

地面立体摄影测量在监测沟蚀中的运用

徐国礼 周佩华

提 要

目前对于黄土丘陵区沟蚀和沟道侵蚀的研究,还是比较薄弱的环节。现在已有的观测方法相当粗略,不能适应水土流失规律深入研究的需要。从1978年开始,我们探索地运用地面立体摄影测量法,监测沟蚀和重力侵蚀。这一方法,可以较准确地测出沟道各部位的变化过程,在目前这是研究沟道侵蚀比较理想的方法。使用这一方法的关键在于控制测量的精度。经过几年的努力,在山区平面控制和高程控制测量达到1/100地形图的图面精度。本文以天水龙王沟监测试验区的测量方法、结果进行分析研究,对今后建立沟道侵蚀模型提出了设想,使这一方法向着数字化、模型化、系统化方向发展。

一、前 言

黄土高原是我国水土流失最严重的地区,由于地形复杂,土层深厚、疏松、抗冲性弱,极易形成各种类型的侵蚀沟。现阶段最活跃的是切沟。切沟的径流相当集中,使沟底下切,沟岸扩张和沟头溯源侵蚀,不断蚕蚀和分割坡面,使梁峁或塬面被切割得支离破碎,并导致沟岸崩塌、滑坡、泻溜等重力侵蚀的发生。因此,切沟发育地带是现代侵蚀最活跃的地区,亦是产沙的主要来源部位。

切沟一般分布在邻近的谷缘线地带,在耕种的斜坡甚至接近分水岭处亦可见到,沟深一般5—50米。切沟发展初期,以沟头溯源侵蚀为主。不同地区,不同部位,其发展速度有明显的差异,在塬地、垆地或塬地进展速度较快,一次暴雨通常能进展数米、数十米。切沟下端汇入坡面以下的水路网,水路网的冲刷称沟道侵蚀。沟道侵蚀方式除溯源侵蚀外,沟底淘涮还引起沟壁或谷坡的崩塌、滑坡等重力侵蚀发生。

根据鲁翠瑚等在杏子河流域量算的结果^[1],全流域平均沟道切割密度为7.39公里/平方公里,最高达13.32公里/平方公里,平均每平方公里内有长度在100米以上的各种沟道25.5条。其中有一小流域面积为1.123平方公里,共有各种沟道84条,平均每平方公里74.7条。从整个黄土高原来看,杏子河流域沟道切割密度还不是最大的。从上述资料不难看出,黄土高原沟道数量之多相当惊人,沟道侵蚀情况亦是非常复杂的。为了掌握黄土高原的水土流失规律,首先必须详细地研究各种沟蚀的发生发展和演变过程。目前对于沟蚀和沟道侵蚀的研究,还是比较薄弱的环节。现在已有的观测方法相当粗略,不能适应水土流失规律深入研究的需要。如小流域把口站的观测,只能测定该流域的总侵蚀量,对于主要产沙部位和产沙分布规律,把口站无法测定。1963年,我们在子午岭曾用工程测量法对三条不同发育期的切沟进行实测,试图观测切沟的变化过程,因人工测量野外工作量太大,测量精度不够理想,不再继续监测。因此,急待提出一套新的高精度并且切实可行的观测方法。

从1978年开始,我们探索地用地面立体摄影测量法,监测沟蚀和重力侵蚀。方法为:①在沟道流域内建立永久性的控制网,准确地测定平面控制和高程控制;②建立固定的摄影站、摄影基线。每隔一定时间,在基线的两端点进行同方向的摄影,取得一对像对,每一对像对必须具有3—4个控制点;③将沟道小流域毫无遗留地摄影完毕;④根据外业取得的立体像对,在室内用1318或Topocart—D仪器跟踪等高线,转绘成1/200地形图。这一方法,可以比较准确地测出沟道各部位的变化过程,在目前这是研究沟蚀的比较理想的方法。使用这一方法的关键在于控制测量的精度。如果测量比例尺不够大,则没有实用价值;而大比例尺控制测量又很难达到精度要求。目前,在我国山区控制测量达到1/400图面精度的尚无前例。而1/400的比例尺,对我们来说仍嫌小,如果比例尺再大就更困难了。我们经过几年的努力,平面控制和高程控制测量达到1/100地形图的图面精度,为使用地面立体摄影测量研究沟蚀,克服了一道难关。

