

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2024.04.014

洞庭湖东缘两种典型地层控制的边坡地质灾害 发育特征及机理分析

吴俊^{1,2}, 王晶^{2*}, 陈双喜^{1,2}, 吴一笑^{1,2}, 卜建军^{1,2}, 钱施^{1,2}

WU Jun^{1,2}, WANG Jing^{2*}, CHEN Shuang-Xi^{1,2}, WU Yi-Xiao^{1,2}, BU Jian-Jun^{1,2}, QIAN Shi^{1,2}

1. 古生物与地质环境演化湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430205;

2. 中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心), 湖北 武汉 430205

1. Hubei Key Laboratory of Paleontology and Geological Environment Evolution, Wuhan 430205, Hubei, China;

2. Wuhan Center, China Geological Survey (Geosciences Innovation Center of Central South China), Wuhan 430205, Hubei, China

摘要: 洞庭湖地区是长江经济带重要的生态环境敏感区, 在极端降雨频发的背景下, 查明区内极易受极端降雨影响的滑坡崩塌地质灾害发育特征及成灾机理, 对于区内该类地质灾害的预防治理至关重要。在洞庭湖东缘, 通过详细的野外调查, 查明了地质灾害的主要类型、规模和分布特征。地质灾害以崩塌、滑坡等斜坡类为主, 规模上以小型为主, 多发育于人工切坡所形成的高陡边坡。通过对发育最广的崩塌灾害的地质背景、地貌和发育特征分析, 发现灾害主要受控于地层, 即洞庭湖组和汨罗组, 诱发因素主要是工程开挖和降水, 但两个组的崩塌有不同的成灾机理。洞庭湖组岩性以网纹红土为主, 发育垂直节理, 经过反复的降水干湿变化作用, 节理变成裂隙, 裂隙不断扩大, 在边坡形成倾倒式崩塌。汨罗组岩性由砾石、砂、粉砂和黏土等组成, 砂砾层为含水层, 在降水作用下, 边坡含水层中的粉砂、黏土等细粒成分不断被带走, 极易发生淘洗式垮塌。在明确了灾害形成机理的基础上, 提出了该地区此类地质灾害的防治措施。

关键词: 崩塌; 洞庭湖组; 汨罗组; 高陡边坡; 成灾机理; 防治措施; 洞庭湖

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2024)-04-0764-09

Wu J, Wang J, Cheng S X, Wu Y X, Bu J J and Qian S. 2024. Development Characteristics and Mechanism of Slope Geological Hazards Controlled by Two Typical Strata in Eastern Dongting Basin. *South China Geology*, 40(4): 764–772.

Abstract: The Dongting Lake area is an important ecologically sensitive area in the Yangtze River Economic Zone. It is very important to identify the development characteristics and disaster mechanism of landslide and collapse geological disasters which are easily affected by frequent extreme rainfall in the region. In the eastern margin of Dongting Lake, the main types, scale and distribution characteristics of geological hazards have been identified through detailed field investigation. The geological hazards are collapse and landslide, small and micro in scale, mostly developed in high and steep slopes formed by artificial cutting. Through the analysis of geology, topography and development characteristics of the most widely developed collapse disasters, it is found that the disasters are mainly controlled by geological strata, namely the Dongtinghu Formation and Miluo Formation, and the triggering factors are mainly engineering excavation and

收稿日期: 2024-10-20; 修回日期: 2024-11-19

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20230204、DD20240025), 古生物与地质环境演化湖北省重点实验室基金项目(PEL-202202)

第一作者: 吴俊(1983—), 男, 正高级工程师, 主要从事第四纪地质和地层古生物研究, E-mail: 258155816@qq.com

通讯作者: 王晶(1983—), 男, 高级工程师, 主要从事区域地质调查和信息化建设, E-mail: 187352323@qq.com

precipitation. However there are different disaster mechanisms in the collapses developed in the two formations. The lithology of Dongtinghu Formation is dominated by reticulated red clay, and vertical joints are developed. After repeated drying and wetting of precipitation, the joints become fractures, and the fractures continue to expand, resulting in toppling collapse on the slope. But the lithology of Miluo Formation is composed of gravel, sand, silt and clay, and the gravel layer is an aquifer. Under the action of precipitation, the fine components of silt and clay in the slope aquifer are constantly taken away, resulting in washing collapse. On the basis of clarifying the mechanism of the disaster, the prevention and control measures of this kind of geological disaster in this area are proposed.

