

系统经济学史记

A Historical Record of Systems Economics 1985-2012

1985-2012

智廷全 / 著



科学出版社

系统经济学史记

A Historical Record of Systems Economics 1985-2012

1985-2012

胥廷全 / 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

系统经济学是在系统时代背景下应运而生的一种跨学科新研究。本书记录了系统经济学思想的诞生背景、演变历程和研究现状。内容包括系统经济学诞生的生态学和地学背景,系统经济学的哲理框架、数学模型和相关研究专题,具体包括制度的拓扑模型、资源位理论、系统需求理论和系统产权理论等。

本书可供高等院校经济管理、系统科学和应用数学类的本科生、研究生或 MBA 学生参考,也可供相关专业的教师、研究人员、政府部门和高层管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

系统经济学史记:1985—2012 / 胥廷全著. —北京:科学出版社, 2014. 4

ISBN 978-7-03-040422-0

I. 系… II. 胥… III. 经济学—系统科学—经济思想史—研究—1985—2012 IV. F069.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 074113 号

责任编辑:李 敏 吕彩霞 / 责任校对:桂伟利

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:李姗姗

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 5 月第 一 版 开本:787 × 1092 1/16

2014 年 5 月第一次印刷 印张:27 1/2 插页:2

字数:950 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 言

出版这本《系统经济学史记：1985—2012》，完全是出于形式上的考虑。我1962年出生，到2012年刚好50岁。因此，这本史记的截止日期选在2012年。之所以把起始时间选在1985年，是因为那一年我第一次正式发表学术论文，论文的题目是“系统方法在冻土研究中的应用”，发表在《自然杂志》1985年第11期上，从此开始了我漫长而欢乐的学术之旅。

回顾前半生，我整个的生命轨迹都是围绕“学习+学术”而展开，我把它总结为“纸上人生”。我纸上人生的主线就是系统经济学(Systems Economics)。因此，从某种意义上说，这本《系统经济学史记：1985—2012》就是我整个纸上人生的半缩影。

我们认为，一旦某个事件达到一定的规模和产生一定的社会影响就值得纪念；一旦某项事业和整个人类文明和人类的福祉联系起来就自然获得了崇高性。我希望我们开拓的系统经济学研究就是这样的一项事业。我1988年第一次正式发表系统经济学的论文，2001年第一次在郑州大学基础数学专业名下招收“非线性分析与系统经济学”方向的博士研究生。系统经济学博士研究生的招生必须得到国务院学位办公室的认可。因此，系统经济学博士研究生的招生可以认为是社会对系统经济学的一种正式认可。到2012年为止，我招收的系统经济学及其相关专业的硕士生和博士生已近100名，而且每个学生都很优秀、都能圆满完成学业。他（她）们当中，有的已经成长为省级银行的行长，有的已经成长为大型国有企业的掌舵人，有的已经成长为大学的学院院长、博士生导师，更多的是具有勃勃生机的青年才俊。看到他（她）们的进步和取得的成绩，我很欣慰。他（她）们的名字时常让我回想起和他（她）一起度过的美好时光。同时，也有一种“往年曾见未开时”的骄傲。

到目前为止，我们已经基本上完成了系统经济学哲理框架的构建工作，得到了上百个具有数学形式的新结果，发展了7个与国际上已有定评的工作具有可比性的研究专题：特征尺度理论、系统战略理论、资源位理论、制度边界理论、基于信息粗交流的博弈论模型、系统产权理论和系统需求理论。我们的研究工作经常被国内外重要学术期刊引用，我们创造的许多学术名词现在已经成为学术界的通用名词，例如，资源位、制度边界、临界战略和层级战略等概念经常被《中国工业经济》、《管理世界》和《系统工程》等杂志上发表的文章引用。从某种意义上讲，我们创造的学术名词变成学术界的通用名词就意味着我

们的学术思想融入了人类文明的历史长河，从而就此获得了永恒的生命力，也可以算作是我们系统经济学为人类文明贡献的涓涓细流。当然，学无止境，系统经济学研究才刚刚开始，我们希望得到更多朋友的关心、支持和帮助。我们欢迎更多的有志青年加入系统经济学的行列，让我们一起迎接系统经济学的“月满中天，花开满树”！

