

失稳岩石边坡加固处理实例

沈俊^{1,2}, 张勇², 王胜利², 张向阳²

(1. 中国矿业大学, 北京 100083; 2. 总参工程兵科研三所, 河南 洛阳 471023)

摘要: 某一工程主体部分属于国家重点工程, 在施工过程中岩石边坡出现险情, 直接威胁着下部结构物和施工人员的安全。依据周边环境和地质条件, 采用工程类比法和经验法对边坡采用预应力锚索、自钻式锚杆、钢筋网和喷射混凝土联合加固的措施; 合理的设计参数、正确的支护结构形式和科学的施工步骤, 使该加固措施充分发挥了锚固作用; 根据锚杆钻孔施工过程中遇到的裂缝位置及边坡极限平衡理论, 采用反算法得出岩体力学参数, 进而对加固后边坡的安全系数进行计算。结果显示, 安全系数得到大幅度的提高, 确保了边坡稳定和后续施工的顺利进行。重点介绍本边坡加固工程的设计和施工情况。

关键词: 边坡工程; 岩石边坡; 预应力锚索; 自钻式锚杆; 抢险加固

中图分类号: P 642 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 6915(2007)增 2 - 4545 - 07

CASE OF AN UNSTABLE ROCK SLOPE REINFORCEMENT

SHEN Jun^{1, 2}, ZHANG Yong², WANG Shengli², ZHANG Xiangyang²

(1. *China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China*; 2. *The Third Research Institute of Engineering Corps, General Staff of PLA, Luoyang, Henan 471023, China*)

Abstract: The main work of a project is the state key one. The rock slope is unstable during the construction process and threatens the safety of lower structures and workers. According to the environment and the concrete geological conditions, the comprehensive reinforcement method of prestressed anchor cable, self-drilling anchor bolt, steel-net and shotcrete is adopted for the slope using the engineering analogism and experiential method. Rational design parameters, reasonable reinforcement structure form and scientific construction process ensure the reinforcement measures to play roles fully. Based on the crack location surveyed during drilling hole and slope limit equilibrium theory, the mechanical parameters of rock are obtained by inverse calculation method. Then the safety factor of the reinforced slope is gained. Results show that the safety factor increases largely, which ensures the safety and the subsequent construction. The design and construction of the reinforced rock slope are introduced in detail.

Key words: slope engineering; rock slope; prestressed anchor cable; self-drilling anchor bolt; fast maintenance

1 工程概况

某国家重点工程, 其主体结构工程建设在北京北郊一山脚下。由于场地原因, 需要对山体进行削

坡处理, 削坡后形成一个高 25 m、长 45 m、面积约 1 100 m²、坡度为 1 : 0.4 的边坡。由于山体岩石非常破碎, 切坡完毕后, 于 2005 年 4 月底发现沿坡顶出现多条裂缝, 其中有 4 条贯穿裂缝, 最远的裂缝距坡顶 16 m, 最近的距离坡顶 5.0 m。根据布点观

收稿日期: 2007 - 09 - 05; **修回日期:** 2007 - 11 - 16

作者简介: 沈俊(1963 -), 男, 博士, 1983 年毕业于同济大学地下建筑工程系, 现任研究员, 主要从事防护工程与岩土工程方面的研究工作。E-mail: shenjun6646@sina.com

测的结果，裂缝发展迅速，以 5 mm/d 左右的速率扩展，裂缝最大宽度约为 200 mm，情况非常危急，施工单位已经停止施工。该边坡一旦滑塌，对下部办公楼和在建工程将造成极大威胁。为了确保该工程的正常施工和人员安全，需对该边坡进行抢险加固处理。

2 加固方案

2.1 加固方案设计

边坡加固前险象环生：坡面碎石不断滑落，坡顶裂缝持续扩展，边坡随时都有滑塌的危险。该边坡的岩体属石灰岩，根据现场踏勘和锚杆钻孔可以得到该滑动边坡的大致地质情况：

(1) 风化土：黄褐色，厚度为 0.2~1.0 m；含石块，含量为 8%~15%，石块大小为 1~4 cm。

(2) 碎石：黄色，分布于滑动的边坡中、下部，厚度约为 5.0 m，碎石直径变化较大，小的在 20 cm 左右，大的在 1.0 m 左右。碎石层下面为较完整的石灰岩岩层。

