2003 年 4 月
24 卷 3 期:243-248

地 球 学 报
ACTA GEOSCIENTIA SINICA

June 2003
24(3):243-248

广东沿海陆地表层地质灾害控制因素分析

朱照宇[1)] 黄宁生[2)] 周厚云[1)] 文启忠[1)] 阎满存[1)] 钟健强[3)] 谢先德[1)]

(1)中国科学院广州地球化学研究所,广东 广州,510640;2)广东省科学院,广东 广州,510070;
3)中国科学院南海海洋研究所,广东 广州,510301)

摘 要 根据地质环境背景资料和近 350 个地质灾害点和数十个水土流失区的数据库对广东沿海陆地表层地质灾害进行了综合分析和统计分析。结果表明,地质灾害的主要控制因素可分为三大类:地质环境因素、气候气象因素和人类活动因素,其中地质环境因素又可分为构造不稳定因素、斜坡不稳定因素和地面不稳定因素。指出,在广东沿海地区,除了地震灾害外,陆地表层地质灾害的主控因素是气候气象因素和人类活动因素,这是与山区以地质环境因素(尤其是内动力作用)为主是不相同的。降雨强度和时间、台风雨和风暴潮以及人类活动等对边坡和植被的改造是在沿海地区现有的地质环境背景下地质灾害多发的主要动力源。

关键词 地质灾害 地质环境 气候气象 人类活动 广东沿海

An Analysis of the Factors Controlling Geological Hazards along the Coast of Guangdong Province

ZHU Zhaoyu[1)] HUANG Ningsheng[2)] ZHOU Houyun[1)] WEN Qizhong[1)]
YAN Mancun[1)] ZHONG Jianqiang[3)] XIE Xiande[1)]

(1) Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou, Guangdong, 510640; 2) Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong, 510070; 3) South China Sea Institute of Oceanography, CAS, Guangzhou, Guangdong, 510301)

Abstract On the basis of an integrated and statistical analysis of a series of data involving about 350 sites of geological hazards and numerous areas of soil erosion, the authors hold that there are 3 factors controlling geological hazards on the land surface along the coast of Guangdong Province, i.e., the geo-environmental factor which includes tectonic instability, slope instability and ground instability, the climatic-meteorological factor and the human-activity factor. The main factors responsible for the geological hazards along the coast are climatic change and human activity, but there exists no tectonic activation except for earthquake, which is different from things in the mountain area, where endogenic geological dynamic action is the major factor for the geological hazards. Along the coast, the main dynamic sources that bring about geological hazards are the intensity and duration of the rainfall, the intensity of the typhoon and storm tide, the change in slope and vegetation caused by man activity, which all play their roles in forming the geo-environmental background of the area.

Key words geological hazards geological environment climate human activity Guangdong coast

地质灾害包括自然地质灾害和人为地质灾害,查明地质灾害发生和发展的控制因素是制定正确的防灾减灾措施的前提(段永候,1997;张业成等,1995)。

藉近年来广东省重大科技攻关项目"广东沿海地质环境与灾害防治研究"的实施,笔者对广东沿海陆地主要地质灾害的控制因素进行了综合分析,研究范围一般从全省海岸线向陆地延伸约 50 km,其中韩江三角洲和珠江三角洲地区大约 100 km。主要考察了地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、地面塌陷、地裂缝和水土流失等灾害。由于以往对地震灾害(陈恩民等,1984;刘以宣,1985;张虎南等;1990;詹文欢等,1996)和其他具体灾种的直接成因已有多种文献论述,故本文的重点是陆地表层灾害的宏观控制因素的分析。基础数据和资料来源于近五十年来前人的文献资料(刘以宣,1985;张虎南等;

本文由广东省"九五"重大科技攻关项目"广东沿海地质环境与灾害防治"(960903)和"十五"重大科技专项(2002B30905)资助。
改回日期:2002-4-15;责任编辑:宫月萱。
第一作者:朱照宇,男,1950 年生,博士,研究员,第四纪地质与环境地质专业。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1990;詹文欢等,1996;广东省国土厅,1996;广东省防灾减灾年鉴编辑委员会,1997)和几年来进行的大量野外实地测量与室内样品测试。根据大约 350 个灾害点和数十个水土流失区的资料建立了地质灾害数据库和灾害分布与分区图(图 1),进而进行了综合分析和各种统计分析。地质灾害的控制因素宏观上可归纳为三大类,即:地质环境因素、气候气象因素和人类活动因素,这三类因素对不同的灾种的控制作用是不同的。

