

# 自然地理学中的系统理论 (续)

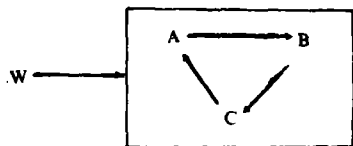
韦玉春 陈发虎 冯兆东编译

**第四级** 在第四级, 过程—形态系统通过控制和联系的方式把一个能量流系统与一组形态变量联结起来, 从而形成了过程—形态系统的特征——自然反馈回路。

Strahler 根据力学和流体力学的基本原理建立了地貌学系统, 进而奠定了自然地理学中过程—形态系统理论发展的基础。此外, 他通过分析外加应力 (重力的、分子的) 的基本性质及其与变形形式 (破裂、层流、紊流) 的关系, 着重强调了过程和形态间的因果联系。地貌学中的每个重要的过程—形态系统都已建立了动力学模式。在自然地理学中, 特别有意义的是跟踪外部重力或流动的应力, 直至它们在大气能源中的起源。这样, 虽然过程—形态系统的基本组分目前还没有应用到模式中, 但这些组分终归是出现了。Strahler 还用实例把地貌过程与开放系统论联系起来, 描述了作为动力系统的河流分级数学模式。高度随时间指数衰减是系统内部储存潜能减少的结果。

Melton 严格按照变量系统理论发展了具有以自然反馈回路实现自调的过程—形态系统概念。在单一的过程—形态系统中, 我们应当探讨基本的因果关系, 其中原因作为一组变量, 结果作为另一组变量。单因果变量可以独立于第二个变量而依赖于第三个变量。例如, 简单的自控回路中有 A、B、C 三个变量, 外部变量 w 代表能量或物质的输入, 不受回路内变量的影响。回路内:

$$B = f_1(A), C = f_2(B), A = f_3(C)$$



箭头由自变量 (原因) 指向因变量 (结果), 故 A 既是原因, 又是结果。

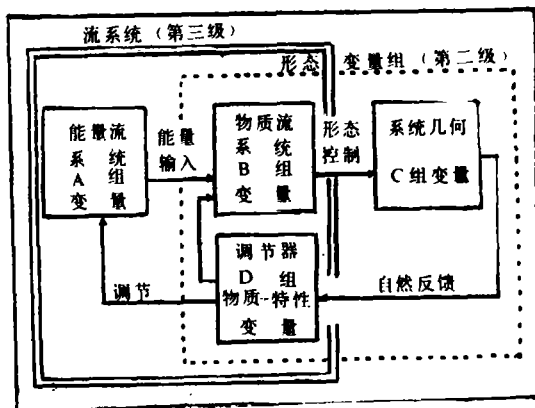


图 5 第四级的过程—形态系统

图 5 是与流动系统和地貌系统组分有关的过程—形态系统的流程图。四组变量各用符号表示。流动系统 (第三级) 由能量流或物质流系统和许多物质特性变量组成。能量流系统为物质流系统的运转提供能量输入, 物质—特性变量在两个流系统中起调节阀的作用。过程—形态系统也包括描述系统形态的 C 组变量, 它们受制于物质流系统, 后者传送并转化物质以实现形态变量所描述的构型。形态变量通过 D 组调控变量的作用, 实现各种自然反馈功能。应注意, 第二级的形态变量只由 B、C、D 组变量组成, 而在该级的系统分析中没有区分原因和结果。

作为回路控制的物质——特性变量在过程—形态系统中起着相当大的作用。例如, 下垫面的反射率决定了通过反射到达的短波能量的比例和以感热形式吸收的比例。渗透能力直接控制着降水到达地表后的变化。当渗透能力大于降水强度时, 地表径

结合是明智的, 以此满足同一地点的不同社会需要。在这种方式中, 一般被接受的“低速运转的轮子”可能形成自然水的净化系统, 如沼泽植物过滤器应看作 21 世纪的“树篱”: 它们是当代景观新的必需功能元件, 且能够同时满足生态功能的需要。