随着我国经济建设的发展，预应力锚索、锚杆技术已广泛应用于我国水电、铁路、公路等领域的边坡抢险加固工程中，如黄河小浪底水利枢纽 1 号施工支洞边坡深层滑移面加固^[1]和南昆铁路八渡车站大面积滑坡治理工程^[2]等。由于预应力锚索、锚杆支护结构具有施工较快，施工后能迅速对边坡岩体提供支护力的优点，本着经济、快速、有效的原

则，对本边坡提出了采用预应力锚索、自钻式长锚杆、钢筋网和喷射混凝土联合加固的方案(图 1)。

对边坡的稳定性进行分析，需要相对准确、可靠的岩体物理力学参数。由于该工程属抢险性质，没有进行地质勘探，因此在设计阶段和施工过程中，均是根据工程类比法和经验法^[3~6]，结合周边环境和地质条件选取相关的参数来进行设计和施工的，并根据反算得出的岩体参数，求出加固后边坡的稳定系数。

(1) 预应力锚索加固

预应力锚索能对边坡提供主动支护力，限制边坡的进一步变形，在边坡高度 9~15 m 的范围内(边坡的腰部)布置 3 排预应力锚索，用以承受边坡主要的变形荷载。锚索间、排距均为 3 m，锚索长度自下而上分别为 16，18 和 20 m。

(2) 自钻式长锚杆加固

由于该边坡高度变化较大，不宜在整个边坡施工预应力锚索，对处于 9~15 m 高度以外(边坡的头部和脚部)的边坡，采用自钻式长锚杆加固，其垂直间距为 2 m，水平间距为 1.5 m，锚杆长度自下而上分别为 6，6，6，6，8，8，10，12 m，详见图 2，3。

为了对边坡加固后的安全度进行评估，根据钻孔施工中得到的一些资料和张裂缝的位置，假设边坡处于临界平衡状态，使用反算法确定岩体的物理力学参数。为了简化计算并考虑偏于安全，假设岩体的黏聚力 $c=0$ ，岩体容重 $\gamma=27 \text{ kN/m}^3$ 。

