

流域侵蚀产沙模型述评

田磊, 戴静, 祁永刚

(青海省水土保持局, 西宁 810000)

摘要: 实践证明, 在分析流域侵蚀产沙和预测发展趋势的研究中, 选择一种既有理论依据, 又能反映客观实际的计算方法是极其重要的。在众多类模型中, 物理成因模型概念清楚, 意义明确, 应用方便, 适应性强, 是目前比较先进的模拟方法之一。鉴于土壤侵蚀产沙过程及环境因素的复杂性, 该类模型也有需经改进的若干问题。

关键词: 流域; 侵蚀产沙; 物理成因模型; 泥沙输移比; 水保效益

中图分类号: S157

文献标识码: B

文章编号: 1005-3409(2002)04-0077-03

Comment on Model of Erosion and Sediment Production in Watershed

TIAN Lei, DAIJing, QI Yong-gang

(Soil and Water Conservation Bureau of Qinghai Province, Xining 810000, Qinghai Province, China)

Abstract In the study of analyzing erosion and sediment production in watershed and predicting its development trend, it is important to choose a calculation method which is not only based on theory but also reflecting objective truth. And that is proved by practice. Among many types of model, the physical cause model is the more advanced one. Its function is specific, its application easier, and its adaptability extensive. Seeing that there is complexity in soil erosion and sediment production course and environment factor, it is necessary to improve the model.

Key words: watershed; erosion and sediment production; model of physical cause; sediment transport module; benefits of soil conservation

1 引言

土壤侵蚀和流域产沙是地球表面普遍存在的一种十分复杂的自然现象。地表物质在外营力作用下发生的分散和移动称为土壤侵蚀。被侵蚀的物质汇集到河川中, 沿河槽向下游运动, 一部分沿程淤积, 最终到达流域出口的称为流域产沙。侵蚀与产沙不仅是一个复杂的物理过程, 同时也是一个复杂的系统, 它受到许多自然因素的制约, 各个因素之间又存在着错综复杂的相互作用。因此, 必须深入研究和掌握侵蚀产沙的物理过程, 才能揭示其规律性, 最终达到科学地定量分析水沙变化的原因和预测其发展趋势。

2 侵蚀产沙模型的发展

从19世纪末, 国内外就开始了流域侵蚀产沙的研究, 在早期的研究中, 人们对侵蚀产沙只是进行定性描述或进行野外观测, 当积累到一定实测资料后, 再用经验相关法建立经验方程, 来解决某些特定的水土流失问题。到达20世纪30年代, 随着各门学科的发展和相互渗透, 研究手段不断提高, 特别是由于电子计算机的发展, 侵蚀产沙的研究日渐深入, 经验方法已不能满足各方面的要求, 人们开始逐渐认识到概念性模型在流域侵蚀产沙研究过程中的重要性。1947年, ELLISON 通过对几个侵蚀子过程进行广泛的分析, 首先为以后的侵蚀产沙模拟的研究奠定了重要基础。1967年, 美国STANFORD大学NEGEV应用STANFORD—IV模型模拟地表径流, 把贮存物质输走, 并用此来计算细沟和切沟

侵蚀, 应用泥沙率定曲线, 将雨滴击溅及细沟和切沟侵蚀产生的物质划分为河流悬移质和推移质。这期间产生了许多代表性模型, 如AMR模型、SSU模型、SSARR模型和TANK模型等。这些模型在建模时都考虑了流域侵蚀产沙的子过程, 并利用输入降雨等水文过程来模拟水文和侵蚀过程的相互影响。但因各种模型结构本身存在着差异, 它们所表现的操作特征也全然不同。主要表现为: 一类是用许多模型参数处理每一个单元上有意义的那一部分面积, 即为集中性模型; 另一类则是把流域划分成许多较小的均一单元, 在每一个单元上都有影响侵蚀产沙过程的特性资料, 即为分散性模型。

80年代开始, 针对我国河流泥沙日益严重的问题, 侵蚀产沙模型的研究在我国也逐渐发展起来, 相继建立了新安江模型、陕北模型以及黄土丘陵沟壑区小流域产沙过程模型等。经在实验中验证, 其计算精度良好, 应用面广。

