

泰山云步桥景区崩塌灾害特征及防治

李守昌, 廉德军, 周绍智, 张学明, 杨仁忠

(山东省第五地质矿产勘查院, 山东泰安 271000)

摘要:以实际调查、监测资料为依据,在分析云步桥景区崩塌地质灾害特征的基础上,提出了崩塌灾害治理方案,并依据治理方案对可能继续发生崩塌的悬空区进行了治理。治理方案针对地质灾害的具体情况,采用了国内先进的综合方法,实施成本较低,方法实用,效果良好。

关键词:地质灾害;崩塌;防治;泰山云步桥

中图分类号:P642.21;X43

文献标识码:B

泰山中天门管理区云步桥西侧危岩体2011年发生崩塌(图1),剩余部分贯通、破碎,整体稳定性差,且悬空部分体积大。其下部为游客上山必经之路,对游客安全构成较大威胁。为保障进山游客人身安全,泰山管委组织专家对此处崩塌灾害隐患点进行了论证治理,消除了崩塌灾害隐患。该文就此处崩塌灾害治理进行了分析、研究、总结。



图1 崩塌灾害位置图

1 地质环境

1.1 地形地貌

泰山总体地势呈北高南低、西高东低的特征,主峰南陡北缓。泰山南坡因受NEE向3条正断层的影响,形成了南天门、中天门和一天门十分明显的三大台阶式的地貌景观,凸显了泰山雄伟险峻的气势。

崩塌灾害点位于中山区,山坡倾角为 $43^{\circ}\sim 80^{\circ}$,属陡崖,局部小于 43° ,为陡坡。区内冲沟发育,长度小于4 km,切割深度800~1 260 m,属中等一强烈切割。沟两侧受洪流长期冲蚀影响,陡崖较多^[1]。

1.2 气象水文

泰山属暖温带半湿润季风气候,山区多年平均气温为 13°C ,最低1月份,平均气温 -2°C ,最低气温 -20.7°C 。7月份温度最高,平均气温 26.19°C ,最高气温 39.2°C 。区内多年平均降雨量为712 mm(1951—1995年),最大降雨量1 475.4 mm(1964年),最小年降雨量340.50 mm(1989年)。

区内冲沟发育,小河较多,流经云步桥的河流为西溪。西溪旧称顺天河,又叫黄溪河,发源于三仙庙,流经云步桥、中天门、马蹄峪、竹林寺,注入龙潭水库,长5 600 m,为常年性河流,流量一般为 $0.6\sim 38\text{ L/s}$,丰水期可达 $1.2\text{ m}^3/\text{s}$ 。

收稿日期:2014-04-29;修订日期:2014-06-19;编辑:陶卫卫

作者简介:李守昌(1966—),男,山东章丘人,高级工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail:uovc@163.com

1.3 地层岩浆岩及构造

工作区地层主要为第四纪山前组,分布于工作区山坡,岩性为黄褐色砂质粘土夹砾石,出露厚度0.1~1.6 m。

区内岩浆岩属红门超单元中天门单元,岩性为中粗粒黑云英云闪长岩,灰白色,风化后为灰黑色,野外常见球状风化。中粗粒变余花岗结构,块状构造。主要矿物组成为斜长石、碱性长石、石英、黑云母、角闪石。另含有磷灰石,次生绿帘石、绢云母等。

区内构造为裂隙,较发育—发育,局部很发育,断层不发育。裂隙走向以 NNW, NNE 向为主(图2), NW 向、NE 向次之,近 SN 向、近 EW 向裂隙较少见。裂隙有平行断裂走向的优选。裂隙多共轭剪切,裂隙面光滑平直,闭合。裂隙中一般无充填物,局部可见绿帘石脉。在陡崖、陡坡的表面,由于风化作用和重力位移影响,裂隙有张开现象,宽度一般2~5 mm,少量为1~10 cm,个别地段可见10~50 cm大裂隙。地表张开裂隙向下向内延伸均为闭合裂隙。

