

XINXI

SHANG

信息熵

——理论与应用

张继国 [美] Vijay P. Singh (辛格) 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

信息熵

—— 理论与应用

张继国 [美] Vijay P. Singh (辛格) 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

在众多专家学者的研究成果基础之上,较为系统地总结了信息熵的理论、方法和实际应用案例。全书共9章,可分为理论与应用两大部分。理论部分,主要包括信息与信息熵、信息熵计算、信息场与信息传递、模糊信息熵等;应用部分,重点介绍了信息熵在预测与决策、系统优化与评价、风险管理与不确定性分析、企业经营与管理等领域的实际应用。

本书可供信息科学、管理科学和有关工程领域的研究人员与工程技术人员参考,亦可作为高等院校有关专业高年级学生或研究生的教材,或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

信息熵:理论与应用 / 张继国, (美) 辛格编著

— 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-5170-0109-6

I. ①信… II. ①张… ②辛… III. ①信息熵—研究
IV. ①0236

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第204456号

书 名	信息熵——理论与应用
作 者	张继国 [美] Vijay P. Singh (辛格) 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.25印张 266千字
版 次	2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	48.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



前言

熵 (entropy) 是由德国物理学家克劳修斯 (R. Clausius) 在 19 世纪 60 年代作为热力学的一个概念而提出的, 这在物理学发展史中具有里程碑的重要科学意义。事实上, 统治物理学思想近 3 个世纪之久的单一的、机械的、线性因果式的还原论和确定论方法并不能解释和解决人类原本就存在的复杂性问题。对于包含随机性、或然性的复杂过程的研究, 只有用统计方法才更为方便可行。统计熵的提出是熵概念泛化的依据, 信息熵的出现则是熵概念泛化的标志。在自然科学和社会科学的各个领域中存在着大量的不同层次不同类别的随机事件的集合, 每一种随机事件的集合所包含的不确定性和无序度都具有各自相应的概率分布特征 (在这里, 无序度是指系统组成要素之间无规则的联系和转化程度)。而信息熵是关于概率分布的函数, 因而所有这些不确定性和无序度都可以不受各个学科内容的限制, 用熵这个统一的概念来描述, 这就是熵概念能够广泛使用的实践与理论基础。

自 20 世纪以来, 由于现代科学技术的发展、各门科学的相互渗透、边缘学科的产生以及科学向整体化发展的趋向, 熵又成为更为一般化的科学概念的发展趋势, 表现出具有更大的普遍性和更高的概括性, 显示出具有哲学范畴的特征和哲学范畴的方法论意义, 于是, 熵定律愈来愈为更多的人所理解和接受。作为一种自然科学的概念和原理, 能有着如此强大的跨学科渗透能力, 这在整个科学史上都是不多见的。这正如爱因斯坦所说, “熵理论, 对于整个科学来说是第一法则”。

总之, 熵理论正在充当着对传统科学的批判者角色。诺贝尔物理学奖获得者、天文学家爱丁顿 (A. S. Eddington) 在他所著的《物理世界的本性》书中写到, “从科学的哲学观点来看, 与熵相联系的概念应被列为 19 世纪对科学思想的巨大贡献, 它标志着一种反动, 即对那种认为科学注意的每件事情都是通过对客体的微观剖析而发现的观点的反动”。所以, 依据熵理论重新审视自然科学知识体系的序幕已经拉开, 一幅用熵理论所描绘的关于自然本性的新图景正在逐步展现在我们面前。

在这个背景之下, 作者经过 2 年多时间的构思、准备和撰写之后, 最终完成了这本书稿。美国得克萨斯 A&M 大学的 Singh 教授框定了本书的整体结构, 并提出了编写思路, 主要撰写工作由张继国完成, 其中段蓉编写了第 2 章和第 9 章的部分内容, 并且负责所有图表的绘制和大部分内容的录入工作。本

书共 9 章，可分为理论与应用两大部分，理论部分包括第 1～第 5 章，应用部分包括第 6～第 9 章。读者在阅读本书时请注意，当书中出现中外学者姓名时，都可以在参考文献中找到对应的文献。

本书虽然包含了作者的相关研究资料，但仍然有较多内容参考和借鉴了国内外众多学者的研究成果，在此表示衷心的感谢。在本书的撰写过程中，河海大学刘新仁教授和朱元铎教授一直给予极大的关注与热情的鼓励，在此对他们表达真诚的谢意。本书的顺利出版得到了河海大学中央高校基本科研业务费的部分赞助。

