

框剪悬挂结构的动力特性分析

徐彬, 田毅, 杨艳华

(昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 介绍了悬挂结构特点, 利用奇异函数方法建立了悬挂框剪结构的侧移刚度矩阵和动力方程. 采用 Matlab 算法语言编程计算了悬挂框剪结构的频率和阵型, 对影响框剪结构动力特性的参数(主结构的侧移刚度, 分层悬挂时的悬挂位置)进行了计算和讨论.

关键词: 悬挂框剪结构; 动力特性; 计算分析; 高层建筑

中图分类号: TU311.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2004)02-0080-04

Dynamic Property Analysis on Suspend Framed Shear Wall Structures

XU Bin, TIAN Yi, YANG Yan-hua

(Faculty of Architecture Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: The properties of suspended structure are introduced and the singular function method is used to derive the lateral displacement stiffness matrix and the dynamic equations. Frequencies and modes of the structure are computed by Matlab language. The structural parameters such as lateral displacement stiffness of the main structure and suspended location, which influence structural properties, are calculated and discussed.

Key words: suspended-frame shear wall structure; dynamic properties; calculate analysis; tall building

0 引言

悬挂结构是将建筑物全部或部分的楼层通过吊杆悬挂于巨型框架梁或核心筒悬臂梁之上的一种新型多、高层结构体系. 1938年 WILLIAMS 首先提出了用悬挂原理建筑超高层结构的设想, 自20世纪50年代后期, 高层悬挂结构进入实用阶段, 在世界范围内, 一些高层悬挂结构建筑相继建成, 如乌拉圭蒙得维的亚的 EL PILAR 公寓建筑, 南非约翰内斯堡标准银行大楼以及香港汇丰银行大楼等, 都是采用悬挂结构的典型实例. 在工业建筑中, 发电厂的悬挂锅炉体系因其良好的抗震性能而被广泛采用. 日本的新泻地震和十胜冲地震都有悬挂锅炉受到冲击, 但都不曾发生严重破坏. 中国唐山大地震中, 陡河电厂遭到的地震冲击高出设计烈度3度, 其悬挂锅炉主体却安然无恙, 仅有局部构件发生严重破坏. 因此, 悬挂结构的抗震性能引起了国内学者的广泛重视, 已成为目前研究的热点问题. 悬挂结构体系的类型大致可分为两类, 一类是巨型框架悬挂体系(即内挂式), 另一类是核心单筒悬挂结构(即外挂式). 文献[1]利用单摆模型计算和分析了框架加悬挂结构的动力特性, 研究表明结构的的前几阶频率减小, 周期增大, 对结构抗震有利.

考虑到在工程实际中, 框剪结构形式大量应用, 本文提出了新的悬挂框架加剪力墙的结构体系, 并运用作者提出的奇异函数方法建立结构的计算模型和侧移刚度矩阵, 计算和分析了悬挂框剪结构的频率和振型特性, 初步研究了结构参数对动力特性的影响.

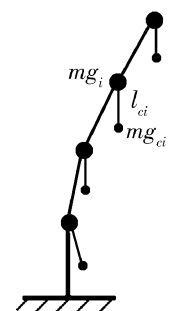


图1 计算模型

1 计算模型及分析方程建立

收稿日期: 2002-12-19. 基金项目: 云南省自然科学基金主任基金项目(项目编号: 2000E0004R).

第一作者简介: 徐彬(1963~), 男, 博士. 主要研究方向: 高层建筑结构. E-mail: xubin@mail.ynedu.net.cn

1.1 计算模型

高层框剪结构由框架和剪力墙两部分结构组成, 剪力墙承受主要的水平荷载. 由于结构刚度较大, 整体变形均匀, 框剪结构形式被广泛采用. 本文考虑将楼面改为悬挂楼层, 从而形成了带悬挂的框架结构. 其计算模型如图1所示. 每个楼层有二个自由度, 其一为主体结构自由度, 其二为悬挂楼层自由度.

