

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.02.17

广州市崩塌地质灾害影响因素研究

吕镁娜

(广州市地质调查院, 广东 广州 510440)

摘要: 随着广州市人口增长、经济和城市现代化的快速发展,城市的地质环境遭到破坏,地质灾害频繁发生,其中崩塌地质灾害是广州市分布最广泛、影响最大的灾种,占广州市全部地质灾害的76.6%,严重威胁人民群众的生命和财产安全。本文通过定性及半定量的方法,总结近几年广州市崩塌地质灾害次数、位置、类型等信息,分析广州市崩塌地质灾害的主要发育特征及影响因素,研究结果显示广州市崩塌地质灾害发育时空特征明显,且与地形地貌、岩土结构、地层岩性、降雨特征及人类工程活动密切相关,其中降水变化和人类工程活动是控制广州市崩塌地质灾害活动的主要因素,为广州市地质灾害防治提供依据。

关键词: 崩塌;发育特征;影响因素;广州市

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)02-0127-07

Research on the influence factor of collapse in Guangzhou

LYU Meina

(Guangzhou Geological Survey, Guangzhou, Guangdong 510440, China)

Abstract: As the increasing of population, development of economy and urban modernization of Guangzhou city, the geological environment has been destroyed. The geological hazards happened frequently, especially the collapse, threatens the safety of resident and their property. This article using qualitative and half quantitative method, summarizes the times, location and types of collapse in Guangzhou to analyze the development characteristics and major influence factors of collapse in Guangzhou. The result shows that collapse in Guangzhou is deeply related to topographic features, geotechnical structure, formation lithology, rainfall characteristics and human engineering activities. Precipitation change and the human activities is the main inducing factors of geological hazards in Guangzhou. This article provides references for the prevention of geological hazards in Guangzhou.

Keywords: collapse; development characteristics; influence factor; Guangzhou City

0 引言

广州市地处中国大陆南方、广东省的中南部、珠江三角洲北缘,自然地质条件较为复杂,随着广州城市建设的迅速发展,人类工程活动强力参与到自然地质作用过程中^[1],导致各类地质灾害时有发生,其中崩塌地质灾害是广州市分布最广泛、影响最大的灾种,突发性强,群发性程度高,致灾作用强烈,且具有隐蔽性,严

重威胁人民群众的生命财产安全,已成为广州市经济发展较为突出的不利因素^[2]。

本文通过定性及半定量的方法,总结广州市崩塌地质灾害的发生特征,分析近几年广州市崩塌地质灾害的主要影响因素,研究崩塌地质灾害与地层岩性、坡高、坡度、降雨量、土质等因素的关系,为广州市的地质环境保护、科学规划建设及崩塌地质灾害的防治提供技术支撑。

收稿日期: 2019-07-18; 修订日期: 2019-09-03

作者简介: 吕镁娜(1987-),女,地质工程专业,硕士,主要从事水文工程环境地质相关工作。E-mail:274159687@qq.com

1 广州市崩塌地质灾害的基本情况

崩塌是山体斜坡主要的破坏方式,斜坡岩土体被陡倾的拉裂结构面切割,在外力作用下,突然脱离母体而快速翻滚、跳跃和向下坠落,堆积于斜坡坡脚部位,即为崩塌。崩塌大都发生于高陡斜坡的坡肩部位,它的基本特征是质点位移矢量垂直方向明显大于水平方向,崩塌发生时无依附面,常常是突然发生,运动过程快速完成^[3]。

近年来,广州市各种规模的工程建设活动数量急剧上升,崩塌地质灾害活动日趋强烈,2003 年至 2018 年,广州市共发生各种类型地质灾害 1 351 处,其中崩塌 1 035 处,占总数的 76.6%,给广州市的经济建设和人民生命财产安全带来了极大的危害。