Key words: collapse; Dongtinghu Formation; Miluo Formation; high and steep slopes; disaster mechanism; preventive measures; Dongting Lake

湖南岳阳县地处幕阜山山地向洞庭湖平原过渡地区, 县域内地质构造和地表基岩岩性组合较为复杂, 物理化学风化强烈, 降水时空分布不均, 大雨、暴雨频发, 修路筑坝、削坡建房、采矿开挖等人类工程活动频繁, 属于地质灾害较为发育的县(湖南省地质环境监测总站和湖南省岳阳县国土资源局, 2004)。2024 年 7 月 5 日, 岳阳市团洲垸发生了管涌决堤, 导致整个团洲垸被淹, 并严重威胁钱(钱南垸)团(团洲垸)间堤。每年雨季, 这些人工切坡所形成的高陡边坡, 时有发生崩塌滑坡灾害, 给区内居民的生命财产和交通安全带来了严重威胁。

崩塌滑坡的形成受地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件等系列因素影响(陶志平等, 2003; 王耀明等, 2009; 康怀信, 2024), 可分为内因和外因两类, 内因主要包括地形地貌、边坡类型、地下水特征、岩土体特征等; 外因主要包括降雨、气温、地震以及人类工程活动等(赵信文等, 2009; 黎义勇等, 2012; 廖化荣等, 2012; 周宏博等, 2012; 熊金安和汪磊, 2013; 董好刚等, 2018; 康怀信, 2024; 严长城, 2024)。降雨是常见的地质灾害诱导因素, 常常导致崩塌滑坡等各种地质灾害的发生。研究者普遍认为降雨会降低斜坡的稳定性, 雷祥义(1995)在含水率较大的范围内进行试验研究, 得出黏土的黏聚力随含水率的增加而降低的结论; 廖红建等(2011)通过对黄土的研究, 认为黄土的黏聚力先随含水率的增加而增加, 在含水率接近某特征含水率时达到最大, 随后快速下降; 高莎和尹业梦(2024)通过模型计算认为, 降雨

可以显著降低斜坡的稳定性, 尤其是暴雨。曾胜等(2013)通过室内干湿循环试验, 分析了红砂岩边坡的稳定性衰减变化规律。以上研究多从岩土力学特征和诱发过程的角度分析崩塌滑坡等地质灾害的成因, 但从地质角度研究较少。笔者在开展重要经济区与新型城镇区域地质调查项目的过程中, 对岳阳县幅区域内的崩塌滑坡发育特征进行了调查, 从地层岩性、结构方面, 结合诱发因素, 探讨区内两种典型地层边坡发生崩塌的成因机理。在此基础上, 提出了此类地质灾害防治措施建议, 以便为同类地层发育区的防灾减灾工作提供参考。

1 研究区概况

研究区大部位于湖南省东北部的岳阳县境内(113°00'~113°15'E, 29°00'~29°10'N, 图 1a), 行政区域包括荣家湾镇、新开镇、新墙镇、长湖乡、黄沙街镇、中州乡大部及汨罗市桃林寺镇小部分地区。区内交通便利, 有京广高铁、京广铁路、大广高速、京港澳高速、G107、G240 国道横贯南北以及众多的县道、乡道四通八达。区内气候四季分明, 雨季明显, 夏、秋多旱, 暑热期长, 严寒期短, 无霜期长。据 1985~2020 年 36 年降雨资料统计, 年均降水量 1378.98 mm, 其中, 2002 年降雨量最大, 为 2110.2 mm, 2011 年最小, 为 921.6 mm。月均降水量较多的为 4~7 月, 合计平均降水量 735 mm, 占年均降水量的 53.3%, 月均降雨量不足 100 mm 的有 1~2 月和 9~12 月。

