

川中丘陵区坡坎形成的地理过程特征

廖晓勇, 张先婉

(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: 本研究旨在为坡坎资源的开发利用寻求理论和实践依据, 以川中丘陵区为典型调查区域, 从地层岩性、地面坡度、坡长、坡向及土壤侵蚀等特征入手, 探讨了区域坡坎的地理过程特征。

关键词: 坡坎; 川中丘陵区; 地理过程特征

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

1 研究区自然概况及坡坎特征

川中丘陵区位于四川盆地中部, 面积 6.03 万 km^2 , 地势西北高而东南低, 平均海拔 350 m~700 m, 主要出露白垩系中统夹关组(K_{1-2j}), 侏罗系中统上沙溪庙组(J_{2s})、上统遂宁组(J_{3s})、蓬莱镇组(J_{3p})以及白垩系下统城墙岩群(K_{1cg})等地层, 岩层倾角 $5^\circ \sim 7^\circ$, 土壤类型以紫色土和水稻土为主。区域气候属典型的亚热带湿润性气候, 年均温 $16^\circ\text{C} \sim 18^\circ\text{C}$, 年均降水量 800 mm~1 100 mm, 年均日照时数 1 200 h~1 600 h。区域内地带性森林植被为亚热带常绿阔叶林, 现有类型以柏木(*Cupressus funebris*)林为常见, 且多呈次生疏林。

由于紫色岩在盆地中多呈近水平分布, 经长期切蚀形成大规模的自然梯地, 每一层梯地的边缘都有一个边坡, 其高度从数十厘米到十余米不等, 称为坡坎。目前, 坡坎处于一种半开发状态, 有的裸露, 梯地的沟蚀、滑塌常从这里开始; 有的生长天然草丛, 对梯地起着保护作用, 然而缺少经济效益; 有的散生着柏木等树种, 又往往同农地争夺养分或是荫蔽农田。坡坎以较大面积存在, 光热条件好, 但往往因坡度陡, 水分容易泄去, 难于保蓄, 稍加开垦又容易引起侵蚀。这些坡坎(包括田埂)完全有条件在发挥优势、克服劣势的基础上, 进行多功能的开发利用。

2 研究方法

基于坡坎形成特征受地层岩性及其组合的影响颇大, 本研究采用典型调查、分析的方法, 选择乐山市、荣昌县、资阳市、乐至县和中江县分别作为夹关组、沙溪庙组、遂宁组、蓬莱镇组和城墙岩群地层的典型代表样地, 按照田埂、土坎两种坡坎类型, 分 $0^\circ \sim 2^\circ$ 、 $2^\circ \sim 6^\circ$ 、 $6^\circ \sim 15^\circ$ 、 $15^\circ \sim 25^\circ$ 、 $\geq 25^\circ$ 五个地面坡度所形成的坡坎, 结合野外实地调查测算、室内取样分析(表 1)研究坡坎的形成地理过程特征。

3 区域坡坎形成的地理过程特征

坡坎的形成受自然地理过程的制约与人类活动的影响。首先在水热因素及重力作用下, 固结岩体表面向比较疏松的岩屑风化崩解、移动、堆积; 其次坡面岩屑进一步粒化发育形成土壤, 并发生侵蚀、沉积。而经过人类耕作需要的调整则又形成了坡坎当前的地貌特征。川中丘陵区由于地理环境的独特

收稿日期: 1999-11-24; 改回日期: 2000-04-02。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49671068)。

