

系统周界的模型与理论

Modelling and Theory of System Boundary

曹鸿兴

(中国气象科学研究院, 副研究员 北京 100081)

系统是由若干相互作用的组分构成的复合体,也是我们要研究的相对独立的客体,而与系统相邻的并与其依存的部分称为环境或外界。显然,分隔系统与环境的是系统的周界。要对任一系统进行研究,必须明确划分系统的环境,也就是要对系统周界加以明确规定。

对系统周界的研究早已有之。在热力学中,将系统分为孤系、闭系和开系。对于孤系,周界起着“绝热体”作用,系统与环境间没有任何相互作用,既无物质交换,也没有能量交换。对于闭系,系统与环境间无物质交换,但有能量交换,例如用水壶烧开水,通过热传导将热能输送给壶中的水。第三种是开系,环境与系统间既有物质交换,也有能量交换,如人体就是一个开系。在数学上,对偏微分方程要给定边界条件才能求解,不同边界条件构成了不同性质的周界。

人们一旦确定了一个系统,实际上也蕴含了该系统周界的可识别性,因为系统若不能与环境相分离,对系统的研究也无从进行。这里我们要专门研究具有如下特性的周界:第一,卫护系统的生存与发展;第二,在环境与系统间起交换作用。我们称这样的周界为界壳。我们并不研究一个个具体的界壳,而是在一般意义上研究界壳的普遍规律。正如我们下面所论述的,界壳理论使我们从一种全新的观点来审视自然和社会科学中的许多问题。

首先,我们列举若干有代表性的界壳现象。在社会现象中,最为典型和直观的是欧洲的城堡和中国的城墙,都是用来抗御敌人、卫护自己的。万里长城也起着同样的功能。无论城堡、还是城墙都留有城门洞或通道,以供人员、物资进出。在生物学中,人的皮肤、植物表皮、细胞膜等都是实例。每个细胞是由一层膜包着,细胞膜使细胞内部世界和它的外界分开。在膜上有许多通道,细胞是通过这些通道同它的外界相联系的。这些通道由单个分子或分子复合体组成,能够让离子通过。离子通道的开或关影响细胞的生命和在正常或病理状况下的细胞功

能。1991年内尔和扎克曼因发明了测量细胞膜离子通道的技术而获得诺贝尔医学和生物学奖。在心理学中存在一种领土规则。动物和人都有领土观念,都要求在自己周围有一层领土外壳。从城里人狭小的单元房外壳到郊区居民对大庭院的奢望,一直到乡下人所享受的广大土地,其领土外壳是很不相同的。人们都会用墙、栅栏等将自己的领土围起来,构成一个“界壳”,躲在其中就会有一种安全舒适感,而一旦有外人进入领土内就会作出反应。表面物理研究的对象是凝聚态物质(主要是固体)的表面和两种物质的界面,其目的是研究表面原子层的物理性质及改变这一性质的技术。例如,砷化镓(GaAs)光电发射材料,经过活化处理,用厚度1~2个原子层的铯-氧(Cs—O)放到表面上,发射效率可提高数百倍。可见表面性质对发射材料性能的巨大影响。

在耗散结构理论、协同学和系统论中都涉及到环境和系统的关系,但都假定了环境是不受限制地对系统起作用的。实际上,环境只有通过周界才能对系统起作用。周界对系统的生存、发展起着重要作用,有时是决定性的作用。也就是说,这是一块在系统科学中被长期忽视了的领域。

在J.G. 米勒的生命系统中有20个子系统,其中之一是边界器。在细胞层次,边界器为细胞膜,在器官层次则为内脏被膜,在生物体层次是皮肤,对一个社会来说则为边境护卫队。边界子系统对物质、能量和信息的输入与输出进行过滤,还保护系统使之顶住外部压力。从研究系统周界而言,边界器与我们定义的界壳是异曲同工,但界壳概念是在更一般化、更抽象的角度上提出的。同时,我们不仅作定性描述,还寻求定量地描述系统周界。

一般原理

界壳理论或界壳论是专门把系统的周界作为研究对象的一门科学。它不研究个别界壳现象,而

是研究界壳现象的一般性共同规律。

设论域为 U ,即全集,记系统为 S ,环境为 E 。当不考虑界壳 J 时有

$$S+E=U;$$

当考虑界壳时有

$$S'+J+E=U。$$

在研究几何学时,一个圆用其半径 r 来表示。显然,这时圆周的线度(沿半径方向)抽象地考虑为零。象在集合论中的文氏图那样,用有洞的圆来表示界壳,圆内为系统内,圆外为环境,洞表示在环境与系统间进行交换的通道。那么,界壳也可考虑为零线度的,这时, S' 和 J 可以合并, $S'+J=S$,问题就变为通常我们在系统科学中研究的。

