

# 红壤丘陵区小流域水土流失生态修复监测系统设计

## ——以江西信丰县崇墩沟小流域为例

田 锋<sup>1</sup>,石 辉<sup>1,3</sup>,黄 林<sup>2</sup>,周立江<sup>4</sup>

( 1. 西南大学地理科学学院;2. 西南大学生命科学学院三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 北碚 400715;  
3. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院,西安 710055;4. 四川省林业勘查设计研究院,成都 610081)

**摘 要:**为了从根本上治理南方红壤区的水土流失,国家林业总局在江西省信丰县崇墩沟小流域开展了生物措施治理水土流失的试点。以生物措施治理水土流失项目为背景,设计了生态修复监测系统,从生态、经济和社会效益入手,实现动态监测和信息定期更新,为水土流失区生态修复工作的开展提供定量数据,从而进一步推动生物措施治理水土流失的发展,营建社会、经济、环境的可持续发展。

**关键词:**生物措施;水土流失;生态修复;监测

**中图分类号:**S157;X171.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2007)02-0148-04

# The Monitor of Environment Restoration System for Watershed Water and Soil Conservation in Red Soil Hills

## ——A Case Study in Chongdungou Watershed in Xifeng ,Jiangxi

TIAN Feng<sup>1</sup>,SHI Hui<sup>1,3</sup>,HUANG Lin<sup>2</sup>,ZHOU Li-jiang<sup>4</sup>

(1. School of Geography, SWU;

2. Key Laboratory of Ecvironments of Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, School of Life Science, SWU, Beibei, Chongqing, 400715;

3. School of Environments and Municipal Engineering, XUA T, Xi 'an, 710055;

4. Sichuan Forestry Exploration and Design, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** In order to father water and soil losses of southern red soil areas thoroughly, national general ministry of forest started experimental unit of biologic measures applying in soil and water conservation in Chongdungou watershed in Xinfeng county of Jiangxi Province. Based on the background of biologic measures applying in soil and water conservation, with the help of the monitor of environment restoration, starting with society, economy and environment, to achieve dynamic monitor and regular update of information, providing quantitative data for the restoration of areas suffering from water and soil losses, and furthermore to stride forward the development of biologic measures applying in soil and water conservation and to construct the sustainable development of society, economy and environment.

**Key words:** biologic measures; water and soil losses; ecological restoration; monitor

南方山地丘陵区温暖多雨,属典型的亚热带,地带性土以红壤为主,素有八山一水一分田之说,荒山荒坡面积达 48 万 km<sup>2</sup>,山多田少并潜在水土流失的危险。由于种种原因,目前一些地区水土流失严重,外国人称此严重流失区为红色沙漠<sup>[1]</sup>。严峻的现实迫切要求我们开展新的有效的水土保持工作。水土保持生物措施是协调人与自然,实现资源、环境可持续发展的关键性措施<sup>[2]</sup>。江西省信丰县崇墩沟小流域,属于赣南山地丘陵区,区内水土流失面积广、侵蚀程度剧烈,是南方山地丘陵具有代表性的侵蚀区,因此国家林业总局选择了在该流域进行生物措施治理水土流失的试点拟通过生态修复的方法减少或避免人类活动对生态脆弱区水土

流失的干扰,利用大自然的力量,发挥生态的自我繁衍和修复能力,加快植被恢复和生态系统的改善,以达到大面积、快速、彻底的防治水土流失的系统工程<sup>[3]</sup>。

水土保持监测指以从保护水土资源和维护良好的生态环境出发,运用多种手段和方法,对水土流失的成因、数量、强度、影响范围、危害及其防治成效等进行动态监测和评估,是防治水土流失的基础工作<sup>[4]</sup>。而本监测系统的设计就是针对小流域生物措施治理水土流失的动态监测,对通过实施生态修复措施期间的生态、社会、经济效益进行测定与分析,通过一定的计算模式,定性或定量地评价实施生态修复的效果,探寻出合适的生物措施治理模式,从而进一步推动生物措施治

