

逻辑信息模型与逻辑信息网络

蒋骏弘 著

jeffrey.jiang_junhong@hotmail.com

2022.7.6

摘要:

进入 21 世纪 10 年代,随着深度学习算法、神经网络等连接主义工具的日渐成熟,再一次掀起了人工智能的浪潮。然而,自 2016 年 AlphaGo 大放异彩至今已有 6 年有余,人工智能研究在更进一步的道路上再次遭遇了瓶颈。由于过于依赖基于概率论的理论基础,连接主义在因果推理、可解释性等方面的表现一直不尽如人意,为不少人所诟病还不是真正的智能。

本文在剖析了连接主义以及符号主义等主流学派的逻辑学基础之后,糅合了其核心要素,提出具有极强逻辑性和可实施性的逻辑信息模型。该模型以及以此为基础构建起来的大规模信息网络有望从根本上改善因果推理及可解释性等方面的问题,并成为构建全新知识图结构、甚至是迈向通用人工智能的全新理论突破。

不过目前该模型的理论研究尚处于较早期阶段,当前的模型设计仅仅限于纯文字信息,针对图形、声音等其它多种信息来源的兼容还有待探索。同时,该模型也有待于检验在逻辑信息网络的巨量数据环境中所表现出来的复杂特性。另外,对于亟待实现强逻辑性的可信人工智能,或是普适于不同应用场景的通用人工智能来说,也都需要进一步在海量数据的逻辑信息网络环境中来发展和验证其最核心的“动态信息算法”。

虽然距离通用人工智能的目标还非常遥远,有诸多问题亟待解决,但是在现有人工智能路线遭遇瓶颈之时,总结探索新的路线依然值得尝试。

关键词: 通用人工智能 逻辑学 逻辑信息模型 逻辑信息网络

目录

一、引言	6
二、逻辑模型	10
2.1 “论证-命题”模型	11
2.1.1 论证与命题	11
2.1.2 “论证-命题”简单模型	12
2.1.3 “论证-命题”复杂模型	14
2.2 定义与叙述	18
2.2.1 定义	18
2.2.2 叙述	21
2.3 命题真值与论证有效性	23
2.3.1 命题的真值	23
2.3.2 论证的（狭义）有效性	25
2.4 条件	26
2.4.1 命题的条件	26
2.4.2 论证的条件	30
2.5 再谈概念	34
2.5.1 概念与定义	34
2.5.2 概念与命题	36
三、信息模型	39
3.1 疑问与解答	39
3.2 发起者与观察者	43
3.2.1 发起者与观察者	43
3.2.2 发起者申明与观察者响应	46
3.3 信息元	48
3.3.1 信息元	49
3.3.2 原子性	49
3.3.3 组合与拆解	51
3.4 信息关系	52
3.4.1 映射关系	52

3.4.2 等价关系	56
3.4.3 因果关系	58
3.4.4 定义关系	63
3.4.5 其它关系	66
3.5 信息段落	67
3.5.1 融合	67
3.5.2 信息段落	68
3.5.3 分解	69
四、逻辑信息模型	71
4.1 完备	71
4.1.1 陈述语句的完备拓展	71
4.2 对应	73
4.2.1 概念内涵与语词的对应	73
4.2.2 属性键值的对应	76
4.3 转化	79
4.3.1 序列化	79
4.3.1.1 论证的序列化	80
4.3.1.2 疑问的序列化	82
4.3.1.3 其它序列化	85
4.3.1.4 反序列化	86
4.3.2 符号化	87
4.3.2.1 命题真值的符号化	87
4.3.2.2 论证有效性的符号化	90
4.3.3 问答推论转化	91
五、逻辑信息网络·特征	93
5.1 碎片化	93
5.2 层级化	94
5.3 网络化	96
5.4 可量化	97
5.4.1 可量化	97

5.4.2 冗余	98
5.4.3 知识度量	99
5.5 可视化	100
六、逻辑信息网络·复杂功能	102
6.1 逻辑功能	102
6.1.1 逻辑性	102
6.1.2 科学公理体系中的推理悖论风险	105
6.1.3 论证（广义）有效性	110
6.1.4 展开与折叠	114
6.2 信息功能	118
6.2.1 静态信息	118
6.2.2 动态信息	120
6.2.3 领域信息分层与分级	123
6.3 行为	125
七、逻辑信息网络·意义	128
7.1 科学研究与普及	128
7.1.1 科学建模	128
7.1.2 跨领域研究	131
7.1.3 科学普及	132
7.2 认知	134
7.2.1 阅读	135
7.2.2 记忆	137
7.2.3 人工智能	139
八、逻辑信息网络·待解问题	148
九、总结	151
十、致谢	153
附录一、模型视图设计方案	154
附录二、文字描述与代码描述之间的简单转化示例：二分查找算法	155
附录三、参考文献	159

一、引言

自古以来，人类学者就一直热衷于探索智能的奥秘。智能的本质是什么？这是古今中外诸多哲学家、脑科学家们一直都在努力研究的问题。

1956 年，“人工智能”（Artificial Intelligence, AI）的概念被一些来自数学、信息科学、计算机科学、神经学及心理学等领域的学者共同提出，试图用机器来模拟人类智能。此后的五、六十年间，学界兴起了众多人工智能学派，其中最具影响力的是基于物理符号系统假设的符号主义、基于神经网络与学习算法的连接主义，以及基于控制论和“感知-动作”控制系统的行为主义等三大学派。

三大学派在基本理论和技术路线上持有不同的观点，又各具所长，形成了长期论战。随着研究深化，人们逐步意识到，三派应取长补短，综合集成，三大学派开始由分立逐步走向综合。一些专家开始尝试建立能够融合三大学派的统一框架或模型，比较典型的方法有 AORBCO 统一模型、机制主义、构建混合智能系统、思维层次模型等等。然而，这些模型目前大多仍流于理论建设层面，缺少明确的建模方法，短期内也难以实现三大学派中已有系统的功能。

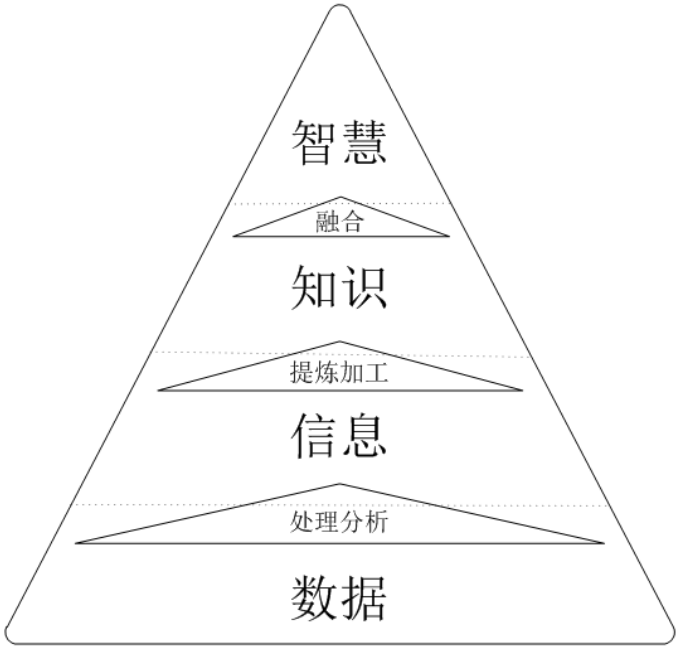
与此同时，人们对于“智能”概念的理解仍然存在诸多分歧，还没有形成统一的认知。不同学科背景的人从不同的视角对其给出各自的理解，目前人工智能领域的专家大致对此有三类观点，分别是：认为智能来自大脑思维活动的“思维理论”、认为智能行为取决于可运用知识之数量的“知识阈值理论”，以及认为智能来自于感知外界环境后的适应行为、并可逐步进化的“进化理论”。

这三类观点引导了三大学派不同的发展方向。然而，它们之间也并非绝对地对立、排它。从认知科学的角度来看，它们共同涵盖了获取知识的能力、思考并运用知识求解问题的能力、以及感知和自适应能力。

综合各种观点不难看出，知识对于智能的程度至关重要，知识是一切智能行为的基础。那么知识又来自于哪里呢？在知识管理领域中，知识被认为是将信息

提炼加工后得出的规律和经验，信息则来自于对各种数据的处理分析，而数据是通过感觉器官或观测仪器感知、反映客观事物状态的信号。

人类用眼睛看、用耳朵听、用双手触摸去感知周围的世界。当视觉、听觉、触觉等感觉器官得到外界的光、声、力等刺激信号后，就在意识中反映并记录下对应的感知信息。当有某种联系的信息达到一定量级后，意识将其总结出某些规律，从而得到知识。当掌握并融合了大量知识之后，就逐渐形成人类的智慧。这就是目前已知的人类逐步获得智能的过程。（见图 1）



（图 1，“数据 - 信息 - 知识 - 智慧”递进关系示意图）

我们希望创造拥有类似于人类智能的机器，就需要解决“如何让机器感知外界信号”、“如何将信号数据转化为自身能够识别的信息”、继而“如何从信息中提炼出更高级的通行规则”等几方面问题。这些问题换一种方式表达就是，机器如何实现对于数据、信息与知识的获取、识别、存储、处理、转化等功能。在这些问题当中，最为重要、也是所有问题之根基的是，如何让机器来表示数据、信息以及知识？即对于机器来说，数据、信息与知识的表示模型是什么？

在现行的数据库技术中，数据模型大致被分为两类：表达事物概念、关系的逻辑模型，和描述数据存储形式的物理模型。类似地，我们可以把人类记忆知识

也看作是一种存储数据的物理模型。如果我们将人类智能与人工智能用来表示知识、信息以及数据的逻辑模型和物理模型分别罗列出来,就可以看到如表 1 所示:

(表 1, “智能 - 模型” 关系表)

	物理模型	逻辑模型
人类智能	大脑神经元	逻辑推理
人工智能	(关系型) 数据库	未知, 未统一

目前, 人工智能采用的数据物理模型大多还是基于主流的关系型数据库。对于人类智能的物理模型的研究还不是很彻底, 就眼下的研究成果来看, 主要是由大脑神经元来承担记忆的功能。

人工智能的逻辑模型虽然已有不少, 但是尚无能够引领学术方向的统一规范, 一切依然处在探索当中。目前已有的逻辑模型, 或是仅仅解决单一或有限问题, 例如人工智能围棋程序 AlphaGo 所采用的深度神经网络(Deep Neural Networks, DNN) 及其数据模型; 或是近年来逐渐受到人工智能研究领域重视的知识图谱 (Knowledge Graph) 模型; 又或是仍处于对智能功能的描述还较为抽象的阶段 (也有称此阶段为概念模型), 如仍有待进一步发展的那些三大学派统一模型。

相比之下, 人类智能的逻辑模型在数千年的发展过程当中已经被深入研究, 并形成了一系列体系严密的学科。它的形式是以逻辑推理为核心, 语言学、哲学为根基, 逻辑学、数学等理性学科为骨干。它有严密的理论基础, 有大量的学术研究成果, 已经相当成熟。对于冀望建立统一模型的人工智能发展趋势来说, 如何表示数据、信息与知识是需要优先解决的问题。人类智能逻辑模型有丰富成熟的研究经验, 可以为人工智能逻辑模型带来灵感, 并在因果推理、可解释性等方面提供指引。

本文从人类智能逻辑模型的角度出发, 试图阐述一种全新的通用信息模型。该模型是以符合逻辑推理基本特性的形式来构建, 因此以基于该模型的信息作为基本单元, 可以构建起各单元之间都逻辑自洽的体系。这个体系是一个网络状的数据结构, 可以称之为“逻辑信息网络” (Logical Information Network, LIN)。

网络中每一个信息单元可以称为“逻辑信息元” (Logical Information Unit, LIU)，或简称为“信息元” (Information Unit, IU)；每一个信息元的结构都是属于这种通用信息模型的一部分，这种模型可以称之为“逻辑信息模型” (Logical Information Model, LIM)。

二、逻辑模型

理性思维的根基来自于逻辑推理。

人类对于推理的研究已经持续了超过两千年。早在古希腊时期，亚里士多德（Aristotle，古希腊文：Αριστοτέλης）就已经集前人之大成，创建了完整的形式逻辑体系。发展至 17、18 世纪，又由莱布尼茨（Leibniz, G. W.）、布尔等一众数学家在其基础上建立起“数理逻辑”学科，其特征就是广泛应用符号和数学方法来处理逻辑问题。进入到 20 世纪后，数理逻辑相继取得了诸如哥德尔不完全性定理（Gödel's Incompleteness Theorem）、塔尔斯基形式语言的真值理论（Tarski's Truth Theory）、图灵机（Turing Machine）及其应用理论等多项划时代的成果。并且为之后信息科学、计算机科学、人工智能等领域的发展奠定了基础。

随着数理逻辑的学术影响日渐壮大，不少逻辑学家认为，以数理逻辑为代表的现代逻辑，无论是从深度还是广度上，都要比以亚里士多德形式逻辑为代表的传统逻辑优越许多。正如波兰著名数理逻辑学家塔尔斯基（Alfred Tarski）所说：“新逻辑在很多方面都超过旧逻辑，这不仅是由于新逻辑的基础的结实与所用的方法的完善，而且主要地是由于新逻辑所建立起来的丰富的概念与定理。基本上说，旧的传统逻辑只是新逻辑中的一个片断部分，而且这个部分，从其他科学，特别是从数学方面的要求看，是完全不重要的。”^{*1}

然而，与传统逻辑不同的是，数理逻辑的语言只是表意符号语言，而不是自然语言的语法语言。因此，其本质上只是符号的逻辑，或者说是基于符号逻辑的人工语言，而不是兼顾自然语言的形式逻辑。也有不少人认为，数理逻辑并不适合用来充当自然语言的形式化工具。

¹ “新逻辑”即现代逻辑，“旧逻辑”即传统逻辑。摘自《逻辑与演绎科学方法论导论》（Introduction to Logic and to the Methodology of Deductive Sciences），塔尔斯基著，周礼全、吴允会、晏成书合译，商务印书馆，1963 年，第 15 页。

甚至，有不少传统逻辑学家并不接纳数理逻辑，认为数理逻辑本质上是数学的一个分支，而且只是离散数学中的一门基础学科；它并不是逻辑科学的一部分，也不能代表逻辑学研究的发展方向。就像英国数理逻辑学家罗素(Russell, B. A. W.)，曾在建立命题演算和一阶谓词演算的形式化公理系统之后，试图用逻辑概念来定义算术概念，并用形式系统推导出算术，再进而推导出全部数学。虽然并没有完全成功，但也使得数理逻辑进一步数学化，从而完全背离了传统形式逻辑中，以推理格式为主体，继而以此作为从已知进入未知的工具的这种主导思想。

对于形式逻辑与数理逻辑来说，无论是被看作两种不同的学科也好，或是把后者看作对前者的延续和拓展也罢，贯穿在其中的是逻辑思维，是推理、判断、概念这些逻辑的基本要素。人通过推理、判断、概念来理解和区分客观世界的思维过程，就是逻辑的抽象思维。其中，推理、判断、概念是逻辑推理的内在含义，与之对应的外在表现形式分别为论证、命题、语词。本文中所阐述的逻辑信息模型，其所要构建的体系同样是以这些逻辑要素为基础。

这是对于传统逻辑内涵的另一种解读，同时也是试图将其与现代信息科学与计算机科学的研究成果相结合，并发展出另外一种科学体系——就像当年的数学家们将传统形式逻辑与数学符号相结合一样。

2.1 “论证-命题”模型

2.1.1 论证与命题

逻辑学主要是研究“推理”(reasoning)与“论证”(argumentation)的学科，推理与论证是逻辑学中的最基本要素。推理被认为是一种广义上的抽象的思维过程，是断定事物或其内在属性的思考方式的统称。在人们的内在心理运算中会根据已知或假定的理由来推求结果，或者基于已知的答案反求其根据，推理包含了这其中完整的思考步骤。论证则是一种与内在的推理思维活动相对应的外

在表达，是由一组陈述语句所构成。其中只有一个语句被称为“结论”，而其余的语句则是被称为用以支持该结论的“论据”。可以说，推理是无形的，仅存在于抽象思维中；而论证则是有形的。论证有多样的论证形式，形如“**凡 M 是 P，凡 S 是 M；所以凡 S 是 P**”之类的“三段论”（syllogism）就是其中一种典型形式。

固然，在众多形式逻辑的研究者眼中，对于推理与论证的概念、它们之间的关系以及它们在逻辑学研究中的作用，依然有着诸多分歧。然而在本文中，由于我们并非完全是从形式逻辑范畴的角度去看待它们，因此我们也不严格追求它们不易分辨的异同。我们所要探讨的是，在表达论证的阶段中，将一组陈述语句结合起来、构成一个完整推论的过程。而这个过程，在此我们称之为“论证过程”，简称为“论证”（argument）。

论证中的陈述语句就是“命题”（proposition）。命题，在哲学、逻辑学、数学、语言学等学科中被定义为，人们使用陈述句所断定的内容。命题既指针对事物的陈述本身，通常情况下也指该陈述所表达的语义。

推理是逻辑学的核心，而命题则是一切推理的基石。在传统形式逻辑中，由文字组成的语句被用来陈述命题，数理逻辑则趋向于使用逻辑演算等函数化的方式来表达。

2.1.2 “论证-命题”简单模型

在计算机领域的人工语言中，“对象”（object）被当作是客观事物的一种抽象形式，而面向对象分析就是信息模型建模的基础。本文中，我们将把命题等逻辑要素映射为对象，用面向对象的思想来构建模型。

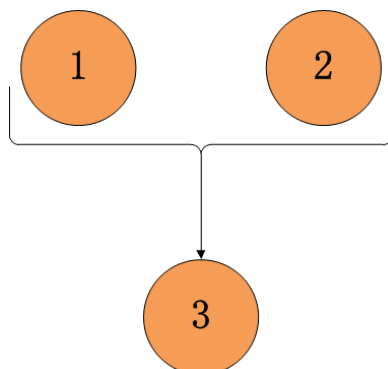
以面向对象的眼光来看，命题可以是一类对象，是由一组文字组成的陈述语句形式的对象。论证则是由一组命题的对象，以及一些规则，组成的另一类对象。

首先举一个简单的例子来予以说明。

例 1：

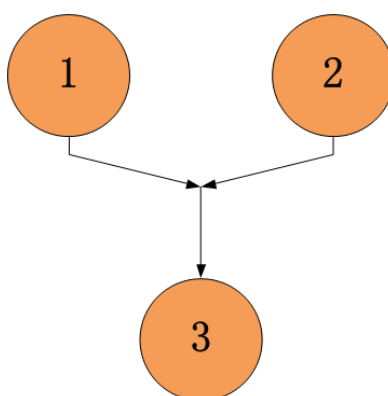
“①所有哺乳动物都是温血动物，②没有蜥蜴是温血动物，③所以，没有蜥蜴是哺乳动物。”^{*2}

这段文字，显而易见可以看出，是一个简单的论证。从传统逻辑的角度来说，它是由三个命题组成，命题①和命题②作为论据，命题③作为结论。应用逻辑学中常用的图示分析方法，可以直观地展示论证的结构，将论据和结论的序列展示在图表中。图 2 是例 1 的逻辑图示：



（图 2，例 1 的逻辑图示）

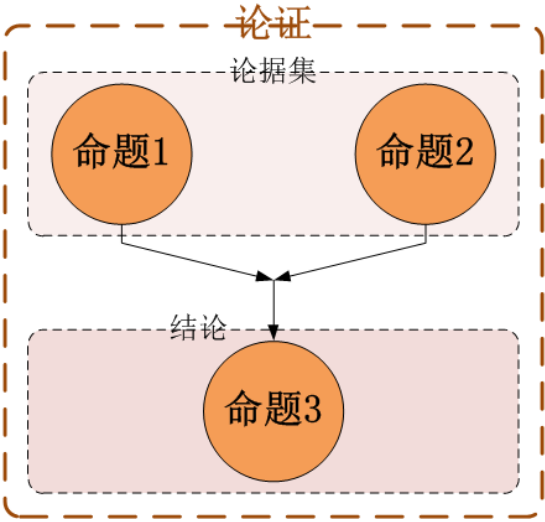
如果换作是从面向对象角度来看的话，例 1 中这三句话就分别是三个命题对象的实例，整段话则是一个完整的论证对象的实例。除此之外，这三个命题对象的实例，还分别在论证对象的实例中，扮演论据和结论的角色，即作为论证对象实例中名为“论据”和“结论”的属性。这样一个对象模型的图示（见图 3），与逻辑图示有着不少相似之处。



（图 3，例 1 的论证模型示意图）

² 摘自《逻辑学导论（第 13 版）》（Introduction to Logic），欧文·柯匹（Copi, I. M.）、卡尔·科恩（Carl Cohen）著，张建军、潘天群、顿新国等译，中国人民大学出版社，2014 年，第 287 页。

显然，这是一个非常简单的信息模型，其中包含了最核心、最朴素的逻辑关系，即命题与论证的关系。一个完整的论证中包含着一组命题，论证是一个能够将一组命题结合起来的过 程。这样的过程中至少包含有两个命题，其中一个命题被定义为“结论”（conclusion），另外一个或者一些命题被定义为“论据”或“前提”（premise）。被称作“前提”的这些命题为被称作“结论”的这个命题提供支持和依据。这样一个简单的对象模型，我们可以称其为“论证-命题”简单模型（Naive Argument-Proposition Model），或者称之为一个简单“论证单元”（Argument Unit）。



（图 4，“论证-命题”简单模型示意图）

2.1.3 “论证-命题”复杂模型

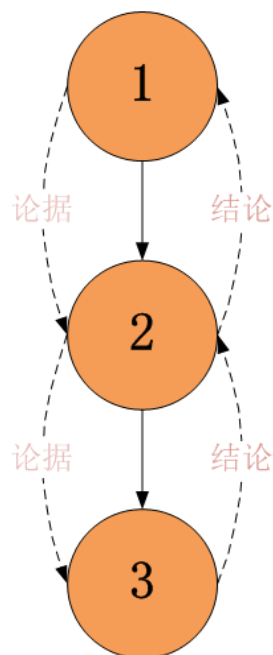
在图 4 中清晰地展示了一个“论证-命题”简单模型的示意图。

一个“论证-命题”模型的对象内容反映了一个简单的论证，可以是“因为手机电池耗尽了，所以它自动关机了”，也可以是“因为地球会绕自转轴转动，所以地球上产生了昼夜交替”。但是，如果是要表达一个复杂的论证的话，就需要将“论证-命题”模型进行叠加来使用。以下我们通过一些例证来逐一说明。

例 2：

“①因为出现在非洲人种身上的线粒体变种最多，②科学家推断，非洲人种的进化史最长，③这表明非洲人种可能是现代人类的起源。”*³

例 2 的①、②、③分别为三个命题。命题①作为命题②的论据，命题②作为命题①的结论；同时，命题②作为命题③的论据，命题③作为命题②的结论。其中，命题②既作为命题①的结论，也作为命题③的论据。



(图 5，例 2 的论证模型示意图)

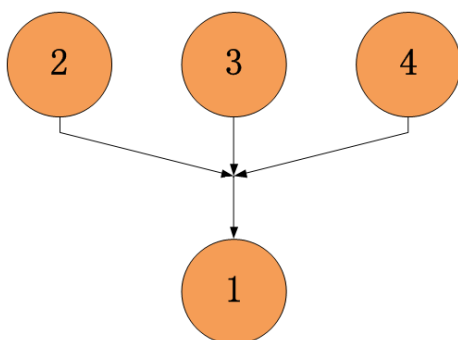
例 3:

“①原子能相比于矿物燃料能源的突出优点是它所产生的垃圾可以很容易就得到处理。②每年燃烧的矿物燃料产生了两百七十亿吨二氧化碳，这些二氧化碳如果被固化，足以堆积成一座底座周长十二米高一米的小山。③如果由核裂变反应产生相同的能量，所产生的浪费会比矿物燃料的少两万倍，这个两万倍将占据十六平方米。④每年原子能发电站产生的所有高放射性废物差不多只占一立方米的空間，并且会被安全地存封在混凝土竖井中。”*⁴

例 3 中，①、②、③、④分别为四个命题。命题②、③、④作为命题①的论据，命题①作为命题②、③、④的结论。

³ 摘自《逻辑学导论（第 13 版）》，第 56 页。

⁴ 摘自《逻辑学导论（第 13 版）》，第 60 页。



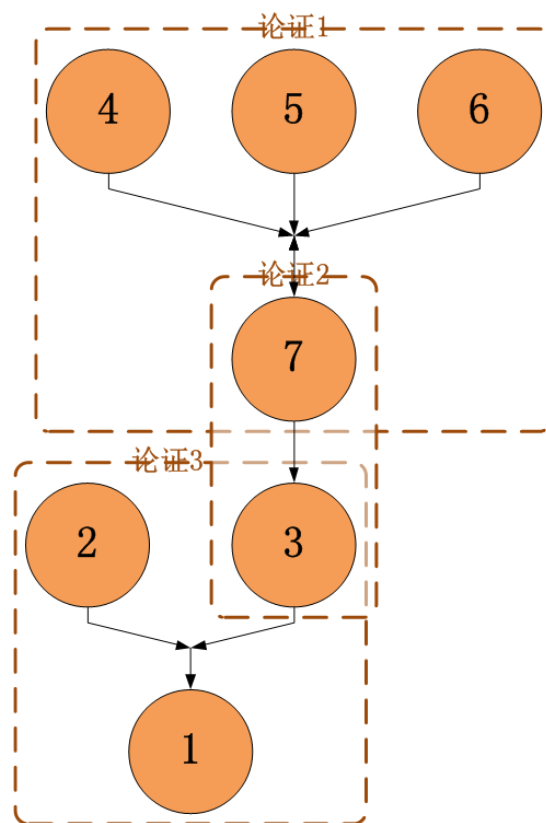
（图 6，例 3 的论证模型示意图）

例 4：

“①宇宙大爆炸理论正在瓦解……②根据正统知识，宇宙起源于大爆炸——200 亿年前的一次巨大的、非常对称的爆炸。③（问题是，）天文学家通过进一步观测证实：现存的巨大星系团因为体积太大，完全不可能在仅仅 200 亿年时间内形成……④（通过人造卫星所收集的新材料的研究，以及较早前的地面测量表明，）星系聚集成绵延数十亿光年的巨大带状，⑤并且星系之间有亿万光年的距离。⑥据观测，星系移动的速度远不及光速。⑦数学家证明，聚集成这么大的物质团必须要至少 1000 亿年时间——是假设的大爆炸时间的五倍。”⁵

在例 4 中，命题之间的相互关系，相比起之前的示例要更复杂一些。命题④、⑤、⑥作为前提，为命题⑦即“自大爆炸起必须经过了非常长的时间”提供了论据。这被用来支持命题③这个结论，即“像那么大的一种结构现在看来因为太大，不可能在那段时间中形成”。而命题③这个结论，结合命题②即对大爆炸理论假设的原始对称和扩散的简短陈述，共同作为论据，可以推论出这段话最后的结论，即命题①：“大爆炸理论正在瓦解”——这段文字中最先出现的命题。

⁵ 摘自《逻辑学导论（第 13 版）》，第 64 页。



(图 7, 例 4 的论证模型示意图)

例 4 中既出现了多个命题作为论据, 为一个命题结论提供支持; 也出现了同一个命题, 既作为一个命题的结论, 也作为另一个不同命题结论的论据。这样的情况, 在复杂的论证性语段中是非常普遍的。

一个复杂的论证性语段, 可以是一段两三百字的文字段落, 也可以是几百段、上千段文字组成的文字载体。一篇学术论文, 动辄数万字; 一部学术著作, 往往三四百页起, 字数以十万、甚至百万起计。⁶在这种量级的论证性语段中, 存在于其中的论证数目通常也应该至少是以万来计量的。更不用说在每一个学术领域当中, 都会有非常多数量的著作、论文、评论文章等等。它们之间又会有很多的论点论据的相互交叉引用, 最直观的例证即是, 各类专业杂志文章、期刊论文中都会有注明部分内容的引用出处, 用他人文章中的观点、或者事实陈述等内容作为自己的论据, 加以佐证文中的某些观点; 另外, 各种学术著作中大多也都会在书末处标明引用了哪些参考文献。这些形式其实都是不同的论证性语段之间相互关联, 互为论据论点, 形成一个交叉的、由论证和命题的单元组成的信息网络。

⁶ 例如: 《逻辑学导论(第 13 版)》全书 753 页, 字数约为 751,000。

2.2 定义与叙述

命题通过陈述语句来表达其所断定的内容，而从语言学上来说，陈述语句的形式多样，不同的形式在论证中的作用略有不同。为了完善模型的合理性，我们在其中加入“定义”陈述与“叙述”陈述这两种与命题陈述有所关联的对象。

2.2.1 定义

要说清这里的定义指的是什么，以及定义和命题的关系，得先从概念说起。“概念”是传统逻辑中另一个重要的研究对象。通常情况下，概念都被认为是逻辑思维中的最小单位，是一种指称并反映事物特有属性的思维形式。概念的外在表现形式主要是语词，即语言形式中的词和词组。例如：“光”、“数学”、“人工智能”、“下棋”等等。概念是内在思维中对外在特定对象的概括和映射，而语词就是用来指称这些对象的，是这些对象的“符号”或“标签”。

在逻辑学中，概念被认为具有“外延”和“内涵”两方面特征。概念所指称的那些特定对象被称为是概念的外延，而概念的内涵是其所指称对象所具有的特有属性。如果说外延反映了事物的“量”，是在回答“是哪些”的问题，那么内涵就是在反映事物的“质”，回答“是什么”的问题。

要明确概念，特别是揭示概念内涵有不少逻辑方法，“定义”（definition）是其中最基本的一种方法。定义被认为是用一组符号或符号串来描述或说明一个特定的词项。这是一种非常直观的表述。其中“特定的词项”就是需要被定义的概念的语词表达，它在定义中被称为“被定义项”（definiendum），而用来描述它的“一组符号或符号串”被称作“定义项”（definiens）。举例来说，“‘机动车’是‘可以在马路上行驶的以机器的运动为动力的交通工具’”，这一语句可以作为

对“**机动车**”这一概念的定义，而“**可以在马路上行驶的以机器的运动为动力的交通工具**”即是体现其内涵的表达。

定义的根本方式是“规定定义”（**stipulative definition**），即“直接将意义指派给某符号”的定义。这是任何人都可以操作的一种方式，任何人都可以引进新的符号或语词，并具有规定或指派给这个符号或语词任何他所关心的意义的自由。例如，在天体物理学中，“**黑洞**”概念被引入用以指代“**引力坍塌致使光速物质亦无法逃离其引力束缚的星体**”。这种定义的方式与计算机语言中为变量赋值的动作极为相似。事实上严格来说，为变量赋值的行为本质上也是一种定义行为。

在科学理论中，定义具有非常重要的作用。目前在学术界应用最广泛的定义方法是“属加种差定义”，即用确定了被定义项指称范围的属词项，加上被定义项指称对象相对于同属中其它种所特有属性的“种差”描述的定义方式。其表达可以简单地描述为“**被定义项=种差+属词项**”。例如：“**等边三角形**”、“**量子计算机**”、“**基于深度学习的神经网络**”等等。

同时，在各类逻辑体系中，也对定义提出过诸多的规则和限制，归纳一下大致有下面几种：“定义既不能过宽又不能过窄”、“定义项中不能直接或间接地包含被定义项”、“定义必须是清楚明白的，不能用有歧义、晦涩或比喻的语言来表述”、“定义在可以用肯定定义的地方就不应当用否定定义”等等。

然而，并不是所有概念都可以用属加种差方法来定义，而且定义也不是科学研究的专用手段。在日常的思维活动中，定义同样具有重要作用。当需要识别或描述未知的日常事物时，人们往往也是通过定义所涉概念的**内涵**来明确所指概念的外延。此时，受限于各人学识水平的不同，难以确保每个人都能使用科学的方法来下定义。但是，使用自身认知中的某些特定语词来定义，却是每个人都能做到的事情。这样的特定语词可以没有任何通行的学识背景，可以完全出自定义提出者自身的喜好，甚至可以不是任何现行文字。例如，原始人类在还不会使用任何现代语言时，就可以用肢体语言、用象形文字、用壁画等方式来描绘见到的动植物和各种自然现象，这就是一种原始的定义行为。在这种时候，任何科学的定

义方法或是规则都是没有意义的。因此可以说，最基础的定义方式还是规定定义，一切其它的定义方法和规则都是基于规定定义来展开的。

究其本质来说，定义是一个将那些被认为有一定内在联系的定义项与被定义项关联在一起的动作。这个动作通常是用一些特定的语词来将定义项与被定义项连接起来，例如“**鸟是一种有羽毛的温血脊椎动物**”（例 5）一句中的“是”。这在多数逻辑体系中被称为“定义联项”（**connective of definition**）。类似的语词还有“即”、“就是”、“乃是”、“可以看作”、“将……称为……”、“所谓……是指……”、“把……定义为……”等等。透过这些语词可以很容易看出，由它们连接后构成的陈述语句本身都带有断定某些事物的性质。因为它们本身也是一种典型的命题陈述方式的联结词。

我们很难说例 5 只是一个定义而不能视其为一个命题，或者只是一个命题而不能视其为一个定义。实质上，有些定义的陈述本身就兼具定义和命题的性质，也可以说，定义本身就是用符合命题陈述的一种形式来完成的行为。从表现层面来说，我们可以在逻辑信息模型中，将定义视作等同于命题来用于论证之中，即定义陈述在论证中具备与命题陈述同质的效果。因而，定义在逻辑推理中也有着非常重要、不弱于命题的用途，这一点从各类例证可以看出，是毋庸置疑的。

例 6:

“我们应该如何定义‘行星’呢？①行星就是在环绕太阳的轨道上运行的天体，在太阳系中有九颗行星，其中最小的冥王星由特殊的物质组成，有特别的运行轨道，并且离太阳最远。……②但是其它大于冥王星、有奇怪形状的天体最近也被发现是在环绕太阳的轨道上运行。它们是行星吗？为什么不是？③传统的定义如今变得在概念上不充分了。④国际天文联合会中的激烈争论尚没有完全结束，但还是在最近得出了一个关于行星的新定义。……⑤我们需要的是既能容纳旧发现又能容纳新发现，与此同时还能对整个系统保持一个完全明确和一致说明的定义。⑥国际天文联合会在 2006 年采用了这样的定义，即行星是满足以下条件的太阳系中的天体：（1）在环绕太阳的轨道上运行；（2）有足够的质量来保证其自重能克

服其刚体惯性力从而使其呈现出流体静力平衡（接近球体）的形状；（3）清除了其轨道附近的区域。”*⁷

在例6中，①是旧的“行星”定义。它和命题②一起作为论据，与作为结论的命题③共同构成一个完整的论证。在这段论证中，定义扮演了论据的角色。即旧的“行星”定义，与发现了不符合该定义的星体，共同为“传统定义存在缺陷”这一观点提供支持。

定义不仅可以在论证中担任论据的角色，甚至也可以担任结论的角色。同样是例6，命题③所述的“传统的行星定义存在缺陷”，结合命题⑤的行星定义改进要求——即“同时兼容新旧发现”，共同支持了新的行星定义即⑥的阐述。这几个陈述也构成一个完整的论证，在这段论证中，定义扮演的是结论的角色。

这种定义在论证中担任重要角色的情况实际上非常普遍，尤其是在科学与哲学的研究当中。因为科学与哲学往往都是走在时代的前沿，始终会有更多的机会触及到尚未可知的概念。这时就需要寻求对于新概念的定義，而且是需要精确的、能够在研究中形成理论体系的严谨定义。因此，在科学的学术论证中，定义是非常重要的组成部分。同样，对于“论证-命题”模型来说，定义也是不可或缺的。

2.2.2 叙述

定义陈述是一种带有断定性质的陈述，因此其可以被应用在论证当中。由于陈述语句的外延范围是非常大的，其中具有断定性质的陈述形式也并非只有定义陈述。

定义陈述有其较为典型的特征，即其定义联项是有限的，而且数量不多，这就使得定义陈述的形式非常容易被识别。然而，并不是所有包含了定义联项的陈述语句都是定义陈述。例如：“伽利略就是用他自制的望远镜第一次看到了月球上的山脉和山谷”（例7）。显然，这里的“就是”并不是作为定义联项用来定义语词

⁷ 摘自《逻辑学导论（第13版）》，第108页。

“伽利略”的，而是强调了“伽利略用他自制的望远镜第一次看到了月球上的山脉和山谷”这样一件事情。

这样的—个陈述语句带有明显的断定性质，然而同时它也叙说了—个“事实”，或者说是“客观现象”。这个事实携带—定数量的信息，比如：“伽利略”、“望远镜”、“自制”、“看到月球”、“第一次”等等，以及由它们组合在一起后共同传达出来的信息。这样—种事实陈述不同于定义陈述。定义主要体现的是主观上的认识，是个体对于客观事物（即概念）认知—种反映。而事实则是对客观事物的呈现，是对于主观世界之外所发生之事或存在之物—种描述。

值得注意的—点是，对于事实的陈述并不直接等同于事实本身，甚至有时候也可能是完全与事实所相悖的陈述。就像在例7中所提到的伽利略的事迹就不—定是真的。据记载，伽利略（Galileo Galilei）并不是首位用望远镜观察月球并描绘月球表面的人。早在伽利略将他所制作的放大20倍的望远镜转向月球之前数月，英国天文学家托马斯·哈里奥特（Thomas Harriot）已经将—架6倍率的望远镜对准了月球，并于1609年7月26日绘制了第—幅通过望远镜所观测到的月面图，只不过这张图较为简略，没有呈现出多少细节罢了。

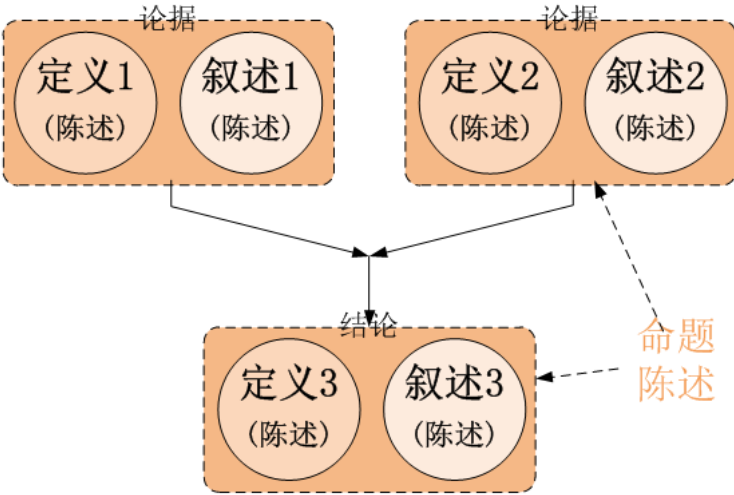
又比如，在法庭上，嫌疑犯可以申辩自己没有违法犯罪；在商战中，竞争对手之间可以彼此控诉对方剽窃自己的创意、挖角自己的客户等等。这些申辩、控诉的言语都属于这类事实陈述，但是这几方都只是各自站在他们自身的角度，叙说的都是各自认可的“事实”。如果彼此所述内容相悖，那基本上可以肯定对立双方中至少有—方的叙说是—不实的。

由于此“事实”陈述非彼“事实”，因此我们在模型中将用更加中性的“叙述”—词替代容易产生歧义的语词“事实”。

“叙述”（narration）陈述是除定义之外另—种重要的、具有断定性质的陈述形式。因此，叙述也可以像定义那样，—旦可以在论证中担任论据的角色，也可以担任结论的角色。如例6中的③“传统的定义如今变得在概念上不充分了”就是—个叙述陈述。它既是前—半论证中的结论，也是后—半论证中的论据。同样，例2、3、4中的论据和结论都是叙述陈述。

从上述例证中也可以看出，叙述的表达形式多样，不似定义那般受限于定义联项的形式化。因此，与定义相比，叙述陈述可以在论证中发挥更加重要的作用。

定义与叙述，两者互不相同，又彼此互补，共同构成命题陈述的组成部分。可以说，它们是两类有明显特征的陈述类型，都是命题陈述的子集。如此一来，定义与叙述的对象就可以顺理成章地作为命题陈述的子类对象而加入到“论证-命题”模型中来了。



（图 8，加入定义与叙述后的“论证-命题”模型示意图）

2.3 命题真值与论证有效性

2.3.1 命题的真值

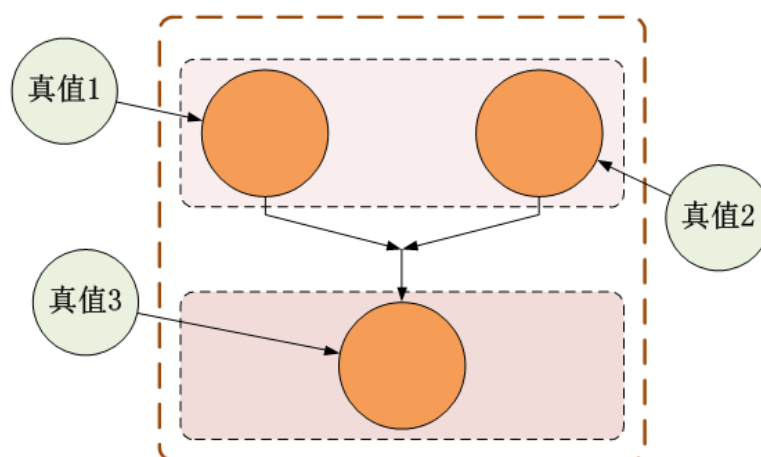
与命题所对应的思维形式是“判断”（**judgment**）。命题通过语句来陈述事物情况，而判断则反映出思维主体对事物情况有所断定。断定可以是肯定的断定，也可以是否定的断定，甚至是不确定或未尽可知的断定。由此就牵涉到与命题和判断所相关的最重要之要素——“真值”（**truth-value**）。真值就是判断之后所给出的断定结果。我们可以在模型中用名为“真值”的对象来体现出判断的作用。

逻辑学上通常认为，每一个命题都是真的或者假的，所以与之对应的真值内涵就是“真”或者“假”。它代表的含义就是，与之关联的命题是真命题或者假命题。例如：“太阳每天都从东方升起，从西方落下”，这个命题对我们来说是真命题。而“人可以不借助其它工具直接飞在空中”，则一眼就能明显看出这是一个假命题。用“真假”来表示真值的逻辑体系，在逻辑学当中都归为“二值逻辑”（two-valued logic）。

然而，有些命题的真值，由于观察条件的限制，我们是无法完全确定的。例如：“太阳系诞生于 46 亿年前”，或者“太阳会在大约 50 亿年后死亡”。由于这是太过于遥远的过去或是未来的事情，已经远远超出我们人类目前的直接验证能力——毕竟人类有记录的历史通常被认为也只有几万年而已，故而难以得到绝对真实的观测结果。

如何来看待这一类命题的真值？关于这一点，在传统逻辑和现代逻辑之间存在着一些分歧。传统逻辑的观点大多认为，这类命题的真值暂时未知，但一定是或真或假的，只是在目前的情况下还没有达到让人感知的地步。然而在现代逻辑这边，从数理逻辑中发展出来的一门新的、不同于二值逻辑的分支——“多值逻辑”（many-valued logic）则认为，命题的真值在为真和为假之外，还可以有其它值。

多值逻辑是一系列逻辑系统的合称，其中尤其以三值逻辑和无穷值逻辑最具代表性。这些逻辑系统都是相对于二值逻辑而言的，其意义就在于对“真假”以外的其它真值做出各自体系的解释，并申明不同的逻辑哲学主张。无论是二值逻辑的“真假”，还是多值逻辑中“真假”以外的其它真值，都可以作为我们模型中“真值”对象的内涵。



(图 9, 加入命题真值后的“论证-命题”模型示意图)

2.3.2 论证的（狭义）有效性

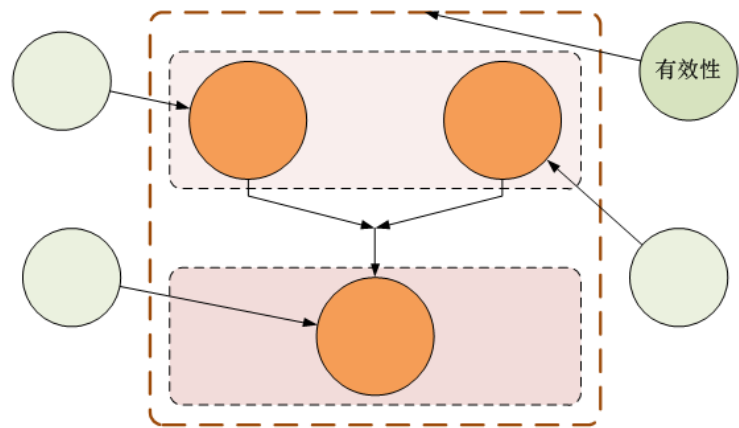
真值是单个命题的属性，而对于一组命题——尤其是可以组成一个论证的一组命题来说，“有效性”（**validity**）是用来定义它们之间联系的一种特征。因此，我们也有必要用名为“有效性”的对象在模型中来反映论证的这一属性。

一个论证的有效性，即判定一个论证是“有效的”或是“无效的”，依赖于其论据与结论之间的关联，而并不与其所包含的那些命题的真值有直接联系。在现有的逻辑体系中，可以存在结论和一个或多个论据都为假的有效论证，也可以存在结论和所有论据都为真的无效论证。也就是说，论证的有效性与所有真假论据和结论之组合间的关系，基本上没有一个绝对的定论。

事实上，不仅有效性与真假论据和结论的关系难以严格衡量，有效性本身的取值也并不仅仅是“要么有效，要么无效”这般泾渭分明。传统逻辑根据论证中论据对结论的支持程度把论证分为两大种类，即“演绎论证”（**deductive argument**）与“归纳论证”（**inductive argument**）。当一个论证中的论据被断言可以决定性地支持其结论时，这个论证就是演绎论证。即演绎论证是可以被明确地判断出该论证是有效的还是无效的。与之相对的，归纳论证就是那些无法明确其论据是否支持结论的论证。因此，对于归纳论证就不能用“有效”或“无

效”来表示它的有效性。一般情况下，可以说归纳论证是“较好”或“较差”、“较弱”或“较强”等等。

无论是演绎论证的“有效或无效”，还是归纳论证中非完全确证的有效性，都可以作为模型中“有效性”对象的内涵。



（图 10，加入论证有效性后的“论证-命题”模型示意图）

2.4 条件

2.4.1 命题的条件

1.