我整个的纸上人生和“阅尽心酸书外史”之后得到的人生感悟可以用以下三句话来代表：学会用出世的心态入世；学会用审美的心态生活；学会心存感激。此刻，我想感谢的人很多：家人、学生、朋友，脑海中顿时浮现一长串的名字：吴学谋、黄德鸿、丁德文、胡之德、艾南山、张林源、徐林发、曹策问、孙新雷、郭正让、刘淑琴、孙学敏、王振中、李海舰、乔之宏、索月娇、张良贵、王华庆、张文厚、丁明芳、Zimmermann（德国）、李敏等，他们在不同的时期从不同的侧面对我的纸上人生提供过帮助产生过影响。我一直很崇拜毛泽东的“革命的大无畏精神”和“革命的乐观主义精神”。这两种精神正是从事学术开拓的科学家必须具有的品格。

纸上人生的好处是，可以“思接千载”，不受时空的局限。当然，这要感谢发明文字的祖先。我从上大学时就喜欢看科学家传记，先后至少三次购买不同版本的《爱因斯坦文集》。阅读使我和先哲与大家心灵相通。阅读是通向巨人肩膀的阶梯。我每次看到“阅读”、“学习”、“学术”、“系统”、“结构”、“层次”、“演化”等这些关键词都会心情激动。

令人庆幸的是，我一生的最好年华赶上了祖国“科学的春天”，同时也赶上了“改革开放的新时代”。从终极关怀的意义上讲，我们这一代学人有些不得不在“学术+学田”两条战线同时作战。但愿我们的下一代学人能够专心单一战线作战。对于经济学家来说，两条战线同时作战也有好处，好处是可以对经济活动和经济现象具有直接感受，使研究工作更接“地气”。我感到特别幸运的是，自己赶上了中国经济社会的转型时期。从历史上看，社会转型时期是涌现大政治家、大思想家、大科学家和大文学家的黄金时期。

出版这本《系统经济学史记：1985—2012年》的目的是想对2012年以前的工作做个“形式上”的总结，因此，并不刻意追求文章收录的完备性，有些重要的学术论文没有收入，例如《美国数学评论》上的文章和《经济学家茶座》上的文章，只好等到以后有机会再版时完善。这本史记出版以后，计划从2013年开始每年出版一本《系统经济学年鉴》。这样，这本《系统经济学史记：1985—2012年》加上以后每年出版的《系统经济学年鉴》从时间结构上就完备了。

2013年12月

目 录

序言

1985

系统方法在冻土研究中的应用	2
生态气候模型与西北开发	10
信息层次性原理	15
环境科学的一个新原理：极限协同原理初探	17

1986

大西北开发的战略耗散结构模式	21
泥石流活动性的一种判别方法	25
泛系生态聚类生克分析	29
冻土系统分析概要	31
与美学有关的一些泛系研究	36
冻土层系统过程的热力学模型	40
试论“冻土—环境”系统的协同发展 ——兼析冻土学的研究对象	41
River – Geomorphologic Processes and Dissipative Structure	42

1987

泛系方法论在人口学中的应用	52
生态热力学概论	56
生克论与社会生态学的泛系原理	63
冻结壁系统热力学熵模型（I）	65
生态系统的内环境熵论与西北开发	66

1988

泛系理论概述	70
泛系社会学探索与社会改革的泛系思考	72
泛系生态逻辑、观控相对性与 Bohr 互补原理	75
试论非线性经济系统的基本特征	76
自然资源的运筹分析及其泛权场网模型	82
冻结壁系统热力学熵模型（II）	83
非线性生态系统的复杂动力学行为研究（I）	84
Management and Optimization Model for Rangelands in Western China	85

1989

关于 DNA 结构与功能的研究	87
非线性生态系统的复杂动力学行为研究（II）	89

1990

经济系统的泛结构及其泛系观控分析	91
全球变化与广义资源	97
生态系统的熵与信息	98

1991

经济系统的生克分析	102
系统动力学流图的泛系分析	107
系统经济学探索：概念与原理	110
经济系统的泛权场网模型与运筹方法	115
经济系统的因果关系分析与运筹方法	116
非线性生态系统的复杂动力学行为研究（Ⅲ）	117
人口、资源与环境协调发展的综合模式研究（Ⅰ）：思路与框架	118
全球变化中的人类因素计划	119
当代生态学研究的泛系方法（一）——生态系统的形式描述与因果关系分析	120
当代生态学研究的泛系方法（二）——经济系统的泛权场网模型与运筹方法	126
关于资源生态学研究的若干问题	131