尹德涛译自《Landscape and Urban Planning》, 1990, 18, 265—273, 崔海亭校

流全部进入土壤成为土壤水储存起来, 否则, 形成部分地表径流进入河道。

过程—形态系统中的一个基本问题是: 如何弄清多数自然系统中存在的变量群的量纲变化问题。由于过程变量与形态变量间的特定的函数关系在量纲上常常不统一 (严格地说, 这种函数关系是经验性的), 因而过程系统的数学描述不总是合理的。然而, 一些例子中动力变量和形态变量联合成一个量纲组, 由此可以推出相同量纲的函数。

下面我们给出用量纲分析和无量纲数字来确定过程—形态系统的例子。

Strahler 用两个无量纲的数字来描述坡面侵蚀的过程—形态系统。其中的一个是我们前文提到的几何数; 另一个是Horton数, 是为了纪念著名的水文学家 Robert E. Horton 命名的。Horton 数为:  $Q/K$ , 其中  $Q$  是坡面径流强度, 用通过单位横断面的单位流动面积的体积流动速率表示 ( $LT^{-1}$ );  $K$  是侵蚀比例系数 ( $L^{-1}T$ )。  $Q$  和  $K$  的量纲显然为零。侵蚀比例系数  $K$  定义为:  $K = E/F$ ,  $E$  是单位面积的侵蚀质量流速 ( $ML^{-2}T^{-1}$ );  $F$  是单位面积的侵蚀力 ( $ML^{-1}T^{-2}$ )。注意,  $F$  实际上是侵蚀应力, 它们的量纲相同。从变量  $E$  和  $F$  来看,  $K$  明显从属于物质—特性组(D组)。简而言之,  $K$  是土壤表面侵蚀难易程度的度量, 也就是可蚀性。随着  $K$  增加, 大量物质为均一强度的侵蚀力所侵蚀。

创立完整的形态—过程系统的第一步是引入无量纲的几何数  $HD/S$ , 该数的三个变量都属于 C 组。

完成过程—形态系统, 还需要从动力变量组 (A 组) 中确定能量的输入。到达土壤表面的降水比率与能量的输入速率或功率成正比, 所以选择降水强度 ( $R$ ) 较为适宜 ( $ML^{-2}T^{-1}$ )。此外, 还需要加入调节变量即土壤表面的入渗能力 ( $I$ ), 量纲为  $LT^{-1}$ 。注意  $Q$  和  $I$  都可以看作单位面积的质量流动速率。

至此, 就可以用流程图来表示这个系统 (图 6), 它类似于图 5。我们在 A 组变量的方框内加入降水强度  $R$  和径流强度函数两个物质亚系统: 水流和被侵蚀了的土壤的流动。在沉积物流动通路, 加入  $F$  作为降水到达地表的结果。单一的流亚系统可用以描述水和沉积物, 即在流系统中追踪这些物质的变化; 流系统可定义为某一级别的流域。调节变量 (效应变量)  $I$  影响  $Q$ , 调节器  $K$  影响  $E$ 。水和沉积物流系统作用于地表, 控制着形态变量  $H$ 、 $D$ 、 $S$  及其它地貌因子。当形态变量变化时, 就发生了自然反馈。例如, 坡角  $s$  增大, 垂直落在单位面积

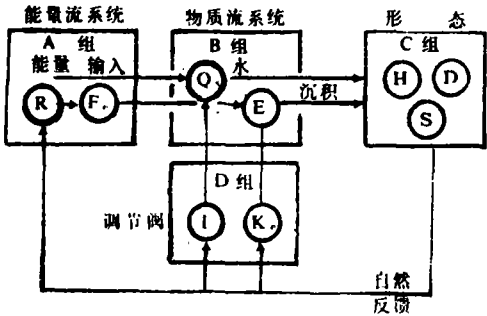


图 6 应用Horton 数和几何数的过程—形态系统例子  
上的降水截留量将减少, 于是  $R$  值也将微弱减小 (这种情形仅适用于斜坡), 侵蚀强度  $E$  和径流强度  $Q$  的增加, 将导致坡度  $s$  和流域密度  $D$  的增加, 转面会通过各自的调节函数  $I$  和  $K$  反馈给  $E$  和  $Q$ 。

