

湖北及邻区的斜坡类型及变形、破坏机理

杨淑贤^{1,2,3}, 刘俊英^{1,3}, 周明礼^{1,2,3}, 蔡永建^{1,2,3}, 郑水明^{1,2,3}

(1. 中国地震局地震研究所, 湖北 武汉 430071; 2. 武汉地震工程研究院, 湖北 武汉 430071;

3. 地壳运动与地球观测实验室, 湖北 武汉 430071)

摘 要: 针对湖北省及邻区地质灾害频发, 山体滑坡、地裂缝、地面塌陷较多的事实, 根据多年灾害防御工作实践经验, 提出了不同地貌条件下的斜坡类型及其变形破坏机理, 为国土规划和防灾减灾提供一定的科学依据。

关键词: 斜坡类型; 破坏机理; 土体结构; 灾害防御

中图分类号: P642. 22; P694

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2006)03-0258-05

Discussion on the Types, Deformation and Destruction Mechanism of Slope in Hubei Province and Adjacent Districts

YANG Shu-xian^{1,2,3}, LIU Jun-ying^{1,3}, ZHOU Min-li^{1,2,3}, CAI Yong-jian^{1,2,3}, ZHENG Shui-min^{12,3}

(1. Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, China; 2. Wuhan Institute of Earthquake Engineering, Wuhan 430071, China;

3. Crustal Movement Laboratory, Wuhan 430071, China)

Abstract: Geology hazard frequently happens in Hubei province and its adjacent districts, like slope landslide, geosuture and land collapse. Based on the authors' experience in disaster prevention and mitigation works for many years, the types of slope and its deformation and destruction mechanism in different geomorphology are brought forward.

Key words: Slope type; Destruction mechanism; Soil structure; Disaster prevention

0 引言

湖北省中南部为江汉平原, 东、西、北三面为山脉, 山地和丘陵面积占全省总面积的 80%, 山崩、滑坡等地质灾害频繁发生, 极大地影响着国土资源的利用和开发, 制约着经济的发展。在移民建库过程中, 由于对滑坡认识的不足, 把一些居民点, 甚至县、乡一级的移民新址选在滑坡体上, 给国家带来很大的经济损失, 也给群众安全带来很大的隐患。本文在野外调查基础上, 按不同岩性组合、岩土体结构和成因类型等, 提出了各种斜坡类型的划分意见, 并对其变形、破坏机理进行了研究, 以期对国土资源规划和防灾减灾提供科学依据。

1 斜坡及斜坡类型的划分

按照组成斜坡的岩性组合和岩土体结构特征, 斜坡大致可分为土质斜坡、层状基岩斜坡(包括碳酸盐岩和碎屑岩)和块状岩体(火成岩、火山岩、变质岩)斜坡等三个 I 级斜坡类型。根据岩土体成因类型和岩层产出特征, 对土质斜坡和层状斜坡进行 II 级划分; 根据斜坡坡度角 β 与岩层倾角 α 和易滑角 ϕ_c 或易崩角 ϕ_b 之间的相互配置关系, 顺向层状斜坡进行了 III 级划分。

1.1 土质斜坡

一般指第四纪冲洪积物、残坡积物、崩滑及人工堆积体覆盖的斜坡。堆积物结构松散, 矿物颗粒或岩石碎块(屑)处于未胶结或半胶结状态, 易被外力破坏。土质斜坡按构成土体的成因类型可分为以下七种次级斜坡^①。

收稿日期: 2005-12-13

基金项目: 鄂重点科技项目(922P06; 97IP2005)

作者简介: 杨淑贤(1953—), 女(汉族), 河南唐河人, 高级工程师, 主要从事地震地质、地质灾害和工程地震等方面的研究。

① 魏廷尧. 土质灾害基本知识. 1990.