1 地质环境因素

1.1 构造不稳定因素

构造不稳定是指地壳构造活动对地质灾害和人类工程建设的影响。构造不稳定的主要问题之一是断裂的活动性。活动断裂是诱发强烈地震的主要构造,也是引起崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝和地面塌陷等灾害的因素之一,并在很多地区控制着这些灾害的空间分布。能够对人类产生灾害的活动断裂,一般是全新世 1 $\times 10^4$ a 以来具有活动的断裂。地震不仅是一种灾害,同时也是一种引起各种地表灾害的构造不稳定因素之一。

构造不稳定的另一主要问题是地壳的垂直升降运动,其导致了隆起区和坳陷区的形成与演化,因而就控制了沉积建造的分布。在沉降区的平原及三角洲地带,沉积层中夹有大量软土,持力极差,因而其危害性极大;在隆起区则由于坡度加大和风化作用加强而容易引起斜坡灾害和水土流失。

广东沿海构造线总体呈 NEE 向展布,向东逐渐转成 NE 及 NNE 向,形成凸向东南的大陆边缘弧,由此控制了中新生代岩浆岩带、沉积盆地和现代地形地貌的展布。但这里很重要的一个特征是发育了时代较新的 NW 和 NNW 向断裂带以及隐伏的近 EW 向构造,并往往控制了断块盆地、三角洲平原和水系格局的分布。强震控震构造为 NE 向构造,但某一地区的震中分布一般呈 NW 向(图 1)。

从广东沿海地区数十个崩塌和滑坡的走向(指垂直于滑动或崩塌运动方向的后壁走向)玫瑰图(图 2)可看出,中-东部的崩塌(图 2-a)以 90°和 300°~320°为主(图 1 中山-澳门一带),滑坡(图 2-c)以 90°为主(图 1 新兴-江门一带);西部的崩塌(图 2-b)以 90°~100°为主,315°和 350°为次(图 1 高州-电白一带),滑坡(图 2-d)也以 90°为主,45°、300°和 345°次之。总体来看,近 EW 向和 NW 向是主导方向,NE 向不太发育。

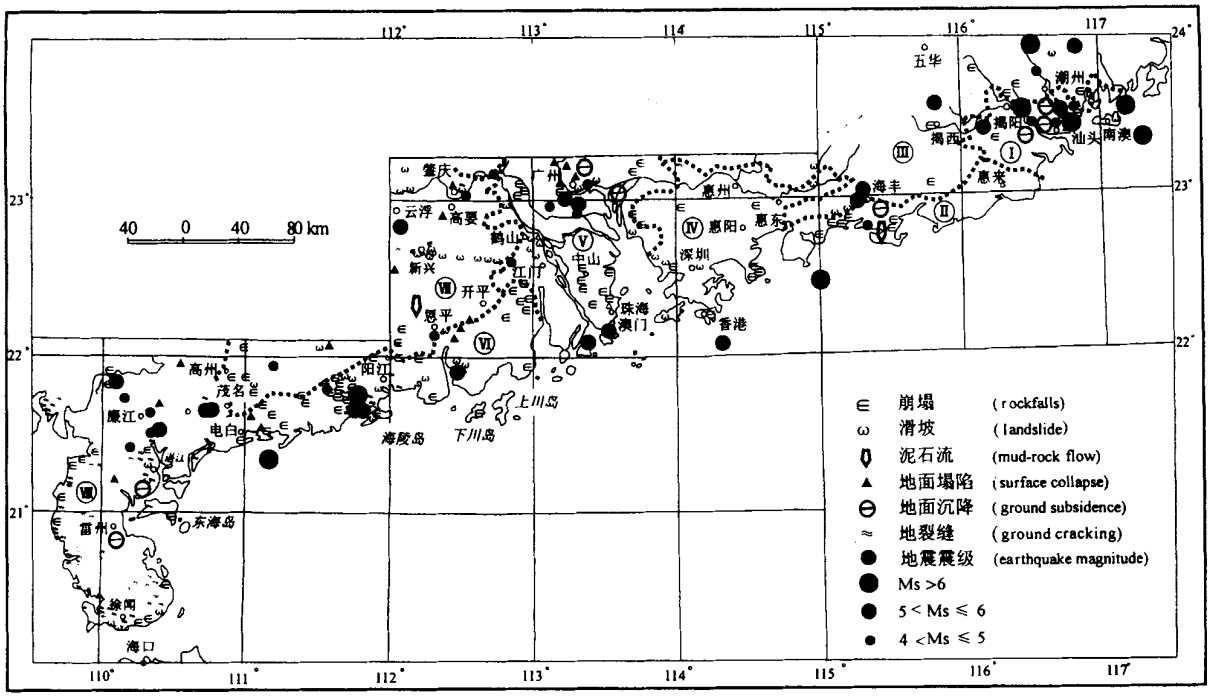

图 1 广东沿海主要陆地地质灾害分布与分区略图(详细区划及其特征见朱照宇等,2001)

