

元谋土林成因及类型的初步研究

钱 方

凌小惠

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京) (中国科学院西安黄土与第四纪开放实验室)

摘 要

土林是中国近年来发现的一种流水地貌类型。土林地貌在云南元谋盆地发育最典型。作者通过对元谋盆地内的河湖相地层、新构造运动、地貌、土壤、气候和植被的研究,指出了土林地貌形成的条件和其 5 个发育阶段。并将土林划分为 4 种类型。

关键词: 云南元谋, 土林, 成因及类型

自 1965 年以来,笔者曾多次到云南元谋盆地对第四纪地质、新构造和地貌进行研究。发现在盆地中的一些上新统一更新统地层分布区,被流水冲刷后形成了千沟万壑,成片土柱。土柱高低参差、密密层层,层见叠出,远看如一片森林。因此,笔者之一在“元谋盆地第四纪冰期与地层”一文中^[1],将这种地貌形态,命名为“土林”。

土林作为一种特殊的地貌形态,近年来才被人们重视。土林地貌在我国不少地区均有发育,其中在云南元谋盆地和西藏阿里札达盆地分布最广,也最典型。此外,在云南江川、牟定、南涧和四川西昌、新疆叶城、甘肃天水等地也有零星分布。

元谋位于昆明西北约 110km 的金沙江南岸,盆地海拔 1050—1380m 左右。盆地东侧由侏罗纪和白垩纪地层组成的山体,海拔 2700m 左右,习称东山。西侧由昆阳群和花岗岩组成的低矮山梁,海拔小于 1700m。龙川江纵贯盆地,自南向北在龙街流入金沙江。元谋土林主要分布在盆地西侧和南面(图 1)。其中以班果土林、马吼土林、芝麻土林、甘棠土林等面积较大,一般可超过 8km²。其它土林如虎跳滩土林、湾堡土林、小雷宰土林、白泥湾土林和小石村土林等,面积较小为 1—2km² 左右。土林所处的高度也不一样,大部土林的顶面在海拔 1100—1380m 之间,高出龙街金沙江面 170—450m。但在元谋西面的新华土林海拔为 1500m 左右,面积约 8km²。下面就元谋土林的形成条件、发育过程和分类进行探讨。

