

文章编号:1005-1538(2004)01-0043-04

预应力锚杆技术加固涑滩摩崖造像危岩体

刘智

方云

(重庆市合川文物管理所,重庆合川 401520)

(中国地质大学,湖北武汉 430074)

摘要: 在涑滩石刻区分布的危岩体严重威胁着石窟造像和游人的安全,必须进行加固处理。用石刻摩崖危岩体稳定性分析评价方法,结合工程实例介绍了预应力锚杆新技术在摩崖造像危岩体加固工程中的应用,和施工工艺技术及整治效果。预应力锚杆可以有效地提高锚杆的极限抗拔力,减少锚杆数量,从而减少对石刻岩体表面的破坏。该项目被评为优质工程。该技术可以在全国地面文物保护工程中推广应用。

关键词: 预应力锚杆;加固;危岩体

中图分类号: K879.2 **文献标识码:** A

涑滩摩崖造像位于重庆合川市东北 38km 的重庆十大历史文化名镇——涑滩古镇二佛寺内,其寺始建于唐,兴盛于宋。造像总计 1700 余尊,集中分布于二佛寺下殿北、南、西三面岩体上。主像释迦牟尼佛通高 12.5m,其它龕窟以此为中心,将迦叶、阿难、十地菩萨、六位禅宗祖师和众多的罗汉融为一体。造像布局错落有致,层次分明,雕刻精美,风格独特,是我国至今保存较为完整的典型禅宗大道场,具有重要的历史、文化、艺术、宗教和科学价值,1956 年被评为第一批四川省文物保护单位,2000 年 9 月,被评为重庆直辖后第一批重庆市文物保护单位,是重庆市级风景名胜。

数百年来,在长期自然营力作用的影响下,二佛寺石刻岩体产生了严重的环境地质病害,如渗水、风化岩体失稳等。渗水构造裂隙和风化卸荷裂隙的切割,降低了石刻岩体的稳定性,在石刻区形成了一些危岩体^[1]。这些危岩体已严重威胁石窟造像和游人的安全,必须进行加固处理。

为保护这一人类文化遗产,在地质勘察、稳定性分析评价的基础上,采用预应力锚杆加固技术于 2001 年 2—6 月实施了涑滩摩崖造像危岩体的加固,取得了十分良好的加固效果。过去文物部门采用锚杆加固岩体时,一般不施加预应力,多采用灌浆整体全锚固方式^[2]。预应力锚杆是在锚杆施工过程中采用张拉机对锚固段施加预应力,从而有效地提高锚

杆的极限抗拔力。本工程成功地采用预应力锚杆对摩崖造像危岩体进行加固是一次新的尝试。

1 环境地质条件

该区的地形属川中丘陵盆地的浅丘台地,地形起伏大,陡崖连绵。石刻造像区位于渠江西岸 400m 处的鹭峰山崖岩壁上。崖面高差大于 20m,崖上有相对平坦的涑滩古寨,下有坡度约 20°的渠江河谷缓坡。区内岩体完整性好,岩层产状近水平,主要分布两组构造裂隙。其中近南北走向的一组隙宽较大,裂隙中有泥质充填和植物根系生长,根劈作用是使裂隙加宽的主要原因之一。近东西走向一组裂隙与崖面大致平行,往往构成岩体的崩塌滑动面。区内共发现大的构造裂隙 8 条,构造节理密度 < 0.1 条/m。除上述两组裂隙外,岩体内还发育有十余条层间裂隙和风化卸荷裂隙,构造裂隙和近水平的层面裂隙互相交切,将区内岩体切割成巨块状。这些巨块石在重力作用下,易产生向南面临空方向的崩塌,崩塌现象是区内主要的动力地质现象。

石刻造像赋存的岩体为灰褐色巨厚层状含长石岩屑细中粒石英砂岩和钙质绢云母细粉砂岩。岩石软硬适中,适于雕刻,但抗风化能力差。根据 X 射线分析结果,石英砂岩中石英含量为 49%,长石 27%,粘土矿物含量(蒙脱石、高岭石、伊利石)为 21%,力学强度高。粉砂岩中石英含量为 42%,长

收稿日期:2003-05-13;修回日期:2003-09-01

作者简介:刘智(1963—),男,1998 年 6 月毕业于重庆师范学院文物与博物专业大专,2003 年 6 月毕业于重庆师范大学博物馆学专业本科,文博馆员,重庆合川市书院路鹤林巷 8 号 401520, e-mail: hclizhi@163.com

