

海上大数据 智能指挥控制理论与工程

Theory and Engineering of
Marine Big Data Intelligent Command and Control

胡志强 覃基伟 罗荣 张新建 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书是一部以海上大数据智能指挥控制理论与工程为研究对象的专著。全书共分6章。首先阐述智能指挥控制的概念、现代海上大数据的特征及其对海上指挥控制的影响，然后介绍基于全球信息栅格（GIG）的海上大数据智能指挥控制平台体系框架和功能模型、关键系统与关键技术，突出“以认知决策为核心”的大数据指挥控制集成体系建模思想。在此基础上，深入研究海上大数据战场态势感知分析与计算模型、海上大数据战场态势智能认知与联合作战指挥决策模型，阐述海上大数据智能指挥控制的主要内容和本质内涵，进而分析海上大数据云作战组织形式、精确打击控制内容及精确打击控制流程。最后，介绍海上大数据智能指挥控制服务保障体系建设内容。

本书系统全面、内容前沿，具有较强的创新性和工程应用价值，主要适用于从事海上大数据指挥控制理论研究、智能指挥控制系统设计、装备使用等领域的科研人员，应用工作者以及其他感兴趣的读者，特别是与海洋行动指挥控制有关的科研院所、大学、部队机关等单位的研究人员。

图书在版编目（CIP）数据

海上大数据智能指挥控制理论与工程 / 胡志强等著

—北京：国防工业出版社，2022.7

ISBN 978-7-118-12550-4

I. ①海… II. ①胡… III. ①海战—作战指挥系统—智能系统—研究 IV. ①E843

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2022）第 121554 号

※

国防工业出版社 出版发行

（北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048）

北京虎彩文化传播有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 15 字数 266 千字

2022年7月第1版第1次印刷 印数 1—1200 册 定价 99.00 元

（本书如有印装错误，我社负责调换）

国防书店：（010）88540777

书店传真：（010）88540776

发行业务：（010）88540717

发行传真：（010）88540762

前 言

21 世纪，人类社会已进入智能化主导的大数据时代。由于技术的进步、经济的需求和地缘政治竞争，海洋正成为世界各国相互竞争和积极开拓的空间。由此，海洋也成为大数据激增的人类活动领域。现代海上指挥控制则是包括复杂的地缘政治关系、军事和非军事活动、高科技、系统体系对抗、气象地理水文知识等在内的人类组织活动。目前，以美国为首的世界海洋大国正在不断加强和拓展云计算、任务式指挥辅助决策和人工智能（AI）等相关重点领域的研究，围绕“大数据”强化海上行动指挥信息系统的建设，加快全域信息的利用和流转，构建“从数据到决策”的能力体系，发展“以认知为中心”的大数据智能指挥与控制系统。

大数据起源于商业、互联网和金融。随着信息技术、物联网、移动终端、电子商务、虚拟社区等的发展和向各个领域渗透，世界开启了信息爆炸后数据急速增长的闸门。大数据技术“以一种前所未有的方式，通过对海量数据进行分析，获得有巨大价值的产品和服务或深刻的洞见”。随着数据的急速增长，大数据像材料和能源一样成为一种战略资源，日益受到人们广泛的关注。如何利用大数据发掘知识、促进创新、提升效益，使其为国防安全、政府管理、企业决策乃至个人生活服务，是世界各国追求的目标。2012 年 3 月 29 日，美国奥巴马政府在白宫网站上发布了《大数据研究与发展倡议》，并正式成立“大数据高级指导小组”，标志着美国政府开始把应对大数据技术革命带来的机遇和挑战提到了国家战略层面。随后，美国国家科学基金会（NSF）、国家卫生研究院（NIH）、国防部（DOD）、能源部（DOE）、国防部高级研究计划局（DARPA）、地质勘探局（USGS）6 个联邦部门和机构承诺投入超过 2 亿美元的资金，用于研发“从海量数据信息中获取知识所必需的工具和智能”。2012 年 5 月，我国在北京召开了“大数据科学与工程——一门新兴交叉学科”第 424 次香山科学会议。这是我国第一个以“大数据”为主题的重大科学工作会议，中国计算机学会、通信学会分别成立了“大数据专家委员会”，并于 2012 年底在中关村成立了相应的大数据产业联盟。发展大数据业已成为我国 21 世纪重大战略规划之一。

