

# 总 序

党的二十大胜利召开，吹响了以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴的前进号角。习近平总书记强调“教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑”<sup>①</sup>，明确要求到2035年要建成教育强国、科技强国、人才强国。新时代新征程对科技界提出了更高的要求。当前，世界科学技术发展日新月异，不断开辟新的认知疆域，并成为带动经济社会发展的核心变量，新一轮科技革命和产业变革正处于蓄势跃迁、快速迭代的关键阶段。开展面向2035年的中国学科及前沿领域发展战略研究，紧扣国家战略需求，研判科技发展大势，擘画战略、锚定方向，找准学科发展路径与方向，找准科技创新的主攻方向和突破口，对于实现全面建成社会主义现代化“两步走”战略目标具有重要意义。

当前，应对全球性重大挑战和转变科学研究范式是当代科学的时代特征之一。为此，各国政府不断调整和完善科技创新战略与政策，强化战略科技力量部署，支持科技前沿态势研判，加强重点领域研发投入，并积极培育战略新兴产业，从而保证国际竞争实力。

擘画战略、锚定方向是抢抓科技革命先机的必然之策。当前，新一轮科技革命蓬勃兴起，科学发展呈现相互渗透和重新会聚的趋

---

<sup>①</sup> 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告. 北京：人民出版社，2022：33.

势，在科学逐渐分化与系统持续整合的反复过程中，新的学科增长点不断产生，并且衍生出一系列新兴交叉学科和前沿领域。随着知识生产的不断积累和新兴交叉学科的相继涌现，学科体系和布局也在动态调整，构建符合知识体系逻辑结构并促进知识与应用融通的协调可持续发展的学科体系尤为重要。

擘画战略、锚定方向是我国科技事业不断取得历史性成就的成功经验。科技创新一直是党和国家治国理政的核心内容。特别是党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央明确了我国建成世界科技强国的“三步走”路线图，实施了《国家创新驱动发展战略纲要》，持续加强原始创新，并将着力点放在解决关键核心技术背后的科学问题上。习近平总书记深刻指出：“基础研究是整个科学体系的源头。要瞄准世界科技前沿，抓住大趋势，下好‘先手棋’，打好基础、储备长远，甘于坐冷板凳，勇于做栽树人、挖井人，实现前瞻性基础研究、引领性原创成果重大突破，夯实世界科技强国建设的根基。”<sup>①</sup>

作为国家在科学技术方面最高咨询机构的中国科学院和国家支持基础研究主渠道的国家自然科学基金委员会（简称自然科学基金委），在夯实学科基础、加强学科建设、引领科学研究发展方面担负着重要的责任。早在新中国成立初期，中国科学院学部即组织全国有关专家研究编制了《1956—1967年科学技术发展远景规划》。该规划的实施，实现了“两弹一星”研制等一系列重大突破，为新中国逐步形成科学技术研究体系奠定了基础。自然科学基金委自成立以来，通过学科发展战略研究，服务于科学基金的资助与管理，不断夯实国家知识基础，增进基础研究面向国家需求的能力。2009年，自然科学基金委和中国科学院联合启动了“2011—2020年中国学科

---

<sup>①</sup> 习近平. 努力成为世界主要科学中心和创新高地 [EB/OL]. (2021-03-15). [http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2021-03/15/c\\_1127209130.htm](http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2021-03/15/c_1127209130.htm)[2022-03-22].

发展战略研究”。2012年，双方形成联合开展学科发展战略研究的常态化机制，持续研判科技发展态势，为我国科技创新领域的方向选择提供科学思想、路径选择和跨越的蓝图。

联合开展“中国学科及前沿领域发展战略研究(2021—2035)”，是中国科学院和自然科学基金委落实新时代“两步走”战略的具体实践。我们面向2035年国家发展目标，结合科技发展新特征，进行了系统设计，从三个方面组织研究工作：一是总论研究，对面向2035年的中国学科及前沿领域发展进行了概括和论述，内容包括学科的历史演进及其发展的驱动力、前沿领域的发展特征及其与社会的关联、学科与前沿领域的区别和联系、世界科学发展的整体态势，并汇总了各个学科及前沿领域的发展趋势、关键科学问题和重点方向；二是自然科学基础学科研究，主要针对科学基金资助体系中的重点学科开展战略研究，内容包括学科的科学意义与战略价值、发展规律与研究特点、发展现状与发展态势、发展思路与发展方向、资助机制与政策建议等；三是前沿领域研究，针对尚未形成学科规模、不具备明确学科属性的前沿交叉、新兴和关键核心技术领域开展战略研究，内容包括相关领域的战略价值、关键科学问题与核心技术问题、我国在相关领域的研究基础与条件、我国在相关领域的发展思路与政策建议等。

三年多来，400多位院士、3000多位专家，围绕总论、数学等18个学科和量子物质与应用等19个前沿领域问题，坚持突出前瞻布局、补齐发展短板、坚定创新自信、统筹分工协作的原则，开展了深入全面的战略研究工作，取得了一批重要成果，也形成了共识性结论。一是国家战略需求和技术要素成为当前学科及前沿领域发展的主要驱动力之一。有组织的科学研究及源于技术的广泛带动效应，实质化地推动了学科前沿的演进，夯实了科技发展的基础，促进了人才的培养，并衍生出更多新的学科生长点。二是学科及前沿

领域的发展促进深层次交叉融通。学科及前沿领域的发展越来越呈现出多学科相互渗透的发展态势。某一类学科领域采用的研究策略和技术体系所产生的基础理论与方法论成果，可以作为共同的知识基础适用于不同学科领域的多个研究方向。三是科研范式正在经历深刻变革。解决系统性复杂问题成为当前科学发展的主要目标，导致相应的研究内容、方法和范畴等的改变，形成科学研究的多层次、多尺度、动态化的基本特征。数据驱动的科研模式有力地推动了新时代科研范式的变革。四是科学与社会的互动更加密切。发展学科及前沿领域愈加重要，与此同时，“互联网+”正在改变科学交流生态，并且重塑了科学的边界，开放获取、开放科学、公众科学等都使得越来越多的非专业人士有机会参与到科学活动中来。