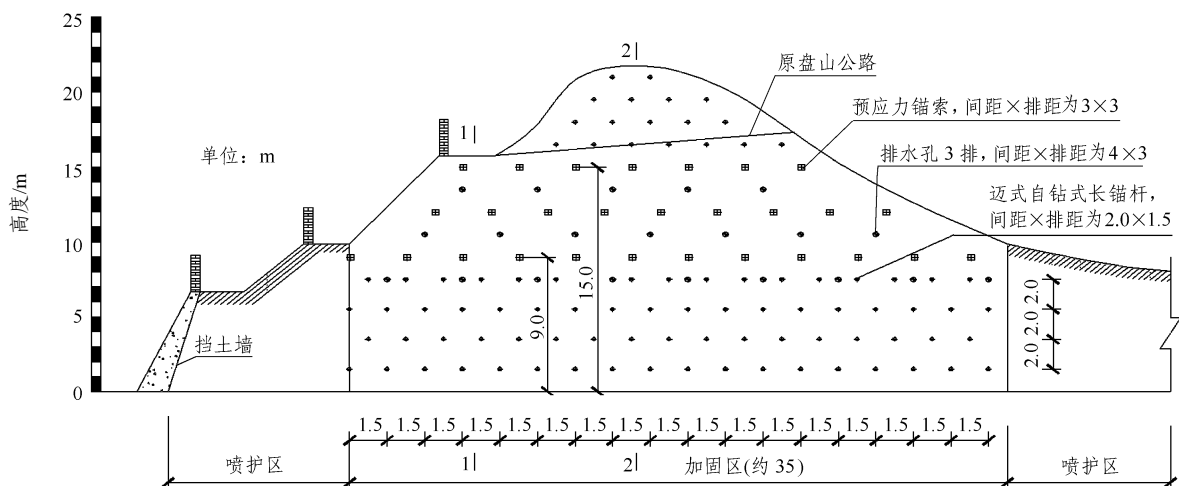


图 1 边坡支护立面图

Fig.1 Elevation of slope reinforcement

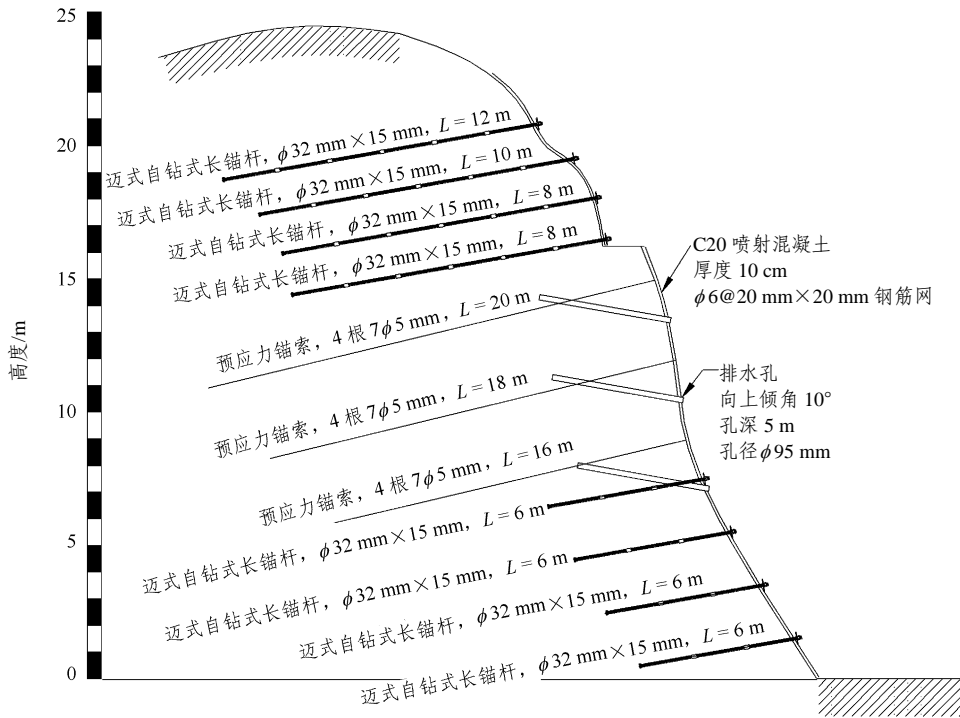


图 2 较高边坡加固剖面图(2-2 剖面)
Fig.2 Cross-section of higher reinforced slope(section 2-2)

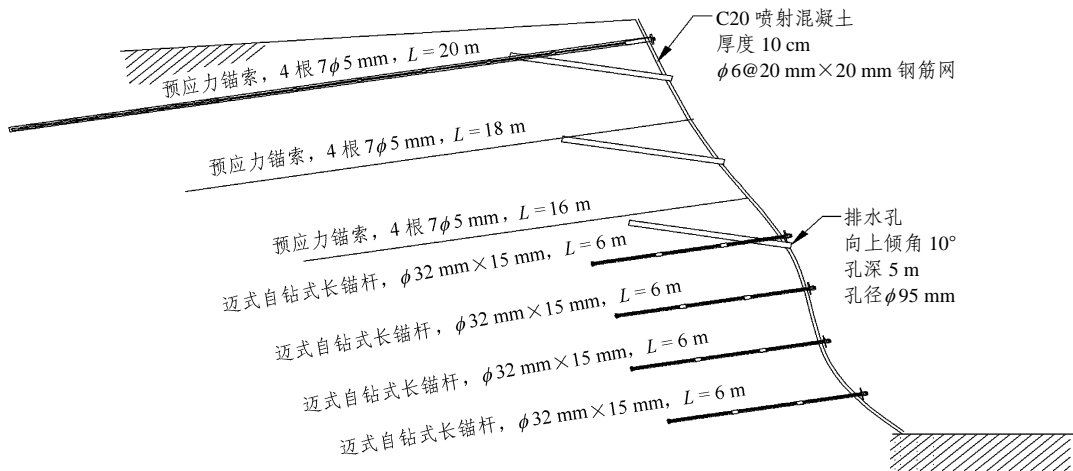


图 3 较低边坡加固剖面图(1-1 剖面)
Fig.3 Cross-section of lower reinforced slope(section 1-1)

该边坡的实际平均坡度 $i=0.4$ ，将坡面简化为折线并假设该边坡为平面滑动破坏，滑动面从顶部裂缝到坡脚，根据极限平衡理论，按下式可反算出岩体的内摩擦角：

$$G \cos \alpha \tan \varphi + cl - G \sin \alpha = 0 \quad (1)$$

式中： G 为下滑岩体单位宽度所受重力(kN)， $G = A\gamma$ ； α 为滑动面的倾角($^\circ$)； φ 为岩体平均内摩擦角($^\circ$)； l 为滑动面长度(m)； c 为岩体黏聚力