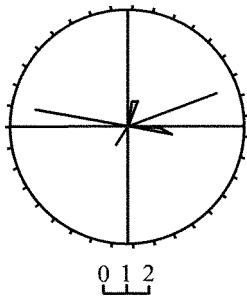


图2 云步桥岩体裂隙倾向玫瑰花图

1.4 岩土体工程地质特征

区内岩土以岩浆岩为主,次为坡积物。其工程地质特征因裂隙发育程度、风化程度不同而表现出很大差异^[2]。

中粗粒黑云英云闪长岩为灰白—灰黑色,沿NW向构造分布,裂隙发育,局部较发育或不发育,强风化为主,裂隙密集带可见全风化。全风化层厚0~0.5 m,强风化层厚3~20 m,弱风化层厚25~55 m。岩体完整性较差,抗压、抗剪强度较低,其承载力标准值 $f_k > 500$ kPa。

坡积物分布在缓—陡坡的坡面上,岩性为砂质粘土夹砾石,厚度0.1~1.6 m,一般上部薄,坡脚厚;陡坡薄,缓坡厚。颜色为黄褐色,成分以角砾、碎

石、粉质粘土为主,含少量砂。角砾含量40%~50%,碎石15%~20%,粉质粘土35%~40%。角砾、碎石成分与母岩一致,为二长花岗岩、闪长岩、石英、长石。

坡积物的形成时间短,其组成物移动距离小或未移动,固结性差,颗粒之间孔隙大,有较大的可压缩性。

1.5 水文地质特征

云步桥景区发育基岩裂隙含水层,地下水赋存于裂隙发育区的强风化层中,富水性及透水性不均匀。含水层厚度10~30 m,涌水量小于200 m³/d, pH值7.30~7.8,矿化度0.23~0.24 g/L,水质良好。水化学类型为HCO₃·SO₄-Ca·Na型。基岩裂隙水的补给受季节影响,丰水期以大气降水补给为主,枯水期以侧向补给为主。其流向与地形基本一致。基岩裂隙水的排泄主要为侧向排泄,向外围泄入相邻含水层,其次,在沟谷深切区出露地表,排泄入山间河流。

2 崩塌灾害特征

2.1 灾情

2011年7月5日8时30分,云步桥景区西侧陡崖发生崩塌,部分崩落块石砸破防护网后堆积于盘山路旁的石砌平台,距登山人行路水平距离不到2 m。由于防护得当,此次崩塌未造成人员伤亡,但崩塌后的悬空区有发生更大规模崩塌的可能。

遵照“以人为本,安全第一”的原则,泰山管委会同有关部门立即布置警戒线,设立警示标志,临时关闭了紧靠崩塌区的云步桥登山路。据统计,此次崩塌造成经济损失127万元。

2.2 发育特征

发生崩塌的陡崖紧挨云步桥盘山道,高31 m,宽26 m,坡面倾角43°~80°。岩性为中粗粒黑云英云闪长岩,中粗粒变余花岗结构,块状构造。主要矿物成分为长石、石英、角闪石、黑云母。岩石裂隙发育,裂隙走向以 NNW, NNE 向为主(图2),次为NW向、NE向。岩石表面强风化,剥落的小块石手可捏碎。

2011年7月5日形成的崩积物以块石为主,直径0.60~1.5 m,大部分堆积于坡脚,最大的一块长

1.5 m,宽0.4 m,高0.7 m,总体积约1.5 m³。

发生崩塌后的陡崖残留一处长9.8 m,宽4.5 m的临空危石,危石体积约110 m³。悬空部分高1.5~3.6 m,平均2.5 m,悬空体积约97 m³。危岩体裂隙发育、破碎,部分贯通,经评估,继续发生崩塌的可能性大,地质灾害危险性大。