“中国学科及前沿领域发展战略研究(2021—2035)”系列成果以“中国学科及前沿领域2035发展战略丛书”的形式出版，纳入“国家科学思想库-学术引领系列”陆续出版。希望本丛书的出版，能够为科技界、产业界的专家学者和技术人员提供研究指引，为科研管理部门提供决策参考，为科学基金深化改革、“十四五”发展规划实施、国家科学政策制定提供有力支撑。

在本丛书即将付梓之际，我们衷心感谢为学科及前沿领域发展战略研究付出心血的院士专家，感谢在咨询、审读和管理支撑服务方面付出辛劳的同志，感谢参与项目组织和管理工作的中国科学院学部的丁仲礼、秦大河、王恩哥、朱道本、陈宜瑜、傅伯杰、李树深、李婷、苏荣辉、石兵、李鹏飞、钱莹洁、薛淮、冯霞，自然科学基金委的王长锐、韩智勇、邹立尧、冯雪莲、黎明、张兆田、杨列勋、高阵雨。学科及前沿领域发展战略研究是一项长期、系统的工作，对学科及前沿领域发展趋势的研判，对关键科学问题的凝练，对发展思路及方向的把握，对战略布局的谋划等，都需要一个不断深化、积累、完善的过程。我们由衷地希望更多院士专家参与到未

## 总 序

来的学科及前沿领域发展战略研究中来，汇聚专家智慧，不断提升凝练科学问题的能力，为推动科研范式变革，促进基础研究高质量发展，把科技的命脉牢牢掌握在自己手中，服务支撑我国高水平科技自立自强和建设世界科技强国夯实根基做出更大贡献。

“中国学科及前沿领域发展战略研究（2021—2035）”

联合领导小组

2023年3月



# 前 言

信息科学是研究信息产生、获取、存储、显示、处理、传输及其相互作用与应用的科学，以信息论、控制论和系统论等为理论基础，涵盖了电子科学与技术、信息论与通信系统、信息获取与处理、计算机科学与技术、数据与计算科学、自动化科学与技术、人工智能与智能芯片、半导体科学与信息器件、光学与光电子学、教育与信息交叉等分支领域的一门新兴综合性学科。信息学科几乎渗透到所有学科领域，强力促进了各学科的蓬勃发展，显著地提升了资源配置的效率以及各学科的发展质量，深远地影响其他学科的研究范式。

信息科学通过相互渗透、相互结合，成为我国可持续发展和提升国家综合竞争力的强大动力，信息领域的技术水平也成为国家科学技术进步的重要标志。信息科学与产业是构建国家信息基础设施，提供网络和信息服务，全面支撑经济社会发展的战略性、基础性和先导性学科与行业。信息技术突破和产业竞争，已成为改变全球经济、政治和安全格局的重要因素，其发展水平已成为一个国家的重要国力体现。信息科学由于潜在应用广、技术革新快、重大挑战多，成为众多学科中最具创新活力的领域之一，其技术水平对引领经济社会转型发展和保障国家安全稳定具有深远的影响。

在自然科学基金委和中国科学院的联合资助下，我们承担了“中

国学科及前沿领域发展战略研究(2021—2035)”专项中的信息科学发展战略规划任务,编撰完成了《中国信息科学2035发展战略》。在本书中,我们探讨了信息科学前沿发展趋势和可持续发展策略,深入阐述了信息科学及其各分支学科的科学意义与战略价值、发展规律与研究特点,系统分析了我国信息科学的发展现状、态势与挑战,提出了我国信息科学的发展思路和重点发展方向,从总体上为我国信息科学未来10年的发展提供参考意见。

按照自然科学基金委与中国科学院制定的“中国学科及前沿领域发展战略研究(2021—2035)工作总体方案”,在自然科学基金委信息学部的组织下于2019年3月成立了信息科学发展战略规划编写组和秘书组,刘明院士任编写组组长,范平志教授、陈熙霖教授、孙长银教授、施毅教授、祝宁华院士分别负责信息学科中电子学与信息系统、计算机科学与技术、自动化科学与技术、半导体、光学与光电子分支学科的战略规划。经过多轮的撰写、讨论、咨询、修改,于2021年2月完成“中国信息学科领域发展战略研究(2021—2035)研究报告”。随后,以研究报告为核心,编写组撰写完成《中国信息科学2035发展战略》初稿,并在各分支学科小组会议、战略研究组全体会议、自然科学基金委信息学部咨询委员会、中国科学院信息学部等不同层次,不同范围内广泛地征求专家学者的意见,历经2年时间,最终形成本书终稿。尽管如此,本书仍可能存在遗漏、不完善之处,请广大读者批评指正。

本书在研讨、撰写和定稿过程中,得到了自然科学基金委信息学部、中国科学院信息学部的直接指导和大力支持,《中国信息科学2035发展战略》编写组在总体策划、书稿架构、专题调研和专家组织方面做了大量工作,秘书组承担了会议组织、材料整理、书稿组稿和校稿等工作,此外还有大量专家参与专题调研、咨询和书稿评审等工作,为书稿的完善提出了宝贵的意见。在此,我们对所有参



## 前 言

与本书工作的人员和机构深表感谢。最后，感谢自然科学基金委和中国科学院提供的经费支持。

刘 明

《中国信息科学 2035 发展战略》编写组组长

2023 年 5 月 1 日



# 摘 要

本书在系统梳理信息科学发展历程的基础上，总结了信息科学的科学意义和战略价值、学科特点和发展规律。围绕信息科学国际发展趋势、国家科技发展和人才队伍建设需求，详细分析了我国信息科学领域的发展现状和挑战，提出了我国信息科学中长期（2021—2035年）发展的关键科学问题、发展思路、发展目标、重点研究方向和保障措施等建议，为我国信息科学未来发展提供指导。

