

# 黄土丘陵沟壑第Ⅲ副区罗玉沟流域 水土流失监测体系建设

张满良, 张琳玲, 雷鸣

(黄河水利委员会 天水水土保持科学试验站, 甘肃 天水 741000)

**摘要:**黄土高原丘陵沟壑区第Ⅲ副区水土流失监测是我国开展较早的区域。该区 1943 年开始坡面径流小区监测, 1954 年开始了典型小流域水土流失监测。历经几十年的发展, 在水土流失监测方面积累了较为丰富的经验。经过 20 a 多的建设, 罗玉沟流域水土流失监测网络体系在设施、设备及监测内容等方面已比较完善。通过对罗玉沟流域在黄土丘陵沟壑第Ⅲ副区的典型性、代表性的分析, 系统总结了罗玉沟水土流失监测体系建设的原则、方法、思路, 并对监测体系的构成框架进行了详细说明, 可为今后开展流域水土流失监测站网建设提供参考。

**关键词:**罗玉沟; 水土流失; 监测体系

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2009)02-0065-05

**中图分类号:** S157, X830

## Construction of Soil Erosion Monitoring System in Luoyugou Catchment of Subdistrict No. Ⅲ of Loess Hilly and Gully Area

ZHANG Man-liang, ZHANG Lin-ling, LEI Ming

(Tianshui Experimental Station of Soil and Water Conservation, the Yellow River Committee, Tianshui, Gansu 741000, China)

**Abstract:** The third subdistrict in loess hilly and gully erosion is one of the regional area that soil erosion monitoring had been carried out earlier in our country. The monitoring of slope runoff plots had been began in 1943, some typical small watersheds were selected in 1954 and since then, soil and water erosion had been monitored. After decades of development, some applicable experience in the monitoring of soil erosion had been accumulated. After about 20 years' construction, the facilities and equipment had been improved, and the monitoring contents had been testified practicable. After reviewing the typical and representative characteristics of Luoyugou catchment of the subdistrict No. Ⅲ, the principle, method and ideas in the construction of soil erosion monitoring system were summarized concisely, and the framework of the monitoring system was described in detail, we hope that this article could provide some reference for the network construction of soil erosion monitoring.

**Keywords:** Luoyugou; soil erosion; monitoring system

### 1 研究区概况

罗玉沟流域面积 72.79 km<sup>2</sup>, 呈狭长形, 羽状沟系, 平均宽度 3.37 km, 主沟长 21.63 km。流域内有大小支沟 138 条, 其中下游已具有冲沟形态的支沟 37 条, 支沟长度除茹家沟超过 3.5 km 外, 其余均小于 3 km。流域内沟壑密度为 3.54 km/km<sup>2</sup>。罗玉沟流域是陇西构造盆地的东南缘, 表层为更新统(Q<sub>3</sub>) 马兰黄土, 多见于崩、梁、谷坡、台地; 下层是第三系(N) 灰、绿、棕、红杂

色黏土夹砂砾岩, 常露于沟坡及沟道; 基底为前震旦系(A<sub>H</sub>) 片麻岩、花岗岩, 出露于凤凰山到滴水崖逆断层北侧。根据流域地形、地貌、生物结构的相似性和土壤侵蚀及人类生产活动特点将罗玉沟流域分为土石山区、杂色土区、黄土区 3 个类型区<sup>[1]</sup>。

流域内共涉及 42 个村委会, 有 4 188 户 19 019 人, 从业人员 9 847 人, 年人均产粮 293.7 kg, 年人均收入 831 元, 主要粮食作物有小麦、玉米、马铃薯、荞麦等, 主要经济作物有胡麻、油菜。流域内耕地面积

收稿日期: 2008-08-03

修回日期: 2008-12-27

作者简介: 张满良(1964-), 男(汉族), 甘肃省天水市人, 高级工程师, 主要从事水土保持科学研究和水土流失监测工作。E-mail: hwtssws@163.com。

