

探讨以沙量平衡计算方法辅助土壤侵蚀监测

范昊明^{1,2}, 蔡强国¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110161)

摘 要: 在简要阐明沙量平衡计算概念的基础上, 提出以沙量平衡计算辅助土壤侵蚀监测之方法。分析了沙量平衡计算各组成部分与土壤侵蚀监测之间的关系, 对沙量平衡计算框架下沙源监测、沉积泥沙存蓄变化监测及泥沙输出监测的应用方法及其可行性进行了探讨, 明晰了以此方法辅助土壤侵蚀监测的时空问题。

关键词: 沙量平衡计算; 土壤侵蚀监测; 沙源

中图分类号: S 157 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004) 02-0059-04

Study on Soil Erosion Monitoring Using Sediment Budget

FAN Hao-ming^{1,2}, CAI Qiang-guo¹

(1. Institute of Geographical Sciences & Natural Resources Research, C A S, Beijing 100101, China;
2. College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China)

Abstract: The method of soil erosion monitoring assisted by sediment budget is proposed. It is analyzed that the coupling relationship between the soil erosion monitoring and the three parts of sediment budget includes the sediment source, sediment storage and sediment yields. The methods of soil erosion monitoring using sediment budget and its feasibility in different spatial-temporal condition are analyzed.

Key words: sediment budget; soil erosion monitoring; sediment source

随着我国水土保持事业的蓬勃发展, 水土保持监测作为水土保持工作的一项新兴事业已经发挥出越来越重要的作用。通过水土保持监测我们可以了解水土保持生态建设情况、水土流失的动态变化及发展趋势、水土流失的主要影响因子、以及各项水土保持措施的实行是否起到有效的蓄水保土作用。通过水土保持监测更可以及时发现问题、调整对策、提供可靠数据, 进而可以更科学地指导水土流失治理工作, 突出重点, 避免盲目、重复建设。目前, 我国已经基本建立起各级水土保持监测网络, 以“3S”技术为核心的各项先进监测技术和手段的应用使水土保持监测工作更加高效、实时、准确。但是, 笔者认为, 分布在我国各河流域系统内数以万计的水文、泥沙观测站、现存的和建设中的径流小区观测场、各种科学方法所获得的径流泥沙数据, 以及由此而进行的沙量平衡计算同样可以作为辅助土壤侵蚀监测的方法之一进行应用。本文提出以沙量平衡计算的方法辅助土壤侵蚀监测之观点, 并作初步分析, 以供探讨。

1 沙量平衡理论及其在土壤侵蚀监测中应用的可行性

1.1 沙量平衡概念与理论

从流域上游的坡面到流域的出口, 侵蚀泥沙沉积后一直都在随着径流的变化而发生着存蓄量的变化, 而这种变化对于以产沙来反映侵蚀过程的影响是非常大的。坡面发生土壤侵蚀后侵蚀泥沙通常会以 3 种状态而存在: (1) 以崩积物的

形式仍然沉积在坡面(被侵蚀点的下部)或坡脚; (2) 以冲积物的形式沉积在沟道、河漫滩等处; (3) 或被径流直接输送出流域出口。只有第 3 种形式的侵蚀泥沙才被算在产沙量之内。实际上, 沉积在坡面、坡脚的泥沙可能会被重新侵蚀起来并重新沉积在坡面, 或沉积在沟道、河漫滩等处, 或被径流输送出流域出口; 沉积在沟道、河漫滩等处的泥沙也可能被重新侵蚀起来并沉积在更远的地方, 或被径流输送出流域出口。在静态分析条件下, 认为坡面、沟道的侵蚀与产沙之间是相等的, 不考虑沉积泥沙存蓄量的净变化, 而自然界中这种情况是很少存在的, 强度较高的农业开垦、森林植被的破坏、异常降水的出现等都会使这种平衡打破, 造成沉积泥沙存蓄量的变化, 而这种变化也可能以两种形式存在, 如由于农业开垦造成侵蚀量增加, 进而也可能使沉积量也相应地有所增加; 另一种情况则相反, 如由于植被的破坏使径流汇聚加快, 径流集中冲刷使沉积量减少。