由于作者学识水平所限，书中难免存在不妥或错误，甚至是谬误，恳请专家学者不吝赐教！

作者

2012 年 5 月



目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 熵的发展历程	1
1.2 信息熵的历史与现实意义	3
1.3 本书的内容与结构	4
第 2 章 信息与信息熵	6
2.1 信息与信息科学	6
2.2 信息熵的概念与性质	12
2.3 熵的泛化与拓展	19
2.4 熵与耗散结构	25
2.5 极大熵原理与最小互熵原理	26
第 3 章 信息熵计算	31
3.1 问题的提出	31
3.2 时域内计算信息熵	32
3.3 频域内计算信息熵	35
3.4 连续信息熵的改进形式	35
第 4 章 信息场与信息传递	41
4.1 信息场的内涵及其描述	41
4.2 信息场的结构	44
4.3 信息传递及其数学模型	51
4.4 信息动力学	56
第 5 章 模糊信息熵	62
5.1 基本定义与性质	62
5.2 模糊互熵与混合模糊熵	67
5.3 直觉模糊熵	69
第 6 章 预测与决策	79
6.1 熵权法	79
6.2 多属性决策与群决策	81
6.3 预测预报	91
第 7 章 系统优化与评价	96
7.1 网络布局与优化	96

7.2	系统结构的有序度评价	98
7.3	管理系统耗散结构	105
7.4	土地管理的熵评估模型	120
第 8 章	风险管理与不确定性分析	125
8.1	管理系统风险分析	125
8.2	金融风险的熵度量	129
8.3	降雨不均匀性分析	138
第 9 章	企业经营与管理	144
9.1	供应链管理	144
9.2	人力资源管理	157
9.3	旅游管理	162
参考文献		167

第 1 章

绪 论

1.1 熵的发展历程

德国物理学家克劳修斯 (R. Clausius) 在 19 世纪 60 年代把熵作为热力学的一个概念而提出。之所以要提出熵概念, 是由于只用热力学第一定律, 即能量守恒与转化定律不足以描述自然界的能流变化规律, 尽管热力学第一定律对于理解一个给定过程中的能量流动是很有效的, 但它却不能使我们明确在一组给定条件下系统处于什么状态。因而, 需要一个描述转化的量和转化方向的概念, 这就是熵。熵可以表示一个物质系统中能量衰竭程度, 是用以判别自发过程的一个状态函数。通过比较不同状态下系统的熵值大小可以辨别出系统的转化方向。

克劳修斯熵可以看做是熵本质的宏观表述, 它的实质含义是阐明了热力学系统的不可逆性。对于一个孤立的热力学系统来说, 热总是从高温部分传递到低温部分, 直到温度相等为止。这就意味着系统的熵只能从低到高, 而且绝不会向相反方向进行。这就是热力学第二定律, 即“熵增原理”。在这里, 熵是热力学系统自发变化的一个宏观描述量, 它与热力学第二定律严格对应, 刻画着热力学系统的不可逆过程。

玻尔兹曼 (L. Boltzmann) 熵是对熵本质的微观注释, 它的实质含义是以微观粒子的分布解释了克劳修斯熵, 也就是以不确定性说明了热力学系统的不可逆现象。在玻尔兹曼看来, 熵是系统在某一热力学状态下分子运动混乱程度大小的一种量度。他给出了熵与该宏观态相应的系统微观态数 W 的对数之间的线性关系: $S_B = K_B \ln W$, 这就是著名的玻尔兹曼关系, 式中 K_B 为玻尔兹曼常数。应该说明的是, 从不可逆性到不确定性, 并不能无条件地任意解释熵含义。在热力学系统条件下, 不确定性可用来描述不可逆性, 但若离开热力学系统的粒子数 10^{28} 量级, 不确定性的数学度量虽仍然有效, 却不能描述不可逆性。因此, 不确定性不是都能和不可逆性联系起来的。

玻尔兹曼对熵本质的微观解释只能是对克劳修斯熵的一种解释, 不能视为对熵本质理解的终结, 更不能舍本求表, 异化熵的本意。本质上来说, 在于它是热力学引入的一个状态函数, 热力学理论的普遍性决定了熵概念广而推之的可能性。

与熵的微观解释的不确定性相联系, 泛化了的熵一般都被用做某种系统秩序性 (有序、无序) 程度的量度, 如信息熵、测度熵、拓扑熵等。归根结底, 这些熵的共同之处是度量了系统间的复杂性程度。这一类被认做是度量不确定性的熵, 皆来源于信息熵的引入。信息熵虽是源于热力学及统计力学熵, 而又有所异化了的熵。