二、摄影测量的精度

1978年起,我们在天水龙王沟内选择一条小冲沟,沟长250米,沟宽90米,从沟底到分水岭相对高差150米,总面积22,250平方米,地面坡度30—50°左右。小冲沟中段有两级不规则的台阶,是1963年大滑坡所形成的。在该流域内利用地面立体摄影测量法,监测沟蚀和重力侵蚀,通过沟道变化前后的几次监测,取得较理想的结果。地面立体摄影测量的精度取决于:控制网的布设,平面控制,高程控制及摄影技术诸方面因素的影响。

1. 控制网的布设。在山区特大比例尺地形图的测量中,第一难关是控制网的布设。因地形复杂,坡度陡,传距边短,通视不良等因素的影响,使控制网布设遇到许多困难。经过多次实地勘察、仪器布设,先后共拟了四个方案,经过对比,最后确定方案如图1。共布设了三个中心闭合多边形网和一个三角锁;第Ⅱ、第Ⅲ中心闭合多边形网及三角锁均以第Ⅰ中心闭合多边形网推算出,具有同等精度,为二级控制网;第Ⅰ中心闭合多边形网,为一级控制网。

2. 埋设水泥桩。为了监测沟道变化规律,建立统一坐标网,埋设永久性的水泥桩。全测区共埋设了30个永久性的水泥桩。水泥桩的尺寸:高50厘米,顶部见方15厘米,底部见方20厘米。水泥桩顶部中央有直径5厘米、深3厘米圆形槽,通过圆形槽中心埋设直径1厘米圆钢筋,钢筋顶端与水泥桩顶端齐平。在圆形槽中,钢筋顶端露出水泥桩3厘米,在摄影测量时用以插觇牌。钢筋顶端,钻有直径2.1毫米,深1厘米的小孔;在小孔内插入缝纫机针,针尖向上,作为观测觇标。测量时,尽量照准针尖,针尖一定要立直。由于地形起伏较大,照准时要清除视线上的障碍物。如果照准针尖有困难,选择一笔直草棍套在针尖上或插入钢筋的小孔内,使草棍直立,观测时直接照准草棍。用光学仪器对中时,对

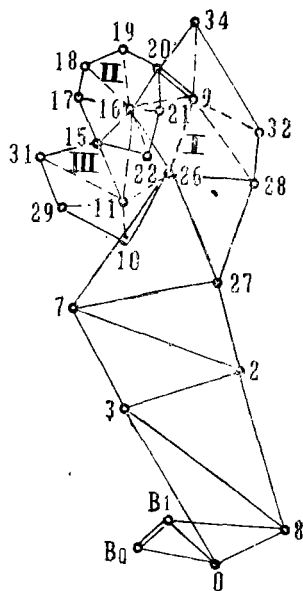


图1 控制网布设

中与整平密切相关，如果仪器没有严格地整平，就不可能有准确的对中，整平与对中应反复地进行。由于控制网系短边测量，要求对中和照准误差不得超过0.5毫米。

3.控制测量。

①基线丈量。在监测区内沟道小流域的沟头和沟口平坦地带选择起始基线和校核基线，用25米的钢尺（经过温度、拉力改正）丈量6次，每相邻两次不符值不得超过2毫米，最后取平均值。以9—20号控制点的连线为起始基线，丈量结果，平均值为27.4615米；校核基线B₀B₁，丈量结果，平均值为23.5086米。以9—20号起始基线推算校核基线B₀B₁=23.4999米，其误差23.5086-23.4999=0.0087米；传距边总长度为676.646米，相对误差=0.0087/676.646=1/77,000。

