

青海共和盆地威连滩冲沟侵蚀遥感监测的初步结果

马玉凤^{1,2}, 严平^{1,2}, 王耿锐¹, 宋阳^{1,2}, 汪言在^{1,2}, 杨恒华³, 朱孟郡^{1,2}

(1. 北京师范大学资源学院, 北京 100875; 2. 北京师范大学防沙治沙教育部工程研究中心, 北京师范大学中国沙漠研究中心, 北京 100875; 3. 青海省治沙试验站, 青海共和 813005)

摘要:利用 2006 年高分辨率的快鸟影像和 1982 年的航空像片, 结合 GPS 雨季前后精确测量数据, 在 GIS 软件支持下, 对青海共和盆地沙沟河流域的一个典型冲沟, 从不同时间、空间尺度上对冲沟侵蚀进行动态监测研究。初步结果表明: 冲沟的侵蚀速率快, 主要表现在沟头的溯源侵蚀; 冲沟的沟型基本没变化, 但沟头变化明显; 预测冲沟以每年 12 m 速度发展是可信的, 并指出冲沟侵蚀给当地村民的生产、生活以及龙羊峡水库带来了较为严重的危害。

关键词:青海共和盆地; 冲沟侵蚀; 遥感监测

中图分类号: S157.1; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0001-05

Preliminary Results of Gully Erosion by Remote Sensing Monitoring in Weiliantan, Gonghe Basin, Qinghai Province

MA Yufeng^{1,2}, YAN Ping^{1,2}, WANG Geng-rui¹, SONG Yang^{1,2},
WANG Yan-zai^{1,2}, YANG Heng-hua³, ZHU Meng-jun^{1,2}

(1. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. MOE Engineering Center of Desertification and Blowrsand Control of Beijing Normal University, China Center of Desert Research at Beijing Normal University, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Sand Control Experimental Station of Qinghai Province, Gonghe, Qinghai 813005, China)

Abstract: By high resolution imageries of Quick Bird in 2006 and airphotos in 1982, together with exactly measured data by GPS before and after rainy season, a typical gully, which locates in Shagou River basin, Gonghe Basin, Qinghai Province, was monitored dynamically on different spatial and temporal scales in support of the GIS software. Preliminary results show that: the erosion rate of gulch is high, which mainly presents in the form of headward erosion. Shape of gully varied little, but the gully head varied obviously. It is credible that the gully expands at the speed of 12 m/a. Moreover, the authors point out the gulch erosion does serious harm to local villagers' life and production and Longyangxia reservoir.

Key words: Gonghe Basin of Qinghai province; gully erosion; remote sensing monitoring

1 引言

土地退化是一个全球性环境问题, 而土壤侵蚀是土地退化的一个主要原因^[1-2]。随着人们对土壤侵蚀的研究不断加深, 沟道侵蚀在土壤侵蚀中的重要性日益突显^[3], 引起了学者们的关注^[4-5]。切沟的进一步发展称为冲沟, 在水土保持专业中称为侵蚀沟^[6]。它一般出现在具有深厚松散性土的山地沟道^[5,7], 以侵蚀沟侵蚀的产沙量占流域产沙量的

10%~90%^[8], 成为土壤侵蚀的一个重要过程。因此进行侵蚀沟的动态监测研究, 对土壤侵蚀的测定、预报以及控制其危害等有着重要的参考价值。

侵蚀沟的早期研究在 20 世纪四、五十年代^[5], 对侵蚀沟的侵蚀速率、侵蚀沟的土壤侵蚀量的监测研究大多是手工测量, 不适用于野外大规模大范围的获取资料, 后来出现了航摄测量, 但是由于当时技术水平有限, 尤其是在山区, 给航摄和图像的纠正带来了一定的困难^[9-10]。近些年来, 研究者利用 GPS

* 收稿日期: 2008-09-23

基金项目: 新世纪优秀人才支持计划(NCET-05-148); 国家自然科学基金(40541005)

作者简介: 马玉凤(1981-), 女, 河南新乡人, 硕士, 主要从事风水复合侵蚀研究。E-mail: mayufeng@ires.cn

通信作者: 严平(1966-), 男, 安徽宁国市人, 博士生导师, 主要从事干旱半干旱地区环境演变研究。E-mail: Yping@bnu.edu.cn

结合手工测量进行切沟侵蚀的动态监测,但大多是在一个雨季前后或者是 2~3 a 的时间段内来研究,使从宏观、较大时间尺度范围内进行侵蚀沟侵蚀的动态监测以及侵蚀预报受到了一定的局限。

