

董杰, 管勇, 赵锋, 等. 灵山岛典型崩塌地质灾害成因机理分析及危险性评价[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(9): 60-68.

灵山岛典型崩塌地质灾害成因机理 分析及危险性评价

董杰^{1,2}, 管勇^{1,2}, 赵锋^{1,2}, 何飞^{1,2}, 徐刚³, 苏秀婷⁴, 吕金⁵

(1 自然资源部滨海城市地下空间地质安全重点实验室, 青岛 266100; 2 青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局), 青岛 266100;
3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 4 中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266100;
5 青岛市环境保护局黄岛分局环境监测中心, 青岛 266500)

摘要: 灵山岛是山东省青岛市西海岸新区南部黄海近岸海域中的一个小岛, 位于苏鲁造山带内, 岛上最典型地层为早白垩世深海相复理石, 发育了大量软沉积物变形现象。分析了灵山岛省级自然保护区地质灾害成因机理, 总结了其坍塌特征及评价方法, 划分其崩塌地质灾害等级, 最终对研究区进行危险性评价。研究发现, 灵山岛老虎嘴崩塌威胁危害程度为中等, 灵山岛唐泉村崩塌威胁危害程度为小型, 可为后续类似工程提供参考。

关键词: 灵山岛风景区; 地质灾害; 成因机理; 危险性评价

中图分类号: P694 文献标识码: A DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.111

0 引言

灵山岛地势南高北低, 东陡西缓, 沿岸多断崖, 火山角砾岩历经风化剥蚀形成锯齿状山脊, 发育成大小山头 56 座之多, 其中高峰七八座, 如铃声那、歪头山等^[1-3], 主峰歪头顶海拔 513.6 m。而岛屿东南受到海水侵蚀, 形成造型独特的海蚀地貌, 具有极高的观赏价值, 如老虎嘴、象鼻山、石秀才等。境内山岭起伏, 沟壑纵横, 地质灾害发育较强烈。地质灾害隐患的存在制约了灵山岛经济的发展, 对灵山岛旅游业的发展有重大影响。

灵山岛位于青岛市西南黄海海域中, 120°09'43"E, 35°46'09"N(见图 1、2)。岛屿呈 NE-SW 走向, 南北长 5.1 km, 东西宽 1.43 km, 环岛海岸线长 14.35 km, 总面积 7.66 km², 是青岛市最大的海岛, 中国北方第一高岛, 中国第三高岛^[4-7]。现场调查发现, 崩塌岩石数量多, 直径 0.05~1 m, 堆于老虎嘴观光铺石路面上, 影响景区的美观, 对村民及游客生命财产安全造成威胁, 因此, 需要采取一定的治理措施消除地质灾害隐患。

收稿日期: 2021-03-28

资助项目: 山东省自然资源厅 2020 年度省级地质勘查项目“山东省灵山岛旅游地质资源调查与评价”(鲁勘字(2020)11 号)

作者简介: 董杰(1981—), 男, 正高级工程师, 主要从事水工环地质研究工作。E-mail: 13853286966@163.com



图 1 灵山岛全景图
Fig.1 Lingshan Island panorama



图 2 拟治理区卫星影像图
Fig.2 Satellite image map showing the proposed area to be managed

1 灵山岛自然地理概况

灵山岛属低山丘陵区, 地形切割较大, 可进一步划分为高丘陵、低丘陵、台地、冲沟、洪积平原和倒石堆等微地貌(图 3)。

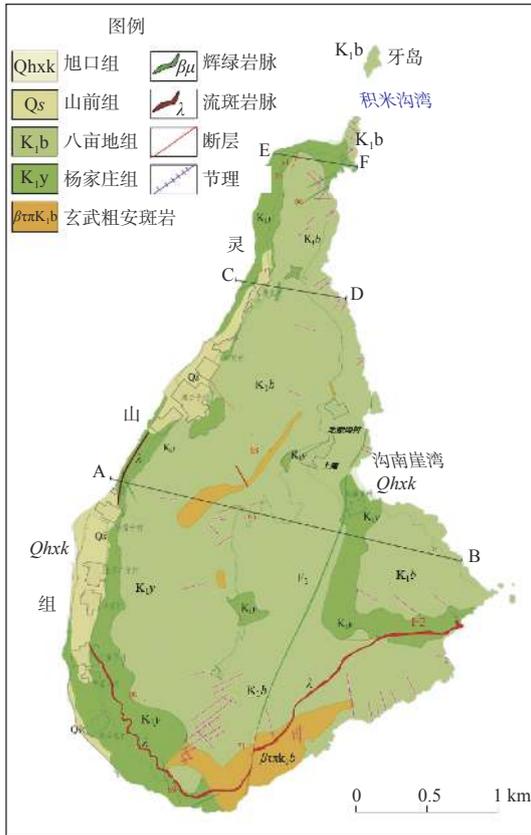


图 3 灵山岛地质图

Fig.3 Geological map of Lingshan Island

在灵山岛南端千层崖景区有一个大型的不对称向斜(图 4), 其枢纽走向为 30°, 并向 NE 倾伏, 向斜的南东翼产状较为平缓, 而北西翼近乎直立, 反映了该套地层遭受来自 NW-SE 方向的逆冲作用而造成褶皱, 且后来南端比北端抬升更高。

