




教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目 

面向知识表示与推理的 自然语言逻辑

LOGIC OF NATURAL LANGUAGES
FOR KNOWLEDGE REPRESENTATION AND REASONING

陶实儿

等著



经济科学出版社
Economic Science Press

H0-05
J937

教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目 丁 勇 题

面向知识表示与推理的 自然语言逻辑

LOGIC OF NATURAL LANGUAGES
FOR KNOWLEDGE REPRESENTATION AND REASONING

H0-05
J937

 经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

面向知识表示与推理的自然语言逻辑/鞠实儿等著.
—北京: 经济科学出版社, 2009. 9
(教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目)
ISBN 978 - 7 - 5058 - 7600 - 2

I. 面… II. 鞠… III. 自然语言 - 语言逻辑 -
研究 IV. H - 05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 001535 号

责任编辑: 程晓云
责任校对: 徐领弟 徐领柱
版式设计: 代小卫
技术编辑: 潘泽新 邱 天

面向知识表示与推理的自然语言逻辑

鞠实儿 等著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销
社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142
总编部电话: 88191217 发行部电话: 88191540

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

北京中科印刷有限公司印装

787 × 1092 16 开 25.5 印张 480000 字

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

印数: 0001—8000 册

ISBN 978 - 7 - 5058 - 7600 - 2 定价: 63.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

(版权所有 翻印必究)

经济科学

继续教育

教育部

重大项目

成果出版

李阳村



八二

课题组主要成员

(按姓氏笔画为序)

文学锋
周北海
熊明辉

刘冬宁
郭美云

刘惠兴
高东平

邹崇理
聂文龙

编审委员会成员

主 任	孔和平	罗志荣			
委 员	郭兆旭	吕 萍	唐俊南	安 远	
	文远怀	张 虹	谢 锐	解 丹	



总序

哲学社会科学是人们认识世界、改造世界的重要工具，是推动历史发展和社会进步的重要力量。哲学社会科学的研究能力和成果，是综合国力的重要组成部分，哲学社会科学的发展水平，体现着一个国家和民族的思维能力、精神状态和文明素质。一个民族要屹立于世界民族之林，不能没有哲学社会科学的熏陶和滋养；一个国家要在国际综合国力竞争中赢得优势，不能没有包括哲学社会科学在内的“软实力”的强大和支撑。

近年来，党和国家高度重视哲学社会科学的繁荣发展。江泽民同志多次强调哲学社会科学在建设中国特色社会主义事业中的重要作用，提出哲学社会科学与自然科学“四个同样重要”、“五个高度重视”、“两个不可替代”等重要思想论断。党的十六大以来，以胡锦涛同志为总书记的党中央始终坚持把哲学社会科学放在十分重要的战略位置，就繁荣发展哲学社会科学做出了一系列重大部署，采取了一系列重大举措。2004年，中共中央下发《关于进一步繁荣发展哲学社会科学的意见》，明确了新世纪繁荣发展哲学社会科学的指导方针、总体目标和主要任务。党的十七大报告明确指出：“繁荣发展哲学社会科学，推进学科体系、学术观点、科研方法创新，鼓励哲学社会科学界为党和人民事业发挥思想库作用，推动我国哲学社会科学优秀成果和优秀人才走向世界。”这是党中央在新的历史时期、新的历史阶段为全面建设小康社会，加快推进社会主义现代化建设，实现中华民族伟大复兴提出的重大战略目标和任务，为进一步繁荣发展哲学社会科学指明了方向，提供了根本保证和强大动力。

高校是我国哲学社会科学事业的主力军。改革开放以来，在党中央的坚强领导下，高校哲学社会科学抓住前所未有的发展机遇，紧紧围绕党和国家工作大局，坚持正确的政治方向，贯彻“双百”方针，以发展为主题，以改革为动力，以理论创新为主导，以方法创新为突破口，发扬理论联系实际学风，弘扬求真务实精神，立足创新、提高质量，高校哲学社会科学事业实现了跨越式发展，呈现空前繁荣的发展局面。广大高校哲学社会科学工作者以饱满的热情积极参与马克思主义理论研究和建设工程，大力推进具有中国特色、中国风格、中国气派的哲学社会科学学科体系和教材体系建设，为推进马克思主义中国化，推动理论创新，服务党和国家的政策决策，为弘扬优秀传统文化，培育民族精神，为培养社会主义合格建设者和可靠接班人，做出了不可磨灭的重要贡献。