现在, 研究侵蚀产沙的方法很多, 主要有经验相关法、随机理论法和物理成因法。其中随机理论法因受到缺乏长系列实测水沙资料的限制, 发展十分缓慢, 本文将不再作详细分析。目前, 以研制能模拟水沙在流域中随时间、空间变化的确定性模型为今后发展的趋势。

3 侵蚀产沙模型述评

纵观流域产沙的研究, 流域产流的研究比产沙的研

* 收稿日期: 2002-04-20

作者简介: 田磊, 男, (1967-), 青海省西宁市人, 助理工程师, 从事水土保持治理与开发工作。

究要相对成熟, 尽管产流模型中物理成因型的不多, 但它的模型参数中的物理概述较明确, 能够较好地解决水源划分和产汇流的计算, 参数的率定和优化比较容易, 模型结构比较符合客观规律。

流域泥沙由于在产生、输送和淤积等整个过程比较复杂, 加之受地形地貌地质条件和人为因素的限制, 使流域泥沙运动的机理难以掌握。因此, 产沙模型大多为经验回归方程, 该模型缺乏明确的物理成因机制, 区域性限制很大, 在一些小流域尚有一定的适用性, 但在大中长尺度流域中其适用性不强。近年来发展的物理成因性模型, 较好地解决了经验方程的弊端, 模型可分过程分别模拟, 且物理概念明确, 它不仅适合小流域侵蚀产沙的模拟, 同时对大中长尺度流域也比较适合。

3.1 经验相关模型

所谓经验相关模型, 简单地讲就是通过大量实测资料的分析, 按照误差最小原理建立起来的自变量与因变量之间的定量关系, 是对侵蚀产沙这一物理现象的数字模拟。建立模型时是在对水文泥沙观测资料的代表性进行分析论证的基础上, 按水文统计相关建立治理前流域产流产沙模型, 然后将治理后的降雨和下垫面分布特征等条件代入还原计算相当于天然状况下的产流产沙量, 再与实测水沙资料对比, 从而求得水土保持措施的减少减沙效益。用该方法建立的模型, 其结构简单, 方法简捷, 直观, 计算容易。因其只能求得最终结果, 而对流域侵蚀产沙过程不进行模拟, 因此对其只要要求模拟的精度, 而不苛求采取什么形式, 所以在公式资料范围内具有可靠的精度, 在目前的小流域计算侵蚀产沙中不失为一种好的方法。但是这类模型在建模型时需要大量的实测资料, 区域局限性很大。

(1) 利用治理前的资料建立的经验关系还不能完全真正地反映流域产流产沙的规律, 因为在建立模型时是假定本身存在着一定的人为性。在实际中, 这种天然状况下的流域要取得大量诸如降雨、径流、泥沙的实测资料困难很大, 因而建立起来的关系也就带有一定的误差。

(2) 治理前观测的水文系列是否反映了流域水文长系列变化规律, 若治理前观测的水文系列较短, 再加上气候的变异, 就会在很大程度上影响模型的可靠性。

(3) 治理前后的观测资料是否具有可比性, 在实际中, 大都是流域在治理前的观测站少, 且分布不均, 治理期间(后)观测站多, 且按要求进行布设。因此在观测资料的精度上治理前后存在着一定的差别, 若在建立经验关系时不消除二者的误差, 其可比性会在很大程度上有所降低。

因此, 解决的方法, 一是要充分研究所在流域的侵蚀产沙和水文变化规律; 二是对流域中各种因素都要进行研究, 并分别进行定量分析; 三是要保证流域治理前后观测资料的长期性、可靠性和一致性。

3.2 物理成因模型

是基于侵蚀力学、水力学、水文学及泥沙运动力学等基本理论, 利用各种数学方法, 把流域侵蚀产沙、水沙汇流及泥沙沉积的物理过程经过简化, 所建立起来的能模拟物理过程

的产流产沙模型。在建立模型时, 既考虑物理概念、物理过程, 又适当借用水文的方法, 灵活性较大。该类模型在形式上又分为集中型和分散型, 前者对资料要求很严, 考虑因素多, 成因性非常强, 但模型结构复杂, 参数多, 实际应用困难; 后者克服了前者的许多不足, 它将流域划分为若干均匀的单元, 使每一个单元上影响因素各有侧重, 进行分过程分别模拟, 最后再将各单元进行拼接, 计算出流域总的产流产沙量。这样使得物理概念更加明确, 操作性强, 便于在实际中应用推广。物理成因分散性模型在这类模型中较具有代表性。该模型在建模时按自然水系划分单元, 又将单元区为几个微地貌区, 各单元水沙过程演算至流域出口迭加得出流域产流产沙过程。这样不仅解决了降雨、侵蚀产沙和下垫面的不均匀性, 同时也解决了水沙的演算问题, 并根据水流做功的能量平衡原理推导出各微地貌区上的侵蚀产沙量计算公式, 从而建立起具有物理过程基础的侵蚀产沙模型。

