AI的自动化、预测性维护和智能决策支持系统正在革新工业运营方式,提高效率、生产力和可持续性。在航天行业,AI正推动自主飞行、卫星数据分析和空间探索等领域的创新。基于AI的系统可以提高航空器的可靠性和安全性,优化航线,支持航天任务的规划和控制。此外,AI驱动的数据处理和解释还可以从太空传感器和仪器生成的大量数据中发现新的洞见。随着AI能力的不断提升,这些关键领域的潜在应用和协同效应有望指数级增长。通过无缝集成AI技术,我们可以开辟可持续发展、环境保护、工业优化和空间探索的新途径,最终为人类建设一个更加繁荣和有韧性的未来做出贡献。

注

本文档采用包括但不限于ChatGPT、文心一言等AIGC模型进行语言润色。



腾讯研究院



香港中文大學(深圳)

The Chinese University of Hong Kong, Shenzhen