

刚柔耦合系统动力学研究进展*

洪嘉振 尤超蓝

(上海交通大学工程力学系, 上海 200030)

摘要 首先简要回顾了柔性多体系统动力学前期研究的3个阶段. 针对传统零次近似模型的缺陷提出了新的建模理论, 并在新的一次近似耦合模型的基础上, 就“动力刚化”问题和刚柔耦合动力学问题中的离散化方法与实验等方面进行研究; 研制了供理论研究和动力学现象揭示的实验平台. 文中对所取得的研究成果进行介绍. 文末对今后的研究方向进行了展望.

关键词 柔性多体系统, 耦合动力学, 建模理论, 实验研究

前言

30多年来, 柔性多体系统刚柔耦合动力学建模理论的前期研究大致分为如下3个阶段^[1,2]:

1) 运动-弹性动力学(KED)方法. 该方法首先对系统构件作刚体假设, 利用多刚体系统动力学方法进行构件运动分析. 然后通过施加惯性力, 对构件进行弹性变形和强度分析. 这种方法不计构件大范围运动与弹性变形运动的耦合.

2) 混合坐标方法. 该方法提出用描述构件大范围运动浮动系的刚体坐标与描述柔性体变形运动的有限元的节点坐标(或模态坐标)建立柔性多体动力学离散的数学模型. 这种方法考虑了构件弹性变形与大范围运动的相互耦合. 由于在对柔性体离散时没有考虑大范围运动对其的影响, 实质上这种方法是柔性多体系统动力学的一种零次近似的耦合. 在解决实际问题中长期困惑的问题是数值求解的病态.

3) 动力刚化问题的研究. 1987年Kane发现零次近似耦合模型在处理高速旋转的悬臂梁动力学时会得到错误结论. 以后的十多年, 国内外的学者对该对象, 采用不同的假定, 引入所谓的“动力刚度项”对零次近似模型加以修正. 然而, 在如何反映物体大范围运动与弹性变形的相互耦合, 所采用的假定各不相同^[3]. 上述的研究工作说明, 柔性多体系统动力学的建模理论有待解决的实质性的问题是揭示刚柔耦

合的机理, 从力学基本原理建立描述刚柔耦合动力学较精确的动力学模型, 且需利用实验验证该模型的正确性.

在国家自然科学基金重点项目和教育部博士点基金项目的资助下, 笔者的课题组就“动力刚化”问题和刚柔耦合动力学问题的建模理论、离散化方法与实验研究等方面开展了许多工作, 取得的一些成果, 本文简要介绍一下这些方面的研究成果. 对今后的研究方向提出一些设想.

1 刚柔耦合动力学新的建模理论

课题组在刚柔耦合动力学建模理论研究过程中, 放弃国内外的学者采用一些假定, 引入“动力刚度项”的修正模式. 而基于这样的新思想^[1,2]:

1) 建立较精确的刚柔耦合动力学模型主要目的为有效解决刚-柔耦合多体系统动力学的问题, 非惯性系下的结构动力学问题是其的特殊情况;

2) 所谓刚柔耦合“动力刚度项”应该是客观存在的, 不应该通过引入新的假定来“捕捉”. 而且刚柔耦合不只影响“刚度”, 而且将会对“阻尼”等其他特征产生影响;

3) 根据前期研究工作分析认为, 造成零次近似耦合动力学方程缺陷的主要原因应该是在对柔性体变形运动描述时没有考虑大范围运动对其的影响. 在建立零次近似耦合动力学方程时, 对柔性体变形的描述通常应用的是没有大范围运动的线性变

形场理论结果,因此人为地丢失了二阶项与大范围运动耦合,而这种耦合达到一阶量级,当与其他项可比时,将会严重影响动力学仿真结果.由于新的建模理论引入这种一阶量级上的刚柔耦合项,为了有别于传统的零次近似耦合动力学方程,将含这种耦合项的刚柔耦合动力学方程称为一次近似耦合动力学方程.

以中心刚体-悬臂梁系统为对象,以上述建模理论建立刚柔耦合动力学方程.首先从连续介质力学关于弹性梁的变形理论出发,导出在结构动力学中被忽略的中线伸长与横向变形的耦合二阶变形量;然后基于 Hamilton 原理或基于 Jourdain 速度变分原理建立连续系统动力学方程;最后利用有限元离散的方法得到系统离散的动力学方程^[4~6]

$$M(q)\ddot{q}=F(q,\dot{q}),q=(\theta,a^T)^T \quad (1)$$

其中 θ 为中心刚体定轴转动的转角, a 为悬臂梁的变形坐标.该方程有如下特点,在广义质量阵 M 和广义力阵 F 中计及了附加的大范围运动和高阶变形运动的耦合项.当这些项不考虑时,方程退化为零次近似刚柔耦合动力学方程.