信息科学是人类社会从信息时代向智能时代发展中的先导性科学技术，是国家科学技术进步的重要标志，是推动国民经济、社会发展和国防安全的技术保障，是实现可持续发展、提升国家综合竞争力的强大动力。在新的全球格局和大国竞争的国际环境下，信息科学战略性地位更加突出。加强前瞻性和颠覆性技术研究，持续推动关键技术突破，为新时代我国参与广泛的全球竞争提供有力科技保障和核心竞争力，确保我国在未来全球竞争中的战略优势。因此，对信息科学领域的传统学科、新兴学科、交叉学科等进行研究并根据具体发展状况和发展阶段制定相应的发展规划，有利于实现合理高效的资源配置和各学科的高质量发展。

“十二五”和“十三五”期间，我国信息科学发展迅速，部分研究领域实现重大突破，但是我国信息科学领域基础研究和产业整体仍然是大而不强，正处于由大变强、由“跟随并跑”向“并跑领跑”

转变的关键期。过去 10 年，在国家大力引导和支持下，我国在信息技术领域取得长足进步，学术水平日益接近国际水平，中青年研究人才储备丰富；但是，在基础研究方面，我国重大原始创新的数量和质量与欧美等发达国家还存在一定差距。基于此，本书提出了我国信息科学未来发展目标、总体思路和重点发展方向。

到 2035 年，我国信息科学领域的总体目标是实现学科均衡、协调和可持续发展。信息科学的发展要为自主完整的国家安全体系、工业体系和经济体系提供稳固的基础和支撑，为更加广泛的全球竞争提供科技保障。围绕信息科学发展趋势和满足国家重大战略需求，我国信息科学学科发展布局需要强化优势学科，扶持薄弱学科，支持学科纵深发展，促进新兴交叉学科发展，侧重基础、前瞻、人才和学科融合。深度融合国家“一带一路”可持续发展战略和“两个一百年”奋斗目标，全力推进信息科学技术领域的高速高质量发展和广泛的国际合作。

信息科学发展总体思路是以促进基础研究取得重大进展和服务创新驱动发展战略为出发点，根据我国经济社会和科学技术发展的需求，从促进学科发展、培养人才队伍、推动原始创新、服务国家重大需求等方面聚焦重要科学前沿。为使我国在信息科技领域中实现重点突破，解决国家战略需求中的关键性科学和技术问题，依据已有基础和发展前景，确立了 2021—2035 年我国信息科学领域发展战略中的 15 个重点发展方向，包括：① 空天地海信息网络基础理论与技术；② 人机物信息物理系统基础理论与关键技术；③ 新一代网络体系结构及安全；④ 高分多源探测与复杂环境感知；⑤ 自主智能运动体和群系统；⑥ 人机物融合场景下的计算理论和软硬件方法与技术；⑦ 未来信息系统电子器件 / 电路 / 射频基础理论与技术；⑧ 超高算力集成电路芯片系统；⑨ 半导体材料、器件与跨维度集成；⑩ 光电子器件及集成；⑪ 应用光学理论与技术；⑫ 生物与医学

信息获取、融合及应用；⑬ 人机融合的数据表征、高效计算与应用；⑭ 类脑智能核心理论与技术；⑮ 人工智能基础理论与方法。

最后，为促进我国信息科学技术快速持续发展，战略规划小组从国家重大需求，鼓励原始创新、完善人才资助、建立专家团队、建设实验平台、多元化资助以及学风建设等方面提出了信息科学发展的保障措施与政策建议。



# Abstract

This book systematically reviews the development of the discipline of information science, summarizing its scientific significance, strategic value, characteristics, and developmental patterns. Focusing on international trends in information science, national technological development, and the need for talent pool construction, it conducts a detailed analysis of the current state and challenges in the field of information science in our country. It proposes recommendations for the key scientific issues, developmental approaches, goals, major research directions, and safeguard measures for the medium and long-term (2021-2035) development of information science in our country, thus providing guidance for the future development of information science in our country.

It is an important indicator of national scientific and technological progress, a technical safeguard for promoting national economic and social development, and national defense security, and a strong driving force for achieving sustainable development and enhancing national competitiveness. In the new global layout and international environment of great power competition, the strategic position of information science has become more prominent. Strengthening forward-looking, disruptive technology research and continuously promoting breakthroughs in key technologies provide powerful technological support and core

competitiveness for our country's participation in the wide-ranging global competition of the new era, ensuring our country's strategic advantage in future global competition. Therefore, research on traditional, emerging, and interdisciplinary fields in information science and the formulation of corresponding development plans based on specific developmental situations and stages will facilitate the rational and efficient allocation of resources and high-quality development of various disciplines.

During the “12th Five-Year Plan” and “13th Five-Year Plan” periods, our country’s information science experienced rapid development, and significant breakthroughs were achieved in some research fields. However, the overall status of basic research and industry in the field of information science in our country is still large but not strong. It is currently in a critical period of transitioning from being large to becoming strong and from “following and catching up” to “running alongside and leading”. However, in terms of basic research, there is still a certain gap in the quantity and quality of major original innovations between our country and developed countries in Europe and the United States. Therefore, this book proposes the future development goals, overall ideas, and key development directions of information science in our country.

By 2035, the overall goal of the information science field in our country is to achieve balanced, coordinated, and sustainable development. The development of information science should provide a solid foundation and support for an independent and complete national security system, industrial system, and economic system, as well as technological guarantee for broader global competition. Based on the development trends of information science and the fulfillment of major national strategic needs, the development layout of information science in our country needs to strengthen advantageous disciplines, support weak disciplines, support the in-depth development of disciplines, and promote



the development of emerging interdisciplinary subjects. Emphasis should be placed on fundamentals, forward-looking research, talent cultivation, and disciplinary integration. Deep integration with the national strategy of sustainable development of the Belt and Road Initiative and the “Two Centenary Goals” should be pursued, and efforts should be made to promote high-speed and high-quality development in the field of information science and technology and foster extensive international cooperation.

