

鄂东南崩岗土体特性分析

任兵芳¹, 丁树文², 吴大圀³, 李双喜¹

(1. 长江水利委员会 长江流域水土保持监测中心站, 湖北 武汉 430010; 2. 农业部 长江中下游耕地保育重点实验室, 湖北 武汉 430070; 3. 湖北通城县水土保持试验站, 湖北 通城 437400)

摘要:崩岗是鄂东南花岗岩地区普遍存在的土壤侵蚀现象。对通城县五里镇2个典型崩岗后壁的4层土体进行了野外测定与室内理化分析。结果表明:土体第1层和第2层的黏粒、有机质、游离氧化铁等胶结物质较多,结构稳定性较强,土壤凝聚力较大,有较强的抗剪强度和抗冲抗蚀性;土体第3和第4层性质相反;一旦土体第1层和第2层被破坏,第3和第4层暴露,在瀑流作用下,很容易被水侵蚀而形成崩岗。这一结果可为崩岗侵蚀机理研究及崩岗治理提供科学依据。

关键词:崩岗; 侵蚀机理; 土壤侵蚀; 溯源侵蚀

中图分类号: S157 **文献标志码:** A

崩岗是指山坡土体或岩石风化壳在水力和重力作用下分解、崩塌和堆积的侵蚀现象,是沟壑侵蚀的一种特殊形式,尤以花岗岩风化壳形成的崩岗最为发育,危害程度大且难于治理。我国崩岗侵蚀规律研究工作开展较少,崩岗侵蚀观测数据非常有限。基于上述原因,长江水利委员会在长江流域水土保持项目中设立了崩岗侵蚀规律研究项目,开展了集雨区水土流失规律及其对崩岗侵蚀的影响研究、崩岗崩壁溯源侵蚀速率研究、崩积堆侵蚀水土流失量及其影响因素分析方面的研究工作,项目为期3 a,由通城县水土保持试验站组织专人负责试验数据采集工作。

本文介绍通城县两个典型崩岗土体的试验分析结果,以期加深对崩岗形成机理的认识,同时也为我国崩岗侵蚀数据积累资料。

1 研究区概况

崩岗是鄂东南花岗岩地区普遍存在的土壤侵蚀现象。根据2005年崩岗普查成果,湖北省崩岗共有2 363处,主要分布在通城县、通山县、崇阳县、阳新县、宜昌和大冶地区,其中通城县崩岗较为集中。通城县崩岗数量为1 102处,占湖北省崩岗总数的47%,是湖北省崩岗集中分布的典型地区,且崩岗剖面发生层次

完整,是我国崩岗分布的北缘区。选在通城县开展研究,在鄂东南具有很强的代表性。

通城县位于湖北省东南部,湘、赣、鄂三省交界处,花岗岩出露面积占国土面积的70%。通城县水土流失总面积为527 km²,占通城国土总面积的46.7%。崩岗侵蚀是通城县水土流失的剧烈形态,主要发生在海拔100~200 m的低缓丘陵岗地上。

经过野外调查和选点工作后,课题组在通城县五里镇的五里社区和程凤村各选取1个典型崩岗开展试验研究工作。两个崩岗均分布在花岗岩地区,都是崩壁还在侵蚀后退中的活动型崩岗,为典型的瓢型崩岗。1号崩岗位于通城县五里镇五里社区,东经113°46'26",北纬29°12'39",海拔高程98~118 m,主要植物有铁芒萁、马尾松等,覆盖度45%,土壤类型为棕红壤,结构松散。2号崩岗位于通城县五里镇程凤村二组,东经113°43'26",北纬29°12'18",海拔高程98~133 m,主要植物有板栗、杉木、杜鹃、樟树、铁芒萁等,林草覆盖度43%,土壤类型为棕红壤,沙土,结构较为松散。

2 研究方法

项目开展了径流观测小区与集水池布设、崩壁后

退速率观测桩布设、崩积堆侵蚀观测桩布设,以及沉沙池、排水沟和量水堰观测设施建设工作。

为查明鄂东南崩岗广泛分布于花岗岩地区的原因,对崩岗土体性质进行了野外测定和室内理化分析。理化性质分析主要测定各层土体土壤容重、水稳性、土壤渗透性、凝聚力、土体有机质含量、pH 值、阳离子交换量、游离氧化铁和无定形铁的变化情况,探寻其与崩岗侵蚀发生的关系,以期为崩岗成因机理分析和崩岗治理提供依据^[1]。

野外取样时选取 2 个典型崩岗后壁剖面,这 2 个崩岗剖面可以见到比较完整的特征风化带。取样时用环刀自上而下取不同层位的原状土样。采集散状土样放入取样袋中,贴上标签系好,带回供实验用。采回样品风干后按物理和化学性质分析要求,经过过筛、混匀、装袋保存以备各项测定之用。

