



中国社会科学院文库·哲学宗教研究系列  
The Selected Works of CASS·Philosophy and Religion

# 范畴类型逻辑

CATEGORICAL TYPE LOGIC

— 邹崇理 著 —

中国社会科学出版社



中国社会科学院文库·哲学宗教研究系列  
The Selected Works of CASS · Philosophy and Religion

# 范畴类型逻辑

——从语言到逻辑

CATEGORICAL TYPE LOGIC  
— FROM LANGUAGE TO LOGIC

邹崇理 著

中国社会科学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

范畴类型逻辑：从语言到逻辑 / 邹崇理著. — 北京：  
中国社会科学出版社，2008. 1

(中国社会科学院文库)

ISBN 978-7-5004-6711-3

I. 范… II. 邹… III. 范畴—研究 IV. B812.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 008891 号

责任编辑 冯春风  
责任校对 李 莉  
封面设计 李 勤  
版式设计 王炳图

---

出版发行 **中国社会科学出版社**

社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号 邮 编 100720

电 话 010—84029450(邮购)

网 址 <http://www.csspw.cn>

经 销 新华书店

印刷装订 北京一二零一印刷厂

版 次 2008 年 1 月第 1 版 印 次 2008 年 1 月第 1 次印刷

开 本 710 × 980 1/16

印 张 16.5 插 页 2

字 数 255 千字

定 价 30.00 元

---

凡购买中国社会科学出版社图书，如有质量问题请与本社发行部联系调换  
版权所有 侵权必究

## 《中国社会科学院文库》出版说明

《中国社会科学院文库》（全称为《中国社会科学院重点研究课题成果文库》）是中国社会科学院组织出版的系列学术丛书。组织出版《中国社会科学院文库》，是我院进一步加强课题成果管理和学术成果出版的规范化、制度化建设的重要举措。

建院以来，我院广大科研人员坚持以马克思主义为指导，在中国特色社会主义理论和实践的双重探索中做出了重要贡献，在推进马克思主义理论创新、为建设中国特色社会主义提供智力支持和各学科基础建设方面，推出了大量的研究成果，其中每年完成的专著类成果就有三四百种之多。从现在起，我们经过一定的鉴定、结项、评审程序，逐年从中选出一批通过各类别课题研究工作而完成的具有较高学术水平和一定代表性的著作，编入《中国社会科学院文库》集中出版。我们希望这能够从一个侧面展示我院整体科研状况和学术成就，同时为优秀学术成果的面世创造更好的条件。

《中国社会科学院文库》分设马克思主义研究、文学语言研究、历史考古研究、哲学宗教研究、经济研究、法学社会学研究、国际问题研究七个系列，选收范围包括专著、研究报告集、学术资料、古籍整理、译著、工具书等。

中国社会科学院科研局

2006年11月

# 献 辞

谨以此书献给我的父母：

望子成才却过早谢世的父亲  
——邹品铨

含辛茹苦养育我成人的母亲  
——周光瑶

# 目 录

绪 论 .....	1
第一章 范畴类型逻辑的发展阶段 .....	11
第 1 节 古典范畴语法 .....	11
1.1 范畴和运算 .....	12
1.2 形式化表述 .....	17
1.3 古典范畴语法的变异 .....	19
第 2 节 Lambek 句法演算 .....	22
2.1 运算即推演 .....	23
2.2 形式系统 .....	26
第 3 节 蒙太格语法 .....	30
3.1 范畴语法的独特形态 .....	30
3.2 通用语法模式 .....	32
3.3 直接和间接的语义解释 .....	40
第 4 节 类型-逻辑语义学 .....	59
4.1 句法和语义的综合表述 .....	60
4.2 后承演绎图式和自然演绎系统 .....	64
4.3 关于量化表达式的处理 .....	73
第 5 节 语法规则 .....	81
5.1 公理系统 .....	81
5.2 框架语义学 .....	87
5.3 Gentzen 后承表述 .....	91
5.4 合并或交织的多模态系统 .....	97