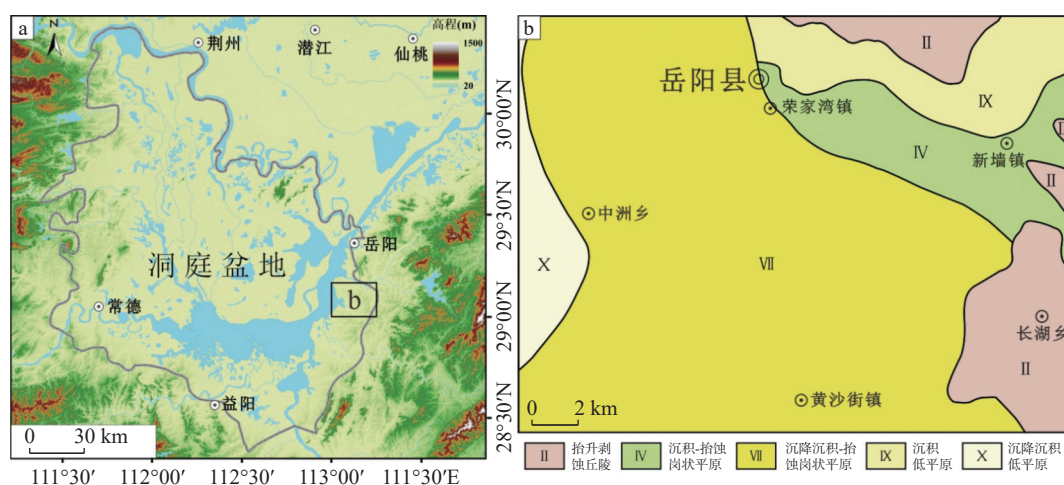


图1 研究区地貌(a)及地貌分区(b)图

Fig. 1 Geomorphic map (a) and geomorphic zoning map (b) of the study area

b 图据柏道远等(2010)修改

研究区总体属于覆盖区,第四纪沉积总体连续,沉积厚度大。前第四纪地层在地表仅见于东部地区,分别为晚白垩世-古新世百花亭组(K_2E_1bh)、始新世中村组(E_2z)。第四纪地层自下而上划分为:早更新世早期华田组(Qp_1ht ,仅见于井下地层)、早更新世晚期汨罗组(Qp_1m);中更新世洞庭湖组(Qp_2d)和全新世冲积物(Qh^{al})(图2)。除全新世沉积外,其他地层均表现为红层或网纹化红土。区内未见岩浆岩出露,在图幅西北角有北东向区域性湘阴-洪湖断裂通过,中部有南北向荣家湾断裂通过(湖南省地质调查院,2009;柏道远等,2010)。地势从东到西高程逐渐降低,东部为岗状丘陵(50~140 m),西部为河流冲积、湖积平原(30~50 m),总体上切割不大,高差较小。区内地貌可以分为抬升剥蚀丘陵(Ⅱ,出露地层为百花亭组)、沉积-抬蚀岗状平原(Ⅳ,出露地层主要为百花亭组、中村组)、沉降沉积-抬蚀岗状平原(Ⅶ,出露地层为汨罗组、洞庭湖组)、稳定沉积低平原(Ⅸ,为全新世冲积物)、沉降沉积低平原(X,为全新世冲湖积物)等5种构造—沉积地貌类型(图1b,湖南省地质调查院,2009;柏道远等,2010)。

2 崩塌滑坡发育特征及分布

2.1 崩塌滑坡地质灾害的分布

滑坡和崩塌是两种常见的即有联系又有区别

的斜坡(边坡)变形破坏形式。研究区的崩塌滑坡主要发育于切坡建房和矿业开采形成的高陡边坡,出露地层主要为汨罗组砾石、砂砾石、含砾粗砂、中细砂、砂质黏土,以及洞庭湖组网纹状黏土质粉砂、粉砂质黏土。但发育地质灾害类型稍有不同,汨罗组主要为崩塌,并发育有少量滑坡,洞庭湖组主要为崩塌,其在区内的分布见图2,区内共发现崩塌24处(汨罗组发育18处,洞庭湖组8处,其中2处是汨罗组和洞庭组共同发育、2处是中村组和洞庭湖组共同发育),滑坡1处(汨罗组),总体以小微型为主。

岳阳县崩塌滑坡的年际变化规律表现为滑坡、崩塌爆发的多发年份与丰水年份保持一致,年内变化规律与年内降水规律也是基本一致的。经统计,岳阳县境内发生的滑坡、崩塌都发生在雨季的4~7月份,可见降雨期是滑坡、崩塌发生的高峰期。由于人类工程活动日益加剧,所以岳阳县的滑坡、崩塌的年际变化总趋势还表现在滑坡、崩塌数量逐年增加,涉及范围逐渐扩大,经济损失日益严重(湖南省环境监测总站和湖南省岳阳县国土资源局,2004)。

