

地貌学的现代研究重点和未来

Dale F. Ritter

一、现代地貌学的重点 在Davis的地貌学影响正在衰退和过程地貌学正在兴起期间,地貌学家们所缺少的正是能够去改变研究重点和思维结构的一种明确的理由,或者是能说明那些在指导进行的各种过程研究之间的共同结合点的范例。

过程地貌学的哲学思想框架并非草率地建立起来的。相反,过程地貌学中的各种基本前提是在几十年的研究期间逐渐占据了其在理论体系中的位置的。过程地貌学转而兴起的一个原因可能是二次世界大战在军队中服役的许多地貌学家一直是致力于实用的科学研究背景下(Sevon and Others, 1983; Tinkler, 1985)。在战争期间经常涉及的地球表面的问题集中于地貌过程是如何进行的,而不是地形是什么时期发育的。战后,地貌学家们继续沿此方向进行他们的此类研究,这也许为地貌学家研究重点的变化提供了推动力,但这种推进往往是与立足于地貌发育模式研究基础的挫折相伴而发展,因为这些研究对各种地貌现象的解释总是引起争议(Bishop, 1980; Linkler, 1985),而很少在地学中产生什么实用价值。

在此短短的讨论中需要涉及的研究论文实在太多,大量的研究为建立一个独立的过程地貌学学科分支提供了雄厚的理论依据。表1所列的只是我个人对过程—调整地貌学的理论结构发展过程所作的评论性的阶段划分和说明。此表并非打算把所有的有关研究均包括进去,而是通过这些挑选出来的例证可以说明过程地貌学的理论基础在三十多年时间里是如何逐渐发展起来的。在研究方向转变的初期阶段,有两篇文章的这种观点是很值得重视的(Horton, 1945; Strahler, 1952),它们发表在美国地质学会会报上(Geological society of Ame-

需要减少35%的抽水量时,即使那个区三分之一的水井已受污染,其余的水井也能够满足需水量。然而沿特拉华河在临界区以外的那一地区情况就截然不同了。在那里作为一种备选水源正考虑挖掘大量靠河水渗透回灌的附加水井。由于这一地区处在PRM含水层的补给区内,附近的大污染源的污染物很可能会渗透到水井里来。即使先前地下水的流向不同,这些新井也几乎肯定会将污染物抽吸过来。因此,必须采取特殊措施以防挥发性有机物侵蚀。由于污染体的侵蚀,甚至有必要关闭新挖掘的水井。出于这个原因,似乎更有必要设计处理特拉华河水以做必需的备选供水源。

结 论 要成功地恢复一个因超采而枯竭的含水层需要做到以下几点:(1)建立州的法定权威机构,负责管理其供水,并调整或削减以前规定的分配水量;(2)先进的给水抽取分配制度;(3)详细的水文地质知识,包括对含水层可靠产水量的估计;(4)进行可行性研究,以决定未来需水量的大小,以及最佳供水措施;(5)决定如何在不同用水户之间分摊必要的削减量,包括那些确实无法同新的供水源相连接的用水户;(6)对于选择备选供水源做出决定;(7)或者准备接受那些因水费率的必要提高而受到影响的人们的反对和批评;或者为了改善资金情况争取必须的政府投资。

邹美林译自《Water Resources Bulletin》, Vol. 23, No. 6, 薛云长校

表1 说明过程—调整河流地貌学结构发展的精选论文

作 者	年代	意 义
Horton	1945	在一个区域利用水文物理学原理说明了河流网的形成和发展,进行了物理学参数的统计分析。
Strahler	1952	建议地貌过程可以作为发生在开放系统中的应力—应变现象的作用进行研究。第一次试图为过程地貌学提供一个物理学的范例。
Leopold and Maddock	1953	水力几何学分析和河流的各种参数之间平衡的论证。
Chorley	1962	强调了在地貌学中开放系统探讨的重要性,它着重强调了过程和地貌形式之间调正发展的趋向。重点突出了对于随时间发展非渐进的地貌景观变化的开放系统分析的实用性。
Schumm and Lichty	1965	为地貌分析引进了一个时间框架,并着重论述了在河流作用研究中时间的重要性。
Schumm	1969	试图说明河流在流量和泥沙量变化时是如何相应变化的。
Schumm	1973	介绍了在河流系统中的临界值概念和复杂响应。

