·学术评论·

西方信息研究进路述评

A Review on Approaches of Western Information Studies

周理乾 /ZHOU Liqian

（南京大学哲学系与宗教学系，江苏南京，210093）
(Department of Philosophy & Religion, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu, 210093)

摘　要: 由于信息概念在众多学科中都起着重要的作用，不同学科根据其不同的目标和不同的历史背景，分别采取了不同的方式来处理信息概念。根据研究进路的不同，西方信息研究可分为九类：数学进路目的在于为信息的测量提供精确的数学方法，主要有通信的数学理论、计算理论和组合理论；语义进路研究被数学进路所忽视的语义信息，目的在于提出信息的语义内容的测量；逻辑进路则将信息概念应用于逻辑之中，为逻辑研究带来了新的启示；动力学理论则关注信息的因果动力学过程，力图厘清信息与因果过程的关系，为信息研究提供科学基础；信号博弈论则运用合作博弈论的成果，以自然主义的精神来解决信号是如何自发地涌现出来的问题；泛信息主义则将信息视为像物质、能量一样的宇宙的基本性质——信息不是被解释的对象，而是解释其他现象的出发点。符号学进路则跟随皮尔斯符号学的脚步，提出了富有洞见的符号学信息理论；哲学进路则研究信息概念或信息现象的哲学意蕴，主要包含信息的哲学反思和信息哲学作为第一哲学两种观点；跨学科进路认为信息是多层次涌现的复杂现象，应该以跨学科的角度进行研究。虽然不同研究进路中信息概念的涵义不尽相同，但却可以相互借鉴，为信息研究的未来发展提供坚实的基础。

关键词: 信息　测量　语义　逻辑　信息动力学　信号博弈　符号学　信息哲学　跨学科

Abstract: Because of the important roles played by the concept of information, different disciplines deal with it with different approaches according to their different purposes and historical background. Western information studies can be classified into nine types with respect to their research approaches. Mathematic approach aims to provide accurate mathematic methods of measuring the quantity of information represented by the mathematic theory of communication, theory of computation and combination theory. Semantic approach handles the semantic aspect of information ignored by mathematic approach, providing a method of measuring the quantity of semantic content of information. Logic approach applies the concept of information into logic studies which brings logic new lights. Dynamic theories of information concern with the causal dynamic processes of information that aim to articulate the relations between information and causation providing a scientific foundation for science of information. Theory of signaling game tries to solve the problem of emergence of signals with cooperation game theory in naturalistic spirit. Pan-informationalism treats information as a basic property of the universe like matter and energy. Information is not the one which needs to be explained but an explanation for other things. Following steps of Peircean semiotics, semiotic approach proposes insightful theories of information. Philosophical approach focuses on the concept of information and philosophical implications of information including philosophical reflection of information and philosophy of information as first philosophy. Transdisciplinary approach thinks that information is a complex phenomenon with multiple emergent levels and thus needs transdisciplinary studies. Although the concept of information has different meanings in different approaches, they can learn from each

收稿日期: 2015年9月7日
作者简介: 周理乾（1988–）男，山东临沂人，哲学博士，南京大学哲学系＆宗教学系助理研究员，研究方向为信息理论与信息哲学、系统科学哲学、生命与认知。Email: skyzhouapple@126.com

other laying solid foundation for future studies of information.

Key Words: Information; Measurement; Semantics; Logics; Information dynamics; Signaling game; Semiotics; Philosophy of information; Transdisciplinary studies

中图分类号： N0　　**文献标识码：** A　　DOI:10.15994/j.1000–0763.2017.01.019

“在科学中，信息概念是个中心统一概念。它在物理学、计算与控制论、生物学、认知神经科学，当然还有社会科学中扮演了关键的角色。”[1] 近些年来，由于信息与通信技术的广泛应用，以及由此带来的社会生活方式的变革，同时由于当代自然科学研究中生命与认知研究领域得到高度重视，信息因其关键角色而成为不同学科所关注的焦点。近几年来，信息研究的新成果层出不穷，不同学科涌现出了不同的研究进路。“他山之石，可以攻玉”，为进一步推进中国信息科学的发展，使国内信息科学研究者充分了解当代西方信息研究的最新发展，本文打算将西方学者在这方面近几十年来的研究与发展进行一个系统的介绍。

由于不同学科的追求目标不同，历史背景不同，每个学科处理信息概念的方式也不尽相同。这些学科所采用的进路多种多样，从纯粹量化的到纯粹质性的，各种进路应有尽有。本文所介绍的第一条进路是数学进路，代表性理论有申农（Claude Shannon）和威弗尔（Warren Weaver）的通信的数学理论，柯尔莫哥洛夫（Andrey Kolmogorov）的计算理论和彭罗斯（Roger Penrose）的信息组合理论。第二条进路是语义信息研究进路，它是由耶霍舒亚·巴尔–希列尔（Yehoshua Bar–Hillel）和鲁道夫·卡尔纳普（Rudolf Carnap）建立的，又被弗雷德·德雷斯基（Fred Dretske）与卢西亚诺·弗洛里迪（Luciano Floridi）进一步发展。第三条是逻辑进路，开始于大卫·以色列（David Israel）和约翰·佩里（John Perry）的经典工作，又进一步被范丙申（Johan van Benthem）发展。第四条进路为信息的动力学理论，主要代表有约翰·科利尔（John Collier）和特伦斯·迪肯（Terrence Deacon）。第五条进路为信号博弈论，该理论首先由大卫·莱维斯（David Lewis）创立，由布利恩·斯凯姆斯（Brian Skyrms）及他的同事进一步发展。第六条是泛信息主义，主要代表有约翰·惠勒（John Wheeler）、大卫·查尔莫斯（David Chalmers）和托姆·斯托尼尔（Tom Stonier）。该进路将信息视为宇宙的一个基本性质。第七条是符号学进路，主要是一些符号学家提出和坚持的，比如文弗莱德·诺斯（Winfred Nöth）。这条进路的当代发展还包括生物符号学中对信息概念的讨论。第八条是哲学进路，这条进路或者将信息概念应用于传统的哲学问题，以带来新的启示，像格雷斯·埃文斯（Gareth Evans）、德雷斯基（Fred Dretske）和露丝·米丽肯（Ruth G. Millikan）；或者以信息概念为出发点建立全新的哲学，如弗洛里迪（Luciano Floridi）。最后一条为跨学科进路，它首先由维纳（Norbert Wiener）和格里高利·贝特森（Gregory Bateson）所倡导，马克鲁普（Fritz Machlup）所坚持，在当代被沃尔夫岗·霍夫基尔奇纳（Wolfgang Hofkirchner）、索伦·布赫尔（Søren Brier）和约翰·明格斯（John Mingers）进一步推进。

本文的划分并不是十分严格的，不同进路之间也不是互不相容，甚至同一个人的理论可以被划分成不同的研究进路。这是由于信息概念本身的模糊性以及不同研究进路之间的非线性互动所导致的结果。笔者将在本文中简单介绍这九大研究进路：首先介绍他们的目标、研究方法和内容，然后初步反思当它们应用于解释日常信息现象时的优点和局限性。

一、数学进路

尽管信息这个术语的起源与哲学纠缠在一起，具有很长的历史，但它的科学意义却源于信息的数学理论。其中，数学方法用于衡量信息的量。信息的数学研究进路并不关注信息的意义，因为信息的语义方面由于是质性的而很难被转换成数学。根据柯尔莫哥洛夫的划分，主要有三个信息的一般数学理论：申农和威弗尔的通信的数学理论、彭罗斯的信息组合理论和柯尔莫哥洛夫的计算理论。另外，这一节也会简要地讨论西拉德（Leo Szilard）和兰道尔（Rolf Landauer）关于信息在物理学基础方面的工作以及冯·诺依曼关于量子力学和粒子物理学中的一些信息问题。再加上生物信息研究，这些理论构成了自然科学中的信息研究

进路。

1. 通信的数学理论

继承于奈奎斯特（Harry Nyquist）[2],[3]和哈特莱（Ralph Hartley）[4]的先驱工作，申农与他的同事威弗尔一起发展了通信的一般数学理论。根据威弗尔的说明，通信问题有三个层次：关注通信过程中符号传递精确性的技术问题，关于接收者理解意义的语义问题以及着重于通信的有效性问题。（[5], pp.4–5）尽管技术问题看起来是表面的问题，语义问题和有效性问题包含了通信问题绝大部分的哲学性内容，但后两个层次深深地依赖于前一个层次，因为它们要受前者的约束。因此，技术问题的理论是对信息与通信进行哲学反思的基础。由于只关心工程问题，而通信的语义方面与此无关，申农的通信的数学理论（MTC）为技术问题提供了一个一般理论。[5]

对于申农来说，通信有意义的方面是从一组可能的消息中实际上选择出来的消息。信息是对一个人在选择消息时的自由度的测量。MTC的目的在于探索如何设计实现这一选择过程的人工通信系统，这个系统能够将发送者意图发送的信息传递给接收者。这个项目的主要任务是测量这类通信系统的传输能力。为了实现这个目标，它必须比较从信源发送的意向信息的量与接收到的信息的量。比较的结果就是信道的稳定性和传输能力。因此，必须找到测量信息量的一般方法。申农将信息定义为选择的不确定性的消除，这能够用概率来测量。假设一个信源存在有限的可能状态，每个状态的概率相同，这些状态构成了潜在的不同消息。信源中这些消息的概率总和为1，那么信源可看做意向消息产生概率的函数，这一般被表示为对数方程：

$$I=k\log_2 p$$

I表示意向消息的信息的量，p是意向消息产生的概率，对数的底数一般取2，因为它对应着逻辑值的量：真和假。这个等式的基本含义是：一个消息的可能性越大，它所包含的信息就越少。换句话说，一个人的选择自由度越大，他所获得的信息就越多。由于这个等式在数学上类似于热力学熵的测量等式，申农听了冯•诺依曼的意见后，也将其结果称为信息熵。

