

人工智能知识点全景图： 迈向“智能+”时代蓝皮书

中国人工智能学会 组织编写

2022年8月

导读 INTRODUCTION

志于道，据于德，依于仁，游于艺——《论语·述而》

为什么要凝练人工智能的知识点

认知是人类智能的重要表现，其基石和燃料是规范化的知识（如概念、属性和关系等），基于规范化知识就可形成对学习对象的理解和分类。认知这个单词“cognition”来源于拉丁语“cognitio”，表示学习和知识。

对人工智能所涵盖内容分类越细致周全，明晰不同内容之间的边界和联系，那么对人工智能的理解就越清晰。为此，需要将不同知识概念有序组织起来，这是涉及到知识概念分类体系的规范化研究。早在 13 世纪末，加泰罗尼（现西班牙境内）学者雷蒙·卢尔（Ramon Llull）提出了对知识进行规范化描述的“知识树（Tree of Knowledge）或科学树（Tree of Science）”，这是目前最早的一种知识规范化努力，与莱布尼兹所称的“人类思想字母表（alphabet of human thought）”同出一辙。

对人工智能的知识点进行研究，就可从由点到线、由线到面、由面到体，明晰人工智能宏大复杂的知识网络。

人工智能发展早期的两次低谷

人工智能在历史发展过程中经历过两次冬天（AI Winter），其本质原因在于人们对人工智能期望过大以及对新生事物的发展难以预测，当时人工智能理论和方法未能产生所承诺的重大影响又进一步影响了人工智能的研究环境。

剑桥大学应用数学家和流体力学家詹姆斯·莱特希尔教授（Sir James Lighthill）领导一个专家组于 1973 年发表了一份名为《人工智能：一份全面报告》，认为由于难以克服“组合爆炸（combinatorial explosion）”问题，导致当时的人工智能方法只能解决“玩具类问题（toy problem）”，使得人工智能进入第一次严冬。莱特希尔本人在学术界具有重要影响力，他是 20 世纪最伟大的力学家之一和现代空气动力学的开拓者。中国“两弹一星”元勋中唯一的烈士郭永怀先生曾将莱特希尔变型坐标法和普朗特的边界层理论结合起来并作了推广，得到广泛应用的著名的“彭加莱-莱特希尔-郭（Poincare-Lighthill-Kuo method，简称 PLK 法，一种偏微分方程数值解法，其中 Kuo 指郭永怀）”方法，为人类突破“声障”作出了重要贡献。

人工智能第二次跌入深谷与模拟人脑机制有关。1943 年，神经科学家沃伦（Warren McCulloch）和逻辑学家沃尔特·皮兹（Walter Pitts）合作提出了以他们

名字命名的“MCP 神经元”模型。兴奋的麦卡洛克于 1954 年在《英国科学哲学期刊》发表的一篇题为《走出形而上学的洞穴》文章中激动写道，“在科学史上第一次，我们知道了我们是怎么知道的”。弗兰克·罗森布拉特（Frank Rosenblatt）在 20 世纪 50 年代提出了“感知机（perceptron）”模型，人们对神经网络寄予了莫大期望。1969 年，明斯基（Marvin Minsky）和帕普特（Seymour A. Papert）出版了《感知机：计算几何学》一书，证明了由输入层和输出层构成的感知机能力极其有限，甚至无法完成异或（XOR）这一基本逻辑计算问题。这一书籍的出版使得神经网络被打入冷宫。20 世纪 80 年代开始，人工智能进入了 10 年左右的第二个冬天。

国际电气和电子工程师协会（IEEE）为了纪念罗森布拉特，于 2004 年设立了 IEEE Frank Rosenblatt 奖。今天深度学习正在推动人工智能形成第三次发展浪潮，提出“误差后向传播”这一概念来训练神经网络参数的保罗（Paul Werbos）以及命名“深度学习”新名词的辛顿（Geoffrey Hinton）分别于 2022 年和 2014 年获得 IEEE Frank Rosenblatt 奖。

对每一次失败的反思都孕育着下一次奋进的先机，蓄之既久，其发必速！

中国人工智能人才培养载体初步形成

2017 年 7 月，国务院印发了《新一代人工智能发展规划》，系统提出了面向 2030 年我国新一代人工智能发展的指导思想、战略目标、重点任务和保障措施。

《新一代人工智能发展规划》对人工智能人才培养和教育倾注了高度关切，在战略态势、重点任务、保障措施三个方面出现 18 次“教育”字眼，明确提出了“设立人工智能专业”和“在原有基础上拓宽人工智能专业教育内容，形成人工智能+X 复合专业培养新模式”等要求。

截止 2022 年 7 月，全国共有 440 所高校设置了人工智能本科专业、248 所高校设置了智能科学与技术本科专业。国务院学位委员会设置第 14 个学科门类（即交叉学科），包括集成电路科学与工程、国家安全学、设计学、遥感科学与技术、智能科学与技术、区域国别学六个一级学科。

101 计划中人工智能知识点

ACM-IEEE 从 1968 年开始发布计算机本科专业课程体系，指导本科教育教学。在 1968 年第一个课程体系中，人工智能以“AI, heuristic programming（人工智能与启发式规划）”知识领域出现，后修改为“人工智能与机器人”和“智能系统”描述。2021 年，正式开始使用“人工智能（Artificial Intelligence）”作为计算机本科专业课程体系中一个知识领域的描述，以回应目前人工智能这一术语被广泛使用的客观情况。

2021 年年末，教育部启动实施的计算机领域本科教育教学改革试点工作计划（简称 101 计划）。33 所计算机科学类基础学科拔尖学生培养基地建设高校中 15 所高校的 40 位老师参与了《人工智能引论》课程建设。以“厚基础、强交

又、养品行、促应用”为理念，按照“厚算法基础、养伦理意识、匠工具平台、促赋能应用”的培养目标，《人工智能引论》设置了 10 个模块和 62 个知识点（含 9 个进阶知识点），涵盖表达与推理、搜索与优化、建模与学习、伦理与安全等核心内容。

人工智能人才培养中升维与降维之道

高中信息技术学科核心素养由信息意识、计算思维、数字化学习与创新和信息社会责任四个核心要素组成。浙教版《人工智能初步》教材包含“智能之路：历史与发展”、“智能之源：算法与模型”、“智能之力：赋能之术”、“智能之用：服务社会”、“智能之基：伦理与安全”等内容。美国人工智能协会和计算机科学教师协会将 K12 学生需要掌握的知识点分为智能感知、表示和推理、机器学习、自然交互和社会影响五个方面。

可以知道，中学生所学习人工智能知识与大学本科所学习人工智能知识有一定的交叉重叠，将大学知识大蓬“降维”为中学所学知识点，为中学生将所学知识在大学阶段进行“升维”做好准备。因此，人工智能人才培养中升维与降维之道变得尤为重要。

序言 PREFACE

人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 是一门研究难以通过传统方法去解决实际问题的学问之道。一般而言, 人工智能的基本目标是使机器具有人类或其他智慧生物才能拥有的能力, 包括感知 (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 (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)。

众所周知, 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。人工智能这一种使能技术被广泛应用于其他众多领域, 如农业、制造、经济、运输和医疗等领域。

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”。因此, 人工智能研究本身以及人工智能人才培养需要融合来自神经科学、脑科学、物理学、数学、电子工程、生物学、语言学、认知学等方面的知识, 从而使得研究本身能够解决更复杂问题、所培养人才能够应对复杂问题挑战。

当前, 计算机教育正从“知识本位教育” (Knowledge Based Education) 转向“能力本位教育” (Competency Based Education), 从而实现知和行的统一。与此相适应, 人工智能教育也正在以“**厚基础、强交叉、养品行、促应用**”为理念, 加强 AI 专业人才和 AI+X 交叉人才培养。

认知是人类智能的重要表现, 其基石和燃料是规范化的知识 (如概念、属性和关系等), 基于规范化知识就可形成对学习对象的理解和分类。认知这个单词 “cognition” 来源于拉丁语 “cognitio”, 表示学习和知识。古希腊哲学认为人类理解世界的途径源于“学习技能”和“解释已得知识”两种途径, 从而“开始知道”。

对人工智能所涵盖内容分类越细致周全, 明晰不同内容之间的边界和联系, 那么对人工智能的理解就越清晰。为此, 需要将不同知识概念有序组织起来, 这是涉及到知识概念分类体系的规范化研究。早在 13 世纪末, 加泰罗尼 (现西班牙境内) 诗人、哲学家、逻辑学家雷蒙·卢尔 (Ramon Llull) 提出了对知识进行规范化描述的“知识树 (Tree of Knowledge) 或科学树 (Tree of Science)”, 这是目前最早的一种知识规范化努力。

在中国人工智能学会组织下, 由中国人工智能学会教育工作委员会负责编写, 来自教育工委的吴飞、刘挺、陈恩红、邓志鸿、侯彪、黎铭、马楠、杨洋、李阳阳、陈勋、顾镭、申富饶、陈雯柏、张伟男及教育部计算机领域本科教育教学

