

高陡顺层石质路堑土钉防护试验研究

Study on high and steep bedding stone cutting protected by soil nailing

杨广庆¹, 王锡朝¹, 邢焕兰², 张新生³

(1. 石家庄铁道学院 土木工程分院, 河北 石家庄 050043; 2. 石家庄铁路职业技术学院 土木系, 河北 石家庄 050041; 3. 中铁十二局集团有限公司, 山西 太原 030024)

摘要: 为了研究土钉墙的工作性能, 分析其受力状态和作用机理, 结合某铁路高陡顺层石质路堑土钉墙防护工程实际, 进行了现场试验。通过在不同排数土钉的不同位置上埋设钢弦式钢筋计进行使用阶段的性能测试, 得出了土钉拉力随土钉长度和时间延续的变化规律。土钉墙潜在的破裂面位置、土钉墙土压力沿墙高的分布规律等有益的结论, 可为类似工程的设计与施工提供参考。

关键词: 顺层路堑; 土钉墙; 防护; 现场测试

中图分类号: U 213.1; TU 432

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2004)04-0486-04

作者简介: 杨广庆(1971-), 男, 副教授。主要从事岩土工程研究、教学和工程实践。

YANG Guang-qing¹, WANG Xi-zhao¹, XING Huan-lan², ZHANG Xin-sheng³

(1. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China; 2. Department of Civil Engineering, Shijiazhuang Railway Engineering Vocational and Technical College, Shijiazhuang 050041, China; 3. The China Railway 12th Bureau Group Corporation, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The behaviors and strength of soil nailing are studied by field test, based on the engineering performance of the high and steep bedding stone cutting protected with soil nailing. The force of nail on different row and different location soil nailing is measured with vibrating wire strain gauge. Some conclusions are elicited, such as the variation of nail force with nail length and time, the potential sliding surface and the distribution of earth pressure on soil nailing wall. The test results can be used as reference for the design and construction of soil nailing wall.

Key words: bedding cutting; soil nailing wall; protection; field test

0 前言*

土钉是一种在原位土体中安置拉筋而使土体的力学性能得以改善, 从而提高挖方边坡稳定性的新型支挡技术。法国、德国、美国等在20世纪70年代中期开始应用此项技术。我国于20世纪80年代初期首先在山西柳湾煤矿边坡稳定中应用土钉, 并开始土钉的试验研究和工程实践^[1,2]。目前土钉墙的设计方法主要以土质边坡或破碎软岩为研究对象而得出的, 为了研究土钉支护高陡顺层石质边坡的工作性能, 分析其受力状态和作用机理, 积累经验, 对渝怀铁路高陡顺层石质路堑土钉墙边坡防护进行了现场试验。

1 工程概况

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, 褐黄色, 青灰色, 薄中厚层状, 泥质结构, 含钙质, 夹薄层粘砂岩, 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为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厚浆砌平台,

采用M7.5浆砌片石砌筑。土钉间距1.2 m, 呈梅花形布置。下墙土钉长9 m, 紧临平台上下各3排土钉加长至11 m, 自堑顶以下各排加长至节理面以内不小于2 m。钻孔直径为 $\phi 100$ mm, 孔深较钉长0.15 m, 孔内锚杆采用 $\Phi 25$ mm II级钢筋制作。用M30水泥砂浆灌注, 注浆压力为0.2 MPa, 土钉墙胸坡坡率1:0.15。面层喷射14 cm厚C20砼及1 cm厚水泥砂浆及一层20 cm $\times$ 20 cm, $\Phi 8$ mm钢筋网组成。土钉支护方案如图1所示。

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所示。在第2排土钉上距护面板1, 3, 5, 7, 9 m处分别埋设一根钢筋计, 共5根; 在第6排土钉上距护面板1, 3, 5, 7, 9 m处分别埋设一根钢筋计, 共5根; 在第10排土钉上距护面板1, 2, 4, 6, 9, 11 m处分别埋设一根钢筋计, 共6根; 在第11排土钉上距护面板1, 2, 4, 6, 9, 11 m处分别埋设一根钢筋计, 共6根; 在第14排土钉上距护面