自2003年始，教育部正式启动了哲学社会科学研究重大课题攻关项目计划。这是教育部促进高校哲学社会科学繁荣发展的一项重大举措，也是教育部实施“高校哲学社会科学繁荣计划”的一项重要内容。重大攻关项目采取招投标的组织方式，按照“公平竞争，择优立项，严格管理，铸造精品”的要求进行，每年评审立项约40个项目，每个项目资助30万~80万元。项目研究实行首席专家负责制，鼓励跨学科、跨学校、跨地区的联合研究，鼓励吸收国内外专家共同参加课题组研究工作。几年来，重大攻关项目以解决国家经济建设和社会发展过程中具有前瞻性、战略性、全局性的重大理论和实际问题为主攻方向，以提升为党和政府咨询决策服务能力和推动哲学社会科学发展为战略目标，集合高校优秀研究团队和顶尖人才，团结协作，联合攻关，产出了一批标志性研究成果，壮大了科研人才队伍，有效提升了高校哲学社会科学整体实力。国务委员刘延东同志为此做出重要批示，指出重大攻关项目有效调动各方面的积极性，产生了一批重要成果，影响广泛，成效显著；要总结经验，再接再厉，紧密服务国家需求，更好地优化资源，突出重点，多出精品，多出人才，为经济社会发展做出新的贡献。这个重要批示，既充分肯定了重大攻关项目取得的优异成绩，又对重大攻关项目提出了明确的指导意见和殷切希望。

作为教育部社科研究项目的重中之重，我们始终秉持以管理创新

服务学术创新的理念，坚持科学管理、民主管理、依法管理，切实增强服务意识，不断创新管理模式，健全管理制度，加强对重大攻关项目的选题遴选、评审立项、组织开题、中期检查到最终成果鉴定的全过程管理，逐渐探索并形成一套成熟的、符合学术研究规律的管理办法，努力将重大攻关项目打造成学术精品工程。我们将项目最终成果汇编成“教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目成果文库”统一组织出版。经济科学出版社倾全社之力，精心组织编辑力量，努力铸造出版精品。国学大师季羨林先生欣然题词：“经时济世 继往开来——贺教育部重大攻关项目成果出版”；欧阳中石先生题写了“教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目”的书名，充分体现了他们对繁荣发展高校哲学社会科学的深切勉励和由衷期望。

创新是哲学社会科学研究的灵魂，是推动高校哲学社会科学研究不断深化的不竭动力。我们正处在一个伟大的时代，建设有中国特色的哲学社会科学是历史的呼唤，时代的强音，是推进中国特色社会主义事业的迫切要求。我们要不断增强使命感和责任感，立足新实践，适应新要求，始终坚持以马克思主义为指导，深入贯彻落实科学发展观，以构建具有中国特色社会主义哲学社会科学为己任，振奋精神，开拓进取，以改革创新精神，大力推进高校哲学社会科学繁荣发展，为全面建设小康社会，构建社会主义和谐社会，促进社会主义文化大发展大繁荣贡献更大的力量。

教育部社会科学司



前 言

知识表示与推理 (Knowledge Representation and Reasoning, 以下简称 KRR) 研究是探索人类智能的众多途径之一。KRR 与其他途径的显著不同在于, 它并不像生物学、神经科学、人类学等等那样对人类或其他动物本身进行仔细考察, 而是通过研究人类知道些什么来理解人类智能。这种途径背后的基本假设是, 人类之所以能进行智能活动就在于人类掌握了大量的知识, 能把这些知识恰当地运用于环境, 由此实现他们的目标。因此, 不同于其他途径, KRR 只是从形式的角度研究知识本身, 而不研究知识的主体 (参见 Brachman, 2004: xvii)。

更详细地说, KRR 也不研究知识的定义、知识的获取与发现、知识的传播与理解等问题; 它关注的是如何用符号语言表示知识, 以及如何在此基础上进行推理。一旦能够通过形式语言来表示人类用自然语言表达的知识, 那么计算机就可以“理解”和“掌握”这些知识, 并运用这些知识产生智能行为。这一关联决定了 KRR 在智能科学中的作用和地位。