rica Bulletin)。

在1945年, R. E. Horton 利用水文物理学原理, 观察研究了渗透、径流和坡面特征诸因素如何结合着早期的河道变化一起发展变化, 而最终形成一个有规律的流域水文网的, 这种水文网是可以通过统计来分析研究的。因此这篇文章看来也是进行数量化地貌学研究的最早尝试。尽管他关于坡面水流的分析后来证明在湿润气候条件下是不适合的, 但Horton的研究工作可能是继Gilbert之后将区域性现象作为物理地貌学的部分进行研究的第一次最明确的努力。事实上, Horton 已经提出地貌发育不会进行到一种Davis氏提出的准平原, 相反, 水文物理学规律对河流和沟谷的发展来说需要有一个明确的终点, 这就要求在区域景观中的河间地带需保留有丘陵或分水岭。

A. N. Strahler (1952) 对地质学家们所表明的则是采用动力学基础为手段对地貌学进行研究。在Strahler的动力学模式中, 地貌过程类似于作用于不同地质物质上并产生特征各异的应变或破裂的应力, 如同破裂是对应力表现出的反应, 在此最终表达应力与应变之间的调节的是风化作用、侵蚀、搬运和沉积等机制。他进一步提出, 这种动力学的探讨, 需要将地貌过程置于开放系统的条件下来进行分析, 这种开放系统趋向于取得一种稳定状况和自动调整的条件, 这些系统和过程机制可以表达为依靠观察数据的推理和经验分析而建立起的数学模型。Strahler的研究清楚地说明了地貌学从历史学角度到物理学的巨大转变。它是第一次真正试图为地貌过程的研究建立起一个哲学思想框架的代表。因此他的论文当然地被引以为过程地貌学作为一个明确的学科分支的开端。

过程分析现在已成熟到足以回答我们一再涉及的一个评论性问题, 即关于过程是如何决定了地形的特有特征的? 实际上, 许多地貌学家正在认识到在更大尺度上的地形和地貌过程之间的关系, 并不是那种代表我们早期试图理解地貌过程时典型化了的微型空间研究。例如, 对某些地形反映了一种地貌过程和构造控制(也可以是大地构造历史)之间的调节的认识, 就是一个相对新的分支学科“构造地貌学”的基础。这种认识已经深深扎根于现代地貌学的实践之中, 并且站到了无限的地质学实际应用的边缘(Bull and McFadden, 1977; Keller

and others, 1982; Colman and Watson, 1983; Bull, 1984), 并将过程地貌学研究推进到一个甚至更大的尺度。不断扩大的对过程地貌的理解已经帮助行星地质学提供了一个坚实的科学基础。很多外星体的地质解释很大程度上依赖于表面地形的解释。因此, 随之而来的则是合理的解释要求对过程和形式之间发生的关系有更为详细的理解。空间技术是使用地球上过程—形式的概念在相反的方向开展工作, 这种概念用一般的陆地调查恐怕是不容易得出的。正进行的致力于火星探索研究的NASA 项目已经在揭示地球过程和地形的变化方面作出了极有价值的研究, 包括风力作用, 灾害性的洪水作用, 热带岩溶, 基蚀作用, 块体移动, 水系和沟谷演化及火山地貌景观 (详见Sharp, 1980; Baker, 1981, 1982)。由这项工程的研究所发表的大量论文为过程的比较分析建立了牢固的基础。另外, 陆地卫星照片和其它空间运载器技术使我们得以直接观察地球表面, 使得区域基础上的过程和地形的关系的解释更具有说服力。然而, 认为地貌学朝着过程分析的方向转变就意味着历史地貌学象现在所占有的学科地位已经被抛弃的看法是不正确的。真理高于一切, 地形就是地壳运动和气候作用的表现, 但更重要的是反映了幕式构造活动的爆发和短期性气候突变的影响。事实上我们所看到的大部分的现代地形都是受到第四纪气候变化或地壳运动以及二者共同作用的控制而调整形成的。象这些事件代表了地质历史的重要组成部分, 就此而言, 当然应受到地貌学家们的重视。地形特征的研究结合着土壤研究、孢粉学和年代测定技术, 一直被用来解释说明晚更新世和全新世历史, 加深了我们对受到构造活动或气候改变的影响、过程机制是如何相应变化的理解。这一点看来是很清楚了, 那就是历史地貌学的主要目标已从一种推理的循环时间周期的地貌演化的研究变成了一种类似于Gilbrt强调的非平衡的、不时打断的事件的分析。

