

文章编号: 1000-0690(2001)04-0339-05

金沙江下游元谋盆地冲沟发育特征和过程分析

柴宗新, 范建容, 刘淑珍

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要:金沙江下游元谋盆地广泛分布的下更新统元谋组地层为粘土层与砂土层互层, 冲沟发育。冲沟侵蚀蚕食耕地、造成土地劣化, 对土地资源危害很大。论述了元谋组地层冲沟具有沟壁直立、溯源侵蚀速度快、沟头组合形态多样等特征, 分析了冲沟发育过程和影响因素。

关键词:冲沟; 溯源侵蚀; 下更新统; 发育过程

中图分类号: P931.1 **文献标识码:** A

元谋盆地位于金沙江下游南侧、云南省元谋县。元谋盆地因发现 170 万年前元谋直立人化石而著名。“元谋人”化石产生于下更新统的元谋组地层中, 元谋组地层在元谋盆地广泛分布^[1], 厚 673.6 m, 分为 4 段 28 层, 为河流相、湖沼相或河湖交替相沉积, 为砂层、粉砂层、粘土层、亚粘土层及砂砾层互层, 岩性松散, 易被侵蚀。在暴雨径流的侵蚀作用下, 元谋组地层上侵蚀劣地(含“土林”)很发育, 它们都是沟谷侵蚀, 特别是冲沟侵蚀的产物。据统计^[1], 元谋仅土林总面积达 50 km², 面积大者达 8~10 km², 小者仅 1~2 km²。

元谋盆地气候干、热, 年均温 21.8℃, 年均降雨量 615.1 mm, 雨季(5~10月)雨量占全年雨量 90%, 旱季(11~4月)长达半年之久, 年蒸发量高达 3 569.2 mm, 是降水量的 5.8 倍, 沟谷大多仅在降雨时才有径流。

元谋组地层冲沟发育, 冲沟侵蚀蚕食耕地, 破坏土地, 造成土地劣化, 对土地资源危害很大。元谋组地层冲沟的发育过程很有特色, 有别于南方花岗岩和砂页岩等的冲沟发育^[2,3]。但对此却鲜见研究。本文拟在实地观测的基础上, 对元谋组地层冲沟发育过程及其成因作一分析, 这不仅对元谋盆地地貌发育、土林形成、土地荒漠化和我国沟谷地貌研究有重要意义, 而且对制定冲沟侵蚀防治对策保护土地有重要意义。

1 研究方法

在面上考察的基础上, 我们对元谋县城南沙地村旁一台地上的冲沟进行了连续的观测。研究区主要为元谋组第三段地层, 厚 278.2 m, 以河流相地层为主, 为厚层状砂层、粘土、亚粘土互层, 夹灰黑色、灰绿色薄层粘土, 台地由东向西倾斜, 大多开垦为耕地或人工林, 台地边缘冲沟发育, 溯源侵蚀强烈, 不断蚕食台地。

我们先后选择了不同土地利用方式、不同形态的 9 条冲沟进行观测, 每年雨季后观测一次, 并测定土壤理化性质。9 条冲沟中, 1、2、3、4 号沟位于人工水平沟种植银合欢林的台地边, 台地面积小, 7 号沟位于人工种植的桉树与银合欢林的台地边, 5、6、8、9 号沟位于开垦耕种的台地边, 7、9 号沟沟头和 6、8 号沟一侧沟岸有车道通过, 大、暴雨时, 车道往往成为临时排水沟道, 对冲沟发育有很大影响。同时, 项目组还在台地上建立了土壤侵蚀观测试验小区, 每个小区面积 5 m×20 m, 坡度 12.10%, 进行 4 种土地利用方式(乔灌木、乔草、乔草、荒坡), 3 次重复的坡面侵蚀观测。