1.1.1 冲、洪积砂砾石土斜坡

这类斜坡一般广泛分布在山前及河流两岸,尤其在山前冲洪积扇、河口、河流拐弯和裁弯取直地带。如阶地、冲洪积扇、三角洲、江心洲等。泥石流堆积也属这一类,如神农架松柏镇泥石流堆积体等。

1.1.2 风成黄土斜坡

这类斜坡北方分布较广,南方分布较为零星,主要存在于一些风口地区,如鄱阳湖口、洞庭湖湖口及东湖湖口的黄土^[2]。

1.1.3 冰水砾石土斜坡

主要分布于第四纪冰川及现代冰川活动前缘,前者如庐山冰积层和鄂西山区的一些冰水堆积物等;后者主要集中分布于一些高山的山麓地段,理论雪线为3500~3700 m或3900~4100 m。我国横断山脉4900 m以上有现代冰川堆积物,4000 m左右有冰水堆积物等。

1.1.4 湖沼含泥炭淤泥膏盐粘土斜坡

在间冰期丰水时形成的湖沼,因侵蚀基准面下降不断退缩或消亡,形成盐湖或膏盐斜坡,如湖北省境内白垩—第三系泻湖沉积岩分布区。

1.1.5 残坡积碎块石土斜坡

在地壳上升遭受风化剥蚀的地区分布非常普遍,一般山顶和缓坡段多为残坡积物,在山麓及山腰多为残坡积物。如湖北宜昌的黄陵背斜核部及大别山南坡的红安、罗田等县广泛分布。它们在地震或暴雨作用下多为不稳定边坡,如1991年7—9月暴雨,罗田县有十数处同时发生滑坡^{②、③}。

1.1.6 崩滑堆积碎块石土斜坡

边坡物质多由崩塌和滑塌块石与粘土构成,堆积厚度因地貌形式和环境容量而异。如秭归新滩、长阳茅坪、黄石板岩山均属此类。巴东新城址黄土坡、长阳鸭子口新镇址杨家槽均是复合型滑移边坡。

1.1.7 人工堆积碎块石土斜坡

这类斜坡也非常普遍,常见修路弃土,工厂废渣,矿山矸石等。如沪蓉高速公路恩施地区弃土弃渣堆积体以及黄石煤矿煤矸石滑坡等。

1.2 基岩层状斜坡

这类斜坡由地史时期各类沉积岩构成,因岩性不同又可分为碳酸盐岩和碎屑岩两类。它与土质斜坡最大不同点是已固结成岩并有层理。

根据岩石产状和层状斜坡的关系,基岩层状斜坡又可分为六类Ⅱ级斜坡类型,其中四类Ⅱ级斜坡类型如图1中所示。

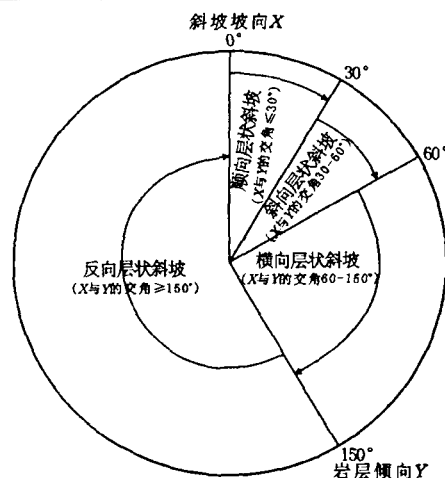


图1 基岩层状斜坡类型图解

Fig. 1 Graphic illustration of stratiform bedrock slope types.

1.2.1 平缓层状斜坡

即岩层倾向小于10°,基本保持原有沉积状态或后期构造变动较小的斜坡。如四川盆地中红色岩建造及湖北省境内山间盆地中的白垩—第三系中发育的边坡。这类斜坡若无其它特殊影响,稳定性较好。

1.2.2 顺向层状斜坡

岩层倾向与坡向交角小于等于30°的层状斜坡称之顺向坡。根据岩层倾向 α 和坡度角 β 以及易滑角 ϕ_c ($\geq 25^\circ$)或易崩角 ϕ_b 的关系,对顺向层状斜坡又可进行更次一级划分(图2、图3)。

(1) 缓角伏倾坡: $\beta/\alpha < 1, \alpha > \phi_c$ 的顺向层状斜坡(图3(a))。无论是碳酸盐岩或碎屑岩,其稳定状态均好,如巫山梨子坪一碛石一带及秭归香溪河左岸等斜坡。

(2) 陡角伏倾坡: $\beta/\alpha < 1, \alpha > \phi_c$ 的顺向层状斜坡(图3(b))。其中碳酸盐岩斜坡在自然状态下较稳定,但若遇河流掏蚀或人为破坏基脚,其稳定性会急剧降低。碎屑岩顺向层状陡角伏倾坡由于抗风化、抗侵蚀能力差,其稳定性较差,在基脚遭受侵蚀作用下崩塌滑坡往往成带分布。

