

计算机 科学技术与应用

Technology and Application of Computer Science



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2024 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



Editorial Board Member

刘锐 中石油中亚天然气管道有限公司

Rui Liu Trans-Asia Gas Pipeline Co.,Ltd.

崔芸 江苏科技大学

Yun Cui Jiangsu University of Science and Technology

刘婉婷 鸿富锦（郑州）精密电子有限公司

Wanting Liu HongFuJin(ZhengZhoHon) Precision Electronitronic Company
Limited.

计算机科学技术 与应用

Technology and Application of Computer Science

第1卷 第2期 2024年10月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《计算机科学技术与应用》编辑部

ISSN(O): 2998-8926

ISSN(P): 2998-8934

地址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey
Park, CA 91754

网址: <https://www.artdesignp.com>

本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权
转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事
项如下:

- 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、
翻译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著
作权在世界范围内免费转让给本刊。
- 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将
承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单
位造成的全部损失。
- 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作
者的身份真实。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



- | | | |
|-----|---|---|
| 001 | 以云计算为核心的计算机技术体系支撑企业数字化转型策略 | 李子杰 |
| | Cloud Computing as the Core of Computer Technology System Supporting Enterprise Digital Transformation Strategy | Li Zijie |
| 004 | 面向智慧气象的北斗探空系统发展趋势分析 | 吴宇 |
| | Development Trend Analysis of Beidou Atmospheric Sounding System for Smart Meteorology | Wu Yu |
| 007 | 从 Deep Seek 爆火看中国 AI 的“破圈时刻” | 席国素 |
| | Look at the "Broken Circle Moment" of Chinese AI from the Deep Seek Fire | Xi Guosu |
| 010 | 多源协同与立体感知融合一体化的智慧路缘石系统研究 | 王柯璇, 黎帅, 宋晨城 |
| | Research on Intelligent Curb System Based on Integration of Multi-Source Collaboration and Stereo Perception | Wang Kexuan, Li Shuai, Song Chencheng |
| 014 | 计算机控制技术在工业自动化控制中的应用策略 | 贾龙 |
| | Application Strategies of Computer Control Technology in Industrial Automation Control | Jia Long |
| 017 | Chiplet 生态系统的构建: EDA/IP、设备与材料的协同发展 | 张志伟, 李岳龙, 林福荣, 冯明宪 |
| | The Construction of the Chiplet Ecosystem: the Coordinated Development of EDA/IP, Devices and Materials | Zhang Zhiwei, Li Yuelong, Lin Furong, Feng Mingxian |
| 021 | 医院网络安全风险评估与技术防御体系构建 | 杜东林 |
| | Construction of Network Security Risk Assessment and Technical Defense System in Hospitals | Du Donglin |
| 024 | 基于大数据的中山市三角镇网格系统数据管理与分析研究 | 李文远 |
| | Research on Data Management and Analysis of Sanjiao Town Grid System in Zhongshan City Based on Big Data | Li Wen Yuan |
| 027 | 基于 AI 的智能通信网络管理与优化策略 | 许斌 |
| | Intelligent Communication Network Management and Optimization Strategy Based on AI | Xu Bin |

以云计算为核心的计算机技术体系支撑企业数字化转型策略

李子杰

长城（天津）质量保证中心有限公司，天津 300071

摘要： 本文探讨以云计算为核心的计算机技术体系对企业数字化转型的支撑策略。云计算凭借其架构、关键技术为转型提供基础。通过构建评估体系、推进两化融合、契合 DCMM 标准等举措，助力企业提升竞争力。实施时需制定战略、选对模式、变革组织与流程、培养引进人才、强化数据治理与安全。

关键词： 云计算；企业数字化转型；两化融合；DCMM；实施策略

Cloud Computing as the Core of Computer Technology System Supporting Enterprise Digital Transformation Strategy

Li Zijie

CHINA GREAT WALL(TIANJIN) QUALITY ASSURANCE CENTRE CO., LTD. Tianjin 300071

Abstract： This paper explores the supporting strategies of the computer technology system with cloud computing as its core for enterprise digital transformation. Cloud computing provides a foundation for transformation with its architecture and key technologies. Through measures such as constructing an evaluation system, promoting the integration of informatization and industrialization, and aligning with DCMM standards, it helps enterprises enhance their competitiveness. When implementing, it is necessary to formulate strategies, select the right model, reform organizations and processes, cultivate and introduce talents, and strengthen data governance and security.

Keywords： cloud computing; enterprise digital transformation; integration of informatization and industrialization; DCMM; implementation strategy

引言

在数字化时代，企业数字化转型是提升竞争力、实现可持续发展的关键。云计算作为信息技术重大革新，为企业数字化转型提供灵活性、创新能力及高效数据处理存储能力。此外，数字化转型评估、两化融合和数据管理能力成熟度模型（DCMM）也十分重要，它们为企业数字化转型提供方向指引、融合路径和数据管理规范，推动企业全面推进数字化变革。

一、云计算技术体系基础

（一）云计算架构与原理

云计算技术是一个全新的计算技术模型，主要是以业务外包、网络资源租赁和应用托管为核心内容的计算机技术。通过云计算技术，将计算任务分布于由计算机网络所构建的资源架构中，使用者就能够得到相关的资讯业务、运算服务。而云计算服务实际上也反映了信息技术产业的服务宗旨，为利用互联网访问其他业务网络资源、进行信息共享提供了很大的方便^[1]。基于虚拟化技术，将物理资源抽象成虚拟资源池，供用户按需动态获取资源，实现高效利用与灵活调配。IaaS 让企业能按需租用云服务器等，节省硬件投入；PaaS 为软件开发等提供平台，降低成本与门槛；SaaS 让企业经互联网使用 ERP、CRM 等软件，简化采购安

装流程。

（二）云计算关键技术

云计算的虚拟化技术是关键，在同一物理服务器创建多个相互隔离的虚拟机，它们能独立运行操作系统与应用程序，提高服务器利用率、降低硬件成本，实现快速部署迁移，增强系统灵活性和可靠性。分布式存储技术如 Ceph，将数据分散于多节点，借冗余备份和校验保障安全，满足大规模存储需求，提升数据访问效率^[2]。云安全技术涵盖多方面，为企业数字化转型筑牢安全防线。

二、基于云计算的企业数字化转型评估

（一）数字化转型评估指标体系构建

数字化转型评估指标体系需涵盖多维度来衡量企业数字化转

型进程与成效。战略与组织维度评估数字化战略明确性、适应性以及组织架构的支持度，如是否有专门领导团队、沟通协作机制是否适配。技术应用维度关注云计算、大数据等新兴技术应用水平，像云计算资源使用率、大数据分析应用深度。业务流程维度考察业务流程数字化和优化效果，包括订单、生产流程的自动化与智能化程度等。客户体验维度用客户满意度、留存率和复购率评估对客户关系管理和市场拓展的影响。成本与效益维度分析运营成本降低、收益增长及投资回报率。

（二）云计算支撑下的评估数据采集与分析

云计算平台强大的数据采集与处理能力为数字化转型评估提供了有力支持。企业可通过云平台集成各业务系统的数据接口，实时采集生产、销售、客户、财务等多源数据，避免了数据孤岛现象。利用云计算的大数据分析工具和机器学习算法，对采集到的数据进行深度挖掘与分析^[9]。例如，通过分析客户行为数据，了解客户需求偏好与购买趋势，为客户体验维度的评估提供依据；对生产数据进行分析，可评估业务流程的效率与质量，为业务流程维度的评估提供量化数据。同时，基于云计算的数据分析还能实现实时监测与预警，及时发现数字化转型过程中的问题与风险，为企业调整转型策略提供数据驱动的决策支持。

三、云计算推动两化融合

（一）两化融合内涵与意义

两化融合是信息化与工业化的深度结合，以信息化带动、工业化促进的方式，走新型工业化道路，核心是信息化支撑，追求可持续发展。它在技术、产品、业务、产业四方面展开，技术融合推动交叉创新，产品融合提升附加值，业务融合提高运营效率，产业衍生催生新兴产业，对企业提升创新、效率，降成本、强竞争力意义重大，是数字化转型的重要途径。

（二）云计算在两化融合中的关键作用

云计算在两化融合进程中作用关键。它搭建统一技术平台，整合工业生产里的各类信息系统与设备，于生产制造环节，借云平台可远程监控生产设备、诊断故障、智能运维，利用云计算强大计算能力实时分析生产数据，优化工艺参数，提升生产效率和产品质量，企业还能将生产管理等系统迁移至云端，集中管理共享数据，助力不同部门协同。其按需付费模式降低工业企业尤其中小企业信息化建设门槛和成本，企业可按需在云平台快速部署应用 ERP、MES、SCM 等软件，实现管理数字化智能化，且能随云平台服务更新获取新技术应用，深化信息化应用^[4]。另外，云计算作为工业互联网基础支撑，推动设备、系统、数据互联，构建工业互联网平台，促进产业链企业数据共享与业务协同，如供应商依云平台信息调整供货，生产企业据此优化生产库存策略，提升产业链整体效率与竞争力。

四、云计算与数据管理能力成熟度模型（DCMM）

（一）DCMM 概述

数据管理能力成熟度模型（DCMM）是我国数据管理领域首个国家标准，用于评估企业数据管理能力成熟度。它从数据战略、治理、架构等八个关键方面，将企业数据管理能力成熟度分为初始级、受管理级等五个等级^[9]。通过 DCMM 评估，企业能明晰自身数据管理状况，找出问题，进而制定提升策略，提升管理水平，挖掘数据资产价值。

（二）云计算对 DCMM 各能力域的支撑

云计算对企业 DCMM 各能力域助力显著。在数据战略上，云平台强大的数据处理分析能力，助力企业分析海量内外部数据，洞察市场趋势、客户需求与行业竞争态势，进而制定契合企业发展战略的数据战略目标与规划，借助大数据分析工具挖掘市场数据，为产品研发、市场拓展等决策提供支撑。数据治理方面，云计算平台提供丰富工具与技术，用于制定管理数据标准，保障数据一致性与规范性；通过数据质量管理工具清洗、转换、校验数据，提升质量；利用数据安全技术保障数据在存储、传输、使用时的安全，其分布式架构和多租户管理能力还便于统一治理不同部门业务数据，提高治理效率。云计算助力构建灵活可扩展的数据架构，基于云平台分布式存储和计算资源，能构建数据仓库与数据湖，实现各类数据统一存储管理，且可依业务发展和数据量增长灵活调整架构^[9]。在数据应用上，云平台丰富工具和服务推动创新，企业可利用大数据分析、人工智能等技术开展数据挖掘、预测分析、智能决策等应用，还能开发定制化应用。云服务提供商具备专业安全防护能力，从数据存储加密、传输安全协议到精细访问控制，以及数据备份恢复，全方位保障数据安全。云计算平台的自动化工具和实时监控功能助力提升数据质量，实时监测关键指标并预警，自动处理错误重复数据，还支持建立评估体系。基于云计算构建的数据标准管理系统方便企业制定、发布、维护数据标准，借助协同能力让不同部门共同参与，确保标准科学适用。云计算为数据生存周期全流程提供支持，从多源数据自动采集整合，到安全存储、高效应用及安全销毁，都有对应技术和工具。

五、云计算支撑企业数字化转型的实施策略

（一）制定基于云计算的数字化转型战略

企业应结合自身业务特点、市场竞争态势以及发展战略目标，制定明确的基于云计算的数字化转型战略。明确数字化转型的愿景、目标和实施路径，确定云计算在企业数字化转型中的定位与作用^[7]。例如，对于制造业企业，可将云计算作为实现智能制造、优化供应链管理的核心技术，通过云平台整合生产设备、管理系统和供应链资源，实现生产过程的智能化控制和产业链的协

同运作。同时，将数字化转型战略纳入企业整体战略规划，确保各部门协同推进，为数字化转型提供战略保障。

（二）选择合适的云计算服务模式

云计算服务模式包括公有云、私有云和混合云。企业需根据自身需求、数据安全要求以及成本预算等因素，选择合适的云服务模式。对于数据安全要求较高、业务系统复杂且对资源可控性有较强需求的企业，可考虑采用私有云或混合云模式，自行搭建或部分搭建云基础设施，确保数据的安全性与可控性。而对于中小企业或对成本较为敏感、业务需求相对灵活的企业，公有云模式具有成本低、部署快、可扩展性强的优势，可通过租用公有云服务快速实现数字化转型^[9]。例如，一家初创企业在开展电商业务时，可选择公有云平台上的电商解决方案，快速搭建电商网站和运营系统，降低前期投入成本。

（三）推动企业组织架构与流程变革

云计算支撑下的数字化转型需要企业对组织架构和业务流程进行相应变革。在组织架构方面，设立专门的数字化转型团队或部门，负责云计算技术的应用推广、数据管理以及数字化项目的实施与协调。打破传统部门之间的壁垒，促进跨部门协作与沟通，构建以数据驱动、敏捷响应为特点的组织架构。在业务流程方面，利用云计算技术对现有业务流程进行优化和再造，实现业务流程的自动化、数字化和智能化。例如，通过云平台实现订单处理流程的自动化，从客户下单、订单审核、库存查询到发货配送，整个流程无需人工干预，提高流程效率和准确性。

（四）加强人才培养与引进

云计算技术的应用和企业数字化转型需要既懂云计算技术又熟悉企业业务的复合型人才。企业应加强人才培养与引进工作，

一方面，对内部员工进行云计算技术、数字化转型理念以及相关业务技能的培训，提升员工的数字化素养和能力，使其能够适应数字化转型带来的工作变化^[9]。例如，组织员工参加云计算技术培训课程、数字化转型案例分享会等。另一方面，积极引进外部专业人才，如云计算架构师、数据分析师、数字化转型专家等，充实企业数字化人才队伍，为数字化转型提供人才保障。

（五）强化数据治理与安全保障

在云计算环境下，数据治理和安全保障至关重要。企业应建立完善的数据治理体系，明确数据管理责任，制定数据标准和规范，加强数据质量管理，确保数据的准确性、完整性和一致性^[10]。同时，加强数据安全防护，采用先进的数据加密、访问控制、身份认证等技术，防止数据泄露、篡改和滥用。建立数据安全应急响应机制，应对可能出现的数据安全事件。例如，定期对数据进行备份，制定数据恢复计划，确保在数据遭受破坏或丢失时能够及时恢复，保障企业业务的连续性。

六、结束语

云计算是信息技术核心，为企业数字化转型提供技术支撑与创新驱动力。构建以其为核心的技术体系，可助力企业精准评估转型、推进两化融合、提升数据管理成熟度，增强竞争力与可持续发展能力。实施中，企业要制定战略、选对云服务模式，推动组织变革，加强人才培养引进，强化数据治理与安全，未来云计算将助力企业实现跨越发展。

参考文献

- [1] 单强. 浅谈计算机云计算安全服务的架构 [J]. 电子元器件与信息技术, 2022, 6(07): 138-141. DOI: 10.19772/j.cnki.2096-4455.2022.7.035.
- [2] 王华, 郭思媛. 供应商地理距离与企业数字化转型 [J]. 甘肃社会科学, 2023, (06): 202-213. DOI: 10.15891/j.cnki.cn62-1093/c.20231219.003.
- [3] 肖丽芳. 企业数字化转型与跨区域投资 [D]. 山西财经大学, 2023. DOI: 10.27283/d.cnki.gsxcc.2023.001739.
- [4] 卢花兰. 数字经济时代制造业企业数字化转型升级的路径 [J]. 现代企业, 2023, (12): 43-45.
- [5] 郭秀磊. 数字化转型对企业全要素生产率的影响研究 [D]. 山东大学, 2023. DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2023.007685.
- [6] 张建嘉. 数字化转型对企业股市估值的影响及机制研究 [D]. 山东大学, 2023. DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2023.007625.
- [7] 陈海东. 数字化转型促进制造业高质量发展的机制与效应研究 [D]. 江西财经大学, 2023. DOI: 10.27175/d.cnki.gjxcu.2023.002018.
- [8] 方宏伟. 物流企业数字化转型影响因素研究 [D]. 华北理工大学, 2023. DOI: 10.27108/d.cnki.ghetu.2023.000601.
- [9] 曲安国. 数字化转型、知识资源协奏与企业绩效 [D]. 华北理工大学, 2023. DOI: 10.27108/d.cnki.ghetu.2023.000269.
- [10] 樊浩南. 上市企业数字化转型与银行信贷融资 [D]. 东北财经大学, 2023. DOI: 10.27006/d.cnki.gdbcu.2023.001451.

面向智慧气象的北斗探空系统发展趋势分析

吴宇

肃北蒙古族自治县马鬃山气象站, 甘肃 酒泉 735000

摘 要 : 全球气候变化背景下, 气象监测与预报至关重要, 智慧气象和北斗探空系统应运而生。本文阐述智慧气象概念、发展及北斗探空系统组成、原理与应用现状, 分析其高精度定位等关键技术。指出该系统技术向高精度与智能化发展, 应用领域不断拓展, 产业获政府支持并形成生态。但也面临技术与国际有差距、应用缺乏共享机制、产业协同不足等问题, 为此提出加大研发、构建共享平台、加强政策引导等对策, 助力气象发展与防灾减灾。

关 键 词 : 智慧气象; 北斗探空系统; 关键技术; 发展趋势; 挑战与对策

Development Trend Analysis of Beidou Atmospheric Sounding System for Smart Meteorology

Wu Yu

Mazongshan Meteorological Station, Subei Mongolian Autonomous County, Jiuquan, Gansu 735000

Abstract : In the context of global climate change, meteorological monitoring and forecasting are crucial, leading to the emergence of smart meteorology and the Beidou atmospheric sounding system. This article elucidates the concept and development of smart meteorology, as well as the composition, principles, and current application status of the Beidou atmospheric sounding system. It analyzes key technologies such as high-precision positioning inherent to the system. The article points out that the system's technology is evolving towards higher precision and intelligence, with continuously expanding application fields and industry support from the government, forming an ecosystem. However, it also faces challenges such as technological gaps compared to international standards, lack of a shared mechanism for applications, and insufficient industrial collaboration. To address these issues, the article proposes countermeasures such as increasing research and development, building shared platforms, and strengthening policy guidance to support meteorological development and disaster prevention and reduction.

