

^{7}Be 在示踪土壤侵蚀和沉积物中的研究探讨

高明,杨浩,刘磊,唐敏

(南京师范大学地理科学学院,南京 210097)

摘要:环境放射性核素 ^{137}Cs 和 ^{210}Pb 为测量土壤侵蚀和沉积速率提供了一种重要的方法。然而这两种核素只能提供中长期(45年和100年)的土壤再分配的速率,因此有必要研究示踪个别事件或短周期的土壤再分配的速率作为示踪中长期土壤再分配速率的有益补充, ^{7}Be (半衰期53.3d)作为自然放射性核素,能够满足示踪个别事件或短周期的土壤再分配的需要,越来越受到广泛的关注。土壤再分配过程一般是自然和人为因素共同引起的,需要评价他们各自对土壤再分配过程的影响程度,用于评价土地利用和水土保持措施的效果,更为重要的是用于土地资源可持续利用和环境保护。讨论了 ^{7}Be 产生规律以及沉降特点,阐述了 ^{7}Be 在土壤再分配过程中的示踪原理,并对现有土壤侵蚀定量估算模型进行阐述并改进了模型,提出了今后应用 ^{7}Be 技术的研究方向。

关键词:土壤再分配; ^{7}Be ;示踪原理

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)05-0282-04

Study on Application on Fallout Beryllium - 7 as a Tracer in Soil Erosion and Sediment

GAO Ming, YANG Hao, LIU Lei, TANG Min

(Geographic Institute of Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: The environmental radionuclides ^{137}Cs and ^{210}Pb for documenting soil erosion and sediment rates provide an important method. However, measurements of these radionuclides provide estimates of medium-term soil redistribution rates and there is a need to use complementary radionuclides to estimate redistribution rates associated with individual events or short-term. Beryllium - 7 ($t_{0.5} = 53.3$ days), as natural radionuclide, can fulfill requirements. Natural and man-made activities processes arose soil redistribution. The authors assess their influences on redistribution, respectively, and evaluate effect on land use and water and soil conservation, more important for sustainable land use and environment protection. The fallout ^{7}Be , principles and hypotheses on tracer in soil redistribution are discussed. The existing quantitative models for soil erosion estimate using tracer technology was reviewed and advancing an improved model. Lastly, the environmental radionuclides ratios may be better advanced.

Key words: soil redistribution; ^{7}Be ; principles of trace

1 引言

土壤侵蚀是世界上一个日益严重的环境问题^[1-3],在丘陵山区的农业用地上,每年雨季将产生严重的水土流失。我国是土壤侵蚀最严重的国家之一,冬春季节,北方产生的沙尘暴同样是一种土壤侵蚀,从陆地上侵蚀的大量土壤注入河流、湖泊和其他生态系统。2004年8月11日在银川结束的“第七届中国西部科技进步与经济社会发展论坛”会上,中国工程院副院长、院士杜祥琬介绍,目前,中国已有4200万 hm^2 的耕地出现了不同程度的水土流失,占全国耕地总面积的43%左右;每年约有50亿t泥沙流入江河湖海,其中62%左右来自耕地表层。因此要了解耕地土壤质量以及水土保持措施的效果,必须了解土壤侵蚀和沉积的模式以及分布特征,这样才能从根本上有效地评价土壤质量和水土保持措施的效果。

土壤侵蚀和沉积是自然界的一个过程,一般是风、水、冰川等作用的,人类活动例如砍伐森林、过度放牧、破坏性的农

业活动等加速了土壤侵蚀,土壤侵蚀和沉积物不仅影响自然资源质量,而且影响暴雨洪水和河流的冲刷与汇集,这些问题关系到土地质量,由于侵蚀造成的土地质量下降,影响到农业用地中的土壤肥力和粮食产量、水污染、湖泊中的沉积物以及水库淤积^[1,2]。全球由于侵蚀和沉积造成的经济损失造成很大的经济负担,土地问题主要是土壤质量问题^[4],尤其是因为侵蚀和沉积,随着人口的增加和水资源的缺乏以及土地的减少,迫切需要获得可靠的土壤侵蚀数据以便评价和加强水土保持技术^[3]。