②平面控制测量。采用6秒级T020光学经纬仪全圆测回法，施测二个测回。要求前后两个半测回水平角值之差不得超过12秒，否则重测。测量结果：三个中心闭合多边形网和一个三角锁，总计27个小三角形，其三角形角度闭合差如表1所示。因此，70%的三角形闭合差小于9秒。平面控制测量计算结果如表2。

表1 平面控制测量三角形角度闭合差

三角形闭合差	0—9"	9—18"	18—22"	合计
三角形个数	19	7	1	27

表2 平面控制量计算结果

平面控制网形	Σ _B 实测 (度分秒)	f _B (秒)	传距边 Σ _S (米)	f _X (米)	f _Y (米)	f _S (米)	相对闭合差 f _S /Σ _S
I	719°59'40.5"	-19.5"	276.9579	-0.0001	+0.0059	0.005	≈1/47000
II	899°59'54"	-6"	177.5219	+0.007	-0.0015	≈0.007	≈1/24300
III	720°00'06"	+6"	222.5796	-0.0006	-0.0005	≈0.000	≈1/278000
三角锁	1079°59'48"	-12"	591.3204	+0.0001	0.0000	0.000	≈1/530000

③高程控制。采用江西光学仪器厂出产的S₃型水准仪，按四等水准测量施测。用5毫米刻划的塔尺，在一测站测出高差后，改变仪器位置，重测一次，两次测得的高差不得超过5毫米，否则重测。从沟口1号控制点出发，沿左岸绕沟头反回原点，为前半测回，闭合差11毫米；再从同一点开始，沿右岸反回原点，为后半测回，闭合差为3毫米。整个控制网共30个控制点，水准测量路线总长1公里，75个测站，高程闭合差小于11毫米，超过国家四等水准测量精度。

4.地面立体摄影测量。

①觇牌。摄影测量时，控制点要有明显的标志，以便能在立体像对上清晰地辨认。所以，我们设计了大小两种觇牌作为目标远近控制点的标志。觇牌用白铁皮作成，涂黑白二色油漆，使与周围的地形背景有显著的区别。觇牌嵌在内径为1厘米的铝管上，铝管长为一定值，可以根据控制点的高程推算觇牌中心点的高程，如图2。摄影测量时，将铝管套在控制点的中心的圆形钢筋上，保证觇牌中心点的铅垂线通过控制点的中心。在布设控制网时，采用就地挖坑，现场浇筑，确保水泥桩的稳定性，并在水泥凝固前，

可以微动钢筋，用经纬仪定向，保证钢筋铅直。

②摄影精度。摄影底版的质量，对摄影测量精度影响极大。我们选择紫外Ⅱ型作为摄影测量底版。紫外Ⅱ型特点：药膜均匀、反差大、立体感强，在内业成图时光学模型清晰，能使测标准确地跟踪等高线。曝光时间取决于底版、摄影距离、地面组成物质和自然光（太阳光）的方向等因素。如果地形被本身的阴影所遮盖，则被摄影地物照度不均匀，阴影部反差小，立体感弱，在Topocart-D仪器上就无法准确地进行等高线跟踪。因此，在选择摄影测量沟道时，以南北向、东北西南向或西北东南向为最佳。

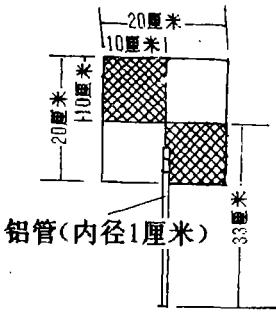


图2 视牌示意图

三、观测结果

根据天水 龙王沟小冲沟变化前后的两次摄影测量外业资料，在Topocart-D 仪器上转绘成1/200地形图。为了提高测图精度，转绘等高线时均由光学测标跟踪等高线（无内插）；等高距20厘米，等高线精度可以保证在1/3等高距内（7厘米）。1979年第一次摄影测量并成图；1981年沟道内发生明显的滑塌，于1982年进行第二次摄影测量并成图。将上述两次测量的1/200地形图，用工程测量法对滑塌进行一次土方量的计算。