Keywords : smart meteorology; beidou atmospheric sounding system; key technologies; development trends; challenges and countermeasures

引言

随着全球气候变化加剧, 气象监测与预报的准确性和及时性变得愈发重要。智慧气象作为新一代气象业务形态, 融合了大数据、人工智能等先进技术, 正引领气象行业变革。北斗探空系统基于我国自主研发的北斗卫星导航系统, 为气象探测提供了高精度、高可靠性的数据支持。研究面向智慧气象的北斗探空系统发展趋势, 有助于提升气象监测能力, 优化气象服务, 为防灾减灾、应对气候变化等提供有力保障, 对推动气象事业高质量发展具有重要意义。

一、智慧气象与北斗探空系统概述

(一) 智慧气象的概念与发展

近年来, 信息技术发展迅猛, 气象部门作为典型的信息技术应用部门, 其业务发展依赖于信息化水平。时任中国气象局局长指出, 要发展观测智能、预报精准、服务开放、管理科学的智慧气象, 以促进气象与经济社会的融合发展。智慧气象依托于高科技和互联网, 建设包含人工智能、大数据分析等先进技术的气象

服务系统, 可为农业生产生活提供便捷准确的气象信息, 有效提高气象工作服务质量^[1]。智慧气象的发展经历了从信息化到智能化的演进过程。初期以气象数据采集网络和信息处理系统建设为主, 实现气象数据数字化。随着技术进步, 智慧气象已深度融入社会经济各领域: 为城市规划提供气候模拟支持, 助力交通管理实时调度, 实现农业精准化生产。

(二) 北斗探空系统的组成与原理

北斗探空系统由探空仪、地面接收设备和数据处理中心构

成，是气象探测领域的创新成果。探空仪集成温度、湿度等多要素高灵敏度传感器，借助气球升空，实时精准采集大气参数。北斗卫星短报文通信为其与地面接收设备搭建数据传输通道，确保气象数据实时下传。数据处理中心运用专业算法和模型，对海量数据深度处理，转化为有价值的气象信息^[2]。该系统依托北斗卫星高精度定位和通信能力稳定运行，通过多频信号接收和差分定位追踪探空仪位置，凭借可靠通信链路保障数据传输。它融合北斗导航定位与气象探测需求，实现大气垂直剖面数据自动化采集与智能化处理，突破传统探空系统在数据传输和定位精度的瓶颈，显著提升气象探测的时效性与准确性，为气象监测等提供重要技术支撑。

（三）北斗探空系统在智慧气象中的应用现状

当前，北斗探空系统已在我国部分地区气象监测中发挥重要作用，尤其在暴雨洪涝、台风等灾害频发区优势显著。暴雨灾害监测时，它能快速捕捉高空大气温湿度、气压变化数据，为气象部门发布预警提供关键依据，极大提升预警及时性与准确性。台风灾害监测时，探空仪在恶劣气象条件下稳定工作，助力气象专家精准掌握台风强度、移动路径等信息，提升预报精度与时效。不过，北斗探空系统应用范围存在局限，未实现全国覆盖，偏远地区和特殊地形区域应用薄弱^[3]。同时，系统与其他气象监测设备、数据平台的兼容性有待提高，稳定性也需在复杂气象条件下持续优化，以契合智慧气象发展需求。

二、北斗探空系统关键技术分析

（一）高精度定位技术

在北斗探空系统里，高精度定位技术是精准测定探空仪位置的关键。电离层与对流层会延迟卫星信号，影响定位精度。但北斗卫星的多频信号接收技术能同时接收不同频率信号，这些信号穿越电离层和对流层时延迟特性不同，经综合分析计算，可有效抵消延迟误差。差分定位技术进一步提升精度。在已知精确坐标的地面参考站设接收机，与探空仪接收机同时接收卫星信号。参考站算出测量值与已知坐标差值，即误差修正信息，发送给探空仪。探空仪用此信息校正测量数据，实现厘米级甚至毫米级超高定位精度^[4]。

（二）数据采集与传输技术

探空仪上搭载的各类传感器是气象数据采集的关键，随着材料科学、MEMS 技术发展，其精度和稳定性大幅提升。比如新一代温度传感器采用先进热敏材料与工艺，测量精度达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内，在不同温湿度环境下性能稳定；湿度传感器利用新型传感原理，提高了对水汽的感知灵敏度和测量准确性。数据传输方面，北斗卫星短报文通信提供基础保障，但其覆盖范围广、不受地理条件限制。面对气象监测对数据传输速率和容量的更高需求，目前正探索融合 5G 等高速通信技术。5G 的低时延、高带宽、大连接数特点，能满足探空仪大量数据快速传输需求。此外，采用对称加密与非对称加密结合的方式，可以保障数据传输安全，防止数据被窃取、篡改。

（三）数据处理与分析技术

随着气象探测技术发展，北斗探空系统数据量爆发式增长，高效的数据处理与分析技术成为关键。大数据分析技术通过分布式存储和并行计算框架，快速处理海量历史和实时数据^[5]。利用关联规则挖掘、聚类分析等算法，能从数据中发现隐藏的气象信息和规律，比如通过关联分析揭示气象要素潜在关系，助力气象灾害成因分析与预测。人工智能算法在气象数据处理中作用愈发重要。机器学习算法如 SVM、决策树，依据历史数据训练建立气象要素预测模型。深度学习算法像 CNN、RNN 及 LSTM 等，擅长处理时空特征气象数据。其中 LSTM 能捕捉气象数据时间序列特征，精准预测气象要素未来变化趋势，大幅提高气象预报准确性和可靠性，为气象灾害预警、气候研究提供科学决策依据。

三、北斗探空系统发展趋势分析

（一）技术发展趋势

在科技迅猛发展的当下，北斗探空系统技术向高精度与智能化加速前行。定位技术作为核心，融合机器学习、深度学习等前沿技术优化算法，挖掘卫星信号隐藏信息，有效降低复杂环境干扰，显著提升定位精度与可靠性，即便气象条件复杂，也能精准测定探空仪位置，为气象数据空间定位奠定坚实基础。数据采集方面，新型传感器研发成为关键。不仅要提高现有气象要素测量精度，还会拓展测量维度，实现对大气化学成分、气溶胶浓度等的精准测量。新型传感器将兼具高灵敏度与稳定性，朝着微型化、低功耗发展，满足探空仪长时间、远距离探测需求。数据处理与分析领域，人工智能与大数据技术深度融合^[6]。利用大数据技术实现气象数据高效存储、管理与快速检索，借助强化学习等人工智能算法挖掘潜在规律，实现气象数据深度分析与可视化展示，提升气象数据应用价值。

（二）应用发展趋势

北斗探空系统的应用范围正不断拓宽，从传统气象监测预报领域，逐步向多行业深度渗透。航空领域，其发挥的作用愈发关键。通过提供高精度气象数据，能够帮助航空公司提前规划飞行路线，避开恶劣天气区域，保障飞行安全与准点率。在海洋领域，助力海洋气象监测和海洋灾害预警。实时掌握海洋上空气象变化，为海上作业、船舶航行提供气象保障，降低海洋灾害带来的损失。农业领域，基于北斗探空系统的气象数据，实现精准农业。通过分析气象条件，指导农民合理安排农事活动，如播种、灌溉、施肥、病虫害防治等，提高农业生产效率和农产品质量。此外，在智慧城市建设中，北斗探空系统为城市精细化管理提供有力支撑。结合城市气象环境特点，为城市规划、交通管理、能源调度等提供气象依据，优化城市运行效率，提升居民生活品质。

（三）产业发展趋势

随着北斗探空系统的深入发展，相关产业迎来蓬勃发展新机遇。产业链上下游企业协同合作态势日益明显，从探空设备制造、数据采集处理服务，到应用场景开发拓展，逐步形成完整

的产业生态^[7]。上游设备制造企业不断加大研发投入，提升探空仪、地面接收设备等产品性能和质量，推动设备国产化、自主化进程。中游数据服务企业，通过整合、分析气象数据，为下游应用提供精准数据支持。下游应用开发企业则针对不同行业需求，开发多样化的应用产品和解决方案，实现气象数据的价值转化。政府层面也将加大政策支持力度，推动北斗探空系统产业标准化和规模化发展^[8]。制定统一的技术标准和规范，促进产业健康有序发展。引导资源向优势企业集聚，培育行业龙头企业，带动产业整体竞争力提升，在全球气象探空领域占据重要地位。

四、挑战与对策

（一）北斗探空系统发展面临的挑战

尽管我国北斗探空系统技术取得显著进展，但与国际先进水平仍有差距。其一，在传感器领域，部分高端传感器依赖进口，自主研发产品精度和稳定性有待提升。如测量大气痕量气体的传感器，检测下限和长期稳定性与国际产品差距较大，限制了大气成分的精细化探测^[9]。其二，应用层面，不同行业对气象数据需求差异明显。交通行业依赖短时效、高精度的临近气象预报保障安全；农业领域更关注长期气候趋势和关键农时节点气象，用于种植规划与田间管理。但目前缺乏统一高效的数据共享机制与平台，难以满足行业多样化需求，气象数据应用价值未充分释放。其三，产业发展方面，相关产业协同不足。产业链上下游沟通合作欠缺，各自为政。上游设备制造企业不了解下游需求，导致产品研发与市场脱节；中游数据服务企业难以整合上下游优势资

源，制约产业快速发展和规模化扩张。

（二）推动北斗探空系统发展的对策建议

面对北斗探空系统发展困境，需多维度发力。第一，技术上，政府与企业加大研发投入，设立专项科研基金，激励攻克关键技术，如推动高校、科研院所与企业合作研发传感器，提升自主创新能力。同时，积极参与国际合作，借国际科研项目和学术会议吸收先进技术与经验。第二，应用层面，政府牵头制定气象数据全流程标准，搭建跨行业数据共享平台，整合多领域数据，开放接口、开展交易实现高效流通。针对不同行业开发定制服务，如为交通提供实时路况气象预警，为农业打造智能农事决策助手^[10]。第三，产业发展中，政府强化政策引导，出台税收优惠、产业补贴等政策，鼓励企业合作，推动建立产业联盟，培育龙头企业，带动产业协同发展，提升国际竞争力。

五、结束语

本文对面向智慧气象的北斗探空系统发展趋势进行了全面分析。研究表明，北斗探空系统在智慧气象领域具有广阔的发展前景，但也面临诸多挑战。通过不断技术创新、拓展应用领域和加强产业协同，北斗探空系统将在气象监测与预报、防灾减灾等方面发挥更大作用。未来，随着相关技术的不断进步和应用的深入拓展，北斗探空系统有望成为全球气象探空领域的重要力量，为应对全球气候变化和保障社会经济发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 王子一, 安洋, 邢军. 信息化背景下四平市智慧气象为农服务发展对策研究 [J]. 内蒙古科技与经济, 2023, (15): 53-55+64.
- [2] 王雅萍, 涂满红, 缪明榕, 等. 北斗卫星导航系统在气象行业的应用 [J]. 卫星应用, 2023, (10): 42-48.
- [3] 车辉, 刘倩. 给北斗导航探空仪装“眼睛” [N]. 工人日报, 2023-08-30(007).DOI: 10.28277/n.cnki.ngrrb.2023.004267.
- [4] 刘倩, 李悦, 史光浩. 我国高空气象观测转型升级记 [N]. 中国气象报, 2023-07-31(003).DOI: 10.28122/n.cnki.ncqxb.2023.001330.
- [5] 毛晨. 平流层平漂式探空温湿度传感器设计 [D]. 南京信息工程大学, 2022.DOI: 10.27248/d.cnki.gnjqc.2022.000999.
- [6] 郭立杰. ERA5 大气再分析资料增强的北斗 /GNSS 精密单点定位研究 [D]. 桂林理工大学, 2022.DOI: 10.27050/d.cnki.gglgc.2022.000139.
- [7] 简菊芳. 新型智能北斗探空系统为气象探空发展提供“中国方案” [N]. 中国气象报, 2021-12-21(001).DOI: 10.28122/n.cnki.ncqxb.2021.001728.
- [8] 冯鹏. GNSS 对流层误差模型研究及其气象学应用 [D]. 武汉大学, 2021.DOI: 10.27379/d.cnki.gwhdu.2021.000766.
- [9] 段晓梅, 曹云昌. 北斗和 GPS 反演大气可降水量的对比分析 [J]. 气象, 2018, 44(12): 1575-1582.
- [10] 林春霏, 左常圣, 蔡俊华, 等. 基于无人机的海表环境智能监测系统设计与应用 [J]. 海洋信息, 2020, 35(02): 17-24.DOI: 10.19661/j.cnki.mi.2020.02.004.

从 Deep Seek 爆火看中国 AI 的“破圈时刻”

席国素

深圳北理莫斯科大学，广东 深圳 518100

摘要： Deep Seek，作为一款由中国人工智能团队研发的大型语言模型，自其发布以来，便以卓越的技术能力和广泛的应用场景迅速走红全球，成为业界关注的焦点。本文旨在通过分析 Deep Seek 的爆火现象，探讨中国 AI 发展的“破圈时刻”，解码其背后的技术突围、场景穿透与生态构建的深层逻辑，并梳理中国 AI 发展的破圈轨迹与动力机制。

关键词： Deep Seek；中国 AI；“破圈时刻”

Look at the "Broken Circle Moment" of Chinese AI from the Deep Seek Fire

Xi Guosu

Shenzhen MSU-BIT University, Shenzhen, Guangdong 518100

Abstract： Deep Seek, as a large-scale language model developed by China's artificial intelligence team, has become the focus of attention in the industry since its release with its excellent technical capabilities and a wide range of application scenarios. By analyzing the explosive phenomenon of Deep Seek, this paper aims to explore the "Broken Circle Moment" of China's AI development, decode the deep logic behind its technological breakthrough, scene penetration and ecological construction, and sort out the breaking track and dynamic mechanism of China's AI development.

Keywords： Deep Seek; Chinese AI; "Broken Circle Moment"

一、破圈时刻的行业隐喻

（一）现象级事件

Deep Seek 在中文综合评测榜单上取得了突破性成绩，展现了其在自然语言处理领域的强大实力。其对于中文语境的理解与表达能力，不仅超越了众多国际竞品，更为中国 AI 技术的发展树立了新的标杆。在数学推理（GSM8K）榜单上，Deep Seek 同样表现出色，展现了其强大的逻辑推理与数学计算能力。这一成就不仅证明了 Deep Seek 在复杂问题求解方面的潜力，也为中国 AI 在基础科学领域的应用探索提供了新的方向^[1]。

（二）破圈概念的产业解读

Deep Seek 的爆火，不仅是一次技术上的突破，更是一次从技术到市场双向跨越的典范。其成功不仅在于技术层面的创新，更在于将技术转化为实际应用，赢得了市场的广泛认可。这一过程中，Deep Seek 不仅展现了中国 AI 技术的实力，更为中国 AI 产业的发展提供了新的动力。

（三）研究价值：解码中国 AI 发展的范式转变与生态重构

Deep Seek 的爆火现象，为研究中国 AI 发展的范式转变与生态重构提供了宝贵的案例。通过分析 Deep Seek 的成功经验，我们可以发现，中国 AI 产业正在经历从技术追赶向技术创新的转变，从单一场景应用向多元化生态构建的拓展。这一过程中，技术创新、市场需求、产业协同、资本助力与人才储备等因素共同构成了中国 AI 发展的动力机制^[2]。

二、Deep Seek 爆火的深层逻辑

（一）技术突围：MoE 架构创新与长文本处理能力的突破

Deep Seek 采用混合专家（Mixture of Experts, MoE）架构，通过引入多个专家网络，实现了模型在处理复杂任务时的灵活性与高效性。这一创新不仅提高了模型的性能，更降低了训练成本，为中国 AI 技术的发展提供了新的思路。Deep Seek 在 MoE 架构的基础上，进一步实现了稀疏专家模型的工程化实践。通过优化模型结构，提高了模型的训练效率与推理速度，为大规模语言模型的应用提供了有力支持。Deep Seek 支持长达 32k 的上下文窗口，这一特性使其在处理长文本、对话生成等任务时表现出色。通过捕捉更长的上下文信息，Deep Seek 能够生成更加连贯、自然的回复，提高了用户体验。

（二）场景穿透：垂直领域的深耕策略

Deep Seek 针对法律、金融、教育等专业场景进行了深度适配，提供了定制化的解决方案。通过引入领域知识库、优化模型结构等方式，提高了模型在专业场景下的表现能力，为行业智能化转型提供了有力支持。通过提供企业级服务，实现了商业化验证。其服务涵盖了智能客服、智能写作、智能分析等多个领域，为企业提供了高效、便捷的智能化解决方案。通过商业化实践，Deep Seek 不仅验证了其技术的可行性，更积累了宝贵的市场经验^[3]。

（三）生态构建：开源战略与开发者社区的协同进化

模型权重与训练框架的开放共享，Deep Seek 采用开源战略，

将模型权重与训练框架开放共享给开发者。这一举措不仅降低了开发者使用 AI 技术的门槛，更促进了开发者社区的协同进化。通过共享资源、交流经验，开发者社区不断壮大，为中国 AI 技术的发展提供了源源不断的动力。Deep Seek 的成功，不仅得益于技术创新与市场需求，更得益于产学研用协同创新的新型范式。通过与企业、高校、研究机构的紧密合作，Deep Seek 实现了技术、人才与市场的深度融合，为中国 AI 产业的发展注入了新的活力。

三、中国 AI 发展的破圈轨迹

（一）发展阶段解构（2016 – 2024）

1. 技术追赶期（2016 – 2020）：算法复现与数据积累

在这一时期，中国的 AI 行业处于起步阶段，主要致力于算法的复现与数据的积累。随着国际上 AI 技术的不断突破，中国的科研机构和企业积极跟进，对先进的算法进行研究和复现，努力掌握核心技术原理。同时，随着互联网的快速发展，中国积累了海量的数据，为 AI 模型的训练提供了丰富的素材。国内的一些大型互联网企业凭借其庞大的用户基础，收集了大量的用户行为数据、文本数据等，这些数据成为了训练 AI 模型的宝贵资源，为后续的发展奠定了坚实的基础^[4]。