侵蚀活动一般由自然和人为共同引起的,在不同的环境下,它们的影响程度不一样,有必要区别人为活动和自然因素对土壤侵蚀的影响程度,在一些地方,人类活动主要是通过短时期的耕种期间对土壤产生影响,就要得到准确的耕种活动造成土壤侵蚀速率的信息;在一些地方,人为活动比较少,但是暴雨等引起的侵蚀和沉积作用比较多,也要得到这个事件的侵蚀和沉积速率,评价暴雨事件的影响程度,要分别测量出耕地期间和非耕地期间(主要是风水引起的)土壤

* 收稿日期:2005-09-28

基金项目:国家自然科学基金重点项目(40473052)

作者简介:高明(1981-)男,硕士,主要从事土壤侵蚀和环境影响研究。

再分配速率。而用传统的技术方法能获得中期或长期的土壤损失或沉积情况,是综合评估个别事件和耕地影响,而没有把个别事件和耕地作用分开地描述它们对侵蚀的影响,得到短时期的信息很困难,同时需要评估个别事件作用下的土地利用情况^[4]。⁷Be提供了一次事件或短周期土壤再分配和侵蚀沉积速率的模式和信息^[5]。

2 ⁷Be产生、沉降规律以及应用原理

2.1 ⁷Be的产生

⁷Be是宇宙射线轰击大气中的氧氮原子,它们发生裂变而产生⁷Be,其半衰期是53.3 d,与¹³⁷Cs具有相似的化学性质,大概75%的⁷Be产生在平流层,停留时间大概是1年,然后转移到对流层,25%产生在对流层,停留的时间大概是6个星期,随着进入大气层深度和大气密度的增大,⁷Be产生速率减小,大概在高空20 km处,⁷Be的产生速率达到最大^[6,7]。产生的⁷Be立即与大气颗粒结合,同时进行放射性衰变和干湿沉降。由于重力作用和沉降过程中的⁷Be大部分到达地球表层,⁷Be的浓度随着高度和纬度的变化而变化。

⁷Be的产生不同于传统使用的放射性核素¹³⁷Cs:首先,自然产生的,而¹³⁷Cs在大多数情况下是由于核试验产生的;其次,来源的连续性,¹³⁷Cs主要局限在核试验有关的1950-1970年;第三,较短的半衰期,土壤中的⁷Be的背景值或者沉积物中的背景值反映最近沉降的数量和土壤或沉积物的再分配。

2.2 沉降规律和应用原理

由于主要产生于平流层和对流层的顶部,因此⁷Be的沉降与对流层和平流层的大气运动有关,国外研究结果表明^[5,8],长期的⁷Be沉降规律与太阳活动周期存在相关性(22年周期)。短期的⁷Be的沉降主要与对流层和平流层的大气运动和所处的纬度和一些气象因素有关(例如降雨、风向、风速等)。大多数研究表明⁷Be沉降主要依靠5个因素:纬度、高度、季节、降雨量和太阳活动。Wallbrink等^[9]研究发现⁷Be主要是通过降雨到达地表,干沉降在沉降总量中只占3%~8%,并且与降雨量存在着一定程度的相关关系:沉降通量(Bq/m^2) = $1.03 \times \text{降雨量}(mm) + 4.2$ ($R^2 = 0.6$)。沉降达到地表后立即被土壤颗粒吸收,Bai等^[10]研究表明,土壤中⁷Be的水溶态和可交换态占⁷Be总量的不到1%,土壤中⁷Be主要是有机结合态和Fe-Mn氧化态(约占80%)仅有少部分(15%~18%)以残余态存在,一般环境条件下⁷Be几乎是不溶的,因此⁷Be散落后的再分配能反映土壤颗粒的再分配。土壤或表层沉积物都是有季节变化的,而且⁷Be具有短的半衰期,⁷Be的这些特点为示踪个别事件或者短周期土壤再分配(季节周期)提供有利条件。已经广泛使用⁷Be示踪短时期内海洋和湖泊系统中沉积物行为(Young and Silker, 1980; Wan et al. 1987)。而使用⁷Be测量土壤再分配模式和速率的原则本质上是和¹³⁷Cs是一样的,已经用在土壤侵蚀和水库沉积方面的研究(Ritchie and McHenry, 1990; Walling and Quine, 1990; Bai, 1996; Walling and He, 1999)。如果在采样点⁷Be的总量与附近的未被扰动的或固定的背景值位置的总量比较,得出的偏差的部分能反映沉积物的再分配。少于背景值的⁷Be总量将说明发生土壤侵蚀;然而多于背景值则发生了沉积,⁷Be总量增加或者减少的程度能够提供一个估计侵蚀或沉积速率的高低。经研究发现⁷Be不仅用在示踪土壤颗粒的移动,而且广泛地用在示踪大气的运动(特别是对流层和平流层之间)和海水的混合作用^[11]。