<b>第二章 范畴类型逻辑的特性——逻辑的新功能</b> .....	108
第 1 节 范畴类型逻辑的自然语言语句系统.....	108
1.1 蒙太格语法的语句系统.....	109
1.2 类型-逻辑语义学的语句系统.....	114
第 2 节 范畴类型逻辑和自然语言的计算机处理.....	118
2.1 基于范畴类型逻辑的逻辑程序语言.....	118
2.2 基于范畴类型逻辑的语法自动分析.....	124
第 3 节 范畴类型逻辑的逻辑系统.....	136
3.1 Lambek 演算对判定问题的解决.....	137
3.2 对应 $\lambda$ -词项的完全性证明.....	141
3.3 展示自然语言句法生成的语法逻辑.....	148
3.4 表现自然语言语义的高阶内涵逻辑.....	153
第 4 节 逻辑的新功能——关于自然语言的逻辑系统.....	160
4.1 源于语言照应关系的动态逻辑.....	161
4.2 用于语法分析的特征结构逻辑.....	169
4.3 基于情境关联的信息流逻辑.....	180
<b>第三章 范畴类型逻辑研究</b> .....	194
第 1 节 非连续量词的类型-逻辑语义处理.....	194
第 2 节 有关汉语灵活语序的多模态范畴逻辑.....	205
第 3 节 融合特征结构的范畴类型推演.....	218
第 4 节 处理照应关系的范畴类型推演.....	227
<b>参考文献</b> .....	236
<b>后 记</b> .....	243

# Content

<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapter One: Developments of Categorical type Logics</b> .....	11
1. Classical Categorical Grammar .....	11
1.1 Category and Computation.....	12
1.2 Formalization .....	17
1.3 Variants of Classical Categorical Grammar.....	19
2. Lambek Syntactic Calculus .....	22
2.1 Computation as Deduction.....	23
2.2 Formal System.....	26
3. Montague Grammar.....	30
3.1 Based on Categorical Grammar .....	30
3.2 Universal Grammar .....	32
3.3 Direct and Indirect Interpretations .....	40
4. Type-Logical Semantics.....	59
4.1 Interface between Syntax and Semantics .....	60
4.2 Sequent Deductive Scheme and Natural Deductive System .....	64
4.3 Treatment on Quantified Expressions.....	73
5. Grammar Logics .....	81
5.1 Axiomatic Presentation .....	81
5.2 Frame Semantics.....	87
5.3 Gentzen Sequent Presentation.....	91
5.4 Combined or Mixed Multimodal Systems.....	97



<b>Chapter Two: From Categorical Type Logics to Extensions of Logical functions</b> .....	108
1. Fragments of Natural Language for Categorical Type Logics .....	108
1.1 A Fragment for Montague Grammar .....	109
1.2 A Fragment for Type-Logical Semantics .....	114
2. Categorical type Logics and Natural Language Processing.....	118
2.1 Logic Programming Language based on Categorical type Logics .....	118
2.2 Automated theorem prover based on Categorical type Logics .....	124
3. Logical Systems for Categorical type Logics .....	136
3.1 Decidability in Lambek Calculus .....	137
3.2 The Completeness Corresponding to $\lambda$ -terms .....	141
3.3 Grammar Logics Describing Syntactic Generations.....	148
3.4 Intensional Type Theory Representing Semantic Composition .....	153
4. Extensions of Logical functions — Logical Systems on Natural Language.....	160
4.1 Dynamic Logic Originated from Anaphora in Natural Language .....	161
4.2 Feature Logic Applied in Grammatical Analyses .....	169
4.3 Logic of Information Flow Based on Constraints for Situations.....	180
<b>Chapter Three: Studies on Categorical Type Logics</b> .....	194
1. A Treatment on Discontinuous Quantifiers by Type-Logical Semantics .....	194
2. A Multimodal System Describing Flexible Word-Orders in Chinese .....	205
3. Type-Logical Deductions with Feature Structures.....	218
4. Type-Logical Deductions concerning Anaphora.....	227
<b>Bibliography</b> .....	236
<b>Postscript</b> .....	243