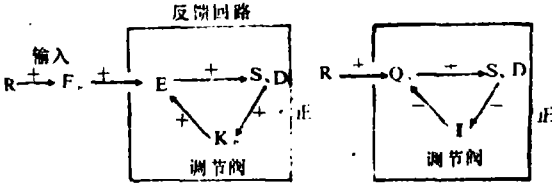


图 7 图 6 所描述的系统反馈环流程图

能量输入变量	物质流变量
$R$ 降水强度 $ML^{-2}T^{-1}$	$E$ 侵蚀强度 $ML^{-2}T^{-1}$
$F$ 侵蚀应力 $ML^{-2}T^{-2}$	$Q$ 坡面径流强度 $ML^{-2}T^{-1}$
形态变量	调节变量
$H$ 高差 $L$	$K$ 侵蚀比例系数 $L^{-1}T$
$D$ 水系密度 $L^{-1}$	$I$ 下渗能力 $ML^{-2}T^{-1}$
$S$ 平均坡度	

我们还可以用另一类图解 (反馈回路图) 来表示这些反馈回路 (图 7)。箭头表示控制作用的方向, 正号表示同时增加或减少, 即处于正相位; 负号表示它们变化的相位相反, 即一个增加时, 另一个减少。回路上部所有的符号均为正, 是一个自我加强过程。下部两负一正, 代表的反馈仍然是正的 (只有在三个符号全为负时, 才为负反馈, 见下例)。

仅考虑我们选定的变量, 正反馈效应将导致径流强度和侵蚀强度不断增加。然而, 最终由于物质—特性变量的变化, 一个新的稳态将重新形成, 此时物质—特性变量保持不变。Strahler 把河流侵蚀系统中的这些调节作用称为河流密度的转化。图 8 是森林覆盖区较大的一级流域 (低水系密度) 向大量

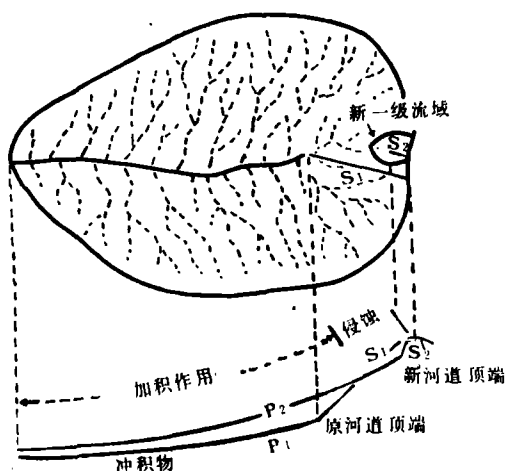


图8 影响一级排水流域的灾变性水系密度转化

的小一级流域和更高级流域的转化,转化导致河网密度 $D$ 和坡度 $s$ 增加,高差 $H$ 减小,从而使几何数 $HD/S$ 改变,正如我们在表2提到的那样。Strahler用田纳西州Duckton地区作为河网密度转化的例子。当该区森林为冶炼厂排出的 $SO_2$ 气体毁坏后,具有中—低河网密度的森林覆盖区变成了劣地。

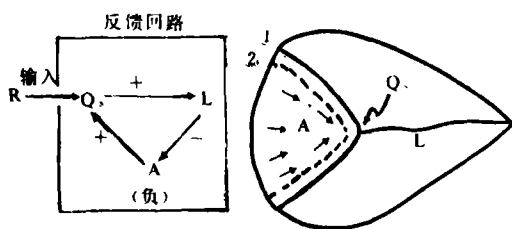


图9 具有反馈回路的自控亚系统

- R 降水强度,  $ML^{-2}T^{-1}$   
 Q, 来自面积A的流量,  $MT^{-1}$   
 A 对河源起作用的区域,  $L^2$   
 L 一级河道的长度, L

