第35卷　第4期　地质灾害与环境保护　Vol. 35，　No. 4
2024年12月　Journal of Geological Hazards and Environment Preservation　December 2024

DOI：10.3969/j.issn.1006－4362.2024.04.007　**文章编号：**　1006－4362(2024)04－0050－07

贵州省大方县北大桥不稳定斜坡变形破坏特征及成因分析

何正勇[1]，张中[2,3]，孙俊[1]，韦猛[4]

（1.贵州地矿基础工程有限公司，贵阳　550081；2.广州市建筑集团有限公司，广州　510030；
3.广州市盾建建设有限公司，广州　511400；4.成都理工大学，成都　610059）

摘要：　大方县地形切割剧烈，城区不稳定斜坡有变形为滑坡地质灾害的风险。为查明大方县城北大桥斜坡变形破坏特征和成因，本文开展了斜坡的地质环境条件调查，并对斜坡物质组成及房屋开裂成因展开了分析。结果发现：区内出露的地层仅有 Q_4 和 P_3l，将其划分为松散及软质两个工程地质岩组，坍塌、重力堆积下形成的滑坡体覆盖层较厚；斜坡变形破坏方式主要为地面开裂、建筑物墙体开裂、建筑物整体倾斜；引发斜坡变形既有内在因素，第四系松散覆盖层的分布不均及地下水位较浅，也有外在因素诱导，不合理的切填方、建筑物加载工程引起动水压力变化成为外部动力条件。

关键词：　不稳定斜坡；变形破坏特征；物质组成；成因分析

中图分类号：　P694；TU457　**文献标识码：**　A

ANALYSIS OF DEFORMATION AND FAILURE CHARACTERISTICS AND CAUSES OF THE UNSTABLE SLOPE OF BEIDA BRIDGE IN DAFANG COUNTY，GUIZHOU PROVINCE

HE Zheng-yong[1]，ZHANG Zhong[2,3]，SUN Jun[1]，WEI Meng[4]

（1. Guizhou Geological and Mineral Foundation Engineering Co.，Ltd.，Guiyang　550081，China；
2. Guangzhou Construction Group Co.，Ltd.，Guangzhou　510030，China；
3. Guangzhou Dunjian Construction Co.，Ltd.，Guangzhou　511400，China；
4. Chengdu University of Technology，Chengdu　610059，China）

Abstract：　The terrain in Dafang County is cut sharply，and the unstable slopes in the urban area are at risk of deformation into landslide geological disasters. In order to investigate the deformation and failure characteristics and causes of the slope of the North Bridge in Dafang County，this article conducted a survey of the geological environmental conditions of the slope，and analyzed the material composition of the slope and the causes of house cracking. The results showed that the exposed strata in the area only include Q4 and P3l，which are divided into two engineering geological rock formations：loose and soft. The landslide body formed by collapse and gravity accumulation has a thick covering layer；the deformation and failure modes of the slope mainly include ground cracking，building wall cracking，and overall inclination of the building；the slope deformation is caused by both internal factors，such as uneven distribution of the Quaternary loose cover layer and shallow groundwater

收稿日期：　2024-04-20　**改回日期：**　2024-07-11
基金项目：　广州市建筑集团有限公司科技计划资助项目([2022]-KJ025)

level, as well as external factors, such as unreasonable cutting and filling, and dynamic water pressure changes caused by building loading engineering as external dynamic conditions.

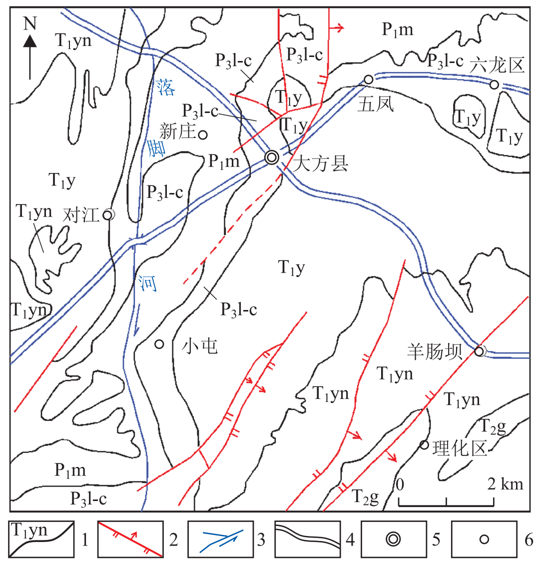
Key words: unstable slopes; deformation and failure characteristics; material composition; cause analysis