1992

复杂系统的泛系聚类方法	137
系统经济学的理论框架	143
系统经济学探索：资源配置新论	150

1993

A General Mathematical Framework of Complex Systems（Ⅰ）	156
复杂系统的泛系聚类方法与层次分析（英文）	165
复杂系统的一般数学框架（Ⅰ）	166
人口、资源与环境协调发展的综合模式研究（Ⅱ）：资源配置新论	167
关于系统学研究的若干问题	168

1996

系统经济学的对象、内容与意义	170
系统经济学研究：经济系统的基本特征	171
泛系医学与泛系工程学的一些概念	172

1997

系统经济学研究：经济系统的定义与类型	176
经济系统的认识和描述：认识相对性原理	177
系统经济学的公理系统：三大基本原理	178
泛系理论与经济系统的生克分析	179

1998

系统经济学研究：价值函数与等价交换原理	184
系统时代：从“规模经济”走向“系统经济”	185

规模经济的一般理论：中国范例	186
关于我国企业兼并的几个理论问题：系统经济学分析	187
亚洲金融危机透视及相应对策	188
1999	
简析全球化思潮	190
系统经济学的对象与内容	193
关于竞争力研究的几个基本问题	194
2000	
资源位理论及其政策启示	196
资源位的组成及其相互关系研究	197
2001	
技术创新原理与创新制度安排	199
经济学研究的三个基本层次：哲理、数理与技理	202
资源位的层级结构及其政策启示	203
产权安排的最低层次原理及其应用	204
经济全球化的新视野	205
2002	
企业可持续发展的资源位对策	207
制度的数学模型与制度设计的两个基本原则	208
经济制度的形式化定义及其基本特征：系统经济学观点	209
特征尺度理论：经济学中的短期、长期与可持续发展	210
特征尺度理论与企业发展战略的层级结构	211
临界战略初探	212
如何从“零”开始创建大型企业	213
创建企业的三个理由	214
系统营销的三个基本原理	215
产业经济系统与产业分类的 (f, θ, D) 相对性准则	216
2003	
系统经济：新经济的本质——兼论模块化理论	218
不同经济系统的资源位关系研究	219
产业资源位理论与产业结构演化的自组织模式	220
中国区域资源位研究	221
制度的拓扑模型	222
层级战略	223
2004	
经济系统的测度与评价	225
经济系统的资源位凹集模型及其政策含义	232
系统时代：概念与特征	240

2005

中、美、日国家资源位对比研究	248
资源位定律及其应用	257

2006

论传播的分类及其数学模型	266
电视广告投放效果研究初探	272
论传媒经济学与系统经济学之间的关系	277
论传媒与传媒经济系统——兼谈传媒经济学的研究对象及方法	284
拓扑传播学初探	288
形成社会共享的价值观有利和谐	299

2007

传媒产业融合 ——基于系统经济学的分析	301
传媒经济学研究的历史、现状与对策	309
分工与合作的辩证模型：系统经济学分析	316

2008

传媒价值定律的实证研究	325
诺贝尔经济学奖获得者与传媒经济研究	333
制度边界的类型与意义	337

2009

国际贸易系统化水平研究	342
区域文化产业在不均衡状态下的均衡发展	351

2010

博弈论的粗集模型	359
传播有效性原理的粗传递模型	370
信息粗交流在价格形成机制中的作用研究	376
制度边界的粗集模型研究	390

2011

系统经济学进展（1988——2010 年）	405
产业结构的偏序模型 ——关于产业链、基础产业与重要产业的数学定义	429

2012

《系统主义》大纲	434
----------------	-----



1985

系统方法在冻土研究中的应用

生态气候模型与西北开发

信息层次性原理

环境科学的一个新原理：极限协同原理初探

系统方法在冻土研究中的应用*

一、引言

近年来,由于科学技术突飞猛进地发展,各门学科相互渗透,逐渐形成了一个统一完整的科学体系,使每一门学科只有在整个科学体系的联系中才能得到重大进展。从而导致了现代科学理论发展的整体化趋势。又由于电子计算机的推广和现代技术科学本身的发展特点,从整体上、从相互联系中去考察事物,已成为各个学科的根本出路所在。