4 005.9 hm<sup>2</sup>, 人均耕地 0.21 hm<sup>2</sup>。流域多年平均降水量 548.9 mm, 年降水量最小值 330.1 mm, 最高值 842.2 mm, 6—9 月降水量占年降水量的 60% 以上, 雨热同期。年蒸发量 1 293.3 mm, 干燥度为 1.3。年平均气温 10.7 ℃, 1 月平均气温 -2.3 ℃, 7 月平均气温 22.6 ℃, 极端最高气温 38.2 ℃, 极端最低气温 -19.2 ℃。≥10 ℃ 活动积温 3 360 ℃, 无霜期 184 d, 年日照时数 2 032 h, 日照百分率 46%。流域内水资源主要靠降水补给, 常水流量很小。流域地下水资源主要有 2 种。(1) 山地地下水资源, 主要为大气降水补给的浅层地下水, 其补给量受降水影响较大;(2) 沟道地下水资源, 主要分布于干沟及各主要支沟沟床一带, 水源靠降水及砂砾岩地层的渗流水补给。流域内沟道径流以地表径流为主, 沟道多为季节性洪沟, 旱季无径流, 雨季经常暴发山洪。多年平均径流模数为 30 690 m<sup>3</sup> / (km<sup>2</sup> · a)。

流域内不同类型区侵蚀强度和类型存在很大差异性。土石山区属强度侵蚀区, 沟道密度大, 比降陡, 径流流速大, 水流冲力强, 挟沙能力大, 沟型多为深切的“V”字型。其沟蚀强度远大于坡面侵蚀。流域内沟坡极陡, 加之沟道弯曲, 侧蚀严重, 导致重力侵蚀发育非常明显。流域内现有活动滑坡 144 处, 其中主沟两侧有 29 处, 支沟有 115 处; 有崩塌 95 处, 其中主沟两侧有 26 处。重力侵蚀年侵蚀量达  $4.46 \times 10^5$  t。

## 2 监测流域的代表性

黄土高原丘陵沟壑区Ⅲ副区(以下简称“丘Ⅲ区”)地处暖温带湿润向半干旱过渡带, 降雨量 404.1~606.5 mm, 主要集中在 6—9 月份, 且暴雨频发。地形以梁峁状丘陵为主, 梁峁起伏, 沟壑纵横, 地形破碎, 沟道发育处在活跃期, 切割较深, 大多形成“V”字型。侵蚀模数在 3 000~8 000 t/km<sup>2</sup>, 是黄土高原水土流失较为严重的区域。

### 2.1 区域的代表性

监测流域位于我国西部甘肃东南部, 属黄土丘陵沟壑区Ⅲ副区。其地形地貌、土壤类型、土壤质地、植被类型、气候条件、土地利用特点及水土保持措施布设等在黄土丘陵沟壑区Ⅲ副区都具有典型代表性, 监测资料能够比较准确反映该区域的特点和规律。

### 2.2 水土流失的代表性

小流域地形破碎, 沟道纵横, 坡陡而长, 是造成水土流失的主要地形因素。黄土垂直节理发育, 颗粒较粗, 结构松散, 黏粒与腐殖质含量低, 石灰质含量高, 遇

水易失散、崩塌, 易被地表径流带走, 造成面蚀和沟蚀。地面植被稀疏, 降水主要集中在 7—9 月, 暴雨多, 历时短, 强度大, 侵蚀力强, 容易引起水土流失。所有这些皆是黄土丘陵沟壑区Ⅲ副区水土流失的突出特点。

### 2.3 土壤侵蚀类型的代表性

水力侵蚀和重力侵蚀是小流域主要的水土流失类型。同时, 侵蚀强度较大, 区域侵蚀差异显著, 发生时间集中。水力侵蚀遍布整个流域, 面蚀和沟蚀普遍发生, 以沟蚀最严重。面蚀中又以片蚀、细沟侵蚀为主, 主要发生在梁峁荒坡和坡耕地上; 浅沟侵蚀是联结面蚀与沟蚀的重要侵蚀方式, 进一步通过侧蚀、下切、溯源侵蚀等发展, 导致切沟及幼年冲沟广泛发育。

重力侵蚀方式表现为滑坡、崩塌、泻溜等。往往与沟蚀相伴发生, 侵蚀部位和沟道分布相吻合, 在形态上表现为沟谷扩展, 沟床下切和沟头延伸, 其中崩塌多发生在 60° 以上的陡崖, 滑坡多出现在 35° 左右的斜坡, 泻溜多见于 35° 以上的红土、黄土坡面。