\* 收稿日期:2006-06-20

基金项目:国家林业局造林司生物措施治理水土流失试点项目资助

作者简介:田 锋(1981-),男(土家族),重庆酉阳县人,在读硕士,主要从事水土资源与环境方面的研究。

理水土流失的发展,营建社会、经济、环境的可持续发展。

1  监测区域概况

  信丰县崇墩沟小流域位于赣江流域的源头地区,总面积 1 693.70 hm<sup>2</sup>,属低山丘陵地貌类型,境内最高海拔 495 m,最低海拔 184 m,河流沿岸地势开阔平坦,丘陵坡度一般介于 10~35°之间;该区属于亚热带湿润季风气候类型;现有森林类型主要为湿地松、马尾松、杉木人工林和竹林;在生物、气候等条件的综合作用下,母岩发育的土壤类型主要为红壤(又称黄泥土),其次是黄红壤;自然土壤的土层厚度一般在 30~80 cm,呈酸性反应(稀土矿区及被淤毁农田表层沙土呈强酸性反映),有机质含量低。区内因蕴藏着较丰富的稀土矿资源,从 1995 年起,一些个体开发商进入区内,在未采取任何环境保护措施的情况下,无序的开挖地表,采矿洗矿同时同地进行,造成了极其严重的水土流失。区内水文系统的破坏(地表径流的增加、垂直入渗的减小及水质的变化等<sup>[5]</sup>)以及土壤侵蚀加剧(每生产 1 t 氧化稀土,要搬动冲洗 2 000 t 泥土,是名符其实的“搬山运动”<sup>[6]</sup>),造成了区内生态环境的恶化。仅崇墩沟流域内有大小稀土矿开采点 24 处和采石场 1 处,通过调查计算,开发稀土矿造成的年水土流失量约为 0.82 万 t,占本地水土流失区年水土流失量的 55.4%。此外,在这期间,由于赣南地区特殊的自然条件,脐橙产量及品质较高,位于山体中下部的许多次生植被类型被开建为果园基地。而果园建设多见机械化施工,沿等高线水平开垦,并配套建设了许多机耕便道,在果园建设的前五年,因原有的地表植被也遭受了较严重破坏,台缘、坡坎及新开道路两侧堆砌了大量翻耕开挖的土壤,因未及时采取水土保持措施,造成大量的水土流失,侵蚀区土壤平均侵蚀模数高达 2 847 t/km<sup>2</sup>·a。流失的泥沙在区内的小河流大量淤积,通过初步计算小河从河口至上游矿堆流失处总长为 7 529 m,其泥沙淤积量 19 024.22 t<sup>[13]</sup>。

2  总体设计

  监测体系是生物措施治理水土流失的基础,因此伴随着生物措施治理水土流失的实施及生态修复措施的开展,根据《水土保持监测技术规程》(SL277-2002)和《水土保持生态环境监测网络管理办法》并结合当地实际情况,建立了一套能满足实际需要、便于操作、较为完善的监测体系。具体包括流域的自然状况、土壤侵蚀面积;降水引起水土流失量;坡地治理措施减少水土流失的效益等。

2.1  水土流失状况监测

  对小流域进行精细外业调查,内容包括土地利用现状调查、土壤侵蚀调查、土壤及其理化性状调查、植被类型及覆盖度调查、社会经济情况调查、气候及地质调查等,在此基础上结合 GIS 技术完成流域内土地利用现状、水土流失现状、生物措施的设置和监测设施布置的图件及数据库设计,对小流域进行动态监测。

2.2  效益监测

  效益监测分为生态效益、社会效益。生态效益监测主要观测项目实施前后土地利用类型变化、森林系统结构变化带来的沟系水土流失和径流的变化,测定不同生态修复措施类型地表径流和泥沙侵蚀量,评估生态修复措施的生态学意义;经济效益监测以掌握项目实施后对当地具体的经济贡献;社会效益监测以了解生物措施治理水土流失项目对区域社会的影响与贡献为目的。

