

地质灾害治理工程在城市内的实施实践

王元 张舜尧

西安地质矿产勘查开发院有限公司 陕西西安 710100

摘要：在大中型城市地质灾害控制中，环境因素复杂、风险高、安全措施实施难度很大，本文提出了三种防护措施，即人工施工，以确保安全质量控制的实施，达到预定目标的成功。

关键词：地质灾害；治理工程；城市内；实施

1 工程概况

计划实施某省某监狱地质灾害防治工程。边坡是采石场回采后遗留的高破碎岩边坡。这个斜坡又高又陡，该边坡防治工程位于省会城市三环某监狱后坡。坡高35.0~90.0m，坡度50~80°，部分地段接近90°。边坡分为两级，中间为弧形平台，宽度为7.0~30.0m。平台与坡顶高度差为30.0~60.0m。在弧形平台上，有一段4.0~7.0m高的碎石挡土墙，边坡顶部有一条骨科医院的混凝土道路。道路宽度为7.0~8.0m，与边坡后缘最近距离为2.0m左右。坡脚距重刑犯监狱区仅1.0~10.0m。地质灾害现场已被列为省、市二级地质灾害重点清单（图1）。



图1 破碎陡峭山体原貌

2 场地工程地质条件

2.1 地形地貌

遗址位于玉仙山中部，盆地西北缘，属低中山构造冲蚀溶蚀带，岩溶地貌。总体地形由西向东倾斜，高东低东为山地坡，由南至北为缓坡和谷台。待处理边坡的天然坡度一般为50~80°，部分地区接近90°，边坡垂直高度为35~90m。场地岩溶现象主要为地下岩溶，坡体基岩裸露，坡顶和平台有一定的植被覆盖。

2.2 地层岩性

植物层①：褐色，主要为黏性土混少量植物根系组成，松散，稍湿，局部地段有揭露。黏土②：棕红~褐红色，硬塑状态为主，局部坚硬状态，稍湿。稍有光泽，无摇振反应，干强度韧性高，含少量碎石、角砾及植物根系。偶见少量垂直裂隙，仅在拟治理区域的坡脚和坡顶有少量分布。构造破碎带③：灰~灰白色，主要成份为灰岩，块状、碎块状，细晶质结构，钙质胶结，节理裂隙非常发育，主要结构面两组： $0^\circ \angle 90^\circ$ ， $60^\circ \angle 45^\circ$ 。

3 工程设计情况

3.1 AB段坡体

对AB段边坡上部坡体进行削方，在1979.00标高上设3.0m宽的平台，其上按1:0.75进行清坡（尽量按1:0.75的坡比进行清坡，如遇岩石较完整，清除困难，可以适当调整清坡坡度，但是不能出现倒坡），设计削坡方量5118m³；坡面采用准25钢筋锚杆+挂网喷射混凝土进行封闭，共设置锚杆9排，间距水平及竖向均为3.0m，锚杆长度分别为3.0m、6.0m、9.0m，入射角为15°，锚杆成孔为准76mm，挂网喷射混凝土的平均厚度为120.00mm；并保留平台处原建挡墙。

3.2 BD段坡体

该段坡体岩石体相对较完整，对BD段坡面破碎、松动的危岩进行清理处理。

3.3 EF段坡体

首先清除坡面破碎、松动的危岩，并对坡面进行修整；再采用准25钢筋锚杆+挂网喷混凝土（平均厚度120mm）对边坡坡面进行封闭，锚杆长度为3.0m、6.0m、9.0m，水平及竖向间距约为3.0m。

4 工程施工隐患及危害情况分析

根据设计和地勘文件，危岩主要发生在AB、BD、EF、AG段表面，特别是AB段存在大量的岩石破碎崩塌体。

AB 段边坡为强风化发育区，其构造破碎体为溶槽堆积形成，临空面接近 90°，将逼近平台的坡脚，破碎体顶部块石至坡脚的垂距为 25-30m，充填成份为灰岩块石和碎石，滚落角度大于 80°，构造破碎体积超过 9000m³。该破碎体的表层破碎岩块极易沿着坡向一致的结构面产生整体剥落或局部滑移，且岩块沿陡坡翻滚而下加速运动，冲击力大，破坏性强；BD、EF 段边坡岩石较完整，但其表部在爆破、风化和岩体节理裂隙共同作用下形成了大小不等的危岩体，同时还有潜在的崩塌形式为风化裂面一坠落式崩塌。

原采石场在生产期间采用爆破作业，受爆轰波的影响，已对围岩造成扰动，加之围岩长期遭受风、雪、雨水等自然环境的作用，风化剥蚀严重；又加之不规范的开采，边坡高陡，甚至部分边坡已形成倒坡，综合各种因素现状边坡极不稳定，边坡存在危岩、剥落、局部滑移、坠落式崩塌等隐患，危及坡脚监区安全。监区共有监管服刑人员 1 千多人，一旦发生地质灾害，将造成较大人员伤亡及财产损失。

5 专项安全施工方案编制计算和施工实施情况

5.1 危岩落石计算

危岩体破坏后的运动计算。

5.1.1 运动形式

根据岩块从陡崖上崩落到坡下的运动形式的差异，把落石分为五个类型，即直立式、跳跃式、直落跳跃式、滑落式、滚落式。勘察区为陡壁状，危岩体多分布于陡壁中上部，斜坡脚地面以松软崩坡积块石土为主，场地西侧地段距离陡壁坡脚相对较近，仅 10-40m。因此，根据各危岩体的分布位置、坡脚地形以及运动轨迹沿线地形坡度等判断，AB、EF 段危岩体失稳运动形式以滚落式为主。