据对罗玉沟流域调查, 梁顶、阶地轻微侵蚀带年侵蚀模数小于 1 000 t/(km<sup>2</sup> · a), 梁坡、沟谷坡年侵蚀模数为 4 000~6 000 t/(km<sup>2</sup> · a), 沟道强烈侵蚀带年侵蚀模数在 30 000 t/(km<sup>2</sup> · a) 以上<sup>[2]</sup>。

### 2.4 观测资料的连续性及较长的时间序列

黄土丘陵沟壑区Ⅲ副区水土流失监测自 1943 年开始, 已有 65 a 的历史, 是我国建成时间最长, 监测数据连续, 监测参数全面的水土流失监测资料。罗玉沟水土流失监测自 1985 年开始至今也有 20 a 多的监测历程, 积累了较为完整的监测资料, 大部分都通过校核、摘录、整编成监测成果, 方便查询使用。

## 3 黄土丘陵沟壑区Ⅲ副区水土流失监测发展历程

黄土丘陵沟壑区Ⅲ副区水土流失原型观测是我国开展最早的区域, 开创了我国在土壤侵蚀、水土流失规律研究方面的先河, 同时也带动了水土保持这一学科的诞生和发展。黄土丘陵沟壑区Ⅲ副区的水土流失原型观测在黄土高原和黄河综合治理方面具有标志性的意义, 其丰富的观测资料, 完整的观测内容, 较长的观测系列已成为开展黄土高原水土流失规律研究和黄河泥沙来源的重要基础数据。多年来我们充分利用几十年的径流泥沙观测资料, 取得了一系列促进黄河综合治理, 黄土高原生态环境建设和当地经济发展的重要成果。

### 3.1 积累了长系列的“丘Ⅲ区”坡面、沟道水土流失实测资料

1943年,由天水站第一代水保人在美国水土保持局局长罗德民博士以及我国水土保持科学研究开创人之一蒋德麒先生的帮助指导下布设了我国黄土高原第一个坡面径流小区——梁家坪坡地径流小区,60 a 多来积累了坡面径流水土流失小区径流泥沙资料 434 区年;1954 年开始了小流域水土流失资料的监测,至今已经有小流域径流、泥沙等资料 89 个站年,雨量资料 516 个站年,成为国内少有的基础数据库,是“三条黄河”、“模型黄土高原”建设的重要内容,也是该区水土流失规律和土壤侵蚀特征研究的基础。

### 3.2 研究出一批有价值的科研成果

多年来天水水土保持试验站在水土流失规律研究,水土保持措施配置,水土保持技术推广,水土保持效益分析等方面共发表学术论文 1 000 余篇,45 项科研成果获地级以上科技进步奖,其中“水土保持试验及推广”,“水土保持试验成果推广”,“黄河流域小流域综合治理和面积水土保持措施的研究和推广”,“黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径”等项获国家奖;“黄河中游河口镇至龙门区间水土保持措施减水减沙效益研究”,“渭河流域水利水保措施减水减沙效益分析研究与预测”,“小冠花、沙打旺优良牧草试验推广”等 13 项获省部级奖励;“河龙区间水土保持减水减沙作用分析”,“渭河流域水利水保措施减水减沙作用分析研究”等 12 项获黄委会奖;苹果的引种栽培,柳林挂淤、耕作等一些实用技术对当地农业生产和经济发展起到了重要的推动作用。

### 3.3 提出了“丘Ⅲ区”坡地水土流失发生的特征

黄土丘陵沟壑区第Ⅲ副区,海拔在 100~2 000 m 之间的农耕坡地,根据试验结果平均径流量为 155.5 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,冲刷量为 19.6 t/hm<sup>2</sup>,年最大冲刷量 65.5 t/hm<sup>2</sup>,土壤含氮素量为 0.8 kg/t,磷素 1.82 kg/t;降雨强度对水土流失起决定作用,当降雨强度在 0.4 mm/min,历时 5 min 以上时,即可产生水土流失,且降雨越大流失越严重;不同的农田植被对水土流失影响很大,其农、林、牧地之比例关系,分别为径流量 1:0.87:0.73,冲刷量 1:0.42:0.17。