归纳前面所述,可容易地将界壳从结构上分为界壁(W)和界门或通道(P)。设系统的周界记为 L ,定义界壳开放度

$$\rho=P/L。$$

显然,开放度是结构上的。对不同的物质、能量和信息,开放度是不同的,在性质和数量上都是很不相同的。例如就城墙而言,能量(如太阳能)可从天空射入城内,空气、热量也不通过城门洞交换。但食物、武器、商品等物质在古代只能通过城门洞进出。在夜晚,城门关闭,这时对物质而言,城墙的开放度等于零。所以开放度不仅是时间空间的函数,而且是能量、物质和信息的函数。

记能量开放度为 ρ_e ,物质开放度为 ρ_m ,则有

若 $\rho_e=\rho_m=0$, 则为孤系;

若 $\rho_e\neq 0, \rho_m=0$, 则为闭系;

若 $\rho_e\neq 0, \rho_m\neq 0$, 则为开系。

记信息开放度为 ρ_i ,我们称 $\rho_i=0$ 为全黑箱,即与环境无信息交换的系统;定义 ρ_e 相当于通过测量输入和输出能获得的信息

$0<\rho_i\leq\rho_e$ 为黑箱,

$\rho_e<\rho_i<1$ 为灰箱,

$\rho_i=1$ 为白箱。

这样,通过开放度这一概念,我们把热力学中开、闭系的概念和控制论中的黑、白箱的概念统一在同一框架中。

另一个界壳功能要素是交换率,即对能量、物质或信息通过界门的能力的度量。例如,一个繁忙的港口的吞吐量远比一个小码头的要大,人气喘时的空气交换率要比平静时要大。

交换率定义为存在于环境与系统内部的可交换量与通过界门交换的实际量之比。在这里可交换量是一个抽象概念,在实际问题中视具体问题而定。交换显然包括输入和输出两部分。净交换量则是输入与输出之差。输入与输出是一个极为广泛的概念,从计算机的输出和对计算机的输入,到食物、空气等进入人体,排出粪便汗液等。我们是在一般

意义下考察输入与输出的规律。

界壳结构上的另一个要素是界壳的支撑,也就是使界壳得以存在的结构元件,例如城墙基础必须埋入地下,使城墙能竖立;一个皮球要靠充气和球皮本身才保持一个圆形。抽象的支撑的概念对研究人文科学有很大意义,例如中华民族几千年保持一个大国而不解体,靠什么支撑,值得深入研究。

定量表示

当今,要开创一个新的学科,除提出新概念,发展新理论以外,对所研究问题作定量的数学表达也是十分必需的。界壳理论不但发展了研究系统周界的新观点、新原理,而且在数学表达上也已取得了有意义的成果。

不难理解,一个系统要存活,必须通过它的周界与环境进行交换;也就是界壳不能是绝对封闭的,封闭系统(闭系)只是现实的理想化结果,这已在热力学中作过有意义的探讨。热力学第二定律的前提是处理一个闭系。但是物理可实现的系统一定要有开放度,虽然这尚且是一个假设,严格的证明有待进行。反过来,一个百分之百开放的系统也是不存在的,因为要是这样,系统本身与其环境也就没有区别了。从上面这些陈述中,我们可立即得出结论:界壳的开放度有它的下界也有它的上界,只有处在这上、下界之间的开放度才适合系统的存活和发展。

显然,对不同的物质、能量和信息对应着不同的开放度上界和下界。另外,根据不同的原理,导出的上界和下界限制也是不同的。

笔者已从熵平衡方程和热力学第二定律,导出了开放度的下界,即有

$$\rho>\rho_e$$

这是开放度的熵判据,一个系统要发展,它的开放度 ρ 必须大于熵判据 ρ_e 。

可以预期,界壳开放度也一定存在它的上界,也就是小于其上界的开放度才能确保界壳的存在和系统的存活。界壳开放度的一个平凡的上确界是1,这时由于系统已全部开放,所以实际上已不存在界壁,也就无所谓界壳的存在。笔者已从一个系统的反应扩散方程导出了开放度的上界,也就是若系统与环境间以扩散方式来进行交换,系统周界的开放度必须小于这一上界,系统才得以发展或演化。显然,当考虑的量不同,着眼点不同时,界壳的上界也是不同的。

若把开放度和交换率视为与系统发生交互作用的控制量,就可建立起界壳动态方程。就单变量线性模型而言,可以用来研究人口—移民问题,因为移民要严密受到海关的控制,海关在这里起着开

