

锚杆格构梁模型试验研究

邓军涛^{1,2}, 王娟娟¹, 门玉明³

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 机械工业勘察设计研究院, 陕西 西安 710043;
3. 长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 对锚杆格构梁进行了系统的模型试验研究, 探讨锚杆格构梁的受力特点及规律. 模型试验在坡体后缘加载, 通过在格构梁上布置压力盒及应变片得出了格构梁底部土体压力及变形的分布. 结果显示, 随着荷载的增大, 格构梁所受压力及应变随之增大, 在格构梁悬臂端及跨中所受压力较小、变形较大, 在格构梁交叉处所受压力较大、变形较小, 格构梁整体压力及应变基本呈三角形分布.

关键词: 锚杆格构梁; 模型试验; 内力分布

中图分类号: TU47

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)04-0542-04

近年来, 锚杆格构梁已越来越多地应用于边坡加固工程, 其原理是通过钢筋混凝土格构梁将锚杆巨大的锚固力传递给坡体, 以此改善坡体应力状态. 它是一种调用坡体自稳能力的主动加固方法, 安全稳定、轻巧美观, 综合造价及社会经济效益明显优于传统的重型支挡结构^[1].

目前在工程实践中锚杆格构梁的设计计算常采用经验类比法来估算格构梁内力, 或者按一般建筑基础的方法来计算地梁内力^[2]. 如利用“倒梁法”^[3]、矩阵法^[4]、差分法^[5]等方法计算格构梁内力, 还有学者采用 Winkler 地基梁模型对格构梁内力进行了研究计算^[6-10]. 现有的各种计算方法都是在一定假设的情况下选择一种地基模型进行格构梁的内力分析与计算, 没有考虑格构梁的实际内力分布, 其计算结果有较大的局限性. 因此, 对格构梁的内力分布进行研究具有重要的现实意义.

本次试验为较大型的模型试验, 查阅相关文献和资料, 前人对此作的研究^[11-14]均未采用过大比例尺模型实验. 基于此, 本文通过模型试验, 主要测试了锚杆格构梁在逐级加载过程中的工作状态及性能, 对格构梁及锚杆的受力形式及规律进行了分析.

1 室内模型试验

1.1 模型设计

为研究预应力锚杆格构梁受力的分布规律, 笔者所在的课题组进行了室内模型试验^[15]. 试验在模型箱内进行, 模型箱长度 3.3 m, 宽度 2.5 m, 地面以上高度为 2 m, 地面以下深度为 1 m. 模型尺寸如图 1 所示.

1.2 试验材料

依据试验条件和相似要求, 选取试验材料如下:

1) 滑体和滑床

实际工程情况下滑面和滑床材料的模拟十分困难, 故而选取同一土质条件下的粉质粘土来模拟, 并分层夯实. 在滑体和滑床不同位置处均取一定量的土样进行室内物理力学指标试验, 得到模型土体的常规物理力学试验指标如下表 1 所示.

2) 滑面

滑面是模型试验的关键部位, 试验中在滑床上铺设薄铁皮, 以模拟滑体发生位移时的滑动面.

3) 锚杆模型

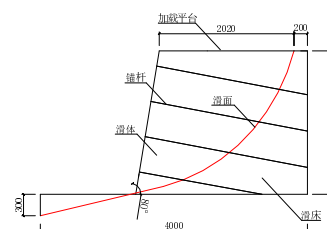


图 1 模型框架侧面图(单位: mm)

Fig. 1 The side figure of model frame (unit: mm)

表 1 岩土参数

Tab.1 Geotechnical parameters

土体工程地质参数						
指标	密度	抗剪强度				液性指数
		快剪		反复剪		
	$\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	C/kPa	$\varphi(^{\circ})$	C/kPa	$\varphi(^{\circ})$	I_L
量值	1.77	25	15.6	6.43	22.8	0.17

锚杆采用 $\phi 6$ 钢筋, 弹性模量取 210 GPa. 根据试验模型及锚杆位置的不同, 锚杆采用不同的长度, 最短为 1.9 m, 最长为 2.3 m. 锚杆锚固段用水泥砂浆浇筑, 锚固段长为 1 m, 直径为 0.04 m. 水泥砂浆参数统计见表 2 所示.

4)格构梁模型

对于格构梁模型来说, 如果完全满足相似条件, 在模型制作上很难达到. 因此, 在制作格构梁模型时, 主要满足几何相似. 其平面及断面尺寸见图 2. 格构梁用 8 根长度为 2 m 的松木相互正交而成, 其间距为 0.5 m, 在纵横梁的节点上设置锚杆.