KRR 的研究方法可以分为两大类, 一类是非逻辑方法, 一类是逻辑方法。非逻辑方法包括语义网络 (semantic network)、框架、基于规则的表示等, 其优点是: 比较直观, 能反映人类认知的实际情况, 易于用户理解等。但非逻辑方法也有明显的不足, 最主要的就是缺少统一的语义, 对于推理的处理不具一般性。本书将采用逻辑方法对 KRR 进行研究, 这也是目前 KRR 研究中使用的主流方法。

然而, 目前基于逻辑方法的 KRR 研究有一个重大缺陷, 它过于依

赖经典逻辑（指经典一阶谓词逻辑及其变种，如描述逻辑等），因而无法充分地描述自然语言。事实上，经典逻辑并不是直接为基于自然语言的推理而设计的，而是为基于半人工化数学语言的推理量身定制的。因此，传统的采用经典逻辑方法的 KRR 实际上是面向数学语言而不是自然语言的。但是，人类的大多数知识是用自然语言而不是用数学语言表达的。这就使得传统的 KRR 在应用方面受到局限，不能真正为人工智能提供支持。为了扩大 KRR 的应用范围，加强它对人工智能的支持力度，必须让 KRR 建立在自然语言逻辑（Logic of Natural Languages，以下简称 LNL）的基础上。本书的目的就是为基于 LNL 的 KRR 提供理论基础。

本书共分七章和三个附录。它们的作者分别是：第 1 章：鞠实儿，第 2 章：刘冬宁，第 3 章：文学锋，第 4 章：高东平，第 5 章：周北海、郭美云，第 6 章：刘冬宁，第 7 章：邹崇理，附录 1~3：高东平。

最后，鞠实儿与文学锋完成本书的前言和后记，以及全书的统稿和定稿工作（项目批准号：04JZD006）。



摘 要

知识表示与推理研究是探索人类智能的众多途径之一。传统的基于逻辑方法的知识表示与推理主要依赖于经典逻辑。经典逻辑并不是直接为基于自然语言的推理而设计的，而是为基于半人工化数学语言的推理量身定制的。但是，人类的大多数知识是用自然语言而不是用数学语言表达的。这就使得传统的知识表示与推理在应用方面受到局限，不能真正为人工智能提供支持。为了扩大知识表示与推理的应用范围，加强它对人工智能的支持力度，必须让知识表示与推理建立在自然语言逻辑的基础上。

本书以知识表示与推理为应用牵引，以非经典逻辑（包括哲学逻辑和语言逻辑）为理论驱动，针对自然语言的内涵性、模糊性、交互性、形态性和多样性，分别构造了若干自然语言逻辑系统，包括：语境内涵逻辑、模糊量词逻辑、带群体知识的公开宣告逻辑、时态句型逻辑以及汉语灵活语序逻辑和汉语致使句逻辑，对现有的许多逻辑理论成果，如超内涵逻辑、自然逻辑、动态认知逻辑、多模态范畴逻辑和 Lambek 演算等进行了修正、拓展和改进，为今后的自然语言逻辑研究指明了新的方向。具体内容如下：

第1章论述了逻辑、自然语言与知识表示与推理三者之间的关系，分别指出了自然语言的内涵性、模糊性、交互性、形态性和多样性对知识表示与推理的挑战以及根据这些特点开展自然语言逻辑研究的思路和前景。

第2章介绍了本书中使用较多的理论工具——类型逻辑与 Lambek 演算，讨论了 Lambek 演算的代数模型、证明论性质和结构规则。

第3章论述了经典内涵逻辑的基本思想及其存在的超内涵问题；总结了超内涵问题的各种解决方案；指出了超内涵逻辑仍然无法克服的语

境内涵问题；提出了内涵同一的局部性思想，认为内涵同一总是相对于某个语境的同一，并在该思想的指导下，按照对语境的不同理解，分别基于可能世界语义、邻域语义、代数语义、博弈语义和更新-局部模型语义，构造了若干语境内涵逻辑系统和形式语义，克服了“分析悖论”这个长期困扰超内涵逻辑的难题。

第4章从汉语中的模糊量词的逻辑性质出发，对模糊量词进行了重新分类，避免了以往模糊量词分类的不足；针对广义量词理论在处理相对应量词时的局限性，引入了模糊集理论来刻画模糊量词的语义，突破了以往对带模糊量词命题的非真即假的二值框架，给出了更加直观和更具解释力的语义刻画；对模糊量词的性质进行了推广，给出了模糊量词的有效推理模式；构造了模糊量词自然逻辑推理系统，将自然逻辑推广到包括对模糊量化命题的处理，并设计了系统中序演算的判定算法。