信息熵也称申农 (C. E. Shannon) 熵, 它虽承袭了玻尔兹曼熵的思想, 却融入了更多

的创造和想象，在全新的角度上对熵概念做了新的定义。它的实质含义是表达了关于事物不确定性的数学度量。需要指出的是，玻尔兹曼熵中的不确定性不是无条件的，因而尚属于克劳修斯的物理熵范畴，而申农熵几乎就是一个全新的概念了。但若抛开不可逆性过程而就状态而言，申农熵来描述它的信息源，应该说不是一念之差。申农给出了一个获得离散信息源“产生”的信息量多少的公式： $H = -k \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$ ，它与玻尔兹曼给出的熵的微观解释公式形式完全一致。信源熵不仅能用于信息量的计算中，它实质是一个有普适意义的关于不确定性的数学度量。申农将熵概念从热力学领域引进了信息论，赋予了熵广义的概念，也引起了数学界关于不确定性度量的研究，后来出现的测度熵、拓扑熵就是与申农熵一脉相承的。

在克劳修斯熵出现后的一个世纪里，热力学熵的正统发展远没有泛化熵的速度快。直到 20 世纪中叶，熵仍未能走出孤立系统中，仍局限于状态量上。

1944 年，在西方科学界出现了一本颇为轰动的书，这就是奥地利物理学家、诺贝尔物理学奖获得者薛定谔（E. Schrodinger）所著的《生命是什么？》。自从熵理论出现以后，生命本质的探究也开始纳入物理学家的视野。早在 1886 年，玻尔兹曼在一次演讲中就指出，“生物在生活中所进行的一切斗争，不是为了原物质的斗争，所有生物体的原物质，在空气、水土之中丰富地存在着。而且，能量也以热的形式存在于任何物质之中。……生物的斗争是为了熵的斗争”。但是，“这种方法尚未得到研究，在我们的实验中还难以估计这种过程”。生命物质正是从周围环境中吸收了能量才得以维持这种有序性、克服自身的熵增大趋势。深受玻尔兹曼思想影响的薛定谔在《生命是什么？》一书中指出，“所有生物，是依靠从它周围的环境中不断地吸取自由能，也即摄取负熵而得以生存的……也就是说，生物不破坏周围环境的秩序，并将负熵不断地吸收到自身体内，就不能生存”。“有机体就是赖负熵为生的。”

生命体本身不是封闭系统或孤立系统，而是开放体系，因而它存在着与外部环境间的物质和能量的交换，这种交换的实质就在于维持生命系整体的低熵水平。如果生物体内的物质和能量分布达到静态平衡状态的话，这就意味着生命现象的中止，生物体的死亡。一旦从开放系角度来考虑，从非平衡热力学的广义熵角度来研究，就会得到这样的结论：生命体是一个非平衡热力学体系，它从外界摄取低熵物能，然后通过体内的各种物理化学反应，将其变成高熵物能，排出体外，生命的持续，就是依靠废弃熵过程的持续不断。同时，也正是由于生命体的不辍熵流，使其成为生态大循环的一个环节，也只有纳入整个地球生态系统的全循环当中，才能从根本上保证生命系的生命不息。

1969 年，普利高津（I. Prigoging）提出“开采”熵，一扫熵只能增大而不能减小、世界只能退化而不能进化这一笼罩在熵理论天空上的乌云。他认为，一个热力学系统的熵变化取决于内外两个方面，即 $dS = d_i S + d_e S$ 。其中 $d_i S$ 为系统内部的熵变，大于或等于零，但不能小于零， $d_e S$ 为外界流入（出）系统内的熵流，是系统与外界之间的熵的交换，可正、可负，也可为零。这样，系统的熵产生就不再是一味地增大，也可能出现熵变小的局面，从而为进化、发展开阔了广阔天地。“开采”熵使熵不仅是一个状态量，同时也是一种迁移量，为熵赋予了以新的含义。普利高津在“开采”熵的前提下，着重研究了

系统有机结构的形成机制，即“耗散结构理论”。他指出，开放系统中，维系系统总体低熵水平的机制是熵循环规律，通过熵流从低熵到高熵的不断流动，使系统内的高熵被不断排出系统外，从而才使得系统的生命不息。

1.2 信息熵的历史与现实意义

20 世纪以来，由于现代科学理论的深入发展，熵理论的影响和跨学科现象十分广泛，熵定律愈来愈为更多的人所理解和接受。熵的思想在生物学、气象学、天文学等自然科学中得到程度不同的运用，熵定律不仅可以用来描述自然现象，也可以用来解释社会现象，近几十年来，在社会科学中也开始渗入熵的思想方法，并解释阐述了不少重大问题。作为一种自然科学的概念和原理，能有着如此强大的跨学科渗透能力，这在整个科学史上都是不多见的。爱因斯坦曾说过，“熵理论，对于整个科学来说是第一法则”。