* 基金项目: 中国铁道建筑总公司资助项目(G02-9A)

收稿日期: 2003-10-17

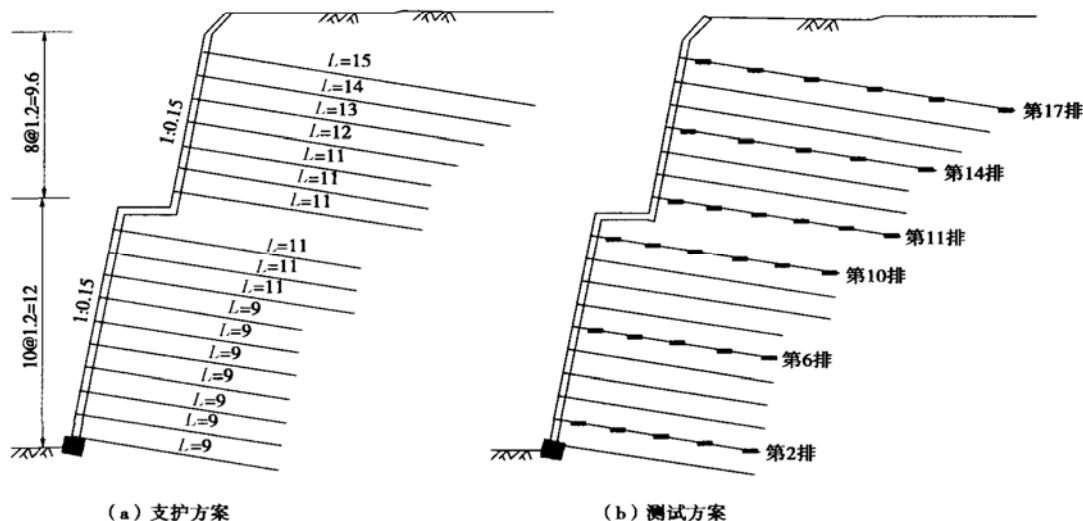


图1 土钉墙防护测试方案(单位:m)

Fig. 1 Field test of soil nailing wall

板 1, 3, 6, 9, 12 m 处分别埋设一根钢筋计, 共 5 根; 在第 17 排土钉上距护面板 1, 3, 6, 9, 12, 15 m 处分别埋设一根钢筋计, 共 6 根。

3 试验结果分析

图 2 为土钉墙竣工后各排土钉拉力沿土钉长度的分布曲线, 图 3 为各排土钉拉力变化的日程曲线。

3.1 土钉拉力沿土钉长度呈曲线形分布

从图 2 可以看出, 土钉拉力沿土钉长度呈曲线形分布。离护面板愈近, 钢筋受力愈小, 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, 又逐渐减小。由于顺层石质路堑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。同时实测土钉拉力远远小于钢筋设计能力, 主要是基于土钉墙的整体功能还没有完全发挥, 仍然可能需要一段时间的变形与稳定。因此, 从观测结果可以看出只有当土钉墙护面板和土钉产生变位后才能使土钉受力, 因此, 再经过一段时间的变形稳定后, 土钉墙的受力状况将会更加合理。

土钉最大拉力存在单峰值和双峰值两种情况。在土钉墙的上部和下部, 土钉拉力沿长度呈双峰值分布, 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。由于峰值点两边的摩擦力方向是相反的, 因此, 在土钉墙上部和下部的土钉上, 土钉与岩土体的摩擦力不止一次改变方向。因此, 基于顺层石质路堑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复杂。

3.2 土钉拉力随时间的延续有增大的趋势

从图 3 分析可知, 竣工后土钉拉力随时间的延续有增大的趋势, 并且靠面板处的拉力增长速率较快。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, 导致土钉长度范围内周围岩土体产生变形和应变, 引起了土钉与岩土体界面的剪应力, 继而土钉拉力逐渐增大。

