

城市地质灾害评价与治理的新理念——济南砚池山滑坡危险区分析

New Idea for City Geological Disaster Evaluation and Treatment ——Landslip Danger Area Analysis for Yanchi Hill in Jinan

罗国煜 阎长虹 李晓昭 许宝田 储同庆

(南京大学地球科学系, 南京, 210093)

摘 要: 运用优势面理论对济南砚池山滑坡灾害进行了分析, 发现砚池山滑坡存在 5 种变形机制, 因此, 边坡若在强降水或连续降水等不利因素作用下, 其抗滑力会急剧下降, 整体边坡有沿岩土界面这一优势面发生大的滑动的危险, 特别是沿滑动体中还可能潜在 NNW 方向优势面导滑沟槽向下加速滑动。为此, 据优势面理论的人地调谐治理新理念, 提出了对上部岩坡和下部土坡进行锚喷加固和对山顶裂缝进行回填处理的治理方案。认为通过这种城市地质灾害治理将危险区变为园林风景区, 作为生态城市建设的示范工程, 具有重要的示范意义。

关键词: 优势面 城市地质灾害 变形机制 新理念

1 引言

环境文明时代可持续发展战略要求, 使城市化的发展面临新的挑战。首先, 城市规划从着眼于社会经济因素和环境美学因素转向生态城市规划和建设, 目标是实现资源、环境、社会、经济四大要素的耦合, 使城市综合功能、整体竞争力、发展质量和特色以及生活环境俱佳。因此, 环境问题, 特别是城市地质环境和地质灾害问题研究的重要性日益突出。南京大学与山东岩土工程总公司两家联合在中国冶金地勘总局支持下, 开展对济南市环境岩土工程安全与地质灾害这一基础性问题进行了预研究, 砚池山滑坡问题就是这次研究中新的发现或深化认识, 为建筑物规划选址等提供重要的参考^[1-5]。通过砚池山滑坡灾害危险区研究, 使我们在城市灾害评价和治理方面形成一些新的认识 and 理念, 特作介绍和说明。

2 济南砚池山滑坡问题研究新认识

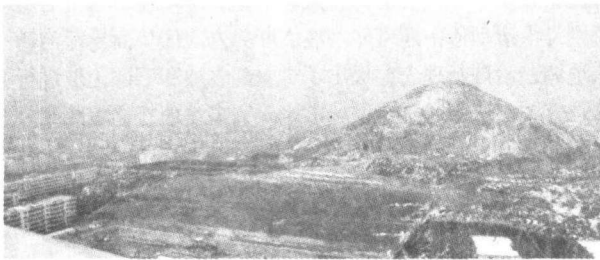
济南环境岩土工程问题及地质灾害专题研究是按照工程地质、环境岩土工程优势面理论研究观点进行的。岩体中断裂构造特别是那种形成时间新、破碎带软弱、导水、富水的断裂即优势断裂(优势面)往往对裂隙水分布和岩体稳定性和地质灾害分布起控制作用。滑坡孕育, 也即斜坡岩体表生改造, 在滑坡研究中居于重要的基础性地位^[6-8]。对边坡(斜坡)问题, 优势面理论主要是从地质结构控制抓优势层, 从岩体结构抓优势面, 即着重优势层、优势面、优势分离体、主要剪出口(其上变形体高度 h 最大)的研究。

砚池山滑坡已见之于形, 虽然砚池山入口处写着此处有危险岩体标牌, 但许多高层、多层建筑就在山下, 并不断向山体方向逼近, 表明对这一滑坡的机制、危险性还缺乏应有认识, 误认为是堆土平台上的较小规模的岩坡变形。其实采矿废矿渣及城市建筑垃圾在其山坡上不断堆填加高, 会在下部土岩接触面上形成多个界面, 反而不利于坡体稳定。所以, 对砚池山不稳定边坡的现状、边坡变形机制、发展趋向、危害性需要认真研究和分析鉴定, 以采取相

应对策。

2002 年 8 月到 2002 年 12 月笔者先后 4 次进入现场进行实地调查、勘查、测试,经研究分析,得出初步认识,并为随后召开的专家会议认可。后又协作地勘部门和通过研究生实习做了进一步工作,得出如下较系统的成果:

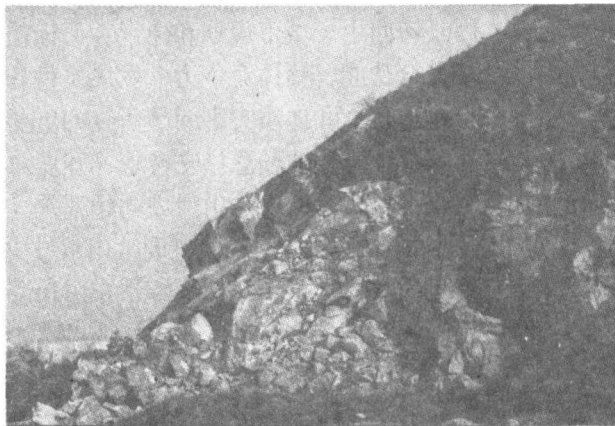
(1) 砚池山滑坡是已见之于形(见照片 1、2、3)。该边坡曾于 1998 年发生过崩塌滑坡,目前坡顶、坡底脚仍有继续滑动变形的迹象。



照片 1 砚池山边坡整体形态



照片 2 山顶发生开裂



照片 3 山体发生崩塌滑坡

(2) 形成机制复杂,发展趋势威胁大,存在 5 种变形破坏机制:① 砚池山滑坡在堆土平台上高 60 m 左右,该基岩边坡存在明显的崩塌滑坡现象,一般易当作仅是这坡高 60 m 左右的岩坡崩滑变形。但如从大系统大视域分析,这 60 m 岩坡变形只是砚池山边坡变形的上部的一部分。砚池山边坡实为底脚达窑头沟泄洪河道的一个高边坡(大 H 边坡)。② 只有这样一个大的高边坡的坡顶基岩山体构造裂隙发育的奥陶系灰岩,才会因边坡卸荷效应产生如此发育的平行岸边剪切裂隙,并产生了崩塌变形。③ 在山体中,有采矿空区(人工优势层)的存在,空区下沉,产生悬臂梁效应(图 1),加重山体不稳定性,使裂隙更加张裂破碎。④ 山坡堆填土平台上,弃土弃渣的堆积使其下土岩可能滑动界面上变形体高度不断加高,影响整体边坡

稳定性, 向不利方向发展又增加了变形体高度 h (图 2), 使边坡稳定性系数 K 不断下降。⑤ 建筑场地向山体内推进, 不断切坡脚, 使坡体失去前沿支撑体。

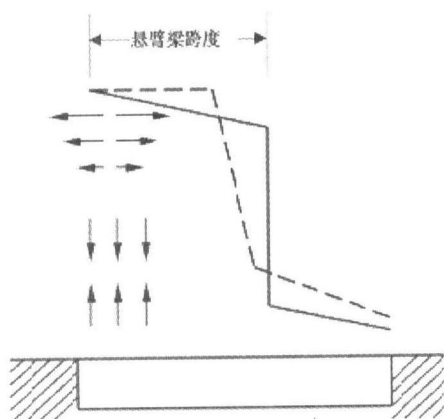


图1 采矿空区产生悬臂梁效应

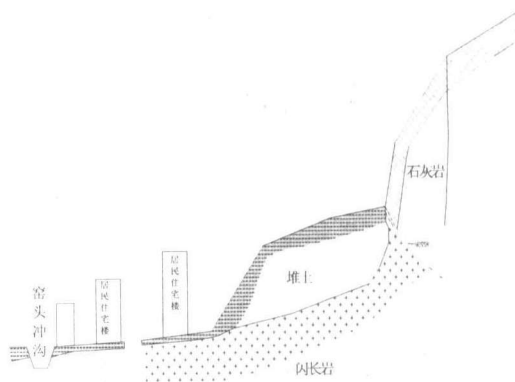


图2 弃土弃渣的堆积使边坡变形体高度增加

这一边坡若在强降水或连续降水等不利因素作用下, 边坡抗滑力会急剧下降约 20%~40%, 整体边坡有沿岩土界面这一优势面发生大的滑动的危险, 特别是沿滑动体中还可能潜在 NNW 方向优势面导滑沟槽向下加速滑动。这类滑动, 现实威胁是严重的。

边坡可能滑动的剪出口不是一个, 在其上、中、下部位均有剪出口的存在, 会引起不同程度的破坏。局部变形, 特别是整体变形, 都会产生大的危害。应注意查明并做防灾加固处理, 以策安全。

