

土钉墙防护顺层石质高边坡工作性状研究

杨广庆, 张保俭, 吕 鹏, 庞 巍

(石家庄铁道学院 土木工程分院, 河北 石家庄 050043)

摘要: 为了分析土钉墙防护顺层石质高边坡的工作性状, 了解土钉墙作用机理和受力状态, 结合西南地区渝怀铁路采用双级土钉墙防护顺层石质高边坡的工程实际, 进行了现场试验研究。在上下级墙面后不同排数土钉的不同位置上埋设了钢弦式钢筋计, 进行了其工作应力状态的性能测试。得出如下结论: (1) 土钉拉力沿土钉长度呈曲线形分布, 并且在不同墙高处最大拉力存在双峰值和单峰值 2 种情况; (2) 土钉拉力随时间延续有增大的趋势; (3) 土钉墙潜在的破裂面位置在上下墙高部位与理论值较为接近, 而中间部位靠近墙面; (4) 实测土钉墙背土压力沿墙高呈中间大、两头小的分布规律等。这些结论可为类似工程的设计提供有益参考。

关键词: 岩土力学; 土钉墙; 顺层边坡; 防护; 工作性状

中图分类号: TU 45

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2005)增 2 - 5346 - 04

STUDY ON BEHAVIORS OF SOIL-NAILED WALL PROTECTION WITH HIGH BEDDING STONE SLOPE

YANG Guang-qing, ZHANG Bao-jian, LU Peng, PANG Wei

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: The study is expected to research the performance, behaviors and strength of soil-nailed wall by field test, on the basis of the engineering of soil-nailed wall protection with the high bedding stone slope in Yuhuai railway in China. We test the nail force of different station on different row soil-nailed wall with steel-string transducer in the upper and bottom wall are tested. Some conclusions are achieved as follows: (1) the distribution of soil nailing tension along each soil nailing is curved, and there are one or two maximum tension points; (2) the soil nailing tension increases with time; (3) the latent failure surface position of testing value and the theoretical value is close to each other at the upper and bottom wall, but far away near the flat roof; (4) the earth pressure in the soil nailing wall is larger on middle and smaller on two sides along the height. These test results can be used as reference to the design and construction of soil-nailed wall.

Key words: rock and soil mechanics; soil-nailed wall; bedding slope; protection; working behaviour

1 引 言

渝怀铁路某段线路属顺层陡坡地段, 坡面覆盖 0~2 m 厚砂粘土, 局部岩石出露, 其岩层为志留系

下统页岩夹砂岩, 节理发育, 表层风化严重, 风化带厚 3~6 m, 岩层走向与铁路线路夹角 10°~20°。线路以挖方方式经过, 路堑内侧边坡最大高度 21 m。该段路堑右侧设置两级土钉墙, 上墙最高 9 m, 下墙最高 12 m, 上、下墙间留 2 m 宽、0.3 m 厚浆砌

收稿日期: 2005 - 06 - 16; **修回日期:** 2005 - 07 - 23

基金项目: 中国铁道建筑总公司资助项目(G02-9A)

作者简介: 杨广庆(1971 -), 男, 博士, 1993年毕业于石家庄铁道学院铁道建筑系铁道工程专业, 现任教授, 主要从事岩土工程方面的教学和研究工作。E-mail: gtsyang@163.com。

平台,采用 MU7.5 浆砌片石砌筑。土钉间距 1.2 m,呈梅花形布置,孔内锚杆采用 $\phi 25$ mmHRB335(II 级)钢筋制作,土钉墙胸坡率为 1:0.15。面层喷射 14 cm 厚 C20 混凝土及 1 cm 厚水泥砂浆及一层 $\phi 8$ mm 钢筋网组成(间距为 20 cm \times 20 cm)。土钉支护方案如图 1 所示。