作者简介: 廖晓勇(1971-), 男(汉族), 土壤学硕士, 助理研究员, 从事土地资源开发利用、生态农业系统等研究, 发表相关学术论文 5 篇。

性, 因此, 在坡坎形成的地理过程中又显示出以下独特的风貌。

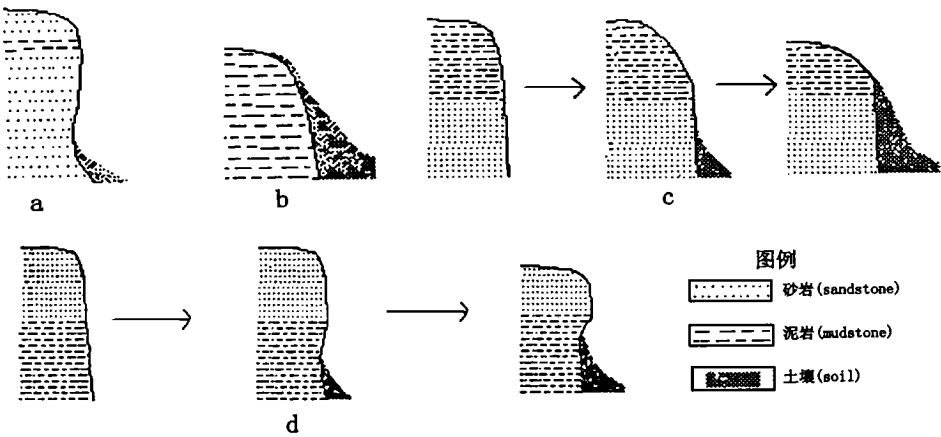
表 1 川中丘陵区坡坎典型调查、分析指标
Table 1 The investigation and analysis indices of the side-slope

项 目	指 标
野外调查	地貌类型、坡度、坡长、坡向; 坡坎母岩类型、岩层厚度与组合、岩石风化方式、风化物迁移沉积特点; 土层厚度、侵蚀沉积特征、水分状况; 生物种类、组合方式、构成密度、株高、胸径、根系分布状况
室内分析	土壤机械组成、容重、总孔度、水分含量

3.1 地层岩性特征

岩层是坡坎形成的物质基础, 其基本特性不仅控制着坡坎岩石风化崩解的速度, 制约着坡坎的空间形态发育, 而且影响着坡面岩屑的粒化和成土过程, 进一步控制着坡坎形成地理过程的发育程度。四川盆地以河湖相沉积为主, 岩层较其它岩浆岩、变质岩易于风化、移运、沉积, 形成自然梯地地貌。而岩层的组合差异, 又导致坡坎的形成显示出不同的地理过程特征。早在二十世纪 50 年代, 侯光炯教授等将四川盆地紫色岩的组合分为四种类型: 厚砂岩、厚砂岩夹薄泥岩、砂泥岩互层、厚泥岩夹薄砂岩, 认为它们具有不同的坡面形态、土壤组合和农业特征^[1]。本项研究进一步证实了这一论点。

在夹关组地层上, 坡坎形成于厚砂岩夹薄层砂质泥岩。砂岩层比例高达 90 %, 以硅质或铁质胶结为主, 石质坚硬, 裂隙不发育, 固结力和抗压能力强(抗压强度 $304\text{ kg/cm}^2 \sim 648\text{ kg/cm}^2$), 矿物以石英和长石为主, 物理风化弱; 而泥岩层厚度很小, 仅占 10 %, 由于厚砂岩的保护, 阻碍水热因素对泥岩的风化, 并且泥岩砂质含量高, 风化速度在紫色岩层中最小, 3 年后风化物中 $< 2.0\text{ mm}$ 者仅占 18.5 %, 年均风化厚度只有 $0.5\text{ cm} \sim 1.5\text{ cm}$ ^[2]。因此, 在夹关组地层上坡坎的形成地理过程发展速度极其缓慢, 坡坎形态呈直立的悬崖, 坎高坡陡, 坡面多为岩层露头, 只在悬崖底部有厚度很小的岩屑堆积(图 1-a)。经测定, 在 $6^\circ \sim 15^\circ$ 地面坡度条件下, 坡坎平均坎高达 259.0 cm, 而坡面岩屑厚度仅 5.6 cm(表 2)。



a. 厚砂岩坡坎形态(Shape of side-slope of thick sandstone), b. 厚泥岩坡坎形态(Shape of side-slope thick mudstone)
c. 厚砂、泥岩互层型坡坎形态(上泥下砂)(The side-slope form of the thick mudstone (up) and sandstone (down))
d. 厚砂、泥岩互层型坡坎形态(上砂下泥)(The side-slope form of the thick sandstone (up) and mudstone (down))