2 灵山岛地质灾害因素

2.1 水文地质特征

灵山岛水系不发育, 无常年地表水体, 仅汛期沿山谷见水流, 岛上居民饮用水完全靠岛上水井和蓄水池供给。由于其特殊的地理位置和地形特点, 地表水与地下水均自成流域、自成单元, 且各流域及单元的水力联系并不密切, 地下水、地表水的相互转化也仅仅在流域内。区内地下水类型分为基



图 4 灵山岛典型滑塌褶皱

Fig.4 Typical collapse folds of Lingshan Island

岩裂隙水和第四系松散岩类孔隙水, 多属于潜水, 局部属浅层微承压水^[8-9]。由此可见, 水文地质特征对研究区地质灾害影响不是很大。

2.2 岩土体类型及特征

灵山岛沉积地层大致可分为 5 个单元: 底部单元为中粗砂岩-页岩互层并发育有滑塌沉积; 中下部单元为细砂岩-泥页岩; 中部单元为稳定发育的凝灰岩层; 中上部单元为砾岩-砂岩-泥岩旋回; 顶部单元发育安山岩、火山角砾岩等。碎屑岩的岩性自下而上变化为粗-细-粗。

灵山岛老虎嘴景点的火山岩体与浊积岩之间呈不整合接触, 巨厚(约 15 m)火山岩体覆盖于浊积砂岩之上, 老虎嘴浊积岩层中见到的软沉积物变形构造^[10-11]。可见到中生代早白垩世青山群中-基性火山岩与莱阳群碎屑岩不整合接触界线, 下部黑白相间的岩石为莱阳群的韵律层岩石为砂泥岩, 上部灰白-浅黄色岩石为青山群的流纹质熔岩, 其底部保留着当时火山喷发时熔岩流动的痕迹, 流纹岩的底部构造清晰可见^[12-14]。

灵山岛出露的基岩地层主要由陆源碎屑岩和火山碎屑岩组成, 陆源碎屑岩中富含古生物化石, 并常见褶皱变形构造。自下而上划分为莱阳群杨家庄组(K_{1y})和青山群八亩地组(K_{1b})。

(1) 莱阳群杨家庄组 (K_{1y})

杨家庄组主要连续分布于灵山岛南部、西部和北部的老虎嘴-南辛庄-沙嘴子-唐泉-背来石一线, 低潮线以上, 海拔 50~250 m 以下地区。其次在灵山

岛东部垃圾处理厂、上安村西、气象站东南、沟南崖村南-洋礁洞西南等地的背斜核部有少量出露。

杨家庄组岩性以灰黄色、灰绿色-深灰色薄层细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、页岩夹中厚层砾岩、含砾砂岩、中细粒砂岩为主,夹有一层沉凝灰岩。砾岩、含砾砂岩中的砾石成分以花岗质片麻岩为主,少量变质岩、大理岩等,偶见火山岩砾石。总体显示2个由细至粗旋回,为浅湖-半深湖相、扇三角洲相沉积。千层崖-灯塔海蚀崖剖面为其下部,船厂海蚀崖剖面为其中部,背来石海蚀崖剖面、洋礁洞剖面为其上部,与上覆青山群八亩地组微角度不整合接触,界面常被层间剪切变形改造^[15]。

(2) 青山群八亩地组(K₁b)

八亩地组在灵山岛分布最广。岩性为灰-深灰色、紫灰色玄武粗安质、粗安质集块岩、集块角砾岩、火山角砾岩,少量角砾凝灰岩、气孔-杏仁状熔岩等,组成厚度不等的集块岩-火山角砾岩-角砾凝灰岩喷发韵律、集块角砾岩、火山角砾岩-熔岩的爆发-喷溢韵律。主要为火山爆发相的降落型火山碎屑沉积,少量陆上喷溢相和水携型火山碎屑沉积。与下伏莱阳群杨家庄组喷发角度不整合接触,顶裸露。由于受宽缓褶皱的影响,八亩地组实际厚度<200 m^[16]。多处可以见到被粗安斑岩、流纹斑岩等次火山岩侵入,以及被NNE向、NW-NNE向辉绿岩侵入。

2.3 构造特征

灵山岛主要由早白垩世陆源碎屑岩和火山岩组成,发育褶皱、断裂和节理等构造形迹。相对于早白垩世胶莱盆地内部,其基岩中保存的构造形迹极为丰富,特别是褶皱变形构造因海蚀而出露极佳,是构造研究的理想基地。

灵山岛盆地基底位于形成于三叠纪的华北板块与华南板块碰撞造山带-苏鲁造山带中部,早白垩世属于郯庐断裂带和千里岩断裂带控制的胶莱盆地东南缘,在其西侧以崂山、大珠山岩体为代表的早白垩世中期侵入的花岗岩极其发育。新生代以来处于千里岩断裂带与牟平-即墨断裂带(烟台-日照断裂带)之间,紧邻牟平断裂带东侧海阳断裂^[17]。