每一个命题都可以有其对应的真值，无论它是真是假或是无意义。但是，并不是每一个命题的真值都是确定唯一的，或者说在任何情况下都是不变的。

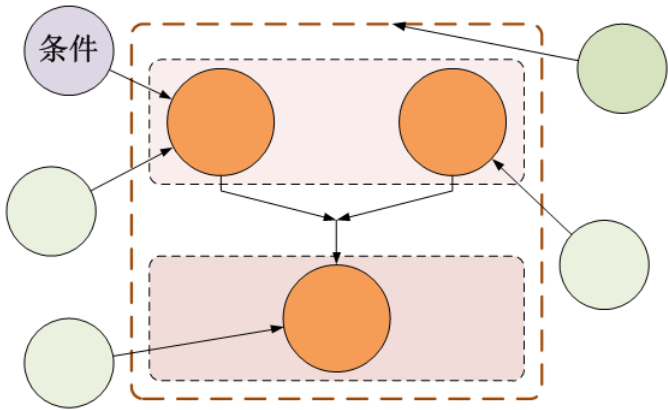
例如：“冥王星是太阳系中的一颗行星。”这个命题，如果是在不同的年代被提出，如 1930 年前后、或者 2005 年前后，就会有完全不同的真值。在 1930 年之前，这个命题是没有意义的，因为当时还没有发现这颗星体，“冥王星”（Pluto）这个名词也不会被大众用来跟“行星”联系在一起。从 1930 年后至 2005 年前，随着冥王星被人类发现并命名，这个命题就成为了一个真命题。而从 2005 年之

后开始至今，这个命题又随着冥王星被降格为矮行星而变成了假命题。当然，未来这个命题依然存在着再次转变为真命题的可能，即冥王星再次被归为行星的行列。由此可以看出，在没有施加任何时间背景的情况下，这个命题的真值应该被归为“不确定真假”。其既可能为真，也可能为假。如何得到一个确切的值，这取决于命题被提出的时间。命题被提出的时间，在这里就是命题的一种条件（condition）。

每个命题，或多或少，都可能会有一些条件成为影响其真值的因素。例如：“日全食正在上演，你只需抬起头就能见到这一壮观的景象。”在这一命题中，地点是一项影响其真值的条件。众所周知，日食发生之时，只有身处白昼之地才有可能看到日食。而处在地球另一端的黑夜之中的人们是无法直接观测日食的。又比如：“把器皿中的水加热至 100℃时会达到沸点，水汽化成水蒸气。”在此例中，海拔或者说气压是该命题的真值条件之一。毕竟无数的经验已经证实，处于不同的海拔气压值就不同，而不同的气压又会影响水的沸点。

当然，命题的时间、地点等条件并不只是指命题被提出时的时间、地点。在命题本身当中，也会携带有类似的相关信息，这些命题内的信息与外在的条件可以组合起来，共同对于命题的内涵产生影响。例如：“雨过天晴后天边出现了彩虹，在这个城市的任何角落都可以看到。”该命题陈述中出现了显式的地点信息，它也是能影响命题真值的条件。

无论是在命题中显式出现的各种条件内容，或者是隐含于命题陈述之外的条件信息，我们都可以在模型中用相应的条件对象来与之映射，并与命题对象建立关联。



（图 11，加入命题条件后的“论证-命题”模型示意图）

2.

在直言命题中使用不同的量词会带来迥异的内涵。例如，“**所有鲸鱼都是哺乳动物**”和“**有些鲸鱼是哺乳动物**”两者所表达的内涵有着本质的差异。

根据量项的不同，传统逻辑把命题分为单称、特称、全称三类，可以通过“一个”、“一些”、“所有”这一类量词来加以区分。由于单称命题的对象在数理逻辑中一般可以被视作为仅包含该唯一对象之单元类中的所有对象，即单称命题也可以被归类至全称命题当中。而在表达上，单称对象较多使用专有名词、单称代词等作主项，并隐没量词。因此数理逻辑只保留全称量词和存在（即特称）量词，分别使用符号“ \forall ”和“ \exists ”来表示。其含义分别可以理解为对应“全部……”、“任一……”、“对于一切……而言”等，和“有……”、“存在……”、“至少有一……”等这些用来限定主项的量词。

无论是那些自然语言中的量词，还是在人工语言中与之对应的符号，它们都限制了出现在命题中的主项的范围。所以，它们可以被看作为是命题中的范围条件，直接影响着命题的真值取值。

3.

除了上述例证中出现的这些直言命题之外，在命题的所有类型当中还有一类复合命题，其本身就带有影响自身断言的条件，这就是“假言命题”(hypothetical proposition)，同时又称为“条件命题”(conditional proposition)，在符号逻辑中也叫“蕴涵”(implication)。

众所周知，假言命题通常都是以“如果……那么……”的陈述形式存在。其中包含着至少两个分支命题。“如果”后面的命题（又称前件）代表一种假设，它作为“那么”后面的命题（又称后件）的假想条件而存在。假言命题本身并不断定其分支命题的真假，仅仅是断言当满足前件的情况下，即前件为真时，后件的真值会为真。就像在“**如果①把一张蓝色石蕊试纸放入酸液中，那么②这张试纸会变**

红。”这一命题中，分支命题①为分支命题②提供了假想的条件。当出现满足分支命题①的情况时，分支命题②就实现了。

4.

时间、地点、等各种因素，每一项都可以成为一个命题的单一条件。同时，多个单一条件以不同形式的组合施加在一个命题上，又能成为一组复合条件，共同影响命题的真值。譬如以下三个命题：

例 8：

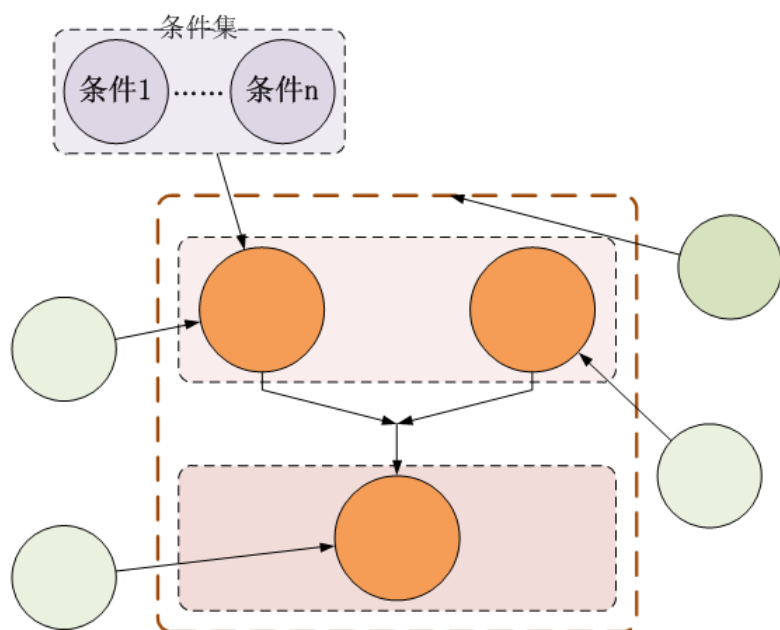
① “今年国内的石油消费总量较去年增加一成。”

② “如果石油消费持续增长，那么在 50 年后国内的石油储备将被耗尽。”

③ “如果石油消费增长势头继续保持，即使将石油进口量增加一倍，依然不能改变国内的石油储备逐渐枯竭的趋势。”

其中，命题①的“今年”、“去年”和“国内”这几个时间、地点的单一条件，组成了“石油消费总量增加一成”的复合条件。命题②中，“石油消费持续增长”作为假言命题前件，和“50 年后”的时间条件，共同作为“石油储备将被耗尽”的复合条件。而在命题③当中，“石油消费增长势头继续保持”和“将石油进口量增加一倍”共同作为假言命题前件，为“不能改变国内的石油储备逐渐枯竭的趋势”的真值提供条件。

综合上述例证可以看出，无论是单一条件，还是由多个单一条件组合形成的复合条件，或是假言命题的前件，都可以作为影响命题真值的条件。



(图 12, 加入命题复合条件后的“论证-命题”模型示意图)

2.4.2 论证的条件

1.

命题可以有影响其真值的条件，同样的，论证也可以有影响其有效性的条件。

当一个命题作为某个论证中的论据或结论时，它的某个单一条件，或是若干个单一条件构成的复合条件，也可以作为其所在论证中的条件，无论其是显式条件还是隐式条件。

例如：“①在地球上最先出现生命时没有人存在。因此，②任何关于生命起源的陈述都应视为理论的而非事实的陈述。”*⁸

“在地球上”是论据命题①的地点条件，同时它也隐式地作用于论证的结论命题②，以及整个论证的有效性上。

⁸ 摘自《逻辑学导论（第 13 版）》，第 10 页，来自美国阿拉巴马州生物课本封签。

又比如：“①近百年来，在人类干预下的物种灭绝比自然速度快了 1000 倍。②照此下去，在本世纪我们很可能会失去 50%到 75%的地球物种。”

“近百年来”是论据命题①的时间条件，“在本世纪”是结论命题②的时间条件。同时，它们又对论证的有效性产生影响。另外，“在人类干预下”虽然是命题①中“物种灭绝”的修饰短语，不过它同样对于整体论证起到了限制作用，是论证的一个限制条件。

2.

全称、特称量词带给命题的范围条件，同样可以是它们所属论证中的重要条件。

例 9:

① “所有哺乳动物都有肺，所有鲸鱼都是哺乳动物，所以所有鲸鱼都有肺。”

② “所有想成为将军的士兵都不是懦夫，有些士兵是懦夫，所以有些士兵并不想成为将军。”

③ “所有可见光都是电磁波，没有声波是电磁波，所以没有声波是可见光。”

这是几个典型的“直言三段论”（categorical syllogism）。所有的三段论都是由三个命题组成，分别在论证中担当论据和结论。直言三段论的三个命题都含有全称或特称量词，属于全称或特称命题的范畴。论证①中的“所有”、论证②中的“所有”和“有些”、论证③中的“所有”和“没有”，都是其论证中命题的范围条件，也是这些三段论论证的范围条件。由此也不难看出，所有直言三段论中的全称、特称量词都可以作为该三段论论证的范围条件。

3.

直言命题构成直言三段论，假言命题则构成“假言三段论”（hypothetical syllogism）。无论是纯假言三段论，还是混合假言三段论，其中的那些假言命题前件都可以成为这个论证整体的假想条件。

例 10:

“①如果第一个士兵说真话，那么这是生门。②如果这是生门，那么另一扇门是死门。
所以，如果第一个士兵说真话，那么另一扇门是死门。”

“③如果第二个士兵说真话，那么这是生门。第二个士兵说真话。所以，这是生门。”

在例 10 的两组假言三段论中，①“如果第一个士兵说真话”、②“如果这是生门”以及③“如果第二个士兵说真话”分别担当了这些论证中的假想条件。

4.

一个完整的论证是由一组论据和一个结论共同构成。论据通常也被认为与“前提”一词等价。之所以称为前提，是因为这些论据为结论的可靠性提供支持。结论是论证的核心，而论据则是支持这个结论的基础，是达成该结论有效的先决条件，即结论成立的前提条件。

“因为（论据）〈命题②〉、〈命题③〉、……，所以（结论）〈命题①〉。”大体上，所有的论证都可以看作或转化为这样的形式。这是论证的一种典型表达方式。如果我们将它换一种方式来阐述，可以是“基于论据〈命题②〉、〈命题③〉、……，得出结论〈命题①〉。”这是一种无损的转换，也可以从中看出论据对于结论的支持作用。

5.

有时候，由于语言表达的多样性，以及表达时所处的环境，一个论证中往往会存在一些隐含的条件。隐含的条件可能存在于上下文的语句中。例如在例 10 中，前一个论证可能隐含着这样一个条件④：“这里有两扇门，其中有一扇是生门，有一扇是死门。”它决定了假言命题②的真值。而它必然是来自于该论证出处的前文之中。

隐含的条件可以是单一条件，也可以是复合条件；可以是范围条件、假想条件、前提条件等不同类型条件中的任意一种或多种。比如例 10 的隐含条件④就是一个单一的前提条件。

从语言的角度来看，如果将例 9 中所有的“所有”都隐去，并不影响其论证的内涵，也不影响语句的通顺表达。“所有哺乳动物都有肺”和“哺乳动物都有肺”看起来是等价的。理解了这一点，就不难理解与之相匹配的另一层意义，即隐去所有“所有”之后留下的这两个论证中都隐含着范围条件“所有”。

例 11:

“如果死刑反对者关于死刑并不会阻止凶杀行为的信念是不正确的，那么如果有无辜的人因为杀人犯的死刑没有执行而被谋杀丧了命，那么死刑反对者就应该为这些人的死担责。”*⁹

例 11 论证的结论，除了“如果死刑反对者关于死刑并不会阻止凶杀行为的信念是不正确的”这一前提之外，还可以存在一个没有明确陈述出来的前提，即“如果对凶犯执行死刑能够使其他凶犯出于对死刑的恐惧而减少甚至杜绝谋杀行为，那么保护无辜的生命免受杀害就为死刑做出了辩护”。基于这些前提条件故而得出结论：那些死刑反对者，即相信死刑不会阻止犯罪的人们，就应该为后续可能出现的无辜丧命之人的死担责。

例 12:

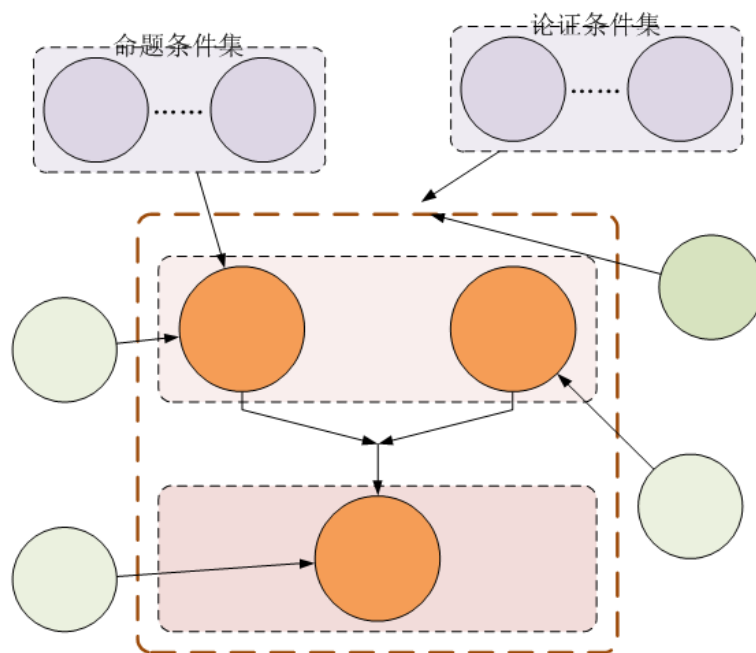
“爱情是不用眼睛而用心灵看着的，因此长着翅膀的丘比特被描述成盲目。”*¹⁰

在该例论证中，可以理解为，隐含了假想条件“如果存在长着翅膀的丘比特”，和前提条件“丘比特是爱情的象征（或者代名词）”，以及“盲目即为不用眼睛而用心灵看”。

综合本节内容来看，一个论证的条件，可以是由构成它的所有命题里的所有条件中一个或多个条件的组合。它们共同作用于论证结论中谓词项的内涵，并成为影响整个论证有效性的上下文。

⁹ 摘自《逻辑学导论（第 13 版）》，第 22 页，来自美国纽约城市大学（CUNY）社会学系的主任曾就死刑的合理性提出过的两个并行、有力、但颇具争议的论证之一。

¹⁰ 摘自《逻辑学导论（第 13 版）》，第 29 页，该句译自《A Midsummer Night's Dream》（仲夏夜之梦），莎士比亚（William Shakespeare）著。



(图 13, 加入论证条件后的“论证-命题”模型示意图)

2.5 再谈概念

2.5.1 概念与定义

在前文中，我们已经提到过“概念”（concept）。彼时没有深入展开阐述（模型中与之直接相关的对象），只是为了通过“概念”来引出与之有所关联的“定义”。

定义是一种明确概念内涵的陈述形式，也是一种用来明确概念内涵的方法。它的标准陈述形式，是由角色分别为定义项、被定义项和定义联项的语词共同构成。本质上，定义是给一组定义项和被定义项建立配对、为它们的内涵设定某种程度上的对等关系的一种行为。

而概念的内涵是内在思维活动中产生的、对于某一个（或一类）特定对象的印象。具象的语词作为用来描述这一个（或一类）特定对象的语言形式，与抽象的概念所对应。因此，在定义陈述中，被定义联项分开的定义项与被定义项这两

组语词，必然都有与之对应的概念。也就是说，被定义项是待明确的概念，与之对等的定义项也是属于概念的范畴。

定义项和被定义项分别可以是一个单一的概念，或者是一些概念的组合。

例 13:

- ① “狮子是猫科动物。”
- ② “鲁迅是文学家。”
- ③ “机动车是指可以在马路上行驶的以机器的运动为动力的交通工具。”
- ④ “在天体系统中行星所需满足的首要条件是，围绕一颗恒星或恒星残骸运行。”

定义①、②中，“狮子”和“猫科动物”、“鲁迅”和“文学家”本身都是独立的概念；而定义③中，“机动车”是独立的概念，“可以在马路上行驶的以机器的运动为动力的交通工具”则是概念的组合；又如定义④，其中“行星所需满足的首要条件”和“围绕一颗恒星或恒星残骸运行”都是概念的组合。

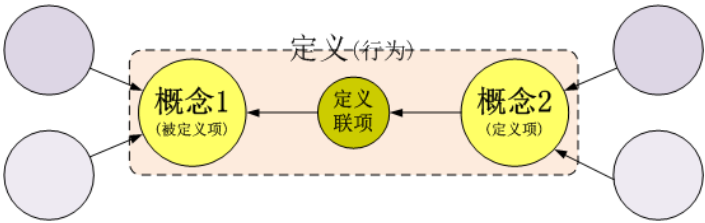
实质上，在很多场景中，定义陈述的被定义项和定义项也经常会出现外延不一致的情况。譬如例 13 的定义①、②中，“狮子”的外延要比“猫科动物”小；“鲁迅”是单称，“文学家”的外延自然是比它要大。

不难看出，被定义项的外延通常会比定义项要来得更小。这一点其实很容易理解。一个概念的内涵往往是多层次、多方面的，难以用少数言语就将其完全概括。例如“人”这个概念的内涵就非常丰富，有许多描绘其内涵的定义陈述。有说人是“能直立行走、不会飞行的动物”，也有说是“会思考、有语言的动物”，或是“能够制造和使用工具的动物”等等。这些陈述都符合“人”的内涵，但又都不够全面覆盖所有内涵。应该说，每一句都只阐明了“人”内涵中的局部特征，也就是“人”的部分属性。就拿“人是能直立行走、不会飞行的动物”来说，这实际上是在定义“人”属性中的行走能力和飞行能力。换句话说就是“人有行走能力、没有飞行能力的动物”。

与命题、论证相似，概念也可以有条件。而且我们可以看到，在那些概念的组合当中，基本上都是一部分概念作为另一部分概念的属性或者条件而存在。例

如，“人是XXX的动物”，那些“XXX的”是“人”的属性，也都是用来限制“动物”的条件；又比如，例13定义③中的“可以在马路上行驶”和“以机器的运动为动力”是概念“交通工具”的条件；定义④里“行星所需满足的首要条件”中，“需满足的首要条件”是概念“行星”的属性。

而且，概念的条件在一定程度上是可以与概念相互转化的。例如，“作为化学概念，水是化学式为 H_2O 的化合物”。其中，“作为化学概念”是后半句定义陈述的限定条件。在不改变内涵的情况下，我们可以将它变型为：“在化学概念中的水，是化学式为 H_2O 的化合物”。在这种形式中，被定义项由“水”变为了“在化学概念中的水”这样一个新的概念。



(图14，概念与定义的“概念-定义”模型示意图)

2.5.2 概念与命题

相比于“概念”，定义陈述所属的“命题”、以及由命题构成的“论证”才是更为常见、也更容易被人们理解和接受的逻辑学概念。然而，论证是由命题构成，命题则是由概念所构成。

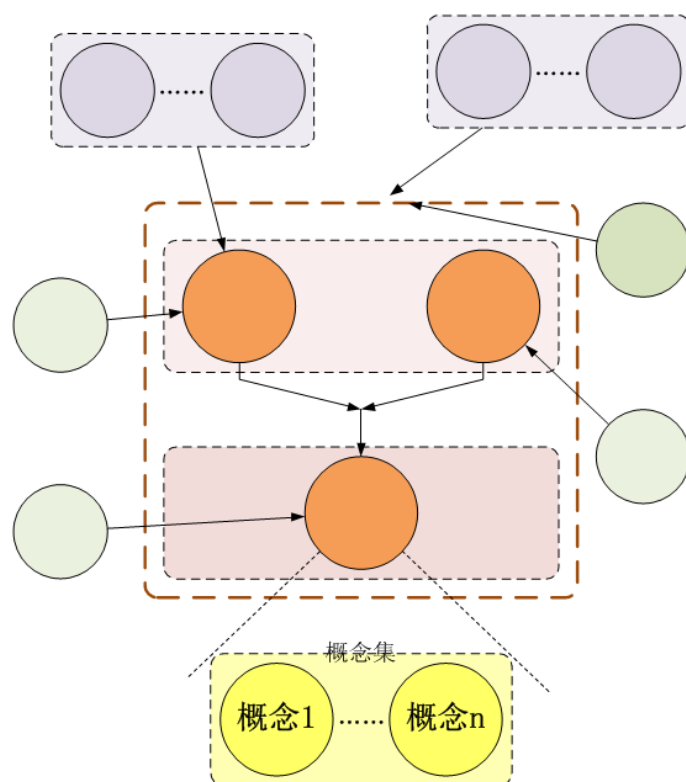
命题陈述是由一定数量的语词按照一定的结构形式——通常被认为是自然语言的语法规则——组合在一起。其中的这些语词都对应着各自的概念内涵，而语法规则又都可以以命题陈述的形式来阐述说明，所以归根结底来说就是，命题是由一定数量的概念构建形成。

值得注意的是，数理逻辑当中，多把命题中的概念称为“词项”。因为数理逻辑中的逻辑部分是研究命题成分的逻辑，命题陈述中的主项和谓项是其研究的

主要对象。而狭义的词项指的就是在直言命题中充当主项和谓项的语词。当然，也有更加广义的看法，认为词项还应该包括量项和联项。然而，在我们的模型中，我们认为这样的看法依旧过于狭隘。我们更加倾向于把语句中的任意语词，包括任意符号，都看作属于概念的范畴。不过，这两者之间并不矛盾。词项并不等同于概念，词项之于数理逻辑的意义，也不同于概念之于逻辑信息模型。数理逻辑只看重主项和谓项，因为可以将它们提取出来，再将陈述语句符号化、函数化，如此便可摒弃掉句中的其它部分，专注于命题的真值演算。这样一来，确实不易受到自然语言中多变的语言习惯对命题真值的影响，但是也同时忽略了自然语言中可能潜藏的信息。

例如，“金属导电”这个命题，在数理逻辑范畴中可以被形式化为：“ $f(x): x \text{ 导电}, x \in \text{金属}$ ”。当 x 取值为属于金属的“铜”或“铁”时，对应的函数值描述就是“铜导电”或“铁导电”。当然，我们还可以用“铜是导电的”、“铁可以导电”、“银具有导电的作用”之类的语句来描述，这些也适合被归入该形式化的函数。然而，如果是从其中所蕴含概念的角度来看，这几种描述却并不等价。“导电”是它们中间共同的概念，这也是形式化函数中的核心谓词；而“是”、“可以”、“具有”、“作用”等等语词则是它们各自所具备的独有概念。或许这些独有概念并不足以影响整体语句在谓词逻辑层面上趋同的涵义，不过在这些多样的文字描述中，却也可以传达出更多的信息。独特的语词本身都有各自迥异的概念内涵，这些语词分别组合形成的不同短语形式，还可能潜藏着语言习惯、语气情绪，甚至是上下文语境等等各类信息。这也是自然语言逻辑与符号语言逻辑之间的一个重要区别。

将概念对象加入“论证-命题”模型，就形成“论证-命题-概念”模型。（如图 15 所示）



(图 15, 加入概念后的“论证-命题-概念”模型示意图)

三、信息模型

上一章主要围绕着一些逻辑学的核心概念展开并构建了逻辑信息模型的雏形。作为被冀望用于管理信息、表示知识的人类智能逻辑模型来说，逻辑性是必不可少的，但是这还不是全部。如何在保持逻辑性的同时，有机地容纳和管理信息才是其中的重点。

虽然以目前大部分逻辑学体系的标准来看，并非所有文字、语言信息都是“逻辑”的，也存在谬误和无断言性的语句。然而，这并不妨碍我们在“论证-命题-概念”模型的基础上，辅以信息科学的研究方法，进行合理的拓展，使得模型可以更好地兼容所有信息，并使得基于该模型构建起来的信息网络能够更好地发挥其“容器”作用（container-ability）。

3.1 疑问与解答

1.

人类开始进入信息科学的领域展开探索，通常被认为是起步于 20 世纪 40 年代香农（Shannon, C. E.）所创立的信息论。随之而来的是，在之后的 7、80 年间，该领域中所取得的爆炸性科学成就，以及在人类史上影响力最大的一系列发明，比如计算机、互联网、移动电话等等。而如果再回望过去则可以看到，这些成果都是随着 17 世纪以来，数学、物理学、电磁学等自然科学以及通信技术之类的基础学科领域的飞速发展之后而出现。因此，这看起来就是一件水到渠成的事情。

然而，之所以这一切能够顺理成章地发生，之所以能够在短短数百年之间就取得涵盖自然科学、哲学、文学、艺术等各领域在内的璀璨的学术成就，则是跟自 14 世纪起的欧洲文艺复兴和启蒙运动这两场思想文化运动分不开的。撇开这两场思想运动中的政治、宗教、文化等方面因素，由其引发并推动后世科学精神

传播的源动力，实际皆来自于其实证主义与批判主义的精神内核。实证主义，承继于经验论，崇尚从观察和经验的角度入手来认识世界。批判主义，批判旧制度、旧宗教、旧思想、旧科学，批判一切不合理的事物。实证与批判是近现代实证科学的根基，其本质实际上就是从与亚里士多德同时代的古希腊时期便一直存在的怀疑主义思想，或者说是怀疑论。

从词源上来看，“怀疑主义”（Skepticism）中“怀疑”一词的古希腊文原指“调查”、“探究”、“检验”、“寻求”等涵义。因而，这里的“怀疑”并非是一个带有负面情绪的语词，而是指一般意义上的疑虑困惑。当然，它更是一种坚持不懈地寻求真理的探究活动，一种以系统化怀疑和不断考验，以达到求知的方法。科学探寻真理的过程，就是从质疑到批判，再到重新创造与建构，然后就是不断重复这样的过程。其中首先应该是质疑，这里的质疑并不是带有情感色彩的反问，而是对于不了解或者不合理之处提出中性的疑问。

2.

疑问是科学道路上探索新知的一种重要工具，同样，对于作为知识基础的信息来说，疑问也具有不凡的意义。而且，它虽不是逻辑学范畴中的概念，但也与逻辑息息相关。

在我们日常交流中，并非仅有论证、命题和概念，“疑问”（doubt）也是很重要的表达形式之一。

首先它是一种语言行为，当疑问通过自然语言或文字表达出来时，它的形式就是疑问句。其次它也是一种内在的思维活动，对于任何存在未知或与常理不符的事物，都可能会引发我们的疑问，并围绕着疑问展开思考。这其中未知的可能是某个概念或命题，与常理不符的也可能是某个论证。任意种类的逻辑元素都可以成为疑问的目标对象。例如：“命题 A，是真的吗？”、“论证 B，是有效的吗？”、“概念 C，是什么？”

存在疑问，就可能会存在与之对应的“解答”（explanation）。针对疑问思考过后产生的结果，就是内在思维中对于疑问的解答。疑问来自于对论证、命

题或概念的质疑，其对应的结果往往也是具有断定性质的内容，即也是论证、命题或概念。

例 14:

萨尔维阿蒂：“……如果没有几何学，而要对自然界进行很好的哲学探索，人们究竟能走多远呢？”

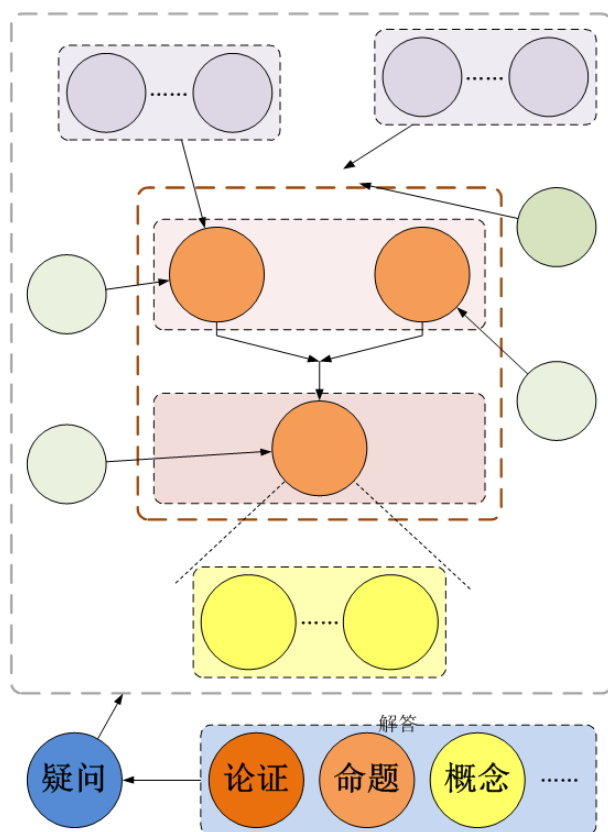
沙格列陀：“……（而且我们必须承认，）一个人要想解决物理学的问题，没有几何学是行不通的。”^{*11}

例 14 中，萨尔维阿蒂所提出的疑问，是基于一个假言的句式表达；而沙格列陀的回应是一个命题，它同样基于假言，然而却隐去了假言修饰词。它们都不是简单的论证、命题或概念，却是将这些简单元素变形重组之后的复合形态。

另外，这段对话也并非是非单纯有针对性的一问一答，而是夹杂在一系列的繁复语言交互之中。这样的表达方式，在日常语言交流中屡见不鲜。不难看出，其实在平时的言语或书面沟通中，能够引发出论证或命题的行为，除了其提出者主动表达之外，对于疑问的解答也是最重要的形式之一。

加上疑问和解答之后，模型结构如图 16 所示。可以看出，在这类场景中，通过疑问就可能将不同的逻辑元素以区别于一般逻辑范式的形式联系在一起。

¹¹ 该对话摘自《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》（*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano*），伽利略著，周煦良等译，北京大学出版社，2006 年第 1 版，第 139、141 页。伽利略借助萨尔维阿蒂与沙格列陀等人的对话，讨论关于落体速度的论证，强调了几何学在物理学研究中的重要性。



(图 16, 加入疑问和解答后的“论证-命题-概念”模型示意图)

3.

疑问是思考、比较、论证的基础，作为思维主体，针对于从外界客体接收到的基础信息或数据所产生的疑问，促使我们在思维中对其进行进一步加工分析，以期转化或提取出有价值的知识。疑问是批判、反思、变革的基础，通过在既往知识中发现、提出和研究问题，继而打破陈见，摒除传统认知中错误的思维定势，否定旧理论，构建新理论，重新建立新的阶段性真理。

如果没有疑问的能力，那我们所能获悉的就只是这个世界的表象，即我们通过周身五感所直接感受到的信息。人类不会了解飞禽走兽、草木瓜果的习性，也就不会有畜牧耕种；不会获知金木石火的特点，也不会发明并利用工具；生产力不会提升，文明不会得到发展，高等级智能也就无从谈起了。

在文艺复兴与启蒙运动带动人类文明大步迈进之时，疑问也在科学事业的发展中发挥着巨大作用。17 世纪，对于树上落下的苹果产生疑问，进而使得牛顿（Isaac Newton）悟出了万有引力理论；18 世纪，为了解决哥尼斯堡的七桥难

题，欧拉（Leonhard Euler）开启了图论领域研究的先河；19 世纪末，经典物理大厦上空著名的两朵“乌云”所带来的疑惑，催生了后来的“相对论”和“量子物理”这两大新兴物理学分支。科学史上每一项成就，基本上都是在解决一个难题，或是为一个疑问去寻找答案。

同样的，在生活中，不善于发问的人，往往也乏于思辨，故而只能禁锢于被动获取的信息，知识结构也较为僵化。而善于发觉疑问、提出问题的人，相比之更容易挖掘出被动信息中的疑点，以及蕴藏在表象之外的内容；这也更有利于调整知识结构，完善其中的不足之处，使之更加健全，细节也更为丰富。

因而，对于一个“智能”的信息模型来说，需要有自我思考自我分析的环节，疑问和解答就是其中不可或缺的组成部分。

3.2 发起者与观察者

3.2.1 发起者与观察者

逻辑学中主要研究的是论证的有效性，以及论证内部元素之命题的构成，例如谓词、量词、联结词等等。然而，却甚少有关关注过与论证相关的外部实体的价值。前文中我们已经提到过，判断是体现思维主体对事物情况有所断定的一种思维形式。在这一点上，对于推理来说也是如此。这其中既与“事物情况”即对应论证和命题的陈述有关，也与“思维主体”紧密联系。“思维主体”在这里指的是个人或者一个组织，也可以概括为是一个实体。通常论证都是由这样的一个实体来提出的。虽然在逻辑学的范畴内并不研究这些实体，但只需稍稍将目光从作为研究对象的命题及论证中移出，就不难发现，这些思维主体在推理的过程中同样起到极大的作用。

一个陈述相同的命题或论证，由不同的思维主体提出，它所表达的内涵有可能是不同的。比如说，前文例 8 中的命题①，如果是由一个中国人作为发起者，

与一个来自新加坡、东南亚、或是中东地区、甚至欧洲美洲地区的人作为发起者相较，内涵完全迥异，真值也可能大不相同。

一个命题或者论证由一个实体来提出，这里我们称这个实体为论证或命题的“发起者”（**proposer**），也可以称为“输出者”。

然而我们也应该看到，就论证与实体的关系而言，并非仅此一种。从面向对象的角度来看，思维主体提出论证或命题是一种“生产”行为，论证或命题就是生产出来的“产品”。有“生产”行为就可能会有与之对应的“消费”行为。

“消费”的主体就是那些看到、听到、接触到论证或命题的实体。这类实体我们称之为论证或命题的“观察者”（**observer**），或者称为“接收者”。

发起者提出或创造命题和论证，而观察者则主动或被动地获悉命题和论证，以及它们附带的信息，并可以对此作出响应。从这两类实体的行为差异中可以看出，发起者与观察者最大的区别在于谁是命题及论证的所有者。发起者拥有命题及论证的所有权，而观察者则可以对命题及论证发表自己的评议。

举个例子来说明。

例 15:

“爱因斯坦和玻尔是量子力学领域的两大巨头，他们之间的几次学术论战在科学史上极具影响力。早在 1924 年，玻尔与他人合作发表题为《辐射的量子理论》的论文，提出一个极具争议的观点：能量和动量在单个微观相互作用过程中不必守恒，而只需在统计意义上守恒。对此，爱因斯坦在给另一位物理学家玻恩的信中写道：‘玻尔关于辐射的意见是很有趣的。但是……我觉得完全不能容忍这样的想法，即认为电子受到辐射的照射，不仅它的跳跃时刻，而且它的方向，都由它自己的自由意志去选择。’” *¹²

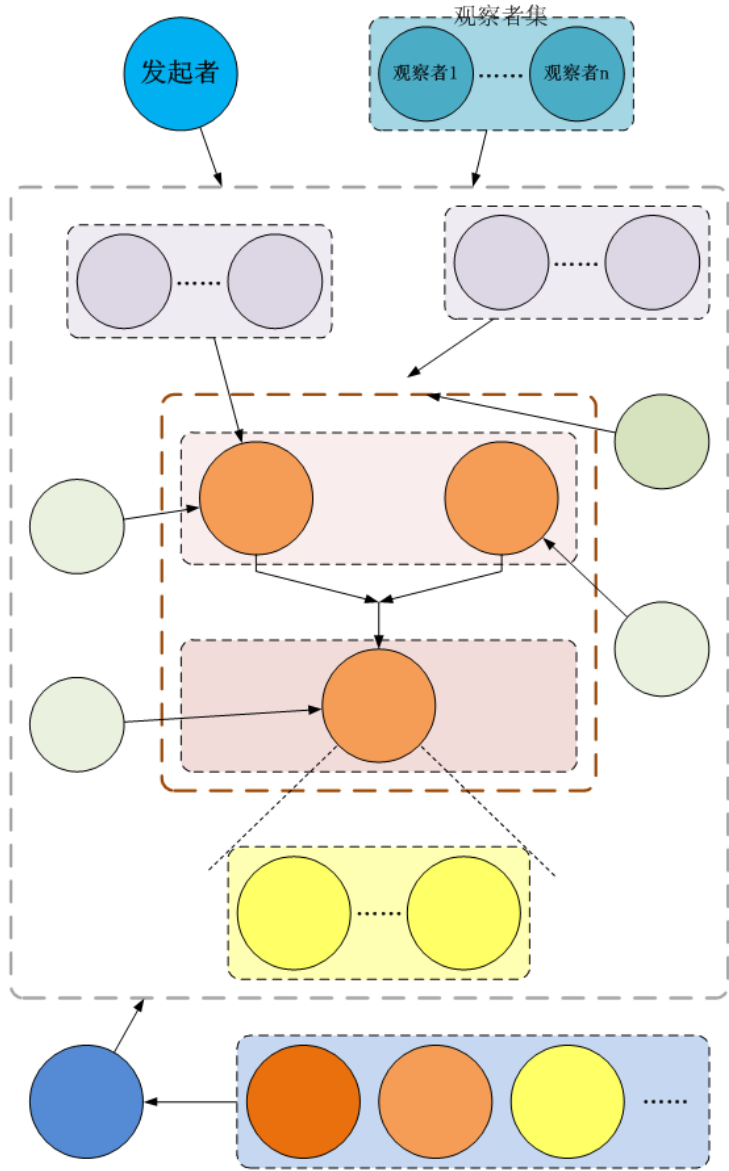
从例 15 中可以看到，玻尔（Bohr, N. H. D.）作为发起者，以论文的形式正式阐述了他用于解释辐射之波粒二象性的论点；而爱因斯坦（Albert Einstein）作为论文论点的观察者，直观地表达了自己的反对意见，继而也为之后二人在索尔维会议（Conseils Solvay）上精彩绝伦的正面交锋拉开序幕。

¹² 本例中的书信内容摘自《爱因斯坦文集》第一卷，许良英、范岱年编译，商务印书馆，1976 年第 1 版，第 193 页，“反对电子有自由意志的想法——1924 年 4 月 29 日给玻恩夫妇的信”。

透过此例证我们可以了解到，命题、论证与作为发起者或观察者的实体，本身并无必然连系，而是与发起者或观察者的角色有所关联。当命题或论证还不存在时，并不影响实体的存在；当命题或论证存在之后，它与实体之间的关系就通过发起者或观察者的角色联系起来了。

实体本身并不因发起者或观察者的角色而产生变化，但是他们的角色也并非是一成不变的。命题 1 的发起者实体 A，同时也可以是由实体 B 发起的命题 2 的观察者，这样的情况实际上非常普遍。

在加上了发起者和观察者之后，模型就变为了如图 17 所示。



(图 17，加入发起者与观察者后的“论证-命题-概念”模型示意图)

3.2.2 发起者申明与观察者响应

1.

