

关于陇南某危岩体成因分析及治理措施的经验认识

闫育锋

西安市勘察测绘院 陕西 西安 710054

【摘要】：本文以陇南市某危岩体治理为例，分析探讨了陇南地区灰岩岩质危岩体的成因，重点介绍了灰岩危岩体治理的总体思路，针对危岩体的形成原因，选择适当的治理措施，分析了挡墙、锚杆锚固、危岩清理、主动防护网等几种措施的应用。研究表明，通过分析危岩成因，结合地层特性，通过合理的治理措施可以有效的消除危岩对于工程及人员的危害，为类似工程提供科学参考。

【关键词】：危岩体；地质构造；边坡治理；工程措施

DOI:10.12417/2811-0528.26.06.076

坡体因工程建设开挖及地震等内外动力的综合作用，使坡体上的悬空孤石和破碎岩体在大雨、暴雨期间极易发生崩落，对临近坡脚的工程设施、供电线路、通讯线路及过往车辆和行人构成威胁。本文以陇南某危岩体的治理为例，对危岩体的成因进行系统分析，并针对性的提出处理措施。通过成因分析，强化监测管理，力求降低危岩体对工程及人员安全的危害。

1 工程区域地质环境条件

(1) 地形地貌：项目位于陇南市，属典型的暖温带半湿润气候区。地形起伏，沟壑纵横，总体地势由北西向南东倾斜，海拔 1000~1441m，相对高差 500~600m。本区地貌类型由构造侵蚀中山地貌、侵蚀堆积河谷地貌和微地貌组成。构造侵蚀中山：在区内广泛分布，海拔 1431~1441m，相对高差 500~600m。地形起伏大，河谷深切且较为发育，多呈“V”型峡谷，山坡坡度一般大于 60°，山顶呈峰状、长条状延伸。河谷地貌：区内河谷系指青泥河，海拔在 900~910m 之间，相对高差 10m，空间上呈北西—南东向展布。河谷形态为“V”型，河床宽度 30~50m，两侧岸坡均为直立。该河谷大部分地段分布有第四系全新统漂石、块石、砂碎石，仅在局部地段河床基岩出露。(2) 地层岩性：项目区出露地层较单一，主要为志留系 (S2-3bs4) 和第四系 (Q4)。1.志留系 (S2-3bs4)：在区内广泛出露，并且是构成本次治理的危岩体的唯一地层，岩性为深灰色灰岩，产状：5° < 30°，节理裂隙较为发育，中厚层状、块状结构。2.第四系 (Q4)：区内第四系为残坡积物 (Q4dl) 和冲积—洪积物 (Q4al-pl)。(3) 岩土体工程地质特征：区内岩体类型为志留系灰岩，呈中厚层-块状，中等—微风化，节理较发育。据本次试验结果，该岩体物理力学性质为：颗粒密度 2.74g/cm³，天然密度 2.67-2.68g/cm³，含水率 0.15%，单向抗拉强度 41.30MPa，内摩擦角 33° 00′，粘聚

力 6.97MPa。土体工程地质特征 1.漂石、块石、砂碎石单层土体 (Q4al-pl) 2.残坡积混杂土 (Q4dl) 分布于区内各山体的坡体之上和冲沟的沟脑地带，土石混杂，结构松散，物理力学性质不稳定。(4) 水文地质条件：项目区地下水为碳酸盐岩类裂隙水，其赋存于灰岩的构造裂隙中，主要接受大气降水的补给，沿节理、裂隙由高向低径流，至坡脚处以泉的形式排泄。含水岩组富水性差，单泉流量一般小于 1L/s。

2 危岩体治理的范围和原则

此次治理的有 (W1、W2) 2 处危岩体，其中：W1 危岩体空间分布长度 65m (按坡脚宽度计，其中：坡体前缘长 30m，坡体北侧长 65m)，面积 1750m²；W2 危岩体空间分布长度 24m (同上)，面积 504m²。危岩体 (W1、W2) 危害对象均为坡脚处的公路、供电线路、通讯线路、铁矿房屋设施及过往车辆和行人，危害方式为破坏房屋设施，压站公路、阻塞交通，毁坏供电、通讯线路及伤害过往车辆和行人。