系统方法正是从整体出发,从部分与整体的联系中揭示整个系统运动规律的现代科学方法。它是一门高度综合的边缘学科,其理论基础主要有运筹学、控制论、信息论、概率论、统计学和计算机科学等。系统方法最早应用于工业、生物和军事上,现已广泛应用于土壤、农业、生态、交通、水利和环境保护等方面,在社会科学和人体科学等方面亦获得显著成效。

系统方法在冻土学研究中的应用,目前在国际上尚属空白。本文就冻土学研究领域中应用系统工程这一问题作一初步探讨。

二、冻土学研究方法探讨的必要性

首先,这是由于冻土层的特殊性质(特殊的质和运动):多方、多层次、立体化和动态化所决定的。冻土层处于岩石圈、水圈、大气圈、生物圈和智能圈相互渗透和相互作用的地带,和地球上的任何其他圈层相比,它具有最复杂的化学成分和物质结构。从组分上来说,冻土层不仅包括无机成分,而且包括有机成分;不仅包括岩石矿物,而且包含生物遗体,不仅包括实物粒子,而且还有场的存在。从物质结构上来说,冻土层是多孔隙、多组分、各向异性的毛细分散体系。从运动形态上来说,冻土层作为一综合的自然历史体系,其中包括以热运动和相变化为主的物理运动、力学运动、化学运动、物理化学运动和生物的生命活动等,是一个具有耗散结构的开放系统。

而且,除了上述的主导因素外,还有许多其他的次要因素,这就局限了用传统方法研究冻土的广度和深度。过去对冻土的研究主要是描述性的、分散的、表象的和静态的,而现代科学技术的发展和冻土区的开发利用以及冻土区工农业生产发展的需要,要求冻土学以定量的精确判断,代替定性的文字描述,以综合系统的研究代替分散零布的考察,以预测和模拟代替对现状的分析和说明,以反映本质的数学模式来定量描绘具体的庞杂的自然冻土现象。要达到这个目的,由于冻土现象和过程中,影响因素多、涉及范围广、关系复杂和综合性强等特点,传统的研究方法就显得无能为力了。因此,就必须根据冻土本身的特殊矛盾和固有特性,将冻土的表象与本质、结构与功能、稳定与变化、激励与响应等有机地结合在一起,形成一个具有多方、多层次、立体化和动态化的统一整体,

*作者: 咎廷全, 原载《自然杂志》1985年第11期

发展新概念、新理论和新方法。我们认为，系统论恰恰就是这一“瑰宝之宝”。

系统论的创始人之一贝塔朗菲认为，系统论所制定的模式、原则和规律适用于各种综合系统和子系统，而不论其具体种类、组成部分的性质和它们之间的关系或“力”的情况如何。在冻土学研究中，土的冻融过程和很多冻土现象都能用数学表达式或模型来描述，这是因为这些模型与不同领域的其他异质同型模型在结构上是类似的，这也正是系统论形成的客观基础之一。

由上面的分析不难看出，系统论之所以有可能在冻土学研究中发挥威力，是由冻土本身的特殊矛盾及其系统特征所决定的，而绝不是什么“人为介入”。

三、冻土系统的基本特征

冻土系统中相互联系和相互制约的主导因素是热运动和相变化，由此制约着冻土层的生消进退及其基本特征。

1. 冻土系统的整体性特征

冻土层是一个自然的、历史发展的综合体系。在这里各圈层镶嵌交错，且与冻土层之间相互渗透、相互作用、相互影响、进行着积极的物质—能量交换，形成“你中有我，我中有你”的相互联系、相互制约的复杂的反馈系统。

冻土层作为一个整体有它自身的内在矛盾，这些矛盾是与一定的相互转变的物质运动形态相关联的。例如，当气温下降，土层温度降低，发生冻结，结晶能转化为热能；反之，空气温度升高，冻土解冻，增温，辐射能又转化为结晶能，其间也有一定的电磁能转化和引力能、机械能的变化。在冻土层中，我们可以观察到各种不同的运动形态以及它们之间复杂的相互联系和相互转变。在这些运动形态中包括物理运动、化学运动、物理化学运动、分子运动和生物的生命运动等，其中热运动和相变化为主导因素（主要矛盾）；按影响因素来说，气温变化是冻土层生消的基本背景，按能量观点分析，冻土层内所发生的综合运动过程可以划分为能量的交换、传递、转化、积累和循环等变化过程。因此，从实质上说，冻土层的生消过程就是能量的不可逆循环过程。当土层热量年周转中散热量等于或大于吸收量时，冻土便存在、生成；反之，冻土便消退。