1.3 加载设计

试验采用在滑坡后缘堆载的加载方式. 堆载材料采用沙袋, 每袋沙袋的重量为 25 kg. 试验采用分级加载方式, 在每级荷载施加后, 均要维持一段时间, 至锚杆格构梁的受力和变形趋于稳定后方可测试数据, 稳定时间的长短由设置在格构梁前百分表的读数来确定.

1.4 测试项目

- 1)在格构梁(纵梁、横梁)正交的节点上设置了 8 根锚杆及 8 根钢筋, 在每根锚杆上贴 BX120-3AA 型应变片, 以测试锚杆及钢筋在逐级加载过程中的受力变形情况.
- 2)在格构梁(纵梁、横梁)上贴 BX120-3AA 型应变片(应变片的量程均为 $1000\ \mu\varepsilon$, 其中 ε 为应变片的测试值), 其位置在格构梁正交节点处及格构梁中间部位, 以测试格构梁在逐级加载时的变形.
- 3)在格构梁上布置一定量的土压力盒, 用来测试滑体对格构梁的压力, 压力盒的量程分别为 0.1MPa 和 0.2 MPa.

2 试验数据及成果分析

2.1 格构梁压力测试结果

本试验通过在格构梁上布置一定量的土压力盒来测试格构梁上土压力的分布情况, 加载从 2 t 开始, 每次以 2 t 逐次累加至 20 t 结束. 在每级荷载施加后, 均要维持一定的时间, 待百分表指针基本稳定之后再开始读数. 在进行数据分析时为了能比较真实的反映格构梁的受力状态, 把由于试验条件和试验误差影响而产生的具有明显问题(如数据异常或随着加载增加没有任何变化)的数据点去掉, 最后根据修正后的数据进行分析. 格构梁(纵、横梁)的压力分布图如图 3、图 4 所示.

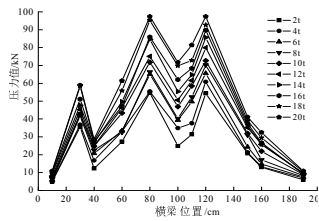


图 3 格构梁横梁压力分布图
Fig. 3 The level beam pressure distribution

从图中可以看出, 随着荷载的逐级增加, 横梁所受压力也随之增加, 整个压力分布图基本呈三角形分布. 在悬臂端压力值较小, 在纵、横梁交叉处压力值明显增大, 横梁跨中压力值减小. 取荷载加至 20 t 时的压力分布图可以看出: 在横梁两侧悬臂端压力较小, 压力值分别为 10.8 kPa 和 10.9 kPa; 纵、横梁交叉处压力值较大, 最大压力值为 97.4 kPa, 而在横梁跨中所受土压力较小, 最小值为 28.7 kPa. 说明在纵、横梁两交叉处由于锚杆的设置, 在上部荷载作用下锚杆受力发挥作用, 在锚杆锚固力的影响下横梁受到较大的压力.

随着荷载的逐级增加, 纵梁所受压力也呈上升趋势, 整体压力分布形式为: 在悬臂端及跨中压力值较小, 在纵、横两交叉处压力值较大. 纵梁压力分布形式和横梁基本相同, 也为三角形分布. 取荷载 20 t 时的压力分布图可以看出: 悬臂端压力值较小为 10.8 kPa 和 8.2 kPa, 在纵、横梁交叉处压力值较大, 最大为

表 2 水泥砂浆参数		
Tab.2 Cement mortar parameters		
参数名称	极限强度/MPa	弹性模量/MPa
量值	1.53	2 571

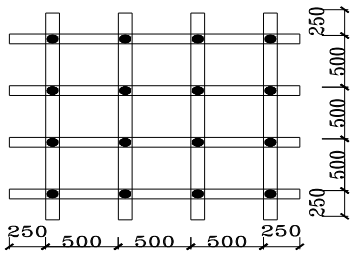


图 2 格构梁模型设计图(单位: mm)
Fig. 2 The model design figure of lattice beam (Unit: mm)

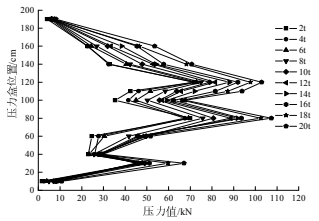


图 4 格构梁纵梁压力分布图
Fig. 4 The vertical beam pressure distribution

107.4 kPa, 在跨中压力值较小最小为 29.8 kPa.