近年来贵州省工程建设快速发展，由于地处云贵高原、横断山脉地形切割剧烈，各种地质灾害频繁发生[1-3]，许多县城面临不稳定斜坡变形发展为滑坡地质灾害的重大风险，直接威胁人民群众生命财产安全[4-8]。贵州地质条件复杂、多样，往往灾难性地质灾害发生之前没有任何明显前兆[9-13]，同时在不稳定斜坡变形破坏直至滑坡成灾的过程，其变形破坏机制复杂，一直是一个研究难点[14-16]。因此对于贵州城区附近的不稳定斜坡进行勘察和研究，排除重大地质灾害风险源具有极大的意义。

近 2 a 来大方县城镇化水平快速发展，灾害点所处的社会经济活动非常活跃，与 2 a 前相比、地面建筑物情况等均发生了很大的变化。根据现场调查，大方县城北大桥不稳定斜坡一旦失稳破坏，将直接威胁斜坡体上 21 家企事业单位、30 家个体经营户、1 264 户居民、总计 11 603 个常住人口和 44 335.5万元固定资产的安全，危害性极大。北大桥斜坡地表以及分布在斜坡体上的建筑物发现有开裂现象，严重制约了县城经济建设的发展，威胁城镇居民生命财产安全，因此，对大方县城北大桥灾害点的调查研究十分必要。

1　研究区工程地质条件

研究区地处贵州省西部，属亚热带高原季风湿润性气候，位于大方县城银杏路与西大街交汇区内斜坡地带北街口斜坡东南侧。地形地貌属于滇东斜坡过渡地带，地层揭露有第四系（Q_4），三叠系（$T_{1y}{}^{1-3}$），二叠系（P^{3c+d}）上统龙潭组（P_3l）、茅口组（P_3m）。县城区域大地构造位于遵义断拱、毕节北东向构造变形区，高店背斜东翼近轴部，背斜宽缓，沿两翼呈舒缓状，轴部为 P_2m 地层，两翼为（P_3l）、（T_1y）等地层（图 1）。



T_2g. 三叠系中统关岭组；T_1yn. 三叠系下统永宁镇组；T_1y. 三叠系下统夜郎组；P_3l—c. 二叠系上统龙潭组；P_1m. 二叠系下统茅口组；1. 地质界线；2. 断层；3. 河流及流向；4. 公路；5. 县城；6. 村寨。

图 1　大方县地层及构造纲要图

表 1　工程地质岩组划分

大类	岩组名称	对应时代
土体	人工堆积杂填土岩组 残坡积粉质黏土岩组	（Q_4^{ml}） （Q_4^{el+dl}）
岩体	泥岩、砂岩互层极软岩岩组	P_3l

区内出露的地层仅有 Q_4 和 P_3l，根据其特征，可将其划分为松散及软质两个工程地质岩组（表 1）：(1)软质岩组：P_3l 碎屑岩类，主要为泥岩、粉砂质泥岩、粉(细)砂岩、泥质粉砂岩、夹煤层，表层有一定厚度强风化岩体，属极软岩，岩体基本质量评价为Ⅴ级，下部中风化岩体较破碎，属较软岩，岩体质量评价为Ⅳ级。其中碎屑岩的新鲜岩石，力学强度低，暴露于空气中易风化，抗风化能力弱，浅部由于受风化作用岩体完整性较差，常较破碎。(2)松散岩组：第四系组成松散岩组，成分主要为黏土，局部夹块石。覆盖层由填土层、残坡积层构成，填土层结构松散、强度低，残坡积层结构相对密实、强度相对较高。

2　不稳定斜坡变形破坏特征

2.1　物质组成和来源分析

不稳定斜坡的物质组成和物质来源，从区域大背景看大方县城是平缓的斜坡，煤系地层，龙潭组灰岩，粉砂岩泥岩出露，西大街勘察时开挖出完整的大块灰岩块体，灰岩块体可延伸到县城顶部。同时该区有一些断裂构造，构造运动时可能产生了一些坍塌，堆积体的滑坡等，在重力堆积下形成了坡体。县