5.1.2 运动计算

根据现场调查分析，勘察区危岩体中，AB 危岩体最具威胁与典型，故仅对 AB 进行计算分析。

(1) 落石速度计算公式

岩块从陡崖上坠落至坡脚时的速度为：

$$V = \varepsilon \sqrt{H} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \mu \sqrt{2g} \quad (2)$$

$$\mu = \sqrt{1 - k \cdot \cot \alpha} \quad (3)$$

式中：α 为陡坡坡角；k 为石块沿山坡运动所受阻力特性系数（表 1），AB 危岩体计算时取 0.6；H 为石块坠落高度，g 为重力加速度。

(2) 落石撞击斜面后的运动最大水平偏离距离

落石运动最常见的形式是滚动和跳跃，落石撞击斜面后将产生偏离，其最大水平偏离距离为：

$$l_{\max} = \frac{V_0^2 (\tan \alpha - \cot \beta)^2}{2g \tan \alpha (1 + \cot^2 \beta)} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{200 + 2\alpha \left(1 - \frac{\alpha}{45}\right)}{\sqrt{V_0}} \quad (5)$$

$$V_0 = (1 - \lambda) V \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos \gamma} \quad (6)$$

$$\tan \gamma = \frac{\rho}{1 - \lambda} \cdot \tan \varphi \quad (7)$$

式中：V₀ 为石块落至落点时的反射速度；V 为石块落至落点时的速度；β 为石块反射速度 V₀ 的方向与纵坐标的夹角（°）；α 为陡坡坡角（°）；γ 为反射角（°）；φ 为入射角，通常采用山坡坡度角 α；ρ 为恢复系数，此处取 0.7；λ 为瞬间摩擦系数，此处取 0.1。

此处 AB 危岩落点为危岩体下部 40m、44m、71m 处。

(3) 落石弹跳计算

落石弹跳计算的目的是求出石块在拦截建筑物迎石坡面或落石平台面上跳跃的最大高度，用以确定拦石工程的规模。

石块第一次弹跳的最远距离 x 为：

$$x = \frac{V_0^2}{g} \cdot \sin 2\gamma \quad (8)$$

石块第一次弹跳的最大高度 h 为：

$$h = \frac{V_0^2}{2g} \cdot \sin^2 \gamma \quad (9)$$

此处计算 V₀ 及反射角时恢复系数 ρ 取 0.3，瞬间摩擦系数 λ 取 0.4。崩塌摩擦系数 K 取值表 1

序号	山坡坡度角	K 值计算公式
1	0~30°	$K = 0.41 + 0.0043\alpha$
2	30~60°	$K = 0.543 - 0.0048\alpha + 0.000162\alpha^2$
3	60~90°	$K = 1.05 - 0.0125\alpha + 0.0000025\alpha$

作为危岩体，最为关注即为危岩体破坏后运动形式及运动轨迹，判断其运动最远距离、弹跳最远距离、弹跳最大高度。通过上述公式计算结果见表 2。危岩体破坏后运动计算结果表 2

编号	危岩高度/m	平均坡度/°	危岩体积/m ³	落地时速度/(m·s ⁻¹)	撞击时最大水平偏移/m	弹跳最远距离/m	弹跳最大高度/m	最大冲击力/kN
AB	30	80	1.0	21.52	1.31	4.25	1.30	197.35
AB	30	80	0.5	21.52	1.76	2.23	1.03	98.67

5.2 防护锚绳锚杆长度计算

根据上面计算 1m³ 石头从 30m 高位置滚下的最大冲击力为 197.35kN，按《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013) 采用粘结型锚杆固体时，锚固段长度计算公式：

$$L_a = \frac{KN_t}{\pi Dq_r}$$

式中：L_a 为锚固段长度 (m)；N_t 为锚固轴向拉力设计值 (kN)；K 为安全系数，危害大，会出现公共安全问題，取值 1.8；D 为锚固体直径 (mm)，采用准 16

钢筋锚杆；q_r 为水泥结石体与岩石孔壁间的粘结强度设计值，取 0.8 倍标准值，岩石为硬岩，取值 3.0MPa。

$$L_a = \frac{KN_t}{\pi Dq_r} = \frac{1.8 \times 197.35}{3.14 \times 16 \times 2.4} = 2.95$$

故：采用准 16HRB400 钢筋锚杆，锚固深度为 2.95m，防护拉力为 197.35kN，设计为 3m 准 25 锚杆。

5.3 防护锚绳抗拉情况

采用准 18 钢丝锚绳，抗拉强度为 1960MPa，单根钢丝绳的破坏拉力为 230kN，满足防护拉力为 197.35kN 的冲击力。

结束语

在大中型城市山地斜坡地质灾害的治理，要考虑很多风险因素，施工风险的影响是伟大的，始终贯彻安全第一的指导原则，严格控制管理，各种防护措施必须到位，资金足额，这个项目今后的类似工程提供了参考。

参考文献

- [1] 李升平. 隧道及地下工程建设中的地质灾害风险管理 [J]. 四川水泥, 2016 (09) : 159.
- [2]. 西南水利水电工程地质灾害问题与预防措施研究 [J]. 岩土力学, 2018, 34 (10) : 3040.