正如上一节所分析的那样，熵既是状态量又是迁移量，而从本质上来说却是透过状态（不确定性、混乱等）代表着的一种非永恒、非平衡、非实体的思想观念。非平衡是有序之源，凡发展着的事物都必然拥有内部能差，而一切能差从更大的范围看就是熵差。差异便是从低熵向高熵扩展的前提，如同热量从高温向低温的流动，无差异就是活动的终止。差异的存在不仅从属局部系统，也贯彻在系统的整体之中，形成联系系统全部活动的动力流（熵流）。就一个生命系统而言，它的熵差是有限的，非平衡很快就会趋于平衡，只有当它从属于某个更大的系统，作为某条食物链的一部分时，才能得以生存。生命体是如此，非生命体也是如此，任何物体、任何事物都处于一种惊人的随机热运动状态，在任何物体的内部结构中都不存在着一种固有衰变趋势。只有在与其它事物的相互依存中，才能维持自身的稳定和发展，是谓“共生”，这就是熵理论所要陈述的事物本质，也是熵理论影响广泛的根源所在。归根结底，世界上的一切活动都是由熵差推动的。

我们所面对的熵变形态，大致可以归结为下述几类。

（1）熵增型熵变。在平衡态或近平衡态的孤立系统中，系统中的排斥力量大于吸引力量，系统的熵变遵守熵增原理。在这种情况下，系统从有序走向无序。如果物质世界只有这种熵变形式，那么整个宇宙最后达到温度的均匀分布并失去运动、变化的任何能力。熵增原理当然也就成为主宰整个世界进程的最高原理。但物质世界并非只有熵增这一种熵变形式，这才形成了千姿百态、五彩缤纷的世界图景。

（2）耗散结构型熵变。根据比利时科学家普利高津的理论，对于远离平衡态的开放系统，当其内部存在非线性相互作用，系统通过与外界交换物质、能量与信息并达某一阈值时，系统就可能从无序状态转变为一种结构或功能上的有序状态。这种通过消耗外界的物质或能量而维持自身有序状态之系统称为耗散结构系统，除了生命系统，社会系统亦属于此列。生物的进化、社会的进化依靠的就是这种熵减的机制。

（3）黑洞型熵变。当系统的吸引力量大于排斥力量，即使对于平衡态或近平衡态的孤立系统，系统的熵变也不是熵增而是熵减。

（4）其他复杂的熵变形态。如果认定熵是无序性的表征，考虑到“序”的丰富内涵（规则与混乱、简单与复杂、低级与高级、对称与破缺、旧质与新质等）及演化的多样性

(聚敛、扩散、转换、转化、分岔、迭代、同化、异化、复制、变异、产生、湮没等), 在非线性的作用下, 熵变会有更多、更复杂的形态。

总之, 对于整个物质世界来说, 熵变具有多种形式, 不论在空间上、还是在时间上, 它们都交叉地发生着。因而, 世界不是单一的, 而是呈现出丰富多彩的境况。

就目前熵理论的发展情况和应用范围而言, 熵理论应用的途径主要有两方面。

第一, 热力学熵途径。主要是基于熵增原理, 通过对熵变过程的分析, 以期达到对所研究问题的本质认识。如天文学有关宇宙形成问题的研究、生命问题的研究、资源经济问题的研究等。应当说应用热力学熵进行跨学科研究是这一领域的主流。因为一方面由于热力学研究不涉及有关物质微观结构的任何假设, 它的理论是“绝对正确”的, 所以熵在任何领域的任何应用就会保持它作为状态函数的基本属性; 另一方面, 热力学是一种普遍性的理论, 它的研究对象可以是以任何方式与其周围介质相互作用的宏观物质系统, 因此, 热力学熵可以扩展到热现象以外的领域。

第二, 信源熵途径。主要用于对某种系统不确定性的量度。例如, 在生态学中, 为度量一个生态系统中物种的多样性, 一个完全类似于申农熵的指标被构造出来, 用来作为生态系统的多样性指数, 实践证明是成功的。这里需要注意的是, 不确定性的量度不需要与熵增原理相联系, 后者只对热力学熵负责。信息熵虽然是一种概率表示, 但它不同于概率分布、密度等指标, 熵不仅是物理上的一个状态量, 在数学上它与不变量联系在一起, 因而这种复杂化不是徒劳的, 测度熵就是如此。

熵作为信息科学的具体研究内容, 当然是很丰富的, 但就研究方法来说, 概括起来大致可将其分为两类: ①从宏观上研究信息系统的运行规律; ②在微观上研究信息系统中个体因素的随机变化, 与宏观信息系统的运动之间的依存关系。

总而言之, 熵理论正在充当着对传统科学的批判者角色。诺贝尔物理学奖获得者、天文学家爱丁顿(A. S. Eddington)在他所著的《物理世界的本性》书中写到, “从科学的哲学观点来看, 与熵相联系的概念应被列为 19 世纪对科学思想的巨大贡献, 它标志着一种反动, 即对那种认为科学注意的每件事情都是通过对客体的微观剖析而发现的观点的反动”。所以, 依据熵理论重新审视自然科学知识体系的序幕已经拉开, 一幅用熵理论所描绘的关于自然本性的新图景正在逐步展现在我们的面前。