2 冲沟发育特征

元谋组地层发育的冲沟, 具有下列特征。

收稿日期: 2000-07-21; 修订日期: 2000-12-06

基金项目: 中国科学院山地环境学“百人计划”部分研究内容。

作者简介: 柴宗新(1942-), 男, 研究员, 主要从事地貌和土地侵蚀研究。E-mail: LSZ@imde.ac.cn

2.1 沟壁直立

沙地村元谋组地层发育冲沟的最主要特征是沟壁直立,除 1、2、3、4 号沟位于人工合欢林旁,台地集水面积,冲沟不太发育外,其它 5 条冲沟发育都很典型,沟宽通常 40~60 m,沟深 5~10 m,无论是沟头或沟岸,其沟壁直立或呈上凸下凹状,沟底或有崩坠物堆积(下一个雨季就会被搬走,不存在),成为巷道式沟谷。沟中有的还有直立的“土墙”(长大于宽数倍,多与沟壁平行)、“土柱”(长宽相近)等直立沟壁侵蚀残存的地貌。

2.2 溯源侵蚀速度快

沟头溯源侵蚀是当地冲沟发育的主要方式,侵蚀速度快。据 1998 年雨季前 4 月 19 日和雨季末 10 月 12 日观测沙地村台地边 1~6 号沟,沟头溯源侵蚀长度达 3~280 cm(表 1)。

表 1 1998 年雨季冲沟溯源侵蚀观测

Table 1 Survey to gully headward erosion in rainy season in 1998

冲沟编号	1 号沟	2 号沟	3 号沟	4 号沟	5 号沟	6 号沟
侵蚀长度 (cm)	7~40	3~13	1~20	6~19	7~280	35~230

刘淑珍等 1994 年在元谋老城乡调查,沟谷切割密度平均为 4.51 km/km^2 ,最大达 7.4 km/km^2 。又据一面积 272.9 m^2 的坡面量测,沟谷面积达 158.6 m^2 ,占坡面面积的 58.11%。调查区冲沟年均延伸长度约 3 m/a ,最大可达 6 m/a ,大的冲沟呈树枝状展布,局部地段发育成特殊的地貌景观“土林”。

2.3 沟头组合形态多样

沙地村台地边缘冲沟的沟头大多呈园弧状。冲沟的源头,地面集流部分是槽状凹地或乡村道路时,由于流水集中,一条冲沟发育一个沟头,如 8、9 号沟。而当地面集流部分为比较平整的耕地时,由于每年耕垦,难以形成固定的流路,流水比较分散,一条冲沟的源头常是几个沟头复合组成,如 5、6、7 号沟,并且源头部分比下游冲沟宽,各沟头进一步溯源侵蚀,可呈分枝状向不同方向发展(图 1)。

3 冲沟发育过程

沙地村台地是元谋盆地东侧山麓残存的一块台地,台地东缘与山丘相接,面积约 1 km^2 ,东高西低,海拔 1088~1167 m,平均坡度 2.5%。台地高出北、西、南 20~40 m,边缘冲沟发育,5~9 号 5 条冲沟沟长都在数十米以上,沟床纵比降很陡,以沟头溯源侵

蚀为主。



图 1 沙地村冲沟沟头平面图

Fig. 1 The plans of gully head
in Shadi village

这些冲沟都是台地边缘的凹岸,经流水侵蚀和垂力侵蚀发展而成。当凹岸上台地有一定面积的集水坡面时,常先由暴雨形成具有固定流路的细沟或切沟,然后汇流于凹岸,侵蚀发展形成冲沟,冲沟以沟头溯源侵蚀方式,不断向台地内部延伸。

冲沟的沟缘通常是凹凸不平的。由于地表组成物质粘土含量高,湿胀干缩强烈,加之重力作用影响,沟壁凹凸转折处裂缝发育,特别是凸起部分易形成与沟壁平行和垂直的裂缝。同时,进入冲沟沟头的跌水,常呈垂直性的涡流,对沟头下部沟床进行强烈的深蚀和侧蚀,形成凹入沟壁的窖状空穴,当沟头下部地层含沙比重大时,窖状空穴发展很快,形成上凸下凹的沟壁,为沟壁上部的崩塌提供了临空条件。冲沟两侧沟壁的上凸下凹形,则主要由沟床流水的侧蚀形成。当降水渗入使上部凸起的土块增重,同时雨水渗入裂缝润滑降低了磨擦力,最终导致沟壁上部土体崩坠或滑入沟底,在以后的降雨中,被径流带走。至此,沟头溯源侵蚀或沟岸后退完成了一个轮回。冲沟溯源侵蚀和冲沟扩展如此往复进行,在这过程中,水蚀和重力侵蚀都占有重要地位。