2 数值对照研究的重要结论

利用式(1),通过数值方法对两种刚柔耦合动力学方程进行对照研究得到以下重要结论.

2.1 对于非惯性系下悬臂梁刚柔耦合对象的研究^[7~9]

定义 θ 为时间的已知函数,方程(1)变为非惯性系下悬臂梁的动力学方程

$$M'(a,\theta(t))\ddot{a}+K(a,\theta(t),\dot{\theta}(t))\dot{a}=F'(a,\dot{a},\theta(t),\dot{\theta}(t)) \quad (2)$$

由上式,在 K 中可导出没有附加任何条件而理论依据严格的“动力刚度项”.解释了非惯性系下的悬臂梁产生动力刚化的根本原因和动力学实质.通过对方程(2) K 中所含的“动力刚度项”分析找出了零次模型在高速大范围运动下得到失稳发散错误结论的原因.然而,这是零次近似模型得到错误结果的极端情况;在大范围运动为低速的情况,由于附加耦合项的作用,有时零次近似模型的计算的误差也相当可观.因此课题组认为需要讨论大范围运动在什么条件下必须应用一次近似耦合模型才能得到正确的结论的条件.

2.2 对于刚体-悬臂梁系统刚柔耦合对象的研究^[10~13]

由方程(1)出发对大范围运动为自由的刚体-悬臂梁两体系统进行数值研究,首次发现在一定的初始条件下,传统零次近似模型也会得到系统运动发散错误结果的反例,而利用一次近似耦合模型的计算能得到符合实际情况的结果.

此项成果的意义还在于对长期困扰柔性多体系统动力学的数值发散问题做出了新的解释,即计算结果发散不一定是数值病态方面的原因,而应该注意力学模型是否正确与失效.

3 实验研究得到的重要结论

数值上证明正确的建模理论必须得到实验验证才可信.此外通过实验还可进一步揭示刚柔耦合的动力学现象.为此课题组投入很大的精力进行刚柔耦合的实验研究^[14].

由于刚柔耦合量与大范围运动学量相比,量级小得多,在实验中测量很困难.再加上它的测量会受到环境的因数(如风阻等)严重的影响,故刚柔耦合动力学性态的实验研究在国内外是一个空白,包括1987年 Kane 的反例也没有实验的对照.为此研制完成单轴气浮台一台;研制完成单轴气浮平台测控系统(包括软硬件);研究多套能揭示刚柔耦合动力学现象的物理对象和测试方法^[15].该实验平台的特点:采用阻尼非常小的单轴气浮轴承;具有双向数据传输功能的红外接口装置;执行机构采用“飞轮-喷气”组合模式;敏感器件:感应同步器、加速度计、应变仪.课题组必须自行设计与研制一套实验平台(包括硬件、软件),自行设计与开发相应的实验方法.

3.1 实验对象的一次近似耦合动力学模型^[12,16,17]

考虑到刚柔耦合动力学研究的测试需要与实验环境的影响,必须首先根据一次近似耦合的建模理论建立一个与实验对象一致的动力学模型.其物理对象为中心刚体-悬臂梁-末端集中质量系统,考虑轴承摩擦阻尼、梁的结构阻尼以及空气产生的风阻等因数.与方程(1)类似,在广义质量阵 M 和广义力阵 F 中计及了附加的大范围运动和高阶变形运动的耦合项.当这些耦合项不考虑时,方程退化为零次近似刚柔耦合动力学方程.

3.2 非惯性系下悬臂梁刚柔耦合性态的研究^[12]

利用自行设计的实验方案(图1),通过单轴气浮台对一柔性梁进行旋转试验.利用不同的大范围运动角速度得到的实验数据,分别与一次近似模型和零次近似模型的理论结果进行对照.观测到一次近似模型与实验结果吻合相当好.而对于零次近似

模型只有大范围运动角速度在一定范围内才有比较好的对照结果. 这项研究从实验的角度验证了一次近似模型在处理这类非惯性系下的结构动力学问题的正确性和有效性.

