

ADAMS 车辆工程案例仿真

# ADAMS

## 车辆工程案例仿真

王孝鹏 吴龙 编著

王孝鹏 吴龙 编著



西南交通大学出版社

# ADAMS 车辆工程案例仿真

王孝鹏 吴 龙 ○ 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

---

图书在版编目 (C I P) 数据

ADAMS 车辆工程案例仿真 / 王孝鹏, 吴龙编著. —  
成都: 西南交通大学出版社, 2021.3  
ISBN 978-7-5643-7987-2

I. ①A… II. ①王… ②吴… III. ①车辆工程 - 计算机仿真 - 应用软件 IV. ①U27-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 040977 号

---

ADAMS Cheliang Gongcheng Anli Fangzhen

**ADAMS 车辆工程案例仿真**

王孝鹏 吴 龙 编著

---

责任编辑	刘 昕
封面设计	何东琳设计工作室 西南交通大学出版社
出版发行	(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 政 编 码	610031
网 址	<a href="http://www.xnjdcbs.com">http://www.xnjdcbs.com</a>
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成 品 尺 寸	185 mm × 260 mm
印 张	35
字 数	871 千
版 次	2021 年 3 月第 1 版
印 次	2021 年 3 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-7987-2
定 价	120.00 元

---

课件咨询 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 前 言

从车辆研究、设计、制造的角度考虑，目前高校车辆工程专业课程的设置已经无法适应现代企业的需求，车辆的虚拟仿真可以提前发现预测车辆在设计中存在问题，进而对车辆存在的缺陷进行改进或优化。采用多体系统动力学对车辆工程案例进行建模与仿真，可提升整车设计及性能指标，国内外汽车研究院所、技术中心多采用 ADAMS 软件完成整车及子系统工程项目。车辆系统动力学是研究所有与车辆运动状态有关的学科，目前研究方法主要分为两大类：一是采用简化的弹簧质量系统研究整车或是局部系统；二是采用多体系统动力学软件构建物理模型并对整车系统或子系统进行仿真研究。与简化模型相比，准确且精致的模型是工程项目实施的良好开端，准确的模型可以提供更加精确的载荷谱，同时对于系统本身也更有利于精确的优化。

本书主要包含以下内容：（1）综述钢板弹簧不同建模方法及各自优缺点，横置板簧悬架模型设计是一种新式悬架模型；（2）系统介绍发动机、变速器、传动轴等模型的建立及模型在车辆传动、台架实验、半车实验中的应用；（3）对 FSAE 方程式赛车整车及系统模型进行匹配、实验、调试等系统分析，在整车模型基础下改变后悬架为不同悬架模型对比分析其对整车性能的影响；（4）对商用车平衡悬架、整车模型系统论述与分析，包含 4×2、6×4 多轴系整车模型探讨；（5）对联合系统模型（车辆机电液耦合模型）及算法（PID、模糊、双模、PID 模糊）进行系统介绍及案例（主动悬架、主动驾驶室等）应用；（6）通过悬架、运载火箭案例介绍 Insight 模块下工程案例的研究、优化策略。

本书是汽车工程研究院设计研发人员及高等院所高年级本科生、研究生学习车辆系统动力学较好的资料，书中不同章节提供车辆案例仿真模型。

由于编著者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

王孝鹏

2021 年 1 月于三明学院



正文仿真模型资源包



# 目 录 CONTENTS

第 1 章 横置板簧悬架模型	1
1.1 横置板簧前处理	1
1.2 横置板簧 MNF	6
1.3 横置板簧双 A 臂悬架模型	6
1.4 变量参数	32
1.5 通信器	33
1.6 驱动轴显示组建	38
1.7 横置板簧式悬架系统	39
1.8 单轮激振测试验证模型	40
第 2 章 钢板弹簧模型 ( I )	43
2.1 板簧工具箱介绍	44
2.2 OG profile	44
2.3 板簧模型	47
2.4 板簧分析	52
2.5 预载荷施加	54
2.6 板簧模型装配	55
2.7 转换模板 ADAMS/CAR	57
2.8 板簧悬架反向激振仿真	62
第 3 章 钢板弹簧模型 ( II )	64
3.1 非线性梁	65
3.2 接触力	76
3.3 弹簧夹	77
3.4 板簧模型约束	78
3.5 板簧悬架通信器	83
3.6 反向激振实验	84
第 4 章 发动机模型	92
4.1 发动机机体	93
4.2 曲 轴	96
4.3 飞 轮	99
4.4 动力元素	104