一、土林的形成条件

元谋盆地的土林是在当地的地层、组成物质、构造运动、气候、土壤、植被和水动力等条件的综合影响下形成的。人类的活动只能加速和延缓土林的形成。

1. 土林组成物质

组成元谋土林的母质主要为上新世一早更新世一套巨厚的、半胶结的河湖相地层,已受构

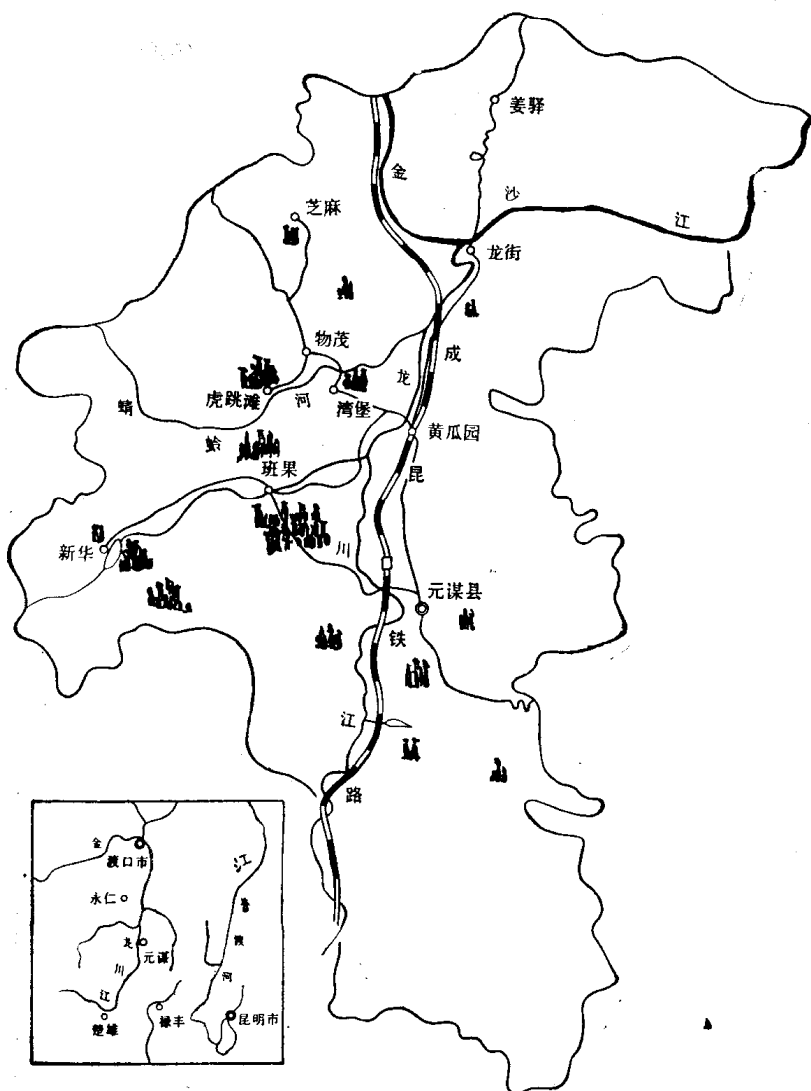


图 1 元谋土林分布图

造变动,产生低角度的倾斜,并抬升后被流水切割,成为低缓的丘岗或阶地的基座。在元谋盆地中主要为早更新世元谋组地层分布,在元谋组上部发现了 1.7Ma 前的元谋人牙齿化石及其文化遗存^[2-4]。含有大量的哺乳动物化石,如爪蹄兽、龙川始柱角鹿、矮小麂、最后枝角鹿、云南马、复齿鼠兔、类象剑齿象、元谋剑齿象、山西轴鹿、牛、中国犀等^[5]。还有植物叶片和孢子花粉化石^[6]。磁性地层研究得出元谋组时代相当高斯期至松山中期^[7-9],距今 3.1—1.5Ma 左右。元谋组厚 695m 被分为四段 28 层^[1,10]。在盆地西部班果、物茂附近主要为上新世河流相砂砾层,最近在物茂西面竹棚和小河村附近发现了人猿超科化石及其伴生的云南大唇犀、三趾马、原始剑齿象、巨鬣狗等化石,时代可能相当吉尔伯特期至高斯期。在新华一带土林,主要由湖相沉积的粘土和粉砂组成,时代为上新世。

组成土林母质的地层,主要相当元谋组的下部和上新统。沉积层以河流相和三角洲相为主,为砾石层、砂层夹薄层粘土和亚粘土层。砂砾层常为粗层状,单层厚 0.5—10m 左右,其中

部分被铁质胶结,厚达 2m 以上。砂层中交错层发育,并常夹有连续几层厚几厘米的铁质胶结砂层和透镜体。粘土和亚粘土层较薄,单层厚约 0.3—2m,也常夹有薄层砂砾石透镜体,局部被铁质胶结和钙质胶结。砂砾层中砾石粒径较小,一般为 0.2—2cm。砾石成分以石英砂岩、石英岩、砂岩为主,还有花岗岩、片岩、大理岩等。砾石分选较差,一般为次圆状。砂的成分主要为石英、长石和云母。砂砾石层和粘土、亚粘土层色调鲜艳,为紫红、棕红、粉红、棕黄、橙黄、黄绿、褐色、白色、灰色和黑色等颜色。由于地层产状平缓,一般倾角小于 8° ,因此形成了色带明显的土林地貌。

2. 新构造运动特征

元谋盆地位于川滇南北构造带中段,东面为昔格达—元谋大断裂,在地貌上成为东山和盆地界线。盆地西侧无明显断层。盆地内上新世到早更新世(N_2-Q_1)的巨厚堆积,是由于新构造运动断陷堆积而形成的。我们从更大范围里纵观川滇南北构造带就能发现,在这条断裂带上断续展布着一系列上新世至第四纪早期河湖相地层沉积盆地。从北向南有泸定、汉源、西昌、会理、盐源、红格、元谋、昆明、牟定、玉溪等地,显示着古湖呈南北向分布规律。正是由于该构造带的活动,才造成了一系列构造断陷盆地,并长期接受沉积,元谋盆地就是其中一个。