图 1 厚砂、厚泥岩与厚砂、厚泥岩互层型坡坎形态
Fig. 1 Side-slope shapes of different strata

表 2 川中丘陵区各地层坡坎形态
Table 2 The side slope forms of different strata

地 层	沙溪庙组(J _{2s})	遂宁组(J _{3s})	蓬莱镇组(J _{3p})	城墙岩群(K _{1cg})	夹关组(K _{1-2j})	备注
坎 高(cm)	145.4	86.3	207.7	221.3	259.0	n= 5
岩屑厚度(cm)	17.5	22.4	13.8	12.5	5.6	
地 面 坡 度(°)	6 ~ 15					

在夹关组地层上,坡坎坡面砂岩碎屑的产生过程缓慢,风化成土能力弱,3年后成土率和化泥率仅分别为12.9%和1.1%^[3],因此,土壤发育时间相对较长而程度深。比之于其它地层,土壤颗粒组成中砂粒(2 mm~0.02 mm)含量最高而粘粒(≤0.002 mm)含量最低,分别为56.00%和18.93%,粘、粉(0.02 mm~0.002 mm)、砂粒含量比例为1:1.3:3.0(表3)。

表 3 川中丘陵区各地层坡坎土壤颗粒组成(%)
Table 3 The particle compositions (%) of the side-slope soils of different strata

粒 径(mm)	沙溪庙组(J _{2s})	遂 宁 组(J _{3s})	蓬莱镇组(J _{3p})	城墙岩群(K _{1cg})	夹 关 组(K _{1-2j})
> 2	13.4	18.92	12.35	12.10	—
2~0.02	47.58	37.64	38.27	38.25	56.00
0.02~0.002	32.80	40.01	41.47	42.53	25.07
≤0.002	19.62	22.35	20.26	19.22	18.93

在遂宁组地层上,坡坎形成于厚泥岩夹薄层粉砂岩。粉砂岩层仅占15%,风化崩解缓慢,在坡坎形成地理过程中所产生的影响作用微弱。而泥岩层比例高达85%,以泥钙质胶结为主,岩性松软,抗压强度低(100 kg/cm²~200 kg/cm²),并且网状风化裂隙发育,1 m²中数量达十余条以上,裂隙率位居各紫色岩层之首,在水分和重力作用下岩石易于崩解剥离,物理风化极为强烈。自然状态下裸露泥岩岩块风化两个月即全部崩解成小碎块或碎屑,年平均风化厚度可达4 cm~6 cm。因此,在遂宁组地层上坡坎的形成地理过程发展相当迅速,空间形态发育为“S”形,由上段凸形坡、中段直形坡、下段凹形坡三段组成,坡面平缓,岩屑堆积厚度大(图1-b)。在6°~15°地面坡度条件下,坡坎平均高度仅86.3 cm,而岩屑厚度可达22.4 cm,分别是夹关组地层坡坎的1/3和4.0倍。在遂宁组地层坡坎上,厚度大的泥岩碎屑以水云母等粘土矿物为其主要组成,成土率较高而化泥率低,3年后分别为37.3%和0.9%。由于坡面泥岩碎屑的形成补充极为频繁,中断了原有碎屑风化壳的成土过程,所以土壤发育时间短、程度浅、粗骨性强,粗骨(>2.0 mm)含量平均高达18.9%,比之于其它地层,土壤颗粒组成中粘粒含量最高而砂粒含量最低,分别为22.35%和37.64%,粘、粉、砂粒含量比例为1:1.8:1.7。

在沙溪庙组、蓬莱镇组和城墙岩群地层上,岩层组合多为较厚的砂泥岩互层,因此,坡坎的形成地理过程具有相似性,一般呈自然梯地地貌,泥岩及其风化产物形成坡面,砂岩层以其抗蚀力较强、承接泥岩风化产物而形成坡坎。由于出露的厚砂、泥岩具有不同的上、下位置组合,因而风化、侵蚀、沉积过程存在差异。泥岩在上、砂岩在下的组合,泥岩直接暴露于地表,水热因素的风化作用面积大,风化强烈,定点观测103 cm厚的泥岩第一年崩解厚度即可达12.1 cm(6点平均)^[3],而砂岩风化缓慢,相对稳定,因此,坡坎的形成地理过程与厚泥岩地层较为相似,发展迅速,坡面形态在发育初期呈复合态,即由泥岩层风化剥蚀后形成的凸形坡、相对稳定的砂岩层形成的悬崖、以及泥岩碎屑堆积在坡面底部形成的直形坡和凹形坡组成。由于坡坎上层泥岩风化崩解迅速,坡面岩屑的堆积强于侵蚀,随时间的延长,坡面不断后退、变缓,岩屑的堆积厚度和高度不断增大,直至掩盖了砂岩层,坡坎坡面形态则发育为“S”形,上部泥岩形成宽广的坡面(图1-c)。砂岩在上、泥岩在下的组合,泥岩受风化作用面积尽管减小,风化强度相