(kPa)，此处取 $c=0$ 。

将 15 m 高度以下的边坡坡面简化为 1-1 剖面，15 m 高度以上的边坡坡面简化为 2-2 剖面，如图 4 所示。

分别将参数代入式(1)，求得 1-1 剖面区域的岩体平均内摩擦角 $\varphi_1 = 33^\circ$ ，2-2 剖面区域的岩体平均内摩擦角 $\varphi_2 = 49^\circ$ 。

由于该边坡支护面积不大，为便于设计，将两个区域内的岩体内摩擦角平均，其平均值作为整个

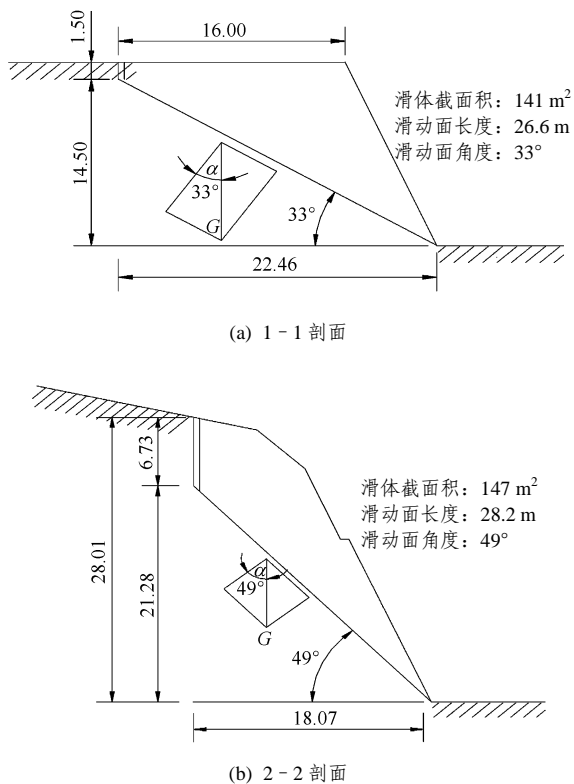


图4 简化计算剖面(单位: m)

Fig.4 Simplified calculation sections(unit: m)

岩体边坡的内摩擦角, 为 $\varphi = 41^\circ$ 。

根据简化计算剖面中平面滑动面的位置, 在布置锚索、锚杆孔位时, 对于 1-1 剖面, 要确保锚索的内锚固段长度占锚索总长度的 1/3 以上, 锚杆的内锚固段长度占锚杆总长度的 1/4 以上; 对于 2-2 剖面, 要确保锚索的内锚固段长度占锚索总长度的 2/3 以上, 锚杆的内锚固段长度占锚杆总长度的 1/2 以上。这样才能保证锚杆、锚索充分发挥其较高的承载力。

根据下式可分别求出 1-1 和 2-2 剖面边坡设计、加固后的安全系数:

$$K = \frac{(G \cos \alpha + \sum T \sin \beta) \tan \varphi + \sum T \cos \beta}{G \sin \alpha} \quad (2)$$

式中: β 为锚杆加固方向与滑动面的夹角($^\circ$); T 为锚索、锚杆极限承载力(kN)(见节 3), 对于锚索为 600 kN, 对于锚杆为 300 kN。

将各参数代入式(2), 求得 1-1 剖面区域的岩体加固后的安全系数 $K_1 = 2.305$, 2-2 剖面区域的岩体加固后的安全系数 $K_2 = 1.780$ 。

(3) 钢筋网和喷射混凝土加固

根据该边坡表层岩体的特点, 选择钢筋网和喷射混凝土护面, 喷层为 C20 喷射混凝土, 平均厚度

为 100 mm, 钢筋网规格为 $\phi 6.5 @ 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 。

(4) 排水孔的设置

由于边坡岩体内部缝隙较多, 地面降水很容易渗入裂隙形成压力水, 使边坡下滑力增大, 并降低潜在滑动带岩体的等效抗剪强度, 促使边坡产生滑移^[7], 对于边坡的稳定极为不利。为了有效地将裂隙水排出边坡和减小支护系统的压力, 在边坡上设置了 3 排共 21 个排水孔, 详见图 1~3。

2.2 加固方案实施顺序及加固机制

上述加固方案分两步实施。第一步是解决临时稳定问题: 一是排除坡面危石并初喷喷射混凝土, 以减小施工期间的危险; 二是封填坡顶裂缝, 防止雨水灌入坡体内部。该步施工的喷射混凝土层的加固机制如下:

(1) 喷层能及时封闭表层岩体, 隔绝了水、空气同岩体的接触, 避免了破碎岩体间充填物的流失, 防止了岩层因风化、潮解而剥落, 阻止了边坡岩体的风化松动、变形的发展; 另外, 给岩体表面以压力, 使表层岩体处于三轴受力状态, 阻止了表层岩体的强度劣化。

(2) 喷射混凝土一方面喷入岩体裂隙中, 提高了岩石的黏结力, 把松动的壁面黏结在一起, 起到了加固岩体作用, 另一方面填平了裂隙凹穴, 减少了表层岩体的应力集中^[8]。

(3) 通过该喷层把边坡岩体变形产生的作用于喷层面板的外力传给锚杆、锚索托板(锚杆、锚索垫墩), 使整个支护结构受力均匀。

第二步是实施锚索、锚杆、挂网和喷射混凝土等加固措施, 以解决边坡永久性稳定问题。该步施工的锚杆、锚索的加固机制如下:

(1) 施工后能迅速提供支护力, 有利于发挥岩体的自身固有强度^[9]。

(2) 锚索的预应力及由于岩体变形引起的拉力相当于对岩体施加了压力, 改善了岩体的力学参数及应力状态, 使边坡向有利于稳定的方向发展。

(3) 锚索、锚杆的抗剪能力, “销钉”作用提高了岩体边坡已有或潜在滑动面的抗剪强度^[10~12], 并利用锚索、锚杆的抗剪作用来阻止边坡不稳定岩块的滑落, 作用是卓越的, 对于该松散、破碎岩石边坡, 这种加固效果更加明显。

3 加固施工

主要加固工程项目有预应力锚索施工、自钻式

长锚杆施工、排水孔施工、铺设钢筋网和喷射混凝土, 其施工程序见图 5。

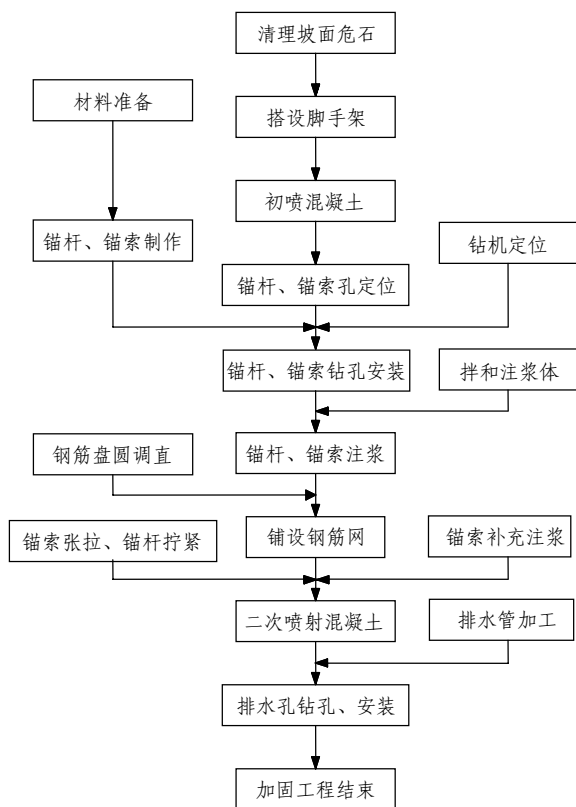


图 5 边坡加固流程图

Fig.5 Flowchart of slope reinforcement

3.1 锚索施工

该工程的锚索均使用全长黏结式预应力锚索, 锚索的结构见图 6。锚索体材料使用 4 根高强度低松弛预应力钢绞线, 锚索单根的极限承载力为 1 000 kN, 直径为 15.24 mm, 抗拉强度为 1 860 MPa, 破断荷载为 260.7 kN, 1% 延伸率时荷载为 234.6 kN, 延伸率 $\geq 3.5\%$, 1 000 h 松弛率为 2.5%(20 °C, 70% 破断荷载条件下)。根据有关规范对永久锚索安全系数的规定, 锚索的单根设计承载力不小于 600 kN。

