

预应力对预应力梁振动的影响*

吕中荣¹, 罗绍湘², 刘济科¹

(1 中山大学应用力学与工程系, 广东 广州 510275)

(2 香港理工大学土木及结构工程系, 香港, 九龙, 红磡)

摘 要: 研究了预应力梁的自由振动和受迫振动响应。将预应力桥梁简化为简支的欧拉梁模型, 并利用有限元法加以离散。讨论了预应力对梁固有频率和受迫振动响应的影响。研究表明预应力对梁的低阶频率和位移响应的影响较大。

关键词: 振动; 预应力; 动力学; 动态响应

中图分类号: TU 378 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 02-0119-03

预应力在大跨度桥梁结构中普遍使用。预应力能够控制混凝土的开裂, 减少结构变形, 增强预应力构件的强度, 因此预应力是预应力结构的重要参数之一^[1]。在设计荷载或超载情况下, 经过长期服役, 由于混凝土的徐变和预应力筋的松弛等原因, 桥板可能会损失一部分预应力。若预应力严重小于设计值, 将会影响桥梁结构的正常服役能力, 严重时会产生安全性问题。

Saïdi 等^[2]给出了模态频率随预应力而改变的实验测试结果。他们的研究表明, 高阶模态频率对预应力的灵敏度会逐步降低, 预应力对少数低阶频率的影响比对高阶的影响明显。Miyamoto 等^[3]研究了无粘结预应力筋梁的性态, 并且给出了在给定预应力值的情况下预测梁模态频率的公式, 并利用实验室测试和现场测试结果进行了验证。Abraham 等^[4]研究了预应力对梁的模态的影响, 结果表明预应力对梁的振动模态影响很小。

以往的研究很少涉及预应力对动态响应的影响的研究, 本文讨论预应力对预应力梁振动的影响。为简单起见, 在本文中预应力桥梁离散为简支梁有限元模型。研究了预应力对梁的自由振动频率及其对受迫振动响应的影响。

1 运动方程

预应力梁的有限元运动方程可以表示为:

$$[M] \{\ddot{x}\} + [C] \{\dot{x}\} + [K] \{x\} = \{P(t)\} \quad (1)$$

其中, x 为梁的位移列向量, $\dot{x}$ 和 $\ddot{x}$ 分别为对时间的一阶和二阶导数, M 为系统质量矩阵, C 系统阻尼矩阵, 本文采用常用的 Rayleigh 阻尼模型^[5],

$\{P(t)\}$ 为节点力向量, $K = K - K_g$, K 为整体刚度矩阵, K_g 为几何刚度矩阵, 可表示如下

$$[K_g] = \sum_{i=1}^N [k_g]^i \quad (2)$$

这里, N 为有限单元总数。Geraïdin and Rixen^[6]指出单元几何刚度矩阵可以写为:

$$[k_g]^i = \frac{T^i}{30l} \begin{bmatrix} 36 & 3l & -36 & 3l \\ 3l & 4l^2 & -3l & -l^2 \\ -36 & -3l & 36 & -3l \\ 3l & -l^2 & -3l & 4l^2 \end{bmatrix}, \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

T^i 为作用于第 i 个梁单元上的轴向预应力, l 为有限单元的长度。

这里, 我们假定预应力筋没有偏心, 它沿着梁的中性轴分布并且没有同混凝土粘结在一起, 在梁长的方向上为一个常数。虽然预应力筋的偏心会产生一个静态的力矩对梁的变形产生影响, 但是这不会影响梁的动态特性, 因此该力矩项没有在方程 (1) 中出现。方程 (1) 同样适用于预应力钢筋有偏心的情况。

1.1 无阻尼自由振动 在方程 (1) 中, 当外激励力取为零, 并且忽略阻尼矩阵, 无阻尼自由振动方程可以表示为:

$$[M] \{\ddot{x}\} + [K] \{x\} = \{0\} \quad (4)$$

此时, 梁的固有振动频率可以从方程 (4) 中由特征方程求出。

* 收稿日期: 2005-04-04

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20050558032); 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目 (TRAPOYT2001); 广东省自然科学基金资助项目 (05003295)

