

斜撑内支撑环在高陡危岩崩塌治理工程中的应用

刘 伍¹, 樊金桂^{1*}, 郝 龙², 刘延鹏², 徐林山¹, 金姗姗¹

(1. 北京市矿产地质研究所, 北京 101500; 2. 北京市一零一地质有限公司, 北京 101500)

摘要: 本文研究的危岩体处于一座小型古亭下方的地基部位, 在保护古建的前提下, 治理危岩体的难度明显增大。由于危岩体位置高陡, 其下方已形成倒三棱锥形崩塌岩腔, 并且危岩体所在岩石陡壁坡脚处为石景山古建山体特色景观公园的景观小路, 以上因素对危岩体的治理提出了严峻挑战。经多方案比选, 最终采取了在危岩体下方采用工字钢斜撑内支撑环治理措施。经实施及竣工后观察, 该措施对小型古亭地基的保护及治理效果良好。本研究对于类似特殊条件下的危岩治理工程具有一定借鉴作用。

关键词: 高陡危岩体; 倒三棱锥形崩塌岩腔; 斜撑内支撑环; 古建保护

中图分类号: P642.21; TU753 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2025)01-0152-09

Application of inclined bracing inner support ring in high and steep dangerous rock treatment engineering

LIU Wu¹, FAN Jingui^{1*}, HAO Long², LIU Yanpeng², XU Linshan¹, JIN Shanshan¹

(1. Beijing Institute of Mineral Geology, Beijing 101500, China; 2. Beijing 101 Geological Co., Ltd., Beijing 101500, China)

Abstract: The dangerous rockmass studied in this paper is located at the foundation site under a small ancient pavilion, under the premise of protecting ancient buildings, the difficulty of controlling dangerous rockmass increases obviously. Because of the high and steep location of the dangerous rockmass, and a inverted pyramidal collapse cave chamber has been formed below it, moreover, there is a landscape path of the characteristic landscape park of Shijingshan ancient construction mountain body located at the foot of the steep slope of the dangerous rockmass, severe challenges to the treatment of dangerous rockmass are posed. After comparing and selecting several schemes, the measure of I-steel inclined bracing inner support ring under the dangerous rockmass is taken. As the observation during the construction and upon completion, it has a good effect on the protection and treatment of small ancient pavilion foundation. This study can be used as a reference for dangerous rock treatment projects under similar special conditions.

Key words: high and steep dangerous rockmass; inverted pyramidal collapse cave chamber; inclined bracing inner support ring; preservation of ancient buildings

0 引言

危岩崩塌是我国山区三大地质灾害(崩塌、滑坡、泥石流)^[1]之一。危岩具有突发性、多发性、强致灾性等特点, 因其所处位置一般比较高陡, 一旦发生崩塌, 将对附近的人员、道路、各种建筑设施等构

成较大威胁。因此, 近些年国内对危岩进行了广泛调查及大量治理, 这项工作不仅具有迫切的实际意义, 更具有社会安定意义。

危岩防治技术的发展已较成熟, 并积累了大量成功实例及经验, 在防治技术方面大致可归纳为主

收稿日期: 2024-06-19; 修回日期: 2024-08-13 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.01.021

第一作者: 刘伍, 男, 汉族, 1965年生, 正高级工程师, 水工环专业, 主要从事岩土工程设计、地质灾害勘查及治理设计工作, 北京市密云区园林东路6号, liuwu1832@163.com。

通信作者: 樊金桂, 男, 汉族, 1979年生, 高级工程师, 水工环专业, 主要从事岩土工程设计、地质灾害勘查及治理设计研究工作, 北京市密云区园林东路6号, fanjingui2009@163.com。

引用格式: 刘伍, 樊金桂, 郝龙, 等. 斜撑内支撑环在高陡危岩崩塌治理工程中的应用[J]. 钻探工程, 2025, 52(1): 152-160.

LIU Wu, FAN Jingui, HAO Long, et al. Application of inclined bracing inner support ring in high and steep dangerous rock treatment engineering[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(1): 152-160.

动防治技术、被动防治技术以及辅助防治技术,其中,主动防治技术主要包括锚固、支撑柱、墙、清除、主动防护网等;被动防治技术主要包括拦石网、拦石墙、堤、棚洞、明洞等;辅助防治技术主要包括排水、封填及注浆、插别、刚性栅栏、落石槽、避让带等^[2]。

在对危岩体进行治理工程设计时,须根据危岩体所在位置环境、对受灾体的危害程度、危岩体的形状特点、危岩体破坏模式(滑移、倾倒、坠落)及在不同工况(现状、暴雨、地震)下的稳定性评价结果,采取针对性的治理工程措施^[1]。对于本次工程所遇到的危岩体,就危岩体本身,一般只需要对其下方的岩腔采用浆砌石嵌补或对危岩体进行锚固就可以解决。但该危岩体下方的岩腔呈倒三棱锥形,岩腔沿陡壁向下延伸已接近地面,岩腔上下高度约20 m,该岩腔的空间形态及规模已不适合采用浆砌石嵌补措施进行治理。此外,该危岩体悬空且整体上已略显破碎,更为敏感的是该危岩体正处于小型古亭下方的地基部位,为了充分保护小型古亭的地基整体稳定性,不宜采用锚固措施对其进行加固。显然,针对本工程遇到的危岩体,采用常规治理措施^[3-7]是行不通的。另外,经查阅大量已发表的文献资料,尚未见到类似工程的治理实例。