2.2 崩塌滑坡地质灾害发育特征

2.2.1 滑坡

由于岳阳县幅地表起伏不大,高程差在100 m以内,故而区内滑坡发育较少,最为典型的滑坡为树德村滑坡,位于岳阳县黄沙街镇树德村(地质点

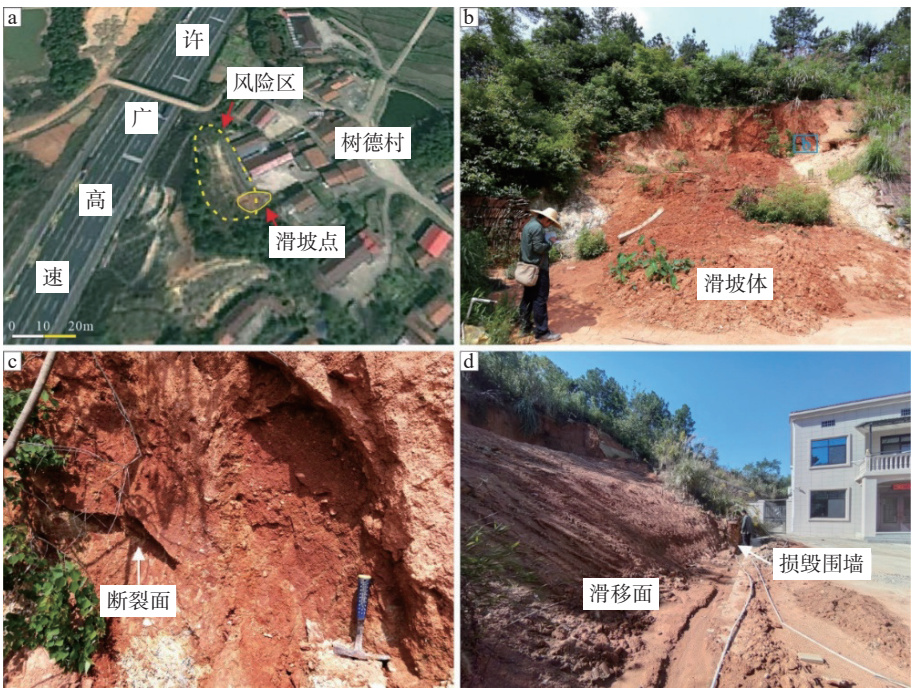


图 3 树德村滑坡特征

Fig. 3 Landslide characteristics of Shude Village

a.滑坡影像特征;b.滑坡体特征;c.滑坡后缘断裂面;d.滑移面

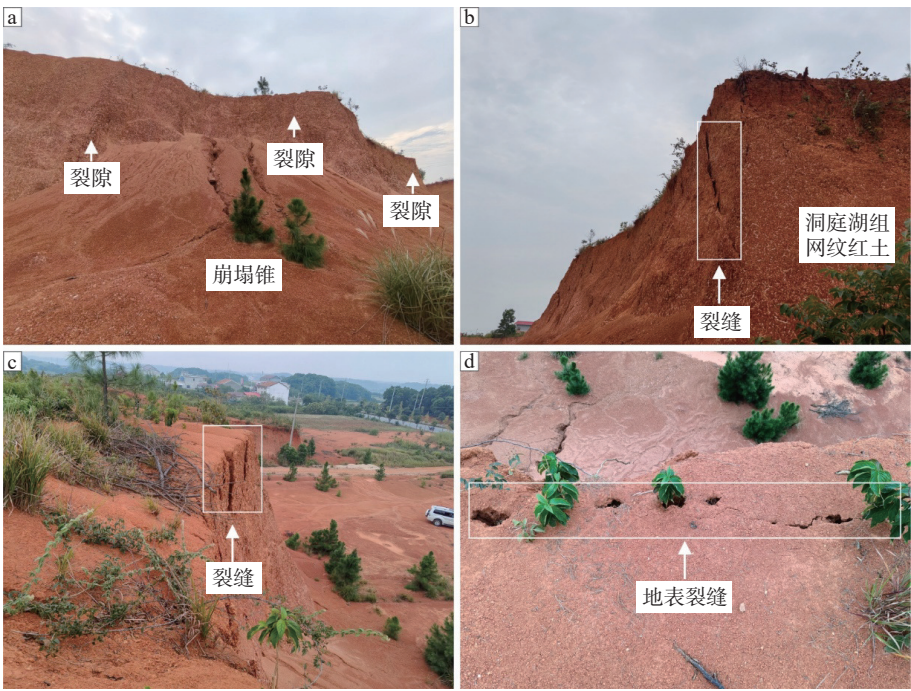


图 4 六合村崩塌特征

Fig. 4 Collapse characteristics of Liuhe Village

a.崩塌体总体特征;b、c.纵向裂缝;d.地表水平裂缝

点为一取土场南侧边坡,出露高度约 10~12 m,长度约 200 m,边坡未经过处理,西段发生了明显崩塌(图 5)。出露地层主要为汨罗组,中下部(0~7 m)为棕红色、棕黄色、土黄色砾石层、含砾粗砂、粗中砂组成的韵律层。砾石层总体呈水平状分布,砾石大小为 0.5~15 cm,分选差,磨圆差-中