2.3.1 褶皱

灵山岛基岩中普遍发育褶皱变形构造,以莱阳群杨家庄组细碎屑岩中的褶皱最为发育,褶皱构造形态上主要表现为规模不等的缓倾斜紧闭褶皱、平卧褶皱、不对称褶皱和相似褶皱,并伴生有寄生褶

皱(从属褶皱)、劈理、线理(窗棂构造、擦痕)、软布丁构造(石香肠构造)及逆冲断层。青山群八亩地组火山碎屑岩中褶皱规模大,与杨家庄组一起组成一系列NE向展布的开阔背斜、向斜构造^[18]。而单从褶皱形态和规模上区分,二者有较大差异。

灵山岛上基岩中的褶皱几何类型(通常称作褶皱样式)极其多变,常常是大褶皱中发育次级小褶皱。按单个褶曲的闭合方向和面向,可分为背形、向形及中性褶曲。按褶曲轴面的产状,可分为斜歪褶皱、平卧褶皱。按翼间角的大小,可分为开阔褶皱和紧闭褶皱。按剖面形态,则主要是相似褶皱。按褶皱系列中褶曲排列方式及其相互联系,可划分为不对称褶皱、不协调褶皱、寄生褶皱和箱状褶皱。按褶皱波长可划分为大型褶皱(波长>50 m)、中型褶皱(波长>1 m)和小型褶皱(波长<1 m)^[19]。

2.3.2 断裂

灵山岛上节理较发育,但断距较大的断裂相对较少。可分为正断层和逆断层两类,前者呈张性,规模较大,而后者呈压性,规模较小,与褶皱伴生。

(1) 正断层

① 老虎嘴东北-试刀石正断层(F1)

呈NNE向分布于灵山岛试刀石-沟南崖村西-老虎嘴北海蚀崖下,延伸长约3 km。断层面产状为282°∠74°,断裂带宽2~5 m,发育节理密集带和断层角砾岩、碎粉岩,试刀石-沟南崖村北等地充填宽约0.8~1.5 m的辉绿岩脉^[18-19]。断层切割莱阳群杨家庄组、青山群八亩地组、粗安斑岩、流纹斑岩,为左行张性正断层,以流纹斑岩脉为标志,断距约73 m。试刀石“一线天式”裂缝的成因与该断裂有关,由于断裂带中断层角砾岩、碎粉岩及辉绿岩脉与围岩粗安质集块角砾岩相比,节理密集,且易风化剥蚀。断裂带物质在潮水的侵蚀、淘蚀作用下,脱落、流失,形成试刀石景点。

② 洋礁洞南正断层(F2)

呈近EW向分布于洋礁洞西南400 m陡坎下,延伸长约800 m。断层面产状为178°∠62°,断裂带宽0.3~1 m,发育碎粉岩、断层泥。上盘为莱阳群杨家庄组砂岩、泥岩,发育褶皱变形。下盘为灰白色流纹斑岩,在地貌上形成断层崖,卫星影像上极为清晰,易于解译。断层切割莱阳群杨家庄组、青山群八亩地组、流纹斑岩,为左行张性正断层,在西部以流纹斑岩脉为标志,断距约10 m,在东部以八亩地组与杨家庄组的不整合界线为标志,断距可达60 m^[20]。洋礁洞南莱阳群地层在地表的出露,主要是该正断层与试刀石正断层联合掀斜式正断所致。

(2) 逆断层

主要分布于灵山岛南端老虎嘴下海蚀崖钓鱼台剖面, 分布于莱阳群杨家庄组中, 与褶皱变形共生。

2.3.3 节理

灵山岛碎屑岩和火山岩中节理极其发育, 系统的测量统计表明, 主要发育 NE 向、NW 向、NNE 向和近 EW 向 4 组陡倾斜节理, 可配套划分为 1 期共轭剪节理和 1 期张节理。尚有 NE 向的 1 组缓倾斜节理发育相对较弱, 为张节理。新生代以来丰富的流水沿节理面风化、剥蚀及重力崩塌作用, 塑造了灵山岛岛陆现今的奇峰怪石的地貌。全新世以来潮水沿海岸带基岩节理、层理侵蚀、淘蚀, 塑造了灵山岛海蚀崖、海蚀台、海蚀穴等海蚀地貌^[21]。

3 崩塌特征及危险性评价方法

3.1 崩塌影响范围计算方法

崩塌活动的主要特征参数除崩塌体体积外, 主要为崩塌体的运动速度和沿边坡的弹跳距离。若忽略声能, 则崩塌、落石的势能仅转化为动能及克服摩擦做功(热能)^[22], 设初速度为零, 则崩塌体的运动速度为:

$$v = \sqrt{2gh(1-f\cos a)^{[23]}} \quad (1)$$

式中: v 为崩塌体沿斜坡运动的速度, m/s;

g 为重力加速度, $9.8 \text{ m}^2/\text{s}$;

h 为坡顶至坡底的垂直高度, m;

f 为斜坡平均阻力系数;

a 为斜坡坡度, ($^\circ$)。

崩塌落体沿斜坡的弹跳距离:

$$S_{ij} = 0s = \frac{2v^2}{g \cos a} \left(\tan a \sin^2 \beta - \frac{1}{2} \sin^2 \beta \right)^{[23]} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{200 + 2a \left(1 - \frac{a}{45} \right)^{[23]}}{\sqrt[3]{v}} \quad (3)$$