3  崇墩沟小流域监测系统设计

3.1  流域的水土流失状况监测

3.1.1  流域的自然状况分析

  以航空遥感像片、地形图以及相关专题图等资料为基础,结合野外调查加以补充和修正,分析小流域的自然状况。具体包括地形地貌、气候、母岩、土壤、植被等以便找出土壤侵蚀因子为日后水土流失治理工作的开展提供基础资料。

3.1.2  水土流失监测

  在已取得的流域自然状况的基础上,结合 GIS 和 RS 技术对流域的水土流失历史和现状进行分析研究,主要包括水土流失类型、面积、分布、流失量、强度、原因以及对区内水土流失典型区域进行的针对性分析等。

3.2  生态修复效益监测

  以小流域为单元实施生物治理措施,进行生态修复研究的效益监测,主要通过对农地、林地、宜林荒地和未成林地等不同土地利用类型布设监测点,不同植被类型布设固定样点,测定以下指标:植被的类型、结构、分布,植物的种类;林草生长量、郁闭度、覆盖度等以分析植被群落的生物多样性及生态学意义;土壤理化性状:枯枝落叶层厚度;区内河流的流量、泥沙量变化情况等;区内的社会经济状况监测,包括人口、劳动力、土地面积、土地生产率、经济收入的变化情况等。

3.2.1  径流小区监测

  径流小区主要是对各种设计的生态修复治理类型的蓄水保土效益进行监测。

  (1)小区设计。根据《水土保持监测规程》SL277-2002 及区内的水土流失状况和主要生物措施治理类型及对照类型,具体设置为:荒山绿化水土保持型 1 个;马尾松低效林改造型 4 个(木荷树种 1 个(补植)、灌木 1 个(补植胡枝子或刺槐)、草本 1 个(补植铁芒箕)、对照径流场 1 个(保持原状));封山育林水土保持型 1 个;果园生物埂水土保持型 1 个;果园对照径流场 1 个<sup>[12]</sup>。修建时选取投影面积 20 m×5 m,要求地形、坡向、坡长、土壤、母质、植被、地下水 and 土地利用情况具有当地代表性,选择的生物措施治理水土流失生态修复类型具有典型性;坡面横向平整,植被复被、坡度和土壤条件均一,林地枯枝落叶层不应破坏;在同一小流域内应尽量相对集中,同时设置监测区和对照区,交通便利便于自身对比或平行对比;坡面上尽可能处于自然状态。

  小区建设

  小区修筑:小区边界由水泥板垂直埋入地内围成,高出地面 10~20 cm,埋入地下 30 cm。小区底端为由水泥等材料做成的三角形集水槽,集水槽表面要光滑,上缘与地面同高,槽底由下向中间倾斜,斜度以土壤不发生沉积为准,同时需加一盖子,防止雨水进入。紧挨的为塑料管做成的导流管。

  集水池:径流泥沙用集水池收集,据当地实际情况,集水池设计规格为 1 m×1 m×1 m 的正方体;池壁绘制标尺,以方便观测集水集沙情况并推算径流体积。

  雨量装置:由于 7 个径流场的距离相距不远,所以在小区旁只设计了一个自记雨量计和雨量筒以观测降雨。

  (3)径流场的观测。主要内容是降水、径流、泥沙及土壤养分观察测定。

  降水量观测。每次降雨后 10~30 min 观测并记录。雨量资料的整理计算:日降水量按 0~24 h 计,雨强按 mm/h 计。

  径流量观测。当地表径流终止后,揭开径流场集水槽盖板,将其中的泥沙、水扫入集水池中,观测集水池内的泥水位,计算一次径流的泥水总量。

泥沙观测。在取样之前,先将水样搅拌均匀,在池中分层取出柱状水样 2~3 个(总量在 1 000~3 000 cm<sup>3</sup>)。混合后从中取出 500~1 000 cm<sup>3</sup> 水样盛于塑料壶中,作为本次降水地表径流冲刷标准样;将室外水样带回倒入大烧杯或瓷碗中,在静置 24 h 后,将清水倒入量筒,记录其体积容量,以此作为一次降雨径流场径流量推算依据,余留泥沙样作为烘干样;将余留的稠泥沙样放入烘箱中,在 110℃ 下烘干至恒重;若没有烘箱可将盛有稠泥沙样的烧杯放在太阳下晒或放在盖有石棉网的电炉上加热使其蒸干;称干泥沙样重量,并作记录,通过换算折合成单位面积上的产沙量,即为该径流场一次降水所产生的土壤侵蚀量,即冲刷量。