由于MTC纯粹量化的取向和对信息质性方面的忽视而恶名远扬。由于学术界越来越关注信息语义和语用方面，他们批评MTC并不是信息的理论，因为它丢失了信息概念本来的含义。然而，我们不能在倒洗澡水时，连同里面的孩子一起倒掉。如果将MTC置之不顾，我们不可能建立起一个完整的信息理论。如果我们想要在信息研究上走得更远，我们可以从MTC中至少学到三点经验：第一，正如威弗尔所说的，MTC揭示了信息过程的物理限制。信息只能在某个具体的通信系统中传递，这依赖于信道的传输能力和整个系统的稳定性（噪音问题）。第二，申农和威弗尔将信息定义为一个人选择消息的自由度和不确定性的消除，这意味着“信息概念不是应用于个体消息（正如意义概念那样），而是这个情境整体。”（[5], p.9）换句话说，信息所指称的是整个通信过程，而非从信源传送到目的地的某种实体性东西。由于信息的测量是对一个人选择消息的自由度的测量，这意味着信息过程是主体相关的，尽管它是一个客观过程。这是信息意义（significance）的起源，因为消息的选择能够满足通信参与主体的特定目的。第三，信息熵与热力学熵的相似性不仅仅是表面的。从后面将要介绍的迪肯的工作中，我们可以看到在两种熵之间存在着深刻的联系，这能够为信息过程奠定物理动力学基础，并为信息的语义学方面的说明提供新的启示。因此，MTC并不是我们应该丢进历史垃圾堆的东西，而是信息研究新探索的起点。

2. 其他信息的数学理论

彭罗斯的信息组合理论的形式类似于MTC，不过它依赖于组成系统宏观和微观状态的频率，而非消息的概率。在这里，一条消息等价于一个微观状态①。微观状态与另一个信息的关键概念，即冗余紧密相连。简单来说，冗余或者是信息的直接重复，或者是结构中的关联，这个关联能够约束它所提供的信息。[6]尽管冗余降低了一个信号所能传递的信息的量，但它使理解该信号的信息得以可能，因为它为理解者提供了可预测性。这与信息过程的动力学结构有着深刻的联系。

信息的冗余也与第三种信息的数学理论，也就是算法理论相联系。[7],[8],[9],[10],[11],[12],[13],[14]计

①哈特莱的先驱性的通信理论也是基于元素的频率（1928）。

算理论或信息的算法理论的基本思想是，一条消息所包含的信息的量是这条消息最短描述的长度。根据通用计算机，如图灵机，所有的描述都能够被编码为二进制程序。我们可以用计算时间来测量一个描述所包含的信息量。科利尔认为，柯尔莫哥洛夫对信息的测量要比MTC和组合理论更基本，因为它并不是根据概率理论来界定的，并且可以应用于个别情况。[6]这个理论也可以从其他方面来测量信息的冗余。简单冗余只是系统微观状态的重复。另一种形式的重复是马尔科夫冗余。在时间序列中，每个微观状态都会约束下一个微观状态。也存在层次性冗余。这就是说，在超越系统特定层次上发现的冗余或形式并不能在较低的层次发现[6],[13]。追随柯尔莫哥洛夫的脚步，查尔斯·贝内特（Charles Benett）用逻辑深度来计算层次冗余的测量[15],[16]。从它的压缩形式来看，产生一个简单冗余的表面结构的计算时间很短，因为计算它的结果很容易。但很难计算长序列或层次性的压缩形式的冗余，因为它们的逻辑深度很深。不论是组合理论，还是算法理论，都可以应用于通信的高效编码的构建。这条研究进路被高达娜·道迪格–肯格维克和马克·巴尔金所继承与进一步发展。[17],[18],[19],[20],[21]

3. 自然科学中的其他信息理论

以上三种信息的数学理论都是纯粹量化的，目标在于计算信息的测量而非关注信息的意义。因此，它们远离了信息的日常使用，尽管它们在技术、工程方面的应用给日常生活带来了颠覆性的变化。除了这三种数学理论，在自然科学中还有其他三种研究信息的进路：物理学中的信息，量子信息和生物信息。

尽管我们都从维纳的名言中得知通信过程中的能量消耗不能够成为信息的精确测量（[22], p.132），但信息过程确实依赖于物理过程，并且会消耗一定的能量。基于信息的算法理论，西拉德和兰道尔发现，信息过程存在着物理限制：“在将1比特重置为0时，不存在比转换ln2焦耳的功更好地重置运作的物理实现”。也就是说，不存在不消耗能量的信息，1比特的信息至少要消耗ln2焦耳的能量。[23],[24],[25]

冯·诺依曼将MTC应用于量子理论，用量子比特作为经典比特的普遍形式，这用一个具有两个状态的量子力学系统的量子状态来描述。这在形式上等同于一个复数上的二维矢量空间。[26],[27]这个理论在计算机科学中有着深远的影响，并已经成为量子计算机的理论基础。这也启发一些学者将信息看作具有像物质和能量一样的基本性质，例如惠勒的“万物源于比特”。

由于DNA双螺旋结构的发现，信息在生物学中也扮演了重要的角色。对于很多生物学家来说，生命最显著的特征是它可以被看做信息的表达。DNA的复制可以被视为信息传递的过程，其目的是用来传递生命信息的编码。生物信息理论的任务就是研究这个过程如何使生命得以可能。[28]

以上所有的这些理论构成了自然科学中的信息理论。我们从中可以看出，这些理论要么关注信息概念的纯粹量化问题，要么关注信息过程的因果基础。尽管它们为信息研究提供了科学基础，但它们对我们理解信息概念的日常含义不可能有什么帮助。

二、信息语义学进路

1. 巴尔-希列尔和卡尔纳普的语义信息理论

通信的数学理论的目标在于为有效通信系统的设计提供理论基础，而非澄清信息的内容，因为信息的语义方面与它的目标无关。然而，由于MTC的广泛影响和信息概念的滥用，MTC误导人们将信息的数量与信息的内容相混淆，将信息的定义从“信息 = 信号序列所表达的东西”转换为“信息 = 信号的序列”。[29]因此，语义信息的测量理论不同于符号序列的测量理论。

根据这个澄清和归纳概率理论，巴尔–希列尔和卡尔纳普建立了语义测量的形式理论。[30],[31]这个语义信息理论的形式与MTC的形式相似。正如MTC假设了信源存在有限的状态，以便于能够计算意向消息的概率，这个理论假设了一个有有限语言元素的固定语言系统，这些元素都有语义内容。利用归纳逻辑理论，通过测量所排除句子的数量，我们能够根据一个句子在这个形式知识基础（即固定的语言系统）中的出现概率来计算它的内容的量。正如MTC，意向句子所排除的其他句子越多，它所包含的信息内容也就越多。这被称为倒转关系原理（The Inverse Relationship Principle）。这个理论与MTC的本质不同在于，这个理论是语义内容相关的。比如说，根据MTC，一个没有意义的

符号序列与一个拥有相同序列的句子的语义可以有相等的量。但对于语义信息理论，无意义句子的内容的量为0。只有当两个句子互不相干时，相加性原理才成立。另外，分析性句子内容的量是零，因为它的内容可以从它的前提中推演出来。

这个语义信息理论的缺陷是显而易见的。首先，它的逻辑起点是一个想象的具有有限句子的固定语言系统。这与我们的直觉相悖。因为自然语义富有创造性，能够产生无穷多的句子。因此，不存在像这类固定语言系统的自然语义来作为决定所有真句子的基础。第二，巴尔–希列尔的目的在于发展一个摆脱发送者和接收者的纯粹语义信息理论。然而，最近的研究表明，在语义学和语用学之间不存在明显的界限。([32], pp.137–146）并且，没有发送者和接收者，信息不可能被理解。第三，尽管它被称为语义信息理论，但除了提供了一种测量信息内容数量的方式之外，它对于信息的本来含义仍然没有说什么。第四，这个理论隐含着一个悖论，即自我矛盾悖论（a self–contradicting paradox）。根据倒转关系原理，自我矛盾的句子包含最多的信息内容。语义信息研究的进路被凯米尼[33]、斯穆克勒[34]、和海廷加[35]进一步发展。

2. 德雷斯基的语义信息理论

基于MTC，弗雷德•德雷斯基从一个辨别开始也建构了一个语义信息理论。德雷斯基的这个辨别是信息与涵义（meaning）的不同。涵义可错而信息不能，因为直觉上，信息给接收者带来知识，而知识是真的。假设*F*是一个世界事件的特定状态，*s*是信源，*k*是接收者的背景知识，*r*是某个依赖于意向信息的东西，一个信号携带*s是F*的信息必须满足如下三个条件：

> **“(A) 这个信号所携带的关于*s*的信息与*s是F*这个事件所产生的信息一样多。”**
>
> **“(B) *s*是*F*。”**
>
> **“(C) 这个信号所携带关于s的信息的量是（或者包含）s是*F*（而非，比如说，*s是*G）这个事件产生的量。”**（[36], pp.63-64）

那么，信息的内容是：

> **“给定*r*（和*k*），信号r所携带的信息*s是F*=*s是F*的条件概率是1（但是，如果只给定*k*，它将会小于*1*）。”**（[36], p.65）

德雷斯基的进路令人印象深刻，因为它将MTC与信息的语义内容联系了起来。由于信息与认识论之间的深刻联系，他将这个定义应用于认识论。([36], p.92）信息是独立于任何认知主体的东西，但当这些主体使用信息时，却能给他们带来知识。([37], p.31）“知识是信息产生的信念。”([36], p.92）然而，这个语义信息理论中仍然存在着内在的紧张。首先，如果信息是独立于任何观察者的东西，那么信息与其他因果事件之间的关系是什么？或者说，信息是否是与因果事件不同的东西？如果是，我们如何将信息与其他的因果关系区分开来？第二，德雷斯基所描述的信息过程仍旧是一个理想的过程，实际的信息并不是这么实现的。正如米丽肯所批评的：“从这样一个信号中学到某些东西似乎要去要求这个有机体不仅仅有发现携带信息的信号的途径，还要求存在某种独特的信息通道，同时还要知道什么样的语义映射函数，什么样的翻译规则，如何去应用的途径。”([32], pp.33–34）