因此,寻求一个相对合理的治理措施,即本着不扰动悬空且整体上略显破碎的危岩体,对其进行加固,以此来保证小型古亭地基的整体稳定性,这是本治理工程设计及研究的核心难点。

1 崩塌地质灾害点概况

1.1 场地位置及历史背景

该崩塌地质灾害点位于北京市石景山区石景山山体顶部、沿山脊西侧附近分布的陡壁位置。石景山山体上存在1个古建筑群,至今已有1300多年历史,为儒、释、道共存的文化遗址群落,古人称此山为“燕都第一仙山”。该山体正在被打造成“古建山体特色景观公园”

1.2 地质灾害发育情况

石景山山体主体走向为NW-SE,在山脊西侧附近分布着平行于山脊的陡立岩壁,长度约170 m,岩壁上节理裂隙极为发育^[8],在岩壁表面及浅部形成4个危岩带及6个危岩体,如图1所示。危岩体编号分别为WYT1、WYT2、WYT3、WYT4、WYT6、

WYT7。根据危岩体所在位置及周边环境地貌等相互关系,确认WYT1、WYT2、WYT3、WYT4既威胁其下方附近的景观小路及游客,又对山脚下的既有丰沙铁路构成一定隐患;WYT6、WYT7主要对其下方附近的景观小路及游客构成威胁。本文仅对危岩体WYT7进行分析、研究。

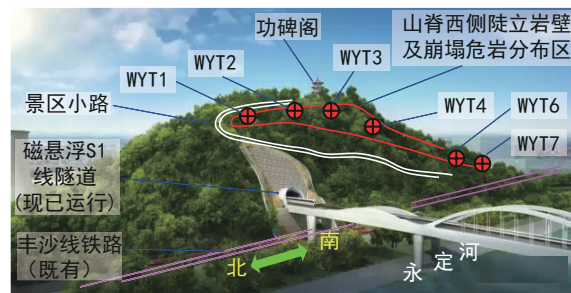


图1 山脊西侧陡壁地质灾害分布及周边环境

Fig.1 Geological hazards distribution and surrounding environment of the steep wall on west side of ridge

2 崩塌地质灾害基本特征

2.1 地层特征

工作区内地层为三叠系双泉组地层,岩性主要为凝灰质岩屑砂岩、粉砂岩,黄绿色,细粒结构,主要矿物为石英、长石。岩石具层状构造,单层厚度一般为20~40 cm,地层产状为 $55^{\circ}\sim 70^{\circ}/18^{\circ}\sim 23^{\circ}$ 。

2.2 危岩体所在陡壁特征

危岩体(WYT7)所在陡壁为陡立岩柱,外露面为西壁及南壁,西壁坡面产状为 $210^{\circ}/80^{\circ}$,南壁坡面产状为 $115^{\circ}/85^{\circ}$,两壁交角近 90° ,柱体体积约 868 m^3 (东界按最近侧结构面^[8]考虑);危岩体顶标高162.20 m(小型古亭基底标高),底标高138.11 m,危岩体顶面距下方景观小路地面高度为24 m。景观小路从岩壁下方附近经过。如图2所示。

2.3 危岩体基本特征

危岩体(WYT7)位于小型古亭所在岩柱的西壁北缘顶部,目前呈悬空状态,悬空最大进深2~3 m,小型古亭西侧基础局部已处于凌空状态,如图3所示。北侧边缘基本被大型节理切割贯穿^[8],其产状 $190^{\circ}/67^{\circ}$,南侧边缘被大型节理切割贯穿,其产状 $310^{\circ}/78^{\circ}$,所在西壁坡面产状为 $210^{\circ}/80^{\circ}$,地层产状 $5^{\circ}/30^{\circ}$ 。