沙量平衡计算的研究将对流域内泥沙输入、沉积泥沙存蓄量变化和泥沙输出进行综合考虑。一般情况下, 沙量平衡方程的形式为:

$$I= O+ \Delta S$$
 (1)

式中: I ——泥沙输入; O ——泥沙输出; ΔS ——沉积泥沙存蓄量变化。

一项完整的沙量平衡计算至少应该包括 3 个主要组成部分, 即泥沙输入、沉积泥沙存蓄变化、泥沙输出。Ross A. Sutherland

¹ 收稿日期: 2004-02-10
基金项目: 国家自然科学基金委员会重点基金支持研究项目(40235056); 国家自然科学基金委面上基金资助项目(40271075); 中科院地理科学与资源研究所知识创新工程项目(CX10G-A00-05-02)
作者简介: 范昊明(1972-), 男, 讲师, 博士研究生, 主要从事流域侵蚀、产沙与规划方面的研究。

等人^[1]在其研究中所定义的流域沙量平衡概念性模型如图 1 所示。通过沙量平衡计算主要解决以下 3 方面的问题: (1) 清楚流域内不同位置、不同类型的侵蚀过程及它们之间的相互作用关系;

(2) 了解流域内泥沙输移每一过程的量与输移频率以及泥沙输出的量与输出频率; (3) 清楚流域内不同位置泥沙存蓄量、泥沙驻留时间等沉积泥沙的存蓄变化情况, 等等。

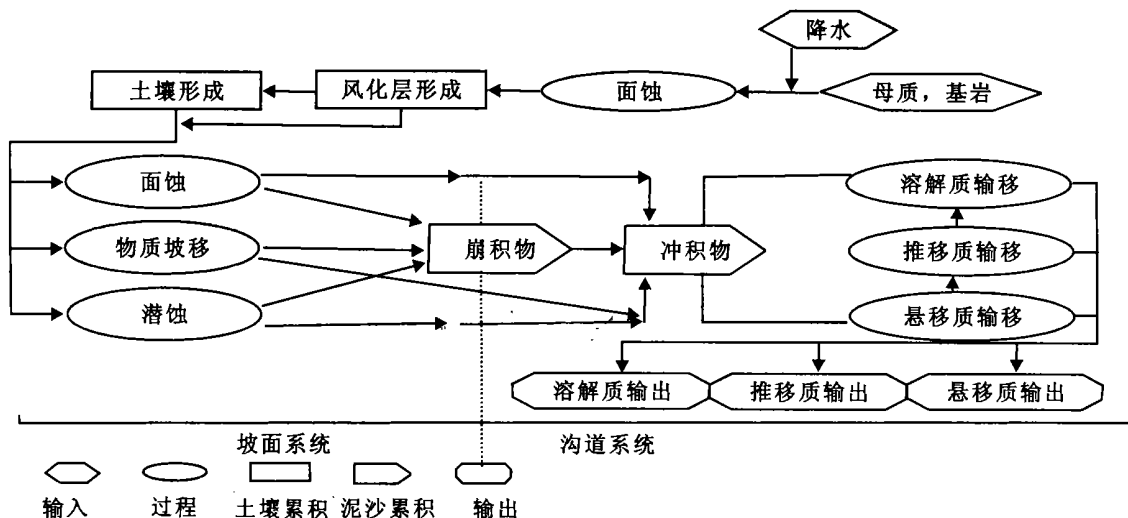


图 1 流域沙量平衡概念性模型

1.2 以沙量平衡计算进行土壤侵蚀监测的可行性

沙量平衡计算理论从提出至今已历经数十年的实践应用与发展, 并且仍在不断发展之中。沙量平衡计算 3 个主要组成部分的内容均与土壤侵蚀监测内容息息相关, 因此, 以沙量平衡计算的方法辅助土壤侵蚀监测必将极大地丰富土壤侵蚀监测的内容、提高土壤侵蚀监测的精度与广度。实践中, 几千个水文观测站分布在全国各大小河流体系中, 分布面广, 数量众多, 且都是经过精心选址合理布设的, 可以最大限度地代表相应流域的径流泥沙总体变化情况。对众多水文站常年观测资料的使用可以提供有效的泥沙来源、泥沙存蓄变化及流域产沙等情况, 从而为水土流失治理提供依据。不足的是水文站资料相对宏观, 对流域内更为细致的不同土地利用状况下土壤侵蚀发生的区域、侵蚀的程度差别无法细致描述。但我国目前用于水土保持监测、科学研究等目的建立起来和正在建设的径流小区观测却可以弥补这方面的不足。对水文站、径流小区等观测资料的沙量平衡计算可以为土壤侵蚀监测工作提供辅助的参考依据, 这在现实中是可行的。