## 绪 论

20世纪60—70年代至今，语言和逻辑交叉研究的领域获得长足发展。严格讲，这个领域不仅涉及语言学和逻辑学，还跟认知心理学、语言哲学、计算机和人工智能科学等都有密切的联系，是一个横跨多学科的知识体系。30多年的发展表明，这个领域的基础部分是范畴类型逻辑序列：序列的开端是范畴语法；其后的蒙太格语法，其思想根源属于范畴语法和类型论；而蒙太格语法以后的类型-逻辑语义学和语法逻辑都是范畴类型思想的深化和延伸。近年来范畴类型逻辑关于自然语言分析的计算机实现，已对自然语言的计算机信息处理领域产生了重要影响。

范畴类型逻辑是一种使用运算和推演的手段描述语言的形式化工具。运算的概念与数学相关，所以范畴类型逻辑是一种数理语言学。推演的思想涉及逻辑，所以范畴类型逻辑自然也属于逻辑。强调运算的精神是计算机程序设计的要求，所以范畴类型逻辑的研究对计算机的自然语言处理具有直接的应用价值。概言之，范畴类型逻辑的基本原则是：语言认知就是数学计算，语法分析就是逻辑推演。荷兰逻辑学家和计算语言学家莫特盖特（M. Moortgat）用三个等式概括出范畴类型逻辑的思想精髓：认知=计算；语法=逻辑；分析=演绎。

范畴类型逻辑尤其关注自然语言。所谓自然语言就是各个民族在长期共同的社会生活中历史形成的语言，汉语、英语、俄语、日语和德语等都属于自然语言。这些语言直观看来不同于构造严谨的形式语言，那么运算和推演这些形式语言的概念如何跟自然语言联系在一起？这需要从自然语言本身的特征说起。

在小学阶段，语文课就有组词造句的练习，这说明自然语言具备用单词连成词组，再由词组连成短语以及句子的功能。如由“北京”和“上海”连成“北京上海”；由“张三”和“散步”连成“张三散步”。自然语言是一个由较小语言成分形成较大语言成分的符号体系，这就是自然语言的毗连性（concatenation）。通过毗连自然语言符号串可以逐步增长扩

张，这也是人们常说的自然语言的生成性（generation）或能产性。

自然语言的生成性表现为逐层逐级的毗连过程，如英语句：

$$\begin{array}{c} \text{the park} \\ \hline \text{in the park} \\ \hline \text{walks in the park} \\ \hline \text{John walks in the park} \end{array}$$

这里我们可以看出自然语言所遵循的毗连规律：若 $\alpha$ 和 $\beta$ 是自然语言符号串，则 $\alpha\beta$ 连在一起也是自然语言的符号串。这就是数学和逻辑所强调的递归思想，也是运用数学逻辑方法研究自然语言的依据。

自然语言的毗连生成体现出由小到大的递增性，因此德国逻辑学家弗雷格（G. Frege）就用语句函项思想来分析其构造过程。具体说就是：把某一语言成分当作是函项，把旁边的成分当作函项的主目，把两个成分的毗连当作函项运算获得的结果。这便是范畴类型逻辑从运算的角度把握自然语言构造规律的基本思想。

自然语言的毗连生成在范畴类型逻辑看来是一种函项运算。为了展现这种运算，就需要对自然语言的表达式进行分类编码。有些类别作为函项，而另一些类别则是函项运算的主目。区分这些不同类别的编码就是范畴，范畴类型逻辑则可通过范畴之间的运算来刻画自然语言的毗连生成。就上例而言，我们给专名 John 指派范畴 np，给不及物动词 walks 指派范畴 np\s，给介词 in 指派范畴 (np\s)/(np\s)/np，给冠词 the 指派范畴 np/(np\s)，给通名 park 指派范畴 np\s。然后再定义相应的函项运算。荷兰逻辑学家范本瑟姆（Van Benthem, 1991）把函项范畴对主目范畴的运算表述为等式：