该危岩体处于小型古亭的西外侧,且紧贴古亭基础。其整体形状异型,不易概化,但为了便于分析

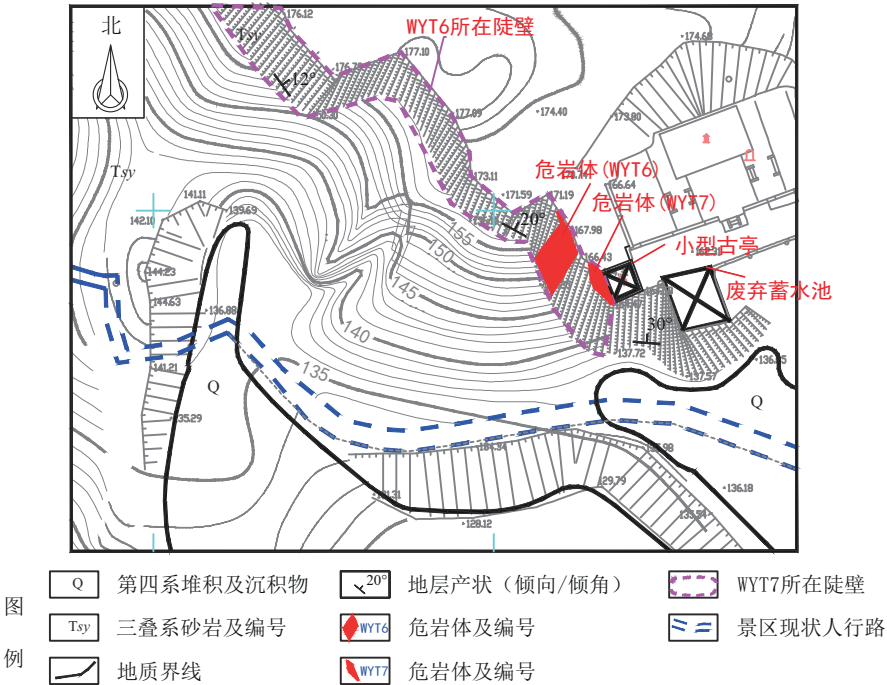


图2 危岩体(WYT7)附近地形地质环境

Fig.2 Terrain and geological environment of dangerous rockmass (WYT7)

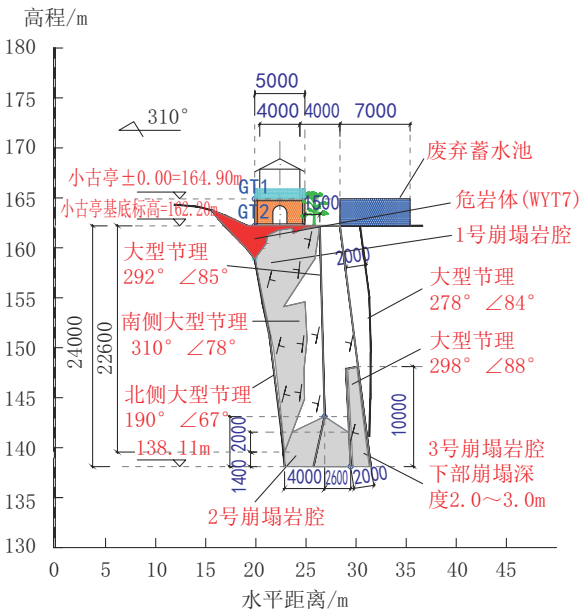


图3 危岩体(WYT7)所在西壁正立面

Fig.3 Front elevation of the western wall where the dangerous rockmass (WYT7) is located

及计算,将其近似看成是一个向南西下侧滑移的危岩体,形状近于两侧面互相平行的三角形立方体,如图4所示。属于滑移式破坏模式,以此剖面为准,滑面按完全贯通考虑,长度6.4 m,滑面倾角67°,危岩体

纵截面面积11.6 m²,厚度按岩腔最大进深3 m考虑,总体积为34.8 m³,密度2.98 t/m³,总质量103.7 t。

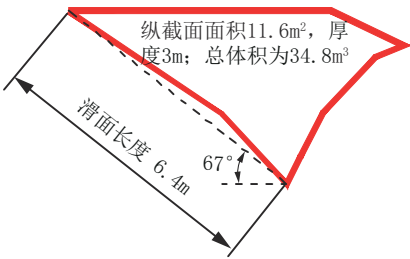


图4 危岩体(WYT7)整体形状概化图

Fig.4 Generalized shape map of the dangerous rockmass (WYT7)

根据其结构特点,此危岩体目前处于稳定状态,在暴雨、地震等极端条件下,其很可能产生滑动、崩塌,对过往游人造成威胁,对既有小型古建地基造成进一步破坏。

2.4 危岩体所在陡壁崩塌岩腔特征

危岩体(WYT7)所在陡壁(岩柱)外立面上存在3处崩塌岩腔^[1],如图3、5所示。其特征如下:

1号崩塌岩腔:在小型古亭所在岩柱的西壁北缘,存在自上而下的崩塌岩腔,该岩腔上下高度约20 m,上宽下窄,上深下浅,呈倒三棱锥形,上部最

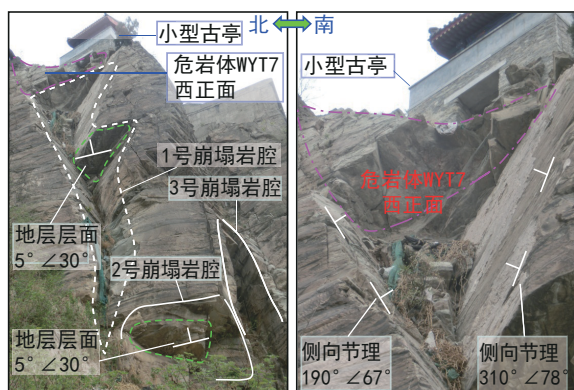


图 5 危岩体 (WYT7) 西正面全貌图及近视图

Fig.5 Dangerous rockmass (WYT7): general view and close view of the west front

大宽度约 4 m, 岩腔最大进深 2~3 m, 小型古亭西侧基础部分已处于凌空状态。

2号崩塌岩腔: 分布于岩壁下部坡脚处, 该岩腔外开口高 5 m, 进深 3.0 m, 水平长度 6.6 m, 岩腔上部悬挑反坎产状(同时也是地层产状) $5^{\circ} \angle 30^{\circ}$ 。