作为信息的容器，逻辑信息网络可以装入任意信息，同时不应左右其内容。无论装入的是命题还是论证，或是与之相关的其它对象，所有这些都应取决于发起者的“申明”（**declaration**）与观察者的“响应”（**response**）。

命题或论证的对象都是由确定的发起者来建立的。发起者同时需要申明命题的真值或论证的有效性，或许还包括与之相匹配的命题、论证的条件或属性等等。一个由发起者提出的论证或命题，代表的是发起者实体自身的一个观点。它可以有特定的条件、特定的上下文背景，这一切都是与容器无关的，容器也不应对其加以限制。

发起者申明由他所发起的所有内容，而观察者则对观察到的内容作出相应的回应。观察者可以肯定或否定所观察到的一个命题，也可以对一个论证作出有效或者无效的断定，这也是代表观察者实体自身的一个观点，也是与容器无关。

每一个观察者都与一个发起者相对应，因为发起者总是优先于观察者而存在，没有发起者提出命题或论证，也就不存在与之对应的观察者。一个命题或论证可以没有观察者，但是必然会有一个发起者。一个命题或论证也可以有不止一个观察者，每一个观察者对于论证的反馈可以不尽相同。

相同的语句或者语词陈述，由不同的发起者提出，可以是在表达并不相同的内涵。同时，对于每一个观察者来说，他们对于这些陈述所理解得到的内涵也可能是不同的。因而，针对发起者的陈述，观察者之中可能会有肯定的反馈，也可能会有否定的反馈。

不同的看法或意见代表了争议性，不仅在生活中，在学术交流当中这也都是非常常见的。对于一些未知或前沿领域的研究，不同的学术流派会互相争论互相质疑，甚至可能出现完全相悖的观点，就如同爱因斯坦与玻尔之间的世纪论战那

样¹³。这些都是科学事业发展过程中的必然现象，也是推动科学进步的重要动力之一。而在学术争辩过程中产生的所有信息，都值得记录并保留在逻辑信息网络的容器之中，留与后人观察评判。

在许多真实场景中，发起者提出命题或论证的形式非常多样化。无论是论文、书信、报刊杂志等文字形式，还是口头表达、当面论辩的声音形式，亦或是通过电视、广播等传播媒体以及网站、互联网应用之类的数字化载体包装的形式，都是命题或论证作为信息传递的常见方式。而观察者在获悉命题或论证后，同样可以在不同的载体上表达自己对此的看法。发表评论文章、回复书信邮件、微博论坛留言、当面据理力争或附和等等，都是可以采取的方式。看法的内容，或是认可，即同样认为该命题为真或论证有效；或是否定，即认为该命题为假或论证无效；或是单纯地对该命题或论证提出一些评价意见；又或是对该命题或论证的陈述、条件等内容提出部分修改建议，并形成自己的观点。

2.

发起者可以申明命题，同时也就可以申明定义。而定义的目的是用来明确概念内涵，也就是说，申明了定义就等同于申明了概念的词项及其所对应的内涵。

在日常生活中，我们每时每刻都可能会触及到大量的概念，有看到听到的，有从自己口中说出来的。这些概念应该由谁来申明定义？通常来说，一般的通俗用语我们基本都是从学校、工作、生活、或者人际交往中学习得来。然而，这并不是正式地申明定义行为。这些用语被正式地定义，应该是在官方认可的词典当中。而在各种词典的背后，则有着出版社和众多编排人员作为其发起者。另外，在非通俗的领域，比如那些前沿研究领域中，是最容易诞生新概念的环境。这些

¹³ 在爱因斯坦和玻尔围绕量子力学问题的争论中，双方各执己见。由泡利（Pauli, W. E.）、玻恩（Max Born）、海森堡（Heisenberg, W. K.）等科学家组成的“哥本哈根学派”（Copenhagen School）站在玻尔一边，认为人类对于微观世界的物理过程，只能进行概率描述。而薛定谔（Schrödinger, E. R. J. A.）、德布罗意（de Broglie, L. V.）等人则支持爱因斯坦的世界观，坚信“这个世界是严格遵循因果律的，根本就看不到概率的影子”。并认为，当时只给出运动概率的量子力学还不完善，只是一种暂时形式。

新生的科学专业词汇及其释义尚未来得及被收录进词典，自然是由对应的研究人员作为其定义的发起者。

出版社编排人员和专业科研人员，作为申明概念定义的发起者，代表的是权威。但是也并不能说，只有权威的发起者才能申明定义，每一个独立的发起者都应该有申明属于自己的定义的权利。比如，我们可以给自己家的孩子或宠物起个昵称，或者在通讯录里将某个大厦标注为“公司地址”。只是，这些概念的影响范围小，受众以发起者自己为主。

除此之外，在网络上也经常会出现一些新兴的用语，例如：“**不明觉厉**”、“**佛系**”、“**蓝瘦香菇**”之类。这些用语既不是由权威发起者申明，也难以溯源其真正的发起者，只是在网络传播中逐渐被网民们所接受，继而成为了有一定受众范围的概念。

权威发起者可以申明官方定义，非权威的个体发起者也可以申明自己的定义，包括与权威申明相异的定义。例如，在美国职业篮球联盟(NBA)中，有一支叫“Dallas Mavericks”的球队，上世纪8、90年代进入中国市场伊始，球队官方并没有给出相应的中文译名。民间的球迷自发地将它译作为“达拉斯小牛队”，并逐渐得到普及和大多数球迷的认可。直至2018年，球队官方否定了这个译名，通过征集筛选后宣布将其队名中“Mavericks”的中文译名定为“独行侠”。

即使是权威申明的定义也未必是一成不变的，在漫长的岁月流逝中，旧定义可能会逐渐被新的定义申明所取代。事实上，“**maverick**”目前在牛津词典中的第一释义为：“**非正统的人、思想独立的人**”。而追根溯源，最初Maverick只是美国西部一位牧场主的姓氏，他以行事特立独行而著称，之后由于一些机缘巧合以及长期的语言演化，这个词就慢慢演变成了现在的这种含义。

3.3 信息元

3.3.1 信息元

从“论证-命题”模型，到“论证-命题-概念”模型，囊括了逻辑信息模型的大部分元素。这其中包括了概念及其属性，命题及其真值和条件，论证及其论据、结论、有效性和条件，定义和叙述等等。这些元素不仅完整地体现了一个论证的所有细节，而且它们本身也都蕴含着一定量的信息。我们可以将每一个含有信息的元素称为是一个独立的信息元（**information unit**）。

概念构成命题，命题构成论证。一个概念是一个信息元。一个命题，其本身可以是一个独立的信息元，也可以是多个概念信息元的组合。同样的，一个论证可以是多个命题信息元的组合，同时它也可以以一个单一信息元的形式而存在。

这里可以看到，命题和论证在模型中存在两种不同的形式。虽然逻辑内涵基本相同，但是它们作为模型中的对象来说，意义却是不同的。

3.3.2 原子性

在各类实际场景中，论证的形式千差万别。简单论证可以只有寥寥几十字；而复杂的论证则可以是多达上百万字的论文、著作等等。无论是简单论证也好、复杂论证也罢，它们都是由论证中最小的过程单元所组成。这个过程单元，在多数形式逻辑的观点中，被称为“推论过程”。一个论证至少包含一个推论过程，一个完整的论证过程是通过一个个微小的推论过程来组成的。

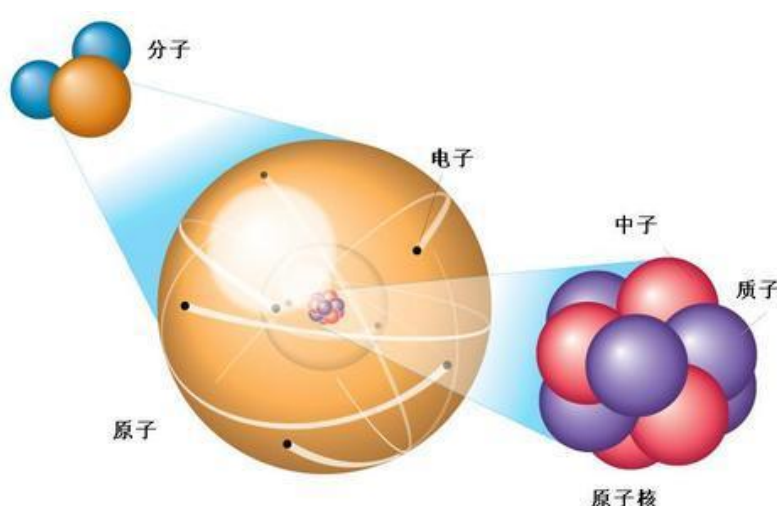
如前文中所述，一个朴素“论证-命题”模型的论证信息元，即只包含一个结论和至少一个论据的论证元素的组合，就对应了论证中的一个最小单元。对此，我们称其具有逻辑论证过程中的“原子性”（**atomicity**）。

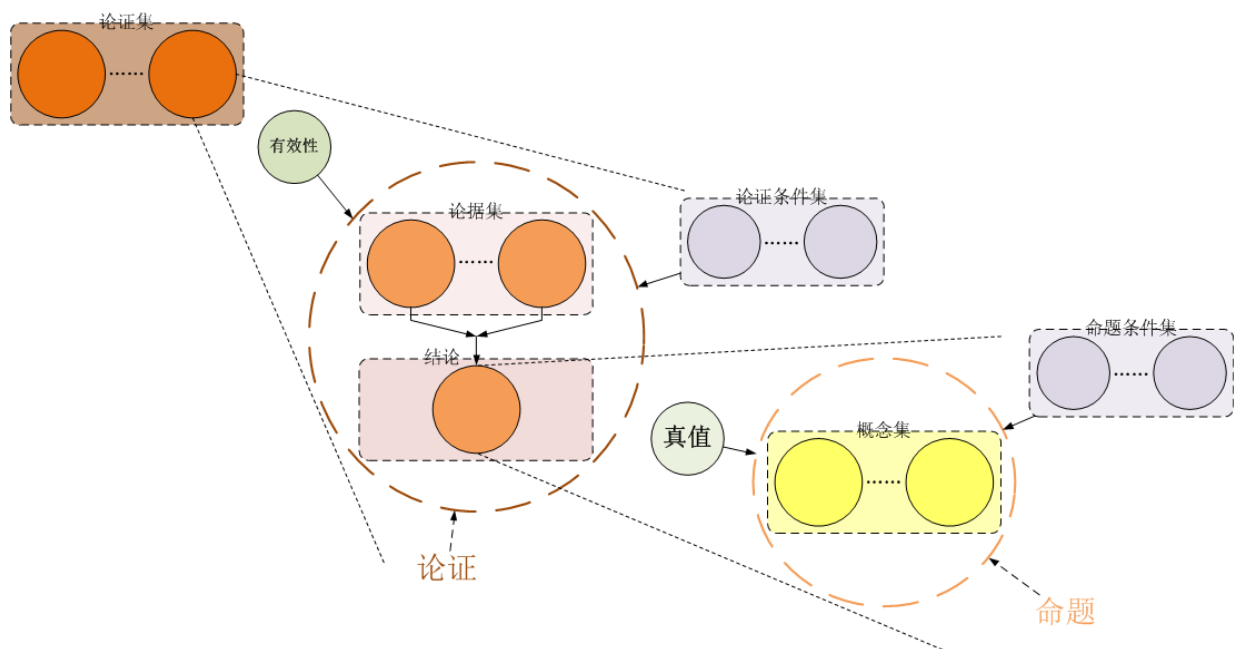
需要说明的一点是，这里所说的“原子性”，与计算机软件技术中常提到的事务“原子性”并不是一回事。事务“原子性”代表在一个事务过程中的所有操作，要么全部执行成功，要么全部都不执行。而此处的“原子性”则表示，该论

证单元具有论证的独立性，即在论证内涵无改变，且不变更任何相关信息元的情况下，这就是一个不可分割的推论过程。

相比于事务“原子性”，事实上，此处的“原子性”要更加接近于目前已知的原子特征。众所周知，原子是化学反应中不可再分割的基本微粒，但是在物理学的范畴当中则可以继续分割为质子、中子、电子乃至更小的夸克等微粒。与之相似的就是，一个朴素论证信息元作为最小的论证单元已不可再拆分，但是其作为信息单元，还可以从中分离出命题、概念、条件等更多类型的信息元。

另一方面，若干个原子可以组合成复杂的分子形态，分子是保持物质化学稳定性的最小单位。在分子内部，原子依旧能够保持其原有的原子核不被改变。同样的，若干个朴素论证信息元也可以在一起组合成复杂的论证信息元组。在信息元组中的那些信息元依旧保留其独立的内涵，在必要的时候也可以被拆解出当前的信息元组。





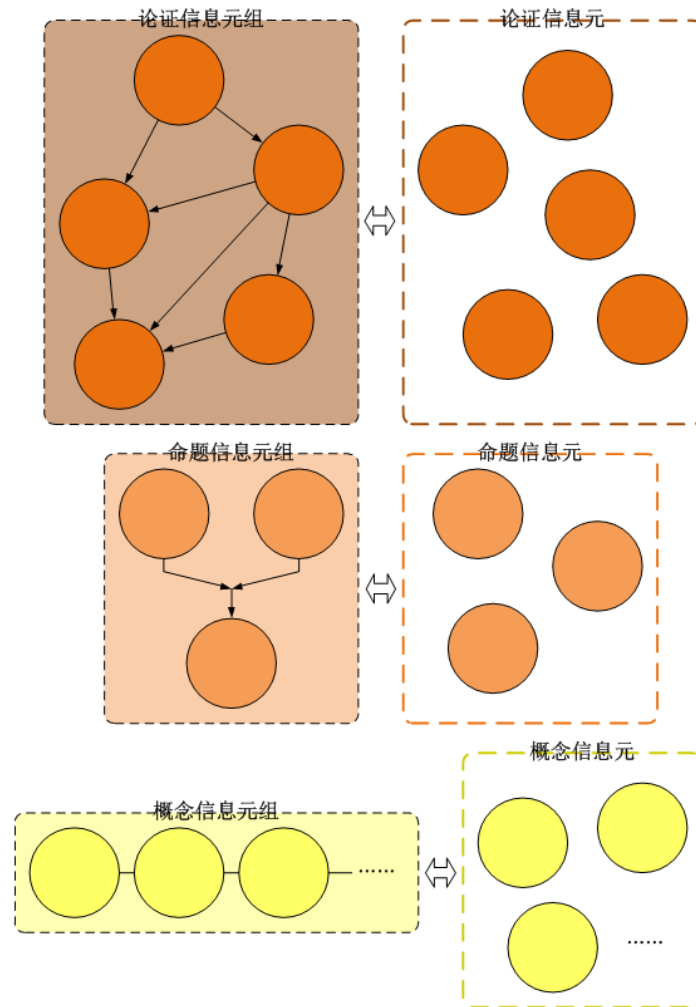
(图 18, 分子、原子、原子核图, 与信息元组模型示意图进行对比)

3.3.3 组合与拆解

在介绍信息元的原子性时, 我们提到了“组合” (assembling) 与“拆解” (disassembling), 这是信息元和信息元组之间的一对互为可逆的行为。

组合与拆解的行为可以用在论证的信息元和信息元组之间, 使得若干个简单论证的信息元可以被归入同一个信息元的集合当中, 并将此集合视为由这些简单论证的内涵共同作用形成的一个复杂论证的信息元组。反之, 对于一个由简单论证信息元组成的复杂论证信息元组来说, 也可以将其中这些简单论证信息元从集合中拆分出来。

除此之外, 组合与拆解还可以用于由若干命题信息元组成的简单论证的组合, 或是由若干概念信息元组成的命题的组合等多种信息元之间的场景。



(图 19, 论证信息元组、命题信息元组、概念信息元组的组合与拆解模型示意图)

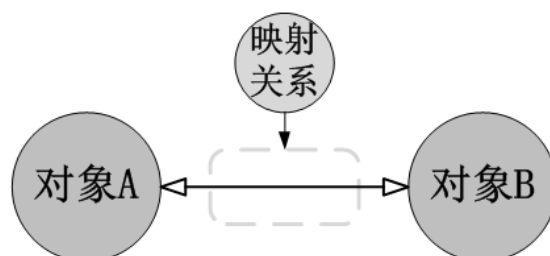
3.4 信息关系

每一个信息元都是独立的，但是信息元与信息元之间可以是有关联或关系 (relation) 的。

3.4.1 映射关系

1.

“映射关系”（mapping）是指在任意两个（也可能是两“类”或者两“组”，数量有时也可以是多于“两”个）独立的对象或事物之间，可以建立起来的一种对应或者联系。



（图 20，“映射关系”模型示意图）

当发起者试图建立这种关系时，就要为这种关系中的两个对象设定适当的关联，这种关联通常是通过某种相似性联系起来的。比如，**时钟和轮胎的侧面看上去都是圆形的**，**太阳和白炽灯都会发光**，**猎豹和犀牛都是用四条腿奔跑**，等等。

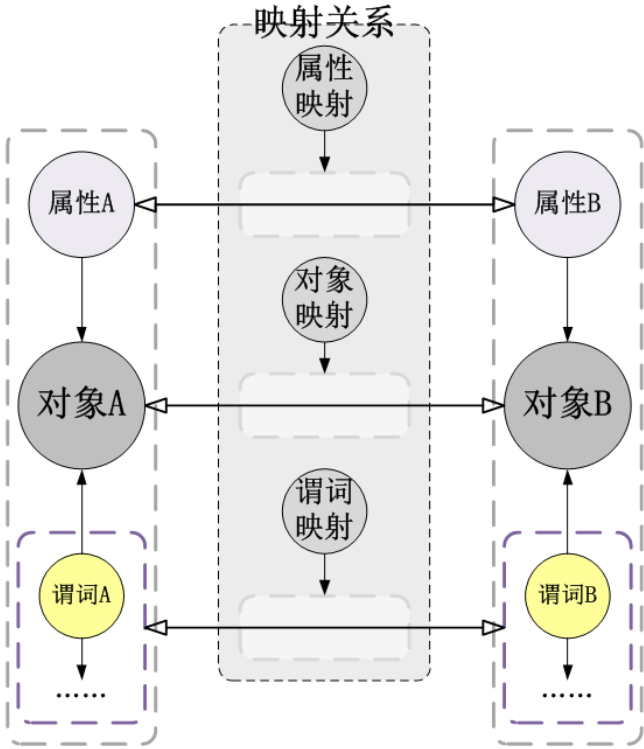
2.

映射关系在自然语言中，时常体现在比喻、隐喻等修辞手法之中。有人形容，“**人生是一段旅程**”，或者“**商场如战场**”；又有人因为 RH 阴性血型异常罕见，称其为“**熊猫血**”。这些修辞手法不仅能够帮助提升文学价值，更重要的是，它们还反映出了不同事物之间在某种程度上的相似性。之所以能够反映事物之间相似性就在于，比喻或隐喻本身都隐含着对这些事物及其属性的比较，也就是“类比”（analogy）。类比是比喻或隐喻的基础，通过对不同事物的类比，方可明确它们之间的联系与相似性。

在传统逻辑中，体现映射关系最频繁的逻辑推理形式就是基于类比的推理，也就是“类比推理”（analogical reasoning）。类比推理，通常是以两个或两类对象在其许多属性上都相似或相同为出发点，同时又已知其中一个（类）对象还有其它特定属性，由此推断出另一个（类）对象也可能具有同样或类似特定属性的结论。

举个例子来说，地球与火星同属于太阳系内的行星，它们之间具有许多相同的属性，譬如都是围绕太阳公转、绕轴线自转，都有大气层，一年中都有季节变更，温度都比较适合部分已知地球生物生存，等等。最后根据地球上生命存在这一特殊属性，可以推测，火星上也可能存在着生命迹象。

在这样的类比推理中，存在着多组映射关系，有研究者根据其中不同的映射特征，将其划分为：“属性映射”、“谓词映射”¹⁴等类别。属性映射，指的是处于映射关系中的两个概念对象，各自存在着具备相似性的属性。例如，地球和火星的“大气层”属性都是“存在”，时钟和轮胎的“平面投影形状”属性都是“圆形”。而谓词映射，则是指两件不同的事物对象中，各自的对象所实施的行为，也就是对应的谓词，具有一定的相似性。例如，地球和火星都相对于各自的轴线作“自转”，太阳和白炽灯都会“发光”。正是由于这些相近甚至相同的属性和谓词，才使得这两个（类）对象之间产生一定的关联。



（图 21，类比推理中的“映射关系”模型示意图）

3.

¹⁴ 出自《逻辑学视域下的类比推理性质探究》一文，文中作者将此称作“关系映射”或“谓词关系映射”，为避免引起歧义，在本文中将其定为“谓词映射”，特此说明。

在离散数学中，特别是集合论里，“映射”与“关系”也是其中两项重要的术语。不过，这个“映射”与“关系”并不等同于逻辑信息模型中的“映射关系”，虽然它们彼此之间也存在着一定的关联。无论是“映射”、“关系”，还是“映射关系”，它们都牵涉到两个或两类对象，都表达出这两个（类）对象之间的某种依赖关系。

“关系”在数学领域中主要指的是最基本的二元关系，其形式为一组有序对（或称“序偶”）的集合。这些有序对中的元素分别来源于另外两个集合，二元关系反映的就是这两个集合之间的一种联系。

而在符合“映射”所反映之对应关系中的两个集合，其中一个集合中的每一个元素，在另一个集合中都存在唯一的元素与之对应。对应关系的形式可以是一组有序对，也可以是通行规则（一般记作 $f: X \rightarrow Y$ ，或是 $y=f(x)$ ，其中 X 、 Y 为两集合， x 、 y 分别为集合 X 、 Y 中的元素）。

不难看出，映射与二元关系连接的两个（类）对象都是有先后顺序的，就如同有序对 $\langle x, y \rangle$ 与 $\langle y, x \rangle$ 并不相等。因为存在定义，将二元关系集合中所有有序对的左元素所构成集合称为二元关系的定义域，右元素所构成集合称为二元关系的值域，由此左右元素在意义上就有了区分。

而映射关系则不同，它仅仅维持两个（类）对象之间的连接。然后在具体被应用的过程中，由应用方式来抉择，是否确定该映射关系的顺序。例如，在作比喻时，基于发光的特性，我们可以将太阳比作空中的白炽灯，也可以将白炽灯比作室内的太阳。当然，在类比推理中，为了从已知对象的特定属性出发，推断出另一对象的未知属性，这个过程映射关系一般都带有明显的顺序（或称推理导向性）。

其次，狭义地来看，映射与二元关系只是用来表示两集合之间元素的联系，虽然这些元素也可能不是数学领域中的数字和符号，但是它们的表达形式始终需要遵从于集合论范畴中的那些符号语言模式。二元关系可以表示为两个集合 X 、 Y 的笛卡尔积形式，即 $X \times Y$ ；也可以用形如 “ $\{\langle x, y \rangle \mid x \in X \wedge y \in Y\}$ ” 的有序

对集合的形式来表示；或者还可以采取枚举集合的形式来表示，例如“ $\{\langle x_1, y_1 \rangle, \langle x_2, y_2 \rangle, \langle x_3, y_3 \rangle\}$ ”，等等。

而在映射关系中的对象，则完全没有这些限制。其类型所涉领域可以是任意领域中的所有信息类型，也包括数学领域；表达形式则可以完全以自然语言形式来描述，同时也能够兼容符号语言的表达。

在数学定义中，映射与二元关系有着明显的关联，映射是有限定条件的对应关系，而二元关系是不加限定的任意两集合之间元素的对应关系，我们可以把映射看作是一种特殊的二元关系。

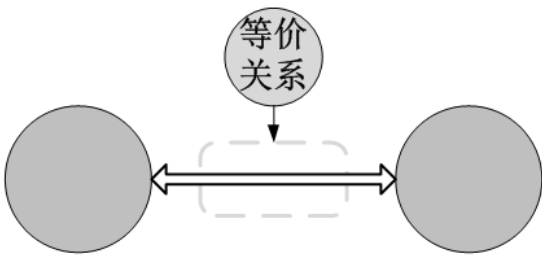
而处于映射关系中的两个（类）对象更为自由灵活，甚至没有需要作为集合元素的限制。无论是从范围也好，表述形式也好，映射关系都可以兼容二元关系，因此，二元关系也可以被看作是映射关系的一种特殊形式。

3.4.2 等价关系

1.

在所有的映射关系当中，有一类比较特殊的情况，就是当处于映射中的两个（类）对象完全对等的时候，这种情况我们可以称之为“等价关系”（equivalence）。

所谓等价，即完全对等，等价的两个对象，内涵不同，但是作用相同，彼此可以相互证明推导。



（图 22，“等价关系”模型示意图）

例如，在统治了几何学 2000 余年的欧几里得（Euclid，古希腊文：Εὐκλείδης）巨著《几何原本》（古希腊文：Στοιχεῖα）中，提出了作为欧式几何公理体系基础的五大公设和五大公理，其中的第五公设^{*15}，一直备受争议，被认为表述过于冗长，不够简明清晰。在很长一段时间内，数学家们一直在试图寻找其替代公设，相继出现了“如果四边形的三个内角是直角，那么第四个内角也必定是直角”、“两相交直线不能同时平行于第三条直线”、①“过直线外一点，有且仅有一条直线与该直线平行”等不同的命题，被证实能够与第五公设相互证明。最终，由于命题①最为简洁明了，此后被各国教科书普遍采用，作为代替第五公设的表述形式，也称为“平行公设”（parallel postulate）。这些命题与第五公设，被认为是彼此等价的，也就是说它们之间存在着等价关系。

2.

传统逻辑并没有针对等价关系的形式研究，也没有特定的等价联结词，自然语言中的“是”、“等同于”、“和……一样”等都有可能作为处于等价关系中的两个对象的联结词。

然而在数理逻辑中，就发展出了较为完整的等价关系形式体系，也有专门用于表达等价关系的联结词。符号“ \leftrightarrow ”是命题等价的联结词^{*16}，符号“ \Leftrightarrow ”是命题真值等价^{**17}的联结词，而符号“ $=$ ”则是用来作为概念等价的联结词，等等。当然符号“ $=$ ”并不仅限于数理逻辑范畴，更多的是出现在大部分其它数学领域，被用来表示以数字或符号的形式代表概念对象的概念等价。

3.

值得注意的是，在集合论二元关系中也存在一种称为“等价关系”的概念。这种等价关系指的是，当某集合上的二元关系满足自反性、对称性、传递性三个

¹⁵ 《几何原本》中的第五公设：“同平面内一条直线和另外两条直线相交，若在直线同侧的两个内角之和小于二直角的和，则这两条直线经无限延长后在这一侧一定相交。”

¹⁶ *由符号“ \leftrightarrow ”连接的命题表达式在数理逻辑中也称为“等价式”。

¹⁷ ** “命题真值等价”在数理逻辑中也称为“等值”。

条件时，这个二元关系即被称为等价关系。这是集合论里的一种特定概念，定义这种概念的目的是为了进一步引入“等价类”、集合的“划分”、“商集”等概念。这与逻辑信息模型中的等价关系没有任何相关性，在这一点上，它和二元关系与映射关系之间的联系不同。

3.4.3 因果关系

1.

逻辑信息之间最重要的联系，就是推导关系。

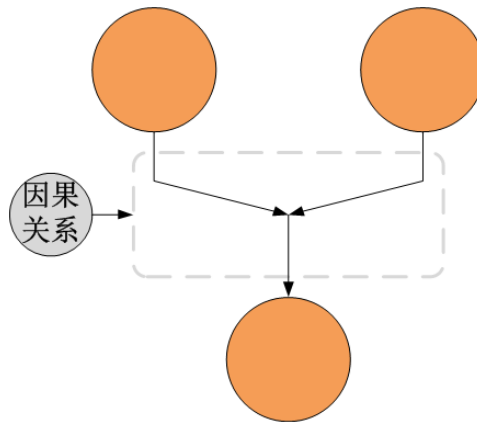
《形式逻辑基础》一书中认为：“从结构上说，推理由前提、结论和推导关系三个部分组成。……对一个演绎推理来说，由前提合乎逻辑地推出结论的方式，称为推导关系，或推理形式。”*¹⁸可以看出，推导关系是将推理中的前提和结论联系在一起的那种关系。对应到逻辑信息模型中就是所属于论证信息元中的属性，即担当论据和结论角色的那些信息元之间的联系。在模型中，我们称其为“因果关系”（causality）。

怀疑主义哲学的代表人物，18 世纪的英国哲学家大卫·休谟（David Hume）曾说道：“关于实际事情的所有推理，似乎都建立在原因和结果的关系之上。”*¹⁹因为“原因”，所以“结果”，“凡事物开始存在必然有其存在的原因”，这是推理过程中最基本的规则。有了这样一层关系，我们在任意一个论证当中，就可以据此把作为论据和结论的命题集联系到一起。只要一个论证已然形成，这种关系就在其内部天然存在。一旦这种因果关系被打破，我们即可认为这个论证是无效的。

¹⁸ 摘自《形式逻辑基础》，朱志凯主编，复旦大学出版社，第 112 页。

¹⁹ 摘自《逻辑学导论（第 13 版）》，第 543 页，该句译自《An enquiry concerning human understanding》（人类理解研究），休谟著，SECTION IV: Sceptical Doubts concerning the Operations of the Understanding（关于理解行为活动中的一些怀疑），PART I, Paragraph 4：“All reasonings concerning matter of fact seem to be founded on the relation of Cause and Effect.”。

原因和结果的关系，并不像那些映射关系中可以用来相互做类比的事物，处于同一等级，它们之间往往有明显的先后顺序，先有因而后有果。



(图 23, “因果关系”模型示意图)

2.

“因果关系”，也即推导关系，是逻辑推理中的重要组成部分。

19 世纪，英国哲学家约翰·密尔（Mill, J. S.）曾在他的《逻辑学体系》（A System of Logic）一书中，就分析探求因果联系提出过五种方法，被称为密尔方法。^{*20}不过需要注意的一点是，密尔方法中所提到的“因果联系”或者“因果律”，并不等同于逻辑信息模型中的“因果关系”。

所谓“因果联系”或“因果律”指的是，客观事物之间的一种普遍内在联系和相互作用形式，也就是作为一个有机整体的客观世界内所有个体表象与其内因之间的必然规律。世界上出现的任何现象都存在与之相应的缘由，大到天体运转，小到原子核变，生物繁衍生息，风云变幻万千，无一不是有果必有其因。在休谟之前的传统哲学观点普遍接受这种客观必然的因果联系。然而休谟却认为，我们并没有什么证据和理由可以证明其真理性。一切看上去必然为真的命题，即具有直观的“确实性”，只是由于它们存在于我们的主观思想之中。

²⁰ 密尔方法，归属于归纳推理，即求同法（也有称契合法，The Method of Agreement）、求异法（The Method of Difference）、求同求异并用法（也有称契合差异并用法，The Joint Method of Agreement and Difference）、剩余法（The Method of Residues）、共变法（The Method of Concomitant Variation）。

这一点并不难理解。自然界客观事物间的相互作用，独立于人类主观思想观念之外，就如同“薛定谔的猫”^{*²¹}一般，被关在独立的密闭容器里，我们只是能看到客观事物的变化，但不能直接看到它们背后的联系。我们所感受到的那种联系，只是我们在自我的主观世界里将它们关联到了一起。

因为，我们每一个人作为具备自主认知能力的思维主体，在获悉反映客观世界现象的信息之后，事实上它们就已经融入了我们的主体认知体系当中。当我们在“直观地”判断某一事物或命题时，并非是所谓的毫 不受任何影响的“本能直觉”，也不是客观世界给予的直接反馈，而是已经在我们的意识里进行了“加工”。这种“加工”不可避免地会受到我们既往认知当中已接收信息（即为经验）在一定程度上的影响，而这种影响就决定了，我们观念里的那些关于事物间因果关系的知识及其“确实性”，不可能是经由所谓先验的推理来获得，而是来自于过往经验的积累。

正如休谟在其著作《人性论》中写道：“**我们对于原因与结果（之间的关系）唯一的理解，是来自于某些始终连系在一起、并在过去一切事例中都不曾发现分离的那些对象。我们无法洞察这种连系的缘由。我们只观察这些事物本身，总是发现，通过这种恒常的连系，这些对象在我们想象中获得了一种相互结合。**”^{*²²}

从休谟的观点可以看出，他并非是质疑客观性因果联系本身，而是对于如何无损地获得客观性因果联系的知识表示疑问。

既然从认识论的角度来看，人类无法跳脱受经验影响的主观性因果联系，直接认识经验以外的抽象本体，那么在识别或者传播当中，这种因果联系的知识内

²¹ “薛定谔的猫”（Schrödinger's Cat）是奥地利著名物理学家薛定谔提出的一个思想实验，是指将一只猫关在装有少量镭和氰化物的密闭容器里。镭的衰变存在几率，如果镭发生衰变，会触发机关打碎装有氰化物的瓶子，猫就会死；如果镭不发生衰变，猫就存活。根据量子力学理论，由于放射性的镭处于衰变和没有衰变两种状态的叠加，猫就理应处于死猫和活猫的叠加状态。这只既死又活的猫就是所谓的“薛定谔的猫”。

²² 该译文源自《A Treatise of Human Nature》（人性论），Book I: Of the understanding（第一卷 知性），Part iii: Of knowledge and probability（第三章 知识和概然推断），Section 6: Of the inference from the impression to the idea（第六节 从印象到观念的推断），“We have no other notion of cause and effect, but that of certain objects, which have been always conjoined together, and which in all past instances have been found inseparable. We cannot penetrate into the reason of the conjunction. We only observe the thing itself, and always find that from the constant conjunction the objects acquire an union in the imagination.”

涵，势必会受限於每一个主体认知水平的差异。就是说，对于同一个客体现象及其内因，我们每个人的理解往往都不尽相同，另外在描述的时候也很可能会有差别。

既然如此，这里就存在着一个问题，即我们哪一个主体的意识可以完全反映客观规律呢？这是一个无法给出确切答案的问题。因为即便是那些被公认为最具有智慧的科学巨匠们，也无法确保自己的所有观点都能够真实完整地印证客观规律。就譬如，亚里士多德、托勒密（Claudius Ptolemaeus，古希腊文：Κλαύδιος Πτολεμαῖος）等人支持的“地心说”，在 16 世纪被哥白尼（波兰文：Mikołaj Kopernik）以更精确的天文观测数据所驳斥，继而被“日心说”取代；到了 20 世纪早期，沙普利（Harlow Shapley）和哈勃（Hubble, E. P.）又相继测算出太阳并非位于银河系的中心，而且银河系也不是宇宙的全部，就此翻过“日心说”，带领人类迈入现代宇宙学的时代。

所以说，当我们将已融入主体认知的信息再次反馈出来时——无论是口述或书写的语言、还是借助肢体动作或是表情，它首先反映的是我们的主观意志，而非客观规律。无论我们自认为表达的内容有多么客观，从本质上来说它都是在主观上所得出的“因果关系”，依然存在异于客观世界真实规律的可能性。

同样，在由发起者申明的逻辑信息网络中，“因果关系”反映的也是发起者主观意识中对于客观因果的判断，而非绝对客观世界的因果规律。

3.

逻辑推理映射于逻辑信息网络中的论证对象是由发起者申明而来，同样，论证中的因果关系及其类别也是来自于发起者的申明。

我们都知道，在逻辑推理当中是根据论据对结论的支持程度来分为演绎与归纳两大类，其中的区别并不在于论据和结论，而是在于“因果关系”。除了五种密尔方法之外，前人还总结过演绎与归纳的推理中常用的一些其它分析方法，主要有传统演绎逻辑中的三段论方法^{*23}，归纳逻辑中的枚举、类比、假说、概率统

²³ 三段论方法，主要指的是直言三段论，在传统逻辑中曾总结出直言三段论的 19 种形式，后经由数理逻辑将其谓词化后缩减至 15 个有效形式。

计，以及数理逻辑中提出的真值表、文氏图、19 条逻辑推论规则等等。这些方法也可以用于辅助发起者来判断其所申明论证的类别。

例 16:

“我们居住的地球和其它行星（土星、木星、火星、金星和水星）……均围绕太阳旋转，……均从太阳那里获得光，……均受制于万有引力定律，……根据所有这些相似，认为这些行星可能与我们地球一样，有不同等级的生命存在，这不是不合理的。”*²⁴

比如在例 16 中就运用了归纳逻辑中最常见的类比方法，将“其它行星”类比作“地球”来推测它们的规律，因此我们就可以认为这段论证中的因果关系是基于类比的。又由于逻辑学中研究认为，在类比论证中论据对于结论的支持是或然的，我们不能按“有效”或“无效”来区分其有效性，故而只能通过申明有效概率或是有效程度的描述来刻画它。

又比如，在前文中，例 1、例 9、例 10 这些论证都是运用了演绎逻辑中典型的三段论方法，它们中间的因果关系可以认为都是基于演绎推理三段论的。因此，这些论证的有效性我们是可以直接用“有效”或者“无效”来描述它们的。

4.