目前，大数据在商业、金融、社会管理、智慧城市、智能交通、疾病预防

等领域得到了广泛的应用，取得了显著的成绩。在国防军事领域，自 20 世纪 50 年代美军成功研制 SAGE 半自动化防空指挥控制系统以来，指挥信息系统发展迅速。从最初的 C² 系统，逐步发展到 C³ 系统、C³I 系统、C⁴I 系统、C⁴ISR 系统和 C⁴KISR（指挥、控制、通信、计算机、杀伤、情报、监视与侦察）系统。指挥与控制由 20 世纪 50 年代以指挥为中心发展到六七十年代以通信和情报为中心，八九十年代以一体化 C⁴ISR 为中心，并于 20 世纪末开始在信息基础设施层面建立全球信息栅格（GIG），试图通过层次化和开放的作战体系网络结构收集、处理、存储、分发各种情报、信息和数据，以高效地向全球各地作战人员、决策人员和后勤保障人员提供情报、信息和数据，夺取作战优势。在这一连串嬗变过程中，反映了信息爆炸后的大数据时代，传统指挥与控制所面临的信息量急剧增长、信息种类繁多、实时处理要求提高等重大挑战。在海洋，事务的国际化和海洋行动固有的敏感性决定了海洋行动绝不仅仅是军事行动。海洋行动需要提升对国际形势、世界和平、国内外政治、经济、文化和舆论的广泛关注，需要维持国际组织、非政府组织、社会组织与军队之间广泛的互动交流和信息共享水平。大数据、云计算、算法革命、人工智能等新型的制认知权方式上升成为当前国家层面指挥与控制行动的关键。信息处理速度、目标态势获取程度、获取知识的能力和高层次智能决策水平及快速响应时间决定着各种现实行动的成败。大数据在情报分析、行为认知处理、态势理解、目标识别与跟踪、任务规划、博弈推演等方面具有显著优势。

随着 21 世纪信息化、网络化和智能化融合发展并逐步深入，“大数据”这一互联网领域的研究热点已开始延伸到海洋行动和安全军事领域，成为夺取未来信息优势、决策优势和行动优势的重要基础和关键。现有的指挥与控制概念和理论反映了工业时代和信息化时代前期人们对于指挥与控制的认知，已经越来越不适应 21 世纪大数据智能时代海上指挥与控制的发展需求。因此，必须深化对大数据智能时代指挥与控制的认知，深入研究大数据智能指挥控制的本质和内容，构建大数据智能时代指挥与控制体系模型，以“认知为中心”指导和实施海上作战和行动。

不同的时代有不同的社会形态，也就有不同的指挥与控制。智能化作战是以人工智能为核心的前沿科技在作战指挥、装备、战术等领域的渗透、拓展，以认知域控制权为作战争夺重点的作战形态。未来战争将基于网络和体系的智能化作战。从算力、算法、大数据到模型学习、交互、自成长，提高基于网络信息体系的联合作战能力、全域作战能力，新型的指挥控制系统将以智能化为重心，强化战场信息优势，争取战场认知优势、决策优势与行动优势。系统体系结构将进一步向知识智能化、网络云端化、开源服务化方向发展。以争夺认

知域控制权或者“制脑权”的智能指挥控制将成为新的制权争夺点。交战各方围绕认知决策过程的感知、理解、推理等实施指挥控制，基于智能认知的速度和水平进行对抗，夺取认知决策主动权，破坏或干扰敌方的指挥控制。

本书以 21 世纪海上行动为背景，围绕海上大数据智能指挥控制理论与工程，从理论基础、体系架构到技术应用将大数据和人工智能技术应用于海上指挥与控制领域，系统论述智能指挥控制的概念和内涵，分析海上大数据的特征及其对海上指挥控制的影响；基于使命任务、环境和能力需求分析，建构海上大数据智能指挥控制平台体系框架和功能模型，阐述相关系统和关键技术，突出了“以认知决策为核心”的海上大数据智能指挥控制体系建模思想；针对海上大数据态势感知和智能认知，讨论战场态势感知度的感念，阐述海上大数据态势感知分析和计算模型；基于战场体系化目标分析，建构基于大数据深度强化学习的人工智能态势认知分析与决策模型，论述了联合作战精确打击决策控制。对于海上大数据智能指挥控制组织，阐述了海上大数据云作战组织形式和运行机制、指挥控制机构及在海军联合战术云中的应用。最后，系统论述了服务于海上大数据智能指挥控制保障体系的建设。