总之，冻土层的进退（冻融）过程，是在自然历史条件下进行的。在宏观上表现为地表温度的升降，地下水相态的改变，土层冻融状态的变化，以及冻土层在水平与垂直方向上展布范围的改变和各种冻土地貌现象的生消演化等。所有这些主要特征及其他次要特征（见下文）都客观地决定了冻土层作为一个特殊物质体系的统一性和完整性。从而冻土学也符合恩格斯所说的“研究一系列相互关联和相互转化的运动形态的科学”。

2. 冻土系统的物质层次与子系统划分

现在来剖析一下冻土系统的物质层次，冻土系统的物质组成，包括从小至土粒、胶体级的微小颗粒到大至圈层一级的物质。据此，我们划分出冻土系统的分支子系统为（图1）：冻土分散系统、冻土土质系统、冻土层系统、冻土区域系统和冻土圈系统。冻土分散系统主要是由吸附水、离子、偶极子、冰晶和胶体等组成，冻土土质系统主要由土骨架、未冻水、水汽和冰组成；冻土层系统是由日变化层、季节变化层、年变化层组成。

根据冻土层系统可以划分出冻土类型，但还不能作冻土区划，必须进到冻土区域系统才可以作冻土区划，冻土圈系统可以看作是最大一级的冻土区划，是冻土区域总的组合，或者说它是由不同的冻土区域组成的。

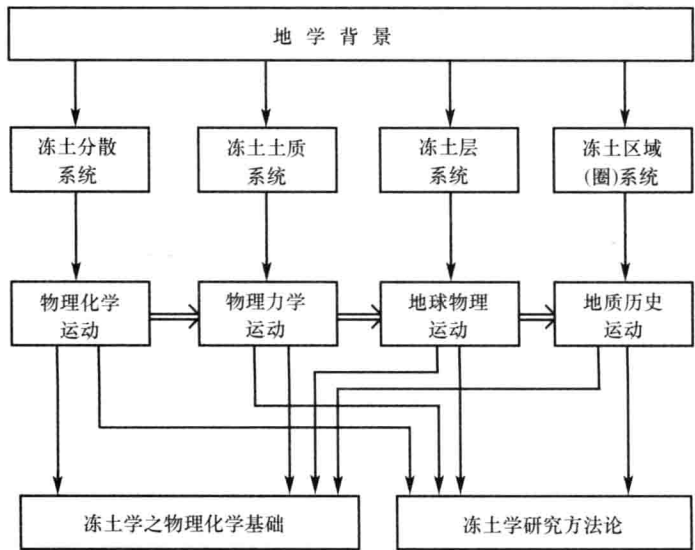


图1 冻土系统及其运动形态示意图

划分系统的依据不同，可以有很多种划分方法，这主要视研究问题的方便情况而论。例如：在有机质（植物根系）参与的情况下，可以划分出冻土土壤系统和冻土生态系统等。若着眼于冻土区的工程建设，可划分一套冻土工程系统等。

如果按照结构划分系统，则在不同的情况下，冻土系统可划分为如下几类：冻土级联系统、过程—响应系统和冻土控制系统等。当我们偏重于讨论冻土系统与环境之间的物质和能量交换规律时，我们把冻土系统当做级联系统进行研究。实际上，冻土学研究的最终目的是为经济建设服务，这就需要讨论人类活动对冻土系统的影响，以及预报冻土系统的未来变化。在这种情况下，我们把冻土系统看作过程——响应系统来进行研究，注重讨论冻土系统的动态方向性、物质与能量的运动、结构与功能的变化，通过冻土系统的现存状态恢复冻土历史和预报冻土的将来变化（冻土预报问题）。但是，我们的任务不仅在于认识客观世界，而更重要的在于改造客观世界。当我们根据冻土系统的运动规律进行冻土系统治理与改良的工作时，我们所接触到的已经是冻土控制系统了。这时，冻土系统过程的某些关键环节，已被人们的智能所控制，这种控制使系统变化按照智能所确定的方式进行。显然，随着冻土学研究在深度和广度上的深入，冻土控制系统的研究将越来越受到重视。