改革试点工作计划（简称 101 计划）中《人工智能引论》课程建设组所有成员（名单见后），一起合作，对人工智能教与学的知识点历史发展和建设思路进行了思考，形成了《人工智能知识点全景图：迈向“智能+”时代蓝皮书》。

《人工智能知识点全景图：迈向“智能+”时代蓝皮书》包括人工智能达特茅斯启航号角与新一代人工智能强健步伐、人工智能人才培养体系、计算机专业课程体系知识点演变、ACM 和 IEEE-CS 制定的新版人工智能知识点、101 计划中人工智能知识点、K12 教育中的人工智能等内容。

感谢潘云鹤院士、李德毅院士、郑南宁院士、戴琼海院士、蒋昌俊院士、王怀民院士、焦李成教授、刘成林研究员、周志华教授、朱松纯教授、John Hopcroft 教授（Cornell University）、Bart Selman 教授（Cornell University）、Stuart Russell 教授（University of California, Berkeley）、Jun Zhang 教授（University of Michigan）等在蓝皮书形成过程中予以的指导。

中国人工智能学会教育工作委员会
2022 年 8 月 18 日

编委 EDITORS

(排名不分先后)

中国人工智能学会教育工作委员会

吴 飞 | 浙江大学
刘 挺 | 哈尔滨工业大学
陈恩红 | 中国科学技术大学
邓志鸿 | 北京大学
侯 彪 | 西安电子科技大学
黎 铭 | 南京大学
马 楠 | 北京工业大学
杨 洋 | 浙江大学
李阳阳 | 西安电子科技大学
陈 勋 | 中国科学技术大学
顾 镭 | 北京工业大学
申富饶 | 南京大学
陈雯柏 | 北京信息科技大学
张伟男 | 哈尔滨工业大学

教育部计算机领域本科教育教学改革试点工作计划（101 计划） 《人工智能引论》课程建设组成员

吴 飞 | 浙江大学
况 琨 | 浙江大学
王东辉 | 浙江大学
李文新 | 北京大学
刘家瑛 | 北京大学
刘 洋 | 清华大学
李建民 | 清华大学
黄河燕 | 北京理工大学
毛先领 | 北京理工大学
李 侃 | 北京理工大学
史树敏 | 北京理工大学

李钦策 | 哈尔滨工业大学
李海峰 | 哈尔滨工业大学
张宇 | 哈尔滨工业大学
张丽清 | 上海交通大学
高岳 | 上海交通大学
李文 | 电子科技大学
宋井宽 | 电子科技大学
鲍军鹏 | 西安交通大学
相明 | 西安交通大学
朱晓燕 | 西安交通大学
辛景民 | 西安交通大学
魏平 | 西安交通大学
苗夺谦 | 同济大学
张红云 | 同济大学
赵才荣 | 同济大学
武妍 | 同济大学
王俊丽 | 同济大学
谢榕 | 武汉大学
彭敏 | 武汉大学
焦李成 | 西安电子科技大学
慕彩红 | 西安电子科技大学
刘若辰 | 西安电子科技大学
李阳阳 | 西安电子科技大学
宋睿华 | 中国人民大学
危辉 | 复旦大学
邱锡鹏 | 复旦大学
何琨 | 华中科技大学
许莹 | 湖南大学
陈立萌 | 浙江大学

目录 CONTENTS

导读 INTRODUCTION	1
序言 PREFACE	4
编委 EDITORS.....	6
目录 CONTENTS	8
一、从达特茅斯启航	9
二、人工智能人才培养载体	12
三、计算机专业课程体系知识点演变	14
四、ACM 和 IEEE-CS 制定的新版人工智能知识点	17
五、101 计划中人工智能知识点	22
六、K12 教育中的人工智能	26
七、人工智能学习之升维和降维之辩	29
八、总结	29
参考文献	31

一、从达特茅斯启航

1955 年 9 月，John McCarthy（时任达特茅斯学院数学系助理教授，1971 年度图灵奖获得者）、Marvin Lee Minsky（时任哈佛大学数学系和神经学系 Junior Fellow，1969 年度图灵奖获得者）、Claude Shannon（时任贝尔实验室数学家，信息论之父）和 Nathaniel Rochester（时任 IBM 信息研究主管，IBM 第一代通用计算机 701 主设计师）四位学者在一份提交给洛克菲勒基金会（The Rockefeller Foundation）的题为“关于举办达特茅斯人工智能夏季研讨会的提议”（A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence）报告中，首次使用了 Artificial Intelligence（人工智能，AI）这个术语，从此人工智能开始登上人类历史舞台（见图 1）。

在这份报告中，四位学者提出了一个猜想（conjecture）：**学习的每个方面或智能的任何其他特性原则上可以被精确描述，因此可以用机器来模拟。**如果说大多数学科都有第一性原理，如牛顿经典力学中“引力和惯性”是第一性原理、达尔文进化论中“物竞天择、适者生存”是第一性原理，那么人工智能中对智能的精确描述可作为第一性原理。也就说以机器为载体来展示人类智能，首先需要对所展示的人类智能描述清晰。

A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence August 31, 1955

John McCarthy, Marvin L. Minsky,
Nathaniel Rochester,
and Claude E. Shannon

• The 1955 Dartmouth summer research project on artificial intelligence was motivated by the feeling that the study of intelligence is one of the most important and exciting areas of research in the sciences. The report contains a statement of the project's goals and a list of the problems to be studied. It also contains a list of the names of the people who are working on the project.

group. From observations and concepts, when faced with problems new to them, the human mind is able to generate hypotheses, test them, and modify them. The report contains a list of the names of the people who are working on the project.

1. Automatic Computers
It is assumed that the study of intelligence is one of the most important and exciting areas of research in the sciences. The report contains a statement of the project's goals and a list of the problems to be studied. It also contains a list of the names of the people who are working on the project.

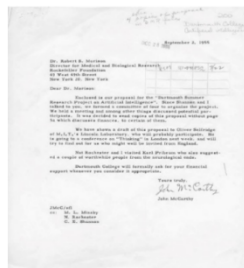


图 1 达特茅斯人工智能夏季研讨会相关材料

（左：人工智能单词第一次被使用；中：洛克菲勒基金会评审结果；右：达特茅斯会议合影）

在这份报告中，四位学者希望洛克菲勒基金会能够出资 1.35 万美元，于 1956 年夏天资助一批学者在达特茅斯学院开展两个月有关“让机器能像人那样认知、思考和学习，即用计算机模拟人的智能”的研究。这份报告同时列举了人工智能所面临的七类问题，分别是自动计算机、计算机编程、神经网络（通过连接神经元来形成概念）、计算的复杂度、智能算法的自我学习与提高、智能算法抽象能力以及智能算法随机性与创造力。

比较有趣的是，在收到这份建议书三个月后（即 1955 年 11 月），洛克菲勒基金会主管这一领域研究的生物与医学部门主任莫里森（Robert S. Morison）博士

给四位建议者回复了基金会对这一建议书评议结果。莫里森在回复中没有使用“人工智能”这一单词来描述建议书中陈述的研究内容，而是使用了“思维的数学模型”（mathematical models for thought）这一单词。基金会认为虽然申请书所提及研究内容难以让人彻悟（difficult to grasp very clearly），但是鉴于这一研究所具有长期挑战性特点，基金会愿意资助其申请经费的一半，即批准 7500 美元来支持这个研讨会。

莫里森在回函中写道：希望你们不会觉得我们过于谨慎（overcautious）。但总体而言，对思维的数学模型研究是一个新领域，从长远来看非常具有挑战性。这意味着探索一种新方法是一场适度的赌博，因此在现阶段冒任何大风险会令人犹豫重重。莫里森博士 1964 年离开洛克菲勒基金会后分别在美国康奈尔大学和麻省理工学院担任生物学教授。

1956 年夏天，一批研究学者来到达特茅斯学院开展人工智能的研究，吹响了人工智能研究的号角。在人工智能历史发展中经历了两次“冬天（AI Winter）”。

1970 年，英国科学研究理事会（British Science Research Council）委托剑桥大学应用数学家和流体力学家詹姆斯·莱特希尔教授（Sir James Lighthill）领导一个专家组对英国人工智能发展进行评估。1973 年该专家组提交了一份名为《人工智能：一份全面报告》（Artificial Intelligence: A General Survey）（后被称为“莱特希尔”报告）。该报告认为人工智能迄今为止的发现尚未产生当时承诺的重大影响（In no part of the field have the discoveries made so far produced the major impact that was then promised）。由于难以克服“组合爆炸（combinatorial explosion）”问题，导致当时的人工智能方法只能解决“玩具类问题（toy problem）”，而非真实世界中任务。这一报告导致英国政府几乎终止了对英国高校进行人工智能研究的资助，使得人工智能进入第一次严冬（AI winter）。

