

多节点加载预应力锚索格构梁室内模型试验研究

刘晶晶^{1,2}, 赵其华², 张文居^{2,3}, 彭盛恩¹, 周勇¹, 于宇¹

(1. 核工业西南勘察设计研究院有限公司, 成都 610061;

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, 成都 610059; 3. 四川广甘高速公路有限责任公司, 成都 610041)

摘要:目前,计算格构梁的力学模型中,多采用弹性地基梁法进行计算,而对于边坡上的格构梁,受坡角和锚索倾角的影响,梁底面摩擦力的存在使得格构梁受力变得复杂。因此,在计算中采用合理的计算模型真实地反映格构梁的受力状态显得尤为重要。通过对多节点加载预应力锚索格构梁室内模型试验的研究,认为受边坡坡角和锚索倾角的影响,格构梁底面存在的摩擦力对格构梁的变形和受力状态有较大影响,并对实测结果与理论计算结果进行了对比分析,认为采用考虑摩擦的 Winkler 弹性地基梁模型能很好地反映格构梁的实际受力状态,更适合于工程应用。

关键词:预应力; 格构梁; 多节点; 模型试验; 摩擦; Winkler 弹性地基梁

中图分类号: TU476

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)02-0264-03

Study on Model Experiment of Multi-nodal Load Prestressed Anchor-rope and Lattice Beam in Laboratory

LIU Jing-jing^{1,2}, ZHAO Qi-hua², ZHANG Wen-ju^{2,3}, PENG Sheng-en¹, ZHOU Yong¹, YU Yu¹

(1. Limited Company of Nuclear Industry Southwest Institute of Survey and Design, Chengdu 610061, China;

2. National Specialty Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 3. Sichuan Expressway Construction Development Corporation, Chengdu 610041, China)

Abstract: At the present, the mechanical calculation models of lattice beam usually adopt elastic foundation beam method. But for the lattice beam on the slope, the existence of bottom surface friction makes the stress complex. Therefore, it is important to reflect the true stress of lattice beam with reasonable calculation model. Through study on model experiment of multi-nodal load prestressed anchor-rope and lattice beam in laboratory, it is thought that the friction on base surface may directly affect deformation and stress towards lattice beam on slope because of the effect of slope angle and anchor-rope dip angle. Based on this point, this paper adopts method of Winkler elastic foundation beam which considers friction in theoretical calculation, and compares test results with the calculated ones, it is conformed that this foundation model can reflect the stress condition of grade beam, and make the calculated results more reliable and suitable for engineering application.

Key words: prestress; lattice beam; multi-nodal; model experiment; friction; Winkler elastic foundation beam

在预应力锚索格构梁的力学计算模型中,主要研究的是锚索格梁与其下岩土体(即地基)的相互作用,因此,预应力锚索格梁的力学模型主要由其下岩土体的地基模型所决定。目前计算格构梁的力学模型中,对格构梁和周围岩土的作用多采用弹性地基梁法进行计算,在弹性地基梁模型中,将格构梁视为地基上的梁。不同的弹性地基梁模型,主要区别在于地基模型的选取不同。对于边坡上的格构梁,受坡角和锚索倾角的影响,梁底面摩擦力的存在使得格构梁受力变

得复杂,此时选取正确的、合理的地基模型便显得尤为重要。本文在前期的单节点加载预应力锚索格构梁模型试验^[1]的基础上进行了多节点加载模型试验研究,并与理论计算进行对比分析,找出更为符合实际、适合工程应用的格构梁计算方法。

1 多节点加载模型试验

1.1 模型格构梁的选用

本次试验模型格构梁纵梁、横梁截面尺寸均选用

1.6 m×60 mm×80 mm,跨距 600 mm,悬臂长 200 mm(见图 1),模型材料的选取、制作过程及其与原型的相似性等参见文献[1-2],此处不做过多阐述,模型横剖面见图 2。

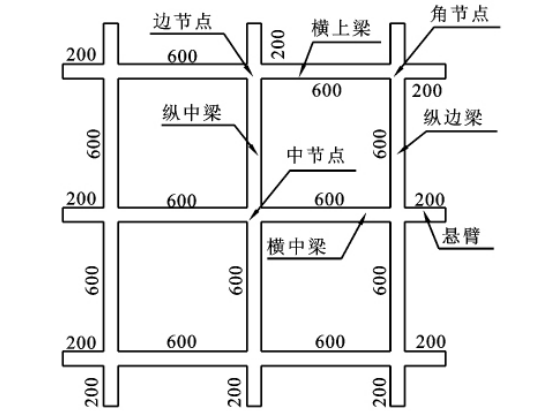


图 1 模型格构梁示意图(单位:mm)