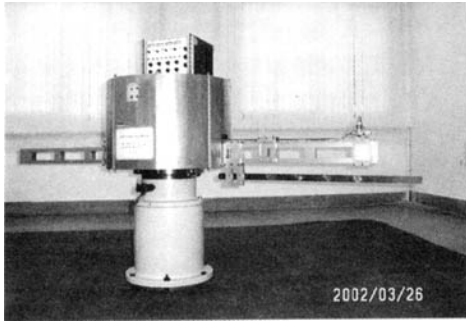


图1 非惯性系下悬臂梁实验

Fig.1 Experiment of cantilever beam in non-inertial frame

3.3 刚体-悬臂梁-集中质量系统刚柔耦合性态的研究

本项研究利用两套自行设计的实验方案进行(图2). 对于不同的初始条件,将实验数据与分别用一次近似模型和零次近似模型数值计算的结果进行对照. 观测到在任何初始条件下,实验结果与一次近似模型理论结果吻合相当好. 这项研究从实验的角度验证了一次近似模型在处理多体刚柔耦合动力学问题的正确性和有效性.

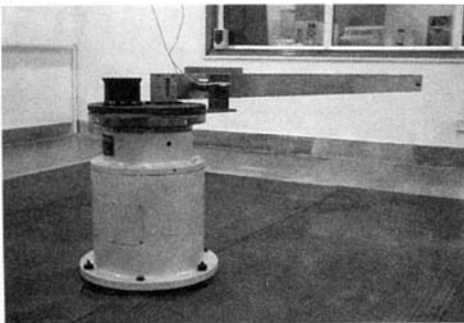


图2 刚柔耦合系统实验

Fig.2 Experiment of rigid-flexible coupling system

对于零次近似模型只有在比较小的初始条件范围内有比较好的对照结果. 随着初始条件增大,理论与实验结果差异变大,甚至理论上得到发散的错误

结论. 这从实验上揭示了传统零次近似模型在刚柔耦合多体系统动力学分析上会出现错误结论的依据,对长期困扰柔性多体系统动力学的数值发散问题做出了新的解释,即计算结果发散不一定是数值方面的原因.

特别需要指出的是在方程(1)的广义力阵 F 中,与系统阻尼特征有关项也存在一次近似建模理论提出的附加的刚柔耦合项. 在一定的条件下它将影响系统动力学的特性. 对于一次近似模型来说,考虑系统阻尼与不考虑阻尼情况相比使柔性梁的响应的振幅和频率都减小,这与实际情形相符;对于零次近似模型来说,阻尼使响应的振幅减小了,但频率却大大增加了,这与实际不符.

3.4 实验揭示的刚柔耦合的现象^[4,17]

在非惯性系下悬臂梁的实验中,比较定边界与动边界悬臂梁的基频与模态存在较大差异. 随着大范围角速度的增加,这种差异愈来愈大. 在刚柔耦合系统动力学实验中,观测到刚柔惯量比和刚柔刚度比对系统的模态频率均有着重要的影响.

这些现象为修正柔性体离散理论具有重要的启示作用.

4 离散方法的研究

基于在非惯性系下悬臂梁的实验中,观测到定边界与动边界悬臂梁的基频与模态存在较大差异的现象,课题组就连续体离散方法在理论上进行深入研究,得到如下结论:

1) 首先从严格的数学理论出发,对于具有动力刚化效应作大范围运动弹性梁,证明了其动力学方程解的周期性,采用了 Frobenius 方法求解了作大范围运动弹性梁振动频率和模态的精确解,从理论上揭示了当大范围运动为高速时,结构动力学意义下的振动固有频率和模态不能反映与其相对应的作大范围运动的弹性结构的真实振动频率与模态振型^[3,8].

2) 分别用假设模态法和有限元方法推导了非惯性系下柔性梁的动力学方程,指出在转速较高时,如果取无大范围运动的结构动力学意义下的低阶模态形函数,假设模态法的计算结果存在较大的误差,不容忽视^[7,18,19].

3) 对不同转速和中心刚体半径,通过模态截断法和有限元法的仿真结果进行比较,根据两种方法的振动基频的相对误差,确定了在同时保证计算精度和效率的条件下,模态截断的阶数与转速、中心刚

体半径的关系,提出了模态截断的准则,解决了模态截断法的精度问题^[20].

