

滑坡治理工程中锚索与精轧钢锚杆应用对比研究

赵松江¹, 孙书勤²

(1. 四川省华地建设工程有限责任公司, 四川 成都 610081; 2. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 在滑坡抗滑支挡结构中是否使用精轧钢锚杆、预应力钢绞线锚索有不同观点: 一种观点认为, 精轧钢锚杆防腐性能比锚索强, 使用年限更为长久; 另一种观点认为, 尽管预应力钢绞线锚索在库水长期浸泡下可能存在锈蚀失效问题, 其防腐是影响工程长期可靠运行的重要因素, 但锚索工艺成熟, 施工方便, 造价相对较低, 更便于使用。通过现场试验, 对比锚杆、锚索性能、价格, 其结果可为各地区地质灾害治理中锚杆、锚索的利用提供参考。

关键词: 岩土工程; 精轧钢锚杆; 预应力钢绞线锚索; 地质灾害; 拉拔试验

中图分类号: TU 47

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2009)增 1 - 3181 - 05

COMPARATIVE STUDY ON APPLICATION OF CABLES AND FINISHING ROLLING STEEL BOLTS TO LANDSLIDE TREATMENT

ZHAO Songjiang¹, SUN Shuqin²

(1. *Sichuan Huadi Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610081, China;*

2. *State key Laboratory of Geological Hazard Prevention and Geological Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)*

Abstract: There are two opinions of using finishing rolling steel anchor and prestressed steel strand cables in landslide supporting-retaining structure. One considers that finishing rolling steel anchor has higher anticorrosive performance and longer serviceable life than those of prestressed steel strand cable, while the other thinks that prestressed steel strand cable is more convenient because of its advantages of technical maturity, covenant construction and low cost, although the prestressed steel strand cable is prone to corrosion failure under the condition of long-term immersion of water in reservoir. The performance and the price of finishing rolling steel bolt and prestressed steel strand cable are compared by field experiments. The results provide useful data for the utilization of finishing rolling steel bolt and prestressed steel strand cable in geological hazards treatment.

Key words: geotechnical engineering; finishing rolling steel bolt; prestressed steel strand cable; geological hazards; pullout experiment

1 引言

精轧螺纹钢筋是 20 世纪 70 年代原联邦德国开发并获专利权的产品, 后被美、日、英等国家引进, 并于 20 世纪 80 年代得到大力推广, 广泛应用于特

大型建筑、框架结构、桥涵等工程^[1]。

我国“六五”期间由原冶金部建筑研究设计总院、鞍山钢铁公司等单位联合攻关, 研制生产精轧螺纹钢筋。目前鞍山钢铁公司鞍钢已生产出直径 32 mm, $\sigma_{0.2}/\sigma_0$ 为 735 MPa/900 MPa 级余热处理高强度精轧螺纹钢筋, 填补了国内空白, 并通过部级鉴定

收稿日期: 2009 - 02 - 09; **修回日期:** 2009 - 03 - 10

作者简介: 赵松江(1963 -), 男, 1985 年毕业于成都地质学院水文地质及工程地质专业, 现任总工程师、教授级高级工程师, 主要从事地质灾害勘察及设计方面的研究工作。E-mail: zhsjzhsj@163.com.

转产^[2, 3]。

对于在抗滑桩上使用精轧钢锚杆还是预应力钢绞线锚索, 有关专家持不同意见: 一种观点认为精轧钢锚杆、预应力钢绞线锚索都能达到设计要求, 但是锚索在库水长期浸泡下可能存在锈蚀失效问题, 其防腐问题仍然是影响工程长期可靠运行的重要因素; 精轧钢锚杆防腐性能比锚索强, 使用年限更为长久, 但在实施过程中还存在一些问题, 比如自由段波纹管通过连接器部位的处理和连接器部位的防腐问题等。另一种观点认为预应力钢绞线锚索工艺成熟, 施工方便, 造价相对较低, 更便于使用。

笔者所在课题组在万州区草街子滑坡治理工程施工现场 I, II 型桩区进行了精轧钢锚杆、锚索性能和造价比较试验, 主要内容为滑坡堆积碎石土中的可钻性、最大钻探深度, 检验锚杆的注浆效果、锚杆和锚索安装施工难度, 拉拔试验测定锚固力等有关设计技术指标并进行数据分析统计, 对比锚杆和锚索的性能、价格, 为设计提供技术参数。其结果可为各地区地质灾害治理中锚杆、锚索利用提供试验参考数据。