1.2 悬挂楼层刚度

设第 i 层悬挂楼层的层高为 l_{ci} , 悬挂楼面质量为 mg_{ci} , 悬挂楼层刚度可表示为

$$K_{ci} = mg_{ci}/l_{ci} \quad (1)$$

对有 n 个悬挂楼层的刚度矩阵为一对角矩阵, 表示为

$$K_c = \begin{bmatrix} k_{ci} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & k_{ci} \end{bmatrix} \quad (2)$$

1.3 悬挂框剪结构刚度矩阵

不加悬挂时的框剪结构的侧移刚度矩阵 $[D]$ 由作者提出的奇异函数方法建立, 详细推导过程及公式参见文献[4]. 由此得到考虑悬挂楼层后的结构刚度矩阵为

$$[K] = \begin{bmatrix} D + K_c & -K_c \\ -K_c & K_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

1.4 分析方程建立

在加悬挂之后, 结构自由度由 n 个变为 $2n$ 个, 相应的自由振动方程为

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

其中 $[K]$ 由(3)式确定, $[M] = \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix}$, $M = \text{diag}[m_i]$ 为主体框剪结构集中质量; $M_c = \text{diag}[M_{ci}]$ 为悬挂楼面的集中质量. 特征方程为

$$\{[K] - \omega^2[M]\}\{A\} = \{0\} \quad (5)$$

式中 $\{A\} = \{A_0, A_c\}^T$, A_0 为主体结构振型, A_c 为悬挂楼面振型.

2 实例计算与参数分析

2.1 实例计算

实例选自文献[4], 十层框剪结构, 层高 $h_1 = 3.605$ m, $h_2 \sim h_9 = 3.5$ m, $h_{10} = 3$ m, 柱截面 0.3 m $\times$ 0.4 m, 梁截面 0.3 m $\times$ 1.0 m, $E = 4.0 \times 10^4$ kN/m². 楼层总质量分别为 $M_1 \sim M_9 = 8\,000$ kN, $M_{10} = 4\,000$ kN. 悬挂体质量与主体结构质量比为 0.2 , 挂体长度等于 3 m. 采用 Matlab 编程计算, 原结构频率和加悬挂后结构频率见表1, 原结构和加悬挂后结构的振型如图2、图3所示.

表1 结构频率

原结构	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9	ω_{10}
	0.906 2	3.773 3	9.160 6	17.003 6	27.282 3	39.849 2	54.325 9	69.643 0	83.475 0	92.360 5
加悬挂结构	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9	ω_{10}
	0.835 2	1.727 8	1.762 6	1.766 4	1.767 2	1.767 5	1.767 6	1.767 7	1.767 7	1.807 3
	ω_{11}	ω_{12}	ω_{13}	ω_{14}	ω_{15}	ω_{16}	ω_{17}	ω_{18}	ω_{19}	ω_{20}
	2.040 5	3.880 3	9.192 3	17.019 4	27.294 5	39.856 8	54.332 0	69.648 2	83.479 4	92.364 3

从频率和振型图可以看出加悬挂楼层后结构频率和振型都增加一倍. 结构的一阶频率减小, 周期增大, 对结构的抗震有利, 同时也看出频率明显地分为两部分, 前十个频率接近于单摆的频率, 且小于单摆的频率, 后十个频率接近于原结构的频率, 且大于原结构的频率. 振型也明显分为两个部分, 前十个振型表现为主结构基本不动, 悬挂体在振动, 后十个振型表现为悬挂体基本不动, 主结构在振动.