3 ⁷Be在土壤侵蚀和沉积物中的示踪原理

3.1 背景值的确定

背景值地点的确定是成功的关键,选择好背景值区,采集样品,同时调查如下资料:当地的气候条件:降雨以及月降雨,气温以及月平均、最高气温和最低气温,(干旱或者洪水等)极端事件的频率;地质条件:母质因素(质地和类型),典型的土地利用形式,风化的时间,每年河流的流水的季节性和交换特点;土壤条件:土壤分类单元和类型的分布,限制作物产量的土壤性质;土地利用:土地利用的类型,每年的耕作制度,当前土地利用持续的时间,耕作活动的频率和类型,土壤的管理,水土保持措施的类型和使用,土壤更新的速率和强度,而地形是影响一个地区水和沉积物的主要因素^[3]。背景值点的选择:

(1)理想的背景值区既没有土壤损失也没有土壤沉积,总量仅仅反映的是大气直接输入的放射性核素,随时间而衰变,上坡位置是首选位置。

(2)背景值单元要有长期植被覆盖,草地和低草地是比较好的选择地,同时要了解土地受扰动的历史。

(3)保护区是理想背景值区。

(4)接近采样区。

(5)要对比国家和全球的⁷Be放射性核素的沉降量。

研究者选择背景值区,鉴别周围的条件,而背景值的数据取一个范围是比较可靠的:平均的背景值 ± 2 倍标准误差。

3.2 土壤和沉积物中使用⁷Be的原则和假设

和¹³⁷Cs一样,⁷Be被土壤或沉积物颗粒强烈吸附以及在土壤中的再分配,但能反映短周期或一次事件的土壤或者沉积物颗粒的再分配,例如耕地为例,一个相对长时期没发生侵蚀(5个月,三个⁷Be半衰期),假设⁷Be在小区域内散落是均一的^[12]。如果随后一个降雨事件,降雨开始阶段时地面还没有出现汇流之前,⁷Be随降雨沉降在土壤表层的分配是均一的^[12],随后产生汇流发生土壤侵蚀,存在的⁷Be将要通过土壤表层移动,因此任何⁷Be总量的空间变化,将反映侵蚀引起的土壤再分配。⁷Be研究土壤侵蚀与¹³⁷Cs方法是相似的,侵蚀事件后从耕地中测量土壤采集点⁷Be的值,与背景值相比较,采集点⁷Be的消耗,将说明样品点土壤侵蚀,而增加则说明土壤沉积,根据土壤再分配上获取的数量信息,可以建立土壤侵蚀和沉积模式。

3.3 ⁷Be测量转换成土壤侵蚀和沉积深度(速率)的估算

测量点的⁷Be值与背景值区相比较估算土壤侵蚀和沉积深度,考虑⁷Be在土壤剖面中的深度分布,许多研究者^[5,14]研究结果显示了大多数的⁷Be都集中在表层的几厘米范围内,随着深度的变化,浓度呈指数形式减小,表达为:

$$C(x) = Ce^{-x/h_0} \quad (1)$$

式中: $C(x)$ ——深度 x 的活性性, C ——表层⁷Be的活性性, h_0 ——没有土壤侵蚀和沉积的⁷Be剖面分布的最大深度。⁷Be的剖面分布模式,能被用来进行土壤侵蚀和沉积速率的估算,通过比较样品点的⁷Be的总量和背景值。下面以同一个坡的上下坡为例,说明土壤侵蚀和沉积深度的估算。