本书结合海洋大数据特征和海上指挥控制的发展需求，将大数据、云计算、机器学习、人工智能（AI）等理论和技术应用于海上指挥控制系统，构建了海上大数据智能指挥控制平台体系框架和功能模型，提出了“智能心源”、大数据“智能算法高架”和大数据智能决策网三位一体的大数据智能指挥控制内在机理框架模型，深入分析和论述了海上大数据战场态势感知计算、态势智能认知分析与决策模型，具体分析和讨论了海上大数据云作战组织运用的形式与内容。所有这些从新概念引入、架构设计到具体应用都体现了本书的特色和研究成果。

在本书写作过程中，参考了国内外诸多专家学者的论著，在此谨向这些论著的作者们表示衷心的感谢。借此机会，要特别感谢军事科学院军事运筹分析研究所原所长江敬灼研究员，兵棋总师、国防大学胡晓峰教授，海军大连舰艇学院谭安胜教授，海军大连舰艇学院姚景顺教授，国防科技大学郭得科教授，海军陆战学院吴晓锋教授。他们对智能指挥信息系统和大数据指挥控制的深刻见解与直言鞭辟使作者深受教益。

同时，本书在写作过程中，还得到了空军指挥学院模拟训练中心毕长剑教授、海军研究院邱志明院士、海军研究院某研究所主任崔东华研究员、海军工程大学贲可荣教授、海军工程大学马良荔教授、海军工程大学杨露菁教授、中国船舶集团有限公司第七一六研究所副总工程师袁富宇研究员、中国船舶集团有限公司第七一六研究所首席技术专家周玉芳研究员、中国船舶集团有限公司

高级技术专家何佳洲研究员等专家和学者的关心和指导，在此一并表示衷心的感谢。

此外，还要由衷地感谢中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室主任王飞跃教授对作者发表观点的鼓励和支持。

本书的出版由中国船舶集团有限公司第七一六研究所、海军工程大学、海军研究院和中国电子科技集团有限公司第二十八研究所资助。

学术交流与科技创新是一个国家和民族得以持续发展的不竭动力。在此，要特别感谢中国船舶集团有限公司第七一六研究所王松岩副所长对本书的关心、指导和帮助。

迄今为止，人类的认识和实践，几乎可以归结为数据的搜索、处理、挖掘和创新。从网络赋能到大数据赋能、人工智能赋能，大数据智能指挥控制，特别是移动、复杂对抗环境下大数据智能指挥控制的基础还比较薄弱。战场态势智能认知与理解、不完全信息博弈等都是极具挑战性的问题，互操作，网络实时、带宽、可靠性问题，密级网络环境下云-边跨界融合和广域协同还很棘手，包括构建大数据生态、创新基于社会-技术网络的新型能力系统架构、云际互操作，以及针对突发、时敏等大数据智能分析和处理技术还需要进一步研究。

限于作者的研究水平和时间，书中肯定存有许多不足之处，敬请广大专家和读者进一步批评指正。

作者

2022年6月

目 录

第1章 绪论	001
1.1 智能指挥控制的概念及内涵	001
1.1.1 指挥控制的概念与发展	001
1.1.2 智能指挥控制的内涵	006
1.2 现代海洋大数据特征及其对海上指挥控制的影响	007
1.2.1 大数据的概念、内涵及属性	008
1.2.2 现代海洋大数据特征	011
1.2.3 现代海洋大数据对海上指挥控制的影响	015
1.3 海上大数据智能指挥控制的主要内容和指挥控制流程	017
1.3.1 海上大数据智能指挥控制的主要内容	018
1.3.2 海上大数据智能指挥控制流程	021
1.4 海上大数据智能指挥控制进一步发展趋势	022
第2章 海上大数据智能指挥控制平台体系框架与功能模型	024
2.1 使命任务、环境和能力需求分析	025
2.1.1 使命任务	025
2.1.2 环境	026
2.1.3 能力需求	029
2.2 海上大数据智能指挥控制平台体系框架	031
2.2.1 基于 GIG 的开放式集成应用平台	032
2.2.2 海上大数据智能指挥控制体系框架	040
2.3 海上大数据智能指挥控制体系功能模型	043
2.3.1 海上大数据处理的内容和要求	043
2.3.2 海上大数据智能指挥控制体系功能模型	047
2.3.3 海上大数据智能指挥控制内在机理	055
2.4 关键系统和技术	059
2.4.1 关键系统	060

