

DOI:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202009027

福建长汀县水土流失的地质影响因素及防治对策

陈国光¹, 刘红樱¹, 陈进全², 张晓东¹, 湛 龙¹

(1. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016;

2. 福建省地质调查研究院, 福建 福州 350013)

摘要: 为揭示南方红壤丘陵区水土流失地质成因规律和模式, 促进水土流失精准治理, 选择福建长汀县开展地质背景与水土流失关系研究。结果表明: 岩性对水土流失侵蚀速度、侵蚀剧烈程度、水土流失发育阶段等具有控制作用; 地形坡度和部位、节理裂隙对水土流失程度具有重要影响; 区内不同岩性不同地形部位风化壳-土壤分布具明显的规律性。建议长汀县进一步依据地质背景优化水土流失治理布局, 优选水土保持植物和种植方式, 优化茶果园等坡地农业开发项目。

关键词: 水土流失; 成因模式; 地质条件; 福建长汀县

中图分类号: X141

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2020)06-0026-10

Geological influence factors of soil erosion in Changting County, Fujian Province and the countermeasures to prevent and control

CHEN Guoguang¹, LIU Hongying¹, CHEN Jinquan², ZHANG Xiaodong¹, ZHAN Long¹

(1. Nanjing Geological Survey Center, China Geological Survey, Nanjing, Jiangsu 210016, China;

2. Fujian Geological Survey Institute, Fuzhou, Fujian 350013 China)

Abstract: In order to reveal the geological causes and patterns of soil erosion in the red soil and hills of the south, and promote the precise management of soil erosion, the relationship between geological background and soil erosion was selected in Changting County, Fujian Province. The results show that rock has a controlling effect on the rate of soil erosion, the degree of intense erosion and the stage of soil erosion development. Terrain slope and site, throing fissures have an important impact on soil erosion, which is manifested in the weathering shell-soil distribution of different rocky and different terrain sites. It is suggested that Changting County further optimize the layout of soil erosion control according to geological background, preferably water-protected plants and planting methods, and optimize agricultural development projects such as tea orchards.

Keywords: soil erosion; genetic model; geological conditions; Changting County, Fujian Province

世界各国高度重视水土流失及其防治的研究。1877 年, 德国土壤学家 Ewald Wollny^[1] 就开始定量研究土壤侵蚀, 随后其他学者相继开发了以通用水土流失方程式为代表的基本经验、统计回归模型^[2-4] 和以

水土流失预报为代表的过程研究模型^[5-7]。1884 年奥地利制定了世界第一部《荒溪治理法》, 1891 年日本提出《紧急施行水源涵养法的建议》, 俄罗斯学者通过大量定位试验, 提出了防治水土流失的生物和工程相

收稿日期: 2020-09-10; 修订日期: 2020-09-25

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (DD20190301)

第一作者: 陈国光 (1964-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事生态地质、地球化学方面的研究。

E-mail: njcguoguang@cgs.gov.cn

结合的综合措施,出版了几十部专著。美国形成了最有特色的水土保持耕作法和小流域治理。如今水土流失研究重点为水文过程与侵蚀机理、土壤侵蚀过程及其定量模拟、全球气候变化下土壤侵蚀演变及其灾变机理、社会经济系统-水土流失的互馈过程、以生态功能提升为主的土壤侵蚀防治技术、土壤侵蚀可视化与表达精细化技术等^[8-9]。

我国是世界上水土流失最严重的国家之一,经过半个多世纪的努力,中国水土保持逐步发展为独立学科,初步建立了具有中国特色的水土保持科学技术体系,在土壤侵蚀定位观测、动态研究与预测预报方面取得重要进展,形成了一支多层次水土保持科技队伍,建设了一批综合治理示范基地,基本构建了国家、流域、省、地、县五级水土保持科研网络^[10-13]。通过长期水土流失治理实践、试验研究,提出了土壤侵蚀分类系统,建立了以土壤侵蚀学、流域生态与管理科学、区域水土保持科学为基础的中国水土保持理论体系^[10-13]。在大量径流小区、坡面、小流域等水土保持监测与试验基础上,建立了不同区域土壤侵蚀的影响因子与侵蚀量的关系,初步提出坡面侵蚀预报模型^[14];总结了比较完整的适应不同地区、不同地理环境、不同土壤侵蚀类型的水土流失防治方法、模式和技术措施,逐步形成了小流域水土流失综合治理理论与技术体系,并且取得了显著的效果^[10-13]。但在坡面侵蚀预报模型中,侧重地形地貌和气候要素,对地质背景要素涉及很少;在水土流失防治方法中,对土壤-风化壳的分布规律研究较少,导致部分修复效果不理想。

福建长汀是中国南方亚热带红壤丘陵土壤侵蚀典型区,由于地理环境、气候和人类活动的共同影响,历史上区域内水土流失、山体滑坡等自然灾害较为严重^[15]。2000年以来,水土流失的局面逐步扭转^[16],形成了生态林草复合治理模式、地表草被合理覆盖模式、生态果园复合循环模式、农业综合开发治理模式、典型流域综合治理模式等^[17],成为我国南方水土流失治理的典范^[18]。但长汀县水土流失治理仍面临着困难与挑战^[19],主要表现在:水土流失区块分散降低治理效率,林分结构单一导致生态功能低下,土壤质量低下影响植被后续恢复,水土流失区乡村经济发展相对滞后等,需要进一步研究不同尺度下的水土流失成因规律,优化水土流失治理对策。鉴于山地丘陵区土壤与母质以及基岩有较强的继承性^[20],水土流失不仅涉及土壤,在很大程度上涉及到风化及半风化层,从而造成水

土流失规律的复杂性。本文试图从基岩-风化层-土壤-植被间分布规律研究与探讨着手,总结建立晚侏罗统花岗岩、早-中侏罗统碎屑岩、白垩系红层水土流失成因模式,优化完善水土流失防治对策。