3 潜在威胁与危害度评估新认识

如上所述, 应特别强调的是本区山下为高新技术开发区(管辖区)外之政策区、人口稠密区, 高层、多层建筑较多, 且还在挖方靠近山体, 不稳定性在增大。目前坡顶变形, 沿多个土层界面可发生不同小剪出口滑动, 也会造成一定的损失, 若一旦堆土与岩石风化层沿新鲜岩面失稳滑动, 所造成的损失是不可估量的, 其政治影响和社会影响将更大。如果泄洪河道部分被阻或受堵, 引起的危害会更大。重庆武隆乌江北岸仙女街 1.5 万 m^3 岩体崩塌, 摧毁 7 层高楼, 死亡 79 人, 这一惨重教训应该吸取。因为本处滑体远不止 1.5 万 m^3 (初步计算上部边坡滑体约 4~5 万 m^3 , 下部废矿渣及建筑垃圾约 30 万 m^3)。

由于威胁是现实存在的, 且 1998 年就滑动过, 现在每年在陡岩和水池处都有伤亡事故。历史经验教训除重庆武隆外, 还有湖北远安盐池河磷矿滑坡, 该滑坡与砚池山有类似的崩塌机制, 该滑坡发生于 1980 年 6 月 3 日凌晨 5 点 36 分, 滑坡体为 100 万 m^3 , 高差 400 m, 摧毁全部坑口建筑, 死亡 284 人, 滑向受两组节理组合交线方向控制, 指向 NE20°。

盐池河边坡虽然坡高大, 滑体大, 但人口少。砚池山地处城市中, 山下高层、多层建筑密集分布, 人口稠密。一旦发生整体破坏, 后果不堪设想。再者除了防灾之外, 从改善该砚池山较差的城市生态环境, 从改善投资环境以及建设景点考虑都要求尽快进行研究和治理。另外要指出的是, 砚池山滑坡的破坏机制, 在本区有一定的普遍性, 对此研究和治理有示范作用。

2 cm, 墙面设置排水孔, 墙内每隔 4 m 设置高 16 m、直径 0.8 m 的人工挖孔桩, 桩底嵌入强风化闪长岩, 嵌固深度 9 m。距离桩顶 1 m 处设置规格 0.3 m × 0.3 m 的方形横梁, 在距离墙顶 1 m 和 5 m 处设置两排长 15 m $\phi 28$ mm 的预应力锚杆, 锚杆水平间距 3 m, 预应力 50 kN, 锚杆倾角 10°, 锚杆直径 150 mm, 砂浆等级 M30。

(3) 为防止滑体从桩顶以上剪出以及减少对抗滑桩推力, 在第二级边坡上设置预应力锚索框架, 框架由 3 道横梁和竖梁组成, 横梁间距 3 m, 竖梁间距 3 m, 横梁及竖梁截面均为 0.600 m × 0.400 m, 在梁交点处设置预制应力锚索, 锚索长 30 m, 下倾角 25°, 锚固段长 10 m, 锚杆直径 150 mm, 砂浆等级 M30。框架后用碎石充填, 框架内充填黏土, 并植草防护。

(4) 第三级边坡上设置锚杆框架, 每片框架三根竖梁和三根横梁组成, 间距 3 m, 横梁及竖梁截面均为 0.600 m × 0.400 m, 节点处设长设置全长粘结型 20 m $\phi 28$ mm 锚杆, 锚杆下倾角 20°, 锚杆直径 150 mm, 砂浆等级 M30。框架后用碎石充填, 框架内充填黏土, 并植草防护。

(5) 第四级边坡上设置浆砌片石护面墙防护。各级平台刷方时作成约 5°微倾顺坡向斜坡。

(6) 坡面防护。平台前设置 0.2 m × 0.2 m (宽 × 高) 的截水沟, 坡面植草防护, 坡面设置三道顺坡向 0.2 m × 0.2 m (宽 × 高) 排水沟。

5.2 上部岩石边坡

(1) 边坡设计为 5 级, 每级高 10 m, 一级 1 : 0.5, 二级 1 : 0.75, 三、四、五级 1 : 1。平台宽 2 m。

(2) 在第一级边坡前设置等截面预应力锚索抗滑桩一排共 57 根。桩长 20 m, 桩中心间距 B_p 3.5 m, 底部嵌入闪长岩体深度不小于 7 m, 桩径 1.500 m × 1.000 m 方桩, 桩身砼等级 C30。桩长边平行于坡体主滑方向, 桩截面最大弯矩 2978.3 kN · m, 最大剪力 1005.86 kN。在距桩顶部 1 m 处设置 2 孔预应力锚索, 每孔采用 7 根 $\phi 15.24$ mm 高强度低松弛钢绞线, 锚索长度 30 m, 锚固段长度 8 m, 倾角 20°, 单孔设计拉力 800 kN, 预应力 400 kN, 锚杆直径 150 mm, 砂浆等级 M30。