2. 应用探索期（2020 – 2022）：场景化试错与商业模式验证

进入到 2020 – 2022 年，中国 AI 行业开始进入应用探索阶段。企业和开发者们将目光投向了各个行业的具体应用场景，试图通过将 AI 技术与实际业务相结合，探索出可行的商业模式。在医疗领域，AI 技术被应用于医学影像诊断、疾病预测等方面；在金融领域，智能风控、智能客服等应用逐渐兴起。然而，在这个过程中也面临着诸多挑战，例如不同行业的场景差异较大，需要针对具体场景进行定制化开发，导致成本较高，且商业模式的验证也并非一帆风顺，很多应用在实际推广中遇到了用户接受度不高、盈利困难等问题^[5]。

3. 生态构建期（2022 – 2024）：技术 – 市场 – 资本的三角共振

从 2022 年到 2024 年，中国 AI 行业迎来了生态构建的关键时期。在技术方面，不断取得新的突破和创新，如深度学习算法的进一步优化、模型架构的改进等。市场方面，随着数字化转型的加速，各行业对 AI 技术的需求日益旺盛，为 AI 的应用提供了广阔的空间。资本也嗅到了 AI 行业的巨大潜力，大量的风险投资和产业基金涌入，为企业的发展提供了充足的资金支持。以 Deep Seek 为例，其在技术上的创新吸引了市场的关注，同时也获得了资本的青睐，得以快速发展，进一步推动了整个行业生态的完善，形成了技术、市场、资本相互促进、协同发展的良好局面。

（二）破圈动力机制

1. 技术突破：从 Transformer 到 MoE 的架构演进

技术突破是中国 AI 实现破圈的核心动力之一。从 Transformer 架构的引入到混合专家模型（MoE）的发展，中国的科研人员和企业不断探索和创新。Transformer 架构的自注意力机制为处理长序列数据提供了有效的方法，使得 AI 模型在自然语言处理等领域取得了重大突破。而 MoE 则进一步提高了模型的效率和性能，通过将不同的专家模块组合在一起，能够在不增加过多计算成本的情况下，提升模型的表达能力和泛

化能力。这些技术突破使得中国的 AI 模型在性能上逐渐与国际领先水平接轨，甚至在某些方面实现了超越，为中国 AI 的破圈提供了坚实的技术支撑^[6]。

2. 市场需求：数字化转型催生的智能化刚需

随着全球数字化转型的加速，各行业对智能化的需求日益迫切，这为中国 AI 的发展提供了广阔的市场空间。在企业数字化转型过程中，需要利用 AI 技术提高生产效率、优化业务流程、提升决策的科学性和准确性。制造业企业利用 AI 实现智能生产调度和质量检测，物流企业通过 AI 优化配送路线和仓储管理。这种市场需求的驱动促使中国的 AI 企业不断创新和发展，以满足各行业的智能化需求，从而推动了中国 AI 行业的破圈发展。

四、破圈背后的挑战与隐忧

（一）技术壁垒的持续突破压力

中国 AI 在破圈过程中，需要在基础理论研究和工程实践能力之间找到平衡。一方面，工程实践能力的提升使得 Deep Seek 等模型能够快速实现性能优化和成本控制，如 Deep Seek 采用自主研发的蒸馏训练策略，在低算力环境下保持高度泛化能力，通过自适应计算分配机制提高 GPU 资源利用率等。然而，在基础理论研究方面，中国仍相对薄弱。与美国相比，在前沿理论发现和机制上存在不足，目前大语言模型的技术壁垒主要依赖数据和算力的持续迭代，而非基础科学突破，这意味着中国要实现从并跑到领跑的跨越，必须加强在基础理论研究方面的投入，推动顶尖科学家与创新企业家的协同合作，形成创新联动机制，为技术的持续突破提供坚实的理论基础^[7]。

算力是 AI 发展的重要支撑，Deep Seek 的成功部分得益于其在算力利用上的优化，但中国在整个算力供给和能效优化方面仍面临挑战。从供给角度看，虽然国产推理卡已能满足大部分需求，但随着 AI 技术的发展和应用场景的拓展，对算力的需求将持续增长，如何确保充足的算力供应是一个关键问题。在能效优化方面，尽管 Deep Seek 通过一些策略降低了能耗，但在大规模数据处理和模型训练中，仍需要进一步提高能效比，以降低成本并提高可持续发展能力。与国际领先水平相比，在相同性能下，中国的一些 AI 系统可能消耗更多的能源，这不仅增加了运营成本，也对环境产生更大压力，因此需要在硬件技术、算法优化等多方面进行创新，以实现算力供给与能效优化的双重提升^[8]。

（二）应用场景的深度拓展难题

在 B 端市场，企业对于 AI 的定制化需求日益增长，但这与规模化发展存在矛盾。不同行业、不同企业有着各自独特的业务流程和数据特点，因此对 AI 解决方案的定制化要求较高。然而，定制化往往意味着更高的成本和更长的开发周期，这与企业追求规模化、快速复制的需求相冲突。在金融行业，对于风险评估模型的定制化需求很高，但要将一个成功的定制化模型推广到整个行业，面临着数据标准、合规性等多方面的挑战。这就需要中国 AI 企业在技术架构和商业模式上进行创新，探索如何在满足定制化需求的同时，实现规模化的应用和推广，提高市场竞争力^[9]。

在 C 端市场，用户体验和价值闭环的构建是关键。Deep Seek 以其开源模式和出色的性能吸引了众多用户，但要实现长期的发展，还需要不断优化用户体验并构建完整的价值闭环。一方面，

要提高产品的易用性和交互性，让非专业用户也能轻松上手并获得价值。目前一些 AI 写作助手在创作风格和内容准确性上还存在不足，需要进一步改进以满足用户多样化的需求。另一方面，要建立起从用户获取到用户留存、再到用户付费的完整价值闭环，通过提供增值服务、个性化推荐等方式，提高用户的忠诚度和付费意愿，实现商业价值的最大化。

（三）国际竞争中的生态位争夺

开源是当前 AI 发展的重要趋势之一，中国在开源社区的话语权建构方面仍有待加强。虽然 Deep Seek 等模型的开源引起了广泛关注，但在全球开源社区中，中国的影响力相对有限。美国的一些开源项目在技术标准、社区治理等方面占据主导地位，中国需要积极参与开源社区的建设，推动国内优秀的开源项目走向国际，提高在开源社区的话语权和影响力。可以通过举办国际开源技术交流活动、加强与国际开源组织的合作等方式，吸引更多的国际开发者参与中国的开源项目，提升中国在全球开源生态中的地位。在国际竞争中，技术标准和伦理规范的制定具有重要意义。中国 AI 要在全球范围内获得更大的发展空间，必须积极参与技术标准和伦理规范的制定。目前，国际上关于 AI 的技术标准和伦理规范仍在不断完善中，中国应抓住机遇，发挥自身在应用场景和数据资源等方面的优势，提出具有中国特色和国际影响力的技术标准和伦理规范建议。在数据隐私保护方面，中国可以结合国内的法律法规和实践经验，为全球 AI 发展提供有益的参考和借鉴，从而在国际竞争中占据有利地位^[10]。

五、破圈之后的产业跃迁路径

（一）技术演进方向

未来中国 AI 的技术演进将朝着多模态融合的方向发展，实现视觉、语言和行动的协同智能。多模态融合能够使 AI 系统更加全面地理解和感知世界，为用户提供更加丰富和自然的交互体验。在智能驾驶领域，车辆不仅需要通过摄像头和雷达等视觉设备感知路况，还需要理解交通标志和语音指令等语言信息，并做出相应的驾驶决策和行动。这就需要中国 AI 企业加强在多模态技术方面的研发，突破不同模态之间的信息融合和协同处理难题，提高 AI 系统的智能化水平。具身智能是另一个重要的技术演进方向，它强调 AI 系统与物理世界的深度交互和融合。通过将数字智能赋予物理实体，如机器人、智能设备等，实现物理世界与数字空间的无缝连接。在智能家居场景中，具身智能可以使智能音箱不仅能够理解用户的语音指令，还能通过与其他智能设备的联动，自动调节室内温度、灯光亮度等，为用户提供更加便捷和智能的生活体验。中国在具身智能领域已经取得了一定的进展，但仍需要在硬件技术、传感器技术和人工智能算法等方面进行不断创新，提高具身智能系统的性能和可靠性。

（二）商业生态重构

随着 AI 技术的发展，模型即服务（MaaS）将成为一种新型的产业分工模式。在这种模式下，AI 模型的开发者将专注于模型的研发和优化，而将模型的部署和应用交给专业的服务提供商。这将促进产业的专业化分工和协同发展，提高整个产业的效率和竞争力。一些大型科技企业可以将自己训练好的模型通过云服务的方式提供给中小企业，中小企业则可以利用这些模型快速

构建自己的 AI 应用，降低开发成本和技术门槛。中国应积极推动 MaaS 模式的发展，培育一批具有国际竞争力的 MaaS 服务提供商，构建完善的 MaaS 产业生态。智能体经济将成为未来 AI 商业生态的重要组成部分，不同类型的智能体将在经济活动中扮演不同的角色，实现生态位的分化。智能客服可以为企业高效提供客户服务，智能投资顾问可以为投资者提供专业的投资建议，智能创作助手可以为创作者提供创意和灵感支持等。中国要在智能体经济领域取得优势，需要加强对不同类型智能体的研发和应用，推动智能体之间的互联互通和协同合作，形成一个多元化、协同化的智能体经济生态系统，为经济发展注入新的动力。

（三）社会价值创造

中国 AI 的破圈将对产业智能化升级产生乘数效应，推动各个产业的变革和发展。在制造业领域，AI 技术可以实现生产过程的智能化控制和优化，提高产品质量和生产效率；在农业领域，AI 可以用于农作物的种植、病虫害监测等，提高农业生产的精细化和智能化水平；在服务业领域，AI 可以提升服务质量和用户体验，创造更多的商业价值。通过产业智能化升级，不仅可以提高产业的竞争力，还能促进经济结构的调整和优化，为中国经济的高质量发展提供有力支撑。AI 的破圈还将引发科学研究范式的智能革命，为科学研究提供新的方法和手段。在生物学、物理学、化学等基础学科领域，AI 可以用于数据分析、模型构建和实验模拟等，加速科学研究的进程，提高研究的效率和准确性。在基因序列分析中，AI 算法可以快速准确地识别基因的功能和结构，为生命科学研究提供重要的支持。中国要积极推动 AI 与科学研究的深度融合，加强跨学科研究和人才培养，为科学技术的创新发展提供新的动力和机遇。

六、结束语

中国 AI 产业的破圈时刻标志着从技术模仿到创新引领的质变临界点。DeepSeek 的突围不仅验证了技术突破的可能性，更揭示了生态重构的必然性。未来的竞争将聚焦于智能技术与社会系统的深度融合，在持续的技术突破、生态重构与价值创造中，中国 AI 产业有望实现从跟跑、并跑到领跑的历史性跨越。

参考文献

- [1] 程鹏，谭浩. 量子人工智能的工程哲学探析 [J]. 工程研究 - 跨学科视野中的工程, 2021, 13(05): 479-491.
- [2] 赵子怡. 人工智能技术对工程造价过程的影响因素研究 [J]. 科技风, 2022, (04): 84-86.
- [3] 王琼. 面向人工智能的建筑工程造价计算性模式研究 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2021, 13(04): 120-124.
- [4] 宋向东. 专家把脉 AI 发展动向中国作为新兴力量已经崛起 [J]. 通信世界, 2019, (31): 25-27.
- [5] 赵春学. 中国 AI 数据安全技术与法律保障 [J]. 人民法治, 2018, (18): 105-107.
- [6] 兼顾发展与安全，积极贡献全球 AI 治理的“中国智慧” [N]. 21 世纪经济报道, 2023-08-15(001).
- [7] 杨园园，崔峻硕，赵佳琪，等. 人工智能技术在机械设计制造中的应用研究 [J]. 信息记录材料, 2023, 24(12): 189-191.
- [8] 汪宽. 基于 AI 视觉分析技术的智慧操场系统发展的应用优势与现实困境 [C]// 中国体育科学学会. 第十三届全国体育科学大会论文摘要集——墙报交流（体育工程分会）. 天津师范大学体育科学学院研究生院, 2023: 3.
- [9] 高琴. 人工智能技术嵌入下新闻传播的发展路径——基于 AI 主持人的应用分析 [J]. 媒体融合新观察, 2023, (05): 32-35.
- [10] 赵皎卉，朱元利. 从“AI+”到“+AI”：人工智能促进全民健身高质量发展的机理与路径 [J]. 西安体育学院学报, 2023, 40(05): 522-531.

多源协同与立体感知融合一体化的智慧路缘石系统研究

王柯璇，黎帅，宋晨城

东北林业大学 土木与交通学院，黑龙江 哈尔滨 150040

摘 要： 随着城市化进程加速，我国城市交通面临拥堵治理效率低、安全预警覆盖不足、道路设施健康监测滞后等核心问题，智慧交通体系建设成为新时代解决问题的关键。本研究设计了一种集成立体化感知、智能化预警与协同化调控的智慧路缘石系统，突破传统路缘石的静态功能，通过多源传感器融合技术，构建“空-路-地”三维感知体系，实时监测交通流量、车辆行为、行人动态及道路结构状态，并结合边缘计算与云端协同平台实现全域交通态势的动态分析。以低成本路侧设施改造为基础，实现了交通感知、风险预警、拥堵治理与设施维护的全链条闭环管理，为城市交通系统的高效运行与安全提升提供了创新性解决方案，具备广泛的适用性与工程落地价值。

关 键 词： 智慧交通；安全预警；车路协同；信号控制；双向警示；智慧路缘石

Research on Intelligent Curb System Based on Integration of Multi-Source Collaboration and Stereo Perception

Wang Kexuan, Li Shuai, Song Chencheng

College of civil engineering and transportation, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040

Abstract： With the acceleration of urbanization, China's urban transportation systems face core challenges including inefficient congestion management, inadequate safety warning coverage, and delayed health monitoring of road infrastructure. The establishment of intelligent transportation systems has become crucial for addressing these issues in the new era. This study proposes a smart curbstone system integrating three-dimensional perception, intelligent warning, and coordinated regulation. Transcending the static functionality of traditional curbstones, the system constructs an "air-road-ground" tri-dimensional perception architecture through multi-source sensor fusion technology. It enables real-time monitoring of traffic flow, vehicle behaviors, pedestrian dynamics, and road structural conditions. By combining edge computing with a cloud-based collaborative platform, the system achieves dynamic analysis of comprehensive traffic situations. Based on low-cost roadside facility modifications, it realizes closed-loop management encompassing traffic perception, risk warning, congestion mitigation, and infrastructure maintenance. This innovative solution provides technical support for enhancing operational efficiency and safety of urban transportation systems, demonstrating extensive applicability and significant engineering implementation value.

Keywords： intelligent transportation systems; proactive safety warning; cooperative vehicle-infrastructure system; adaptive signal control technology; bi-directional hazard notification; smart roadside unit

一、研究背景及意义

随着城市化进程加速，我国城市交通面临拥堵治理效率低、安全预警覆盖不足、道路设施健康监测滞后等核心问题。据交通部统计，2023年国内交通拥堵造成的经济损失高达数千亿元，且因道路设施缺陷引发的交通事故占比超15%。传统交通管理依赖人工巡查与被动式响应，难以实现实时动态调控，亟须智能化升级。

通过分析国内外研究不难发现，在“车-路-云”协同控制中，现有方案多聚焦于“车端”或“云端”，功能集中于车辆交互，对道路设施健康、行人安全等复合风险覆盖不足。而传统路侧设备（如摄像头、信号灯）独立部署，缺乏多源数据融合与协同控制能力，智能化程度低，数据孤岛问题突出。道路健康监测

依赖定期人工巡检，无法实现早期预警与动态养护决策。与此同时，路缘石作为城市道路的基础设施，长期处于静态功能状态，其空间资源与物理特性未被充分挖掘，成为智慧交通体系的“盲区”。

国家《数字交通“十四五”发展规划》明确提出“推动路侧设施智能化改造”，而《2025年中国路缘石行业报告》指出，行业正从传统建材向“绿色化、智能化”转型，透水路缘石、生态材料等新产品需求增长显著。由此可见，智慧路缘石系统通过低成本改造实现功能扩展，契合政策导向与市场需求。^[1]

综上所述，基于目前社会背景和交通现状，本设计提出了一种多源协同与立体感知融合一体化的智慧路缘石系统，多源协同与立体感知融合一体化的智慧路缘石系统，通过多源传感器融合技术，构建“空-路-地”三维感知体系，实时监测交通流量、

车辆行为、行人动态及道路结构状态，并结合边缘计算与云端协同平台实现全域交通态势的动态分析，实现了交通感知、风险预警、拥堵治理与设施维护的全链条闭环管理，为城市交通系统的高效运行与安全提升提供了创新性解决方案，具备广泛的适用性与工程落地价值。

二、系统设计原理

本系统基于多源协同和立体感知建立了智慧路缘石系统，该

系统由硬件装置、智慧交通协同平台以及智慧路缘石交通管理方案三部分组成。下文将分别对三部分内容的设计原理进行阐述。

（一）硬件装置搭建

该系统的硬件装置由三级能源供电单元、环境感知单元、协同预警单元以及控制单元组成。

环境感知单元由多源传感器融合网络和道路摄像头构成，针对智慧路缘石系统的三大核心功能，采用功能导向型传感器选配策略，构建“视觉－物理场”双重感知体系，突破了传统交通感知设备功能单一、部署离散的局限。具体传感器类型如表1所示：