1 研究区自然地理与地质概况

长汀县位于福建省西部,属亚热带海洋性季风气候区,气候温热湿润,雨量充沛;气温 $7.8\sim 27.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;年降水量 $1\,171\sim 2\,128\text{ mm}$ 。1995—2018年的年平均降水量为 $1\,700\text{ mm}$ 。区内河流密布,汀江水系贯穿南北,经上杭、永定汇入广东省韩江;东部童坊河、陈莲河属闽江水系;西部古城河汇入江西省赣江,属于赣江水系。长汀县属武夷山脉南段,西部以低山为主,东部、北部以中山、低山为主,中部、南部以丘陵、河谷盆地为主。

境内千米山峰19座,最高峰白砂岭高程 $1\,459\text{ m}$,最低处汀江河口高程为 238 m ,最大高差 $1\,221\text{ m}$,地形切割较强烈。区内地貌类型较复杂,中山、低山、丘陵、盆地相互交错,其中中低山、丘陵和盆地面积分别为 $2\,199.4\text{ km}^2$ 、 695.7 km^2 和 204.4 km^2 ,分别占全县面积的71.0%、22.4%和6.6%。长汀县主要用地类型为林地(面积 $2\,591.72\text{ km}^2$,占县域83.50%)、耕地(272.89 km^2 ,占8.79%)、建设用地(126.97 km^2 ,4.09%)、草地(47.14 km^2 ,占1.52%)、园地(27.45 km^2 ,占0.88%)、河流(20.70 km^2 ,占0.67%)、其他水域(10.53 km^2 ,占0.34%)、未利用地(5.52 km^2 ,占0.18%)和其他用地(0.82 km^2 ,占0.03%)。

长汀县域内主要出露的侵入岩包括白垩系花岗岩、晚侏罗统花岗岩(河田岩体)、三叠系花岗岩、二叠系花岗岩、志留系花岗岩、南华系片麻状花岗岩及后期岩脉;上白垩统红层碎屑岩(沙县组)。碎屑岩建造包括上白垩统红层碎屑岩(沙县组)、中侏罗统漳平组、下侏罗统梨山组,下二叠统童子岩组、文笔山组、栖霞组,中石炭统船山组、下石炭统林地组,上泥盆统桃子坑组、天瓦崇组。变质碎屑岩建造包括上奥陶统罗峰溪组、下奥陶统魏坊组,上寒武统东坑口组、下寒武统林田组、中震旦统黄连组、南岩组,下震旦统楼子坝组、西溪组、楼前组,元古界桃溪岩组。第四系中新统佛昙组的基性火山岩组合和全新统松散堆积物(图1)。区内构造主要发育华夏系NE向压性、压扭性断裂,新华夏系NNE向的压扭性断裂、挤压带。