### 3.2.2 小河流流量变化监测

流量是河流的重要特征值之一。流量的变化将引起流水蚀积过程和水流的其他特征值的变化<sup>[8]</sup>。小河流汇集了流域的水量,因此小河流的流量大小对流域水土流失的治理具有重要意义。

单位时间内通过某过水断面面的水量,叫做流量(m<sup>3</sup>/s)。测出流速和断面面积就可以知道流量:

$$Q = A v$$

式中,  $A$  ——过水断面面积,  $v$  ——平均流速。

由于河流过水断面的形态、河床表面特性、河底纵坡、河道弯曲情况等,都对断面内各点流速产生影响,故在过水断面上,流速随水平及垂直方向的位置不同而变化,即  $v = f(b, h)$ 。此处  $v$  为断面上某点的流速,  $b$  为该点至水边的水平距离,  $h$  为该点至水面的垂直距离。因此,通过全断面的流量  $Q$  为:

$$Q = \int_{bh}^{BH} v dF = \int_{bh}^{BH} f(b, h) dh db$$

式中:  $dF$  ——过水断面内的单元面积,其宽为  $db$ ,高为  $dh$ ;  $v$  ——垂直于  $dF$  的流速;  $B$  ——水面宽度;  $H$  ——水深。

崇墩村小河流由于沙多水少,水位较浅,流速较慢且属于高含沙水流,所以设计采用水利部重庆水文仪器厂生产的 LS54A 型旋杯式流速仪。

流速仪测流法,是以上式为依据,将过水断面划分为若干部分,用普通测量方法测算出各部分断面的面积,用流速仪测算出各部分面积上的平均流速,两者的乘积为通过各部分面积的流量,称为部分流量。部分流量的总和即为全断面的流量。现分述如下:<sup>[9]</sup>

(1) 断面测量。河流断面的测量,可采用在断面上布设一定数量的测深垂线,测得每条测深垂线的起点距和水深,从施测时的水位减去水深,即得各测深垂线处的河底高程。由已知的测深垂线,将断面分为若干梯形,根据梯形面积公式可计算出各梯形面积,即可计算出断面面积。

(2) 流速及流量测定。在天然河道上测流时,只要条件许可,一般都使用流速仪进行测速。流速仪是用来测定水流中任意指定点的水流平均流速的仪器。旋杯或旋桨受水流冲力而旋转,流速愈大,转速愈快。根据每秒转数与流速的关系,便可推算出测点的流速。

LS54A 型旋杯式流速仪属于全自动测流仪,在测定过程中选择一离河口 10~20 m 处河道平直的地方作为测定断面。测定时只需将旋杯没入水中,即可自动计算出该断面的流速,同时将已测得的过水断面面积输入该仪器,即可自动计算出过水断面面积的流量,即为该河流的流量。

### 3.2.3 泥沙淤积量定位监测

在实施定位监测的过程中,我们发现淤积河流的泥沙主要为开采稀土矿和果园建设中流失的尾沙,由于和原河底泥沙具有不同容重,因此在淤积时和原河床低部产生了一个明显的界限。根据这一原则确立了通过打桩法作为测量河流

泥沙淤积量的方法。

泥沙淤积量(t) = 泥沙容重(g/cm<sup>3</sup>) × 泥沙淤积体积(m<sup>3</sup>); 泥沙淤积体积(m<sup>3</sup>) = 平均淤积断面面积(m<sup>2</sup>) × 河流长(m)