青海共和盆地在我国土壤侵蚀类型中,属以风力侵蚀为主水蚀为辅的地区^[11],沟道侵蚀在该地区占有一定的比例,尤其是沙沟河流域,沟壑密度达 2.5 km/km²,发生程度分级为重度,发展强度分级为极强,是治理和保护的重点。利用 2006 年高分辨率的快鸟影像和 1982 年的航空像片,结合 GPS 雨季前后精确测量的数据,在 ERDAS IMAGINE 软件和 ARC-GIS 软件的支持下,对青海共和盆地沙沟河流域的一个典型冲沟,从不同时间、空间尺度上进行冲沟侵蚀的动态监测,探讨了冲沟侵蚀的特征与危害,以期对冲沟侵蚀研究及其防治实践有借鉴之处。

2 研究区概况

研究区位于青海贵南县沙沟乡威连滩的滩地,为沙沟河(黄河的一级支流)的支流木河沟的东支流(图 1)。冲沟发育在青海共和盆地内含古沙丘和黄土丘陵的河湖相冲淤积平原的木格滩上,呈西北-东南向。沟头发育为 3 个切沟,沟底水路在沟尾与木河沟交汇后并入沙沟河下游,在德茫村汇入龙羊峡水库(图 2)。研究区属于高寒半干旱区气候,气温较低,年平均气温为 2.3℃,冷热剧变,平均日较差达 22℃,平均年较差在 24.8℃。年降水量为 398.7 mm,夏秋季节年降水量占 86%^[12],年内和年际变化

较大。研究区盛行西北风,风力大,蒸发量大,干燥度高,多年平均干燥度为 3.9。冲沟所在的滩地,土壤为栗钙土,表层 30 cm 为砂黄土,下伏古风成砂,抗蚀能力较差(表 1)。植被盖度为 30%~50%,滩地两侧的低山植被覆盖度小于 10%。其植被主要为禾本科的芨芨草(*Achnatherum splendens*)、短花针茅(*Stipabreviflora*)、赖草(*Leymus Secalimus*)、豆科的川青锦鸡儿(*Caragana tibetica*)、刺叶柄棘豆(*Oxytropis aciphylla*)和菊科的沙蒿(*Artemisia aranaria*)等。

威连滩冲沟紧邻汪什科村(图 1)。该村现有 116 户 500 口人,由于龙羊峡水库的修建,1986 年 3 月搬迁至此,多年来这里一直成为周围村民的放牧地点,草场长期遭到破坏,冲沟溯源侵蚀,严重威胁威连滩上的草场、农田以及道路。

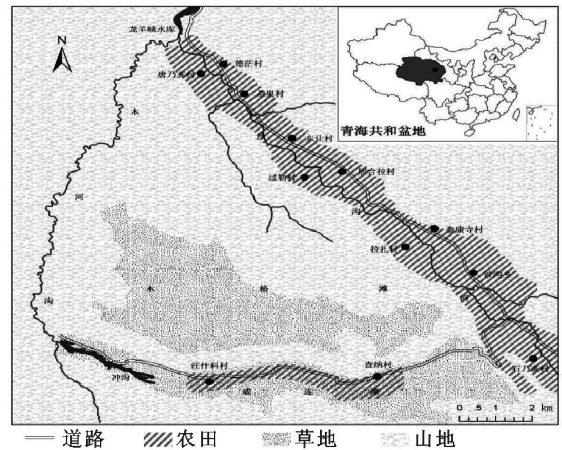


图 1 研究区位置示意图



a 沟头



b 沟尾

图 2 威连滩冲沟沟头(a)与沟尾(b)景观

3 研究方法

本研究采用 1982 年 10 月比例尺为 1:40 000 的航片和 2006 年 4 月分辨率为 0.61 m 的全色快鸟数据,并结合插分 GPS 雨季前后测得冲沟沟头数据,根据野外判读和采集的控制点,在遥感软件 ER-