2 试验区滑坡地质条件

草街子滑坡区前缘建筑物局部变形较强烈, 处于蠕变变形发展阶段。根据滑坡稳定性计算结果, 该滑坡虽然目前整体稳定(稳定系数 $K = 1.181 \sim 1.256$), 但三峡水库蓄水后的稳定系数下降为 $0.990 \sim 1.079$, 说明该滑坡在三峡水库蓄水后处于不稳定状态, 特别是在水库水位骤降、暴雨等不利因素影响下, 滑坡将会加速失稳, 产生大规模滑动的可能性很大。治理工程拟采用锚拉抗滑桩进行阻滑, 滑坡剩余下滑推力是综合以上各种工况, 并取其中大值作为滑坡推力的设计值。抗滑桩的锚拉结构拟采用锚索和精轧螺纹钢锚杆进行比选。

根据相关资料^[4], 试验区地层为: $0.0 \sim 0.5$ m 为耕植土; $0.5 \sim 16.0$ m 为碎块石土; 16.0 m 以下为侏罗系中统上沙溪庙组(J_2s)地层, 岩性以紫红色砂质泥岩为主, 夹青灰色中厚层状泥钙质胶结长石石英砂岩, 岩性较稳定。

钻孔和探井所揭露的滑面光滑, 具擦痕, 滑带土由灰白色黏土、紫红色粉质黏土组成, 厚 $0.1 \sim 0.3$ m, 部分钻孔的滑面位于碎块石土与滑床泥岩接触带的底部, 滑面倾角一般为 $5^\circ \sim 15^\circ$ 。试验点所

在区域滑带埋深 18 m 左右, 滑带土物理性质及力学参数见表 1, 2。滑床泥岩室内试验成果见表 3, 4。

表 1 滑带土物理性质

Table 1 Physical properties of slip soil

天然含水量/%		饱和含水量/%		天然密度/($g \cdot cm^{-3}$)		饱和密度/($g \cdot cm^{-3}$)		塑性指数	
范围值	标准值	范围值	标准值	范围值	标准值	范围值	标准值	范围值	标准值
16.1~35.5	22.2	17.8~36.0	22.2	1.75~2.12	1.90	1.87~2.17	1.94	10.2~22.0	12.1

表 2 滑带土力学参数

Table 2 Mechanical parameters of slip soil

试验类型	黏聚力峰值/kPa		内摩擦角峰值/($^\circ$)	
	范围值	标准值	范围值	标准值
天然快剪	20.0~102.0	33.5	8.2~22.5	12.56
饱水快剪	16.0~50.0	26.8	6.9~14.9	10.17
试验类型	黏聚力残值/kPa		内摩擦角残值/($^\circ$)	
	范围值	标准值	范围值	标准值
天然快剪	12.0~84.0	24.5	6.50~20.5	10.33
饱水快剪	11.0~40.0	20.4	5.0~10.3	7.61

表 3 滑床泥岩的物理性质

Table 3 Physical properties of mudstone on slip bed

天然密度/($g \cdot cm^{-3}$)		孔隙率/%		吸水率/%	
范围值	标准值	范围值	标准值	范围值	标准值
2.47~2.61	2.52	5.61~13.04	8.82	1.96~4.87	3.17

表 4 滑床泥岩力学参数

Table 4 Mechanical parameters of mudstone on slip bed

天然抗压强度/MPa		饱和抗压强度/MPa		抗拉强度/MPa		抗剪强度/MPa	
范围值	标准值	范围值	标准值	范围值	标准值	范围值	标准值
7.45~24.80	13	5.52~18.10	9.25	0.52~1.83	1.04	1.10~3.90	2.39
弹性模量/(10^4 MPa)		泊松比		内摩擦角/($^\circ$)			
范围值	标准值	范围值	标准值	范围值	标准值		
0.12~0.61	0.32	0.21~0.30	0.24	36.08~40.30	37.53		

3 对比试验设计

用精轧螺纹钢锚杆与锚索进行拉拔试验, 进行精轧螺纹钢锚杆和锚索的性能对比研究。为此, 按滑坡治理工程设计确定的 1000 kN 锚固力为精轧螺纹钢锚杆、锚索的试验锚固力。根据规范^[5], $\phi 32$ mm 精轧螺纹钢强度标准值为 980 MPa, 3 根 $\phi 32$ mm 精