等,砾石成分为石英岩、脉石英、变质泥岩、砂岩,可见斜层理,产状约 $210^{\circ}\angle 15^{\circ}$ 。上部(7~10 m)棕红色、棕黄色网纹化含砾粗砂、砂,网纹界线较为清晰,下密上疏。其顶部1 m为褐红色弱网纹化含砾砂,植物根系发育。此处发生土体崩塌,崩塌锥前缘宽约16 m,前后缘距约4 m,平均厚度约2 m,崩塌体约 128 m^3 ,崩塌体总体以块状土体为主,最大的长轴大于3 m(图5a)。后缘近直立或突出的临空面,仍为不稳定状态,裂缝较为发育,裂缝宽度可达1~2 cm(图5b),进一步发生崩塌风险较高。

新墙崩塌位于岳阳县新墙镇北国道G107东侧陡坎(地质点号为D2077)。图5c为2024年4月17日拍摄,剖面尚未崩塌,剖面高约10 m,长约100 m,底部0~7 m为中村组棕红-灰黄色砂砾岩、粗中砂岩、粉细砂岩、粉砂质黏土岩。岩石风化较为强烈,孔隙度较高,总体岩性特征与汨罗组较为相似。上部(7~10 m)出露洞庭湖组紫红色杂灰白色网纹状粉砂质黏土(图5c)。2024年9月前,此处发生土体崩塌,崩塌锥前缘宽约30~40 m,前后缘距约5 m,平均厚度约3 m,崩塌体约 600 m^3 ,崩塌体总体以小的土体碎块为主

(图5d),损毁了附近房屋的围墙。

3 洞庭湖组和汨罗组地质灾害发育及成灾机理分析

研究区切坡而建的房屋、公路地基多由汨罗组、洞庭湖组组成,更为重要的围湖造垸的堤坝也多是在汨罗组上构筑,故而区内已发现的地质灾害规模虽小,但潜在隐患较大。因此分析总结其发育机理、发育规律对地质灾害防治很有必要。

崩塌滑坡的形成受一系列因素影响,主要包括地形地貌、边坡类型、地下水特征、岩土体特征等以及降雨、气温剧烈变化、地震、人类工程活动等。肖尚德等(2016)通过对恩施红层边坡变形破坏特征的分析,总结了红砂岩边坡的变形破坏模式和特点。董好刚等(2018)用陡、裂、空、落四个字概括了崩塌形成条件。

研究区地层以早更新世汨罗组和中更新世洞庭湖组为主,为松散层,总体胶结较弱。加之气候炎热多雨,物理、化学、生物风化作用强,土体风化强烈。土体结构强度总体较弱,有利于崩塌的发生。岳阳县人为因素引发的滑坡、崩塌,随人类