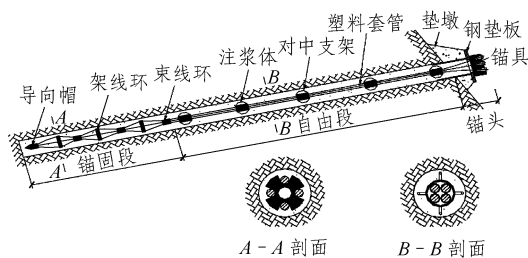


图 6 预应力锚索结构

Fig.6 Structure of prestressed anchor cable

3.1.1 锚索制作

钢绞线截断长度为锚索设计长度与张拉操作长度之和, 本工程锚索张拉操作长度为 1.5~2.0 m。在制作锚索时, 在锚固段和张拉段分别设置了架线环和对中支架, 其作用是为了增加锚索的锚固力和使锚索体居中, 确保锚索体周围有一定厚度的注浆体包裹, 以增加锚索的抗腐蚀能力。

3.1.2 锚索钻孔

根据锚索的结构情况, 该工程锚索钻孔直径为 95 mm, 锚索倾角均为水平向下 10°, 使用钻机为 QZJ - 100B 型潜孔钻。

在钻孔前根据设计图和现场情况定出孔位, 孔深比锚索设计深度大 0.5~1.0 m, 以便将锚索送入孔底。

为了便于安装锚索和增加注浆体与锚索体的黏结强度, 锚索孔完成后使用高压空气清理孔中的岩粉和碎石, 检查孔的深度后立即安装锚索。

由于地质条件差, 很多锚索孔均需要二次或多次对岩体固结注浆后才能成孔。

3.1.3 锚索安装与注浆

为了保证锚索注浆体的饱满, 在制作锚索时全长设置了一根 PVC 管, 从孔底部注浆, 直到孔口溢出浆液。注浆机械为 UBJ - 1.8 型挤压式注浆泵。为了保证张拉力与锚索体同轴, 在孔口设置了导向管和与其垂直焊接的钢垫板, 导向管上还焊有补浆管。由于注浆体的收缩, 对锚索施加应力和锚固后, 所有锚索均通过补浆管进行补浆, 以保证锚索孔内部注浆体的饱满和连续。垫板背后紧贴坡面预置了钢筋网片, 在铺设钢筋网时与之焊接, 保证了钢筋网的整体性和牢固性。

3.2 锚杆施工

由于该工程地质条件复杂, 为了对该边坡实施及时有效的加固, 采用了迈式自钻式锚杆, 锚杆单根承载力不小于 300 kN。

迈式锚杆的钻杆即为锚杆体, 钻头为一次性合金钻头, 根据锚杆长度和岩石硬度情况, 该工程对于 10 m 长度以下的锚杆使用了“十字合金钻头”, 长度大于 10 m 的锚杆使用“柱式硬质合金钻头”。自钻式锚杆的结构见图 7。

锚杆钻进使用 YG - 30 型液压锚杆钻机, 由于钻孔设备的限制, 每一钻进行程为 1.8 m, 考虑到成品锚杆长度, 该工程每 1.5 m 设置一个接头对锚杆接长, 直至达到设计长度。锚杆倾角均为水平向下 10°。

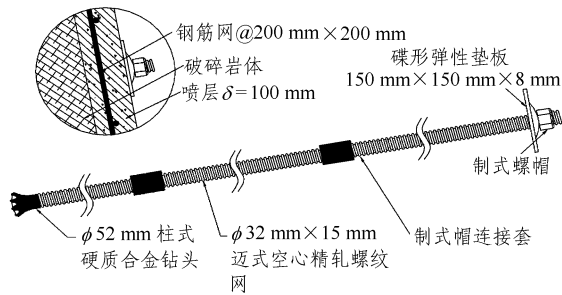


图7 自钻式锚杆结构

Fig.7 Structure of self-drilling anchor bolt

锚杆达到设计长度后即通过锚杆中孔进行注浆，浆液从钻头孔向孔口返浆，直到孔口浆液溢出为止。浆液终凝后即可安装垫板和螺帽，铺设钢筋网时再用垫板压住钢筋网并用管钳拧紧螺帽。

从钻孔施工的情况判断，该工程地层相当破碎，岩体中空隙和裂缝较多且互相贯通，所以注浆量很大。

注浆使用强度标号为 R32.5 的水泥，水灰比为 0.5 左右。为了达到较好的注浆效果，水泥浆使用机械搅拌并采用压力注浆，注浆压力达到 0.8~1.0 MPa。

3.3 挂网和喷射混凝土施工

喷射混凝土分两次完成：第一次喷射是把混凝土喷入岩缝和岩面，把单块岩石黏结在一起，起到临时支护和对坡面封闭的作用，平均厚度为 20~30 mm；第二次喷射在铺设钢筋网后进行，通过锚杆或锚索把喷层和钢筋网与深部稳定的岩体连在一起，增强永久支护的整体性。