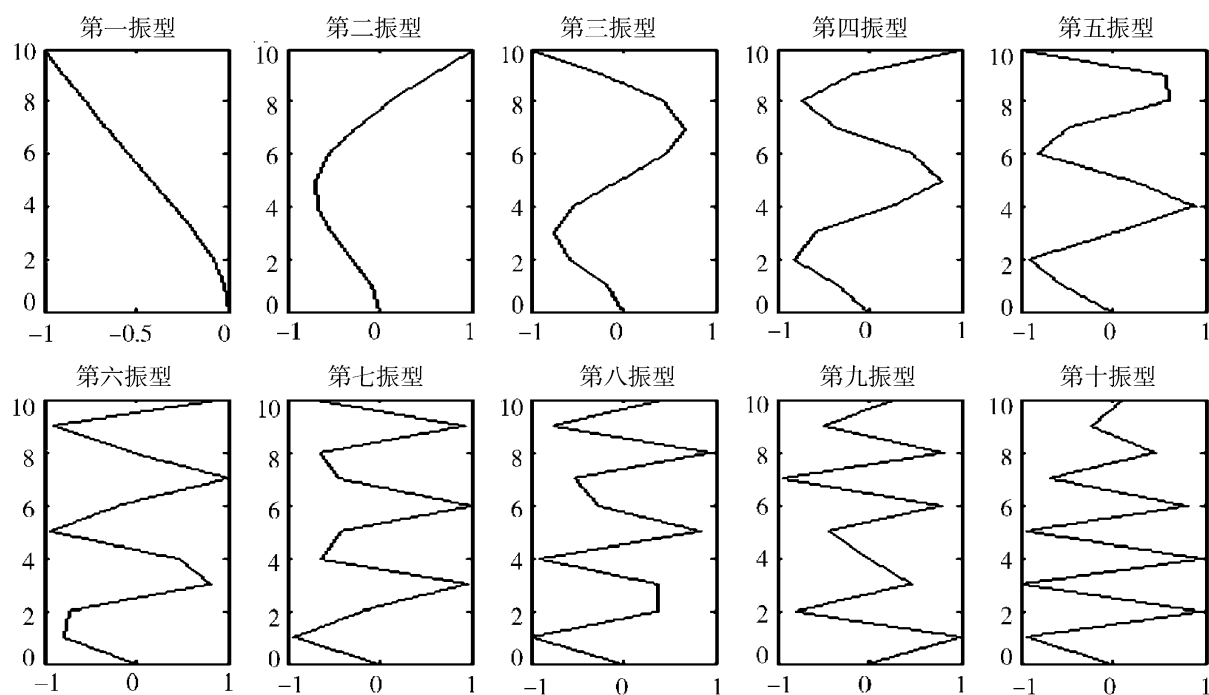