莱特希尔本人在学术界具有重要影响力，他是 20 世纪最伟大的力学家之一和现代空气动力学的开拓者。有趣的是，中国“两弹一星”元勋中唯一的烈士郭永怀先生将莱特希尔变型坐标法和普朗特的边界层理论结合起来并作了推广，得到广泛应用的著名的“彭加莱-莱特希尔-郭（Poincare-Lighthill-Kuo method，简称 PLK 法，一种偏微分方程数值解法，其中 Kuo 指郭永怀）”方法，为人类突破“声障”作出了重要贡献。

人工智能第二次跌入深谷与模拟人脑机制有关。1943 年，神经科学家沃伦（Warren McCulloch）和逻辑学家沃尔特·皮兹（Walter Pitts）合作提出了以他们名字命名的“MCP 神经元”模型。兴奋的麦卡洛克于 1954 年在《英国科学哲学期刊》发表的一篇题为《走出形而上学的洞穴》文章中激动写道，“在科学史上第一次，我们知道了我们是怎么知道的”。弗兰克·罗森布拉特（Frank Rosenblatt）

在 20 世纪 50 年代提出了“感知机（perceptron）”模型，人们对神经网络寄予了莫大期望。1969 年，明斯基（Marvin Minsky）和帕普特（Seymour A. Papert）出版了《感知机：计算几何学》一书，证明了由输入层和输出层构成的感知机能力极其有限，甚至无法完成异或（XOR）这一基本逻辑计算问题。这一书籍的出版使得神经网络被打入冷宫。20 世纪 80 年代开始，人工智能进入了 10 年左右的第二个冬天。

令人感叹的是，2004 年，国际电气和电子工程师协会（IEEE）为了纪念罗森布拉特，于 2004 年设立了 IEEE Frank Rosenblatt 奖。提出“误差后向传播”这一概念来训练神经网络参数的保罗（Paul Werbos）以及命名“深度学习”新名词的辛顿（Geoffrey Hinton）分别于 2022 年和 2014 年获得 IEEE Frank Rosenblatt 奖。

人工智能两次跌入低谷的本质原因在于人们对人工智能期望过大以及对新生事物的发展难以预测，当时人工智能理论和方法未能产生所承诺的重大影响又进一步恶化了人工智能的研究环境。但是，对每一次失败的反思都孕育着下一次奋进的先机，蓄之既久，其发必速！

如今，经过 60 多年演进，人工智能研究呈现深度学习、跨界融合、人机协同、群智开放、自主操控等新特征，引发链式突破，加速新一轮科技革命和产业变革进程，成为新一轮产业变革的核心驱动力。

2017 年 7 月，国务院印发《新一代人工智能发展规划》，这是本世纪以来中国发布的第一个人工智能系统性战略规划，这一规划提出了面向 2030 年我国新一代人工智能发展的指导思想、战略目标、重点任务和保障措施，明确了我国新一代人工智能三步走的战略目标。

《新一代人工智能发展规划》部署了六项重点任务，分别是构建开放协同的人工智能科技创新体系、培育高端高效的智能经济、建设安全便捷的智能社会、加强人工智能领域军民融合、构建泛在安全高效的智能化基础设施体系、前瞻布局新一代人工智能重大科技项目（见图 2）。

重点任务

构建开放协同的

人工智能科技创新体系

- 建立新一代人工智能基础理论体系
- 建立新一代人工智能关键共性技术体系
- 统筹布局人工智能创新平台
- 加快培养聚集人工智能高端人才

培育高端高效的

智能经济

- 大力发展人工智能新兴产业
- 加快推进产业智能化升级
- 大力发展智能企业
- 打造人工智能创新高地

建设安全便捷的

智能社会

- 发展便捷高效的智能服务
- 推进社会治理智能化
- 利用人工智能提升公共安全保障能力
- 促进社会交往共享互信

加强人工智能领域

军民融合

- 推动形成全要素、多领域、高效益的人工智能军民融合格局

构建泛在安全高效的

智能化基础设施体系

- 网络基础设施
- 大数据基础设施
- 高效能计算基础设施

前瞻布局新一代

人工智能重大科技项目

- 设立新一代人工智能重大科技项目，形成以新一代人工智能重大科技项目为核心、现有研发布局为支撑的“1+N”人工智能项目群

图2 新一代人工智能发展规划中的六项重点任务

中国《新一代人工智能发展规划》不仅包括了人工智能有关的科学研究和技术手段等内容，而且对人工智能人才培养和教育倾注了高度关切，在战略态势、重点任务、保障措施三个方面出现18次“教育”字眼，明确提出了“设立人工智能专业”和“在原有基础上拓宽人工智能专业教育内容，形成人工智能+X 复合专业培养新模式”等要求。

二、人工智能人才培养载体

人工智能要成为推动国家和社会高质量发展的强大引擎，需要大批掌握这一技术的优秀人才。因此，AI 赋能、教育先行，培养人工智能一流人才才能为我国构筑人工智能发展先发优势贡献战略资源力量。

为了落实《新一代人工智能发展规划》，2018年4月教育部印发了《高等学校人工智能创新行动计划》以及教育部、发改委、财政部于2020年1月联合发布了《关于“双一流”建设高校促进学科融合加快人工智能领域研究生培养的若干意见》两个文件来推动人工智能人才培养。这两个文件对人工智能专业设置、学科发展、人才培养、科技创新进行了规划，强调在人才培养和科技创新方面要“特别重视多维融合的推动策略”，即：学科建设强调“融合发展”，健全学科设置机制，以学科重大理论和实践应用问题为牵引，促进人工智能方法与技术向更多学科渗透融合；人才培养模式强调“复合培养”，探索以问题为导向的学科交叉人才培养模式，深化产教融合，大力提升研究生创新和实践能力；课程体系建设强调“精密耦合”，以“全链条”“开放式”“个性化”为目标，打造人工智能核心知识课程体系和应用模块课程；评价机制强调“组合创新”，以成果评价为突破口，科学评

价论文、专利、软件著作权等多种成果形式，推进不同类型研究生的分类评价机制。

先前在我国现有的学科体系中，尚未设立人工智能有关学科，只是在控制科学与工程一级学科内设置了“模式识别与智能系统”二级学科，是当时所有自然科学门类中唯一与人工智能相关的学科。

经国务院学位委员会第三十五次会议审议批准，2019年5月6日国务院学位委员会发布《国务院学位委员会关于下达2018年现有学位授权自主审核单位撤销和增列的学位授权点名单的通知（学位[2019]11号）》，批准浙江大学增列人工智能交叉学科博士学位，这是中国高校设立的第一个人工智能的交叉学科（列入一级学科管理），将其放入交叉学科这一门类之下，并明确交叉学科是多个学科相互交互、融合、渗透形成的新学科，具有不同于现有学科范畴的概念、理论和方法，是学科和知识发展的新领域。

2020年12月30日，国务院学位委员会发布《国务院学位委员会教育部关于设置“交叉学科”门类、“集成电路科学与工程”和“国家安全学”一级学科的通知》，指出按照《学位授予和人才培养学科目录设置与管理办法》的规定，经专家论证，国务院学位委员会批准，决定设置“交叉学科”门类（门类代码为14）、“集成电路科学与工程”一级学科（学科代码为1401）和“国家安全学”一级学科（学科代码为1402）。交叉学科门类的设置，使得目前已有的哲学、经济学、法学、教育学、文学、历史学、理学、工学、农学、医学、军事学、管理学、艺术学13个学科门类被扩充为14个，这是继2011年国务院学位办增设艺术类学科门类之后对学科目录的一次重大调整。

2021年11月，国务院学位委员会印发了《交叉学科设置与管理办法（试行）》，明确交叉学科是多个学科相互渗透、融合形成的新学科，具有不同于现有一级学科范畴的概念、理论和方法体系，已成为学科、知识发展的新领域。同时，国务院学位委员会下发《博士、硕士学位授予和人才培养学科专业目录（征求意见稿）》，明确将交叉学科列为第14个学科门类，下设集成电路科学与工程、国家安全学、设计学、遥感科学与技术、智能科学与技术、区域国别学六个一级学科。

2019年3月，教育部印发了《教育部关于公布2018年度普通高等学校本科专业备案和审批结果的通知》，批准35所高校设置“人工智能”本科专业。截至2022年8月，全国一共有440所高校设置了人工智能本科专业。同时，目前全国一共有248所高校设置了智能科学与技术本科专业。

由此，我国本科和研究生层次的人工智能人才培养载体已经形成（见表1）。

表 1 人工智能人才培养载体

人工智能专业/学科	说明相关
人工智能本科专业	2019 年，经教育部审批，全国首批 35 所高校获批“人工智能”新专业建设资格。截止 2022 年 7 月，全国共有 440 所高校设置了人工智能本科专业
智能科学与技术本科专业	从 2005 年北京大学设置第一个智能科学本科专业以来，截止 2022 年 7 月，全国一共 248 所高校设置了智能科学与技术本科专业
智能科学与技术交叉学科 (列入一级学科管理)	国务院学位委员会下发《博士、硕士学位授予和人才培养学科专业目录（征求意见稿）》，明确将交叉学科列为第 14 个学科门类，下设集成电路科学与工程、国家安全学、设计学、遥感科学与技术、智能科学与技术、区域国别学六个一级学科。