2.4.2	关键技术	069
第3章	海上大数据战场态势感知分析与计算	078
3.1	大数据战场态势感知的概念和内涵	079
3.1.1	战场态势感知的概念	079
3.1.2	大数据战场态势感知的概念	081
3.1.3	大数据战场态势感知的内涵	082
3.2	海上大数据战场态势感知分析	084
3.2.1	战场态势感知分析的信息论基础	084
3.2.2	海上大数据战场态势感知完备性分析	087
3.2.3	海上大数据战场态势感知准确性分析	088
3.2.4	海上大数据战场态势感知实时性分析	090
3.3	海上大数据战场态势感知度计算模型	091
3.3.1	战场态势感知度的概念	092
3.3.2	海上大数据战场态势感知度探测模型	096
3.3.3	海上大数据战场态势感知度计算模型	099
3.3.4	海上大数据战场态势感知度计算示例	102
3.4	海上大数据战场态势感知深度学习	103
3.4.1	海上大数据战场态势感知深度学习概念	103
3.4.2	海上大数据战场态势感知深度学习体系框架	104
3.4.3	海上大数据战场态势感知深度学习模型	108
3.4.4	海上大数据战场态势感知深度学习流程	111
3.4.5	海上大数据战场态势感知深度学习典型应用	115
第4章	海上大数据战场态势智能认知分析决策与 联合作战精确打击控制	128
4.1	战场态势智能认知的概念和内涵	129
4.1.1	战场态势认知的概念	129
4.1.2	战场态势智能认知的概念	130
4.1.3	战场态势认知的内涵	130
4.2	战场态势智能认知活动的内容	131
4.3	海上大数据战场目标体系化分析与态势生成	133
4.3.1	战场目标体系化分析与战场态势生成概念和机理	133

4.3.2	基于体系对抗的战场态势体系化分析模型	134
4.3.3	战场态势体系化认知态势生成业务流程	143
4.3.4	战场态势体系化认知与生成关键技术	144
4.4	海上大数据战场态势智能认知分析与决策模型	145
4.4.1	基于模板的战场态势认知分析与决策模型	146
4.4.2	基于知识库和知识图谱的专家系统	153
4.4.3	基于深度强化学习的人工智能态势认知分析与决策模型	159
4.5	联合作战精确打击控制	167
4.5.1	精确打击控制的概念	167
4.5.2	海上联合作战精确打击控制的内容	168
4.5.3	海上大数据精确打击控制流程	174
第5章	海上大数据云作战组织	177
5.1	云作战和作战云	177
5.1.1	云作战的概念	177
5.1.2	作战云	178
5.2	云作战的组织形式	179
5.2.1	作战云的结构类型	179
5.2.2	作战云的功能分类	182
5.2.3	海上作战云集成运用体系	182
5.3	海军联合战术云的组织运用	185
5.3.1	海军联合战术云的体系架构	185
5.3.2	海军联合战术云的服务结构	189
5.3.3	海军联合战术云的应用场景	191
5.4	云作战指挥控制机构	193
5.5	云火力控制系统	195
5.5.1	云火力控制流程	195
5.5.2	云火力控制系统结构	196
5.5.3	基于“交战包”的云火力发射控制与导引	198
5.6	云作战效能增益	201
第6章	海上大数据服务保障体系建设	204
6.1	海上大数据建设与知识图谱	204

6.1.1	海上大数据库建设	204
6.1.2	海上大数据知识图谱	206
6.2	海上大数据共享与数据湖服务机制	208
6.2.1	应用元数据的海上大数据组织与共享	208
6.2.2	基于数据湖的海上大数据服务机制	214
6.3	海上大数据可视化	224
6.4	海上大数据运维安全与管理	224
	参考文献	226
	作者简介	229

第 1 章

绪 论

21 世纪是海洋世纪。人类除了进一步向太空、网络和信息空间掘进之外，海洋是人类重要的发展领域。随着互联网、物联网、传感器等信息网络技术的广泛应用与深入发展，21 世纪人类水下、海上、空中和太空情报、信息和数据正以前所未有的速度快速增长，海洋大数据时代已经到来。

在海洋行动指挥控制领域，由于机器学习、算法革命、高速云计算技术的发展，掀起了人类认知与共享的革命。大数据理论和人工智能技术开始应用于海上指挥控制。过去以信息为主导的海上指挥控制正逐步转向以大数据为主体、以人工智能为主导的海上大数据智能指挥控制。