由于物理成因分散性模型较好地运用和掌握了流域泥沙产生、运动、输送和沉积的规律, 使其更加具有实用性, 其特点。

(1) 模型具有很高的物理基础, 可以进行比较高层次的外延, 较好地克服了经验相关模型的区域限制地问题。

(2) 模型能很好地模拟和表达流域侵蚀产沙的物理过程。

(3) 模型对单次暴雨产沙的预报精度比较高。

(4) 模型能预报流域侵蚀产沙在时间和空间上的变化。

4 物理成因模型亟待解决的问题

4.1 河道泥沙输移比问题

目前国内开发的各类模型包括物理成因模型在内, 都假定泥沙输移比为 1, 使问题处理得到简化。但从理论上讲, 在任何一个流域泥沙输移比不可能为 1。对于特定的黄河中游地区, 只有那些支毛沟的泥沙输移比才接近 1, 面积越大, 泥沙输移比就越小。具体表现为来自坡面和侵蚀泥沙进入沟道后贮存、沉积与再输移现象。

所谓泥沙输移比是指流域某一断面实测输沙量与断面以上流域侵蚀产沙总量之比, 可用下式表示。

$$Y_r = R/T$$

式中: Y_r ——泥沙输移比; R ——流域出口断面实测产沙量; T ——控制断面以上流域侵蚀产沙的总量。

文献[1]认为, 确定某一个区域的泥沙输移比有三个前提条件: (1) 泥沙的粒径。河道中泥沙的最大粒径与最小粒径要相差百万倍, 输移不同粒径的泥沙需要不同的环境条件, 小粒径的物质可以在一般径流条件就搬运了。(2) 时间系列。对于一个确定的流域, 泥沙的输移能力长系列看是稳定的, 但短时间又是不稳定的。主要原因是输移泥沙的动力条件为径流, 而决定径流因素的是降雨。降雨在年内分配是不均匀的, 年际间也存在较大的差异, 具有周期性。因此, 泥沙输移过程也随水流动力条件具有周期性。只有在一个稳定地较长系列内分析泥沙输移比, 才能得出符合实际的 Y_r 值。(3) 空间范围。空间范围指的是流域大小, 流域越大, 其环境条件越复杂。一般情况下, 中小流域的空间内环境因素相似性较大,

而大流域环境因素相似性要差。从这一点上讲,国内外都得出基本结论,即泥沙输移比与流域面积成反比。

解决这个问题的办法,一是根据沟道水流泥沙动力条件,建立沟道泥沙输送参数,将来自坡面上的泥沙演算到流域出口,得出流域侵蚀产沙量,这是一种简单的处理方法。二是将一维水流泥沙冲淤数学模型引进到流域产沙模型,将来自坡面的水流泥沙作为一维数模的旁侧分散来流来沙,根据沟道边界条件、地形条件、初始条件和河床物质组成用有限差分求解,把水流泥沙运动过程演算到出口断面即得流域侵蚀产沙量。

4 2 重力侵蚀问题

黄土地区的坡面尤其是沟谷坡,重力侵蚀发生频繁。目前尚缺乏有效的解决方法。其主要原因是很少有描述重力侵蚀发生的过程与数量的观测资料,缺乏描述重力侵蚀的基本条件,因而不能把过程分离出来定时描述。改进的方法应加强资料的观测,传统的方法可以用打桩进行分析研究,也可用高速摄影法加以研究,甚至可利用卫星或航片资料进行分析,获得第一手的重力侵蚀过程资料,再探索用数学描述的可能性。

致谢:此文经过水土保持局总工张艳得同志指导,特予感谢。

参考文献:

[1] 唐克丽,等 黄河流域的侵蚀与径流泥沙变化[M] 北京:中国科学技术出版社,1993
[2] 汤立群 物理概念模型在水保效益评价中的应用[J] 水利学报,1998(9).