2 广州市崩塌地质灾害的时空特征

根据广州市地质调查院资料,2014—2018 年广州市 491 处有记录的崩塌地质灾害发生的时间和位置,统计结果见图 1 和图 2。通过图 1 可以看出,在时间上,广州市崩塌地质灾害的发生主要集中在 5~8 月,占全年崩塌地质灾害的 94.3%,其中 5 月和 6 月前汛期是广州市崩塌地质灾害最活跃时期。通过图 2 可以看出,在空间位置上,崩塌地质灾害主要发生在广州市北部从化区、增城区、花都区、黄埔区等地,占全部崩塌的 82.3%。由此可见,广州市的崩塌地质灾害时空分布特征显著。

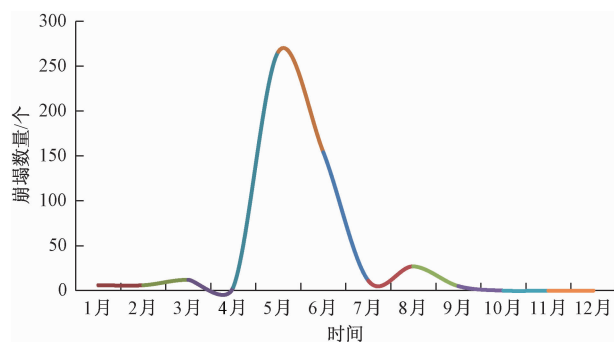


图 1 广州市崩塌地质灾害发生时间统计图

Fig. 1 Statistics of collapse time in Guangzhou City

3 崩塌的主要影响因素

从已发生的崩塌地质灾害时空分布特征看,崩塌地质灾害的孕育、形成到发生的过程,主要受斜坡地形地貌、地层岩性、地质构造、降雨分布特征及人类工程活动程度强度等主要因素的控制,其中地形地貌、地层

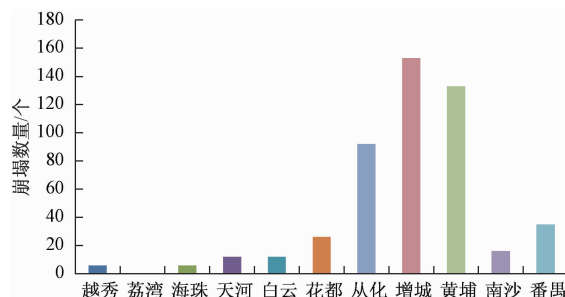


图 2 广州市崩塌地质灾害发生空间统计图

Fig. 2 Statistics of collapse location in Guangzhou City

岩性、地质构造是形成崩塌地质灾害的内因,降雨及人类工程活动是诱发崩塌地质灾害的外因。全市地质灾害分布点多面广,具有隐蔽性、突发性、不确定性等特点,其危害严重,预防难度较大,救治难度高^[4-7]。

3.1 地形地貌特征对崩塌的影响

地形地貌特征对崩塌的控制程度主要体现在斜坡高度和斜坡坡度两个主要方面。图 3、图 4 是对 1981—2016 年间广州市 958 个崩塌实例与斜坡相对高差和斜坡坡度的统计分析结果。从图 3 中可以发现,广州市产生崩塌的斜坡高度为 5~45 m,斜坡高度越大,坡高临空环境特征发育愈好,对斜坡的稳定性越不利,产生崩塌的规模越大,崩塌的危险性程度越高;从图 4 中可以发现,斜坡的坡度愈陡,产生崩塌地质灾