The overall approach to the development of information science is based on promoting major advancements in basic research and serving the innovation-driven development strategy. It focuses on important scientific frontiers, taking into account the needs of our country’s economic, social, and scientific technological development. To achieve key breakthroughs in the field of information technology and address critical scientific and technological issues in line with national strategic needs, the development strategy for our country’s information science field from 2021 to 2035 has established 15 key areas of focus. These areas have been identified based on existing foundations and development prospects, including ① fundamentals and technologies of space-air-sea information networks, ② fundamentals and key technologies of human-machine-object information-physical systems, ③ next-generation network architecture and security, ④ high-resolution multi-source detection and complex environment perception, ⑤ autonomous intelligent mobile systems and swarm systems, ⑥ computing theories, software and hardware methods, and technologies in the context of human-machine-object fusion, ⑦ fundamentals and technologies of electronic devices/circuits/radio frequency for future information systems, ⑧ ultra-high-performance integrated circuit chip systems, ⑨ semiconductor materials, devices, and cross-dimensional integration, ⑩ optoelectronic devices and

integration, ⑪ applied optical theories and technologies, ⑫ acquisition, integration, and application of biological and medical information, ⑬ data representation, efficient computation, and applications in human-machine integration, ⑭ core theories and technologies of brain-inspired intelligence, ⑮ fundamental theories and methods of artificial intelligence.

Finally, to promote the rapid and sustainable development of information science and technology in our country, the strategic planning group has put forward suggestions for measures and policies to safeguard the development of the discipline. These recommendations are based on national strategic needs and focus on encouraging original innovation, improving talent funding, establishing expert teams, building experimental platforms, diversifying funding sources, and fostering a conducive academic environment.

# 目 录

总序 / i

前言 / vii

摘要 / xi

Abstract / xv

## 第一章 信息科学的战略价值 / 1

### 第一节 信息科学在整个科学体系中的地位 / 1

- 一、电子学与信息系统学科在整个科学体系中的地位 / 3
- 二、计算机学科在整个科学体系中的地位 / 5
- 三、自动化学科在整个科学体系中的地位 / 6
- 四、半导体科学与信息器件学科在整个科学体系中的地位 / 7
- 五、光学与光电子学学科在整个科学体系中的地位 / 8
- 六、人工智能学科在整个科学体系中的地位 / 10

### 第二节 信息科学推动其他学科和相关技术发展所起的作用 / 11

- 一、信息学科与数学物理学科 / 12
- 二、信息学科与化学学科 / 12
- 三、信息学科与生命学科 / 13
- 四、信息学科与地球学科 / 13

## 中国信息科学2035发展战略

- 五、信息学科与工程材料学科 / 14
- 六、信息学科与土木工程及建筑学科 / 14
- 七、信息学科与管理学科 / 15
- 八、信息学科与医学学科 / 15
- 九、信息学科与机械学科 / 16
- 十、信息学科与环境学科 / 16
- 十一、信息学科与其他交叉学科 / 17

### 第三节 信息科学在国家总体学科发展布局中的地位 / 18

- 一、电子学与信息系统学科在国家总体学科发展布局中的地位 / 21
- 二、计算机学科在国家总体学科发展布局中的地位 / 22
- 三、自动化学科在国家总体学科发展布局中的地位 / 23
- 四、半导体科学与信息器件学科在国家总体学科发展布局中的地位 / 24
- 五、光学与光电子学学科在国家总体学科发展布局中的地位 / 26
- 六、人工智能学科在国家总体学科发展布局中的地位 / 28

### 第四节 信息科学对国家科技发展规划及其他科技政策目标的支撑作用 / 30

- 一、对制造强国的支撑作用 / 31
- 二、对网络强国的支撑作用 / 34
- 三、对新基建强国的支撑作用 / 36
- 四、对军事强国的支撑作用 / 38
- 五、对交通强国的支撑作用 / 41
- 六、对健康中国的支撑作用 / 42
- 七、对绿色中国的支撑作用 / 44

### 第五节 信息科学满足国民经济、社会发展、国防安全的重要意义 / 47

### 本章参考文献 / 56

## 第二章 发展规律与研究特点 / 58

### 第一节 信息科学的定义与内涵 / 58

### 第二节 信息科学的发展规律和特点 / 63

- 一、学科发展动力 / 64
- 二、信息科学学科促进学科交叉 / 66
- 三、成果转移态势 / 70
- 四、人才培养特点 / 75
- 五、研究组织形式 / 80
- 六、资助模式 / 85

### 本章参考文献 / 89

## 第三章 发展现状与发展态势 / 92

### 第一节 国际上信息科学学科的发展现状和趋势 / 92

- 一、电子学与信息系统领域的发展现状和趋势 / 92
- 二、计算机、互联网等领域的研究现状与趋势总结 / 108
- 三、自动化技术领域的发展现状与趋势总结 / 114
- 四、信息器件与光学领域的研究现状及趋势总结 / 124

### 第二节 我国信息科学学科的发展现状 / 129

- 一、电子学与信息系统的发展现状 / 130
- 二、计算机科学的发展现状 / 134
- 三、自动化科学的发展现状 / 142
- 四、信息器件与光学的发展现状 / 148