(3) 为防止滑体从桩顶以上剪出以及减少对抗滑桩推力, 第一、第二级边坡上设置锚杆框架, 每片框架三根竖梁和三根横梁组成, 横梁及竖梁截面均为 0.600 m × 0.400 m, 间距 3 m。节点处设长 18 m $\phi 28$ mm 的预应力 20 kN 锚杆, 下倾角 15°, 锚杆直径 150 mm, 砂浆等级 M30。

(4) 第三设置全长粘结型 20 m $\phi 28$ mm 锚杆, 第四级设置全长粘结型 15 m $\phi 28$ mm, 锚杆下倾角 10°, 锚杆竖直间距 3 m, 水平间距 3 m, 在坡面呈菱形排列, 锚杆直径 150 mm, 砂浆等级 M30。坡面进行锚喷支护, 喷射混凝土的设计强度等级为 C20, 钢筋网设计标准为: 材料采用 3 号钢筋, 钢筋直径为 6.5 mm, 钢筋间距为 200 mm, 钢筋保护层厚度 20 mm。

(5) 坡面防护。为保证刷方后坡面稳定, 在二级坡面植草防护, 在各级平台前和坡顶设置 0.2 m × 0.2 m (宽 × 高) 截水沟, 坡面设置 3 道顺坡向 0.2 m × 0.2 m (宽 × 高) 排水沟与底部土坡排水沟相连。

(6) 裂缝夯填。为防止地表水沿裂缝下渗, 对滑坡区的裂缝用黏土回填夯实。

(7) 采空区回填。为了防止采空区对边坡稳定性影响, 还需对采空区进行回填充实, 回填土必须进行夯实和填实处理。

6 结论与建议

(1) 砚池山滑坡已见之于形,对砚池山不稳定边坡的现状、边坡变形机制、发展趋向、危害性做了认真研究和分析,并得到专家会议认可和领导重视。

(2) 砚池山存在五种变形破坏机制。整体边坡有沿岩土界面这一优势面在极端不利的降雨和不利地质因素作用下存在发生大的滑动的危险,特别是沿滑动体中还可能潜在 NNW 方向优势面导滑沟槽向下加速滑动。这类滑动,现实威胁是严重的。应停止向坡脚扩建和坡上堆土加载并采取监测应急治理和逐步系统加固治理措施,以确保安全。

(3) 依据优势面理论的治理观点,针对具体的环境岩土工程问题和地质灾害问题,进行地质机理分析,进行针对性治理,并按人地协调理念和治理与开发相结合的原则,可以通过治理将其危险区变为园林风景区,变害为利,按生态城市建设的示范工程标准,认真做好治理工作,使之具有重要的推广示范意义。

参 考 文 献

- 1 Xie M W, Zhou G Y, Esaki T. Landslide hazard assessment using Monte Carlo simulation based on GIS. In: The 10 th International Conference of IACMAG. Arizona[C]. [s. l.]: [s. n.], 2001, 169-173
- 2 Xie M W. GIS-based Three-dimensional Landslide Assessment:Development of Theory and a System. Japan: Kyushu University Press, 2002
- 3 兰恒星,伍法权,周成虎. 基于 GIS 的云南小江流域滑坡因子敏感性分析. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(10): 1500-1506
- 4 单新建,叶洪,李悼芬. 基于 GIS 的区域滑坡危险性预测方法与初步应用. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(10): 1507-1514
- 5 谢模文,王纯祥,江崎哲郎,邱骋. 滑坡发生地周围类似滑坡再发分析及灾害评价. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(15): 2640-2645
- 6 黄润秋,张悼元,王士大. 论岩体结构的表生改造. 水文地质工程地质, 1994, (4): 1-6
- 7 黄润秋. 岩石高边坡的时效变形分析及其工程地质意义阴. 工程地质学报, 2000, 8(2): 148-153
- 8 Forlati F, Gioda G, Scavia C. Finite element analysis of a deep-seated slope deformation. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2001, 34(2): 135-159