Fig. 1 Distribution and regionalization map of main geological hazards along the coast of Guangdong Province

Ⅰ-潮汕平原区;Ⅱ-粤东沿岸丘陵平原区;Ⅲ-粤东北山地丘陵区;Ⅳ-粤中丘陵平原区;Ⅴ-珠江三角洲平原区;Ⅵ-粤西沿岸丘陵平原区;Ⅶ-粤西山地丘陵区;Ⅷ-雷州半岛丘陵台地区

Ⅰ-the chaoshan plain area; Ⅱ-the coastal hill-plain area in Eastern Guangdong; Ⅲ-the mountain-hill area in Northeastern Guangdong; Ⅳ-the hill-plain area in Middle Guangdong; Ⅴ-the Pearl River delta plain area; Ⅵ-the coastal hill-plain area in Western Guangdong; Ⅶ-the mountain-hill area in Western Guangdong; Ⅷ-the Leizhou Peninsala hill-platform area

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

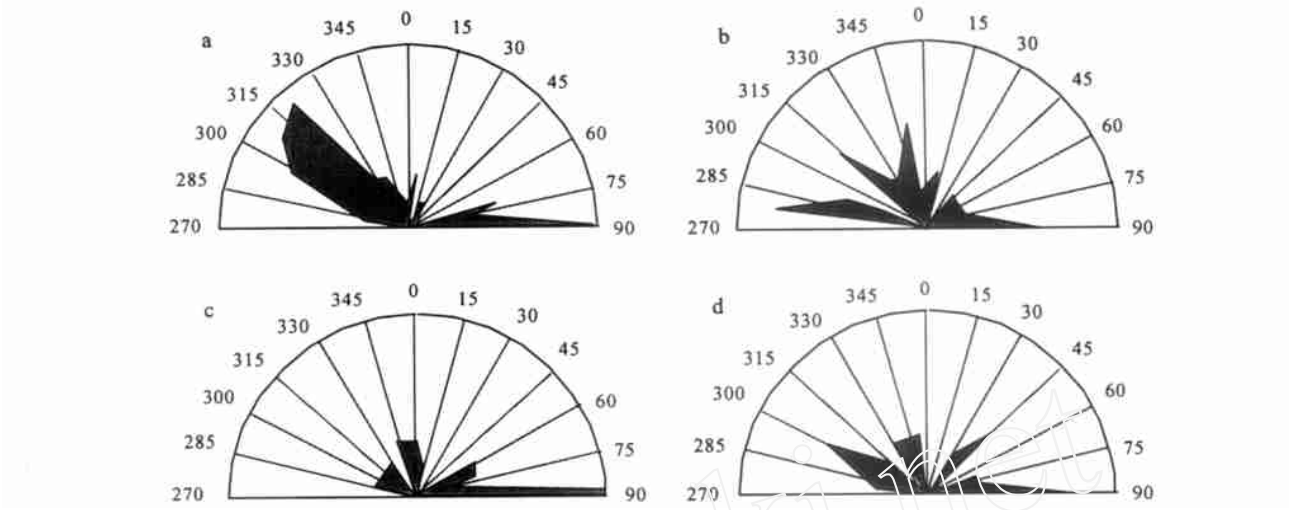

图 2　崩塌和滑坡后壁走向玫瑰图

Fig. 2　Rose diagrams of backwall strike of rockfalls and landslides

a-中东部崩塌;b-西部崩塌;c-中东部滑坡;d-西部滑坡

a-rockfalls in east-center part;b-rockfalls in west part;c-landslides in east-center part;d-landslides in west part

研究中统计了地裂缝最为发育的西部地区数十个地裂缝的走向(图 3)。从图可见,地裂缝的方向较为分散,但仍有其主导方向:近 SN 向 0°至 10°最发育,30°次之,然后是近 EW 向 90°～100°和 NW 向 320°～330°,此外,300°左右方向也较发育(详见图 1 西部 VIII 区)。前 4 组方向反映了下伏岩石或第四纪沉积物的两组共轭构造裂隙:0°～10°与 90°～100°以及 30°与 320°～330°。