城下部有一条大沟，灰岩产生的重力堆积形成现在的坡体坡脚，整个坡体的坡脚和坡体中部等有些比较平滑的地带，出现覆盖层相对来说比较厚。

2.2 斜坡基本特征

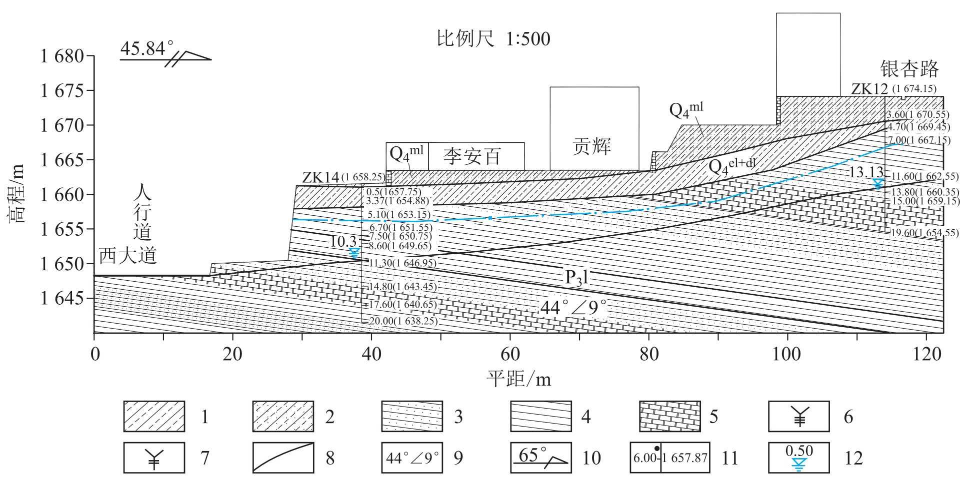
2.2.1 斜坡形态特征

大方县城北大桥不稳定斜坡位于城西大街与银杏路交叉口处(图 2)，整个斜坡长约 120 m，宽约 190 m。分布高程为 1 646～1 676.5 m，相对最大高差近 30.5 m。斜坡整体坡度为 10°～15°，局部基岩裸露区域即陡坎处为 75°～88°。斜坡基岩产状为 44°∠5°～10°，岩性为泥岩、砂岩、粉砂岩、灰岩等。随着城市化的进程加快，工程建设活动频繁，斜坡坡脚处以及斜坡体上房屋密集，斜坡体上土层厚度为 0.5～11 m。

图 2 北大桥斜坡全貌

2.2.2 斜坡地质结构特征

通过地面调查及钻探资料表明，该斜坡范围内出露地层有(Q_4^{ml})、(Q_4^{el+dl})及(P_3l)地层。构成斜坡组成物质主要有含碎石、块石杂填土，含碎石、块石粉质黏土，基岩为泥岩、砂岩、粉砂岩夹煤层、灰岩等(图 3)。分析斜坡结构特征、可能的剪出口情况，判断其变形破坏模式可能为斜坡整体产生折线型滑动，在斜坡前缘西大街切坡一带的临空地带剪出破坏。



Q_4^{el+dl}. 第四系全新统坡残积层；Q_4^{ml}. 杂填土；P_3l. 二叠系上统龙潭组；1. 粉质黏土；2. 粉质黏土夹碎石；3. 砂岩；4. 泥岩；5. 灰岩；6. 强风化；7. 中风化；8. 强中风化界线；9. 岩层产状；10. 剖面方向；11. 取土样钻孔(剖面)；12. 水位线。

图 3 北大桥不稳定斜坡 3-3′工程地质剖面图

(1) 杂填土：褐黑、褐灰色，主要由粉质黏土夹大量碎石、块石组成，块石块径为 200～400 mm，碎、块石含量约占 10%～30%，局部地段多夹生活垃圾，主要为居民修建房屋人工堆积所致。层厚一般为 0.5～2.8 m，该类土体结构稍密，透水性较好。物质成分为泥砂岩风化碎块、粉质黏土及建筑垃圾等，结构松散。堆填时间约 3～20 a 不等，填土部分尚未完成自重固结，性能较差。