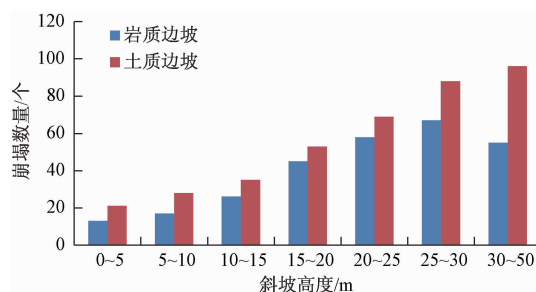


图 3 广州市崩塌与斜坡高度关系统计图

Fig. 3 Relation between collapse and slope height

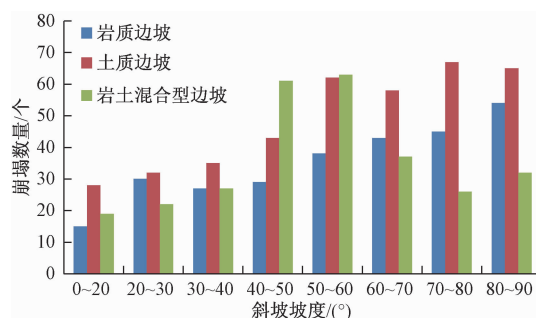


图 4 广州市崩塌与斜坡坡度关系统计图

Fig. 4 Relation of collapse and slope gradient

害的可能性愈大,特别是岩质斜坡和土质斜坡的坡度越大,崩塌的比例越高,且土质斜坡发生崩塌的概率大于岩质边坡;岩土混合型崩塌地质灾害主要分布于40°~70°坡度的斜坡内。

3.2 岩土结构对崩塌的影响

斜坡岩土结构组合特征是崩塌与滑坡形成的基础,它控制了崩塌发育的规模及边界,特别是顺坡向的结构面是斜坡失稳崩塌的主控结构面。一般而言,当斜坡由顺坡向断层面或岩层层理面控制时,斜坡岩土体极易沿顺坡向的主控结构面产生整体滑移式崩塌,这种类型的滑移式崩塌规模大,破坏性强,危害程度高^[8]。当斜坡岩土体发育多组结构面时,多组结构面的组合关系连续性及其发育程度决定了斜坡岩土体崩塌的形式,特别是斜坡被多组结构面切割而成的块体,常常产生突发性的拉裂式崩塌;当斜坡结构面连续性好、主控结构面呈贯通状态时,特别是斜坡岩土体内发育有抗剪强度低的软弱夹层或泥化夹层结构面时,易产生滑移式或鼓胀式崩塌地质灾害。当层状岩体斜坡内发育有陡倾角结构面时,斜坡层状岩体易向斜坡岩土体临空方向产生弯曲倾倒变形,斜坡岩层之间易产生拉裂错动,一旦斜坡后缘形成拉裂缝和槽沟时,在重力和雨水的渗入作用下,易产生倾倒式崩塌。表 1 是 1995—2016 年间广州市不同坡体结构斜坡崩塌地质灾害的分类统计结果。

从表 1 中可以看出,广州市辖区内的崩塌地质灾害主要分布于类土质坡体结构斜坡、块状坡体结构斜坡和层状坡体结构斜坡内,它们分别占已发崩塌数量的 40.71%、26.72% 和 19.52%,并且岩质崩塌主要发生于块状坡体结构斜坡,土质崩塌基本分布于类土质坡体结构斜坡。

3.3 地层岩性对崩塌的影响

一般而言,斜坡地层的岩性硬程度不同,对崩塌地质灾害发育程度的影响也存在明显的差异。软弱岩层、软硬相间的岩层、松散堆积层、坡残积层及全、强风化岩等地层岩性组成的斜坡,岩土体结构松散、裂隙发育,降雨及其地表径流沿斜坡岩土体裂隙下渗,极易引发崩塌地质灾害。从整体上看,具松散结构的残坡积土层、胀缩土和崩坡积土层斜坡地带崩塌分布最广泛,这主要是松散岩类斜坡岩土体工程地质性质软弱,抗剪强度低,在降雨及人类工程活动影响下容易产生斜坡变形,从而产生崩塌活动;岩浆岩类斜坡崩塌主要分布在全、强风化层地带内;变质岩类斜坡、碎屑岩类斜坡和碳酸盐岩类斜坡以小型块状岩质崩塌为主,多沿卸荷裂隙和节理裂隙发育。

表 1 广州市不同类型斜坡崩塌统计

Table 1 Statistics of collapse in different type of slope

斜坡结构类型	崩塌数量/个	百分比/%
类土质坡体结构	390	40.71
基座式坡体结构	99	10.33
层状坡体结构	187	19.52
松散破碎坡体结构	26	2.71
块状坡体结构	256	26.72