二、地貌学未来发展方向展望 假如我们理解了什么是今天的地貌学及它是如何演变至此的, 那就很自然地会问到: 这个学科未来能向哪儿发展呢? 每一个地貌学家都可以从不同的方面展望未来。事实上没有哪一个人能对地貌学的未来绘出一张清楚的蓝图, 也没有人会采纳对地貌学未来发展所预测的所有不同的观点。因此以下所述, 毫无疑问是片面的, 只不过是代表了我自己从以上所述的观点出发, 对地貌学未来的认识。

Tinkler (1985) 提出了一个非常使人信服的理由, 认为计算机技术的兴起, 已到了掀起创立一个新地貌学理论的浪潮边缘。当然, 其理论基础是计算机可以假设所有可能的控制地貌系统的环境因素, 并揭示在地貌发育中所有存在的具控制作用的间断。因此这样就可以产生相当大一批模拟的模型, 这些模型对地貌发育的模拟可能会产生比短周期内取得的数据或者是那些曲解了电子技术的地貌学家所想象出来的更加接近实际的结果。我同意Tinkler的观点, 这些计算机诞生的模型是必然的。用以产生这些模型的工具是可得到的, 期待它们不被用于这方面的努力也是不现实的。有一点很重要, 即地貌学家要利用计算机去发展他们对具重要意义的、令人关注的问题的洞察和理解。计算机所产生的关于旋回期地貌演化的理论仍然是地形演化的理论, 而且过份强调演化理论这个目标, 可能将会使我们如同在Davis时代一样缺乏科学性。下一代地貌学家将会利用计算机技术的功能去致力于解决不同类型的地貌问题并指导不同类型的地貌分析。

如果地貌学要继续保持一个具有活力的地球科学分支的话, 那么在这个学科中将来进行更深入地研究, 为地质学家和地球物理学家们提供有用的信息是它必须承担的义务。这个目的可以由几个途径来达到。首先, 地质学家们应当更加深刻地认识到许多大的地壳表面系统的特征是板块构造的直接反映, 也就是说地貌的格局和过程机制是受到板块构造类型制约的。每一种特殊类型的板块边界就可能产生一个独有的地表过程和独特的地形和地貌发育历史的

组合(例如,抬升和侵蚀速率,阶地序列,区域性剥蚀面,上升和翘起的海岸线特征等)。因此,地貌分析与地球物理和地质资料相结合,在确定板块边界条件和认识作用力如何在这些边界上进行作用的方面是非常有用的。地貌学与板块构造学相结合的研究实际上已经开始(Judson, 1975; Oliier, 1979; Gilpin and others, 1981; Strecker and others, 1984; Tosdal and others, 1984; Taylor and others, 1985)但是还要期待于未来更深入的研究。

第二,地貌学家们必须重视这个事实:包含在地层记录中的细微变化都反映了物源区产生的沉积物类型的变化,或者是由基准面下降或地壳运动产生的侵蚀作用引起的陆生沉积的间断情况(Kraus and Middleton, 1987)。在这两种情况下有一点十分重要,那就是对保存在地层记录中的侵蚀作用或沉积事件的证据只注意通过地貌学的剖析,但却忽视了基本的气候或大地构造原因。

尽管地质学家们一直是利用构造活动或气候条件去说明沉积层序的变化,或重建古地理,但是作为对气候变化或构造活动的反映,地貌所起的屏幕作用如何能为我们设想解释这些跳跃性的间断更容易、更正确呢?在这方面还有太多的问题一直在困扰着我们。事实是在我们弄清楚更多的地貌反应的中间状态之前,是不能有把握地将在沉积层序中的突然变化归于某种特殊的地质原因的。实际上,沉积层序的突然变化正是反映了地貌系统之内的临界变化,复杂响应和幕式变化动态。我们也仅仅是刚开始了解在一个沉积序列中这些现象是怎样反映出来的(Schumm, 1981)。因此地貌学家们必须提供某些信息来连接保存于地层记录中的现象与产生这些记录的地质事件两者之间的脱漏。