(2) 粉质黏土夹碎石：红棕色、灰褐色、稍湿，可塑-软塑状，由泥岩、砂岩风化而成，含泥岩、砂岩块体，块石块径 200～400 mm，含量约 35%，分布不均。该类土由于含砂量较高，土体裂隙发育，降低土体抗剪强度。根据现场溯源调查、钻探揭露并收集前人资料，结合专家对该斜坡碎石来源的论证结果分析，认为该斜坡碎石来源主要有以下 3 种可能：

① 根据 1∶1 万地形图原始地形地貌对比，该斜坡人工改造、重建，在城镇建设和发展过程中存在大量的早期人工弃土。

② 崩滑形成。认为在古地貌上沿斜坡后缘南北向宽缓平台地带原为山体，且岩体节理裂隙极为发育，历史上可能存在大规模的崩塌、滑移削高填低运动，大量的碎块石顺斜坡堆积，经后期风化、搬运、滑移堆积而成。

③ 根据斜坡区勘查资料并结合县城古地貌分析，该斜坡区发育两条断裂，原地形沟谷发育，冲沟两侧为斜坡体，且出露基岩，受区域压应力的作用，岩体破碎，沿着岩体结构面发生崩塌、滑坡等运动，长期以来堆积于沟槽中。崩塌的物质在物理化学侵

蚀下大量已风化成土状，物理力学强度较高的块体多以块石混于土层中，少许灰岩、砂岩体崩落至西大街以下的坡脚处。

研究区普遍为第四系松散堆积层覆盖，厚度变化较大，土体成因复杂，颗粒粗细不一，块石含量不均，空间上分布不均，具有多元结构，物理力学性状在竖向变化较大。

（3）基岩：岩性为泥岩、砂岩、粉砂岩、灰岩等，分布于整个坡体，在斜坡下部有较大面积出露，基岩产状为 44°∠5～10°，逆向产出。泥、砂岩呈薄层状，层厚 0.10～2.0 m 不等，斜坡中部地带发育厚度较大。裸露泥岩层全风化后呈暗红、褐色，风化裂隙发育。砂岩呈薄-巨厚层状构造，交错层理发育，构造裂隙发育，层厚 0.30～6 m。该类岩体抗压强度较低。

2.3　斜坡变形破坏特征

根据调查访问以及贵州省地勘局第二工程勘察院提交的《贵州省大方县城滑坡群岩土工程勘察报告》可知，1991 年间该斜坡坡脚因修建西大街进行大范围切坡后，在斜坡上部和后缘开始出现地面和房屋轻微开裂。1994 年暴雨季节后，地面及房屋普遍出现裂缝，据当时统计裂缝发育有 18 条，长度 10～20 m，造成当时 8 栋民房破坏。

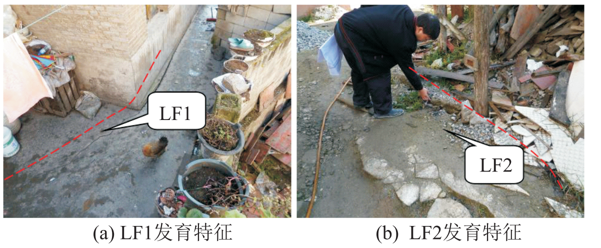
本次斜坡工程地质调查与测绘，区内斜坡体上人类工程活动较为强烈，切坡地段较多，但切坡后均采取相应的支挡措施，且各种支挡措施如挡墙等均未发现有任何变形迹象，整个斜坡体未见强烈的变形迹象，整体稳定性好。坡体变形破坏表现形式主要为局部地表开裂及建筑物墙体开裂和倾斜，因此，区内斜坡变形破坏方式主要有地面开裂、建筑物墙体开裂、建筑物整体倾斜等 3 种方式。

2.3.1　地面开裂

据统计裂缝分布于斜坡体中部，这些裂缝共有 4 条（LF1～LF4），多数裂缝走向为 200°～300°，个别为 10°、72°。斜坡走向与裂缝展布方向基本相同。裂缝延伸长度 3.8～15 m，宽 2～15 mm，深 6～31 mm，最深达 51 mm，LF4 最长裂缝达 15 m。向斜坡一侧下错的特征，下错位移 0.5～5 mm 不等，以 LF2、LF4 裂缝下错最为明显。