喷射混凝土的主要材料为 P. O. R32.5 火山灰水泥、中粗砂和碎石，其配合比为水泥：砂：石 = 1：2：2，水灰比控制在 0.40~0.45。

钢筋网使用 φ 6 mm 的盘圆，网格尺寸为 200 mm×200 mm，钢筋网底层混凝土厚 30~50 mm，喷射混凝土保护层厚度为 50 mm，由于坡面极不规则，喷层平均厚度大于 100 mm。

喷射混凝土采用 ZPC - V 型混凝土喷射机。

3.4 排水孔施工

排水孔使用潜孔钻机成孔，钻孔直径为 95 mm，上倾 10°，孔深超过第一条张裂缝，一般为 5 m，内置 φ 51 mm PVC 管，PVC 管全长设有 φ 8 mm 透孔。钻孔完成后将加工好的 PVC 管送入孔中，孔口用水泥浆固定。

4 加固效果

施工开始前对原有裂缝使用碎石填充并用水泥浆灌注，为了评价加固效果，在原有主裂缝(在坡顶距离坡面 16.0 m)靠坡顶的一侧设置 3 个水平位移测点(测点 2, 3 位于边坡坡顶的两头，测点 1 位于边坡坡顶的中间部位)，在施工过程中对边坡水平位移变化情况进行了观测(见图 8)。2005 年 5 月 1 日自上而下开始施工，5 月 25 日施工全部完成。现场观测结果表明，上部两排锚索施工完成后边坡已经趋于稳定，整个工程施工完成后边坡完全稳定。施工过程中原有裂缝虽有所扩展，但在施工完毕后，重新用水泥浆封闭，没有再发现新的裂缝出现。

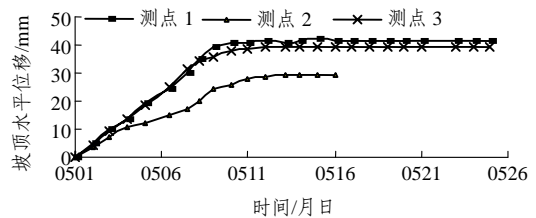


图8 坡顶水平位移变化曲线(2005年)

Fig.8 Changing curves of horizontal displacement of slope top(in 2005)

5 结论

由于近年来国内工程建设的大规模展开，促进了锚固技术的迅猛发展，该项技术已经广泛应用于岩土工程的各个领域，在理论研究和工程应用技术研究方面取得了可喜成绩^[13~16]，发挥了显著的社会、经济效益。

本工程属于抢险加固工程，施工过程中存在风险，为了确保抢险锚固工程的安全施工，施工中应采取先稳后锚的施工措施。该边坡在施工过程中处于临界平衡状态，为了先稳定边坡，在施工开始之前迅速对边坡素喷了一层混凝土，以防块石坠落，同时有利于边坡稳定。在此基础上，对边坡腰部尽快实施锚固，从而确保了施工安全顺利进行。实践证明，只要方案科学合理、施工保质快速，锚固技术对抢险加固工程就是非常有效、可靠的。

参考文献(References):