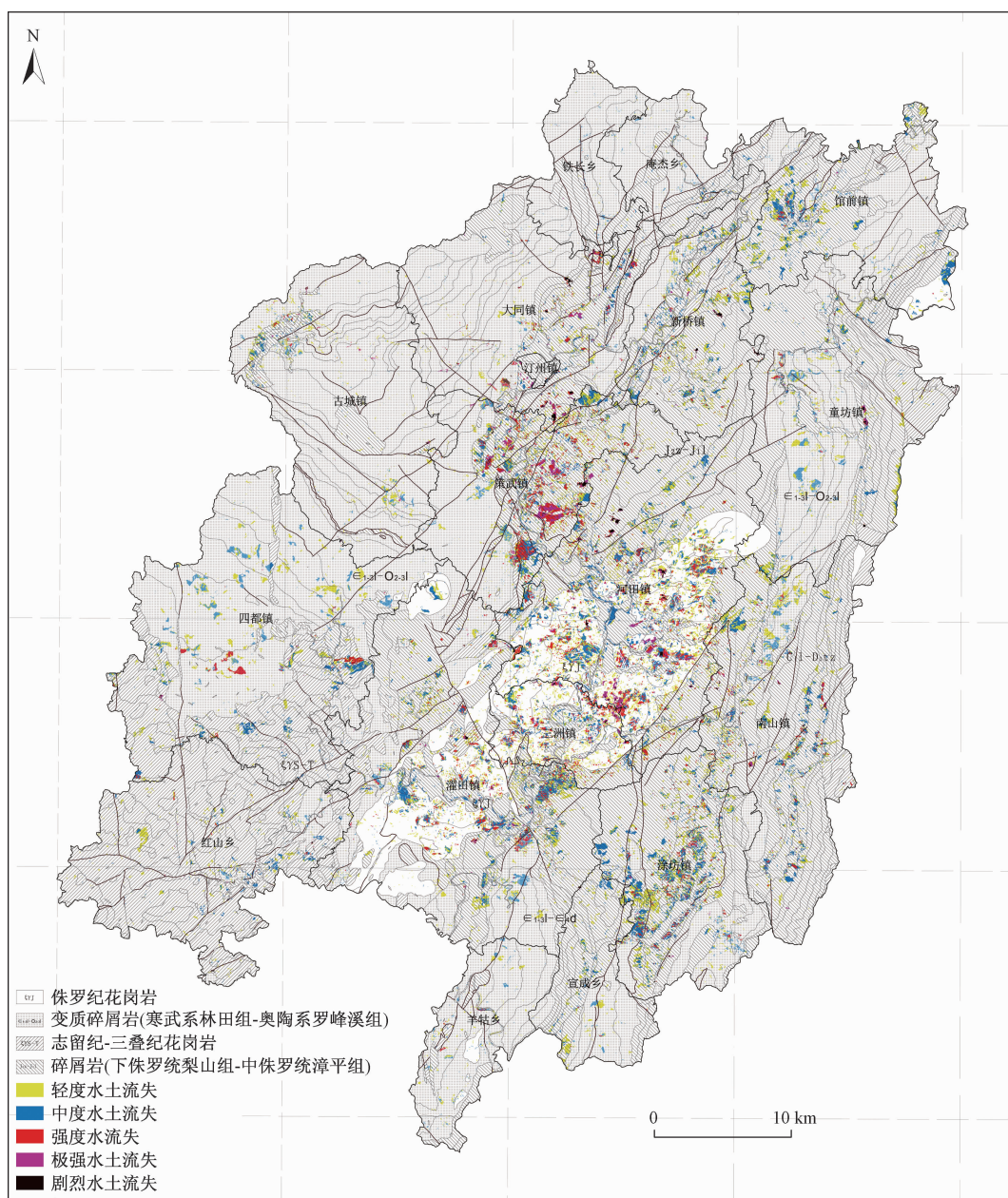


图 1 长汀县水土流失地质背景图

Fig. 1 Geological background map of soil erosion in Changting County

2 地质条件对水土流失的影响

影响水土流失的自然因素主要有气候、地形、地表物质成分和植被四个方面,地质条件控制着地表物质成分和地形地貌,进而对水土流失产生影响。福建省地表出露的火山岩、侵入岩、沉积岩和变质岩在长期暖湿气候作用下,都发育了深厚的红色风化层,一般厚 3~5 m,花岗岩类的红色风化层厚度可达 40~50 m,且质地疏松,结持力差,抗蚀能力低,很容易引起严重的水土流失^[21-24]。

2.1 岩性对水土流失的控制

将水土流失与主要岩性叠加分析与统计(图 1、表 1),发现水土流失率超过长汀整体水土流失率 7.42% 的岩性主要有晚侏罗统花岗岩、早-中侏罗统碎屑岩和白垩系红层,其水土流失率分别为 15.56%、9.08% 和 8.58%,流失面积分别为 43.27 km²、106.93 km² 和 8.00 km²,三种岩性合计水土流失面积 158.20 km²,占长汀水土流失面积的 68.7%。

晚侏罗统花岗岩的主要岩性以似斑状中粗粒、细粒黑云母花岗岩为主,具有风化层厚度、石英含量高、

黏土质含量低、有机质含量低的特性,是最容易发生水土流失的地质体。

表1 长汀县主要地质单元水土流失率统计表

Table 1 Statistical table of soil erosion rate of main geological units in Changting County

地质单元	地质单元面积占比		地质单元水土流失面积与水土流失率	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
侏罗统花岗岩	278.00	8.77	43.27	15.56
早-中侏罗统碎屑岩	1 084.27	34.21	106.93	9.86
白垩系红层	93.20	2.94	8.00	8.58
变质碎屑岩	1 134.13	35.78	45.67	4.03
志留系花岗岩	62.27	1.97	2.13	3.37
二叠系花岗岩	75.73	2.39	1.67	2.22
三叠系花岗岩	231.53	7.31	5.40	2.32

早-中侏罗统碎屑岩主要是侏罗系漳平组和梨山组,岩性主要是紫红色砂岩、粉砂岩、粉砂岩夹含砾杂砂岩、泥页岩等,具有成岩时间相对较短、矿物成分变化大、抗风化能力差、风化层变化大、黏土质易淋失的特征,极易造成水土流失。

白垩系红层主要岩性为紫红色泥岩、粉砂岩、砂砾岩等,其成岩作用差,有的呈半胶结状,结构松散,透水性强,抗侵蚀抗剪能力差,在地表径流作用下,极易发生水土流失。

2.2 地形坡度和部位对水土流失影响

地形坡度是决定径流冲刷能力的基本因素,在其他条件相似的情况下,水土流失随地形坡度增加而加剧^[25-26]。

河田—濯田花岗岩区的水土流失主要发生在海拔280~380 m之间。区内坡度小于5°的平坡,土壤层发育较好,厚度也稍大,植被发育,一般只受轻度面蚀作用。坡度5°~8°的缓坡,一般发育有薄的土壤层,植被较发育,水土流失表现为中度的面蚀,沟蚀不甚发育。8°~15°的斜坡,也是本区分布最广的坡度,面蚀多已发展至母质层,浅沟侵蚀剧烈。15°~35°陡坡和急坡一般均为强度侵蚀,也是崩岗发育的体现,崩岗规模最大者长有175 m,宽达68 m。35°以上的险坡,不利于地表降水向下迁移,主要以沿地表径面迁移为主,多为裸岩,不利于发育冲蚀沟和崩岗。

2.3 地质构造对水土流失影响

地质构造因素主要包括褶皱、断裂等。褶皱、断裂发育地区,裂隙、节理、劈理和片理纵横切割,岩石破碎,其透水性增加、风化作用相对增强,岩石抗蚀性能降低,进而造成水土流失易发生^[27-30]。区内河田岩体断裂构造发育,分别有NE向、NNE向、NW向三组断

裂构造发育。断裂构造的发育,在不同的部位表现为岩体的节理发育程度。同为河田岩体,由于节理发育程度不同,水土流失区强度表现不同。

瑶下村极强烈水土流失区,节理密集,在4 m²地表平面范围内分布不同方向的节理数据达30~40条之多;节理方向有NW向、NNE向、NE向等,NW向节理最为发育,NNE向次之;节理以剪节理为主(图2)。

中坑元轻度水土流失区,节理稀疏,在约4 m²路边岩石陡壁范围发育约10条;节理方向主要为NW向,NE向次之;节理全部为剪节理(图3)。

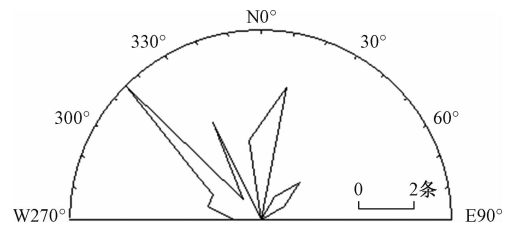


图2 瑶下村水土流失区节理玫瑰图

Fig. 2 Rose diagram of joint in the soil erosion region of Yaoxia Village

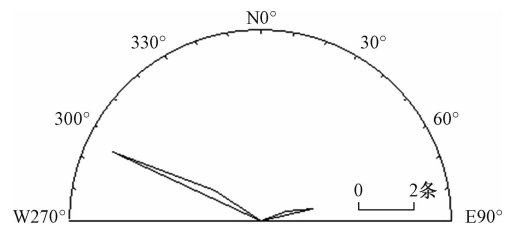


图3 中坑元轻度水土流失区节理玫瑰图

Fig. 3 Rose diagram of joint in the Non-soil erosion region of Zhongkengyuan Village