等式(1):  $B/A + A = B$

等式(2):  $A + A\backslash B = B$

这里“ $B/A$ ”表示向右运算的函项范畴，“ $A\backslash B$ ”表示向左运算的函项范畴，“ $A$ ”表示主目（论元）范畴，“ $+$ ”表示函项范畴和主目范畴的邻近毗连，这意味函项范畴对主目范畴进行运算。这样就用范畴之间的逐级运算揭示出自然语言的毗连生成过程，上例的分析如下：

			<u>the</u>	<u>park</u>	
			np/(np\s) +	np\s	
		<u>in</u>			据等式(1)
		(np\s)\(np\s)/np	+	np	
	<u>walks</u>				据等式(1)
	np\s	+	(np\s)\(np\s)		
<u>John</u>					据等式(2)
np	+	np\s			
					据等式(2)
	s				

从逻辑角度看，范畴类型逻辑也把自然语言的毗连生成当作是一种逻辑推演。把作为函项的范畴和作为主目的范畴看作推演的前提，把作为函项运算值的范畴看作推演的结论。如范畴  $s/np$  和  $np$  是前提，范畴  $s$  就是推出的结论。这里据之为推的规则类似关于逻辑蕴涵词的分理规则：

$$\text{规则(1): } \frac{A/B \quad B}{A}$$

$$\text{规则(2): } \frac{B \quad B\backslash A}{A}$$

于是，我们就把自然语言的毗连生成归结成从前提范畴到结论范畴的一系列推演：

			<u>the</u>	<u>park</u>	
			np/(np\s)	np\s	
		<u>in</u>			据规则(1)
		(np\s)\(np\s)/np	+	np	
	<u>walks</u>				据规则(1)
	np\s	(np\s)\(np\s)			
<u>John</u>					据规则(2)
np	+	np\s			
					据规则(2)
	s				

在范畴类型逻辑看来，自然语言的毗连生成既是运算又是推演，这就体现了德国哲学家莱布尼兹（G. Leibniz）“推理即演算”的思想，也诠释了所谓语法就是逻辑和认知就是计算的基本原则，同时也有助于我们理解国际学术界涉及范畴类型逻辑的论文集、系列丛书以及研究机构的命名总是涉及“Language”、“Logic”和“Computation”这些概念。

逻辑学家或数学家并不满足于上述结果，在此基础上对范畴运算推演的规律进行抽象提升，便形成范畴演算的逻辑系统。在系统中，函项范畴中的算子被当做广义的逻辑联结词，范畴推演的规则就成为逻辑系统中的定理。不仅如此，范畴演算的逻辑系统还进一步获得可能世界的语义解释。在这种解释下，函项范畴又涉及模态算子的概念，范畴推演的来源——自然语言的生成毗连反过来成为可能世界语义框架的载体。

范畴类型逻辑对自然语言的分析结果很快在计算机信息处理领域获得实现。范畴类型逻辑贯穿了逻辑推演和数学计算的思想，其分析方式很容易转化成逻辑程序语言，可以说范畴类型逻辑是在逻辑程序框架内表述的理论。譬如范畴推演系统中的公理“ $X \Rightarrow X$ ”，规则[R]“若  $Y, T \Rightarrow X$  则  $T \Rightarrow Y \setminus X$ ”和规则[L]“若  $T \Rightarrow Y$  并且  $U, X, V \Rightarrow Z$  则  $U, T, Y/X, V \Rightarrow Z$ ”，按照莫特盖特（Moortgat, 1988）的做法，可采用作为逻辑程序语言的霍恩子句形式（Horn clause form）表述出来：