轧螺纹钢锚杆杆体承载力标准值经计算为 2 363 kN; $\phi 15.24$ mm 钢绞线强度标准值为 1 860 MPa, 7 根 $\phi 15.24$ mm 钢绞线锚索体承载力标准值经计算为 2 361 kN, 两者承载力标准值基本相当。为达到锚固力设计值 1 000 kN, 并取 2 倍的安全系数, 确定选用 3 根 $\phi 32$ mm 精轧螺纹钢锚和 7 根 $\phi 15.24$ mm 钢绞线锚杆进行破坏性拉拔试验。

试验锚杆和锚索各施工 4 孔, 钻孔口径为 $\phi 168$ mm, 孔深 35 m 左右(锚固段长度分为 6.0, 4.5, 3.0 m), 钻孔倾角 35° 。每孔锚杆采用 3 根 $\phi 32$ mm 精轧螺纹钢, 按拉力分散型布置, 分别错开 1.5 m。锚索采用 7 根 $\phi 15.24$ mm 光面钢绞线, 按拉力型布置, 齐头固定在导向帽中。注浆液都采用 M30 水泥砂浆, 其他均按规范^[5]要求施工。

4 锚杆和锚索施工

4.1 试验地点及场地

试验地点选在草街子滑坡治理工程 I, II 型桩中间的斜坡上。施工场地是用人工开挖的一条长 50 m 左右、宽 3.5 m 的施工便道, 在施工便道上, 按 6 m 孔距布置 4 个锚杆试验钻孔(编号分别为 MG1~MG4)、4 个锚索试验钻孔(编号分别为 MS1~MS4), 孔口标高 200 m 左右。

4.2 主要施工设备

- (1) 无锡 MD-50 型锚杆钻机;
- (2) 英格索兰 VHP700 型空压机;
- (3) 浙江 Cy1-11 型液压工作站;
- (4) 宜昌 3NSG 型注浆泵;
- (5) 宜昌 YJ30 型液浆搅拌机。

4.3 施工主要材料

- (1) 锚杆为天津市天轧制钢有限公司出产的 $\phi 32$ mm 高强度螺纹钢, 4 根锚杆用量 440 m, 计 2.97 t;
- (2) 锚索使用天津高力预应力钢绞线有限公司出产的低松弛级预应力钢绞线, 4 根锚索用量 1 022 m, 计 1.17 t;
- (3) 水泥为重庆市忠县水泥厂生产的 R32.5 普通硅酸盐水泥;
- (4) 砂采用万州特细砂, 含泥量小于 1.5%, 细度模数为 0.7。

4.4 施工流程

锚杆、锚索施工流程见图 1。

5 检测结果分析

5.1 拉拔试验情况

根据规范^[5]中锚杆试验 C.2.8 条要求, 锚杆极限承载力基本值取破坏荷载前一级的荷载值; 在最大试验荷载作用下未达到的破坏标准时, 锚杆极限承载力取最大荷载值为基本值。试验取值及结果见表 5。