DAS 和 GIS 软件 ARC/INFO 的支持下,提取图像信息、绘制冲沟二维和三维图,从而进行研究区冲沟侵蚀不同时间尺度(年内与年际)的动态监测研究。

3.1 冲沟遥感影像图的编制

在软件 ERDAS 中,根据水平精度 < 3 m、速度精度为 0.05 m/s(稳定状态)的 Legend 手持 GPS

野外均匀采集的控制点,采用最小二乘法对 2006 年空间分辨率为 0.61 m 的全色快鸟影像进行几何精纠正,像元重采样采用的是最近临域法,影像几何误差不超过 3~4 个像元。投影方式采用兰勃特等积割圆锥投影,采用全国统一的中央经线和双标准纬

线,中央经线为 105°E,双标准纬线分别为 25°N、47°N,并且椭球体采用克拉索夫斯基椭球体。以 2006 年配准和投影转换好的快鸟影像为基准,进行扫描航片的校正,使两期遥感影像具有相同的地图投影,相同的像元大小和边界范围。

表 1 威连滩冲沟土壤粒度组成 *

样品名称	粒级含量/ % (粒径: mm)							平均粒径		分选 系数
	细砾	粗砂	细砂	粗粉砂	细粉砂	粗黏粒	黏粒	mm		
	> 1	1 ~ 0.25	0.25 ~ 0.05	0.05 ~ 0.01	0.01 ~ 0.005	0.005 ~ 0.001	< 0.001			
表层砂黄土	0	0.011	50.772	34.202	2.503	2.294	10.218	4.27	0.05	1.38
下伏风成砂	0	0.094	94.209	1.831	1.424	0.814	1.628	3.22	0.11	1.21

* 根据中国土壤分级标准 (1975)

在 GIS 的支持下,用 ARCINFO 软件对处理好的影像数据数字化,建立周围地物的拓扑关系,提取两期冲沟图斑的有关信息并进行叠加分析,在以上工作的基础上制图输出。

3.2 冲沟沟头二维、三维制图

用差分 Trimble 4700 的双频 GPS 分别在 2006 年 3 月、9 月进行沟头的形态测量,其动态测量水平精度为 10 mm + 1 ppm(parts per million),垂直精度为 20 mm + 1 ppm,点的采集间距在 1~1.5 m 之间。由于没有获得研究区国家测量控制点,GPS 的测量结果是在伪 WGS84 坐标系下的三维地理数据,但两次测量的基准站是架在同一坐标下,因而能确保冲沟沟头监测的准确性^[8]。根据导出的图像,在 ARCINFO 软件中,分别对雨季前后的沟头进行数字化,建立拓扑关系,将两个时相的沟头图叠加,绘制冲沟沟头雨季前后的二维图,并提取形态变化信息。

从导出的图象中提取 GPS 坐标点,选取 3 月测量数据,在仪器自定义的一个坐标系下,采用 kringing 法通过 Golden Software Surfer 7.0 软件对测得的数据点进行空间差值,生成基础数据文件并建立等值线文件,在此基础上绘制出 2006 年沟头的三维立体图。

4 结果分析

4.1 年际冲沟侵蚀(1982 - 2006 年)变化

在 3S 技术的支持下,根据两期遥感数据和高精度 GPS 野外测得的沟头数据,分别得到了 1982 年、2006 年的威连滩冲沟侵蚀叠加二维图(图 3)和 2006 年冲沟沟头三维图(图 4)。1982 年 10 月到 2006 年 4 月研究区冲沟的二维侵蚀量变化如表 2。

将冲沟的中轴线长定为沟长,如图 3 黑色粗弧段,由于沟底水路迂回曲折,在沟尾与木河沟交汇处截弯取直,不断发生变化,因此以交汇点作为沟尾的

起点来计算会出现较大的误差,将沟尾分叉支沟的居民点作为参照物,定为量算沟长的起点,1982 年沟长为 2 984 m,2006 年的沟长为 3 227 m,冲沟向前侵蚀了 243 m,增长了 8.14%;1982 年冲沟的面积是 326 343 m²,2006 年冲沟面积为 385 019 m²,增长了 17.89%;冲沟的周长由 1982 年的 12 764 m 增加到 2006 年的 15 348 m,增长了 20.24%。

表 2 1982 - 2006 年冲沟侵蚀量变化

冲沟	沟长/ m	面积/ m ²	周长/ m
1982 年航片	2984	326343	12764
2006 年快鸟	3227	385019	15348
差 值	243	58666	2584
增长率/ %	8.14	17.98	20.24