2 沙量平衡计算对侵蚀产沙过程的监测

2.1 沙源与来沙量监测

对于泥沙来源区域及来沙量的监测与确定将为水土保持治理工作提供重要的依据和重点治理方向, 从而可以使水土保持治理工作见效快、重点突出, 避免盲目、重复建设。对于一个汇流封闭的流域而言, 河流泥沙的来源主要有 3 个方面: 坡面来沙; 沟道、河岸侵蚀; 人类活动输入泥沙 (如弃渣等)。一般情况下, 坡面和沟道来沙是河流泥沙的主要来源, 但由于流域内土地利用方式的不同, 因此, 流域的不同位置对河流泥沙的贡献有所不同。如何确定泥沙来源并获知来沙量变化将是土壤侵蚀检测的重要内容之一。在土壤侵蚀沙源与来沙量监测中, 可以通过水文泥沙观测站及分布在流域内的径流小区观测资料获得。对于获得资料的分析与处理可以采用多种方式与途径。目前, 国内在泥沙来源方面已经有较深入的研究, 如陈浩^[2]从不同地貌部位产沙量不同的观点出发, 运用成因分析法的概念分析和确定了黄河中游小流域的

泥沙来源主要来自坡面; 杨明义、田均良等人^[3]应用¹³⁷Cs 研究了安塞纸坊沟流域的一个小支沟泥沙来源的情况; 王晓^[4]采用“粒度分析法”对砭砂岩不同侵蚀类型区典型小流域泥沙来源进行了分析计算; 张平仓、唐克丽等人^[5]基于河口悬移质泥沙与全流域流水侵蚀产沙量相等的假设条件, 分析了皇甫川流域各种产沙地层的产沙特征及机械组成, 并与河口悬移质泥沙的机械组成作对比分析, 应用等量原理建立数学模型, 得出流域内不同地层的相对产沙量, 等等。由此可见, 无论从方法上还是从实践中, 通过水文、泥沙测站及分布在流域内的径流观测小区等进行沙源与来沙量的监测将是很好的土壤侵蚀监测途径之一。

2.2 沉积泥沙存蓄变化监测

侵蚀泥沙并非完全输出流域, 挟沙水流在其运动过程中当发生河床变宽、流速减慢等条件变化时便会发生沉积。流域内泥沙的沉积可以造成水库、河道等淤积, 严重的淤积将减少水库使用年限、调洪能力, 影响河道的航运、泄洪能力等。因此, 对沉积泥沙在流域内存蓄变化的监测十分重要。主要有 3 个关键性的问题: 一个是流域泥沙存蓄量问题; 一个是流域泥沙存蓄与输移时间的问题; 一个是沉积泥沙在流域内的沉积分布格局问题。流域内存蓄泥沙动态变化的定量监测研究将会有助于估算流域泥沙存蓄与流域产沙之间的动态关系, 并且可以对流域内不同位置泥沙的存蓄特征进行比较与解释, 从而为生产实践提供可靠依据。

流域内泥沙的运动与区域洪水的性质及坡面、沟道的形状关系密切, 径流的季节变化会导致流域内泥沙的相应变化, 同时, 坡面、沟道特征与沉积泥沙的输移距离、不同粒径泥沙的分布、流域不同部位泥沙运动至某一点的不同时间有着直接的相互作用关系。因此, 通过水文站资料调查、坡面与沟道测量及河道内沙洲的测量研究可以对泥沙的存蓄及运动有所了解。实践中人们总结了一些方法用以研究泥沙的输移与存蓄变化问题。如 Matthias Hinderer^[6]利用河道、湖泊形态的变化 (即地貌形态变化) 来计算泥沙输移问题; A. R. Orpin 和 K. J. Woolfe^[7]利用不同泥沙颗粒粒径及不同粒径泥沙颗粒分布的规律进行泥沙输移平衡的研究; 高进^[8]通过对不同形