1.3 本书的内容与结构

本书共 9 章, 可分为理论与应用两大部分。理论部分(第 1~第 5 章)主要为信息熵的理论与方法, 应用部分(第 6~第 9 章)是相关方法与模型等的应用实例分析。

第 1 章, 绪论。首先回顾了熵的从克劳修斯熵、玻尔兹曼熵、申农熵, 直至走进了开放系统的耗散结构的发展简史, 接着从信息熵的广泛适用性出发, 简要介绍了信息熵对于自然科学到社会科学发展具有的历史与现实意义。

第 2 章, 信息与信息熵。本章包括信息和信息熵的概念与性质, 熵泛化的历史与现实状况, 熵与耗散结构之间的逻辑关系, 以及极大熵原理等基本内容。

第 3 章, 信息熵计算。主要内容包括离散信息熵的几种计算方法, 以及对于连续变量

的熵计算定义的改进。

第4章,信息场与信息传递。信息场是信息科学研究最基本的理论框架,而基于信息场理论的信息传递则是信息动力学机制的最主要的特征。本章对信息场的内涵予以了详细地描述,构建了信息场的空间结构,建立了由信息点→信息群→信息场的类似于空间几何的结构模型,并基于信息场理论探讨了信息群的相关性质。本章还研究了信息的重要动力学特性——信息传递,包括信息力、信息势、场强和信息传递函数的概念,以及相关信息运动规律等。

第5章,模糊信息熵。模糊性是另外一种形式的不确定性问题,因此,度量模糊不确定性的模糊信息熵的产生就成为了顺理成章的事情。本章内容包括模糊熵的基本概念与性质、混合信息熵、直觉模糊熵等,另外还探讨了模糊偏熵与模糊关联熵的定义与性质。

第6章,预测与决策。本章利用较多实例介绍了在多属性决策中较为广泛使用的熵权法,包括不完全权重信息下多属性决策以及群决策,同时,利用直觉模糊熵探讨了在直觉模糊环境下的多属性群决策等问题。最后,介绍了极端事件,比如地震发生的预测与预报模型。

第7章,系统优化与评价。本章主要研究了一般网络的优化布局方法,研究了管理系统结构的有序度——时效熵与质效熵模型,通过案例分析了管理系统的耗散结构的评价指标体系,同时,就土地利用的时空动态演变特征予以了研究与分析。

第8章,风险管理与不确定性分析。无论是自然科学领域还是社会科学领域,都大量地存在这不确定性现象。风险的本质就是因收益或损失的不确定而产生。本章首先利用故障分析树对于管理系统内的各风险要素的风险等级予以了评估,接着介绍了金融领域中的风险投资信息熵模型,并利用股票投资的优化组合问题进行了实证分析,最后,利用信息传递模型对于淮河流域的降雨分布不均匀性现象予以了较为详细地剖析。

第9章,企业经营与管理。本章就信息熵在供应链管理中的期望利润、供应链的稳定性和供应链中的库存系统等的应用予以了介绍与分析,最后,根据信息场理论研究了企业人事管理的薪酬体系以及旅游管理中的客源导流机制等问题。

第 2 章

信息与信息熵

从古至今，人类的生活一直与信息密切相关。人类通过了解自然信息来认识自然，通过社会信息来知悉人类社会的过去，同时，人类也在不知不觉中创造和利用着信息。毋庸置疑，信息与物质、能力已成为现代科技的三大支柱。本章从信息的概念、分类与性质入手，较详细地阐述了信息和信息熵的概念与性质，熵泛化的历史与现实状况，熵与耗散结构之间的逻辑关系，以及极大熵原理等基本理论。

2.1 信息与信息科学

2.1.1 信息的概念

1928 年，美国学者 R. V. L. Hartley（哈特莱）发表了论文《信息的传递》，首次提出消息是信息的载体，是包含在各种具体消息（语言、文字、信号等）中的抽象量。1948 年，美国贝尔实验室的数学家 C. E. Shannon（申农）在其重要文章《通信的数学理论》中，阐明了信息是人们对了解事物随机不定性的减少或消除，是两次不定性之差。同时他还给出了信息的数学表达式，因而奠定了现代信息论的理论基础。