假设在上坡样品点测量⁷Be总量 A ,样品点土壤损失的深度 h ,可表达为:

$$A = \int_0^h C(x) dx = A_{ref} e^{-h/h_0} \quad (2)$$

A_{ref} 是背景值, h 计算为:

$$h = h_0 \ln(P * A / A_{ref}) \quad (3)$$

测量点的⁷Be总量为 A , P 为土壤颗粒的修正因素(考虑到土壤颗粒侵蚀的选择性),通常大于1。

假设在下坡沉积点⁷Be 的量为 A , 其值大于背景值, 沉积深度 h 被估算为:

$$h = P(A - A_{mf}) / C_d \quad (4)$$

C_d (Bq/kg) 是⁷Be 沉积的浓度, 可以使用从上坡侵蚀下来的土壤中⁷Be 的平均浓度, 计算为:

$$C_d = \frac{P \cdot P - sChdS}{shdS} \quad (5)$$

即为:

$$C_d = \frac{P \cdot PA_{mf} - s(1 - e^{-h/h_0})dS}{shdS} \quad (6)$$

式中: s ——侵蚀区的面积, P ——沉积区土壤颗粒的修正因素(土壤沉积的颗粒选择性), 通常小于 1, 通过上面的公式可以估算出土壤侵蚀和沉积的深度(速率)。

Walling 等^[13]建立的模型是基于⁷Be 初始剖面分布特征的基础上的定量模型, 但是在建模中没有考虑到土壤侵蚀和沉积的颗粒选择性因素。这个模型是在 Walling 模型的基础上考虑了土壤侵蚀和沉积的颗粒选择性因素(因为某些尺寸的土壤颗粒容易优先被侵蚀或沉积)。该模型比较适合特定的侵蚀和沉积事件。

白占国^[14]根据土壤剖面中⁷Be 的分布特征建立了土壤中⁷Be 损失率与土壤侵蚀速率之间的模型。白占国研究认为⁷Be 在表土中的分布取决于其沉降量、侵蚀输出、沉积输入、下渗作用和放射性衰变等, 模型假设在特定的季节和地形单元⁷Be 的活度保持稳态而建立模型, 该模型是描述一个季节内土壤平均侵蚀速率^[15], 与上述的模型有所差异。

Bai 等^[14]假设⁷Be 在表层土壤中的下渗作用是扩散作用, 那么土壤剖面中⁷Be 活度随着时间的变化用下式表示:

$$A = \int_0^D C(x) dx = A_{mf} e^{-h/h_0} \quad (7)$$

式中: D ——混合系数 (cm^2/a), t ——混合时间 (a), ρ ——土壤容重 (g/cm^3), P ——土壤侵蚀速率(沉积速率), λ ——⁷Be 的放射性衰变常数 (4.74/a)。

假设在一定的季节内的样点土层中⁷Be 处于稳定态, 则 $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$, 在边界条件内, D 、 P 和 Z 相对时间和深度是不变的。

则: $Z=0, C(Z) = C_0$; $Z=D, C(Z) = 0$ 。由(1)式:

$$C(Z) = C_0 e^{-\lambda Z} \quad (8)$$

式中:

$$a = \frac{P - (P^2 + 4D)^{\frac{1}{2}}}{2D} \quad (9)$$

即:

$$D = \frac{P}{a^2} \quad (10)$$

如果样品点没有侵蚀或沉积, 渗透作用占主导作用, 即

$$P=0, a = -\left(\frac{D}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$C(Z) = C_0 e^{-Z/\left(\frac{D}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (11)$$

由(3)式求得:

$$P = Da - \frac{1}{a} \quad (12)$$

由上式可见: 当 $P > 0$ 时, 说明发生沉积; $P < 0$ 时, 发生侵蚀。该模型反映的是一个季节内的平均土壤侵蚀速率, 不能对特定个别事件的侵蚀沉积速率进行估算。

综上所述, 由于⁷Be 技术的特点, 尽管这两种模型适用于不同的情况, 但是都能反映一个地区的土壤侵蚀和沉积事件, 在某些情况下, 单个模型测量的结果误差相对比较大, 因此有必要联合和比较研究区的两个模型的结果, 探讨研究区土壤侵蚀或沉积的数量和速率的时间以及空间变化特