3.3 土钉墙潜在的破裂面

土钉墙潜在的破裂面位置可用各排土钉最大拉力的连线近似表示, 如图 4 所示。图中画出了按《铁路路基支挡结构设计规范》(TB10025-2001)^[3] 确定的裂面形式。通过比较可以得出: 在墙体的上下部分两种破裂面位置较接近, 而在墙高中部实测破裂面较理论破裂面更靠近墙面位置。

3.4 土钉最大拉力

图 5 表示了土钉最大拉力沿墙高的分布情况。在墙的较高部位, 土钉最大拉力出现在土钉中部或靠近中点的部位。在墙的较低部位, 由于边坡变形受到基底岩层的约束, 拉筋最大拉力位置靠近墙面, 且平台处的上、下排土钉最大拉力也如此。就整墙高而言, 土钉最大拉力出现在墙高中部, 墙高上部和下部的土钉受力均较小。由于该墙的水平位移很小, 且最大位移发生在墙顶。因此, 该试验结果表明顺层石质路堑边坡土钉的受力状态并不仅仅取决于水平位移的大小, 还与潜在的破裂面位置, 岩土体的结构等有关, 该成果与文献[4]观点有相似之处。

3.5 土钉墙的土压力

在本次现场试验中, 由于各种原因没有在护面板后安装土压力盒, 而是在距护面板 1 m 处分别安装了