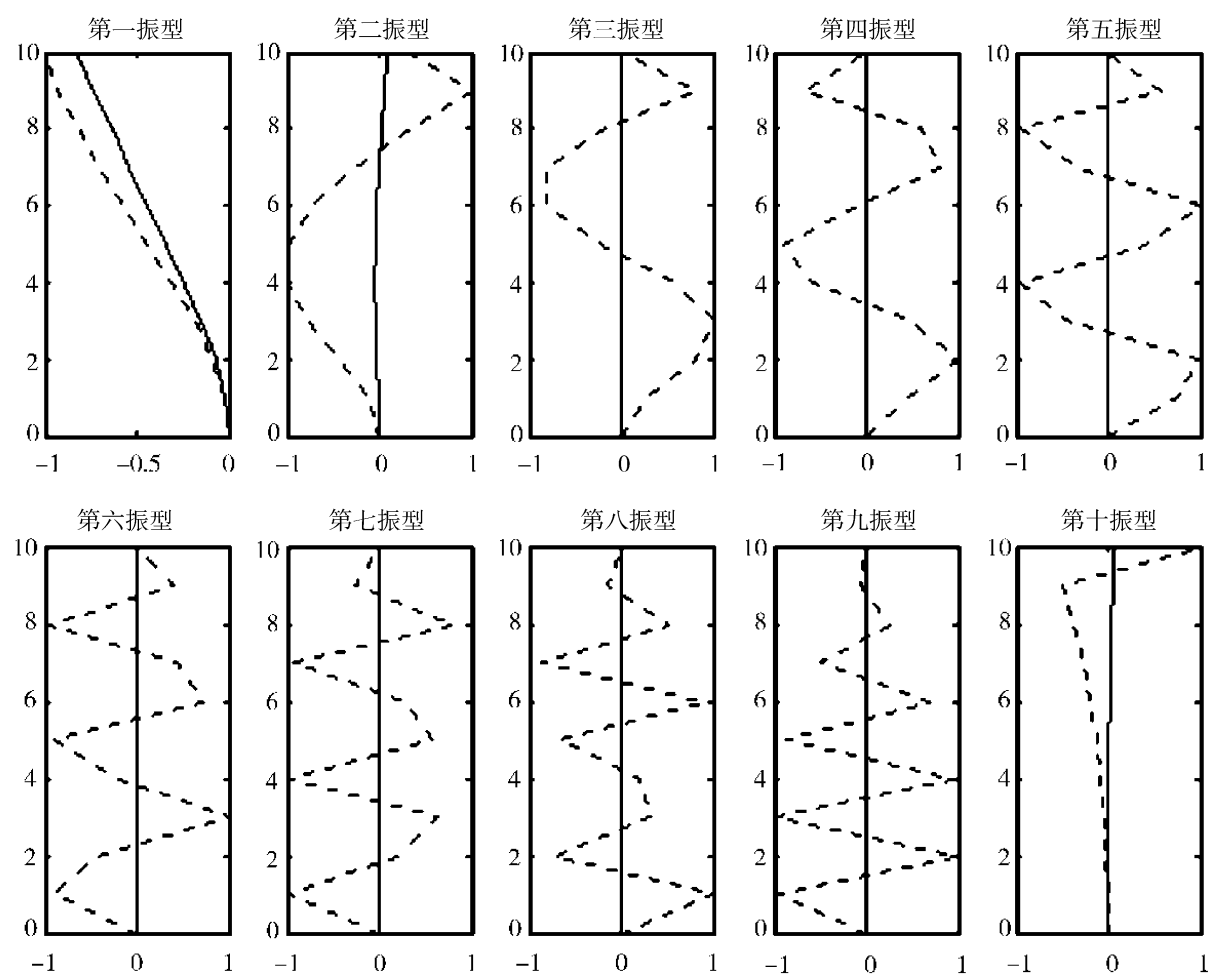