3号崩塌岩腔: 在小型古亭所在岩柱与东侧岩壁(废弃蓄水池所在岩壁)之间存在 1 个自上而下的竖向崩塌岩腔(凹槽), 宽度 2.0 m, 进深达 3.0 m, 高度约 10 m。

2.5 破坏方式及主要影响因素

根据危岩体空间几何特征、结构面组合特征及附近地层产状分析, 该危岩体目前处于悬空状态, 主要靠北侧尚未完全贯通的节理保持暂时的稳定^[8]。危岩体目前呈稳定状态, 随风化、雨水冲刷、冰雪冻融作用, 北侧节理将逐渐完全贯通、结构面抗滑能力下降, 在暴雨及地震条件下, 危岩体将出现不稳定, 从而发生滑移式兼坠落式崩塌破坏。

2.6 稳定性计算及评价

本项目经实地采取岩样、试验, 岩体物理力学性质指标取平均值, 如表 1 所示。

本危岩体崩塌破坏模式以滑移式崩塌为主, 因此, 依据滑移式危岩计算模型(后缘无陡倾裂隙)进

行详细取值及计算^[1]。模型如图 6 所示。

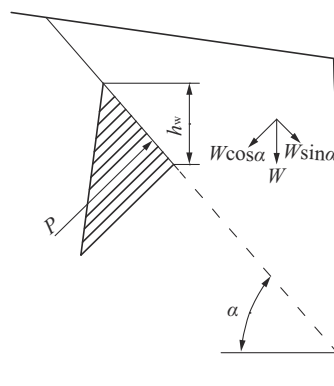


图 6 滑移式危岩体稳定性计算模型(后缘无陡倾裂隙)

Fig.6 Stability calculation model of the sliding dangerous rockmass (without steep fracture at back edge)

后缘无陡倾裂隙(滑面较缓)时, 危岩体稳定性按下式计算:

$$F = \frac{(W \cos \alpha - Q \sin \alpha - P) \tan \varphi + cl}{W \sin \alpha + Q \cos \alpha}$$

式中: F ——危岩体稳定性系数; l ——滑面长度, m, 本工程按裂隙通长贯通考虑; P ——后缘裂隙水压力, kN/m, $P = 0.5 \gamma_w h_w^2$; γ_w ——水的重度, N/m³; h_w ——裂隙充水高度, m, 天然时取 0.2 l , 暴雨时取 0.5 l ; Q ——地震力, kN/m, $Q = \zeta_e W$; ζ_e ——水平地震系数, 根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)表 5.2.6, ζ_e 取 0.050; c ——后缘裂隙粘聚力标准值, kPa, 本工程按裂隙通长贯通考虑; φ ——后缘裂隙内摩擦角标准值, (°), 本工程按裂隙通长贯通考虑; α ——滑面倾角, (°); W ——危岩体自重, kN/m。

对危岩体在现状、暴雨、地震 3 种工况下的稳定性进行了分析^[1], 计算结果如表 2 所示。

通过计算可知, 危岩体在现状工况下处于稳定状态, 在暴雨及地震工况下均呈欠稳定状态, 整体以滑移式崩塌破坏为主, 前端悬挑部位以坠落式崩塌破坏为主。

3 治理工程方案选择

3.1 防治工程等级

根据相关规范^[1], 确定本防治工程等级为Ⅲ级。

3.2 治理难点分析

(1) 危岩体下方的悬空区位置高陡, 约 20 m, 治

表 1 岩石物理力学性质指标统计

Table 1 Statistical table of rock physical and mechanical properties index

岩石类型	密度/(g·cm ⁻³)		单轴抗压强度/MPa	
	天然	饱水	天然	饱水
砂岩	2980.00	3000.00	75.00	26.00

表2 危岩体(WYT7)滑移式危岩体稳定性计算(后缘无陡倾裂隙)

Table 2 Stability calculation table of sliding dangerous rock mass (no steep crack at back edge) for dangerous rock mass (WYT7)

工 况	重度 γ / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	体积 V / ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}$)	危岩体自 重 W / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	地震力 Q / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	裂隙水压 力 P / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	结构面 内摩擦 角 φ /($^{\circ}$)	结构面 粘聚力 c /kPa	滑面 长度 l /m	滑面 倾角 A /($^{\circ}$)	裂隙充 水高度 H_w /m	稳定 系数 F	稳定性
工况 1:现状	29.8	11.6	345.68	0.00	8.0	25	100	6.4	67	1.28	2.20	稳定
工况 2:暴雨	30	11.6	348	0.00	50.2	20	50	6.4	67	3.2	1.10	欠稳定
工况 3:地震	30	11.6	348	17.4	50.2	20	50	6.4	67	3.2	1.06	欠稳定