尽管提出了上述基本的研究方向,还有大量的其它研究课题可供地貌学家们去努力。因此与其试图去考虑每一种研究方向的可能性,倒不如对一个例子进行简要的讨论或许可以概括出将来可能出现的各种研究活动。在此之所以要选择这个潜在的研究方向,是因为它在很大范围内既有理论研究意义又有实践应用价值;不仅如此,沿此研究方向已经完成的工作表明其研究中包含着物理过程与历史演化两个组成部分。所以我们一直在寻求的地貌学的统一体可能在此类或与其类似的努力中而最终得到。

地形稳定性,临界值,和突发事件的有效性。

地质学家和工程技术人员们越来越深刻地认识到在环境规划中充分考虑和确定不同时期和各种空间尺度的地貌灾害是非常重要的。地貌灾害可以定义为破坏地形稳定性并产生危害地表生物后果的任何变化(Chorley and others, 1984)由于稳定的地形是那些尚未受到地貌灾害威胁的部分(Scheidegger, 1975),所以确定地貌灾害直接联系到地形稳定性的预测。

判定地貌灾害可以涉及社会各领域的利害,诸如(1)坡地和河道的稳定性关系到公路和桥梁的修建。(2)河网发展影响到矿区的开拓。(3)危害性废弃物的储放。由于各种潜在的危害依其所在地区不同(相对于当地的区域尺度)和地形稳定性所必须保持的时间长度不同而不同,所以每一方面的地貌灾害研究都有其特殊方面。然而在大多数情况下预测灾害的方法是相似的,因为确定危害需要直接应用和涉及到地貌过程的知识,特别是那些地貌过程受到构造活动、气候变化或者人类活动的影响时,可能在变化速率或特征上会发生怎样的变化方面。例如,在河流系统中各种控制因素的变化会导致河流径流或沉积量的变化,这些变化往往是打破平衡状态的临界阶段到来的前兆,需要河流地貌过程或地形发生相应变化(表2)。所以,判别一种危害,包括了地貌过程和它们在所涉及区域内作用速率的系统性评估。水文

表2 由气候变化、构造作用或人类活动引起的径流和沉积量的预期变化

气候变化									
变 量	a .	干旱到半干旱	半干旱到半湿润	半湿润到湿润	非冰川	非冰川	无季节		
	b .	半干旱到干旱	半湿润到半干旱	湿润到半湿润	到冰川	到冰缘	性变化		
径 流	a .	+	+	+	+	+	-		
	b .	-	-	-					
沉积量	a .	+	-	-	+	+	+		
	b .	-	+	+					
构造作用									
变 量	上 游		所在点		下 游				
	上升	下降	上升	下降	上升	下降			
径 流	○	○	○	○	○	○			
沉积量	+	-	+	+	○	○			
土地利用与植被变化									
变 量	火 烧	扩大发展 农业	砍伐林木	修建水库		开采砂矿		疏浚河道	
				上游	下游	上游	下游	上游	下游
径 流	+	+	+	-	○	○	○	+	○
沉积量	+	+	+	-	○	-或+	○	+	○

标记: (+, -, ○) 分别表示增加, 减少或无变化。数据采用自Schumm 等, 1982

表3 可能影响新墨西哥州西北部铀矿尾矿处置点的地貌危害及地貌过程的速率

地貌危害	物质性质		地貌过程速率	
	(岩性)		现在历史时期 (~ 200Yr)	全新世 (200, < 10,000Yr) 更新世 (10,000Yr)
流水作用				
A. 河网				
1. 侵蚀: a. 更生作用	基岩		0.3 ~ 0.5cm/Yr	0.01 ~ 0.01cm/Yr
b. 延长作用	冲积物	高达 50.0cm/Yr	高达 0.2cm/Yr	
2. 沉积: (谷底)	冲积物	0.5cm/Yr	0.25 ~ 0.30cm/Yr	
3. 模型变化		在谷底的水网发育	增加了水网密度	流域范围缩小
B. 岸坡				
1. 侵蚀: a. 垂直冲刷	砂岩/冲积砂层	0.3 ~ 2.5cm/Yr		
	粘土岩/页岩, 基岩	0.1 ~ 0.5cm/Yr	0.3 ~ 0.5cm/Yr	
b. 冲沟/管状冲刷 (侧扩展)	冲积物	高达 10.5m/Yr		
C. 河槽				
1. 侵蚀: a. 下切作用	冲积物	6.5 ~ 50.0cm/Yr	0.25 ~ 0.15cm/Yr	
b. 沟头切割	冲积物	1.0 ~ 12.5cm/Yr		
c. 侵蚀作用	冲积物	1.5 ~ 8.0cm/Yr		
2. 沉积: a. 河底沉积		1.0 ~ 30.0cm/Yr	0.025 ~ 0.100cm/Yr	
b. 河岸冲积层		1.5 ~ 6.0 m/Yr		
3. 河型变化: a. 曲流发展	冲积物	2.0 ~ 8.0m/Yr		
b. 裁弯取直	冲积物	3每50Yr		
4. 形态变化: a. 完整河型变化		片状曲流		
b. 河槽宽—深比		减小	减小	