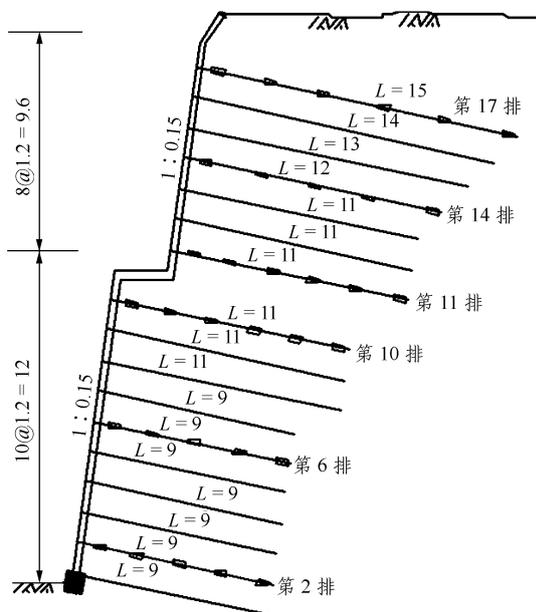


图 1 土钉钉防护测试方案(单位: m)

Fig.1 Project of retaining and field testing of soil nailing wall(unit: m)

土钉支护技术自 20 世纪 70 年代中期在法国、德国、美国等国开始应用。我国于 20 世纪 80 年代初期开始进行土钉的试验研究和工程实践^[1, 2]。目前,土钉支护技术主要以土质或破碎软岩边坡为研究对象。文[3~6]对土质边坡进行了大量试验研究。文[7]结合某线路土钉支护软岩高边坡工程,对结构受力和位移进行了监测,研究了土钉支护技术的加固机理,确定软岩高边坡最危险滑裂面,并对其稳定性进行了分析。尽管土钉支护技术应用较为广泛,但其理论研究却远远落后于工程实践,而土钉墙防护顺层石质边坡进行的理论和试验研究较少。

本文通过对顺层石质边坡土钉墙支护结构的现场监测,对其受力状态和作用机理进行了试验研究。

2 试验方案

取最大墙高断面为测试断面,在不同高度处的

土钉上分别埋设 GJL-2 型钢弦式钢筋计,如图 1 和表 1 所示。

表 1 试验方案布置

Table 1 Project of testing on site

土钉排数/排	钢筋计位置(自护面板算起)/m	钢筋计数量/个
2	1, 3, 5, 7, 9	5
6	1, 3, 5, 7, 9	5
10	1, 2, 4, 6, 9, 11	6
11	1, 2, 4, 6, 9, 11	6
14	1, 3, 6, 9, 12	5
17	1, 3, 6, 9, 12, 15	6

3 试验结果分析

3.1 土钉拉力沿土钉长度呈曲线形分布

分析图 2 可以看出,土钉拉力沿土钉长度呈曲线形分布。土钉拉力随着其距离护面板位置的减小而减小。随着土钉埋入深度的增加,土钉受力逐渐增大,但土钉拉力增加到某一数值后,其值又逐渐减小。

在土钉墙的上部和下部,土钉拉力沿土钉长度呈双峰值分布,而在墙高中部为单峰值分布。这说明在同一条土钉上,土钉与岩土体的摩擦力存在峰值点,且峰值点不止一个。因此,基于顺层石质边坡中岩层走向的不规则性以及岩体结构的复杂性,使得土钉拉力沿长度的分布较复杂^[8]。

基于顺层石质边坡岩层走向、倾向线路且边坡台阶的存在,在顺层边坡平台处产生了应力集中,使平台处边坡有发生水平位移的趋势,通过土钉与岩土体的应力转移,该处的土钉拉力大于墙体的其他部位。

3.2 土钉拉力随时间的延续有增大的趋势

图 3 为第 6 排土钉拉力随时间的变化曲线。从图 3 可以看出,竣工后土钉拉力随日期的延续有增大的趋势。测试结果表明:竣工后随着时间的推移,路堑边坡出现了水平向的剪切变形,致使边坡出现滑移变形破坏的趋势,从而墙面逐渐发生水平位移,土钉拉力逐渐增大。