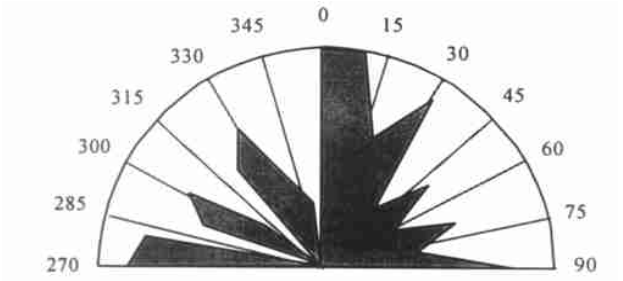

图 3　地裂缝走向玫瑰图

Fig. 3　Rose diagram of strike of ground cracking

1.2　斜坡不稳定因素

斜坡的发育受山麓起伏程度、范围及土体组成和结构等内部因素制约,同时也受气候、植被和人类活动等外动力影响。斜坡的失稳主要导致水土流失、崩塌、滑坡、泥石流等灾害发生。

斜坡不稳定的影响因素主要有 3 个方面:

(1) 坡度:据靳长兴(1995)和郑度等(1998)研究,在流量一定的条件下,当坡度在 24°～29°时,坡面水流所具有的能量达到最大,故侵蚀最大临界坡度为 24°～29°。统计了广东沿海实地调查的崩塌和滑坡的滑塌面角度和其所处部位的斜坡边坡角度(图 4)。从图可见,在崩塌灾害中,两种角度具有较好的相关性,多数崩塌发生于 30°以上的坡地上,且崩塌面倾角一般大于坡地自然坡度角;但值得注意的是,有时边坡较缓,坡度在 20°以下,也产生了崩塌。而在滑坡灾害中,尽管绝大多数滑坡发生于 30°以上的坡地上,但两种角度的相关性并不是很好,且往往滑坡滑床倾角小于坡地自然坡度,这说明滑坡的产生在很大程度上并不仅仅依赖于边坡的坡度。上述两种异常应归于气候因素和人类活动的影响。

(2) 坡向:不同的坡向造成日照时间、气温、降雨量和降雨强度的差异。阳坡的温度和湿度变化强烈,致使岩石风化速度加快。阳坡的降雨雨水多,径流大,导致水土流失频发。广东沿海的东南、南和西南坡向的斜坡灾害大于北坡,原因即在于此。

(3) 坡长:坡长与坡度共同影响着斜坡灾害的产生。坡地土壤流失量与坡度的 n 次方成正比,与坡长水平投影距离的 $(n-1)$ 次方成正比(Lumb, 1991)。据此次研究❶,随着坡度的增大,产生滑塌面的深度越小;当坡度相同而坡长不同时,随坡长的增大,滑塌面的深度越小。也就是说,一定坡度和坡长的坡体,当软弱面位于坡体稳定临界深度以下时,坡体就要崩落下滑。

1.3　地面不稳定因素

地面不稳定主要是由于某些类型土体的不良物

❶ 王彦华. 1999. 广东沿海花岗岩矿物风化过程与崩岗形成机理和对策. 广州:中国科学院广州地球化学研究所,博士学位论文. 12～34.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

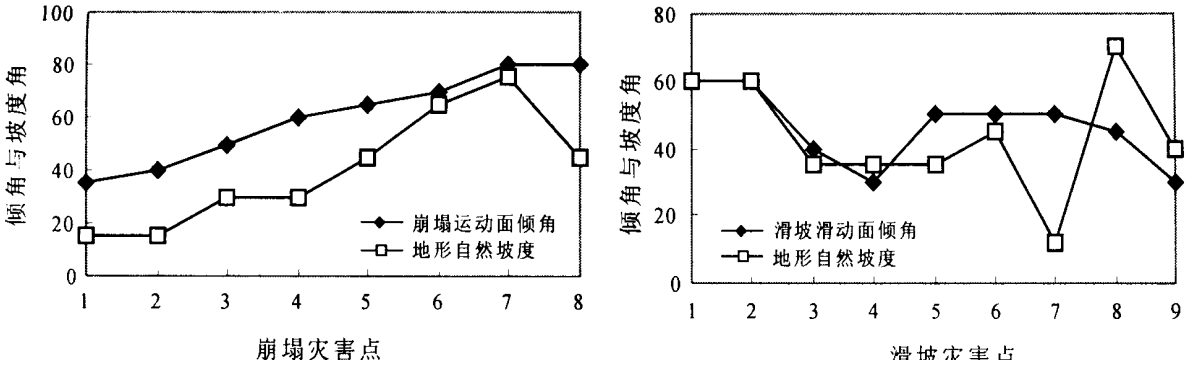

图 4 崩塌(a)和滑坡(b)与坡度关系图

Fig. 4 Relationship between slope and rockfall (a) and btween slope and landslide (b)