从以上分析可以得出, 纵、横梁所受压力情况基本相同. 在悬臂端及梁跨中由于只受到土压力的作用, 其压力值较小, 在纵、横梁交叉处由于受到锚杆锚固力的作用使格构梁所受土压力增大, 其整体压力分布基本呈三角形分布.

2.2 格构梁应变测试结果

本次试验通过在格构梁上布设一定量的应变片来测试格构梁的受力变形情况. 在试验中, 由于布设应变片时天气寒冷, 致使部分应变片失效, 同时有一部分应变片在测试过程中损坏. 鉴于此, 在数据处理时, 把具有明显异常的数据点删除, 使其能比较真实的反映格构梁的受力变形情况. 根据修正后的数据进行分析, 格构梁(纵、横梁)应变分布图如图 5、图 6 所示.

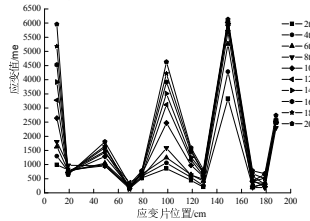


图 5 格构梁横梁应变分布图

Fig.5 The level beam strain distribution

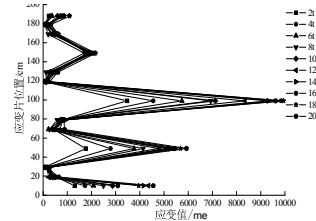


图 6 格构梁纵梁应变分布图

Fig.6 The vertical beam strain distribution

从横梁应变图可以看出, 横梁的应变是随着荷载的增加而逐渐增大的, 且应变分布图大致呈三角形分布. 在横梁的悬臂端应变值变化大, 说明随着荷载的增加悬臂端受力后产生的变形较大. 在横梁跨中应变值出现峰值, 但在纵、横梁交叉处应变值一般都比较小. 当荷载加至 20 t 时, 两端悬臂端的应变值分别为 $6\,649\ \mu\epsilon$ 和 $3\,010\ \mu\epsilon$, 说明此时横梁悬臂端变形较大, 横梁跨中应变值最大为 $6\,429\ \mu\epsilon$, 而在纵、横梁交叉处应变值最小仅为 $104\ \mu\epsilon$, 说明在纵、横梁交叉处由于受锚杆的约束, 横梁产生的变形较小, 而在横梁跨中产生的变形较大.

纵梁应变也是随着荷载的逐渐增加而逐渐增大的, 其整体分布趋势与横梁基本相同. 在悬臂端应变值较大, 纵、横梁交叉处应变值较小, 在梁跨中应变值出现最大峰值. 应变分布图形也呈三角形分布. 取荷载加至 20 t 时的应变分布图可以看出: 在两端悬臂端应变值分别为 $4\,553\ \mu\epsilon$ 和 $1\,085\ \mu\epsilon$; 在梁跨中应变值达最大值 $9\,854\ \mu\epsilon$; 而在纵、横梁交叉处应变值最小为 $159\ \mu\epsilon$. 纵梁受力产生变形与横梁相似, 在纵、横梁交叉处受锚杆约束变形小, 而在悬臂端及梁跨中变形较大.

从以上分析可以得出, 格构梁中纵、横梁的受力变形特征基本相同, 其主要原因是纵、横梁采用同一截面. 在悬臂端及跨中变形较大, 而在纵、横梁交叉处变形较小, 说明格构梁受锚杆约束在节点周围产生变形小. 格构梁整体应变分布图呈三角形分布.

2.3 锚杆应变测试结果

本次试验在格构梁(纵、横梁)的正交处设置了拉力型锚杆. 在每根锚杆的自由段及锚固段粘贴了一定数量的应变片, 以测试在外荷载作用下锚杆的受力变形情况. 从试验可以看出, 虽然锚杆的位置不同但其受力后的应变分布图基本相似, 取试验中的 3 号锚杆进行分析, 其应力分布图见图 7.

从应变分布图中可以看出: 随着荷载的增加, 锚杆应变值也逐渐增大. 总的趋势是, 在锚杆自由段应变值变化较平稳, 在锚固段和自由段分界处应变值增大. 在锚固段 20~40 cm 及 60~80 cm 处突然出现应变峰值, 在试验结束后拆除了此锚杆检查发现, 从锚固段端点开始 24 cm 到 85 cm 处, 已经出现两条宽度为 1 mm 左右的裂缝. 因此在这两处出现了较大的应力集中.

从以上分析可以看出, 拉力型锚杆在荷载作用下其主要受力部位在锚固段, 随着荷载的增加锚杆受力变形增大; 当出现拉裂时锚杆将产生应力集中, 从而导致锚杆破坏失效.