3 水土流失成因模式

通过对不同岩性地质体水土流失发育强度、风化壳-土壤分布等的对比研究,发现长汀县不同岩性地质体水土流失发育阶段、侵蚀速度、侵蚀强度、风化壳-土壤分布规律具有较大的差异。本次重点对晚侏罗统花岗岩、早-中侏罗统碎屑岩、白垩系红层水土流失成因规律进行分析,提出其水土流失成因模式。

3.1 中(粗)粒花岗岩分布区水土流失成因模式

中(粗)粒花岗岩风化壳发育,相对其它岩体最厚,风化层松散、透水性强、抗蚀力弱等特点,同等条件下是侵蚀最为迅速剧烈的地质体。中(粗)粒花岗岩侵蚀迅速,侵蚀剧烈;其面蚀荒漠化、细沟侵蚀、阶梯沟状侵蚀、深沟侵蚀和崩岗五个阶段都有发育,局部地区每平方千米崩岗数量达16条,且侵蚀深大。山顶和上

坡部地形相对较缓,局部残坡积层之上有腐殖质层分布,以面蚀荒漠化和细沟侵蚀为主;中坡相对较陡,分布全风化花岗岩,以阶梯沟状侵蚀和深沟侵蚀为主;下

坡残坡积层相对发育,但崩岗强烈;坡脚土壤层相对发育,有腐殖质层(淋溶层)、淀积层土壤分布,有利于植物生长(图4)。

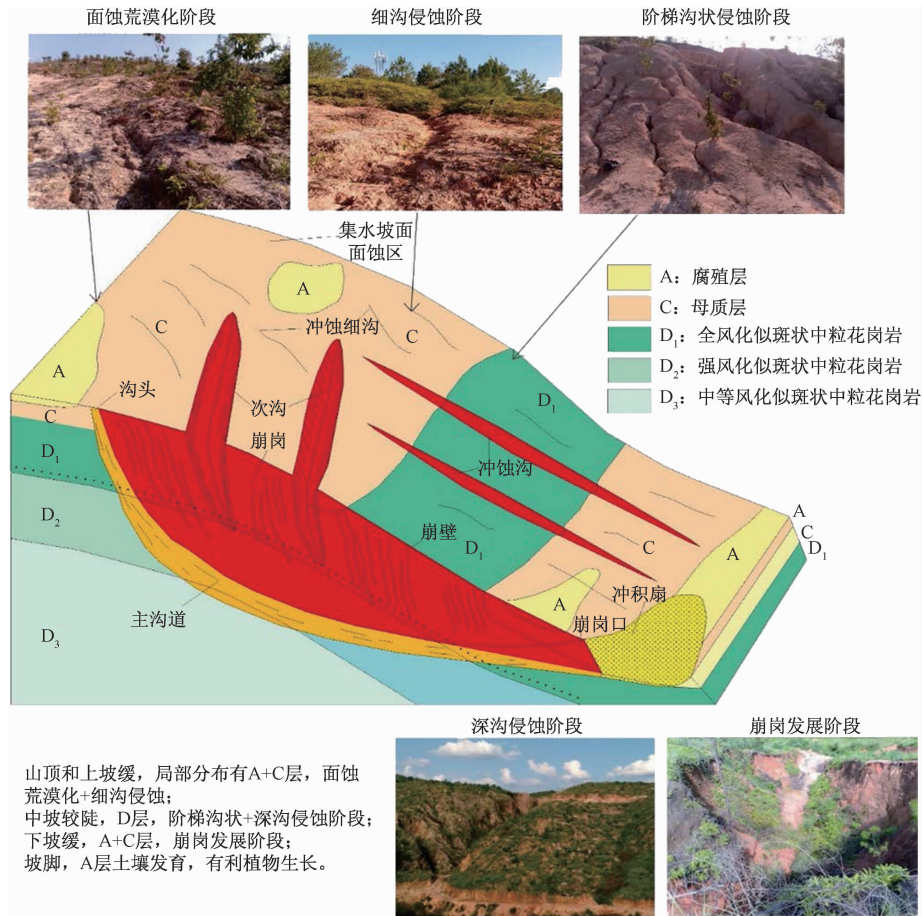


图4 中(粗)粒花岗岩分布区水土流失及崩岗成因模式图

Fig.4 Genetic model of soil erosion and collapse hill in Medium (coarse) grain granite distribution area

3.2 中细粒花岗岩分布区水土流失成因模式

中细粒花岗岩风化壳特征与中(粗)粒花岗岩相似,具风化层较厚,松散、透水性强、抗蚀力弱等特点。其侵蚀速度相对较快,侵蚀较为剧烈;同样可发育面蚀荒漠化、细沟侵蚀、阶梯沟状侵蚀、深沟侵蚀和崩岗五个阶段都有发育,局部地区每平方千米崩岗数量达到8条,崩岗侵蚀最深仅达强风化基岩。其山顶和上坡部地形相对较缓,土壤腐殖质层与残积层相间分布,面蚀和细沟侵蚀;中坡较短,分布全风化层,阶梯沟状侵蚀;下坡腐殖质层、淀积层、残积层都有分布,缓坡处腐殖质层发育,深沟侵蚀和崩岗发育;坡脚土壤发育、结构较完整,有利于植物生长(图5)。