3. 强语义信息理论

最新的语义信息理论是由弗洛里迪发展的，与他称之为弱语义信息理论（TWSI）的巴尔–希列尔和卡尔纳普的理论对照，他称之为强语义信息理论（TSSI）。([38], p.109）弗洛里迪从倒转关系原理所暗含的悖论出发，他认为使TWSI走向悖论的原因是因为它基于概率分布。([38], p.109）TSSI通过依靠真–值，可以避免这个悖论。语义信息是很好构成的、有意义的、真数据（[39]; [40], p.12; [38], p.104）。正如德雷斯基一样，弗洛里迪指出，语义信息是内在地为真，它先验地包含了真理，而虚假信息（disinformation）和误传信息（misinformation）并不是真正的信息，它们的信息功能是从真信息派生出来的。通过预设一个包含了关于系统的完美完整信息的理想文本，弗洛里迪认为尽管所有的信息为真，但信息的真值却有程度上的变化。因为，在信号所携带的信息与给定的世界状态之间总是存在着某种程度的不符。然后，他建立了一种形式方法来计算信息性（informativeness）的度量。“关于某个情境的语义信息呈现了与至少一个而非全部其他可能性不一致的实际可能性。矛盾并不是信息–富含的，因为它不是一个可能性；同义反复也不是信息–富含的，因为它排除了任何可能性。”([38], p.129）

乍一看，弗洛里迪的理论富有前景，因为它

的确解决了巴尔–希列尔悖论。然而，笔者并不认为它如它所看起来的那样富有前景。首先，追随巴尔–希列尔和卡尔纳普的足迹，弗洛里迪预设包含了完美信息的理想文本是可能的。然而，在真实世界中并不存在完全信息，因为信息的内容高度地依赖接收者的局部利益。不得不承认，不管是巴尔–希列尔的语义信息理论，还是弗洛里迪的语义信息理论，它们在逻辑和数学上都很漂亮，但真实世界中的信息并不是这个样子。除非我们先验地假设一个理想的或高度约束的条件，语义信息内容的策略是不可能的。第二，信息并不是先验地预设了真理而内在为真的，因为信息是高度语境敏感的，在不同的情境中，同样的消息可能会有不同的真值。第三，弗洛里迪对语义信息量的计算靠的是模糊逻辑，信息的信息性是变量。但根据德雷斯基的分析，根据自然与逻辑的必然性，只有当某信号出现的概率为1时，它才携带了关于信源的信息。换句话说，信息是全有或全无，不存在中间状态。信息的信息性程度只是一个假设。

三、逻辑进路

严格说来，由巴尔–希列尔和卡尔纳普与弗洛里迪发展的语义信息测量的理论是关于信息的逻辑理论，因为他们将逻辑作为工具来处理语义信息。这一节所论述的逻辑进路则是最近发展的理论，是指那些探索信息在逻辑中所起作用的理论，是由大卫•以色列和约翰•佩里开创的。[41],[42],[43] 根据范丙申的划分，信息的逻辑研究主要有三类：作为幅度（range）的信息，作为关联（correlation）的信息和作为编码（code）的信息。[44],[45],[46]

作为幅度的信息的观念是说，可能存在用来刻画在某个时刻的信息状态的概率幅度。获得新信息将会缩小概率的幅度，也就是对于系统的实际状态来说降低不确定性。这个直觉的观点与MTC一致，将信息看作不确定性降低的函数。然而，不同于MTC，作为幅度的信息也关注信息的更新过程，也就是信息的动力学过程。通过获取新的信息，主体能够持续地改变它们的认知状态，更新它们关于认识对象的知识。这个观点为语义信息和认知逻辑的多方面研究提供了新的视角。

作为关联的信息关注信息的“关于性”（aboutness）方面。信息总是趋向于关于与信息主体相关的某些对象，这种关于性能够将不同的情境关联起来。这与信息流的观念相联。由于系统的结构和情境的约束，该系统某个组成部分的某个状态能够包含一个在时空上相当远的组成部分的信息。这个观念在情境理论（situation theory）中得到发展，称之为关联范式。这个范式探讨信息是如何从系统的一部分流向其他的部分。这置身于情境的结构之中。这个论述为指称和意义的哲学问题提供了新的启示。

作为编码的信息研究语法和推理的方面，以及信息结构的计算。根据这个观点,作为编码过程，信息为推理提供了新的洞见。研究这些方面的逻辑设置是证明论（proof theory）。由于它与信息的编码方面紧密相关，它基于信息的算法理论来研究信息的计算。信息的动力学过程对于这个观点也十分本质，因为无论是推理还是计算，它们都是操作语法表征的解释方式。

通过以上讨论，我们可以看到，信息的逻辑研究进路并不探讨信息的本质，而是将信息理论与相关观念应用于逻辑的研究。因此，逻辑进路实际上不是信息的研究，而是逻辑的研究。即便如此，由于信息研究的不同进路之间的非线性互动，它仍然为信息研究提供了新的启发。首先，这个进路关注了以往经典信息理论所忽视的信息动力学过程。正如逻辑进路所指出的那样，信息的动力学过程与信息的语义方面是本质相关的。第二，逻辑的情境理论将重心放在信息的语境特征上，强调信号所携带的关于某个事实的信息并不是信号的内在形式，而是相对于它所置身其中的语境的。它表明，不存在着一种脱离具体语境的一般意义上的信息过程。

四、信息的动力学进路

尽管不同于自然界中的其他物理过程，信息过程首先仍是某种物理动力学过程。信息动力学进路认为，为了去理解信息，我们应该理解它所置身其中的物理过程；如果不想将信息视为某种不能被人类心灵所理解的神秘现象，我们必须承认信息是自发地从自然过程中涌现出来的。学者们之所以将信息看做某种与其他物理过程本质上不相同的东西，原因在于信息的内容或意义不能够

被还原为它的物理载体。可是，它们中的大多数忽视了信息与物质过程之间关系的其他方面，也就是信息的内容或意义能够产生物理后果。换句话说，尽管信息不能还原为实现它的物理过程，但它仍可能有物理后果。信息动力学理论试图探讨信息的这些方面。

1. 科利尔信息的动力学基础解释

作为最有影响力的MTC信息理论忽略了信息的语义方面，而大多数当代信息研究者却特别关注语义信息。然而，约翰•科利尔认为，在这些当代信息研究者中，大多数走得似乎太远了，以至于并不关注信息的因果方面。正如威弗尔所指出的那样，信息是由因果过程实现的，并受其约束。过去的理论从先验概率的降低来思考信息。降低是接收到的信息对接收者的效果。作为物理对象的内在形式，信息包含于它们的物理结构之中，这使信息有能力来产生这样的效果。因此，在他一系列的研究中，科利尔指出，如果我们想要把握信息的本质，那就很必要去理解信息的因果动力学过程。[6],[47],[48],[49],[50],[51],[52]

对照“熵”（entropy），他将信息定义为“负熵（inentropy）+使成形（enformation）”，将之等同于秩序，秩序是由系统的最大熵减去系统实际熵的结果来定义的。使成形是信息的形式或结构约束：“负熵是在系统内做功的能力；它表征了因果力量的能量方面。另一方面，使成形是改变事物形式的能力；它表征了因果的组织方面，是引导能量的能力。”[49] 为了以这种方式定义信息，科利尔预设了一个自动体（autonomy），他认为这是功能、意向和意义的起源：“没有意向就没有意义；没有功能就没有意向；没有自动体就没有功能。”[49] 通过过程和互动的双重闭合，自动体获得了它所需要的信息。这预设了拥有特定宏观状态的基于融合（cohesion）的非平衡开放系统。“融合是由系统的部分之间的因果互动所产生的，这使它对系统的微观状态的扰动不敏感。”[47] 它作为施加于系统可能状态的幅度上的约束来起作用。负熵和使成形的相互转换在这个融合的过程中发生，这产生了信息，使信息在系统的不同部分之间，甚至不同系统之间流动。

科利尔的信息动力学理论让人印象深刻，因为他将我们的注意力转向了信息的因果和动力学方面。但它对于信息的语义内容几乎没说什么。所以它仍然不能够说明日常信息现象的理论。如果我们将信息视为客体的内在形式，那么这就说明，任何东西都可以被看做是信息。这种解释会带来两个危险。首先，信息被还原为因果过程，在信息和其他因果过程之间不存在任何差异。那么，信息就成了一个多余的词汇。第二，这将导向泛信息主义，也就是说，信息充满着宇宙（下一节将会介绍这种观点）。另外，这个理论中的自动体、功能等概念都是继承自人工智能的功能主义，同时也将这些概念的不足继承下来①。由于这些困难，科利尔自己最近也承认，他没能提供一个融贯的信息理论；不过通过符号学或者说符号理论以及自动体理论，他看到了新的希望所在（私人通信）。

2. 信息的涌现动力学

正如科利尔，特伦斯•迪肯也将他的信息理论构建于系统的非平衡动力学。[1],[53],[54],[55] 迪肯以这个问题开始他的理论：“我（通过信息）所表征的东西何以能够具有物理后果？”这个问题暗含了两个层次的含义：第一，信息是某种在本质上不同于物理过程的东西；第二，信息能够产生物理作用。过去的理论不能够对信息做出让人信服的说明，是因为它们主要关心信息是什么，而信息的关键是它不是什么。空缺（absence）是信息的本质。“传输信息的能力依赖于与明确没有产生的事物的关系。”（[54], p.123）换句话说，信息是它所不是的，或者说信息表征了并非信息载体本身的东西。空缺的这个本质使信息区别于其他的物理过程。信息指称能力的秘密能够由构建性空缺（constitutive absence）来解释，而构建性空缺具有涌现动力学基础，这也反过来能够为信息提供涌现动力学解释。

“构建性空缺可以被定义为根据（或者是通过）呈现于（也是潜在的或投射的）某些外在对象或过程中的属性来结构地或动力学地组织的性质。”[1] 换句话说，空缺是来自于外在来源的约束的结果。也就是说，约束是其他的状态的减少。这与信息的本来本质，即不确定性的减少相一致。指称信息是约束传送的函数。因此，本质上说，