因果关系不仅存在于论证当中，也可以存在于一种特殊的复合命题——即假言命题中。

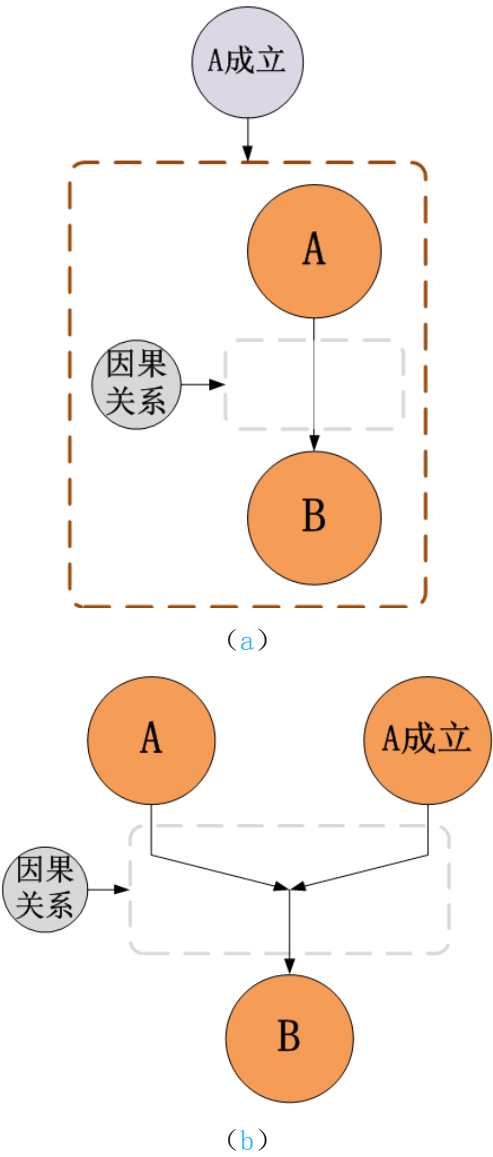
当假言命题满足其命题前件为真的条件时，其命题后件也为真。换一个角度来说，在某个假想条件（即命题前件成立）下，命题前件是作为命题后件成立的前提而存在。或者也可以说是，命题前件的成立，与命题前件本身，两者共同作为命题后件成立的前提。

形如“如果 A，那么 B”这样的假言命题，可以在不改变内涵的情况下，转换为“在假定 A 成立的条件下，因为 A，所以 B”这种形式的论证（见图 24a），或是“因为 A，并且假定 A 成立，所以 B”（见图 24b）。

²⁴ 摘自《逻辑学导论（第 13 版）》，第 513 页。

就像“如果把一张蓝色石蕊试纸放入酸液中，那么这张试纸会变红。”这一命题所表达出的信息涵义，与“假定有一张蓝色石蕊试纸和酸液，因为把这张试纸放入了酸液中，所以它会变红。”这段推论等价。

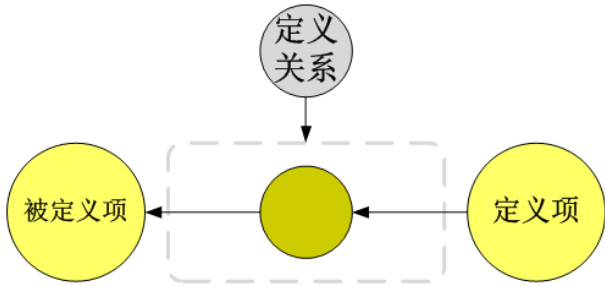
因此，我们可以看出，命题前件以及命题前件成立的假想条件，与命题后件之间存在着的因果关系。



(图 24，存在假想条件的“因果关系”模型示意图)

3.4.4 定义关系

基于“因果关系”这样的一种关系对象，我们可以将多个命题信息元组合成论证的信息元组。类似的关系和信息元组合的形式，在逻辑信息模型中还有不少，譬如前文中提到过，在一个定义行为中，由定义联项连接的被定义项与定义项之间，也必然存在一种联系。这种联系将作为被定义项和定义项角色的两个概念信息元关联到一起，我们称它为“定义关系”（defining）。



（图 25，“定义关系”模型示意图）

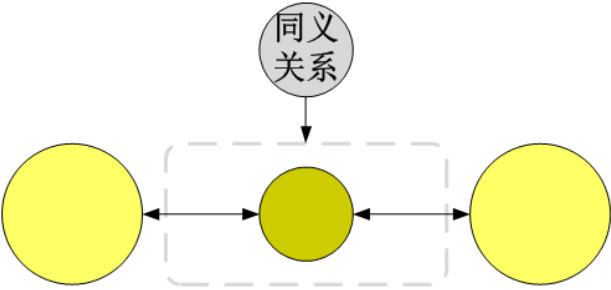
处在定义关系中的两个概念信息元之间并不是同等角色的关系。定义项的存在是为了明确被定义项的内涵，在这两者中被定义项处于主导地位，定义项是被定义项的附属，两者之间具有“从属关系”（affiliation）。基本上，定义项中的内容都适合作为被定义项的属性而存在。例如，“交通工具”是“机动车”的属性，“天体”是“行星”的属性，“文学家”是“鲁迅”的属性。被定义项的每一项属性都是用来描述被定义项的某种性质，可以是外观、内质、功能、行为等等。所以确切地说，定义项以描述被定义项某些性质的方式来作为被定义项的附属，这就是两者从属关系的具体表现形式。

大部分情况下，被定义项与定义项之间的从属关系是确定且稳固的。就像我们说“狮子是猫科动物”，但不说“猫科动物是狮子”。因为在普遍的认知当中，“狮子”和“猫科动物”的内涵不同，外延也不对等，“猫科动物”可以作为“狮子”的属性，而“狮子”却不能作为“猫科动物”的属性。

当然也并非所有被定义项与定义项之间的从属关系都不可逆转。比如“水是化学式为 H_2O 的化合物”，如果把该定义中的定义项与被定义项相互调换，就形成一个新的定义表达“化学式为 H_2O 的化合物是水”。不难看出，这个新的定义同样是成立的。究其原因就是，“水”和“化学式为 H_2O 的化合物”两者虽然表达的内

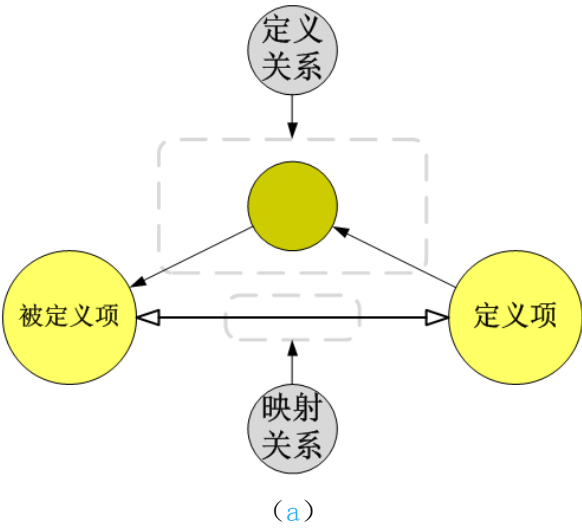
涵不同，但是外延是对等的。这就是定义关系当中，除了从属关系之外的“同义关系”（synonymy）。

处在同义关系中的两个概念信息元，彼此都可以以定义项的身份，作为对方的附属，同时也可以担任对方的属性。这就相当于是两个相互对应的从属关系叠加之后，形成了一个同义关系。

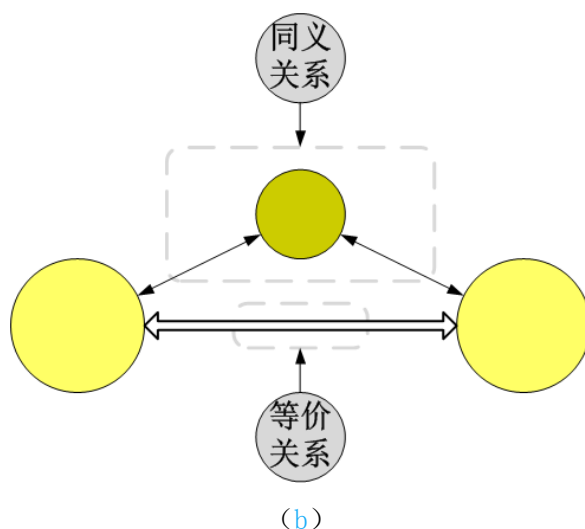


（图 26，“同义关系”模型示意图）

作为定义项与被定义项的两个概念之间存在着的从属关系将两者联系到一起，这本身就是它们之间某种映射关系的体现（见图 27a）。而处于同义关系中的两个概念之间存在的，是一种对等的映射关系，也就是等价关系（见图 27b）。



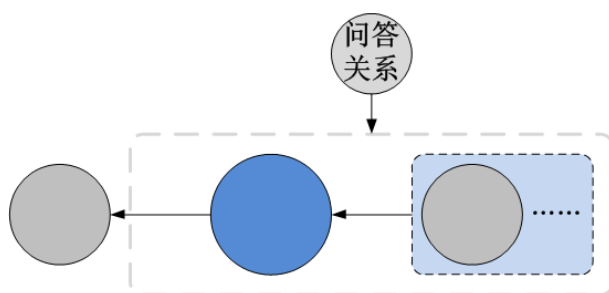
（a）



(图 27, 定义关系中的映射关系, 以及同义关系中的等价关系模型示意图)

3.4.5 其它关系

信息元与信息元之间的关联方式有很多种, 除了上文中提到的映射、等价、因果、定义等关系之外, 还可以有诸如将疑问对象、疑问目标对象和解答对象三者联系起来的“问答关系”(D & E), 命题或论证对象与其所属的条件对象之间的条件关系(**conditional**), 以及在后续文中还会提到的逻辑信息模型中的其它一些关系。



(图 28, “问答关系”模型示意图)

另外, 作为发起者, 还可以在逻辑信息网络中, 基于信息内容或者现有的信息关系来建立自拟关系(**customization**)。例如, 可以在同义关系的基础上构造出与之相对应的“反义关系”(antonymy)或者“近义关系”(near-synonymy)。这需要试图构造关系的发起者来申明符合该类关系的标准。

又比如，可以在对象的映射关系基础上，结合所映射元素（对象、或对象的属性）之间的相关性质，进一步构造出“比较关系”（**comparison**）。比较关系的核心主要是“大于关系”（**greater-than**）和“小于关系”（**less-than**）这两种。其它的性质比较，诸如高低、远近、轻重、快慢、明暗、美丑、善恶、优劣、成败等等，都是基于这两种关系，并结合不同属性而衍生出来的。这样的衍生关系可以有无数种。

还有，除了在逻辑关系中存在因果、条件等关系之外，从语言学的角度来说，一般语句中的语义关系里也包含有这些关系。不仅如此，基于语言表达的特性，一般语句中还可以存在并列、转折、递进、选择、让步等等多种语义关系，用以描述其众多分句之间的不同关联。一般语句中的分句与分句之间有其语义关系，段落中的句与句之间也有其语义关系，就连一篇文章中的段落与段落之间也可以有各自独特的语义关系。这些语义关系，连接文章中的不同成分，撑起了整个文章的结构，同时也反映出文字间一定的逻辑关系。

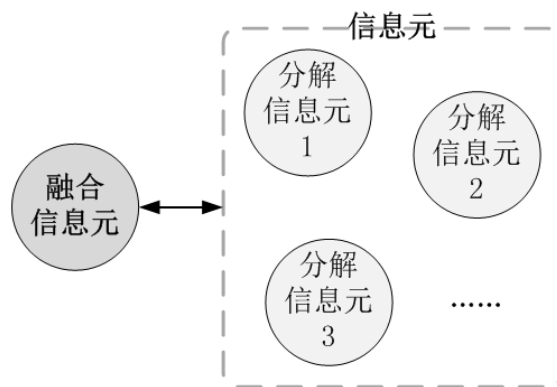
3.5 信息段落

3.5.1 融合

在多个信息元之间（或者信息元和信息元组之间），除了组合与拆解之外，还可以存在称之为“融合”（**fusing**）与“分解”（**separating**）的行为。

融合、分解之间的关系，与组合、拆解之间的联系有着相似之处。多个简单独立的信息元融合后得到复杂的信息元，复杂的信息元也可以分解出更多的简单信息元。²⁵然而，融合与分解并不像组合、拆解那样，是互为可逆的行为。因为它们的行为结果是生产出新的信息元，而并非如同组合、拆解那般，仅仅是围绕着信息元之间一种“松散”的联系而展开的。

²⁵ 这里所说的“简单”和“复杂”只是一组相对的概念表达。



(图 29, 信息元的融合与分解模型示意图)

将一个朴素论证的信息元组其中所有的元素,在不改变其内涵的基础上,整合成一个完整、独立的论证信息元的内容,这就是一种最为简单的融合方式。复杂一些的融合场景可以是,将若干个论证信息元,连同一些其它类型的信息元,整合在一起形成更为复杂的信息元。这样的信息元,从形式上来说,可以是以“学术论文”或者“研究报告”的形式存在,也可以是“新闻报道”或是“演讲稿”等等。而从本质上来说,它还是论证信息元,只是结构上更为复杂。我们也可以给它一个新的名称,称其为“论证段落”(argument section)。

3.5.2 信息段落

论证段落可以简单地理解为,是由若干组论证自由融合形成的扁平文本形式。它可以被看作是论证信息元的不同表现形式中的一种,或者可以称之为论证信息元的一个子类型。这样的定义方式是面向对象思想中典型的泛化关系的体现。

然而,基于前文中所述“发起者申明”的设定,落到实际应用场景,一个论证段落中可能存在的内容可能会非常复杂。这其中可能包含的是若干组论证的融合,或是若干独立命题的融合,也可能是命题、论证以及其它信息元的融合。甚至还可能融合一些并不符合我们目前设定的这些信息元类型所对应内涵的内容,例如一些被认为是非命题的语句、或者谬误等等。这样的段落已然跳出了逻辑“论证”本身的范畴,然而却具备极佳的信息包容度,其内涵的形式也可以变得丰富且多

变。信息包容度强对于论证段落来说就意味着，大部分情况下它可能比单一的信息元拥有更丰富的内涵，也就是说可以传达更多的信息。

在信息量上可以与论证段落对等的是“组合”行为的产物——信息元组。信息元组是在逻辑信息网络中的多个元素共同形成的一种立体呈现。与其对比，论证段落则像是将其投射在扁平维度上所对应的一个独立的元素。这个独立元素糅合了若干信息元的内涵，这样的内涵未必是单纯地体现一个或多个论证，但是必然涵盖大量信息。从这个角度来说，或许称之为“逻辑信息段落”（logical information section）或是“信息段落”（information section）会更为恰当一些。

一个信息段落不仅可能包含若干不同类型的信息元，也可能仅含有单一的信息元，不论它是一个论证还是一个命题，或是一个概念，甚至是一个发起者对象。所以，一个信息段落既可以看作是一个信息元（在某些情况下），同时也并不完全等同于信息元。由此不难预见，在由信息元构成的逻辑信息网络当中，信息段落也具备与信息元相似的结点特质，即可以与其它信息元或信息段落建立起各种联系，共同构建逻辑信息网络。

信息段落是逻辑信息模型中，除信息元之外另一个重要的组成元素。它的特质，对于在之后章节中所提到的逻辑信息网络的其它特点来说，至关重要。

3.5.3 分解

与融合相对，分解是将一个信息段落——或者信息元，下文中将合称这两者为“信息元素”（information element）——的内涵中一部分内容分离出来，并以此为内涵构建出新的信息元素。

例如前文中的例 4，整段内容是一个复杂论证，当然同时它也可以就是一个信息段落。将其中④⑤⑥⑦分解出来，就是一个完整的简单论证。若将②单独分解出来，它就是一个独立的命题。若把“宇宙大爆炸理论”、“天文学家”、“星系团”、“光速”等这些内容分解出来，就是一些概念。而若是把①②或是⑤⑥

分解出来——当然也可能是其它形式的组合，那这就是一个普通的信息段落，而非论证或命题等其它类型的信息元。

由此不难看出，被分解的源信息元素和分解后的目标信息元素都具备类型多样性，并不局限于某一种单一的信息元类型。

另外，分解形成的信息元素是全新且独立的，并不属于原信息元素的一部分。但是作为分解行为的源和目标，它们之间必然存在事实的内在关联。我们可以把这看作是信息元素之间的一种内在的、非自定义的“关系”，姑且称之为“溯源关系”（source-target）。这种关系并不局限于分解行为中的源和目标元素，同样也可以存在于融合行为之中，甚至是其它生产新信息元素之行为的源和目标元素之间。

这种反映信息元素之间类似“原料”与“产品”的关系，可以帮助更快地定位到“产品”之“原料”所在以及其组成，提供不同以往的信息检索方式，有利于基于信息检索的众多实际应用。

四、逻辑信息模型

前两章分别从逻辑学与信息学的角度阐述了模型的结构组成，把这两部分内容合并到一起就构成了完整的逻辑信息模型。不过，如果是仅此而已的话，那么这样一个模型其实还存在着一些缺陷和不足之处。本章将从由逻辑和信息相结合的几个方面来做出一些设定和规范，以此来促进该模型更加完善。

4.1 完备

完备(**completeness**)就是完全性,对于一个用于构建信息系统的模型来说,就是逻辑自洽,没有形式缺陷,这一点是非常重要的。

就如同在上一章中,由于“逻辑信息元”并不足以涵盖所有信息形式,于是引入了“逻辑信息段落”的概念;然后为了统一信息元与信息段落,又引入了“信息元素”的概念。至此,从信息角度来说,这一方面的漏洞是被填补了。

然而,逻辑与信息这是两个原本并非完全相互融合的领域,当它们被摆到一起时,势必还会存在不少彼此之间的矛盾亟待调和,以期最终使之满足体系的完备性。

4.1.1 陈述语句的完备拓展

首先,最显而易见的矛盾就在于命题的范畴。

通常在逻辑学中认为,一个语句如果没有断定(**assert**)任何东西,那它就不是命题。基于此论断来说,只有可判定真假的陈述句才是命题,而诸如疑问句、感叹句、祈使句等都不是标准意义上的命题。也就是说,包括疑问句、感叹句、祈使句和不可判定真假的陈述句在内的种种句型的表达,都被排除在了命题的范围之外。

然而，换作是从信息的角度来看，不论是陈述句、疑问句、感叹句或是祈使句，不论语句是否可判定真假，不论是否直接表达命题，它都可以是被传递的一种信息。

如此看来，命题和信息两者在识别标准上存在差异，这就给逻辑信息模型带来隐患。例如在模型中，当命题对象的内容为“**熊猫以竹子为食**”时是合理的；但若是内容为“**快去看熊猫吃竹子**”则显然不符合我们对于命题范畴的认定。如此会形成模型设定上形式与内在的矛盾，从而导致整个体系的崩塌。

要解决这个矛盾，可以从语句句式的拓展来着手。命题陈述，包括定义陈述与叙述陈述，都是属于陈述语句（**statement**）。除了陈述语句之外，常用的语句句式，比如疑问、感叹或祈使等语句，虽然不能直接作为命题被应用到论证当中，但是可以以“语句”（**sentence**）的形式作为信息网络中信息内容的一部分。

“语句”在这里成为逻辑信息模型中的对象，陈述句、疑问句、感叹句与祈使句都可以是它的一种子对象，而命题陈述、定义陈述与叙述陈述，又都是陈述句的一种子对象。这样一来，命题与信息的范畴矛盾就可以得到解决了。

当然，事实上在某些情况下，那些非陈述语句还可以以另一种特别的形式被纳入到论证当中去。如果将“**快去看熊猫吃竹子**”这一祈使句结合它的发起者 A，看作“**A（刚才）说：‘快去看熊猫吃竹子’**”，使其内容成为发起者的一次表达，那么这样就可以构成一个陈述句。这样的内容也带有断言性质，也就可以被认为是符合命题陈述的范畴了。

这其实是一种巧妙且简单的方法，可以从形式上将包含疑问句、感叹句、祈使句在内的所有句型的语句都合理地纳入到命题陈述的对象当中。而且，这样的处理方式也并非罕见，在很多的场合中我们都可以看到权威、专业人士、明星的言论被用作论证中的论据。比如，在例 15 中就引用了爱因斯坦在信中所说的话，来断言他与玻尔之间的学术争辩。

又如，在《三国演义》第七十二回中有这样一段描述：

“……操屯兵日久，欲要进兵，又被马超拒守；欲收兵回，又恐被蜀兵耻笑，心中犹豫不决。适庖官进鸡汤。操见碗中有鸡肋，因而有感于怀。正沉吟间，夏侯惇入帐，禀请夜间口号。操随口曰：‘鸡肋！鸡肋！’惇传令众官，都称‘鸡肋’。行军主簿杨修，见传‘鸡

肋’二字，便教随行军士，各收拾行装，准备归程。有人报知夏侯惇。惇大惊，遂请杨修至帐中问曰：“公何收拾行装？”修曰：‘以今夜号令，便知魏王不日将退兵归也：鸡肋者，食之无肉，弃之有味。今进不能胜，退恐人笑，在此无益，不如早归；来日魏王必班师矣。故先收拾行装，免得临行慌乱。’”

此处，先有曹操说道“鸡肋”，而后夏侯惇向众官传令“鸡肋”，使得杨修听闻此令。“鸡肋”二字并非断言性陈述，甚至不是祈使句，然而杨修却从这句话最初来自于曹操的传令，结合当时的战局，推断出了即将退军的结论。

4.2 对应

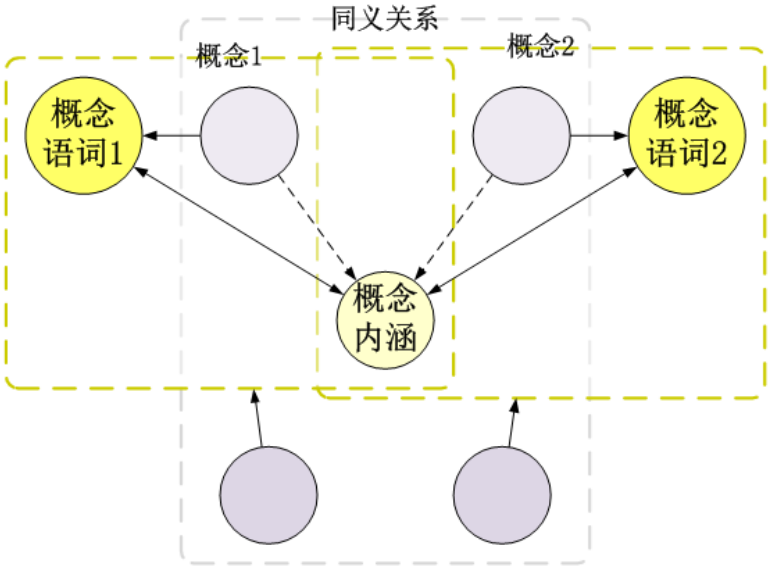
对应（correspondence）就是关联性，在逻辑信息模型中就是两个基本对象之间的关联。这种关联不同于信息关系，是信息结构上而非信息内容上的关联。

4.2.1 概念内涵与语词的对应

一般来说，概念的内涵总是和语词关联在一起，因为概念需要通过语词作为外在来表现其内涵。然而，概念内涵与语词并非完全一一对应。同一个语词在不同的语境中可以表达不同的概念内涵；同一个概念内涵也可以用不同的语词来表达。例如，“出租车”和“的士”可以是表达同一概念；“笔记本电脑”和“laptop”也可以是表达同一概念。而“杜鹃”既可以指的是一种鸟，也可以指代一种花。

两个表达相同概念内涵的语词，从信息关系的角度来说就是处于同义关系。不过即便是同义关系，不同语词之间始终还是存在着它们彼此的不同之处。在不考虑两个语词同义概念之外其它相异概念内涵的情况下，它们最大的差别应该就在于用词习惯和使用场景上面了。“出租车”和“的士”是不同地区的习惯用语，“笔记本电脑”和“laptop”是不同的语言环境，“化学式为 H_2O 的化合物”和“水”

则是分别用于化学专业领域和普遍日常交流中的场景，等等。这些差异可以作为同义关系中不同语词的属性、或是语词在同义关系中的条件而存在，用以备注。



（图 30，不同语词表达相同概念内涵的对应关系示意图）

另一方面，当有一个可以表达不同概念内涵的语词时，为了区分个中差异，则需要使用多组其它语词来分别为其不同的概念内涵做定义陈述。比方说，“物理学家”和“电动汽车公司”都是适合于语词“特斯拉”^{*26}的定义陈述，它们分别对应着两种不同的概念内涵。

但是在这中间存在着一个问题①就是，如何来判断在一个语句中的语词“特斯拉”确切采用的是哪一种内涵？我们可以采取的一种判断方法是，在不同定义陈述中加入一些适当的限定条件，使之能够更好地适配语词所处的语境。譬如，可以在“物理学家”和“电动汽车公司”这两种不同概念所属的定义陈述中，分别加入“属于‘人’的范畴”和“属于‘公司’的范畴”这样的条件。则这两个定义可以陈述为：

“在人的范畴中，特斯拉是一位著名的物理学家”

和

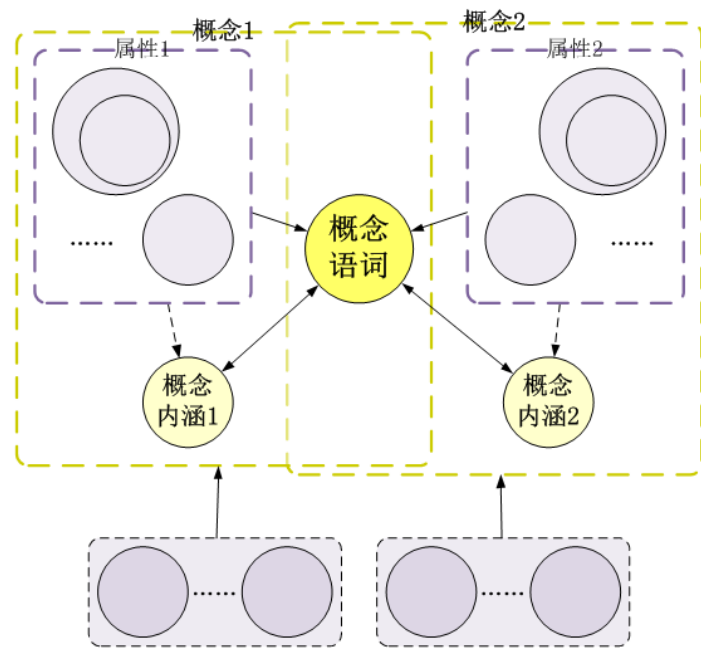
“在公司的范畴中，特斯拉是一家知名的电动汽车公司”。

²⁶ 尼古拉·特斯拉（Nikola Tesla, 1856—1943），发明家、物理学家、机械工程师、电气工程师。1960 年，为纪念他在电磁学领域做出的重要贡献，国际计量大会以他的姓氏“特斯拉”（tesla，简称“特”，符号表示为 T）作为磁通量密度或磁感应强度的国际单位。2003 年，以“特斯拉”为命名的电动汽车及能源公司在美国加利福尼亚州成立。

在理解语句②“1882年，特斯拉成功设计出第一台感应电机模型”时，根据语境可以看出，此处的“特斯拉”应该指的是一个人，那么我们就至少可以把“电动汽车公司”的选项给排除掉，而重点考虑是否符合“物理学家”的选项了。

“人”和“公司”分别是“特斯拉”两种内涵的限定条件，同时也是这两种内涵的属性。与同为属性的“物理学家”和“电动汽车公司”相比，它们恰好是外延更大的概念。由此，我们可以分析得出回答问题①的另一种方法，就是不断调整放大定义陈述中定义项的外延，以便找到匹配被定义项语词所处语境的概念，并将其作为被定义项的属性。将“物理学家”的外延放大，可以是“人”也可以是“科学家”，或是别的一些称谓。而根据语句②的语境也可以大致推测出，语词“特斯拉”可能对应的有“设计师”、“工程师”、“发明家”等角色，但这其中并不存在能够与“物理学家”相匹配的。不过这些角色都有一个共同的语词可以与它们构成从属关系，那就是“人”。恰巧“人”也可以与“物理学家”构成从属关系，继而就可以将语词“特斯拉”多种内涵之一的“物理学家”与语句②中的语境对应起来了。

如此看来，一个含有多种内涵的概念，其每一种内涵都可关联不同的属性和独特的限定条件。这些关联到特定内涵上的属性和条件，都可能有助于识别概念在具体语境中的内涵。



(图 31，同一语词表达不同概念内涵的对应关系示意图)

4.2.2 属性键值的对应

概念的内涵与概念的表达语词之间存在多对多的复杂对应，而作为概念附属的属性，其中也存在着一定的对应关系。

属性是什么？“属性”（attribute）是概念对象的性质、特征、行为，以及对象彼此之间关系，等等的统称。^{*27}属性与概念是相对且不可分割的，概念都是有属性的概念，属性也都是概念的属性。属性之于概念，相当于论据之于论证，前者是后者的成分之一，是必不可少的组成部分。有概念才有属性，有属性也必然有其对应的概念。

在认识论的观点中，概念本身就是用来反映对象的特有属性及其内涵。也就是说，概念的内涵，就是对象的内涵，也是对象所具有的特有属性。这是对象众多属性中的最特殊、最本质的一部分。区分一个对象与另一个对象是相同或是相异，就在于判断这些对象的属性是否相同，这一点就好比是在做出类比推理中的属性映射之前所需要的前置工作。具有相同属性的对象组成一类，具有不同属性的对象形成不同的类别，由此才构成了客观世界中千姿百态的事物分类。

一个概念有其对应的属性，所以，作为概念的“概念”也可以有其对应的属性，也就是“属性”。这一表述看似很拗口且毫无价值，但实则是可以被推广至其它的逻辑概念的一种范式。比如，“真值”是“命题”这个概念的属性，“论据”、“结论”及“有效性”是“论证”这个概念的属性，这些都符合这一范式。

而在逻辑信息模型中，也可以充分体现出这一范式的作用。除了这些与逻辑概念对应的信息元素之外，还可以有：“申明”是发起者的属性，“响应反馈”是观察者的属性，“解答”是疑问的属性，“信息关系”是若干相关类型信息元素的属性，等等。

²⁷ 在《逻辑学词典》（吉林人民出版社，1983年版）中指出，属性就是“事物的性质及其相互间的关系”。本文此处的“对象”涵盖了一切事物及实体。

属性通常会分为属性名（键）与属性值，也就是所谓的“键值对”。属性名与属性值通常也都是由一个概念或多个概念的组合所构成，就好比论据与结论都是由一个或多个命题构成一样。

从数据类型来说，属性名的取值一般是以字符型为主，其中包括自然语言字符以及符号语言字符；而属性值的取值种类更加多样。比如，“**人是有行走能力、没有飞行能力的动物**”，这里的“有”或者“没有”（也可以是“是”或者“不是”）是一种取值类型；“**人是有四肢、肢体末端有五指的动物**”，其中“四”和“五”是一种取值类型；“**人是群居的、善于交流的动物**”，“群居的”、“善于交流的”也是一种取值类型；“**人是有喜悦、兴奋、悲伤、愤怒、惊讶、恐惧等情感的动物**”，这里的“喜悦”、“兴奋”、“悲伤”、“愤怒”、“惊讶”、“恐惧”等等都是一种取值类型。这些取值的数据类型分别可以对应信息学领域中常见的布尔型、数值型、字符型、枚举型等数据类型。

这种属性键值对的形式是一种在各类软件语言中都非常常见的数据结构，在自然语言逻辑中也非常合理。这一点也与目前业界领先的知识库模型——知识图谱²⁸中的基本数据结构有类似之处。

知识图谱的逻辑结构，是由节点（node）和边（edge）两种类型组成，分别表示“实体”（entity）以及实体与实体之间的“关系”（relation）。在其物理存储结构中，更多的则是采用形如“<实体，关系，实体>”这样的三元组形式。

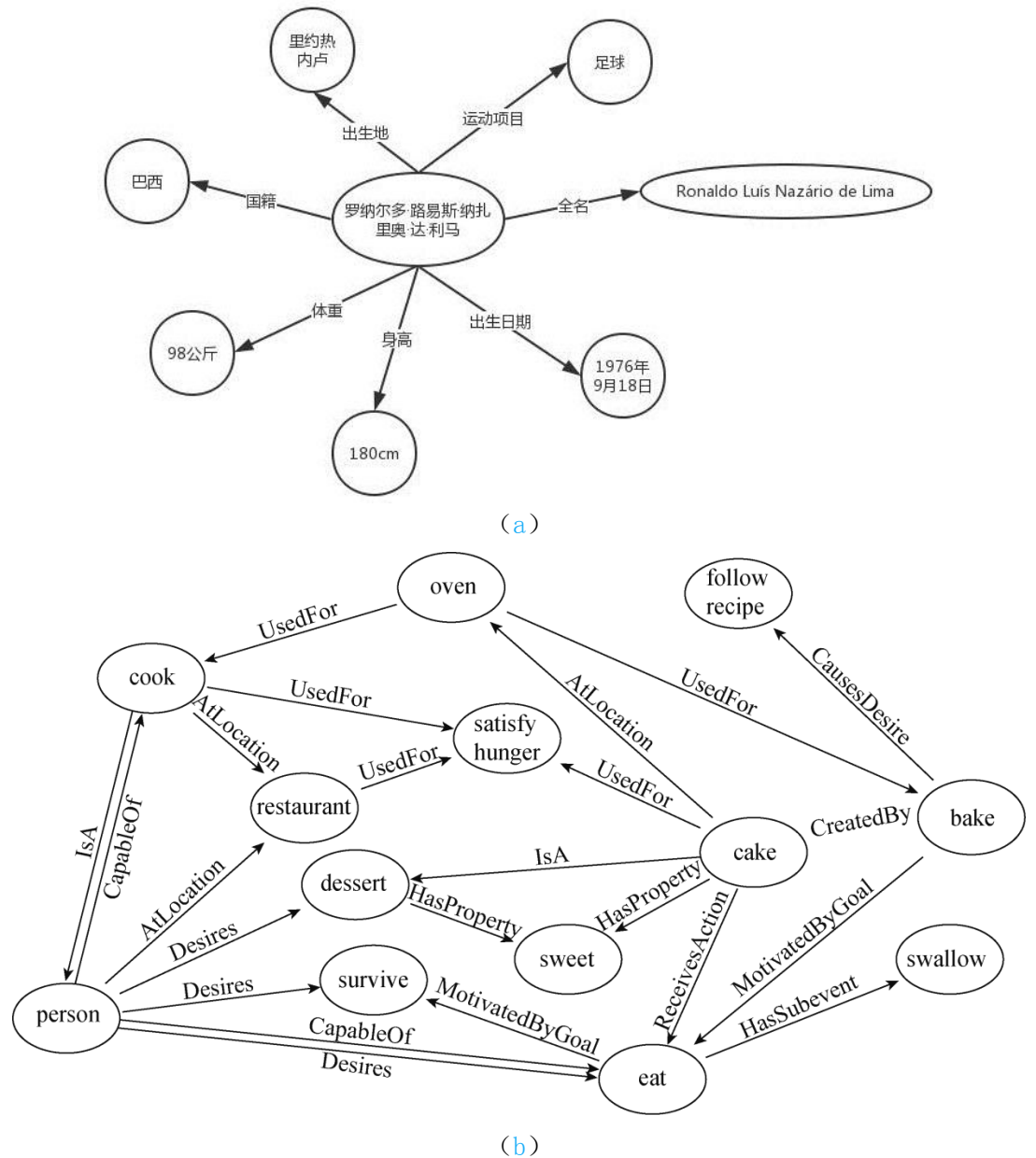
例如：“<罗纳尔多，国籍，巴西>”就表示，“罗纳尔多”的“国籍”是“巴西”（见图 32a）。可以看出，此处的“<国籍，巴西>”是对象“罗纳尔多”众多属性之一，“国籍”是该属性的属性名，“巴西”则是该属性的属性值。这样的形式与逻辑信息模型中的“属性”类型的特征相吻合。

然而，在实际应用当中，知识图谱三元组中的“关系”通常并不是纯粹地指代概念与属性之间的从属关系；而是与两个“实体”共同形成“主-谓-宾”结构（Subject-Predicate-Object）的 SPO 三元组，“关系”在其中实际担当的是“谓语”的角色。例如：“<人，在（地点），餐厅>”、“<餐厅，用来，充饥解饿>”，分别表示“人在餐厅”和“餐厅是用来充饥解饿的”（见图 32b）。

²⁸ “知识图谱”的概念，是由 Google 公司于 2012 年提出，其本质上被认为是一种语义网络（The Semantic Web），其目标在于改善强化搜索引擎功能。

从中不难理解，这种结构的三元组，更多的是反映出可满足谓词逻辑范式之命题的主要成分。也就是说，它能够用来表达一部分结构较为简单且具有某种形式化特征的命题，但对于较为复杂的命题它就无能为力了。

同时，其中又可以掺杂进概念与属性的联系，此类场景就使得知识图谱结构在逻辑上是复杂、易混淆且不可控、不够合理的。相对而言，逻辑信息模型中的命题与概念能够明确区分，概念及其属性也是主从分明，所以在逻辑表达上会更为清晰。



(图 32，知识图谱逻辑结构示例图，图片来源于网络)

4.3 转化

转化（**conversion**）就是适配性，在包含一定的关联性基础上，建立匹配的映射规则，便于后续利用该规则，结合相关算法，输出相应内容，或是开展适当的运算分析。

这些转化行为，对于日后的人机交互、或是模型内容的可解释性，可以起到至关重要的作用。

4.3.1 序列化

作为逻辑信息模型中的对象，单个信息元素可以通过一段文本来描述它的内涵，这段文本是这个信息元素的可见组成部分。而当多个信息元素组合成一个信息元素组时，其中每一个信息元素的可见文本并不足以单独反映出整个组合的内涵。

这个问题该如何来应对？融合是一种解决方案，由发起者选择一组源信息元素，以此为基础建立融合后的目标信息元素，并申明它们之间的等价关系作为关联。基于发起者的等价申明，融合之后的目标信息元素，就可以通过其自身的文本描述来反映融合之前的那组源信息元素的内涵。

那么，在融合过程中，目标信息元素的文本描述是如何生成的？有两种可能采用的方式。一是完全由发起者来自主申明。这种方式灵活度很高，可以完全不受源信息元素的限制，自由地编排目标信息元素的表述与内涵；不过相应地，这种方式也会存在较高的等价风险，即发起者所申明等价关系的置信度偏低。

二则是采用序列化的方式来辅助生成。“序列化”（**serialization**）是由发起者提前设定好信息元素组与文本语言的序列化规则，待到需要序列化时，再将规则套用在指定的信息元素组上，获得序列化之后的文本语言。序列化规则并不是简单叠加源信息元素组的内容，它可以用在生产融合信息元素的过程中，也可以直接用于信息元素组内涵映射文本表述的输出。

一般我们可以对几种特定关系的信息元素组做序列化。

4.3.1.1 论证的序列化

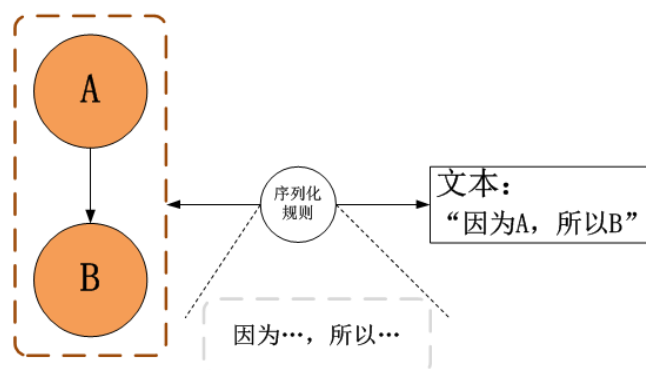
在逻辑信息模型中，一个论证可以是单独一个信息元，也可以由一组作为论证中论据和结论的命题信息元组合而成，或者可以再加上一些其它类型的信息元素。除了单独的信息元之外，当其它形式的论证需要用自然语言表述时，都必须借助于序列化。

自然语言中的表述方式千变万化，对于同一件事物，既可以用简洁通俗的文字来介绍，也可以通过异常繁复甚至晦涩的语词来阐述。而一个完整的、由自然语言描绘的论证，无论如何变化，无论是使用哪些词项，简单地来说，其实都是在表达可以用“**因为……，所以……**”这样的形式描述的因果内涵。无论是结论在前，还是论据在前，形如“**因为 A，所以 B**”、“**（结论）B，是因为 A**”等；又或者是使用不同的因果联结词，诸如“因此”、“因而”、“是以”、“以至于”、“由此可见”等等，这些都只是不同的表达形式。例如，“**因为鸟类有翅膀，所以鸟类会飞**”、“**鸟类会飞，是因为鸟类有翅膀**”、“**鸟类有翅膀，以至于鸟类会飞**”等等这些文字的不同表述都是在描述相互等价的论证内涵。

无论一个论证是多么复杂，即便是一篇长达数万字的专业论文，也是可以分解为一定数量的论证组合——当然这个数量是有可能达到数以千计，甚至更多。而其中每一个论证归根结底也就是一种“**因为（论据），所以（结论）**”形式的变形。

因此，我们可以预先将合适的因果联结词设置为形如“**因为……，所以……**”之类的标准化论证表述形式并作为序列化规则，然后为属于同一个论证的信息元素组中的论据元素集和结论元素套用上相应的规则，由此生产出序列化之后的文本语言。

当然，用以生产文本语言的序列化规则也不是一成不变的，不同的发起者都可以依据各自需要来自定义不同的因果联结词和语句的表述规则。



(图 33, “论证”信息元素组与文本语言表述对比转换示意图)

另外，不仅仅是论据元素集和结论元素，序列化规则也可以覆盖论证中其它类型的相关元素，如论证或命题的条件等。

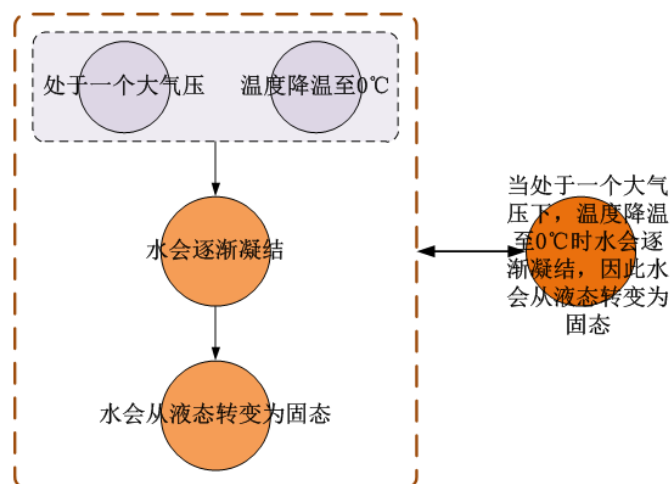
例 17:

“当处于一个大气压下，温度降温至 0℃时水会逐渐凝结，因此水会从液态转变为固态。”

例 17 的论证可以分解出论据命题和结论命题两部分。论据命题为“当处于一个大气压下，温度降温至 0℃时水会逐渐凝结”，其中论据的主体部分是“水会逐渐凝结”，相关的条件是“处于一个大气压”和“温度降温至 0℃”。结论命题为“水会从液态转变为固态”，结论的主体部分就是其本身，同时还隐含了和论据相同的条件。

我们可以设定序列化规则为：“因为(在……的条件下,)……,所以……”。将论据、结论及条件代入规则可以得出陈述：“因为在处于一个大气压、温度降温至 0℃的条件下，水会逐渐凝结，所以水会从液态变为固态。”

可以看出，套用序列化规则后得到的文本陈述，与原例中陈述的涵义是相同的。



(图 34，例 17 中论证映射的信息元素组模型示意图)

4.3.1.2 疑问的序列化

一个论证、一个命题或是概念，都可以是由一组信息元素来体现它的内涵，同样，与一个疑问所相关的也可以是一组信息元素。这其中除了疑问信息元自身，还会有疑问的目标对象。当这组信息元素需要用自然语言来表达其整体涵义时，同样也有必要使用序列化。

当把一个疑问通过语句表达出来时，由于语言的丰富性，其阐述方式可以是多种多样的。为此，我们有必要先简单分析一下疑问的表达形式。

在语言学中我们了解到，疑问句通常被认为有是非、选择、特指和反义、反问等几种不同类型。除了反问和反义疑问句的重点不在于疑问而是强调语气之外，是非疑问句、选择疑问句和特指疑问句都是适合应用于问答关系中的疑问形式。是非疑问句询问“是与否”；选择疑问句让答者从两个或多个选项中择其一二。这两种疑问句都易于理解。而特指疑问句通常针对的是某些具体的内容，或是语句中的某一特定要素。

这里我们以英文语言为例，分别来分析一下这些疑问句中指代疑问含义的疑问词。

由于疑问作为一种人类共有的思维活动方式，其外在表现的疑问句有很好的语言兼容性，与之映射的这些疑问词在各种自然语言中也普遍存在，因而不用担心其为某种语言所独有。

参考著名的“5W2H 分析法”，其着重提到了常见的七个英文特指疑问词（WHAT、WHEN、WHERE、WHO、WHY、HOW、HOW MUCH）作为其分析法的核心。除此之外，还有 WHICH、WHOSE、HOW MANY、HOW OLD、HOW LONG、HOW FAR 等等，也是较为常用的疑问词。这些特指疑问词的指代内容涵盖了几乎所有的语句要素，包括事物、时间、地点、人物、原因、程度、数量、选择，等各种条件。

据此我们可以进一步来整理这些疑问词，在语义不变的情况下可以做一些变形，将它们调整为基于疑问词 WHAT（是什么）的形式。例如，WHEN（是几点）可以改为 WHAT THE TIME（是什么“时间”）；WHERE（是哪里）可以改为 WHAT THE PLACE（是什么“地方”），等等。具体如表 2 所示。

（表 2，疑问词内涵序列化映射关系表）

特指疑问词	变形	关联的目标对象
WHAT（是什么）	WHAT THE THING（是什么“事或物”）	THE THING（“事或物”）
WHY（为什么）	WHAT THE REASON（是什么“原因”）	THE REASON（“原因”）
WHEN（是几点）	WHAT THE TIME（是什么“时间”）	THE TIME（“时间”）
WHERE（是哪里）	WHAT THE PLACE（是什么“地点”）	THE PLACE（“地点”）
WHO/WHOM（是谁）	WHAT THE PERSON（是什么“人物主体”）	THE PERSON（“人物主体”）
WHOSE（是谁的）	WHAT THE OWNER[OF SOMETHING]（[事或物的]“所有者”是什么）	THE OWNER（“所有者”）
WHICH（是哪一个）	WHAT THE CHOICE[OF SOMETHING]（[对事或物的]“选择”是什么）	THE CHOICE（“选择”）
HOW（怎么样）	WHAT THE DEGREE[OF SOMETHING]（[事或物的]“程度”是什么）	THE DEGREE（“程度”）
HOW MUCH（多少/多少钱）	WHAT THE PRICE[OF SOMETHING]（[事或物的]“价格”是什么）	THE PRICE（“价格”）
	WHAT THE QUANTITY[OF SOMETHING]（[事或物的]“数量”是什么）	THE QUANTITY（“数量”）
HOW MANY（多少）	WHAT THE QUANTITY[OF SOMETHING]（[事或物的]“数量”是什么）	THE QUANTITY（“数量”）
HOW OLD（多少岁）	WHAT THE AGE[OF SOMETHING]（[事或物的]“年龄”是什么）	THE AGE（“年龄”）
HOW LONG（多长）	WHAT THE LENGTH[OF SOMETHING]（[事或物的]“长度”是什么）	THE LENGTH（“长度”）
HOW FAR（多远）	WHAT THE DISTANCE[OF SOMETHING]（[事或物的]“距离”是什么）	THE DISTANCE（“距离”）
.....