(3) 缓角等倾坡: $\beta/\alpha \approx 1, \alpha < \phi_c$ 的顺向层状斜坡(图3(c))。这类斜坡无论岩层性质如何,稳定性都好。如秭归盆地内由侏罗纪地层组成的单面山,

② 湖北省人民政府赴罗田滑坡考查组,罗田县人民政府救灾办岩崩除险组.湖北省罗田县部分滑坡调查报告及综合防治意见.1991.

③ 国家地震局地震研究所.罗田平头岭水库坝后滑坡体稳定性预测及防治技术研究.1994.

在无河流掏蚀和人为工程影响情况下,只有剥离和扩离两种局部破坏形成。

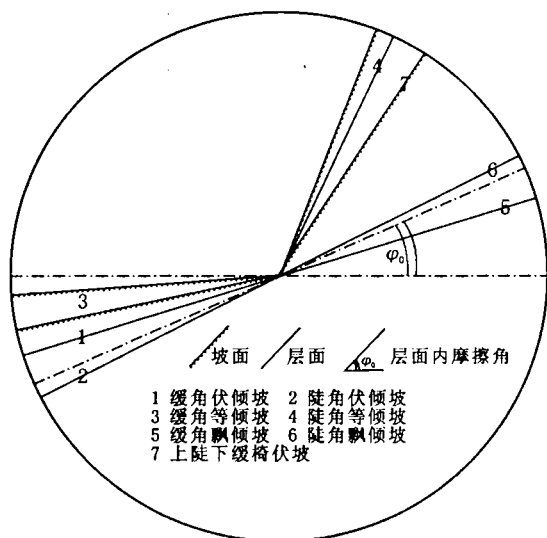


图2 基岩顺向层状斜坡类型图解

Fig. 2 Graphic illustration of slope types which tilt as same as bedrock bedding surface.

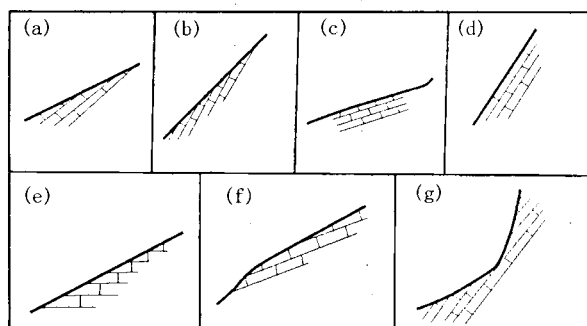


图3 顺向层状斜坡各亚类示意剖面图

Fig. 3 Sections of various subgroup of slope which tilt as same as bedrock bedding surface.

(4) 陡角等倾坡: $\beta/\alpha \approx 1, \alpha > \phi_c$ 的顺向层状斜坡(图3(d))。碳酸盐岩这类斜坡稳定性好,如骆驼河—巴东一带,即使在1991年特大暴雨作用下,只出现泥石流,地剥皮和局部土体塌方,对斜坡稳定性无影响^④。碎屑岩层状陡角等倾坡由于单层岩石厚度和强度不够,加之岩层倾角又大于易滑角,所以在剩余下滑力作用下可以使浅部岩层发生弯曲变形,甚至会出现溃屈破坏,最终导致基岩滑坡。如长阳县杨家槽,在临清江河边(隔河岩蓄水前公路下边)志留系页岩的变形和反翘,巴东县新城址前缘长江边巴东组砂泥岩的变形挠动等,都是造成基岩滑动的前兆反映,应引起充分注意。

(5) 缓角飘倾坡: $\beta/\alpha > 1, \alpha < \phi_c$ 的顺向层状斜坡(图3(e))。由于岩层倾角较缓,小于易滑角,所

以稳定性好,只有局部崩滑和扩离破坏。

(6) 陡角飘倾坡: $\beta/\alpha > 1, \alpha > \phi_c$ 的顺向层状斜坡(图3(f))。这类斜坡不但前缘临空,而且岩层倾角都大于易滑角,所以基岩滑坡的潜在危险极大。如秭归县窑湾—头道河—二道河一带就属这类斜坡。