1. 首先把1982年的地形图迭置在1979年的地形图上，在滑塌和堆积区的周围，以等高线重合的地方为界，划出量算区的边界线，如图3。

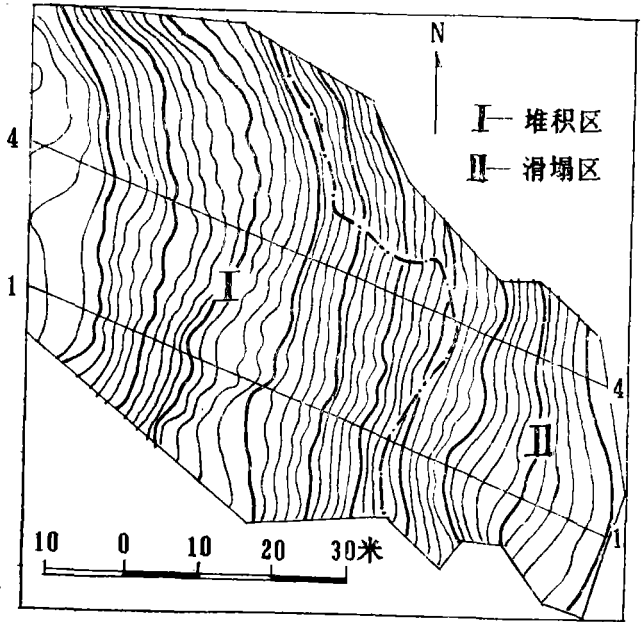


图3 滑塌和堆积区地形图

2.再以量算区内1979年和1982年两年的同一高程等高线的相交点作为分界点,连接各分界点成一分界线,把整个量算区划分为滑塌区和堆积区两部分。

3.按土方量计算公式: $V = h(\frac{A_1}{2} + A_2 + A_3 \cdots + A_{m-1} + \frac{A_m}{2}) + \frac{1}{3} A_m h$, 分别计算1979年滑塌区(起始地形资料)土方总量和1982年滑塌区的土方总量,二者之差为滑塌土方量。同样的方法计算出堆积区的土方量,计算结果:滑塌土方量为777.07立方米,堆积土方量为805.57立方米。堆积土方量较滑塌土方量大28.05立方米,这是由于堆积土体疏松所致,所以测量误差小于28.05/805.57,即小于0.035。上述滑塌体的土方量,全部堆积在1963年大滑塌体的两级台阶上,因此,给摄影测量校核精度创造了极好的条件。

4.在量算区内选择1-1、4-4两个断面,见图3,分别绘制纵断面图,如图4。各纵断面图的高程和水平距用同一比例尺,反映坡度的真实变化情况。从图4纵断面图可以看出土体的移动变化情况。土体的水平移动距离,最远不超过80米。滑塌前,地面最大坡度约为48°,堆积区的地面坡度大致为30—35°。