①感谢科利尔在国际信息峰会（IS4IS）期间为笔者特别说明了这一点。

信息流是约束流。我们可以将约束流视作两个系统状态之间的动力学耦合互动。通过这种耦合，指称得以可能。这是指称信息的动力学基础。信息也有作为规范性维度的理解方面。如果没有理解维度，指称信息只是潜在的，因为物理过程的动力学耦合互动到处都在发生。这意味着如果它们之间存在耦合互动，任何状态都能够传递其他状态的指称信息。信号与它指称物之间的关系的稳定性是类似于自然选择过程的结果。

通过以上的解释，迪肯明确地解释了信息的三个层次：热力学层次、指称层次和理解层次。我认为，迪肯的尝试基本上是成功的。他的贡献可以被总结为两点：第一，他将信息的隐喻从流转换为空缺，这使信息研究能够逃离物质和能量的意识形态；第二，他提供了一个让人信服的信息动力学模型，这个模型从动力学上基本统一了信息的三个层次。除此之外，他的信息动力学理论是基于他的动力学涌现理论，他试图用这个理论解释生命和心灵是如何从物质中涌现出来的。从这个方面来说，这个理论也是某种信息跨学科理论。另外，斯图亚特•考夫曼（Stuart Kauffman）、罗伯特•K.洛根（Robert K. Logan）和他们的同事一起也发展了一种类似的信息理论——“信息就是约束”。[56],[57]

五、泛信息主义进路

在他的不朽之作《控制论：或关于在动物和机器中控制和通信的科学》中，诺伯特•维纳做出了那个著名的、具有深远影响的关于信息的论断：“但是，机器每个操作的能量消耗还是小得几乎可以忽略不计，甚至不能成为机器运转的有效衡量……信息就是信息，不是物质也不是能量。不承认这一点的唯物论，在今天就不能存在下去。”（[22], p.133）这个强论证可能是触发关于信息的不可还原的性质的观点的源头。于是，一些学者走向了与还原论相对立的另一个极端，信息是像物质、能量那样的宇宙的基本性质，宇宙从根本上是由信息构建的。我们将这种进路称为泛信息主义（pan–informationalism）。[58]

1. 泛计算主义

由于名言“万物源于比特”[59]，约翰•惠勒被视为泛信息主义的符号性人物。在二十世纪早期的物理学革命之后，量子物理学所描述的世界图景对于回答千年难题“万物从何处来”提出了新的难题。由于波尔对量子理论的解释，即量子系统的状态依赖于外在的观察者，惠勒总结的“万物源于比特”表达了这样的观点：

> **“万物源于比特。换句话说，每一个存在——每个粒子、每个力场、甚至时空连续统本身——都从引发回答是或否问题、二元选择、比特的装置中派生它的功能、它的意义、它本身整个的存在——即使是间接地在某些语境中。”**
>
> **“万物源于比特符号化了这样的观点，物理世界的每个事物从根底上——在大多数情况下，是非常深的根底——有一个非物质的根源和解释；我们称之为实在的东西最终来自于回答是或否的问题和这样设备-诱发回答的装置；简单来说，所有物理的东西在起源上都是信息-理论的，这是一个参与的宇宙。”**
> （[59], pp.310-311）

正如弗洛里迪所评论的，惠勒命题实际上是，宇宙的本质特征是数码的，宇宙从根本上是数码的，由信息组成。[39] 由这个判断引发的结论是，宇宙充满了纯粹的信息。如果这个命题是正确的，那么就很容易去预设一个参与到宇宙的形成与演化的绝对观察者。这将导致无穷倒退。第二个质疑是，惠勒命题所描述的信息与日常意义上的信息并不相同，而我们想解释的是这个在日常生活中叫做信息的现象。当代惠勒的追随者包括高达娜•道迪格–肯格维克，她提出了强版本的泛计算主义。

2. 信息作为组织

追随惠勒，托姆•斯托尼尔在他雄心勃勃的著作中也指出，信息是宇宙的基本性质。[60],[61],[62],[63] 他首先区分了信息、消息和意义。信息是组织，是原始材料。当信息被传送时，可以提供消息。意义是接收者对消息的理解。斯托尼尔认为，信息是我们在几乎所有系统中都能发现的组织，因此信息无处不在。因为作为组织的实现的秩序在宇宙中无处不在。根据热力学第二定律，熵是一个系统无序性的量度，我们也可以通过对一个系统秩序的量度来测量信息。因为能量是宇宙的基本性质，信息有许多性质与能量类似，因此，信息也是宇宙的基本性质。能量与物质可以相互转

化，信息和能量也可以。

对笔者来说，斯托尼尔的进路有两点疑惑。首先，既然信息等同于组织，那么信息就成了组织不必要的同义词。既然我们用组织就能够说清楚的事情，为何还需要信息这个概念？第二，信息一直在增加，因为秩序无处不在，无时不在增加，这将会引向无穷悖论。

3. 信息双重维度理论

在他关于意识的理论中，大卫•J. 查尔默斯发展了一种独特的泛信息主义理论，信息双重维度理论。[64],[65] 根据他对意识的简单问题和困难问题的区分，查尔默斯将信息也分为两个互补的方面：物理方面和现象方面。基于申农的信息概念，查尔默斯假设信息空间是一个有特定状态的抽象空间。信息空间可以被物理世界和现象世界同时实现。物理方面可以用贝特森的格言来解释：信息就是制造差异的差异。这是说，信息的物理方面是通过因果路径和这条路径终点的可能效果空间来定义的。现象方面是在经验中实现的，经验是意识的不可还原的性质。信息的物理方面和现象方面的关系满足由查尔默斯定义的意识原理：结构融贯原理和组织不变性原理。结构融贯原理是说，在物理方面的结构和现象方面的结构之间存在着某种融贯对应。组织不变性原理是指，拥有相同组织的两个物理信息系统或状态将会有相同的现象信息。因此，在物理方面和现象方面之间存在着关键的联系："每当我们发现信息空间现象地实现，我们就会发现信息空间物理地实现。"（[65], p.285）

查尔默斯的信息双重维度理论满足了我们对信息的直觉认识。一方面它强调信息的不可还原性，另一方面又讲信息必须有物理基础。那么，剩下的问题就是去寻找这两方面的桥梁。不幸的是，由于信息的现象方面是不可还原的，查尔默斯走向了某种泛灵论，尽管他自己认为他的立场更像是自然主义二元论。笔者认为，这种信息二元理论仍然不能让人满意。首先，这个理论除了将之归为经验，并没有讲清楚现象信息是什么。在他的著作中，除了一些现象描述外，经验这个概念本身也缺乏明晰的解释。第二，查尔默斯认为现象方面和物理方面的联系很关键，但却没有给我们提供一个能够解释这个联系的动力学理论。泛信息主义注定会失败，因为，如果我们把信息视为宇宙的基本性质，那么这意味着我们拒绝了进一步的解释。因为被解释的不应该是信息，信息应该为其他现象提供解释。如果我们想追求更有解释力的理论，这样的态度是不能让人接受的。

六、信号博弈论进路

目前，我们已经论述的进路都关注信息是什么，却没有关注信息与它的载体，即信号，之间的关系。信号博弈论，由大卫•莱维斯[66]首先提出的，被斯凯姆斯[67]进一步发展，该理论试图给出描述性形式理论来解释信号是如何能够携带特定信息的。尽管这个理论已经诞生了几乎半个世纪了，但它的新发展却是相当晚近的，至今方兴未艾。[68],[69],[70],[71],[72],[73],[74],[75]

信号博弈论的本体论承诺是，信号能够自发地获取它所携带的信息。这个理论的目标是去提供如何可能的描述的形式理论。这个问题可被重新构建为"在没有预先存在的信号发送系统来建立约定前，信息的内容是如何能自发地附着到约定信号上的。"[75] 通过融合信号博弈论、通信的数学理论、达尔文自然选择学说和试错学习理论，斯凯姆斯发展了一种信号理论。因为信号发送是接收者获取发送者意图发送的信息的过程，信号博弈形式化了信息的主体间性方面的机制。信息具有主体间性，这就是说，在同一个信号发送共同体中，任何人都能从同一个信号中读取相同的信息，尽管信号可能被误读。换句话说，不论哪个个体接收者接收，一个信号总是携带特定的信息。

莱维斯信号博弈的基本模型，也就是发送者–接收者博弈，包括一对发送者和接收者，N个世界的可能状态，N个能够携带这些状态的信息的可能信号和N个可能的行动。发送者能够观察到世界并获取世界状态的信息，并且能从可能信号中选择特定的信号来表征这个世界状态来发送给接收者。接收者能够选择特定行动来回应它从接受到的信号所获取的信息。对于每个状态来说，只有一个"正确的"对应行动，通过这个行动，不论是发送者还是接收者都能够获得1个单位的回报，如果接收者采取了其他行为，那么回报则为0。发送者的策略是从状态到信号的函数；接收者的则是从信号到行动的函数。如果它们保证总是能采取

正确的行为，那么这两个策略构成了信号系统的平衡。

斯凯姆斯和他的同事发现，世界状态的信息和信号之间的指称关系能够在相当长的时间内稳定下来。这个过程在两个层次上发生：个体层次和群体层次。学习动力学，比如试错学习，能够应用于个体层次的信号系统的分析；而演化动力学，例如复制动力学（replicator dynamics），则可用来分析群体层次的信号系统。但这两个层次之间的逻辑是相同的。通过这个理论，我们可以发现，信号系统的稳定过程不仅能够在信号博弈的基本模型中发生，还能够在更复杂的模型中发生。欺骗①、同义词②、瓶颈③、范畴④的形成、新信号的发明和信号网络都能够用这个自发地产生。

除了语义信息的形式理论，信号博弈论为信息研究提供了另一种形式理论。但不同于关注信息的语义内容的测量的信息语义理论，这个理论关注了在动力学语用语境中的信息的主体间层次。我们不能指望这个理论揭示了信息的本质，因为它并不关心这方面，但它却为我们解开了信号诞生之谜。

七、符号学进路

符号学，或者符号理论，研究符号过程（semiosis），即符号在自然和文化中表征和创造理解项（interpretant）的过程。由于信息也是某种符号过程，因此符号学也可被看作信息研究的另一种进路，尽管前者比后者有更开阔的视野。在这一节，笔者并不打算论述一般意义上的符号学，因为这将偏离我们的主题，而是关注由符号学家文弗莱德•诺斯明确阐述的符号学中的信息概念和通信概念。第二，在符号学另外一个现代进路，也就是生物符号学中，信息也是一个关键概念。生物符号学试图从符号学的角度来解决生命的本质是什么的问题。