表1 多源传感器融合网络

功能目标	传感器类型	技术参数	部署位置与目的
交通流调控	微波雷达	探测距离 100 m，速度精度 ± 0.1 m/s	路侧杆件，监测主干道车辆速度、密度及排队长度
	压敏薄膜传感器	压力范围 0-100 kN，响应频率 1 kHz	路缘石表层，嵌入间距 0.5 m，检测车辆轴重、通过时间及异常停车行为
道路健康监测	光纤光栅阵列	应变分辨率 $\pm 2 \mu \varepsilon$ ，温度灵敏度 10 $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$	路缘石基底，纵向间隔 1 m，实时监测路基沉降、裂缝扩展及结构微变形
	电容式湿度传感器	分辨率 0.1 mm，量程 0-5 mm	路缘石－路面接缝处，检测积水深度与路面湿滑状态
人车交互预警	固态激光雷达	分辨率 0.1 mm，量程 0-5 mm	路缘石侧面间隔分布，覆盖人行横道盲区和来车方向车道，追踪行人轨迹与车辆相对位置
	红外热成像模块	分辨率 640 $\times$ 480，测温范围 -20~150 $^{\circ}\text{C}$	交叉口路缘石侧面，全天候检测行人动态

本系统将基于以上路缘石传感器网络，与道路摄像头结合，通过时空对齐算法，将视频流与传感器数据进行像素级映射，形成跨模态数据关联。视觉数据弥补了雷达在静止目标检测、语义

理解方面的不足，降低误判率，控制策略精细化：结合视频语义信息，实现从“车流调控”到“特定车辆引导”的粒度升级。“视觉－物理场”协同机制举例如表2：

表2 “视觉－物理场”协同机制举例

感知维度	摄像头功能	互补传感器	协同作用机制
车辆分类	基于 YOLOv8 的车型识别	压敏传感器（轴重检测）	交叉验证车辆类型（如区分卡车 / 轿车）
车道占用率	语义分割车道线（U-Net 模型）	微波雷达（车辆密度）	融合视觉与雷达数据计算实时占有率
事件检测	交通事故 / 违停识别	激光雷达（空间定位）	三维空间坐标映射，精确定位事件位置
信号灯状态	HSV 颜色空间检测	无	独立获取信号相位，支持配时优化

协同预警单元主要包括 LED 灯带、投影灯组、语音提示器等装置。根据实际道路情况选择不同决策，起到安全预警、交通调

控的作用，提高了交互性和可识别性。协同预警单元结构组成如表3：

表3 协同预警单元结构组成

预警模式	硬件组成	部署位置	功能目标
定向声场预警	压电陶瓷扬声器阵列	路缘石侧面	向行人定向播报风险提示
激光投影警示	投影灯组（灯色：白、黄、红）	路缘石侧面嵌入式投射器	路面投射动态警示标识，人行横道两侧投射条形警示线，投射可变车道线及箭头
LED 交互灯带	可变色 LED 灯带（灯色：红、黄、绿）	路缘石顶端	通过灯色变化提醒通行状态和安全预警

在供电单元上，智慧路缘石系统采用太阳能－市电混合供电，并创新性提出余电共享网络概念，形成三级能源供给体系：

一级能源（主供）：嵌入式光伏组件（集成于路缘石顶部左右两端），选用单晶硅光伏板，转换效率 $\geq 22\%$ ，倾斜角度根据城市纬度优化设计；

二级能源（备用）：市政电网接入，通过双向逆变器与光伏系统并联，支持能源互补与余电回馈；

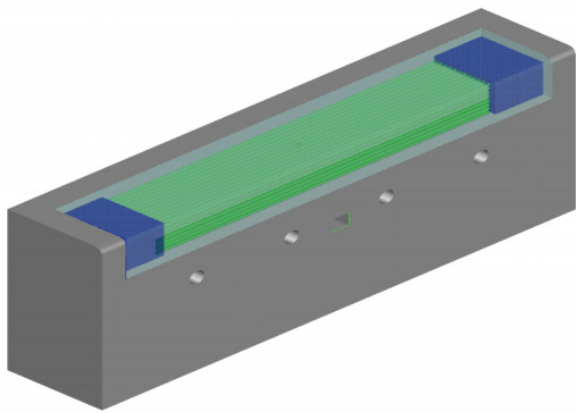
三级能源（共享）：邻近交通设施（路灯、指示灯等）的余电接入，通过智能微电网控制器实现能源动态调度，避免清洁能源浪费。

控制单元包括上位机和下位机，其中上位机采用英伟达 Jetson Orin Nano 核心模组，下位机采用 STM32F407ZET6。环境感知单元将与上位机相连，协同预警单元将与下位机相连。系统收集的车辆和行人相关的参数数据将通过串口进行通信传输，实现实时决策。

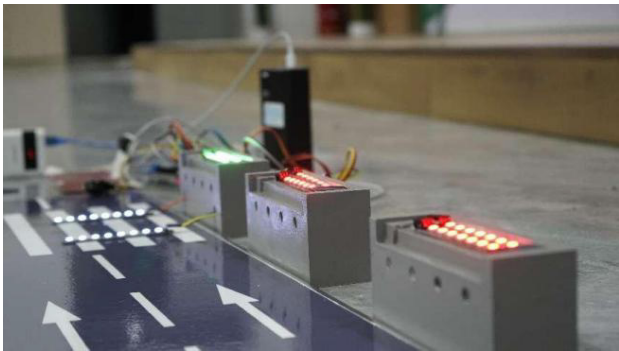
（二）智慧交通协同平台

该系统拥有智慧交通协同平台，采用“云端决策－交互应用双层架构”，通过 TCP/IP 协议及 5G/LoRa 混合通信网络实现与

路侧硬件设备的实时数据交互。其核心功能涵盖设备管理、态势感知、策略调控三大维度。^[7]



> 图1 智慧路缘石3D建模设计



> 图2 智慧路缘石实物模型展示

在设备管理层面，平台通过物联网中间件对接多源传感器与执行器，实时监控设备在线状态、能耗水平及故障代码，并集成自适应诊断算法，可自动识别硬件异常模式，降低现场维护频次达60%。



> 图3 智慧交通协同平台交互页面

在交通态势感知层面，平台内置三维数字孪生引擎，实现交通数据可视化，动态生成全域交通热力图、结构健康指数及拥堵状况，管理者可通过交互界面直观掌握路网运行状态，并设置阈值触发自动警告。

在策略调控维度，平台提供“智能推荐+人工干预”双模控制接口，既可利用强化学习算法优化信号配时方案，也可通过图形化界面手动调整车道标线、信号相位等参数，并与上位机进行实时通信，确保调控延迟低于200ms。

本平台为不同角色（交管部门、运维团队、公众用户）定制专属交互页面，管理者端集成数据看板、事件工单与决策日志，

公众端则开放实时路况查询与个性化导航服务。该平台通过“数据-控制-服务”架构，显著提升交通管理精细化水平为智慧城市路网治理提供了高可靠、可扩展的技术基座。

（三）智慧路缘石交通管理方案

智慧路缘石交通管理方案采用“感知-决策-控制”三位一体架构，以路缘石为物理载体，集成多源传感器网络、边缘计算单元与通信模块，构建覆盖“交通流调控-道路健康监测-人车安全交互”的全域主动管控体系，形成“边缘快速响应+云端全局优化”的协同决策机制。

1. 拥堵疏导：“智能联动”调控策略

在道路交通运行过程中，通过路缘石内嵌的压电传感器、雷达传感器与道路摄像头协同采集交通流数据，结合边缘计算实时分析拥堵源头（如事故点、瓶颈路段），联动区域内的信号灯、可变情报板与动态车道标线设备，形成“感知-分析-调控”闭环。^[2]

其中，路缘石顶部嵌入LED阵列，可根据交通需求实时投射可变车道标识（如潮汐车道、应急车道），配合云端优化算法动态调整信号配时^[6]，显著提升路网通行效率，从局部车道引导到区域信号协同，系统支持分级响应机制，减少人工干预需求。^[3]

2. 道路健康监测：分布式传感与智能评估

由于路缘石与路基路面接触的优越条件，在路缘石基底嵌入光纤光栅传感器与微机电振动传感器，实时监测路基沉降、路面裂缝与结构微变形^[4]，边缘层快速识别异常数据（如摩擦系数骤降），云端平台结合交通流量与历史数据评估道路损伤风险，生成养护优先级建议，实现“预防性养护”。突破传统巡检依赖人工、周期长的痛点，还融合了力学、热力学与光学数据，构建道路健康综合评价指标，提升监测精度与可靠性。^[5]

3. 人车安全交互：多模态非接触双向预警

当车辆经过时，通过多元传感器网络和道路摄像头识别行人和车辆的瞬时速度、位置等参数，并构建平面坐标系，预测人车冲突点，基于社会力模型计算人车冲突概率，判断所处人车冲突危险级，触发多模态双向安全预警。

其中，压电陶瓷阵列生成指向性声束，避免噪声污染的同时可以给过街行人即时的安全预警。路缘石上端覆盖的LED灯带将实现不同的灯光预警方案，用红灯、黄灯、绿灯三种灯色分别表示危险、预警、安全三种通行状态。除此之外，人行横道附近的路缘石侧面布设有投影灯组，可以依据不同危险级向人行横道两端投射不同颜色（白色、黄色、红色）的条形灯光，提高了预警的可识别性。此外还可以向靠近人行横道的停车线区域投射可变交通标志，向驾驶员与行人传递实时风险信息。系统还将根据光照强度、噪声环境自动调节警示强度，确保全天候警示效果。

总之，通过多模态非接触双向预警方案，让智慧路缘石系统在冲突发生前触发预警，变“被动响应”为“主动防护”。

三、系统创新特色

本智慧路缘石系统以传统路侧设施的智能化升级为核心路

径，通过多学科技术融合与系统性架构设计，实现了交通管理从“被动响应”向“主动治理”的范式跃迁。

其创新性主要体现在四大维度：

①多维度感知与设施健康协同监测

系统创新性构建多源传感器融合网络，突破传统监测技术功能割裂的局限，同步获取交通流动态、路面摩擦系数、路基微变形等关键参数。通过力学-光学-热力学多物理场数据融合，构建道路健康综合评价模型，可提前14天预警裂缝扩展与结构损伤风险，推动道路养护从“定期巡检”向“按需维护”转型。

②区域联动的自主优化机制

基于边缘计算与云端协同架构，建立“感知-分析-调控”链路。通过强化学习算法动态优化信号配时方案，联动可变车道标线、情报板等设施，实现拥堵源头的分钟级识别与疏导策略生成，有效提高了交通运行效率，减轻城市管理负担。

③人车交互的安全增强体系

设计非接触式多模态交互技术，通过定向声场、激光投影与动态LED标识的协同作用，构建“空间-视觉-听觉”立体警示通道，交互性与低能见度适配性高。在夜间或恶劣天气场景下，系统可自适应调节警示强度，精准传递风险信息，保障交通安全。

④云边协同的智能管控架构

本系统构建的智慧交通协同平台，将分散的交通流数据、设施健康状态、设备运行参数等多元信息整合为动态数字孪生体，通过交通热力图、结构损伤云图、设备健康度仪表盘等多维度可视化界面，直观呈现全域交通态势。针对不同用户群体设计的差异化交互端口，真正实现“一屏观全域、一网管全城”。通过数据可视化与智能决策双轮驱动，为城市智慧交通建设提供全要素、多层级的技术支撑。

四、系统未来展望

智慧路缘石系统的推广应用将深度赋能新型城镇化与交通数字化转型，其未来发展将聚焦四大方向：

①技术融合深化

随着5G-A/6G通信、量子传感等技术的成熟，系统可进一步集成环境监测、能源管理等扩展功能，推动交通基础设施向“多功能复合载体”进化。与自动驾驶汽车的协同交互能力提升，实时提供高精度局部道路特征数据（如路面附着系数、三维高程信息），弥补单车智能感知盲区。

②应用场景拓展

从城市道路向高速公路、桥梁隧道等复杂场景延伸，开发针对特大桥梁结构健康监测、长大隧道安全管控的专用模块。在智慧园区、港口等封闭场景中，探索与无人驾驶物流车、机器人的协同作业模式，构建“人-车-路-云”全要素互联生态。

③标准体系构建

推动跨部门技术标准互认，制定《智慧路缘石数据接口规范》《多模态交互设备技术要求》等标准文件，破解“信息孤岛”难题。通过开放平台接口吸引第三方开发者，孵化交通数据增值服务，培育产业创新生态。

④助力智慧交通建设

未来可深度融合5G、北斗高精度定位、自动驾驶等技术，推动车路协同向全域感知升级；作为智慧城市“神经节点”，支持动态信号调控、应急响应等高级功能，将加速城市数字化治理进程，为车一路一云一体化建设提供基础支持，推动智慧交通的创新发展。

总而言之，该系统的规模化落地不仅将提升城市交通系统的韧性效率，更将催化道路基础设施从“土木工程实体”向“数字化服务节点”的质变，为智慧城市建设和交通强国战略提供坚实支撑。

参考文献

[1] 汪场, 杨雅舒. 图说《数字交通“十四五”发展规划》[J]. 交通建设与管理, 2022, (01): 26-31.
[2] 陈美林, 郑治豪, 郭宝, 等. 基于因果关联的交通拥堵传播分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2020, 51(12): 3575-3583.
[3] 王璞, 王天浩, 李明伦, 等. 拥堵车源的区域多层交通网络混合路径诱导策略[J]. 电子科技大学学报, 2024, 53(05): 785-791.
[4] 郝巨鸣, 杨景玉, 韩淑梅, 等. 引入 Ghost 模块和 ECA 的 YOLOv4 公路路面裂缝检测方法[J]. 计算机应用, 2023, 43(04): 1284-1290.
[5] 邓天民, 李亚楠, 李庆营, 等. 改进 YOLOv8 的路面病害检测模型[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2024, 38(04): 138-145.
[6] 钟力文. 基于深度强化学习的交通信号控制优化研究[D]. 西安电子科技大学, 2023.DOI: 10.27389/d.cnki.gxadu.2023.000939.
[7] 黄相君. 新形势下智慧交通管理信息化建设路径[J]. 数字通信世界, 2023, (06): 146-148.

计算机控制技术在工业自动化控制中的应用策略

贾龙

上海宝信智矿信息科技有限公司，上海 200000

摘 要： 针对工业自动化进程中对高效、精确控制不断攀升的需求，本研究深入剖析计算机控制技术在工业自动化控制中的应用现状，并系统地探讨其应用策略。经研究发现，计算机控制技术凭借强大的数据处理与运算能力，已广泛渗透至诸多工业领域，且成效斐然。然而，在实际应用中，诸如系统集成的复杂性、控制算法的优化需求等问题也随之显现。通过全面且深入的分析，本文旨在为工业企业提供详尽且具实操性的计算机控制技术应用指南，助力其提升工业自动化水平，进而增强市场竞争力。

关 键 词： 计算机控制技术；工业自动化；应用策略

Application Strategies of Computer Control Technology in Industrial Automation Control

Jia Long

Shanghai Baoxin Smart Mine Information Technology Co., Ltd. Shanghai 200000

Abstract： In response to the rising demand for efficient and precise control in the process of industrial automation, this study deeply analyzes the current application status of computer control technology in industrial automation control and systematically explores its application strategies. Research has found that computer control technology, with its powerful data processing and computing capabilities, has widely penetrated into many industrial fields with remarkable results. However, in practical applications, issues such as the complexity of system integration and the optimization requirements of control algorithms have also emerged. Through comprehensive and in-depth analysis, this article aims to provide industrial enterprises with a detailed and practical guide for the application of computer control technology, helping them improve the level of industrial automation and enhance market competitiveness.

Keywords： computer control technology; industrial automation; application strategies

引言

在科技日新月异的当下，工业自动化已然成为驱动工业领域变革与进步的核心要素。工业自动化的发展，核心目标在于全方位提升生产效率、优化产品质量、削减生产成本，以此强化企业在全球市场中的竞争优势。计算机控制技术作为工业自动化的关键支撑，扮演着无可替代的重要角色。其借助对生产过程中各类参数的精准采集、高速处理以及精确控制，达成了工业生产的高度自动化与智能化^[1]。从制造业精密复杂的生产流程，到能源行业稳定高效的运行体系，再到物流行业智能有序的调度管理，计算机控制技术无处不在，深刻重塑了工业生产的模式与格局。故而，深入探究计算机控制技术在工业自动化控制中的应用策略，对于推动工业现代化进程、实现工业可持续发展，具有不可估量的现实意义。

一、计算机控制技术在工业自动化控制中的应用现状

（一）应用领域广泛

计算机控制技术在工业自动化范畴的应用极为广泛，几乎覆盖了所有关键工业领域。在制造业，以汽车制造为例，从汽车零部件的精细加工到整车的精准装配，计算机控制技术贯穿生产全流程。自动化生产线借助计算机操控的机械臂、数控机床等先进设备能够精准无误地完成零件搬运、焊接、装配等复杂操作^[2]。

在机械臂的运作中，通过计算机控制其关节的运动角度与速度可实现毫米级别的定位精度，极大地提升了装配的准确性与效率。在电子设备制造行业，计算机控制的 SMT（表面贴装技术）生产线能够以亚毫米级的精度将微小的电子元器件精准贴装到电路板上，有力保障了电子产品的高质量与高性能。

能源行业同样高度依赖计算机控制技术。在电力领域，发电厂的自动化控制系统依托计算机实时监测并调控发电设备的温度、压力、转速等参数。以火力发电厂为例，计算机控制系统可

根据实时的负荷需求精准调节锅炉的燃烧量、汽轮机的进汽量等，确保发电过程始终处于高效、稳定的状态，发电效率相较于传统控制方式提升了10%~15%。在石油化工行业，计算机控制技术深度应用于自动化的炼油、化工生产流程，可以实现对反应温度、压力、流量等关键参数的精确把控，有力保障了生产安全与产品质量。在化工合成反应中，计算机控制的反应釜能够将温度控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的精度范围内，确保化学反应按照预设条件进行，提高产品的纯度与一致性。

物流行业因计算机控制技术实现了跨越式发展。自动化仓储系统借助计算机控制的堆垛机、穿梭车等设备，实现货物的自动存储与快速检索，大幅提高了仓储空间利用率与货物出入库效率。自动化分拣系统通过计算机视觉技术与先进的控制算法，能够快速、准确地对货物进行分类与分拣，极大地加快了物流配送的速度与准确性。