理施工需要搭设脚手架。

(2)因危岩体下方已出现自上而下的倒三棱锥形崩塌岩腔,且岩腔自上而下规模较大,达 20 m。因此,不宜采用自下而上的嵌补工程治理方案^[9]。

(3)危岩体正处于小型古亭下方的地基部位,考虑到其对小型古亭的影响,该危岩体不具备清除条件,不宜采用清除方案^[10-12];另外,危岩体悬空且整体上已略显破碎,为了充分保护小型古亭的地基整体稳定性,不宜采用锚固措施对其进行加固。

(4)宜在危岩体下方的悬空区下方直接采用高强度且质量较轻的嵌补顶托治理方案。

(5)2号和3号崩塌岩腔,对危岩体所在岩柱(岩壁)有一定潜在隐患,应进行必要的治理。

3.3 治理工程方案

最终确定治理方案为:在危岩体下方的悬空区,采用斜撑内支撑环进行治理,对2号和3号崩塌岩腔采用浆砌石嵌补工程进行治理,如图7所示。

4 斜撑内支撑环治理工程设计

采用斜撑内支撑环对危岩体进行加固治理,其核心原理是:采用工字钢上下斜撑,将上方危岩体的下滑力直接传递至侧壁基岩内,为确保斜撑下端的稳定,在斜撑下端的基岩侧壁上进行适当开槽,开槽深度须进入新鲜基岩或微风化基岩 ≤ 10 cm。同时,在斜撑下端位置设置底部工字钢水平平台,该平台主要用于工字钢斜撑内支撑环的施工起始工作平台,同时对竖向斜撑的下端基岩卧槽起到必要的保护,并具有一定的抗剪作用。

4.1 底部工字钢水平平台安装

(1)锚杆布设:在施工起始工作平台位置(即小型古亭基底以下约 5 m 位置),于南北两侧岩壁水平布设上下 2 排锚杆,向下孔斜 15°,孔径 50 mm,孔深 1500 mm,相邻孔水平间距 400 mm,上下间距 400~

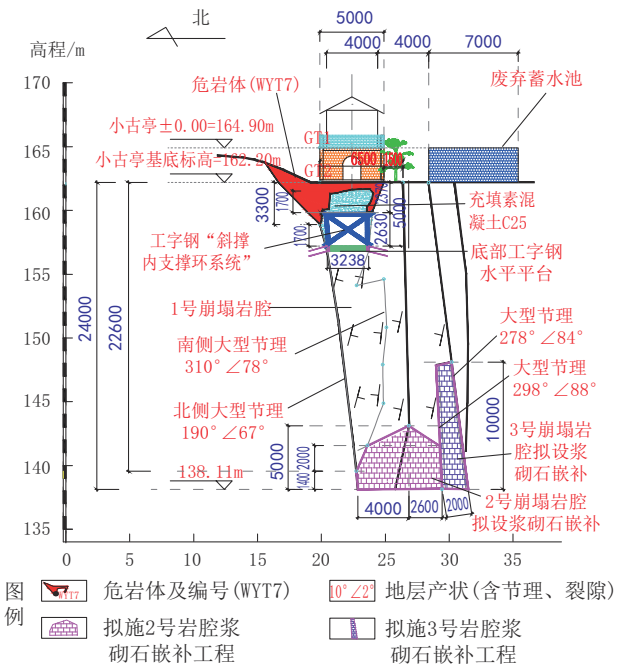


图7 危岩体(WYT7)治理工程立面图

Fig.7 Elevation of dangerous rockmass (WYT7) treatment engineering

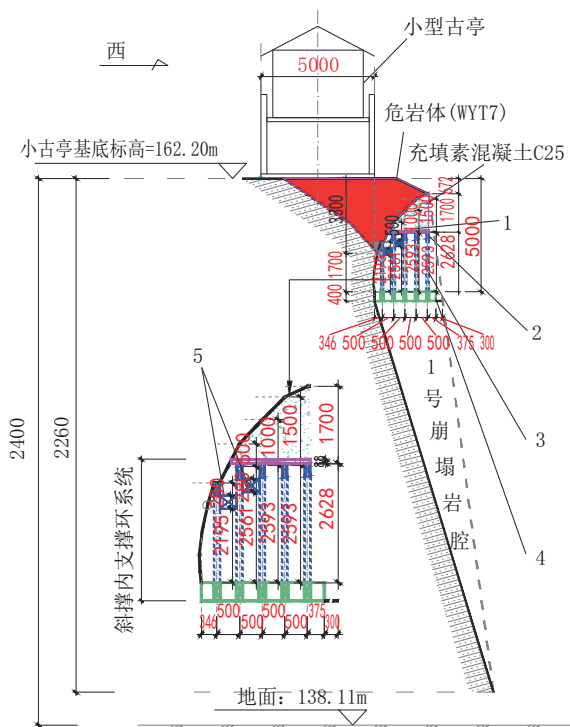
450 mm,植入 $\Phi 28$ (HRB400)钢筋,孔内钢筋长度 1500 mm(外露 500 mm),孔内注入 P.O 42.5 水泥浆,水灰比 0.5~0.55。