根据广州市城市地质调查工作成果(广东省地质调查院,2011),按广州岩体工程地质特征,将广州境内岩体划分为 8 个岩性组,表 2 是据此分类的广州市崩塌地质灾害分布统计结果。从表 2 中可以看出,广州市崩塌地质灾害主要分布于侵入岩岩性组、碳酸盐岩性组及碎屑岩岩性组中,它们约占全部崩塌数量的 73.4%。广州大量的崩塌地质灾害都发育于基岩风化壳层中。广州属亚热带气候,基岩风化强烈,风化壳层厚度大,一般有几米至十几米厚(图 5)。

表 2 广州市各类工程地质岩组斜坡崩塌统计

Table 2 Statistics of collapse and geological lithologic formation in Guangzhou

工程地质岩组类别	崩塌数量/个	百分比/%	工程地质岩组类别	崩塌数量/个	百分比/%
侵入岩岩性组	503	52.51	碳酸盐岩岩性组	112	11.69
喷出岩岩性组	36	3.76	混合岩、片麻岩岩性组	57	5.95
碎屑岩岩性组	95	9.92	片岩、板岩及千枚岩岩性组	68	7.10
红层碎屑岩岩性组	47	4.91	含膏盐红层碎屑岩岩性组	23	2.40

3.4 降雨分布特征对崩塌的影响

虽然诱发崩塌的因素很多,但从国内外不同类型崩塌诱发因素与降雨活动的统计学特征看,降雨过程及降雨强度变化是诱发崩塌地质灾害活动最为活跃的因素。因此,从统计学的角度出发,分析降雨量、降雨

强度和降雨过程与崩塌地质灾害时间分布规律之间的相互对应关系,可以深入地认识降雨活动诱发崩塌的成因机理,更好地提高广州市崩塌地质灾害的预警预报水平。
广州市属亚热带季风气候,全年气候温和,雨量