图2 原结构的振型



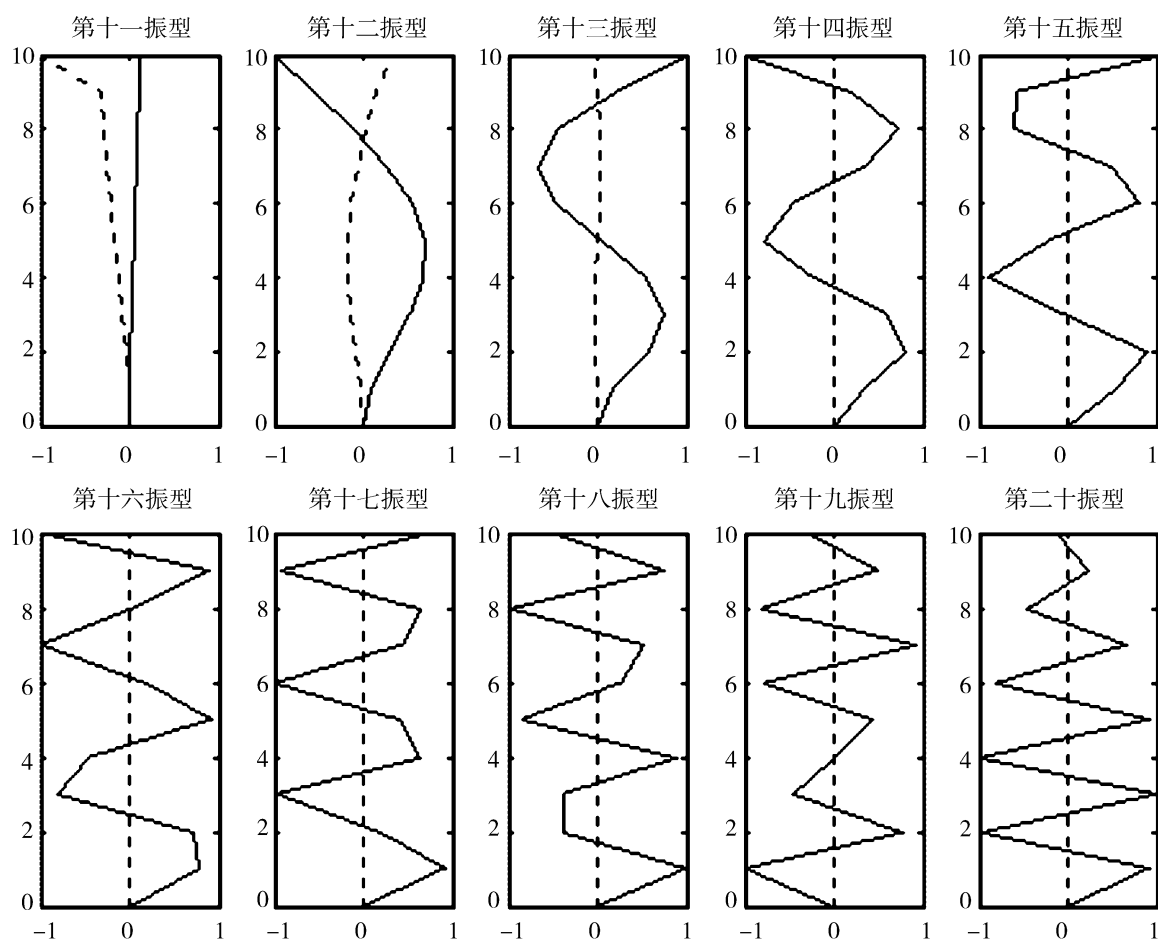


图 3 悬挂结构的振型(——悬挂体振型, - - - - 主结构振型)

2.2 参数对频率影响计算

只在一个楼层上悬挂时,频率计算结果见表 2. 由表 3 可以看出随着悬挂层位置的上升,第一频率逐渐减小,而对高阶频率基本没有影响. 悬挂位置越高,对结构的频率振型影响越大,减震效果越明显.

表 2 单层悬挂频率

i 楼层	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9	ω_{10}	ω_{11}
2	1.669 2	3.774 5	9.160 9	17.003 6	0.904 1	27.282 3	39.849 2	54.325 9	69.643 0	83.475 0	92.360 5
4	1.670 2	3.779 9	9.160 8	17.003 6	0.880 6	27.282 3	39.849 2	54.325 9	69.643 0	83.475 0	92.360 5
6	1.705 9	3.777 7	9.160 8	17.003 6	0.819 9	27.282 3	39.849 2	54.325 9	69.643 0	83.475 0	92.360 5
8	1.755 6	3.773 5	9.160 7	17.003 6	0.729 7	27.282 3	39.849 2	54.325 9	69.643 0	83.475 0	92.360 5
10	1.857 7	3.783 5	9.161 1	17.003 6	0.738 8	27.282 3	39.849 2	54.325 9	69.643 0	83.475 0	92.360 5