(2)沿上下 2 排锚杆的中间空挡部位,紧贴岩壁安装 40b 工字钢(须按立式安装),南北侧壁各 1 根,工字钢与上下排锚杆钢筋相焊接,采用双面焊。

(3)在 2 根贴壁工字钢之间的空挡部位,由内向外水平立式安装 40b 工字钢(均在同一平面内),共计 5 根,相邻中心间距 500 mm。5 根工字钢与 2 根贴壁工字钢之间的衔接采用双面焊,缝隙较大时采用双面贴加劲板焊接。

底部工字钢水平平台属于工字钢斜撑内支撑环的施工起始工作平台,同时对竖向斜撑的下端基

岩卧槽起必要的保护,并具有一定的抗剪作用。如图 8、图 9 所示。



- 1—16号工字钢: @360mm平行排列布设。其与下方28b顶梁工字钢相焊接; 其上方铺设并焊接钢板, 板厚5mm
- 2—28b工字钢: 顶部水平布设, 并与下方斜撑、侧面
- 3—28b工字钢: 上下斜撑+侧面立柱底部工字钢水平平台构成
- 4—40b工字钢: 由内向外平行排列水平梁5@500mm+南北两侧面贴岩壁布设水平梁各1根
- 5—28b工字钢: 将相邻支撑环相焊接, 南北两侧各1件

图 8 危岩体(WYT7)治理工程纵剖面图
Fig.8 Profile of the dangerous rockmass (WYT7) treatment engineering

4.2 斜撑内支撑环的组成

每 1 个斜撑内支撑环由 2 根上下斜撑及顶部水平梁、左右两侧各 1 根立柱组成,均采用 28b 工字钢,支撑环整体直立,斜撑下端须进入侧壁基岩(新鲜砂岩或微风化砂岩) $\nless 100\text{ mm}$,且实际卧槽尺寸 $\nless 300\text{ mm}\times 300\text{ mm}\times 300\text{ mm}$ 。支撑环由内向外共计 5 道,相邻支撑环之间中心距 500 mm,除最内侧支撑环顶梁标高明显偏低外,其余 4 道支撑环顶梁标高基本相近。如图 10~13 所示。

4.3 斜撑内支撑环的侧向加固

(1)为了保证斜撑内支撑环系统在危岩体下滑受力情况下不产生向西外侧移动,根据现场施工条件,仅在第 2 环、第 3 环、第 4 环的南北两侧分别加设

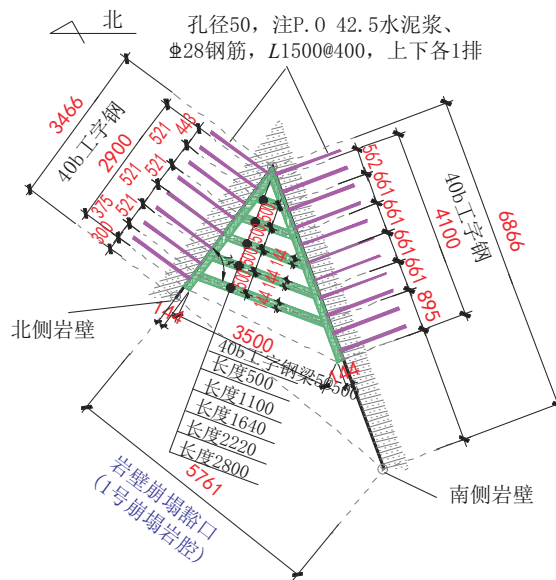


图 9 危岩体(WYT7)底部工字钢水平平台平面图
Fig.9 Plan of bottom I-steel horizontal platform of dangerous rockmass (WYT7)

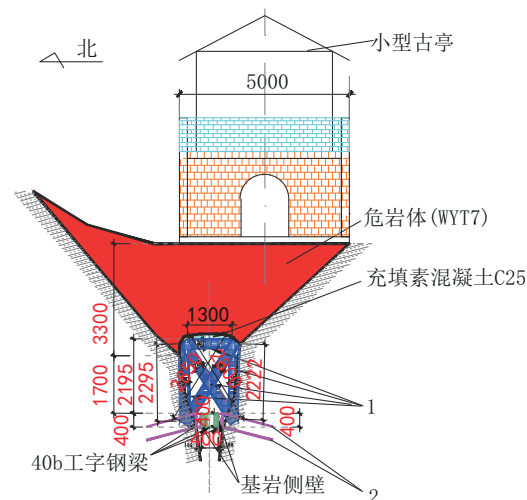


图 10 危岩体(WYT7)治理工程第 1 道支撑环
Fig.10 The first support ring of the dangerous rockmass (WYT7) treatment engineering