### 3.4 丰富了水土保持学科内容

“丘Ⅲ区”作为我国最早开展水土流失观测区域,在水土保持学科诞生之初和发展、完善过程当中都有该区域监测成果。长期的观测资料和研究成果被农、林、水、水土保持等专业教科书作为基础资料采用,体

现了很高的学术和实际应用价值。同时培养出大批专家、学者,涌现出了付唤光、高继善、华绍祖、阎文光、贾绍禹等著名的老一辈水保学者和专家。

目前又依托水土流失原型观测,建立了与兰州大学、北京林业大学、西北农林科技大学和西安理工大学等大专院校合作机制,成立了“科研、教学、生产三结合基地”,培养相关专业的学士、硕士、博士达 100 余名,加大了对外合作力度,提高了天试验站整体科技水平和承担国家大中型相关项目的实力。

## 4 水土流失监测体系建设

### 4.1 监测体系布设原则

(1) 按照“前后对比,大流域套小流域和平行对比”原则在罗玉沟流域布设水土流失监测站点。

(2) 为了满足从小到大的尺度转换原则,在流域内布设有坡面径流小区、微型集水区和小支沟。

(3) 按照全面、系统原则,在流域内布设了气象监测站、沟道重力侵蚀和植被覆盖监测点。

### 4.2 完善的水土流失监测体系

为了使监测设施更加完善,监测内容更为丰富,在罗玉沟流域内布设有 24 个雨量站,1 处气象园,17 个坡面径流小区,两条对比观测沟和 3 个径流泥沙监测站,还在沟道重力侵蚀活跃沟道布设有监测区,流域不同位置布设了植被监测点,由此已形成由坡面到沟道,从对比流域到中尺度流域,有气象、水文、植被、水土流失、土地利用等监测指标的小流域水土流失监测系统(图 1),有 50 多人从事监测工作。

### 4.3 流域雨量站网及气象园布设

罗玉沟流域面积 72.79 km<sup>2</sup>,布设有 24 个雨量站(含桥子东、西对比沟的 4 个雨量站),平均 3 个/km<sup>2</sup>,能够准确地监测到流域降雨的分布情况和典型暴雨的发生情况。

### 4.4 流域卡口观测站及对比小流域布设

依据规范要求,在罗玉沟流域下游出口处选定了能够完全控制流域集水,比较顺直、均一的沟道作为观测断面。断面为自然体形,上底宽 40 m,下底宽 27 m,高 4.6 m,长 100 m。为了实现监测的自动化,在左家场断面上修建了一座钢结构监测用桥。

桥下安装一套黄委会天水水土保持科学试验站自行研发的水位、流速自动化观测系统。每 1 min 观测一组数据,通过无线电波传输到监控电脑上,通过流速、水位、断面计算出径流量,基本达到了监测的自动化和资料传输的信息化。

桥子沟系渭河水系藉河北岸罗玉沟下游左侧斜坡发育起来的切沟型沟谷。桥子东沟流域呈半扇形,面积 1.36 km<sup>2</sup>,干沟长 2.04 km,平均比降 16.6%,为治理对比流域;桥子西沟流域呈羽毛形,面积 1.09 km<sup>2</sup>,干沟长 2.12 km,平均比降 16.7%,为非治理对比流域。1956 年前苏联土壤侵蚀专家在进行黄土高原土

壤侵蚀考察过程中建议选择的对比监测沟,继 1958 年监测 1 a 后,1985 年开始在流域内布设了 4 个雨量站,两个卡口站(东沟为三角形量水堰、西沟为梯形量水堰),进行降雨、径流、泥沙和土地利用等监测,目前桥子东沟治理度达到 60% 以上,桥子西沟治理度不足 20%,对比效果十分明显。