冲沟沟头平面形态多为圆弧形,其原因有二:一是沟壁下部的窖状空穴,平面投影为圆弧形,当上部

沟壁崩塌后,沟头平面形态继承窖状空穴平面形态呈园弧形。二是进入沟头多条细沟的水流是不均匀的,与地面凹槽一致的细沟水流流量大,流速快,泥沙含量多,对沟头沟壁的冲刷侵蚀力强,沟壁后退快,其它细沟水流侵蚀力相对较弱,沟壁后退较慢,从而形成平面呈圆弧形的沟头。

元谋组冲沟发展的另一个方式是洞穴侵蚀发展而成。冲沟附近还见到一个现象,就是洞穴发育,小的直径几十厘米,大的达数米,深数米,洞底大致与附近冲沟沟床一致或略高,洞穴的底部与冲沟是相通的,洞穴四壁直立,多呈竖井状,往往靠冲沟一侧有穿洞与冲沟相通,其上形成“天生桥”,随着侵蚀的发展,穿洞不断扩大,最终“天生桥”崩塌,洞穴与冲沟相接,成为冲沟的一凹岸,如果其上集水面积较大,雨季水量充足,可以发展成一条支冲沟。

元谋组地层中的洞穴,是流水沿冲沟两岸土体中的裂隙或动物形成的洞穴下渗,并进行冲刷、搬运和溶蚀,将洞穴中的粘粒和砂粒带走,再加上崩塌等作用而形成。

同时,与冲沟平行的裂缝在水蚀与重力侵蚀作用下,不断扩大,导致部分长条状老冲沟壁与新冲沟壁分离,形成土墙。或者当两条冲沟沟头平行溯源侵蚀,其速度大于沟谷侧向侵蚀,之间也可形成土墙。土墙宽度多在0.5 m以上,长度可达数米。土墙经侵蚀,进一步切断或缩短,长宽相近时形成土柱。进一步侵蚀,土柱也可消失。

应当指出,台地边缘的冲沟有一个发展、衰减的过程。就一条冲沟而言,初期冲沟逐渐向台地溯源侵蚀,同时随着沟头的延伸,其集水范围增大,侵蚀水量增大,侵蚀力增强,冲沟侵蚀处于发展阶段。但是,随着冲沟侵蚀对台地的蚕食,台地面积逐渐缩小,当冲沟侵蚀发展到一定程度,集水面积将不会再增大,而是随着冲沟侵蚀的发展而减小,随着径流量的减小,沟谷侵蚀速度将随之减缓。多条冲沟对台地的蚕食,残存台地逐渐发展成为孤丘或石柱,最终被变为平地。

4 冲沟发育影响因素

元谋组地层冲沟发育的特点与元谋组地层的岩性、地表组成物质、干旱气候环境因素有着密切关系。

4.1 地层为粘土与砂互层

下更新统元谋组地层是半成岩地层,为河流相和湖沼相沉积,地层具有明显的韵律性,由砂层向上

逐步演化为粘土层。沙地村附近台地,地层为元谋组第三段,以河流相为主,厚278.2 m,为元谋组的14~23层,每层又包括几个沉积旋回。砂层与上覆的亚粘土、粘土层组成向上变细的正向沉积旋回,即每个沉积旋回以砂砾层或砂层开始,向上逐渐变细为亚粘土、粘土,单个沉积旋回的厚度较大,一般可达数米至数十米,各沉积旋回之间为侵蚀接触,地层的韵律性十分明显。

如第23层由3个沉积旋回组成,总厚26.5 m^[1],由上到下:

③上部为灰白色亚粘土,下部为棕黄厚砂层含小砾石,砂层被钙质胶结,厚12 m。

②上部棕红色亚粘土夹灰绿色粘土,下部为棕黄色砂,厚7.0 m。

①上部棕红色亚粘土灰绿色粘土,下部为厚层砂层,交错层发育,含小砾石,厚7.5 m。

互层的砂层和粘土层对土壤的机械组成有很大影响。当地表出露砂层时,其发育的土壤含砂比重就大,并且多为粉砂土。如4号沟、5号沟和7号沟,其0.25~0.02 mm的粉砂土含量达40%~65%以上,0.5~0.02 mm的颗粒含量更达44%~84%(表2)。这与我国北方黄土粒度组成相似。由此导致土壤具有多孔性、质地疏松,易被侵蚀。