试验时根据测定内容不同,采取相应的测定方法。土体容重测定采用环刀法,土壤天然含水率测定采用烘箱法,风干土粒密度测定采用比重瓶法,颗粒组成测定采用吸管法,水稳性测定采用机械筛分法,渗透系数测定采用 TST-55 土壤渗透仪,凝聚力测定采用应变直剪仪,pH 值测定采用电位法,有机质测定采用外加热法,阳离子交换量测定采用乙酸铵交换法,游离氧化铁和无定形铁测定采用草酸铵缓冲液提取法。

3 结果与分析

根据典型崩岗土壤剖面的植被根系、颜色、颗粒大小等特征确定发生层,将剖面自上而下分为 4 个层次,分别为淋溶层、淀积层、过渡层和母质层。测定各层土体的物理和化学性质。典型崩岗土体各层厚度及特征见表 1。

表 1 典型崩岗土体各层厚度及特征

典型崩岗	层次	名称	深度/cm	特征
五里 1 号	1	淋溶层	0~10	红色,根系多,疏松
	2	淀积层	10~130	红棕色,紧实,块状结构
	3	过渡层	130~210	粉红带棕,散粒状结构
	4	母质层	210 以下	灰白色,松散
程凤 2 号	1	淋溶层	0~10	红色,根系多,疏松
	2	淀积层	10~50	红棕色,紧实,块状结构
	3	过渡层	50~140	粉红带棕,散粒状结构
	4	母质层	140 以下	灰白色,松散

3.1 土壤容重与土粒密度

土壤容重是衡量土壤松紧状况的指标。各层土体的容重值见表 2。

从表 2 中可以看出,五里和程凤两崩岗试验区的土层容重都呈现“上下轻、中间重”的现象,第 1 层容

重较小,是由于根系发达,土体结构较松散;第 2,3 层容重较大,这与第 1 层黏粒随水分下移淀积有关;第 4 层容重减小,是由于母质层土壤松散的缘故。同时,各层土粒密度相近,为 2.65 左右。

表 2 典型崩岗土体各层容重及土粒密度

典型崩岗	层次	干容重/ (g·cm ⁻³)	土粒密度/ (g·cm ⁻³)	典型崩岗	层次	干容重/ (g·cm ⁻³)	土粒密度/ (g·cm ⁻³)
五里 1 号	1	1.18	2.65	程凤 2 号	1	1.09	2.66
	2	1.34	2.62		2	1.32	2.67
	3	1.34	2.62		3	1.41	2.71
	4	1.28	2.59		4	1.24	2.69

3.2 土体水稳性及颗粒组成

土壤团聚体是土壤的重要组成部分,其水稳性团聚体是维持土壤结构稳定的基础,其含量越高,土壤结构越稳定。土体各层的水稳性指数如表 3 所示。

表 3 典型崩岗土体各层的水稳性团聚体组成 %

典型崩岗	土样	水稳性粒径					水稳性 指数
		> 5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	
五里 1 号	淋溶层	23	15	14	8	5	65.0
	淀积层	1	5	7	6	6	25.0
	过渡层	1	8	11	5	4	29.0
	母质层	0	0.1	1	2	5	8.1
程凤 2 号	淋溶层	8	24	18	5	5	60.0
	淀积层	8	16	14	7	3	48.0
	过渡层	3	10	13	9	6	41.0
	母质层	0	0.2	2.6	5	5.9	13.7

五里崩岗水稳性指数从 65% 降至 8.1%,程凤崩岗水稳性指数从 60% 降至 13.7%,两个典型崩岗土体各层水稳性指数呈现自上而下递减的规律。这说明淋溶层的水稳性最好,土壤结构稳定,母质层水稳性最差,土壤结构较不稳定。

不同粒径的颗粒在土壤中的比例构成了土壤的质地。质地不同的土壤,其理化性质存在较大的差异。各层土体颗粒组成如表 4 所示。

表 4 典型崩岗土体各层颗粒组成 %

典型崩岗	土样	砂粒	粉粒	黏粒
五里 1 号	淋溶层	60.62	22.80	16.58
	淀积层	50.26	29.01	20.73
	过渡层	58.81	21.96	19.23
	母质层	82.53	14.34	3.13
程凤 2 号	淋溶层	39.86	25.07	35.07
	淀积层	53.88	9.70	37.42
	过渡层	70.89	16.64	12.47
	母质层	86.64	10.38	2.98

由表 4 可以看出,随着风化程度的降低,砂粒含量

呈现出淀积层 < 过渡层 < 母质层,这表明过渡层和母质层结持松散,透水性较好,但抗蚀抗冲性较差。

从黏粒含量来看,淀积层含量最高,母质层含量最低。这表明淀积层凝聚力较高,结持紧密,但透水性差,抗剪能力强。母质层黏粒含量最低,与孔隙溶液的结合能力较弱,因此,当遇到降雨和发生其他地质变化时,土体底部容易崩塌,导致崩岗的发生。