[1] 顾金才, 刘建武, 张勇, 等. 黄河小浪底导流洞1号施工支洞口

- 部预应力锚索加固[C]// 中国锚固与注浆工程实录选. 北京: 科学出版社, 1995: 15 - 16.(GU Jincai, LIU Jianwu, ZHANG Yong, et al. Prestressed anchor rope reinforcement of constructed branch tunnel #1 in the diversion tunnel of Xiaolongdi of the Yellow River[C]// Instance Memoir of Reinforcement and Grouting Engineering. Beijing: Science Press, 1995: 15 - 16.(in Chinese))
- [2] 赵红玲, 张 勇, 张福明. 八渡车站碎石土地层中长锚索施工技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(增 1): 3 155 - 3 160.(ZHAO Hongling, ZHANG Yong, ZHANG Fuming. Construction techniques of long anchor cable in gravel soil of Badu Station[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(Supp.1): 3 155 - 3 160. (in Chinese))
- [3] HANNA T H. 锚固技术在岩土工程中的应用[M]. 胡 定, 丘作中, 刘浩吾译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.(HANNA T H. Foundations in tension[M]. Translated by HU Ding, QIU Zuozhong, LIU Haowu. Beijing: China Architecture and Building Press, 1987.(in Chinese))
- [4] 闫莫明, 徐祯祥, 苏自约. 岩土锚固技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.(YAN Moming, XU Zhenxiang, SU Ziyue. Handbook for rock and soil anchorage techniques[M]. Beijing: China Communications Press, 2004.(in Chinese))
- [5] 总参工程兵科研三所. GJB 4073 - 2000 预应力锚索试验技术规范[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2001.(The Third Research Institute of Engineering Corps, General Staff of PLA. GJB 4073 - 2000 Specifications for prestressed anchorage tests[S]. Beijing: The Military Standard Publication Issue Department of the General Material Department of PLA, 2001.(in Chinese))
- [6] 程良奎, 范景伦, 韩 军, 等. 岩土锚固[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.(CHENG Liangkui, FAN Jinglun, HAN Jun, et al. Rock and soil anchorage[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2003.(in Chinese))
- [7] 许建聪, 尚岳全. 碎石土古滑坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(1): 57 - 65.(XU Jiancong, SHANG Yuequan. Stability analysis of ancient debris landslide[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(1): 57 - 65.(in Chinese))
- [8] 徐干成, 白洪才, 郑颖人, 等. 地下工程支护结构[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003: 56 - 57.(XU Gancheng, BAI Hongcai, ZHENG Yingren, et al. Supporting structure in underground engineering[M]. Beijing: China Water Power Press, 2003: 56 - 57.(in Chinese))
- [9] 杨 庆, 朱训国, 栾茂田. 全长注浆岩石锚杆双曲线模型的建立及锚固效应的参数分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(4): 692 - 698.(YANG Qing, ZHU Xunguo, LUAN Maotian. Development of hyperbolic model for fully grouting rock bolt and parameters analysis for anchoring effect[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(4): 692 - 698.(in Chinese))
- [10] 沈 俊. 预应力锚固岩体结构面抗剪性能[C]// 中国力学学会中南——西南九省市工程力学学术会议论文集. 南宁: 广西科技出版社, 1991: 79.(SHEN Jun. Resisting shear capability of fabric face in prestressed anchored rock[C]// The Proceedings of Science Conference Held by the Society of Engineering Mechanics of the Chinese Society of Theoretical and Applied Mechanics in Nine provinces in the Central South—West South. Nanning: Guangxi Science and Technology Publishing House, 1991: 79.(in Chinese))
- [11] SHEN J, GU J C, ZHANG X Y, et al. Research on country rock stability of underground cavern group of Dachaoshao hydroelectric station[C]// Progress in Safety Science and Technology, Proceedings of the 2004 International Symposium on Safety Science and Technology. [S.l.]: [s.n.]: 2004: 731 - 737.
- [12] 顾金才, 沈 俊, 陈安敏. 预应力锚索加固机制与设计计算方法研究报告[R]. 洛阳: 总参工程兵科研三所, 1998.(GU Jincai, SHEN Jun, CHEN Anmin. Report of reinforcement mechanism and design method of prestressed anchor cable[R]. Luoyang: The Third Research Institute of Engineering Corps, General Staff of PLA, 1998.(in Chinese))
- [13] 中国岩土锚固工程协会. 岩土锚固新技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.(China Rock and Soil Anchorage Engineering Association. New technology for rock and soil anchorage[M]. Beijing: China Communications Press, 1998.(in Chinese))
- [14] 李欢秋, 吴祥云, 袁诚祥, 等. 基坑附近楼房基础综合托换及边坡加固技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(1): 153 - 156.(LI Huanqiu, WU Xiangyun, YUAN Chengxiang, et al. Combined reinforced technology for slope and building base near foundation pit[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(1): 153 - 156.(in Chinese))
- [15] 张 勇, 赵红玲, 张光明. 预应力锚索在基础纠偏加固中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(12): 2 096 - 2 100.(ZHANG Yong, ZHAO Hongling, ZHANG Guangmin. Application of prestressed ground anchors to rectification and reinforcement of foundation[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(12): 2 096 - 2 100.(in Chinese))
- [16] 温进涛, 朱维中, 李术才. 锚索对结构面的锚固抗剪效应研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(10): 1 699 - 1 703.(WEN Jintao, ZHU Weishen, LI Shucai. Research on anchoring and shearing effect of anchoring cable[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(10): 1 699 - 1 703.(in Chinese))