征^[16], 掌握土壤侵蚀过程, 从而为本地区的水土保持措施的实施和土地的合理利用提供理论基础。

4 应用⁷Be 和²¹⁰Pb_{ex} 及¹³⁷Cs 技术在土壤侵蚀和沉积中的研究展望

Burch 等^[3]研究表明, 不同放射性核素的土壤透入深度的差异使之可以用于土壤剖面中沉积土壤的最初来源, 并推断可能发生的侵蚀过程。Wallbrink 等^[17]采用⁷Be 和¹³⁷Cs 以及其它放射性元素联合示踪研究不同侵蚀类型在土壤侵蚀作用中的相对贡献, 结果证明, ⁷Be 用于示踪浅层土壤来源是非常有用的。杨明义^[2]首次利用⁷Be 和¹³⁷Cs 复合示踪技术, 研究黄土降雨条件下定量区分面蚀和细沟侵蚀在整个侵蚀中的贡献。

作为环境放射性核素⁷Be、¹³⁷Cs 以及²¹⁰Pb_{ex}, 自然和人工的放射性核素研究土壤侵蚀和沉积具有很大的应用价值和潜力, 当散落达到地表后, 迅速被土壤颗粒所吸附, 被吸附的只有少部分参与生物和化学过程, 自然界的风和水主导核素在土壤间移动和在不同景观中移动, 精确地测量也是很可行的, 三种核素有规律的分布模式能示踪景观内土壤颗粒在短期 (< 30 d), 中期 (45 年) 和长期 (100 年) 尺度的土壤平均再分配速率和模式, 而且浓度的变化可以描述侵蚀和沉积过程, 在某些情况下, 土壤剖面的垂直方向上三种核素的分布能提供沉积的年代从周周期到百年尺度。在农业环境下, 这些新的方法将以高效的方式评估土地利用和土壤关系系统以及水土保持技术措施的效率^[4]。新技术能在土壤损失速率和土壤质量之间、土壤 C 和营养物质的再分配、农业化学品和其他污染物质的迁移与转化发挥作用。国外的组织机构已经开始进行核元素的使用和联合技术进行沉积物示踪研究, 重点是集水区管理的可持续持续发展和大坝的可持续发展以及资源的可持续利用和环境保护。

由于利用这些技术测量土壤再分配, 确定背景值是很关键的, 然而在有些情况下, 很难确定理想的背景值, 在背景值区和侵蚀区核素总量的变化, 不完全是由于土壤再分配所导致的, ¹³⁷Cs 和²¹⁰Pb_{ex} 同样被这些因素所影响^[3], 因此这些地区的核素浓度是相关的, 然而这三种核素在非耕地中的渗透深度是不一样的。Burch、Wallbrink 等^[18]研究不同土地利用类型(裸地、草地和林地)时发现, ⁷Be 分布的深度一般在表层 0~20 mm 内; Walling^[13]在耕地和非耕地研究⁷Be 的分布深度也在 0~20 mm。但在沼泽土中剖面的分布深度要深, Olsen 等^[19]研究表明, 美国沼泽土中⁷Be 分布的最大剖面深度为 40~50 mm, 说明土壤覆盖程度和物理性质对⁷Be 剖面分布深度有重要影响作用。He 和 Walling 等^[9]对永久牧场剖面研究表明, ²¹⁰Pb_{ex} 分布一般是在 200 mm 以内, 比⁷Be 分布要深且 90% 分布在表层 15 mm 之内, 而¹³⁷Cs 在剖面的分布深度一般比其他两核素要深, 共同的特点是随着深度这三种核素的量都是呈指数形式减少, 随着深度的不同就产生这些核素活性比率的变化, 根据他们各自的沉降以及在土壤剖面中的深度分布的不同特点, ⁷Be / ²¹⁰Pb_{ex} 和⁷Be / ¹³⁷Cs 比率在土壤剖面中的分布在同样深度内随着深度是单调减少的, 在背景值区上述两种比率的变化是相对固定的, 因此可以作为有效的示踪剂, 因⁷Be 分布更集中于表层, 根据研究区剖面上的比率与背景值区比率进行对比分析来定量估算土壤侵蚀或沉积的季节变化。通过比率的比较可以转换成土壤损失和沉积量的多少, 这就提供了测量土壤损失和沉积的一个可以选择的方法。

参考文献：

[1] 郑永春,王世杰. ¹³⁷Cs 技术定量侵蚀速率常用模型及其讨论[J]. 山地学报,2002,20(5):600 - 605.