1. 皮尔斯的信息理论

皮尔斯将通信定义为说者和听者之间的符号学互动，在其中，说者发送符号给听者，听者理解接收到的符号。[76] 在符号学中，符号是具有表征项（representamen）、理解项和对象三方面的能动者。符号的目的是表征对象，并在理解者的心灵里创造理解项。存在两种符号模式：一种是语法的，一种是语义的。语法决定是指规则，这是符号的词位方面，其根基在符号的演化史之中；而语义模式则包含在符号长期倾向对应的它所表达的事实中。作为说者和听者之间的互动，通信要求两者具有共同的背景知识，能够相互合作。在这种意义上，说者和听者在通信的过程中融合在了一起。基于皮尔斯对通信概念的分类，存在多种不同的通信功能模型⑤。

皮尔斯还发展了一种信息理论，该理论与基于概率的现代信息理论相当不同。这个理论长期以来被忽视了，直到最近才被诺斯重新发现。[77] 不是计算信号或者信号所表征的状态出现的概率，皮尔斯的信息理论测量象征符号（symbol）的内涵和外延的逻辑量。象征符号的内涵和外延都有本质的和实质的深度和广度。“一个术语的本质深度包含所有的‘在其定义中能够预测到的真正确信的质’（CP 2.410），而他的本质广度则是指所有‘根据其本来含义，这个术语可预测的真正的事物’（CP 2.412）。”（[77], p.142）“那么，实质性广度指这个术语可预测的‘真正实体的累积’，而实质性深度意思是这个术语可预测的任何‘真正的具体形式’（CP 2.414）。”（[77], p.143）

> **“进一步来说，它不仅计算由新的信息性命题所传输的实际信息的值，而且还计算在象征符号的历史中所获得的积累起来的信息。因此，这既是知识获取的理论，也是象征符号生长的理论。”**（[77], p.137）

我们必须承认，皮尔斯的信息理论无论是在量度的意义上，还是在哲学的意义上都十分优美，意义深刻，需要未来进一步的发展。然而，由于时代局限性，这个理论缺少动力学基础来为它联系物理过程和信息过程。正如迪肯所说的，“缺少这样的基础，符号学理论只会是未成熟的现象分

①欺骗是说，为了从接收者正确的对应行动中获得更多的回报，接收者有意发送假信息给接收者。
②同义词是说，如果存在比世界状态更多的信号，那么两个甚至更多的信号将指称同一个状态。
③瓶颈是同义词的对立面，也就是说，如果存在比世界状态更少的信号，那么一个信号可能同时指称两个或更多的状态。
④范畴的意思是，存在表征信号类型的元信号。
⑤更详细的介绍见（Nöth, W., 2014）。

类，而不是自然系统表征过程的动力学解释。”[1] 这个批评对于这个信息理论来说也是正确的。另一个缺陷是，这个理论中关于信息的讨论只局限于符号语言之中，而信息的范围远比它广泛得多，哪里有生命，哪里就有信息。

2. 编码二元性和自然符号学

自保存生命信息的单位DNA发现以来，信息在生命系统中扮演着关键角色。然而，霍夫梅尔（Jesper Hoffmeyer）和伊迈克（Clause Emmeche）认为，这个对信息的滥用隐藏了真正的问题，使生物学走向了一个模糊不清的隐喻，这个隐喻混淆了形式和质料。因此，需要一个新的理论来找回生命的真正问题。他们所发现的理论是自然符号学或者说生物符号学（biosemiotics）。[78],[79] 符号过程是生命的本质，被主流生物学所忽视的个体意向性在联接形式与质料中起着关键作用。生物信息是通过符号过程来实现的。这是生物符号学所研究的对象。

霍夫梅尔和伊迈克指出，贝特森的信息定义，即“制造差异的差异”揭示了信息联接形式和质料的能力。

> **“信息与质料之间的关系相当不同于身心关系。在我们的描述中，信息和质料是分开的概念，而在‘真实’世界中，这两者却是不可分的。它们是同一个世界的不同方面。除非信息被物质和能量所实现（内在于），否则不会存在。”**[78]

生命系统通过编码二元性（code–duality）使此得以可能。在自然界中存在多种多样的差异（differences）。生命系统有能力来选择和回应周围环境中与它们的生存相关的差异。这种能力就是编码二元性。根据信号过程的普通理论，模拟信号是对信源中的变量的连续性表征，而数字信号是离散性表征。（[80], pp.3–6）霍夫梅尔为编码二元性提供了一个崭新的理解，编码二元性是用两种不同编码——模拟编码和数字编码——表征信息的能力。生命系统用数字编码来重新描述相关的差异，而用模拟编码来将数字编码重新换成大自然中的差异，以能够与自然界物理地相互作用。模拟编码和数字编码共同形成了一个自指环，这构成了信息的完整过程。对于生命系统来说，数字编码相对于认知，从周围环境中获取相关的信息；而模拟编码相对于行动，获取物理的生存。模拟编码和数字编码的相互转换赋予了信息联接形式和质料的能力，一方面形式通过质料来实现，另一方面质料的结构和过程要受形式的约束。

尽管生物符号学的编码二元性理论目的并不在于建构一个信息理论，但它对于厘清生物学中的形式和质料概念贡献巨大。而这两个概念与信息概念具有深刻的内在联系，因此，信息研究仍然能够从中获取很多启示。另一方面，这个理论也为信息是如何可能的提供了一个明晰的机制，为澄清生命科学中的信息概念、联接因果性和规范性提供了一条富有前景的道路。因此，未来的信息研究应该能够从中受益匪浅。生物符号学也深刻的影响了跨学科进路，这将在最后一节介绍。

八、信息研究的哲学进路①

在信息理论的早期，那些先驱们就已经发现，信息概念对于哲学的本体论和认识论具有深刻的影响。[5],[22] 随着信息和通信技术在当代社会中的广泛应用，越来越多的人开始思考这些现象背后的哲学意蕴。不过本节所说的信息哲学，都是关于信息本身的哲学，而非关于信息与通信技术的哲学。关于信息哲学，有两种观点。第一，信息一方面能够为传统哲学问题提供新的启发，另一方面也会带来新的问题。几乎大多数学者都赞同这个观点。第二种观点是，信息如此彻底地改变了我们的生活和社会，以至于我们应该从信息的角度来重新定义哲学。相比于第一个观点，持这个观点的哲学家比较少。

1. 埃文斯关于心灵哲学中的信息概念的论述

格雷斯·埃文斯可能是第一个严肃考虑信息在哲学中的作用的学院派哲学家。在他的遗作[81]中，埃文斯认为，信息是理解知觉和认知的关键。意义、信念和思想的问题都可以从这个角度来重新思考。当考虑知觉和认知问题时，经典分析哲学将信念和理由放在第一位，因为信念和理由控制着我们感知和认识世界的方式。埃文斯对此并不赞同。

①严格来说，信息哲学并不能算作研究进路，而是信息概念对哲学的影响。但由于笔者本身主要做哲学研究，特别关注信息的哲学意蕴，因此将之称为哲学进路。感谢闫学杉老师提醒笔者这一点。

他认为，是客观的、独立于信念和理由的信息在认知过程中起了基础性的作用。信息系统的运作要比信念和理由更源始。携带信息x的信念并不等于关于x的信念。信息并不是信念的充分条件，因为两个拥有相同内容的信息状态可能包含相同的信息，但却未必支持相同的信念。换句话说，拥有特定信息并不意味着觉察到了拥有该信息。传统理性主义陷入谬误的原因就在于混淆了这两个层次。不同于信念，信息是中立的，与外在世界具有因果联系。指称、认知、信念和思想都应该建基其上，而非相反。

埃文斯的信息进路为重新思考心灵哲学中的传统问题提供了新的方式。他的观点被后来的哲学家进一步发展，尽管他们可能并没有意识到。然而，正如麦克道威尔所批评的，埃文斯并没有搞清楚信息是如何能够联接理性逻辑空间和自然逻辑空间的。[82] 也就是说，这个理论仍需要一个信息如何起作用的论述。

2. 德雷斯基语义信息理论在认识论中的应用

在第二节中，笔者已经论述了德雷斯基的语义信息理论。然而，德雷斯基的工作的目的并不仅仅在于发展一个语义信息理论，而是想基于信息概念来建构信息认识论，以重建知识理论。“如果K有关于这个对象的信念，这个信念是这是F，那么，当且仅当这个信念是由信息这是F引起的（或因果支撑的），这个信念才算做知识。”（[36], p.91）然后，他利用模拟编码和数字编码之间的区分和转换来厘清知觉和认知的困惑，重新思考信念和概念。根据德雷斯基的论证，当信号用数字形式来编码信息时，除了它被意图携带的信息外，不会携带额外的信息；当信号用模拟形式来编码信息时，则会携带额外的信息①。主体通过知觉所获取的是模拟信息，然后通过认知将模拟信息转换为数字形式。换句话说，模拟信息和数字信息在认识的过程中可以相互转换。尽管信念是基于信息的，但信念不是信息，因为信念是可错的，而信息不可错。信念是可错的是因为信念是被主体推动的。也就是说，在模拟形式的信息被转换为数字形式的信息时，某些东西可能失真。德雷斯基认为，从信息的这个方面来说：“一个概念有两面的结构：一面往后看信息的起源；另一面往前看作用和结果。除非它既有往后看，也就是信息的方面，又有往前看，也就是功能的方面，一个结构才能算作概念。但赋予这个结构概念认同性的，也就是使它是这个概念而不是那个概念的，是它的起始的独特性（etiological specificity）。”（[36], pp.214–215）

德雷斯基是第一个综合发展信息认识论的人。这个理论为分析哲学和心灵哲学带来了新的理解。即便如此，在他的意义理论中仍然残留着理性主义。他对模拟形式的信息和数字形式的信息的解释很有创新性。但是，模拟形式和数字形式是相对的，这就使他的理论失去了合法性基础。换句话说，不论信息置身于什么样形式的信号之中，在具体的情境中，一个信号总会携带额外的信息。另外，没有信息理解者，模拟和数字概念也变得让人困惑。