### 第三节 经费投入与平台建设情况 / 152

- 一、经费投入情况 / 152
- 二、平台建设情况 / 158

### 第四节 人才队伍情况 / 162

### 第五节 存在的问题与措施建议 / 165

### 本章参考文献 / 167

## 第四章 信息科学的发展思路与发展方向 / 174

### 第一节 信息学科发展的关键科学问题 / 174

一、信息获取 / 175

二、信息传输 / 175

三、信息处理 / 176

### 第二节 信息学科发展的总体思路与目标 / 176

### 第三节 信息学科发展的重要方向 / 178

一、空天地海信息网络基础理论与技术 / 178

二、人-机-物信息物理系统基础理论与关键技术 / 191

三、新一代网络体系结构及安全 / 202

四、高分多源探测与复杂环境感知 / 217

五、自主智能运动体和群系统 / 228

六、人-机-物融合场景下的计算理论和软硬件方法与技术 / 249

七、未来信息系统电子器件/电路/射频基础理论与技术 / 260

八、超高算力集成电路芯片系统 / 270

九、半导体材料、器件与跨维度集成 / 280

十、光电子器件及集成 / 288

十一、应用光学理论与技术 / 296

十二、生物与医学信息获取、融合及应用 / 305

十三、人-机融合的数据表征、高效计算与应用 / 315

十四、类脑智能核心理论与技术 / 324

十五、人工智能基础理论与方法 / 331

本章参考文献 / 343

## 第五章 资助机制与政策建议 / 355

## 关键词索引 / 359

# 信息科学的战略价值

## 第一节 信息科学在整个科学体系中的地位

信息科学是以信息论、控制论、电磁场理论、图灵计算模型和系统论为基础理论，以信息科学方法论为主要研究方法，以集成电路、计算机、传感器等为主要软硬件平台和技术手段，以扩展人的信息功能为研究目标的一门综合性科学。信息科学主要涵盖电子科学与技术、通信与信息系统、信息获取与处理、计算机科学与技术、数据与计算科学、自动化科学与技术、人工智能（Artificial Intelligence, AI）与智能芯片、半导体科学与信息器件、光学与光电子学以及教育与信息交叉等分支领域。信息科学在信息时代的科学技术进步中发挥着先导作用。随着人类社会从信息时代向智能信息时代发展，以及第四次工业革命的临近，在新的全球格局和大国竞争的国际环境下，信息科学的战略性地位更加突出，迫切需要加强信息科学的前瞻性和颠覆性技术研究，持续推动信息科学的关键核心技术实现突破，为新时代我国深度参与全球竞争提供强有力的科技保障和核心竞争力，确保我国在未来全球竞争中的战略优势。

信息刻画事物运动状态及其变化方式，与物质和能量构成客观世界的三大要素。与传统自然科学主要从物质结构及其相互作用、能量转换与物质演变的角度阐释自然的运动和变化不同，信息科学主要从对事物运动变化的观察和认知入手，用信息科学的手段分析获取事物运动的知识 and 规律，并通过适当的转换和决策来控制其运动变化的方式。信息科学是从信息视角出发研究自然规律的科学方法体系，主要研究信息的获取、传递、认知和决策等过程的基本规律与相应系统的优化组成和运行机理。

信息科学奠基于 20 世纪 40 年代出现的四大基础理论，包括克劳德·艾尔伍德·香农创建的信息论（通信的数学理论）<sup>[1]</sup>、诺伯特·维纳奠基的控制论<sup>[2]</sup>、路德维希·冯·贝塔朗菲创立的一般系统论<sup>[3]</sup>，以及艾伦·麦席森·图灵和约翰·冯·诺依曼等创立的计算理论<sup>[4,5]</sup>。这四个信息科学的基础理论在建立和发展初期就有千丝万缕的关系，并且一直相互影响和相互促进，形成了庞大和丰富的信息科学体系。信息论奠定了通信的基础理论，它确定的理论极限是人类追求的目标，是近代几乎所有通信技术取得重大突破的理论动力和思想源泉，带动了整个信息科学的发展，推动了计算理论和控制论的发展与应用，产生了很多信息科学的边缘学科和交叉学科，如量子信息论、生物信息学等，推动了网络通信、深空通信、量子通信、分子通信和计算理论等许多学科方向的发展。控制论建立了控制系统的基本模型，揭示了信息在控制中的核心作用，为自动控制技术和系统的发展奠定了基础。一般系统论倡导系统、整体的概念，开启了系统数学建模方法和开放系统的研究，逐步发展成为研究各种系统的一般模式、结构和规律的系统科学，对一般信息系统的建模、构成、原理及其设计和运行机制都具有重要的指导意义。艾伦·麦席森·图灵创立的通用自动机模型奠定了现代计算机的理论基础，推动了冯·诺依曼计算机体系架构、通用计算机语言和程序的发展。在信息论等理论诞生的同时诞生了半导体晶体管技术，此后伴随着电磁场与电磁波理论、光电效应、电路理论及材料科学的不断发展和应用，微电子和光电子、集成电路、射频微波等技术不断飞速发展。这进一步为通信、计算和控制等信息系统的蓬勃发展 and 应用提供了强劲动力。在信息论等信息科学基础理论的指引和半导体集成电路等信息领域核心技术的支撑下，逐步产生了完善的计算机系统、全球电信网络、互联网、全球移动通信网络和工业控制系统等，



人类正式进入信息时代。

随着计算机互联网和移动互联网的高速发展,信息的生成获取、表征压缩、传输处理、计算控制的方式等发生了巨大的变化。信息的载体从声、光、电和磁转向更为丰富复杂、形态各异的媒介。信息获取的时空跨度呈现分布化和网络化。信息处理的维度和规模分别向高维与海量演变,海量数据给信息的表征、压缩、存储、传输和处理带来了极大的挑战。具有复杂结构特征的大规模数据处理、海量存储、大容量传输、高性能计算和智能化控制已成为信息科学的核心问题,这些方向的突破推动了多个领域和行业的不断进步。21世纪将成为“大信息”时代,信息科学呈现深度交叉融合的趋势。信息网络正从面向人-人互联、人-机互联的计算机互联网、移动互联网逐步迈向面向人-机-物多元互联、协同交互的物联网、工业互联网以及未来人-机混合协同网络。以物联网和工业互联网为代表的信息系统日渐成为感知、通信、计算和控制高度耦合、相互作用的复杂系统。通过人与人、人与物的泛在互联和协同交互,人类能更充分地感知自然、认知社会,更有效地利用资源、适应环境和改造自然,显著地提高生产效率,更加快速地向数字化、自动化、网络化和智能化迈进,从而极大地推动人类生产方式的改变和社会生活方式的变革。