4 3 分散性成因模型的推广问题

分散性成因模型大多是在小流域上建立起来的。由于该类模型对基本资料的要求相对较高,而小流域又易获得所需资料。因此,目前普遍应用于小于 100 km² 的流域,效果比较好。对于中大流域,由于缺乏降雨、径流、泥沙的过程资料,控制密度又较疏,应用还不够理想,必须在现有模型基础上加以改进,使其适合于现状动力条件下的中大流域产流产沙量的计算。

4 4 水土保持措施减少减沙效益分离评估问题

目前水保效益的评价方法主要有水文法和水保法。近年来物理概念模型^[2]在评价水保效益取得了较好的效果,但属总量评价,没有对每种措施加以分离评估,这也是水保效益评价的难点。

经验统计模型简单易用,有一定精度,但缺乏物理概念,难以移用,外延精度低;随机模型长系列的泥沙过程,但需以长系列水文条件为依托,其研究与发展受到限制;集中物理成因模型概念清楚,成因性很强,但对基本资料要求苛刻,也难以推广应用;分散性成因模型显得比较灵活,适用能力强,值得进一步开发研究,具有推广应用的前景。

(上接第 76 页)

林内相对湿度大于林外,其它时刻林内均小于林外,日平均相对湿度,林外比林内大约 1.75%。日平均相对湿度的垂直变化为林冠层中部>林内 1.5 m 处>林冠表层。坡向对相对湿度日变化过程有显著影响,但对相对湿度的日平均值影响不显著;坡位对相对湿度的影响程度与月份关系密切,以 2

月最大,8 月最小,2~10 月平均相对湿度坡下部高于坡上部;坡位相对湿度日变化过程的影响表现为,白天 9:00~21:00 时坡上部大于坡下部,最大差值在 15:00~17:00 时之间,21:00~次日 9:00,坡下部较高,最大差值出现在 5 时左右。

表 4 油松林地土壤水分

测定日期(日/月)	20/3	17/4	17/5	18/6	20/7	18/8	18/9	17/10	平均值	标准差%
油松林地	11.07	10.37	12.10	9.93	13.23	13.32	11.03	10.64	11.46	±1.28
采伐迹地	13.86	14.52	15.88	13.56	14.17	15.39	12.60	15.66	14.46	±1.14

注:表中的土壤水分为 0~300 cm 土层加权平均值。

表 5 油松人工林生长季不同土层深度的土壤水分

土层深度/cm	0~20	20~40	40~80	80~120	120~160	160~200	200~260	260~300	%
油松林地	17.7	14.30	11.62	11.00	10.91	10.50	10.27	10.01	
采伐迹地	16.24	15.78	13.83	13.51	14.06	14.27	14.66	15.20	
采伐迹地-林地	0.93	1.48	2.21	2.51	3.15	3.77	4.39	5.19	

(3)油松林地的土壤含水量水平较低,3~10 月平均为 11.46%,约相当于田间持水量的 50%。生长季 0~300 cm 土层平均含水量除表层 0~40 cm 较高外,40 cm 以下土层均较低,其变化范围为 10.01%~11.62%,且随着土层深度的增加,土壤含水量逐渐减小,土壤水分的补给难度增大。而与之

相对照的采伐 4 年后的迹地,土壤含水量恢复很快,各月平均含水量均明显高于油松林地;其 0~300 cm 土层的含水量变化范围为 13.51%~16.24%,20 cm 土层深度以下的含水量均高于林地,且随着土层深度的增加,二者的差值增大。

参考文献:

[1] 呈钦孝,等 黄土高原油松林地产流产沙及其过程研究[J] 生态学报,1998(2): 151-157
[2] 孙长忠,等 黄土高原人工植被与其水分环境相互作用关系研究[J] 北京林业大学学报,1998(3): 7-13
[3] 李凌浩,等 武夷山甜槠林水文学效应研究[J] 植物生态学报,1997,21(5): 393-402
[4] Kenneth N Brooks et al Hydrology and the Management of Watersheds[M] [s 1]: Iowa State University Press/AMES 1996
[5] Stephen H, Spurr,Burton V, barnes Forest Ecology[M] [s 1]: John Wiley & Sons, Inc 1980