本章首先介绍智能指挥控制的概念及内涵，然后分析现代海洋大数据特征及其对海上指挥控制的影响。在此基础上，简要说明海上大数据智能指挥控制的主要内容和指挥控制流程，最后概述海上大数据智能指挥控制的发展趋势。

1.1 智能指挥控制的概念及内涵

指挥控制概念自身内在地包含智能的含义。因此，这里智能指挥控制是指应用人工智能（AI）的指挥控制，而非自然智能指挥控制（即人类智能指挥控制）。本节首先介绍指挥控制的概念与发展，然后阐述智能指挥控制的概念内涵。

1.1.1 指挥控制的概念与发展

指挥与控制是自然界和人类社会普遍存在的现象。实际上，自从开始有组织的社会活动，指挥就出现了。从原始人部落、农业社会到工业社会直至现

代,“指挥”的概念历经数千年的演化,并且一并内含控制的意思。“指挥”,可分开解释为“指向”和“挥动”;在古汉语中,“挥”又通“麾”。《旧五代史》卷七十五:“望麾而进,听鼓而动。”“麾”,指发令的小旗。因此,无论是指向挥动,还是直接舞动小旗都有其最基本的含义,即都是调动他人行动的活动。战国时期,《荀子·富国》一书中有:“拱揖指挥,而强暴之国莫不驱使。”这里,“指挥”也是一种调度活动。主体上,指挥控制是将帅的职责。《尉缭子·武议第八》中有:“将专主旗鼓耳。临难决疑,挥兵指刃,此将事也,一剑之任,非将事也。”将帅指挥调度,发号施令,临难决疑,指挥行动;直接拿起武器与敌人格斗是士兵的事。在西方,Command一词起始于欧洲中世纪晚期(公元1250—1300年),最初是指与指挥个体相联系的管理艺术。第二次世界大战后,现代Command概念才正式成形。20世纪50年代,时任美国总统杜鲁门对麦克阿瑟将军授权时正式使用了“take command and control of the forces”的提法。美军对指挥控制的定义为:“在完成使命任务中,由合适地赋予指挥官的对指派兵力权威的行使,通过由指挥员在计划、协调和兵力控制中对人员、设备、通信、资源和过程的配置来实现指挥控制功能。”《中国人民解放军军语》对指挥控制的解释是:“指挥员及其指挥机关对部队作战或其他行动进行掌握和制约的活动。”

因此,指挥是对资源(包括人员、装备、信息等)在时间和空间上的有序安排行为,或者说是对不确定问题进行决策并采取行动的过程,是一门科学的艺术。指挥包括指挥主体、指挥目的、指挥方法、指挥手段和指挥资源。指挥有水平高低之分,与指挥主体的认识水平密切相关。不同水平的指挥,可能产生结果迥异的后果。因此,人们通常认为指挥是一种艺术。

控制,广义上可以说是与生俱来的。譬如地球上的大气、水、森林、草原、阳光、动物、植物等构成了一个动态平衡的自动控制系统。生物界,从低等植物、草食动物到肉食动物也相互制约和控制,构成了一个食物链系统。对于人类社会,大到国家治理、全球稳定,小到企业生产、市场营销,也都存在并需要控制活动。人行稳坐好也靠的是控制。更不用说在人类工程领域,各种系统装备和设备普遍存在反馈控制机构,但控制作为一个名词术语出现较晚。19世纪30年代,法国著名军事理论家Antoine-Henri Jomini(1779—1869年)在其名著《战争艺术概论》中首次使用了“Control of Operations”这一提法,并对军事领域的控制概念进行了阐述^①。科学意义上,“控制”一词源自Nor-

^① Antoine-Henri Jomini. INTRODUCTION TO THE ART OF WAR [M]. New York: Greenhill Press, 1838.

bert Wiener (1894—1964年)的控制论。其一般定义是:掌握住不使其任意活动或超出范围,操纵使其处于自己占有、管理或影响之下。对于指挥而言,控制的本质是保证某种环境中的具体元素的值在指挥意图所确定的界限范围之内。2000年后,美军各军兵种先后将指挥与控制概念写入了作战条例。