### 一、电子学与信息系统学科在整个科学体系中的地位

电子科学与技术是电子信息工程技术中的基础性和共性研究领域,主要研究电磁场与电磁波、电路与系统、电子材料与器件等方面的基础性和共性科学技术问题,以及电磁场与周围环境,特别是与人体相互作用的科学技术问题。电子科学与技术研究无线和有线信息系统中各类部件、电路、器件的原理方法和实现途径,以及其与周围环境相互作用的基础理论、基本方法和共性技术。该学科包括电路与系统、电磁场与波、太赫兹技术、生物电子与信息、敏感电子学、微波光子学、物理电子学和医学信息监测与处理等领域。在当今信息时代,电子科学与技术学科除了在信息科学与技术领域起着关键支撑作用之外,在电力、测量、能源与资源勘测、地球与天体物理探测、工程材料、生命科学、环境科学以及国防科技等越来越多的领域中也发挥着重

要作用。

通信与信息系统主要探索各类通信与信息系统中信息有效表达、压缩、传输和交换所遵循的基本规律，揭示系统性能与功率、带宽、时间、空间和算力等各类资源的约束关系，并以此为指导，研究通信与信息系统的构成原则与设计方法。信息论推动了通信领域最近 40 余年来的飞速发展，同时极大地促进了其他学科的发展和进步。纠错编码理论作为信息论的重要分支和通信系统的基础理论，推动了计算和存储领域的革命性演进，分布式编码和网络编码技术带动了网络计算、分布式压缩/存储、云存储/云计算技术的发展。无线移动通信技术的发展使移动计算和移动互联网成为现实，同时为微电子集成电路技术带来了巨大的需求，几乎是其先进工艺、新型半导体材料发展的直接驱动力。通信网络理论和技术的发展更是为互联网、工业互联网、能源互联网、云计算和大规模人工智能系统奠定了不可或缺的坚实基础。通信网络所形成的海量泛在连接，正在影响和改变人类社会生活的范式以及人类与自然共存的方式，带来许多新的社会现象并有望孕育更多的学科方向。通信与感知、计算、控制将日趋融合，在未来智能信息系统中高度协调，形成有机的统一，相关学科领域将彼此促进和相互融通。

信息获取与处理是指采用探测传感手段获得目标或物体信息并进行处理的技术，是信息技术的重要源头<sup>[6]</sup>。信息获取与处理以信号为研究对象，研究信号特性以及从信号中获取信息的过程，涵盖了信号的采集、表征、变换和应用等环节。信息的获取又依赖于一定的信息系统，例如，现代雷达是一种综合了电子科学各种先进技术的信息感知与处理系统；图像处理系统是利用计算机对数字图像进行加工、分析和处理，从而达到改善图像质量、压缩图像数据、提取图像信息、理解图像内容等多层次目的的技术系统；多媒体系统是把文字、语言、图像、图形、音频和视频等媒体通过信息融合技术集成，建立内在逻辑连接，并对它们进行采集、传输、解析、处理和应用等的信息系统；声学系统是对声波进行感知、分析与变换，从而提取声波中所携带的有用信息，并对其了解译的信息系统，这些信息系统涉及电子信息工程、计算机科学与技术等学科中的大量技术要素，因此信息获取与处理系统具备技术系统的属性特征<sup>[7]</sup>。当前人类社会正处于信息爆炸时代，信息量、信息传播的速度、信息处理的速度以及应用信息的程度等呈几何级数增长。

应用技术是信息获取与处理的主要内容，即利用信息技术解决实际问题。当前信息技术已经全面涉及国民经济各大领域，“加快数字化发展，建设数字中国”已经成为《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中非常重要的内容。

## 二、计算机学科在整个科学体系中的地位

计算机科学与技术作为现代科学技术中发展迅速、影响广泛的学科之一，深刻地影响科学技术、国民经济、社会生产和生活的各个方面。计算机科学与技术的发展和水平已成为衡量一个国家综合竞争力的重要标志，对推动科学发现和技术进步、提升工业技术水平和创新产业形态，以及促进经济社会发展起到了无可替代的作用。计算机科学与技术的高速发展推动了国民经济的快速发展，有力地促进了传统产业的革新和现代服务业兴起等重大变革。

计算成为继实验验证、理论分析之后的第三科学研究范式，由其支撑的数据范式发展成为科学研究的第四范式。计算机科学与技术为应对全球性挑战提供了新的技术途径，为传统的物理、化学、物质科学、生命科学、能源、生态与环境等研究提供了新的手段。从计算机支持科学家做传统科学研究转向计算嵌入科学研究的全过程，形成了“计算+X”的新局面，为人类探索和理解世界提供了新的工具与视角。以计算为核心的新兴交叉学科与技术层出不穷，如计算物理、计算化学、计算生物学、计算语言学、计算金融学、计算社会学等，计算机科学与技术已成为发展交叉与汇聚科学的纽带。

计算机科学与技术造就的计算系统，包括从小到厘米以下尺度的嵌入式计算机到巨型计算系统，形成了无处不在的计算环境，推动了工业社会向信息社会的迈进。传统工业化与信息化的融合（两化融合）是未来科学技术和社会生活的重要支撑。两化融合迫切需要具有核心竞争力的计算机科学与技术的支撑。装备制造业的升级、智慧城市的建设、社会管理水平的提升等对新型计算模式、网络环境、感知系统、大数据分析等技术都提出了新的挑战。