(7) 上陡下缓椅状坡: 椅状滑坡上部 $\beta/\alpha > 1$, 下部 $\beta/\alpha \leq 1$, 即为上陡下缓的“S”型斜坡(图3(g))。其稳定性以岩层内软弱夹层倾角的陡缓而定,以 $\alpha < \phi_c$ 的较好, $\alpha > \phi_c$ 较差。前者如云阳旧县坪斜坡; 后者如巴东城关—西襄口一带斜坡。巴东县城新址也属椅状顺向坡。

1.2.3 斜向层状斜坡

指岩层倾向与坡向交角 $30^\circ \sim 60^\circ$ 的斜坡。其稳定性多受交角的控制。交角越小,越接近顺向层状斜坡的稳定性越差。如秭归水田坝—胜利街斜坡,人们称这种斜坡为趋劣结构斜坡。交角越大的斜向坡稳定性越好。如长江干流庙河—新滩一带斜坡,它虽曾出现过令人头疼的链子崖危岩体和黄岩、广家崖崩塌体,但都是由局部构造和人类采煤造成的,不影响对这类斜坡稳定性的评价^⑤。

1.2.4 横向层状斜坡

岩层倾向与坡向交角为 $60^\circ \sim 150^\circ$ 者,主要指河流横切褶皱轴向的一侧岸坡形成的斜坡类型,如清江津洋口—沿市口,渔峡口—桃符口,枫岩坪—屯堡斜坡等。这类斜坡破坏强度低,是最稳定的一类斜坡。

1.2.5 反向层状斜坡

岩层倾向与斜坡坡向交角大于 150° 的斜坡称之为反向层状斜坡。反向斜坡中完整性较好且倾角平缓者稳定性较好,如通山富水岸坡、宜昌黄柏河岸坡等;倾角较陡且有软弱底座的反向层状坡其稳定性较差,如香溪河右岸三间到香溪镇一线形成一个完整的滑坡带。

1.2.6 复杂结构层状斜坡

此类斜坡结构并非单一类型,它具有双重和多重结构类型。如链子崖危岩斜坡,由于位于仙女山断裂和九湾溪断裂切割的楔形断块中,受断裂活动和长江深切的影响,使之西侧为顺向层状坡,北侧为

④ 周明礼,杨淑贤. 巴东信陵镇 91.8 泥石流形成的自然环境和诱发机制探讨. 巴东泥石流防治研讨会, 1992.

⑤ 国家科学技术委员会工业科技司, 长江三峡链子崖黄腊石地质灾害防治工作领导小组办公室. 长江三峡链子崖危岩体现场考查研讨文集, 1989.

斜向层状坡,东侧为具有软弱基底的横向层状坡,形成一个极为复杂的层状结构斜坡。巴东新城址黄土坡,平面上看它具有顺向层状斜坡特征和具椅状层状斜坡综合特征,但立体地分析,巴东新城黄土坡的上部为土层、下部为基岩两种复合型斜坡类型,这对黄土坡的稳定性是极其不利的^⑥。

1.2.7 块状岩质斜坡

这类斜坡具体指由岩浆岩、火成岩、变质岩等块状岩石组成的斜坡,如三峡工程坝址区的黑云母角闪斜长花岗岩、通城县的花岗岩、江陵马山的玄武岩等组成的斜坡即属此类。其稳定性均较好。

2 斜坡变形及破坏机制

经野外观察和室内研究,无论何种岩性和斜坡类型,归纳起来只有三类七种变形破坏机制。

2.1 滑移变形破坏类

按其变形破坏的力学性质和运动学特征,可分出5种变形破坏方式。

2.1.1 塑流—拉裂变形破坏

又称之扩离变形破坏,多发生在软硬相间平缓岩层组成的斜坡地区。软岩中含有较多的蒙托石、沸石等矿物,遇水后膨胀,变成易于产生塑流的膨胀土。侏罗系中统沙溪庙组 and 上统遂宁组中有些泥岩属于这种软岩,如忠县猫须子、丰都坝脚等处出现的侏罗系砂岩解体地貌,就是这种含膨胀土软岩塑流而拉裂上部砂岩的结果^[3,4]。