当冲沟壁下部为粉砂土层时,有利于跌水的下蚀和侧蚀,造成沟壁呈上凸下凹形态,为沟壁上部的粘土块体的崩塌提供了条件。当冲沟沟壁上上部为粉砂土层,下部为粘土层时,雨水下渗浸润粘土层,形成滑动面,粉砂土层组成的冲沟沟壁常顺滑动面滑入沟底。

4.2 土体垂直节理发育

冲沟沟壁直立,是元谋组地层垂直节理发育的结果,也是“土林”能够形成的主要原因。它的成因是:因为元谋组地层是半成岩地层,在其堆积加厚,特别是粉砂土层堆积加厚过程中,受到重力压力的影响,土粒上下之间间距变小,被压紧,而土粒左右间距变化较小,也就是说垂直方向上的孔隙较发育,雨季水和空气就沿着土体中的细小垂直孔隙自上向下流动,溶蚀了孔隙中的钙质并有潜蚀作用,而干季或雨后,蒸发又使土体变干,盐分淀积在垂直的孔隙中,这种过程反复进行,在元谋组地层中造成巨大的垂直节理。而冲沟一侧临空面的出现,更推进了冲沟两侧垂直节理的发育。

表 2 部分冲沟附近土壤粒度分析

Table 2 Analysis of soil partical near some gullies

样品	有机质 (g/kg)	颗 粒 组 成 (%)						
		2~ 1 mm	1~ 0.5 mm	0.5~ 0.25 mm	0.25~ 0.1 mm	0.1~ 0.02 mm	0.02~ 0.002 mm	< 0.002 mm
4号沟	A 层	9.92	1.11	0.60	5.64	35.42	25.07	11.12
	B 层	6.22	0.87	0.70	9.46	37.70	24.38	8.92
	C 层	5.19	1.20	0.31	4.01	30.12	10.54	20.28
5号沟	A 层	5.13	2.16	2.46	18.15	43.84	22.07	5.39
	B 层	4.26	2.21	2.28	18.16	39.94	20.48	8.60
	C 层	3.54	2.28	1.55	11.61	27.22	17.49	14.91
7号沟	A 层	8.32	1.04	1.41	12.10	39.26	26.21	7.97
	B 层	6.07	0.63	0.86	12.88	40.58	23.01	8.90
	C 层	4.94	0.77	0.89	14.50	44.38	16.55	5.98

4.3 表层土壤粘粒含量高、裂隙发育

受干热气候影响,元谋盆地发育变性土和燥红土,它们的粘粒(< 0.002 mm)含量都很高,一般都 ≥ 30%。据 6 号沟土壤 A、B、C 层采样测定(表 3), < 0.002 mm 占 27.59%~ 40.08%, < 0.02 mm 的则达 68.63%~ 79.06%。又据黄成敏等测定^[4],元谋地区变性土粘粒含量达 36.84%~ 53.33%。并且粘土矿物以膨胀性强的蒙脱石为主,使土壤吸水膨胀、干旱收缩强烈,其土壤膨胀度达 45.5%~ 60.5%,往往雨后吸水 5~ 10 分钟,膨胀就达最高值,干燥后土壤又收缩产生龟裂,长可达 2~ 5 m,宽为 1~ 2 cm,深 50 cm 以上。特别是在冲沟附近,当土壤吸水膨胀时,向临空的冲沟推挤,干燥时土体收缩,土体难以回复而形成顺冲沟壁的裂缝,一些砂土

掉入裂缝,下次降雨再发生湿胀、干裂,裂缝进一步扩大,如此往复进行,裂隙宽可达 10~ 20 cm,深数米。冲沟壁裂隙的发育为雨水的下深和崩塌等重力侵蚀提供了条件。

4.4 干湿季分明的干热气候

元谋气候干热,干湿季分明,旱季长达半年,前文已述及。特别是 3~ 5 月,气候高温干旱,月均温 21.8℃~ 27.0℃,降雨量总计 56.7 mm,而蒸发量达 1 542.5 mm,蒸发量是降雨量的 27.2 倍。干湿交替的气候,有利于土体裂隙的发育。长达半年的干旱季节,使土体水份丧失殆尽,土粒之间的聚合力降到最低,土体大多处于松散状态,特别是粉砂土层,一些沟壁上部土体的崩塌或滑坡就在干季发生。