（二）应用成果显著

1. 生产效率大幅提高

依据相关行业权威报告，在引入计算机控制技术实现自动化生产的企业中，生产效率得到了极为显著的提升。在汽车制造行业，采用自动化生产线的企业，单车生产时间从原本的平均10小时锐减至6小时以内，生产效率提升幅度高达约40%。部分先进企业通过优化计算机控制系统与生产流程，单车生产时间甚至缩短至4小时左右^[3]。在电子设备制造行业，计算机控制的SMT生产线的贴片速度可达每小时5万至10万个元器件，与传统人工贴片方式相比，效率提升了数十倍。在物流行业，自动化仓储和分拣系统的广泛应用，使货物处理能力提高了2至3倍。部分领先企业的物流配送周期从原来的平均3天大幅缩短至1天以内，极大地提升了物流响应速度。

2. 产品质量显著改善

计算机控制技术的应用对产品质量的提升效果极为突出。在制造业，由于计算机控制设备具备高精度与高稳定性，产品次品率大幅降低。以汽车零部件加工为例，采用计算机控制的数控机床加工的零件，尺寸精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$ ，产品次品率从原来的约5%降至1%以内。在航空航天零部件制造中，计算机控制的加工设备精度更是可达 $\pm 0.001\text{mm}$ ，有效保障了航空航天产品的高可靠性。在电子设备制造行业，SMT生产线的自动化贴装过程，极大程度减少了人为因素导致的焊接不良等问题，电子产品的一次合格率从原来的85%左右提升至95%以上。在高端电子产品生产中，通过优化计算机控制参数与工艺，一次合格率甚至可达到98%以上。

3. 人力成本有效降低

随着计算机控制技术在工业自动化中的深度应用，人力成本得到了有效地控制。在制造业，自动化生产线的普及使得人工岗位数量大幅减少。一些高度自动化的工厂，生产岗位的人工数量减少幅度甚至超过80%。在物流行业，自动化仓储和分拣系统的应用使仓库和分拣中心的操作人员数量减少了30%至50%。部分先进物流企业通过全面自动化改造，操作人员数量减少了60%以上，有效降低了企业的人力成本支出^[4]。

二、计算机控制技术在工业自动化控制中的应用策略

（一）系统集成策略

系统集成是实现计算机控制技术在工业自动化中高效应用的基石。在硬件系统集成方面，需依据工业生产的特定需求科学合理地选型控制器、传感器、执行器等设备。例如在对控制精度要求极高的半导体制造行业，应选用精度可达 $\pm 0.001\text{mm}$ 的位移传感器以及运算速度快、控制精度高的可编程逻辑控制器（PLC）。同时要确保这些硬件设备之间具备良好的兼容性与协同工作能力，通过精心设计布线与接口，实现数据的高速、准确传输^[5]。

软件系统集成同样至关重要。需整合操作系统、控制软件、数据管理软件等。在工业自动化中，常用的操作系统有Windows Embedded、Linux等，企业应结合自身实际需求选择适配的操作系统。控制软件方面，像西门子的TIA Portal、罗克韦尔的Studio 5000等，可实现对生产过程的精准控制。数据管理软件则用于存储和管理生产过程中产生的海量数据，例如SQL Server、Oracle等数据库软件。通过软件集成，实现各软件模块之间的数据共享与协同运作，为生产过程的优化提供有力支持^[6]。

（二）控制算法优化策略

常用的控制算法在工业自动化中发挥着关键作用。PID（比例-积分-微分）控制算法是应用最为广泛的算法之一，它通过对偏差的比例、积分和微分运算，实现对控制对象的稳定控制，在工业生产中的温度、压力、流量等常规控制场景中效果良好。例如在工业锅炉的温度控制中，PID控制算法可将温度波动控制在较小范围内，满足生产工艺对温度稳定性的要求。模糊控制算法则适用于难以构建精确数学模型的复杂系统，它基于模糊逻辑和语言规则进行控制，能够有效处理不确定性和非线性问题^[7]。在化工反应过程中，由于反应机理复杂，难以建立精确数学模型，采用模糊控制算法可根据经验和模糊规则对反应过程进行有效控制，进而提高产品质量与生产稳定性。神经网络控制算法具有强大的自学习和自适应能力，可用于对复杂生产过程的建模与控制。在机器人控制领域，神经网络控制算法能够使机器人根据环境变化和任务需求，自主学习并调整控制策略，实现复杂动作的精准执行。

企业应根据工业生产过程的特性选择适宜的算法。在温度控制要求不高、系统相对简单的工业烘干过程中，采用PID控制算法即可满足需求；在化工生产中的复杂反应过程，鉴于难以建立精确数学模型，模糊控制算法更为适用；对于具有高度非线性和时变性的机器人控制等场景，神经网络控制算法则是最佳选择。

同时为进一步提高控制精度与稳定性，需对控制算法进行持续优化与改进。例如可采用自适应PID控制算法，依据系统运行状态自动调整PID参数，使其在不同工况下均能保持良好的控制效果；将模糊控制与神经网络控制有机结合，形成模糊神经网络控制算法，充分发挥两者优势，显著提升控制性能。在某钢铁企业的高炉控制系统中，采用模糊神经网络控制算法，对高炉的炉温、炉压等参数进行精确控制，有效提高了高炉的生产效率与铁

水质量。

（三）数据处理与分析策略

工业数据采集是数据处理与分析的基础环节。常用的数据采集方式包含传感器采集、设备接口采集等。传感器可采集温度、压力、振动等物理量数据，比如热电偶用于精准的温度采集，压力传感器用于压力数据获取^[8,9]。设备接口采集则通过工业以太网、现场总线等接口，高效获取设备的运行数据。在数据传输方面，常用的传输协议有 Modbus、Profinet 等，企业应根据数据传输速率、距离等具体要求，合理选择适配的协议。

数据存储与管理至关重要。企业需根据数据量和数据处理需求，合理选用数据库。对于数据量较小、实时性要求较高的场景，可选用 MySQL 等轻量级数据库；对于数据量庞大、数据管理需求复杂的情况，可采用 Oracle 等大型数据库。同时，要强化数据安全保障措施，运用数据加密、访问权限控制等手段，防止数据泄露与篡改。在金融行业的数据中心，采用多层加密技术对客户数据进行加密存储，并通过严格的访问权限控制，确保只有授权人员能够访问特定数据，保障数据的安全性与保密性。

基于数据分析的决策支持是数据处理与分析的核心目标。通过对生产过程中的数据进行深度挖掘与分析，能够洞察生产过程中的潜在问题与优化空间。例如，通过对设备运行数据的分析，可精准预测设备故障，提前安排维护，有效降低设备停机时间；通过对产品质量数据的分析，可找出影响产品质量的关键因素，进而优化生产工艺，提升产品质量。

（四）远程监控与故障诊断策略

远程监控系统架构涵盖网络架构和通信方式。在网络架构方面，可采用有线网络与无线网络相结合的模式，在生产车间内部采用有线网络保障数据传输的稳定性，对于移动设备或布线困难的区域，采用无线网络作为补充。通信方式可选用 4G、5G 等无线通信技术或工业以太网等有线通信技术。

通过远程监控系统，可实时监测工业设备的运行状态。采用

参数监测手段，实时获取设备的温度、压力、转速等运行参数，一旦参数超出正常范围，系统立即发出报警信号。图像监测则通过安装摄像头，实时监控设备的外观与运行情况，能够及时发现设备的异常振动、冒烟等状况。在电力变电站中，通过远程监控系统实时监测变压器的油温、绕组温度、负荷电流等参数，同时利用摄像头实时监控变压器的外观，及时发现潜在的安全隐患^[10]。

故障诊断技术与方法丰富多样。基于模型的故障诊断方法，通过构建设备的数学模型，依据模型预测值与实际测量值的偏差诊断故障；数据驱动的故障诊断方法，借助设备运行过程中产生的数据，运用机器学习、深度学习等算法进行故障诊断。例如，通过对设备振动数据的深度学习分析，可准确诊断出设备的轴承故障、齿轮故障等。在某大型机械设备制造企业中，采用深度学习算法对设备的振动、噪声等数据进行分析，故障诊断准确率达到 95% 以上。

及时预警与远程维护能够有效降低设备停机时间。当系统检测到设备异常时，迅速向维护人员发送预警信息，维护人员可通过远程监控系统对设备进行远程调试与维护，如调整设备参数、更新设备程序等，极大地减少设备停机造成的损失。

三、结语

计算机控制技术在工业自动化控制中的应用已呈现出广泛的应用领域和卓越的应用成果，为工业企业带来了生产效率的飞跃、产品质量的显著提升以及人力成本的大幅降低。未来随着计算机技术、通信技术和人工智能技术的持续创新发展，计算机控制技术在工业自动化领域将迎来更为广阔的发展空间。企业应密切关注技术发展动态，加大技术创新投入与人才培养力度，充分发挥计算机控制技术的核心优势，推动工业自动化向更高水平迈进，为工业领域的可持续发展注入源源不断的新动力。

参考文献

- [1] 李晓东. 计算机控制技术在工业自动化控制中的应用 [J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(05): 204-206.
- [2] 李弥, 毛戈平, 刘栩彤, 等. 基于电子数控的机床制造信息资源自动化检测方法 [J]. 制造业自动化, 2020, 42(12): 131-134.
- [3] 施凌. 智能控制在工业自动化过程控制中的应用 [J]. 南方农机, 2020, 51(24): 190-191.
- [4] 宁静雁. 计算机控制技术在工业自动化中的创新应用 [J]. 电子技术, 2024, 53(01): 154-155.
- [5] 杨瑞坤. 计算机控制技术在工业生产中的应用 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(07): 142-144.
- [6] 陶歆. 浅谈计算机控制在工业自动化控制中作用 [J]. 新型工业化, 2021, 11(07): 241-242.
- [7] 孙云飞. 工业自动化控制 DCS 系统维护技术分析 [J]. 新型工业化, 2022, 12(08): 84-87. DOI: 10.19335/j.cnki.2095-6649.2022.8.021.
- [8] 赵帅. 探析工业自动化控制中计算机控制技术应用路径 [J]. 中国新通信, 2023, 25(08): 59-61.
- [9] 张晋花. 工业自动化控制系统中计算机技术的应用分析 [J]. 数字通信世界, 2017, (10): 102.
- [10] 谭力龙. 工业自动化控制中计算机控制的应用略论 [J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(27): 162-163.

Chiplet 生态系统的构建：EDA/IP、设备与材料的协同发展

张志伟, 李岳龙, 林福荣, 冯明宪*
国科创新研究院(厦门)有限公司, 福建 厦门 361000

摘 要： 本文聚焦 Chiplet 生态系统，深入探讨其在 EDA/IP、设备与材料方面的协同发展状况。阐述 Chiplet 技术优势及应用，分析相关 EDA/IP 的进展与挑战，梳理设备和材料领域的关键要素及市场格局，强调各环节协同对推动 Chiplet 技术发展、提升半导体产业竞争力的重要性，并对中国在该领域的发展提出展望与建议。

关 键 词： Chiplet 技术；EDA/IP；半导体设备；半导体材料；生态系统构建；协同发展；半导体产业

The Construction of the Chiplet Ecosystem: the Coordinated Development of EDA/IP, Devices and Materials

Zhang Zhiwei, Li Yuelong, Lin Furong, Feng Mingxian*

Guoke Innovation Research Institute (Xiamen) Co., LTD. Xiamen, Fujian 361000

Abstract： This paper focuses on the Chiplet ecosystem and deeply explores its collaborative development status in terms of EDA/IP, equipment and materials. It expounds the technical advantages and applications of Chiplet technology, analyzes the progress and challenges of relevant EDA/IP, sorts out the key elements and market patterns in the fields of equipment and materials, emphasizes the importance of the collaboration of all links in promoting the development of Chiplet technology and enhancing the competitiveness of the semiconductor industry, and puts forward prospects and suggestions for China's development in this field.

Keywords： Chiplet technology; EDA/IP; semiconductor equipment; semiconductor materials; ecosystem construction; collaborative development; semiconductor industry

引言

随着半导体工艺制程逐渐逼近物理极限，摩尔定律面临挑战，Chiplet 技术应运而生，成为半导体产业的重要发展方向。Chiplet 通过将多个可模块化的芯片裸片集成在一个封装内，有效解决了芯片研制中的成本、周期和性能等问题，而其生态系统的构建涉及 EDA/IP、设备与材料等多个关键领域的协同发展，对于推动半导体产业的持续进步意义重大^[1]。

一、Chiplet 技术概述

(一) Chiplet 技术原理与优势

Chiplet 技术是异构集成技术，它将大型芯片分解为多个具有独立功能的小芯片（Chiplet），再通过先进的互连技术将这些小芯片组合成一个完整的系统。与传统的单芯片集成方式相比，Chiplet 技术具有诸多优势^[2]。在成本方面，不同功能的芯片可采用最合适的制程工艺，避免了在单芯片上全部使用先进制程带来

的高昂成本，例如部分对性能要求较低的电路可采用成熟制程，降低整体制造成本。在设计灵活性上，每个 Chiplet 可独立开发和测试，然后按需组合，提高了设计的灵活性和可维护性，也缩短了产品上市周期。同时，Chiplet 技术还能提升芯片良率，将大芯片化整为零，减少了因芯片面积过大导致的缺陷问题。

(二) Chiplet 技术的应用领域

Chiplet 技术应用广泛，在高性能计算领域，如 AMD 的 Zen 2 架构，通过将不同工艺节点的处理器核裸片、IO 裸片和存储器

作者简介：

张志伟 (1979.05-)，男，汉族，中国台湾省新竹市人，博士，国科创新研究院(厦门)有限公司，主任工程师，研究方向：半导体产品封装测试及技术研发。

李岳龙 (1964.04-)，男，汉族，中国台湾省新北市人，博士，国科创新研究院(厦门)有限公司，教授，研究方向：科技管理与工程。

林福荣 (1954.08-)，男，汉族，中国台湾省高雄市人，硕士，国科创新研究院(厦门)有限公司，研究员，研究方向：半导体工厂运营管理。

通讯作者：冯明宪 (1960.03-)，男，汉族，中国台湾省台南县人，博士，国科创新研究院(厦门)有限公司，教授，研究方向：半导体/集成电路产品生产/测试封装，半导体封装测试设备。通讯邮箱：msfeng0327@126.com

裸片整合为 Chiplet 芯片，以较低成本获得高端工艺带来的计算处理性能提升。在 FPGA 领域，英特尔推出的基于 Chiplet 技术的 Agilex FPGA 家族产品，利用 3D 封装技术实现异构芯片集成，提升了产品性能。此外，在物联网、5G 通信等领域，Chiplet 技术也展现出巨大的应用潜力，能够满足这些领域对芯片多样化功能和低功耗的需求^[3]。

表 1：先进半导体封装技术优劣势比较

封装技术类型	优势	劣势
FOWLP (扇出型晶圆级封装)	1. 成本较低，适合大规模生产，在量产时能有效控制成本。 2. 能有效减小芯片尺寸，提高集成度，缩小电子产品体积，提升产品的紧凑性。	1. 对封装设备和工艺要求较高，需要先进的设备和精准的工艺控制才能保证产品质量。 2. 散热性能相对受限，在处理高功率芯片时，散热可能成为瓶颈。
2.5D/3D 集成电路封装	1. 实现更高的集成度和性能提升，通过垂直堆叠芯片，增加了单位体积内的芯片数量，提升了系统功能。 2. 缩短信号传输距离，降低功耗，提高了信号传输效率，减少了能量损耗。	1. 制造成本高，制造过程需要高精度设备和复杂工艺，如硅穿孔(TSV)技术等，增加了生产成本。 2. 制造过程复杂，多层芯片堆叠带来了诸如层间对准、互连等技术难题。 3. 热管理难度大，芯片密集堆叠导致热量集中，散热困难，对散热设计要求极高。
System Packaging (SiP 系统封装)	1. 可将多个不同功能的芯片集成在一个封装内，实现系统级功能，减少了电路板空间占用，简化了系统设计。 2. 设计灵活性较高，能根据不同的应用需求，灵活选择和组合不同的芯片。	1. 占用空间相对较大，与一些先进的小尺寸封装技术相比，整体体积可能较大。 2. 不同芯片间的信号干扰问题需要解决，多种芯片集成在一起，信号之间可能会相互干扰，影响系统性能。
WLCSF 晶圆级芯片尺寸封装	1. 芯片尺寸与封装尺寸接近，减小整体体积，在对尺寸要求严格的应用场景中具有优势，如可穿戴设备。 2. 电气性能好，信号传输延迟低，因为芯片与封装之间的连接路径短，信号传输速度快。	1. 对芯片的测试和修复较为困难，由于封装尺寸小，测试和修复过程需要高精度的设备和技术。 2. 不适合高引脚数的芯片封装，在处理高引脚数芯片时，布线和连接的难度较大。
Chiplet 芯粒技术	1. 设计灵活，可独立开发和测试各模块，每个 Chiplet 可以根据自身功能选择最合适的制程工艺，提高了设计的灵活性和产品的可维护性。 2. 降低成本，通过将大芯片分解为小芯片，部分小芯片可采用成熟制程，降低了制造成本，同时提高了良率，减少了因大芯片缺陷导致的整体报废。 3. 可实现不同制程工艺芯片的混合集成，能够充分发挥不同制程工艺的优势，满足多样化的功能需求。	1. 系统集成难度大，对互连技术要求高，需要高速、高密度的互连技术来确保不同 Chiplet 之间的高效通信，增加了技术实现的难度。 2. 测试和设计复杂度增加，每个 Chiplet 都需要独立测试，并且要考虑 Chiplet 之间的互连测试，设计过程也需要考虑多个 Chiplet 的协同工作，增加了设计和测试的复杂性。