第5章提出了结合功能主义语言学传统的逻辑学方法论，并在此方法论的指导下进行了面向自然语言交互性的自然语言逻辑研究：考察了普遍知识、公共知识和分布式知识等群体知识；重点考察了分布式知识，区分出分布式知识的两种直观意思——联合知识和群体隐含知识；在考虑相对化公共知识的基础上，把群体知识都推广到一般情形，建立了两个包含相对化公共知识和群体隐含知识的公理化系统，并给出了完全性证明和若干应用，对已有的公开宣告逻辑进行了扩展，同时深化了对逻辑、语言与知识三者之间关系的理解。

第6章针对英语中的时态句型问题，分析了时态类型演算的各种解决方案，对 Lambek 演算进行修改，构造了并发的 Lambek 时态演算系统和模态 Lambek 时态演算系统，较好地解决了英语中的时态句型问题，并对系统的证明论性质进行了深入讨论。

第7章针对汉语的灵活语序这种句法现象和汉语一些特殊句式体现出的致使语义，以形式语义学理论中的范畴类型逻辑为研究工具，构建了刻画灵活语序现象的多模态范畴逻辑推理系统和表达致使语义的范畴类型逻辑语句系统，较好地解决了汉语的形式句法和语义问题。

附录1~3分别介绍了广义量词理论、模糊集理论及模糊逻辑，以及类型论与 lambda 演算。

Abstract

The study of knowledge representation and reasoning (KRR) is one of various approaches to exploring human intelligence. The traditional logic-based KRR is mainly dependent on classical logic. Classical logic is not designed for the reasoning with natural languages but is tailor-made for the reasoning with semi-artificial mathematical language. However, most human knowledge is expressed by natural languages rather than by mathematical language, which limits the application of the traditional KRR since it can not provide support for human intelligence in a real sense. In order to broaden the application of KRR and improve its support to artificial intelligence, KRR must be based on logics of natural languages.

Based on non-classical logics (including philosophical logics and logics of languages) and aiming at the application of KRR, this book constructs several logical systems of natural languages to cope with the intentionality, fuzziness, interactivity, morphologies and diversity. Such systems include contextual intentional logic, logic of fuzzy quantifiers, public announcement logic with group knowledge, logic of tenses, logic of flexible word orders and causative sentences in Chinese, which mend, expand and improve the existing logical theories such as hyper-intentional logic, natural logic, dynamic epistemic logic, multiple modal categorical logic and Lambek calculus and indicate the new direction for the research on logic of natural languages. Major contents are as follows:

Chapter one discusses the relations among logic, natural language and KRR, points out the challenge posed by the intentionality, fuzziness, interactivity, morphologies and diversity of natural languages for KRR, and indicates the approaches and prospects for KRR research based on such characteristics.

Chapter two introduces the mostly used tools in the book, i. e. : type logic and Lambek calculus, and discusses the algebraic models, properties of proof theory and structural rules of Lambek calculus.

Chapter three discusses the basic ideas of classical intentional logic and its hyper-intentional problem. By summarizing various approaches to this problem and indicating the persisting contextual intentional problem of hyper-intentional logic, it proposes the idea of local identity of intentions arguing that intentional identity is always relative to

some context, and constructs several contextual intentional logics and formal semantics under this idea according to different understandings of context, based on possible worlds semantics, neighborhood semantics, algebraic semantics, game theoretical semantics and updating local models semantics, which overcome the paradox of analysis perplexing hyper-intentional logic all along.

Chapter four gives a new categorization of fuzzy quantifiers from the logical properties of Chinese fuzzy quantifiers so as to overcome the disadvantages of previous categorizations of fuzzy quantifiers. To address the limitations in processing corresponding quantifiers with the generalized quantifier theory, it introduces fuzzy set theory to characterize the semantics of fuzzy quantifiers, which makes a breakthrough to the previous two-valued frame of either true or false and gives a more intuitive and powerful semantics. It also generalizes the properties of fuzzy quantifiers, gives the valid patterns of reasoning of fuzzy quantifiers, constructs a natural logic for fuzzy quantifiers, generalizes the natural logic to the processing of fuzzy quantitative thesis and designs a test algorithm for the ordered calculus of the logic.