从指挥与控制概念的发展可以看出,从古至今,指挥都有其一贯基本的含义,并与控制密切相关,而“控制”一词的发展则与现代科技紧密相连。今天,指挥、控制逐渐融为一体,合称指挥与控制。在国外文献中,统称其为 C^2 (Command and Control),其后出现的 C^3 、 C^3I 、 C^4I 、 C^4ISR 及 C^4KISR 都是对指挥与控制方式、方法、内容、体系结构、流程等的丰富、变化和提

高。指挥与控制是有目的的组织行为。指挥与控制这一概念伴随着现代科技的突飞猛进和战争理论与实践的不断发展。实际上,指挥与控制的内涵和外延一直随着时代的变迁、科技的发展在不断丰富、发展和演化之中。信息时代,指挥与控制的内容体现为以信息为主导。指挥与控制演变成决策者为完成使命任务,依据一定的目的,通过对相关各种要素的情报信息收集与评估做出决策,进而实现资源、任务和责任的分配,并根据需要进行调整的活动。随着网络的发展,人与人之间、人与组织之间、组织与组织之间越来越多地通过网络进行不受时空限制的资源信息共享与互动。指挥与控制组织方式由集中式向分散式、边缘组织演化。有国外学者针对指挥与控制组织的内涵,提出“汇合”(Convergence)和“对焦”(Focus)两个新概念,即指挥与控制实际是使各个个体在时间和相关的组织使命任务空间以并行与协同的形式实现资源的有效汇合和对焦。在集中式组织中,以中心统一指令行动;在边缘组织中,各个个体以自组织、自治的形式联合作战。对焦,强调提供环境背景并定义努力的目标而将多个实体整合到一起;汇合,强调多个实体根据组织目标动态行动,走向一致的过程。此时,指挥与控制转变为一种引导和大系统管理活动。

指挥与控制的一般属性包括:

- (1) 目的性——使命任务性;
- (2) 基于相关的知识和信息;
- (3) 指挥与控制主体权责的明确性;
- (4) 过程可控性;
- (5) 具有环境与效果的优化反馈性;
- (6) 实现方法、手段和途径的多样性。

其中,目的性——使命任务性是一切指挥与控制的原始动力。为了完成任务、达成使命,就要因地制宜进行筹划、规划,对任务进行分派,并在具体行

动中对抗各种干扰和破坏，纠正偏差，直至实现目标。

基于相关的知识和信息是实施指挥与控制的基础和前提。知识和信息既是感知和认知事物、现象和规律的工具，也是感知和认知事物、现象和规律的结果，是应对不确定性的能力。没有相关的知识和信息，就没有实施指挥控制的可能。

指挥与控制主体权责的明确性是指挥与控制的必然要求，包括指定使命、指定目标、指定规则。指挥与控制主体（决策者）在明确权责的情况下可以创造性地发挥主观能动性，包括对意图的建立和描述、对任务的分解和资源分配、对指挥方法和指挥方式的选择等，如逐级指挥、越级指挥、委托指挥，以及协作方式、合作方式、协同方式。

过程可控性是指挥与控制的内在要求。简单线性的事物运动可能只需要简单的指挥与控制，但大多数指挥控制是一个复杂的系统过程。指挥控制效果与指挥与控制主体的能力水平、可用的资源及当时的环境密切相关。过程可控性和指挥控制基于环境与效果的优化反馈性相辅相成。

指挥与控制实现方法、手段和途径具有多样性。根据具体情况和环境可以灵活运用各种模型、方法和算法。因此，也就有指挥控制科学、工程与艺术。

在指挥与控制概念模型上，较早出现的是 1981 年 J. S. Lawson 结合控制论建立的过程模型，以及 J. G. Wohl 基于认知科学建立的解释模型，如图 1.1 和图 1.2 所示。