[2] 杨明义,田均良,刘普灵. 应用¹³⁷Cs 研究小流域泥沙来源[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(3):49 - 53.

[3] F. Zapata. Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides[M]. Kluwer Academic Publishers,USA,2002 IAEA. Printed in the Netherlands,2002. 185 - 215.

[4] 冷疏影,冯仁国,李锐,等. 土壤侵蚀和水土保持学科重点研究领域与问题[J]. 水土保持学报. 2003,18(1):2 - 26.

[5] W H Blake, D E Walling, Q He. Fallout beryllium - 7 as a tracer in soil erosion investigations[J]. Applied Radiation and Isotopes,1999,51:599 - 605.

[6] Katsumi Hirosea, Teruyuki Hondab, S Yagishitab, et al. Deposition behaviors of ²¹⁰Pb, ⁷Be and thorium isotope observed in Tsukuba and Nagasak[J].Japan, Atmospheric Environment,2004,38:6 601 - 6 608.

[7] D. Al - Azmi, A M Sayed, H A Yatim. Variations in ⁷Be concentrations in the atmosphere of Kuwait during the period 1994 to 1998[J]. Applied Radiation and Isotopes,2003,55:413 - 417.

[8] Russell T Salisbury, John Cartwright. Cosmogenic Be deposition in North Wales:⁷Be concentrations in sheep faeces in relation to altitude and precipitation[J]. Journal of Environmental Radioactivity,2005,78:353 - 361.

[9] Walling, D E, & He, Q. Use of fallout ¹³⁷Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains[J]. Catena, 1997,29, 263 - 282.

(下转第 287 页)

(上接第 281 页)

积的 94%,与当地土地管理部门的统计值 92%相吻合。

表 3 各地类平均水土流失模数及等级表

地类	面积/hm ²	平均侵蚀模数/(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	等级
有林地	92.878	1480.472	2
灌木林	3.685	1264.902	2
疏林地	5.203	1115.259	2
滩地	7.019	3978.171	3
农村居民点	32.083	678.8155	2
水田(丘陵)	1.047	587.5672	2
水田(平原)	166.593	40.18469	1
旱田(山地)	5.978	841.7222	2
旱田(丘陵)	3.565	141.6516	1
旱田(平原)	84.361	60.27555	1
水面	14.604		

表 4 水土流失量及流失程度等级

级别	流失程度	流失量/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)
1	正常	0~500
2	轻度侵蚀	500~2500
3	中度侵蚀	2500~5000
4	强度侵蚀	>5000

(2) 山地、丘陵地带由于坡度较大,坡长较长,水土流失比较严重,而具有相同地表植被覆盖率的平原地带水土流失较轻;

(3) 水田地势比较平坦,是主要的绿色稻米产区,植被覆盖率很高,因此其水土流失模数很小;

(4) 旱田表层土壤土质松软、含水量小、有机质含量低、黏度差,虽然种植大豆、玉米等农作物,但土壤可蚀性较大,与水田相比在相同的植被覆盖和坡度条件下,水土流失模数

是水田的 1.5 倍;

(5) 平原耕地地区,由于植被覆盖率高,地势平坦,所以水土流失现象几乎不发生。而农村居民主要居住区,由于植被覆盖率低,水土流失现象相对于耕地要大许多。

6 结 论

(1) 在 RS、GIS 的支持下,利用修正的通用土壤流失方程进行水土流失模数的计算,能综合考虑多方面因素,进行多因子分析,能准确预测土壤侵蚀量,对于制定水土保持对策具有重要意义。

(2) 水土流失模数的大小是降雨、地形、植被等因子综合作用的结果。在降雨因子相同的情况下,水土流失模数大小主要由植被和坡度两个因子决定。其中,植被覆盖因子起到决定性作用,在相同植被条件下,随坡度的增加,水土流失模数相应增加;不同植被条件下,水土流失模数呈现明显差异。