作者简介: 吕中荣 (1975 年生), 男, 博士, 讲师; 通讯联系人: 刘济科, E-mail: jikelu@hotmail.com

1.2 受迫振动响应 梁的受迫振动响应可以对方程 (1) 用直接积分法求得, 如工程中常用的 Newmark- β 法^[7]。这里不再赘述。

2 算例分析

图 1 所示为一 30 m 长的简支欧拉-伯努利梁, 其轴向作用的预应力大小为 $0.3T_{cr}=8.2247\times 10^6$ N, T_{cr} 为梁的临界压力。该梁分成 12 个梁单元, 每个节点 3 个自由度。假定预应力沿着梁长度方向为一个常数。梁的参数为: $\rho A=5.0\times 10^3$ kg/m, $E=5\times 10^{10}$ N/m², $L=30$ m, $b=0.6$ m, $h_0=1.0$ m。抗弯刚度 $EI=2.5\times 10^9$ Nm²。当没有预应力时梁前 5 阶固有频率分别为 1.23 4.94 11.10 19.72 和 30.82 Hz

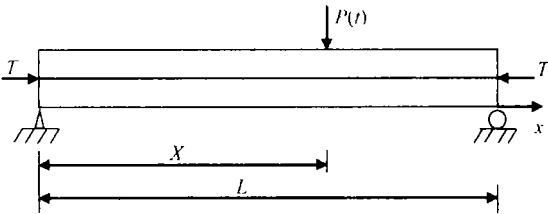


图 1 预应力梁模型
Fig. 1 The prestressed beam model

2.1 预应力对模态频率及动态响应的影响 表 1 列出了当预应力值为 $T=0.1T_{cr}$, $T=0.3T_{cr}$ 和 $T=0.5T_{cr}$ 时相应的梁前 5 阶模态频率。由该表可以看出轴向预应力对梁低阶频率的影响比高阶的影响大。随着预应力的增加梁的频率逐步降低。这是由于预应力对梁产生一种“压缩软化”的作用^[8], 相当于降低了梁的刚度。

表 1 对应于不同预应力梁的模态频率

Tab. 1 Modal frequencies corresponding to different prestress force

预应力水平	频率 Hz				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
$T=0$	1.23	4.93	11.10	19.72	30.82
$T=0.1T_{cr}$	1.17	4.87	11.04	19.66	30.76
$T=0.3T_{cr}$	1.03	4.75	10.91	19.54	30.63
$T=0.5T_{cr}$	0.87	4.62	10.80	19.42	30.51

2.2 预应力对强迫振动响应的影响 这里研究预应力梁的强迫振动响应并且同无预应力时梁的振动响应进行比较。外激励力设为 $F(t)=12\,000[1+0.1\sin(10\pi t)+0.05\sin(40\pi t)]$ N, 其作用于离梁左端 7 m 的地方。在计算动态响应时, 前六阶阻尼比都取为 0.02。利用 Newmark 直接积分法来计算梁的动态响应^[7]。图 2 和图 3 给出了不同预应力大小时, 梁上 1/4 跨, 1/2 跨, 3/4 跨的地方相应

的位移、速度和加速度响应。对比两图, 可以看出预应力对位移响应的影响最大, 对加速度的影响最小, 并且预应力愈大, 对梁的振动响应的影响愈大。

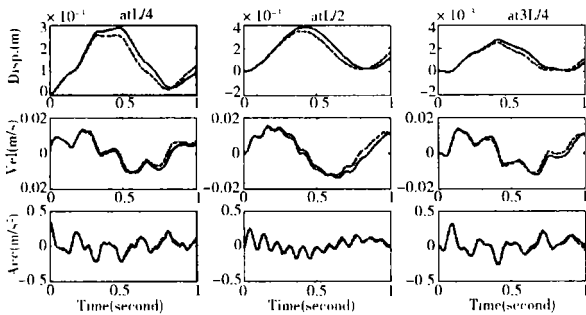


图 2 有无预应力时响应的比较
($T=0.1T_{cr}$; - 有预应力; - 无预应力)

Fig. 2 Comparison of response with and without prestress force
($T=0.1T_{cr}$; - With Prestress force - Without prestress force)