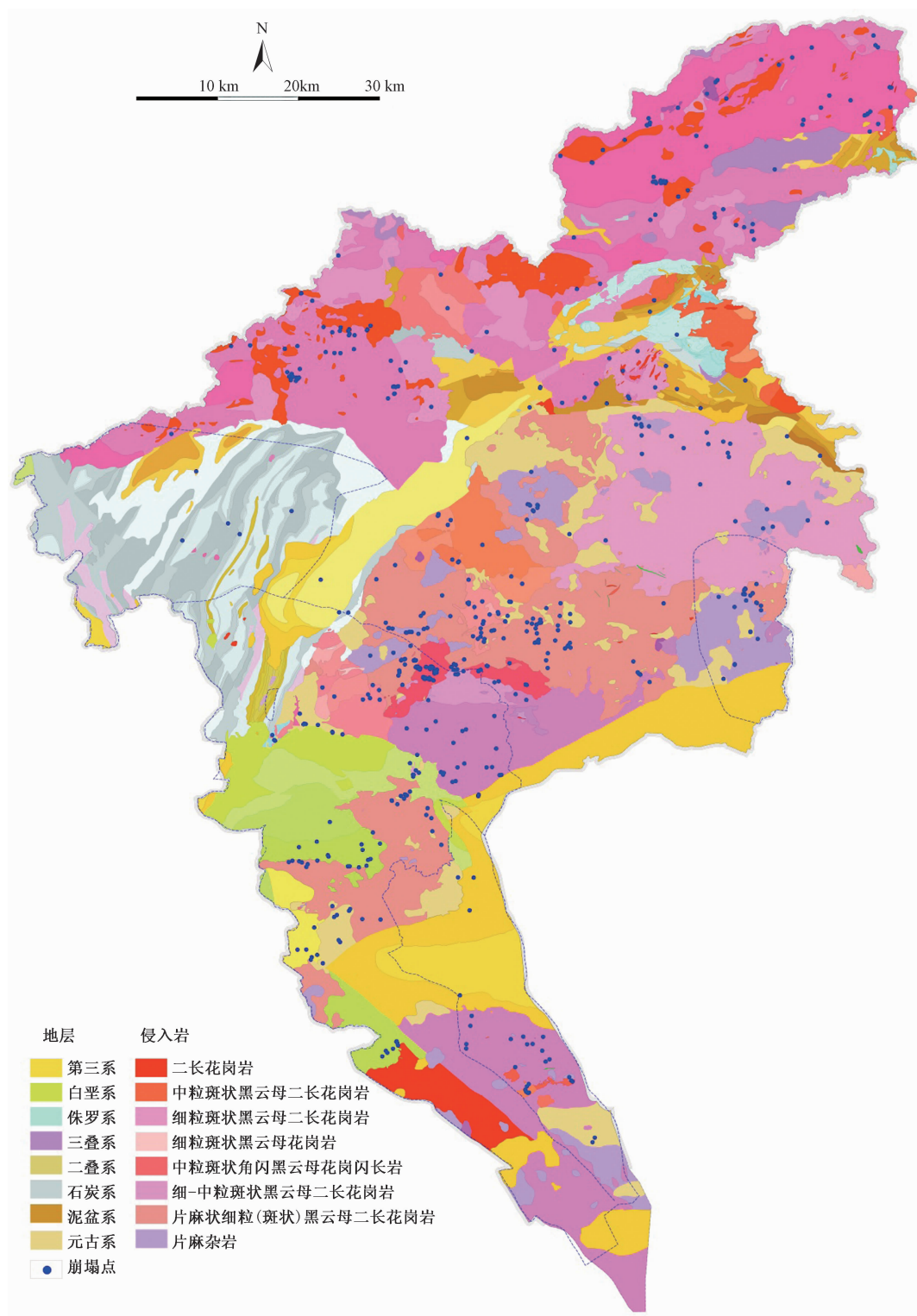


图 5 广州市崩塌地质灾害分布示意图

Fig. 5 Distribution of collapse in Guangzhou City

丰沛,台风频繁、暴雨及持续性降雨多,一般年降雨量 1 800 ~ 2 200 mm,雨季多集中在每年的 4 ~ 8 月。6 ~ 9 月降水占全年的 80% 以上,5 ~ 10 月常出现暴雨。多年

平均年暴雨数为 4 ~ 6 d,最大 24 h 降雨量大于 200 mm,暴雨持续时间一般为 1 d 左右,约有 1/7 的暴雨可持续 2 d,暴雨是崩塌与地质灾害的主要诱发因素。

根据广州市降雨量分布特征,对 1990—2016 年间降雨量大小与崩塌地质灾害的空间分布特征进行统计分析,结果见图 6。可以看出,崩塌的分布密度与降雨量空间分布特征呈现出很好的正相关性,年降雨量超过 1 800 mm 以上的区域,崩塌地质灾害占总量的 81.32%。

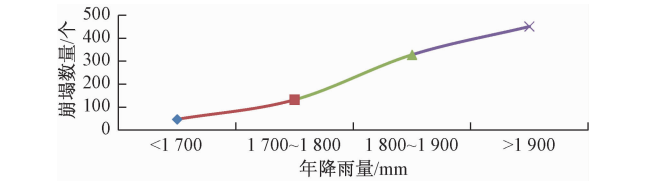


图 6 广州市降雨量与崩塌个数的关系统计图
Fig. 6 Statistics of collapse and rainfall capacity

表 3 崩塌与日降雨强度及降雨类型的关系统计

降雨类型及 日降雨强度/mm	rainfall pattern					崩塌 数/个
	50 ~ 100	100 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 250	>250	
强降雨/次	136	71	46	31	28	352
崩塌活动/%	17.3	31.2	25.6	13.6	12.3	
持续降雨/次	516	495	243	98	37	518
崩塌活动/%	5.2	23.7	36.1	25.3	9.7	