式中: β 为崩塌体的弹跳抛射角, 其他符号同前。

3.2 危岩体崩塌影响范围预测

采用前述崩塌危险性评估计算公式以及崩塌危害对象等级划分标准^[24], 对老虎嘴崩塌景区内 10 处较大崩塌危岩体的计算结果见表 1。距危岩体距离 $L \leq S$ 范围内为崩塌的影响范围。

4 崩塌地质灾害评价

根据以上研究工作, 对研究区进行崩塌地质灾害等级划分及危险性评价。

4.1 崩塌危害程度等级划分

根据现场勘察和相应规范综合判断, 灵山岛老虎嘴隐患点崩塌威胁人数约为 25 人, 预估直接经济损失 > 100 万, 危害程度中等。灵山岛唐泉村二号隐患点崩塌威胁人数约为 20 人, 预估直接经济损失 > 100 万, 危害程度中等。灵山岛唐泉村一号隐患点崩塌威胁人数约为 5 人, 直接经济损失 < 100 万, 危害程度小型。

4.2 崩塌危险性评价

如前所述, 隐患点岩体节理裂隙发育, 危岩体

表 1 灵山岛老虎嘴崩塌危岩体弹跳距离

Table 1 Critical rock jumping distances at Laohuzui, Lingshan Island

编号参数	H 坡高/m	a 崩塌坡度/ $^\circ$	F 斜坡平均阻力系数	V 崩塌体沿斜坡运动的速度/(m/s)	β 崩塌体的弹跳抛射角/ $^\circ$	S 弹跳距离/m
WY1	17	30	0.3	15.70	87.85	14.49
WY2	18	55	0.3	17.09	68.15	83.10
WY3	15	60	0.3	15.81	63.75	101.09
WY4	22	60	0.3	19.14	59.81	137.70
WY5	16	80	0.3	17.24	29.25	121.25
WY6	15	69	0.3	16.20	49.96	184.35
WY7	8	80	0.3	12.19	32.83	165.48
WY8	10	32	0.3	12.09	95.20	4.36
WY9	11	30	0.3	12.63	94.46	2.89
WY10	5	59	0.3	9.10	78.20	36.63

发育程度强,依据《地质灾害危险性评估规范》(DZ/T 0286—2015)^[25]综合判断,老虎嘴隐患点危险性大,唐泉村二号隐患点危险性中等,唐泉村一号隐患点危险性小型。

4.2.1 老虎嘴地区危险性评价

老虎嘴景区整个崩塌带陡崖最高约 25 m,长度约 225 m。老虎嘴临空面近于直立,坡度 70°~90°,危岩带顶部海拔高程 104.17~123.72 m,底部高程 87.54~99.96 m,相对高差 13~25 m。

隐患点下方为景区观光水泥道路,道路宽度 2.2 m,是隐患点唯一的交通道路,道路下方紧邻大海,地势条件险峻,见图 5。其中老虎嘴岩面下方,由于受到现状岩石条件限制,通行道路仅满足高度 2 m 以下物体通行,该段道路长约 15 m。该段山体外突部分垂直坡面无法搭设施工脚手架。



图 5 老虎嘴隐患点景区观光道路现状

Fig.5 Current status of sightseeing road around Laohuzui

根据现场勘查,勘查区内危岩体发育于原始岩质边坡上,地貌类型为低山,目前边坡上发育 10 处危岩体(WY)。

WY1(图 6a)位于老虎嘴崩塌带的中部,危岩体位于陡坡中上部形成悬空危石,危岩相对于道路高差 17 m。危岩体规模约: 126 m³(长 7 m×高 6 m×厚 3 m),节理裂隙较发育,周围岩面节理裂隙发育较深,主崩方向 230°。危岩体岩面节理裂隙较发育,危岩体右下方垂直方向有宽度 2 cm,长度 8 m 裂缝,裂缝有碎石块填充,形成不稳定结构面及结构体,在危岩自重和暴雨作用下,裂隙进一步扩展。危岩体上方第四系覆盖 0.2~0.5 m,生长植被距离坡顶边线较近,植被根系生长对岩石产生劈裂作用。

WY2(图 6b)位于老虎嘴崩塌带的西部,危岩体呈垂直长条状,位于陡坡中上部、危岩相对于道路高差 18 m。危岩体规模约: 180 m³(长 5 m×高 12 m×厚 3 m),危岩体节理裂隙较发育,周围岩面节理裂

隙发育较深,主崩方向 190°。危岩体左侧有垂直高度 5 m,宽度 0.4 mm 裂缝,裂缝无填充物。危岩体上方第四系覆盖 0.2~0.5 m,生长植被距离坡顶边线较近,植被根系生长对岩石产生劈裂作用。