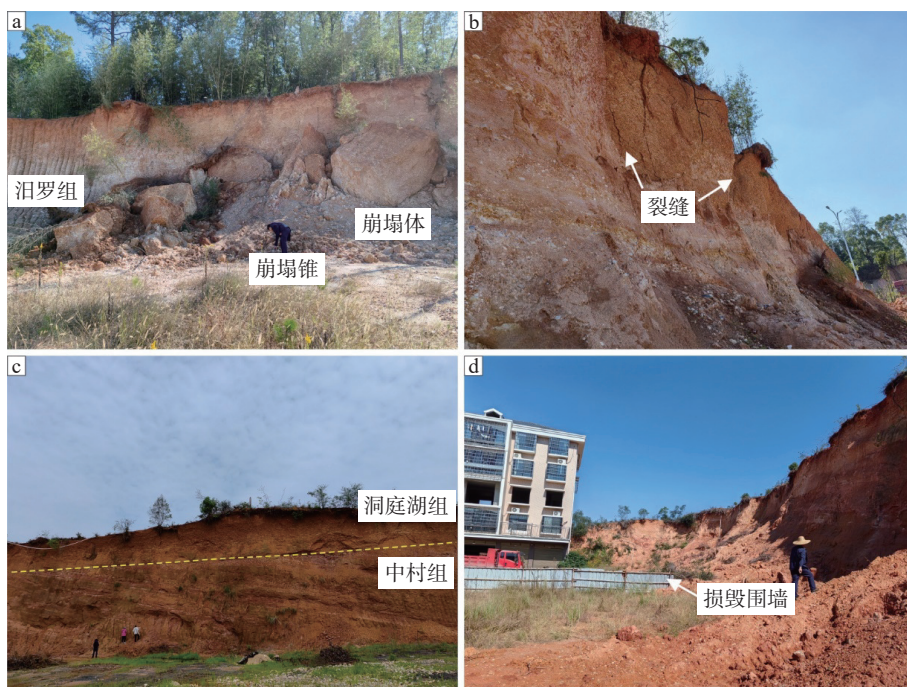


图5 群合村和新墙崩塌特征

Fig. 5 Collapse characteristics of Qunhe Village and Xinqiang Town

a. D1022 崩塌体总体特征; b. D1022 纵向裂缝; c. D2070 崩塌前剖面特征; d. D2070 崩塌后特征

工程活动的增强而日益增多。兴修乡村公路、坡前修建房屋导致的人工切坡、削坡过陡现象随处可见,从而埋下了不少地质灾害隐患。胡丁水(2023)通过对靖远县黄土区切坡建房的统计分析,指出随着边坡开挖宽度增大、高度增大和坡度增大,开挖后边坡的局部稳定性有明显幅度的变差趋势。研究区滑坡崩塌,基本上是在大雨—暴雨过程中或雨后较短时期内发生。降雨强度与滑坡、崩塌之间存在着明显的因果关系,大雨—暴雨为滑坡、崩塌的主要诱发因素。因此,研究区崩塌滑坡的成灾机理为土体结构强度弱,加之风化及人工削坡形成高陡边坡,降雨为其最主要的诱发因素。但洞庭湖组和汨罗组发育的特征又有所差异。通过对典型崩塌剖面的详细调查,及对地层结构、降雨、人类活动对崩塌发育控制过程的分析,本文提出了研究区两种地层中崩塌滑坡的发育机理。

3.1 洞庭湖组崩塌发育机理

研究区洞庭湖组为典型的网纹红土,成份为(含砂砾)黏土质粉砂、粉砂质黏土,质地均匀,其内部微裂隙较发育,裂隙中往往充填可塑性较高的高岭石、伊利石、蒙脱石等黏土矿物,遇水极易软化,且具有极强的吸附性与膨胀性。频繁的降雨及地下水的补给使得黏土矿物的水岩作用强烈,黏土矿物不断膨胀,使得网纹红土裂隙不断扩张拉宽,导致原土体结构遭受破坏而崩塌解体(康怀信, 2024)。岩土体总体结构强度较弱,为崩塌地质灾害的发生提供了有利的岩土地质条件。

高陡边坡多数为人工切坡建房所形成,坡度多在 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。网纹红土的表面常常发育有近直立的节理裂隙,尤其是斜坡前缘接近临空面的位置,常形成倾向临空面的裂隙(图 6a),裂隙的形成与风化卸荷载及人工开挖造成的应力调整有关

(肖尚德等, 2016)。随着降雨入渗,裂隙充水并将裂隙面软化,黏土矿物发生膨胀,强度不断降低,在静水压力和重力作用下,裂隙逐渐扩展,降水通过裂隙渗透,进一步加速岩土体的风化和破碎(图 6b);降雨结束后,水分流失,土体发生干裂,裂隙不断发展,扩展加宽,连通性增强,并相互联系(图 4b~4d, 图 6c);伴随了多个降雨-干燥交替周期,裂隙不断扩展,土体强度不断降低,在重力、静水压力、动水压力等作用下,斜坡失稳,上面的土体发生倾倒或滑移式崩塌,形成崩塌锥(图 4a, 图 6d),可称为倾倒式崩塌。上部土体由于风化破碎较强、微裂隙发育,在崩塌过程中快速破碎,崩塌锥总体由较细碎的土块和黏土组成(图 4a)。