W1 危岩体主要以抛石混凝土挡墙+锚杆锚固+危岩体清理+GPS2 型 SNS 主动防护网+坡脚护面墙方案。其中抛石混凝土挡墙主要功能是：以挡墙提供的抗滑力来稳定坡体前缘的松散岩体。锚杆锚固主要功能：稳固坡体下部地段的松散岩体。危岩体清理主要功能是：减少坠石，稳固坡体。GPS2 型 SNS 主动防护网，主要功能是：稳固坡体中上部地段表层的松散岩体。坡脚护面墙，其功能是：与 GPS2 型 SNS 主动防护网相连接，支护坡脚。

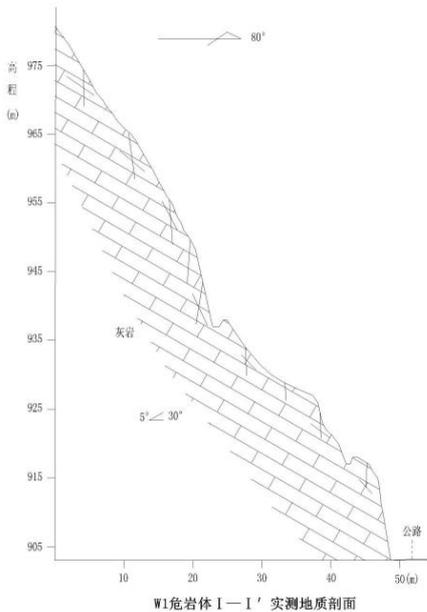
W2 危岩体主要以护坡挡墙+危岩体清理+GPS2 型 SNS 主动防护网+坡脚护面墙方案。其中护坡挡墙主要功能是：稳固坡体表层的松散岩体。危岩体清理主要功能是：减少坠石，稳固坡体。GPS2 型 SNS 主动防护网主要功能是：稳固坡体中上部地段表层的松散岩体。坡脚护面墙其功能是：与 GPS2 型

SNS 主动防护网相连接，支护坡脚。

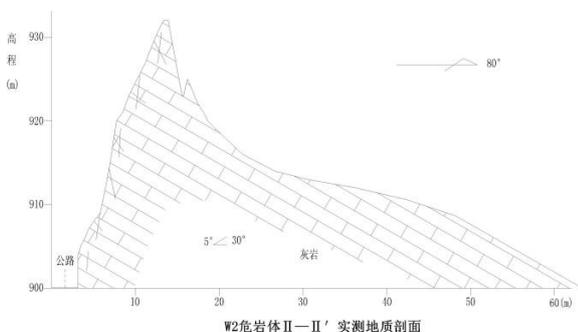
3 危岩体特征及成因分析

3.1 危岩体边坡特征

W1 危岩体为灰岩岩质边坡。其基本特征为：坡体走向 80° ，坡长 78m，坡顶坡度为下缓上陡，中上部坡度 60° ，中下部坡度 45° ，平均坡度 53° ，坡体南侧近直立，北侧上陡下缓，平均坡度 65° 。坡体前缘临空（W1 实测地质剖面图），前缘段坡高 12m，后缘段坡高 75m。坡体宽度总体上呈坡顶窄坡底宽、前缘窄后缘宽之态势，前缘坡顶宽度 1.2m，坡脚宽度 30m；后缘坡顶宽度 35~40m，坡脚宽度 50m。



W2 危岩体属灰岩岩质边坡，其空间形态为“楔形”。该边坡基本特征为：坡体走向 80° ，坡长 60m，坡度上陡下缓，平均坡度 35° ，坡体前缘嵌于青泥河河谷地带，坡体后缘在修筑公路时形成反向坡（人工切坡），坡向 260° ，平均坡度 70° ，坡高 28m（图 3-2），坡体宽度总体为坡顶窄坡底宽，坡顶宽度 4~6m，坡脚地带宽 24m（W2 实测地质剖面）。另外，该坡体上发育有二组控制坡体变形的结构面，其中，第一组沿层面分布且与坡体地层产状基本一致，第二组结构面与第一组结构面斜交或垂直。