WY3(图 6c)位于老虎嘴崩塌带的中部,危岩体位于陡坡顶部形成悬空危石、危岩相对于道路高差 15 m。危岩体规模约: 42 m³(长 7 m×高 3 m×厚 2 m),主崩方向 230°,危岩体节理裂隙发育。突出临空危岩体受雨水冲刷、风化等作用易脱落,对游客安全造成影响。WY3 距离坡顶较近,坡顶第四系厚度 0.2~0.5 m,生长有植被。WY4(图 6d)位于老虎嘴崩塌带的西部,危岩体位于陡坡顶部、危岩相对于道路高差 22 m。危岩体规模约: 72 m³(长 3 m×高 8 m×厚 3 m),危岩体节理裂隙较发育,周围岩面节理裂隙发育较深,主崩方向 180°。危岩体中下部有水平缝隙,缝隙内生长有杂草,杂草高度约 15 cm。

WY5(图 6e)位于老虎嘴崩塌带的上部,危岩体上覆盖第四系,厚度 0.5 m,危岩相对于道路高差 16 m。危岩体规模约: 48 m³(长 12 m×高 4 m×厚 1 m),主崩方向 200°,危岩体裂隙较发育,危岩体下方有宽度 2 cm,长度 5 m 裂缝,形成不稳定结构面及结构体,在危岩自重和暴雨作用下,裂隙进一步扩展。主危岩体前缘底部有水平方向的裂隙发育,裂隙延伸长约 5 m,张开 3~5 cm,有碎石块及杂草填充,局部贯通,坡顶植被生长茂密。可见主危岩体西侧有垂直小块危岩体,位于岩石夹缝中间,危岩体规模约: 10 m³(长 2 m×高 2.5 m×厚 2 m),危岩体周边有长度 2 m,宽度 4 cm 裂缝,危岩体上方及东西两侧生长有杂草,植被高度 15 cm。

WY6(图 6f)位于老虎嘴崩塌带的上部,危岩体上覆盖第四系,厚度 0.5 m,危岩相对于道路高差 15 m。危岩体呈片状分布,规模约: 110 m³(长 11 m×高 5 m×厚 2 m),主崩方向 240°,危岩体下方岩面节理裂隙较发育,危岩体水平方向有宽度 3 cm,长度 9 m 裂缝,垂直方向有宽度 3 cm,长度 2 m 裂缝,形成不稳定结构面及结构体,在危岩自重和暴雨作用下,裂隙进一步扩展。垂直方向有顺坡方向的裂隙发育,裂隙延伸长度 7 m,张开 3~4 cm,有小碎石块、植被等填充物,与 WY5 水平方向裂隙相连接。

WY7(图 6g)位于老虎嘴崩塌带的中上部,危岩相对于道路高差 8 m。危岩体规模约: 30 m³(长 2 m×高 5 m×厚 3 m)。危岩体节理裂隙发育,主崩方向 160°。危岩体周边有长度 2 m,宽度 3 mm 裂缝,裂缝中无填充。WY8(图 6h)位于老虎嘴崩塌带的东