理、化学性质所致。其中,软土、胀缩土和残积风化土是广东沿海分布较广的不稳定地面土体。

潮汕平原、碣石湾、大亚湾、珠江口、水东港、湛江港、安铺港等地区的淤泥、淤泥质粘土的物理力学测定表明,软土的天然含水量均大于液限,孔隙比大,压缩性系数为 0.11～0.18 cm^2/kg,承载力为 40～70 kPa。软土的变形、蠕动甚至流动会造成地面变形、沉降、开裂和塌陷,对工程建设和人民生命财产造成直接威胁。

胀缩土由于其矿物成分以蒙脱石和伊利石为主(朱照宇等,1991),故具有显著的吸水膨胀和失水收缩 2 种变形特征,其往往使建筑在其地基上的建筑物、公路、铁路等随着季节性气候的变化反复产生不均匀沉降以及产生地裂缝等。同时,胀缩土边坡不稳定,易产生浅层滑坡。胀缩土主要为第四纪湛江组和玄武岩残积粘性土。胀缩土反复交替的胀缩过程常常导致在地表形成地裂缝。胀缩土遇水后发生明显膨胀,其膨胀力达(0.5～3) $\times 10^5$ Pa,同时,凝聚力、内摩擦角、抗剪强度、承载力等都明显下降;失水后,发生收缩,收缩率可达 10%～35%(卢耀东,1989)。

风化残积土主要分布于丘陵、台地和埋藏于三角州平原第四纪沉积层之下。主要为粘土、亚粘土、碎石土,在丘陵区厚 2.6～30 m,局部达 70 m;埋藏于平原的残积土厚 3.2～20 m,局部达 30 m。残积土压缩系数 0.1～2.89 MPa,容许承载力小于 300 kPa。该土类主要含有高岭石和蒙脱石等矿物(朱照宇等,1991),极易在水的作用下产生滑动、流动,形成土体灾害。根据已知滑坡点发生滑坡的岩性资料的统计,57.7%的滑坡发生于风化壳残积土中,19.2%的滑坡发生于砂页岩中(图 5)。

某些基岩的性质和破裂程度也会导致地面的不稳定性。如岩溶塌陷主要见于石灰岩分布区,岩溶的发育与展布又受碳酸盐岩中之断裂构造及层面构造所控制;沿海广泛发育的花岗岩中发育一组倾向海域的低缓倾角的构造面理,风化后成为抗滑能力弱之介质,极易触发岩体滑塌灾害。

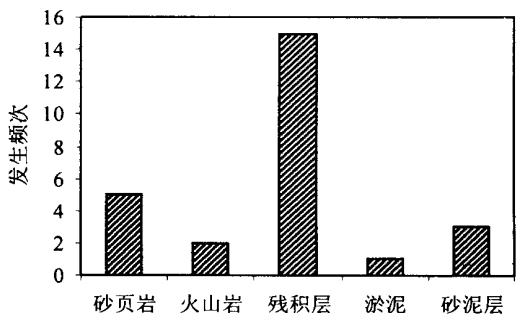

图 5 不同岩性滑坡发生频次

Fig. 5 Frequence distribution of landslides occurred in different lithology

2 气候气象因素

广东沿海地区大部分位于北回归线以南,主要为南亚热带季风气候区;而雷州半岛则属于热带季风气候区。该区虽然热量丰富且雨量充沛,但却存在着台风、暴雨和干旱等灾害性天气。

2.1 风动力

广东海域季风气候明显,冬季(11 月至次年 2 月)盛行东北风,平均风力 5 级左右,强冷空气南下时可达 7～8 级;夏季(6～8 月)盛行西南风,平均风力 3～4 级,最大风力可达 7～8 级;春季(4～5 月)是东北季风向西南季风过渡的时期,偏东风频率占优势;秋季(9～10 月)是西南季风向东北季风过渡的时期。据多年观测,东北季风强于西南季风。