3 结论

综合分析以上测试结果, 可以得到以下结论:

(1) 对于格构梁, 当纵梁和横梁截面尺寸一致时, 其所受压力基本相同. 随着荷载的逐级增加, 格构梁

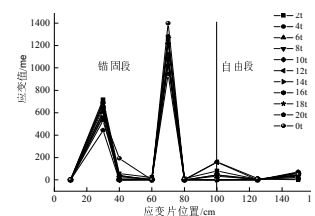


图 7 3 号锚杆应变分布图

Fig.7 The strain distribution of NO.3 anchor

所受压力也随之增加。在悬臂端及梁跨中所受压力较小,在纵、横梁交叉处由于受到锚杆锚固力的作用使格构梁所受压力增大,其整体压力分布基本呈三角形分布。

(2)当纵、横梁采用同一截面时,格构梁(纵、横梁)受力变形特征基本相同。格构梁的应变是随着荷载的增加而逐渐增大的。在格构梁悬臂端及跨中变形较大,而在纵、横梁交叉处变形较小,说明格构梁受锚杆约束在其周围产生变形小。格构梁整体应变分布图呈三角形。

(3)拉力型锚杆在荷载作用下其主要受力部位在锚固段,随着荷载的增加锚杆受力变形增大;当锚杆出现拉裂时锚杆会产生应力集中从而导致锚杆破坏失效。

参考文献 References

- [1] 杨明, 胡厚田, 卢才金, 等. 路堑土质边坡加固中预应力锚索框架的内力计算[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(9): 1383-1386.
YANG Ming, HU Houtian, LU Caijin, et al. Internal force calculation of pretested anchor-rope frame for highway slope [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(9): 1383-1386.
- [2] 曹兴松, 周德培. 软岩高边坡预应力锚索框架梁的一种新型设计方法[J]. 公路交通科技, 2004, 21(8): 25-28.
CAO Xingsong, ZHOU Depei. A new design method of prestressed anchor rope framework for high slope in weak rockmass[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(8): 25-28.
- [3] 王全才, 李传株, 赵肃菖, 等. 黄土滑坡锚固技术研究[J]. 铁道工程学报, 1996, 50(2): 206-210.
WANG Quancai, LI Chuazhu, ZHAO Shuehang, et al. Research on technique against landslide of loess mass[J]. Journal of Rail Way Engineering Society, 1996, 50(2): 206-210.
- [4] 李德芳, 张友良, 陈从新. 边坡加固中预应力锚索地梁内力计算[J]. 岩土力学, 2000, 21(6):170-172.
LI Defang, ZHANG Youliang, CHEN Congxin. Design of prestressed-cable sommer for slope-reinforcing engineering[J]. Rock and Soil Mechanics, 2000, 21(6):170-172.
- [5] 吴荣燕, 吕小平. 框架锚索中框架内力计算的差分法[J]. 四川建筑, 2003, 23(4):55-56.
WU Rongyan, LÜ Xiaoping. Internal force calculation of cable frame by difference method [J]. Sichuan Construction, 2003, 23(4):55-56.
- [6] 王育锋, 樊凤利. 弹性连续介质上变截面梁的分析[J]. 天津城建学院学报, 2002, 8(2): 107-111.
WANG Yufeng, FAN Fengli. Analysis of non-uniform beam on elastic continuous medium[J]. Journal of Tianjin Institute of Urban Construction, 8(2): 107-111.
- [7] 廖理扬. 弹性地基梁两种内力计算方法比较[J]. 武汉水利电力大学学报, 1997, 30(2):45-48.
LIAO Liyang. Two methods' comparison of computing internal forces for beam on elastic foundation[J]. J. Wuhan Univ. of Hydr & Elec. Eng, 1997, 30(2):45-48.
- [8] 肖世国, 周德培. 岩石高边坡一种预应力锚索框架型地梁的内力计算[J]. 岩土工程学报, 2002, 22(4): 479-482.
XIAO Shiguo, ZHOU Depei. A calculation method for internal force of pre-stressed anchor-rope frame beam on foundation on high rock slope[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(9):479-482.
- [9] 宋从军, 周德培. 预应力锚索框架地梁的内力计算[J]. 公路, 2004(7): 76-80.
SONG Congjun, ZHOU Depei. A calculation method of internal force for frame foundation beams with prestressed a anchor cable[J]. High Way, 2004(7): 76-80.
- [10] 王志俭, 宁万辉, 赵家成. 锚杆格构梁系统格构梁内力计算方法分析[J]. 三峡大学学报:自然科学版, 2010, 32(6): 47-50.
WANG Zhijian, NING Wanhui, ZHAO Jiacheng. Analysis of calculation methods for internal force of lattice beam[J]. J. of China Three Gorges Univ.: Natural Sciences, 2010, 32(6):47-50.
- [11] 朱大鹏, 晏鄂川, 宋琨. 格构梁与边坡岩体相互作用机制与现场试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(1): 2947-2953.
ZHU Dapeng, YAN Echuan, SONG Kun. Research on interaction mechanism between lattice beam and slope rock mass and field test[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(1): 2947-2953.
- [12] 刘晶晶, 赵其华, 彭社琴, 等. 预应力锚索格构梁作用下边坡土中应力分布的室内模型试验研究[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(4): 9-12.
LIU Jingjing, ZHAO Qihua, PENG Sheqin, et al. On indoor model experiment of the action of prestressed anchor-rope and lattice beam on slope soil stress distribution[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2006, 33(4): 9-12.
- [13] 秦新义, 朱大鹏, 施忠然. 预应力锚索格构梁的设计及试验研究[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(5): 148-152.
QIN Xinyi, ZHU Dapeng, SHI Zhongran. Design and experimental investigation on prestressed anchor-cable lattice beam[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2008, 25(5): 148-152.
- [14] 彭社琴, 赵其华. 预应力锚索格构模型试验加载系统设计[J]. 岩土力学, 2005, 26(2): 151-154.
PENG Sheqin, ZHAO Qihua. Design of loading system of model test for prestressed anehor-cable frame struetore[J]. Rock and soil Mechanics, 2005, 26(2): 151-154.
- [15] 王娟娟. 预应力锚杆格构梁模型试验及计算方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2006.
WANG Juanjuan, Study on the model test and calculation of the priestess lattice beam anchor[D]. Xi'an: Chang'an university, 2006.