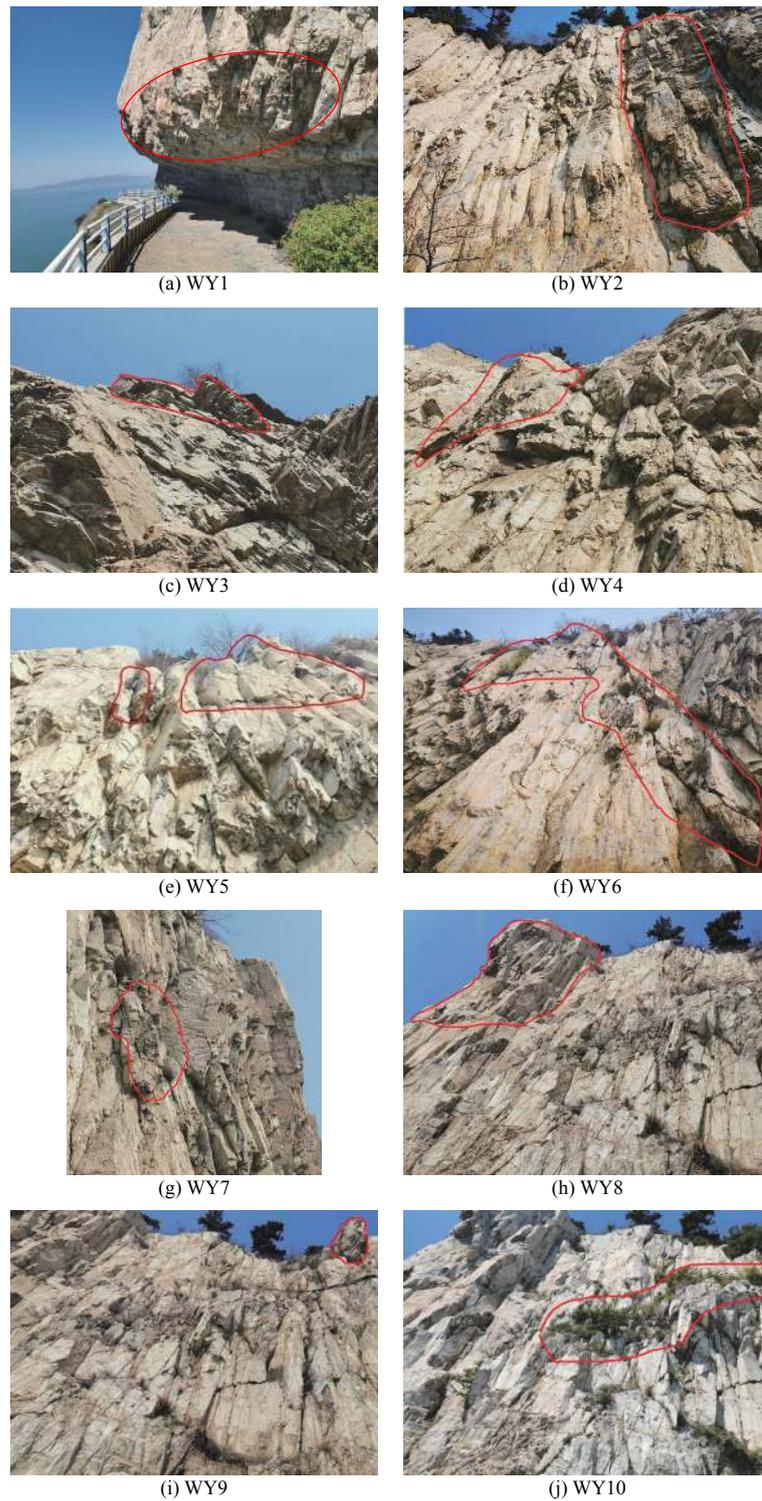


图 6 老虎嘴勘查区危岩体现状照片

Fig.6 Photos of dangerous rock masses in Laohuzui exploration area

部,危岩体位于陡坡顶部、危岩相对于道路高差 10 m。危岩体规模约: 120 m^3 (长 8 m×高 5 m×厚 3 m)。危岩体节理裂隙发育,主崩方向 210° ,危岩体下方有水平长 5 m,宽度 3 mm 裂缝,裂缝无填充,形成不稳定结构面及结构体。

WY9(图 6i)位于老虎嘴崩塌带的东部,危岩体

位于陡坡顶部,属于突出危石,危岩相对于道路高差 11 m。危岩体规模约: 18 m^3 (长 3 m×高 2 m×厚 3 m),主崩方向 220° ,危岩体下方岩面节理裂隙发育且岩面破碎,存在大量纵横方向宽度 3~5 mm 裂缝,裂缝有碎石块填充。

WY10(图 6j)位于老虎嘴崩塌带的东部,危岩

体位于陡坡中部、危岩相对于道路高差 5 m。危岩体规模约: 9 m^3 (长 2 m×高 3 m×厚 1.5 m), 主崩方向 210° , 危岩体下方岩面节理裂隙发育。WY10 岩石缝隙中生长有大棵植被, 素土填充厚度 10 cm, 树根对岩石裂隙有劈裂作用。

老虎嘴勘查区危岩体合计 755 m^3 , 此外, 老虎嘴勘查区坡顶散落孤石情况见表 2。

4.2.2 唐泉村一号地区危险性评价

唐泉村一号崩塌属于独立孤石(图 7), 孤石长×宽×高为: $3 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, 该危岩体为上方山坡滚落石块, 已脱离母岩, 立于高 3 m 呈垂直的岩面之上, 岩面节理裂隙发育, 危岩体紧邻岩边, 有滚落危险。唐泉村崩塌有乡间小路, 车辆可直达勘查区。

4.2.3 唐泉村二号地区危险性评价

整个唐泉村二号隐患点边坡高约 80~100 m, 长约 200 m, 岩面陡立, 坡度为 $70^\circ \sim 90^\circ$, 高度约 100 m, 岩石裸露, 无土、无植被(图 8c)。目前紧邻坡底线建设有一条宽度约 1.5 m 混凝土石砌台阶道路, 道路一侧设有钢木镂空栏杆(图 8d、8e)。唐泉村二号隐患点不满足大型车辆行驶, 无直达勘查区的道路。现状道路与一洞口相连接(图 8e), 洞口高约 2 m, 宽度约 3.5 m, 内部黑暗, 无灯光照射。

唐泉村二号隐患点强风化角砾岩岩面长期受到雨水冲刷等外力作用, 部分岩石(长度 5~15 cm)塌落至坡底观赏道路, 对下方游客产生安全隐患。岩面存在危岩体 3 处, WY1 长×宽×高约 $4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2.4 \text{ m}$, 危岩体规模约 48 m^3 , WY2 长×宽×高约 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$, 危岩体规模约 75 m^3 , WY3 长×宽×高约 $5 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 3.8 \text{ m}$, 危岩体规模约 76 m^3 , WY4 长×宽×高约 $4 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, 危岩体规模约 96 m^3 , WY5 长×宽×高约 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 8 \text{ m}$, 危岩体规模约 200 m^3 , 见图 8。