广东是热带气旋最活跃的地区之一,强热带气旋(台风)活动过程中,伴有狂风、雷雨、巨浪和暴潮。据统计,热带气旋在 1～4 月极少出现,以后逐月增加,7～11 月为多发期,占全年总数的 79.8%,以后逐月减少。广东每年约有 10～20 个热带气旋,登陆

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的热带气旋在西部多于东部沿岸地区。

此外,在大风和台风引起的海浪作用下会造成海岸侵蚀和崩塌等灾害。广东冬季(11～2 月)盛行东北浪和东南浪,月频率都在 52 %以上,夏季(6～9 月)多发南至西南浪。广东海域平均浪高 1.3 m,平均最大浪高 6.4 m,最大浪高 9.5 m。

2.2　降雨

广东沿海年降雨量大,多在 1 360～2 050 mm 之间,导致该区各主要入海河流的径流量、含沙量和输沙量大,同时各河流及港湾淤积严重。径流量主要集中在 4～9 月的汛期,以至发生水灾,而在枯季则雨水少,径流也少,出现干旱。

降水通过降水量、降水强度和持续时间 3 个因素影响地表地质灾害的发生。一般年降水量高的地区,地表径流活动强,河流深切,对坡脚产生冲蚀掏空作用,形成较多的临空面。暴雨能在短时间内激化斜坡危险区并使其失稳。同时,降水降低了土体力学强度和增加了土体孔隙水压力,由暴雨形成的洪水侧蚀坡以及洪水位消落所产生的水压力,也是坡面失稳的主要因素之一。长时间连续降水,特别是暴雨是引发崩滑流的最主要的因素之一(夏金梧等,1997)。

在一定的地质环境中,降雨对坡体稳定性的影响是通过地表水的渗透而起作用。一方面雨水下渗,坡体的容重增加,水压力增大;另一方面深部土体的饱和度达到一定的值时,抗剪强度急剧降低。在实际渗透过程中,只有降雨强度大于雨水的渗透率时,湿润前锋才会移动。对香港地区的研究资料(李焯芬等,1997)表明,只有在降雨强度为 15～20 mm/ h 时,才对风化花岗岩产生显著影响,而达到这样的降雨强度在广东沿海的几率将近 50 %(张经纬等,1994)。

经统计,大部分崩(崩塌)滑(滑坡)流(泥石流)灾害与暴雨作用和人类活动有关,尤其是 1997 年以来的记录,在连日暴雨和大雨期间和停雨之后发生的崩滑流灾害占 38 %。尽管岩层和土层的崩塌、滑坡等松散堆积为泥石流的形成提供了丰富的物质来源,但泥石流爆发的即时原因主要为暴雨和特大暴雨。调查资料显示,几乎所有泥石流的发生均在久旱之后遇暴雨而产生。

3　人类活动因素

广东沿海经济发展迅速,人口增长也较快。人类活动已成为强大的外动力,其对地质环境造成的影响主要表现在:

(1)由于重大工程建设、城市发展、交通和水利设施的兴建,开挖边坡,改变了坡形,加大了坡度角,使山体失稳引起斜坡灾害,该类灾害主要分布在铁路和公路沿线、露天开采区及工程建筑开挖区。

(2)由于砍伐森林植被、垦植坡地,降低了地面抗侵蚀的能力,造成水土流失和斜坡灾害。

(3)由于矿山开发,表土和矿渣堆砌,增加了地面易搬运的松散物质和有害元素。

(4)由于实施大型基本建设和高层建筑、开挖地基、过量排水和抽取地下水,加大了地基负荷,改变了原始地层结构,降低了水位,加大水力坡度和流速,引起地下水和物质流动,冲刷作用增强,造成了地基下沉、地面变形、开裂、沉降和塌陷。

(5)由于不适当的水利设施建设和围垦,改变了自然水动力条件,引发了大量斜坡灾害,造成岸坡冲刷或港口、水库和水道淤积。

(6)由于经济开发过程中忽视环境保护,引起地质环境的恶化和污染(如土壤、地下水污染)。

(7)由于人为地质灾害的发生造成了较大的经济损失,直接影响了社会经济的发展。

经统计地面沉降和地面塌陷的资料发现,几乎 77 %以上是由人类经济建设活动造成的,其中抽水排水占 20 %,采石采矿占 37 %,建设工程扰动占 20 %。这是由于人类活动塑造的陡坡、松散土体(如公路、村庄附近)和地下物质流动(地下水和岩土体)在其他因素触发下极易产生崩滑流灾害。