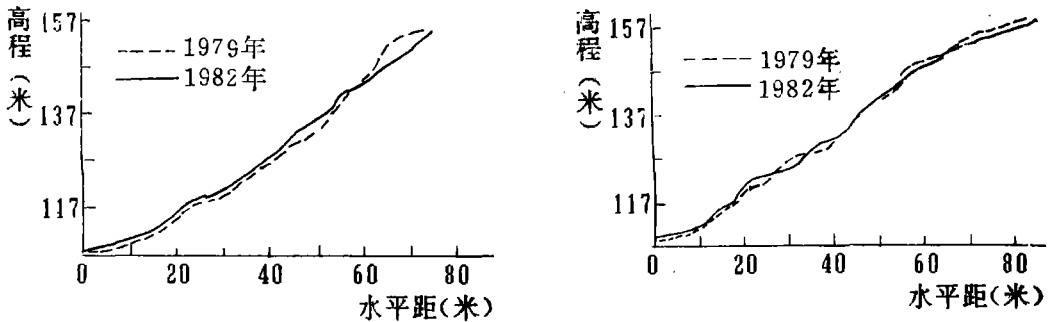


图4 滑塌区和堆积区变化

1981年的滑塌与该年度降雨量多有关。天水地区多年平均降雨量为528.8毫米,集中在6—9月份,占全年降雨量的66%;1981年降雨量575.1毫米,其中6—9月份降雨量较常年同期降雨量多100多毫米。这次滑塌没有在雨季发生,而是在雨季过后的10月下旬。

从天水龙王沟小冲沟的两次资料对比,可以看出用地面立体摄影测量法监测沟蚀和重力侵蚀是一条新的途径。它能高速度、高精度地监测沟道流域的主要产沙部位和产沙量及沟道流域的演变过程,给水土保持治理措施提供了目标,并给研究土壤侵蚀规律提供了定位和定量的依据。

四、今后工作的展望

根据天水龙王沟小冲沟变化前后的两次资料,用等高线计算法计算土方量,取得较好的结果;1983年在该流域又获得一次地形变化较大的资料。从1984年开始,在安塞县纸坊沟小流域又选择一条小冲沟,用天水龙王沟地面立体摄影测量的方法,取得了起始地形资料和第一次地形变化资料。这是目前我国唯一用地面立体摄影测量法监测沟道小流域水土流失量及不同地形部位产沙分布规律方面的资料,是极有价值的。为了系统地累积资

料, 提高整套资料的水平, 必须建立沟道小流域地面立体摄影测量信息数据库。其方法为:

1. 用地面立体摄影测量法取得地形三维信息, 即立体像对。

2. 在Topocart-D仪器上跟踪等高线, 取得1/200地形图。此过程变中心投影为正射投影。

3. 编程序。以等高线图的控制网(x 、 y 、 h)为依据, 在计算机内建立空间直角坐标系, 用等高线跟踪数字转绘仪直接将1/200地形图上的等高线输入计算机内。这样, 等高线图在计算机内成为立体数字模型, 也就是说将测区内各地面点的三维坐标, 输入计算机内, 并可以直接计算出立体模型的总体积。计算机内的立体数字模型系正射投影。

4. 再编程序, 变更比例尺(缩小), 还原中心投影, 由计算机直接绘制立体仿真模型。

按上述步骤, 能计算出沟道小流域地形变化前后立体数字模型的总体积, 推算两总体积之差, 即侵蚀量。沟道小流域水土流失地面立体摄影测量监测的核心问题, 是找出主要产沙部位和不同部位的产沙量及分布规律。因此, 调整上述步骤, 在Topocart-D仪器上取得1/200地形图后, 用变化前后两次等高线图迭置在一起, 根据同高程等高线位移的幅度大小进行分区。因此, 整个沟道小流域分成若干区, 分别求出各区的产沙量, 其它步骤同前。这样, 可以在沟道小流域内确定主要产沙部位和各部位产沙量的分布规律。

参 考 文 献

- [1] 鲁翠瑚等: 杏子河流域沟道切割密度的量算及分布规律, 《水土保持通报》, 1983年第4期。

The Application of Steroscopic Photogrametry on Ground in Monitoring Valley Erosion Evolusion

Xu Guoli Zhou Peihua

The research of valley erosion in loess hill region is developing stage. Nowadays there are some of observing approaches which do not meet the needs of advanced research of soil and water loss laws. Beginning in 1978, we monitored valley erosion and gravatial erosiom by using stereoscopic photogrametry on ground which accurately mearsures process of valley evolusion. The key problem of the method is the accuracy of controlling measure. Through research, we achieved the accuracy of topographic map in 1:100 scales. In the paper, we analysed the monitoring results from Longwang valley in Tianshui City, Ganshu Province and discussed the method and program of valley erosion model.