唐泉村二号隐患点属于灵山岛地质遗迹之一, 采取主动治理措施将会对现状环境产生破坏, 整个岩面近乎直立, 道路下方存在不规则石块, 道路距离海岸线约 25~30 m。现场无法搭建脚手架, 施工难度非常大, 还将会对现状道路产生破坏。

5 结论

本文对灵山岛崩塌地质灾害隐患点进行详细勘察与分析, 查明灵山岛风景区地质特点基础上, 对其崩塌特征及危险性计算分析, 最终对其危险性进行评价, 得出如下结论:

表 2 老虎嘴勘查区坡顶散落孤石情况

Table 2 Scattered boulders at the top of the Laohuzui exploration area

序号	长/m	宽/m	高/m	方量/ m^3
1	4	3	1	12.00
2	5.6	2	1.5	16.80
3	1.2	2.7	0.7	2.27
4	2.8	1.3	0.6	2.18
5	6	3	2.8	50.40
6	5	2	0.6	6.00
7	1.6	3	0.8	3.84
8	5.6	3	1.5	25.20
9	5	4.3	0.5	10.75
10	5	3.7	1.2	22.20
11	0.8	0.9	1.5	1.08
12	1.5	0.8	0.9	1.08
13	5	2.8	0.8	11.20
14	3	3	0.6	5.40
15	1.7	1.9	0.8	2.58
16	4	3.2	0.7	8.96
17	2.6	2	0.6	3.12
18	2	1.2	0.6	1.44
19	1.7	1.7	0.3	0.87
20	3	2.5	1.6	12.00
21	2.5	1.2	0.3	0.90
合计				200.27



图 7 唐泉村一号地区孤立石头

Fig.7 The dangerous rock mass at the Tangquan Village

(1)老虎嘴出露岩土层主要为第四系坡洪积物, 出露厚度较薄, 结构松散, 坡顶植被茂密, 紧邻坡顶边缘生长有黑松。坡顶散落有大量脱离母岩的独立孤石, 产生安全隐患。且中风化流纹岩柱状节理裂隙发育, 岩质边坡石缝中有植被, 随着根系生长, 对岩石裂隙产生鼓胀, 造成岩面存在较多大小不规则的松动石块, 破坏岩面边坡整体结构的稳定性与安全性。

(2)老虎嘴地灾崩塌为岩质边坡, 岩体破碎、节



(a) WY1 及塌落石块现状照片

(b) WY2 现状照片

(c) WY3 现状照片

(d) WY4 现状照片

(e) WY5 现状照片

图 8 唐泉村二号隐患点现状照片

Fig.8 Dangerous rock masses near the Tangquan Village

理裂缝发育, 目前发育 10 处危岩体, 稳定相差, 易发生崩塌, 且景区游览道路紧邻坡脚, 均处于崩塌影响范围内, 崩塌地质灾害隐患危险性大, 急需治理。

(3) 唐泉村一号隐患点崩塌有乡间小路, 车辆可直达勘查区, 独立孤石随时有滚落的危险, 对下方道路产生威胁, 地质灾害隐患危险性大, 急需治理。

(4) 唐泉村二号隐患点对外交通不便, 不满足大型车辆直达勘查区。岩面强风化角砾岩节理裂隙发育, 长期受到雨水冲刷等外力作用, 部分岩石塌落至坡底观赏道路, 对下方产生安全隐患。

参考文献:

[1] 董晓朋, 吕洪波, 张星, 等. 山东灵山岛早白至世复理石软沉积

物变形期次解析[J]. 地质论评, 2013, 59(6): 1060-1067.

[2] IRVING E, WARD M A. A statistical model of the geomagnetic field[J]. Pure and Applied Geophysics, 1964, 57(1): 47-52.

[3] 董晓朋, 吕洪波, 张星, 等. 灵山岛北端早白奎世复理石中的滑塌断崖[J]. 地质论评, 2014, 60(4): 771-779.

[4] 吕洪波, 王俊, 张海春. 山东灵山岛晚中生代滑塌沉积层的发现及区域构造意义初探[J]. 地质学报, 2011, 85(6): 938-946.

[5] JACKSON M, TAUXE L. Anisotropy of magnetic susceptibility and remanence: developments in the characterization of tectonic sedimentary and igneous fabric. [J]. Reviews of Geophysics, 1991, 29(S1): 371-376.

[6] SUD C, QIAOX F, SUNA P, et al. Large earthquake - triggered liquefaction mounds and a carbonate sand volcano in the Mesoproterozoic Wumishan Formation, Beijing, North China [J]. Geological Journal, 2014, 49(1): 69-89.