其中泥沙淤积体积可采用打桩算法求得,泥沙容重通过取样计算求得。

(1) 泥沙淤积体积的测定<sup>[13]</sup>。河流中的泥沙淤积是从河床底向上淤积的,由于河床的截面可以看为一个下窄上宽的平面,那么我们可以将此平面看成是有众多的直角三角形和梯形的组合,通过多边形的面积公式计算这些多边形的面积,将所有多边形面积相加即可求出淤积断面面积。实际操作过程中,由于淤积深度不大,采用打桩法可以计算得出淤积断面面积。平均淤积断面面积可由多个断面取平均值求得。

小河流的长度可用皮尺测出。

将所测得的平均淤积断面面积和小河流长相乘即可得出泥沙淤积的体积。

(2) 泥沙容重的测定。泥沙容重的测定参考南京土壤地理所出版的《土壤理化分析》一书,根据其中的方法通过取样并进行实验即可求得。

(3) 泥沙淤积量的测定。将所测得的泥沙淤积体积和泥沙容重相乘即可求出泥沙淤积量。从而可推断出流域内一年的水土流失量及侵蚀模数。

### 3.2.4 水源涵养监测

(1) 土壤净态水分测定。用环刀法对样地土壤进行分层取样,测定土壤自然含水量、田间持水量、饱和含水量、毛管持水量、最大持水量及土壤容重。

(2) 林地枯枝落叶截留量观测。大气降水通过林冠层层截留后又被枯枝落叶所截留,这部分水称为枯枝落叶截留量。<sup>[10]</sup>测定方法采用室内烘干法即在不同植被类型或治理措施下,在典型代表性的地段按 1 m × 1 m 的样方抽取地面枯落物,均匀放入细铁丝网内,浸入水池中 24 h,然后取出在不滴水后称重,其截留量(持水量)以烘干物的吸水量表示,即水重/单位枯落物干重。

### 3.2.5 生物多样性监测

(1) 样方法典型取样。根据不同植被类型布设的生物措施治理类型选择固定样点进行常规群落学调查。样方面积为 20 m × 20 m,每个样方分为 4 个 10 m × 10 m 测定乔木层,每个 10 m × 10 m 的样方中测一个 5 m × 5 m 的灌木层样方,一个 2 m × 2 m 的草本层样方,记录项目包括乔木的高度、胸径和冠幅;灌木和草本的高度、盖度、株数;生境因子,如海拔、坡度、坡向、土壤类型等<sup>[11]</sup>。

(2) 生物多样性分析。用  $H'$  = 相对多度 + 相对盖度 + 相对频度,来计算每一群从中各种群的重要值。

用 shannon - wiener 指数( $H'_{SW}$ )来计测各类植物群落的物种多样性。

$$H'_{SW} = 3.3219 (\lg N - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^S n_i \lg n_i)$$

式中: 3.3219 —— $\lg_2$  到  $\lg$  的转换系数,  $N$  ——群落(样地)全部个体总数,  $n_i$  ——第  $i$  个种的个体数,  $S$  ——样本总数。

在 Shannon - wiener 指数的基础上,用下式计算各植物群落的群落均匀度( $J$ )。

$$J = (\lg N - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^S n_i \lg n_i) / \{ \lg N - [ (S-1) \lg (S-1) + 1 ] / N \}$$

式中: —— $N$  被  $S$  整除以外的余数, —— $(N-1)/S$ ,  $S$  ——种的数目。

用 Margalef 丰富度指数( $R$ )来计算群落中的物种丰富度

$$R = (S - 1) / \ln N$$
式中:  $N$  ——样本中全部种的总个体数,  $S$  ——样本中的物种数。

通过对流域内植被群落及生态修复设计类型的植被群落的生物多样性分析,可以分析出生态修复的生态学意义,以便为流域水土保持的开展提供更为详细的定量数据。

3.3 经济效益监测

3.3.1 监测内容

(1) 生态修复的直接经济效益。实施生态修复措施后土地上生长的植物产品(未经任何加工转化)的增产量和增产值,具体包括增产的林木枝叶、活立木、果品、饲草及其他草产品等。<sup>[7]</sup>