从崩塌地质灾害活动的时间上看,台风暴雨期的强降雨会快速形成崩塌地质灾害,而持续性降雨,特别是每年 4~6 月的“龙舟水”期间,由于山体斜坡浅层风化坡残积土体受降雨入渗的影响,导致山体斜坡土体含水量增大,抗剪强度降低,更易形成大范围的崩塌。表 3 是广州市多年来日降雨强度和降雨类型与崩塌地质灾害活动的关系统计,从表 3 中可以看出,由突发性强降雨(单日降雨量大于 50 mm 的降雨过程)引发的崩塌地质灾害 352 次,占总数的 40.46%;由持续性降雨(连续三天降雨且降雨量大于 50 mm 的降雨过程)引发的崩塌地质灾害 518 次,占总数的 59.54%,说明持续性降雨对广州市崩塌地质灾害活动的影响更为强烈,特别是持续性降雨过程中遇到暴雨,更易发生大规模的区域性崩塌地质灾害活动。

3.5 人类工程活动对崩塌的影响

随着广州市经济建设的快速发展,各种人类工程活动规模日益扩大,特别是道路建设、采石取土、采矿活动、水利工程和农村切坡建房等工程建设活动,诱发了大量的崩塌地质灾害。据广州市地质调查院的崩塌调查统计资料分析,近 15 年来,广州市的崩塌活动有 90% 以上与人类工程活动有不同程度的直接关系,特别是山区农村切坡建房和新修公路,常常造成突发性的崩塌地质灾害。人类工程活动对崩塌时间分布规律

的影响主要表现在以下几个方面:

(1) 公路沿线人工开挖边坡引发崩塌

随着各类公路特别是广州北部山区公路的大量修建,广州市的交通运输条件日益改善,但由此类工程活动引起的崩塌屡见不鲜。公路沿线的山体斜坡地带,特别是北部中、低山及丘陵地区新建公路的边坡地带,每年雨季极易产生崩塌活动。公路沿线的崩塌主要是不合理开挖路堑边坡,改变了原始斜坡的应力平衡状态引起的,这类工程开挖造成的崩塌时间分布较为集中,大都在每年的雨季集中产生,对公路运营及行人的安全危害极大^[9]。例如,2002—2004 年间,广州市从化区 105 国道进行扩建工程施工,每年雨季都要产生不同规模的崩塌地质灾害。

(2) 人工切坡建房引发崩塌

广州市北部山区地形地貌复杂,工农业生产活动强度随着人口的增加而发展迅速,土地供应日趋紧张,人们常在山体斜坡地带切坡平整土地,修建房屋,形成各种各样的人工高陡边坡,常常诱发崩塌。这类崩塌的发生时间大都发生于每年的雨季,经统计广州市 1982—2016 年间人工切坡建房诱发崩塌地质灾害,其中雨季发生的数量约占人工切坡建房诱发全部崩塌总数的 85% 以上,且人工切坡建房诱发的崩塌的突发性强,危害严重。

(3) 采矿工程活动引发崩塌活动

近年来,广州市经济社会的迅猛发展,特别是各类工程建设活动的规模愈来愈大,对建筑石料矿产资源的需求日趋旺盛^[10],各类露天采石场矿山建设工程的规模不断加大,其开挖形成的高陡边坡经常产生规模不等的崩塌地质灾害。广州市由于建筑工程市场发达,对建筑石料的需求大,采石场分布密度高,相应的采石场人工边坡崩塌地质灾害活动强烈,且采石场开采石料诱发崩塌地质灾害大部分都发生于雨季,其数量约占采矿工程活动诱发全部崩塌总数的 71% 以上。

4 崩塌地质灾害典型案例

本文列举两个广州市近几年发生的影响较大的典型崩塌地质灾害案例,两处崩塌地质灾害时间上均发生在汛期,区域上均位于花岗岩地区,且岩石风化强烈,大部分呈残、坡积土状态,造成的地质灾害影响大,后果严重。