3. 米丽肯的自然主义符号理论

受生物学范畴的启发，露丝•R.米丽肯创立了一个更加成熟的符号和意义理论。[32],[83] 她的理论与埃文斯和德雷斯基的理论在精神上是一致的，但却比它们更精致、详尽，更有说服力，因为它更详细地论述了信息如何在具体语境中起作用的机制，而不仅仅是描述理想的信息过程。尽管米丽肯自己称她的理论为生物语义学（biosemantics）或目的语义学（teleosemantics），而非信息哲学，我仍将之视为一种信息哲学，因为信息和符号的概念在这理论中处于核心地位，而且她的论证与德雷斯基的信息认识论有着亲密的关系。

米丽肯的意义和信息理论是从错误表征问题开始的。由于信息是客观的，有助于知识的形成，因此，会很自然地认为信息是内在为真的。然而，在通信中，虚假信息和误传信息确实存在。如果信号携带的信息是内在的为真，那么信息理论就需要解释为什么信号可能传递错误信息。为了解决这个困惑，米丽肯小心地区分了符号过程的三种不同含义：专有功能（proper function）或稳定功能（stabilized function），语义映射函数（semantic mapping function）和内涵（intension）。（[84], p.54）专有功能是符号设想具有的功能，语义映射函数解释了符号和它所表征的世界事件之间的关系；内涵是个体用来辨别前两种意义以来满足自己目的

①应该注意到的是，这里模拟编码和数字编码的含义与上一节中生物符号学中的编码二元性中的两种编码的含义并不相同。

的意义。不管任何个体的目的是什么，只要是正常条件（normal conditions），专有功能就能实现。换句话说，专有功能与个人意向实现的功能和实际上实现的功能不同。这三个层次的意义都是在历史演化的过程中实现的。专有功能是稳定的，但不是不可改变的。通过这个区分，错误信息的问题可以轻而易举地解决。如果符号并不是在能够实现其专有功能的正常条件下被使用，那么它的专有功能就不能得到实现，也就是说，它不能传递它被设想传送的信息。换句话说，符号完全可能传递错误信息。

在她后面的工作中（2004），米丽肯提出了自己的符号理论，用来阐明这三个层次的意义是如何能够自发地从自然过程中涌现出来的。存在两种符号：自然符号和意向符号。如果一对世界事件之间存在着恒常的关系，一个世界事件就可以是另一个世界事件的自然符号，这个恒常关系就是它们之间语义映射函数。语义映射函数使我们能够追踪符号的所指。存在映射关系保存于一定的域之中，在这个域里，信道条件由于某种原因而持续存在或发生。意向符号是由符号使用者目的性地产生的符号。意向符号是从由符号生产者和符号消费者组成的合作系统中涌现出来的，生产者和消费者都有他们自己的目的。尽管意向符号不同于自然符号，因为意向符号是关于普遍类型的，具有规范性方面，而自然符号只表征个别事件，但意向符号的功能建基于局部自然符号。但当自然符号有意地携带了特定信息时，也可以成为意向符号。自然符号和意向符号之间实际上并没有明确地分界线，因为两者是层次地置身的。在能动者与它们的地方自然周围环境的动力学互动过程中，意向符号能够逐渐地由自然符号形成。

通过这个自然主义符号学，米丽肯雄心勃勃地与哲学中最持久的统治者——理性主义——战斗着。传统上，理性主义坚持认为，知觉、认知和行动总是预设了理由和推理，我们总是先验地知道或者笛卡尔式的确定我们所认识的某个个别事物是否为真。正如埃文斯，米丽肯认为意义理性主义混淆了实现专有功能和意识到实现专有功能。为了拯救理性主义，除了认识论的基础主义，我们还需要放弃意义的基础主义，否则我们将落入整体论的陷阱而被迫放弃实在论。正如在她的符号的自然主义理论所指出的那样，意义和意向性也只是自然的产物。这个彻底的自然主义进路能够拯救实在论，而不会掉入整体论的陷阱。尽管米丽肯的符号的自然主义理论十分出色，充满着洞见，但这个理论中的关键术语——信息——却缺乏澄清。如果这个理论要想更明晰、更具有说服力，必须阐明信息概念。

4. 弗洛里迪的信息哲学

正如上面我们所看到的，将信息概念介绍进哲学会产生丰硕的成果。但一些哲学家认为，信息对于哲学的重要性要远远超过这些。他们中的杰出代表是卢西亚诺•弗洛里迪。他认为，信息对哲学来说如此具有革命性，以至于信息哲学应当成为第一哲学或元哲学，信息哲学的信息转向应该取代分析哲学的语言转向。（[38], p.25）在他的代表作《信息哲学》中，弗洛里迪构建了完整的信息哲学，在其中阐明了它的产生背景、问题、基本方法论，然后又构建了第二节中所提到的语义信息理论，并阐释了这个理论对哲学的意义。在第二节中，我们已经叙述了弗洛里迪语义信息的定义和理论，这里我将只讨论他的信息定义在处理传统哲学问题时所带来的结果。

弗洛里迪也提出了解决符号是如何获取意义的问题的方案。他称该问题为符号奠基问题（symbol grounding problem）。利用抽象层次方法（method of levels of abstraction）和基于行为的语义学（action–based semantics），他将符号奠基问题放到语用语境中来探讨。基本上来说，如果一个能动者要能够与世界打交道，也就是认知和行动，它至少要有两个层次的组织：一个层次是模拟层次，这个层次能够与具体的周围物理环境相耦合；另一个是数字层次，这个层次能够认知世界来获得有用的数据。语义内容是在能动者和它的周围环境动力学互动的演化过程中附着到数据上的。利用这个理论，弗洛里迪发展了真理正确性理论（correctness theory of truth），“对于这些消费者来说，真理是关于构建和处理信息人工物以及与它们成功互动的，不仅仅是被动地经验它们。”（[38], p.208）在论证了葛梯尔问题不可解决后，他根据第三节中我们所论述的逻辑进路，进一步发展了信息逻辑。接着，他也提供了知识的信息主义理论（informationalistic theory of knowledge），“语义信息要算作知识，不但需要是真的，还要是相关的。”（[38], p.244）最后，在拒绝了泛信息主义之

后，弗洛里迪拥抱了结构实在论，因为作为信息基础的数据在另一种意义上是结构的。

弗洛里迪发展的信息哲学是对分析哲学的继承与叛逆。信息哲学也综合了人工智能哲学和计算机哲学的相关工作，可以被看做是这些哲学的高阶版本。由于它从不同的学科中吸收相关知识，并尝试回答来自不同学科的问题，因此，它也可以被看做信息研究的跨学科进路。在处理分析哲学所面临的困境时，信息哲学显得十分出色，给传统的哲学问题提供了创造性的解决方案。许多学者进一步将之发扬光大。然而，它并不见得像它看起来的那么富有前景以至于能够形成革命性的哲学。这个哲学承诺发展超越分析哲学的创新性哲学，但它内部残留了太多的理性主义，因此，米丽肯对理性主义的批评也适用于它。

九、跨学科进路

一些学者认为，信息是一个复杂现象，并不只存在于系统的任何独特的层次上，因此，应该通过探究系统不同层次的涌现动力学——从最初级的物理层次到对高级的规范性社会层次——来研究。目前不存在任何学科能够单独地阐明信息。因此，信息研究需要跨学科进路。实际上，在信息理论和控制论早期，信息就已经被学者们视为跨学科现象。维纳[22]和贝特森[85],[86]就是其中的代表。在今天的信息研究中，跨学科学者变得越来越活跃，新的研究成果不断涌现。这一节，我讲阐述三位跨学科学者的工作：约翰•明格斯、索伦•布赫尔和沃尔夫岗•霍夫基尔奇纳。

1. 明格斯的信息系统理论

由于传统理论往往将信息定义为“过程数据”或“数据加意义”，而不厘清数据、信息和意义之间的区别和关系。通过综合性地将马图拉纳和瓦雷拉的认知理论和哈贝马斯的交往行为理论融合进德雷斯基的语义信息理论，明格斯在他一系列的工作中[87],[88],[89],[90]，尝试为这三个概念提供一个融贯一致的分析。信息系统总是通过身体置身于周围环境之中。也就是说，身体是能动者和它周围环境的中介面。信息系统中最基本的元素是差异，差异构成了数据，为信息奠定了基础。意义是由符号携带的信息产生的，而非相反。“信息是客观的，但对排除在意义世界之外的人来说，是终极不可认识的。意义是主体间性的——这是说，基于共享的约定或理解——而不是纯粹主观的。信息和信息过程系统存在于更广阔的意义或意义制造的语境之中，信息科学（science of information）学科需要考虑这一点。”[87]将信息转换成意义涉及到模拟的数字化。因此，信息的语义和语用维度都可以包含在这个框架内。

明格斯的信息理论为我们提供了一个能够联接信息和通信的个体和主体间层次的理论。由于他说信息是由符号携带的，但他并没有讲清楚符号是如何能够携带信息的。另外，他拒绝马图拉纳和瓦雷拉的术语“结构决定性”，因为他认为这个术语太强了，很容易走向生物还原论，但却没有给出合适的替代性方案。

2. 控制符号学

经过30多年的持续努力，布赫尔发展了一个他称之为控制符号学（cybersemiotics）的跨学科理论框架，它涵盖了信息、认知、意义、传播和意识。[91],[92]布赫尔的工作是从信息处理范式（information processing paradigm）中存在的难题开始的。信息处理范式只以逻辑或概率的方式来研究信息，但信息研究更实质的、更有趣的问题是：在经典信息理论中，信息被客观地、概率地定义，是物质本体论的，这样的信息如何能够变得对生命系统来说是有意义的和经验性的？因为信息是跨越了因果性的、意向性的和规范性的领域的现象，所以我们需要一个能够跨越物质、生命和共同体的信息理论。