状河流沙洲发育长度的理论分析探讨了河流泥沙淤积的规律, 建立起了河道沙洲发育的预测模型; 目前, 采用同位素示踪方法研究河道泥沙存蓄的定量变化的研究较多, Simon J 等^[9]人通过“水库理论”对河道泥沙的输移与存蓄进行了定量研究。“水库理论”是定量研究河道内泥沙存蓄与输移时间的一种方式, 是对水库中径流平均存蓄与输出时间在概念上的一种借用。通过这种研究方式可以对一定时期内存蓄泥沙的分布及一定时期内存蓄泥沙随降雨径流的输出情况进行研究。

2.3 流域产沙监测

由于各种水土保持措施的拦蓄作用, 部分泥沙会被拦蓄在坡面或沟道。因此, 对于流域产沙的监测可以直接反映出流域水土保持措施的治理效果, 对比选优与淘汰不同的治理措施, 监督措施实施的质量。对于泥沙从流域出口的输出量与输出时间等问题采用水文泥沙观测资料进行研究的较多, 但是由于多数观测站对于泥沙的推移质、溶解质的连续观测较少或没有, 因此多数情况下都是以悬移质的输出来代替流域泥沙的输出。针对多数观测站只有水文、悬移质等观测数据的现实, 根据当地水文泥沙的特点建立起径流、悬移质与推移质、溶解质的相关关系或许是解决问题的途径之一。另外, 在世界各地分布着数以百万计的用于灌溉、蓄水、调洪等目的的小池塘、湖泊和水库等, 这些天然或人工的蓄水设施中也有许多是有泥沙观测资料或是能够对沉积泥沙进行测量的。因此, 利用这些蓄水设施来计算流域泥沙的输出也是很好的方法之一, 并且这种方法可以弥补缺乏推移质和溶解质观测资料的缺陷, 对于一些没有水文泥沙观测站的流域该方法的意义就更大了。目前, 许多学者在利用这种方法进行流域泥沙输出的研究, Gert Verstraeten 和 Jean Poesen^[10]在他们关于流域泥沙输出的研究中就使用了这种方法, 并利用如下关系进行泥沙输出量的计算:

$$S_y = 100 \frac{S_v \times d_{BD}}{T_E} \tag{2}$$

式中: S_y ——产沙量(t/a); S_v ——泥沙累积速率(m^3/a); d_{BD} ——沉积泥沙干容重(t/m^3); T_E ——泥沙沉积率(%)。

在我国大量的天然堰塞湖的淤积、黄土高原的淤地坝等都为流域泥沙输出计算提供了良好的途径。如朱同新等人^[11]根据黄土高原淤地坝内沉积物中微量元素、氧化物含量的垂直变化规律, 提出了判定沉积年界的方法, 并据此计算年侵蚀产沙量。同时, 根据剖面中的粒度组成, 运用最优近似解法来求算坡面中各场降雨淤积物的红土、黄土所占的比例。

3 以沙量平衡计算辅助土壤侵蚀监测中的监测尺度问题

对于一个确定的流域, 泥沙的输移能力从长系列看是稳定的, 但从短时间来看又是不稳定的。这是因为输移泥沙的径参考文献:

[1] Ross A Sutherland, Rorke B Bryan. Sediment budgeting: a case study in the Katorin Drainage basin, Kenya[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1991, 16: 383- 398.

[2] 陈浩. 黄河中游小流域的泥沙来源[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(1): 19- 26.

[3] 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.

[4] 王晓. “粒度分析法”在小流域泥沙来源研究中的应用[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 42- 43.

[5] 张平仓, 等. 皇甫川流域泥沙来源及其数量分析[J]. 水土保持学报, 1990, 4(4): 29- 36.