LF1：走向 164°，长度 11.3 m，最大宽度 5 mm。根据调查访问，该裂缝发育时间为 2009 年，由于浇筑房屋散水受施工质量影响，散水浇筑一段时间后与房子基础脱离，形成裂缝，与斜坡体变形无关。

LF2：走向 198°，长度 3.7 m，最大宽度 8 mm。根据现场调查，该裂缝发育时间为 2010 年 5 月，该处挡墙修筑后未见有任何变形迹象，由于挡墙后填土未进行夯实，一段时间后，墙后填土自重固结，因此，形成该裂缝（图 4）。

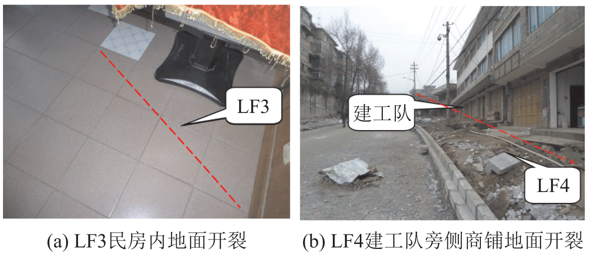


(a) LF1发育特征　　(b) LF2发育特征

图 4　地面开裂

LF3：走向 10°，长度 10 m，最大宽度 5 mm。该裂缝发育于邹贤钦房内，发育时间为 1991～1993 年，由于该斜坡历史上为一片农田，地下水位较高。20 世纪 90 年代初，大方县开始修建西大街，对该斜坡坡脚进行较大规模的切坡，降低了地下水位，由此，坡体上覆盖层开始重新固结，使土体发生沉降，因此，该裂缝的产生与当时修建西大街有关。

LF4：走向 118°，长度 16 m，最大宽度 5 mm。根据调查访问，该裂缝发育时间为 1994 年左右。根据《贵州省大方县城滑坡群地质灾害防治工程可行性研究报告》（2008.10，贵州地质工程勘察院）可知，1994 年暴雨季节时，该斜坡发生变形破坏，造成 8 栋民房变形破坏，前缘修建的挡墙向前推移 2.3 m，并触抵民房，导致民房墙体受挤压变形、地面隆起，累计垂直位移达 23 cm（图 5）。



(a) LF3民房内地面开裂　　(b) LF4建工队旁侧商铺地面开裂

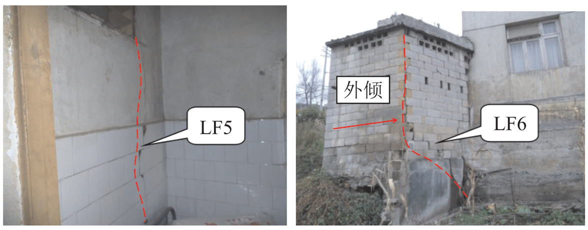
图 5　地面开裂

2.3.2　建筑物墙体开裂

据统计，这些裂缝共有 2 条（LF5、LF6），裂缝主要产生于建筑物构造柱、门窗角、墙角附近的软弱部位，地面开裂后裂缝延伸造成建筑物墙体开裂（图 6、图 7）。

2.3.3　建筑物墙体倾斜

根据实地调查，LF6 的产生主要是由于厕所外墙基础修建过于简单，基础埋深不够致其外墙整体倾斜。LF7 的产生主要是由于厕所外墙基础修建过于简单，基础埋深不够致其外墙整体下挫向外倾斜。



(a) LF5延伸致内墙开裂　(b) LF6发育特征

图 6　墙体开裂

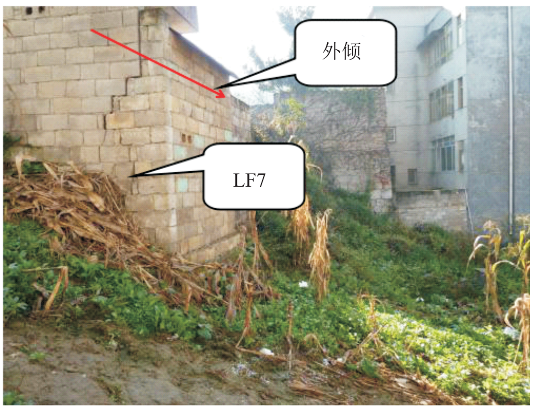


图 7　墙体倾斜

3　不稳定斜坡变形成因分析

研究区地表及房屋变形特征调查,分析不稳定斜坡变形既有内在因素也有外在因素。具体斜坡变形的形成机制分析如下:

3.1　斜坡变形的内在因素

(1) 地形地貌:微地形地貌的改变对斜坡局部变形的影响。根据变形区范围可知,该斜坡变形区是属分布在北东陡南西缓的凹槽位置,斜坡地形在纵向由北东向南西倾斜,在斜坡东南侧发育一条冲沟,因此斜坡于横向由北西向南东倾斜,为一缓坡,局部为平台,坡度为 5°～20°,坡体分布连续,天然稳定性较好。但由于大方县城市建设用地有限,建筑物多沿山麓斜坡修建。随着城镇建设对斜坡的改造,该斜坡现呈 2～4 级阶梯缓坡平台,台地前缘陡坎高度一般 2.0～7.0 m,为斜坡向临空一侧蠕滑变形提供良好的空间条件。

(2) 组成斜坡的岩土体结构:县城构造部位位于高店背斜东翼近轴部,背斜轴较宽缓,微波状起伏,受区域压应力的作用,斜坡沿冲沟地段发育 F_1、F_2 两条断层。岩体破碎节理裂隙发育密度 1～4 条/m,多为张性节理,多数节理张开,致岩体破碎,在自然及人为搬运下堆积于斜坡体上,而形成了现在的坡体结构。

斜坡上部土体结构松散软弱,其物质组成有利于坡体变形。据本次勘查钻孔揭露资料,坡体覆盖层为人工填土和坡积含碎石粉质黏土,该层土体具有 2～3 个韵律层,其中含碎石粉质黏土层厚 1.0～9.8 m,累计厚度占覆盖层总厚度的 74.6%,土体湿润,可塑,呈软塑状,物理力学性质较差。填土厚度一般 0.5～2.8 m,最厚可达 6 m,且切填方均为近 20 a 内对坡体的改造形成。斜坡体上的工程活动一直持续进行,目前各段挡墙虽然未发生变形,但墙后土体的自重固结和侧向挤压尚未完成,也足以提供建筑物和地面变形的空间条件。因而在斜坡上出现地面开裂和墙体变形,而挡墙未出现变形(图 8)。


(a) 斜坡表层均可见杂填土　(b) 斜坡后缘修路可见粉砂岩出露

图 8　斜坡上部土体结构松散软弱

(3) 勘查区水文地质环境条件的改变:该地区自古以来地下水十分丰富,赋存于含碎石粉质黏土中,孔隙率高,透水性好,为地下水径流主要通道。大方县素有"九十九口井"之称,说明了大方县以往的地下水丰富,地下水位埋深较浅。下伏龙潭组地层为储存地下水提供了先天条件,为相对隔水层。在勘查区内出露的泉点主要集中于陡坎边缘,根据抽水试验资料(贵州省地勘局第二工程勘察院于 1996 年 6 月提交的《贵州省大方县城滑坡群岩土工程勘察报告》),含水层渗透系数 K 为 1.37m/d,水力坡度 I 平均约为 7.8%。说明该斜坡地下水径流速度较大,水力坡降大。

斜坡东南侧冲沟有常年性的地表水流沟渠,坡面地表水的补给主要来源于大气降水和人类生活用水。且坡体上的排水系统不完善,水体下渗或长时间坡体地下水位抬升,或者旱季坡体长时间的低水位,致使坡体土体性状的转变影响了坡体的稳定性。根据贵州省地勘局第二工程勘察院于 1996 年 6 月提交的《贵州省大方县城滑坡群岩土工程勘察报告》可知,在 1992 年坡体及斜坡上的房屋多处发现有轻微的开裂现象,1994 年暴雨季节,原裂缝有明显的扩张伴有新裂缝产生。修建西大街切坡时间为 1991～1992 年间,斜坡上裂缝集中产生的时间在切坡后不久,因此斜坡体的集中变形与修建西大街切坡先后顺序和时间间隔均相吻合。而该斜坡体含水