通过融合控制论，包括一阶和二阶，生物符号学，自创生理论（尤其是卢曼的社会交往系统理论），布赫尔提出了控制符号学这个跨学科理论。“符号过程是这些过程的关键部分，它使系统变得有生命力，通过将化学中的形式因的信息域推进到符号过程中的最终因，将它们从动力因的物理世界中解脱出来，因此使它们不同于机器和计算机的人工智能。”[93]反过来，符号过程需要生命系统理论来解释生命的起源，这可以由自创生理论来提供。符号过程构成了生命系统的意义圈，因为它能够满足生命系统的相关目的。利用二阶控制论和将自创生系统扩展到社会–交往层次的自创生系统理论，第一人称经验或信息的现象方面和规范性方法可以被引入信息过程中来，这使编码成为可能。生命体依赖于编码来认知和作用于这

个世界。所有这四个层次，即因果的（物质能）、生命的（生命或意向性）、经验的（意识）和规范的（社会意义），形成了控制符号学的星形架构，在这个构架中，这些层次是融贯一致的。①

布赫尔的控制符号学是真正跨学科的，没有残留任何还原论。这个理论框架对于信息研究、认知科学、传播学和符号学都具有启发性。它也为两种文化提供了富有前景的桥梁。然而，它雄心太过庞大了，不可能为整个世界刻画一个详尽的图景。而这正是这个理论框架想做的。因此，这个理论框架还需要进一步的发展。

3. 统一信息理论

在1999年，霍夫基尔奇纳和拉斐尔·卡普罗（Rafael Capurro）提出，如果我们要想建立未来的信息科学（science of information），就需要统一信息理论。[94]14年后，霍夫基尔奇纳兑现了他们的承诺，出版了《涌现的信息——一个统一信息理论的框架》（*Emergent Information: A Unified Theory of Information Framework*）。不同于其他从讨论信息概念开始的理论，他发展了演化系统理论，将信息概念放在这个理论框架中来讨论。通过融合一般系统论、自组织理论、自创生理论和黑格尔的辩证法，霍夫基尔奇纳解释了人类系统是如何从生命系统中自发涌现出来的，生命系统又是如何从物质系统中自发涌现出来的。在这三个层次中，存在两个相变：从物理的层次到生命的层次和从生命的层次到社会的层次。受皮尔斯符号学启发，他将信息定义为“这样的关系（1）自发建立的秩序O（signans；符号）;（2）反映了扰动P（signandum/sygnatum;（成为）所指）;（3）演化系统Se的负熵方面（signator; 符号产生者）。”（[95], p.171）通过这个定义，他提出了涵盖认知、交往和合作的C三角（Triple C）模型。这个模型对于相关的问题具有很强的解释力。

利用他全新的范式和统一信息理论，霍夫基尔奇纳相信我们能够处理全球性挑战，建立一个全球可持续发展的信息社会，这能够为我们人类期许更美好的生活。由于这只是一个框架，它本身不能一劳永逸地解决所有问题；相反，我们能够从中得到启发来提出更多的问题，以便于充实它、丰富它，例如每个层次的涌现动力学是什么。这个框架也缺少对信息语法、语义和语用方面的澄清。另外，似乎这个理论几乎完全无视了过去的信息理论，以至于在倒掉洗澡水时把孩子也倒掉了。

十、结　论

“一千个读者眼里有一千个哈姆雷特。”这同样适用于信息概念。毫无疑问，如果笔者审查得更仔细，信息研究进路的清单将会变得更长。正如文章开头所讲的，对于来自不同背景的不同学者来说，在信息理论上达成一致是件让人绝望的事情。然而，这并不是说在不同的进路之间不存在共同性。我们仍然能够从这些进路中学到很多，进而推动信息研究的进一步发展。信息是个跨越了因果性、意向性和规范性领域的复杂现象。一个能够让人满意的信息理论，不但要阐明置身于这些领域中的信息的语法、语义和语用方面，还必须厘清信息这三个方面之间的关系，以及因果性、意向性和规范性之间的动力学涌现关系。同时，也能够解释信息的量和质的方面。能够详细阐明信息每一个细节的描述性理论或许不可能，但能够厘清信息不同方面，并为相关学科提供创新性观念的结构性理论是可能的。通过信息和对它的澄清，笔者相信：通过信息科学的深入研究和发展，科学和人文这两种文化能够逐渐被融合进一种新型文化：信息文化②。

［参 考 文 献］

［1］Deacon, T. 'Shannon–Boltzmann–Darwin: Redefining information, Part 1'［J］. *Cognitive Semiotics*, 2007, 1: 123–148.

［2］Nyquist, H. 'Certain Factors Affecting Telegraph Speed'［J］. *Bell System Technical Journal*, 1924, 324.

［3］Nyquist, H. 'Certain Topics in Transmission Theory'［J］. *A. I. E. E. Trans*, 1928, 24: 617.

［4］Hartley R. 'Transmission of Information'［J］. *Bell System*

①值得注意的是，在布赫尔之前，道伊德·纳乌塔（Doede Nauta）在她的著作《信息的意义》（*The Meaning of Information*）中已经尝试将控制论、符号学和信息联系起来。不幸的是，由于其本身时代的局限性以及生物符号学和二阶控制论的发展而显得不成熟，这本著作长期被忽视了。

②感谢颜基义老师、钟义信老师和闫学杉老师的提醒，信息概念的澄清只是信息科学发展的第一步，信息文化的建设更需要信息科学的全面发展。

Technical Journal, 1928, 7: 535–563.

[5] Shannon, C., Weaver, W. 'The Mathematical Theory of Communication'[J]. *Urbana: The University of Illinois Press*, 1964.

[6] Collier, J. 'Information Originates in Symmetry Breaking'[J]. *Symmetry: Culture & Science*, 1996, 7: 247–256.

[7] Solomonoff, R. J. 'A Formal Theory of Inductive Inference, Part I'[J]. *Information and Control*, 1964a, 7(1): 1–22.

[8] Solomonoff, R. J. 'A Formal Theory of Inductive Inference, Part II'[J]. *Information and Control*, 1964b, 7(2): 224–254.

[9] Kolmogorov, A. N. 'Three Approaches to the Quantitative Definition of Information'[J]. *Problems Inform. Transmission*, 1965, 1(1): 1–7.

[10] Kolmogorov, A. N. 'Logical Basis for Information Theory and Probability Theory'[J]. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 1968, IT–14: 662–664.

[11] Chaitin, G. J. 'On the Length of Programs for Computing Finite Binary Sequences: Statistical Considerations'[J]. *J. Assoc. Comput*. 1969, 16: 145–159.

[12] Chaitin, G. J. 'A Theory of Program Size Formally Identical to Information Theory'[J]. *J.* 1975, ACM 22: 329–340.

[13] Chaitin, G. J. *Algorithmic Information Theory*[M]. New York: Cambridge University Press, 1987.

[14] Raatikainen, P. 'Algorithmic Information Theory and Undecidability'[J]. *Synthese*, 2010, 123(2): 217–225.

[15] Li, M. Vitànyi P.'Kolmogorov Complexity and Its Applications'[A], van Leeuwen, J. (Eds)*Handbook of Theoretical Computer Science*[C], edited by J. van Leeuwen. Dordrecht: Elsevier, 1990, 1–109.

[16] Bennett, C. H. 'The Thermodynamics of Computation—a Review'[J]. *International Journal of Theoretical Physics*, 1982, 21(12): 905–940.

[17] Dodig Crnkovic, G. 'Dynamics of Information as Natural Computation'[J]. *Information*, 2011, 2(3): 460–477.

[18] Dodig–Crnkovic, G. 'Information and Energy/Matter'[J]. *Information*, 201, 3(4): 751–755.

[19] Dodig–Crnkovic, G. 'Info–computational Constructivism and Cognition'[J]. *Constructivist Foundations*, 2014, 9(2): 223–231.

[20] Dodig–Crnkovic, G., Burgin, M. *Information and Computation*[M]. Singapore: World Scientific, 2011.

[21] Burgin, M. *Theory of Information: Fundamentality, Diversity and Unification*[M]. Singapore: World Scientific, 2010.

[22] Wiener, N. *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine, 2nd Edition*[M]. New York: The MIT Press/Wiley, 1948/1961.

[23] Szilard, L. 'On the Decrease of Entropy in a Thermodynamic System by the Intervention of Intelligent Beings'[J]. *Zeitschrift fur Physik*, 1920, 53: 840–856. English translation in Feld, B. T., Weiss Szilard, G. (Eds.) *The Collected Works of Leo Szilard: Scientific Papers*[C], Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1972, 103–129.

[24] Landauer, R. 'Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process'[J]. *IBM Journal of Research and Development*, 1961, 5: 183–191.

[25] Maroney, O. 'Information Processing and Thermodynamic Entropy'[A]. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2009 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/information–entropy/>.

[26] Von Neumann, J. *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*[M]. Berlin: Springer, 1955.

[27] Adriaans, P. 'Information'[A]. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2013 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2013/entries/information/>.

[28] Godfrey–Smith, P. 'Information in Biology'[A]. Hull, D. Ruse, M. (Eds.), *The Cambridge Companion to the Philosophy of Biology*, Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 103–119.

[29] Bar–Hillel, Y. 'An Examination of Information Theory'[J]. *Philosophy of Science*, 1955, 22(2): 86–105.

[30] Bar–Hillel, Y., Carnap, R. *An Outline of a Theory of Semantic Information*[A]. repr. in Bar–Hillel [1964]: 221–74.

[31] Bar–Hillel, Y. *Language and Information: Selected Essays on Their Theory and Application*[C]. Jerusalem Academic Press – Addison–Wesley, 1964.

[32] Millikan, R. G. *Varieties of Meaning*[M]. Cambridge: The MIT Press, 2004.

[33] Kemeny, Z. *Zoltan Kemeny: The Early Works 1943-1953*[C]. B&D Ltd, 1953.

[34] Smokler, J. 'Informational Content: A Problem of Definition'[J]. *The Journal of Philosophy*, 1966, 63(8): 201–211.

[35] Hintikka, J. *Logic, Language Games and Information*[M]. Oxford: Clarendon Press, 1973.

[36] Dretske, F. *Knowledge and the Flow of Information*[M]. Oxford: Blackwell, 1981; Reprinted, Stanford, CA: CSLI Publications, 1999.

[37] Adriaans, P. W., van Benthem, J. (eds.) *Handbook of Philosophy of Information*[C]. Elsevier Science Publishers, 2008.