3. 冻土系统的层次结构与学科对应关系

根据系统分析的观点，我们对冻土的研究应该是多层次、多侧面的，冻土系统的层次结构与学科的对对应关系如图2所示。冻土系统的物质层次不同，对应着不同的运动形态，组成冻土的分子、离子和胶体等物质，对应的形态为表面运动、吸附运动和离子交换运动等，属于物理化学问题。这一级物质的运动形态的综合是质量体级物质运动的动

力和原因。质量体级物质的运动形态主要表现为水热综合运动、相变化和机械位移等，对应于物理问题。它们的综合和结果导致冻土现象的生成、演变，亦即剥蚀、搬运、沉积、成岩过程的循环，与此对应的是综合问题。

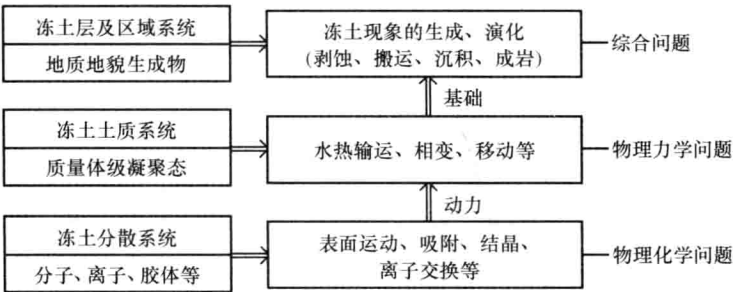


图2 冻土系统的层次结构与学科对应关系

显然，要揭示冻土现象的本质，必须对比冻土现象次一级的运动形态进行研究。现代冻土研究之所以对水热运输和相变化研究得最多就是由于这个原因。同样，要深入揭示水热运输和相变化的本质，必须对离子交换和吸附运动等的规律进行深入研究，这就从客观上决定了冻土学在深度上进展的带头学科是冻土物理化学。

由上面的讨论不难看出，由于冻土系统是一个多方、多层次的开放系统，其内部各元素之间和与环境之间的相互作用十分复杂。利用传统的研究方法对这样复杂的系统进行研究，往往很难揭示其基本规律和把握正确的研究方向，有时甚至不知所措。这就是冻土学在许多方面迟迟不能进入精确定量研究阶段的原因。这里我们采用了系统分析的方法，将冻土系统进行多级分解，即分成许多层次（图1和图2）。这样就指出了冻土学研究中的每一具体问题归属于哪一级子系统，进而采取相对应的研究方法（图2）。比如，要研究冻结过程中热量和水分迁移的规律，首先要弄清楚它属于哪一级子系统。显然它属于冻土土质系统，对应的研究方法为物理学方法，冻土分散系统运动形态的综合为它的动力和原因。这就为每一具体问题的研究指明了途径和关键所在，而且指明了冻土学向深度和广度发展的正确方向。

4. 冻土系统的结构与功能特征

根据系统观点，功能与一定的结构相对应，结构是保证一定功能实现的前提和条件，功能是一定结构的反映，两者对立统一，通过改变结构，达到完善功能的目的，冻土预报和改良正是基于这个道理。反过来说，一定的功能又建造出新的结构。冻土层作为一个自然历史的综合体系，具有许多有别于非冻土的功能。本文仅以冻土层的调节（反馈）功能和趋稳性以及记忆功能为例进行讨论。

首先，我们讨论冻土层的调节（反馈）功能和趋稳性问题。冻土层作为一个整体具有一定的调节功能和趋稳性，如果冻土层瞬息即变，那么我们对冻土层的研究就成为不可思议，并变得毫无意义。从外因上分析，气温变化具有一定的稳定性和规律性，从内因方面考虑，冻土层可自行调节内部结构以适应环境的变化，从而实现一定的调节功能，保证其趋稳性。例如，当寒潮袭来，气温下降，冻土层就以降低土温和增加冻深（水变冰，内部结构改变）来适应这一环境变化。由于冻结深度的增加，成冰作用加强，放出

热量,使地表温度升高,加强冻土层的辐射和蒸发,同时膨胀做功,以达到抑制空气降温的目的。也就是说,冻土层通过调节自身的内部结构来反抗环境的偶然变化,维持其相对稳定性,完成调节和反馈功能。

必须指出,自动调节和反馈功能只有在岩石颗粒、矿物成分等组成一个完整的冻土层系统之后才能实现,而单个组成要素本身是没有的,冻土层系统的这种整体效应存在于组成它的岩石颗粒、矿物成分等组分的相互联系、相互作用之中。而这些组成要素的孤立行为和特征的总和是不能反映冻土系统的这些整体功能的。