3.2 汨罗组崩塌发育机理

研究区汨罗组分布较广,从下到上为砂砾层、含砾中粗砂、粉细砂、黏土组成的韵律层,韵律层厚度约 $3 \sim 5$ m,上部黏土层厚度 $0.5 \sim 1$ m。黏土层属于亲水岩,透水性极差,抗滑能力较差,抗风化能力弱,遇水极易软化。砂砾层-砂层总体弱-中等胶结,磨圆度较差,孔隙度较大,连通性较好,便于雨水下渗和水体运移(图 7a)。高陡边坡的斜坡结构,便于大气降水及地表水的下渗。由于降雨雨水下渗,水体在粗碎屑层内流动排泄,使得细粒物质(黏土、粉细砂)等被水流运移,形成裂隙和空洞(图 7b),使得承载力变差。持续降水所导致的水力活动使得粗碎屑层的结构进一步弱化,承载力进一步变差,使得上部地层处于架空状态,在重力等外力的影响下,发生垮塌式崩塌(图 5a~5b, 图 7c~7d),可称为淘洗式崩塌。此类崩塌,其上部土体部分可能裂隙破坏较弱,在崩塌发生后形成较大的土块(图 5a)。

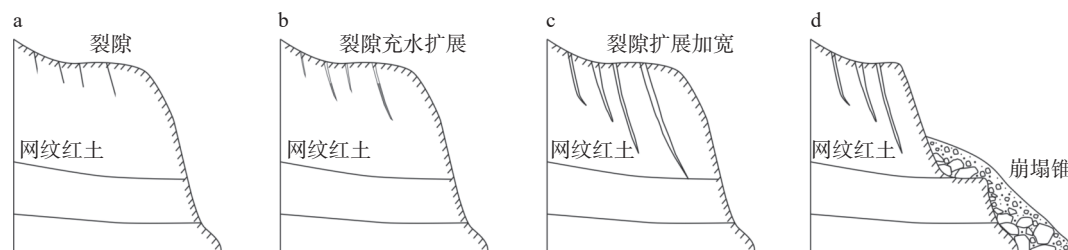


图 6 洞庭湖组网纹红土崩塌示意图

Fig. 6 Schematic diagram of reticulated red clay collapse in Dongtinghu Formation

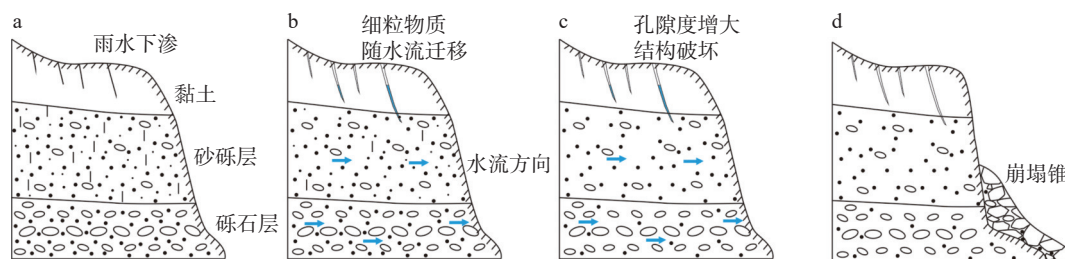


图7 汨罗组崩塌示意图

Fig. 7 Schematic diagram of collapse in Miluo Formation

4 防治对策

针对研究区内崩塌滑坡的发育特征和机理,可采取如下措施进行灾害防治。

(1)减少高陡边坡的开挖,对确实需要开挖的高边坡采取逐层切坡的方式,并尽量减小坡度,提高边坡的稳定性。

(2)对区内的高陡边坡进行调查,查清其分布范围、规模、结构特征,并对已发生滑坡、崩塌地质灾害的边坡的灾害复活性和危害性进行评价,对危险性边坡地段等潜在隐患点进一步评估其风险等级,在必要的时候进行监测。

(3)对于崩塌风险较大的边坡可设置排水系统,坡顶可采用地表截排水沟、坡脚采用疏干排水孔等形式,将水引流出去,减少水对土体的软化及溶解程度,减少雨水下渗,降低周期性降水对洞庭湖组倾倒式边坡裂隙的发育速度,同时也可以降低汨罗组淘洗式边坡细粒物质的流失速度,从而降低边坡的破坏速度和崩塌风险。

(4)对于滑坡崩塌隐患点或已经发育的地质灾害点,可设置挡土墙,一则可减轻边坡失稳的程度,二则可减少降雨对坡面的冲刷侵蚀。对于洞庭湖组倾倒式边坡可在挡土墙的表面设置排水孔,从而增加抗滑系数。对于汨罗组淘洗式边坡可在设置挡土墙前进行喷浆固化处理,堵塞导水通道,减弱水力排泄对边坡的淘洗弱化。