3.3 土钉墙潜在的破裂面位置

图 2 中各排土钉最大拉力的连线可近似表示土钉墙潜在的破裂面位置。可以看出:在墙体的上下部分实测破裂面较理论破裂面^[9]位置较接近,而在

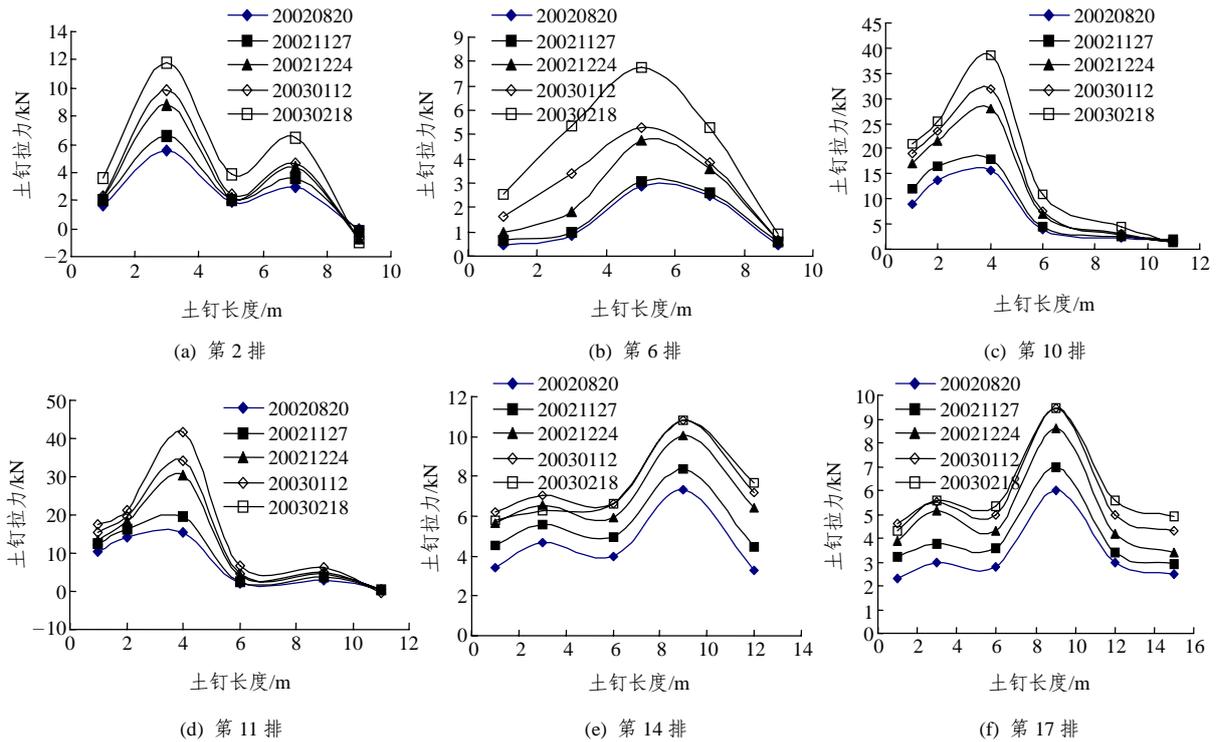


图 2 土钉拉力沿土钉长度的分布

Fig.2 Distribution of nail tensions along soil nailing

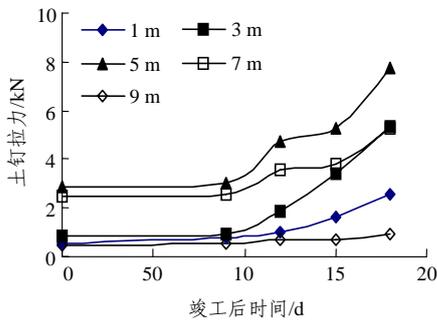


图 3 土钉拉力变化的日程曲线(第 6 排)

Fig.3 Development of soil nailing tensions(the sixth row)

墙高中部实测破裂面较理论破裂面更靠近墙面位置。

3.4 土钉墙墙背土压力

土钉墙墙背土压力值采用测得的靠近护面板处钢筋计的拉力值除以单根土钉的有效作用面积来表示。计算结果表明：实测土压力大小远小于极限平衡理论计算的墙背主动土压力，且由量测的土钉最大拉力所确定的土钉墙总的受力也小于文[9]所确定的土压力大小。其原因是由于传统的土压力理论在计算土钉墙护面板侧向土压力时并没有考虑土钉与周围岩土体的相互作用，而土钉墙是由面层、土钉和岩土体组成的一个整体结构，当土钉插入后，