对减弱, 85 cm 厚的泥岩层 16 年平均崩解厚度为 2.8 cm(10 点平均)^[3], 但风化依然强于厚层砂岩, 经风化剥蚀之后, 使得砂岩下部被淘空, 形成危岩。同时, 砂岩本身就较为发育的成岩裂隙在表层区不断发展和扩大, 使岩石变为非常破碎的小型岩块, 抗蚀强度显著减小, 更加速了砂岩自身的崩解过程, 在重力和水分作用下易发生落石和崩塌。比之于泥岩在上、砂岩在下的组合, 由于上层砂岩风化较为缓慢, 下层泥岩风化受到减弱, 因此, 坡坎形成地理过程趋于稳定, 发展速度趋于平缓, 坡面形态由上段呈悬崖的砂岩层与泥岩层、下段呈直形坡与凹形坡的砂、泥岩碎屑组成(图 1—d)。虽然同属厚砂、泥岩互层型地层, 但从沙溪庙组、蓬莱镇组到城墙岩群, 砂、泥岩层组合比例逐渐增大, 分别为 1:1.9、1:1.2、1:0.5, 而砂岩裂隙率逐渐减小, 各自为 4.14%、16%、3.37%, 因此, 坡坎的形成地理过程也表现出相对的由快至慢的发展速度, 坡面形态呈现出坎高由低到高、岩屑堆积厚度由大到小的变化规律(表 2)。

从沙溪庙组、蓬莱镇组到城墙岩群地层, 坡坎岩屑中泥岩碎屑含量逐渐减少, 3 年后成土率与化泥率不断增加, 这可能与砂岩胶结物种类与结构疏松度有关, 城墙岩群砂岩钙质被淋溶而结构较疏松。上述三种地层成土率与化泥率分别为 24.90%与 1.30%、66.10%与 5.50%、74.80%与 4.70%, 岩屑的补充过程渐趋平缓, 土壤粗骨含量不断减少, 各自为 13.40%、12.30%和 12.10%, 颗粒组成中粘、粉粒含量不断增加而砂粒含量不断减少, 粘、粉、砂粒含量比例分别为 1:1.7:2.4、1:2.0:1.9、1:2.2:2.0。

3.2 地面坡度、坡长与坡向特征

地面坡度、坡长与坡向是影响坡坎形成地理过程重要的地形因素。
地面坡度是决定重力侵蚀力和径流冲刷力的基本因子, 控制着坡坎形成地理过程的发展方式和程度^[4]。在川中丘陵区, 随着地面坡度逐渐增大, 重力侵蚀力和径流冲刷力的影响作用愈加明显, 坡坎岩石风化崩解愈加强烈, 岩屑的形成与侵蚀不断加强, 更替迅速, 坡坎形成地理过程由相对的稳定状态向不稳定状态发展。比较同一地层不同地面坡度条件下的坡坎土壤(表 4)不难看出, 随地面坡度增大, 坡坎土壤层厚度不断减小, 土壤中粗骨含量不断增加, 而粘粒含量却不断减少, 表明坡坎形成地理过程的发展程度愈浅, 土壤发育愈加不够充分。

表 4 遂宁组地层不同地面坡度坡坎土壤
Table 4 The side slope soil of J_{3s} of different slope gradients

地面坡度(°)	土层厚度(cm)	粗骨含量(%)	粘粒含量(%)
<6	80	7.79	26.89
6~15	55	17.08	21.16
15~25	40	29.74	16.34
≥25	22	35.21	13.86