层本身渗透系数较大，水力坡降大，切坡后造成地下水迅速排出，引起土体和地基变形，导致土体强度破坏和失稳；地基中有效自重应力增加，孔隙水压力减小，土体重新产生自重固结，发生沉降变形，从而致斜坡地面及斜坡体上的建筑物产生开裂变形；而当雨季暴雨期间水位又迅速抬升，动水压力增大，且地下水位上升会引起地基承载力的减小，雨止后又迅速排泄，土体如上所述再次发生固结沉降，如此反复，加剧了土体的变形。

3.2　斜坡变形的外在因素

斜坡变形的外在因素主要表现为人类工程活动对斜坡地质环境的改变。

（1）人类工程活动对地形地貌的改造：该斜坡位于大方城区，人口密度较大，斜坡前缘以及斜坡中上部均建有大量房屋。斜坡前缘建房切坡致使前缘临空，中上部建房开挖回填土体，建筑物的加载以及对坡体地形、结构的改造，影响了整个斜坡体的稳定性。

根据以往的资料以及实地调查可知，该斜坡整体为一缓坡，在 20 世纪 90 年代之前，该斜坡位于县城的西郊，那时人烟稀少，基本为一片阶梯状水田，坡体上基本无建筑物分布。20 世纪 90 年代后，随着经济建设的发展，大方县城城市建设频繁，城市扩张加剧，此时该斜坡基本处于县城城区位置，斜坡体上工程活动增多，因此局部呈较多的切填方平台，斜坡中上部坡度较大，为 5°～20°。

（2）坡体加载：建筑加载也是造成斜坡局部变形的又一外在因素。据调查了解，斜坡体上的建筑物以 1～5 层的民房为主，建筑物基础几乎均为浅基础，极少数采用桩基础(图 9)，浅基础均置于第四系坡残积、坡洪积、人工填土含碎石、角砾粉质黏土层之上，埋藏深度小于 3 m，由于该层土体塑性变形大，在建筑物荷载作用下易产生不均匀沉降。在坡体前缘土层厚度较大的地段沉降量大，后缘土层薄的地段沉降量小。部分采用阀板基础的建筑物，由于整体刚性较好，则可能发生沿挡墙一侧整体倾斜。斜坡体中部俞占顺新建的楼房底部散水原是向外倾斜的，现可见其散水大部分均向内倾斜，这是由于新建房屋地基不均匀沉降造成的，就是地基不均匀沉降的见证。随着坡体上工程活动的持续进行，坡体加载越来越大，斜坡土体也将持续固结沉降。

综上，斜坡上新建房屋的加载、切坡和地下水变化引起了房屋开裂。新修的西大街上部坡体上的房屋开裂，是因为修路进行了切坡，切坡之后降低了地下水位。房屋新建之前，此处地下水丰富，泉点非常多且埋藏比较浅，新建房屋后降低了地下水位，动水压力导致坡体的局部变形，不均匀沉降，跟地下水的快速排泄有关。新建房屋都是浅基础，比较松散的坡体开始重新固结沉降，所以造成了房屋开裂。坡体后缘拉裂缝亦未贯通，前缘剪出口明显的滑动面，在本次斜坡勘查尚达不到灾害临界点。但也可能存在的斜坡变形破坏模式：斜坡整体产生折线型滑动，剪出破坏会发生在斜坡前缘西大街切坡一带的临空地带；在银杏路外侧陡坎处剪出破坏，将会产生折线型滑动。由于坡脚局部北西段切坡而形成的岩质边坡未进行支挡长期暴露，在雨季存在浅表层土体溜滑现象，且边坡泥砂岩节理裂隙发育，岩体破碎，易风化剥落，对斜坡进行切填方改造后应及时采取支挡措施，对调查发现的地裂缝以及墙体开裂处进行监测，建议对斜坡坡脚岩质边坡段进行相应的护坡处理。