三、计算机专业课程体系知识点演变

为了规范计算机专业课程的教与学，美国计算机学会（Association for Computing Machinery, ACM）于 1968 年和 1978 年发布了计算机科学（Computer Science）课程体系 Curriculum 68 和 Curriculum 78。1985 年，ACM 和 IEEE 计算机学会针对计算机科学课程体系成立了一个工作组（task force），共同来制定计算机科学的课程体系。这个工作组几乎每隔 10 年，发布一个新的计算机课程体系，目前已经发布了 Computing Curricula 1991，Computing Curricula 2001，Computer Science Curriculum 2013、Computing Curricula 2020 等重要版本。

	Curriculum 68		Curriculum 78	
	computer science	math	computer science	math
Basic core	B1 intro to computing B2 computers and programming B3 discrete structures B4 numerical calculus	calculus analysis I analysis II linear algebra	CS1 programming I CS2 programming II CS3 comp. systems CS4 comp. organization CS5 file processing	<i>required, non-core:</i> calculus analysis I lin. algebra probability discrete structures
Inter-mediate core	I1 data structures I2 prog. languages I3 comp. organization I4 systems programming	probability	CS6 OS & comp. arch I CS7 data structures and algorithm analysis CS8 programming language organization	<i>elective:</i> analysis II prob. & stat.
Advanced	I5 switching theory* I6 sequential mach.* I7 num. analysis I* I8 num. analysis II*	adv. calculus* alg. structures* probability & statistics*	<i>four required, no more than two in any subfield:</i>	
	A1 formal languages A2 advanced computer organization A3 analog and hybrid computing A4 systems simulation A5 information retrieval A6 computer graphics A7 theory of computability A8 large-scale information systems A9 AI, heuristic programming		CS9 computers and society CS10 OS and computer architecture II CS11 database management systems CS12 AI CS13 algorithms CS14 software design CS15 programming language theory CS16 automata, languages, computability CS17 numerical math: analysis CS18 numerical math: linear algebra plus advanced topics courses	

* two each of CS and math required

图 3 早期计算机课程体系的两个版本中均出现了人工智能

(Curriculum 68 和 Curriculum 78)

1968 年首次发布的计算机课程体系 Curriculum 68 强调算法思维，认为算法的概念应当和程序的概念清晰地区分开，并且强调了数学知识的教学(如微积分、线性代数和概率等)。在 1968 年计算机课程体系中，“AI, heuristic programming (人工智能与启发式规划)”术语首次在计算机课程体系中出现(见图 3)。回顾历史不由让人心生“见贤思齐、心有戚戚”感叹，睿智学者在计算机专业课程体系形成之初就将人工智能作为重要的知识领域，让后来人能够沿着这一跑道犹如马拉松一样“接力前行”。正如 ACM 和 IEEE-CS 联合工作组在 2021 年修订人工智能知识领域及知识点指出：鉴于人工智能与其他领域知识交叉渗透，需要让计算机专业每个学生掌握人工智能基本知识和思维！

1985 年，ACM 和 IEEE 计算机协会 (IEEE-CS) 联合成立了一个工作组，来共同制定计算机课程体系，这个工作组认为计算机专业是研究信息描述和转换的系统性算法过程，包括理论、分析、设计、效率、执行和应用。同时，工作组提出了计算科学的根本问题是“什么可以(有效地)自动化？(what can be efficiently automated)”。1991 年，这个工作组发布了计算机课程体系 computing curricula 1991。

ACM 和 IEEE-CS 发布的 1991 版课程体系将计算机课程体系分为 11 个知识领域，其中将人工智能与机器人 (Artificial Intelligence and Robotics, AI) 单列为一个知识领域，这说明人工智能在计算机课程体系中从此成为了一个独立的知识领域(见表 2)。在 2001 年版和 2013 年版的计算机课程体系中，用“智能系统”这一术语取代了“人工智能与机器人”。

表 2 ACM 和 IEEE-CS 发布的 1991 版、2001 版、2013 版计算机课程体系

1991 年 (11 个知识领域)	2001 年 (14 个知识领域)	2013 年 (18 个知识领域)
算法与数据结构 (Algorithms and Data Structures)	离散数学 (Discrete structures)	算法与复杂度 (Algorithms and Complexity)
计算机体系 (Architecture)	人机交互 (Human-Computer Interaction)	计算机结构体系与组织 (Architecture and Organization)
人工智能与机器 (Artificial Intelligence and Robotics)	编程基础 (Programming Fundamentals)	计算科学 (Computational Science)
数据库和信息检索 (Database and Information Retrieval)	图形学与可视计算 (Graphics and Visual Computing)	离散数学 (Discrete Structures)
人机交流 (Human-Computer Communication)	算法与复杂性 (Algorithms and Complexity)	图形与可视化 (Graphics and Visualization)
数字和符号计算 (Numerical and Symbolic Computation)	智能系统 (Intelligent Systems)	人机交互 (Human-Computer Interaction)
操作系统 (Operating Systems)	体系与组织 (Architecture and Organization)	信息保障与安全 (Information Assurance and Security)
编程语言 (Programming Languages)	信息管理 (Information Management)	信息管理 (Information Management)
编程语言导论 (Introduction to a Programming Language) (optional)	操作系统 (Operating Systems)	智能系统 (Intelligent Systems)
软件方法学和工程 (Software Methodology and Engineering)	社会问题与专业实践 (Social and Professional Issues)	网络与通讯 (Networking and Communications)
社会、伦理和专业实践	网络计算	操作系统

(Social, Ethical, and Professional Issues)	(Net-Centric Computing)	(Operating Systems)
	软件工程 (Software Engineering)	基于平台的开发 (Platform-based Development)
	编程语言 (Programming Languages)	并行与分布式计算 (Parallel and Distributed Computing)
	计算科学 (Computational Science)	程序设计语言 (Programming languages)
		软件开发基本原理 (Software Development Fundamentals)
		软件工程 (Software Engineering)
		系统基本原理 (Systems Fundamental)
		社会问题与专业实践 (Social Issues and Professional Practice)

四、ACM 和 IEEE-CS 制定的新版人工智能知识点

2001 年，ACM 和 IEEE-CS 联合工作组发布了计算机课程体系 Computing Curricula 2001。Computing Curricula 2001 将计算机课程体系分为 14 个知识领域，其中用“智能系统 (Intelligent System)”来指代人工智能。在这版计算机课程体系中，人工智能知识领域相关内容被分为智能系统基础、搜索与优化、知识表达和推理、学习、智能体、计算机视觉、自然语言处理、模式识别、先进机器学习、机器人、知识系统、神经网络和遗传算法等 13 个知识点。从这 13 个知识点可以看出，人工智能知识领域内容基本成型。

表 3 ACM 和 IEEE-CS 发布的 2001 版和 2013 版人工智能领域所涵盖的知识点

人工智能知识领域涵盖的 13 个知识点 (2001 年)	人工智能知识领域涵盖的 12 个知识点 (2013 年)
智能系统基础 (Fundamental issues in intelligent systems)	智能基本问题 (Fundamental issues)
搜索与优化 (Search and optimization methods)	搜索策略基础 (Basic Search Strategies)
知识表达和推理 (Knowledge representation and reasoning)	知识表示和推理基础 (Basic Knowledge Based Reasoning)
学习 (Learning)	机器学习基础 (Basic Machine Learning)
智能体 (Agents)	高级搜索 (Advanced Search)
计算机视觉 (Computer vision)	高级知识表达和推理 (Advanced Representation and Reasoning)
自然语言处理 (Natural language processing)	不确定下推理 (Reasoning Under Uncertainty)
模式识别 (Pattern recognition)	智能体 (Agents)
先进机器学习 (Advanced machine learning)	自然语言处理 (Natural Language Processing)
机器人 (Robotics)	高级机器学习 (Advanced Machine Learning)
知识系统 (Knowledge-based systems)	机器人 (Robotics)
神经网络 (Neural networks)	感知与机器视觉 (Perception and Computer Vision)
遗传算法 (Genetic algorithms)	

2013 年，ACM 和 IEEE-CS 联合工作组发布了计算机课程体系 Computing Curricula 2013。在 Computing Curricula 2013 中，计算机课程体系被称为一个“大篷”（big tent），其知识领域被拓展为 18 个。在这个课程体系中，用来描述人工

智能知识领域的“智能系统（Intelligent System）”包括智能基本问题、搜索策略基础、知识表示和推理基础、机器学习基础、高级搜索、高级知识表达和推理、不确定下推理、智能体、自然语言处理、高级机器学习、机器人、感知与机器视觉等 12 个知识点。