然后，我们回过头来再看选择疑问句与是非疑问句。很显然，选择疑问句有着和“WHICH”一样的表达效果，我们可以认为它也等同于 WHAT THE CHOICE（是什么“选择”）。而是非疑问句询问“是否”，在通常情况下我们可以将之理解为是对于某些命题真值或是论证有效性的询问。例如：“引力波真的存在吗？”、“人类是不是可以下潜到马里亚纳海沟底部？”，分别询问的可能是命题“引力波是存在的”和“人类可以下潜到马里亚纳海沟底部”。

从表 2 中我们可以看出，包括但不限于表中所列的特指疑问词，均是询问某一项内容“是什么”。这些内容或是命题、论证本身，或是命题、论证中的条件，或是命题、论证中的概念词项，又或是多个命题、论证之间的关联，等等。这些内容作为疑问的目标对象，和疑问对象本身存在联系，并且共同决定了疑问的陈述形式。每一种疑问词都决定了一种疑问对象的类别，每一种特定类别的疑问对象也都可以序列化为一种特定的自然语言陈述形式。

例如，针对前文中例 2 的论证，我们可以提出以下一些疑问：“线粒体是什么？”，“非洲在哪里？”，“非洲人种的进化史有多长时间？”，“谁推断了非洲人种的进化史最长？”，“为什么说非洲人种可能是现代人类的起源？”，“非洲人种身上的线粒体变种是最多的吗？”，等等。这些疑问陈述就分别对应了事物、地点、时间、人物、原因、命题真值等类型的疑问对象。

这样的疑问陈述从语言学的角度来说，无疑是可以归纳出一些标准化的陈述形式。譬如“……是什么？”，“……在哪里？”，“……是谁？”，“为什么……？”，“……，是不是（这样）？”，等等（见表 3）。通过有针对性的语义分析可以帮助我们确定下所需要的疑问词的表达以及语句结构规则。

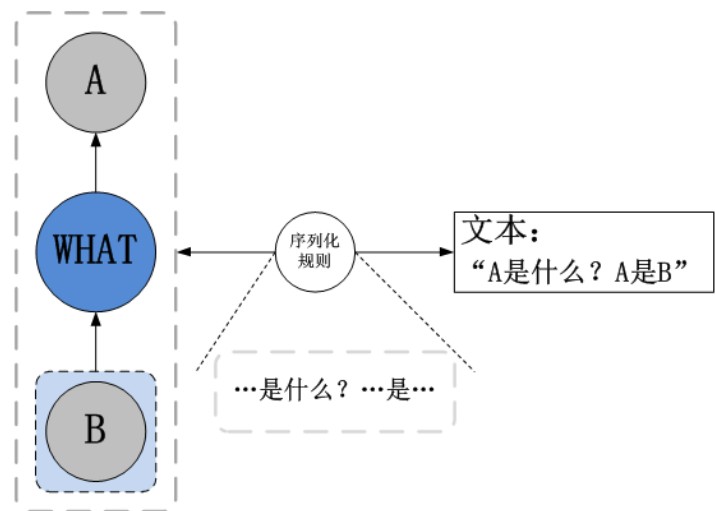
（表 3，疑问词与序列化文本语言表述规则映射关系表）

特指疑问词	自然语言表述规则
WHAT (是什么)	WHAT BE ? (.....是什么 ?)
WHY (为什么)	WHY DO ? (为什么..... ?)
WHEN (是几点)	WHEN DO ? (.....是什么时间 ?)
WHERE (是哪里)	WHERE BE ? (.....在哪里 ?)
WHO/WHOM (是谁)	WHO BE ? (.....是谁 ?)
WHOSE (是谁的)	WHOSE BE ? (.....是谁的 ?)
WHICH (是哪一个)	WHICH DO/BE ? (哪一个..... ?)
HOW (怎么样)	HOW DO/BE ? (.....怎么样 ?)
.....

当然在实际应用当中，不同的语句在不同的场景下，结构规则都会有所不同，这需要极其复杂的语言语法规则来作为支持。

另外，这些疑问词的表达以及语句结构规则也同样可以由发起者根据实际场景和语言习惯来做相应调整。比方说，“……是什么？”可以叙述为“……是

啥？”，“……是谁？”可以换成“谁是……？”，“……，是不是？”也可以用“……，对不对？”来替代。



（图 35，“疑问”信息元素组与文本语言表述对比转换示意图）

4.3.1.3 其它序列化

除了论证和疑问之外，模型中还可以存在其它一些比较常见的信息元素组的序列化，例如命题信息元与命题真值信息元、论证信息元与论证有效性信息元之类的组合。

命题的真值总是和命题联系在一起的，当描述命题真值时，自然也离不开命题。命题真值信息元与命题信息元，组合在一起的信息元素组，序列化为文本语言的语句表述规则可以很直观，就像“命题‘……’的真值为……”这样。

与命题真值类似，论证的有效性也是与论证紧密相连。论证有效性信息元与论证信息元，组成的信息元素组，也可以用形如“论证‘……’的有效性为……”的语句表述规则来序列化为文本语言。

如果把命题/论证的条件加入进来，则可以组成“条件+命题+真值”、“条件+论证+有效性”等信息元组的组合。它们序列化为文本语言的语句表述规则可以如下：

“条件+命题+真值”：“在（条件）……下，命题‘……’的真值为……”；

“条件+论证+有效性”：“在（条件）……下，论证‘……’的有效性为……”。

如果我们再把发起者和观察者加入进来，则可以组成“发起者+命题”、“发起者+论证”、“观察者+命题+真值”、“观察者+论证+有效性”、“发起者+命题+观察者+真值”、“发起者+论证+观察者+有效性”等各类信息元组的组合。它们序列化为文本语言的语句表述规则可以如下：

“发起者+命题”：“（发起者）……说：（命题）‘……’”，或者“（发起者）……表示（命题）‘……’[是真的]”；

“发起者+论证”：“（发起者）……说：（论证）‘……’”，或者“（发起者）……表示（论证）‘……’[是有效的]”；

“观察者+命题+真值”：“（观察者）……认为（命题）‘……’的真值为……”；

“观察者+论证+有效性”：“（观察者）……认为（论证）‘……’的有效性为……”；

“发起者+命题+观察者+真值”：“（发起者）……说：（命题）‘……’，（观察者）……认为（命题）它是（真值）……”；

“发起者+论证+观察者+有效性”：“（发起者）……说：（论证）‘……’，（观察者）……认为（论证）它是（有效性）……”。

4.3.1.4 反序列化

既然可以有将信息元素组的内容转化为文本内容的“序列化”行为，原则上来说，自然也可以有将文本内容转化为信息元素组的“反序列化”

（deserialization）。与序列化类似，反序列化同样需要依赖于发起者的申明，或是套用提前设定的反序列化规则，只是反序列化规则的设定方法相对来说应该会更为复杂一些。

无论是序列化，还是反序列化，都是逻辑信息模型中信息元素变化的一种形式。它们有利于将模型中的元素对象与自然语言表述建立关联，使得模型内容能够以一种易于理解的表达方式被人们观察到，也能够方便地将外界传入的自然语言灵活地转化为模型中的对象。这对于进一步理解、展示、拓展模型，以及应用各种模型功能，会非常有帮助。

4.3.2 符号化

序列化是信息元素组与文本语言之间的转化，而“符号化”（symbolization）则是信息元素的文本内容中自然语言与人工语言之间的转化。

数理逻辑是大量运用符号的逻辑体系，符号化的现象在数理逻辑中早已相当普遍。其中最常见，除了一阶逻辑的量词符号化之外，就是命题逻辑的联结词符号化。符号化的逻辑联结词，使用人工语言符号“ \neg ”、“ \wedge ”，“ \vee ”，“ \rightarrow ”，“ \leftrightarrow ”，来分别映射自然语言中的“否定”、“合取”、“析取”、“蕴涵”、“等价”等词。

人工语言符号主要用于命题表达式，继而参与命题真值演算；而自然语言相对于人工语言来说表达方式更多样，更有利于理解，适合用于交流沟通。

与之类似的是，在逻辑信息模型中同样可以存在符号化的映射关系。

4.3.2.1 命题真值的符号化

在大部分情况下，我们都习惯于用二值逻辑体系中的“真假”来表示某个命题的真值。“真假”是二值逻辑的真值内涵，但是在表述上并非只有这一种方式。

19 世纪在英国数学家乔治·布尔（George Boole）提出的布尔逻辑中，用 1 代表命题确定为真，用 0 代表命题确定为假。这种用 $\{0, 1\}$ 数值集来表示命题真

值的方式，再结合各种等值演算公式，方便用于大量函数化的命题组合在一起做代换计算，最终可算得复杂命题函数的结果，即数值化的命题真值。这一系列创造性的变革为之后数理逻辑的发展，以及以此为基础的其它学科带来了极大的突破。如今，在绝大多数的计算机编程语言中，都使用 0 和 1（或者是 0 和非 0）来代表布尔值中的 TRUE 和 FALSE（即真与假）。

而在二值逻辑之后所衍生出的三值逻辑一般使用类似于 $\{0, 1, u\}$ 这样的三元素集作为其真值集，即在“0”、“1”之外再增加一个元素。不同的三值逻辑系统，对于真值“u”有不同的理解，导致了不同的真值规定。柯利恩(Kleene)三值逻辑，把第三个真值 u 解释为真假之间的“间隙”，一个“不可知”的真值，这是从“可计算性”的角度来看待问题所得出的结论。而卢卡希维茨

(Lukasiewicz) 三值逻辑，把真值 u 看作既无理由确定为真、又无理由确定为假的命题真值。这种做法可以理解为，把这种命题的真或假（真理性）搁置起来不去分辨，而仅仅只是给它们一个值 u 以表示它们与 0、1 真值的不同。伯兹瓦(Bochvar) 三值逻辑，则认定 u 为对无意义命题所约定的真值，例如语义悖论“我写的这句话是谎话”。

与三值逻辑有所不同，无穷值逻辑通常是指以实数区间 $[0, 1]$ 为真值集合的逻辑系统，较为典型的有卢卡希维茨的无穷值逻辑系统 L^∞ (Lukasiewicz's infinitely valued logic)，和雷斯彻的概率逻辑系统 RPL (Rescher's probabilistic logic)。

这些逻辑系统对于真值的不同主张，为逻辑信息模型中真值对象的取值范围定义奠定了基础。对于模型中的命题而言，我们可以用“真”、“假”或是“0”、“1”，或者“TRUE”、“FALSE”来表示其真值，也可以用“真假间隙”（柯利恩）、“无理由确定真假”（卢卡希维茨）、“无意义”（伯兹瓦），以及无穷值逻辑的 $[0, 1]$ 实数区间集合等等，甚至是在这些现有逻辑系统之外可能出现的新的真值取值定义，来反映它映射的真值内涵。

二值逻辑的真和假（或 TRUE 和 FALSE）、1 和 0，分别代表了自然语言和人工语言中最为常见的真值描述。多值逻辑虽然大多以人工语言的形式来描述真值，

但也同样可以用对应的自然语言来描述。自然语言符号和人工语言符号之间可以一一对应，就好比不同的自然语言体系之间可以相互翻译。

用数值 0 和 1 以及 $[0, 1]$ 实数区间集合来表示真值的人工语言，主要是便于在数理逻辑中作真值演算。这其中 $[0, 1]$ 实数区间的取值依赖于概率统计。概率统计目前主要被认为是一门数学学科，但是同时它也是归纳逻辑中的重要组成部分之一。在归纳逻辑中结合概率理论的意义就在于，可以用定量的方法来研究盖然的逻辑，再加上概率学在数学领域中已获得的丰富成果，使得这种研究方式就更具有效率，同时也有助于为其它同样具有盖然性的科学领域研究提供相应的逻辑理论支持。而自然语言主要是用于表述，相对于人工语言来说更方便他人理解命题的真值情况。当真值无法用精确的概率数值来认定时，就更适合采用近似的自然语言来描述。

在逻辑信息模型中，我们可以申明命题的真值，同样也可以申明用于命题真值的数据集。该数据集中的数据可以是基于自然语言的，也可以同时包含相互映射的自然语言和人工语言。就如表 4 中所示，其中每一个人工语言概率值的表述都有一个自然语言的表述所对应。当然，这只是一个示例。每一个发起者可以自由地申明独立的标准化真值集，而非完全以表 4 中的内容为准。

（表 4，命题真值描述映射关系示例表）

概率值表述	自然语言表述
--	无意义
1 / 100%	确定为真 / 确定不为假
$0\% \leq u \leq 100\%$	不确定真假
$u < 100\%, u \rightarrow 100\%$	几乎为真 / 几乎不为假
$75\% < u < 100\%$	较大可能为真 / 较大可能不为假
$50\% < u < 75\%$	倾向于为真 / 倾向于不为假
50%	半真半假
$25\% < u < 50\%$	倾向于为假 / 倾向于不为真
$0\% < u < 25\%$	较大可能为假 / 较大可能不为真
$u > 0\%, u \rightarrow 0\%$	几乎为假 / 几乎不为真
0 / 0%	确定为假 / 确定不为真

又比如，我们也可以在日常的实际应用场景中，使用一系列程度修饰性的语词来对某一陈述语句中的内容进行程度描述，如此便也相当于是对该命题陈述本身的真值作了限定。就好比在图 36 当中，我们可以将从“never”到“always”的一众修饰性副词对应到从 0（0%）至 1（100%）的概率数值区间。当在例句“**We** ___ go there.”中填入相应的副词时，则可以相当于是表达，对“**We (always) go there.**”这一命题陈述的真值的数值反映。



（图 36，命题真值描述映射关系示例图，图片来源于网络）

4.3.2.2 论证有效性的符号化

同样地，论证的有效性也可以存在类似于命题真值的自然语言与人工语言之间的符号化。而且，从演绎和归纳两方面来看，论证的有效性同样也是多值的。

众所周知，演绎逻辑的目标是区分有效论证和无效论证，即演绎论证必然是“有效”或“无效”的，也可以说是“完全成立”或“完全不成立”的论证。

而归纳逻辑中的论证则只是盖然“有效”或“无效”，其前提对结论的支持不是必然的。要描述归纳论证的有效性，从定性的角度来说，通常是用“较好”、“较差”或“较强”、“较弱”等语词。而如果要定量地描述有效性，则同样需要依靠概率统计的方法。概率取值通常也是基于[0, 1]实数区间，根据概率值的大小，我们也可以用相应的自然语言文字来描述它。（示例如表 5 所示）

(表 5, 论证有效性描述映射关系示例表)

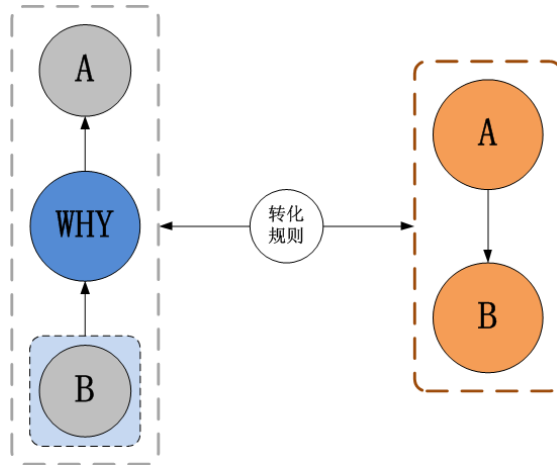
概率值表述	自然语言表述
1 / 100%	有效 / 完全成立
$u < 100\%, u \rightarrow 100\%$	基本成立
$50\% < u < 100\%$	较大概率成立 / 较好 / 较强
50%	可能成立
$0\% < u < 50\%$	较大概率不成立 / 较差 / 较弱
$u > 0\%, u \rightarrow 0\%$	基本不成立
0 / 0%	无效 / 完全不成立

4.3.3 问答推论转化

从本质上来说,每一种转化其实都是基于某种映射关系。序列化是基于“对象-表达映射”(object-expression mapping),符号化是基于“自然语言-符号语言映射”(natural-symbolic language mapping)。

除此之外,我们还可以看到,在某些问答信息元组与论证信息元(组)之间的相互映射。例如,表达质疑事物原因的“WHY”疑问,其在自然语言疑问句中的基本表达形式可以简化为“为什么 A? 因为 B”。而如果将其变换一种形式来描述 A 和 B 两事物之间的关系,则可以是“因为 B, 所以 A”,这就是典型的论证表达形式了。

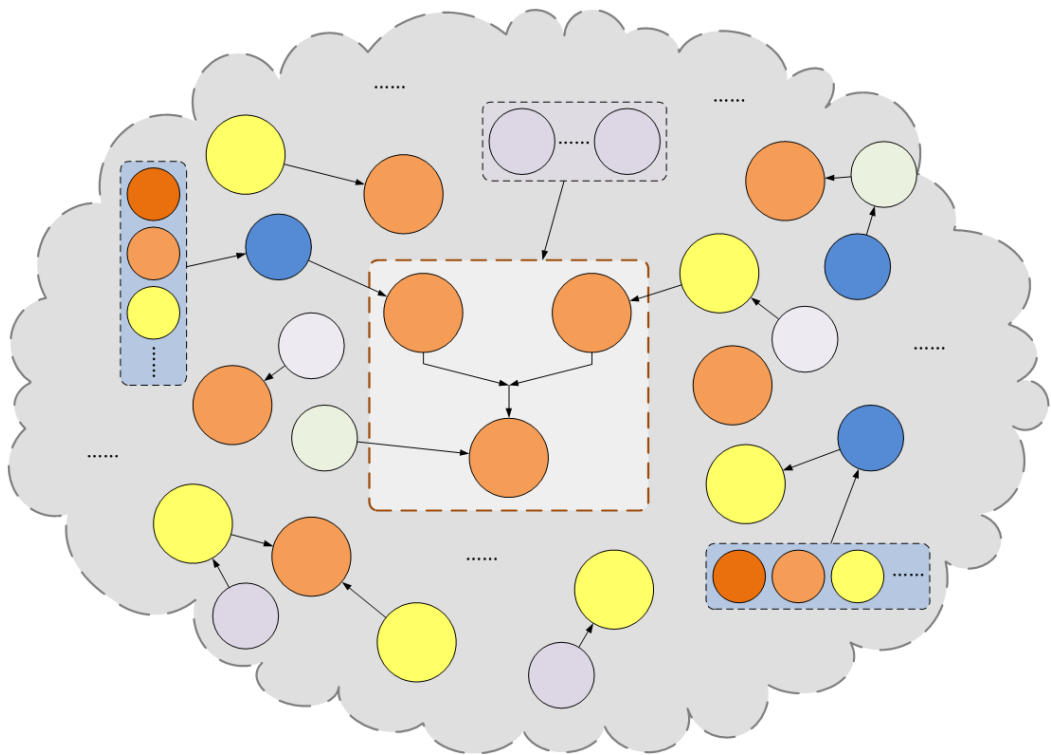
这样的形式转化基本不会带来歧义或者内涵的变质。也就是说,同样的两件事物,如果它们可以分别作为一个推论中的论据和结论,构成一个简单论证,那么其中的论据同样也可以用作回答针对于这个结论的原因疑问。反之亦然。



(图 37, “问答”信息元素组与“论证”信息元素组对比转换示意图)

五、逻辑信息网络·特征

之前几章主要讲述了逻辑信息模型的基本结构。当模型成型之后，据此构建大量模型元素，并结合它们之间的关系，即可组织起一定规模的信息元素的网络。当信息网络的规模越来越大、越来越复杂时，相应地就可能会衍生出许多契合复杂网络的独特性质。



(图 38，逻辑信息网络网状示意图)

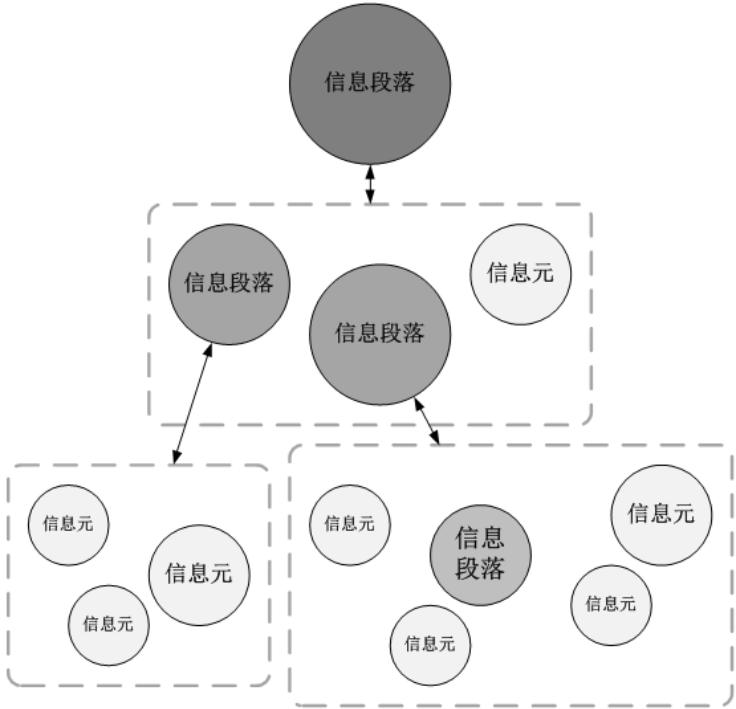
5.1 碎片化

在一个逻辑信息网络中，信息元素之间的融合与分解行为可以生产出更多的信息元素。一篇千字左右的文章，若将它视作逻辑信息网络中的一个信息段落，或许可以分解出的新元素就有数以百计，甚至千计。可以预见，当出现大量融合与分解行为之后，势必会导致逻辑信息网络中充斥着非常多的离散碎片元素（fragmentary element）。

除了融合与分解之外，每一个网络访问者都可以在一定权限内作为发起者去创建属于单一实体的独立信息元素，这也是一个生产碎片元素的重要途径。

显然，碎片化（fragmentization）是逻辑信息网络在实际运作过程中的一种必然趋势。它可以生产出更大或更小的元素。

其中值得关注的是，较大的碎片元素在分解的过程中生产出更多更小的碎片元素，这样的碎片元素通常是包含更小的内涵和更少的信息。如此碎片化的趋势可以使得较大碎片中的信息内涵变得更加精细。在逐步碎片化的过程中，大量复合复杂信息会被摒弃，同时也减少了由其带来的干扰。更小更精细的信息单元，有助于观察者专注在那些细微独立的信息点上，掌握更深刻的事物细节。



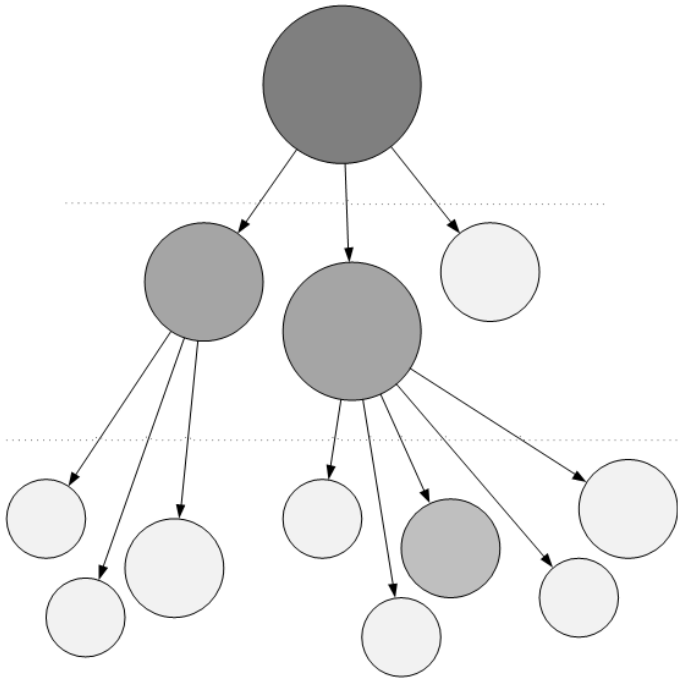
（图 39，信息元素的碎片化示意图）

5.2 层级化

在碎片化的过程中，一次分解行为的源和目标信息元素，分别是单个较大内涵和多个较小内涵的信息元素。将其中某个目标信息元素继续分解，又可以得到

多个更小内涵的信息元素。如此连续多次分解，就可以得到一个内涵大小持续递减的信息元素集的序列。反之，融合行为亦然。

将这些序列中的信息元素集展开，可以得到一幅信息元素构成的树状图。树状图中的根结点是第一次分解行为的源信息元素，或是最后一次融合行为的目标信息元素。总之，这就是该序列中内涵最大的信息元素。



（图 40，信息元素的层级化示意图）

从图 40 中可以清晰地看出，按每一次分解或融合行为所生产的碎片元素进行划分，就可以层次鲜明地区分出不同的层级。

由于所有由融合与分解行为所生产的碎片元素都是独立但不孤立的，它们的内涵都来源于与之相关的源信息元素，因此两者的内涵之间必然存在相互重叠的部分。因为这些重叠的内涵，也就使得这些信息元素之间天然存在一种联系。这种联系既是每一次分解或融合行为中的源信息元素和目标信息元素两两之间的联系，也是相邻层级之间的联系，所以我们称其为“层级关系”（**hierarchy**）。

相对于纯文字形式的信息来说，层级化（**hierarchicalization**）可以为观察者提供不同于“扁平”文本形式的多层次角度来更加全面获悉其内涵。我们可以按不同的方式去分解并划分层级。其中最方便也是最直观的，或许就是按照目

前我们对于文章的结构形式的认识，将其分为文章、段落、句、短语、词、字等几个层级。当然，这种划分方式也可依照不同的语言特征做相应的调整。例如，词、字等层级在中文语系中是可行的，而在西方主流语系中则可能需要被修改为词和字母的层级。

5.3 网络化

发起者原创的信息元素，是除了融合与分解行为之外，另一种可以生产碎片元素的重要途径，这其中包括完全独立的元素，以及一部分从其它信息元素中衍生出来的元素。比如说，建立新的论证；为某个论证中的结论添加更多论据；为某个命题设定条件；为某个概念新增定义；对某个信息元提出疑问，然后创建命题作为解答，等等。

与融合、分解行为生产的碎片元素集具有层次鲜明的结构特点不同，这些原创元素之间更多地是体现出无特定秩序、或者说是复杂秩序的拓扑网络结构。当有序层级化和无序的网络化（networking）这两种网络结构结合在一起后，就形成了一种复杂的网络形态。一旦构建起一定规模的逻辑信息网络后，其中的信息元素将不可避免地同时趋于层级化和网络化的方向发展，而且很难会直接出现这两种网络结构完全分离、或是相比之更为简单的网络结构的情况。

这种复杂网络的拓扑结构，本质上来说符合数学图论领域所研究之“网络”的范畴。在一个亟待研究的逻辑信息网络中，信息元素是结点，元素之间的关系是连接结点的边。有些关系两侧具有倾向性，这就为边设定了方向，可以由因趋向于果的方向，也可以是信息元素不断分解细化的方向。有些边上可以赋以实数权值构成赋权图，权值可以是符号化的命题真值，或是符号化的论证有效性，等等。识别了这些模型中的局部特征之后，我们也就具备了深度分析研究由此所构成网络之复杂特性的基础。

而如果要应用比较成熟的图论研究方法及算法，对一个可能异常庞大的复杂网络结构进行分析研究的话，适当地采取切片、切块等手段，选取有限的局部网

络元素集，或者说某一方面的信息元素集，会是一种比较合适的方式。比方说，选取某个论证中所有直接的命题信息元素，或者选取与某个命题相关的所有概念信息元素，又或者说是符合某一个关键字检索的所有概念信息元素，等等。

如此选取出来的局部网络，可能会是一个信息元素组，也可能是一组原本彼此毫无关联的信息元素。我们可以称这组信息元素为一个“信息团”

(information cluster)。

一个规模庞大的逻辑信息网络，也一定是符合复杂网络理论所研究之范畴内的信息网络。虽然目前尚未有任何一例完整的逻辑信息网络实例，但也不难预测，在不远的将来，一旦逻辑信息模型得到普及，并且逻辑信息网络能够迅速发展起来之后，它所蕴含的海量信息将会非常值得去观察其中的统计特性。是否会表现出经典复杂网络所拥有的“小世界”(small-world)或“无标度”(scale-free)之类的统计特性；亦或是存在一些不同于此的其它性质。这样的研究，无论是对逻辑信息网络的发展，还是复杂网络理论的进一步探索，都有着积极的意义。

5.4 可量化

5.4.1 可量化

逻辑信息网络中的信息元素可以被分解，其内涵中所蕴含的信息就可以在碎片化的进程中不断地分散到更小的元素内涵中去。

假设存在这样一种单体信息，其作为信息元素的内涵是不可再分解的，所有信息都可以由若干个单体信息组合而成，这种单体信息我们就可以称之为“量子信息”(quantum information)。*²⁹可以预见，一个信息元素分解到极致，就是出现内涵是量子信息的信息元素，或称其为“量子信息元素”(quantum

²⁹ “量子”是理论上物质或能量不可分割的最小单位；“量子信息”一词在物理学领域指的是关于量子系统“状态”所带有的物理信息，与本文所指并无关联。

information element)。这也同时意味着，理论上来说，在一个有着积极信息生产导向的逻辑信息网络中，整体局势会逐渐趋向于，所有信息元素的内涵都可以由该网络内部的量子信息元素的内涵所组合而成。达到这种状态的逻辑信息网络，我们可以称之为“量子信息网络”（quantum information network）。

对于我们来说，量子信息网络的重要意义就在于信息可量化（quantifiability）。

在日常的书面交流中，信息是所传递内容的内涵，文字则是其外延。文字可以较为方便地用其字符数来计量，是目前可以用来衡量其所含信息的一项重要指标。然而并没有任何证据可以表明，文字的长度与其所含信息量存在严格的正比例线性关系，只能说它们之间仅有一定的正向相关关系。也就是说，对于描述同一件事物的文字可长可短，或者同样长度的文字也可以表达出量度差异极大的信息。因此，目前对于文字的信息量难以做到精准量化。然而，量子信息网络作为一种特殊的逻辑信息网络，其中的信息元素都是离散且可计数的。很显然，这就可以通过一些有效的、效率可控的技术手段，来对其非动态变化中的信息元素之数量进行各种计数、统计等操作。这对于现有的统计计量领域来说，将会是一次重大的技术变革。

5.4.2 冗余

在层级化的网络中，融合或分解行为的源和目标信息元素之间存在相互重叠的内涵，这就使得这些内涵会传递出重复的信息。也就是说，融合和分解行为客观上会生产出许多冗余的信息。

冗余（redundancy）会挤占更多的信息存储空间，但冗余并不代表无效。在当前的计算机技术中，常常会利用在数据持久化环节增加冗余数据来提升系统或应用的查询性能。这种方式就目前存储硬件技术发展远快于运算硬件技术的现状来说，是非常有效的手段。另一方面，这些冗余的信息元素之间存在层级关系，维系在同一个关系之上，使得在数据存储阶段可以很方便地建立数据索引。因此，

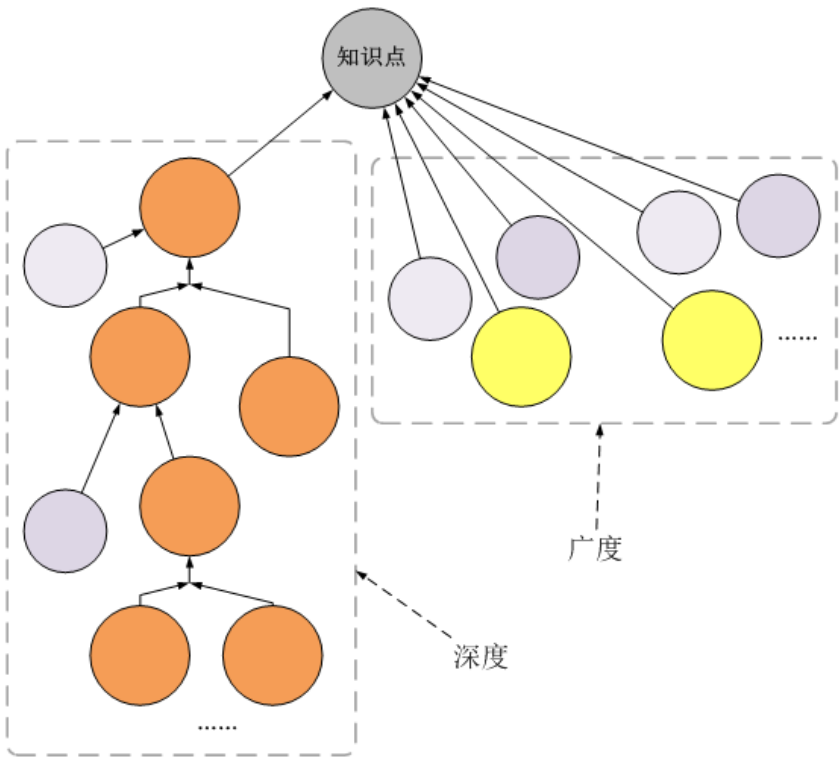
冗余信息对于逻辑信息网络这样的信息系统来说，将有利于各种日常操作，诸如响应用户的高频度访问请求、做海量数据挖掘等等。

5.4.3 知识度量

知识来源于对信息的提炼，是有公共价值的信息。如果信息可以量化，则知识也不例外。

除了统计知识的数量之外，我们还可以度量知识的复杂度。知识的复杂度在原子信息网络中可以从广度和深度这两个维度来表示。

一个知识点通常指的是一个概念或论点。其广度主要指的是“它是什么”，与之相关的通常是概念的定义、属性、条件或论点命题的条件等等。这些信息元素与其之间的关联往往趋向于扁平，因此对于它们主要是基于横向上的度量。而其深度主要指的是“它为什么”，与之相关的是针对论点的论证，也包括对应于论点的论据等。一个完整的论证常常需要多步骤层叠式的推论，因而其中的信息元素之间大多呈现纵向关联的趋势。



(图 41，知识复杂度的广度、深度示意图)

5.5 可视化

任何形式的信息网络，当其数据达到一定的量级之后，单纯地依靠文字表达就难以直观地呈现出其中错综的数据关系和完整的内涵信息，对于逻辑信息网络来说也不例外。为应对日趋复杂的网络结构，在近三、四十年间才逐步发展起来的可视化（**visualization**）技术，是用来展现网络中众多元素之间拓扑关系的最直接有效的方法。

可视化技术可以将大量抽象复杂的数据信息转化为形象直观的图形，以视觉交互的形式，使用户得以更方便地探索 and 发现隐含在数据中的特征、关系及规律，促进对事物的理解能力及其整体概念的形成，有效改善多人之间信息或知识的创造与转移。

目前常用的网络可视化工具大致可以分为两类：一类是操作较为方便、易懂的图形化交互软件，例如 Gephi、UCINET、Cytoscape 等；另一类是需要编写代码或脚本的、基于编程语言的应用或者插件，例如 NetworkX（基于 Python）、networkD3（基于 R 语言）、iGraph（基于 Python、C 和 R 语言）、Graphviz（基于 DOT 语言）、JuliaGraphs（基于 Julia 语言），等等。

这些可视化工具都是针对于广义上的复杂网络来设计的。一个任意形式的网络，只要其中的元素能够被抽象为节点和边这两种类型，就符合“复杂网络”的范畴，并可以应用这些工具。因而，相关的可视化功能与算法，例如外观、布局、统计分析、数据过滤等等，也都是完全围绕着这两种元素类型来展开的。

但是，它们对于逻辑信息网络来说，又都不太适用，或者说难以拿来直接使用。虽然从图论的角度看，逻辑信息网络中的信息元素大致也可以归类为节点和边这两部分。但是逻辑信息网络的基础模型，相较于仅由节点和边两种元素构成的一般复杂网络，结构更为繁杂。从前文中可以看到，光是逻辑信息模型的节点类型就有不下数十种，边（关系）的类型还可以由发起者来自定义，数量并不限

定。这就将导致传统的复杂网络可视化绘制算法无法完全满足逻辑信息网络的可视化功能需求，需要有针对性地扩展、优化现有算法，或是定制专用工具。

另外，从用途来说，目前大部分可视化的用途是提供企业用户做数据分析，并辅助决策规划；或是供给科研人员研究特定复杂网络的宏观性质，继而总结普遍规律。而逻辑信息网络的可视化，除却以上这几类功能之外，应该还可以为个人用户提供其个人信息的网络化形式呈现，供其分析自己的信息数据；另外，研究局部逻辑信息网络中信息元素之间各种不同类型的逻辑关系，同样也可以借助可视化的帮助。

六、逻辑信息网络·复杂功能

逻辑信息网络的模型结构中，融合了逻辑学与信息学的基本概念。它既可以满足现有的逻辑学规律，也可以作为巨量信息的容器。由于这些模型结构的特点，使得由此构建形成的信息网络可以实现一些复杂的逻辑功能和信息功能。

6.1 逻辑功能

6.1.1 逻辑性

逻辑信息模型之所以称之为“逻辑的”信息模型，是因为相较于其它信息模型或是信息系统、知识库的模型之最大区别就在于，其所具有的“逻辑性”（logicality）。逻辑性意味着，我们能够使逻辑信息模型中的数据遵循逻辑学中最基本的规律。

纵观整个逻辑学的发展史，被世人公认为“逻辑学之父”的亚里士多德，以直言三段论理论为核心，创建了第一个严整的演绎逻辑系统。三段论理论对于逻辑学、数学、乃至其它所有自然科学的研究和发展都起到了极其重要的关键作用。作为数理逻辑的基础部分，狭谓词逻辑是从三段论理论演变而来。欧几里得以 23 个概念定义、5 条公设和 5 条公理为前提，用三段论推导出《几何原本》中的 465 条定理，形成了欧式几何的逻辑体系。自此之后，更为普遍的各类科学理论体系，基本都采取了类似的以三段论理论为基础的公理化方法来构建。三段论理论可谓影响深远。

大体上，三段论理论涵盖了演绎逻辑的所有要素。它研究命题形式、推理形式，即推理过程中从前提到结论的所有形式及规律。三段论的推理形式，通常被

称为大前提、小前提与结论，本质上就是从两个前提推得一个结论的演绎论证。这样的形式，与逻辑信息模型中的“论证-命题”简单模型相契合。

三段论有一些特定的规则，以直言三段论为例，目前被认为有 15 种直言三段论的有效形式，它们都以其中直言命题形式的不同类型来区分。这些直言命题的形式，以它们的量和质作为依据，分为全称肯定（A）、全称否定（E）、特称肯定（I）和特称否定（O）4 种类型。此处“量”和“质”这两种概念，在逻辑信息模型中都可以作为命题对象的条件或属性来存在。这些三段论的有效形式则可以通过定义的方式确定下来，然后以此为条件来申明三段论论证对象的有效性。

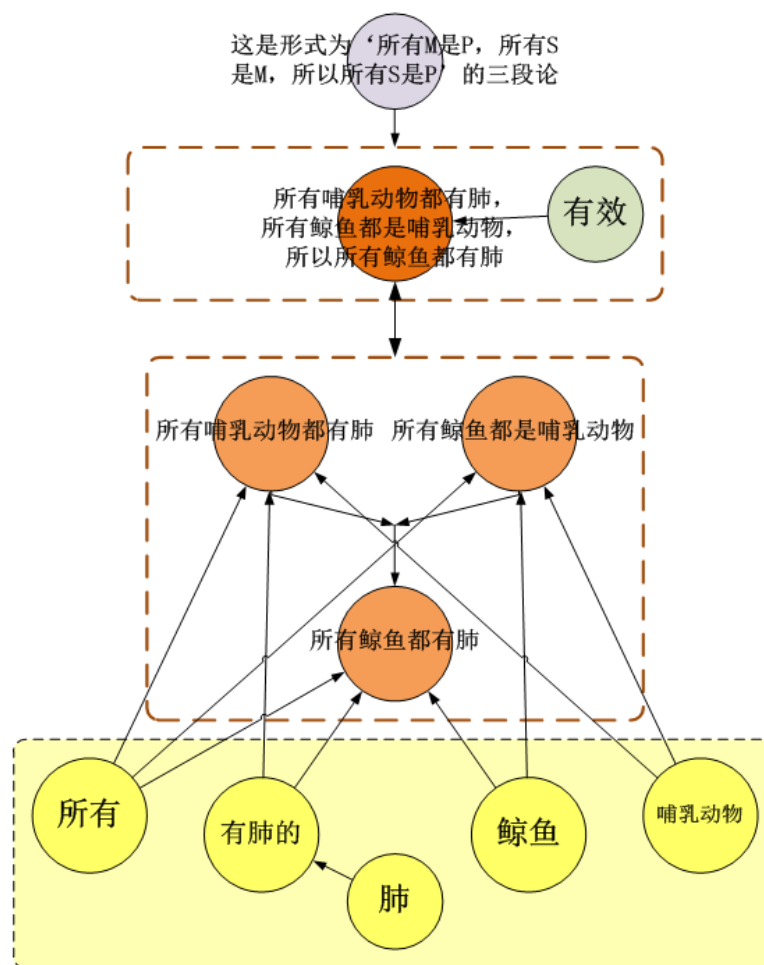
例如，例 9 的论证①是一个典型的 AAA-1 型直言三段论。AAA-1 型直言三段论的定义可以是：“这是形式为‘所有 M 是 P，所有 S 是 M，所以所有 S 是 P’的三段论”。我们可以将该例内容分解为以下几种元素类型：

①论证：即该三段论论证本身；

②命题：“所有哺乳动物都有肺”、“所有鲸鱼都是哺乳动物”、“所有鲸鱼都有肺”；

③概念：“哺乳动物”、“鲸鱼”、“有肺的”、“肺”、“所有”；

它们在逻辑信息模型中的关系形式可以在图 42 中看出。

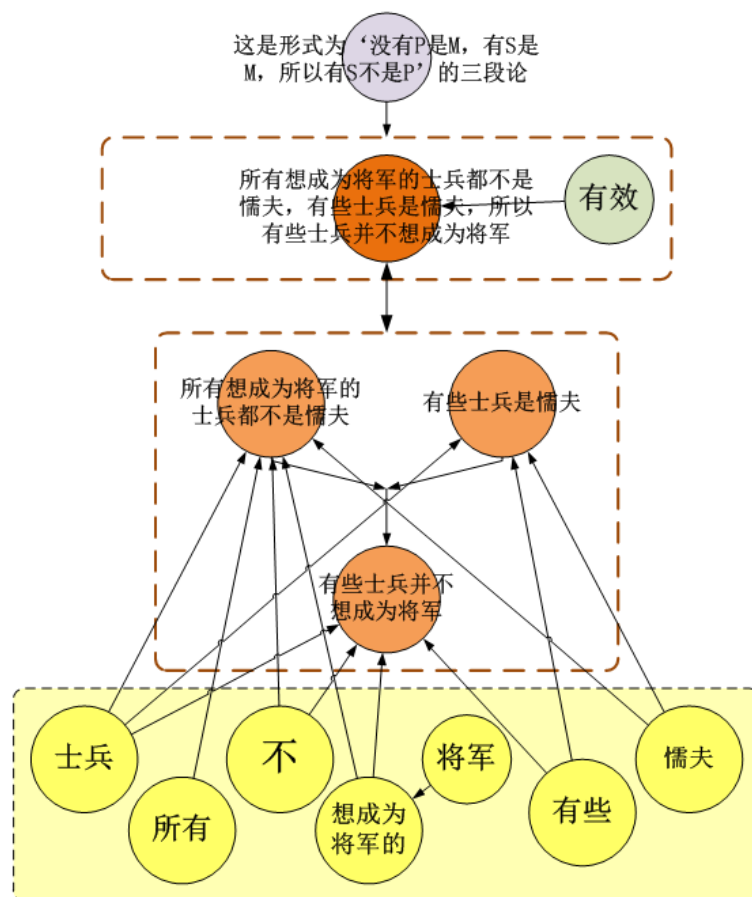


(图 42, 例 9 论证①内容分解关系形式模型示意图)

又如，例 9 的论证②是 EI0-2 型直言三段论，它的定义可以是：“这是形式为‘没有 P 是 M，有 S 是 M，所以有 S 不是 P’的三段论”。我们可以将该例内容分解为以下几种元素类型：