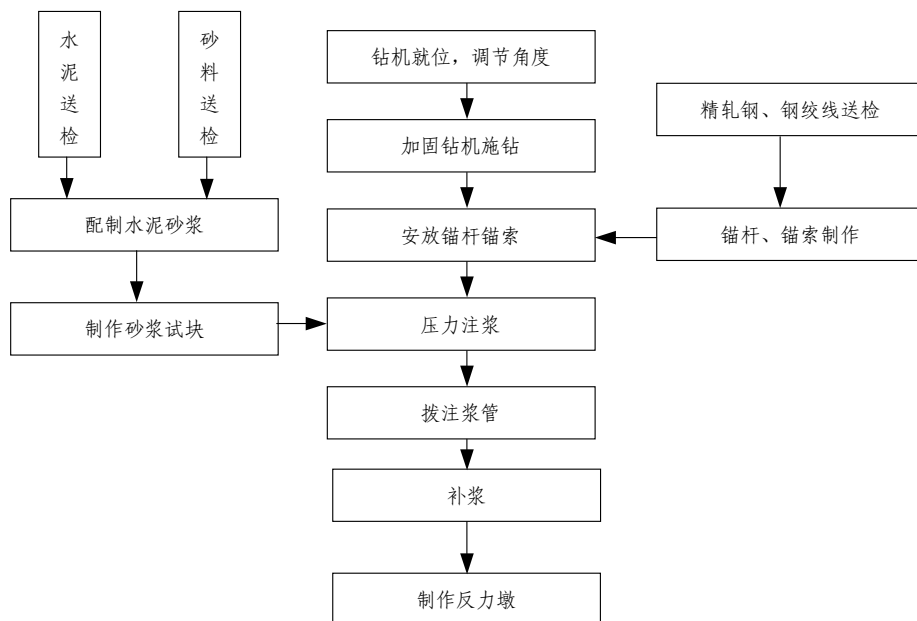


图 1 锚杆、锚索施工流程图

Fig.1 Flowchart of bolts and cables construction

表 5 拉拔试验结果

Table 5 Results of pullout tests

锚杆(索)编号	锚固段长度/m	加载量/kN	锚杆(索)上拔量/mm	精轧螺纹钢(钢绞线)被拔出时对应荷载/kN	被拔出的精轧螺纹钢(钢绞线)/根	极限承载力基本值/kN
MS1	6.0	1 721.184	220.0	1 721.666	1	1 721
MS2	6.0	1 506.036	201.5	1 591.198 1 658.433	2	1 506
MS3	4.5	1 075.740	139.5	1 255.030 1 120.562	2	1 075
MS4	3.0	430.296	39.0	627.515	1	430
MG1	6.0	2 151.480	90.5	2 285.947	2	2 151
MG2	6.0	1 936.332	88.0		1	1 936
MG3	4.5	1 521.153	90.0	1 624.121	1	1 620
MG4	3.0	645.444	55.0	430.296 761.983	2	645

5.2 检测结果分析

(1) 检测结果反映, 4 孔材料相同的锚索(MS1~MS4)在同一地段、同一地层、同一孔深、同一种水泥砂浆及施工工艺下, 不同长度锚固段其极限承载力基本值不同; 4 孔精轧钢锚杆(MG1~MG4)情况同样如此, 明显反映出各锚杆(索)锚固段的锚固效果不同。

(2) 锚固段长度同为 6.0 m 的 2 孔锚索和 2 孔精轧钢锚杆的试验锚固力略有不同, 根据开挖注浆段进行效果检验, 主要原因是注浆段泥岩裂隙发育程度不同, 直接影响注浆与泥岩的黏结, 继而反映到实际锚固力检测结果的有一定的差异。

(3) 精轧钢锚杆较锚索提供的实际锚固力略大, 开挖检验发现这主要是由于锚杆孔为全孔段注浆, 对滑体土层、滑面也有一定的加固作用, 锚索孔仅在锚固段注浆, 对滑体土、滑面没有加固作用。

6 锚杆和锚索性价比

6.1 性能比较

本次试验的锚杆、锚索材料用的 $\phi 32$ mm 精轧螺纹钢和 $\phi 15.24$ mm 钢绞线, 通过西南交通大学结构工程试验中心检测, 材质都达到国家有关技术标准。试验结果表明两者能够提供的锚固力基本相当。

6.2 价格比较

试验锚杆杆体材料用量为: 精轧钢 $36.5 \text{ m} \times 3$

根/束 $\times 4$ 根 $\times 6.65 \text{ kg/m}$ 、精轧钢用连接器 32 个、锁定螺母 12 个、三孔垫板 4 块, 施工总费用为 60 380 元。

预应力钢绞线锚索用量为: 钢绞线 $36.5 \text{ m} \times 7$ 根/束 $\times 4$ 根 $\times 1.12 \text{ kg/m}$ 、七孔垫板 4 块, 施工总费用合计 39 821 元。为增强锚索的防腐功能, 若改光面钢绞线为环氧喷涂钢绞线, 则施工总费用为 49 888 元。

试验锚杆(索)的费用具体比较如下:

(1) 总费用对比

精轧钢锚杆与光面钢绞线锚索总费用对比:
60 380 元 \div 39 821 元 = 1.51 倍。

精轧钢锚杆与环氧喷涂钢绞线锚索总费用对比:
60 380 元 \div 49 888 元 = 1.21 倍。

(2) 主材对比

精轧螺纹钢与光面钢绞线费用比: (19 008 元 + 2 080 元) \div 4 973 元 = 4.24 倍。

精轧螺纹钢与环氧喷涂钢绞线费用比: (19 008 元 + 2 080 元) \div 14 040 元 = 1.50 倍。

7 结论及建议

7.1 结论

(1) 3 根 $\phi 32$ mm 精轧螺纹钢与 7 根 $\phi 15.24$ mm 钢绞线, 作为锚杆杆体, 从锚固力的角度两者是可相互替代的, 即两者的性能基本相当。

(2) 锚索施工在我国有几十年的历史, 有成熟的施工经验和许多成功的例子, 施工有国家和部颁标准^[6], 在地质灾害治理工程中使用较多。精轧螺纹钢锚固技术目前在四川、重庆的公路、铁路、河堤、危岩等高边坡治理工程中开始应用, 在滑坡治理中尚属新技术, 需大量工程实践加以验证。