二、EDA/IP 在 Chiplet 生态系统中的关键作用

（一）EDA 工具对 Chiplet 设计的支撑

EDA 工具在 Chiplet 设计过程中不可或缺。由于 Chiplet 涉及多个异构芯片的集成，设计复杂度大幅增加，需要更强大的 EDA 工具来进行芯片互连接口的标准化设计、多芯片布局和验证等工作。例如，在布局布线阶段，EDA 工具需要考虑不同 Chiplet 之间的信号传输延迟、功耗以及电磁兼容等问题，确保整个系统的性能。同时，为了实现可扩展性，EDA 工具需支持对多个 Chiplet 进行协同设计和验证，帮助设计人员快速发现并解决设计中的问题。

（二）Chiplet 的 IP 新理念与应用

Chiplet 的 IP 新理念强调以硅片形式提供部分半导体 IP 核，实现 IP 的“即插即用”和“重复利用”。这一理念解决了先进制程芯片面临的性能与成本矛盾，降低了大规模芯片设计的时间和风险。通过采用基于适合工艺制程的第三方 Chiplet 形式的 IP，芯片设计厂商能够简化设计流程，提高设计效率和灵活性。例如，在一些复杂的 SoC 设计中，可直接选用成熟的 Chiplet IP，减少了从头开始设计每个模块的工作量，加快了产品上市速度。

三、Chiplet 生态系统中的关键设备

（一）半导体封测设备分类与重要性

半导体封测设备是 Chiplet 生态系统的重要组成部分，分为封装设备和测试设备。封装设备包括减薄机、划片机、固晶机、引线键合机、塑封机等，负责将芯片进行物理封装，确保其电气性能和散热性能。测试设备则用于对芯片产品进行功能和性能测试，如测试机、探针台和分选机等，筛选出性能不达标产品，保证产品质量。

（二）关键设备的技术发展与市场格局

以固晶机为例，先进封装技术对固晶机的精度、速度和稳定性要求越来越高。目前，全球固晶机市场主要由 ASMPT、BESI 等公司垄断，这些公司的产品精度高、性能稳定，能够满足先进封装的需求。国内固晶机厂商如中电科 45 所、深圳翠涛等也在不断发展，努力提高产品性能 and 市场份额，但与国际巨头相比仍有差距。在测试设备领域，全球市场主要由泰瑞达、爱德万等公司主导，国内企业长川科技、华峰测控等也在积极追赶，部分产品已实现国产化替代，但在高端设备方面仍依赖进口。

四、Chiplet 生态系统中的基础材料

（一）晶圆厂涉及 Chiplet 的制程材料

1. 抛光材料

化学机械抛光（CMP）材料是集成电路制造过程中实现晶圆表面平坦化的关键材料，包括抛光液和抛光垫等。随着制程节点的不断进步，CMP 技术的重要性日益凸显，对抛光材料的要求也越来越高。例如，7nm 制程需要进行更多次的 CMP 工艺步骤，对抛光液的性能提出了更高要求。全球抛光材料市场中，美国的 Cabot Microelectronics、日本的 Fujimi 等公司占据重要地位，国内厂商如安集科技也在不断发展，部分产品已达到国际先进水平，但整体市场份额仍相对较低^[4]。

2. 光刻胶

光刻胶是半导体制造中的关键材料，其性能直接影响芯片的分辨率和制程精度。根据曝光波长和应用领域的不同，光刻胶可分为多种类型，如 G 线光刻胶、I 线光刻胶、KrF 光刻胶和 ArF 光刻胶等。目前，高端半导体光刻胶市场基本被日本企业垄断，如 JSR、TOK 等公司。随着半导体行业制程的进一步发展，ArF 光刻胶市场需求加速扩大，国内企业在光刻胶研发和生产方面面临较大挑战，但也在积极投入研发，努力实现国产化突破^{[5][6]}。

3. 其他材料

掩膜版、湿电子化学品、电子特种气体和溅射靶材等也是晶圆厂制程中的重要材料。掩膜版用于光刻工艺，其市场集中度

高，被国外公司主导。湿电子化学品用于清洗和蚀刻步骤，国内在该领域与国外存在一定差距，尤其在高端产品方面。电子特种气体在半导体制造过程中参与多种关键工艺，全球市场主要由美国空气化工、德国林德等公司垄断，国内厂商如南大光电、金宏气体等在部分产品上实现了技术突破和国产化替代。溅射靶材用于制备薄膜材料，全球市场由日美公司掌控，国内企业如江丰电子、有研新材等在不断提升技术水平，逐步打破国外垄断^[7]。

（二）封装厂涉及 Chiplet 的封装材料

1. 封装基板

IC 封装基板是芯片封装的重要组成部分，起到电气连接和支撑芯片的作用。根据封装形式、材料性质和连接技术的不同，可分为多种类型。随着半导体技术的发展，封装基板正朝着更高密度、更小尺寸和更高可靠性的方向发展。全球 IC 封装基板市场高度集中，日、韩、中国台湾地区的企业占据主导地位，如欣兴电子、三星电机等。中国大陆的 IC 载板产业起步较晚，但发展迅速，深南电路、兴森科技等公司已具备一定的量产能力。

2. 引线框架和陶瓷封装体

引线框架是半导体封装的主要结构材料，用于连接芯片内部与外部导线。国内引线框架生产企业起步较晚，中高端市场被外资企业占据，但国产替代正在加速推进。陶瓷封装体具有优良的性能，如高热导率、低介电常数等，常用的陶瓷基板材料有氧化铝、氮化铝等。不同的陶瓷基板材料适用于不同的应用场景，在电子封装领域发挥着重要作用。

表 2：全球及中国半导体相关材料市场规模

材料类型	全球市场规模（亿美元）	全球市场占比	中国市场规模（亿元）	数据来源	统计时间
半导体材料总体	-	-	1144.99（预计 2024 年）	职友集大数据	2024 年预测
晶圆制造材料	447（2022 年）	62.8%（2021 年）	-	SEMI	2022 年数据，2021 年占比
封装材料	280（2022 年）	37.2%（2021 年）	-	SEMI	2022 年数据，2021 年占比
硅片	123（2023 年）	约 22.9%（2021 年晶圆制造材料中）	165（2023 年）	中信证券	2023 年数据，2021 年占比
电子特气	51（2023 年）	约 13%（2021 年晶圆制造材料中）	249（2023 年）	中信证券	2023 年数据，2021 年占比
光掩模（掩膜版）	-	约 13%（2021 年晶圆制造材料中）	-	中信证券	2021 年占比
CMP（抛光材料）	-	7%（2021 年晶圆制造材料中）	-	中信证券	2021 年占比
光刻胶	25（2023 年）	约 5%（2021 年晶圆制造材料中）	39.3（2022 年）	中信证券	2023 年数据，2022 年中国数据，2021 年占比
溅射靶材	-	3%（2021 年晶圆制造材料中）	-	中信证券	2021 年占比

五、Chiplet 生态系统中各环节的协同发展

（一）协同发展的必要性

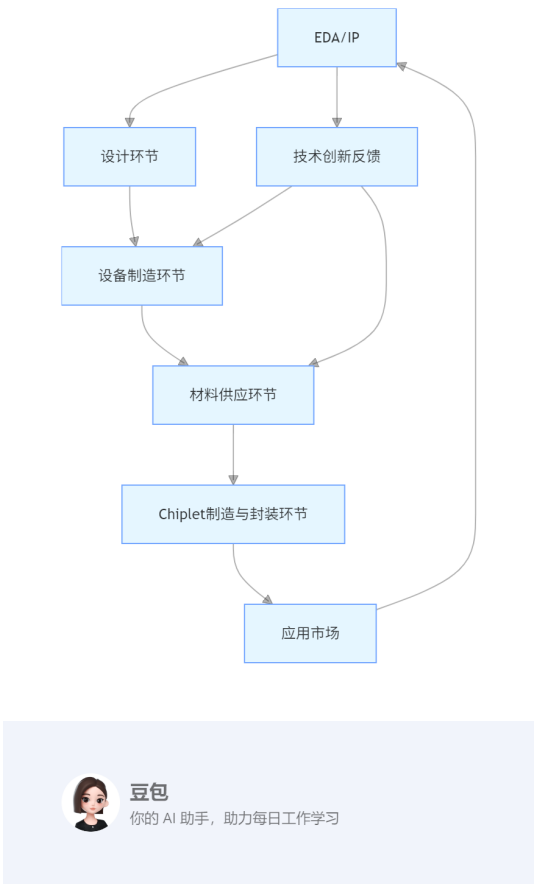
Chiplet 生态系统中 EDA/IP、设备与材料各环节紧密相关，如图1所示。EDA/IP 为 Chiplet 设计提供技术支持，决定了芯片的功能和性能；设备是实现 Chiplet 制造和封装的硬件基础，其技术水平直接影响生产效率和产品质量；材料则是 Chiplet 的物质基础，材料的性能和质量对芯片的性能和可靠性起着关键作用。只有各环节协同发展，才能实现 Chiplet 技术的整体进步，提高半导

体产业的竞争力。例如，先进的 EDA 设计需要高精度的设备来实现，而设备的运行又依赖于高质量的材料，材料的性能提升也需要 EDA 和设备的配合进行研发和生产^[8]。

（二）协同发展的现状与挑战

目前，Chiplet 生态系统各环节的协同发展已取得一定进展。一些企业在开发 Chiplet 产品时，会与 EDA 工具厂商、设备制造商和材料供应商紧密合作，共同解决技术难题。然而，协同发展仍面临诸多挑战。在技术标准方面，缺乏统一的标准体系，影响不同环节之间的兼容性和互操作性。在研发投入方面，各环节的

研发投入不平衡，部分关键技术和材料的研发进展缓慢，制约了整体产业的发展。此外，人才短缺也是一个重要问题，跨领域的专业人才不足，影响了各环节之间的有效沟通和协作。



> 图 1 Chiplet 生态系统各环节协同关系示意图



豆包

你的 AI 助手，助力每日工作学习

六、中国在 Chiplet 生态系统构建中的机遇与挑战

（一）机遇

随着全球半导体产业的转移和中国对半导体产业的高度重视，中国在 Chiplet 生态系统构建中面临着诸多机遇。国内庞大的市场需求为 Chiplet 技术的发展提供了广阔的空间，在 5G、人工智能、物联网等领域的快速发展，对 Chiplet 芯片的需求不断增加。同时，国家出台了一系列支持政策，鼓励半导体产业的研发和创新，为 Chiplet 生态系统的构建提供了政策保障。此外，国内在一些领域已经取得了一定的技术突破，如部分电子特气、封装基板等材料的国产化替代，为进一步发展奠定了基础。

（二）挑战

中国在 Chiplet 生态系统构建中也面临着严峻的挑战。在技术方面，与国际先进水平相比仍存在较大差距，尤其在高端 EDA 工具、关键设备和材料等方面，依赖进口的局面尚未根本改变。在产业生态方面，产业链各环节之间的协同合作还不够紧密，缺乏有效的沟通和协调机制。在人才培养方面，专业人才的短缺制约了产业的发展，需要加强相关领域的人才培养和引进。

七、结论与展望

Chiplet 技术作为半导体产业的重要发展方向，其生态系统的构建需要 EDA/IP、设备与材料的协同发展。通过各环节的紧密合作，不断解决技术难题，完善产业生态，Chiplet 技术将在未来半导体市场中占据重要地位。中国在 Chiplet 生态系统构建中既有机遇也面临挑战，应加大研发投入，加强人才培养，推动产业链各环节的协同创新，提高自主创新能力，逐步缩小与国际先进水平的差距，实现半导体产业的高质量发展。

参考文献

- [1] 李应选. Chiplet 的现状和需要解决的问题 [J]. 微电子学与计算机, 2022, 39(05): 1-9.
- [2] Mounce G, Lyke J, Horgan S, et al. Chip-based approach for heterogeneous processing and packaging architectures. In: 2016 IEEE Aerospace Conference. Big Sky, Montana, USA: IEEE; 2016. DOI: 10.1109/AERO.2016.7500830.
- [3] 赵正平. Chiplet 基三维集成技术与集成微系统的新进展 (续) [J]. 微纳电子技术, 2023, 60(05): 641-657. DOI: 10.13250/j.cnki.wndz.2023.05.001.
- [4] 刘俊杰. TSV 多种材料 CMP 速率选择性的研究 [J]. 河北工业大学, 2017(02).
- [5] 杜召亮. 基于电流体喷射的封装胶成型实验研究 [D]. 大连理工大学, 2022. DOI: 10.26991/d.cnki.gdlu.2022.003061.
- [6] 王志, 秦苏琼, 谭伟. 用于微电子封装的电子胶粘剂及其涂覆工艺 [J]. 电子工业专用设备, 2019, 48(01): 11-16.
- [7] 何金江, 吕保国, 贾倩, 丁照崇, 刘书芹, 罗俊峰, 王兴权. 集成电路用高纯金属溅射靶材发展研究 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(01): 79-87.
- [8] 李煜. 面向先进 FPGA EDA 工具链的集成开发环境研究 [J]. 西安电子科技大学, 2022.

医院网络安全风险评估与技术防御体系构建

杜东林

身份证号: 440602198903201510

摘要： 医疗行业数字化转型进程中，物联网设备泛在连接与数据共享机制加剧网络安全风险，2024年《医疗卫生机构网络安全管理办法》的颁布推动行业安全治理进入新阶段。研究聚焦医疗系统脆弱性特征与新型攻击场景，构建基于ISO 27005的多维度风险评估模型及智能化防御体系，通过AI异常检测、零信任架构等技术实现勒索软件、深度伪造等社会化攻击的有效遏制。结合协同化管理制度与ATT&CK应急框架，形成“技术-管理-人员”联动的动态防护机制，为平衡医疗业务效率与网络安全提供实践路径。

关键词： 医疗网络安全；风险评估；协同防御体系

Construction of Network Security Risk Assessment and Technical Defense System in Hospitals

Du Donglin

ID: 440602198903201510

Abstract： In the process of digital transformation in the healthcare industry, ubiquitous connectivity of IoT devices and data sharing mechanisms have exacerbated cybersecurity risks. The promulgation of the "Cybersecurity Management Measures for Medical and Health Institutions" in 2024 has ushered in a new phase of industry safety governance. This study focuses on the vulnerability characteristics of medical systems and new types of attack scenarios, constructing a multi-dimensional risk assessment model and intelligent defense system based on ISO 27005. By utilizing technologies such as AI anomaly detection and zero trust architecture, it achieves effective containment of social engineering attacks like ransomware and deepfakes. Combined with coordinated management systems and the ATT&CK emergency framework, it forms a dynamic protection mechanism that links "technology-management-personnel", providing practical paths to balance medical business efficiency with network security.

Keywords： healthcare cybersecurity; risk assessment; collaborative defense system

引言

随着“互联网+医疗健康”战略的推进，医疗数字化转型加速，医疗信息系统与物联网设备互联在提升效率的同时扩大了网络攻击面。2024年5月发布的《医疗卫生机构网络安全管理办法》强调构建全生命周期安全管理体系，强化“三化六防”，标志着治理进入新阶段。医疗数据因高价值成为主要攻击目标，如2024年英国 Synnovis 医疗组织遭受勒索攻击导致血液供应危机所示。政策要求落实等级保护、动态防御及数据分类分级管理，并强调“管理、技术、运营”三位一体框架，提供从风险识别到应急响应的闭环指引。研究表明，医疗设备协议漏洞、供应链攻击和深度伪造加剧了脆弱性，需要智能化技术和制度创新来平衡安全与发展。探讨这些内容对保障患者安全和健康数据主权至关重要。

一、医院网络安全风险特征分析

（一）医疗信息系统脆弱性分析

医疗设备联网化进程加速了医疗服务的智能化转型，但嵌入式系统固件更新机制缺失、默认密码配置普遍化等问题，导致呼吸机、影像设备等关键医疗终端成为攻击渗透的突破口^[1]。在系统集成层面，医院信息系统（HIS）、影像归档系统（PACS）与物联网设备的异构互联，因DICOM、HL7等医疗专用协议的安全

校验机制薄弱，形成跨系统的横向攻击向量。患者隐私数据风险贯穿于采集、传输、存储及共享环节，电子病历（EMR）集中化存储与多机构数据交换需求，加剧了数据泄露风险，尤其当数据脱敏不彻底或访问权限失控时，可能触发HIPAA等合规性违规事件。

（二）新型攻击场景演化趋势

勒索软件攻击呈现医疗行业定向化特征，攻击者通过加密患者诊疗数据与设备控制系统，迫使医疗机构支付高额赎金，2023

年北美医院因 NotPetya 变种攻击导致急诊系统瘫痪即为典型案例。供应链攻击通过医疗设备固件、第三方运维软件植入恶意代码，利用医疗机构对供应商的安全信任链实现隐蔽渗透，研究显示医疗行业供应链漏洞利用率较其他领域高出 37%。社会工程学攻击则针对医护人员职业特性，伪造医保机构通知、伪装临床研究合作等钓鱼手段，结合医疗敏感信息构建高欺骗性话术，2022 年医疗行业钓鱼邮件打开率超过行业均值 12 个百分点，暴露行业特定防御短板。

二、医院网络安全风险评估方法

（一）多维度风险评估模型构建

基于 ISO 27005 标准的风险评估框架，需系统性识别医疗场景核心资产（如电子病历、影像数据、医疗设备控制权限），通过威胁建模技术关联勒索攻击、数据泄露等典型威胁与系统脆弱性，建立资产价值 - 威胁频率 - 脆弱性评分的三维量化矩阵。在业务连续性评估维度，引入医疗专属风险评估矩阵（Risk Assessment Matrix），结合恢复时间目标（RTO）与最大容忍中断时间（MTD），量化网络攻击对急诊调度、手术室运维等关键业务的影响等级^[2]。研究表明，当 HIS 系统中断超过 4 小时，三级医院日均经济损失可达常规营收的 68%，凸显业务连续性评估的必要性。

（二）社会化攻击专项评估体系

针对钓鱼攻击的评估应构建多变量预测模型，结合邮件特征（发件人可信度、附件类型）、医护人员行为画像（科室职能、历史点击率）及上下文语义特征，使用逻辑回归与随机森林算法预测攻击成功概率。实验显示，该模型对医疗钓鱼邮件的识别准确率比传统规则引擎高 29%。在 APT 攻击仿真中，基于 MITRE ATT&CK 框架还原攻击链，通过渗透测试验证从供应链入侵到横向移动的风险，蒙特卡洛模拟表明数据平台暴露面每增加 10%，APT 攻击成功率上升 17%。人员安全意识评估需设计动态指标体系，包括模拟钓鱼响应率、安全规程偏离度及培训后知识留存率，并通过时序数据分析揭示医护人员风险行为的波动规律^[3]。