从高等教育的发展可以看出计算机科学与技术的核心作用。计算机类课程已经成为所有理工科甚至文科专业的必修课程，尤其是国际上部分大学的

计算机专业学生已经占到在校生总数的 1/4 甚至 1/3。这反映了来自应用的巨大需求，也得益于硬件系统性能的提升、软件开发方式的改变、交互方式的改进以及网络世界的连通。硬件系统性能的提升使得有更强的算力用于帮助改善人-机交互所需要的计算；软件开发方式的改变使得软件开发的难度下降，让开发人员可以更多地关注软件的功能，提升了开发的效率；交互方式的改进大大地降低了用户使用计算机和网络的门槛，自然化的交互保证了普通用户以最小的学习代价获得先进工具的使用权；网络世界的连通使得科学仪器、生产设备等通过无处不在的网络便利地进行互联，甚至实现全球科学仪器的协同观测与计算。

进入 21 世纪后，计算机科学与技术的发展与半导体、微电子、光电子和人工智能的发展密不可分。一方面，这些学科的进步有效地支撑了摩尔定律，推动了计算机硬件的快速发展。在后摩尔时代，新型半导体材料、微纳集成和光电技术的出现有望突破计算可能面临的硬件瓶颈。另一方面，计算机硬件的发展有力地带动了人工智能的进步。

### 三、自动化学科在整个科学体系中的地位

自动化学科旨在以代替人或辅助人的方式去完成人类生产、生活和管理活动中的特定任务，减少和减轻人类的体力与脑力劳动，提高工作效率和效益，改善工作效果。自动化科学与技术在近几十年内发展迅速，相关理论科学及技术应用已在国防军工、智能制造、机器人、医疗服务等全社会各领域起到了战略支撑作用。

自动化学科的发展从产生之日起，就有着鲜明的科学体系定位，既是一系列学科的发展根基，又需要其他学科的发展推动。自动化学科是信息科学与技术的重要组成部分，它关注信息获取、传输与处理等环节，将充分利用信息作为最终目标。自动化学科不仅聚焦于利用信息实现改造自然的目标的数学原理和方法，还聚焦于作为自动化技术载体的技术与装备，因此自动化学科涵盖从理论、方法、技术到设备的各个层面，与数学、机械、软件、电子、电气及其他各类学科都具有紧密的相关性。自动化学科以控制论、系统论、信息论为基础，与其他各学科相结合，形成各门各类的自动化专业，如

机械制造自动化、化工自动化、核工程自动化与农业自动化等。换言之，自动化学科所研究的理论、方法和技术具有普适性，在整个科学体系中具有基础性地位。自动化学科的发展水平不仅取决于其自身思想与方法的发展，还和基础数学、计算机科学、人工智能、电子通信、机械工程等其他学科的发展密切相关。

21 世纪以来，控制论的发展与普及，以及人工智能的兴起，加强了自动化技术与通信、系统工程、控制工程等领域的相互交织与配合，促进并形成了现在的多学科交叉的自动化学科体系。随着自动化技术产业规模的不断扩大、产业结构的不断优化，以及新一代自动化技术的不断突破，自动化学科的进步对整个科学体系及经济社会发展的引擎作用不断增强。

### 四、半导体科学与信息器件学科在整个科学体系中的地位

半导体是现代电子信息社会的重要支撑，推动了几乎所有现代技术的进步，其相关学科技术广泛地应用于集成电路芯片、通信与计算、智能系统硬件、物联网传感器、太阳能电池和功率电子器件等领域，渗透到经济社会发展的各个方面，是保障国家安全的战略性、基础性和先导性产业。

半导体的研究最早源自光电二极管等传感器件。早期的半导体材料与器件研究仅仅作为物理学的一个分支，直到 1947 年美国贝尔实验室的科学家发明双极型器件。很快地，基于锗、硅晶体材料的半导体晶体管器件演变出许多具有新功能的电路，如模拟运算放大器、数字逻辑门。基于这些基础半导体器件和电路的组合，可以实现丰富的信息处理功能，如无线通信收发机、高性能电子计算机等。20 世纪 60 年代集成电路的发明，推动该学科进入高速发展阶段。逐渐地，半导体科学与信息器件学科发展成为独立的研究领域。

如今，半导体科学与信息器件学科覆盖了基础自然科学到先进工程制造技术。该学科结合了量子力学、固体物理等基础理论，发展出完整的半导体物理学，对半导体的能带、晶格动力学、电子输运以及量子隧穿等理论进行了详细的解释。在此基础上发展出的器件物理体系，涵盖了双极型晶体管、场效应管、光子器件等，从微观层面指导了集成电路的发展。为了大规模制

备上述器件，半导体还发展出了集成电路制造工艺技术，包括光刻、刻蚀、离子注入、淀积和抛光等步骤。除了基于硅、锗材料的第一代半导体之外，以砷化镓（Gallium Arsenide, GaAs）和磷化铟（Indium Phosphide, InP）化合物材料为代表的第二代半导体，以及以氮化镓（Gallium Nitride, GaN）和碳化硅（Silicon Carbide, SiC）宽禁带化合物材料为代表的第三代半导体已经蓬勃发展起来了。基于化合物材料的半导体具有禁带宽度更宽、导热率更高、抗辐射能力更强以及能带结构调控更广等特性，在半导体照明显示、新一代移动通信和新能源等领域拥有广阔的应用前景，是进一步支撑我国信息、能源、交通、国防等产业的重点技术。

基于上述领域的研究，半导体科学与信息器件学科的发展带动了高密度集成电路技术的发展，同时可扩展到光学、新型传感器和微纳机械等相关领域，促进了许多交叉研究，由此衍生出了许多新兴行业。随着半导体技术的不断创新，特别是微纳加工的技术日趋成熟，半导体器件尺寸不断缩小，逐渐逼近工艺和物理极限。此时，经典的器件物理理论面临着挑战，基于新原理的忆阻器件、量子器件与低维材料器件正在促进半导体科学与信息器件学科迈向新的发展纪元。