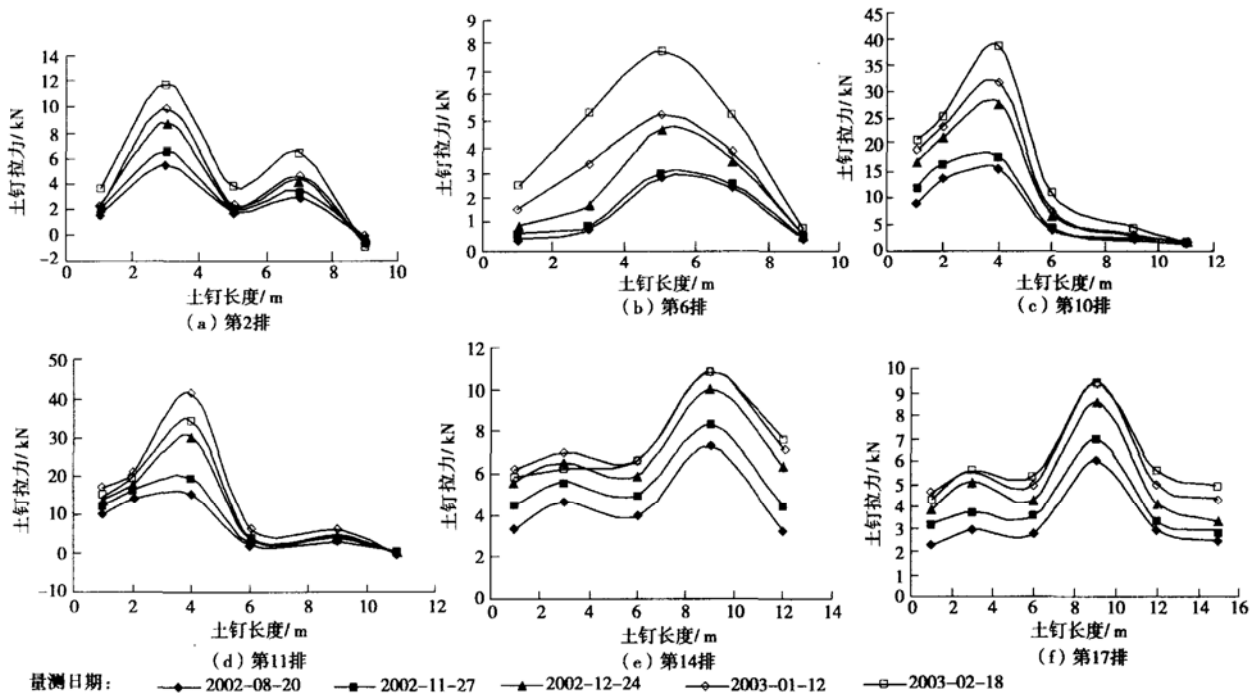


图2 土钉拉力沿土钉长度的分布

Fig.2 Distribution of tensions along nail

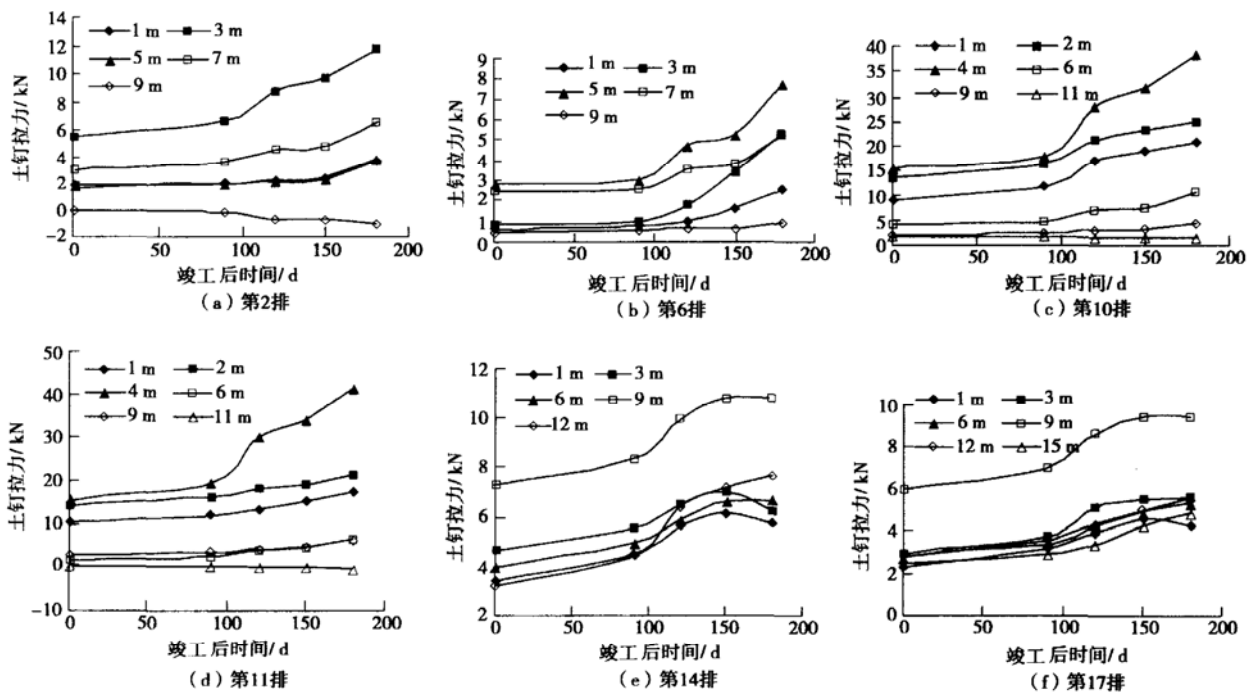


图3 土钉拉力变化的时程曲线

Fig.3 Variation of tensions on nail with time

钢弦式钢筋计。在试验分析中,将测量得到的距护面板 1 m 处钢筋计的拉力值除以单根土钉的有效作用面积来转换成其对应高度的护面板侧向土压力,其结果虽不能定量地表示面板后侧向土压力的大小,但它可以定性分析判断护面板后侧向土压力的分布规律(图 6)。

试验结果表明实测土压力数值远小于极限平衡理

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按《铁路路基挡结构设计规范》(TB10025-2001)所确定的土压力。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