注: 引自Wells 和Gardner, 1985

状态（洪水频率和水量）通常是分析中一个重要的组成部分。通常都是将统计数据列成表，为预测地形稳定性（表 3）和在此时间阶段内最可能存在的灾害类型提供基础依据（图 1）。

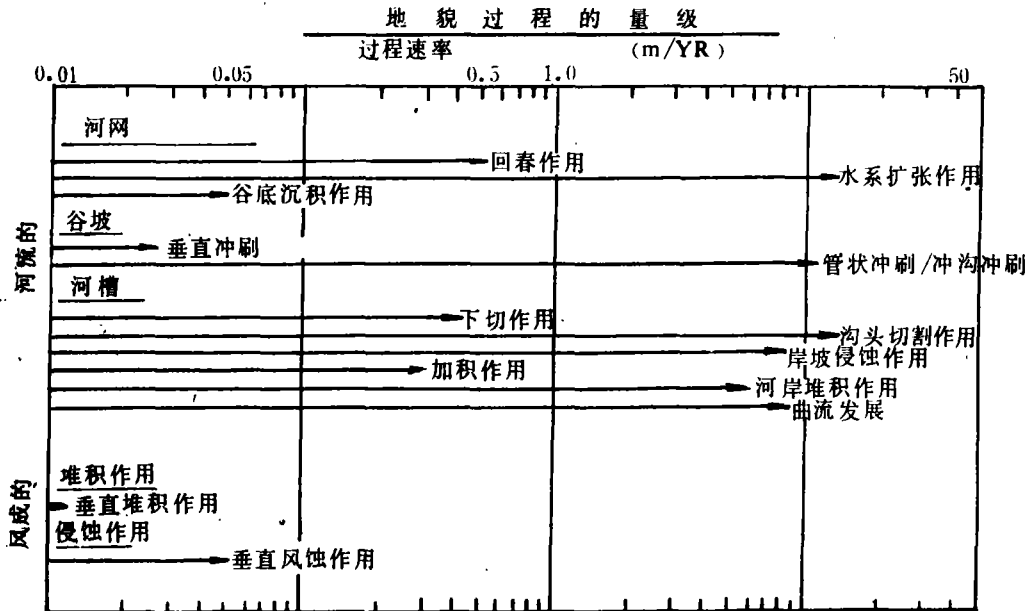


图 1 不同量级的地貌过程对新墨西哥州西北部铀矿的尾矿处置点造成的危害，最高速率的过程具有最大威胁。（引自 Wells 和 Gardner, 1985）

地形的长期稳定（ ≥ 1000 年）对确定高放射性废弃物和矿床尾渣的安全储放是个关键的因素。事实上，地貌稳定性的研究指导这方面决策的工作早已经开展（Schumm and others, 1982; Wells and Gardner, 1985），而且在1987年美国地质学会全国会议—专门工作委员会（Site Characterization for High-Level Nuclear Waste Disposal; R.G. Crag, organizer）。组织者 R. G. Craig 已论证了对比课题继续深入研究的长远利益。然而，必须认识到超越数千年的稳定性预测决不能完全依赖于现代的地貌过程速率测量的基础上，这一点是非常重要的。相反，这种预测分析需要对考虑选择为储藏地点的区域地貌演变历史有极为详细的了解。实际上，能确定全新世和更新世期间的地貌发育时间顺序就为估计地貌长周期过程变化速率和由于构造运动和（或者）气候变化而造成的系统性的突变反应提供了必需的联系。