3.2 危岩体成因分析

(1) 区内地形、地貌是引发危岩体发生崩落的决定性因素之一。如前所述，W1 号危岩体边坡最大相对高差 75m，前缘临空，最小相对高差 12m，坡体顶部坡度为下陡上缓，平均坡度 53° ，坡体南侧近直立，北侧上陡下缓，平均坡度 65° ；W2 危岩体边坡（人工切坡）坡体陡峭，相对高差 28m，平均坡度 70° 。因此，有利的地形条件为区内 2 处坡体上的危岩体发生崩落创造了条件。(2) 地层岩性是危岩体发育的物质基础。勘查区基岩岩体为中厚层一块状灰岩，产状基本北倾，倾角较陡，表层岩体极为破碎，形成了不利于岩体稳定的结构面，进而促成危岩体形成。(3) 降水是坡体地下水的主要补给源，项目区属暖温带半湿润气候区，据资料统计，境内一日最大降水量为 201.2mm，一小时最大降水量为 58.5mm，十分钟最大降水量为 48.8 mm，一次连续降水最大强度可达 255.3 mm。当降水进入坡体后，一方面不但增加了坡体的重量，同时也降低了危岩体及坡体上破碎岩体的抗剪强度，使其稳定性降低，导致危岩体及破碎岩体发生崩落；另一方面，进入坡体内的地下水将会产生动水压力和静水压力，进而会加剧危岩体及破碎岩体发生崩落。(4) 人类工程活动，区内前期公路建设过程中，为穿越坡体开挖路基在坡体两侧形成了较高的陡边坡，并使得坡体的固有结构及应力状态发生改变，另外，施工中爆破取石不但造成切坡体上的岩体支离破碎，而且还形成了利于岩体崩落的结构面，同时，也易于引起岩体松动，使其抗剪强度降低，在降水、地震等内外动力作用下极易发生崩落。

由此可见，危岩体是区内地形地貌、地层岩性、降雨、地质构造、及人类工程活动综合作用下形成的。

4 危岩体治理措施

(1) W1 危岩体具体治理措施为：坡体前缘下部地带进行抛石混凝土挡墙结合锚杆进行支护；坡体北侧的下部地段进行坡脚护面；坡体中上部地段进行危岩清理，同时对表层岩体进行 GPS2 型 SNS 主动防护网防护。1. 抛石混凝土挡墙，在坡体前缘高程 903.0~909.0m 段布设抛石混凝土挡墙来稳固坡体，挡墙总长度 30m。2. 坡脚护面墙，在坡体北侧前缘高程 896.0~898.0m 段布设浆砌石护面墙支护坡脚，护面墙总长度 87m。3. 锚杆锚固，在坡体前缘高程 903.0~909.0m 段布设锚杆来稳固坡体表层厚度 2.5~3.2m 的松散岩体，锚杆锚固区面积 180m²。4. 危岩清理，将坡体上的危岩体进行人工清除，清理危岩体方量 2333.02m³。5. GPS2 型 SNS 主动防护网，在坡体中上部高程 898.0~971.5m 段挂 GPS2 型 SNS 主动防护网进行坡面防护，挂网面积 4773m²。

(2) W2 危岩体具体治理措施为：坡体前缘下部采取浆砌石护坡挡墙护坡；坡体北侧的下部地段进行坡脚护面；坡体

中上部地段进行危岩清理,同时对表层岩体进行 GPS2 型 SNS 主动防护网防护。①浆砌石护坡挡墙,在坡体下部高程 903.0~909.0m 段布设浆砌石护坡挡墙来稳固坡体下部表层的松散岩体,护坡挡墙总长度 24m。②坡脚护面墙,在坡体北侧前缘高程 904.0~906.0m 段布设浆砌石护面墙支护坡脚,护面墙总长度 12m。③危岩清理,将坡体上的危岩体进行人工清除,清理危岩体方量 845.28m³。④GPS2 型 SNS 主动防护网,在坡体中上部高程 906.0~929.0m 段挂 GPS2 型 SNS 主动防护网进行坡面防护,挂网面积 350m²。