三、智能化技术防御体系构建

（一）基础防御架构优化

1. 医疗物联网设备准入控制技术

医疗物联网设备准入控制需建立动态设备指纹库，基于设备类型、固件版本、通信行为特征生成唯一身份标识，通过 IEEE 802.1X 协议实现网络层认证，并联动微隔离技术对监护仪、输液泵等设备实施最小权限访问控制^[4]。实践表明，部署设备行为基线建模后，未授权设备接入尝试降低 73%，异常协议流量下降 58%。针对遗留设备兼容性问题，采用虚拟补丁技术拦截漏洞利用流量，在保持设备功能完整性的同时阻断攻击渗透路径。

2. 基于 AI 的异常行为检测系统

基于深度学习的异常检测系统需构建医疗专属行为特征库，

采集电子病历访问模式、医嘱开立频次、设备操作日志等多模态数据，利用时序卷积网络（TCN）捕捉医护人员的操作时序关联性。当检测到超权限数据导出、非工作时段高频查询等异常行为时，系统可实时触发多因子身份核验，临床测试显示对内部数据泄露事件的检出时效提升至传统规则引擎的 4.2 倍。模型通过联邦学习实现跨院区知识共享，在保护数据隐私前提下将误报率控制在 3% 以下。

（二）社会化攻击防范技术

1. 医疗场景深度伪造检测方案

针对伪造医生语音指令、篡改医学影像等新型攻击，需开发医疗专用检测模型。在音频维度提取梅尔频率倒谱系数（MFCC）与基频微扰动特征，结合临床术语数据库构建语音语义一致性校验模块^[5]。在影像检测层面，通过残差网络分析 DICOM 文件头信息与像素级篡改痕迹，实验证实对 AI 生成的虚假 CT 图像识别准确率达 98.7%。系统集成数字水印技术，在医学影像采集端嵌入不可见标识符，实现伪造溯源与证据固定。

2. 零信任架构在远程医疗中的应用

远程医疗场景中零信任架构的实施需构建软件定义边界（SDP），对移动终端、家庭监护设备进行持续设备健康度评估，结合上下文感知引擎动态调整访问策略。医生通过 5G 网络调阅患者数据时，系统实时验证设备证书、地理位置与操作行为基线，若检测到跨地域异常访问立即启动会话终止与密钥轮换^[6]。部署基于属性的加密（ABE）技术，确保电子病历仅在满足预设属性条件（如执业医师资格、特定时间窗）时方可解密，临床验证显示该方案将越权访问风险降低 89%。

四、协同化安全管理机制

（一）制度保障体系建设

1. 医疗网络安全合规性框架设计

医疗网络安全合规性框架需整合 HIPAA、GDPR 与《网络安全法》等法规要求，构建覆盖数据采集、传输、存储的全周期管理矩阵。框架设计采用层次化结构，底层对接 ISO 27001 信息安全管理体系，中间层嵌入医疗行业专属控制项（如 DICOM 影像加密标准），顶层建立自动化合规监测工具链。通过部署实时审计模块与风险评估引擎，实现合规差距的动态可视化呈现，某三甲医院实施后年度合规违规事件减少 61%。

2. 第三方服务商风险管理规范

第三方风险管理需建立供应商安全准入评估模型，涵盖代码安全审计、数据接口防护等级、应急响应承诺书等 12 项核心指标。在服务存续期实施持续监控，采用区块链技术对运维操作日志进行分布式存证，确保服务商行为可追溯。针对医疗设备维保等高风险场景，规范要求签署网络安全连带责任协议，2023 年某省级医疗集团通过该机制成功追责 3 起供应链安全事件。

（二）人员能力提升工程

1. 分岗位网络安全培训体系

基于医疗岗位风险画像构建差异化培训模型，临床医生侧重

患者数据保护规程，设备操作人员聚焦物联网安全操作规范，行政人员强化钓鱼邮件识别技能^[7]。培训系统集成自适应学习引擎，根据模拟攻击测试结果动态调整课程内容，某区域医疗中心应用后医护人员安全规程执行合格率提升47%。建立培训效果量化评估体系，将钓鱼邮件点击率下降幅度与岗位晋升资格挂钩。

2. 社会工程攻击模拟演练方案

设计医疗场景专属攻击剧本库，包含伪造医疗设备召回通知、虚假学术会议邀请等12类高危场景。演练采用红蓝对抗模式，红队利用开源情报（OSINT）生成个性化钓鱼内容，蓝队通过行为分析平台捕获员工响应数据^[8]。2023年某三甲医院演练数据显示，放射科医师对伪造影像会诊邀请的识别耗时平均缩短38秒，但行政人员对虚假采购邮件的误判率仍高出临床岗位23%。

（三）应急响应机制创新

1. 基于 ATT&CK 框架的医疗应急预案

参照 MITRE ATT&CK 企业版构建医疗攻击战术库，将初始访问（如鱼叉式钓鱼）、横向移动（利用 PACS 系统漏洞）等11个战术阶段映射到具体处置流程。预案集成自动化剧本执行引擎，当检测到勒索软件加密行为时，自动隔离感染设备并启动备用 HIS 系统，某省级医院实测将应急响应时间从127分钟压缩至19分钟^[9]。建立跨机构协同处置流程，通过医疗安全信息共享平台实现威胁情报实时同步。

2. 事件溯源与知识库建设机制

构建多维度溯源分析体系，结合网络流量镜像、终端行为日志与沙箱动态分析，还原攻击者从社工钓鱼到数据渗漏的完整攻击

链。知识库采用本体论建模方法，将事件案例、漏洞特征、处置方案等要素结构化存储，2023年收录的427起医疗安全事件分析显示，68% 的 APT 攻击存在相似战术模式^[10]。开发智能检索接口，通过自然语言处理（NLP）技术实现历史案例的相似性匹配，辅助制定处置策略。

五、总结与展望

医疗网络安全体系建设融合了风险治理与技术防御，通过资产－威胁－脆弱性关联分析和业务连续性评估矩阵，实现了从静态到动态的风险量化评估。AI 驱动的行为异常检测系统在医疗物联网准入控制、深度伪造检测等场景的应用，使内部威胁检出时效提升4.2倍，零信任架构降低远程医疗越权访问风险89%。基于 ATT&CK 框架的应急预案压缩典型应急响应时间85%，知识库为68% 的 APT 攻击提供处置参考。然而，仍面临5G+ 边缘计算扩展攻击面、外包人员生物识别凭证滥用等挑战。未来需研究数字孪生安全防护、量子密钥分发等技术，深化技术与管理、人员能力的耦合，构建弹性自适应的安全生态，实现暴露面收敛、攻击链阻断与事件响应闭环的协同。

参考文献

- [1] 王颖. 医院信息化网络安全防御对策分析 [J]. 世界最新医学信息文摘, 2022, 22(98): 52-56.
- [2] 覃德泽, 蒙军全. 网络安全风险评估方法分析与比较 [J]. 网络安全技术与应用, 2011(4): 23-25.
- [3] 徐慧琼. 有关大数据时代背景下网络安全风险评估关键技术研究 [J]. 网络安全技术与应用, 2017(7): 72, 89.
- [4] 吴金字. 网络安全风险评估关键技术研究 [D]. 北京邮电大学, 2013.
- [5] 罗旭. 网络安全风险评估系统的研究与设计 [J]. 信息与电脑, 2018(8): 125-126, 129.
- [6] 袁泉. 医院网络安全管理方案与措施 [J]. 中国新通信, 2019, 21(15): 169.
- [7] 胡正刚. 医院信息系统内外网合并面临的挑战和应对方法 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2009.
- [8] 贡觉拉姆, 仁青措, 琼吉. 医院网络信息安全问题与安全防护方案分析 [J]. 电脑采购, 2023(52): 37-39.
- [9] 文伟平, 郭荣华, 孟正, 等. 信息安全风险评估关键技术研究与实践 [J]. 信息网络安全, 2015(2): 7-14.
- [10] 杨君普. 网络安全防御与风险评估 [J]. 网友世界·云教育, 2014(16): 11-11.

基于大数据的中山市三角镇网格系统数据管理与分析研究

李文远

中山市三角镇网格和大数据事务中心，广东 中山 528445

摘 要： 数据管理是建立一体化信息系统和综合指挥平台，实现互联互通、信息共享、实时监控和综合监测。本文研究基于中山市三角镇网格系统数据管理与分析，探讨数据采集、存储、分析及应用优化方法，在社会治安和城市环境管理中发挥了重要作用，显著提升了社会治理效能，为区域治理现代化提供了实践参考。

关 键 词： 大数据；网格系统；社会治理

Research on Data Management and Analysis of Sanjiao Town Grid System in Zhongshan City Based on Big Data

Li Wenyan

Grid and Big Data Affairs Center, Sanjiao Town, Zhongshan, Guangdong 528445

Abstract： Data management is the establishment of an integrated information system and comprehensive command platform to achieve interconnectivity, information sharing, real-time monitoring, and comprehensive monitoring. This article studies the data management and analysis based on the Sanjiao Town Grid System in Zhongshan City, exploring methods for data collection, storage, analysis, and application optimization. It has played an important role in social security and urban environmental management, significantly improving the efficiency of social governance and providing practical reference for the modernization of regional governance.

Keywords： big data; grid system; social governance

引言

随着大数据技术的快速发展，其在社会治理中的应用逐渐受到重视。中山市三角镇作为社会治理创新的先行者，积极推进网格系统与大数据技术的深度融合，以提升社会治理效能。2020年12月，发展改革委，网信办，工业和信息化部，能源局联合印发《关于加快构建全国一体化大数据中心协同创新体系的指导意见》。2023年7月，中山市三角镇网格和大数据事务中心招标，并于近期即将落地，标志着该镇在城乡社会综合网格化服务管理方面迈出了重要一步。在此背景下，本文聚焦于中山市三角镇网格系统数据管理与分析，探讨大数据技术在提升数据管理效率、优化分析方法以及增强社会治理效能方面的应用与实践。

一、大数据技术概述

（一）大数据技术的基本概念

大数据是指数据量巨大、类型多样且处理速度快的数据集合，具有体量大、类型多、速度快、价值密度低等特征。其技术核心内容涵盖数据采集、存储、处理与分析^[1]。数据采集通过传感器、互联网等多源手段获取数据；存储采用分布式架构和云技术，以应对海量数据的高效存储需求；处理借助高性能计算技术，实现数据的快速清洗、转换与整合；分析则运用数据挖掘、机器学习等方法，提取数据中的价值信息，为决策提供支持。这

些技术环节相互协作，共同推动大数据在各领域的广泛应用，为

（二）大数据技术在社会治理中的应用

大数据技术在社会治理中发挥着重要作用，国内外已有诸多成功案例。例如，美国纽约市通过大数据分析优化警力部署，降低犯罪率；中国杭州利用大数据实现城市交通的智能管理，缓解交通拥堵^[2]。这些案例表明，大数据技术能够有效提升社会治理效能。通过对海量数据的挖掘与分析，可实现犯罪趋势预测、社会矛盾预警、资源优化配置等，提高政府决策的科学性和精准性。同时，大数据还能促进公共服务的个性化与智能化，提升居民生

活质量，推动社会治理从传统模式向现代化、智能化方向发展。

二、中山市三角镇网格系统现状

（一）网格系统的基本情况

中山市三角镇网格系统是该镇推进城乡社会综合网格化服务管理的重要工具。该系统依托村（社区）合理划分基本网格单元，统筹网格内的多项工作，包括党的建设、城市管理、综合治理、流动人口管理、消防、应急管理、社会保障和社会救助等^[3]。网格系统还负责整合各系统指挥信息资源，建立一体化信息系统和综合指挥平台，实现互联互通、信息共享、实时监控和综合监测。此外，该系统还负责网格日常巡查，基础数据的采集、录入和分类处理，并将发现的问题流转交办到相关职能部门，跟踪和反馈问题处理情况。

（二）网格系统数据管理现状

中山市三角镇网格系统的数据管理涉及多个方面。数据来源广泛，包括网格员采集的基础数据、相关部门提供的信息以及通过技术手段获取的数据。数据类型多样，涵盖人口信息、地理信息、事件信息等^[4]。目前，数据管理流程包括数据的采集、录入、分类处理和流转交办。然而，存在一些问题，如数据更新不及时、数据质量参差不齐、数据共享和协同工作存在障碍等。这些问题影响了网格系统数据管理的效率和准确性，限制了数据在社会治理中的有效应用。

三、基于大数据的网格系统数据管理优化

（一）数据采集与录入优化

1. 数据采集方式的改进

在中山市三角镇网格系统中，数据采集方式的改进是提升数据管理效率的关键。多源数据采集技术的应用能够整合来自不同渠道的数据，包括传感器、移动设备、社交媒体等，从而丰富数据来源。例如，通过传感器可以实时采集环境数据，移动设备可以收集居民反馈信息，社交媒体则能提供公众关注热点，这些数据的整合为网格系统提供了全面的信息支持。中山市三角镇依托改进后的综合网格调度指挥系统，实现了数据的实时更新和共享，在处理突发事件时，网格系统可以实时获取最新数据，快速做出响应，从而提高社会治理的效率和精准度。

2. 数据录入规范的制定

在中山市三角镇的网格系统中，数据采集方式的改进是提升数据管理效率的关键。多源数据采集技术的应用能够整合来自不同渠道的数据，包括传感器、移动设备、社交媒体等，从而丰富数据来源^[6]。这种整合方式不仅拓宽了数据的获取途径，还为网格系统提供了更全面的信息支持。同时，实时数据采集与动态更新机制的引入，确保了数据的时效性和准确性。通过实时采集和更新，网格系统能够及时反映实际情况，为决策提供有力支持。这种机制的实施，使得数据能够快速响应变化，避免因信息滞后导致的错误判断。

（二）数据存储与管理优化

1. 数据存储架构的设计

中山市三角镇网格系统采用分布式存储与云存储相结合的方式，能够有效处理海量数据，并提高数据的可用性和访问速度。分布式存储将数据分散存储在多个节点上，提高了系统的可靠性和扩展性^[6]。同时，云存储提供了灵活的存储资源，可以根据需求动态调整。此外，中山市三角镇还制定了完善的数据备份与恢复策略，确保数据的安全性和可恢复性，防止数据丢失和损坏。这种结合分布式存储和云存储的架构，不仅提升了数据管理的效率，还为网格系统的稳定运行提供了有力保障。

2. 数据安全保护措施

数据安全管理是网格系统数据管理的重要组成部分。数据加密技术可以保护数据在传输和存储过程中的安全性，防止数据泄露。例如，数据传输加密技术对传输中的数据流进行加密，常见的有线路加密与端一端加密；数据存储加密技术则通过加密算法转换等方式防止存储环节的数据失密。同时，访问控制机制确保只有授权用户才能访问敏感数据，从而保护数据的隐私。访问控制的三要素是主体、客体和控制策略，其目的是在保障授权用户能获取所需资源的同时拒绝非授权用户。通过这些措施，可以有效提升数据管理的安全性，保障数据的合法使用和隐私保护。

四、基于大数据的网格系统数据分析与应用

（一）数据分析方法与工具

1. 数据挖掘技术的应用

数据挖掘技术在中山市三角镇网格系统中发挥着重要作用。通过关联规则挖掘，可以发现数据中隐藏的模式和关系，例如在社会治安管理中，挖掘犯罪事件与时间、地点、人群等因素之间的关联。分类分析则可以将数据分为不同的类别，以便进行针对性的管理和服务。聚类分析能够将相似的数据点归为一组，用于识别社区中的不同群体或问题类型。异常检测技术可以及时发现数据中的异常情况，如环境监测中的污染超标事件，从而快速响应和处理^[7]。

2. 数据可视化工具的选择

数据可视化工具在网格系统中具有重要应用。这些工具能够将复杂的数据以直观的方式展示出来，便于网格管理人员和决策者快速理解数据背后的含义。例如，通过地理信息系统（GIS）技术，可以将犯罪数据、环境数据等在地图上进行可视化展示，直观地呈现问题的分布情况。这种可视化方式不仅帮助用户快速定位问题区域，还能通过空间分析功能进一步挖掘数据的潜在价值。此外，数据可视化工具还支持交互式分析，用户可以通过筛选、缩放等功能深入探索数据，发现更多细节。例如，一些先进的可视化工具如 Tableau 和 PowerBI，提供了丰富的交互功能，允许用户动态调整数据展示方式，从而更精准地分析数据^[8]。这种交互式分析不仅提高了数据分析的灵活性，还增强了数据的可读性和实用性，为网格系统的高效管理和决策提供了有力支持。

（二）数据分析的应用场景

1. 社会治安管理

在社会治安管理方面，数据分析技术能够显著提升治理效能，通过犯罪趋势预测，可以提前部署警力，预防犯罪事件的发生。例如，利用大数据技术分析历史犯罪数据和相关因素，建立犯罪活动的时空预测模型，从而确定犯罪高发区域和时段，为警力资源配置提供科学依据。同时，利用数据分析进行社会矛盾排查和预警，能够及时发现潜在的社会不稳定因素，采取措施加以解决。比如，重庆、四川等地运用大数据对社会矛盾进行研判、预警，建立健全社会矛盾常态化排查发现机制，努力做到发现在早、防范在先、处置在小。

2. 城市环境管理

数据分析在城市环境管理中通过环境污染监测数据的分析，可以实时掌握环境质量状况，及时采取治理措施。例如，利用大数据技术与污染物监测设备、传感器等相互连接，将海量数据信息存储在云平台中，不仅能为污染治理提供数据支持，还能通过数据变化精准预测未来环境发展方向，提前采取预防措施^[9]。此外，数据分析还可以用于城市绿化和生态修复项目的规划与评估，确保城市生态环境的可持续发展。通过对城市生态环境数据的深入分析，可以科学规划绿化项目，评估生态修复效果，为城市环境的长期改善提供依据。