公理：

$[X] \Rightarrow [X].$

推理规则：

[R]  $[T \mid \text{Rest}] \Rightarrow [Y \setminus X] :-$

$[Y, T \mid \text{Rest}] \Rightarrow [X].$

[L]  $\text{Antecedent} \Rightarrow [Z] :-$

$\text{append}(\text{Left}, [Y \setminus X \mid V], \text{Antecedent}),$

$\text{append}(U, [T \mid \text{Rest}], \text{Left}),$

$[T \mid \text{Rest}] \Rightarrow [Y],$

$\text{append}(U, [X \mid V], \text{PremiseAntecedent}),$

$\text{PremiseAntecedent} \Rightarrow [Z].$

据此，可以把范畴类型逻辑判定句子是否合语法归结为逻辑程序的求解问题，详细介绍参见本书第二章第2节。



是函项运算的产物，并通过函项的运算来展示表达式的生成过程；(2) 罗素-列斯尼维斯基 (Russell-Leśniewski) 的范畴分层思想。不同句法作用的表达式对应不同层次的范畴，确切说函子范畴对应的表达式和主目范畴对应的表达式属于一个层次，值范畴对应的表达式属于另一层次。函子范畴的写法表明其主目范畴和值范畴分别是什么对象；(3) 胡塞尔 (Husserl) 的互相置换思想。即具有同样范畴的表达式在句子中能够互相置换，范畴就是在句中可以互相置换的同类表达式的类型标记。上述思想强调使用范畴和函项的概念来刻画语言逐层逐级的生成，从而奠定了范畴类型逻辑的基础。

Lambek 句法演算 (Lambek Syntactic Calculus) 简称 Lambek 演算，又叫范畴语法的代数理论。从 20 世纪 50 年代开始，美国数理语言学家巴-希勒尔 (Bar-Hillel) 把范畴语法的思想推广到自然语言领域，确立了不同运算方向的函子范畴，极大地丰富了古典范畴语法的研究范围。另一方面，数学家兰贝克 (J.Lambek) 在技术处理方面对古典范畴语法进行深入研究：从自然语言抽象出若干函子范畴和主目范畴作为公式，把分析自然语言表达式所需要的范畴运算规律作为定理或推演规则，据此获得关于范畴运算推演的形式系统，这就是著名的 Lambek 演算。

Lambek 演算对范畴类型逻辑的近期发展阶段——语法逻辑产生了重要影响。与语法逻辑相比较，Lambek 演算仅仅构造了范畴推演的形式演算系统，缺乏模态的语义解释，缺乏对自然语言毗连的结构规律的深刻认识。尽管如此，Lambek 演算毕竟是语法逻辑生长的基础，是日后范畴类型逻辑一系列研究题材的来源。例如 Lambek 演算的 Dosěň 系统和 Gentzen 后承表述，后者解决了系统的判定问题。把判定问题归结成计算机程序的求解，这样促进了自然语言的计算机自动分析。

20 世纪 50 年代初，美国语言学家乔姆斯基 (N.Chomsky) 提出了著名的转换生成语法理论，这是一场语言学的“哥白尼革命”。这场革命使得逻辑的推演思想大量进入语言学，使语言学的句法研究获得很大的进步。但逻辑学家蒙太格 (R.Montague) 并不满足于于此，从 60 年代末开始在范畴语法基础上思考自然语言的语义问题。蒙太格认为自然语言和逻辑的人工语言本质上是相通的，都可以采用形式化方法处理其语义。蒙太格看到，涉及自然语言句法层面的范畴语法在结构上同表现自然语言语义的逻辑类型论有着非常惊人的相似之处。基于范畴语法和逻辑类型论的对应，蒙太格

就给自然语言的句法生成找到了遵循组合原则的语义解释，使自然语言的形式语义研究进入崭新阶段。

蒙太格语法 (Montague Grammar) 是范畴语法的独特发展形态。其特征表现为：(a) 其句法规则在范畴运算的基础上展现自然语言自身的生成过程，即在蒙太格语法的句法规则中我们既能看到自然语言从小到大的毗连生成，同时又能感到较小表达式对应的范畴如何通过范畴运算的规律获得较大表达式对应的范畴，这是具体的自然语言和抽象的范畴类型两个思路并行推演的表现；(b) 由于其句法规则展现出自然语言自身的生成过程，所有句法规则的集合就构成了一个形式系统，它生成一定范围内的所有句子，这就是所谓自然语言的部分语句系统，这种构造语句系统的方法给日后的逻辑和语言研究的各种理论提供了重要的研究工具；(c) 对于自然语言来说，范畴语法仅仅是其句法层面的抽象研究，怎样在自然语言的语义层面有所作为？为解决这个问题，蒙太格在自然语言的句法范畴和逻辑类型论的语义类型之间建立起对应关系，从而创立了自然语言的形式语义学解释——基于数学模型的直接语义解释和把自然语言翻译成逻辑类型语言的间接语义解释。后者直接影响了日后类型-逻辑语义学所谓句法范畴与语义表现并行推演的处理方式。