2.3 成因分析

崩塌的形成取决于构造、地形条件及风化发育程度,还受暴风雨、地震和人类活动的影响。构造是第一要素,是崩塌形成的基础,构造面可以使岩体破碎。区内构造主要为裂隙,其走向以NNW, NNE向为主(图2);NW向,NE向次之。2组主要裂隙的走向近直交,将斜坡切割成了一组组的块体。当裂隙切割的块体结构面外倾且走向与斜坡走向平行或基本平行时,块体的重力即产生了一个沿结构面的下滑分力。通常情况下,下滑分力小于结构面的阻力与块体间结合力之和,较稳定。完整无裂隙及其他构造面的岩体没有下滑分力等不稳定因素,不论其坡角大小,都很难形成崩塌,即使是强烈风化的情况下,也只能形成剥落。

地形条件是形成此次崩塌的又一重要因素,其他条件相同的情况下,斜坡的坡角大小与崩塌的易发性正相关。坡角较小时,只有更小的结构面才能外倾,其下滑分力小,不易形成崩塌。坡角越大,可能出露的外倾结构面的倾角越大,下滑分力越大,越容易形成崩塌。一般情况下,陡崖容易发生崩塌,陡坡很少发生崩塌,缓坡不会发生崩塌。

风化对崩塌有重要促进作用。多数未风化裂隙宽度很小,块体之间结合力较强,不易形成崩塌。在风化作用下,裂隙的宽度逐渐变大,块体间的结合力变小,部分块体甚至与周围块体没有任何结合,成为“独立”石块。随着风化程度的加深,下滑阻力越来越小,当其小于下滑力时,即发生崩塌。

云步桥崩塌就是处于临界状态的斜坡岩石在雨中吸水使下滑力增加,而雨水润滑减少了下滑阻力,在下滑力大于下滑阻力的情况下发生崩塌。

3 治理方案

3.1 治理原则

安全原则:首先保证山坡整体稳定,防止治理工程引发新的崩塌。其次保证施工安全,施工过程中

不对崩塌隐患点切削坡,防止旧崩塌复活。同时做好工程施工防护,保证场地人员及设备安全^[3]。

实用原则:因地制宜,在满足现场景观功能基础上,确保治理工程与周边环境协调一致,相关配套设施满足实际需要。

环保原则:注意保护周边地质环境,严禁破坏边坡、植被。工程竣工后及时清理施工垃圾,恢复原状。

自然原则:危岩治理后,工程主体表面用彩色水泥仿自然岩石着色,抹刀仿裂隙勾缝,与周围岩体协调统一,确保景观效果。

绿化原则:施工过程中对确需挖除的植被、树木应临时移栽,待工程完毕后再移回原位,并养护至复原。

经济原则:充分考虑建设项目的可行性及必要性,避免无效工作量,做到经济合理。

3.2 治理方案

3.2.1 安全监测

为保证施工安全及游客安全,安排专人进行危岩监测。监测时间间隔为:下雨期间及雨后24 h之内1 h观测一次,其他时间每4 h一次。一旦发现危岩出现裂隙加大、滑动等异常现象,应现场24 h全天候监测,并立即采取支护措施,同时疏散游客,必要时临时封闭道路(图3)。

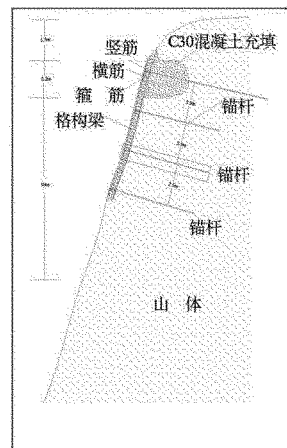


图3 云步桥崩塌灾害治理施工示意图

3.2.2 悬空岩体充填

自上而下顺序进行。先充填悬空危岩,消除崩塌隐患,后护坡^[4]。①保留支撑悬空岩体的木桩,下部锚筋焊接加长至悬空部分顶部,锚筋密度0.5 m,锚入基岩深度0.5 m。②支挡模板,对悬空部分用

强度为C30混凝土充填,边充填边用振动棒震实。
③混凝土凝固后,拆除模板,定期浇水养护,浇水后覆塑料薄膜防止水分蒸发。④悬空部分混凝土施工完毕后,对其养护,周期7天。