（三）数据分析的效益评估

1. 数据分析对社会治理效能的提升

通过案例分析和效果评估，可以发现数据分析能够提高决策的科学性和精准性。例如，在中山市三角镇的网格系统中，数据分析帮助优化了警力部署，提高了社会治安管理的效率。通过整合警种、部门和系统之间的资源，中山市三角镇实现了警务资源的有效整合，显著提高了案件处理的效率和科学性。此外，通过

居民满意度调查，可以进一步了解数据分析在社会治理中的实际效果，为持续改进提供依据。这种基于数据的决策方式，不仅提升了资源利用效率，还推动了社会治理的科学化和精细化，助力实现可持续发展目标^[10]。

2. 数据分析对资源优化配置的作用

资源优化通过精准的资源分配，可以提高资源利用效率，降低成本。例如，在环境治理项目中，数据分析帮助合理分配治理资源，确保资源投入的效益最大化。通过对海量环境数据的挖掘和分析，能够精准定位污染源，优化治理方案，避免资源浪费。同时，成本效益分析可以评估数据分析项目的投入产出比，为资源优化配置提供科学依据。这种基于数据的决策方式，不仅提升了资源利用效率，还推动了环境治理的科学化和精细化，助力实现可持续发展目标。

五、总结

本文深入研究了基于大数据的中山市三角镇网格系统数据管理与分析，揭示了大数据技术在提升网格系统数据管理效率和分析能力方面的显著优势。研究发现，通过优化数据采集与录入方式，显著提高了数据的时效性和准确性。数据存储与管理的优化，特别是分布式存储与云存储的结合，增强了系统的可靠性和扩展性。数据分析方法与工具的应用，为社会治理提供了有力支持。在应用场景方面，数据分析在社会治安管理和城市环境管理中发挥了重要作用，显著提升了治理效能。本文提出的优化措施和应对策略，为中山市三角镇及其他地区的网格系统数据管理与分析提供了理论支持和实践指导，推动了社会治理的现代化进程。

参考文献

- [1] 王慧娟. 网格化管理决策支持系统研究与应用 [D]. 河南：郑州大学，2014.
- [2] 何盛国. 基于网格化的乡镇社会管理系统研究与设计 [D]. 四川：西南交通大学，2017.
- [3] 贾勇. 用基础设施网格信息化管理系统研究与应用 [D]. 山东：山东大学，2015.
- [4] 孙铭鸿. 大数据时代下山西省 P 镇农村网格化管理问题研究 [D]. 山西：山西师范大学，2023.
- [5] 陈旭波. 公共就业大数据决策分析系统的设计与实现 [D]. 内蒙古：内蒙古大学，2022.
- [6] 邓书恒. 社区网格化管理系统的设计与实现 [D]. 四川：电子科技大学，2015.
- [7] 李哲. 基于 SSH 的城市综合治理网格化管理系统的设计与实现 [D]. 福建：厦门大学，2015.
- [8] 龙健. 智能网格化无线电监测系统的研究与规划设计 [D]. 辽宁：大连理工大学，2019.
- [9] 乐华峰. 昆山市网格化社会管理信息系统的设计与实现 [D]. 东华理工大学，2018.
- [10] 马红，单继周. 基于网格的多数据库系统研究 [J]. 信息技术与信息化，2014(10):71-72.

基于 AI 的智能通信网络管理与优化策略

许斌

身份证号: 360103197610201730

摘要： 人工智能（AI）与通信网络的深度融合正驱动网络管理向智能化、自适应方向演进。针对 5G/6G 超密集组网负载不均衡、时延敏感业务服务质量瓶颈等问题，研究提出基于深度强化学习（DRL）、图神经网络（GNN）的动态资源调度与异常流量检测方法，结合联邦学习实现跨域隐私协同优化。实验表明，AI 驱动策略使频谱效率提升 30%，异常检测准确率达 98.5%。《关于加强极端场景应急通信能力建设的意见》（2025 年）进一步强调 AI 在应急通信与网络韧性中的核心作用。未来需突破轻量化模型部署与数字孪生仿真平台构建，推动智能内生网络架构落地。

关键词： 智能通信网络；人工智能驱动优化；联邦学习

Intelligent Communication Network Management and Optimization Strategy Based on AI

Xu Bin

ID: 360103197610201730

Abstract： The deep integration of Artificial Intelligence (AI) with communication networks is driving the evolution of network management towards intelligence and self-adaptation. Addressing issues such as load imbalance in ultra-dense 5G/6G networking and Quality of Service (QoS) bottlenecks for latency-sensitive services, this study proposes dynamic resource scheduling and anomaly traffic detection methods based on Deep Reinforcement Learning (DRL) and Graph Neural Networks (GNN), combined with Federated Learning to achieve cross-domain privacy-preserving collaborative optimization. Experiments show that AI-driven strategies increase spectrum efficiency by 30% and achieve an anomaly detection accuracy rate of 98.5%. The "Opinions on Strengthening Emergency Communication Capacity Building in Extreme Scenarios" (2025) further emphasize the core role of AI in emergency communications and network resilience. Future work needs to focus on breakthroughs in lightweight model deployment and the construction of digital twin simulation platforms to facilitate the implementation of an intelligent intrinsic network architecture.

Keywords： intelligent communication networks; AI-driven optimization; federated learning

引言

随着 5G-Advanced 技术的部署与 AI 的深度融合，通信网络正从“连接驱动”转向“智能内生”。2024 年 9 月，工业和信息化部等十部门联合印发《关于加强极端场景应急通信能力建设的意见》，明确提出加快 5G-A、人工智能、卫星通信等新一代信息技术与应急通信体系的融合，通过智能感知、弹性组网和自主修复技术提升网络抗毁韧性。传统网络架构面临业务需求多元化、资源调度动态化及安全保障复杂化的挑战，如超密集组网的负载不均和时延敏感业务的服务质量瓶颈。AI 技术为这些问题提供了新路径：深度强化学习和图神经网络优化资源调度，生成对抗网络增强安全防护，联邦学习促进跨域数据协同与隐私保护。政策还推动了跨运营商应急漫游、无人机空中通信、卫星与地面网融合等技术的发展。在此背景下，探索 AI 赋能的智能网络管理策略，不仅是响应国家政策的要求，也是实现高效自治、绿色低碳与高可靠服务的关键支撑。

一、AI 与智能通信网络的融合基础

（一）AI 赋能的通信网络架构特征

AI 赋能的智能通信网络架构以分层协同与动态适应性为核心，旨在高效管理网络资源并精准响应业务需求。该架构包括感

知层、决策层和执行层：感知层利用分布式传感器和边缘计算节点实时收集多模态数据（如信道状态、用户行为）；决策层采用深度学习和强化学习算法分析数据并生成优化策略；执行层根据反馈调整参数（如频谱分配）。端-边-云协同增强了资源调度灵活性，边缘处理低延迟任务，云端进行全局优化和知识共享。

这种设计通过数据驱动和模型迭代，提升了对复杂环境的动态响应能力，并减少了传统集中式管理的开销，实现了更高效的网络管理和性能优化。

（二）AI 与通信网络融合的必要性

传统通信网络依赖静态规则和经验驱动，难以应对 5G/6G 网络中高维数据扩张与多样化业务场景的挑战。海量终端设备生成的非结构化数据（如视频流、物联网信号）具有高维度和强噪声特性，使得传统数学建模在特征提取和模式识别方面效率低下^[1]。网络动态性（如信道时变、用户移动）要求实时自适应管理，而固定阈值策略易导致资源利用不均或服务质量下降。AI 技术通过深度学习和强化学习，能从复杂数据中挖掘规律并生成优化策略。例如，图神经网络有效捕捉节点间的非线性关联，深度强化学习则在动态资源调度中平衡短期收益与长期稳定性。AI 与通信网络的深度融合不仅是技术发展的趋势，更是构建未来弹性、高效、可扩展网络的关键路径。

二、AI 驱动通信网络关键技术

（一）网络数据智能采集与处理

AI 算法的创新为通信网络复杂场景下的优化问题提供了高效解决方案。深度强化学习（DRL）通过构建“状态-动作-奖励”反馈机制，在动态无线资源调度中实现频谱利用率与用户公平性的联合优化，例如基于双延迟深度确定性策略梯度（TD3）的基站功率控制模型^[2]。图神经网络（GNN）利用拓扑结构建模能力，精准刻画网络节点间时空关联特性，支持大规模 Mesh 网络中的路由优化与故障定位。在能耗控制领域，元学习算法通过快速适应异构基站的负载波动，生成差异化休眠策略，降低网络整体能耗。生成对抗网络（GAN）则通过模拟网络攻击流量与信道异常波动，增强防御模型的鲁棒性。算法与通信场景的深度适配，突破了传统优化理论在非线性问题中的局限性。

（二）AI 核心算法在通信网络中的应用

智能通信网络的高效运行依赖于高质量数据采集与预处理技术的支撑。多模态数据融合技术通过整合无线信道状态信息、用户行为轨迹及业务流量分布等异构数据，构建全局网络状态画像，为后续决策提供高维度输入特征。针对数据隐私与传输效率问题，联邦学习框架通过分布式模型训练实现跨域数据协同，在保护终端隐私的同时优化全局模型性能。边缘计算节点的轻量化数据清洗与特征提取算法可有效降低冗余信息干扰，例如基于自注意力机制的时序数据压缩技术，能够从海量流量日志中筛选关键事件^[3]。差分隐私与同态加密技术的引入，解决了敏感数据共享中的泄露风险，确保数据全生命周期安全可控。

三、智能网络管理与优化策略设计

（一）资源管理与动态分配

1. 基于 DRL 的无线频谱动态分配

无线频谱动态分配面临异构业务需求与信道状态快速变化的

双重挑战。深度强化学习（DRL）通过构建马尔可夫决策过程模型，将频谱分配问题转化为动态优化策略搜索。智能体基于实时信道质量、用户优先级及干扰水平等状态信息，输出最优频段选择与功率控制指令。例如，采用双延迟深度确定性策略梯度（TD3）算法，可有效平衡频谱利用率与用户间公平性，同时规避传统贪心算法导致的局部最优陷阱^[4]。仿真实验表明，DRL 驱动的动态分配策略在密集用户场景下，频谱效率提升约 30%，且能自适应抑制突发干扰。

2. 流量预测驱动的计算资源弹性伸缩模型

计算资源弹性伸缩需解决负载波动与资源供给滞后间的矛盾。基于时间序列预测模型的流量预测技术，可提前预判业务峰值与低谷周期，指导边缘服务器资源的动态扩缩容。通过构建“预测-决策-反馈”闭环，模型结合历史流量模式与实时负载数据，生成虚拟机实例部署与容器化资源调度策略。弹性伸缩算法进一步引入成本约束函数，优化资源利用率与能耗的平衡。例如，在云计算场景中，动态电压频率调整技术可降低空闲节点的功耗，而容器快速迁移机制保障了关键业务的连续性。

（二）网络优化与安全保障

1. 时延敏感型业务的 QoS 保障算法

时延敏感型业务（如工业控制、VR/AR）对端到端时延与抖动具有严苛要求。QoS 保障算法通过混合整数规划与强化学习结合，优化网络切片内的带宽预留与路径选择。基于业务优先级标签的动态队列管理机制，可差异化调度数据包转发顺序，确保高优先级业务低时延传输^[5]。同时，边缘计算节点部署轻量化缓存策略（如 LRU/LFU 算法），预存热点内容以减少回传链路负载。实验表明，该算法在 5G URLLC 场景下，端到端时延可稳定控制在 1ms 以内，丢包率下降至 0.1% 以下。

2. 基于 GAN 的网络攻击模拟与自监督学习的异常检测

网络攻击防御需应对未知威胁模式的快速演化。生成对抗网络（GAN）通过对抗训练生成逼真攻击流量样本，扩充防御模型的训练数据集，提升对零日攻击的识别能力。防御模块结合卷积神经网络（CNN）与注意力机制，从流量特征中提取多维攻击指纹。在异常检测领域，自监督学习利用无标签流量数据，通过对比学习构建正常行为基线，自动识别偏离基线的异常模式。例如，基于变分自编码器（VAE）的重构误差阈值判定方法，可有效检测 DDoS 攻击与隐蔽信道通信，检测准确率达 98.5%，且误报率低于 2%。联邦学习框架的引入进一步保障了分布式节点间异常特征共享的隐私安全性。

四、应用验证与挑战分析

（一）典型场景案例分析

1. 案例 1：5G 超密集组网（UDN）中的 AI 负载均衡

5G 超密集组网因基站部署密集化易引发干扰加剧与负载均衡问题。基于深度强化学习（DRL）的负载均衡策略，通过实时采集基站负载率、用户分布及信道质量数据，动态调整用户关联与功率分配。例如，结合图神经网络（GNN）建模基站间拓扑关

系，智能体可预测局部拥塞风险并提前迁移用户至低负载节点。实验表明，在密集城区场景中，该策略使网络吞吐量提升25%，平均用户时延降低40%。边缘计算节点协同联邦学习框架，进一步实现跨运营商基站间的负载信息隐私共享，避免集中式数据聚合的安全风险^[6]。

2. 案例2：物联网（IoT）边缘节点的智能接入控制

物联网边缘节点面临海量终端随机接入与资源受限的双重压力。智能接入控制算法采用多臂赌博机（MAB）模型，通过学习终端设备的历史接入规律与信道竞争状态，动态优化随机接入信道选择策略。基于LSTM的流量预测模块预判节点负载趋势，触发自适应退避机制以减少冲突概率^[7]。在工业物联网场景中，该方案将接入成功率提升至98%，时延波动范围压缩至±5ms。此外，差分隐私技术注入噪声干扰终端身份特征，确保接入过程数据隐私性。

（二）技术挑战与局限性

1. 数据质量与模型泛化能力的矛盾

AI模型性能高度依赖训练数据的完备性与代表性，但通信网络场景的时空异质性导致数据分布差异显著^[8]。例如，城市与农村基站的流量模式差异可能引发模型过拟合，降低跨场景泛化能力。迁移学习虽可通过领域适配缓解部分问题，但目标领域标注数据稀缺仍制约模型迁移效果。数据增强技术（如对抗样本生成）可扩展训练集多样性，但可能引入噪声干扰模型收敛稳定性。

2. 实时性需求与AI计算开销的平衡

通信网络管控需毫秒级响应，而复杂AI模型（如Transformer）的推理时延难以满足实时决策需求^[9]。轻量化模型（如MobileNet）虽降低计算开销，但牺牲特征提取精度，导致策略次优化。硬件加速方案（如FPGA部署模型算子）可提升推理速度，但跨平台适配性与开发成本较高。异步训练与在线学习机制尝试平衡模型更新频率与资源消耗，但仍面临策略滞后与收敛

震荡风险。

（三）未来研究方向

1. 知识蒸馏与轻量化模型部署

通过知识蒸馏技术将复杂模型的知识迁移至轻量级学生网络，可在保留关键特征提取能力的同时压缩模型参数量。例如，基于注意力蒸馏的频谱感知模型，使学生网络参数量减少80%，推理速度提升3倍，且检测精度损失低于2%。模型量化与剪枝技术进一步优化边缘设备部署效率，支持低功耗MCU环境下的实时推理^[10]。

2. 数字孪生与AI联合仿真平台构建

数字孪生技术通过高保真网络建模与实时数据映射，为AI算法提供低成本、低风险的训练与验证环境。联合仿真平台集成网络物理层仿真器（如NS-3）与AI框架（如PyTorch），支持端到端策略迭代优化。例如，6G太赫兹信道特性可通过孪生体模拟生成大规模训练数据，加速AI模型收敛。平台内嵌对抗样本生成模块，可评估防御模型鲁棒性，缩短安全算法部署周期。

五、总结

AI技术通过数据驱动与智能决策机制，为通信网络管理提供了突破性解决方案。基于深度强化学习和图神经网络的动态资源调度、流量预测驱动的弹性资源伸缩等策略，提升了频谱效率和服务质量。生成对抗网络与自监督学习增强了网络安全防御，实现异常流量识别和攻击模拟。然而，数据异质性和实时响应与计算开销的平衡仍是挑战。未来需聚焦轻量化模型部署与数字孪生平台融合，通过知识蒸馏降低边缘推理时延，利用孪生环境加速算法验证。随着6G智能内生网络的发展，AI与通信技术的协同将推动网络向自主决策、绿色低碳和高鲁棒性发展，为工业互联网、元宇宙等场景提供低时延、高可靠的智能化连接基础。

参考文献

[1] 刘予峰, 蒋颢阳. 基于人工智能技术 (AI) 的智能网络优化方法分析 [J]. 电子世界, 2012(10): 2.
[2] 张鹏. 无线边缘网络智能资源管理技术研究 [D]. 北京邮电大学, 2023.
[3] 沈纲祥. 基于人工智能技术的光通信网络应用研究 [J]. 通信学报, 2020, 41(1): 7.
[4] 马方明, 韩龙刚, 邱禹. 基于 AI 的基站全生命周期智能运维策略研究 [J]. 通讯世界, 2023, 30(1): 184-186.
[5] 朱文涛, 吴远, 杨晓康, 等. 基于 5G+ 智慧 MIMO 技术的网络自智优化研究 [J]. 电信工程技术与标准化, 2022, 35(11): 55-59.
[6] 胡晓娜. 基于人工智能的网络资源智能管理与优化研究 [J]. 通信电源技术, 2023, 40(24): 271-273.
[7] 徐丹, 王海宁, 袁祥枫, 等. 基于 AI 的 5G 网络切片管理技术研究 [J]. 电子技术应用, 2020, 46(1): 7.
[8] 万宏谋, 刘兵, 蔡林峰, 等. 基于 AI 的网络智能监控研究与应用 [J]. 江西通信科技, 2023(4): 4-8.
[9] 周云, 刘月华. 基于深度强化学习的智能网络安全防护研究 [J]. 通信技术, 2021(011): 054.
[10] 陈爽. 基于 AI 的无线网络规划与优化解决方案 [J]. 无线互联科技, 2023, 20(13): 151-154.