5 非惯性系下结构动力学的理论研究

课题组在建模理论、数值分析与实验研究外还对非惯性系下的动力学问题进行定性分析.

首先从严格的数学理论出发,采用初始构形、中间构形和现时构形来描述作大范围平动弹性梁的变形运动,利用 Melnikov 方法和数值仿真技术,讨论了平动弹性梁的全局分岔和混沌性质,从理论上验证了刚-柔耦合动力学一次近似理论的正确性^[21,22].

然后,将一次近似模型推广到柔性薄板和空间桁架结构^[23~25]. 验证了在研究“动力刚化”中的几何非线性动力学模型所作的近似的合理性^[3,26]. 根据弹性薄板的应变-位移几何非线性关系,建立了作大范围运动弹性薄板的几何非线性动力学模型,对它的非线性动力学性质进行了定性分析. 结果表明,若不引进“几何非线性方法”在研究“动力刚化”中所作的近似,该模型仍是不稳定系统;而一次近似理论建立的耦合动力学模型是一稳定模型. 因此,几何非线性并不是作大范围运动弹性构件产生所谓的“动力刚化”的原因.

6 研究展望

在上述工作的基础上,笔者认为今后应该进一步开展以下几个方面工作.

1) 刚柔耦合动力学的研究背景主要是两类,一是非惯性系下结构动力学问题,另一类是刚柔耦合多体系统动力学问题. 在上述的研究中对于第一类问题取得了相对比较完整的成果. 对于第二类问题有待进一步深入研究. 从上述的实验研究中,刚柔耦合多体系统表现出更复杂的动力学现象,而这些实验现象为进一步深入进行理论研究提供重要的启示.

2) 为了揭示刚柔耦合的本质,上述研究的物理模型相对比较简单,即旋转物体加悬臂梁. 尽管上述有些研究已经考虑大范围运动为平动的情况,但得到的只是初步的成果. 特别对于有多个柔性体与多种铰形式的多体系统的刚柔耦合问题有待进行深入研究.

3) 柔性多体系统的应用背景是航空航天,复杂的机械系统. 大型柔性、高速的机械系统面临的动力学问题首当其冲. 将目前的理论成果应用到解决复杂多体系统动力学的连续问题有待向通用的建模理

论、计算方法与软件实现上转移. 包括一次刚柔耦合动力学理论进一步应用于具有多种拓扑构型的系统;提高仿真计算精度与速度的算法的研究. 这样才能把理论研究的成果转化为生产力.

4) 多体系统刚柔耦合动力学问题更多的表现为非连续的变拓扑问题. 具有高速算法的大型的软件系统是解决此类问题的一个基础,当前的关键问题是如何正确描述诸如碰撞,间隙等工程常见现象,提出它们力学本构关系. 这样才能真正有效解决当前工程中提出的大量复杂的动力学问题.

参 考 文 献

- 1 洪嘉振, 蒋丽忠. 柔性多体系统刚-柔耦合动力学. 力学进展, 2000, 30(1): 15~20 (Hong Jiazhen, Jiang Lizhong. Flexible multibody dynamics with coupled rigid and deformation motions. *Advances in Mechanics*, 2000, 30(1):15~20(in Chinese))
- 2 洪嘉振, 蒋丽忠. 动力刚化与多体系统刚-柔耦合动力学. 计算力学学报, 1999, 16(3): 295~301 (Hong Jiazhen, Jiang Lizhong. Dynamic stiffening and multibody dynamics with coupled rigid and deformation motions. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 1999, 16(3):295~301(in Chinese))
- 3 蒋丽忠. 柔性多体系统刚-柔耦合动力学建模理论研究. [博士论文]. 上海交通大学工程力学系, 1999 (Jiang Lizhong. Study on coupling dynamical modeling theory and simulation of flexible multibody system. [Ph D Thesis]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 1999 (in Chinese))
- 4 杨辉, 洪嘉振, 余征跃. 一类刚-柔耦合系统的模态特性与实验研究. 宇航学报, 2002, 23(2): 67~72 (Yang Hui, Hong Jiazhen, Yu Zhengyue. Vibration analysis and experiment investigation for a typical rigid-flexible coupling system. *Chinese Journal of Astronautics*, 2002, 23(2):67~72(in Chinese))
- 5 刘锦阳, 洪嘉振. 柔性梁的刚-柔耦合动力学特性研究. 振动工程学报, 2002, 15(2): 194~198 (Liu Jinyang, Hong Jiazhen. Study on rigid-flexible coupling dynamic behavior of flexible beam. *Journal of Vibration Engineering*, 2002, 15(2):194~198(in Chinese))
- 6 刘锦阳, 洪嘉振. 刚-柔耦合动力学系统的建模理论研究. 力学学报, 2002, 34(3): 408~415 (Liu Jinyang, Hong Jiazhen. Study on dynamic modeling theory of rigid-flexible coupling systems. *Acta Mechanica Sinica*, 2002, 34(3): 408~415(in Chinese))
- 7 Liu JY, Hong JZ. Dynamic modeling and modal