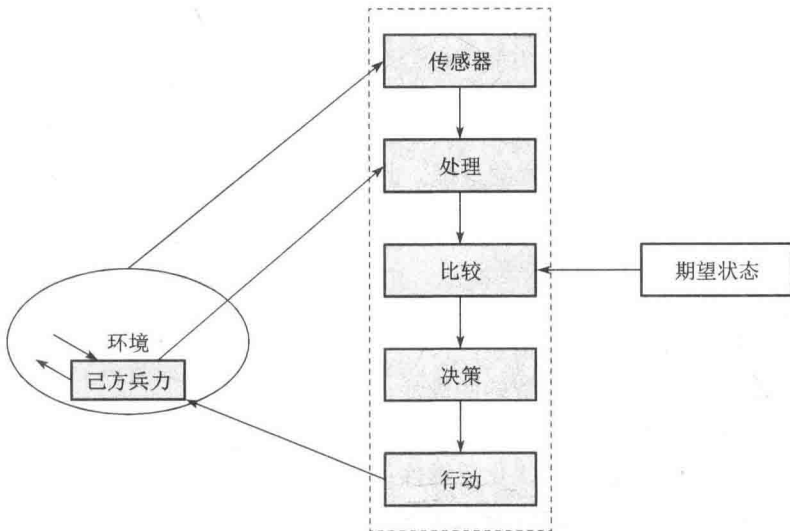


图 1.1 J. S. Lawson 的指挥与控制过程模型

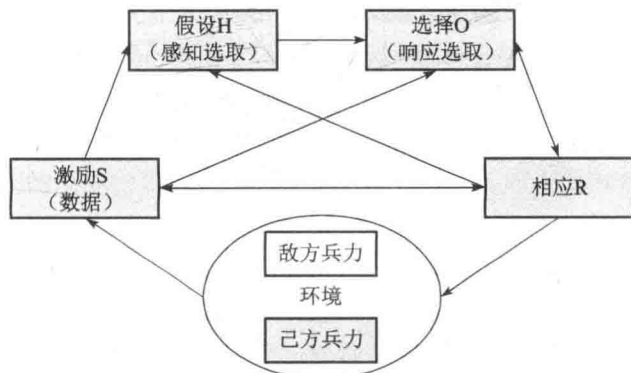


图 1.2 J. G. Wohl 的指挥与控制解释模型

1983年，Rasmussen在《控制科学》杂志上发表了人类思维在管理控制中的能力层级模型。如图1.3所示，该模型以接近人类的思维方式将指挥与控制能力分为基于物理、基于规则和基于知识3个层级，将指挥与控制过程划分为环境感知、态势认知和任务执行3个阶段，深刻揭示了指挥与控制中的决策思维过程。

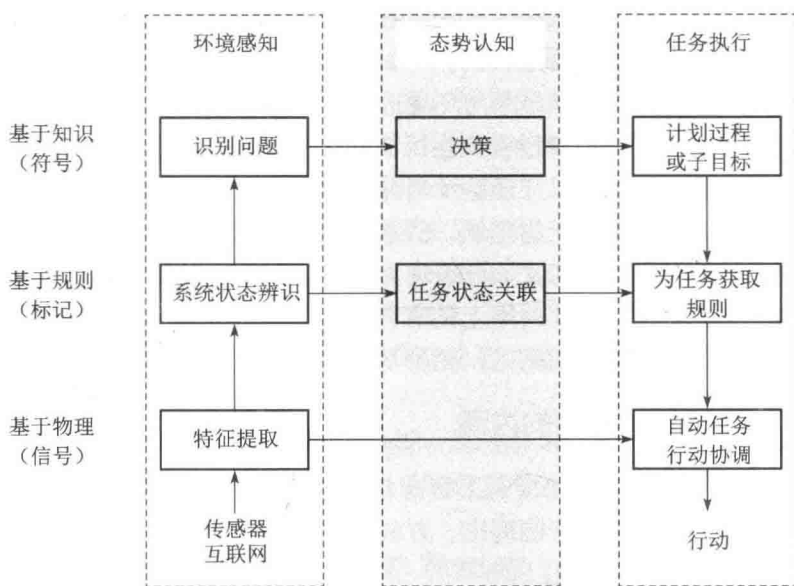


图 1.3 Rasmussen 的指挥与控制能力层级模型

1987年，John R. Boyd根据在朝鲜战场和越南战场的空战经验，提出了“观察 (Observe)—定位 (Orient)—决策 (Decide)—行动 (Act)”指挥与控