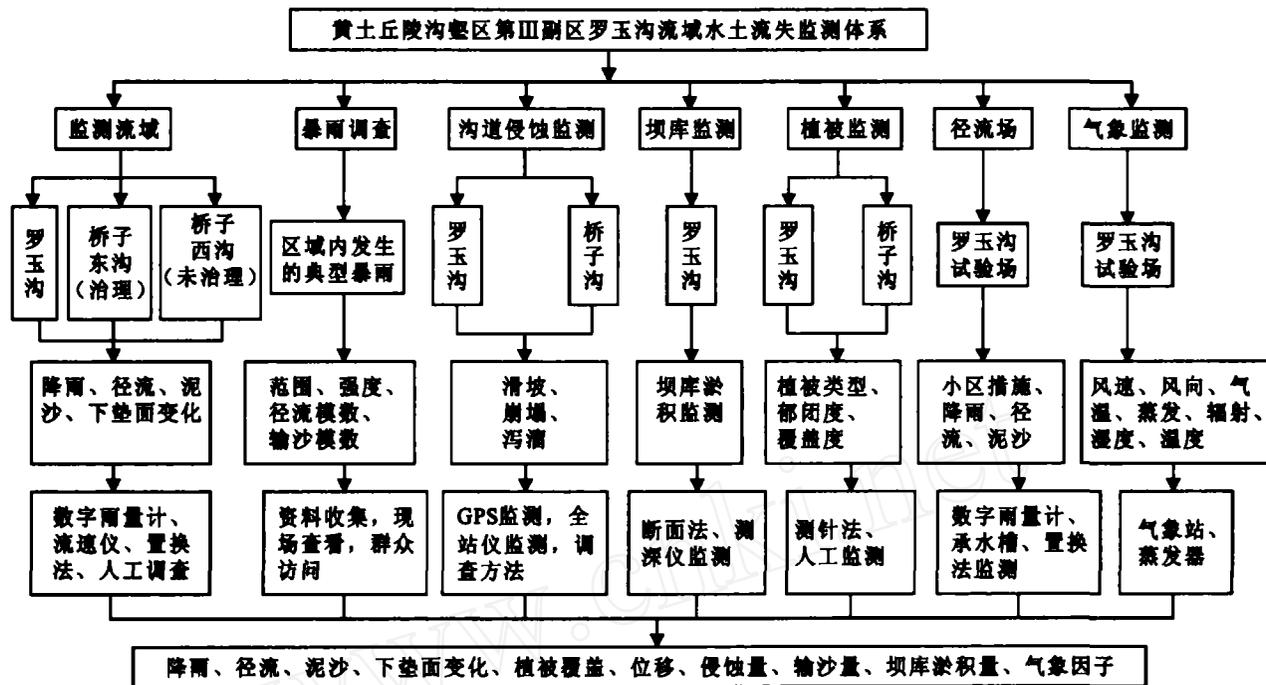


图 1 黄土丘陵沟壑区第Ⅲ副区罗玉沟流域水土流失监测体系图

4.5 坡面径流场

坡面径流场布设在罗玉沟流域下游的桥子东沟,按照 5°,10°,15°,20°,25°不同坡度和农、林、牧不同措施布设了坡面径流小区 17 个(每个坡度 3 重复,含 2 个 15°的标准径流小区),每个小区面积 5 m×20 m;小区挡水墙用混凝土预制块制作,径流池是钢筋混凝土现浇,采用全拦全蓄形式,精度高,误差小,结构合理,质量标准高,可达到长期使用的效果。

为了配套坡面径流小区和小尺度流域之间的转换,在径流场附近布设了 2 个 10 hm<sup>2</sup> 的微型集水小区,通过对集水区土壤、植被、坡度等因子的调查,建立基础资料库,与坡面径流小区同步观测,收集微型小区的降雨、径流、泥沙资料,作为从小区到流域的过度资料。

4.6 沟道重力侵蚀及植被监测站点布设

罗玉沟流域从上游到下游重力侵蚀发展、发生的情况比较普遍,尤以主沟道两岸分布较广泛。据调查,其重力侵蚀特征在“丘Ⅲ区”具有典型代表性。流域内长期发生崩塌 95 处,其中主沟两岸 26 处,占 27%,支

沟 69 处,占 73%。主沟两岸崩塌主要发生在下游和中下游水流向岸侧蚀强烈的地段,多为阶地崩塌,少数为堤岸崩塌,在主沟线上总长 5 km,占主沟总长的 1/4。在支沟中,主要分布在流域中下游各大支沟的中段峡谷地带,多系黄土层外露垂直节理面崩塌。少数为红层风化面干裂崩塌。主沟上段、中段和主沟上、下游各支沟中崩塌较少。