3.3 细粒花岗岩分布区水土流失成因模式

细粒花岗岩由于抗风化能力强,残积层不发育,侵

蚀速度相对较慢、侵蚀强度中等。水土流失主要为面蚀和细沟侵蚀为主。其山顶和上坡部相对地形较陡,主要为强风化层分布,面蚀和细沟侵蚀为主;中坡分布中等风化层,以面蚀为主;下坡以全风化层和残积层分布为主(图5)。

3.4 早-中侏罗统碎屑岩水土流失成因模式

早-中侏罗统碎屑岩相对花岗岩体抗风化能力较强,风化程度相对较低,水土流失以轻度-中等为主,以径面侵蚀为主。残积层分布与地形地貌和岩性差异密切相关。碎屑岩侵蚀主要发育在山脊部位,侵蚀速度相对较慢、侵蚀强度相对较弱。其山脊为裸露强风化基岩或薄的残积层,残积层以长英质砂砾为主,黏土质不发育,植被覆盖率极低或植被被破坏;山坡发育较厚土壤层,植被发育(图6)。

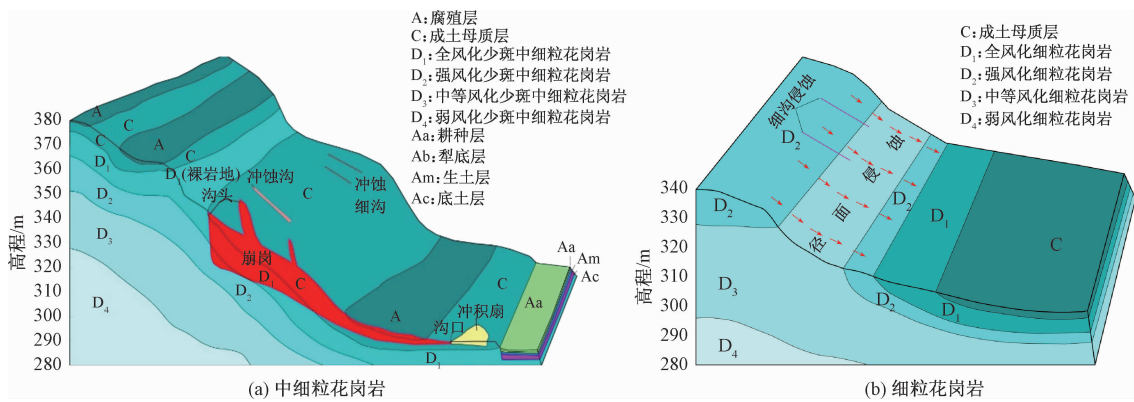


图 5 不同粒度花岗岩岩性水土流失成因模式图
Fig.5 Genetic model of soil erosion of different grain granite

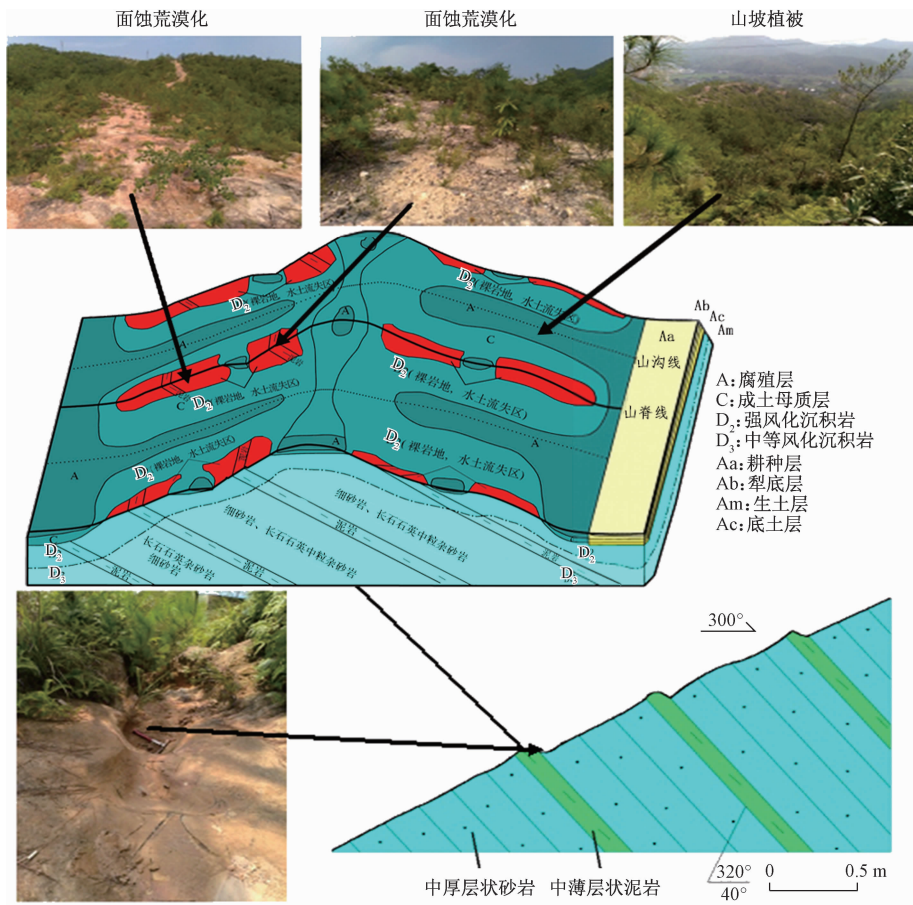


图 6 漳平组中段山脊水土流失成因模式图
Fig.6 Genetic model of soil erosion in the ridge of the mid-section of Zhangping Formation

3.5 白垩系红层水土流失成因模式

白垩系红层抗风化能力与岩性及其组合密切相关,由于其形成于氧化条件下的沉积环境且固结不完全,总体上具有抗化学风化能力强,抗物理风化能力弱的特点;白垩系红层残积层分布与地形地貌和岩性差异密切相关。在泥岩与砂砾岩互层分布区,以细沟侵