3.3 土壤渗透性与凝聚力

土壤渗透性能是土壤的重要物理性质之一,它反映了土壤的最大导水能力,是土体的一项重要物理参数。土壤渗透性能的好坏,直接关系到地表产生径流量的大小,对土壤侵蚀的影响很大,是土壤侵蚀发生的重要因子^[2]。土体各层渗透系数与凝聚力见表 5。

表 5 典型崩岗土体各层渗透系数与凝聚力

典型崩岗	土样	凝聚力/kPa	渗透系数/(m·s ⁻¹)
五里 1 号	淋溶层	50	5.2 × 10 ⁻⁴
	淀积层	35	9.37 × 10 ⁻⁵
	过渡层	23	1.6 × 10 ⁻⁴
	母质层	19	5.2 × 10 ⁻⁴
程风 2 号	淋溶层	45	8.6 × 10 ⁻⁴
	淀积层	43	6.3 × 10 ⁻⁵
	过渡层	30	9.4 × 10 ⁻⁴
	母质层	26	6.2 × 10 ⁻⁴

如表 5 所示,五里崩岗和程风崩岗渗透系数最小值均发生在淀积层,这是由于该层花岗岩分化较强,高岭石等黏土矿物含量较多,导致其导水能力降低,渗透系数较小,且该层土壤容重较大,这种性质决定了地表容易产流。淋溶层渗透系数较大,这是由于土壤中根系发育,土壤结构较松散,土壤容重较小,在渗透过程中,水可以带着黏粒向下层运动。在过渡层和母质层,花岗岩风化较弱,较大粒径的颗粒含量较高,相对淀积层渗透性能较好,地下水可以将风化的细颗粒带走,导致土体力学性质降低,土体在外力作用下较易发生剪切变形破坏。

土壤的抗剪强度是表征土体力学性质的一个主要指标,其大小直接反映了土体在外力作用下发生剪切变形破坏的难易程度,而凝聚力是土体抗剪强度的重要组成部分。如表 5 所示,典型崩岗土体凝聚力自上而下表现为递减的变化规律,这一变化规律与相应水稳定性变化规律一致。

对相同土壤层土样含水率增大后凝聚力变化情况进行了试验,结果如表 6 所示。随着相同土壤层土体含水率的增大,土粒之间间距增加,其间的粘结和分子引力减小,而且随着胶体和可溶盐分解,凝聚力会呈现下降趋势,因此,两个典型崩岗各层土体均呈现凝聚力

随着含水率的增大而下降的规律。土体内摩擦角随着含水率增加而减小。

表 6 五里 1 号崩岗土体各层含水率、凝聚力与内摩擦角

土样	含水率/ %	内摩擦角/ (°)	凝聚力/ kPa	土样	含水率/ %	内摩擦角/ (°)	凝聚力/ kPa
淋溶层	20.2	31.0	21.7	过渡层	27.6	27.2	48.4
	31.8	27.3	13.5		30.3	23.3	25.4
淀积层	24.3	23.4	40.7	母质层	26.1	30.3	1.7
	34.5	20.8	12.1				

注:土体含水率增大,土壤散开,机构破坏。

3.4 土体有机质含量及 pH 值

有机质是土壤的重要组成部分,它影响团聚体的形成及其稳定性,是胶结物质的组成之一,与地表径流、土壤渗透性、土壤可蚀性有密切关系。典型崩岗土体各层有机质含量与 pH 值见表 7。

表 7 典型崩岗土体各层有机质含量与 pH 值

典型崩岗	土样	有机质含量/ (g·kg ⁻¹)	pH 值	典型崩岗	土样	有机质含量/ (g·kg ⁻¹)	pH 值
五里 1 号	淋溶层	16.95	4.63	程风 2 号	淋溶层	36.67	5.34
	淀积层	11.62	4.91		淀积层	15.48	5.77
	过渡层	7.27	5.11		过渡层	2.92	6.47
	母质层	5.49	5.75		母质层	3.06	6.59

如表 7 所示,土体有机质含量自上而下基本上呈递减的变化规律。上部土层有机质含量较下部土层高,说明表层土具有较强的凝聚力和抗冲性。

由表 7 可看出,pH 值均小于 7,呈酸性,由表层到深层呈递增变化规律,这是由于花岗岩在高温湿润地区水解作用和风化淋溶作用增强,钙、钠、镁、钾、硫、硅等元素淋失,硅、铝、铁等氧化物组成的黏土矿物堆积,导致土壤酸性增强。