[6] Matthias Hinderer. Late Quaternary denudation of the Alps, valley and lake fillings and modern river loads[J]. Geodi-

流是周期变化的, 在一个周期内又是波动的。由于降雨条件在年内及年际间的变化, 泥沙的输移也会表现出不同的状态。如蔡强国^[7]等人在黄土高原丘陵沟壑区羊道沟小流域对泥沙输移比的研究, 分年度计算的结果变化于 0.36 ~ 1.12 之间, 次降雨泥沙输移比变幅更大, 在 0.36 ~ 1.85 之间, 但研究时段(6 年)平均的数值接近于 1。另外, 强烈的农业开垦、森林采伐、过度放牧等都会使沙量平衡计算的结果在特定的时间范围内发生巨大的变化, 因此, 选取不同的时间尺度来研究同一流域内的泥沙问题时也有可能得出不同的结果。对于土壤侵蚀监测而言, 目前多是以年或年以上的时间尺度来进行的。但如果以水文站资料为基础所进行的沙量平衡计算却可以为土壤侵蚀监测在更小的时间尺度上提供泥沙变化的信息, 如除了可以提供侵蚀泥沙年际变化之外还可以提供侵蚀泥沙年内不同季节甚至不同月、不同日的变化情况, 从而可以为土壤侵蚀监测提供更为细致的辅助参考数据。

由于流域空间尺度的不同, 泥沙的输移同样会表现出不同的状态。流域越大其环境条件越复杂。一般来说, 中小流域内环境因素相似性比较大, 而大流域环境因素差异较大。不同空间尺度上的地貌与环境因素对流域泥沙输移的影响较大, 这些影响因素有泥沙来源的性质、范围和位置; 地形与坡面特征; 流域形态与坡面特征; 河道情况; 植被覆盖; 土地利用和土壤结构等, 在这些因素中流域面积往往作为主要控制因素来考虑。目前的土壤侵蚀监测工作在空间尺度上是以宏观监测与微观监测结合起来进行的。宏观监测多是在“3S”技术支持下进行的, 以宏观监测数据反映区域土壤侵蚀的总体变化情况。微观数据多是以径流小区观测资料为基础, 以微观监测反映不同地类土壤侵蚀状况并为宏观监测提供数据补充和验证。但实际上由于径流小区的数量、位置是否具有代表性等问题, 有时候未必可以切实可行地为宏观监测提供准确和足够的补充及验证数据。而以不同流域尺度下的各级水文站资料为基础所进行的沙量平衡计算却可以提供相应的补充和验证数据。

4 结 论

以水文站、径流小区等资料为基础所进行的沙量平衡计算可以提供宏观和微观两方面的关于泥沙来源、沉积泥沙存蓄变化和泥沙输出等方面的信息, 而这恰恰是与土壤侵蚀监测息息相关的研究内容。分布在我国各大小流域内数以千计的水文站及径流小区观测资料使以沙量平衡计算为基础提供土壤侵蚀监测信息成为可能。随着对沙量平衡计算各组成部分计算及获取方法的不断改进, 必将为土壤侵蚀监测提供更为丰富、真实、实时的监测数据。因此, 充分利用现有水文站和径流小区等源源不断地观测资料, 继续深入研究沙量平衡计算的理论与方法, 以沙量平衡计算辅助土壤侵蚀监测工作, 是进一步促进土壤侵蚀监测工作的重要方法之一。

namica Acta, 2001, 14: 231– 263.

[7] A R Orpin, K J Woolfe. Unmixing relationships as a method of deriving a semi-quantitative terrigenous sediment budget, central Great Barrier Reef lagoon, Australia[J]. Sedimentary Geology, 1999, 129: 25– 35.

[8] 高进. 河流沙洲发育的理论分析[J]. 水利学报, 1999, (6): 66– 70.

[9] Simon J Wathen, Trevor B Hoey, Alan Werritty. Quantitative determination of the activity of within-reach sediment storage in a small gravel-bed river using transit time and response time[J]. Geomorphology, 1997, 20: 113– 134.

[10] Gert Verstraeten, Jean Poesen. Using sediment deposits in small ponds to quantify sediment yield from small catchments: possibilities and limitations[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2002, 27: 1425– 1439.

[11] 朱同新. 淤地坝沉积剖面中年界的确定[A]. 左大康. 黄河流域环境演变与水沙运行规律研究文集[C]. 北京: 地质出版社, 1991. 96– 104.