(3) 治理措施施工要求: 削坡工程主要位于 W1、W2 危岩体坡体的前缘及中下部地段,先对坡体前缘段清方整形,然后采用光面爆破自上而下开挖至设计位置。光面爆破采用毫秒起爆方式爆破,周边眼应采用低密度,低爆速、低猛度、高爆力的炸药,并采用毫秒雷管或导爆索同时起爆。爆破前应在现场进行试炮,以便确定爆破参数。抛石混凝土挡墙基础槽采用分段跳槽开挖方式进行开挖,开挖时采用光面爆破,人工清理,在距基底 10~15cm,用人工准确修凿至标高。浆砌石护坡挡墙基础槽施工采用光面爆破方式进行开挖,基础槽基本成型后再进行修边至设计尺寸。墙体浇筑过程中按设计要求安装钢模板,抛石直径 15~20cm。抛石尽量放置于墙体中央并依次间隔 30cm 分层均匀抛石现浇,抛石间浇筑时不得有干缝和瞎缝存在。墙顶采用 C20 混凝土压顶,其厚度不得小于 10cm。浆砌块石施工时块石应平砌,同时应进行层次配料,每层石料大致齐平,用作镶面的块石,表面四周应加以修正,使尾部略小,以利于安砌,镶面石应丁、顺排列,镶面石灰缝宽为 2~3cm,不得有干缝和瞎缝,上下层竖缝应错开不小于 8cm。填腹块石水平灰缝的宽度不应大于 3cm,垂直灰缝的宽度不应大于 4cm,灰缝也应错开。浆砌块石墙顶采用 C20 混凝土压顶,其厚度为 10cm。锚杆施工时锚杆孔定位偏差不得超过±1cm,钻孔倾角允许误差±2°。为确保锚杆深度,实际钻孔深度要大于设计深度 0.5m,成孔孔径 φ90mm。锚杆杆体使用前应平直,除锈、除油,每间隔 3m 绑扎对中支架,对中支架用 φ8 I 级钢筋制作。注浆前应清孔,排放孔内积水,注浆管与锚杆同时放入孔内,且注浆管应插至距孔底 100mm 处、杆体插入

孔内长度不应小于设计规定的 95%。锚固段灌浆采用灰水比为 0.7 的水泥砂浆,强度不低于 M25。主动防护网施工时锚杆孔位(根据地形条件,孔间距可有 0.3m 的调整量),尽可能在低凹处选定锚杆孔位,并在孔口处凿直径 30cm,深 20cm 的凹坑。钻凿锚杆孔深应大于设计锚杆长度 5cm~10cm,孔径偏差±5cm;当受凿岩设备限制时,构成每根锚杆的两股钢绳可分别锚入两个孔径不小于 φ40 的锚孔内,形成人字形锚杆,两股钢绳间夹角为 15°~30°,以达到同样的锚固效果。当局部孔位处因地层松散或破碎而不能成孔时,可以采用断面尺寸不小于 0.4×0.4m 的 C20 砼基础置换不能成孔的岩土段。

(4) 治理的社会经济效果: 区内危岩体(W1、W2)破坏坡脚房屋设施,压站公路、阻塞交通,毁坏供电、通讯线路及伤害过往车辆和行人。据不完全统计,至目前历次崩塌灾害造成直接经济损失累计达 100 余万元。据本次对危岩体的危害特征与发展趋势分析,受诸多因素的综合影响,未来危岩体发生崩塌的频率将会增高,且发生规模较大崩塌的可能性极大,将会对坡脚处的公路及各工程设施造成严重威胁,并严重制约着本地区的交通及经济建设发展。

鉴于危岩体(W1、W2)对公路、供电、通讯线路及公路的危害程度,通过对本次对危岩体实施支挡及喷锚相结合的工程措施后,将彻底消除其制约当地经济发展的瓶颈问题,并使国家及企业财产得到有效保护,其社会效益较为明显。本工程治理后,将会使区内的 100 万元财产免受其危害,同时,将会保证区内的公路、供电及通讯线路正常运营,对促进本地区的经济持续发展奠定了基础,其经济效益极为明显。治理工程实施后,将会使之本区的生态环境得到改善和恢复。

5 结语

通过区内 W1、W2 危岩体所处地质环境,深入分析危岩体的坡体特征,及危岩形成的原因和机理,对坡体前缘采取抛石混凝土挡墙结合锚杆进行支护,对坡体下部进行坡脚护面,坡体中上部地段进行危岩清理,同时对表层岩体进行主动防护网防护等措施,可以很好的消除危岩体的潜在危害,对区内类似工程可以提供一定的借鉴。

参考文献:

- [1] 肖凡.某拟建隧道洞口危岩落石稳定性分析与运动特性研究[J].山西建筑,2024,50(16):156-161.
- [2] 沈波.蒙华铁路高家山危岩特征成因及裂隙变形分析[J].铁道勘察,2021.1(01):46-50.
- [3] 武中鹏,刘宏,董秀群等.单体危岩崩塌灾害危险性评价——以贵州威宁县新发乡樊家岩为例[J].中国地质灾害与防治学报,2019,3(2):30-34.
- [4] 张枝华,杜春兰,余姝等.三峡库区巫峡箭穿洞危岩体稳定性分析及防治工程设计[J].中国地质灾害与防治学报,2018,29(2):48-54.