(5)加强地灾巡察和预警。在汛期前后对崩塌滑坡隐患点、易发点进行巡察,发现隐患,及时处置。

5 结论

(1)查明研究区共发育滑坡崩塌24处,其中发育于汨罗组18处,洞庭湖组8处(其中2处是汨罗组和洞庭湖组共同发育、2处是中村组和洞庭湖组共同发育),发育滑坡1处(汨罗组)。规模上以小型为主,多发育于人工切坡所形成的高陡边坡。

(2)通过对崩塌灾害发育特征及成灾机理分析,认为其内因主要为地层,即洞庭湖组和汨罗组,诱发因素主要是工程开挖和降水,但崩塌的发育机理各有不同,洞庭湖组发育倾倒式崩塌,汨罗组发育淘洗式崩塌。两种不同类型的崩塌应采取不同的针对性防范措施。

武汉地质调查中心连志鹏高级工程师在野外调查工作中给予了帮助,审稿专家和编辑部给本文提出了许多宝贵修改意见,在此表示诚挚感谢!

参考文献:

- 柏道远,李建清,马铁球,王先辉,彭云益,李纲,周柯军.2010.第四纪江汉-洞庭盆地东部中段构造-沉积地貌类型划分及特征[J].地理科学,30(2):236-241.
- 董好刚,霍志涛,田盼.2018.崩塌、滑坡与涌浪—认识三峡库区地质灾害[J].华南地质与矿产,34(4):360-365.
- 高莎,尹业梦.2024.湖北十堰某降雨诱发滑坡的变形特征分析及防治措施[J].城市地质,19(3):376-382.
- 胡丁水.2023.黄土区乡镇切坡建房调查及其对边坡稳定性的影响研究[D].兰州大学硕士学位论文.
- 湖南省地质调查院.2009.1:25万岳阳市幅(H49C003004)区域地质调查报告[R].
- 湖南省地质环境监测总站,湖南省岳阳县国土资源局.2004.湖南省岳阳县地质灾害调查与区划报告[R].

- 康怀信. 2024. 网纹红土滑坡的稳定性及治理分析-以江西九江长虹东大道滑坡为例 [D]. 中国地质大学 (北京) 硕士学位论文.
- 雷祥义. 1995. 陕西泾阳南源黄土滑坡灾害与引水灌溉的关系 [J]. 工程地质学报, 3(1): 56-64.
- 黎义勇, 彭 轲, 赵信文, 穆启超. 2012. 鄂西清江水布垭库区鹰嘴岩崩塌体成因机理分析 [J]. 华南地质与矿产, 28(3): 243-247.
- 廖红建, 李 涛, 彭建兵. 2011. 高陡边坡滑坡体黄土的强度特性研究 [J]. 岩土力学, 32(7): 1939-1944.
- 廖化荣, 郑小战, 张 聪. 2012. 广州斜坡类地质灾害类型及特征研究 [J]. 广东土木与建筑, (6): 57-59.
- 陶志平, 周德培, 王亨林. 2003. 三峡库区巨鱼沱滑坡地质特征及防治研究 [J]. 工程地质学报, 11(4): 406-410.
- 王耀明, 赵华宏, 张 胜, 赵勇刚. 2009. 安徽繁昌滑坡群形成机理及稳定性分析 [J]. 灾害学, 8: 34-37.
- 肖尚德, 唐辉明, 唐睿旋, 秦华刚. 2016. 恩施盆地红层边坡变形破坏模式研究 [J]. 工程地质学报, 24(6): 1080-1087.
- 熊金安, 汪 磊. 2013. 深圳斜坡类地质灾害特征及成因分析 [J]. 地质灾害与环境保护, 24(32): 70-75.
- 严长城. 2024. G213 线公路某边坡崩塌特征及其成因分析 [J]. 四川水泥, 7: 228-230.
- 赵信文, 彭 轲, 金维群, 黎清华, 黎义勇. 2009. 鄂西长阳地质灾害发育特征及影响因素分析 [J]. 华南地质与矿产, 25(3): 77-82.
- 曾 胜, 李振存, 韦 慧, 郭 昕, 王 健. 2013. 降雨渗流及干湿循环作用下红砂岩顺层边坡稳定性分析 [J]. 岩土力学, 34(6): 1536-1540.
- 周宏博, 孙树林, 尚文涛, 黄勇博. 2012. 降雨雨型和强度对土边坡稳定性影响分析 [J]. 科学技术与工程, 12(11): 2602-2606.