- ①论证：即该三段论论证本身；
- ②命题：“所有想成为将军的士兵都不是懦夫”、“有些士兵是懦夫”、“有些士兵并不想成为将军（即，有些士兵不是想成为将军的士兵）”；
- ③概念：“想成为将军的”、“将军”、“士兵”、“懦夫”、“所有”、“有些”、“不”；

它们在逻辑信息模型中的关系形式可以在图 43 中看出。



(图 43，例 9 论证②内容分解关系形式模型示意图)

以此类推，通过这样的方式，15 种直言三段论的有效形式都可以完整地呈现在逻辑信息网络之中。而且也不难看出，除直言三段论外，由其它命题类型构成的三段论形式——如析取三段论、假言三段论等，也同样适用于这种呈现方式。

如此，完善了三段论在逻辑信息网络中的实现之后，以三段论理论为基础的所有公理化科学理论体系也就都可以在逻辑信息网络中重整并呈现出来了。

6.1.2 科学公理体系中的推理悖论风险

亚里士多德的三段论理论是一种典型的、被普遍接受的元逻辑规则，它为搭建形式逻辑系统提供了相当重要的坚实基础。然而，这一点却受到了同时期怀疑

主义的批判和质疑，被认为亚氏逻辑并不是“显明的”^{*30}逻辑规则，不符合人之为人的本能。

古希腊晚期怀疑主义的代表人物塞克斯都·恩披里柯（Sextus Empiricus）在汇总了前人探究元哲学的怀疑主义观点后，概括出了五个“新论式”（tropos）^{*31}。它们分别是：第一，观点分歧；第二，无穷倒退；第三，相对性；第四，假设武断；第五，循环论证。^{**32}这些论式不仅对彼时的逻辑学以及哲学思想的发展产生巨大的影响力，即便是今时今日，它们依然具有极其重要的意义。

³⁰ 古希腊怀疑主义将一切事物区分为两种：一种是“显明的”（*de la*）或“自明的”（*pro de la*），即通过自身直接呈现给感官或理智的东西，也就是现象。另一种是“非显明的”（*ad la*），即不能通过自身显示出来，不被感觉和理智所直接认识的东西。

独断论哲学家们（*dogmatike*）认为，哲学应当而且必须通过显明的东西来推知非显明的东西，透过现象世界的面纱去揭示彼岸世界的本质，只有这样的知识才具有必然性。因为在他们看来，“现象是非显明之物的表征”，即显明的东西可以作为记号和证据来推证非显明之物的实在性。

而怀疑主义对独断论的这些“独断”（*dogma*）命题和推证进行考察和批判，探究他们所建立的有关非显明之物的命题和推证根据何在，凭借什么可靠的手段来确保这些知识的必然性。

³¹ *也有观点认为，“怀疑论五式”是由古希腊的阿格里帕（Agrippa）所提出，只不过他的论点都是通过恩披里柯在其著作《毕洛主义概略》（*Pyrrhoniae Hypotyposes*，也有英文版译作 *Outlines of Pyrrhonism*）和《反杂学》（*Adversus Mathematicos*）中的叙述而传承至今。

³² **据恩披里柯介绍，这五个论式“第一个以观点的分歧为根据，第二个以无穷倒退为根据，第三个以相对性为根据，第四个以假设为根据，第五个以循环论证为根据”。

第一，观点分歧。我们发现，显现出来的现象无论在普通人之间还是在哲学家之间，都会引起难以解决的分歧。所以，我们既不能做出一个肯定判断，也不能做出一个否定判断，只好悬而不决，保留意见。

第二，无穷倒退。用来证明一个所研究事物的证据自身也是需要进一步证明的，而这个证明又需要更进一步的证明，这样下去直至无穷。由于我们不可能拥有一个可作为论证起点的根据，所以只好对事物保留意见，不作判断。

第三，相对性。只有在和判断主体及其伴随的知觉相关联中，一个对象才能具有这样或那样的现象，但它的本性是什么，我们却无法做出判断。

第四，假设武断。当独断论者迫于无穷后退的困境时，便把某个东西当作出发点。这个作为出发点的东西并不是通过论证建立的，而是他们简单地不通过任何证明而独断地确定的。

第五，循环论证。应该用来证明所研究对象的东西自身却要求对象来证实。在这种情况下两个命题中，我们既不能肯定这个证明那个，也不能肯定那个证明这个，所以对两者都只好存疑。

因此，结论只能是：“在一切情况下，我们对所显现出来的对象都不得不保留意见，不作判断”。

——摘自《西方哲学十五讲》，张志伟 著。

我们可以看到，相比起欧洲文艺复兴和启蒙运动之时的刚刚萌芽，目前的整个自然科学体系，已然长成为一棵参天大树，脉络清晰，枝繁叶茂。在这一路成长的过程之中，经过不懈的探索，寻求各种可能的真相。面对同一种事物或现象，常常会被提出多方不同的观点，众说纷纭，莫衷一是。比如，关于天体的运行规律，先后存在过地心说、日心说，以及现代宇宙学说等不同理论；而对于物体的相互作用及运动规律，则有过牛顿运动定律、相对论、量子力学等各种学说。此是为“观点分歧”。

在这纷繁的科学体系当中，逻辑学与数学可以说是绝对的根基。目前，逻辑学与数学普遍被科学界认为是形式科学而非自然科学的一部分，它们分析思考抽象问题，研究定义、规律、方法，强调严格的推理，这些都与基于实证、观察真实世界的自然科学不同，但同时它们又可以为那些学科提供研究的基础，使其建筑于严谨的基石之上。然而，事实上我们也可以看到，逻辑学与数学本身的基础却并非如理想中的那般严谨。

在前文第二章中重点提到的概念、命题、论证，是逻辑学中的基本概念。另外，同一律、矛盾律、排中律等，则被认为是逻辑学中的基础定律。这些基础的概念与定律，是建立一个完整逻辑体系的前提，但是它们并非来自于严谨的推导。

而在数学领域中，不同的分支都存在一些相应的公理，比如几何中有欧几里德几何体系的5条公理和5条公设，代数中有皮亚诺自然数公理系统的5条公理，等等。这些公理公设，同样是构建起庞大数学公理系统的基础，不过也都没有被严格地推导证明。

这意味着，一旦这些定律公理基本概念中的某一条被证伪，那相应的逻辑体系、数学公理系统就可能会被推倒重来。就好比是一栋构筑在沙地之上的大厦，支撑物一旦有所差池，或许顷刻间就会倾覆。

那么这些定律公理基本概念是从何而来的？虽然在哲学上，也曾有过“公理是人与生俱来的天赋观念或先验知识”这样的观点，不过更普遍的看法倾向于，公理的产生是来源于对客观世界事实的思考分析与总结归纳，而非先验知识。归纳方法有别于演绎方法，归纳方法并非完全有效，归纳得来的结论也不绝对保真。

因此，任何人、任何方法都无法确保或严格证明公理的正确性。此是为“**假设武断**”。

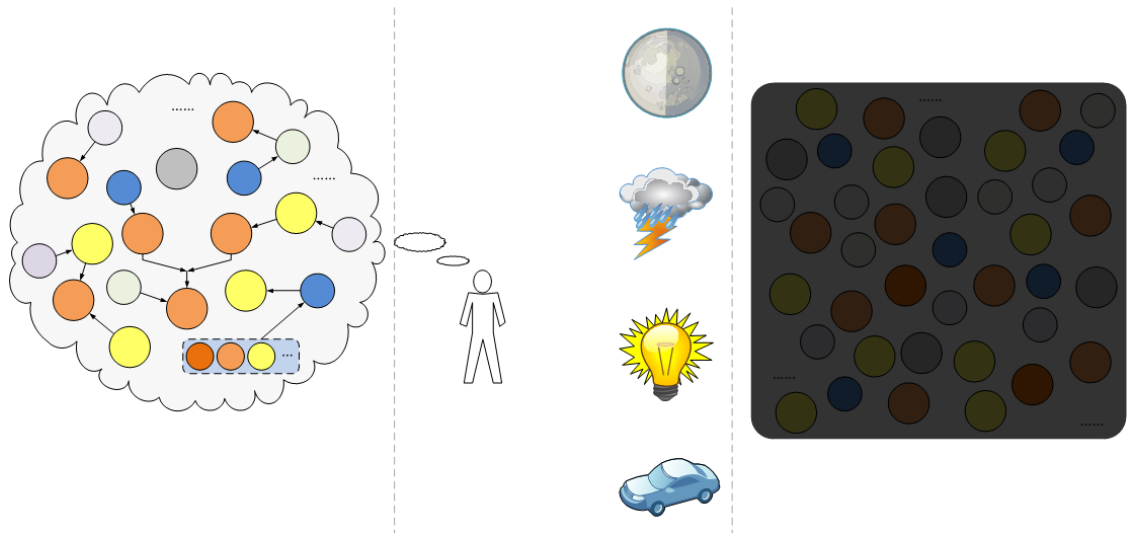
不过，在形式逻辑的推理规则里，任何一个推理，无论是演绎推理，还是归纳推理，都需要有至少一个出发点，即推理起始的依据。而公理体系依赖于推理规则，也必须从少数基本的、不加证明的命题出发来构建。例如，假设命题 A 由命题 B 推导而来，那命题 A 就是以命题 B 作为其推理论证的出发点。若命题 B 不加证明（或无法被证明及证伪），则其可以作为包括命题 A 在内的一个公理体系中的基石命题角色，即为“公理”。如果可以找到一个命题 C，它能够证明或推导出命题 B，那命题 B 就不能或不再是“公理”，而是“定理”或“推论”，同时命题 C 就可能接替命题 B 担任“公理”的角色。可以有命题 C 推导出命题 B，也可以有命题 D 推导出命题 C，如此往复，必将陷入“**无穷倒退**”之中。而若是非要“证明”这个基石公理命题，又要避免追溯，常常会迫使论证者往体系内部去寻求推理依据，这又会陷入“**循环论证**”的怪圈。

虽说，一个公理体系想要成型，最终必然还是会有一个出发点，否则追溯将会永无止境。而这个出发点的角色就决定了，最后被定义为“公理”的命题，又只能是不加证明地作为论据来引用。因而，一边是无法确保其正确性，另一边又必须是不加证明地引用，这就为这些逻辑体系、公理系统的合理性带来了问号。如何面对这种难以自证、又需依此来证明其它命题的窘境，及其带来的悖论风险？逻辑信息模型中的“发起者申明”，便是一种合适的解决方案。

定义“公理”以及完整的“公理体系”，应当是公理或公理体系之发起者的申明行为。公理的定义申明，可以在一定的范围内暂时确保公理体系从基础层面上实现逻辑自洽。就好似在沙地建筑的底部涂抹一层神奇的薄膜，使其地基暂时固化，不至于累及建筑坍塌。申明的基本概念与公理就是这样一层“薄膜”，“托住”了整个公理体系的地基，同时也成为限定该体系生效的范围条件。

定义申明行为的直接影响范围，或者说其作用域，仅限于发起者自身的主观意志。发起者申明所代表的是基于假设、限定的一种体系条件，即表明在此条件下所接受的一切论证、命题、概念，并且由这些元素构建起来的任意信息（或知

识)之复合形态——当然其中也包括公理体系,反映的均为发起者的主观意志,或者至少是被发起者主观意志所认可的。建立这种条件的前提,应当是承认主观意志与客观世界之间的差异和联系,并接受它们的“相对性”。(见图 44)而其他观察者可以在观察之后,认同此公理或公理体系,也可以质疑它,甚至是以发起者的角色来重新申明属于自己的、与之不同的公理或公理体系。



(图 44, 主观意志与客观世界的差异对照示意图)

若是真的出现了某个公理体系中的公理被质疑、证明或者证伪,那么之后就可能会发生以下几种情况之一:

1). 为现有公理体系修改底层公理;

例如: 1908 年, 德国数学家策梅洛 (Zermelo, E. F. F.) 提出 7 组集合公理, 开创了集合论的公理系统。后经弗伦克尔 (Fraenkel, A. A.) 和斯科朗 (Skolem, A. T.) 等人指出其中公理的不足之处, 并提出改进及补充新的公理, 逐步形成了目前普遍接受的、由 10 组公理组成的 ZFC 集合论公理系统。

2). 以被质疑公理之不同形态为条件, 建立新的公理体系;

例如: 平行公设是欧式几何成立的重要基础, 然而针对该公设有不少人提出过不同的观点, 并由此发展出多种非欧几何公理体系。其争议的焦点在于, “过既定直线之外的一点, 可以有几条直线与之平行?” 有人设想, 可以是一条也没有, 沿此思路诞生了黎曼几何 (Riemannian geometry, 也称椭圆几何); 也有人提出, 这样的平行线可以有至少两条, 继而又衍生出罗巴切夫斯基几何 (Lobachevskian geometry, 即双曲几何)。

3). 摒弃原先的公理，新起炉灶，重新构建公理体系；

例如：古希腊的欧几里得凭借《几何原本》，被世人奉为是最先将公理方法应用于几何领域之人。但是，后世在研究过程中逐渐发现其中的不少纰漏之处，部分内容的阐述也是完全依赖于直觉，较为牵强。1899 年，大卫·希尔伯特（David Hilbert）在其出版的《几何基础》（Grundlagen der Geometrie）中，通过形式化方法，重新提出 5 组 20 条公理，重构了欧式几何的公理体系，使欧氏几何的逻辑结构变得更为清晰。

可以看出，发起者声明的方式并不能帮助我们一蹴而就，找到客观世界的绝对真理，促成无需更改变动、达到静态完美的公理体系。然而，这是一种进退有度的动态平衡。暂时稳定且“够用”的公理体系，加上可持续改进的形式，为公理体系模式的每一步前进提供支点，以此确保稳健地发展。毕竟世间的信息与知识实在过于浩瀚，并非只有区区数千年文明历史的现今人类能够在短时间内全面掌握。

6.1.3 论证（广义）有效性

在亚里士多德的演绎逻辑体系中，推理是一种理想化的论证过程，是可以得出有效或者无效的判断，即为过程有效性二元化的判断。然而，在现实世界中，推理并非都符合二元有效性。究其原因，其中有一类是由于采取了归纳逻辑中并非完全归纳的推理方法，而不是演绎方法或者完全归纳方法；而另一类重要原因，则是因为在推理的过程中忽略了一部分论证的条件。

符合二元有效性的推理都必然是建立在某种理想状态的场景之中。演绎推理往往需要摒弃掉那些可能会影响推理有效性的因素，使其达到二元化推理的目的。因而通常会预先设置严密的上下文环境，这可以通过一定的假设、假说等条件来实现；或是只存在于某个非理想化完整论证中间的某些段落，这些段落一般都是前后条件一致，以确保段落中的演绎推理部分不受各类条件变化的影响。

完全归纳同样也可以达成二元化推理，是因为其设定了在推理过程中所涉类型的所有对象均被涵盖于论证之中的条件。当此条件不存在或失效时，该归纳推理也就不再是完全归纳而是非完全归纳，推理的有效性也不再是二元化的结果了。

当然，在非完全的归纳推理中，即使无法得到二元化的有效性结果，也还可能会适宜使用概率统计的方法，得出一个明确的有效性数值。不过这也是在存有一定的可量化条件的理想情况之下才能够实施。例如，我们经常可以在数学习题中看到类似于“在一个封闭的盒子里，有 N 个大小颜色形状完全相同的小球，……”、或是“在平面直角坐标系中，……”、“已知直角 $\triangle ABC$ ，……”等等这样的题目。此类题设其实就是在营造一种理想化的场景，使其无需受过多其它复杂因素的干扰。

即便如此，严格来说，在现实中通常还是难有满足二元有效性推理的理想状态，更多的只是一些近似于理想的情况。世间的论证大部分也都难以获得满足绝对的二元有效性或是确切的有效性概率数值的结论。

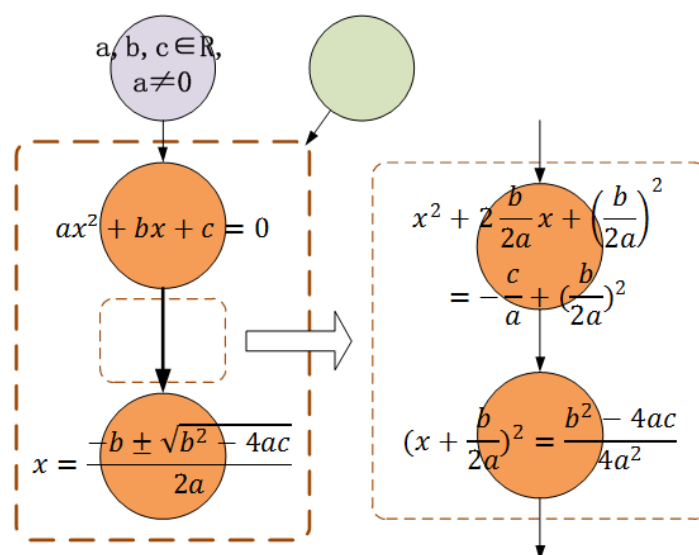
那如何能够给一个论证带来更加切实的有效性判定呢？由发起者强行申明是一种可行的途径，然而如果仅仅只有申明却没有足够多且有力的论证依据去支撑它的话，这样的结果应该会遭到大多数观察者的反对。

比如，早在 1803 年，英国科学家约翰·道尔顿 (John Dalton) 提出第一个原子模型，即“道尔顿实心球模型”。他的依据是通过化学实验所得知：①原子都是化学上不能再分割的粒子；②同种元素之原子的各种性质和质量都相同；③原子是微小的实心球体。然而到了 1897 年，约瑟夫·汤姆森 (Thomson, J. J.) 发现电子之后，就否定了道尔顿的“实心球模型”，并在若干年后提出了“葡萄干蛋糕模型”。他的模型依据是：①电子平均的分布在原子之上，就如同散布在一个均匀的正电荷的海洋之中，它们的负电荷与那些正电荷相互抵消；②在受到激发时，电子会离开原子，产生阴极射线。之后，卢瑟福 (Ernest Rutherford) 又否定了“葡萄干蛋糕模型”，并于 1911 年提出“行星模型”。他的理论依据则是来自于著名的 α 粒子散射实验的结果分析：①原子的大部分体积是空的；②在原子的中心有一个很小的原子核；③原子的全部正电荷都在原子核内，且几乎全部质量均集中在原子核内部；④带负电荷的电子在核空间进行绕核运动。在那之后，又分别出现过玻尔模型和电子云模型等，主要针对核外电子排布及运动方式又提出了一些不同的见解。

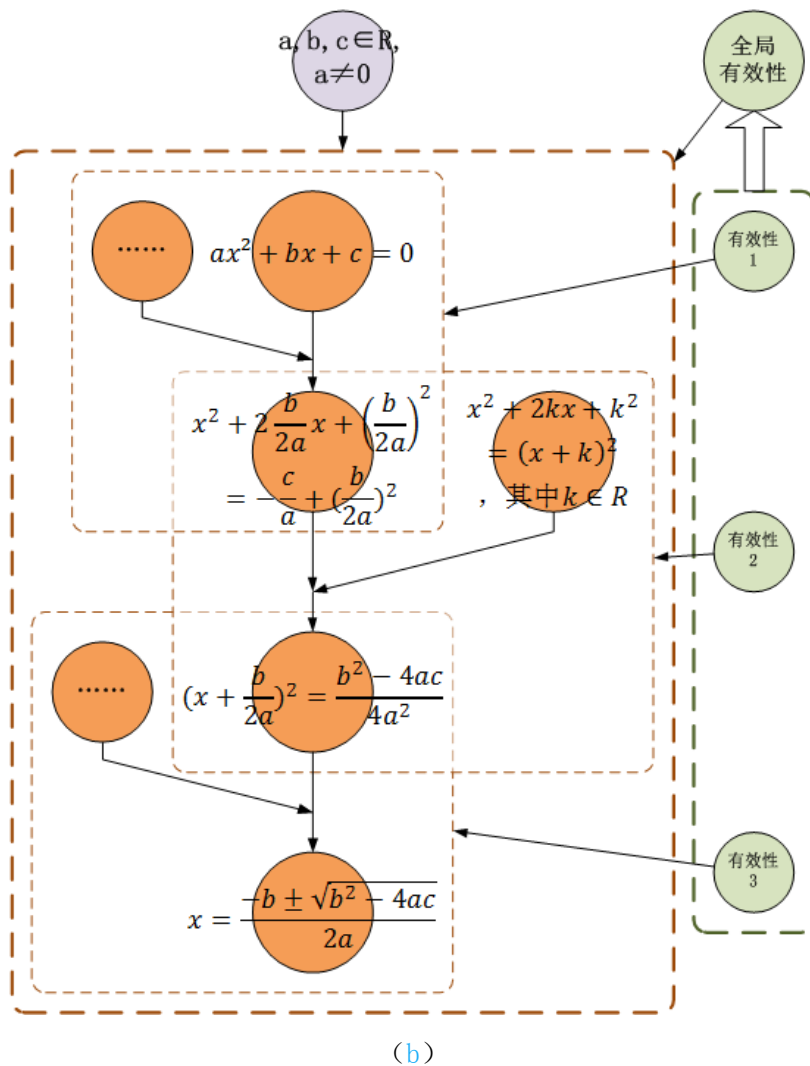
每一个在科学史上出现过的理论或者模型，都是一整套复杂的论证，或多或少都会有一些它出现的缘由和存在的依据，但这并不表示它一定会被人长久地认可。如果一直没有足够的事实依据作为支撑，又或是发现一些与该理论或模型相悖的现象时，就可能会动摇其支持者对它的信心程度，继而出现质疑甚至是反对。

除了发起者申明之外，另一种可以采用的、给论证带来更切实有效性判定的方法就是，将论证拆解为多个步骤，并分别判定或申明每个单一从论据导出结论的推理步骤的有效性，然后再将它们叠加形成完整论证的整体有效性。这样的论证拆解过程或许并不是一次性完成，而是不间断地分解细化，最终使得每一个中间过程都是一个不可分割的推论过程。

就譬如，(例 18)若要证明一元二次方程“ $ax^2+bx+c=0$ ”的方程根为： $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$ 的话，首先需要将方程一边配置成 $x^2+2kx+k^2$ 的形式，并将剩余的常数都转移到等号另一侧。因为 $x^2+2kx+k^2=(x+k)^2$ ，这样就凑成了一个变量加上一个常量之和的平方，然后将其连同等号另一侧的常数一同求得平方根，再之后就可以方便地得到方程式中 x 的解了。（见图 45a）在这个过程当中，每一步的推导就是一个小的推论过程，而每一个推论过程也都有各自的有效性。将这些所有的有效性叠加起来就构成了全局有效性，或者我们可以称之为“广义有效性”（general validity）。（见图 45b）



(a)



(图 45, 例 18 的论证示意图)

论证的过程不断拆解细化，对于确定每一步过程的论证有效性确实有利，然而步骤繁多对于论证整体有效性的评估也会带来更大的难度。一个论证经过严密的分解剖析之后，如果将其中所有用于证明最后结论的分支论证看作是一个连续的论证链，那么从概率论的角度来看，论证链当中的分支论证彼此之间基本上都是以积事件的关系存在。若所有分支论证的有效性均为可度量的概率值，那推算论证链的整体有效性，就只需要将这些分支论证的概率值相乘得到结果即可。不过，可以条件无损地通过概率统计来量化有效性的论证毕竟只是占少部分，更多的论证恐怕难以直接被量化，只能采用模糊的文字形式来描述其有效性概率。若是再考虑到那些难以度量有效性概率的分支论证与易于度量有效性概率的分支

论证可能同时作用于同一个论证链的整体有效性，其中所面临的问题就会变得复杂许多。

除此之外，能够对于单一一个论证的有效性产生影响的因素或是条件可能有很多，譬如纰漏误差、假设假说、文字歧义或是言语理解偏差等等，在论证当中未必都能够考虑周全。

而且，对于某一个命题观点或许也可以采取很多不同的论证方法。不同的论证可能有不同的有效性，即便这个命题是被普遍认为是真。就比如勾股定理（the Pythagorean Theorem），自问世以来被后世学者们提出过大量的论证方法。³³然而，如此繁多的方法中也不乏一些被判定为存在严重漏洞、或是拿假设作为前提、甚至还有用其它领域不相关的理论来张冠李戴。这样的论证，自然不会被认为有效。

此外，一旦论证链中某个分支论证的有效性发生变化，那么整个论证链的整体有效性也就需要重新评估。对于目前其主要的呈现方式，即口头陈述或书面文字来说，评估或是重新评估论证的有效性都是一个繁重的工作量，很容易出现由于忽略了部分论证信息所造成的主观臆断、误判等的情况。而逻辑信息网络则相对更适合用于剖析论证、分析其细节，并对其有效性进行估算。在逻辑信息网络中，论证的细节呈现可以更加直观；而且观察者可以直接定位到论证过程中的任何环节进行质疑和争辩，发起者则可以相应地反辩或修正论证内容。另外，以论证有效性的符号化作为依据，也能够将难以用于计算的自然语言有效性描述，转化为可用于计算的人工语言概率数值，方便得出论证的整体有效性。

6.1.4 展开与折叠

通常我们在论述某一观点的证明时，若是涉及到某些定理，一般来说就是直接将定理的结论拿来作为论据佐证自己的观点，而不会将定理的完整证明过程加

³³ 《美国数学月刊》（The American Mathematical Monthly）杂志光是在 19 世纪末期的数年中就陆续连载了 100 多种不同证法。至今公开提出的论证方法一共有不下 4、5 百种。

入进来。这是因为，被称为定理的论点通常都是经过科学地、专业地论证评估，虽然偶尔会出现一些存在瑕疵的情况，但是总体上还是可信度较高的。

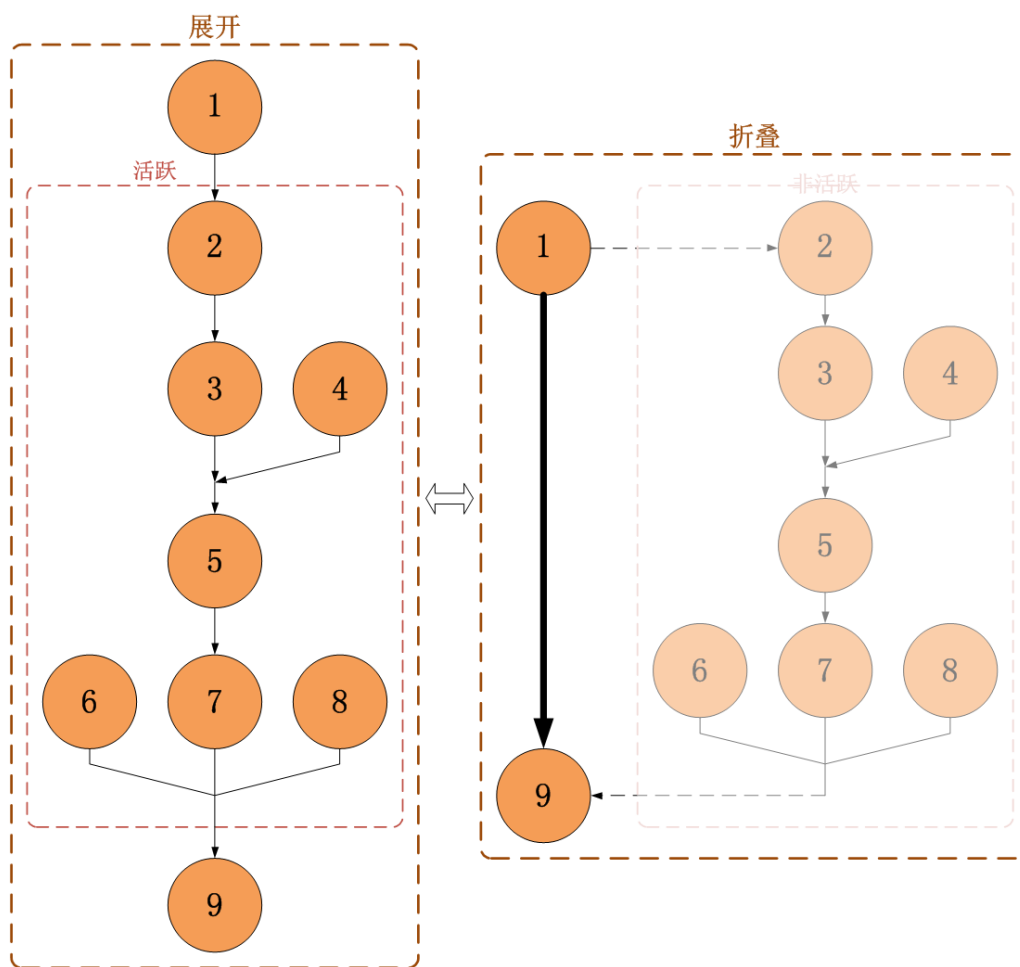
不过，这并不表示我们不能去深究一下定理的证明过程对于自己观点的支持程度。姑且不论定理并不是理想中的“真理”，也可能存在纰漏不足，即便是未被证伪的定理也存在着它的适用范围或限制条件。就比如牛顿经典力学，目前被认为只适用于我们日常生活中的宏观世界、低速环境，在接近光速的超高速场景、或者微观世界中，它是失效的。

另外，定理在知识传播的过程中，其内容也可能会由于传播媒介表述不一、适用范围或限制条件表述不完整等原因而被人误读，致使理解出现偏差，或是被不恰当地使用，从而引发类似于用爱因斯坦的质能方程（ $E=mc^2$ ）来证明勾股定理（直角 $\triangle ABC$ 中， $a^2+b^2=c^2$ ）这样的荒谬之举。

再者，定理的不当使用还可能会导致循环论证的发生。比如说，时常有人用直角坐标系中两点间的距离公式来证明勾股定理，如存在点 $A(a, 0)$ 、 $B(0, b)$ ，则 $|AB| = \sqrt{a^2 + b^2}$ ， $|AB|^2 = a^2 + b^2$ 。然而，解析几何中的两点间距离公式本身就被认为是以勾股定理为依据而证明得出的，这就是一个典型的循环论证。到底是先有“鸡”还是先有“蛋”，恐怕很多时候只有打开定理的论证细节去作评估才能有所定论，此时可视化功能或工具就可以为此提供便利。

在一个论证链当中，要深究其论据中的某个定理的话，最直接的办法就是将其证明过程展开。“展开”（expand）是逻辑信息网络中的一种行为。展开证明过程，就是使其中“非活跃”（inactive）的论证信息元素变为“活跃状态”（active），从而在论证链的呈现当中变为可见。

展开论证可以更加详实地呈现论证的细节，便于发现其中潜藏的问题，但是同时也会使得论证链的呈现变得冗长。当不再需要深究细节时，则可以将论证过程折叠起来。“折叠”（collapse）论证过程，也就是将过程中的部分“活跃”（active）信息元素变为“非活跃状态”（inactive），继而不再呈现于论证链之中。



(图 46, 论证的展开与折叠模型示意图)

例 19:

16 世纪法国数学家弗朗索瓦·韦达 (François Viète) 发现了代数方程的根与系数之间的关系, 即韦达定理 (Vieta Theorem)。该定理的内容如下:

“设①一元二次方程 $ax^2+bx+c=0$, 其中 $a, b, c \in \mathbb{R}$, $a \neq 0$, 则②两方程根 x_1, x_2 有如下关系:
 $x_1+x_2=-b/a$, $x_1x_2=c/a$ 。”

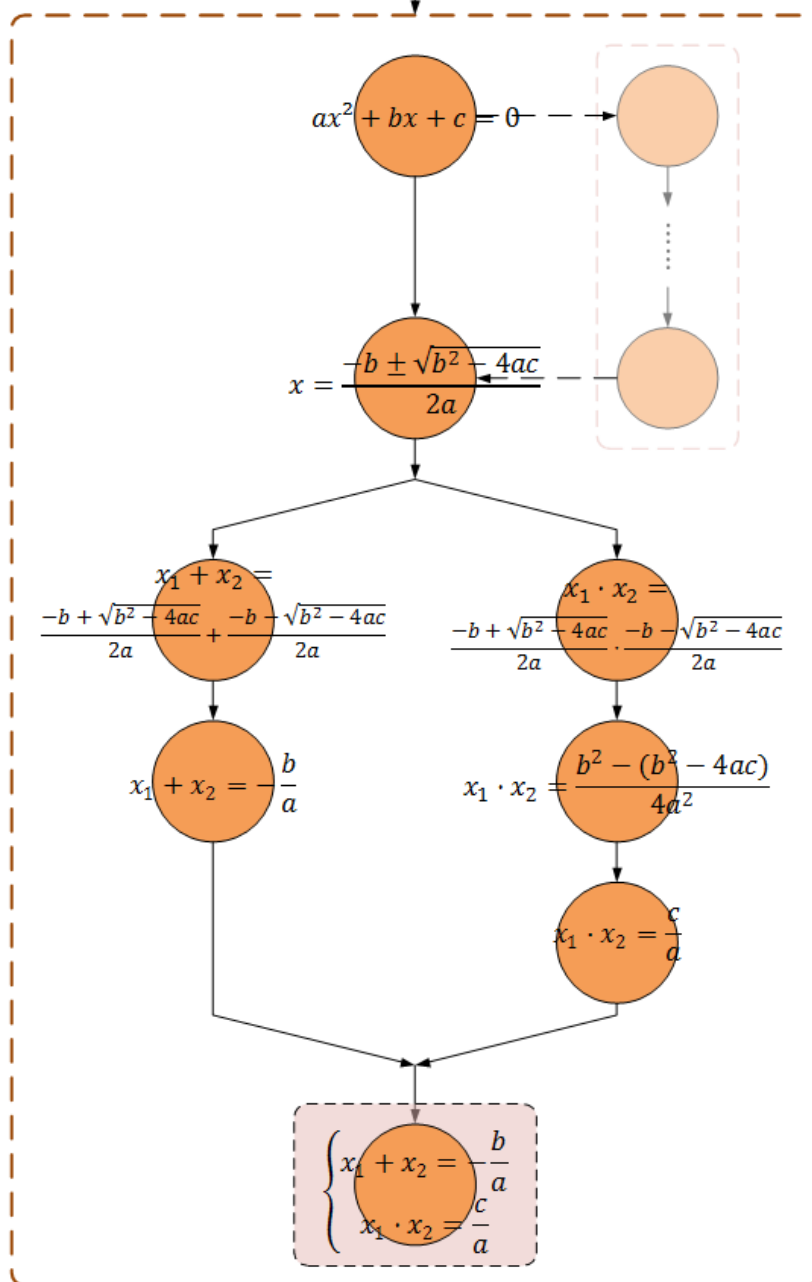
该定理内容可以看作是一个假言命题, 分支命题①提供假想条件, 分支命题②提供断言。(见图 47a) 该定理的证明过程如图 47b 所示, 在该过程中可以直接借用例 18 的论证结论, 使其部分步骤被折叠, 压缩了论证过程的长度。而当需要借此定理结论来作为其它计算或者推论的依据之时, 比如计算 $x_1^2x_2+x_1x_2^2$, 又可以将该定理的证明过程完整地折叠起来, 如图 47c 所示。

一元二次方程 $ax^2+bx+c=0$
 , 其中 $a, b, c \in \mathbb{R}$, $a \neq 0$

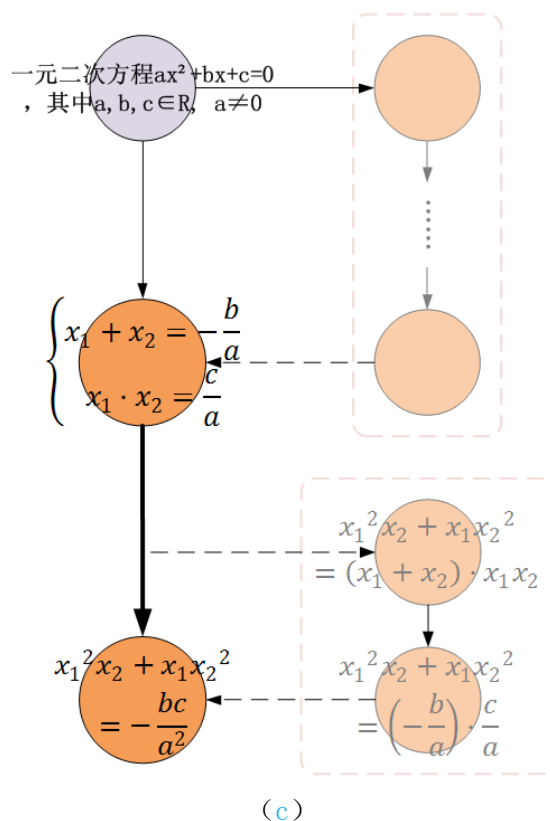
$$\begin{cases} x_1 + x_2 = -\frac{b}{a} \\ x_1 \cdot x_2 = \frac{c}{a} \end{cases}$$

(a)

一元二次方程 $ax^2+bx+c=0$
 , 其中 $a, b, c \in \mathbb{R}$, $a \neq 0$



(b)



(图 47, 例 19 的论证展开与折叠模型示意图)

一个理想的逻辑信息网络，理论上可以蕴涵海量的论证信息元素，而且这些信息元素之间大部分可以通过不同的关系连接到一起。一旦将某个论证链上的所有细节一并展现出来，那将可能是一组极为庞大的信息量。无论是呈现效率，还是呈现效果，都将很难让人接受。由此可见，折叠行为在应用中势必就具有非常重要的实际意义。

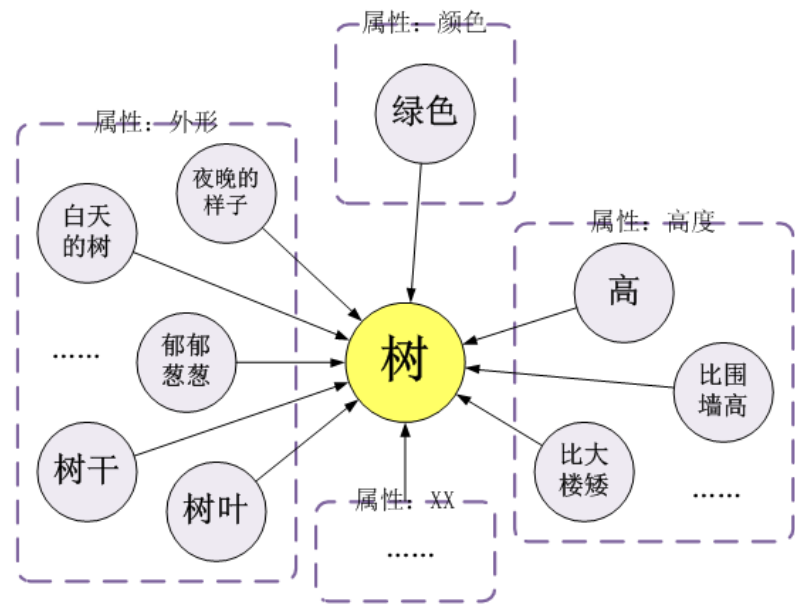
6.2 信息功能

6.2.1 静态信息

逻辑是建立在信息的基础之上的，一切逻辑关系所反映的都是信息之间的联系。

从认知科学的角度来说，我们从出生开始就一直在不断地接收着周围的信息，从而认识这个世界。任何一样事物，都可以传达出各式各样的不同信息。比如一棵树，我们可以看到它很“高”，也可以看到它是“绿色”的，这些都属于它——“这棵树”这个特称概念的属性。一棵树的属性可以有很多，高度、颜色、外形、触感等等。每个人都可能只接触到其中的一部分属性；即使同一种属性，不同的人获悉到的信息内容也有可能是不同的。有人看到的是白天的树，而有人看到的是它夜晚的样子；有些人看到它很高，比旁边的围墙高，也有些人看到它不高，比另一侧的大楼要矮；有的人在树下看到树干，有的人爬到树顶上看到树叶，还有人通过无人机从天上看到整棵树的郁郁葱葱。

这些迥异的属性以及属性内容可以在逻辑信息网络中构成一个概念实体所传达出的所有信息。



(图 48，概念实体之立体属性信息示例图)

我们在对于外界信息的认知上是一个层次递进、由浅入深的过程。这个过程往往就是由表象信息向内在本质信息推进的过程。表象信息是容易被我们的周身感知器官所获悉的信息，通常可以提供一个简单定性的判断。这棵树是不是比围墙高？这是一眼就能看出来的。树上的虫子有没有发出声音？我们用耳朵就能听到。

而要获得内在的本质信息，则需要有更多的前提，即上下文信息。

这棵树比围墙高，高多少？这需要用到相应的测量工具。那只虫子发出的声音有多响？也需要有合适的记录观测设备。熟悉且了解如何使用设备，这是一种上下文信息。这棵树为什么到了秋天树叶会变红？那只虫子如何发出响声？这些可能都需要进行观察以及生物实验。这些观察方法和实验手段也是一种上下文信息。

观测和测量之后的结果是什么？“这棵树比围墙高 2 米”、“那只虫子的声响有 50 分贝”，这里的“2 米”和“50 分贝”都是所需的相关知识储备，涉及数学与物理学中的部分内容；“这棵树的树叶中含有花青素”、“那只虫子靠震动腹部鼓膜发声”，这里的“花青素”和“鼓膜”也都是生物学中的相关概念。这些都是一种上下文信息。

有时候，为了获悉内在信息，我们可能还有必要设定一些条件或假说，建立一些模型。这些条件、假说或模型也是上下文信息。

需要大量的上下文信息作为前提，就决定了相比于表象信息，内在本质信息会涉及更大的信息量，也更难以被掌握。

由于这些信息都属于某个特定概念，而不会同时又属于另一个特定概念，所以这里我们称它们为“静态信息”（static information）。

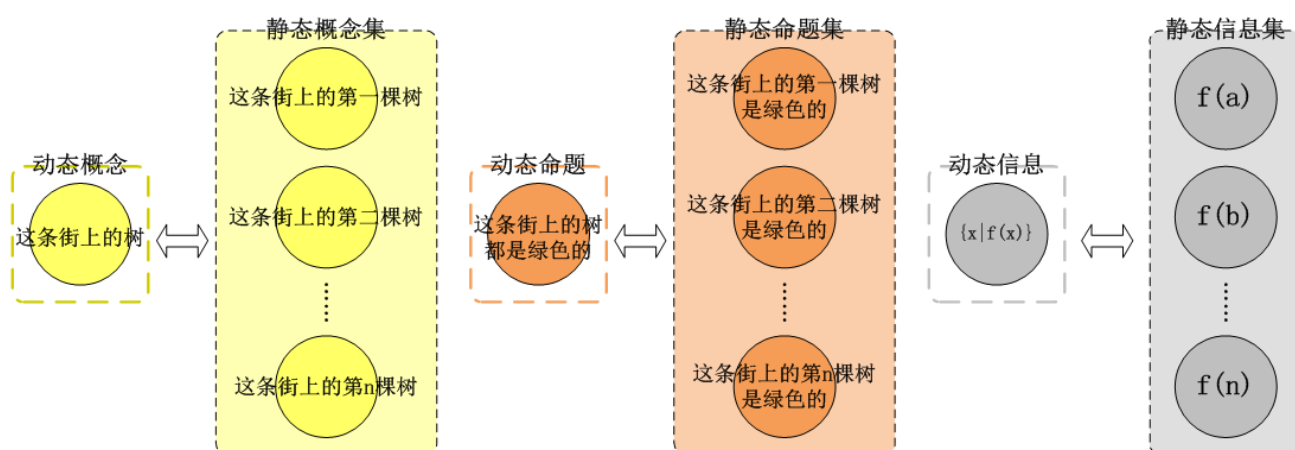
6.2.2 动态信息

值得注意的是，上一节中所提到的“信息是否属于不同的特定概念”这一说法，与“不同的特定概念的内容是否一致”是两种不同的概念。就好比 we 说，“这棵树是绿色的”、“那棵树也是绿色的”，从面向对象的角度来说，这里的“绿色”和“绿色”虽然内容一致，却是不同的对象。前者是“这棵树”的属性，后者是“那棵树”的属性，两者不能混为一谈。