Melton给出了一个具有负反馈回路的系统自调实例(图9)。为描述方便,我们对他的模式进行了简化。例子用的小流域如图8所示。降水强度 $R$ 是系统动力,通过控制坡面径流强度( $Q_s$ )驱动反馈回路。形态变量是一级河道的长度 $L$ 和斜坡面积 $A$ ,影响到达该河道河源的水流。 $Q_s$ 控制着 $L$ ;  $L$ 随 $Q$ 而增加(正反馈),转而控制着 $A$ ,因为当 $L$ 增加时,河道上游起作用的面积 $A$ 肯定减少(负反

馈)。由于坡脚的径流强度直接取决于径流供给面积,故 $A$ 增大又必将导致径流强度增大,在这个自然反馈回路中, $L$ 至 $A$ 箭头处的负号代表自调过程,它增加了系统的稳定性,并使之趋向于稳态。

Krumbein曾用过程—响应模式详细描述了海岸现象的过程—形态系统。图9是修改后的过程—形态模式图。用以描述过程—响应模式的数学模式是多元回归方程,呈如下形式:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

$y$ 是形态变量(底坡)。 $x_k$ 是自变量,包括与波能输入有关的变量。模型还包括有自控机制(反馈)。作者做了如下说明:由于复合相关的存在,区分纯原因和纯结果因素是很困难的。这样,虽可以认为过程—响应模型是因果模型,但当变量间高度相关时,自变量与因变量的差别部分已不再是传统的那样了。

Krumbein和Graybill用的回归模型是经验性的,因为其中的变量量纲很不统一,而且没有让它们统一的意思。作者也自称他们的模型为一种经验统计模型。他们认为:“海岸工程学家和地质学家感兴趣的是确定造成结构的自然动力,而不是纯经验动力。统计分析本身确定了较为重要的数学变量,但为了决定系数的真正物理含义,还要进行其它分析”。在我们前文提出量纲定义分析之前,Krumbein和Graybill提出了可供选择的另一种过程—响应系统,该系统由三块组成:左块是一组初始控制因素,中块是能量变量,右块是响应变量。一般来讲,该模式类似于图8。

正如我们在第二级形态变量组中指出的,多元相关分析是分析过程—形态系统的有效手段。Melton根据相关系列绘制了流域系统图,其中的每一类表示一个变量组。这样,他确定出下列变量组:下渗—径流组(B组,物质流变量),有效水分—植被组(D组,物质—特性变量)、水系密度—粗糙度组(C组,形态变量)和土壤强度组(D组)。事实上,它们都可归入形态变量组,因为Melton作野外研究时,尚不能测定诸如漫流侵蚀所耗散的能量、侵蚀应力的大小等A组变量。Melton进一步用解释来建立模式,其中引入了相关过程概念,因而进入了系统分析的第四级。特别要指出的是,Melton引入了降雨强度—历时变量,而它不属于野外直接观测的形态变量。降雨强度虽不是A组的动力变量,但直接与输入系统中的能量有关。由于缺少野外观测数据,Melton无法对这些变量作出定量评价。

动力变量组决定的过程控制可仅由一组形态变

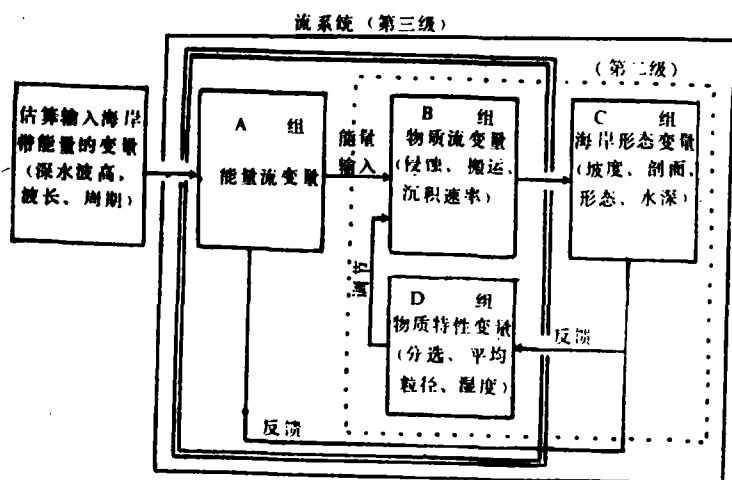


图 10 海岸单位断面的过程—形态亚系统及其变量

量的相关分析推出, 这样的类推应视为假说。两个形态变量的正负高度相关, 不同于按因果关系做出的物理解释。研究者只允许建立起假说性物理机理解释, 通过这种机理, 一个动力变量(如边界剪切力)可以引起物质流动和位移, 形成物质的特定形态构型。实际上, 因果环相当复杂, 可以形成自调回路, 也可以影响物质—特性变量。过程—形态模式来自于可测变量的相关性构型, 强调自然过程比解释这些过程更有用处。