3.5 土体阳离子交换量与铁含量

土壤胶体上吸附的各种阳离子代表着土壤保持养分的能力,典型崩岗土体各层阳离子交换量与铁含量详见表 8。

表 8 典型崩岗土体各层阳离子交换量与铁含量

典型崩岗	土样	阳离子交换量/ (cmol·kg ⁻¹)	游离氧化铁/ (g·kg ⁻¹)	无定形铁/ (g·kg ⁻¹)
五里 1 号	淋溶层	12.79	26.99	0.67
	淀积层	12.15	35.71	0.53
	过渡层	8.61	22.21	0.43
	母质层	5.61	15.71	0.28
程风 2 号	淋溶层	12.75	27.02	0.66
	淀积层	12.63	22.73	0.62
	过渡层	8.05	4.60	0.24
	母质层	3.54	1.73	0.12

由表 8 可看出,崩岗土体各层中的阳离子交换量

自上而下均呈递减的变化规律。由于花岗岩风化土经过强烈的淋滤作用,第3层和第4层阳离子交换量比较小,表明这类土体的物理化学活性比较低。

氧化铁是风化土中颗粒间特有的胶结物质,影响着土体的物理性质。由表8可知,土体各层游离氧化铁和无定形铁含量自上而下都呈递减的变化规律。第1层和第2层游离氧化铁和无定形铁含量较高,土壤结构性和凝聚力较强,力学性质也较强。第4层土体的游离氧化铁和无定形铁含量较低,下层土体含有的胶结物较少,土体结构松散,凝聚力和抗冲性很差,力学性质较差。

综上典型崩岗土体各层理化性质测试性分析可知,淋溶层和淀积层水稳性团聚体含量高,土壤结构稳定性较强,土层内所含有的黏粒、有机质、游离氧化铁等胶结物质较多,土壤颗粒间的聚集较强,凝聚力大,具有较强的抗剪强度和抗冲蚀性。而下方过渡层和母质层的性质与之相反,黏粒含量少,土壤结构松散,渗透性好,胶结物含量少致使颗粒间缺乏胶结,抗剪强度弱,容易被侵蚀。一旦抗剪强度和抗蚀性较强的淋溶层和淀积层被破坏或被蚀后,下面松散的过渡层和母质层暴露,在瀑流作用下,过渡层很容易被水侵蚀,有利于瓮的形成。随着瓮的不断扩大,瓮上部的崩壁

顶部会产生临空面,在重力作用下,土体便会产生重力崩塌,当崩壁的崩塌产物部分被流水带走后,过渡层会再次暴露出来。如此反复,崩壁向集水区分水岭方向后退,溯源侵蚀不断进行,崩岗面积便会发展扩大。正由于花岗岩风化土体具有这一特性,所以崩岗普遍发育在花岗岩地区。

4 结 语

对通城县两个典型崩岗土体开展了土体特性试验分析,掌握了第一手试验数据,分析结果对加深崩岗形成机理认识具有一定意义,同时丰富了我国崩岗侵蚀观测数据资料。试验分析结论对崩岗的防治具有一定的启示:在花岗岩地区要保护淋溶层及淀积层土体,预防崩岗的发生;在花岗岩崩岗区,要稳定过渡层及母质层土体,防止崩岗面积的扩大;治理崩岗的关键在于防止崩壁溯源侵蚀的发生。

参考文献:

- [1] 施悦忠.崩岗侵蚀的岩土特性分析[J].福建热作科技,2008,33(3):6-8.
- [2] 李双喜.AHP在崩岗主要调查因子分析评价中的应用[J].人民长江,2010,41(21):89-91.

(编辑:朱晓红)

Analysis on soil characteristics of collapse hills in southeast of Hubei Province

REN Bingfang¹, DING Shuwen², WU Daguo³, LI Shuangxi¹

(1. Yangtze River Basin Monitoring Center Station for Soil and Water Conservation, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China; 2. Key Laboratory of Arable Land Conservation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China; 3. Tongcheng Soil and Water Conservation Test Station of Hubei Province, Tongcheng 437400, China)

Abstract: Hill collapse is a universal phenomenon of soil erosion in granite region in southeast of Hubei Province. Field test and laboratory physical and chemical analysis on 4 layer soil body at posterior faces of 2 typical collapsed hills in Wuli Town of Tongcheng County are conducted. The results show that a lot of cementing substances such as clay particles, organic matter, free iron oxide are found in the first and second soil layers, and soil structures are comparably stable, the soil has strong shear strength, anti-scouring and anti-erodibility ability for its larger cohesive force. The soil natures of the third layer and the fourth layer are opposite. If the first and second layers are destroyed, the soil in the third and fourth layers will be exposed and are scoured by water, resulting in hill collapsed. The results provide a scientific basis for mechanism research of slope collapse and erosion as well as control works.

Key words: collapse hills; erosion mechanism; soil erosion; headward erosion