(3) 试验表明, 精轧螺纹钢锚杆施工工艺尚存在 3 个需进一步解决的问题: ① 连接器部位波纹管与精轧螺纹钢部位波纹管连接防腐问题; ② 精轧螺纹钢的线重 6.65 kg/m , 3 根精轧螺纹钢的质量相当可观, 在钻孔下锚杆时, 连接器部位在承重的状态下与不光滑的孔壁必然发生磨擦, 增加施工难度; 精轧螺纹钢锚杆施工中需在离孔 5~6 m 处搭钢管支架下锚杆, 这种钢管支架至少高 5 m 以上, 个别地段高达 20 m, 装配入孔施工需要投入较多的人力。

(4) 在设计同等锚固力的情况下, 使用精轧螺纹钢做锚杆杆体比使用光面钢绞线贵 4.24 倍, 比环

氧喷涂钢绞线贵 1.50 倍; 但是精轧螺纹钢锚杆使用耐久性、可靠性较钢绞线锚索长。

7.2 建议

(1) 对于施工狭窄场地的滑坡治理工程, 建议首先采用预应力锚索, 锚索结构宜采用压力分散型或拉压分散型。

(2) 针对锚索体防腐问题, 对于受地下水长期浸泡地区的滑坡治理工程, 建议锚索材料选用环氧喷涂钢绞线; 锚索宜外套 $\phi 114$ mm 高强度聚乙烯波纹管, 波纹管内注浆。

(3) 对于地层裂隙发育或岩层较破碎地段施工锚杆(索), 建议采取先造孔进行固结灌浆后再施工锚杆(索), 以确保锚固段达到设计的锚固力。

(4) 7 根 $\phi 15.24$ mm 钢绞线锚索钻孔孔径宜为 150~180 mm, 采用拉力型锚固段宜为 6~8 m。

(5) 精轧螺纹钢锚杆在滑坡治理工程中是有应用前景的, 试验表明其抗拉强度完全可与预应力锚索相媲美, 在地下水长期浸泡地区(或水库、河流岸坡)其防腐耐久性的优点突出。但其施工工艺尚需在今后的治滑工程中进一步加以试验和总结, 施工成本还有待于进一步降低。

参考文献(References):

- [1] 白玉光, 刘春明, 任海鹏, 等. 高强度精轧螺纹钢的组织与性能[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2003, 24(3): 268 - 271.(BAI Yuguang, LIU Chunming, REN Haipeng, et al. Microstructure and mechanical properties of high strength finishing rolling rebars[J]. Journal of Northeastern University(Natural Science), 2003, 24(3): 268 - 271.(in Chinese))
- [2] 傅作宝, 曹荫之. 钢铁研究成果荟萃[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1997: 34 - 35.(FU Zuobao, CAO Yinzi. The assembly of iron and steel research[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1997: 34 - 35.(in Chinese))
- [3] 黄浩东. 高强度精轧螺纹钢组织与性能研究[博士学位论文][D]. 沈阳: 东北大学, 2000.(HUANG Haodong. Research on microstructures and properties of high strength finishing rolling rebar[Ph. D. Thesis][D]. Shenyang: Northeastern University, 2000.(in Chinese))
- [4] 重庆市地质矿产勘查开发总公司南江水文地质工程地质队. 长江三峡工程库区重庆市万州区草街子滑坡工程地质勘察报告[R]. 重庆: 重庆市地质矿产勘查开发总公司南江水文地质工程地质队 2002.(Nanjiang Hydrological and Engineering Geology Bridge, Chongqing General Corporation of Geological and Mineral exploration. The engineering and geological investigation report of Caojizi slope in Chongqing three gorges reservoir region[R]. Chongqing: Nanjiang Hydrological and Engineering Geology Bridge, Chongqing General Corporation of Geological and Mineral exploration, 2002.(in Chinese))
- [5] 中华人民共和国国家标准编写组. GB50330 - 2002 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.(The National Standards Compilation Group of People's Republic of China. GB50330 - 2002 Technical code for building slope engineering[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002.(in Chinese))
- [6] 中华人民共和国行业标准编写组. TB 10002.3 - 2005/J462 - 2005 铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.(The Professional Standards Compilation Group of People's Republic of China. TB 10002.3 - 2005/J462 - 2005 Code for design on reinforced and prestressed concrete structure of railway bridge and culvert[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005.(in Chinese))