在元谋组沉积后期已反映出东山的升起,但东山的强烈抬升主要是在距今 1.5—1.2Ma 间的元谋运动以后发生的。元谋运动不但使东山的侏罗系、白垩系逆掩到元谋组上,并使元谋组产生平缓的倾斜、褶皱、断裂和大量垂直节理^[1]。元谋运动后,元谋盆地也由断陷转为隆升,使 N_2-Q_1 地层抬升为盆地边缘相对高 100—300m 的丘岗或盆地中龙川江及其支流各级阶地的基座。其中最高的五级阶地可高出江面 200m 左右。由于构造的抬升使地面比降加大,在金沙江强烈下切的同时,流水也加速了对元谋盆地的侵蚀和切割。水流常沿着松散的砂层、节理面或破碎带冲刷,从而形成了纵横交错的冲沟和土柱,最后发育成土林。因此元谋盆地近期的强烈抬升,是形成土林的重要条件之一。

3. 风化壳和铁质胶结砂砾层

元谋盆地在第四纪时期发育了 3 个风化壳,均属于硅铝—铁质类型,这是在湿热气候条件下,由于不稳定元素 Ca, Na, K, Mg 大部被淋溶,使 Al, Fe 和 Si 相对积聚而成。发育在土林地区的风化壳主要是中更新世坚硬的红色铁质风化壳,一般厚 0.5—1m,所处地貌部位是平缓的丘岗上部或高阶地上。当地壳抬升,河流下切,冲沟发育,形成土屏、土墙、土柱后,坚硬的风化壳和松散堆积物中的透镜状铁质胶结砂砾层,对下部松软地层起了保护作用。它们像一把把雨伞使雨水不易淋溶和渗透到地层里,使土屏、土墙、土柱保持较长时间不被水流自上而下冲毁、倒塌。一般这样的单个土柱在地表可保存几十年至数百年之久。而一些顶部无铁质风化壳或铁质胶结砂砾层保护的土柱,经受雨水淋溶和冲刷作用后,其中砂砾和土层变得松软,不用几年就被片蚀,逐渐刷低或倒塌,最后消失。

风化壳不但对下面的土柱起了保护作用,同时由于各个风化壳组成的母质和形态的不同,加上铁质胶结砂砾层上、下层位的差别和形状厚度的不等,在土林中形成了许多高低参差的土柱和栩栩如生的人物形象。

4. 气候、植被、土壤

元谋盆地为亚热带气候,雨季受印度洋西南季风控制,旱季受热带大陆气团控制,焚风效应明显。盆地中年平均温度为 22°C 。绝对最高气温为 42°C ,最低为 -1°C 。各月平均温

表 1 元谋平均各月气温表

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
温 度 $^{\circ}\text{C}$	15.2	17.8	21.8	25.2	26.9	26.4	26.4	25.4	24.3	21.6	17.6	14.9

度见表 1。年平均降雨量为 611mm，其中 90% 几乎集中在 6—10 月雨季。全年霜日平均为两天，降雪更为罕见。多东南风；夏季炎热，冬季温暖，干、湿两季分明，日照充足。适宜农作物生长，是一个天然温室。

盆地中常见的植被主要有攀枝花、西果树、密油枝、酸角树、金合欢、霸王鞭、仙人掌、剑麻、小桐子、扭黄茅等。近几十年来由于人为的砍伐，植被越来越少，在土林地区，几乎连一棵大树也难见到，土壤裸露，水土流失严重。

在这一生物气候带下形成的土壤为燥红土。燥红土肥力低，含有机质少，土壤团粒结构差，易于砂化，在雨季时易被雨水冲刷，形成一条条的细沟。

由于土林地区植被稀少，土壤贫瘠，夏季多暴雨入渗率低，形成了大量细沟，发生了强烈侵蚀作用，并使这些细沟不断加宽变深，最后形成了许多土柱。旱季因干燥少雨，风化和片蚀作用对土柱几乎不起作用，因此使土柱能长时间挺立。相反，如盆地中常下小雨，湿度大则水分可逐渐渗透到土柱中的一些粘土或亚粘土层中，粘土由于吸水膨胀，干后收缩的不均匀变化，可加速土柱倒塌。如 1983 年年底，元谋下了一天百年难遇的雪，在融雪时雪水逐渐渗透到土柱风化壳下的砂和粘土层中，使其膨胀、松软、变形，造成了一些土柱的倒塌。所以元谋盆地中的气候、土壤和植被条件均有利于土林的形成、发育和保存。