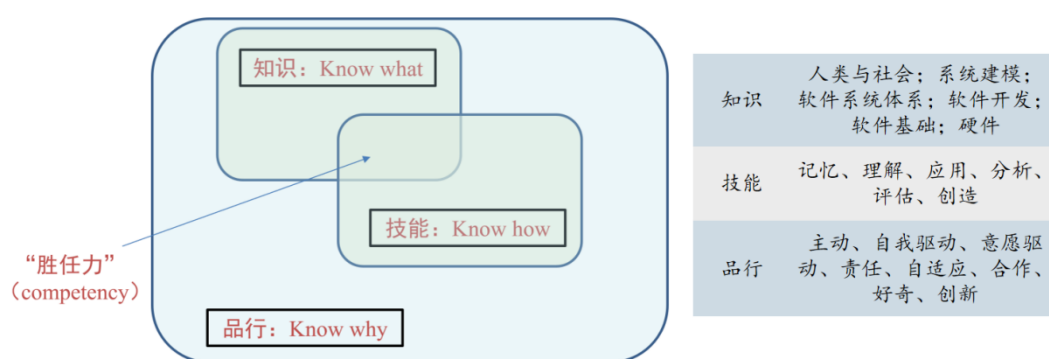


图 4 ACM/IEEE 计算课程体系 CC2020 提出了胜任力培养目标

2020 年，美国计算机学会（ACM）和电气与电子工程师协会计算机学会（IEEE-CS）发布了计算机类专业课程体系规范 2020 年版（简称 CC2020）。CC2020 采用“计算”（computing）一词作为计算机工程、计算机科学和信息技术等所有计算机领域的统一术语，同时采用“胜任力”（competency）一词来代表所有计算教育项目的基本主导思想。其目标就是从知识（knowledge）、技能（skills）和品行（dispositions）三方面培养，使学生胜任未来计算相关工作内容（如图 4 所示）。

ACM 和 IEEE-CS 制定的新版人工智能知识点

ACM 和 IEEE-CS 联合工作组从 2021 年开始修订人工智能知识领域及知识点（详见：<https://csed.acm.org/knowledge-areas-intelligent-systems-ai-sigcse-2022-version/>）。在这次修订中，ACM 和 IEEE-CS 联合工作组对人工智能知识领域进行了较大幅度修改，出现了如下趋势：

将智能系统（Intelligent Systems）修改为人工智能（Artificial Intelligence），以回应目前人工智能这一术语被广泛使用的客观情况。

神经网络和表示学习越来越受到重视，反映了该领域的最新进展。由于搜索在整个人工智能中的关键作用，它仍然被强调，但符号主义人工智能方法略有减少，以增加有关神经网络等内容。

应该越来越重视人工智能在诸多方面的实际应用（如医学、可持续性、社交

媒体等)。

关注人工智能技术对社会所产生的广泛影响，包括人工智能伦理、公平、可信和可解释等方面问题。考虑到人工智能与其他知识领域在实践中的广泛联系，每个计算机科学学生都应有明确目标来培养基本的人工智能素养和批判性思维。

表 4 ACM 和 IEEE-CS 联合工作组正在制定的人工智能知识模块及知识点

知识模块	知识点
基本问题 (Fundamental Issues)	人工智能问题概述，最近成功的 AI 应用示例；什么是智能行为；图灵测试；理性推理与非理性推理；智能体本质；人工智能的哲学问题
基本搜索策略 (Basic Search Strategies)	问题的状态空间表示；无信息搜索；启发式搜索（爬山；最佳优先搜索；A*搜索）；搜索算法的空间和时间复杂度；最小最大搜索；Alpha-beta 剪枝搜索
基础知识表示和推理 (Basic Knowledge Representation and Reasoning)	知识表达类型；概率推理回顾，贝叶斯定理与贝叶斯推理
基础机器学习 (Basic Machine Learning)	机器学习任务的定义和示例；基于统计的监督学习（朴素贝叶斯和决策树）；机器学习优化（如最小二乘回归）；过拟合问题和正则化；机器学习评估；基本神经网络
应用和社会影响 (Applications and Societal Impact)	人工智能在广泛问题和不同领域的应用（如医学、可持续发展、社交媒体等）；人工智能的社会影响
高级搜索 (Advanced Search)	构建搜索树、动态搜索空间、搜索空间的组合爆炸；随机搜索；模拟退火算法；遗传算法；蒙特卡洛树搜索；实现束搜索（beam search）、最小最大值搜索、Alpha-beta 剪枝搜索；期望最大搜索（MDP 求解）
高级表示和推理 (Advanced Representation and Reasoning)	命题逻辑和谓词逻辑的回顾（交叉引用 DS/基本逻辑）；分辨率和定理证明（仅限命题逻辑）；知识表示问题；描述逻辑；本体工程；非单调推理（例如，非经典逻辑、默认推理）；论证；关于行动和变化的推理（例如，情况和事件演

	算)；时空推理；基于规则的专家系统；语义网络；基于模型和案例的推理；规划
不确定下的推理 (Reasoning Under Uncertainty)	基本概率回顾；随机变量和概率分布；概率公理；概率推理；贝叶斯法则；条件独立；知识表示；精确推理及其复杂度；随机抽样（蒙特卡罗）方法（如吉布斯采样）；马尔可夫网络；关系概率模型；隐马尔可夫模型；决策理论
智能体 (Agents)	智能体定义；智能体结构（如反应、分层和认知）；智能体理论；理性与博弈论；智能体决策理论；马尔可夫决策过程；软件智能体、个人助理；学习智能体；多智能体系统
自然语言处理 (Natural Language Processing)	确定性语法和随机语法；解析算法；CFG 和图表解析器（例如 CYK）；概率 CFG 和加权 CYK；基于语料库的方法；N-gram 和 HMM；自然应用应用示例：词性标注和语言形态学；信息检索；TF*IDF；查准率和查全率；信息抽取；语言翻译；文本分类
高级机器学习 (Advanced Machine Learning)	通用统计学习；参数估计（最大似然）；归纳逻辑程序设计（ILP）；监督学习；学习决策树；学习简单的神经网络/多层感知器；支持向量机；集成学习；最近邻算法；深度学习；无监督学习和聚类；半监督学习；学习图模型；性能评估（例如交叉验证和 ROC 曲线）；学习理论；过拟合的问题，维度灾难问题；强化学习；机器学习算法在数据挖掘中的应用
机器人 (Robotics)	当前机器人系统（包括传感器和传感器处理等）；机器人控制架构；世界空间建模和世界空间模型；传感和控制中的固有不确定性；轨迹规划和环境地图；解释传感器数据中的不确定性；定位；导航和控制；运动规划；多机器人协作
感知和计算机视觉 (Perception and Computer Vision)	计算机视觉；图像采集、表示和处理；形状表示、对象识别和分割；运动分析；音频和语音识别；识别中的模块化；模式识别

表 4 中给出了 ACM 和 IEEE-CS 联合工作组正在制定的人工智能知识点，包括了基本问题、基本搜索策略、基础知识表示和推理、基础机器学习、应用和社会影响、高级搜索、高级表示和推理、不确定下的推理、智能体、自然语言处理、高级机器学习、机器人、感知和计算机视觉等 13 个模块。

从计算机课程体系和人工智能知识领域发展可以看出：计算机课程体系“大篷”

不断扩展。如基于平台的开发、并行与分布式计算、系统基本原理等是 2013 年中新增加内容。

人工智能知识体系的着重点走过了从强调程序设计（programming）、到算法研究（model）以及功能实现（function）的不同历史阶段。在这一过程中，人工智能知识点逐渐变得明晰，在 2013 年计算机课程体系中明确指出人工智能是一门研究难以通过传统方法去解决实际问题的学问之道，其通过非传统方法解决问题需要利用常识或领域知识的表达机制、解决问题的能力以及学习技巧。为此，需要研究感知（如语音识别、自然语言理解、计算机视觉）、问题求解（如搜索和规划）、行动（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）。

五、101 计划中人工智能知识点

2021 年年末，教育部在北京大学启动实施的计算机领域本科教育教学改革试点工作计划（简称 101 计划），101 计划是中国学科建设和教育改革的一项品牌，围绕“以生为本、聚焦教学、剖析课堂、赋能教师”的理念，用两年时间推出 12 门计算机核心专业课程的名课、名师、名教材，对课程的内容、讲授方式、实践平台进行全面建设，引领带动高校计算机人才培养质量的整体提升。101 计划中所建设 12 门课程和负责教师如表 5 所示。

表 5 101 计划建设的 12 门课程及其负责教师

建设课程	负责教师
计算概论（计算机科学导论）	战德臣（哈尔滨工业大学）
数据结构	俞勇（上海交通大学）
算法设计与分析	汪小林（北京大学）
离散数学	王捍贫（北京大学）
计算机系统导论	袁春风（南京大学）
操作系统	陈向群（北京大学）
计算机组成与系统结构	刘卫东（清华大学）
编译原理	张莉（北京航空航天大学）