对粤西地区若干地表土壤进行的^{137}Cs 同位素示踪研究结果表明,^{137}Cs 在湛江湖光岩山顶土壤中含量最高,在雷州石茆岭山顶次之,而在其他地区的低台地上基本无含量。说明自 20 世纪 60 年代中期以来,湖光岩(公园游览区)和石茆岭(部队雷达站营区)人类活动破坏小,水土流失较小;而其他地区地表表层土壤已被大量剥蚀,亦说明频繁的人类活动使水土流失加剧。

4　结论

综上所述,对广东沿海陆地表层主要地质灾害的宏观控制因素有如下初步认识:

(1) 在地质环境因素中,内动力地质作用(构造不稳定性)主要控制着地震活动的分布和强度;由于构造活动造成的脆弱部位往往控制着地表破裂方向和灾害点的分布格局;总体来看,近 EW 向和 NW 向是控灾的主导方向。在这一点上,沿海与内地山区是相似的。然而,由于构造活动性较弱,隆起和坳陷以及山-盆相对高差较小,灾害(尤其是斜坡灾害)发生的频率和强度较小,因此,内动力地质作用不是沿海地区致灾的主要因素,这又是与内地山区不同之处。

(2) 在地质环境因素中,斜坡不稳定和地面不

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

稳定是致灾的两类直接因素。山地常常爆发规模较大的斜坡岩-土灾害和泥石流,而在沿海地区,厚层的红色风化壳(包括风化残积土和胀缩土以及平原地区的软土)是最主要的致灾因子,灾害多发于土层,且规模较小,这一点也与内地山区不同。

(3) 气候气象因素是沿海地区地质灾害诱发及其强度的主要因素。湿热多雨造成了该区强烈的化学风化,日晒和暴雨又加速了地面的物理侵蚀,连日暴雨和台风雨、风暴潮往往是致灾的直接原因。因此,气候气象因素往往制约着灾害发生的频率、强度和持续时间,这就是沿海地区的特点。

(4) 人为活动因素是地质环境恶化和地质灾害加剧的主导因素。人类虽然不能改变气候气象的总体格局,但可以对其造成实际上的影响;地质环境是自然形成的,但人类却可以并已经大大地改造了它们,加大了其不稳定性的因素,促使地质灾害的频发,在经济发达的沿海地区尤其如此。在沿海地区,由地质灾害直接造成的人员伤亡一般较山区要小,但经济损失却往往较山区大得多。

因此,初步认为,广东沿海地区表层地质灾害(除地震外)的主控因素是气候气象因素和人类活动因素,这与山区以地质环境因素(尤其是内动力作用)为主(Michael 等,1999)是不相同的。降雨强度和时间、台风雨和风暴潮以及人类快速的开发建设活动等对边坡和植被的改造是在沿海地区现有的地质环境背景下地质灾害多发的主要动力源。诚然,具体地区和灾种还须具体分析。

参 考 文 献

陈恩民. 1984. 华南十九次强震暨南海北部陆缘地震带概述. 华南地震, 4(1):12～32.

段永候. 1997. 中国分省地质灾害图集与主要地质灾害类型. 水文地质工程地质, 24(4):49～52.

广东省防灾减灾年鉴编辑委员会. 1997. 广东省防灾减灾年鉴(1997 年卷). 北京:气象出版社, 14～62.

广东省国土厅. 1996. 广东省自然灾害图集. 广州:广东省地图出版社, 56～67.

靳长兴. 1995. 论坡面侵蚀的临界坡度. 地理学报, 50(3):234～238.

李焯芬, 陈红. 1997. 雨水渗透与香港滑坡灾害. 水文地质工程地质, 24(4):34～38.

刘以宣. 1985. 华南沿海的活动断裂. 海洋地质与第四纪地质, 5(3):11～21.

卢耀东. 1989. 湛江组粘土胀缩性初探. 广东地质, 4(3):56～65.

夏金梧, 郭厚桢. 1997. 长江上游地区滑坡分布特征及主要控制因素探讨. 水文地质工程地质, 24(1):19～22.

詹文欢,钟建强,刘以宣. 1996. 华南沿海地质灾害. 北京:科学出版社, 4～28.