进入 21 世纪后，半导体和信息器件技术早已渗透到数字化、网络化、智能化的社会发展的方方面面，是摩尔定律等电子信息行业的关键标杆与核心基础。构建高质量的半导体科学与信息器件学科体系，强化学科的交叉共融，对当代科学技术的进步具有战略性的重要意义。

## 五、光学与光电子学学科在整个科学体系中的地位

光学与光电子学作为现代科学技术中发展迅猛、影响广泛的学科之一，正引领世界发生广泛而深远的变化。光学与光电子学是新一代信息技术和众多新场景应用的基础核心，已成为衡量一个国家高科技竞争力的重要标志，推动人工智能、物联网、大数据、云计算、区块链等新兴数字技术的加速创新，赋能社会高质量发展。以数字产业化和产业数字化为内涵的数字经济，是当前和未来我国经济社会发展的重要引擎。作为数字经济、新型基础设施建设（新基建）和宽带中国等国家战略的支撑，光学与光电子学是保障国家

安全、产业安全与信息安全的重要基础。

光学与光电子学学科从诞生之日起就有着鲜明的科学体系定位，既是一系列学科的发展根基，又与其他学科进行融合发展。光学与光电子学学科是信息科学与技术的重要组成部分，以光学与光电子学为核心的新兴交叉学科与技术前沿层出不穷。例如，光电子学与微波技术交叉融合，形成微波光子学；光电子和微电子交叉融合，形成硅基光电子前沿研究和应用领域；光电子学与人工智能结合，形成光学神经网络等众多交叉学科，已成为发展交叉与汇聚科学的纽带。

光学与光电子学造就的信息系统，包括从光学芯片到光传输与交换、光存储、光显示与交互系统，形成了无所不在的智能信息系统环境，促进了信息社会的快速发展，推进了现代装备的改造升级和智慧城市建设。

从高等教育的角度来看，全国知名高校目前开设了光学与光电子学的学科，所涉及的课程包括光学材料、工艺、器件和装备方面，因此光学与光电子学学科涵盖了从数学与统计原理、物理与化学机制、软件设计、加工与制备技术到系统与应用方法等多个层面，与理学和工学中的各类学科关联紧密。光学与光电子学学科面向信息的产生、传输、获取、处理与呈现，进而分化出了诸多分支学科，如光通信技术、光计算与存储技术、光显示与交互技术等。“光”所具有的多重信息自由度、超大带宽、低传输损耗等优势，使得光学与光电子学学科的研究在理论、方法与系统等方面对整个科学体系都具有深远的影响。以超高功率脉冲激光、大容量光信息网络、超分辨率显微成像、感存算一体化芯片、混合现实与新型显示等为代表的光学与光电子学研究领域和重大成果，推动了前沿物理、生化医疗、先进加工、工程建设等其他学科领域的发展。

光学与光电子学是光信息技术的物理基础，涵盖光信息产生、传输、处理等功能，其技术水平决定了光通信网络、数据中心、第五代（Fifth Generation, 5G）移动接入、高性能计算与数据互连、光成像、传感等诸多领域的发展速度与能力。自 21 世纪以来，光学与光电子器件正处于更新换代的快速发展阶段，新型光通信、光计算与存储、光显示与交互等新兴信息光子技术与产业呈现出爆发式发展态势，正与微电子学、计算机科学等学科进行融合发展，促进信息技术的变革式发展。

## 六、人工智能学科在整个科学体系中的地位

人工智能的基本目标是使机器具有人类或其他智慧生物拥有的能力，为传统方法难以解决的实际问题探寻新途径。人工智能的研究包括感知能力（如语音识别、自然语言理解、计算机视觉）、问题求解/决策能力（如搜索和规划）、行动能力（如机器人）以及支持任务完成的体系架构（如智能体和多智能体）。经过60多年的演进，人工智能正呈现深度学习、跨界融合、人-机协同、群智开放、自主操控等新特征，正成为引领这一轮科技革命和产业变革的战略性的技术，是新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力量，具有溢出带动性很强的“头雁效应”。加快发展新一代人工智能，不仅事关我国能否抓住新一轮科技革命和产业变革机遇的战略问题，而且是赢得全球科技竞争主动权的重要战略抓手，更是推动我国科技跨越式发展、产业优化升级、生产力整体跃升的重要战略资源。

人工智能具有增强任何领域技术的潜力，是类似于内燃机或电力的一种使能技术，广泛应用于众多领域，如农业、制造、经济、运输等行业和数学、物理、化学、材料、医学等科学研究领域，“人工智能+”新热点纷纷出现。

科技发展的事实已经表明，重大科技问题的突破和新理论乃至新学科的创生，常常是不同学科理论交叉融合的结果。学科之间的交叉和渗透在现代科学技术发展历程中推动了链式创新。利用不同学科之间依存的内在逻辑关系，在学科之间相互渗透、交叉和综合，可实现科学的整体化，是知识生产的前沿。学科交叉正成为科学发展的主流，推动着科学技术的发展。人工智能作为一种使能技术，天然具有与其他学科研究进行交叉的秉性，从这个意义而言，人工智能可谓“至小有内涵，至大可交叉”。

一方面，神经科学、脑科学、物理学、数学、电子工程、生物学、语言学、认知学等学科的研究进展，不断推动人工智能本身研究的进展。例如，通过对大脑进行观测、理解和分析，抽取对人工智能有启发性的神经网络结构和大脑机制机理，推动类脑计算深入发展；数学和控制领域动力学研究进展则能推动群智涌现和协同对抗等群体智能研究。另一方面，人工智能推动基础学科研究不断深入。科学研究的两大基本范式分别是以数据观测为核心的实验科学和以发现物理世界基本原理为核心的理论科学，