计算机网络	吴建平、徐明伟（清华大学）
数据库系统	杜小勇、陈红（人民大学）
软件工程	毛新军（国防科技大学）
人工智能引论	吴飞（浙江大学）

101 计划启动以来，33 所计算机科学类基础学科拔尖学生培养基地建设高校中 15 所高校的 40 位老师参与了《人工智能引论》课程建设（见表 6）。通过讨论，参与建设教师认为人工智能具有多学科交叉综合、渗透力和支撑性强、高度复杂等特点，呈现技术属性和社会属性高度融合特色。

表 6 101 计划中《人工智能引论》建设高校和教师（排名不分先后）

参与高校	参与教师
浙江大学	吴飞、况琨、王东辉
北京大学	李文新、刘家琪
清华大学	刘洋、李建民
北京理工大学	黄河燕、毛先领、李侃、史树敏
哈尔滨工业大学	李钦策、李海峰、张宇
上海交通大学	张丽清、高岳
电子科技大学	李文、宋井宽
西安交通大学	鲍军鹏、相明、朱晓燕、辛景民、魏平
同济大学	苗夺谦、张红云、赵才荣、武妍、王俊丽
武汉大学	谢榕、彭敏
西安电子科技大学	焦李成、慕彩虹、刘若辰、李阳阳
中国人民大学	宋睿华

复旦大学	危辉、邱锡鹏
华中科技大学	何琨
湖南大学	许莹

以“厚基础、强交叉、养品行、促应用”为理念，按照“厚算法基础、养伦理意识、匠工具平台、促赋能应用”的培养目标，《人工智能引论》设置了10个模块和62个知识点（含9个进阶知识点），希望学生们能了解符号主义人工智能、连接主义人工智能和行为主义人工智能以及人工智能融合交叉等历史发展脉络，掌握知识表达与推理、搜索探寻与问题求解、统计机器学习、神经网络与深度学习、强化学习、人工智能博弈等基本算法，树立人工智能伦理与安全意识，理解保障人工智能安全、可信和公平的技术方法，会应用人工智能工具、芯片和平台等手段，搭建具体场景所需人工智能架构与系统，完成自然语言中机器翻译、视觉理解中图像分类、机器人中行为控制或科学计算等应用案例。通过对图灵测试、逻辑推理、概率建模、数据拟合、参数优化、博弈对抗和智能演化等算法原理的领会，知晓当前人工智能发展的瓶颈问题，同时对人机共融所形成的社会形态中应遵守道德准则和法律法规有清晰认识。

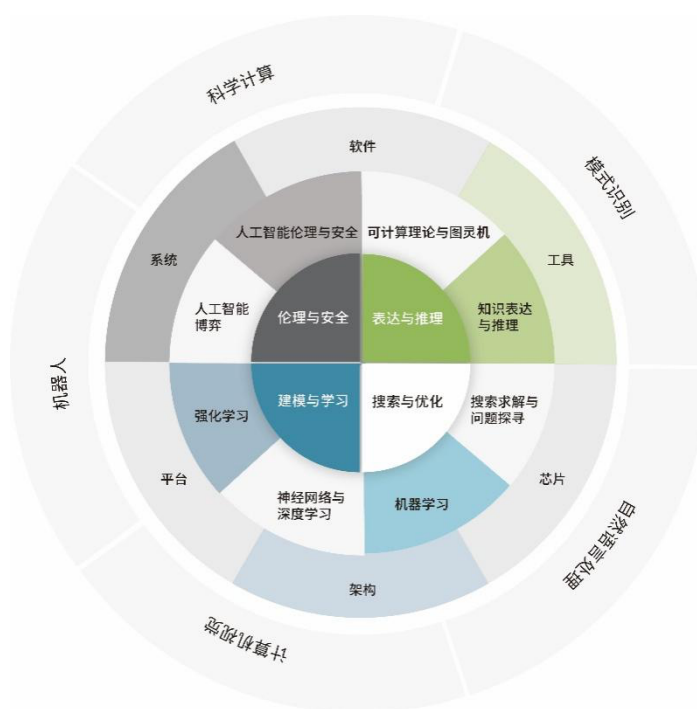


图5 《人工智能引论》课程知识点框架

图 5 给出了《人工智能引论》课程的知识点框架。这一框架中包含 10 个模块和 62 个知识点，具体内容如下：

模块 1 可计算理论与图灵机：可计算理论、图灵机模型和图灵测试、人工智能主流算法（符号主义、连接主义和行为主义）、国内外人工智能发展重要事件。

模块 2 知识表达与推理：知识表示方法、命题逻辑和谓词逻辑及其推理方法、知识图谱推理、贝叶斯网络与概率推理、因果推理。

模块 3 搜索探寻与问题求解：贪婪最佳优先搜索、启发式搜索 A* 搜索、搜索算法的性能分析、Minimax 搜索、Alpha-Beta 剪枝搜索和蒙特卡洛树搜索。

模块 4 机器学习：机器学习模型评估与参数估计、线性回归模型、决策树、聚类、特征降维、演化学习和进阶机器学习等。

模块 5 神经网络与深度学习：感知器模型、梯度下降和误差反向传播算法、卷积神经网络、循环神经网络、注意力机制、网络优化与正则化、进阶深度学习算法等。

模块 6 强化学习：马尔科夫决策过程、贝尔曼方程、基于表格求解法的策略评估与优化、强化学习中探索与利用的平衡、基于近似求解法的策略评估与优化以及基于策略的强化学习。

模块 7 人工智能博弈：博弈论概念与纳什均衡、虚拟遗憾最小化算法、Gale-Shapely 算法、多智能体博弈算法。

模块 8 人工智能伦理与安全：可信公平人工智能、人工智能可解释性和算法攻击与防守。

模块 9 人工智能架构与系统：人工智能算法支撑技术链、人工智能芯片（GPU、XPU 和类脑芯片等）和分布式深度学习优化等内容。

模块 10 人工智能应用：利用人工智能模型和算法来实现自然语言中的机器翻译、视觉理解中的图像分类、机器人中的行为控制和科学计算等具体例子。



图6 《人工智能引论》知识点模块结构

人工智能十个知识点模块之间相互支撑、互为一体，将算法、模型、系统、应用和伦理规范等有机结合，在算法和模型方面，强调了从逻辑推理到问题求解、从策略搜索到数据建模、从浅层学习到深层学习，从学习结果误差评价到序贯式反馈收益评估，从最优解优化到均衡解博弈（见图6）。

按照 John Hopcroft 教授的建议，将进阶机器学习方法（包括 Boosting, 主题建模、非负矩阵分解、隐马尔可夫模型、概率图模型）以及进阶深度学习算法（包含 Generative adversarial learning, graph neural network）等作为选修知识点，供老师们按照实际教学学时进行选择讲授，以便为今后本科到硕士的学习打下基础。

六、K12 教育中的人工智能

2017 年 12 月，教育部印发《普通高中课程方案和语文等学科课程标准（2017 年版）》通知，决定从 2018 年秋季学期起开始实施《普通高中课程方案和语文等学科课程标准（2017 年版）》。与 2003 年颁布的《普通高中信息技术课程标准（实验稿）》相比，《新课标》中增加了数据与计算等必修内容以及数据结构、人工智能、开源硬件设计等 AI 相关选修课内容。

《普通高中课程方案和语文等学科课程标准（2017 年版）》明确指出高中信息技术学科核心素养由信息意识、计算思维、数字化学习与创新和信息社会责任四个核心要素组成。它们是高中学生在接受信息技术教育过程中逐步形成的信息技术知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观的综合表现。四个核心要素互相支持，互相渗透，共同促进学生信息素养的提升。

《普通高中课程方案和语文等学科课程标准（2017 年版）》要求学生应该了

解人工智能的发展历程及概念，能描述典型人工智能算法的实现过程，通过搭建简单的人工智能应用模块，亲历设计与实现简单智能系统的基本过程与方法，增强利用智能技术服务人类发展的责任感。具体而言，需要掌握如下内容：

描述人工智能的概念与基本特征；知道人工智能的发展历程、典型应用与趋势。

通过剖析具体案例，了解人工智能的核心算法（如启发式搜索、决策树等），熟悉智能技术应用的基本过程和实现原理。

知道特定领域（如机器学习）人工智能应用系统的开发工具和开发平台，通过具体案例了解这些工具的特点、应用模式及局限性。

利用开源人工智能应用框架，搭建简单的人工智能应用模块，并能根据实际需要配置适当的环境、参数及自然交互方式等。

通过智能系统的应用体验，了解社会智能化所面临的伦理及安全挑战，知道信息系统安全的基本方法和措施，增强安全防护意识和责任感。

辩证认识人工智能对人类社会未来发展的巨大价值和潜在威胁，自觉维护和遵守人工智能社会化应用的规范与法规。

《普通高中课程方案和语文等学科课程标准（2017年版）》发布后，国家教材局批准出版了五套《人工智能初步》统编教材，分别是科教版、人教版、浙教版、粤教版和沪教版。这五套教材对人工智能内涵、算法模型、应用和伦理道德等内容进行了描述。