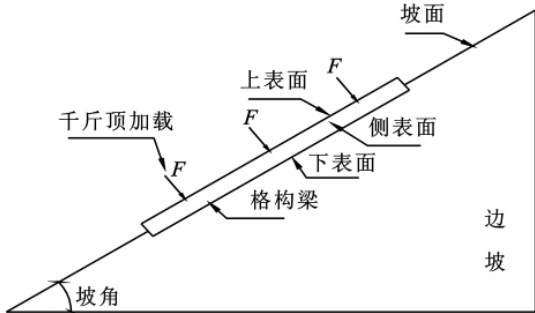


图 2 模型横剖面示意图

1.2 应变片的布置

格构梁上、下表面沿着梁跨的方向将应变片粘贴

在中轴线上,可测得上下表面的拉、压应变;侧表面应变片的粘贴与中轴线成 45°,用来测量由扭矩引起的剪应变,通过测得的应变来计算格梁弯矩及剪力。根据所要研究的具体内容以及加载方式,在格构梁右上角 1/4 框架内布置应变片,具体布置如图 3 所示。

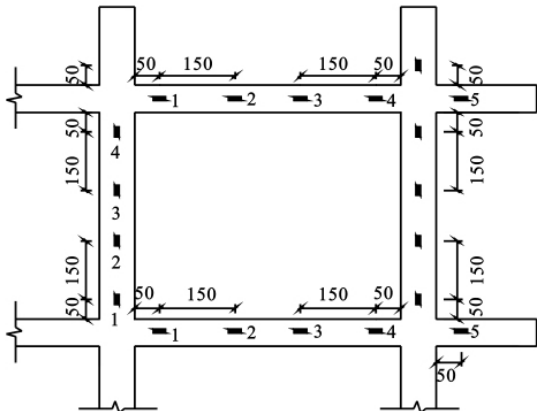


图 3 应变片布置图

1.3 加载方式

本次试验采用多节点加载模型格构梁来模拟实际工程中的预应力锚索格构梁,预应力方向与坡面法向的夹角为 25°,以模拟锚索倾角,分两级加载,各级加载荷载值为 0.1 MPa。

1.4 测试结果分析

由于横梁摩擦力沿梁宽方向分布,因此摩擦力对其内力影响较小,因此,本节只对纵梁测试结果进行分析。根据测试结果计算出来的纵梁弯矩、剪力见表 1。

表 1 格构梁内力计算结果

加载等级	内力	纵中梁				
		1	2	3	4	5
第一级	M/(kN·m)	0.053	0.049	0.045	0.055	0.061
	Q/kN	0.201	−0.201	0.134	−0.468	−0.602
第二级	M/(kN·m)	0.088	0.085	0.078	0.093	0.096
	Q/kN	0.067	0.602	0.602	−0.067	−0.401
加载等级	内力	纵边梁				
		1	2	3	4	5
第一级	M/(kN·m)	0.086	0.053	−0.052	−0.041	−0.052
	Q/kN	−0.535	−0.602	−0.268	−0.535	−0.134
第二级	M/(kN·m)	0.124	0.115	−0.016	0.095	0.080
	Q/(kN)	0.000	−0.201	0.067	1.003	0.401

从表 1 中的数值可以看出,纵梁弯矩在跨中处以及荷载作用处较大,随着外荷载值的增大,在跨中处很有可能出现最大负弯矩,由此可以推测格梁的危险截面有可能是在跨中或加载节点处;格构梁跨中和悬臂处剪力较大,在实际工程中进行配筋时在此两处可适当增大箍筋间距。

2 理论计算方法

2.1 主要的地基模型

弹性地基梁主要的地基模型有以下几种^[3]:文克尔地基模型、利夫金模型、弹性半无限地基模型、有限压缩层地基模型、双参数地基模型、非线性模型等,这

些模型大多与实际地基条件出入较大,存在很多不确定因素,计算繁琐,并不适合工程设计人员实际运用。

2.2 考虑摩擦的 Winkler 弹性地基梁法

Winkler 地基模型实质上是将地基看作无数分割开的小土柱,表现为一根根弹簧组成的一系列各自独立的弹簧体系。然而,当存在水平作用力时,地基梁可能由受弯状态转变为偏心受压状态,对地基梁的配筋设计影响很大。尤其是当地基比较坚硬且地基与梁的接触较为粗糙时,地基与梁之间的水平摩擦阻力的存在是明显的,此时就有必要考虑地基与梁之间的水平摩擦阻力的影响。