3.2.3 格构梁施工

为防止破碎岩体表面坍塌掉快,对整个岩体面进行格构梁防护。清理岩石面,施工格构梁^[5]。在悬空部分下面6 m处,整理出10 m长,0.4 m宽的平台。在宽10 m,高8 m的岩体表面,按横向、竖向各2.5 m的间距布设钢筋笼。钢筋笼布置4根直径20 mm主筋,间距300 mm,箍筋直径8 mm,间距200 mm。

钢筋笼的筋交点处用锚筋将钢筋笼和岩体连接,锚筋直径28 mm,锚入基岩5.0 m。钢筋笼扎接完后支挡模板,C25混凝土浇筑格构梁,梁横截面长、宽均为0.4 m。格构梁混凝土稳固后拆除模板,浇水养护,并覆盖塑料膜防止水分蒸发。

3.2.4 美化处理

为恢复自然景观,工程墙体表面用园林手法仿自然石处理。

3.3 承载力验算及配筋

危岩体重力计算参数:危岩体长9.8 m,高4.5 m,厚1.8~3.6 m,平均2.2 m,危石密度取2.65 t/m³,重力加速度 $g=9.8 \text{ m/s}^2$ 。危岩体自身重力 $G_{危}=9.8 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} \times 2.2 \text{ m} \times 2.650 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2=2519.6 \text{ kN}$ 。钢筋混凝土墙重力计算主要参数:钢筋混凝土墙长度9.8~11.0 m,平均取10.5 m;钢筋混凝土墙宽0.6 m,高10.0 m,钢筋混凝土密度取2.55 t/m³;重力加速度 $g=9.8 \text{ m/s}^2$ 。

混凝土墙自身重力 $G_{混}=10.5 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 10.0 \text{ m} \times 2550 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2=1574.4 \text{ kN}$ 。

浆砌毛石墙重力计算参数:浆砌毛石墙长度9.8 m,高度2.2 m,厚度1.8~3.6 m,平均2.2 m;浆砌毛石密度2.5 t/m³,重力加速度 $g=9.8 \text{ m/s}^2$ 。

浆砌毛石墙重力: $G_{毛}=9.8 \text{ m} \times 2.2 \text{ m} \times 2.2 \text{ m} \times 2500 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2=1162.1 \text{ kN}$ 。

混凝土墙摩擦力计算参数:钢筋混凝土墙自身重力 $G_{混}=1574.4 \text{ kN}$,摩擦系数0.7,墙体坡度80°。

$F_{摩}=1574.4 \text{ kN} \times 0.7 \times \cos 80^\circ=191.4 \text{ kN}$

基底承载力参数:中风化基岩承载力 $f=1000$

kN/m^2 ,基底长平均10.5 m,宽0.6 m。

$F_{基}=1000 \text{ kN/m}^2 \times 10.5 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}=6300 \text{ kN}$

$F_{摩}+F_{基}=6300 \text{ kN}+191.4 \text{ kN}=6491.4 \text{ kN}$

$G_{危}+G_{混}+G_{毛}=2519.6 \text{ kN}+1574.4 \text{ kN}+1162.1 \text{ kN}=5256.1 \text{ kN}$

$F_{摩}+F_{基}>G_{危}+G_{混}+G_{毛}$

经计算,混凝土墙基底承载力与其摩擦力大于危岩体、浆砌毛石墙及混凝土墙自身重力,因此仅需对钢筋混凝土墙构造配筋。配筋方法: $\Phi 20$ 钢筋8根,编织宽0.5 m、高0.3 m的钢筋笼,用 $\Phi 8$ 钢筋绑扎,绑扎间距0.2 m。用 $\Phi 28$ 钢筋一段锚固钢筋笼中部,另一端入完整岩石5 m,锚固间距2 m。每2 m设置一个钢筋笼,共6个。距两侧混凝土表面各0.2 m处设置2张 $\Phi 18$ 钢筋编织的钢筋网固定混凝土,编织间距为20 cm \times 20 cm。