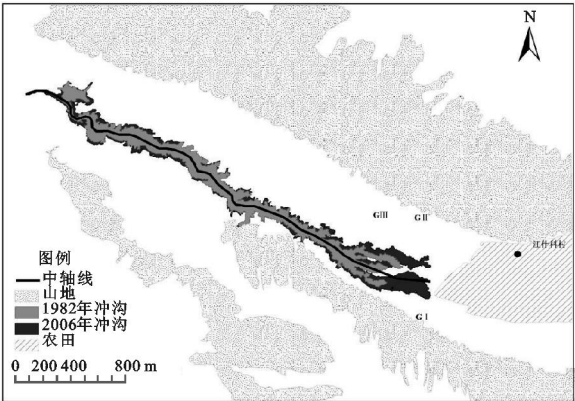


图 3 1982 年、2006 年威连滩冲沟叠加图

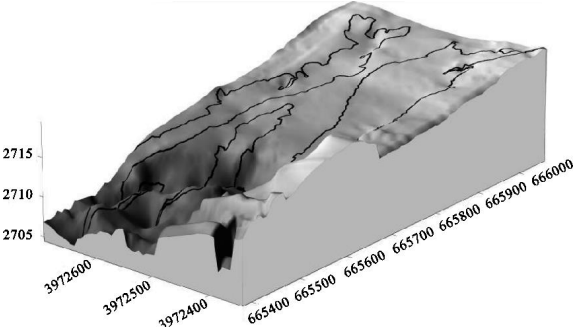


图 4 2006 年冲沟沟头三维图

从 1982 - 2006 年整个冲沟的沟形基本上没有变化,冲沟的侵蚀主要表现在沟头。1982 冲沟沟头主要分为三个切沟 G₁、G₂、G₃ (图 3),G₁ 切沟较短,两边 G₂ 和 G₃ 的较长,并且 G₂ 切沟比 G₃ 切沟略长。2006 年三个切沟的沟缘明显扩大,不仅在长度和宽度上有明显的侵蚀,而且三个切沟的侵蚀速率不等,G₂ 切沟比 G₃ 切沟侵蚀的速率快,沟长略大于 G₃ 切沟,但是 G₂ 切沟侵蚀速率最慢,长度比两边 G₂ 和 G₃ 切沟短 1/2。沟头前段地势较平缓,两侧略高中间略低,且北侧比南侧略高,另一方面 G₂ 切沟靠近山地,再加上研究区土壤抗冲性和土壤入渗能力差,雨季坡面径流直接冲刷沟头南侧,侵蚀力较大,因此 G₂ 切沟比 G₃ 切沟侵蚀的速率快。冲沟两侧都是山地,山地坡面径流对沟头的两侧影响较大,侵蚀力比沟头中间的大,另外,G₂ 切沟所在滩地的植被覆盖度大,所以沟头两侧侵蚀得速率比中间的快;冲沟沟头前段比后段地势高,前段的海拔平均在 2 716 m,后段的海拔平均在 2 708 m,地形因子使得夏秋季节的降水对后段的侵蚀力更大,沟头分出的 3 个切沟逐渐汇入一起。冲沟的沟身侵蚀变化不大,沟岸两侧有一定的扩大,逼近南侧道路。该研究区冻融交替、干湿交替,再加上土质松散,使土体遭到破坏,沟岸易坍塌,沟缘不断扩大。沟尾由于多年的流水侵蚀和河流的袭夺,不断的后退,以与木河沟的交汇处为终点,沟尾后退了 196 m。

从整个冲沟的侵蚀变化来看,从 1982 年 10 月到 2006 年 4 月,冲沟侵蚀速率较快,平均每年溯源侵蚀 10 m,侵蚀面积为 2 444 m²。冲沟身形基本没有变化,沟头侵蚀明显,沟头两侧 G₂ 切沟比 G₃ 切沟侵蚀量大,G₂ 切沟侵蚀量相对来说较小。

4.2 年内雨季前后的冲沟沟头侵蚀变化

2006 年雨季前后冲沟沟头的形态变化主要表现在沟头的两侧切沟上(图 5),G₂ 的切沟基本上没有变化,为了便于定量描述,在两侧切沟的主要变化段划定界线,其沟头的侵蚀量变化如表 3。雨季后,两条切沟的前端和沟缘受到侵蚀。例如,G₂ 切沟的沟头(标号 1)前进了 12.67 m,而沟缘(标号 2)向外侵蚀了 19.42 m;G₃ 切沟的沟头(标号 3)前进了 4.34 m,沟缘(标号 4)向外扩宽长达 20.40 m。G₂ 切沟的沟头侵蚀速率快于 2 号切沟,这与大时间尺度的沟头变化是一致的,而侵蚀速率主要表现在沟头的个别位置,从图 5 可看出,沟缘侵蚀越明显的地方发生在沟头弯曲度越大的地方^[13]。