然而，一旦属性内容一致的概念增多，表示的时候就会显得冗杂，此时我们可以将它们合并到一起来表示，比如“这条街上的树都是绿色的”。这样表示的信息是一种“动态信息”（dynamic information），因为这里的“绿色”除了是

“这条街上的树”这个概念的属性，同时也可以是“这条街上”的“第一棵树”、“第二棵树”……“第N棵树”的属性。

这种表示方式就类似于我们在数学中常常用到的集合方法。用集合来表示对象，不仅可以用列举法将对象一一罗列出来（如 $\{a, b, c\}$ ），也可以用描述法来表示这些对象的共同特征（如 $\{x | f(x)\}$ ）。描述法用表达式中的变量来指代可变的对象，我们在逻辑信息模型中也可以用动态信息来表示可变的对象。命题“这条街上的树都是绿色的”是一个动态信息，它可以与N个形如“这条街上的第N棵树的绿色的”的静态信息命题相对应。其中的变元概念“这条街上的树”也是动态信息，它也可以与N个形如“这条街上的第N棵树”的静态信息概念存在符合特定关系的关联。这种关联我们暂且称之为“动静关系”（dynamic-static）。



（图 49，动态信息映射到静态信息示意图）

动态信息的作用是显而易见的。首先，同集合的描述法一样，动态信息适合用于表示无穷集对象，也可以表示有穷集对象，特别是较大量级的有穷集对象。这对于简化表达同类对象非常有益。

其次，在论证推理的过程中，特别是完全归纳论证，经常会遇到无穷集对象或是较大量级的有穷集对象作为论据或结论；另外使用全称量词加以修饰的概念、命题乃至由它们构成的论证当中，也会出现无穷集对象或较大量级的有穷集对象。利用表示大量级对象的动态信息与相关静态信息之间的关联，在适当的时候拆解或合并论证、命题等，可以使得论证的细节更加清晰，也更便于分析。

再者，动态信息中的变元也可以是指代不确定的对象。例如公式（无论是数学公式或是命题公式）中的变项、编程代码中的变量，都是起到这样的作用。不

确定的对象意味着，动态信息中的变元可以在合适的条件下进行代换，从而达到使之映射为可确定的静态信息的目的。

譬如，“ $y=ax+b$ ”是二元一次方程的通用公式，它可以用来表示所有的二元一次方程的集合，这个通用公式就是一个动态信息，其中 a 、 b 、 x 、 y 都是变元。当 a 、 b 都取定确切的数值时，例如“ $y=2x+5$ ”，该公式就是一个二元一次方程的特例。相对于通用公式来说，它就是个静态信息。同时，一个二元一次方程可以在笛卡尔坐标系中对应一条确定的直线，而 x 、 y 作为二元一次方程的变项，可以指代这条直线上任意一点的坐标。也就是说，它们所处的二元一次方程可以表示这条直线上所有点的坐标的集合。从这个角度来看，这个二元一次方程特例也可以是一个动态信息。

由此也不难看出，动态信息与静态信息并非是绝对地一成不变，而是彼此相互依存的一对概念。一个信息是动态还是静态的，要取决于它是否以更加动态或者更加静态的信息作为参照。

不同的条件可以使得同一个动态信息映射到不同的静态信息，从而使其具备极佳的适配性。这种形式适合用于灵活多变、不同于一般静态知识的内容，例如算法（algorithm）。

算法在很多时候被认为是一种适合于用计算机程序来实现的、为解决特定问题而构造的指令集。不过，这种说法略显狭隘，因为算法不等同于程序本身，也不仅仅是编程代码。从本质上来说，算法是为实现特定目标或功能而设计的一种方案。这种方案的核心在于，确切描述为实现目标而制定的细致且可执行的操作步骤。语言描述为主，实现代码为辅，描述与代码可以相互对应。无论是语言描述也好，程序代码也好，都是以文本信息的形式来作呈现，且其中也多为灵活的动态信息。越是复杂的算法，越是灵活，自然其中的动态信息也就越多。

以较为常见且简单的二分查找算法（binary search）为例。（参见附录二）在附录二中，同样都表现了二分查找算法的步骤，无论是以便于理解的文字描述为代表的段落①，还是以便于执行的代码描述为代表的段落⑤，都可以进一步拆解出更细微的信息元素，继而可以使其彼此一一对应。其中，关键字（key）、

队列（`array`）、中间位置（`mid`）、比对结果（`comparisonResult`）等等都是动态信息，其具体取值会随着输入算法的对象的改变、或是算法执行过程中的演变而发生变化。这些动态信息的存在，使得算法能够广泛适配不同的场景，确保了算法在面对各种代换条件时的灵活性。同样的，其它各类复杂的算法也均可依此类推。

动态信息具有与静态信息不同的特性，使得由动态信息为主构成的逻辑信息网络与由静态信息为主构成的逻辑信息网络在用途上可以存在很大的差异。静态逻辑信息网络适合知识数据类的信息，而动态逻辑信息网络则更适合算法操作行为类的信息。

6.2.3 领域信息分层与分级

纵观这世间的信息，数不胜数，无穷无尽，没有人可以获取到所有的信息。若要有效地掌握尽可能多的信息，就需要将信息进行适当地分类管理。依照常识来看不难理解，每一个独立的概念都可以是属于一个特定的领域，我们可以称它为这个领域中的领域信息（`domain information`）或者领域知识（`domain knowledge`）。有了不同“领域”这样的概念，就方便将信息或知识划分到更小的范围里，以便将关注点聚焦在较小的、更为可控的信息量之内。

那领域如何来划分？最直接的方法就是按照我们的学术学科来划分。目前从大类上来说，国内的学科主要分为哲学、文学、理学、工学、法学、医学、历史学、教育学、经济学等十多个门类。这些是对于领域的一种不错的定义方式。

在逻辑信息网络中，按领域来划分信息或知识，是一种简单有效的信息分类管理方法。只需预先定义好领域，并将领域信息作为相应信息或知识的属性加以关联即可。

不过，又该如何来管理领域呢？这可以从学科分类的国家标准中得到启示。根据 2009 年发布的学科分类国家标准（GB/T13745-2009）来看，所有学科大致被分为了 62 个一级学科、676 个二级学科和 2382 个三级学科。这是一种多层学科分类方式，这种方式目前在全球学术界被普遍采纳。例如，美国的“Classification of Instructional Programs”（CIP，即学科专业目录）分别采用 2 位数、4 位数与 6 位数代码作为其三个层次学科的标识；而英国的 JACS 体系（The Joint Academic Coding System，即综合学科编码体系）使用字母（代表学科领域）和数字相结合的标识（代表学科代码），来体现其明显的学科层次结构。多层次的学科分类有助于控制领域的范围，不同层次的领域之间可以有明显的领域大小之分。通常来说，高层次的领域会包含只隶属于它的低层次领域中的所有信息或知识。

当然，领域的定义方式并不固定，学科划分也一直都在变化发展当中。作为今日各国大学学位制度起源的欧洲中世纪大学，在 13 世纪时仅开设了文法医神四大门类，涵盖七艺（文法、逻辑与辩证、修辞、算术、几何、音乐、天文）和法律、医学、神学等科目。之后历经数百年的变迁，基础学科领域的探索日趋完善，应用学科领域也是遍地开花。这就导致现代学科不断分化细化，出现了大量的新兴学科。另一方面，随着科学持续发展，被限制在单一领域中的知识和信息常常不足以支撑起对某些特定问题的深入研究，此时交叉学科也就应运而生。譬如，数理逻辑就是数学和逻辑学的交叉学科；计算物理学、生物化学、神经心理学等等也都是交叉学科。

一般来说，交叉学科领域内的信息或知识也同时会隶属于被交叉的单一学科。即便有些不是交叉学科，其中所属的知识或信息也并非一定是其所独有。就好比古生物学是生命科学中的分支，但由于学科特性其中必然也会涉及到不少考古、地理、历史等学科的知识。

如果说，按领域来划分可以看作是在横向上将信息切分为若干组，那按层级关系划分则是在纵向上将信息分级。以“文章”为基准单位，向下可分为段落、句直至字或字母等多个级别，向上可以衍生出由若干文章构成的出版物形式，如

专著书籍、杂志期刊、新闻报纸等等，又或者是电子博客、网络新媒体之类的电子出版物。

划分层级关系是划分领域的有效补充手段，两者相辅相成。因为不难发现，在单一领域中的内容依然会有很多，光是只有领域作为划分信息的条件显然还不够。况且领域本身也是一个比较抽象的概念，每个人对于领域的理解或许并不完全相同，对于领域内信息的归属也可能产生歧义。而层级关系看起来会更加直观，且更易于制定实施规则。

6.3 行为

从本质上来讲，逻辑信息网络算是一个可以汇集一切信息和知识的信息系统，且这些信息及知识的内容对象（即信息元素）都是由系统内的用户角色来生产创作（**user generated content**）。

用户有角色相应的用例，也就是用户的“行为”（**act**）。逻辑信息网络中，无论是逻辑功能还是信息功能，实际上都建立在这些行为之上。论证链的展开与折叠是一种行为，领域划分（**domain dividing**）、信息分层与分级（**hierarchy dividing & classifying of information**）也是一种行为。还有前文提到的组合与拆解、融合与分解、序列化与反序列化，以及建立信息元素之间关系的关联（**correlating**）等等，都是逻辑信息网络中所提供的基础行为。

除了这些行为之外，我们还可以为逻辑信息网络设定一些符合一般信息系统的行为，例如：

1). 信息元素的私有与公开（**hiding & unhiding**）

系统内的用户自创作了内容之后，便和内容之间产生了所有者与被所有对象的关系。这种关系可以认定，被所有对象是所有者的私有对象，但也可以由所有者选择向其它用户公开；或者可以认为，被所有对象只能处于私有状态，不能被

公开；亦或是被所有对象只能处于公开状态，不能被私有。这些不同的关系性质的抉择，取决于实际的逻辑信息网络构建者的意愿。

如果只能选择私有，那这就是一个个人信息管理工具；如果只能选择公开，那就是一个公共信息库，或者信息市场；如果用户既能选择将信息私有，也可以选择将其公开，那这就不仅仅是一个个人信息管理工具与公共信息库的结合，同时也是一个带有社交属性的综合信息平台。用户可以选择的信息公开程度（比如：完全公开/向所有用户公开/上载副本至公共信息库，有条件公开/向部分用户公开/向好友用户公开，完全不公开/仅自己所有，等等），决定了这个综合信息平台的自身特色和发展趋向。

2). 同义、近义信息元素的归并与拆分 (merging & splitting)

在公共信息市场中，可能会遇到这样一种情况：两个用户分别上载了两份信息，这两份信息内容的文字表达相似，意义也相近，或者可以认为两者是彼此的等价表达，这就是同义或近义的信息元素。

例如：

用户 A：“尼古拉·特斯拉是一位著名的电磁物理学家”；

用户 B：“特斯拉是一位对于电磁学领域有着卓著贡献的科学家”。

这在逻辑信息网络中可以被看作是，两者之间存在同义关系、近义关系，或是等价关系。

公共的信息或知识可能会引发评论与争辩，若是多份相近的信息存在则会分散关注的焦点。因此，在这种情况下，将同义或近义的信息元素归并到一起，成为一个共同的组合，将是一种合适的应对操作。

当然，这不应该是所有用户都可以使用的操作行为，而是只属于用户中的系统管理员角色专有。而且，这个过程也不是一蹴而就的，想必应该会有一些的审核流程，以应对这样一种操作可能在公开平台上产生的较大范围影响。

如若已经归并的信息元素，事后又被认定为不符合同义或近义的标准，则也可以通过归并的反向操作来拆分这组信息元素，使其还原为各自独立的元素。这种情况或许并不常见，但也不能被认定为不会存在。

3). 信息元素的版本控制 (version control)

可变性是信息系统中对象的特性之一，用户可以合理地利用系统提供的操作来修改对象的内容。信息元素对象发生改变，就产生了变更记录。变更记录是追踪对象内容变化过程的最重要依据。就好比在软件工程的项目管理中，基本上都会使用版本控制系统的工具（如 **Git**、**SVN** 等）来管理编程代码，以达到对于代码内容的全生命周期的了解。而逻辑信息网络中信息元素同样也存在从创建到修改、再修改、不断修改直至最后删除的生命周期。对于这整个过程的记录有助于了解各种信息和知识的变化情况。

若对私有的信息元素进行版本控制，用户可以方便地回溯过往的信息。若是对公开的信息元素进行版本控制，则可以更好地展示某项知识从提出到被不同用户申明、争辩、修正直至定型的全过程。

七、逻辑信息网络·意义

逻辑信息网络的意义，不仅在于提供众多的逻辑与信息方面的功能，即为所有论证呈现对象形式化的工具，以及可以容纳所有逻辑信息的容器；而且还在于它有众多的适用场景，可以为我们的科学研究、知识普及、阅读方式、认知记忆以及人工智能等领域的发展提供全新的助推力。

7.1 科学研究与普及

7.1.1 科学建模

科学研究是一个不断追求真理的过程，而建立模型则是非常重要的科学研究方法之一。

科学模型是对研究对象所做的一种简化描述，可能是文字形式，也可能包含图像、声音、视频、实物、数据流等不同类型的表现形式。这种描述或是由于对被研究对象的形态、特征、本质或发展规律并未完全了解，只能依赖于获悉的已知部分；或是为了深入分析被研究对象的某些内在本质，有针对性地选取个别特征来进行描述；又或者是为被研究对象设置一些特定的外在条件作为基础，并以此观察分析被研究对象的表现或行为等征状。

所以，模型往往都是一种理想化的状态，它接近于现实中的事物，但很可能并不完全相同。它既可能对应于一个有一定现实根据的理论，也可能来源于一个大胆推测的假说。在科学研究的进程中，通常是先罗列一些内在、外在条件，构建起一个模型框架，然后基于模型来研究某些实际问题。通过一些研究和证明方法——无论是观察、实验、问卷调查的实证方法，还是定性、定量、概率统计的分析方法，或是演绎、归纳、反证归谬的论证方法，亦或文献、案例、分类、对比的研究方法等等——在模型基础之上获取一些数据，然后以此来推断出一个或

一系列结论，又或者验证一个或多个观点正确与否。之后再基于结论来修正调整模型，使之不断完善，以期尽可能地接近客观事物的本质。

在此期间，需要观察分析被研究对象的各种特征，设定各种假设或限制条件，而这些特征和条件之间相互总是会有着很强的逻辑关系存在。另外，从建立理想化的模型，到实验观察获得数据，再基于数据得出结论，这整个过程也都少不了逻辑分析以及合理的推导论证。

因此，特征和条件等信息是一个模型的基础，而分析、归纳等逻辑手段则是建立起一个理想模型的导引。这就好比只有将一堆合格的建筑材料与一份优质的设计图纸相结合，才能生产出完美的建筑物。遵循合理的逻辑，才能逐渐将各种信息糅合到一起，使之具象化，并逐步构建出复杂完整的模型。

在这一系列的过程中，借助信息化手段构建起来的逻辑信息网络能够为之提供快速灵活、功能强大的辅助工具。静态信息用以描述模型特征和条件，动态信息则描述模型研究方法。将两者结合，就可以形成模型的完整描述。

此外，用信息元素构成的描述，其中的逻辑性也能得到完整清晰地展示。但凡涉及论证推导，都可用到“命题”、“论证”等信息元素；涉及描述，则需要用到“概念”、“事实叙述”或“信息关系”之类的信息元素。如此立体呈现，便于研究科学模型时分析其中的各处细节是否合理，是否尚有瑕疵漏洞等等。而且其结构灵活，调整起来也会更为方便，整体可读性更强。

在一个具备逻辑性的信息容器中构建科学模型，并使之具象化，有利于逐步形成较为复杂的科学体系。另外，每个人也都可以方便地在这样一个开放的容器中就一些实际的现象或问题建立属于自己个人的独立模型，无论这个模型看上去是否合乎当前被他人所认可的理论，无论它是多么的“惊世妄言”，甚至“歪理邪说”。当然，发起者也需要为这个模型以及它的结论带去足够多的论据，以支持自己的模型是切实可信的，从而可以使之在与同领域不同模型之间的比较中获得他人更多的认同。

以个人的名义建立独立模型，也有利于弱化业内既有权威对于后来者的威慑。由于绝对缜密且完备的演绎论证或完全归纳论证，只存在于论证中某些特定的局

部段落，或是一些理想状态之中，致使科学模型中的论证推导基本都会存在一些不完善的地方。也就是说，今时今日依然很难得到已经完美无瑕且普遍适用的模型。科学之路道阻且长，路途之中的每一个里程碑固然重要，但是只有不停顿地持续探索下去，才能更加靠近理想中的真理。经典的理论学说固然对后世贡献良多，但也需要跨过经典，摆脱固有思维，推陈出新，不断涌现出相较于传统有所改进的模型。不同的模型、理论、假说越多，越容易促进学术界中的良性竞争，形成百家争鸣的局面，这对于那些人类尚且难以摸清规律的领域研究来说是非常有帮助的。

2017 年诺贝尔生理学或医学奖，表彰了在生物钟分子调控机制研究中促成重要理论模型的 3 位科学家，该理论模型详细阐明了生物钟基因表达蛋白对调控生物钟周期所起到的显著作用。同样是时间生物学的研究领域里，自 20 世纪 5、60 年代起，就相继有研究者提出过多种不同的理论模型：褪黑激素（Melatonin）调控“睡眠-觉醒”节律（sleep-wake rhythm），光照、温度、进食等环境信号组成复合授时因子（time giver）调节生物昼夜节律相位等等，这些迥异的模型表达了提出者各自对于生物钟领域的研究成果和理解。

而在更为扑朔迷离的前沿物理学领域，存在着更多的独立模型。在 20 世纪早期，广义相对论和量子力学两大理论体系的创立，促成了粒子物理学和宇宙学之标准模型的发展，但是这依旧没能解开物质世界的所有谜团。“暗物质”（Dark Matter）、“暗能量”（Dark Energy）等模型曾被提出，用来解释一些在天文观测中与之前理论推算所不相符的质量、能量缺失现象，然而这些潜在的粒子和能量始终都没能在物理实验中被捕获到。另外，现有的力学模型对于四种基本力³⁴的解释尚不完善，并且无法以此完美地诠释黑洞（Black Hole）、宇宙暴胀（Inflation Theory）等天体现象。面对种种谜题，又陆续有科学家提出了修正引力（Modified Gravity）、超对称（Supersymmetry）、第五种基本力（A fifth force）、多重宇宙（Multiverse 或 Parallel Universes）、弦理论（String Theory）等等多种不同的前沿理论模型。虽然这些理论同样也都尚待实际观察和实验的验证，但更多的理论模型也提供了更多的思考角度、思维方式以及实验方法，这些都预示着人类对于科学的理解又多出一分，向着真理又迈进一步。

³⁴ 四种基本力：弱核力、强核力、电磁力和引力。

7.1.2 跨领域研究

时至上世纪末，人类在各大基础学科领域的探索业已接近完善，单一领域内的科研力量也早已由科学理论转而向科学应用的方向大幅过渡。在新世纪里，科学研究的大方向应该会逐步向着跨领域、跨学科研究的目标调转，不断创造新的交叉学科。

跨领域研究不同于单一领域研究，它对于知识和信息的广度要求更高，不仅可能涉及到每一个相关单一领域内的任意知识，更需要独立于单一领域之外而又与多个单一领域息息相关的信息。信息的涉及面更广，也就意味着搜集相关领域信息的难度可能会增大，搜集效率也会下降，进而可能导致研究的难度变得更高，遇到疑难问题也更难以判断该从何处下手。

提高科学信息搜集效率是一项非常重要且有意义的事情。这就如同我们在数据库中作数据检索之前，往往需要预先做一些提升检索效率的工作一样。其中，将海量数据进行分表分区甚至分库操作就是最常用的全局性手段之一。

类似地，在逻辑信息网络中，我们也可以对所有信息和知识按领域来作细分。前文中提到的领域信息分层与分级只是一种逻辑细分方法，领域内信息的物理划分就需要在数据库或者其它存储设备的层面上来进行。按领域来分表是一种简单合理的处理方式，不过这也必须根据实际的数据量以及读写流量峰值来作调整。另外，交叉领域的信息数据该如何划分？是单独分表，还是分别在相关领域表中做冗余数据？这就值得在实际操作当中仔细斟酌了。

除此之外，由于目前领域的数量已经相当庞大，在基于实际业务需要的情况下，也可以将不同性质的领域进行分库管理。例如，将逻辑性较强的自然科学领域与逻辑性不那么强的社会人文科学领域划分至不同的数据库，或是参照国内较为主流的“哲文理工法医”等十多种学科门类的分类方式来作分库，等等。

将繁杂的信息按领域划分，便于分类管理。然而，对于那些只分别掌握各自领域知识、却又需要展开跨领域合作的人来说，他们彼此的沟通交流可能会因为领域之间的隔阂而遇到障碍。

每个领域中总会有一些独特的知识概念，不为领域外的人所熟知。另外，有些信息或许本身就涉及多个领域，且内涵并无差异，只是因为不同的领域内有各自专用的学术规范，便产生了不同的专业术语表达。又或者，同一个术语语词，在不同的领域中存在不同的含义。凡此种种，都是可能导致领域之间产生鸿沟的原因。

那么，如何能够消除不同领域之间知识的隔阂与歧义，减少沟通障碍呢？或许，为某一具体领域内的同一个领域知识或信息同时映射多种不同的描述，会是逻辑信息网络所能提供的一种切实可行的解决方案。这几类描述，可以分别面向于领域外人士、领域内的初级人士和领域内的专业人士。第一类描述，使用常用的、无歧义的、领域外普遍能接受的语词语句，确保领域外人士大致能够了解；第二类描述，在第一类描述的基础上，再关联少量入门的领域知识，并简化一部分为了满足第一类描述而添加的冗长的叙述内容，以确保领域内的初级人士以及领域外有较高认知能力的人士能够基本理解；第三类描述，则在第二类描述的基础上，进一步关联大量专业的领域知识或概念，并折叠一部分在领域内可以被视为常识的推导过程或者叙述性语词语句，内容可以更加精简，适合对本领域内大部分知识已高度掌握的专业人士。

如此按“无门槛-进阶-专业”几个不同层次来划分描述的“多重信息描述方案”（Multiple Information Description Scheme, MIDS），固然会产生大量看似冗余的信息，但是丰富的数据也使得知识相关的细节更加饱满，同时明确的层次也可以使得更多人能够理解和认识到它的真实含义，从而减少歧义和沟通障碍。

7.1.3 科学普及

不仅是学术圈内不同领域的专业人士之间，可能会因为领域知识不对等而存在隔阂，在学术圈内外更是普遍地相隔着极大的鸿沟。

长久以来，科学事业一直被看作是深藏于“象牙塔”中，科学研究的成果也与普罗大众相去甚远。科研人员往往只遵从于学术道德，主要的目标就是将研究

结果发表在期刊或会议报告上。从期刊论文到普通公众之间，还缺少一些积极的推广动力。公众作为外行人，大多是不会直接去阅读科研论文的；即便是看了这些文章，所能理解消化的程度也颇为有限。

况且，如今人们接触到信息和知识的途径也越来越多，各类大众媒体承担了部分学术界与公众之间桥梁的作用。然而，对于这些资讯来源，普通公众大多缺乏足够的辨识能力。大众媒体又良莠不齐，不能确保端正的科学素养。更有甚者，出于不为人知的目的，刻意曲解科研成果，致使“流言”、“谣言”大肆产生。不仅误导公众，更会使公众萌发或加剧对科学的不信任感。

因此，学术界的科学家们有必要为了将他们的研究成果普及至更多受众而担负起更大的责任。就像英国皇家学会（The Royal Society）曾于1985年所发布的名为《The Public Understanding of Science》（公众对科学的理解）的学术报告中，所明确强调的，向社会进行科学传播的重要性。若要弥合科学界与公众之间的疏离，须得提高公众对于科学的理解和参与度。

要提高对科学的理解，就需要提供更多易于理解的科学素材。逻辑信息网络中为跨领域合作沟通提供的“多重信息描述方案”，同样适用于此处。因为学术圈外的普通大众也是专业领域之外的人士，相比于其他学术圈内人士，普通大众离学术圈更远，更加不了解领域内的学术规范和专业用语。这就需要科学家们主动地将处于第三类描述中他们的学术成果加以转化为第一类或第二类描述。

科学知识，从第三类描述逐步向第一类描述过渡，要如实地传达研究信息，不能夸大其词或扭曲其义，又必须谨慎使用科学术语，注定了这将会是一个漫长的、同时也是需要不断调整的过程。有计划地去构建这些逻辑信息网络中的科学信息内容，很可能需要耗费大量的人工。这其中所花费的时间和精力，相较于直接在做研究中的消耗，也是一个不可忽略的开支。因此，在这方面，科学界应该以更加积极、负责任的方式投入其中，否则将难以收获真正的成效。

另一方面，科学要更普遍地被理解，并获得更高的参与度，就要有意识地培养社会公众的科学素养。只有将科学知识以及科学意识贯穿到人们的生活当中，才有助于其更好地理解科学。从低幼龄儿童的基础教育，到无处不在的电视、广

播、广告、互联网资讯和社交应用等等大众媒体，如果能与第三类描述的内容无缝结合，并且深度交互，使其充分发挥出直达科学前沿的优势，无疑将会极其有利于修补科学界与非科学界之间的隔阂。

此外还特别需要指出的一点就是，这些构建在逻辑信息网络中的信息与知识，本质上来说都具备很强的逻辑性。然而，目前国内并没有在中小学阶段开设专门的逻辑课程。逻辑学的基础知识，只是在与逻辑学关联较为密切的数学学科中涉及一些皮毛。在大学阶段，逻辑学基本上也只是作为一个独立的领域学科，由少数的专业人员去作学习研究，并没有大范围地推广。就逻辑学领域知识来说，这种程度的了解，并不足以支撑公众对于科学信息的完全理解，也难以满足科学家们去普及第三类描述中的科学成果之过程所需的知识储备。缺乏逻辑知识，也就意味着基本的辨识能力不扎实，这在很多时候就是“谣言”得以快速扩散的主要成因之一。因此，在校开设逻辑学课程，在公众间宣传逻辑学基础概念，对于所有科学知识的普及推广都有着重要的意义。

科学研究最终的目的，就是为普罗社会带来益处。如果能确保公众可以获悉真实的研究成果，并清楚了解成果如何影响个人生活且使大众受益，那么必然会反过来为科学界带来前所未有的理解和支持，同时也会为许多应用型科研领域的发展方向提供足够明确的需求指示，那将会是对科学事业极大的推动力。

7.2 认知

认知（cognition）是认知心理学研究的核心内容，它是人认识外界事物与信息的过程。归纳下来，大体上就是“认”与“知”这两方面，即个体获取与辨别由外界输入的信息，以及对信息的分析加工、记忆贮存与反馈输出。

7.2.1 阅读

目前，我们从外界获取有用信息与知识的主要方式还是通过阅读。文字作为阅读的主要对象，是人类文化知识传承的载体，已经存在并演化了数千年。虽然，文字一直被认为可以用来记录和传递信息，是信息技术的重要基础，甚至有人把文字的诞生看作是信息技术的第一次革命。但是严格来说，文字只是抽象信息的一种具象表达，文字本身也需要相应的承载媒介，比如纸张。自造纸术发明之后，纸张就在千百年间完美地起到了长期记载文字并传承知识的作用，对于人类社会的进步功不可没。

不过从另一个角度来看，纸上的文字也有明显的缺憾，因为它一直都是扁平的（plain）。何谓扁平的文字？一篇文章或者一段文本，如果按照它的展示顺序去阅读，我们只能看到一种文字内容的编排次序。也就是说，它所传递出的信息核心内容本身就是单一不变的实体，并没有多样的信息组合，也无法以立体多面的形式呈现给世人。

即便是如此，事实上，在通常情况下，不同的人阅读同一篇扁平文章，依然可能得到不同的信息。即使是同一个人多次阅读同一篇文章，也可能会有不同感受。这一点需要从认知科学的角度来看待。人对于外界信息的认知是一个复杂的过程。在这个过程中，首先需要感知器官接收外界输入的信息刺激，其次是通过认知系统对信息进行加工，之后才进入大脑被长期贮存。

阅读是接收外界信息的一种形式。不同的人可能有不同的阅读方式。有人按部就班，从第一字顺序读到最后一字；也有人先读最后的结尾结论，再回过头往前文中去找相关的内容；还有人会跳跃式地阅读，只抓取段落中的某些重点。这样，每个人通过阅读同一份文本所接收到的信息就必然会有所不同。

而每个人的信息加工水平也不一样，这取决于独一无二的个人知识信息储备，这些都是用于分析理解信息的上下文。若是不假思索地囫圇吞枣，那自然也不会有什么特别的理解，收入脑中的还是一整段文字。若是善于抽丝剥茧，找到文中纲要重点；或是循循善问，从中找出疑问难点；又或者发现某处细节，一解心中某些疑惑。如此一来，每个人对于收到的信息，在认知理解吸收之后加工形成的

内容，也会有所差异。它可能是一个信息整体，也可能只是某一方面的信息。把每个人的理解有机地组合到一起，就是由一份扁平文本内容所映射出来的立体多面的信息形式。

这样的信息形式与逻辑信息网络所提供的作为信息载体的形式非常相近。逻辑信息网络中的一整篇文章可以看作是一个信息段落，理解后的信息可以是一堆零碎的信息元素。把这些信息元素联系到一起，可以融合出与这篇文章相同的信息段落，也可以形成其它形式的信息组合。这样的可变形式，比起单一的扁平文字来说，在信息量上要丰富得多。因为这其中不仅仅包含了与扁平文字等量的文本信息元素，同时还夹杂着各种信息元素之间的逻辑关系。

一个人的扁平阅读只能收获片面的信息，那如果说能够改善立体多面的阅读形式，是否获取到的信息会更加丰富，阅读效果会更好呢？

受限于传播媒介技术的发展，纸张曾长期占据信息传媒的重要位置。然而自20世纪中叶，电子计算机走上历史舞台，人类进入信息爆炸的时代。信息逐渐被搬入计算机的存储设备，在网络线缆中传播，在显示器、手机屏幕等输出设备中显示。信息的储存、传递、展示等功能不再只是由单一的媒介来完成，而是模块化地分散到各个组件设备之中。同时，信息的立体呈现也在信息技术的不断发展过程中成为可能。

目前，主流媒体中的书籍课本、论文期刊，乃至已经普遍数码化的新媒体新闻、互联网博客等等，都仍然保有扁平长文的形式，对此我们可以在逻辑信息网络当中对它们进行分解。这样的分解操作或许是长文章的作者来做，也或许是读者在阅读后去做。作者可以为文章提炼要点，为重要或陌生的概念提供释义；读者可以有针对性地添加阅读笔记、注释，对部分内容提出疑问等等。这些都将以信息元素的碎片形式存在于逻辑信息网络之中。来自不同文章的分解碎片元素，可能会因为因果、定义、近似、映射、属性等各种不同关系而关联到一起，共同成为某一个领域中的领域知识。有了大量被联系起来的领域知识之后，必然能够方便地通过单一碎片元素，触及到周边一系列的碎片元素；更可将任意的碎片元素作为切入点，从而快速地从领域外直达领域内的相关信息，形成灵活的知识访问获取方式。

7.2.2 记忆

迄今为止，人类对于大脑认知记忆的机理依然了解十分有限。目前认知心理学家们认可的记忆模式，主要还是在上世纪六、七十年代认知心理学诞生初期所提出的“阿特金森-希夫林”多重记忆贮存模型（**Atkinson-Shiffrin's Multi-store Model of Memory**）和记忆的信息加工理论（**Information Processing Theory**）。应该说，当时认知心理学的诞生和迅速发展，受到了信息科学理论的很大影响。A-S 记忆模型和信息加工理论也在不同程度上都借鉴了信息科学和计算机科学中的不少概念。

A-S 记忆模型主要由感觉记忆、短时记忆和长时记忆这三重记忆系统组成。这三种不同的记忆载体可以看作分别对应于计算机硬件设备中输入设备的寄存器、运行时存储设备以及持久化存储设备。

从功能特点上来说，它们也是彼此对应。认知心理学的信息加工理论之核心“输入-加工-输出”模式同样受益于计算机的工作模式。计算机的输入设备，同时包括各类传感器，它们的信号被寄存器接收后，只会驻留极短的时间便要传送至内存；而人脑的感觉记忆接收到视听味嗅触等感知器官受到的刺激之后，如若引起注意，则相应的感觉信息会进入短时记忆，否则可能就会在数秒之内迅速消失。作为计算机运行时的临时存储，内存也不具备长时间存储信息的功能，通常只是在执行完相关操作或运算之后，再将结果数据保存至持久化存储设备中；另一边，当被注意到的信息进入人脑的短时记忆后，需要经过编码（**encoding**）或复诵（**rehearsal**）等加工过程，之后才会进入长时记忆持久贮存，否则也会在短时间内被遗忘。

可以看到，在认知过程中，信息的输入和加工是为了贮存信息，在贮存之前需要不断地经过刺激、注意、复诵等步骤，否则信息就有提前被遗忘的风险。而记忆在提取输出时，大体上都是基于某种提取要求作为条件，然后在长时记忆中按照一定的路径进行扫描，直至找到适合的信息结点，或是历时过长而主动放弃。虽说目前还没有测量出长时记忆容量的极限在哪里，通常认为这是一个无限足够大的信息存储空间，不过提取不到所需信息的遗忘行为却也是司空见惯的事情。

关于遗忘，有说是记忆时留下的痕迹在逐渐消退，也有认为是记忆痕迹相互干扰或抑制，导致失去了访问它的途径。早在 19 世纪末期，德国心理学家艾宾浩斯（Hermann Ebbinghaus）就研究并绘制了著名的记忆遗忘曲线，来说明记忆内容会随时间而变化的规律，即遗忘的进程从识记之后便已开始，最初很快，以后逐步变慢。在此规律前提下，不断有研究记忆的学者提出各种强化记忆的方法。或是一次记忆之后进行多次复习，巩固强化长时记忆，且复习的间隔时间应是先短后长。又或者，在加工之时积极主动地对信息同时采取多种不同的编码方式，譬如听觉编码、视觉编码、图像编码、语义编码等等，以便增加记忆提取的线索，提高记忆的贮存和提取效率。有研究者还总结出一种“编码特性原则”^{*35}，认为编码情境与提取情境相匹配时回忆的效果最好。

综上所述，人脑在输入输出的过程中显然有着诸多的不足和限制，制约了提取信息的效率。同时，要一直维护巨量信息的记忆强度，成本也是极大的，这本身就不符合当前人类的认知天赋。除了不断尝试开发优化大脑的利用率以及更好的记忆手段，事实上，借助外部辅助设备来存储部分信息，也是非常值得尝试的方法。

与人脑相比，电脑具备了几乎不会遗忘、容量也可以持续扩展的优点。结合当今迅捷、无处不在的网络环境，辅以手机和手表手环型、眼镜型等随身或可穿戴式设备，甚至是未来可能出现的永久植入式设备、脑机交互芯片等等，在硬件技术方面，这些早已不是什么不可企及的天方夜谭。

而在软件方面，本就可以提供立体多面信息形式的逻辑信息网络，无疑是最合适的脑外存储辅助模式。逻辑信息网络的信息模型，与人脑理解加工后的信息形式，在逻辑层面上是相似互通的。碎片化、层级化、网络化的逻辑信息网络，可以贮存和管理大量立体多变的信息。其模型中的信息元素映射、符号化以及概念的键值体系等特性，便于在这个信息容器中快速检索。各种信息元素、信息关系，又加强了信息之间的联系，丰富了逻辑信息网络的实用性。基于逻辑基础的命题、概念、条件、属性等对象类型，也使得逻辑信息网络在逻辑表现上会更加稳健。

³⁵ 也有称作“编码特异性原则”的说法。

与以往大多是以增强记忆力为目的的辅助记忆设备不同，基于逻辑信息网络的辅助设备可以重点帮助用户“保管”那些重要程度不算高、但是占据大量存储空间的信息内容。脑外存储，理论上存在着无限拓展的可能。一方面可以帮助大脑释放出更多的工作记忆空间，节省长时记忆的输入输出开销，以便处理加工更加重要的信息，使大脑的作用定位更侧重于“中央处理器”（CPU），而不是单纯的“存储器”（memory）。而另一方面，也可以为未来增强脑机互动预留遐想空间，毕竟在目前看来，“1（人脑）+1（电脑） \gg 2”还是存在着相当大的可能性。即便是不考虑如此长远，逻辑信息网络在现有成熟信息技术的支持下，也能够提供更多的辅助功能，与电子备忘录、GTD 应用³⁶这类功能单纯的工具相比，短期内也会更具实用价值。

7.2.3 人工智能

1.

认知科学，研究的是人类自身的认知机制，这是人类智能中“软件”部分的核心。另外，对于人类智能“硬件”部分的研究，则主要集中在脑科学或神经科学领域。将两者结合起来，大致就是人类智能的全部组成部分了。

人类不仅渴求自身智能的成因，还冀望开拓出新的人工智能研究领域，即通过对自身的认识，继而来模拟并人为地创造出类似于人类智慧的智能机器。

应该说，人工智能的研究与认知科学之间是息息相关的。目前普遍认为，人工智能是认知科学与计算机科学之间的一门交叉学科。人工智能的研究，就是以认知科学的成果为准绳和目标，试图用计算机技术来实现。

人工智能和认知科学，与这两者相关联的领域大多是相互重叠的。作为 20 世纪的新兴学科，认知科学在诞生之初就是由一些美国学者将哲学、语言学、心

³⁶ Getting Things Done, 时间管理类应用, 包括待办列表(To-Do List)、日程表(Schedule)等功能。

理学、人类学、计算机科学和神经科学等六大不同学科中的部分研究内容整合而来。而人工智能，虽然在最初只是作为计算机科学的一个分支存在，不过该领域的研究范畴涉猎广泛，有和语言学相关的“自然语言处理”，有模拟人类思维和行为、涉及逻辑学和人类行为学的“机器人”，还有关乎哲学、心理学、伦理学、人类学等众多学科的“人工智能伦理”，等等。

另外，这两个研究领域虽然目前都保持着极高的被关注度，科学界和工业界也都投入了大量的科研力量，不过距离揭示它们的核心问题，即“智慧如何而来”，依旧相去甚远。

2.

不仅如此，人工智能的研究学派众多，各家都有各自的研究方法，这取决于各自不同的认知理念。历经数十年间，几大学派前赴后继，潮流浪尖不断更迭，符号主义与连接主义相继担当过领域发展的风向标。近年来，伴随着 AlphaGo 的成功所带来的媒体效应，使得作为连接主义代表的人工神经网络和深度学习被大肆热捧，成为目前人工智能领域的主流研究方向。

连接主义的研究方法主要是对人类大脑结构及其工作模式的模仿。其支持者认为，认知的基本元素是大脑神经元，认知过程是由大量神经元的连接并相互作用，继而产生智能思考或行为。因而，弄清大脑的结构以及神经元的工作机制，就有望了解大脑进行信息处理的过程，甚至是揭示人类智慧的奥秘。

然而，人类对于大脑的了解其实还非常有限。脑科学研究目前的处境类似于物理学在 20 世纪初期时的情形，即已经取得了一些成果，但尚未出现重大的理解和突破。究其原因，还是现今人类对于大脑的研究手段效率不高的缘故。就如同曾是微软公司联合创始人、后又大力资助于脑科学研究的保罗·艾伦（Paul Allen）所认为，“我们探索大脑时就好像一个中世纪的铁匠在试图对一架喷气飞机实施‘逆向工程’”。

逆向工程意味着，是对完全不了解内部结构和性质的“黑盒”对象，采取外形观察、运行调试、拆解分析等实验性的测试手段，来推测它的由来或者构造、

功能、特性等等。目前大脑对于我们来说就是这样一个“黑盒”，而比较前沿的研究方式主要是，将大脑冷冻切片，在高分辨率显微镜下成像，并汇集每个脑切片中的基因信息，制作大脑结构图谱。

让我们试想一下，假设在一百年前电脑尚未发明之时，骤然出现了一台如今的电脑，当时的研究者会如何来分析甚至仿制它？在全然不了解它的工作模式和原理、而且没有像今日如此丰富工具的情况下，想要逆向拆解一台电脑显然是件异常困难的事情。更重要的是，拆解电脑最多只能逆向它有形的硬件设备，而其内在无形的软件内容是几乎不可能用这样的方式来解密的，在信息技术领域工作的人都了解这一点。

相比于电脑中的芯片和集成电路来说，人脑这个硬件被研究人员认为要复杂至少 $8 \sim 10$ 个数量级。难怪有国内脑科学专家认为，不仅是本世纪，很可能到了下个世纪，脑科学依旧会是处于前沿科学的行列，存在着众多未解之谜。

脑科学研究进展缓慢，对于那些完全建立在此基础之上的、重大脑疾病的医学诊断和干预来说，或许不得不接受这样的现实。然而对于冀望借此发展“类脑智能”的目标来说，似乎这样的道路目前未必是上佳之选。

正所谓“失之毫厘谬之千里”。大脑微观组织的功能尚未明确，朝此方向的研究还存在着变数。倘若今后出现了颠覆性的发现，那根植于之前的脑研究成果而发展起来的“类脑智能”，是否会根基崩塌？是否还需要推翻重来？

因此，即便当前机器学习的发展已然可以完成一些曾经无法实现的事情，例如击败甚至碾压人类围棋世界冠军，但是这也极有可能还是与理想中真正的智能存在着天壤之别。

3.