Chapter five proposes the logic methodology of integrating functionalism in linguistics and conducts logic study of natural languages in terms of the interactivity of natural languages with this methodology. Meanwhile, it investigates the group knowledge, such as common knowledge, public knowledge, and distributed knowledge. It focuses on distributed knowledge and distinguishes its two intuitive meanings: united knowledge and implicit group knowledge. After considering relative common knowledge, it generalizes group knowledge and constructs two axiomatic systems with relative common knowledge and implicit group knowledge, gives demonstration on completeness as well as a number of applications, and expands the existing public announcement logic, which deepens the understanding of the relations among logic, language and knowledge.

To address the problems of tense syntax in English language, Chapter six analyzes various solutions for tense type calculus. It modifies Lambek calculus, and constructs the concurrent Lambek calculus of tenses and the modal Lambek calculus of tenses, thus giving a relative satisfying solution to the tense syntax problem of English language. It also deeply discusses the properties of proof theory of these systems.

With the research tool of categorical type logic of formal semantics, Chapter seven constructs a multiple modal categorical logic for Chinese sentences of flexible word order and a categorical type logic for Chinese causative semantics, giving a satisfying solution to some problems of Chinese formal syntax and semantics.

Appendixes 1 – 3 introduce the generalized quantifier theory, fuzzy set theory and fuzzy logic, type theory, and lambda calculus.

已出版书目

书 名	首席专家
《马克思主义基础理论若干重大问题研究》	陈先达
《网络思想政治教育研究》	张再兴
《高校思想政治理论课程建设研究》	顾海良
《马克思主义文艺理论中国化研究》	朱立元
《弘扬与培育民族精神研究》	杨叔子
《当代科学哲学的发展趋势》	郭贵春
《当代中国人精神生活研究》	童世骏
《面向知识表示与推理的自然语言逻辑》	鞠实儿
《中国大众媒介的传播效果与公信力研究》	喻国明
《楚地出土戰國簡册 [十四種]》	陳 偉
《中国特大都市圈与世界制造业中心研究》	李廉水
《WTO 主要成员贸易政策体系与对策研究》	张汉林
《全球经济调整中的中国经济增长与宏观调控体系研究》	黄 达
《中国产业竞争力研究》	赵彦云
《东北老工业基地资源型城市发展接续产业问题研究》	宋冬林
《中国民营经济制度创新与发展》	李维安
《东北老工业基地改造与振兴研究》	程 伟
《中国加入区域经济一体化研究》	黄卫平
《金融体制改革和货币问题研究》	王广谦
《中国市场经济发展研究》	刘 伟
《我国民法典体系问题研究》	王利明
《中国农村与农民问题前沿研究》	徐 勇
《城市化进程中的重大社会问题及其对策研究》	李 强
《中国公民人文素质研究》	石亚军
《生活质量的指标构建与现状评价》	周长城
《人文社会科学研究成果评价体系研究》	刘大椿
《教育投入、资源配置与人力资本收益》	闵维方
《创新人才与教育创新研究》	林崇德
《中国农村教育发展指标研究》	袁桂林
《高校招生考试制度改革研究》	刘海峰
《基础教育改革与中国教育学理论重建研究》	叶 澜
《处境不利儿童的心理发展现状与教育对策研究》	申继亮
《中国和平发展的国际环境分析》	叶自成

即将出版书目

书 名	首席专家
《中国司法制度基础理论问题研究》	陈光中
《完善社会主义市场经济体制的理论研究》	刘 伟
《和谐社会构建背景下的社会保障制度研究》	邓大松
《社会主义道德体系及运行机制研究》	罗国杰
《中国青少年心理健康素质调查研究》	沈德立
《学无止境——构建学习型社会研究》	顾明远
《产权理论比较与中国产权制度改革》	黄少安
《中国水资源问题研究丛书》	伍新木
《中国法制现代化的理论与实践》	徐显明
《中国和平发展的重大国际法律问题研究》	曾令良
《知识产权制度的变革与发展研究》	吴汉东
《全国建设小康社会进程中的我国就业战略研究》	曾湘泉
《现当代中西艺术教育比较研究》	曾繁仁
《数字传播技术与媒体产业发展研究报告》	黄升民
《非传统安全与新时期中俄关系》	冯绍雷
《中国政治文明与宪政建设》	谢庆奎