2.2.1 微分方程的建立 考虑摩擦的 Winkler 地基被视为具有竖向和水平反力的弹性支撑体,地基的竖向反力仍采用 Winkler 地基假设,即竖向反力与该点的沉陷成正比^[4-5],水平反力假设与梁底同地基之间的相对水平位移成正比,即地基的竖向反力 q_v 和水平反力 q_u 可表示为:

$$\left. \begin{aligned} q_v &= k_v \cdot \omega \\ q_u &= k_u (u - h_c \omega) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: k_v, k_u ——地基竖向和水平向的反应模量,通过对模型坡体进行压缩试验测定; ω, u ——梁的挠度和截面水平位移; h_c ——梁中性轴到梁底的距离。

从 dx 一段梁的外力平衡条件,可得到梁的内力——弯矩 M 、剪力 Q 、轴向力 N 的关系式:

$$\frac{dQ}{dx} = q + q_v \quad \frac{dN}{dx} = -q_u \quad \frac{dM}{dx} = V - h_c q_u \quad (2)$$

由方程(2)消去梁的内力,得到如下微分方程组:

$$\left. \begin{aligned} \omega^{(4)} + \frac{k_v}{EI} \omega + \frac{Ah_c}{I} u'' &= \frac{q}{EI} \\ u'' - \frac{k_u}{EA} u + \frac{k_u h_c}{EA} \omega &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中, E, I 和 A 分别为梁的弹性模量(通过混凝土应力应变曲线试验测定)、惯性矩和截面面积。

2.2.2 计算结果 现针对本次模型试验,考虑摩擦力对格梁的纵梁影响(横梁受摩擦力影响较小,故不予考虑),理论计算在多节点加载条件下纵梁的最大挠度 ω_m 、最大弯矩 M_m 、最大轴向力 N_m 和地基最大摩阻应力 Z_m , 计算结果见表 2。

表 2 ω_m, M_m, N_m 和 Z_m 计算结果

对应 格梁	$\omega_m /$ mm	$M_m /$ (kN · mm)	$N_m /$ kN	$Z_m /$ (kN · mm ⁻²)
纵中梁	0.0041	89.66	2.61	0.0034
纵边梁	0.0052	115.15	4.53	0.0064

从表 2 中可以明显看出纵边梁的变形和内力计算结果明显大于纵中梁,其中纵边梁的最大挠度 ω_m 和最大弯矩要大于纵中梁 27%~28%,而最大轴力和最大摩阻应力的差值则达到了 74%和 88%,产生

该差异的原因是由于纵边梁只受到左侧三根横梁的制约,而右侧的悬臂由于长度较小,其对纵边梁变形的约束完全可以忽略,而纵中梁左右均受到横梁的制约,因此变形较边梁小,由此亦可以看出在实际工程中整片格梁在坡脚、坡顶以及两侧边界处的边梁其变形及内力都要远远大于中间部分的格梁,在进行格梁内力计算时要分开考虑。

分析最大摩阻应力计算结果可以看出,当将其换算成总的摩擦力时,该值较大,且由于纵边梁和纵中梁在最大摩阻应力上的差异达到了 88%,比在挠度和弯矩上的差异大了 3 倍多,因此说明平行坡面的摩擦力对不同位置处的格梁变形的影响较大,因此在实际计算时不可忽略。

3 试验结果与理论计算的对比分析

通过上述分析,可知纵梁受摩擦力影响较大,现对纵梁的最大弯矩进行对比分析,纵中梁、纵边梁根据实测结果计算的最大弯矩与理论计算最大弯矩见表 3。

表 3 纵中梁、纵边梁最大弯矩对比 kN · mm

格梁	实测结果计算最大弯矩	理论计算结果
纵中梁	96.00	89.66
纵边梁	124.00	115.15

从表 3 中可以看出,实测最大弯矩同理论计算值总体上相差不大,说明考虑摩擦的 Winkler 地基梁计算方法较为合理,但理论计算值要略小于实测值,分析其原因是由于锚索作用力的相互叠加效应,使得纵中梁和纵边梁的弯矩值较理论计算值大出 3.7%和 7.7%,此外从该数值上可以看出纵边梁的差距要比纵中梁大出一倍左右,由此可以看出边梁的内力以及变形受外界条件影响较大,因此在进行格梁设计计算时要充分考虑到此点。

4 结论

(1)由于坡角及锚索倾角的存在,边坡上的预应力锚索格构梁受到底面摩擦力的影响,其受力状态变得复杂,因此在选取地基模型的时候有必要考虑平行坡面的力的作用;

(2)通过理论计算得出的梁底面的摩擦力较大,且其对不同位置处的格梁变形的影响较大,由此可以看出在进行边坡上格构梁设计计算时,对其梁底部的摩擦力不可忽略;