关和交换的功能。这一模型的解析解表明,若开放度过大或交换率过强,环境因素会涌入系统内部,以致会淹没系统的固有特性,如历史上某些地区或国家,由于大量移民或外族入侵,其后果是从根本上改变了原来的民族特性和固有文化。研究表明,双变量非线性模型能很好模拟儿童学习语言的过程。儿童学语言,多学些词,就与大人有更多的交换,更多交换又促进语言学习,这是一种非线性反馈过程,这一过程是通过大人(环境)与儿童语言知识(通道)的交互作用来实现的。

与协同论、控制论的关系

协同论从确定性动力学和随机微分方程来研究通过协同作用形成有序结构,即研究控制参数和(或)涨落力变化时系统的自组织过程的一般规律。如果我们把控制参数分为界壳要素参数和控制系统的其他参数。在许多情况下,即对具有界壳的那些系统来说,外界控制必须通过系统的周界才能起作用,这对外界控制参数对系统不再有显的直接作用,可视为仅由界壳要素参数在起作用,这时界壳理论要研究的与协同论就有共同点,即在抽象意义

上有着类似性。但界壳理论是关于系统周界的学问,是一块新开辟的科学园地。

控制论研究的基本问题是系统中的通讯和控制问题,控制论的目标是运用外界控制量(约束)以使系统走向给定的目标。界壳理论要研究的,从结构上讲,是与系统不可分割的周界,就其作用而言,是对系统行为的一种特殊约束(控制),由于有了这种约束系统才得以稳定、存活或发展。因此,在这种意义上说,界壳理论将丰富控制论。

应用前景

界壳理论研究的是与系统周界的具体特性无关的普遍规律,因此,作为理论就可在自然和人文科学的各个学科中应用。例如,弗洛伊德理论中的原我、自我和超我,三者的特性及其联系就可用三重心理界壳来囊括。在物理中对液—汽界面,液—固界面等一些共同特征的理解可以从界壳理论中得到新的启迪。在社会科学中,象日本明治维新、佛教在印度本土的衰落等从界壳论观点进行研究都将得到新的有意义的结果。

(责任编辑 冷远猷)

科技动态

2000—世界数学年

1992年5月,在巴西里约热内卢一次会议上,国际数学联盟(IMU)现任主席莱昂斯(J. L. Lions)以联盟名义,宣告2000年为世界数学年(World Mathematical Year 2000,缩写为WMY2000)。这项计划得到联合国教科文组织(UNESCO)及第三世界科学院等组织的支持。它提出了三项目标:

1. 21世纪的伟大挑战

1900年希尔伯特(D. Hilbert)提出向20世纪数学家挑战的23个问题,1990年美国数学会建议组织一个第一流数学家委员会进行同样的工作。此建议已在国际数学联盟代表会议上表决通过,并由10人组成“跨世纪委员会”(Turn of The Century Committee),主席为IMU秘书长帕利斯(J. Palis),其他人包括俄国数学家阿诺德(V. Arnold),德国数学家赫茨布鲁赫(F. Hirzebruch),法国数学家蒂茨(J. Tits),美国数学家莫斯托(G. D. Mostow)、梅休尔(B. Mazur)、瑟斯顿(W. Thurston),日本数学家洪堀(S. Mizohata),匈牙利数学家洛瓦茨(L. Lovasz),以及美籍印度裔数学家瓦瑞德汗(S. Varadhan)。他们负责组织这项活动,并将在1994年8月在瑞士苏黎世召开的国际数学家大会上提出一份报告。

2. 数学是发展的关键

纯粹与应用数学是了解世界及其发展的关键。现在UNESCO成员国中,只有50个国家达到加入IMU的水

平,希望在世纪之交能够使大多数成员国达到这一水平,为此需要在教育及训练方面更加努力。负责这方面工作的有IMU的两个委员会:国际数学教育委员会(ICMI)及发展与交流委员会(CDE),这两个委员会都与联合国教科文组织有联系。

3. 树立数学的形象

这是最重要的目标,即通过向最大多数人显示科学上精确计算的范例及应用,向“信息社会”系统地表现数学的作用。许多IMU成员国已经为此进行了很多努力。

这个里约热内卢宣言得到各国际组织的支持,它们采取一系列步骤来实现上述目标。例如,为了达到第三个目标,国际数学教育委员会提出并强调三个思想:数学在文化及社会中的作用;综览数学对技术的影响;扭转公众对数学的错误形象。

许多国家和地区的数学会对WMY2000也表示很大兴趣。例如,法国数学会及法国应用及工业数学会组织“未来的数学”(Les Mathématiques au futur)活动,配合WMY2000活动。他们列举未来重要的数学领域:数论及拓扑、几何及物理、统计力学、应用数学、动力系统及分析,并提出他们认为重要的问题。他们还关注数学教育问题。

(胡作玄 编译自《WMY 2000 Newsletter》, 1, Summer, 1993.)