地貌灾害的确定很显然是建立于某种假设基础上的，这种假定就是我们已知在什么条件下某种地貌过程或地形将会发生显著变化，也就是说，在所有系统的各种时间、空间尺度的地貌临界值。（Schumm, 1973; Coates and vitek, 1980）都是可以预报的。这种假设就现在而言是不合理的，因此在我们能够认识到在临界的概念中长期潜在的平静期以前就需要努力作较多的研究。

在所有的地貌系统中都存在有临界值，但是我们还不能肯定在什么情况下超越了临界值就会产生破坏了地貌稳定性的响应。例如我们可以问一场骤降的或灾害性的降雨和迳流事件是否能引起对河流过程或地貌的持续影响？这样的一些事件一般会产生河床的冲刷和河岸的

侵蚀或河谷边坡的崩塌，而是我们也不能肯定是否越过这些临界值就预示着剥蚀均衡期的某个事件的发生或是地貌的破坏。我们预测的能力受到妨碍，因为我们不了解在一个破坏性事件之后，对河床和坡地恢复它们的原来特征所需时间期内地貌事件的有效作用(Wolman and Gerson 的“恢复时间”，1978)。在某些情况下，恢复的时间可能很短暂，足以消除在另外同等重大的事件能够发生之前的临界值交叉点的影响。因此，这个地貌系统将不会经历长周期的变化，由于它将回复到其起始条件。较长的恢复时间可能产生相反的结果。遗憾的是一个流域系统的不同组成部分并非在同样的临界时刻，因此有效作用的分析看起来更为复杂，例如，Anderson and Calver (1977) 发现，在英格兰西南部Cannon Hill 河谷的河道下蚀作用有可能会持续到比下次深切作用的洪水再发生的间隔期更长的时间；然而在同一事件中形成的谷坡上的侵蚀崖会很快被破坏消失。显然，不同地貌组成部分被同一事件分割，而且对所包含的临界交叉点的反应在对于地貌的影响是短暂的或是持久的方面也是各不相同的。

有效作用的分析是更为复杂的，因为统计意义上的极端事件的重现期可能并没有同等量级的事件之间的实际时间间隔更重要。事实上，现在研究表明一系列具相似量级的事件可能会产生不同的地貌表现，因为当第二次事件发生时，整个系统还没有从第一次事件的影响中完全恢复过来，因此当第二次事件发生时是处在不同的环境条件 (Newson, 1980; Kochel, and others, 1987)。上述所包含的复杂性促使 Beven (1981) 提出地貌作用的有效性及其对地形稳定性的控制，部分地取决于各种不同事件发生的顺序和各同等量级事件之间的间隔时间。Beven 并提出临界值限制其本身的可能性也许并不是持久不变的，而是很容易随时间发生变化的 (图 2)。

附加在围绕着临界值与有效性的时间上的问题是：在地球表面系统的反映可能被存在于地貌环境中的空间特征强烈控制着，这种认识正在不断增长。在最近一次美国地质学会年会上发表的主席演讲中，M. G. Wolman 重新提出 Gilbert 的理论即构造 (Structure) (广义的) 对各等级的地貌均具有普遍的意义，并为之注入新的活力，另外他还强调指出地球表面的构造控制单元的规模并非是随机的，构造边界之间的相互作用和外力过程规定了这些地貌的尺度。因此不同规模的地貌组合可能会存在于任何区域性的地貌景观之内，而且对这些地貌可以根据它们的等级性质进行分析。

空间分析有助于空间技术。因为巨大的拱形的地球表面可以视为一个单个的构造整体 (Hayden, 1985)。还提供了—个难得的机会把巨型地貌特征和各种板块构造条件结合起来，