案例一:番禺区大石街某山体崩塌

番禺区大石街某山体,高约 20 m,横宽约 200 m,坡度近垂直,坡体岩性主要为花岗岩风化残、坡积土及

强风化岩,坡面裸露,坡脚为振兴水洗厂简易结构厂房,距坡脚约 0.5 ~ 3 m。

受连续降雨影响(据气象局大石街雨量站数据,该地区 15 日以来降雨量达 50 mm),该边坡分别于

2016 年 8 月 3 日和 2016 年 8 月 19 日连续发生两次崩塌,其中 8 月 19 日凌晨 4 时崩塌,崩塌段宽约 20 m,崩塌体体积约 1 500 m³,压毁坡脚一间水洗厂房,造成 1 人死亡、3 人受伤,直接经济损失约 10 万元(图 7)。



图 7 番禺某山体崩塌

Fig. 7 Collapse occurred at Panyu

案例二:2014 年 5·23 特大暴雨引发群发性崩塌地质灾害

2014 年 5 月 22 日夜间至 23 日白天,从化东北部、增城北部地区出现大暴雨,局部特大暴雨,日降雨量均超过 200 mm 以上,多处超 1950 年以来的历史记录。22 日 20 时至 23 日 20 时,从化城郊玫瑰园雨量达到 320.5 mm(从化区域自动站历史最大雨量 311.3 mm),增城派潭镇大封门雨量达到 477.4 mm(增城区域自动站历史最大雨量 313.4 mm)(图 8、图 9)。



图 8 从化区江埔街海垦村大灶佛边坡

Fig. 8 Dazafo slope in Hailang village, Jiangfu street, Conghua district

受此次特大暴雨影响,从化、增城北部地区及花都东部地区发生群发性崩塌地质灾害,经统计,增城、从化、花都共发生崩塌地质灾害 172 处,受地质灾害影响,大量民房和交通等设施受损或完全破坏,造成从化流溪河林场 1 人因公殉职,1 人受伤,直接经济损失共计约 1 310.2 万元。

根据上述两个典型案例得出,造成广州市崩塌地



图 9 从化区温泉镇中田村沈山下社 11 号北侧边坡

Fig. 9 Slope at north No. 11 Shenshanxia club, Zhongtian Village, Wenquan town, Conghua district

质灾害频发的主要原因有 3 个方面:(1)山地斜坡自身地质环境条件脆弱是发生地质灾害的基本条件。统计,发生崩塌地质灾害的边坡坡度普遍在 65° ~ 75°,边坡较陡。边坡岩性多为花岗岩风化层或残、坡积土层,结构松散,土体含砂量高,饱水后易发生软化、崩解,不利于边坡的稳定。另外部分区域地质构造发育,岩石结构面及风化后的残留结构面存在,结构面顺坡面发育时,加剧山地斜坡岩土体的不稳定性。(2)强降雨是产生地质灾害的主要诱发因素。2014 年 5 月 22 ~ 23 日,增城市派潭镇出现持续强降雨,最大降雨量达 477.4 mm,正果镇麻畝村附近的降雨量达 414.8 mm,其它从化、花都等其它镇街降雨量多达 200 mm 以上,持续的强降雨,大量雨水渗入坡体,导致风化岩或残、坡积土强度降低,重力增加,发生崩塌地质灾害。(3)部分区域农民削坡建房和交通等设施挖填边坡,山地边坡未加固或加固不牢,不同程度上改变

山地边坡的稳定性,成为诱发地质灾害的次要因素之一。据统计,2014年5·23期间核定的172处崩塌地质灾害点中,有120处均存在人类削挖山体形成人工边坡,而人工边坡采取加固措施的占19.3%,未采取任何加固措施的占80.7%,削坡后沿斜坡修筑排水工程的几乎为零。

5 结论

本文通过分析研究广州市近几年的地质灾害数据,得出以下结论:

(1)广州市地质灾害类型主要以崩塌为主,占全部灾害的70%以上,给广州市的经济建设和生命财产安全带来了较大的危害。

(2)广州市崩塌活动的时间分布规律主要受降水变化和人类工程活动的控制。从区域性崩塌活动的时间分布特征看,降雨作用是影响崩塌活动年际时间分布规律的主要因素;崩塌活动具有明显的季节集中性,呈单峰分布曲线,主要集中于每年6~9月的雨季发生,且广州市崩塌活动的同发性、滞后性及重复性特征明显,突发性强,隐蔽性程度高,灾难性事件频发;从近三十年来广州市崩塌活动的发展趋势看,人类工程活动造成的崩塌地质灾害明显呈上升趋势,其时间分布规律的随机性程度变强。

(3)广州市崩塌地质灾害的发生受地形地貌、岩土体结构、地层岩性、气候水文条件、人类工程活动强度等因素的控制,其中降雨的渗透作用是产生崩塌的主要外因,崩塌地质灾害的发育程度与降雨强度密切相关,同时近几年人工开挖边坡坡度过陡、高度过大,导致边坡失去平衡状态,也是引发广州市崩塌地质灾害的主要因素。

(4)从崩塌物质的组成类型看,广州市崩塌以土质崩塌和岩质崩塌为主,岩土混合型崩塌的数量相对较少。

参考文献:

- [1] 杨新安,于敏,程军. 中国沿海城市地质环境灾害及其防治对策[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),1999,18(5):497-499. [YANG X A, YU M, CHENG J. Coastal geological environment and geological hazard and countermeasures in China. [J]. Liaoanng University of Engineering and Technology Journal(Nation Science Edition),1999,18(5)497-499(in Chinese)]
- [2] 谢先德. 广东沿海地质环境与地质灾害[M]. 广州:广东科技出版社,2003. [XIE X D. Geological environment and geological hazards along the coast of Guangdong province [M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 2003. (in Chinese)]
- [3] 易顺民,梁池生. 广东省地质灾害及防治[M]. 北京:科学出版社,2012. [YI S M, LIANG C S, Geologic hazard and prevention in Guangdong province [M]. Beijing: Science Press,2012. (in Chinese)]
- [4] 符诗存,张建国. 广州市地质灾害现状与防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报,2008,19(3):92-95. [FU S C, ZHANG J G. Present status of the geology disaster and countermeasures on Guangzhou City[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(3): 92-95. (in Chinese)]
- [5] 郭宇,黄健民,周志远,等. 广东广州市白云区金沙洲地区地质灾害现状及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报,2013,24(3):100-104. [GUO Y, HUANG J M, ZHOU Z Y, et al. Geological hazard situation and control countermeasures in Jinshazhou area, Baiyun district of Guangzhou City [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(3): 100-104. (in Chinese)]
- [6] 倪研贤,刘会平,刘江龙,等. 广州市主要坡面地质灾害成因与分布研究[J]. 工程地质学报,2006(14):57-61. [NI Y X, LIU H P, LI J L, et al. The research of slope geological hazard factor and distribution in Guangzhou [J]. Journal of Geological Engineering, 2006(14): 57-61. (in Chinese)]
- [7] 刘会平,王艳丽,刘江龙,等. 广州市主要地质灾害成灾机制与时空分布[J]. 自然灾害学报,2005,14(5):149-153. [LIU H P, WANG Y L, LIU J L, et al. The main geological hazard genesis mechanism and spatialtemporal disturbution [J]. Journal of Nature Disaster, 2005,14(5):149-153. (in Chinese)]
- [8] 赵魁,李紫秋,姚多喜. 广州市白水寨森林公园地质灾害特征及防治对策[J]. 西部资源,2016(3):17-18. [ZHAO K, LI Z Q, YAO D X. The geological hazards and prevention countermeasures of Baishuizhai forest park[J]. Western Resources, 2016(3):17-18. (in Chinese)]
- [9] 黄桂芝,董平. 预防矿山地质环境灾害的对策研究[J]. 煤炭工程,2002(10):40-42 [HUANG G Z, DONG P. The research countermeasure of prevent geological environment hazard in mines [J]. Coal Engineering,2002(10):40-42. (in Chinese)]