(上接第 38 页)

“三区”划分属于重点监督区。该点是所设 5 个监测点中条件最好的, 不仅交通方便, 距县水土保持试验站不足 2 km; 而且基础设施完备, 所建立的 4 个不同类型径流小区已连续进行 18 a 的观测和记录, 积累了一批有价值的资料。

b 西大峪监测点代表的是土石缓坡丘陵强度侵蚀类型区, 水土保持“三区”划分属于重点治理区。

c 田家岭监测点代表的是土石山地丘陵中度侵蚀类型区, 水土保持“三区”划分属于重点预防区。

d 新水厂监测点代表的是土石山地丘陵强度侵蚀类型区, 水土保持“三区”划分属于重点治理区。

e 燕各庄监测点代表的是土质丘陵中度侵蚀类型区, 水土保持“三区”划分属于重点预防区。

3.4.3 各监测站点的监测内容、方法、设施

(1) 区域监测。天津市水土保持监测总站主要是通过不同时期获得的遥感影像资料的判读, 结合地面现场调查进行系统分析, 掌握区域水土流失情况及其动态变化趋势, 其主要监测内容有:

a. 不同侵蚀类型(水力侵蚀、重力侵蚀) 的侵蚀面积、侵蚀强度。

b. 重力侵蚀较多的区域, 对崩岗、崩塌、滑坡、泥石流等进行典型监测。

c. 典型区水土流失危害监测, 包括水库、湖泊、河床淤积量变化情况; 损失土地数量变化情况; 人畜生命、财产损失状况以及典型区水土流失防治措施效益。

(2) 中小尺度流域监测。通过获取布设在水土流失重点区的监测站点及水文站、气象站的观测和分析化验数据, 结合抽样调查、访问等方法, 实现对中小尺度流域水土流失及其防治动态变化趋势的监测。具体内容与区域监测相同, 还要增加一些其他必要项目。

(3) 开发建设项目监测。通过获取布设在重点监督区的两个站点(白马泉和燕各庄) 以及必要时增设临时监测点的参考文献:

[1] 朱光, 季晓燕, 戎兵. 地理信息系统基本原理及应用[M]. 北京: 测绘出版社, 1997.

[2] 化相国. 段淑怀, 周玉喜. GPS 在北京市水土保持调查工作中的探讨[A]. 见: 全国第一届水土保持监测学术研讨文集[C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 217– 220.

[3] 郝捷, 武现治. “3S”技术在水土保持“三区”划分中的应用[J]. 中国水土保持, 2002, (11): 36– 37.

[4] 史明昌, 田玉柱. 水土保持监测框架的探讨[A]. 全国第一届水土保持监测学术研讨会论文集[C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 11– 16.

[5] 水利部. 水土保持监测技术规程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.

监测数据, 并结合定期、不定期的实地调查, 对开发建设项目进行监测。

a. 项目建设区环境状况监测项目: 地形、地貌、水系的变化; 建设项目占用地面面积、扰动地表面积; 项目挖方、填方数量及面积, 弃土、弃石、弃渣量及堆放面积、方式; 项目区林草覆盖度; 水土保持工程设施的破坏情况。

b. 水土流失状况监测项目: 项目区建设前后水土流失面积; 项目区建设前后水土流失量; 项目建设前后水土流失程度变化情况。

c. 水土流失防治效果监测项目: 防治措施实施地点、数量、质量; 林草措施成活率、保存率、生长情况及覆盖度; 防护工程的稳定性、完好程度、运行情况。

(4) 崩塌、滑坡、泥石流等监测。通过增设临时监测点及现场调查, 实现对崩塌、滑坡、泥石流、沙尘暴等偶发事件的监测, 监测内容有:

- a. 水土流失危害。
- b. 发生范围及影响区域。
- c. 给当地群众生命财产造成损失情况。

4 结 语

水土保持监测中的 3S 技术应用是对水土流失治理实现科学、高效地管理, 并进行准确预报预测的重要手段。蓟县山区是“京津风沙源治理工程”在天津的惟一建设区, 同时又是天津市的水源地, 其生态环境建设直接关系到京津地区的生态安全, 水土流失是主要的环境问题之一, 以 3S 技术为基础, 对天津市水土保持监测工作的科学性有促进作用。对于桥水库来说, 应该纳入蓟县的全县—乡镇—小流域三级管理系统。将于桥水库周边地区划分为若干小流域, 各项指标可以小流域、乡镇为单位统计分析。在目前的水源保护工程(水库水土保持部分) 中, 直接调用小流域数据进行项目规划、可研和初步设计等, 并根据初设, 实行计算机辅助项目监督和管理。