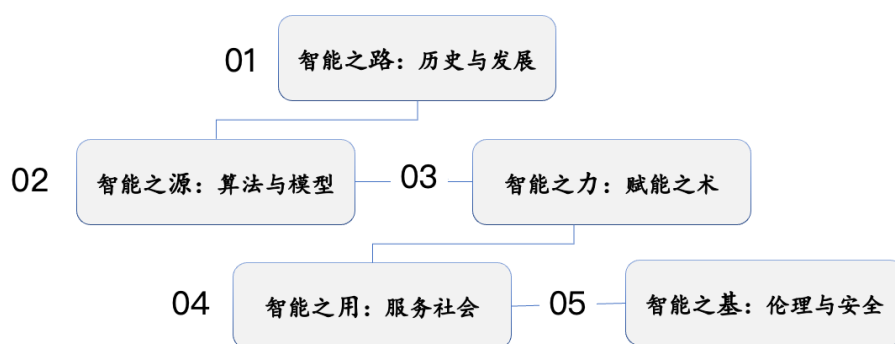


图7 浙教版《人工智能初步》的基本内容（详细内容见附件1）

2018年5月，美国人工智能协会（AAAI）和计算机科学教师协会（CSTA）推出了“AI for K-12”工作小组（AI4K12），将K12学生划分为四个年龄层次，分别是K-2、3-5、6-8和9-12。

A14K12将K12四个年龄层次学生需要掌握的知识点分为智能感知、表示和推理、机器学习、自然交互和社会影响五个方面，即教育学生了解计算机通过传

感器感知环境的能力、计算机通过对环境建模和表示方法进行推理的能力、计算机从数据中进行学习的能力、计算机与人类自身自然交互能力、智能算法对社会发展正面和负面的影响等内容。

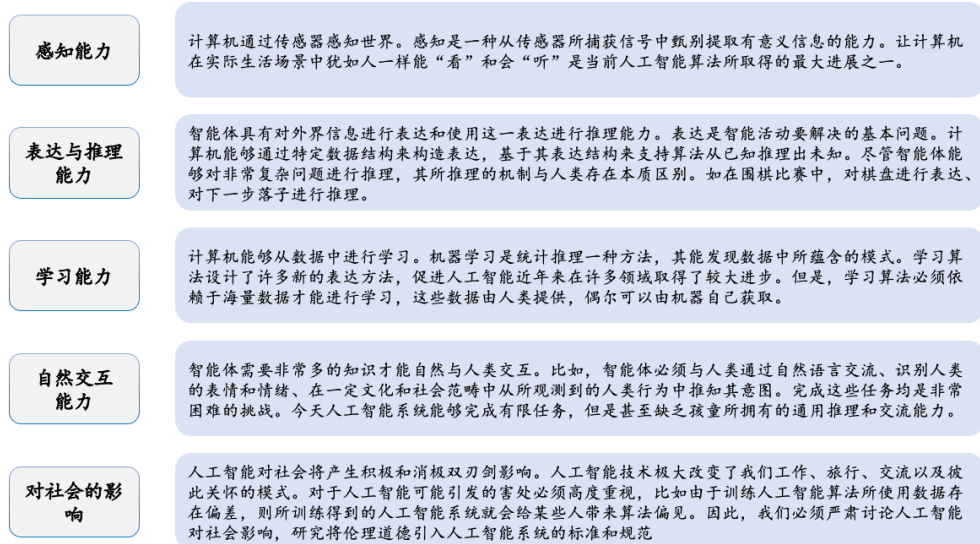


图 8 美国 AI4K12 规范的五大方面（详细内容见附件 2）

在 AI4K12 人工智能规范中，出现了较多偏差/偏见（bias）这个单词。由于数据分布而造成人工智能算法产生偏见早已有之。比如微软公司的人工智能聊天机器人被网民“教坏”，上线不久就成为了一个集反犹太人、性别歧视、种族歧视等于一身的“不良少女”。研究表明，自然语言算法更容易将幼儿园工作人员识别为女性、司法辅助断案系统易支持原告的诉讼请求。

产生算法歧视的原因在于机器学习过程中出现了数据选择偏差（selection bias）。目前人工智能算法只能从人类提供的数据中按部就班进行学习，如果训练中所提供的聊天数据均含有“种族歧视”、来自幼儿园数据中工作人员均是女性、来自司法案件数据中原告诉求均被法官支持，那么就无法让人工智能算法能够克服“偏差”去完成其从未见到的任务。用于训练人脸识别算法的训练数据集中仅包含不戴口罩的人脸图像，那么所训练得到的人脸识别算法就无法将戴口罩的人脸图像识别为“人脸”。为了克服由于数据偏差所引发的算法歧视，我们需要收集更具有代表性的训练数据，以便让人工智能算法覆盖更多的任务场景。因此，如果算法本身没有恶意错误，则训练算法的数据存在偏差就会使得算法产生偏见。

另外，在 AI4K12 规范中，也出现了“unplugged activity”这一单词。unplugged activity 指的是以计算思维的分解、抽象等机制来对复杂模式进行识别。

联合国教科文组织一直重视 K12 人工智能教育，认为所有公民都需要具备一

定程度的人工智能能力。这包括具备‘人工智能素养’的知识、理解、技能和价值观——这已成为本世纪的基本语法。2022 年 2 月，联合国教科文组织发布了《K-12 AI 课程：政府认可的 AI 课程图谱》(K-12 AI Curricula: A mapping of government-endorsed AI curricula)，这是关于 K-12 人工智能课程全球状况的第一份报告。在这个报告中，联合国教科文组织对 K12 的人工智能教育提出了九个知识点领域，分别是算法与编程、数据素养、领域问题求解、人工智能伦理、人工智能社会影响、人工智能在其他领域应用、理解和使用人工智能方法、理解和使用人工智能技术、发展和创新人工智能应用。

七、人工智能学习之升维和降维之辩

2009 年 2 月，美籍华裔数学物理学家、普林斯顿高等研究院教授弗里曼·戴森 (Freeman Dyson) 在《美国数学学会通报》(Notices of the AMS) 发表了一篇题为《鸟和青蛙》文章，描绘有些科学家是飞鸟，有些科学家是青蛙。飞鸟翱翔在高高的天空，俯瞰延伸至遥远地平线的远景；青蛙生活在天空下的泥地里，探索特定问题的细节。追求生命中的挚爱和毕生的科学事业，都是人类形成思想、雕琢灵魂的外化。我们要学会像青蛙一样刻画细节，像飞鸟一样雕琢灵魂。

中学生所学习人工智能知识与大学本科所学习人工智能知识有一定的交叉重叠，将高中人工智能体系化知识大蓬“降维”为高中所学知识点滴，为中学生将所学点滴知识在大学阶段进行有效“升维”做好准备，好比鸟和青蛙之间的科学之道。因此，人工智能人才培养中升维与降维之道变得尤为重要。

对中学生而言，了解人工智能“能”与“不能”，认识人工智能在视觉、自然语言、语音等方面能够实现的图像分割与对象识别、机器翻译与 QA 对话、语音识别与合成、机器人控制与协同等赋能效果，树立伦理意识等正确知识，形成“from solving problems to having problems solved”的计算思维。

对本科生而言，应该成体系化了解人工智能知识大厦，以“厚基础、强交叉、养品行、促应用”为理念，培养扎实掌握人工智能基础理论、基本方法、架构系统和应用工程技术。

从人工智能实现工具、应用和效果升维到人工智能模型和方法，从模型和方法降维到工具、系统和应用，升维和降维之间的交互提供了一种互补手段。

八、总结

前 ACM 主席、计算机科学教育的奠基人之一乔治·福赛斯 (George Forsythe) 在 1968 年写道，科学或技术教育中最有价值的收获是终生可用的通用心智工具

(general-purpose mental tools)。我认为自然语言和数学是这些工具中最重要的，计算机科学是第三位。通过有效途径和手段让学生们养成“学会学习（learning to learn）”的心智工具是教育需要思考的重要问题。

北宋教育家和思想家胡瑗在《松滋县学记》中曾写道，“致天下之治者在人才，成天下之才者在教化，教化之所本者在学校”。综合国力竞争说到底人才的竞争，培养人工智能创新性人才，构筑人工智能发展的先发优势，是推动人工智能生态建设的重要手段，也是学校在这个时代需要承担的历史使命。

《论语·述而》中说：“志于道，据于德，依于仁，游于艺”，衷心希望人工智能知识点能够激起学习人工智能的兴趣、了解人工智能的知识、乐于掌握人工智能的技能、形成人工智能伦理品行！

探索人工智能知识点的演变和发展，明晰以知识点教学的途径，具有重大意义。人工智能的教育就是让学生优雅成长，每一个阶段完成每一个阶段的使命，从而纵情向前、最终郁郁葱葱！