(2) 农户家庭经济状况监测。近 3 年及每个调查年度的经济状况。包括主要经济来源、家庭总收入、家庭纯收入等。

(3) 乡村经济变化状况监测。对区内的村、社,通过采取二手资料调查法等有关方法,定期调查搜集项目区经济指标,并评价项目区经济变化情况。

3.3.2 方法

(1) 单位面积经济指标的监测:采用固定样点调查法,在区内的不同生物措施类型地段,设置一定面积的样点(样方或样地),定期或收获期调查其经济效益的有关指标。

参考文献:

[1] 杨艳生.我国南方红壤流失区水土保持技术措施[J].水土保持研究,1999,6(2):116-120.  
[2] 唐克丽,等.中国水土保持[M].北京:科学出版社,2004.  
[3] 张莉,等.云南省姚安县水土保持生态修复措施的效益研究[J].长江流域资源与环境,2005,14(3):358-361.  
[4] 许峰.近年我国水土保持监测的主要理论与技术问题[J].水土保持研究,2004,11(2):19-21.  
[5] 卞正富,张国良,胡喜宽.矿区水土流失及其控制研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(4):31-36.  
[6] 郭在扬.龙岩地区矿区水土流失危害及防治对策[J].福建水土保持,1996,(1):52-54.  
[7] 胡建民,等.水土保持生态修复监测讨论[J].中国水土保持,2004,(7):27-28.  
[8] 伍光和,等.自然地理学[M].北京:高等教育出版社,2002.  
[9] 吴明远,詹道江,等.工程水文学[M].成都科学技术大学;河海大学,1987.253.  
[10] 陈奇伯.林地枯枝落叶层水土保持作用探讨[J].甘肃水利水电技术,1995,(5):70-74.  
[11] 刘创民,等.北京九龙山灌丛植被的物种多样性分析[J].林业科学研究,1994,7(2):143-148.  
[12] 王峰,石辉,黄林,等.红壤丘陵区生物措施治理水土流失的技术体系[J].水土保持研究,2005,12(5):248-251.  
[13] 田锋,石辉,黄林,等.红壤区稀土矿开发导致河流泥沙淤积量的估算[J].水土保持通报,2005,25(6):53-55.

(上接第 147 页)

(3) 运用灰色关联法对五种典型植被抗剪强度进行分析,结果显示:在自然条件下,五种典型植被的抗剪强度大小依次为:楠竹林>混交林>阔叶林>农耕地>灌木林。

参考文献:

[1] 张爱国,李锐,杨勤科.中国水蚀土壤抗剪强度研究[J].水土保持通报,2001,21(3):5-9.  
[2] 傅立.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学技术文献出版社,1992.  
[3] 刘玉成,钟章成,等.缙云山自然保护区植被概况[A].见:钟章成.常绿阔叶林生态学研究[M].重庆:西南师范大学出版社,1988.315-326.  
[4] GB/T 50123-1999,土工试验方法标准[S].  
[5] 伯姆.根系研究法[M].北京:科学出版社,1985.  
[6] 北京林学院土壤教研组.土壤学实习实验指导书[Z].北京林学院,1981.46.  
[7] 陈仲颐,周景星,王洪瑾.土力学[M].北京:清华大学出版社,1992.178-180.  
[8] 范兴科,蒋定生,赵合理.黄土高原浅层原状土抗剪强度浅析[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(4):69-75.  
[9] 侍倩.土工试验与测试技术[M].北京:化学工业出版社,2004.207.  
[10] 灰色系统水文学-理论、方法及应用[M].武汉:华中理工大学出版社,2000.  
[11] 闫俊华,周国逸,申卫军.用灰色关联法分析森林生态系统植被状况对地表径流系数的影响[J].应用与环境生物学报,2000,6(3):197-200.  
[12] 唐守正.多元统计分析方法[M].北京:中国林业出版社,1986.  
[13] 马歇尔,霍姆斯.土壤物理学[M].北京:科学出版社,1986.