地面坡长通过影响地表径流量而作用于坡坎形成地理过程。在同一地面坡度条件下, 坡面越长, 汇聚的径流总量愈大, 径流冲刷力愈强, 对坡坎形成地理过程的影响作用就愈大^[4]。但在川中丘陵区, 大多数丘陵为砂、泥岩间层组合, 抗风化石蚀力不同而呈台阶状, 坡坎则主要分布于台阶边缘, 因而从丘顶至坡麓, 坡长被坡坎自然截短, 径流的汇聚及冲刷作用相对减弱, 对坡坎形成地理过程的影响显著减弱。一般是地面坡长愈短, 坡坎愈陡, 侵蚀大于沉积, 土层变薄, 反之沉积势力加强, 土层变厚。

地面坡向对坡坎形成过程的影响因阴坡、阳坡水热条件不同所致。在自然状态下, 阴坡水热条件变化比阳坡小, 天然植被生长状况较好, 岩石风化崩解速度缓慢, 地表径流对坡面物质的冲刷侵蚀作用较弱, 土壤发育较为充分, 坡坎形成地理过程更趋于稳定, 发展程度深。并且山丘相对高度和地面坡度越大, 坡向对坡坎形成地理过程的影响差异就越明显。从表 5 看出, 在以深丘乃至低山地貌为主的川中丘陵区南、北部区域, 同一丘体阴坡坡坎土壤厚度、质地、水分及植被状况与阳坡有着较大差异; 而在以浅、中丘地貌为主的中部区域, 坡坎的坡向差异变小, 尤其在浅丘, 坡向对坡坎形成地理过程基本上不产生影响作用。

表 5 川中丘陵区不同坡向坡坎性状
Table 5 The side slope properties of different slope directions

调查点	地貌类型	坡度(°)	坡向	坡坎性状				备注
				土层厚度(cm)	土壤质地	土壤干湿状况	植被类型	
乐山市土主镇	深丘	15~25	阴坡 阳坡	24.4 17.3	中壤 轻壤	较润 干	灌—草 草	n=5
资阳市松涛镇	浅丘	6~15	阴坡 阳坡	52.6 55.9	重壤 重壤	润 润	草 草	
荣昌县峰高镇	中丘	6~15	阴坡 阳坡	39.2 36.5	重壤 重壤	湿润 湿润	灌—草 灌—草	
中江县兴隆乡	深丘	6~15	阴坡 阳坡	46.5 29.8	重壤 中壤	湿润 湿润	乔—灌—草 灌—草	

3.3 土壤侵蚀特征

土壤侵蚀是坡坎形成的主要地理过程。常见的坡坎土壤侵蚀类型有水力侵蚀和重力侵蚀两大类¹⁾。川中丘陵区不同地层坡坎土壤侵蚀的方式与强度各有不同。在遂宁组地层上,厚泥岩风化崩解极其迅速,一方面为坡坎土壤的形成提供了大量碎屑物源,这些泥岩碎屑堆积排列松散,抗蚀力和抗冲力弱,在发育形成土壤之前极易被地表径流所冲走,因而坡坎土壤的母质侵蚀十分突出。另一方面碎屑的不断产生干扰了坡坎土壤的发育进程,尤其是表层土壤风化发育时间短,富含泥岩碎屑(18.90%),降雨在表层与下层土体中渗透系数的差异较大^[1],使得下渗水分在表层土体中以壤中流形式顺坡向下流动,且易被泥岩碎屑所吸收,从而导致表层土体重量增加,与下层土体的抗剪力降低,在水分和重力作用下坡坎土壤往往是整体或一部分坍塌,产生漏斗状或强度大的滑塌侵蚀。在夹关组地层上,坡坎大多呈坎高坡陡的悬崖,这样的坡面形态可促使地表径流局部加速,侵蚀能力增强,但由于坡坎发育形成于厚砂岩,坡面几乎为砂岩层露头,岩石固结性能好,抗冲力、抗蚀力强,孔隙率大,透水性能好,在坡面底部发育的薄层土壤砂粒含量(56.00%)也高,透水率大,因而坡面不易产生径流冲刷,土壤侵蚀主要是岩体表面排列松散的岩石颗粒,在雨水击溅或重力作用下所发生的崩落,侵蚀强度小。