参考文献

1. John McCarthy, M.L.Minsky, N.Rochester, C.E. Shannon, A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, 1955
2. William F. Atchison, Samuel D. Conte, John W. Hamblen, Thomas E. Hull, Thomas A. Keenan, William B. Kehl, Edward J. McCluskey, Silvio O. Navarro, Werner C. Rheinboldt, Earl J. Schweppe, William Viavant, David M. Young, Curriculum 68: Recommendations for academic programs in computer science: a report of the ACM curriculum committee on computer science, Communications of the ACM, 11(3):151–197,1968
3. 国务院, 《新一代人工智能发展规划》, 2017
4. Computing Curricula 2020 (CC2020) Paradigms for Global Computing Education, Technical Report, 2021
5. Wu F, Lu C, Zhu M, Chen H, Zhu J, Yu K, Li L, Li M, Chen Q, Li X, Cao X. Towards A New Generation of Artificial Intelligence in China[J]. Nature Machine Intelligence, 2020, 2(6): 312-316
6. 教育部, 《高等学校人工智能创新行动计划》, 2018
7. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), K-12 AI curricula: a mapping of government-endorsed AI curricula,2022

附件 1:

浙教版《人工智能初步》的主要内容及案例

章	节	学习目标	挑战项目
第一章 智能之路： 历史与发展	● 人工智能的起源	● 理解逻辑推理、可计算和图灵机等基本概念	构建人工智能发展脉络全景图（设计一张人工智能发展脉络的全景图，使其他人清楚地介绍智能实现的载体、人类智能的组成部分以及人工智能的能与不能等问题。）
	● 人工智能的现状与发展	● 了解智能测试基本手段和局限 ● 了解人工智能的主要研究内容 ● 了解人工智能产生及其发展历史	
第二章 智能之源： 算法与模型	● 类脑计算	● 了解脑认知机理和逻辑推理基本概念	人工智能创新马拉松：物流之链感知城市脉搏（设置一连串相互关联的挑战性任务，对所在城市的生活节奏有所体验和感悟）
	● 逻辑推理 ● 基于搜索的问题求解 ● 决策树 ● 回归分析 ● 贝叶斯分析 ● 神经网络学习 ● 混合增强智能	● 掌握搜索、决策、回归、分类等人工智能基本算法 ● 了解逐层抽象、逐层学习的深度学习算法基本原理 ● 掌握“人在回路”模式下混合增强智能基本手段	
第三章 智能之力：	● 对数据进行挖掘：知识生成	● 了解知识挖掘的基本算法，如	实现迷你智能校园系统（自主设计一个

<p>赋能之术</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 对数据进行学习：模式识别 ● 对数据进行合成：创意智能 	<p>聚类算法。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 了解规则驱动、数据建模、深度学习三种不同算法在模式识别中的应用。 	<p>迷你智能校园系统，可以识别进入校内车辆的车牌信息以及自主识别某一画面内的出现的究竟是学生还是小动物（人或非人）。</p>
<p>第四章 智能之用： 服务社会</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 社会生活智能化 ● 自然语言理解：机器翻译 ● 智能模拟：人机博弈智能控制：无人驾驶车系统 ● 混合智能：脑机接口 	<ul style="list-style-type: none"> ● 了解人工智能在机器翻译和人机博弈等方面的基本方法。 ● 了解人工智能在相关应用的不足 	<p>创建智能家庭港湾（设计一个由语音控制的多功能智能音箱，来帮助人自动化的完成琐碎和重复的工作）。</p>
<p>第五章 智能之基： 伦理与安全</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 概述 ● 人工智能伦理 ● 人工智能安全 	<ul style="list-style-type: none"> ● 了解人工智能伦理基本概念和范畴 ● 在涉及人工智能伦理的案例中具有一定的辨析能力 ● 掌握程序正确性证明基本概念和保障信息系统安全的基本手段 	<p>人机共融社会中人工智能伦理之辨：谁之过？（分析一个造成事故的人机共驾系统责任所属）</p>

附件 2:

美国 AI4K12 规范内容

	希望学生掌握的内涵	幼儿园-2 年 级	3 年级-5 年 级	6 年级-8 年 级	9 年级-12 年 级
感知能力	计算机通过传感器感知世界。感知是一种从传感器所捕获信号中甄别提取有意义信息的能力。让计算机在实际生活场景中犹如人一样能“看”和会“听”是当前人工智能算法所取得的最大进展之一。	能够辨识计算机、机器人和智能设备中传感器;通过与智能体(如 Alexa 和 Siri)进行交互,了解这些传感器所起得作用。	了解传感器所得到的输入信号如何在感知过程中被使用;展示计算机感知能力的一个局限性;现实体现计算机感知能力的一个应用。	了解传感器局限性如何影响了计算机感知能力;了解多种不同算法和多种不同感知器构造而成了一个感知系统;利用多种传感器和多种感知手段实现一个应用。	解释计算机感知过程中所采取不同手段对应的领域知识(如视觉感知过程中由点、到线、到面、到形状的层次化机制);展示语音识别算法在处理同音字(同音异词)和其他形式不确定模糊时困难。
表达与推理能力	智能体具有对外界信息进行表达和使用这一表达进行推理能力。表达是智能活动要解决的基本问题。计算机能够通过特定数据结构来构造表达,基于其表达结构来支持算法从已知推理出未知。尽管智能	绘制一个教室或学校的地图,将其与真实场景中教室和学校进行对比;使用决策树完成决策推理。	使用树结构构造一个针对(动物)分类系统的表达;描述人工智能表达如何支持问答式推理。	设计所在社区对应的一个图模型表达。给定图中某个位置,基于这个图模型表达来完成最短路径推理。	绘制一个井字棋的搜索树;描述不同搜索算法的异同。

	<p>体能够对非常复杂问题进行推理，其所推理的机制与人类存在本质区别。如在围棋比赛中，对棋盘进行表达、对下一步落子进行推理。</p>				
学习能力	<p>计算机能够从数据中进行学习。机器学习是统计推理一种方法，其能发现数据中所蕴含的模式。学习算法设计了许多新的表达方法，促进人工智能近年来在许多领域取得了较大进步。但是，学习算法必须依赖于海量数据才能进行学习，这些数据由人类提供，偶尔可以由机器自己获取。</p>	<p>以计算思维方法对数据中所蕴含模式进行学习（如分解、识别和抽象等）；使用分类器识别图形；分析训练数据集如何有效让学习算法识别图像以及讨论程序如何知晓其绘制的内容。</p>	<p>了解和比较监督学习、非监督学习和强化学习的异同；通过人机交互模式来改造提升交互式机器学习算法的性能；阐释机器学习算法为什么会出现算法偏见。</p>	<p>辨识训练数据集中出现的数据偏差，拓展训练数据集来解决这一数据偏差；模拟训练一个简单的神经网络完成特定任务。</p>	<p>使用 TensorFlow 的 Playground 模块来训练包含 1 至 3 个隐藏层的神经网络；跟踪和调试一个简单机器学习算法的每一步输出。</p>
自然交互能力	<p>智能体需要非常多的知识才能自然与人类交互。比如，智能体必须与人类通过自然语言交流、识别人类的表情和情绪、在一定文化和社会范畴中从所观测</p>	<p>在一个故事中辨识某个单词是否具有积极或消极的内涵意义；辨识人脸中幸福、悲伤或愤怒等情感以及解释</p>	<p>辨识人类如何将多模态信息（如语音、表情、姿态等）融合起来以便更好进行交流；阐释一些超越人类的人</p>	<p>构建一个简单的聊天机器人；解释自然语言为什么有时传递的信息会产生歧义以及给出实例；探究智能的本</p>	<p>展示句法分析器如何解决语言的歧义；探究谷歌知识图谱；辨识和讨论人工智能与意识等内容。</p>

<p>到的人类行为中推知其意图。完成这些任务均是非常困难的挑战。今天人工智能系统能够完成有限任务，但是甚至缺乏孩童所拥有的通用推理和交流能力。</p>	<p>为什么被识别为相应情感；使用特定软件识别人脸中的情感以及文档中单词所传递的情感。</p>	<p>工智能算法以及无法超越人类的人工智能算法。</p>	<p>质，辨识一个智能体是否智能。</p>
<p>人工智能对社会将产生积极和消极双刃剑影响。人工智能技术极大改变了我们工作、旅行、交流以及彼此关怀的模式。对于人工智能可能引发的害处必须高度重视，比如由于训练人工智能算法所使用数据存在偏差，则所训练得到的人工智能系统就会给某些人带来算法偏见。因此，我们必须严肃讨论人工智能对社会影响，研究将伦理道德引入人工智能系统的标准和规范</p>	<p>辨识人工智能在日常生活中的各种应用；讨论人工智能在日常生活中的各种应用之优点和不足。</p>	<p>探究人工智能算法如何被数据偏差影响以及如何影响了算法决策；阐释人工智能算法具有包容性之道。</p>	<p>解释人工智能决策出现的偏差的潜在源头；理解人工智能系统设计中的平衡以及决策系统可能会出现事先无明确的后果。严肃分析人工智能系统正面和负面的影响；设计一个人工智能系统以解决社会问题或者阐释人工智能为什么可被用于解决社会问题。</p>