当前的“类脑智能”与真正智能的区别在什么地方？“类脑智能”着重于对人类智能“硬件”形态的模仿，而忽视了“软件”部分的作用。这其中，逻辑能力就是人类智能“软件”部分最重要的基础。

众所周知，目前机器学习领域最大的问题在于，那些复杂的算法、模型及系统普遍缺乏决策的透明度和结果的可解释性。同时，它们也不具备逻辑推导的能力，无法识别或推理因果关系。这两点之间，其实存在着一定的联系。

所谓可解释性，即从人类的角度来看，可以基本理解其完整的决策过程。然而，机器学习的模型大多都是“黑盒”模型，其中存在的一般只是海量的数字、矩阵、神经元、隐藏层、参数等等，以及少量简单抽象公式、激活函数、算法的大规模复用。这些元素本身的可解释性就比较弱，而且当基于此类模型元素构建起来的“黑盒”系统越来越复杂的时候，其内部机制就极难用人类理解的方式表达出来，可解释性也就完全得不到保障了。

而另一方面，迄今为止，绝大多数的机器学习模型都是基于统计来建模的。统计得到的结果往往只能表示事物或信息之间存在一定的相关性，即彼此之间的关联关系，而无法直接从中体现出是否存在因果联系，因而也不可能为总结经验或是预测未来提供完备有力的支持。这也常常使得模型预测中的结果和解释，与实际情况出现明显偏差，进而也导致其可解释性进一步地恶化。

内在缺乏必要的逻辑联系，外在又缺乏合适的表达形式，这就是目前机器学习领域可解释性困境的核心原因。为此，多位机器学习研究领域的先驱曾提出，可从因果推理模型、认知理论与模型等方面着手，来改善此类问题。朱迪亚·珀尔（Judea Pearl，2011 年图灵奖得主）与约书亚·本吉奥（Yoshua Bengio，2018 年图灵奖得主）就先后提出过各自对因果关系模型的研究，并发表了相关的研究论文或著作。³⁷不过可以看出，他们的研究重点是将因果关系和机器学习结合起来，希望改善算法中的不足。具体的做法大致就是，在某些特定的图结构和概率分布下，可以尝试去判定关联关系中可能存在的因果关系，并进一步判断处于关系两侧的对象孰先孰后、孰因孰果。

³⁷ 朱迪亚·珀尔在其 2019 年的著作《The Book of Why: The New Science of Cause and Effect》（为什么——关于因果关系的新科学）一书中，提出“关联”（association）、“干预”（intervention）、“反事实”（counterfactual）三个层面来解释因果与关联之间的关系。

约书亚·本吉奥和他的实验室同事在 2019 年发表了一篇研究论文《A Meta-Transfer Objective for Learning to Disentangle Causal Mechanisms》（学习解开因果机制的元转移目标），概述一种能够识别简单因果关系的深度学习模型。论文中的算法本质上形成了关于哪些变量具有因果关系的假设，然后测试了对不同变量的变化。

窃以为，缺乏逻辑推理的能力不假，但是这样的局部算法优化并不能改善机器学习本身的局限性。

本质上来说，机器学习只是一种运用了大量复杂数学手段、特别是统计手段来模拟决策的算法。它可以在一定程度上提供处理单一问题或是实现单一类型目标的预测方案，但并不是演绎地推导出“因果关系”的结果，更不是我们想象中能够自主思考、自主响应不同类型事件的智慧行为。我们姑且称其为是一种“高级半自适应算法”（Advanced Semi-Adaptive Algorithm, ASAA）。

要满足思考和响应不同类型事件的要求，需要有可自适应、可自扩展的灵活算法机制。可自适应是指，针对同一类型中不同的事件，响应算法中的可变参数需据实自我调整，目前机器学习很多时候还需要人工干预调参调优，故而称其为“半自适应”。可自扩展是指，针对不同类型的事件，响应算法可以自动生成对策，目前机器学习并不具备这样的能力。

4.

众所周知，算法、数据及算力被普遍认为是当今人工智能技术发展的三要素。其中除了算法之外，数据也是“软件”层面上影响决策效果的重要因素，因为自适应的算法依赖于海量数据的支持，以及不断改进的数据集模型。

近年来，基于图结构的数据集模型越来越受到重视，而其中最受关注的代表就是知识图谱。知识图谱是普通图结构的升级，实体和关系是它的最基本元素。实体包括概念、属性等类型，概念代表不同的对象及其类别，概念的属性与属性值一一对应。实体作为图结构中的结点，彼此之间通过关系相互联结，共同构成网状的知识结构。从这一点来说，逻辑信息模型中的部分结构与之是非常相似的。

持续拓展和完善一个基于知识图谱模型的知识库，需要研究知识抽取、知识表示、知识融合、知识推理等几方面技术。因此，为满足其运转，知识图谱还需要搭建专门的工作引擎。相比之下，逻辑信息模型结构中本身就包含了以命题、论证为主的推理类型元素，推理算法可以作为动态信息成为逻辑信息网络中的一部分，这就使得逻辑信息网络具备同时囊括知识数据与推理算法的可能。

知识推理被认为是走向强人工智能的必经之路。推理是一种兼具了知识与方法的智能行为。而知识与方法，分别对应于静态信息与动态信息，本就都是信息的一种形式，只是我们人为地在理解上将它们做了分类。

人的认知水平并非一出生就固定不变，而是在后天的成长过程中从外界获取信息，然后转化为对知识和处事方法的认知，再不断整合更新，认知水平随之持续提升。目前并没有实验表明，在大脑中人类智能是将知识与方法划分不同的区域来记忆，即所有知识与方法的加工贮存与整合更新都可看作是以统一的信息形式来对待。

对于人工智能来说，将知识与方法合并为同一种形式存储在同一个实体之中，可以减少提取和保存过程中的信息通讯开销，同时增强信息一致性和安全性，并且使得信息加工过程更加灵活。这样不仅有利于推理新的知识，也有利于改善工作方法或算法。而这些就是作为一个完全“自适应”、独立“思考”的实体之基础，也是更强的人工智能所需要的基本能力。

从这种角度来看，逻辑信息网络在一定程度上可以看作是知识图谱的升级与拓展。

5.

算法与数据是人工智能“软件”的主要部分，算力则属于“硬件”部分。不同于“软件”可以通过后天的认知来得到提升，“硬件”往往都是先天成型，即使后天有所改变，也不是直接由认知行为所决定的。

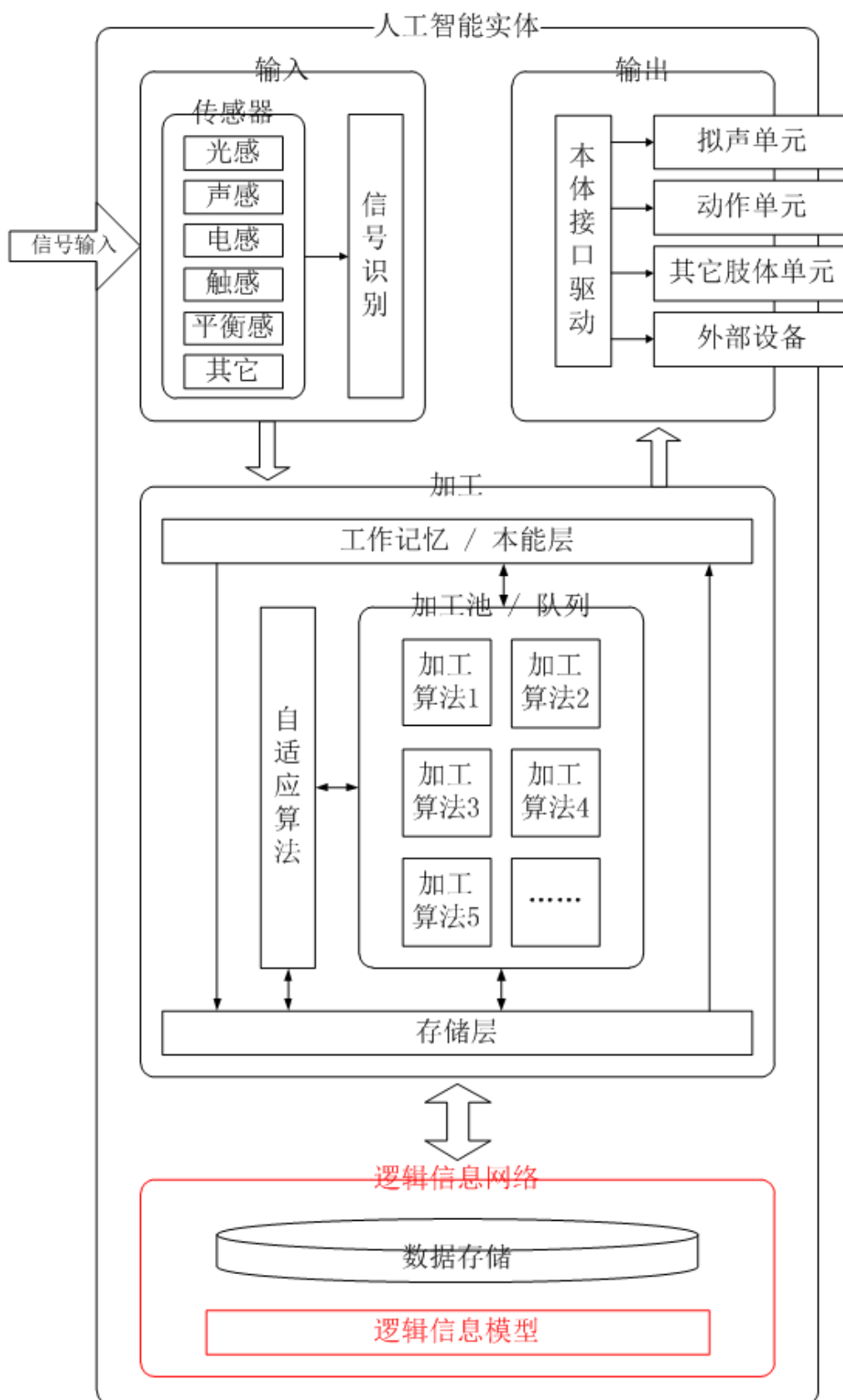
这里我们不妨把那些不是通过认知能力习得、又与智能行为有所关联的“硬件”或者其它能力称为“天赋”（talent）。例如，人工智能的算力，无非是体现在计算机的芯片核心数量及频率、指令集效率、运行时内存容量、传输总线带宽等数据指标，大致相当于人类智能的脑存储容量与思维敏捷程度的结合，属于认知能力之外的“天赋”。各种信号传感器、信息输入源，相当于人的感知器官，也是“天赋”的一部分。这些“天赋”的作用是支持信息的输入与智能的“运算”。

如果认定人类智能与人工智能处理信息的方式类似，则它们主要的区别就在于个体之间的天赋差异。除了人类之外，其它动物也可能存在着一定的智能，其中尤其以大猩猩、海豚等少数物种被认为智能与人类最为接近。生物解剖实验表明，它们与人类在智能方面的差距，主要就体现在脑容量以及大脑结构上的区别。这也就是物种之间的一种认知天赋差异。

除了信息的输入与加工之外，“天赋”还支持那些需要信息输出的能力。这一类主要是操控肢体的能力，其中又可以分为肢体行动、表情表达、声音（语言）表达等等。不同物种，或者说不同的智能实体，可能还存在一些独特的天赋能力，这些能力不由智能高低来决定。例如，[海豚的流线体型使其擅长游泳](#)，[猎豹身体修长适合短跑](#)，[蝙蝠有翅膀善于飞行、能发出超声波进行回声定位](#)等等。

对于人工智能来说，也有各类不同用途的——或是擅长不同行为、或是操控不同外部机械与电子设备、或是可以听声回话的机器人。另外，作为未来脑科学与认知科学交叉领域的重要发展方向之一，脑机接口和脑机融合的研究也有望为人类和人工智能提供更多样的天赋能力。

综合来看，天赋实质上指的就是智能实体的主体特征，这些特征又与认知领域的信息输入、加工、输出息息相关。逻辑信息模型在这样的体系当中可以起到核心中枢的作用。（见[图 50](#)）



(图 50, 人工智能理解结构示意图)

6.

概括地说，人类智能的成长过程，最初是从观察开始的。观察是通过感知器官感受周围的各种信息，其中也包括对于自身的认识。观察之后是模仿，这是低阶智能的主要表现，是获取并记忆知识的开端。学习和模仿的同时，会不断产生疑问，然后逐渐地开始思考。从观察到的大量个别现象中，推测事物的一般规律，总结行为、方法或范式，然后再观察再修正，逐步完善，形成自己的逻辑能力。在思考的过程中，积累足够多的自我意识之后，可以辨别自我和其他实体，可以理解、包容他们的行为与观点，或对其他实体产生自我认同。

相对应地，真正的人工智能的进化，也应该是从获得信息开始。首先，传感器接收到外界信号，将信号处理为可解读的信息。然后，利用初始的自适应算法选取合适的加工算法，结合以往贮存的信息和知识，进行自我加工。最后，形成新的静态信息和知识，或是控制自身及周遭硬件的行为算法；又或是直接触发行动指令，去驱动操作各种设备；甚至可以是改善更新的自适应算法。

八、逻辑信息网络·待解问题

逻辑信息网络适合用于管理信息，特别是彼此含有内在逻辑关系的信息团，因而其应用前景广泛，且富有价值。不过，由于碎片化的特点，使得逻辑信息网络中的信息量可能会达到数倍于其信息来源。这也就为其中信息元素的采集与管理带来一定的难度，并可能在实际应用中产生一些亟待解决的棘手问题。

可能出现的难点主要集中在以下几点：

1). 逻辑信息网络中的海量信息如何采集？

参考方案：短期内可以依靠人工方式采集，以及网络爬虫技术；中长期适合使用基于视觉的文字图像识别、基于听觉的语音识别和基于其它感官能力的传感器识别等等。

2). 采集到的大段信息段落如何做碎片化处理？

参考方案：短期内可以使用人工方式操作；中长期适合使用特定优化的语义分析技术，或者其它定制算法。

3). 信息采集之后如何保证海量信息元素的存储以及访问检索的效率？

参考方案：短期内可以采用图数据库提供的存储和访问功能，中长期适合采用其它有针对性的新型自研数据存储媒介的定制算法。

4). 如何判别并归并相似的信息元素？

参考方案：短期内可以采取人工方式判别；中长期需要有针对性地定制相关算法。

5). 如何解决使用信息元素的版本控制之后所带来的物理存储空间占用量成倍增长的问题？

一个内容丰富的逻辑信息网络所包含的数据量本身就很可能是个天文数字，如果再加上信息元素的版本控制功能，就将使得实际所需存储空间进一步增大，

而且增速规律、变化周期都会更加难以掌控。目前难有一劳永逸的完美方案，只能在实际应用场景中加以监控，并采用“人工+定制算法”干预的方式，防止出现超预期或失控的局面。

6). 对于过量的信息该如何处理？

对于海量的信息来说，无论是在逻辑存储还是在物理存储上，必然需要存在一个阈值，不管它是预先设定的固定值，还是随系统发展而变的可变量。这个阈值是系统对于所接纳信息采取不同策略的分水岭。

在策略上可能采取的手段大致会有：

保守监控，在采集数据导入系统的过程中，仅监控数据量的增长，而不对数据内容采取优化；

逐步优化，在不影响系统运行性能的前提下，分阶段、不定时地对导入系统的数据进行一定程度的优化，以控制数据量的增长速度；

拓展存储，将一部分新导入的数据，或者非常不活跃的旧数据转移至备用存储或外部存储设备；

战略性舍弃，将一部分新导入的数据，在经过识别加工之后，仅保留加工后的数据，其它原始数据将被直接放弃。

当然，这些策略仅仅是就目前理想中逻辑信息网络运行情况的一种设想。具体该如何设置阈值（也有可能多阈值），如何为不同阈值设定不同的策略，具体的策略如何来实施，这就需要有针对性地定制相关算法。

7). 对于非文字形式的信息该如何处理？

本文中所介绍的逻辑信息模型与逻辑信息网络，目前是完全在文字形式的基础上来构建的。然而，就信息形式来说，文字只是其中的一种。声音、图像、视频、抽象的空间几何图形，甚至是气味、触感等等，都是不同的信息形式。是否将这些非文字形式的信息纳入到逻辑信息网络中来，如何纳入进来？这是在后续的研究和实践当中需要着重考虑的问题。

8). 如何在逻辑信息模型中来表征概念以及由概念组成的其它信息元素的内涵?

这是一个值得长期思考与探讨的问题。

九、总结

1.

离逻辑越近，离知识越近，离智慧越近。

并不是只有在逻辑学课本中学到的才是逻辑，每个人（或者说每一个智能生命体）都可以有属于自己独特的逻辑，只要它是符合逻辑的基本要素即可。所有的逻辑内容都是以信息的形式来存在，其中一部分被大众所接受、认可，继而成为知识。知识的汇集，最终形成较高的智慧。

2.

逻辑信息模型，结合了逻辑学与信息学的概念，是一种基于图结构的新型数据模型，是逻辑信息网络的底层数据结构。

世间万事万物皆为信息，可以被记录下来的信息，就能够以符合逻辑信息模型的形式，成为逻辑信息网络中的一部分。

逻辑信息网络是一种重组、管理信息的有效且灵活的方式，其蕴含的所有信息都允许以某种逻辑关系来建立彼此的关联，依靠图可视化方法，可以使这种逻辑关系的空间结构快速直观地具象呈现出来。

逻辑信息网络的应用场景广泛，可以为科学研究与科学普及的事业、以及认知科学相关领域的发展、甚至是人工智能的发展提供极大的助力。

3.

上世纪 40 年代，以量子力学和相对论为代表的人类基础学科理论取得重大突破，随之带来了二战之后应用科技的爆炸式繁荣。然而如今到了 21 世纪，基础学科的研究已经停滞了几十年，基础理论迟迟无法再次突破，依然停留在上个世纪爱因斯坦的时代。近些年来所有的科技成果几乎都是应用科技的发展，而应用科技发展似乎也逐渐走到了极限。

与之相似，目前人工智能的相关基础理论研究在过去的几十年间已经鲜有重大突破，近年来的成果大多都是硬件算力上的提升和软件算法上的改进，再者就是在应用场景上的不断开拓挖掘。

基础理论往往距离实际应用较远，枯燥且不容易见到效益，故而愿意投身的研究者寥寥；而且研究及论证的过程繁杂抽象，难以理解，又牵涉概念众多，通常只能依靠研究者个人的脑力来梳理整个研究过程，包括其中大量的数据处理以及相应的论证分析。

在这种情况下，逻辑信息网络的价值就更加能够彰显出来。它为科学建模所发挥的作用，可以帮助减少研究者在记忆与回溯抽象的论证建模过程时的脑力消耗，并将更多精力投放到如何构建出理想模型的创造性思维中去。另外，它还可以被视作为一种新型的认知模型，为人工智能领域的发展提供崭新的方向。

虽说，从开始构建一个逻辑信息网络到实现真正的“人工智能”，距离还非常地遥远，但是这并不妨碍我们在这个过程之中去为它先做一些既能带来价值、又能起到积极作用的事情。例如，辅助科学建模的信息网络可视化工具，辅助阅读的立体信息加工工具，辅助记忆的时间管理、资讯管理类工具，类似于“知识图谱”但包含更多逻辑信息的新型知识库，人工智能自适应算法调校，等等，这些都是逻辑信息模型与逻辑信息网络的重要价值体现。

为科学事业提供一种新的方法论、一种新的工具，这就是作者撰写本文的根本初衷之一。

4.

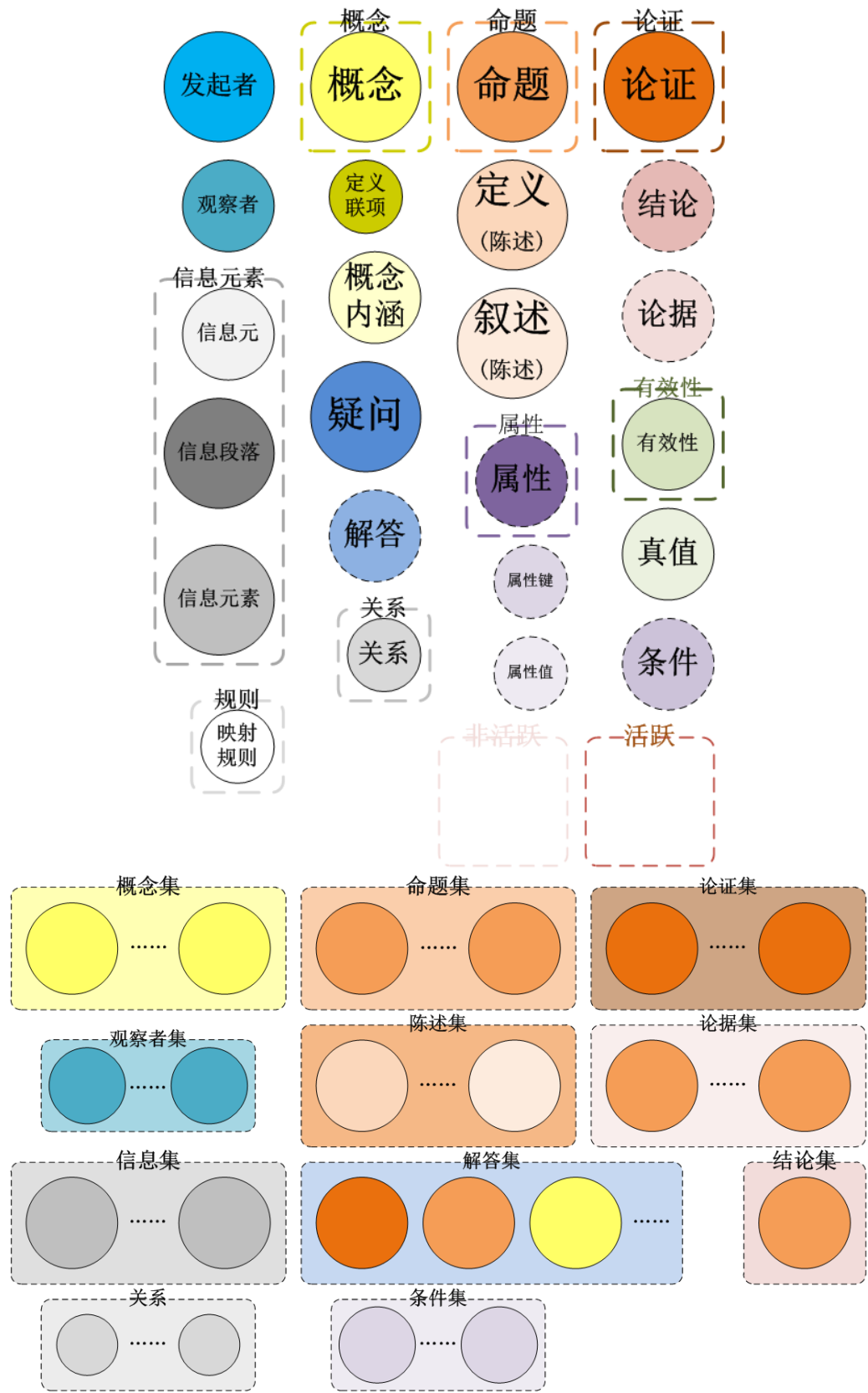
本文仅集中于描述逻辑信息模型的构成，以及由此搭建起逻辑信息网络的一些可能存在的特征与功能，并不涉及逻辑信息网络中内容可能用到的算法或规则。如有必要，日后将另文阐述。

十、致谢

谨以此文致敬，在科学发展史中，各位为崇高的科学事业和人类科技发展奉献毕生精力的大师、巨匠们。

感谢自己在个人生涯低潮期和重大疫情期间的坚持不放弃。

附录一、模型视图设计方案



附录二、文字描述与代码描述之间的简单转化示例：二分查找算法

二分查找也称折半查找，是一种常见且简单高效的查找算法。它的目的是，在已排序的队列中查找与关键字匹配的元素。我们可以将其整个过程以便于理解的形式描述如下（段落①）：

“首先，有一个关键字作为查找条件，以及一组已排序的元素队列作为查找基队列。找到该队列中间位置的元素，将其与关键字比对。如果比对结果符合查找条件，则表示查找成功，然后返回查找结果；如果比对结果不符合查找条件，则将队列中此位置的前后元素视为两个子队列。如果比对元素先于关键字，则将后队列作为新的基队列，反之则将前队列作为新的基队列。然后重复之前的步骤，直至找到符合查找条件的元素，则返回成功结果，即该元素在基队列中的位置；或者所有元素均不符合查找条件，则返回失败结果。”

如果将此描述过程分解转化为便于操作的步骤，则可以如下（段落②）：

0. 前提：一个关键字作为查找条件，以及一组已排序的元素队列作为查找基队列；
 1. 通过基队列首元素和尾元素的位置找到基队列中间位置，以及其对应的元素；
 2. 将中间位置元素与关键字进行比对；
 3. 如果比对结果符合查找条件，则查找成功，返回查找结果（即比对元素在基队列中的位置）；
 4. 如果比对结果不符合查找条件，（则将队列中此位置的前后元素视为两个子队列）
 - 4-1. 且如果比对元素先于关键字，则将后队列作为新的基队列；
 - 4-2. 反之（即比对元素后于关键字），则将前队列作为新的基队列；
 5. 重复步骤 1~4（则基队列中的元素将越来越少）；
 6. （在最终基队列中已经没有任何元素之前，）直至找到符合查找条件的元素，则返回成功结果；
 7. 或者（在最终基队列中已经没有任何元素之后，）所有元素均不符合查找条件，则返回失败结果(-1)。

由于在步骤 5 重复之前几步时，基队列中的元素个数发生了变化，所以其首元素和尾元素同样也会改变，因而也就需要将基队列首元素在初始队列中的位置和尾元素在初始队列中的位置作为前提的一部分。再次调整后步骤如下(段落③)：

0. 前提：一个关键字作为查找条件，以及一组已排序的元素队列作为查找基队列，基队列首元素的位置，基队列尾元素的位置；

1. 通过基队列首元素和尾元素的位置找到基队列中间位置，以及其对应的元素；

2. 将中间位置元素与关键字进行比对；

3. 如果比对结果符合查找条件，则查找成功，返回查找结果（即比对元素在基队列中的位置）；

4. 如果比对结果不符合查找条件，（则将队列中此位置的前后元素视为两个子队列）

4-1. 且如果比对元素先于关键字，则将后队列作为新的基队列（即更新基队列首元素的位置）；

4-2. 反之（即比对元素后于关键字），则将前队列作为新的基队列（即更新基队列尾元素的位置）；

5. 重复步骤 1~4（则基队列中的元素将越来越少）；

6. （在最终基队列中已经没有任何元素之前，即基队列首元素的位置还未超越尾元素的位置，）直至找到符合查找条件的元素，则返回成功结果；

7. 或者（在最终基队列中已经没有任何元素之后，即基队列首元素的位置已经超越尾元素的位置，）所有元素均不符合查找条件，则返回失败结果(-1)。

然后，可以逐一将步骤转换为相应的伪代码如下（段落④）：

0. (int) key, (int[]) array, (int) head, (int) tail;

1. int mid = (head + tail - head) / 2; int midElement = array[mid];

2. bool comparisonResult = (key == midElement);

3. if (comparisonResult) { return mid; }

```

4.    else {
4-1.        if (midElement < key) { head = mid + 1; }
4-2.        else { tail = mid -1; }
        }

5.    repeat { step(1 - 4); };
6.    if (head <= tail) { return result of step5; }
7.    if (head > tail) { return -1; }

```

根据实际代码风格，可以将步骤 5 和 6 合并为一个循环体，并将步骤 1~4 包含在此循环体内，同时为基队列首元素和尾元素的位置赋予初始值。改进后的可执行代码如下（段落⑤）：

```

0.        (int) key, (int[]) array;
        int head = 0, int tail = array.length - 1;
5~6.    while (head <= tail) {
1.            int mid = (head + tail - head) / 2; int midElement = array[mid];
2.            bool comparisonResult = (key == midElement);
3.            if (comparisonResult) { return mid; }
4.            else {
4-1.                if (midElement < key) { head = mid + 1; }
4-2.                else { tail = mid -1; }
            }
7.            if (head > tail) { return -1; }
        }

```

这些代码虽然从执行效率、可阅读性等方面来说应该还有改进的空间，但本身已经是一段可以实际运行、符合算法基本需求的代码了。

可以看出，从便于理解的文字描述**段落①**，到便于执行的代码描述**段落⑤**，每两个相邻的段落之间都存在着具备可操作性的相互映射转化的联系。虽然示例中的转化过程过于简化和理想化，当面对其它复杂或者复合的算法，其中的转化过程可能也会变得相当复杂。不过由此便也使得，在逻辑信息网络的框架范围内，存在了可以将普通的文字描述自动转换为可由计算机执行的功能的可能性。这种可能性，对于从逻辑信息模型到逻辑信息网络进一步再达成完全自主、无需额外编程开发的通用人工智能来说，将会是非常重要的一个环节。

附录三、参考文献

1. 图书

塔尔斯基, 周礼全, 吴允会, 晏成书合译. 逻辑与演绎科学方法论导论[M]. 商务印书馆, 1963.

A. Tarski, Introduction to logic and to the methodology of deductive sciences, ed. Jan Tarski[M]. Oxford: Oxford University Press, 1994.

欧文·M·柯匹, 卡尔·科恩. 逻辑学导论(第13版)[M]. 中国人民大学出版社, 2014.
Copi I M, Cohen C, McMahon K. Introduction to Logic: Pearson New International Edition, 14/E[M]. Pearson, 2013.

唐晓嘉, 涂德辉. 逻辑学导论[M]. 西南师范大学出版社, 2004.

金岳霖. 形式逻辑[M]. 人民出版社, 1979.

邢滔滔. 数理逻辑[M]. 北京大学出版社, 2008.

王元元. 计算机科学中的现代逻辑学[M]. 科学出版社, 2001.

伽利略(Galileo Galilei), 周煦良. 关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话[M]. 北京大学出版社, 2006.

Galilei G, Drake S, Einstein A. Dialogue Concerning the Two Chief World Systems: Ptolemaic and Copernican SECOND EDITION[M]. UNIVERSITY OF CALIFORNIA PRESS BERKELEY AND LOS ANGELES, 1967.

爱因斯坦, 许良英, 范岱年编译. 爱因斯坦文集. 第一卷[M]. 商务印书馆, 1976.

欧几里得, 邹忌编译. 几何原本. 修订本. 第3版[M]. 重庆出版社, 2014.

Euclid, J.L. Heiberg, Fitzpatrick R. Euclid's Elements of Geometry Revised and corrected edition[M]. 2008.

朱志凯. 形式逻辑基础[M]. 复旦大学出版社, 1983.

Hume D, Millican P. An Enquiry Concerning Human Understanding[M]. Oxford University Press, 2007.

Hume D. Treatise of Human Nature[M]. , 1740.

Luo Guanzhong, Moss Roberts. Three kingdoms : a historical novel[M]. Foreign Languages Press, 1994.

张志伟. 西方哲学十五讲[M]. 北京大学出版社, 2004.

塞克斯都·恩披里柯著, 崔延强译注. 皮浪学说概要[M]. 商务印书馆, 2019.

Empiricus S, Bury R. Outlines of Pyrrhonism[M]. Massachusetts: Harvard University Press, 1933.

Patrick Suppes, 莫绍揆, 吕义忠. 公理集合论[M]. 计算机工程与应用, 1981(Z1).

彭聃龄, 张必隐. 认知心理学[M]. 浙江教育出版社, 2004.

杨治良, 郭力平, 王沛. 记忆心理学. 第3版[M]. 华东师范大学出版社, 2012.

王万森. 人工智能原理及其应用. 第4版[M]. 电子工业出版社, 2018.

Judea Pearl. The Book of Why: The New Science of Cause and Effect[M]. Hachette Book Group, 2018.

2. 期刊会议

D Silver, Huang A, Maddison C J, et al. Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search[J]. Nature, 2016, 529(7587):484-489.

Silver D, Schrittwieser J, Simonyan K, et al. Mastering the game of Go without human knowledge[J]. Nature, 2017, 550(7676):354-359.

Bengio Y, Deleu T, Rahaman N, et al. A Meta-Transfer Objective for Learning to Disentangle Causal Mechanisms[J]. 2019.

B Schölkopf. Causality for Machine Learning[J]. 2019.

Pearl, Judea. (2019). The seven tools of causal inference, with reflections on machine learning. Communications of the ACM. 62. 54-60. 10.1145/3241036.

Bohr N, Kramers H A, Slater J C. Über die Quantentheorie der Strahlung[J]. Zeitschrift Für Physik, 1924, 24(1):69-87.

罗钧旻, 郑守淇. 智能与智能模型[J]. 计算机工程与应用, 2006, 042(030):38-41.

钟义信. 统一理论——人工智能研究的新进展[J]. 交通信息与安全, 2009, 027(001):1-6.

吴国兵. “离散数学”中的等价关系[J]. 计算机教育, 2009(01):50-52.

- Shea. 比伽利略更早凝望月球的人[J]. 科技信息:山东, 2010, 000(003):78-79.
- 王申怀. 从欧几里得《几何原本》到希尔伯特《几何基础》[J]. 数学通报, 2010, 049(001):1-7, 21
- 张畅, 谢钧, 胡谷雨, 等. 复杂网络拓扑可视化方案设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2014(12):78-82.
- 时明德, 田心军. 概念·语词·词项[J]. 信阳师范学院学报(哲学社会科学版), 1993(03):63-65.
- 杨吉会, 吕杰. 公理化方法推动自然科学与社会科学发展述评[J]. 沈阳农业大学学报(社会科学版), 2014, 16(001):23-27.
- 商卫星. 古希腊怀疑主义论式探究[J]. 襄樊学院学报, 2000, (4):23-27.
- 梁景时. 古希腊怀疑主义思想的哲学影响及现实价值[J]. 通化师范学院学报, 2011(12):108-111.
- Lena., DB, 何华灿. 关于人工智能的最新假说:知识的阈值理论[J]. 计算机科学, 1989(1):1-6.
- 崔延强. 怀疑即探究:论希腊怀疑主义的意义[J]. 哲学研究, 1995(02):58-67.
- 冯媛, 张志锋, 蔡增玉, 等. 基于知识转换的人工智能统一模型[J]. 科技通报, 2014(9):173-176.
- 林燕丽. 觉悟——论康德对休谟因果论的回应[J]. 中共杭州市委党校学报, 2010, 1(006):71-75.
- 曹肇基. 卢瑟福散射与原子的有核模型[J]. 大学物理, 1999, 18(12):34-34.
- 周志远. 论对象属性的分类——概念问题系列之一[J]. 玉溪师范学院学报, 1999(01):62-65.
- 王建士. 论概念反映的对象与属性——兼谈形式逻辑关于概念的定义[J]. 华侨大学学报(哲学社会科学版), 1987, 000(002):50-58.
- 金立, 赵佳花. 逻辑学视域下的类比推理性质探究[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版), 2015(04):42-51.
- 黄顺基. 逻辑学在科学与哲学中的地位与作用[J]. 北京航空航天大学学报:社会科学版, 1999(04):5-14.

- 张炜. 美国学科专业分类目录 2020 版的新变化及中美比较分析[J]. 学位与研究生教育, 2020(1):59-64.
- 蒲慕明. 脑科学研究的三大发展方向[J]. 中国科学院院刊, 2019, 034(007):807-813.
- 蔡军田. 评休谟的因果观[J]. 山东社会科学, 2002(3):88-90.
- 单佑民. 浅谈数学的公理化研究方法[J]. 江苏教育学院学报:自然科学版, 2003(3):25-27.
- 刘佳. 浅析欧洲中世纪大学对当今大学的影响[J]. 新课程学习(下旬), 2015(1):4-4, 6.
- 蔡自兴. 人工智能学派及其在理论、方法上的观点[J]. 高技术通讯, 1995, 5(5):55-57.
- 王广赞, 易显飞. 人工智能研究的三大流派:比较与启示[J]. 长沙理工大学学报(社会科学版), 2018, 33(4):1-6.
- 沈剑波. 认知科学与人工智能[J]. 国外导弹与航天运载器, 1989(12):7-16.
- 黄正华. 认知科学中的心身问题与认识论[J]. 科学技术哲学研究, 2006, 23(5):22-26.
- 韩向前. 认知心理学的记忆论[J]. 心理学探新, 1983(04):77-82.
- 吴飞, 廖彬兵, 韩亚洪. 深度学习的可解释性[J]. 航空兵器, 2019, 26(1):39-46.
- 袁力, 李艺柔, 徐小冬. 时间生物学—2017 年诺贝尔生理或医学奖解读[J]. 遗传, 2018, 40(001):1-11.
- 张今杰, 谢常青. 世纪大争论:爱因斯坦、玻尔之争与量子力学的发展[J]. 求索, 2007(4):134-135, 141.
- 郑彦宁, 化柏林. 数据、信息、知识与情报转化关系的探讨[J]. 情报理论与实践, 2011, 34(7):1-4.
- 荆宁宁, 程俊瑜. 数据、信息、知识与智慧[J]. 情报科学, 2005, 23(12):1786-1790.
- 关键. 数学公理的哲学思考[J]. 教学与管理, 1986(03):7-8.
- 王志亨. 谈谈数学的公理法思想——从几何基础到数学基础[J]. 兰州教育学院学报, 1985(02):44-48.
- 冯媛, 蔡增玉, 张志锋, 等. 统一人工智能的研究与进展[J]. 科技通报, 2014(3):104-107.

- 郭芙蓉. 推理是由前提、结论、推导关系三部分构成[J]. 黑龙江教育学院学报, 2001, 20(4):38-40.
- 李金华. 网络研究三部曲:图论、社会网络分析与复杂网络理论[J]. 华南师范大学学报(社会科学版), 2009(2):136-138.
- 吕长元. 习惯是人生的伟大指南——对休谟因果关系的认识[J]. 科海故事博览:科技探索, 2011(6):19-19.
- 叶继元. 学术期刊的定性与定量评价[J]. 图书馆论坛, 2006, 26(6):54-58.
- 程悦云. 学位制度的由来及发展[J]. 辽宁大学学报(哲学社会科学版), 1994(01):67-68.
- 张金兴. 亚氏三段论的现代逻辑改造[J]. 昆明师专学报(哲学社会科学版), 1996(2):64-68.
- 方在庆. 一个半经典模型是如何成为经典的——纪念玻尔原子模型诞生 100 年[J]. 科学(上海), 2013, 65(3):47-51.
- 韩双淼, 许为民, 衣龙涛. 英国研究生学科专业目录:演变轨迹与启示[J]. 学位与研究生教育, 2019(8):71-77.
- 江玉安. 原子理论的发展-纪念道尔顿原子理论发表 200 周年[J]. 化学教学, 2009(1):55-57.
- 胡文韬, 王顺利, 戈华. 原子模型发展概述[J]. 集宁师范学报, 1999, 000(004):17-22.
- 陈亦人. 原子模型演进中的科学创新[J]. 化学教学, 2005(1):75-77.
- 上官景昌, 陈思. 知识管理研究中数据、信息、知识概念辨析[J]. 情报科学, 2009, 27(8):1152-1156, 1160.
- 徐增林, 盛泳潘, 贺丽荣, 等. 知识图谱技术综述[J]. 电子科技大学学报, 2016, 45(4):589-606.
- 华劭. 指称与逻辑[J]. 外语学刊(黑龙江大学学报), 1995(02):9-18.
- 国家技术监督局. 中华人民共和国国家标准学科分类与代码表[J]. 2011.
- The Royal Society. The public understanding of science. Report of a Royal Society ad hoc Group endorsed by the Council of the Royal Society. [J]. 1985.

中国中文信息学会、语言与知识计算专委会. 知识图谱发展报告(2018) [C]. {4}:中国中文信息学会, 2018.

3. 硕博论文

安金辉. 伽利略的方法论思想[D]. 武汉大学, 2002.

王洁. 欧洲中世纪大学学位制度研究[D]. 南京师范大学, 2014.

周芳. 原子核结构的理论研究[D]. 安徽大学, 2008.

4. 网络资源

文艺复兴 - 维基百科

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%96%87%E8%89%BA%E5%A4%8D%E5%85%B4>

启蒙时代 - 维基百科

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%95%9F%E8%92%99%E6%99%82%E4%BB%A3>

为什么需要知识图谱? 什么是知识图谱? ——KG 的前世今生 - 知乎

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/31726910>

Cytoscape: An Open Source Platform for Complex Network Analysis and Visualization

<https://cytoscape.org/>

Gephi - The Open Graph Viz Platform

<https://gephi.org/>

Graphviz

<http://www.graphviz.org/>

igraph - Network analysis software

<https://igraph.org/>

JuliaGraphs - Graph analysis in Julia

<https://juliagraphs.org/>

NetworkX — Network Analysis in Python

<https://networkx.org/>

从关系到映射 - 知乎

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/27622030>

原子结构探寻简史(1): 从汤姆逊模型到卢瑟福模型 - 知乎

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/113041932>

走近量子纠缠-4-波尔和爱因斯坦之争 - 张天蓉的博文 - 科学网

<http://blog.sciencenet.cn/blog-677221-534940.html>

21 世纪的物理学，迷失方向了吗？ - “原理” 微信公众号

<https://mp.weixin.qq.com/s/8aRQTWBTk27nWJknHlq-PA>

“Why some scientists say physics has gone off the rails? Has the love of “elegant” equations overtaken the desire to describe the real world? - NBC News”

<https://www.nbcnews.com/mach/science/why-some-scientists-say-physics-has-gone-rails-ncna879346>

An AI Pioneer Wants His Algorithms to Understand the 'Why' | WIRED

<https://www.wired.com/story/ai-pioneer-algorithms-understand-why/>

深度学习该往何处走? Yoshua Bengio 这么认为 | 机器之心

<https://www.jiqizhixin.com/articles/2019-12-19-20>

简单梳理一下机器学习可解释性 (Interpretability) - 知乎

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/141013178>

机器学习模型可解释性的详尽介绍 | 机器之心

<https://www.jiqizhixin.com/articles/2019-10-30-9>

机器学习模型的“可解释性”到底有多重要? - 腾讯云 云+社区

<https://cloud.tencent.com/developer/article/1096716>

微软创始人保罗·艾伦：欲实施大脑逆向工程

<https://tech.qq.com/a/20120925/000102.htm>

Inside Paul Allen's Quest To Reverse Engineer The Brain

<https://www.forbes.com/sites/matthewherper/2012/09/18/inside-paul-allens-quest-to-reverse-engineer-the-brain/>

Nature 长文综述：类脑智能与脉冲神经网络前沿 - 知乎

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/94556277>

认知科学 - 维基百科

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%AE%A4%E7%9F%A5%E7%A7%91%E5%AD%A6>

神经科学 - 维基百科

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A5%9E%E7%BB%8F%E7%A7%91%E5%AD%A6>

认知科学、神经科学、和认知神经科学 - 知乎

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/20727283>

学术圈内外鸡同鸭讲，你们之间真有那么大隔阂吗？ | Editage Insights

<https://www.editage.cn/insights/en/node/1938>

怎样进行数学建模？——与青年朋友谈科研（9） - 戴世强的博文 - 科学网

<http://blog.sciencenet.cn/blog-330732-369318.html>

高效时间管理—介绍 GTD - 腾讯 CDC

<http://cdc.tencent.com/2009/02/09/%e9%ab%98%e6%95%88%e6%97%b6%e9%97%b4%e7%ae%a1%e7%90%86%ef%bc%8d%e4%bb%8b%e7%bb%8dgtd/>

从麦凯恩到马斯克，那些特立独行的人 - 纽约时报中文网

<https://cn.nytimes.com/culture/20180827/wod-maverick/>