ZHOU Shan, HU Zeyou, YU Jingquan. Biodegradation of phenol wastewater by pseudomonas sp. immobilized on bamboo-carbon [J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2008, 22(5):889-894.

Study on immobilization of NY3 and treatment of oil-bearing wastewater using bio-film

NIE Maiqian¹, HE Meili¹, ZHANG Senyuan¹, WANG Yan², NIE Hongyun¹, TIAN Xiaoting¹, FU Hailin¹

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;
2. Shaanxi Province Institute of Microbiology, Xi'an 710043, China)

Abstract: Treatment of oil-bearing wastewater by using immobilized bio-film of NY3 strain was studied. The immobilization time, the optimum dosage of carrier, and the initial pH of immobilized culture for NY3 strain to be immobilized on surface of polyurethane foam carrier were studied by using static aeration. The optimum HRT was determined. Also the possibility of recycle of the bio-film was studied. The results showed that immobilized bio-film of NY3 strain could quickly form within 51 h under dosage of carrier was 10.0 g/L (culture medium), the initial pH of immobilized culture was 7.5~9. The maximum amount of biomass on bio-film reached 488.32 mg/g. The optimum HRT for treating oil-bearing wastewater is 6 h, and the concentrations of oil in effluent kept in range of 1.38-3.2 mg/L. After treatment, the biofilm collecting into culture medium without oil was incubated 15 d, NY3 strain on the bio-film degraded the adhered petroleum and the bio-film was recovered for recycling.

Key words: *Pseudomonas aeruginosa* NY3; immobilized bio-film; oil-bearing wastewater; activity of bio-film

(本文编辑 桂智刚)

(上接第 545 页)

Study on the model test of lattice beam anchor

Deng Juntao^{1,2}, WANG Juanjuan¹, MEN Yuming³

(1. School of Civil Engineering Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China; 2. China Jikan Geotechnical Institute, Xi'an 710043, China. 3. Geology Engineering and Geomatics College of Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: This paper discussed the stress characteristics and rules about anchor lattice beam based on the scientific indoor model test. This test has load on the tailing edge of the slope, get the press and strain distribution of the bottom soil of the lattice beam by the pressure cell and strain gauge put on the lattice beam. The result shows that with the increase of load pressure, the press and strain on the lattice beam increases, but the press on the cantilever end and mid-span of the lattice beam became diminished and the strain increased. On the other hand, the press on the cross of the lattice beam became greater and the strain became diminished. Overall the press and strain distribution on the lattice beam present to be of a triangle type.

Key words: anchor lattice beam; model test; force distribution.

(本文编辑 吴海西)