[7] GERAINT O, MASSIMO M, PEDRO A. Recognising triggers for

- soft-sediment deformation: current understanding and future directions[J]. *Sedimentary Geology*, 2010, 235(3): 133-140.
- [8] GIBERT L, ALFARO P, GARCÍA-TORTOSA F J, et al. Superposed deformed beds produced by single earthquakes(Tecopa Basin, California): Insights into paleoseismology[J]. *Sedimentary Geology*, 2010, 235(3): 148-159.
- [9] 吕洪波, 张海春, 王俊, 等. 山东胶南灵山岛晚中生代浊积岩中发现巨大滑积岩块[J]. *地质论评*, 2012, 58(1): 80-81.
- [10] 葛毓柱, 钟建华. 灵山岛早白垩世软沉积物变形构造触发机制及其古环境意义探讨[J]. *地质论评*, 2017, 63(4): 927-940.
- [11] GERAINT O, MASSIMO M. Identifying triggers for liquefaction-induced soft-sediment deformation in sands[J]. *Sedimentary Geology*, 2010, 235(3): 141-147.
- [12] 葛毓柱, 钟建华, 樊晓芳, 等. 山东灵山岛滑塌体内部沉积及构造特征研究[J]. *地质论评*, 2015(3): 634-644.
- [13] 王安东, 周瑶琪, 闫华, 等. 山东省灵山岛早白垩世软沉积物变形构造特征[J]. *古地理学报*, 2013, 15(5): 717-728.
- [14] WANG J, CHANG S C, WANG K L, et al. Geochronology and geochemistry of Early Cretaceous igneous units from the central Sulu orogenic belt: evidence for crustal delamination during a shift in the regional tectonic regime[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 112: 49-59.
- [15] ZHU G, LIU G S, NIU M L, et al. Syn-collisional transform faulting of the Tan-Lu fault zone, East China[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2009, 98(1): 135-155.
- [16] 李杰, 金爱文, 侯贵廷, 等. 灵山岛早白垩世构造应力解析及区域地质意义[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2015, 51(6): 1069-1077.
- [17] 李守军, 张祥玉, 赵秀丽, 等. 山东省青岛市灵山岛下白垩统中发现鱼类和叶肢介化石[J]. *地质论评*, 2017, 63(1): 1-6.
- [18] 刘菲菲, 周瑶琪, 许红, 等. 灵山岛成因特征、类型及其地质构造意义[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(3): 33-40.
- [19] BERRA F, FELLETTI F. Syndepositional tectonics recorded by soft-sediment deformation and liquefaction structures (continental Lower Permian sediments, Southern Alps, Northern Italy): stratigraphic significance[J]. *Sedimentary Geology*, 2010, 235(3): 249-263.
- [20] 张岳桥, 赵越, 董树文, 等. 中国东部及邻区早白垩世裂陷盆地构造演化阶段[J]. *地学前缘*, 2004(3): 123-133.
- [21] 刘忠敏, 李成治, 李本川, 等. 应用TM卫星像片对灵山岛地质构造及边坡稳定性的调查[J]. *海洋科学*, 1990(6): 35-38.
- [22] 陈洪凯, 鲜学福, 唐红梅, 等. 危岩稳定性分析方法[J]. *应用力学学报*, 2009, 26(2): 278-272.
- [23] 郑生庆, 郑颖人, 黄强, 等. GB 50330—2013, 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- [24] 郭希哲, 徐开祥, 黄学斌, 等. DZ/T0221—2006. 崩塌、滑坡、泥石流监测规范[S]. 北京: 地质出版社.
- [25] 殷跃平, 颜宇森, 高娇娇, 等. DZ/T 0286—2015. 地质灾害危险性评估规范[S]. 北京: 中国标准出版社.

GENETIC MECHANISMS OF THE COLLAPSING GEOHAZARD ON THE LINGSHAN ISLAND AND THEIR RISK ASSESSMENT

DONG Jie^{1,2}, GUAN Yong^{1,2}, ZHAO Feng^{1,2}, HE Fei^{1,2}, XU Gang³, SU Xiuting⁴, LV Jin⁵

(1 Key Laboratory of Geological Safety of Coastal Urban Underground Space, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266100, China;

2 Qingdao Geo-Engineering Surveying Institute (Qingdao Geological Exploration Development Bureau), Qingdao 266100, China;

3 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China;

4 Colleague of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

5 Huangdao Branch Monitoring Center of Qingdao Ecological Environment Bureau, Qingdao 266500, China)

Abstract: The Lingshan Island is a small island located in the nearshore area of the Yellow Sea to the south of Huangdao District of Qingdao City, Shandong Province. It is tectonically belonging to the Sulu orogenic belt. The island is dominated by Early Cretaceous complex rocks of deep-sea facies, and a large number of soft sediment deformation phenomena have been observed. This paper focuses on the genetic mechanism of geological disasters at the Lingshan Island Provincial Nature Reserve, and summarized are the collapse features and their evaluation method. Risk assessment suggests that the risk of Laohuzui collapse on the Island is moderate, while the risk at the Tangquan Village is small. The evaluation method used in this paper may provide a reference for similar projects.

Key words: Lingshan Island Provincial Nature Reserve; geologic hazard; genetic mechanism; risk assessment