蚀、阶梯沟状侵蚀为主,侵蚀速度快、侵蚀剧烈;含砾砂岩或砂砾岩分布区,以面蚀为主,侵蚀速度中等、侵蚀相对较弱;泥质页岩分布区侵蚀速度、强度与地形地貌密切相关。白垩系红层山脊部位通常是裸露的含砾砂岩或砂砾岩或薄层残积层,基岩风化程度视岩性不同,风化程度不同;山坡为泥质页岩、泥岩与砂砾岩互层,

土壤层较薄;山坡低洼处和山脚,有较厚的土壤分布,土壤结构相对完整(图 7)。

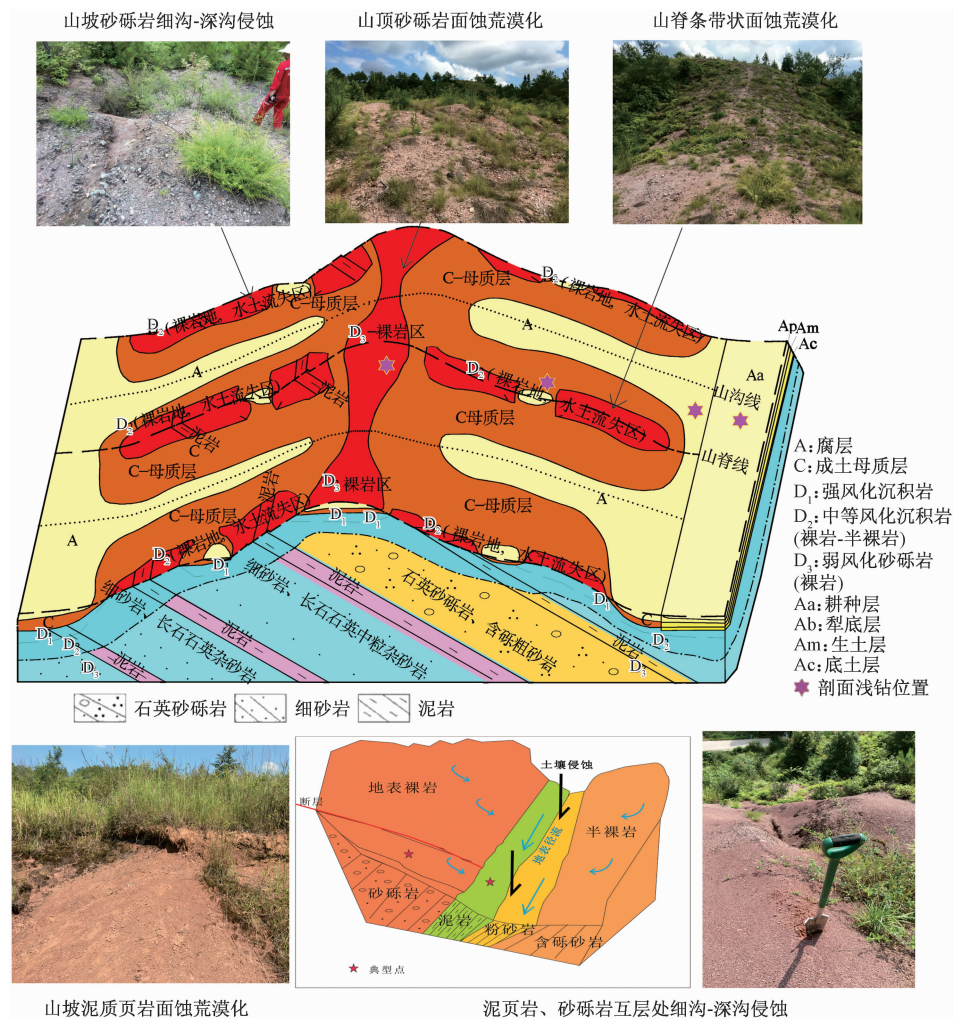


图 7 白垩系红层沙县组分布区水土流失成因模式

Fig. 7 Genetic model of soil erosion in Cretaceous red bed Shaxian Formation distribution area

4 水土流失防治对策

为进一步提升水土流失治理成效,结合水土流失区的地质背景、地形部位和土壤(风化壳)发育特征,提出水土流失防治对策建议。

4.1 优化水土流失治理布局

通过优化水土流失治理重点工程、综合提升工程布局,减少对基岩裸露区治理成效不明的水土流失治理区的投入,增加侵蚀迅速、侵蚀剧烈地区水土流失治理的投入,提升水土流失治理成效。

(1) 优先开展侵蚀迅速、侵蚀剧烈地区的水土流失治理

把中(粗)粒花岗岩分布区、中细粒花岗岩分布区、白垩系红层泥岩与砂砾岩互层分布区等作为水土

流失治理的重中之重。一是对存在的强烈-剧烈水土流失区、迹地、废弃矿山、村镇和工业园推填土裸地要优先安排针对性治理;二是已经治理的要严格保护、优先巩固提升,可能造成水土流失的各类工程活动要采取更加有效措施严格管控;三是将该区内的水土流失重点区域纳入生态红线,落实最严格的“生态红线”管控审批制度。

(2) 碎屑岩分布区以自然修复为主、人为治理为辅

对区内早-中侏罗统碎屑岩分布区、白垩系红层砂岩和泥岩分布区等水土流失斑块分散,基岩裸露,风化层薄,抗侵蚀力较强,水土流失发展相对较慢,建议这类地区水土流失区以封禁为主,抚育和施肥、一般林草措施为辅。

4.2 完善水土流失治理技术

在以往的长汀水土流失工作中,形成了等高草灌带、“老头松”施肥改造和陡坡地小穴播草等行之有效的“反弹琵琶”科学治理技术,取得了很好的治理效果。利用本次发现的基岩-风化壳-土壤分布规律,进一步完善水土流失治理措施。