类型-逻辑语义学 (Type-Logical Semantics) 是范畴类型逻辑的综合模式。范本瑟姆 (Van Benthem) 的研究表明，以 $\lambda$ -词项为标志的类型论语言和古典范畴语法有着严格的对应关系。在此基础上，加上莫里尔 (G. Morrill) 及卡彭托 (B. Carpenter) 等人的工作，从 80 年代初开始，就逐渐发展出类型-逻辑语义学的理论。该理论从自然语言的词条出发，通过句法范畴和对应的 $\lambda$ -词项的并行推演，获得自然语言句法生成和语义组合两个层面的结果。在推演过程中，句法范畴的运算遵循范畴语法提供的推演规则， $\lambda$ -词项的组合服从 $\lambda$ -演算的规律，并行推演的实质是句法信息和语义信息的综合展示。

类型-逻辑语义学的另一特点是以词库的丰富性换来了句法规则的简洁性。在逻辑系统那里经常见到这样的规律：若一个系统推理规则较多而推演的公理出发点就会相对简单，而推演的出发点较多则推理规则显得较少。蒙太格语法的词库仅仅是各类英语语词的集合，而句法规则则承载了较多内容，如由限定词和通名生成名词短语，由命题态度词和句子生成动词短语，由名词短语和动词短语生成语句，等等。类型-逻辑语义学采取相反的思路，词库不只是各类语词的集合，还对各个词条确立了对应的范畴



和 $\lambda$ -词项。这样推演反倒简明省事，只需要范畴推演和 $\lambda$ -词项组合同步进行的几条规则而已。更引人关注的是，类型-逻辑语义学的推演尽管来源于自然语言的词条，但推演过程却在范畴和 $\lambda$ -词项的抽象状态下进行，推演显得更加纯粹，更加接近逻辑的表述风格。

语法逻辑 (Grammatical Logics) 是范畴类型逻辑的深化发展阶段。从 20 世纪 80 年代末到 90 年代以来，在 Lambek 演算基础上，经过兰贝克、多森 (K. Došen) 和莫特盖特等人的工作，范畴类型逻辑开始同可能世界语义学联系在一起。即把模态逻辑的语义框架思想引进了范畴推演的领域，给出范畴运算的模态解释。这个发展方向最基本的内容有三个方面的：(1) 把范畴的斜线算子看做是一种二元模态算子，对函子范畴进行可能世界的语义解释；(2) 在范畴演算系统中引进通常的一元模态算子，用以解决自然语言诸如结构性质和晦暗语境等内涵问题；(3) 在范畴推演的形式系统中增设了结构公设，用于描述作为范畴推演来源的自然语言表达式的位置移动现象。

比如，语法逻辑中合式公式定义的简洁表述：

$$\begin{array}{l} \phi, \psi \rightarrow p \\ \diamond \phi \\ \square \phi \\ \phi \bullet \psi \\ \phi \backslash \psi \\ \phi / \psi \end{array}$$

意味：若左边所指是公式，则右边所指也是公式。这里  $p$  指原子公式，第二和第三列指带一元模态算子的公式，第四到第六列指范畴类型逻辑固有的带毗连算子和斜线算子的公式，它们均被当做是二元模态公式。

语法逻辑中各种模态公式的语义解释为：

$$\begin{aligned} V(\diamond A) &= \{x \mid \exists y(R^2xy \ \& \ y \in V(A))\} \\ V(\square A) &= \{x \mid \forall y(R^2yx \Rightarrow y \in V(A))\} \\ V(A \bullet B) &= \{z \mid \exists x \exists y[R^3zxy \ \& \ x \in V(A) \ \& \ y \in V(B)]\} \\ V(C/B) &= \{x \mid \forall y \forall z[(R^3zxy \ \& \ y \in V(B)) \Rightarrow z \in V(C)]\} \end{aligned}$$