制模型，简称“OODA”模型，如图 1.4 所示。

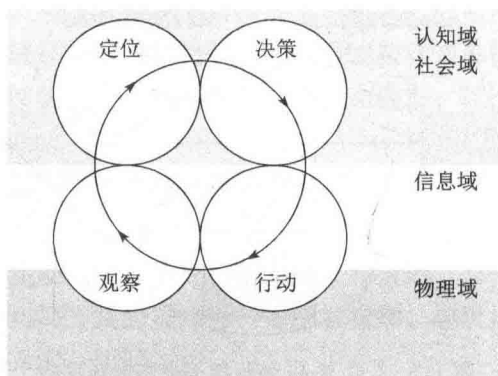


图 1.4 John R. Boyd 的“OODA”模型

在“OODA”模型中，定位是一个集经验、动机、反馈与记忆于一体的复杂活动，属于整个模型的关键技术。它影响着如何去观察、如何进行决策以及采取何种行动。观察是通过与环境的交互，从中获取所需要的目标信息，同时接收从定位过程、决策过程以及行动过程反馈的内部控制信息，以更准确、更有效地进行观察。决策是从多个与环境态势相对应的对策假设中做出最佳或最现实选择的过程，接受定位过程的内部控制，同时对观察过程进行内部控制。行动是通过执行选定的决策结果与环境进行交互的过程，其接受定位过程和决策过程的控制，同时对观察过程产生反馈。判断则是一个多方面的交互过程，包括价值观、历史传统、以往经验及当前环境信息等的交叉参考、相互关联和相互影响。整个过程贯穿于物理域、信息域、认知域和社会域。

现代指挥与控制某种意义上已表现为一种信息和数据处理活动与过程。综合上述指挥与控制模型，在时空上的有序安排是指挥与控制组织的行为特征；信息和认知是指挥与控制的基础；决策是指挥与控制的核心。

1.1.2 智能指挥控制的内涵

智能指挥控制，通常特指人工智能指挥控制，简称为“智能指挥控制”。即在指挥控制中应用人工智能理论、方法和技术的指挥控制，包括在指挥控制中智能地感知（Perception）周围事物、环境和现象，经过理性思考（Rational Thinking）后，采取行动（Action），使其达到目标的成功率最大化或最优化。

智能指挥控制的核心在于智能。智能有生物智能和机器智能、自然智能和人工智能之分，但何为智能？目前在学界尚无统一的定义。思维论者认为，智能是人脑的思维活动能力；知识阈值论者认为，智能是一种应用所有知识搜索

并求解问题的能力；进化论者认为，智能是高级生物体（如人类、灵长类）在长期的生存与发展进化过程中形成的、与环境相适应的能力。信息论者认为，智能是系统通过获取和加工信息而获得的一种能力，从而实现从简单到复杂的演化。本书从指挥控制的角度将智能（Intelligence）定义为，对环境或情境作出合乎目的的反应的智慧和能力，是智能主体对客观事物和现象进行合理分析、判断及有目的的行动和有效地处理周围环境事宜的一种综合能力。其中，智慧含有艺术的因子成分，而能力取决于结构，结构决定功能。因此，智能是一种“基于结构、面向功能、塑造灵魂”的目标、方法和途径的有机综合。在层次上，由于计算、感知、认知都是需要智力的活动，同时，计算、感知、认知的最高阶段决策实际上是选择，也是需要智慧和能力的，因此，智能可分为计算智能、感知智能、认知智能和决策智能。其发展和突破的关键在于揭示智能指挥控制行为内在的智能机理，即揭示智能指挥控制主体行为背后思考的逻辑起点和运行机制，具体实现的方法和手段。

目前，在结构和功能模型算法上，主要有符号主义（逻辑学派）、行为主义（控制论学派）和连接主义（仿生学派）3个流派。符号主义认为，“A physical symbol system (such as a digital computer) has the necessary and sufficient means for intelligent action.” 根据这个假设，人们建立了一套以知识和经验为基础的推理理论和方法。典型的有基于模板的战场态势认知分析与决策模型、基于知识库和知识图谱的专家系统等。行为主义（关于动物和机器中控制和通信的科学）认为，“Control and feedback are the mechanisms by which all animals and machines interact with the outside world.” 根据这个假设，人们设计了各种指挥自动化系统和控制系统。连接主义认为，“The central connectionist principle is that mental phenomena can be described by interconnected networks of simple and often uniform units.” 根据这个假设，最终形成了人工神经网络理论和算法，用于模拟人类的感知和认知，典型的是以深度学习为代表的人工神经网络模型。

具体实现的方法和手段包括统计分析、机器学习、并行搜索、预测决策、D-S 证据理论、模糊推理、Bayes 估计、平行仿真等。

1.2 现代海洋大数据特征及其对海上指挥控制的影响

21 世纪既是太空、网络的世纪，也是海洋的世纪。海洋是人类重要的活动空间。随着海洋技术的发展、海洋资源的新发现，以及海洋固有的地缘战略价值和国际通道作用使得海洋成为世界各国积极竞争的焦点。人类海洋活动的