(3) 人类活动对水土流失有直接影响。水土流失高发区多分布在人为活动频繁、天然植被破坏严重的地区,如陡坡旱地和居民地等地区。

(4) 水土流失的治理应以防为主,因地制宜。在水土流失高发的丘陵区,应严格禁止毁林开荒,保护现有的森林植被。在坡度较大的耕地应实行退耕还林、还草,大力植树造林,提高植被覆盖率。在坡度较小的耕地,应推广施用农家肥,推行秸秆还田,改良土壤,增加残茬覆盖率。在人口相对集中的居民区,应大力植树种草,美化环境。通过采取上述多种措施,才能达到减少土壤侵蚀,防治水土流失的目的。

参考文献：

[1] 景可,王万忠,郑粉莉. 中国土壤侵蚀与环境[M]. 北京:科学出版社,2005.

[2] 唐德富,包忠谟. 水土保持[M]. 北京:水利电力出版社,1991. 10 - 63.

[3] 孙继武,杨庆才,宋文和. 保护生命之水——松花湖环境整治与综合开发研究[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1997.

[4] 王珂,许红卫,王人潮. 应用污染模型和地理信息系统评价和管理农业非点源污染[J]. 环境污染与防治,1997,19(6):30 - 31.

[5] EI - Swaify S A, E W Dangler, C L Armstrong. Soil eroion by Water in the Tropics[R]. HITAHR - College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Research Extension Series 024. 1982. 92 - 94.

[6] Morgan P R C, Davidson D A. Soil Erosion and Conservation[M]. England: Longman Group UK Limited, 1986.

[7] 陈克平,宁大同. 基于 GIS 非点源污染模型的地形因子分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),1997,33(2):281 - 284.

[8] 马超飞,马建文,布和敖斯尔. USLE 模型中植被覆盖因子的遥感数据定量估算[J]. 水土保持通报,2001,21(4):6 - 9.

[9] 陆书玉,栾胜基,朱坦. 环境影响评价[M]. 北京:高等教育出版社,2001.

[10] 游松财,李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算[J]. 自然资源学报,1999,14(1):62 - 68.

压力增大系数。

同时,在土压力作用下,挡土墙有可能沿基础底面发生滑动[图 1(b)],总抗滑力与总滑动力之比称为抗滑安全系数。抗滑安全系数 K_s 应符合公式 2 的要求:

$$K_s = \frac{(G_n + E_{an})\mu}{E_{ax} - G_r} \quad 1.3 \quad (2)$$

其中:

$$G_n = G \cos \theta$$

$$G_r = G \sin \theta$$

$$E_{an} = E_a \cos(\theta - \alpha)$$

$$E_{ax} = E_a \sin(\theta - \alpha)$$

2 程序设计

AutoCAD 是一个应用非常广泛的绘图软件,它不但具有强大的图形处理功能,同时提供了功能卓越的二次开发环境,用户可根据自身的不同要求,自主开发满足特殊需要、在 AutoCAD 平台上运行的命令模块。对以上公式 1 及公式 2,在采用手工方法计算时,存在计算工作量大、精度不高等缺陷。通过对以上公式的分析,利用 AutoCAD 内置的 Visual Lisp^[2]开发出的挡土墙稳定分析功能,通过建立一局部坐标系(图 1),并把挡土墙断面生成为一面域,然后利用质量特性命令(Massprop)查询其重心位置,这样可方便求出 x_0, x_f, z_f 的大小;最后利用 Visual Lisp 的赋值语句和内部函数完成其他数值计算和处理。

稳定分析程序设计结构框图见图 2。

3 使用方法

把调试好的程序保存在 AutoCAD2002 安装目录下的“support”文件夹中,文件名为 DTQ.LSP。使用时,在命令行输入“(load “DTQ.lsp”)”,回车,把命令文件调入内存,然后在命令行输入:DTQ,回车,按命令行提示输入有关数据及执行有关操作,即可求出挡土墙的抗倾覆和抗滑动稳定安全系数。

参考文献:

[1] 陈小平.土力学与地基基础[M].武汉:武汉理工大学出版社,2003.
 [2] 杨素敏.AutoCAD2000 定制与开发[M].北京:人民邮电出版社,2000.