滑塌发生规模极为悬殊,大至上千万方小至不足 1 m<sup>3</sup>。据统计,全流域滑体方量在 1.0×10<sup>5</sup> m<sup>3</sup> 以上的中、大滑坡共 50 处,主要分布在中游和下游,上游很少。流域内桥子沟、滴水沟、赵家石沟等支沟均是由于大滑体一次次叠滑而形成的。其中滴水沟最为典型,面积为 0.82 km<sup>2</sup> 的现代侵蚀沟谷全部为滑体所掩盖,滑体总方量达 1.63×10<sup>7</sup> m<sup>3</sup> 以上,最远滑距达 1 400 m。这些大的滑塌,因规模太大,在短期内很难知其被侵蚀情况,故在本次侵蚀研究中未予考虑,仅研究与当年泥沙来源有关的新滑塌。据调查,流域内当年发生新滑塌 144 处,其中主沟两岸 29 处,占总数的 20.14%,并且全部分布在自然河谷右岸。在支沟中共

115处,各支沟均有分布,主要分布在支沟中段沟床比降超过10%地段和水流向岸强烈侧蚀地段,多属次生泻积、塌积物滑塌,少数为残积草皮土滑落。

全流域泻溜面总面积2.23 km<sup>2</sup>,占流域总面积的3.06%。其中主沟两岸和所属Ⅰ级小切沟中0.305 km<sup>2</sup>,占13.89%;支沟中1.918 km<sup>2</sup>,占86.11%。在支沟中又主要分布在主沟右岸的坚家沟、草胡沟、茹家沟3沟中,分布面积0.75 km<sup>2</sup>,占33.56%。其分布特点是72.1%分布在沟道两侧,8.2%分布在谷坡顶、大滑塌的外露滑弧面上,19.7%分布在变质结晶岩区的陡坡切沟中<sup>[3]</sup>。

重力侵蚀的过程一般经过松弛张裂、蠕动和破坏三个阶段,既受外部环境因素,如降雨、地形、植被、地下水、人类活动的影响,还与内部的物质结构关系密切,其发生、发展的影响因素繁多,内在机理也比较复杂。通过对影响重力侵蚀的主要因素分析,沟道重力侵蚀方程可用: $Y=f(j \cdot t \cdot z \cdot d \cdot r)$ 表达。式中: $j$ ——降水因子; $t$ ——土壤因子; $z$ ——植被因子; $d$ ——地形因子; $r$ ——人类活动因子。为此,依据该方程布设重力侵蚀观测点,确定观测指标,以便满足研究沟道重力侵蚀预测预报模型的要求。

## 5 结语

(1)“丘Ⅲ区”水土流失监测经历了60 a多的发

展里程,如今已在监测设施、仪器设备、监测方法方面形成了比较完善的监测体系,能够满足国家对该区域水土流失监测公报的要求。同时作为水土流失野外实验区,已初具规模,可以承担国内外相关科研、攻关项目的研究和大专院校的教学、实习任务。

(2)几十年的监测成果资料,已成为水土流失特征、土壤侵蚀规律研究和生态环境建设等不可多得的重要资源。通过相关项目的支撑,深入开发、挖掘这些资料资源,将成为黄土高原水土保持和土壤侵蚀一大重要成果。

(3)将水土流失作为一种灾害进行监测,已受到国家的重视,但还没有形成一套完整、详细的监测指标体系,监测方法和监测手段各不相同,导致监测结果无法满足公报和研究的要求。建议建立统一、完善的水土流失监测规范、标准。

### [参 考 文 献]

- [1] 黄河水利委员会天水水土保持科学试验站. 黄土丘陵沟壑第三副区水土流失原型观测及规律研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2004.
- [2] 李建牢,刘世德. 罗玉沟流域坡面土壤侵蚀量的测算[J]. 中国水土保持,1989(3):36-39.
- [3] 张满良,张海强,蒲波,等. 罗玉沟流域2001年6月15日特大暴雨泥沙来源分析[J]. 中国水土保持,2002(10):37-38.