现在,我们来讨论冻土层的记忆功能。如前所述,冻土系统的发展变化是一个不可逆的演化过程,给冻土层本身留下“记忆”痕迹。我们可以根据古冻土遗迹,判断古冻土分布,再加上一定的其他条件,就可以比较清楚地了解古冻土形成的地理环境和气候条件,披露气候变化和地理变迁的速度与方向、规模与趋势,更有效地为人类经济建设服务。

我们强调指出,物质等级越高,功能越强。比如前述的冻土层的调节(反馈)功能,只有冻土层作为一个整体才能实现,而使组成它的任何组成成分具有这种功能都是不可思议的。对冻土的记忆功能来说也是这样,物质等级越高,痕迹越多,强度也越大,称其为“富内性”越强。例如,多年冻土就比活动层的记忆痕迹多而强烈,而活动层又比组成它的岩石矿物富内性要强。从本质上讲,这正是结构与功能的对应关系的具体体现。

综上所述,我们得出,要想揭示冻土的发展演变规律,就必须把冻土层作为一个系统去研究,以期达到了解冻土发展的过去,知道其现在,并预报将来,使其向最优化方向进行研究。

四、冻土系统的数学描述

根据冻土的系统特征,我们可用系统的方法描述冻土系统。另外,可以证明,对于冻土的系统描述与用数学描述是等效的(实际上,对任一自然系统的描述都有多种方法:结构描述和功能描述等)。

如前所述,冻土系统是多种元素(物质)杂处共存,状态错综复杂,怎样根据我们所要解决的特定问题,以观测或实验资料及现有的科学理论为依据,提炼出数学模型?首先必须经过一个抽象过程,把环境对冻土系统的影响作为边界条件考虑,并进行一些必要和合理的简化,即可求得合适的数学模型,进而求得我们所要求的量随时间或空间的变化规律。

显然,为了有效地提炼出冻土系统的数学模型,首先应该清楚,在所研究的问题中,哪些是待求其变化规律的量,哪些量是变量;哪些量可以看作常量;哪些是已知和未知的量;如何描述等问题。

从冻土系统研究的实际意义和理论意义上,我们不难确定冻土系统数学模型的目标函数,就是确定其状态参量随时间和空间的变化规律。据热力学理论,在不考虑外电磁场影响的情况下,选择 p (压力)、 v (体积)、 w (含水量)和 T (温度)四个参量描述其状态是恰当的。因此,冻土系统数学模型的目标函数即为 p 、 v 、 w 、 T 四个参量随时间和空间的变化规律。

根据上面的分析，我们提出冻土系统的整体数学模型如下：

$$\begin{bmatrix} P(\tau + d\tau) \\ V(\tau + d\tau) \\ W(\tau + d\tau) \\ T(\tau + d\tau) \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} P(\tau) \\ V(\tau) \\ W(\tau) \\ T(\tau) \end{bmatrix} + D \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}$$

此处， a_1 、 a_2 、 a_3 和 a_4 分别代表气温、降雨量、外营力和地面辐射常数。 A 和 D 均为四阶方阵，它们均由冻土系统的内部结构决定。也就是说，它们随着冻土系统的物质成分和结构构造的不同而变化。

上述物理模型的物理意义为：在 τ 时刻系统处于 $P(\tau)$ 、 $V(\tau)$ 、 $W(\tau)$ 、 $T(\tau)$ 状态，系统受到 a_1 、 a_2 、 a_3 和 a_4 的影响（输入）后，经过 A 和 D 的作用变化到 $\tau + d\tau$ 时刻的 $P(\tau + d\tau)$ 、 $V(\tau + d\tau)$ 、 $W(\tau + d\tau)$ 、 $T(\tau + d\tau)$ 状态。

一般来说， A 和 D 是随着输入的不同在时间序列上有一定差异。在一级近似的情况下，我们可以把它们视为常数矩阵，即假定系统内部的作用不随时间变化，这样的系统叫定常系统。

必须指出，把整个冻土系统模拟成上述模型，是在假定了某一时刻的状态对下一时刻的状态的影响符合线性规律的前提下进行的。如果这一前提得不到满足，则这一模型即失去意义。有关方面的研究表明，这一假设与客观实际基本一致。