(上接第 285 页)

[10] 白战国,万国江.宇宙线散落核素⁷Be 在山区表土层中的分布特征及侵蚀示踪原理[J].土壤学报,1998,35(2):266-275.
 [11] C Duenas, M C FernanH ndez, E Liger, et al. Gross beta activities and Be concentrations in surface air: analysis of their variations and prediction model[J]. Atmospheric Environment, 1999, 33: 3 705 - 3 715.
 [12] Wallbrink P J, Murray A S. Distribution and variability of ⁷Be in soils under different surface cover condition and its potential for describing soil redistribution[J]. Water Resources Res, 1996, 32(2): 467 - 476.
 [13] Walling D E, He Q P, Blake W. Use of ⁷Be and ¹³⁷Cs measurement to document short- and medium-term rates of water - induced soil on agricultural land[J]. Water Resources Res, 1996, 35(2): 3 865 - 3 874.
 [14] Bai Z G, Wan G, Wang C S, et al. ⁷Be: A geochemical tracer for seasonal erosion of surface soil in watershed of Lake Hongfeng, Guizhou, China[J]. Pedosphere, 1996, 6(1): 23 - 28.
 [15] 李立青,杨明义,刘普灵.⁷Be 在坡面土壤侵蚀中应用的研究进展[J].水土保持通报, 2003, 23(2): 69 - 72.
 [16] 唐翔宇,杨浩,李仁英,等.⁷Be 在土壤侵蚀示踪中的应用研究进展[J].地球科学进展, 2001, 16(4): 520 - 525.
 [17] Wallbrink P J, Murraray A S. Use of fallout radionuclides as indicators of erosion processes[J]. J Hydrol Processes, 1993, 7: 297 - 304.
 [18] P J Wallbrink, B P Roddy c, J M Olley. A tracer budget quantifying soil redistribution on hillslopes after forest harvesting[J]. Catena, 2002, 47: 179 - 201.
 [19] Olsen C R, Larse I L, Lowry P D, et al. Atmospheric fluxes and marsh - soil inventories of ⁷Be and ²¹⁰Pb[J]. J Geophys Res, 1985, 90: 10 487 - 10 495.

开始

输入挡土墙宽度 b , 挡土墙背对水平面的倾角 θ , 挡土墙基底对不平面的倾角 α , 土对挡土墙背的摩擦角 ϕ , 主动土压力增大系数 c , 土对挡土墙基底的摩擦系数 μ 。

调用“Ucs”命令,建立局部坐标系。
调用“Region”命令,生成挡土墙断面面域;
调用“Massprop”命令,查询挡土墙断面重心坐标,并计算 x_0 。
调用“Offset”命令,并计算 X_f, Z_f, z_0 。

计算主动土压力 $E_a = 0.5 c h^2 K_a$
主动土压力在 z 方向的投影 $E_{az} = E_a \cos(\theta - \alpha)$
主动土压力在 x 方向的投影 $E_{ax} = E_a \sin(\theta - \alpha)$

调用“Area”命令,查询挡土墙面域面积 S
计算挡土墙自重 G
计算 G 在垂直基底方向分力 $G_n = G \cos \theta$
计算 G 在平行于基底方向分力 $G_r = G \sin \theta$
计算 E_a 在垂直基底方向分力 $E_{an} = E_a \cos(\theta - \alpha)$
计算 E_a 在平行于基底方向分力 $E_{ax} = E_a \sin(\theta - \alpha)$

计算抗倾覆稳定系数 $K_t = (Gx_0 + E_{ax} X_f) / E_{ax} Z_f$
计算抗倾覆稳定系数 $K_s = \mu(G_n + E_{an}) / (E_{ax} - G_r)$

结束

图 2 挡土墙稳定分析程序设计结构框图

4 结 语

由于上述计算中实现了挡土墙重心位置和土压力作用点位置的快速查询,数据的自动计算,充分发挥了 AutoCAD 在图形处理、图形信息查询以及数值计算的强大功能,可大大提高挡土墙稳定分析的效率和精度,特别是在进行多方案比较时,其优越性更能得到体现。以上就重力式挡土墙的稳定分析进行了探讨,对悬臂式及扶臂式等其他类型挡土墙的稳定分析,可参照以上对重力式挡土墙稳定分析的方法进行处理,因篇幅所限,本文不再赘述。