综上所述，元谋土林地区，在距今 1.5Ma 前是一个广阔的河湖相沉积面。由于新构造的抬升使其形成台地，并发育了红色风化壳。在长期的暂时性流水下切、冲割和风蚀作用下，慢慢地雕刻出这种独具风采的土林地貌。下面就土林在流水作用下的发育过程进行探讨。

二、土林发育过程

土林地区每年有大量的泥沙被冲走。如新华的河尾水库，在 1957 年建库时容量为 $13.66 \times 10^6 \text{m}^3$ ，到 1983 年由于泥沙的淤积库容量已缩小到 $9.3 \times 10^6 \text{m}^3$ ，平均每年淤积 $168 \times 10^3 \text{m}^3$ 泥沙。而河尾水库所控制的流域面积为 60km^2 ，其中土林和水土流失严重地区面积约 13km^2 。如按 60% 的泥沙量来自该区计算，则土林地区每平方公里年平均流失泥沙量为 7754m^3 ，这个数字是非常惊人的。

因为在土林中没有建立定位观察站和水文站，所以很难用具体数字来说明流水侵蚀作用的速度和强度。对土林的发育过程，主要是根据流水所形成的各种地貌形态来确定；而且，我们还访问了一些当地居民；此外，笔者在雨天时，直接观察了水流对土林的侵蚀作用。据上述资料，可将土林的发育过程分为 5 个阶段。

1. 片蚀、纹沟、细沟阶段

在元谋由松散河湖相地层组成的平缓斜坡或台面上，当暴雨时雨滴常形成溅蚀坑，并停积了水。由于溅蚀坑不断增多、加深，逐渐相连形成片流。当雨滴落在砂砾上时，雨水很快流失。砂砾对下面土层起了保护伞作用。片流可将细小土粒搬运。在片流作用下可形成小土柱，土

柱高约 5mm。砂砾对小土柱起了保护作用(图版 I-1)。

当片流不断增厚,溅蚀坑逐渐相连,水流逐渐集中,由片流转为线流。在线流作用下,侵蚀能力增强,形成纹沟。在平整的斜坡上,常形成许多平行的小纹沟(图版 I-2)。纹沟一般深和宽几毫米至十几厘米,长几十厘米至 2m 左右。当纹沟逐渐合并、加深和变宽,进一步发展到细沟。细沟长约几米,宽和深一般小于 1m。此时开始形成矮小的细芽状土柱。

2. 切沟阶段

流水在细沟中夹带了砂粒,使其冲刷能力加强,加快了下切和溯源侵蚀而发展为切沟。由于土林中地层为砂砾和土的交互层,软硬相间而产状平缓,当切沟中的暂时性流水在流经松散的砂或粉砂层时,加速了侧蚀使切沟变宽;而当水流经过较坚硬的铁质胶结砂砾层或粘土层时,地层限制了流水的侧蚀,使切沟加速下切,两壁陡立成巷沟。土林中切沟常为瓯穴侵蚀形成,跌水陡坎高约 2—10m。在一些切沟中有陷穴或小型的漏斗状落水洞,在其下面发育暂时性暗流,造成了一些断头或无尾的切沟。

随着流水沿裂隙侵入,陷穴的逐步扩大,使沟谷加密。由于切沟的互相沟通和发展,在切沟间形成了一些小土柱。流水继续下切,使部分顶部有保护层的土柱变得较高,可达 5m 左右(图版 I-3),其它土柱倒塌或被侵蚀变矮。