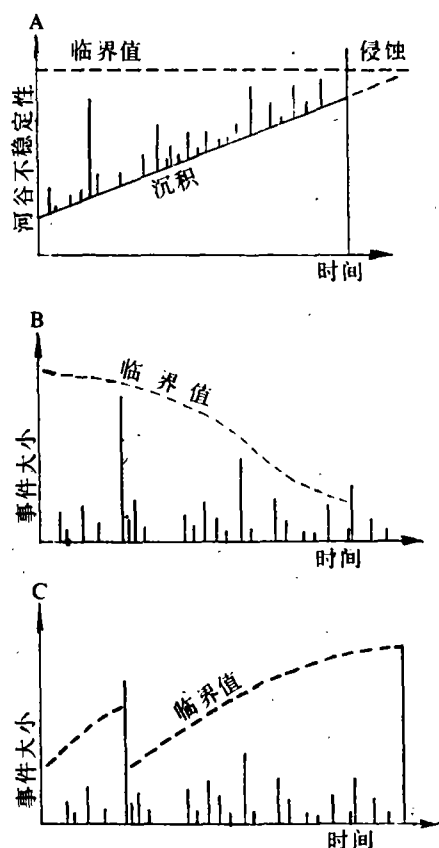


图 2 地貌临界值的不同概念

- (A) 随时间发展不变化的临界值 (据 Schumm, 1973)
- (B) 随时间发展持续减小的临界值
- (C) 随时间发展不断增大的临界值 (引自 Beven, 1981)

全球化石燃料燃烧生成的 NO_x 和 SO_x 排放量地理分布的变化(1966—1980)

[美] S. Hameed, J. Dignon

一、统计模型 为了估计燃烧过程中气体污染物的排放量,我们假定排放量是化石燃料耗量的某个函数。各国的燃料耗量都可以从联合国现成的资料(联合国,1981)中查得,而大多数经济合作和发展组织成员国从1966年至今都有非常有用的污染物排放资料。利用这些数据资料,我们发现在相同的排放控制下,排放量可由以下最小二乘方程式很好地表示:

$y = bx + a$ (1a), 这里, x 表示特定年份燃料耗量, y 是应特定年份排放量的预测值。以下我们将采用美国和经济合作与发展组织中其它一些 NO_x 和 SO_x 年排放量较大的国家的资料,

来得到一个与(1a)式类似的方程。当然,也需要对那些燃料耗量相当小的国家进行污染物排放量的估计。对后者的更实际的估计是,令(1a)式中 $a = 0$ 得到的。基于这个原因,将(1a)式修改成以下形式,该形式表示没有燃料消耗也就没有污染物排放。 $y = b'x$ (1b)。

这一假定可以通过对每一回归方程假设: $H_0: a \neq 0$ 进行 t — 检验来证实。如果这一假设不成立,于是, a 和 0 间没有显著差异,并且预报数据与原始数据拟合得很好。

对污染物排放量实施控制会对这种统计关系产生影响。也就是说,我们得到的经验关系式(1a)或(1b)仅限于对排放量控制水平较均一的一个区域和时段内成立。因而,有必要将全球分为具有准均一控制水平的几个区域和时段,并且分别寻找燃料耗量与污染物排放量之间的关系。自1970年大气清洁法修正案颁布以后,美国对大气污染包括 NO_x 和 SO_x 采取了相当严格的控制。在七十年代早期,西欧国家、澳大利亚、加拿大和日本开始实施不太严格和比较渐进的控制政策。东欧国家也消耗了大量化石燃料,非官方资料表明,这些国家由于考虑到控制的价格太昂贵以及实施的困难,所以,排放源一般都缺乏控制。这样的大气污染排放情况也适合于大多数发展中国家。

广义地讲,我们的结论是,1970年以前对 NO_x 和 SO_x 的排放几乎没有什么控制。自从大气清洁法修正案实施以后,美国的排放率开始下降,其它经济合作和发展组织的成员国(包括西欧国家、澳大利亚、加拿大、日本)也相继对污染物的排放实行了一些不甚严格、地域上不很均一的控制。为了达到简单估计全球排放的目的,我们将全球分为三个区域:(I)美国;(II)经济合作和发展组织中除美国以外的其它成员国(西欧国家、澳大利亚、加拿大、日本);(III)世界的其它国家和地区。运用这些区域主要是可以在下述模型中考虑到不同的国

正如前面所提到的,这将是未来地貌学研究的新课题。构造组构对临界值、异常事件的有效作用和过程机理的影响,还没有确定。很显然,在能有把握地进行地貌灾害和地貌稳定性的预测之前,在未来研究中我们必须对这些关系进行详细的研究。

张祖陆、郭旭升节译自《Landscape analysis and the search for geomorphic unity》——Geological society of America Bulletin, Vol. 100, No. 2, 1988