为了具体起见，我们以活动层为例进行讨论。

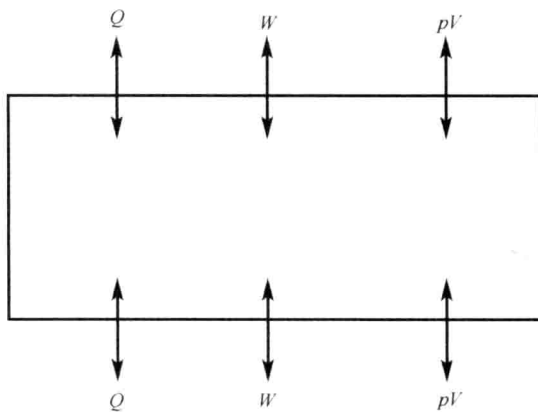


图3 活动层系统示意图

如图3所示，取活动层为研究对象，显然，它是一个开放系统，与环境之间不仅有热量交换，而且还有水分迁移等，下面我们主要就来研究这两方面的规律。

首先，剖析一下该系统的运动形态，主要是热运动、相变化、力学过程和表面运动等。显然，热运动的过程亦即热量的传递过程，包括三种方式：传导、对流和辐射，相变化过程包括未冻水变化、冰晶生长发展和融水过程，力学过程包括水分迁移和重力分布过程，冰晶膨胀及土颗粒润湿变形变位过程，以及液体和重力位移过程，表面过程包括表面能和水势变化以及由此产生的吸附作用等。

众所周知，物质是能量的载体，能量是物质转移的动力。因此能量流和物质流不可分割。活动层中能量的循环过程为能量的交换 $\Rightarrow$ 输运 $\Rightarrow$ 转化 $\Rightarrow$ 周转 $\Rightarrow$ 积累。能量在

该系统中的循环为不可逆循环，循环的结果有一定的能量积累。当积累量为负值时，活动层发展，反之，活动层消退。水分在该系统中的循环与此类似，包括水分的交换⇒迁移⇒相变⇒周转⇒积累，也是一个不可逆过程。

综上所述，以不可逆热力学理论和熵转移规律为依据，我们提出该系统（活动层）中热量和水分输运的如下数学模型（数学上已经证明，这种形式与冻土系统的整体模型是一致的）：

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_1' \frac{\partial^2 t}{\partial x_2^2} + \varepsilon \frac{\rho}{c} \frac{\partial W}{\partial \tau},$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = a_2' \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \varepsilon \frac{\partial t}{\partial \tau}$$

其中：

- t ：土温，
- x ：空间坐标，
- a_1' ：土的导温系数，
- a_2' ：土的势导系数，
- τ ：时间，
- ε ：水变冰的相变准则，
- ρ ：结晶水的热量，
- c ：土的热容量。

在解决某一具体问题，加上特定的环境条件（即边界条件和初始条件）后，即可根据上述数学模型求得活动层中水分迁移和热量转换的规律。

综上所述，不难看出，系统方法突破了传统的冻土学研究方法的局限。传统的研究方法主要是从单一因素着手，而后再行综合，因而很难如实地考虑各个因素的影响。而系统方法把冻土层分割成许多部分，然后再机械相加；同时，系统方法也不是先分析后综合和从部分求整体的方法，而是如实地把冻土层看作现实世界中的一个真实自然体，把它作为与环境有着密切联系的整体去研究，从冻土层与它的组成部分，冻土层与环境之间的物质—能量等的相互联系和制约关系中去揭示和把握冻土层整体性的属性和规律，以利控制其向最优化的方向发展。

五、小结与展望

以上我们从冻土的系统特征出发，通过对冻土层的特殊性质和各种运动形态的剖析，揭示了冻土系统的本质，提出了冻土系统的整体性模型，并以活动层为例进行了详细讨论，进而又提出了活动层中水热综合输运的数学模型。这仅仅是系统方法在冻土研究中的一个应用方面。从中可看出，它所探讨的主要问题是揭示冻土系统本身的规律性。

冻土学是一门多学科边缘的综合性学科，因此，系统的研究方法就显得更为必要。笔者认为，将系统方法应用在冻土研究中时应注意以下几个方面：

（1）尽量利用系统方法，采用新技术，新设备，深入研究冻土系统各种结构和功能的关系，特别要搞清楚它们的热运动和水分迁移的机制和动力源。