3. 冲沟、侵蚀盆阶段

切沟继续延伸加宽为小冲沟。在土林地区丘岗顶部或斜坡上部,冲沟、切沟相互汇合,常形成圆形的侵蚀盆。盆口处常为较坚硬的地层,被流水深切为巷沟,沟口有陡坎、瓯穴。在圆盆中由于冲沟、切沟的纵横分布,流水侧蚀的进一步加强,使一些沟壁下的松散砂层被侵蚀,沟壁成为上凸下凹形,在一场暴雨后可造成沟壁崩塌,同时可留下一些孤立的土柱和土屏。土柱、土屏在流水的侵蚀和雨水的片蚀、淋溶作用下,它们高低不等,形态各异。圆盆的后壁陡峻,为切沟或冲沟的源头。圆盆中土柱的发育,主要依靠盆内的集水来塑造。圆盆有时也为串珠状,它们之间由冲沟和巷沟相连。较大的圆盆已成为小型的土林。

冲沟一般宽几米至十几米,深 4—40m,长十几米至几百米。在一场暴雨后,冲沟中水深可达 1m 左右,流速很快,夹带了大量泥沙。在雨停后约 4h 左右水流即可大部分流出冲沟或渗入沟底砂层中,在冲沟中只留下涓涓细流。水流对冲沟凹岸陡壁底部的傍蚀作用是很强的,在一次流水冲刷后可形成深 70cm、高约 1m 的凹槽。随着冲沟沟底和顶面的高差加大,土柱更高大挺拔(图版 I-4),沟的两侧出现了似雄伟壮观的古建筑群般的陡壁。

4. 宽沟阶段

土林地区冲沟的进一步展宽和延长成为宽沟。宽沟沟底平坦,宽达十几米到几十米,长达几公里,沟侧可见到一些缓坡,但大部地区乃为陡立的直壁。宽沟中堆积了大量的松散砂粒,当地人称为沙沟,如班果土林中的宽沟称为大沙沟。宽沟平时为干沟,地下水位较浅,常见有泉水。在雨季暴雨后也可形成暂时性流水,此时水流流量大,流速达 2m/s,并夹带大量泥沙,侧蚀力强。在一些凹岸的陡壁下,砂层被蚀空形成浅洞,最深达 3m 左右。当浅洞上的砂砾层失去了支持其上面地层重量的能力时,就发生崩塌。宽沟中也可产生滑坡和泻溜,这些作用使宽沟更加变宽。

大的宽沟已初具一条树枝状水系的形态。在其两侧发育有次一级的宽沟、冲沟、巷沟、细沟和纹沟。此时,不但在宽沟两侧发育了土林,在支沟中、圆盆中也形成了不同的土林形态。在

宽沟中柱堡型土林发育;在冲沟中土柱发育;在圆盆中土柱常在中间,四周则为陡壁,陡壁上部又发育了一些土柱和土芽。它们千姿百态,组成了一个有机的土林综合体。此时的土林已达到最完美的阶段。

5. 残丘夷平阶段

土林中的一些宽沟及其支沟不断的被侧蚀加宽,沟中堆积了巨厚的砂层。而沟谷两侧的陡壁和土柱也不断的倒塌、蚀低或被逐渐冲刷成平缓的斜坡。整个土林地势又开始变平缓,在宽沟两侧形成了一些孤立的土柱或土屏(图版 I-5)。此时土林已逐渐由壮年期进入到老年期。如果地壳不再抬升,流水下切能力越来越弱,这些宽沟可逐渐被填平,最后达到夷平阶段。

土林的形成过程比起石林要快许多倍,特别是在植被破坏后的地区发育更快,但一些土柱、土墙也不是几年或几十年就完全变样。如笔者在1965年于元谋马大海附近见到的几个土柱,在1986年再到该地时,它们仍保持原来形态。明代著名地理学家、旅行家徐霞客(1587—1641)曾到过元谋,他曾由元谋马街到大姚途中经过班果、新华一带土林地区,在他日记中对班果大沙沟有过详细描述^[11]。从中可知当时元谋气候已干旱炎热,在班果等地河湖相地层分布区,有许多干沟存在,说明了该区已沟谷纵横,发育了土林地貌。

三、土林的类型

根据土林的地貌形态及其组合和发育阶段,初步划分为以下几种地貌类型:

1. 细沟土芽型

是土林地貌发育初期,在片蚀、纹沟、细沟阶段和切沟阶段形成的主要类型。当土林地区丘岗、台地坡面的下部,形成一些纹沟和细沟后,使大部在片蚀作用下造成的小土柱被冲刷掉,其中一些小土柱合并为高几十厘米的土柱。当细沟进一步发展和坡面被加密切割也可形成一些高0.5—2.0m的小土柱。因为这些小土柱顶部一般无风化壳保护,使其形态大部如刚出土的尖圆形笋芽,因此称为土芽。此外,在土林中的一些切沟上游,也有小范围的细沟土芽型的土林地貌分布。