雨季前后(表 3):G₂ 切沟的面积由 3 425.18 m² 增加到 34 414.37 m²,侵蚀面积增加了 163.19

m²,G₃ 切沟的面积由 15 648.05 m² 增加到 15 690.86 m²,侵蚀面积增加了 42.81 m²,沟头两切沟的面积共增加了 206 m²,且 G₂ 切沟侵蚀速率远大于 G₃ 切沟。G₂ 切沟的周长由 1 373.66 m 增加到 1 400.61 m,增长了 26.95 m,G₃ 切沟的周长由 1 064.23 m 减少到 1 001.56 m,减小了 62.67 m,总周长减小了 35.72 m。雨季弯曲度较大的地方侵蚀较快^[12],加上干湿交替,在重力的作用下发生崩塌,截弯取直,因此沟头的周长减小而面积增加。

雨季前后,从沟头整个侵蚀变化来看,沟头的形态基本没有变化,侵蚀量较大的地方主要在两个切沟的前端和沟缘弯曲度较大的地方,并且 G₂ 切沟比 G₃ 切沟的侵蚀速率快,与大时间尺度沟头切沟的侵蚀速率是一致的,仅沟头两条切沟划定的部分,其侵蚀面积可占冲沟多年平均侵蚀量的 8.43%,可见整个沟头的侵蚀在冲沟侵蚀中占有重要的地位。

表 3 2006 年雨季前后沟头侵蚀量变化

时间	面积/m ²		周长/m	
	G ₂	G ₃	G ₂	G ₃
雨季前 3 月份	34251.18	15648.05	1373.66	1064.23
雨季后 9 月份	34414.37	15690.86	1400.61	1001.56
差 值	163.19	42.81	26.95	- 62.67
总 计	206.0		- 35.72	

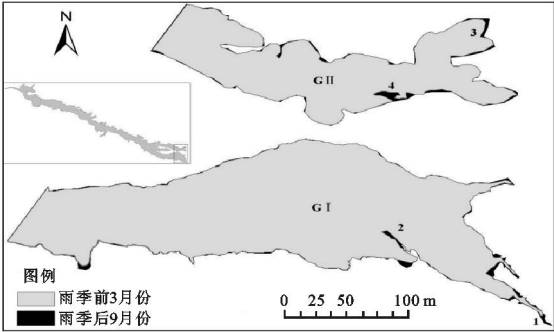


图 5 2006 年雨季前后冲沟沟头叠加图

4.3 冲沟沟头侵蚀速率预测

沟头的前进在冲沟发展的定量描述有重要意义,对于研究区冲沟的变化也主要表现在沟头的前进上^[5]。对贵南县的自然地理要素资料进行收集、统计后,应用美国土壤保持局(1966)的经验公式来估算沟头前进速率,沟头前进率公式如式(1)^[14]。

$$R = (5.25 \times 10^{-3}) A^{0.46} P^{0.20} \tag{1}$$

式中:R——沟头年平均前进长度(m);A——沟头以上的汇水面积(m²);P——某一时期内 24 h 降雨量大于或等于 12.7 mm 的总降雨量,转化为年平均基数(mm)。

表 3 1994 - 2005 年贵南县一日最大降水量 mm

年 份	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
降雨量	21.9	30.2	21.9	25.1	38.1	17.0	21.9	36.6	20.6	19.8	24.8	21.7

在 ERDAS 里勾绘出 1 : 5 万的地形图上冲沟的汇水区域,计算出沟头以上汇水区域的汇水面积为 5 188 979 m²;根据贵南县气象站 1994 - 2005 年一日最大降水量资料,计算出 24 h 降雨量大于或等于 12.7 mm 的总降雨量的年平均基数(表 3)为 24.97 mm,代入经验公式得出 $R = 12$ m。从 1982 年 10 月到 2006 年 4 月 24 a 平均每年沟头前进 10 m,与由经验公式计算出的沟头前进长度 12 m 略有出入,但是该经验公式基本上反映了冲沟沟头发展速率,能够较准确的预测冲沟侵蚀速率。