[38] Floridi, L. *The Philosophy of Information*[M]. Oxford;

Oxford University Press, 2011.

[39]Floridi, L, 'Semantic Conceptions of Information'[A]. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2014 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/spr2014/entries/information–semantic/>.

[40]Floridi, L. *Information - A Very Short Introduction*[M]. Oxford: Oxford University Press, 2010.

[41]Barwise, J., Perry, J. *Situations and Attitudes*[M]. Cambridge: The MIT Press, Cambridge, 1983.

[42]Israel, D., Perry, J. 'What is Information?'[A]. in Hanson, P. (Eds) *Information, Language, and Cognition*[C], Vancouver: University of Columbia Press, 1990.

[43]Barwise, J., Seligman, J. *Information Flow: the Logic of Distributed Systems*[M]. Cambridge: University Press, Cambridge, 1997.

[44]Van Benthem, J. *Logical Dynamics of Information and Interaction*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

[45]Martinez, M., Sequoiah–Grayson, S. 'Logic and Information' [A]. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2014 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/logic–information/>.

[46]Van Benthem, J. 'The Stories of Logic and Information' [A]. Adriaans, P., van Benthem, J. (Eds) *Handbook of Philosophy of Information*[C], Amsterdam: North–Holland, 2008.

[47]Collier, J. 'Intrinsic Information'[A]. Hanson, P. (Eds) *Information, Language and Cognition: Vancouver Studies in Cognitive Science*[C], Vol. 1 ,Oxford: University of Oxford Press, 1990: 390–409.

[48]Collier, J. 'The Dynamical Basis of Information and the Origins of Semiosis'[A]. In Taborsky E. Eds *Semiosis, Evolution, Energy: Towards a Reconceptualization of the Sign*[C], Aachen Shaker Verlag, Bochum Publications in Semiotics New Series. Vol. 3, 1999a: 111–136.

[49]Collier, J. 'Autonomy in Anticipatory Systems: Significance for Functionality, Intentionality and Meaning'[A]. Dubois, D. M. (Eds)*Computing Anticipatory Systems, CASYS'98 - Second International Conference*[C], American Institute of Physics, Woodbury, New York, AIP Conference Proceeding, 1999b.

[50]Collier, J. 'Causation is the Transfer of Information' Sankey, H. (Eds)*Causation and Laws of Nature*[C], Dordrecht, Kluwer, 1999c: 279–331.

[51]Collier, J. 'Kinds of Information in Scientific Use'[J], *Cognition, Communication, Co-operation*, 2010, 9(2): 295–304.

[52]Collier, J. 'Information, Causation and Computation'[A]. Dodig Crnkovic, G., Burgin, M. (Eds) *Information and Computation: Essays on Scientific and Philosophical Understanding of Foundations of Information and Computation*[C], Singapore: World Scientific, 2011.

[53]Deacon, T. 'Shannon–Boltzmann–Darwin: Redefining Information, Part 2'[J]. *Cognitive Semiotics*, 2008, 2: 167–194.

[54]Deacon, T. *Incomplete Nature: How Mind Emerged from Matter*[M]. New York, London: W. W. Nordon & Company, 2010.

[55]Deacon, T. 'What is Missing from Information'[A]. Davies, P., Gregersen, H. (Eds) *Information and the Nature of Reality: From Physics to Metaphysics*[C], Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

[56]Kauffman, S., Logan, R. K. Este, R., Goebel, R. Hobill, D., Shumulevich, I. 'Propagating Organization: An Enquiry'[J]. *Biology and Philosophy*, 2008, 10: 27–45.

[57]Logan, R. *What is Information?*[M]. Toronto: DEMO Publishing, 2013.

[58]Brier, S. 'The Transdisciplinary View of Information Theory from a Cybersemiotic Perspective'[A]. Ibekwe–Sanjuan, Dousa, T. M. (Eds) *Theories of Information, Communication and Knowledge: a Multidisciplinary Approach*[C], Heidelberg: Springer, 2014: 23–50.

[59]Wheeler, J. A. 'Information, Physics, Quantum: The Search for Links'[A]. Zurek, W. (Eds) *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*[C], Redwood City, CA: Addison–Wesley, 1989.

[60]Stonier, T. *Information and the Internal Structure of the Universe*[M], Berlin: Springer–Verlag., 1990.

[61]Stonier, T. *Beyond Information The Natural History of Intelligence*[M]. Berlin: Springer–Verlag, 1992.

[62]Stonier, T. 'Information is a Basic Structure of the Universe'[J]. *Biosystems*, 1996, 38: 135–134.

[63]Stonier, T. *Information and Meaning: An Evolutionary Perspective*[M]. Berlin: Springer–Verlag, 1997.

[64]Chalmers, D. J. 'Facing Up to the Problem of Consciousness' [J]. *Journal of Consciousness Studies*, 1995, 2(3):200–19.

[65]Chalmers, D. J. *The Conscious Mind:in Search of a Fundamental Theory*[M]. Oxford: Oxford University Press, 1996.

[66]Lewis, D. *Convention: a Study of Philosophy*[M]. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1969/2002.

[67]Skryms, B. *Signals: Evolution, Learning, and Information*

[M]. Oxford: Oxford University Press, 2009.

[68] Barrett, J. A. 'Numerical Simulations of the Lewis Signaling Game: Learning Strategies, Pooling Equilibria, and the Evolution of Grammar'[J]. *Technical Report MBS 06-09*, University of California, Irvine: Institute for Mathematical Behavioral. Sciences, 2006.

[69] Barrett, J. A. 'The Evolution of Coding in Signaling Games'[J]. *Theory and Decision*, 2007a, 67: 223–237.

[70] Barrett, J. A. 'Dynamic Paritioning and the Conventionality of Kinds'[J]. *Philosophy of Science*, 2007b, 74:527–546.

[71] Barrett, J. A., Zollman, K. 'The Role of Forgetting in the Evolution and Learning of Language'[J]. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 2008, 21(4): 293–309.

[72] Huttegger, S., Zollman, K. 'Signaling Games: Dynamics of Evolution and Learning'[A]. Benz, A. Ebert, C., Jaeger, G., van Rooij, R. (Eds) *Language, Games and Evolution*[C], New York: Springer, 2008.

[73] Huttegger, S. 'Evolution and Explanation of Meaning'[J]. *Philosophy of Science*, 2007a, 74(1): 1–27.

[74] Huttegger, S. 'Evolutionary Explanations of Indicatives and Imperatives'[J]. *Erkenntnis*, 2007b: 66: 409–436.

[75] Huttegger, S., Skyrms, B., Smead, R., Zollman K. 'Evolutionary Dynamics of Lewis Signaling Games: Signaling Systems vs. Partial Pooling'[J]. *Synthese*, 2009, DOI: 10.1007/s11229–009–9477–0.

[76] Nöth, W. 'Human Communication from the Semiotic Perspective'[A]. Ibekwe–SanJuan, F. & Dousa, T. M. (Eds) *Theories of Information, Communication and Knowledge: A Multidisciplinary Approach*[C]. New York: Springer, 2014: 97–120.

[77] Nöth, W. 'Charles S. Peirce's Theory of Information: A Theory of the Growth of Symbols and of Knowledge'[J]. *Cybernetics and Human Knowing*, 2012, 19(1–2): 137–161.

[78] Hoffmeyer, J., Emmeche, C. 'Code–Duality and the Semiotics of Nature'[A]. Anderson M. and Merrell (Eds) *On Semiotic Modeling*[C]. Berlin and New York: Mouton De Gruyter, 2002.

[79] Hoffmeyer, C. *Biosemiotics: An Examination into the Signs of Life and the Life of Signs*[M]. Scanton: University of Scranton Press, 2008.

[80] Yarlagadda, R. K. *Analog and Digital Signals and Systems* [M]. Berlin: Springer, 2010.

[81] Evans, G. *The Varieties of Reference*[C]. McDowell, J. (Eds) Oxford: Oxford University Press, 1982.

[82] MacDowell, J. *Mind and World*[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1995.

[83] Millikan, R. G. *Language, Thought and Other Biological Categories: New Foundations for Realism*[M]. Cambridge: The MIT Press, 1984.

[84] Millikan, R. G. *A Biological Model of Language*[M]. Cambridge: The MIT Press, 2005.

[85] Bateson, G. *Steps to an Ecology of Mind: Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution, and Epistemology* [C]. Chicago, Illinois: University of Chicago Press, 1972.

[86] Bateson, G. *Mind and Nature: A Necessary Unity*[M]. Hampton: Hampton Press, 1979.

[87] Mingers, J. 'Information and Meaning: Foundations for an Intersubjective Account'[J]. *Information Systems Journal*, 1995, 5: 285–306.

[88] Mingers, J. 'An Evaluation of Theories of Information with Regard to the Semantic and Pragmatic Spects of Information Systems'[J]. *Systems Practice*, 1996: 9(3): 187–209.

[89] Mingers, J. 'Information, Meaning and Communication: an Autopoietic Approach to Linking the Social and Individual' [J]. *Cybernetics and Human Knowing*, 1999, 6(4), 25–42.

[90] Mingers, J. 'Embodying Information Systems: the Contribution of Phenomenology'[J]. *Information and Organization*, 2001, 11: 103–128.

[91] Brier, S. 'Cyber–semiotics: on Autopoesis, Codeduality and Sign Games in Biosemiotics'[J]. *Cybernetics & Human Knowing*, 1995, 3(1): 3–14.

[92] Brier, S. *Cybersemiotics: Why Information Is Not Enough?* [M]. Toronto, Ontario: University of Toronto Press, 2008.

[93] Brier, S. 'Cybersemiotics: A New Foundation for Transdisciplinary Theory of Information, Cognition, Meaningful Communication and the Interaction between Nature and Culture'[J]. *Integral Review*, 2013, 9(2): 220–263.

[94] Hofkirchner, W. (Eds) *The Quest for a Unified Theory of Information: Proceedings of the Second International Conference on the Foundations of Information Science* [C]. Vienna: Gordon and Breach Publishers, 1999.

[95] Hofkirchner, W. *Emergent Information: A Unified Information Framework*[M]. Singapore: World Scientific, 2013.

[责任编辑　李斌 赵超]