石 3%,粘土矿物 45%,力学强度相对较低。据 X 荧光成分分析结果,砂岩的化学成分以 SiO₂ 为主。

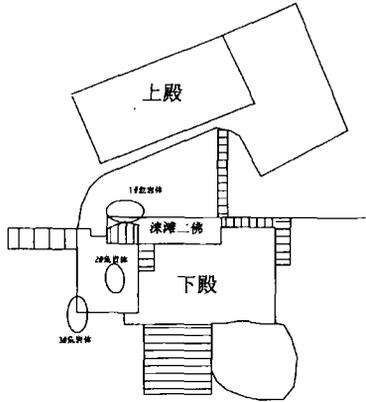


图 1 合川涪滩摩崖造像危岩体分布平面示意图
Fig.1 Schematic drawing of distribution of possible collapsing blocks

2 危岩体稳定性分析评价

石刻区内共有 3 块危岩体,均分布于大佛的西侧(图 1)。

1#危岩体位于 214 号、215 号佛像群之下,体积为 5.4m³,重 134kN。上、下受层面裂隙切割,为一悬空的孤立体(图 2)。目前该块体靠岩体本身的抗拉强度保持平衡,稳定性差。危岩体东侧有一条卸荷裂隙沿 NW320°方向朝岩体内部延伸。当该卸荷裂隙切入一定深度后,危岩体将在重力作用下失稳。其可能的破坏模式为剪断滑动倾覆破坏。

2#危岩体位于西崖岩体顶部,体积为 54m³,重约 1340kN。滑面倾角 33.5°,岩体脱开,无粘结作用。危岩体在重力作用下朝临空方发生蠕变,目前该岩体已从中部产生塑流拉裂,断成 2 块,其可能破坏模式为塑流拉裂滑动破坏(图 3)。

3#危岩体位于西崖,2#危岩体西侧墙外。体积为 100m³,重约 1920kN。底部滑动面倾角 40°危岩体已与下伏岩体脱开,无粘结作用。其破坏模式与 2#危岩体相同(图 4)。

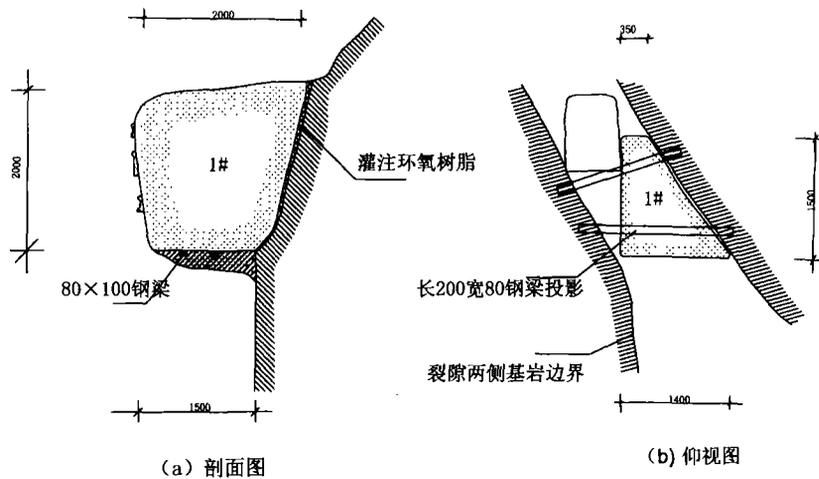


图 2 1#危岩体的加固工程设计图
Fig.2 Reinforcing design of 1# collapsing block

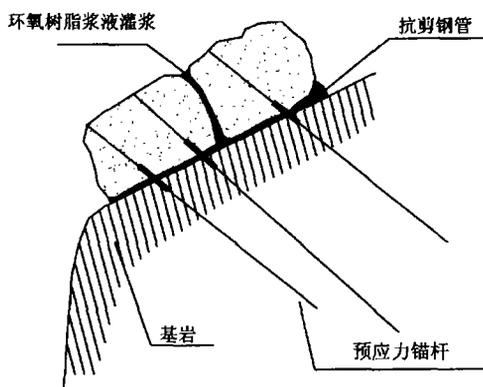


图 3 2#危岩体加固剖面图
Fig.3 Reinforcing section picture of 2# collapsing block

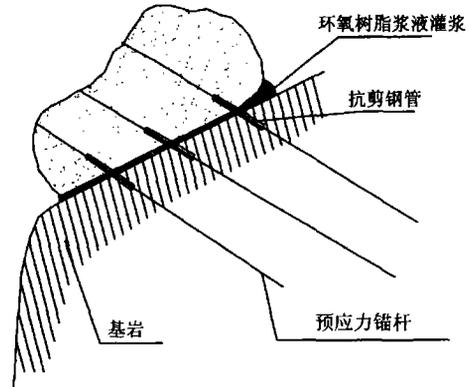


图 4 3#危岩体加固剖面图
Fig.4 Reinforcing section picture of 3# collapsing block

根据《岩土工程手册》^[3],危岩体的稳定性评价公式为:

$$K_f = \frac{G \cos \beta \tan \phi + cA}{G \sin \beta}$$

式中, K_f 为岩体稳定性系数; G 为危岩体的自重(kN), $G = V \times \nu$, V 为危岩体体积, ν 为砂岩容量, 取 $\nu = 24.8 \text{ kN/m}^3$; ϕ 为滑动面的摩擦角, 取 $\phi = 40.0^\circ$; c 为滑动面的粘聚力, 取 $c = 0.09 \text{ MPa}$; β 为滑动面倾角($^\circ$); A 为有效粘结面积(m^2)。 V 、 β 和 A 根据现场调查确定。

当 $K_f = 1.0$ 时, 危岩体处于极限平衡状态。在工程实践中, K_f 值等于 1 或稍大于 1, 并不能说明岩体处于稳定状态。工程上 K_f 值必须满足一个最起码的安全需要, 称为容许安全系数。对于石刻文物岩体加固的容许安全系数, 目前尚无明确规定。由于文物的重要性, 应该将容许安全系数取得大一些。建议分析石刻岩块体的稳定性时, 取 $K_f = 1.3$ 作为容许安全系数, 并按下述标准进行稳定性分析。

$$\begin{aligned} K_f < 1.0 & \quad \text{不稳定} \\ 1.0 \leq K_f \leq 1.3 & \quad \text{欠稳定} \\ K_f > 1.3 & \quad \text{稳定} \end{aligned}$$

将各计算参数代入上式可得各危岩体的稳定性系数。1# 危岩体的 $K_f = 1.15$, 接近极限平衡状态; 2# 危岩体的 $K_f = 1.26$, 处于欠稳定状态; 3# 危岩体的 $K_f = 1.00$, 处于极限平衡状态, 稳定性极差。这些危岩体一旦失稳, 会对石窟区造像、建筑物及参观游客造成极大的危害, 必须采取措施进行抢险加固。

3 加固设计方案

对 1# 危岩体采取底部布设两根钢梁托护和周边裂隙灌注环氧树脂粘结相结合的措施进行加固, 在钢梁外部敷设混凝土, 表面采用原岩岩粉砂浆作旧。图 2 为 1# 危岩体的加固工程设计图。

对 2# 危岩体采用预应力锚杆锚固与裂隙灌浆粘结相结合的措施(图 3)。需采用 $\phi 30 \text{ mm}$ 的螺纹钢锚杆 3 根, 有效锚固长度 3m, 锚孔直径 $D = 60 \sim 90 \text{ mm}$, 单根锚杆的设计锚固力 $Q = 15 \text{ t}$, 为增大锚杆体在滑动面部位的抗剪力, 在滑动面上安设壁厚 3 ~ 5mm 的抗剪钢管。

对 3# 危岩体采用预应力锚杆锚固, 锚杆选用 $\phi 30 \text{ mm}$ 或 $\phi 32 \text{ mm}$ 的螺纹钢, 锚孔直径 $D = 60 \sim 90 \text{ mm}$, 有效锚固长度 3m, 单根锚杆设计锚固力 $Q = 15 \text{ t}$ 。为增大锚杆的抗剪力, 在滑动面附近安设壁厚 3 ~ 5mm, 长 60cm 的抗剪钢管, 3# 块体需加固锚杆 5 根(图 4)。

对锚孔均采用水泥砂浆灌注, 其灰砂比为 1:1, 水灰比为 0.38 ~ 0.45, 水泥选用新鲜的 425# 普通硅酸盐水泥。

4 预应力锚杆的施工工艺

由于合川涪滩摩崖立壁上造像密集, 岩体裂隙发育, 危岩体稳定性差, 给施工带来了较大难度。危岩体极易因施工振动而失稳, 施工用水对滑移面的润化溶蚀作用, 降低了滑移面的摩阻力和强度, 也会造成危岩体失稳滑落。其次, 锚固过程中灌注水泥砂浆, 浆液沿裂隙面渗透到造像表面, 会污染毁坏造像, 因此, 施工工艺过程十分关键。

本次施工采用了如下工艺措施。

1) 用水清洗裂隙面, 然后采用环氧树脂封闭粘结裂隙, 对岩体进行加固, 同时阻止水泥砂浆从裂隙流出, 污染石刻表面的文物。为确保石刻造像的安全, 在灌注水泥砂浆前采用清水灌注, 观察清水是否从裂隙中渗透到石刻表面, 如有清水渗出, 则应进一步封闭裂隙, 直到裂隙中无清水渗出为止。