5 结论与讨论

(1) 冲沟的侵蚀速率快,主要表现在沟头的溯源侵蚀。从 1982 - 2006 年切沟的面积、周长、沟长增长很快,沟头不断前进,沟岸不断后退。其原因可归结为:较低的植被覆盖度、较低的土壤抗蚀性和土壤入渗能力、山间盆地的地形、冷热剧变的气候,再加上人为的干扰等综合因素引发的雨季超渗径流的侵蚀。

(2) 冲沟的沟形基本没变化,但沟头变化明显。沟头的三个切沟,南侧侵蚀最快,北侧次之,中间的最慢,且沟缘弯曲度越大越易侵蚀。在当地的自然条件和人为干扰下,冲沟沟头逐渐演化为南北两切沟的可能性很大。

(3) 经过实际数据的验证,采用美国土壤保持局的沟头前进率模型预测冲沟侵蚀速率是可信的。沟道侵蚀虽没有面蚀涉及面广,但其侵蚀速率快,侵蚀量大,在共和盆地水土保持工作中不容忽视。

(4) 冲沟年均侵蚀面积为 2 444 m²,平均沟深为 21 m,土壤容重为 1.3 g/cm³,年均入库龙羊峡的泥沙量为 6.67 ×10⁴ t,估算出冲沟年产沙量占入库泥沙量的 0.5 %^[15]。冲沟以每年 10 ~ 12 m 的速率侵蚀,如果不采取措施加以控制,2 ~ 3 a 后将会侵蚀至农田;沟头平均宽 325 m,由此每年损失的草场面积为 3 250 ~ 3 900 m²;汪什科村居民点距冲沟有 617 m,那么 50 ~ 60 a 冲沟便会侵蚀到居民点。冲沟靠近南侧山地的乡村道路,由于冲沟侵蚀,沟岸不断坍塌后退,严重危及乡村道路,造成道路中断和农村交通的不便。威连滩冲沟侵蚀对当地农牧业生产、农

村居住环境和交通构成严重威胁,对下游的龙羊峡水库也造成一定的危害。应加强切沟侵蚀监测,尽快制定出合理的综合防治对策。

参考文献:

[1] 刘宝元,张科利,焦菊英.土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用[J].自然资源学报,1999,14(4):345-350.

[2] 何福红,李勇,李璐,等.基于 GPS 与 GIS 技术的长江上游山地冲沟的分布特征研究[J].水土保持学报,2005,19(6):19-22.

[3] Van Liew M W. Prediction of sediment yield on a large watershed in North Central China[J]. Transscions of the ASAE, 1998, 41(3):599-604.

[4] 胡刚,伍永秋,刘宝元,等. GPS 和 GIS 进行短期沟蚀研究初探:以东北漫川漫岗黑土区为例[J].水土保持学报,2004,18(4):16-19.

[5] 柯克比 M J,摩根 R P C.土壤侵蚀[M].王礼先,吴斌,洪惜英,译.北京:水利电力出版社,1988:59-62.

[6] 张树生,张春泉,宋为民.切沟水毁公路的成因与防治[J].公路,2000,8:58-60.

[7] 程宏,伍永秋.切沟侵蚀定量研究进展[J].水土保持学报,2003,17(5):32-35.

[8] 游智敏,伍永秋,刘宝元.利用 GPS 进行切沟侵蚀监测研究[J].水土保持学报,2004,18(5):91-94.

[9] 伍永秋,刘宝元.切沟、切沟侵蚀与预报[J].应用基础与工程科学学报,2000,8(2):134-142.

[10] Poesen J, Nachergaele J, Verstraeten G,et al. Gully erosion and environmental change: importance and research and research need [J]. Catena,2003,50:91-133.

[11] 张洪江.土壤侵蚀原理[M].北京:中国林业出版社,2001:183-187.

[12] 董光荣,高尚玉,金炯,等.青海共和盆地土地沙漠化与防治途径[M].北京:科学出版社,1993:15-26.

[13] 王小丹,钟祥浩,范建容,等.金沙江干热河谷元谋盆地冲沟沟头形态学特征研究[J].地理科学,2005,25(1):63-67.

[14] United States Soil Conservation Service. Procedures for determining rates of land damage, land depreciation, and volume of sediment produced by gully erosion, technical release No. 32[R]. United States Department of Agriculture,1966.

[15] 高学军,冯玲.龙羊峡水库泥沙淤积量估算[J].泥沙研究,2002,2(1):78-80.