2. 圆盆土柱型

在土林地区冲沟和切沟的源头,接近分水岭附近的地区,常形成半圆形或椭圆形的盆地,类似红土地区初期的崩岗地形^[12]。圆盆的直径为几十米,盆中发育了众多的冲沟、切沟、细沟和陷穴,相互交叉形成了大量土柱、土屏及峭峻的土峰。而圆盆的周壁是崩塌和陷蚀而成的陡峭后壁。由于流水的侵蚀、淋溶及节理和裂隙的影响,使后壁凹凸不平,形态各异。在圆盆出口处常为滴水的陡坎或深切的巷沟。圆盆中的土林形态是一盆一景,变幻莫测,有如一座座神宫和一幅幅壁画。这种类型的土林,称为圆盆土柱型(图版 II-1)。

3. 宽沟柱堡型

冲沟的不断扩大和汇合,在土林中形成了几条宽大的干沟。一些圆盆的沟口被扩展,沟头延伸,被冲沟逐渐沟通为串珠状。此时,整个土林地区被冲刷切割成千沟万壑。在宽沟中由于流水侵蚀和沟壁的崩塌,可以形成高大直立的崖壁,长几百米,高达20—40m,陡壁高低参差,前后交错,如一座座古代城堡(图版 II-2)。一部分土柱在风化壳或铁质胶结砂砾层的保护下,显得高大挺拔,而失去保护伞的土柱,顶部多呈尖圆形,如宝塔。暗流和陷穴给土林增添了多样的洞穴、天窗和天然桥,使土林显得格外幽深神奇。此时土林已发育到最完美的阶段,

它被称为宽沟柱堡型土林。

4. 坡地残柱型

当土林发育到最后阶段,宽沟不再下切,流水以侧蚀为主,使宽沟两侧的陡壁不断的崩塌变低,首先使凸岸形成缓坡,逐渐两侧坡度多变缓。过去宽沟两侧高大的崖壁,现在却似一些低矮的城堡废墟,土柱也大部倒塌、蚀低。如果没有新的构造运动使土林区重新抬升,造成土林回春,土林则逐渐被夷平、消失。

通过对土林的调查研究,使我们了解到土林的发展已有几百年或更长时间的历史。在地质时期中,也最少发育过二次土林,一次是在中更新世老冲沟堆积前;另一次在晚更新世新冲沟堆积前^[1]。而元谋土林的形成和我国已知最早的古人类有着密切的联系。

土林是一种新发现的地貌类型,而土林地貌的研究也刚刚开始。由于过去对土林还没有进行过定位观察、模拟试验,也没有在土林地区实测过水文、泥沙、地貌形态变化等数据,因此给土林地貌的研究工作带来了一定的困难。本文仅仅是对土林地貌进行初步的研究和探讨。

参 考 文 献

- [1] 钱 方、浦庆余、袁振新、张兴永,中国第四纪冰川地质文集,地质出版社,1977,55—80。
- [2] 钱 方、浦庆余、王德山、元谋人,云南人民出版社,1984,3—7。
- [3] 胡承志,地质学报,47(1973),1:65—71。
- [4] 文本亨,古人类论文集,科学出版社,1978,126—135。
- [5] 林一璞、潘悦容、陆庆五,古人类论文集,科学出版社,1978,101—119。
- [6] 孙孟蓉、赵英娘、孙秀玉、王大宁,元谋人,云南人民出版社,1984,170—176。
- [7] 李 普、钱 方等,中国科学,1976,6:579—591。
- [8] 程国良、李素玲、林金录,地质科学,1977,1:34—42。
- [9] 钱 方,人类学学报,4(1985),4:324—332。
- [10] 浦庆余、钱 方,地质学报,51(1977),1:89—99。
- [11] 徐霞客,徐霞客游记(下册),大达图书供应社,1935,88—89。
- [12] 曾昭璇,岩石地形学,地质出版社,1960,76。