2) 防止施工的污水损坏造像, 采用高压空气作循环冷却液, 排除岩粉; 冷却钻具, 钻进成孔时采用低速低压钻进。

3) 锚孔成孔后, 加入清水清洗, 检查是否有漏水现象, 并用高压空气吹干孔内积水。

4) 对锚杆除污去锈, 并作防腐处理。

5) 施加预应力, 将锚杆体放入孔内, 灌注 M30 水泥砂浆, 第一次灌注量按锚固段长度加水泥砂浆初凝收缩长度。待锚固段水泥砂浆凝固达到 28 天强度后, 采用张拉机对锚杆体施加预应力。待锚固段水泥砂浆凝固达到张拉值时, 用螺帽锁定。

6) 灌注自由段水泥砂浆, 封闭自由段锚杆体, 最后用砂岩岩粉封闭锚孔作旧。

5 讨论

预应力锚杆的极限抗拔力远远大于非预应力锚杆, 可以有效地提高锚杆的极限抗拔力, 减少锚杆的数量, 从而避免对石刻岩体表面造成的破坏。预应力锚杆特别适用于对岩体表面造像密集区进行加固。

预应力锚杆适用于岩体强度高中等风化或岩体表面风化不严重的硬质岩体, 而对西部地区的强风化岩体进行锚杆加固不宜施加预应力。再进行预应力锚杆设计前应进行岩体强度实验, 为设计提供依据。

预应力锚杆灌浆前应采用环氧树脂封闭裂隙,

防止沿裂隙发生浆液渗漏,避免浆液渗入窟内或污染石刻表面。

加固石刻岩体的预应力锚杆属于永久性锚杆,金属杆件的防腐蚀问题十分重要。目前国内采用的防锈蚀方法主要有除锈、涂防锈油漆、涂热沥青三层玻璃丝布二层等。国外采用二次灌浆以及研究使用套在锚杆外的波形塑料管内充填高强度的环氧树脂、聚脂树脂等方法。

为了防止预应力锚杆产生膨胀,应在施工前进行锚杆的拉拔试验,确定适当的设计参数。

目前的试验研究表明,预应力锚杆的使用年限周期为数十年。

6 涑滩摩崖造像危岩体的加固效果

涑滩摩崖造像危岩体加固工程,在施工过程中进展十分顺利,对石刻造像无损坏,施工环境干净整洁,经预应力锚固后,岩体已趋稳定,锚杆隐蔽,达到了文物修旧如旧的效果。该项目经重庆市文物局组

织专家评定,被评为优良工程。预应力锚杆是石刻岩体加固的新工艺,实践证明该工艺应用于摩崖石刻造像的危岩体加固是十分成功的,可以在全国类似工程中推广应用。

参考文献:

- [1] 方云. 大足北山石刻区渗水病害成因分析及防治对策[A]. 见:潘别桐,黄克忠主编. 文物保护与环境地质[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1992.87-98.
FANG Yun. Analysis on cause of permeating water and prevention countermeasure of Beishan Carvings Area of Dazu[A]. In: PAN Bie-tong, WANG ke-Zhong. Preservation of cultural relics and environment geology[M]. Wuhan: Chinese Geosciences University Press, 1992. 87-98.
- [2] 黄克忠. 岩土文物建筑的保护[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.77-89.
HUANG Kezhong. Preservation on rocks and soils as cultural constructions[M]. Beijing: Chinese Construction Structure Press, 1998. 77-89.
- [3] 《岩土工程手册》编写委员会. 岩土工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994,690-697.
《Geotechnical manual》compile committee. Geotechnical manual[M]. Beijing: Chinese Construction Industry Press, 1994. 690-697

Reinforcing collapsing blocks of Laitan Cliff by prestressed anchor

LIU Zhi

(Hechuan Historical Relics Administrative Station, Hechuan 401520, China)

FANG Yun

(China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The possible collapsing blocks distributed over the carvings area of Laitan must be reinforced because they are seriously imperiling the safety of carvings and visitors. In this paper, the analyzing and evaluation method of stability of possible collapsing blocks in the carved stone area is introduced. Application of new technology of prestressed anchor in reinforcing the collapsing blocks of cliff is described according to an engineering example. The construction technology and the repairing effect are discussed in detail. Prestressed anchor can effectively increase the ultimate upright resistance of anchor and reduce anchor number, thus reduce the damage to the surface of carvings rockmass. The project has been evaluated as of high quality grade. The reinforcing technology by prestressed anchor can be popularized in the protection engineering of the ground cultural relics in China.

Key words: Prestressed anchor; Reinforcing; Possibly collapsing blocks