由于土钉与岩土体间会存在相对位移，从而在钉-土之间产生摩擦力，依靠土钉锚杆的摩阻力抵消了部分土压力，并约束了岩土体的侧向变形，使得土钉墙主动土压力减小，并且上下排土钉间土拱也削弱了部分土压力^[10]。因此，基于土钉与周围岩土体的相互作用，使得土钉墙护面板侧向土压力的形成机制与一般挡土墙墙背的土压力机制有很大的不同。由图 2 可知，在墙底位置处，土钉拉力最小，同时也间接地反映了土钉墙护面板所受土压力的大小。

4 结 语

通过对土钉墙防护顺层石质高边坡的现场试验，分析了其应力状态及作用机理，并得出了有益的结论：

- (1) 土钉拉力沿土钉长度呈曲线形分布，并且不同墙高处最大拉力存在双峰值和单峰值 2 种情况。
- (2) 土钉拉力随着时间的延续有增大的趋势。
- (3) 在墙体的上下部分破裂面位置与理论破裂面较接近，而在墙高中部实测破裂面较理论破裂面更靠近墙面位置。

(4) 实测土钉墙墙背土压力远小于极限平衡法计算的主动土压力, 且呈中间大、两头小的分布规律。

参考文献(References):

- [1] 张建龙, 何家柱. 基坑土钉支护结构受力及变形分析[J]. 工程勘察, 2003, (2): 39 - 41.(Zhang Jianlong, He Jiazhu. Analysis of strength and deformation of soil nailing for excavation support[J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 2003, (2): 39 - 41.(in Chinese))
- [2] 美国交通部联邦公路总局. 土钉墙设计施工与监测手册[M]. 余诗刚译. 北京: 中国科学技术出版社, 2000. 1 - 38.(FHWA. Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nailing Wall[M]. Translated by She Shigang. Beijing: China Science and Technology Press, 2000. 1 - 38.(in Chinese))
- [3] 郑志辉, 贺若兰, 徐勋长, 等. 复合土钉支护厚杂填土边坡现场试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(5): 898 - 904.(Zheng Zhihui, He Ruolan, Xu Xunchang, et al. In-situ testing study on retaining miscellaneous fill slope by using compound soil nailing[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(5): 898 - 904.(in Chinese))
- [4] 段建立, 谭跃虎, 樊有维, 等. 复合土钉支护的现场测试研究木[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(12): 2 128 - 2 132.(Duan Jianli, Tan Yuehu, Fan Youwei, et al. Field testing study on composite soil nailing[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(12): 2 128 - 2 132.(in Chinese))
- [5] 高 旗, 李欢秋, 袁培中, 等. 中国武汉劳动力市场大楼深基坑边坡支护设计与施工[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(6): 919 - 922.(Gao Qi, Li Huanqiu, Yuan Peizhong, et al. Design and construction of the deep pit slope for Wuhan labor market building in China[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(6): 919 - 922.(in Chinese))
- [6] 曾宪明, 林 皋, 易 平, 等. 土钉支护软土边坡的加固机理实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(3): 429 - 433.(Zeng Xianming, Lin Gao, Yi Ping, et al. Test study on the reinforcement mechanism of soil nailing support for soft clay slope[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(3): 429 - 433.(in Chinese))
- [7] 娄国充, 周德培. 软岩高边坡土钉支护的监测分析与优化设计[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(16): 2 734 - 2 738.(Lou Guochong, Zhou Depei. Monitoring and design optimization of soil-nailing support for high weak slope[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(16): 2 734 - 2 738.(in Chinese))
- [8] 张明聚, 郭忠贤. 土钉支护工作性能的现场测试研究[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(3): 319 - 323.(Zhang Mingju, Guo Zhongxian. Research on behaviors of soil nailing by field test[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(3): 319 - 323.(in Chinese))
- [9] 中华人民共和国行业标准编写组. 铁路路基支挡结构设计规范(TB10025 - 2001)[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2001. 38 - 43.(The Professional Standards Compilation Group of People's Republic of China. Code for Design on Retaining Engineering Structure of Railway Subgrade(TB10025 - 2001)[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001. 38 - 43.(in Chinese))
- [10] 刘治安. 深基坑土钉墙支护现场测试及优化设计[J]. 港工技术, 1999, 3: 44 - 47.(Liu Zhian. Field test for the earth wall support by steel pine and optimum design[J]. Port Engineering Technology, 1999, 3: 44 - 47.(in Chinese))