图 9　银杏路与西大街交叉口处工地

4　结论

本文针对大方县城北大桥不稳定斜坡采取调查、测绘、钻探手段，查明了斜坡的地质变形特征并对变形破坏成因展开了深入分析，主要结论如下：

（1）揭示了北大桥不稳定斜坡的地层岩性、物质组成及来源演化。区内出露的地层仅有 Q_4 和 P_3l，将其划分为松散及软质两个工程地质岩组。斜坡组成物质主要有含碎石、块石的杂填土，含碎石、块石的粉质黏土，基岩为泥岩、砂岩、粉砂岩夹煤层、灰岩等。斜坡物质来源，从区域背景看大方县城是平缓的斜坡，煤系地层龙潭组灰岩、粉砂岩泥岩出露，西大街的灰岩块体一直延伸到县城顶部；同时该区存在断裂构造，构造运动时产生了坍塌，在重力堆积作用下形成了整个坡体，斜坡坡体中部存在比较平滑的地带，其覆盖层比较厚。

（2）阐明了斜坡局部变形破坏方式及其成因。

该斜坡体切坡后主要有地面开裂、建筑物墙体开裂、建筑物整体倾斜 3 种破坏方式。该斜坡局部变形的原因:百姓在斜坡上新建房增加的重力加载,同时进行了切坡和由此造成的地下水变化,共同作用引起了房屋开裂。新建西大街房屋为浅基础,在比较松散的坡体进行重新固结沉降,西大街修路进行了切坡,切坡之后降低了地下水位,引起动水压力变化导致坡体的局部变形、不均匀沉降,这与地下水的快速排泄直接相关。

参考文献

[1] 史文兵,黄润秋,赵建军,等.山区平缓采动斜坡裂缝成因机制研究[J].工程地质学报,2016,24(5):768-774.

[2] 熊朝正,石豫川,吉锋,等.贵州某公路滑坡变形破坏机制及稳定性评价[J].地质灾害与环境保护,2019,30(2):3-7.

[3] 罗剑,陈子全,钟玉联.甘孜州某不稳定斜坡成因机制分析[J].长春工程学院学报(自然科学版),2014,15(3):100-103.

[4] 张群,许强,李江,等.南江"9·16"群发性缓倾浅层土质滑坡特征与成因机制研究[J].自然灾害学报,2015,24(3):104-111.

[5] 吉世祖,林锋,黄润秋,等.缓倾坡外软硬互层型高斜坡演化及失稳机理研究[J].工程地质学报,2014,22(5):883-889.

[6] 余先华,聂德新,唐良琴.潞江乡芒市寨堆积体特性及成因机制研究[J].地质灾害与环境保护,2013,24(3):42-46.

[7] 白永健,王运生,葛华,等.金沙江深切河谷百胜滑坡演化过程及成因机制[J].吉林大学学报(地球科学版),2019,49(6):1680-1688.

[8] 张琰君,阎跃观,戴华阳,等.基于颗粒流的特厚煤层采动诱发斜坡变形破坏研究[J].太原理工大学学报,2022,53(4):682-689.

[9] 梁风,彭雄武,史文兵,等.河谷区采空诱发缓倾岩质斜坡变形破坏模式研究[J].人民长江,2021,52(9):126-130.

[10] 梁风,史文兵,彭雄武,等.基于弯曲模式的层状采动斜坡变形破坏机理研究[J].地下空间与工程学报,2022,18(2):650-661.

[11] 严映峰,何朝阳,解明礼,等.乐山市张村沟泥石流工程地质特征及成因机制分析[J].人民长江,2021,52(10):152-158.

[12] 李江,许强,王森,等.川东红层地区降雨入渗模式与岩质滑坡成因机制研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(S2):4053-4062.

[13] 高丙丽,张金厚,廖小辉,等.山地旅游景区岩质边坡稳定性分析及其防治措施[J].工程地质学报,2022,30(4):1316-1324.

[14] 陈磊,阿发友,潘万成,等.某岩质边坡稳定性和防治措施分析研究[J].地质灾害与环境保护,2023,34(2):28-34.

[15] 张燕松.怒江某大桥右岸高陡斜坡岩体结构特征及稳定性分析[D].长春:吉林大学,2023.

[16] 江华彬,林永娜.清远高新区不稳定斜坡发育特征及其形成因素分析[J].中国资源综合利用,2023,41(7):166-168.

作者简介: 何正勇(1968—),男,本科,高级工程师,从事岩土工程勘察、地质灾害防治工作。E-mail:648201676@qq.com

通讯作者: 张中(1985—),男,博士后,高级工程师,从事岩土工程勘察、地质灾害防治研究。E-mail:11239558@qq.com