(1) 花岗岩分布区水土流失治理技术完善措施

花岗岩山体山顶和上坡地形相对较缓部位,分布有较薄土壤层,可采用“老头松”施肥改造和补种阔叶树措施,形成生态混交林;中坡地形较陡,全风化基岩裸露,没有土壤层,水肥保持能力差,采用等高草灌带措施;下坡和坡脚残坡积层土壤相对发育,种植灌木和乔木,适度发展经济林。对细粒花岗岩山体山顶和上坡,由于强风化基岩裸露,宜采用在构造裂隙小穴播草,在低凹处小穴种植乔灌方法。

(2) 碎屑岩分布区水土流失治理技术完善措施

碎屑岩分布区水土流失主要发育在山脊、砂砾岩分布区和泥岩分布区,需采用不同的治理技术。

山脊水土流失区通常为基岩裸露或有薄的土壤层,采用山顶-山脊封禁,山坡藤灌草阻断水土流失的方法进行治理。

砂砾岩分布区通常为强风化基岩裸露,可采用封禁或小穴播草方法进行治理,通常沿层面、裂隙等构造线开挖小穴。

泥岩分布区通常分布有薄的土壤层和全风化的泥岩,可采用浅层播草的方法;也可采用小穴深挖,对全风化泥岩进行人为松土,种植乔灌的方式进行水土流失治理。

碎屑岩分布区下坡和坡脚残坡积层土壤相对发育,可种植灌木和乔木,适度发展经济林。

4.3 优化茶果园等坡地农业开发项目

茶果园等坡地农业开发、改造工作要充分挖掘生态优势、释放生态红利,防止形成新的水土流失,这是取得水土流失治理决定性胜利,实现经济发展和生态环境双颜值的关键要素。茶果园等坡地农业应依据土壤-风化壳分布规律进一步优化。

(1) 优先开展茶果园等坡地农业开发建议

优先选择中轻度水土流失的富锌富硒的缓坡地,开展茶果园等坡地农业开发项目,开展已有园区富锌富硒农产品品质提升工程。

(2) 扩大茶果园等坡地农业项目建议

在已有茶果园地周边,存在土壤层相对发育、水土流失弱、坡度缓、灌溉条件较好的下坡或山脚地区扩大

茶果园等坡地农业项目,发展生态农业。

(3) 退园还草还林建议

在花岗岩风化基岩裸露区茶果园,有机质、氮、磷肥力缺乏,植物生长全部依靠施肥抚育,且由于风化层厚、黏土质含量低导致肥力保持能力和蓄水能力差,干旱年份难以生存,总体经济效益差,建议逐步退园还林。

5 结论

通过福建长汀县水土流失的地质影响因素分析,认为在土壤侵蚀规律和水土流失治理方法技术研究中,应充分考虑地质因素,以更为有效、精准开展水土流失治理。

(1)地质背景对水土流失的主要影响因素是岩性、构造、地形。岩性对水土流失具有控制作用,长汀地区水土流失率较高的岩性主要有晚侏罗统花岗岩、早-中侏罗统碎屑岩和白垩系红层。地质构造、地形对水土流失有重要影响,长汀花岗岩强烈水土流失区构造节理发育,长汀水土流失主要发生在280~380 m之间 8° ~ 35° 的斜坡的中上坡部位。

(2)不同的岩性具有其独特的水土流失成因模式,基于水土流失发育程度和风化壳-土壤分布特征,建立了中(粗)粒花岗岩、中细粒花岗岩、细粒花岗岩、早-中侏罗统碎屑岩和白垩系红层等五种水土流失成因模型。

(3)根据水土流失地质成因模式,提出了优化水土流失治理布局、完善水土流失治理技术、优化茶果园等坡地农业开发项目等长汀水土流失精准治理、深层治理的对策建议。

参考文献(References):

- [1] MEYER I D. Evaluation of the universal soil loss equation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1984, 39: 99-104.
- [2] AMORE E, MODICA C, NEARING M A, et al. Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins [J]. Journal of Hydrology, 2004, 293 (1/2/3/4): 100-114.
- [3] MORGAN R. The European Soil Erosion Model: an update on its structure and research base [C]// RICKSON R. Conserving soil resources: European perspectives. Cambridge: CAB International, 1994: 286-299.