- truncation approach for a high-speed rotating elastic beam. *Archive of Applied Mechanics*, 2002, 72: 554 ~ 563
- 8 胡振东, 洪嘉振. 刚柔耦合动力学建模及分析. *应用数学和力学*, 1999, 20(10): 1087 ~ 1093 (Hu Zhendong, Hong Jiazhen. Modeling and analysis of a coupled rigid-flexible system. *Applied Mathematics and Mechanics*, 1999, 20(10): 1087 ~ 1093 (in Chinese))
 - 9 蒋丽忠, 洪嘉振. 作大范围运动弹性梁的非线性稳定性分析. *振动与冲击*, 2001, 20(1): 62 ~ 65 (Jiang Lizhong, Hong Jiazhen. Nonlinear stability of flexible beams in large overall motions. *Journal of Vibration and Shock*, 2001, 20(1): 62 ~ 65 (in Chinese))
 - 10 杨辉, 洪嘉振, 余征跃. 两种刚柔耦合动力学模型的对比研究. *上海交通大学学报*, 2002, 36(11): 1591 ~ 1595 (Yang Hui, Hong Jiazhen, Yu Zhengyue. Study on Tto dynamic models for a rigid-flexible coupling system. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2002, 36(11): 1591 ~ 1595 (in Chinese))
 - 11 刘锦阳, 洪嘉振. 柔性体的刚-柔耦合动力学分析. *固体力学学报*, 2002, 23(2): 159 ~ 166 (Liu Jinyang, Hong Jiazhen. Rigid-flexible coupling dynamic analysis of flexible body. *Acta Mechanica Sinica*, 2002, 23(2): 159 ~ 166 (in Chinese))
 - 12 杨辉, 洪嘉振, 余征跃. 刚柔耦合建模理论的实验研究. *力学学报*, 2003, 35(2): 253 ~ 256 (Yang Hui, Hong Jiazhen, Yu Zhengyue. Experiment validation on modeling theory for rigid-flexible coupling systems. *Acta Mechanica Sinica*, 2003, 35(2): 253 ~ 256 (in Chinese))
 - 13 Yang Hui, Hong Jiazhen, Yu Zhengyue. Dynamics modeling of a flexible hub-beam system with a tip mass. *Journal of Sound and Vibration*, 2003, 266: 759 ~ 774
 - 14 杨辉. 刚-柔耦合动力学系统的建模理论与实验研究. [博士学位论文]. 上海交通大学工程力学系, 2002 (Yang Hui. Study on dynamic modeling theory and experiments for rigid-flexible coupling systems. [Ph D Thesis]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2002 (in Chinese))
 - 15 杨辉, 洪嘉振, 余征跃. 测量单轴气浮台转动惯量的新方法. *振动与冲击*, 2001, 20(2): 32 ~ 34 (Yang Hui, Hong Jiazhen, Yu Zhengyue. A new method for measuring moment of inertia of the single axis air-bearing table. *Journal of Vibration and Shock*, 2001, 20(2): 32 ~ 34 (in Chinese))
 - 16 杨辉, 洪嘉振, 余征跃. 刚柔耦合多体系统动力学建模与数值仿真. *计算力学学报*, 2003, 20(4): 402 ~ 408 (Yang Hui, Hong Jiazhen, Yu Zhengyue. Dynamics modeling and numerical simulation for a rigid-flexible coupling multibody system. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 2003, 20(4): 402 ~ 408 (in Chinese))
 - 17 杨辉, 洪嘉振, 余征跃. 带柔性附件的中心刚体的频率特性及实验研究. *空间科学学报*, 2002, 22(4): 372 ~ 379 (Yang Hui, Hong Jiazhen, Yu Zhengyue. Frequency characteristics and experiment investigation on a hub-beam system. *Chinese Journal of Space Science*, 2002, 22(4): 372 ~ 379 (in Chinese))
 - 18 朱国强. 刚柔耦合梁系统动力学建模理论及数值仿真. [硕士学位论文]. 上海交通大学工程力学系, 2000 (Zhu Guoqiang. Study on Coupling Dynamical Modeling Theory and Simulation of Flexible Beam System. [MS Thesis]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2000 (in Chinese))
 - 19 刘勇. 柔性多体系统耦合动力学研究. [硕士学位论文]. 上海交通大学工程力学系, 2000 (Liu Yong. On the Study of Coupling Dynamics in Multibody System. [MS Thesis]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2000 (in Chinese))
 - 20 刘锦阳. 刚-柔耦合动力学系统的建模理论研究. [博士学位论文]. 上海交通大学工程力学系, 2000 (Liu Jinyang. Study on Dynamic Modeling Theory of Rigid-flexible Coupling Systems. [Ph D Thesis]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2002 (in Chinese))
 - 21 蒋丽忠, 洪嘉振. 作大范围平动弹性梁的动力学性质. *振动与冲击*, 2002, 21(2): 11 ~ 14 (Jiang Lizhong, Hong Jiazhen. The Coupled Dynamics of Elastic Beams under Translation. *Journal of Vibration and Shock*, 2002, 21(2): 11 ~ 14 (in Chinese))
 - 22 蒋丽忠, 洪嘉振. 平动弹性梁的刚-柔耦合动力学. *力学季刊*, 2002, 23(4): 450 ~ 454 (Jiang Lizhong, Hong Jiazhen. Coupled Dynamics of Elastic Beams with Translation. *Chinese Quarterly of Mechanics*, 2002, 23(4): 450 ~ 454 (in Chinese))
 - 23 蒋丽忠, 洪嘉振. 柔性多体系统产生动力刚化原因的研究. *计算力学学报*, 1999, 16(4): 403 ~ 409 (Jiang Lizhong, Hong Jiazhen. Study on the Cause of Dynamic Stiffening of Flexible Multibody System. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 1999, 16(4): 403 ~ 409 (in Chinese))
 - 24 刘锦阳, 洪嘉振. 作大范围运动矩形薄板的建模理论和有限元离散方法. *振动工程学报*, 2003, 16(2): 175 ~ 179 (Liu Jinyang, Hong Jiazhen. Dynamic Modeling Theory and Finite Element Method for a Rectangular Plate Undergoing Large Overall Motion. *Journal of*