必须指出,有些处在饱和状态下的第四纪堆积物(包括部分人工堆积物)在地震力的作用下,下伏基岩面交界处会因强烈的“界面作用”而使破坏强度增大,由“液化型”塑流而产生上部堆积体的拉裂破坏。例如天津碱厂排水沟东侧堆放着高20m碱废渣,在1976年唐山地震力作用下,沿着堆积体地基发生 400×10^4 整体漂移,是塑流—拉裂变形破坏的典型例证^⑦。湖北省境内由于地震震级小、频度低,尚无此例。

2.1.2 滑移—压裂变形破坏

此类变形破坏的实质是切层裂隙或裂缝与下部软弱夹层相联的阶梯状嵌合带被剪断,所以人们又把滑移—压裂变形破坏称之为剪切破坏。它与塑流—拉裂变形破坏都发生在平缓的层状岩石斜坡分布区。不同之点在于,前者是下部塑流而引起上部岩体拉裂解体;后者是剪断与母岩联系的嵌合带。野外许多平缓边坡发育的小型切层滑坡,都由这种变形发展而成。

无论塑流—拉裂变形或滑移—压裂变形,其后的发展都具有平推滑移破坏性质。特别是在连续降雨和暴雨作用下,由于潜在滑面挠动带的(富)水或裂缝中的水来不及排泄,在滑面水的扬压力和裂缝水的静压力作用下,容易形成平移变形破坏,其结果造成一些平缓碎屑岩分布区出现平推式滑坡。

2.1.3 滑移—拉裂变形破坏

此类破坏多发生在顺向和斜向中缓倾角($\alpha = 10^\circ \sim 40^\circ$)层状斜坡中。当斜坡前缘软弱夹层被水等自然因素或人为作用揭露临空时,会引起斜坡沿软弱层向下滑移,形成滑移—拉裂变形破坏。根据其变形方式又可分为:

(1) 平面滑落变形破坏

主要发生在一些中等外倾斜坡中,当岩层倾角大于易滑角,加之潜在滑面被揭露临空,就容易出现平面滑落变形破坏,如清江天池河口左岸斜坡、香溪河左岸斜坡和1991年秭归头道河水泥厂滑坡等。

巴东新城址黄土坡其深层基岩变形破坏有可能属平面滑落类型。它是向斜南翼的一个变角斜坡(椅状坡),潜在滑面被长江水淘蚀形成一个自南而北的弧形滑床,滑面出现在长江正常水位线附近。

(2) 缓慢滑移—拉裂变形破坏

一般见于缓($\alpha = 10^\circ \sim 20^\circ$)外倾斜坡中,这类斜坡岩层倾角大小介于滑移面残余摩擦角和易滑角之间。当前缘临空时,随着季节的变化(降雨强度和江面水位的变化)也会发生间歇性缓慢的滑移—拉裂变形破坏,并在临空面前缘发生滑塌和土溜现象。如巴东新城黄土坡前缘1995年6月形成的 $80 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和11月 $120 \times 10^4 \text{ m}^3$ 土体滑塌就属此种类型。坡体饱水和裂隙充水承压是影响黄土坡表层滑坡整体复活的重要因素^⑧。

(3) 平面旋转滑移—拉裂变形破坏

平面滑移—拉裂变形破坏是一种特殊类型,岩土体即下滑过程中受到一定侧向约束力而引起变形体的旋转运动。秭归陕西营侏罗系砂岩的右旋变形破坏和链子崖二迭系灰岩的左旋变形破坏即为典型例子。

(4) 滑移—弯曲变形破坏

滑移—弯曲变形破坏最大限制因素是潜在滑面尚未被揭露,因而只出现上部滑坡残体对下伏基岩

⑥ 中国地质大学. 三峡市库区巴东县城黄土坡前缘斜坡稳定性预测与防治对策研究, 1997.

⑦ 中国科学院成都地理研究所. 地震与滑坡, 1978.