- [4] LANE L J, RENARD K G, FOSTER G R, et al. Development and application of modern soil erosion prediction technology: the USDA experience[J]. Soil Research, 1992, 30(6): 893.
- [5] WISCHMEIER W H, SMITH D D. Predicting rainfall—erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains[M]. Washington D C:USDA, 1965.
- [6] NEARING M A, LANE L J, ALBERTS E E, et al. Prediction technology for soil erosion by water: Status and research needs[J]. Science Society of America Journal, 1990, 54(6): 1702–1711.
- [7] DE ROO A P J, WESSELING C G, RITSEMA C J. Lisem: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. i: theory, input and output[J]. Hydrological Processes, 1996, 10(8): 1107–1117.
- [8] 李中魁,宋如华,王红. 世界水土保持现状与展望——面向 21 世纪的林业[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1998:370–385. [LI Z K, SONG R H, WANG H. The present situation and Prospect of soil and water conservation in the world-Facing the 21st century forestry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998:370–385. (in Chinese)]
- [9] 史志华,刘前进,张含玉,等. 近十年土壤侵蚀与水土保持研究进展与展望[J]. 土壤学报, 2020, 57(5): 1117–1127. [SHI Z H, LIU Q J, ZHANG H Y, et al. Study on soil erosion and conservation in the past 10 years: Progress and prospects [J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(5): 1117–1127. (in Chinese)]
- [10] 张洪江. 土壤侵蚀原理[M]. 北京:中国林业出版社, 2001. [ZHANG H J. The principle of soil erosion [M]. Beijing: China Forestry Press, 2001. (in Chinese)]
- [11] 王礼先. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社, 1997: 1–55. [WANG L X. Soil and water conservation [M]. Beijing: China Forestry Press, 1997:1–55. (in Chinese)]
- [12] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社, 2004. [TANG K L. Soil and water conservation in China [M]. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese)]
- [13] 王礼先,张有实,李锐,等. 关于我国水土保持科学技术的关键研究领域[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(1): 1–6. [WANG L X, ZHANG Y S, LI R, et al. On key research domain of science and technology for soil and water conservation in China [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2005, 3(1): 1–6. (in Chinese)]
- [14] 胡世明,韩永刚. 国家政策体系下福建水土流失防治机制探究[J]. 亚热带水土保持, 2017, 29(3): 38–45. [HU S M, HAN Y G. Study on the prevention and control mechanism of soil-water erosion in Fujian Province under the national policy system [J]. Subtropical Soil and Water conservation, 2017, 29(3): 38–45. (in Chinese)]
- [15] 曾从盛. 福建典型区生态环境研究[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2006. [ZENG C S. Study on the ecological environment of Fujian typical area [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2006. (in Chinese)]
- [16] 徐涵秋. 福建省长汀县水土流失区的时空变化研究——“福建长汀水土保持”专题序言[J]. 生态学报, 2013, 33(10): 2945. [XU H Q. Research on temporal and spatial changes in the basinal area of Changting County, Fujian Province, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(10): 2945. (in Chinese)]
- [17] 郭为桂. 追寻善治之道——福建长汀水土流失治理经验的考察与分析[J]. 中共福建省委党校学报, 2017(7): 18–24. [GUO W G. Search for the way of good governance: Investigation and analysis of soil and water loss control experience in Changting County, Fujian Province [J]. Journal of the Fujian Party School, 2017(7): 18–24. (in Chinese)]
- [18] 翁伯琦,徐晓俞,罗旭辉,等. 福建省长汀县水土流失治理模式对绿色农业发展的启示[J]. 山地学报, 2014, 32(2): 141–149. [WENG B Q, XU X Y, LUO X H, et al. Controlling model of soil and water loss and revelation to the development of green agriculture in Changting of Fujian, China [J]. Journal of Mountain Science, 2014, 32(2): 141–149. (in Chinese)]
- [19] 徐朋,林卫烈. 福建崩岗的分类命名初探(续)[J]. 福建水土保持, 1992(1): 24–25. [XU M, LIN W L. A preliminary study on the classification and nomenclature of collapse hillock in Fujian Province (continued) [J]. Fujian Soil and Water conservation, 1992(1): 24–25. (in Chinese)]
- [20] 岳辉. 创新举措 矢志不渝——持续推进长汀水土流失治理与生态文明建设[J]. 亚热带水土保持, 2019, 31(3): 46–48. [YUE H. Innovative measures and unswervingly to promote soil erosion control and ecological civilization in Changting County [J]. Subtropical Soil and Water Conservation, 2019, 31

- (3):46-48. (in Chinese)]
- [21] 黄炎和,林敬兰,蔡志发,等. 影响福建省水土流失主导因子的研究[J]. 水土保持学报,2000,14(2):36-41. [HUANG Y H, LIN J L, CAI Z F, et al. Major influential factors of soil erosion in Fujian Province[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(2): 36-41. (in Chinese)]
- [22] 陈明华,黄炎和. 土壤可蚀性因子的研究[J]. 水土保持学报,1995,9(1):19-24. [CHEN M H, HUANG Y H. Research of soil erodibility factors [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1995, 9(1):19-24. (in Chinese)]
- [23] 阮伏水. 福建花岗岩地区坡度和坡长对土壤侵蚀的影响[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 1995, 11(1): 100-106. [RUAN F S. Influence of inclination and length of slope on soil erosion in granite area of Fujian[J]. Journal of Fujian Teachers University (Natural Science), 1995, 11(1): 100-106. (in Chinese)]
- [24] 陈海滨,陈志彪,陈志强. 红壤侵蚀区花岗岩地质地貌对水土流失的影响[J]. 亚热带水土保持,2010,22(4):7-9. [CHEN H B, CHEN Z B, CHEN Z Q. Impact on the soil erosion by the geology and geomorphology of the granite in the red soil erosion area [J]. Subtropical Soil and Water Conservation, 2010, 22(4): 7-9. (in Chinese)]
- [25] 陈明华,黄炎和. 坡度和坡长对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报,1995,9(1):31-36. [CHEN M H, HUANG Y H. The effect of slope and length on soil erosion[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1995, 9(1): 31-36. (in Chinese)]
- [26] 阮伏水,韩永刚. 新中国成立以来福建省水土保持工作情况[J]. 中国水土保持,2019(10):8-12. [RUAN F S, HAN Y G. Soil and water conservation work of Fujian Province since the founding of the People's republic of China [J]. Soil and Water Conservation in China, 2019 (10): 8-12 (in Chinese)]
- [27] 岳辉,钟炳林. 长汀县水土保持监测实践与探讨[J]. 热带水土保持,2006,18(3):63-64. [YUE H, ZHONG B L. Practice & discuss on the soil conservation monitoring in Changting County [J]. Subtropical Soil and Water Conservation, 2006, 18(3):63-64. (in Chinese)]
- [28] 阮伏水,朱鹤健. 福建省花岗岩地区土壤侵蚀与治理[M]. 北京:中国农业出版社,1997. [RUAN F S, ZHU H J. Soil Erosion and treatment in granite areas of Fujian Province [M]. Beijing: China Agriculture Press,1997. (in Chinese)]
- [29] 吴志峰,王继增. 华南花岗岩风化壳岩土特性与崩岗侵蚀关系[J]. 水土保持学报,2000,14(2):31-35. [WU Z F, WANG J Z. Relationship between slope disintegration and rock-soil characteristics of granite weathering mantle in South China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(2): 31-35. (in Chinese)]
- [30] 赵昭昞. 福建省花岗岩类风化物的特性与建立地带性森林生态系统[J]. 福建水土保持,1989,1(1):39-42. [ZHAO Z B. The characteristics of granite weathering in Fujian Province and the establishment of the zone forest ecosystem [J]. Fujian Soil and Water Conservation, 1989, 1(1): 39-42. (in Chinese)]