表 3 6 号沟土壤粒度分析(%)

Table 3 Analysis of soil partical of gully No. 6

样品	有机质 (g/kg)	颗 粒 组 成 (%)						
		2~ 1 mm	1~ 0.5 mm	0.5~ 0.25 mm	0.25~ 0.1 mm	0.1~ 0.02 mm	0.02~ 0.002 mm	< 0.002 mm
A 层	5.65	0.91	0.38	1.50	5.39	23.19	41.04	27.59
B 层	4.64	0.70	0.20	1.09	4.70	19.63	41.93	31.75
C 层	2.50	0.27	0.15	0.67	3.09	16.76	38.98	40.08

参考文献:

[1] 钱方,周国兴,等. 元谋第四纪地质与古人类[M]. 北京: 科学出版社,1991. 9~ 67, 127~ 132.

[2] 吴克刚,陆兆熊,郭鼎. 华南花岗岩风化壳崩岗侵蚀[A]. 中国加拿大水土保持协作组. 广东省水土保持研究[C]. 北京: 科学出版社,1989. 7~ 23.

[3] 丘世钧. 切割下坠——砂页岩地区崩岗源头墙壁后退主式之一[J]. 水土保持通报, 1999, 19(6):20~ 22.

[4] 黄成敏,何毓蓉. 元谋干热河谷试区土壤的水分状况及基本物理特性研究[A]. 赵桂久,刘燕华,赵名茶. 生态环境综合整治与恢复技术研究(第二集)[C]. 北京:北京科学技术出版社, 1995.155~ 160.

Analysis on Development Characteristics and Process of Gully in Yuanmon Basin on Lower Reaches of Jinsha River

CHAI Zong-xin, FAN Jian-rong, LIU Shi-zhen

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Chengdu, Sichuan 610041*)

Abstract: The Low Pleistocene Series Yuanmon Group alternate sand and mud beds are widely distributed and the gullies are developed in Yuanmon Basin. It lies on the south bank of Jinsha River, the upper reaches of Changjiang River (Yangtze R.). Some distribution regions of Pliocene–Pleistocene strata were scoured by running water, and formed thousand of gullies and ravines and some stretches of earth columns in the basin. This landscape is the result of gulling. The gullies erode the farmland, form the erosion bad land (the earth forest) and break the land resources. The gully erosion, as a special erosion shape, received attention only recently. The gully erosion in the Yuanmon Basin is formed under the synthetical influence of local varied conditions, such as stratigraphy, tectonism, climate, soil, vegetation, water dynamic condition, etc.

The Yuanmon Basin located in subtropical climate belt is controlled by the south-west monsoon of the Indian Ocean in rainy seasons and by the continental air mass of the tropics in dry seasons. Its foehn effect was obvious. The climate of the basin is dry and hot, especially in dry seasons with in November–April. The annual average temperature in the basin is 21.8 °C, with the maximum of 42 °C and minimum of –1 °C. The annual average rainfall is 615 mm, 90 per cent of which is concentrated in the rainy seasons within May–October. The annual vaporization capacity is 3–6 times of precipitation.

In rainy seasons the running water carried sand and gravel in the gully to make its scouring capacity enhanced and to speed up its incision and headward erosion. The lateral erosion of running water was further enhanced to make some loose sand beds below the gully wall and gully head wall become eroded, and the walls of the gully and gully head became convex-shaped on the top of it, and concave-shaped at the bottom of it, and then the walls of gully and gully head could cause eboulement after a rainstorm, some isolated earth shield and pillars remained. The gully continually stretches to platform at the same time.

This article discusses following gully characteristics: (1) the gully bank is vertical; (2) the headward erosion is fast; (3) the combination form of gully head is varied. Then the development process and influence factors of gully are analysed. The important influence factors of gully development are following: (1) the strata is alternation of sand and mud beds; (2) the vertical joint is development in earth body; (3) the clay particle capacity is larger and the crevice is development in surface soil; (4) the climate is dry and hot and distinct dry season and moist season.

Key words: Gully; Headward erosion; Low pleistocene series; Development process