那么，究竟什么是信息？我们该如何定义信息？这些看似简单实则复杂深奥的问题，从其提出之日起，就已为世人所关注，所求索。但迄今为止，中外学术界依然众说纷纭，不同的见解、认识、观点和论断，不下数十种之多，这足以证明信息界定的多样性与复杂性。为简便起见，在此，我们分别按日常生活、自然科学和社会科学等范畴介绍几种有代表性的定义。在日常生活领域中，信息概念就是指消息、情报、信号、新闻、通知、音讯等，英文统称为 Information。如英国牛津字典和韦伯斯特字典解释信息为“数据、新闻和知识”。我国的《辞源》对信息的解释是“音讯、消息”。在自然科学领域中，信息是用以消除不确定性的东西；信息就是负熵；信息是反映事物的形式、关系和差别的东西，它包含在事物的差异之中，而不在于事物本身。在社会科学领域中，信息就是信息，不是物质也不是能量；信息是物质的一种存在形式，它以物质的属性或运动状态为内容，并且总是借助于一定的物质载体传递或存储；信息是在适应外部世界和控制外部世界中，同外部世界进行交换的内容的名称；信息是一切物质的普遍属性，等等。不过，在众多信息定义当中，比较认同的是下面的表述：信息是指反映客观世界中各种事物的特征和变化的组合，是一种有用的知识；信息是指寓于一定的物质载体之中，经过人脑加工、整理、提炼、凝聚及升华后，对人类具有某种意义或价值的消息、情报、信号等资信。在这样的定义中，非常强调信息的实用性与使用价值。

2.1.2 全信息

关于信息概念的认识，钟义信提出可以分别从“本体论层次”和“认识论层次”来理解。这两种层次具有相对意义，所谓“本体论层次”是一种客观存在，它没有认识主体（如人、生物或机器系统等），而“认识论层次”强调有认识主体。在本体论层次上，信息的存在与否不以主体的存在为转移，即使根本不存在主体，信息也仍然存在。因此，在这个层次上我们可以说，在地球上出现人类以前，信息就已经存在了，只是没有人去感知或利用而已。

本体论层次的信息定义是指该事物运动的状态和状态变化方式的自我表述。定义中所说的“事物”泛指一切可能的研究对象，包括外部世界的物质客体，也包括主观世界的精神现象。所说的“运动”泛指一切意义上的变化，包括机械运动、物理运动、化学运动、生物运动、思维运动和社会运动等。“运动状态”是指事物在空间上运动时所展示的性质和态势，“运动状态的变化方式”则是指运动状态随时间而变化的过程样式。

宇宙间一切事物都在运动，都有一定的运动状态和状态改变的方式，即一切事物都在产生信息。这是信息的绝对性和普遍性。而一切不同的事物都具有不同的运动状态和状态变化方式，这又是信息的相对性和特殊性。这是最广泛意义下的信息，是无条件的信息。

因此，若要认识一个事物，或要描述一个系统，唯一的办法就是要通过各种可能的途径来获得关于该事物、该系统的信息，即获得关于该事物（系统）的内部结构的状态及其变化方式，以及与外部联系的状态和变化方式，或简而言之，获得该事物运动的状态及其变化方式。

人们研究信息，总是希望利用信息为人类服务，因而最有意义的事情就是引入认识主体（比如人），从认识主体的立场来研究信息。这样本体论层次信息定义就转化为认识论层次信息定义。认识论层次信息定义是指主体所感知或表述的关于该事物的运动状态及其变化方式，包括状态及其变化方式的形式、含义和效用。

应当特别强调指出，由于引入了认识主体，认识论层次的信息概念就具有了比本体论层次信息概念丰富得多的内涵。这是因为，首先，作为认识的主体，他具有感觉的能力，能够感觉到事物运动状态及其变化方式的外在形式；其次，他也具有理解力，能够理解事物运动状态及其变化方式的内在含义；最后，他还具有目的性，因而能够判断事物运动状态及其变化方式对其目的而言的价值。而且，对于正常的人类认识主体来说，事物的运动状态与变化方式的外在形式、内在含义和效用价值这三者之间是相互依存不可分割的。因此，在认识论层次上来研究信息问题的时候，他必须同时考虑事物的运动状态及其变化方式的形式、含义和效用三个方面的因素。把这样同时考虑事物运动状态及其变化方式的外在形式、内在含义和效用价值的认识论层次信息称为“全信息”，而将其形式因素的信息部分称为“语法信息”，将其含义因素的信息部分称为“语义信息”，将其效用因素的信息部分称为“语用信息”。换言之，认识论层次的信息乃是同时考虑语法信息、语义信息和语用信息的全信息。

还要指出，由于引入了认识主体，认识论层次信息还可派生出实在信息、先验信息和实得信息的概念。具体而言，某个事物的实在信息是指这个事物实际所具有的信息。事物的实在信息是事物本身所固有的一个特征量，它只取决于事物本身的运动状态及其变化方

式，而与认识主体的因素无关。主体关于某事物的先验信息，是指主体在实际观察该事物之前已经具有的关于该事物的信息。先验信息既与事物本身的运动状态及其变化方式有关，也与主体的主观因素有关。主体关于某事物的实得信息，是指主体在观察该事物的过程中实际获得的关于该事物的净信息。实得信息不仅与事物本身的运动状态及其变化方式有关，而且也与主体的观察能力及实际的观察条件有关。