- 1—28b工字钢梁,立柱外侧及顶梁上方铺设并焊接钢板,材质Q235,板厚5mm,板后、板顶空隙采用C25素混凝土充填
- 2—孔径50,注水泥浆, $\Phi 28$ 钢筋, L1500@400(侧向固定沿侧壁的水平工字钢梁)

1根侧向锚杆,锚杆设计参数:向下孔斜 15° ,孔径 50 mm,孔深 1500 mm,孔内植入 $\Phi 28$ (HRB400)钢筋,钢筋长度 2000 mm(外露 500 mm),孔内注入 P.O 42.5 水泥浆,水灰比 0.5~0.55。

(2)该锚杆的外露段与对应的斜撑内支撑环中的竖向工字钢立柱相焊接,采用双面焊。

除锈,本工程确定为手工和动力除锈等级 St3。

4.8.2 防腐处理

(1)根据大气环境对建筑钢结构长期作用下的腐蚀性等级,本工程确定为弱腐蚀Ⅱ;防腐蚀保护层设计使用年限确定为10~15年;钢结构防腐蚀保护层最小厚度220 μm(含室外工程的涂层厚度宜增加20 μm)。

(2)对钢筋、工字钢外露面进行防腐处理,除锈后,及时涂刷防锈底漆(采用环氧富锌底涂料)2遍,再涂刷中间涂料(环氧云铁)1遍,最后刷涂面漆(醇酸面漆)3遍。

4.9 斜撑内支撑环支撑力验算

4.9.1 工字钢简支梁总承重能力估算^[14]

$$q \leq 8W\sigma/L^2$$

式中: q ——单位长度上的均布荷载,kN/m; L ——跨度,本工程取2.58 m,即5根28b工字钢的平均值(长度分别为1.3、2.3、3.2、2.7、3.4 m); W ——截面模量,根据28b工字钢规格参数表,取值534 cm³; σ ——许用应力,根据工字钢材质Q235,取值140 MPa。

计算得 $q=898.5$ kN/m,单根工字钢承重 $898.5 \times 2.58=2318.1$ kN,5根28b工字钢顶梁在均布荷载条件下的总承重为11590 kN。

4.9.2 侧壁基岩卧槽承载力估算

斜撑内支撑环在侧壁基岩面上的每个卧槽尺寸按300 mm×300 mm×300 mm考虑,受力正接触面按300 mm×300 mm考虑,南北2个侧壁各5个,共计10个。10根工字钢斜撑柱下端与基岩接触总面积为0.90 m²。

本场地(新鲜—微风化)砂岩保水条件下的单轴抗压强度为26 MPa。10个卧槽的总承载能力为23400 kN。

4.9.3 斜撑内支撑环自重及其上方荷重估算

所有工字钢(40b、28b、16号)及侧壁、顶部钢板,经统计计算,总质量为6.14 t。

斜撑内支撑环的南北外侧壁、东侧壁及顶部充填混凝土,体积约6 m³,C25混凝土密度按2.4 t/m³,总质量14.4 t。

原危岩体总体积34.8 m³,密度2.98 t/m³,总质量103.7 t。

工字钢及钢板、混凝土、危岩体总质量124.24 t,产生的荷载为1242.4 kN。

4.9.4 斜撑内支撑环整体承载力验算结果

侧壁基岩卧槽承载力(23400kN)>5根28b工字钢顶梁在均布荷载条件下的总承重力(11590 kN)>斜撑内支撑环自重及其上方荷重(1242.4 kN),即实际承载力远大于2倍上方荷重。

即使危岩体完全滑动、垮塌,本次的斜撑内支撑环承载力及侧壁基岩卧槽承载力均能满足对危岩体的顶托作用,从而保证小型古亭的地基安全。

5 施工过程及治理效果

自2019年3月至2019年7月,完成了该危岩体的治理施工工作,并于2019年7月31日完成施工验收。至今已5年,小型古亭下方的危岩体稳定,危岩体下方的斜撑内支撑环治理工程效果较好^[15-16],如图14、图15所示。



图14 危岩体(WYT7)斜撑内支撑环治理工程竣工效果(远观)

Fig.14 Completion effect of the inclined bracing inner support ring for the dangerous rockmass (WYT7) treatment engineering

6 结语

古亭虽小,但意义重大,尤其在打造古建山体特色景观公园背景下,对小型古亭下方的危岩体进行针对性治理,保护古亭地基稳固及确保其下方附近的景区观赏小路上的行人安全,更有特殊意义。对于高陡部位的危岩体,尤其是悬空状态时,其治理难度较大。本工程采用斜撑内支撑环治理悬空状态的危岩体,是一次创新性的尝试,通过治理后近5年的观察验证,该治理措施是成功的。本研究对类似危岩体的治理具有一定借鉴作用。



图15 危岩体(WYT7)斜撑内支撑环治理工程竣工效果(近观)

Fig.15 Completion effect of inclined bracing inner support ring for the dangerous rockmass (WYT7) treatment project (close-up view)