**第五级** 第五级系统是系统活动最强、最复杂的系统, 由控制反馈机理来调节。控制反馈是存在于生物学、心理学和社会学领域中的一种自调系统。有的定义中(韦伯第三版新国际辞典), 反馈是“构成信息的机械、系统或过程中部分输出的再输入……该信息可给出预期运转与实际运转的差异, 并进行自我纠正……”。这里, 我们只在概念上来应用反馈。反馈存在于神经系统(动物)或电子机械系统中。控制反馈原理与无机系统和第三、四级植物中的自调完全不同, 后者只涉及到自然反馈, 因为它不存在必需的信息传输机制。

控制反馈调节的系统与第三、四级系统中人类干扰的简单形式不同。人类的干扰可导致系统运转的不良变化, 而这, 并非是我们头脑中的任何机构输出的。例如, 氟氯碳进入平流层后引起臭氧层的破坏, 造成平流层能量失去平衡。变化本身是由臭氧浓度的减小引起的——这是一种自然变化, 与输出到输入的信息反馈没有关系。

上例还可以下面方式转化成控制反馈: (1)大气平流层中臭氧浓度的减小被传感器检测到, 并报告给国家自然科学院NAS; (2)NAS委员会认

为这种变化是由喷射氟氯碳引起的; (3)据委员会的报告, HEW命令禁止出售氟氯碳喷雾器; (4)喷射物的减少逐渐影响到平流层, 使那里的臭氧浓度恢复到原来水平。

动物生态系统, 特别是人类生态系统中见到的那些系统, 是地理学家感兴趣的控制反馈系统。在动物生态系统中, 通过动物神经系统的响应或多或少地控制了它的运转, 以维持或改变周围的自然环境(地理学家对于动物个体本身的生理调节反馈不很感兴趣)。人类,

作为高级智能动物, 基于各种感觉机制从整个生态系统中所获得的信息, 控制着人类生态系统的运转, 其中包括自然系统和社会系统运转的所有范畴。作为决策者, 人类从各种过程—响应系统的输出中获取信息, 并以此为依据, 按照维持系统和加强其稳定性进行的某些输出目的, 选择适当的系统输入调节。这类反馈系统将人文地理学和自然地理学联系起来, 是地理学家非常感兴趣的目标。

充分发展的农业生态系统是控制反馈系统的一个较好事例, 它在特定的地区代替了自然生态系统而且适应当地的自然环境。据输出信息(作物产量、病虫损失、产品花费等), 管理人员可以改变进入系统的水分(灌溉)、能量(肥料、燃料)、化学药品(除草剂)及劳动力等因子。

**自然地理学的范畴** 按照五级系统的分类观点, 自然地理学研究的内容和范畴是什么呢? 自然地理学研究前四个级别的系统, 并且必然包括无机界(大气圈、水圈、岩石圈)的过程—形态系统。自然地理学也必须包含由动物和植物组成的生态系统, 因为它们对系统中的物质流动和能量流动极为重要。当人类活动导致系统产生不良运转时, 自然地理学还应当包括进入系统功能的人类输入。第五级系统已超出了自然地理学的正常范围, 其原因在于, 由控制反馈调节的过程—形态系统的管理是把文化直觉(cultural institution)作为其主要规则的。另一方面, 第五级系统如果没有自然地理学作为亚系统是无法运转的。当然, 也可以想象一个等六级系统, 其中只有社会和文化过程运转在一个完全不受环境决定论、或然论影响的封闭系统中, 但这样一种系统似乎难以真正存在。