的挠动变形。巴东新城黄土坡前缘车渡码头一带出现的破碎带,是上部基岩滑动的挠动带;鸭子口镇新址杨家槽公路下部清江边志留系页岩产状的反向,也是基岩下滑受阻后上隆的产物,属弯曲变形破坏范畴^②。

(5) 滑移—剪断变形破坏

若中陡顺向层状斜坡前缘潜在滑面不临空时,前部剪出可出现两种情况:一是沿早期生成的挠动带中褶曲轴部断裂和裂隙带剪出,巴东黄土坡和长阳杨家槽的深成滑坡属此类;另一种是遭受水侵蚀,潜在滑面接近侵蚀面时,上部岩体失去支撑而剪出。

2.2 座落变形破坏类

多见于陡立斜坡分布区,尤以反向斜坡为甚。其中最常见有座落、崩落、滑落三种形式,都以悬挂岩体剪断连接母岩的上部或根部岩石为其特征,并基本保持原有岩石层序。如1856年6月10日湖北咸丰大路坝6¼级地震使大垮岩、小垮岩产生的变形破坏,属坠落型破坏^[7]。不少专家预测,秭归链子崖危岩体中 T_7 裂缝所切割的岩块,若未采用加固措施,未来的破坏方式有可能是座落; T_{11} 、 T_{12} 、 T_{13} 裂缝所围限的岩块破坏方式则有可能是倾倒或崩落; T_9 、 T_{11} 所围限的岩块破坏方式则有可能是切断板梁的滑落。

2.3 倾倒变形破坏类

与座落变形破坏不同,倾倒变形破坏主要受制于危岩根部压裂所引起岩体上部的引张,故尔破坏时,是危岩上部张裂远离母岩;下部由压裂变成撕裂,从而造成危岩由上至下的倾倒抛出。这种变形破坏在峡谷区容易造成强大的压缩空气,加重灾害程度。如1980年6月远安盐池河磷矿区斜坡变形破坏属典型的倾倒型,土石方量虽仅有 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$,但几乎摧毁矿务局、坑口所有建筑物及部分采矿设施,死亡284人,造成了极其严重的损失。值得提出的是,长阳县白岩危岩体未来的破坏方式除向东南方向的平面左旋滑移—拉裂、向西部剥离式座落外,特别要注意倾倒的变形破坏方式,这种破坏的关键在于危岩体东南部是否有足够的约束力^[6]。

3 结论

(1) 我省及邻区斜坡按岩性组合、岩土结构特征可分出土质斜坡、层状基岩斜坡和块状斜坡三大类;

(2) 斜坡破坏方式有塑流—拉裂变形破坏、滑移—压裂变形破坏、滑移—拉裂变形破坏、滑移—弯曲变形破坏、滑移—剪切变形破坏、座落变形破坏和倾倒变形破坏等7种方式;

(3) 三大斜坡类型中在正常情况下,以块状岩质斜坡稳定性最好,以大于 25° 倾角基岩面上的土质斜坡稳定性较差。基岩层状斜坡中以平缓层状斜坡、横向层状斜坡稳定性最好,其余好坏参半,因具体情况而定;

(4) 有完整滑体、明显滑面、清晰滑床是斜坡滑移破坏的决定因素,地形地貌条件和其它外力作用(包括人们的生产活动)是发生变形破坏的重要条件;

(5) 在制定治理方案前,弄清斜坡类型、稳定性和破坏方式等,并结合当地、当时的具体情况分别制定出稳妥的治理方案,以减轻国家的经济损失和人员伤亡。

[参考文献]

- [1] 徐馨,等.第四纪环境研究方法[M].贵州:贵州科技出版社,1992.
- [2] 杨怀仁,徐馨,杨达源,等.长江中下游环境变迁与地生态系统[M].南京:河海大学出版社,1995.
- [3] 中国岩石力学与岩土工程学会.自然边坡稳定性分析暨华蓥山边坡变形研讨会论文集[C].北京:地震出版社,1992.
- [4] 杜榕桓,刘新民,袁建模,等.长江三峡工程库区滑坡与泥石流研究[M].成都:四川科学技术出版,1990.
- [5] 刘世凯.地质环境与工程[M].成都:四川科学技术出版社,1996.
- [6] 熊继平主编.湖北省地震史料汇编[M].北京:地震出版社,1985.
- [7] 刘锁旺,甘家思,丁忠孝,等.1856年湖北咸丰6¼级地震[A].见:中国地震年鉴[C].北京:地震出版社,1987.

② 周明礼,杨淑贤.杨家槽滑坡的形成机制及防治技术研究.1999.