在理想条件下，实得信息等于实在信息与先验信息之差，即

$$\text{实得信息} = \text{实在信息} - \text{先验信息}$$

2.1.3 信息的分类

如上所述，按照性质的不同，信息可以划分为语法信息、语义信息和语用信息三种基本情形，这是信息的三个基本层次，其中，最基本和最抽象的层次是语法信息。按照基本定义，语法信息是事物运动状态及其变化方式的外在形式。可以按“运动的状态”及“变化方式”在形式上的不同，将信息作如下的分类：首先，事物运动状态可以是有限状态或无限状态，与此相对应，就有有限状态语法信息和无限状态语法信息之分；其次，事物运动的状态可能是连续的，也可能是离散的，于是，又可以有连续状态语法信息与离散状态语法信息之分；最后，事物运动的状态还可能是明晰的，也可能是模糊的，这样又有状态明晰的语法信息与状态模糊的语法信息之分。所谓状态模糊的语法信息是指它有若干种状态，这些状态之间的界限不是明晰的，而是模糊的，即状态之间的转换不是突然变化的，而是缓慢变化的，逐渐过渡的。事物运动的“变化方式”又可以有随机型、半随机型及确定型等三类，它们分别对应概率型语法信息、偶发型语法信息和确定型语法信息三种基本形式。所谓随机型的运动方式，就是各状态完全是按照统计规则或概率规律出现的。

这样，根据事物运动的状态和变化方式的不同，可以得到若干种不同的组合。它们在理论上都是存在的，但是，在实际的研究工作中，我们往往仅关注以下几种类型：离散有限明晰状态的概率型语法信息、离散明晰状态的偶发型语法信息、离散有限模糊状态的确定型语法信息、离散有限明晰状态的确定型语法信息。一般将它们分别称为“随机性信息”、“偶发性信息”、“模糊性信息”和“确定性信息”。

2.1.4 信息的性质

根据以上的定义，可以导出信息的一些重要的性质。

(1) 普遍性。信息是“事物运动的状态和状态变化的方式”，因此，只要有事物的存在，只要事物在不断地运动，就会有它们运动的状态和状态变化的方式，也就存在信息。无论在自然界、人类社会，还是在人类的思维领域，绝对“静止”的事物是没有的，因此，信息普遍存在。

(2) 传递性。信息可以在时间上或在空间中从一点传递到另一点。由于信息具有脱离母体而相对独立的能力，因而它就可以通过一定的方法使之在时间上或空间上进行传递。在时间上的传递称为存储，在空间中的传递称为通信。信息的可传递性是一个十分有用的性质，它使人类的知识能够积累和传播，使人与人之间能够进行信息的交流，使人与环境之间能够保持信息的联系，从而能更好地认识环境和改造环境。

(3) 识别性。世界普遍存在的各种信息都有自己的信息作用对象,换句话说,任何信息都能为其特定的接受对象所识别进而发挥作用。不仅可以通过感觉器官来识别社会信息,而且可以通过仪表、器械等特殊设备来识别各种自然信息。

(4) 转换性。既然信息是事物运动的状态和状态变化的方式,而不是事物本身,它就可以负载在其他一切可能的物质载体和能量形式上。实际上,只要保持“运动的状态和状态变化的方式”的不变性,那么,它就不仅可以在各种物质和能量形式之间进行变换,而且可以经受一切不会破坏“信息不变性”的数学变换。

(5) 存储性。信息反映的内容是客观的,信息生成后具有客观存在性。信息的客观性决定了信息具有存储性。有时加工处理后的信息并非立即要用,有的当时用了,但以后还要参考,于是人们便把信息进行存储。信息的存储和积累,使人们能够对信息进行系统的、全面的研究和分析,使得信息得以延续和传承。

(6) 再生性。信息的再生性包括两个方面的含义:一是信息作为客观事物的一种反映,它为人们接受、认识的过程,也是客观事物的再生过程;二是信息的内容可以物化在不同的载体上,传递过程中经由载体的变换而再现出相同的内容。

(7) 共享性。信息能够共享是信息不同于物质和能量的最重要的特征。如果说物质不灭、能量守恒是物质与能量的运动规律,那么信息共享可视为信息的运动规律。由于信息可以共享,当信息从传递者到接受者时,传递者不会丢失信息。正如萧伯纳所举的“苹果与思想”的例子那样,苹果交换之后交换双方仍然各有且仅有一个苹果,但是思想交换之后交换双方都拥有了两种思想。

(8) 价值性。信息本身不是物质生成领域的物化产品,但它一经生成并物化在载体上,就是一种资源,具有可用性。也就是说,信息具有使用价值,能够满足人们的某些方面的需求,被人们用来为社会服务。