配筋率 $\rho=A/bh$ (A 为钢筋截面面积, b 为矩形截面宽度, h 截面有效高度), $\rho=48 \times \pi(0.01 \text{ m})^2/0.6 \text{ m} \times 10.5 \text{ m}=0.24\%>$ 构造配筋最小配筋率($\rho_{min}=0.2\%$)。

根据钢筋单位尺寸重量计算公式计算钢筋用量:

$W=0.00617 \times d \times d$ (d 为断面直径,mm)

$\Phi 28$ 钢筋用量 $=3 \times (6 \times 6 + 6) = 126(\text{m})$

$W_{\Phi 28}=0.00617 \times 28 \times 28 \times 126=609.5(\text{kg})$

$\Phi 20$ 钢筋用量 $=10.5 \times 8 \times 6=504(\text{m})$

$W_{\Phi 20}=0.00617 \times 20 \times 20 \times 504=1243.9(\text{kg})$

$\Phi 12$ 钢筋用量 $=(52 \times 10.5 + 54 \times 10) \times 2=2172(\text{m})$

$W_{\Phi 12}=0.00617 \times 12 \times 12 \times 2172=1929.8(\text{kg})$

$\Phi 8$ 钢筋用量 $=1.6 \text{ m} \times 53 \times 8=678.4(\text{m})$

$W_{\Phi 8}=0.00617 \times 8 \times 8 \times 678.4=267.89(\text{kg})$

4 治理效果

山东省第五地质矿产勘查院通过招标接受该项目治理委托,并于2011年8月—2013年6月根据论证方案对云步桥崩塌灾害进行了治理及后期维护、监测。治理工程加固了危岩,排除了隐患,达到了设计要求。

5 维护监测

为保证工程质量,混凝土浇灌工程完成后,施工单位按设计要求对治理工程进行了维护、监测。混凝土维护包括定期观察、喷水、薄膜覆盖,主体保护

等。监测项目主要有岩体与混凝土结合度、凝固后岩体变化情况,周围岩体裂隙变化情况^[6]。

为恢复生态环境,后期拟在新施工混凝土主体表面进行灌木移植、养护。

6 结论

泰山云步桥景区崩塌灾害,经治理后消除了地质灾害隐患,基本恢复了原来的地质地貌景观,达到了预期目的。风景名胜区的地质灾害危害大,治理难度大,造成人员伤亡的概率大。应早发现,早警戒,早治理。治理方案宜因地制宜,保护生态,避免破坏地质环境。工程完工后应与周围地质环境相协调。

Characteristics and Control of Collapse Geological Hazards in Yubuqiao Scenic Area in Taishan Mountain

LI Shouchang, LIAN Dejun, ZHOU Shaozhi, ZHANG Xueming, YANG Renzhong

(No. 5 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Tai'an 271000, China)

Abstract: On the basis of actual investigation, monitoring data, analysis on the characteristics of collapse geological hazards on Yubuqiao scenic area, scheme of controlling collapse geological hazards have been put forward, and vacant areas which the collapse will probably happen have been treated on the basis of control scheme. The treatment schemes have the pertinence to actual circumstances of geological disasters, and uses advanced and comprehensive methods in China and abroad, thus, it has low implementation cost and good application effect.

Key words: Geological hazards; landslide; treatment; Yubuqiao scenic area in Taishan mountain

参考文献:

- [1] 李守昌,陈伟清,侯明允,等.泰山风景名胜区崩塌灾害现状及防治对策[J].山东国土资源,2005,21(9):67-70.
- [2] 石宝玉,胡慧萍.山东省主要地质灾害及防治对策[J].山东地质,1998,14(2):46-51.
- [3] 马宗晋.中国重大自然灾害及减灾对策[M].北京:科学技术出版社,1993.
- [4] 刘伦华.地质灾害防治技术[M].北京:地质出版社,2009.
- [5] 刘传正.重大地质灾害防治理论与实践[M].北京:科学出版社,2009.
- [6] 庞国兴,李金轩,陈军峰.山西省太谷县地质灾害及防治[J].山西农业科学,2011,39(5):437-440.