参考文献(References):

- [1] DB 11/T1524—2018,地质灾害治理工程实施技术规范[S].
DB 11/T1524—2018, Technical specification for implementation of geohazard controlling project[S].
- [2] 周云涛,吴波,蔡强,等.危岩崩塌防治技术体系及工程选型分析[J].钻探工程,2024,51(2):108-118.
ZHOU Yuntao, WU Bo, CAI Qiang, et al. Analysis of control and prevention technology system and engineering selection for unstable-rock[J]. Drilling Engineering, 2024,51(2):108-118.
- [3] 赵云峰,张涛,刘文清,等.北京某景区崩塌灾害隐患点治理方案设计思路[J].钻探工程,2021,48(5):96-105.
ZHAO Yunfeng, ZHANG Tao, LIU Wenqing, et al. Design of the treatment plan for rockfall hazards in a scenic spot in Beijing [J]. Drilling Engineering, 2021,48(5):96-105.
- [4] 刘伍,樊金桂,郑小体,等.北京飞云瀑崩塌地质灾害分析及防治方法研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):9-15.
LIU Wu, FAN Jingui, ZHENG Xiaoti, et al. Analysis on collapse geological disaster in feiyun waterfall scenic spot and the study on prevention and control methods[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):9-15.
- [5] 王亚军,王亚民,朱宏斌.河北省平山县大柳树村崩塌地质灾害治理设计[J].中国地质灾害与防治学报,2009,20(4):7-12.
WANG Yajun, WANG Yamin, ZHU Hongbin. The designing about geological disaster of rock fall treatment work in Daliushu village of Pingshan county, Hebei province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2009,20(4):7-12.
- [6] 贺凯,殷跃平,冯振,等.重庆南川甄子岩-二垭岩危岩带特征及其稳定性分析[J].中国地质灾害与防治学报,2015,26(1):16-22.
HE Kai, YIN Yueping, FENG Zhen, et al. Analysis of characteristics and stability for Zengziyan-Eryayan unstable rocks belt in Nanchuan county Chongqing [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015,26(1):16-22.
- [7] 刘伍.北京天梯峡崩塌灾害及防治方案研究[J].中国地质灾

- 害与防治学报,2016,27(4):18-23.
LIU Wu. Analysis on rockfall and its treatment in the canyon of Heaven's ladder, Beijing[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2016,27(4):18-23.
- [8] GB 50330—2013,建筑边坡工程技术规范[S].
GB 50330—2013, technical code for building slope engineering[S].
- [9] 夏相骅,刘德成,李玉倩,等.北京雁栖镇典型危岩基本特征及稳定性分析[J].中国地质灾害与防治学报,2021,32(1):28-34.
XIA Xianghua, LIU Decheng, LI Yuqian, et al. Basic characteristics and stability evaluation of dangerous rockmasses in Yanqi Town, Beijing[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2021,32(1):28-34.
- [10] 赵雅娜,齐欣,余志祥,等.主被动混合式柔性防护网联合作用效果初步分析[J].中国地质灾害与防治学报,2016,27(1):111-116.
ZHAO Yana, QI Xin, YU Zhixiang, et al. Preliminary study of hybrid flexible rockfall protection net[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2016,27(1):111-116.
- [11] 赵世春,余志祥,韦韬,等.被动柔性防护网受力机理试验研究与数值计算[J].土木工程学报,2013,46(5):122-128.
ZHAO Shichun, YU Zhixiang, WEI Tao, et al. Test study of force mechanism and numerical calculation of safety netting system [J]. China Civil Engineering Journal, 2013,46(5):122-128.
- [12] 刘成清,陈林雅,陈驰,等.落石冲击作用下被动柔性防护网整体结构试验[J].中国地质灾害与防治学报,2014,25(4):37-44.
LIU Chengqin, CHEN Linya, CHEN Chi, et al. Experimental study on the passive flexible protection under the rock-fall impact [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014,25(4):37-44.
- [13] JGJ/T 251—2011,建筑钢结构防腐技术规程[S].
JGJ/T 251—2011, Technical specification for anticorrosion of steel structures for buildings[S].
- [14] GB 50017—2017,钢结构设计标准[S].
GB 50017—2017, Standard for design of steel structures[S].
- [15] 程素珍,路璐,翟淑花,等.2004—2018年北京市突发地质灾害时空分布特点和监测预警状况[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(6):38-46.
CHENG Suzhen, LU Lu, ZHAI Shuhua, et al. Temporal-spatial distribution and monitoring and early warning of sudden geological disasters in Beijing during the period of 2004 to 2018 [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020,31(6):38-46.
- [16] 南赞,翟淑花,李岩,等.北京地区“23•7”特大暴雨型地质灾害特征及预警成效分析[J].中国地质灾害与防治学报,2024,35(2):66-73.
NAN Yun, ZHAI Shuhua, LI Yan, et al. Analysis on the characteristics of geological disasters and effectiveness of early warning during heavy rainfall on "23•7" in Beijing [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2024,35(2):66-73.

(编辑 王文)