(3)对比试验测试结果与采用考虑摩擦的 Winkler 地基模型进行的理论计算结果,可以看出两者相差不大,说明了考虑摩擦的 Winkler 地基梁的计算方法较为合理,它能更好地反映地基梁的受力特性。

(下转第 270 页)

确定乔木林地植物措施因子时,综合考虑郁闭度和地表覆盖度两个指标。依据乔木林地植物措施因子赋值二维表^[14],当郁闭度的估算误差达到 $\pm 20\%$ 时,计算植物措施因子赋值的最大误差(详见表 2)。赋值最大误差均在 10%以内,本研究的郁闭度反演方法可作为区域土壤侵蚀监测时植物措施因子计算的参考。

4 结 论

(1) SPOT5 影像各波段 DN 值在郁闭度一致地块表现稳定。在研究区 58 个无云地块内,近红外、红、绿波段的 DN 值的最大偏离分别为 13.8%,15.65%,24.52%,偏离平均值分别为 10.11%,10.94%,17.78%。

(2) SPOT5 影像的红、绿波段反演郁闭度的最佳波段组合。SPOT5 影像红、绿波段 DN 值与郁闭度相关性较高,近红外波段的相关性较低。组合红、绿波段 DN 值建立反演郁闭度的方程,判定系数 R^2 为 0.66。在 20 个地块上,反演结果与实地调查数据正、负向最大偏差为 +16.92%, -16.06%,偏差均值为 -2.08%。根据实地调查郁闭度分级统计反演精度,各级计算郁闭度值偏离均小于 15%。

(3) 当郁闭度的估算误差为 $\pm 20\%$ 时,植物措施因子赋值的最大误差 $<10\%$,本研究可作为区域土壤侵蚀监测时植物措施因子计算的参考。

参考文献:

- [1] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [2] 李永宁,张宾兰,秦淑英,等. 郁闭度及其测定方法研究与应用[J]. 世界林业研究,2008,21(1):40-46.
- [3] Liu B Y, Zhang K L, Xie Y. An Empirical Soil Loss Equation[M]// Process of Soil Erosion and Its Environment Effect, Proceedings 12th International Soil Conservation Organization Conference, Beijing: Qinghua University Presss,2002.
- [4] Vales D J, Bunnell F L. Comparion of methods for esti-

mateing forest overstory cover I. Observer effects[J]. Can. J. for Res.,1988,18:606-609.

- [5] Jennings S B, Borwn N D, Sheil D. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures[J]. Forestry,1999,72(1):59-73.
- [6] 李裕国. 森林资源管理和检测新技术例解. II:微细网点板航片郁闭度判读应用例[J]. 林业勘察设计,1995(3):5-11.
- [7] PU R L, Gong P. Wavelet transform applied to EO-1 hyperspectral data for forest LAI and crown closure mapping[J]. Remote Sensing of Environment,2004,91(2):212-224.
- [8] 谭炳香,李增元,陈尔学,等. Hyperion 高光谱数据森林郁闭度定量估测研究[J]. 北京林业大学学报,2006,28(3):96-101.
- [9] Boyd D S, Foody G M, Ripple W J. Evaluation of approaches for forest cover estimation in the Pacific Northwest, USA, using remote sensing[J]. Applied Geography,2002,22(4):375-392.
- [10] Choudhury B J, Ahmed N U, Idso S B, et al. Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations[J]. Remote Sensing of Environment,1994,50(1):1-17.
- [11] Gillies R R, Carlson T N, Gui J, et al. A verification of the 'triangle' method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurement of Normalized difference vegetation Index (NDVI) and surface radiant temperature[J]. International Journal of Remote Sensing,1997,18(15):3145-3166.
- [12] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室. 第一次全国水利普查培训教材之六:水土保持情况普查[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.
- [13] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [14] 蔡建勤. 区域土壤侵蚀遥感调查与抽样调查方法比较[D]. 北京:北京师范大学,2010.

(上接第 266 页)

参考文献:

- [1] 马迎娟. 预应力锚索格构梁复合结构的模型试验研究[D]. 成都:成都理工大学,2005.
- [2] 刘晶晶. 多节点加载预应力锚索格构梁模型试验研究[D]. 成都:成都理工大学,2006.
- [3] 王龙,朱彦鹏,李庆福. 弹性地基梁设计方法比较与分析[J]. 甘肃科技,2002,18(1):39-40.
- [4] 周继凯,杜钦庆. 考虑水平力作用的改进型 Winkler 地基模型[J]. 河海大学学报:自然科学版,2004,32(6):669-673.
- [5] 谈至明. 具有水平摩阻力的弹性地基上梁的解[J]. 力学与实践,1997,19(3):33-35.