- Vibration Engineering*, 2003, 16(2): 175 ~ 179 (in Chinese))
- 25 王建明. 柔性体刚柔耦合动力学建模理论及动力刚化有限元算法研究. [博士后出站研究报告]. 上海交通大学工程力学系, 1999. (Wang Jianming. Modeling Theory of Rigid-flexible Dynamics for Flexible Bodies and Algorithm of Finite Element Method for Dynamic Stiffening. [Post-doctoral Report]. Shanghai; Shanghai Jiaotong University, 2000(in Chinese))
- 26 蒋丽忠, 洪嘉振. 作大范围运动弹性薄板中的几何非线性与耦合变形. 力学学报, 1999, 31(2): 243 ~ 249 (Jiang Lizhong, Hong Jiazhen. Dynamics of Thin Elastic Plates in Large Overall Motions Considering Geometric Non-linearity and Coupling Deformation. *Acta Mechanica Sinica*, 1999, 31(2): 243 ~ 249 (in Chinese))

ADVANCES IN DYNAMICS OF RIGID-FLEXIBLE COUPLING SYSTEM*

Hong Jiazhen You Chaolan

(Department of Engineering Mechanics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract This paper first gives a brief review about the three phases of the research of flexible multi-body system dynamics. Then in order to solve the deficiency in the traditional zero-order approach coupling model, a new modeling theory is proposed, and the discretizing method and experiment about “dynamics stiffening” problem and rigid-flexible coupling dynamics problem are investigated based on the new one-order approach coupling model. A set of experiment platform used for the theoretical study and the discovery of dynamic phenomenon is designed and built. Some research results are introduced. Some research targets are given at the end of this paper.

Key words flexible multi-body systems, coupling dynamics, modeling theory, experimental study

Received 08 March 2004, revised 15 April 2004.

* The project supported by the National Natural Science Foundation of China(10372057)