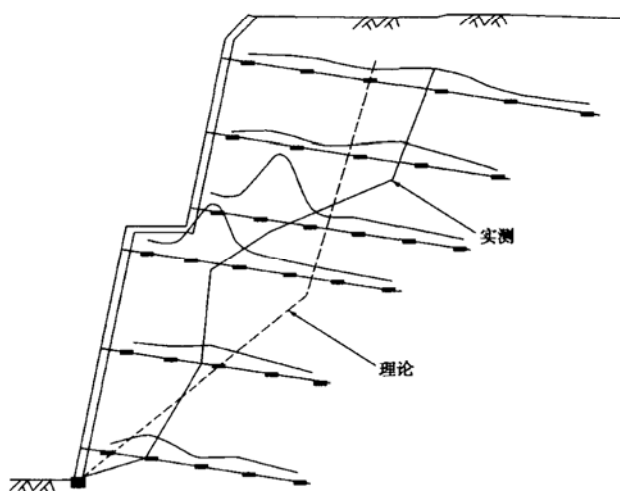


图4 土钉墙潜在破裂面位置

Fig. 4 Potential rupture surface of soil nailing wall

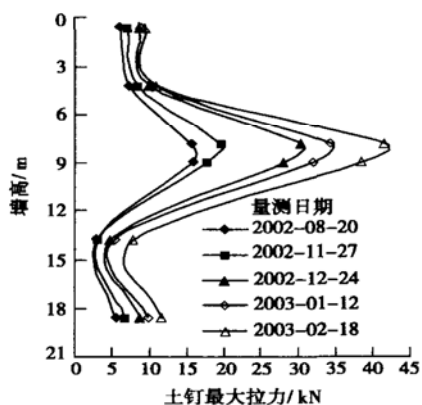


图5 土钉最大拉力沿墙高的分布

Fig. 5 Distribution of maximum nail tensions

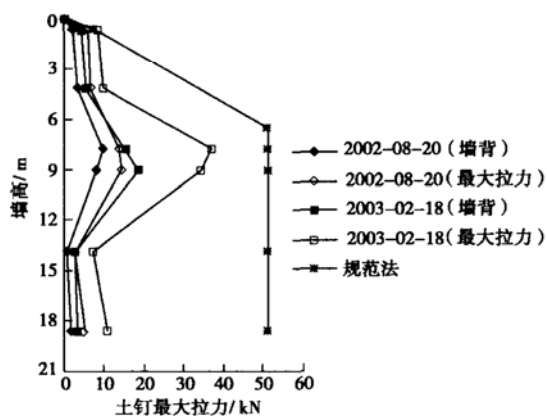


图6 土钉拉力沿墙高的分布

Fig. 6 Distribution of nail tensions along height of wall

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^[5]。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不同。

由图5和图6可知,在墙高范围内,墙底土钉拉力最小。同时土钉拉力的大小,也反映了墙体所受土压力的大小。由于土钉墙护面板所受的土压力主要靠土钉拉力来平衡,在一定程度上,土钉拉力的大小可以定性地说说明土压力的大小,因此,由于土钉与周围岩土体的相互作用,不仅改变了土压力的分布,而且还减小了土压力的数值,有利于土钉支挡结构的稳定。

4 结 论

土钉墙竣工后,经过半年以上的试验观测发现,墙面水平变形很小,墙体稳定,工程质量有保证,并得出了以下有益的结论:

(1) 土钉拉力沿土钉长度呈曲线形分布。

(2) 土钉拉力随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) 土钉最大拉力出现在墙高的中部,墙体上部和下部的土钉受力均较小。由于顺层石质路堑结构的复杂性,土钉的受力状态并不仅仅取决于土钉墙水平位移的大小。

(5) 实测土钉墙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:

- [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.
- [2] 余诗刚,译.土钉墙设计施工与监测手册[M].北京:中国科学技术出版社,2000.1-38.
- [3] 中华人民共和国行业标准.铁路路基支挡结构设计规范[M].北京:中国铁道出版社,2001.38-43.
- [4] 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.
- [5] 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.