(9) 时效性。信息的时效性是指从信源发送信息,经过采集、加工、传递和使用的时间间隔和效率。信息的使用价值与信息经历的时间间隔成反比,即信息经历的时间越短,使用价值就越大;反之,经历的时间越长,使用价值就越小。从某种意义上说,信息的时效性表现为滞后性,因为信息作为客观事实的反映,是对事物的运动状态和变化的历史记录,总是先有事实,后产生信息,因此,只有加快传输,才能减少滞留时间。

以上就是信息的一些主要性质。了解信息的这些特性与性质,一方面有助于对信息概念的进一步了解,另一方面也有助于有效地掌握信息和利用信息。

2.1.5 信息资源

现在,已经认识到信息可以被划分为语法信息、语义信息和语用信息。所谓语用信息即是它的功能或效用,利用它可以创造价值。邬焜指出,信息具有 14 项功能,这说明可利用信息来创造财富,使信息成为一种资源。信息资源广泛存在于经济、社会各个领域和部门,是各种事物形态、内在规律以及与其他事物联系等诸多条件和关系的反映。随着社会的不断发展,信息资源对国家和民族的发展,对人们工作、生活至关重要,从而成为国民经济和社会发展的重要战略资源。它的开发和利用是整个信息化体系的核心内容。信息资源不同于其他资源(如材料资源、能源资源),是可再生的、无限的、可共享的,是人类活动的最高级财富。因此有学者认为,信息资源是指寓于

一定的物质载体之中的，经过人脑加工过的，对人类具有某种意义或价值的信息或信息集合；信息不仅是可与物质、能量并驾齐驱的三大资源之一，而且作为资源，信息与物质、能量构成三位一体的关系，它们相辅相成，缺一不可；没有物质，系统便无形体，没有能量，系统便无活力，没有信息，系统便无灵魂。信息同能源、物质并列为当今世界三大资源。在这个意义上而言，物质、能量与信息是现代科技的三大支柱。

归纳起来认为：信息资源由信息、信息生产者、信息技术三大要素组成。

(1) 信息既是信息生产的原料，也是产品。它是信息生产者的劳动成果，对社会各种活动直接产生效用，是信息资源的目标要素。

(2) 信息生产者是为某种目的生产信息的劳动者，包括原始信息生产者、信息加工者或信息再生生产者。

(3) 信息技术是能够延长或扩展人的信息能力的各种技术的总称，是对声音、图像、文字等数据和各种传感信号的信息进行收集、加工、存储、传递和利用的技术。信息技术作为生产工具，对信息收集、加工、存储与传递提供支持与保障。

信息资源作为经济资源的一种，它具有经济资源的共同特征，即需求性、稀缺性和选择性。信息资源作为一种独立存在的资源，它也有自身特有的特征，如可共享性、无穷无尽性和驾驭性等。

信息资源与自然资源、物质资源相比，具有以下几个特点：

(1) 需求性。信息资源和物质、能量构成人类社会赖以生存的三大资源，是继劳动者、劳动工具和劳动对象之后的第四个生产力要素，它一方面承担经济活动中的信息生产要素投入，在生产过程中增值；另一方面承担劳动者、劳动工具和劳动对象等要素之间的“润滑剂”，促进这些非信息要素相互作用，使其价值倍增。

(2) 稀缺性。由于受到时间、空间或技术等方面的限制，人们在从事特定的经济活动过程中，获取的信息资源总量是有限的；其次，任何信息资源都有其固定的使用价值（总效用），每次投入到经济活动中，其使用价值会被消耗掉一部分并获得一定的利益，随着投入次数的增多，其使用价值会逐渐衰减至零。因此信息资源具有稀缺性。

(3) 对象的选择性。信息资源的开发与利用是智力活动过程，它包括利用者的知识积累状况和逻辑思维能力，因此，信息资源的开发利用对使用对象有一定的选择性，同一内容的信息对于不同的使用者所产生的影响和效果将会大不相同。例如，股票的涨跌，对炒股者很有用处，对不炒股票的人就不一定有意义了。

(4) 可共享性。由于信息对物质载体有相对独立性，信息资源可以多次反复地被不同的人利用，在利用过程中信息量不仅不会消耗掉，反而会得到不断地扩充和升华。在理想条件下，信息资源可以反复交换、多次分配、共享使用。

(5) 无穷无尽性。由于信息资源是人类智慧的产物，它产生于人类的社会实践活动并作用于未来的社会实践，而人类的社会实践活动是一个永不停息的过程，因此信息资源的来源是永不枯竭的。

(6) 驾驭性。信息资源的分布和利用非常广泛，几乎渗透到了人类社会的各个方面。而且，信息资源具有驾驭其他资源的能力。例如，闲置的资本，投入信息后可以变成有利的投资；低产的土地，投入信息后可以变成高产的良田等。