张业成,胡景江,张春山. 1995. 中国地质灾害危险性分析与灾变区划. 海洋地质与第四纪地质, 15(3):55～67.

张虎南,陈伟光,黄坤荣. 1990. 华南沿海新构造运动与地质环境. 北京:地震出版社, 1～120.

张经纬, 姚清尹. 1994. 华南坡地研究. 北京:科学出版社.

郑度,申元村. 1998. 坡度过程及退化坡地恢复整治研究. 地理学报, 53(2):116～121.

朱照宇, 郑洪汉, 张国梅等. 1991. 华南热带红土期及风化矿物初步研究. 第四纪研究, (1):18～28.

朱照宇, 周厚云, 黄宁生等. 2001. 广东沿海陆地地质灾害区划. 地球学报, 22 (5):453～458.

References

Bureau of Statistics, Guangdong Province. 1999. Statistical yearbook of Guangdong (1998). Beijing: China Statistics Press (in Chinese with English abstract).

Chen Enmin, Huang Yongyin. 1984. An introduction to 19 active strong motion earthquakes in South China and the seismic zone of the continental margin on the northern part of South Sea. Journal of South Chinese Seismology, 4(1):11～32 (in Chinese with English abstract).

Daun Yonghou. 1997. Provincial atlas and main types of geohazards of China. Hydrogeology and Engineering Geology, 24(4): 49～52 (in Chinese with English abstract).

Jin Changxing. 1995. A theoretical study on critical erosion slope radient. Acta Geographica Sinica, 50(3):234～238 (in Chinese with English abstract).

Li Zhuofen, Chen Hong. 1997. Rain water seepage and landslide disaster in Hong Kong. Hydrogeology and Engineering Geology, 24(4):34～38 (in Chinese with English abstract).

Liu Yixuan. 1985. The active fractures in South China Coast. Marine Geology & Quaternary Geology, 5(3):11～21 (in Chinese with English abstract).

Lu Yaodong. 1989. Preliminary investigation on the swelling-shrinkage capacity of clay in Zhanjiang Formation. Guangdong Geology, 4(3):56～65 (in Chinese).

Lumb P. 1991. Effect of rain storms on slope stability. In: Li K S (ed.). Selected Topics in geotechnical Enginnering, Lunb Volume, 3～18.

Michael A F, David J M. 1999. Andrew P B. Soil erosion and conservation in Yunnan Province, China. Ambio, 28(2): 125～129.

The Editorial Board on Yearbook of prevention and control of natural disasters of Guangdong Province. 1997. Yearbook of Prevention and Control of Natural Disasters of Guangdong Province (1997). Beijing: Meteorology Press, 14～62 (in Chinese).

The Land Resources Bureau of Guangdong Province. 1996. Atlas of natural disasters in Guangdong Province. Guangzhou: Guangdong Cartology Press (in Chinese with English abstract).

Xia Jinwu, Guo Houzhen. 1997. Distribution characteristics and controlling factors of landslides in the upper reaches of Yangtze River. Hydrogeology and Engineering Geology, 24(1):19～22. (in Chinese with English abstract).

Zhan Wenhuan, Zhong Jianqiang, Liu Yixuan. 1996. Geological hazards of South China Coast. Beijing: Science Press, 4～28 (in Chinese with English abstract).

Zhang Chengye, Hu Jingjiang, Zhang Chunshan. 1995. Danger analysis and catastrophic division of China geological hazards. Marine Geology & Quaternary Geology, 15(3): 55～67 (in Chinese with English abstract).

Zhang Hunan, Chen Weiguang, Huang Kunrong et al. 1990. Neotectonic movement and geological environment along the coast of South China. Beijing: Seismology Press, 1～295 (in Chinese with English abstract).

Zhang Jingwei, Yao Qingyun. 1994. On the sloping field in South China. Beijing: Science Press, (in Chinese).

Zheng Du, Shen Yuancun. 1998. Studies on process, restoration and management of the degrading slopelands. Acta Geographica Sinica, 53(2):116～121 (in Chinese with English abstract).

Zhu Zhaoyu, Zheng Honghan, Zhang Guomei et al. 1991. The developmental stages of red soils and their weathering minerals in the tropics of South China. Quaternary Sciences, (1): 18～28 (in Chinese).

Zhu Zhaoyu, Zhou Houyun, Huang Ningsheng et al. 2001. The division of geological hazards along the coastal land area of Guangdong Province. Acta Geoscientia Sinica, 22 (5): 453～458 (in Chinese with English abstract).

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net