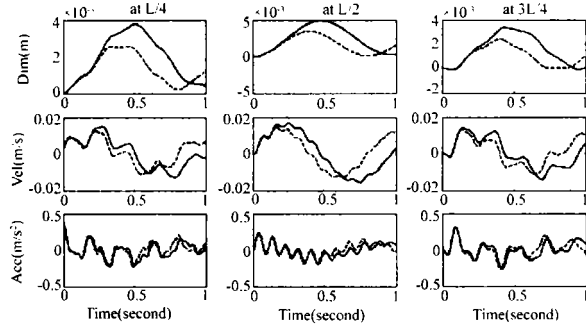


图 3 有无预应力时响应的比较
($T=0.3T_{cr}$; - 有预应力; - 无预应力)

Fig. 3 Comparison of response with and without prestress force
($T=0.3T_{cr}$; - With Prestress force - Without prestress force)

3 小结和展望

本文研究了预应力对梁振动的影响。数值算例表明预应力对低阶模态频率的影响相对高阶大, 并且对位移响应的影响比对速度和加速度响应的影响大。预应力越大, 其对振动响应的影响就越明显。这表明可以利用预应力梁的响应来识别结构中预应力的值。这有待于本文作者继续研究。

参考文献:

[1] LN T Y, BURNS N H. Design of Prestressed Concrete Structures[M]. 3rd ed New York: John Wiley and Sons, 1981.

[2] SAHIDIN DOUGLAS B, FENG S. Prestress Force Effect on Vibration Frequency of Concrete Bridges[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1994, 120(7): 2233-2241.

(下转第 128 页)

Biotransformation of (*D*)-Limonene by Marine Bacteria *Aeromonas hydrophila* and *Vibrio vulnificus*

LAN Wen-jian¹, LI Hui-jin², CAI Chuang-hua³, ZHOU Yi-pin³, LIN Yong-deng²

(1 School of Pharmaceutical Sciences Sun Yat sen University, Guangzhou 510080 China

2 School of Chemistry and Chemical Engineering Sun Yat sen University, Guangzhou 510275 China

3 South China Sea Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Abstract The biotransformation products of (*D*)-limonene by marine bacteria *Aeromonas hydrophila* and *Vibrio vulnificus* which collected from the Daya Bay of the South China Sea were investigated. A series of mono-, sesqui-, di- and tri-terpenoids with various structural types which produced by bio-oxidation, hydrogenation, hydrolyzation, esterification and cyclic cleavage toward (*D*)-limonene were analyzed by GC-MS. Microorganism biotransformation of monoterpene will provide the endless opportunities to obtain some significant bioactive terpenoids and to utilize the abundant monoterpene resource.

Key words marine bacteria, *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio vulnificus*, limonene, biotransformation

(上接第 120 页)

- | | |
|--|--|
| [3] MIYAMOTO A, TEIK NAKAMURA H, et al Behavior of prestressed beam strengthened with external tendons[J]. Journal of Structural Engineering ASCE, 2000, 126(9): 1033 - 1044 | [6] GERADIN M, RIKEN D. Mechanical Vibration Theory and Application to Structural Dynamics[M]. New York: John Wiley and Sons, 1994. |
| [4] ABRAHAM M A, PARK S Y, STUBBS N. Loss of prestress prediction on nondestructive damage location algorithms[J]. SPIE Smart Structures and materials, 1995, 2446: 60 - 67. | [7] NEWMARK N W. A method of computation for structural dynamics[J]. Journal of Engineering Mechanics Division ASCE, 1959, 85(3): 67 - 94. |
| [5] BATHE K J. Finite Element Procedures in Engineering Analysis[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1982. | [8] TSE F S, MORSE I E, HINKLE R T. Mechanical Vibrations Theory and Applications[M]. Boston: Allyn and Bacon Inc, 1978. |

Effects of Prestress Force on Vibration of a Prestressed Beam

LÜ Zhong-rong¹, LAW Sit-seong², LU Ji-ke¹

(1 Department of Applied Mechanics and Engineering Sun Yat sen University, Guangzhou 510275 China

2 Civil and Structural Engineering Department The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong)

Abstract Prestressing force has been used widely with long span structure and it is the most important factor to describe the load - carrying capacity of the structure. Free and forced vibrations of the beam are studied. The prestressed bridge is modeled as a simply supported Euler-Bernoulli beam and it is discretized using finite element method. The effects of the prestress force on the modal frequencies and dynamic responses are discussed. It is found that the effects of prestress force on the lower natural frequencies and the dynamic displacement response of the beam are large.

Key words vibration, prestress force, dynamics, dynamic response