在厚砂、泥岩互层的沙溪庙组、蓬莱镇组及城墙岩群地层上,坡坎土壤粘、粉粒含量高,分别为52.42%、61.73%、61.75%,但有机质含量低,仅分别为0.51%、0.47%、0.38%,土壤结构水稳性弱,易分散悬浮。当降雨作用于坡坎时不仅造成强烈的土壤溅蚀,而且由于雨滴打击,土壤团粒被击碎分离,土壤表面很快形成结壳,表土孔隙迅速被土粒封闭,降雨入渗率大大降低,形成片状和细沟状水流,从而产生较为强烈的层状和细沟状侵蚀。若坡坎上段为砂岩层时,一方面砂岩陡直的形态加速了地表径流,另一方面砂岩表面裂隙易于汇集降雨成股流,其结果更增强了地表径流对坡坎下段土壤的侵蚀能力,产生沟状侵蚀,但由于受砂岩层的控制,沟蚀不逆源发展,而只是加深、加宽扩展。

3.4 人类活动影响特征

土地是人类利用的对象和活动的产物,因此,在自然地理形成过程基础上,坡坎当前所显现出的地貌特征,在很大程度上受人类活动的影响,主要表现在以下几方面。

- 1) 坡面的改形。为了耕作方便和改良土壤,人们一般将自然的“S”形坡面改为梯形坡面,坡坎亦在此人为活动的影响之下,或为石砌,或保留原有岩层结构,仅仅修整了坡面的形态^[5]。
- 2) 由于人工保护的作用而改变坡坎形态。为了防止坡坎水土侵蚀的发生,而对坡坎施以植被种植、小型工程设施建造等保护措施,从而导致坡面形态的改变。如有植被的坡坎明显较无植被或少植被的坡坎保存完好,少受侵蚀;而厚泥岩坡坎上的漏斗状侵蚀也由于人工植被的影响而逐渐减弱。
- 3) 由于人为对坡坎的利用而改变坡面土层厚度和土壤性质。例如坡坎经增厚土层和改善肥力以后,可以种植果树、经济植物,从而进一步提高土地生产率,相应的改变了坡面形态和植被组合。

1) Brian Finlayson, 李首成. 山坡地分析[M]. 科技图书股份有限公司, 1971.
©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

可以预测伴随社会经济的发展,人类活动对坡坎的影响由于经济和环境的需要而愈来愈深刻。

4 结 论

川中丘陵区独特的地理环境使得坡坎形成地理过程又显示出独特的风貌,尤以地层岩性和地面坡度的影响最为突出。

岩层是坡坎的形成物质基础,不同地层,岩层性质及组合比例各异,岩层的风化崩解程度及方式、成土过程速度和方向、土壤侵蚀和沉积特征各不相同,导致坡坎的形成地理过程亦表现出不同的特征,空间形态及坡面土壤的理化性状也各有差异。

地面坡度通过影响重力侵蚀力和径流冲刷力而作用于坡坎形成过程,坡度愈大,影响程度愈深。

此外,地面坡向通过影响植被分布影响坡坎特征,而人类活动最终决定坡坎的地貌特征和利用前景。

参考文献:

- [1] 侯光炯. 嘉定层残积土之特性[J]. 川大农学季刊, 1950, 1(1): 12~14.
- [2] 李仲明, 张先婉, 唐时嘉, 等. 中国紫色土[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [3] 郭永明. 四川盆地主要紫色岩风化速度的研究[J]. 土壤农化通报, 1986, 4: 7~11.
- [4] M. A. 卡森, 夏明忠. 坡面形态与形成过程[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [5] 郭永明. 微地貌对川中丘陵区紫色土和作物的影响[J]. 山地研究(现《山地学报》), 1996, 14(增刊): 14~18.

GEOGRAPHY FEATURE OF SIDE-SLOPE FORMATION IN THE HILL REGION OF THE MIDDLE SICHUAN

LIAO Xiao-yong, ZHANG Xian-wan

(*Institute of Mountain Hazard and Environment,*

China Academy of sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041 PRC)

Abstract: The purpose of this study was to search for the theoretical and practical base for the exploitation and utilization of the side-slope resource. The paper chose the hill region of middle Sichuan as the investigation scope. By means of Typical Investigation Analysis Method, the geography feature of the side-slope formation was discussed and studied from the rock property, slope gradient (length, direction) and soil erosion. The results indicated that the rock property and slope gradient are the main influence factors of the side-slope formation.

Key words: side-slope; the hill region of middle Sichuan; geography feature