表 3 变厚度时频率

t	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9	ω_{10}
0.2	0.618 2	1.750 8	1.647 9	1.660 6	1.670 0	1.672 1	1.672 8	1.673 0	1.673 1	1.568 8
0.3	0.741 2	1.607 7	1.648 3	1.664 8	1.671 1	1.672 5	1.673 0	1.673 1	1.673 2	1.757 2
0.4	0.841 3	1.625 9	1.648 5	1.666 9	1.671 6	1.672 7	1.673 0	1.673 2	1.673 2	1.761 6
t	ω_{11}	ω_{12}	ω_{13}	ω_{14}	ω_{15}	ω_{16}	ω_{17}	ω_{18}	ω_{19}	ω_{20}
0.2	2.059 2	3.359 9	7.664 1	14.128 7	22.635 9	33.048 7	45.049 1	57.749 1	69.219 2	76.588 1
0.3	2.082 1	3.957 1	9.225 6	17.037 6	27.303 2	39.863 4	54.336 3	69.651 1	83.481 7	92.366 5
0.4	2.106 5	4.483 1	10.559 1	19.517 7	31.281 8	45.672 4	62.253 0	79.797 1	95.640 4	105.817 8

(下转第 102 页)

4 结语

1) 对于重要工程,粉砂的液化判别宜同时采用不同测试方法进行对比计算,综合分析后作出判别结论.静力触探试验人为影响因素少,其测试精度较高,静探判别式经修正后用于粉砂的液化判别具有一定的实际意义.

2) 昆明地区粉砂粘粒含量一般为 6% ~ 12% 之间,应考虑其对抗液化的影响.静力触探判别式中粉砂的土性综合影响系数 a_p 建议用实测粘粒含量代入 $\sqrt{\frac{3}{\rho_c}}$ 进行计算.粉土可按《岩土工程勘察规范》^[2] 取.

3) 需注意静力触探试验 q_c 的取值:砂层厚度小于 1.0 m,上下土层较软时, q_c 取大值;砂层厚度大于 1.0 m 时, q_c 取平均值.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国建设部.建筑抗震设计规范 GB5001-2001[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.15~26.
- [2] 中华人民共和国建设部.岩土工程勘察规范 GB50021-2001[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.180~240.
- [3] 林宗元,等.岩土工程试验监测手册[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1994.421~431.
- [4] 阮永芬,刘岳东.昆明盆地粉土的特性的研究与利用[J].岩土力学,2003,(增刊):186~188.
- [5] 阮永芬,侯克鹏.粉土地震液化判别方法研究的现状和实际存在的问题[J].昆明理工大学学报,2000,(1):64~66.

(上接第 83 页)

当剪力墙的厚度 t 分别取 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m, 频率计算结果见表 3.由表 3 可知,随着主结构侧移刚度的增大,频率也随之增大,与悬挂子结构对应的频率变化很小,而对应于主结构的高阶频率变化幅度非常大,综合分析可知,主结构刚度的改变,对应于主结构的频率变化较大;悬挂子结构刚度的改变,对应于悬挂子结构的频率变化较大.

3 结论

计算分析表明,加悬挂后框剪结构较原结构的频率和振型数增加,悬挂体使结构前几阶频率明显降低.高阶频率有所增加,悬挂体对原结构有减振作用.参数研究表明,悬挂楼层越高,悬挂楼层对结构频率的影响越明显;悬挂楼层挂长的改变对频率和振型影响较大.主结构刚度的改变,对应于主结构的频率变化较大;悬挂子结构刚度的改变,对应于悬挂子结构的频率变化较大.

参考文献:

- [1] 王玉朋,魏琰.悬挂质量结构的抗震计算方法[J].工程抗震,1989,(2):1~11.
- [2] 刘郁馨,吕志涛.多高层悬挂结构体系及受力分析[J].工程力学,1996,(增刊):542~546.
- [3] 徐彬,梁启智.奇异函数建立侧移刚度矩阵的新方法[J].工程力学,2001,(增刊):51~54.
- [4] 梁启智.高层建筑结构分析与设计[M].广州:华南理工大学出版社,1992.60.