4.5	系统单元	106
4.6	发动机调试	116
4.7	速度保持仿真	118
第 5 章	变速器	124
5.1	变速器输入轴	125
5.2	变速器输出轴	127
5.3	变速器齿轮副	128
5.4	变速器轴承连接	137
5.5	变速器动力元	141
5.6	变速器测试	142
5.7	纵向变速器	145
5.8	半车台架仿真(传动轴与后悬架)	157
第 6 章	传动轴	161
6.1	前轴差速器	162
6.2	限滑差速器	164
6.3	传动轴	166
6.4	后差速器	170
6.5	差速器壳	173
6.6	滑叉部件与连接	185
6.7	动力传动系统-底盘连接	187
6.8	差速器动力元	189
6.9	阶跃扭矩仿真	191
第 7 章	制动系统	195
7.1	制动系统简介	196
7.2	制动系统变量参数及通信器	197
7.3	FSAE 赛车 Braking 文件驱动仿真	198
7.4	客车 Braking 仿真	200
7.5	牵引车 Braking 仿真	201
第 8 章	路面模型	203
8.1	路面类型简介	203
8.2	对开路面	205
8.3	对接路面	207
8.4	减速带路面	209
8.5	单线移仿真	211
8.6	连续障碍路面	212
8.7	匀速直线行驶仿真	214

8.8	直线制动系统仿真	215
8.9	分离轮胎路面设置	217
8.10	分离轮胎路面直线制动仿真	219
8.11	弯道制动系统仿真	219
第 9 章	摩托车	222
9.1	摩托车身	223
9.2	前双避震器转向系统	223
9.3	前轴双减震器	226
9.4	后驱动悬架系统	227
9.5	后单避震器	229
9.6	摩托车约束	229
9.7	摩托车轮胎	232
9.8	摩托车驱动	236
9.9	加速仿真	237
9.10	摩托车同步带传动	240
9.11	电动机驱动同步带传动	251
第 10 章	双轴转向系统	254
10.1	双轴转向模型	255
10.2	双轴转向系统约束	273
10.3	减速齿轮	281
10.4	双轴转向变量参数	282
10.5	双轴转向通信器	284
10.6	TASA 转向仿真	286
第 11 章	方程式赛车	292
11.1	FSAE 方程式赛车介绍	293
11.2	后推力杆双横臂悬挂模型	293
11.3	前推力杆双横臂悬挂模型	331
11.4	中置转向系统	337
11.5	FSAE 轮胎模型	348
11.6	车身系统	354
11.7	FSAE 整车模型装配	360
11.8	Fish-Hook 仿真	360
第 12 章	4×2 客货车模型	363
12.1	驱动轴悬架模型	364
12.2	4×2 牵引车模型	365
12.3	谐波脉冲转向仿真	365

12.4	4×2 客车模型 .....	368
12.5	超车仿真 .....	368
第 13 章	6×4 整车模型 .....	375
13.1	白两片板簧模型 .....	376
13.2	白前桥悬架模型 .....	380
13.3	货车前桥转向悬架系统 .....	383
13.4	6×4 转向系统 .....	389
13.5	白驱动轴模型 .....	394
13.6	导向杆式平衡悬架模型 .....	401
13.7	6×4 整车模型 .....	407
13.8	6×4 整车制动仿真 .....	409
第 14 章	联合仿真—麦弗逊悬架 .....	413
14.1	麦弗逊悬架模型建立 .....	414
14.2	路面模型 .....	425
14.3	路面驱动方案 A .....	426
14.4	路面驱动方案 B .....	431
14.5	PID 控制器设计 .....	433
14.6	半主动悬架联合仿真 .....	433
第 15 章	联合仿真—双 A 臂悬架 .....	442
15.1	双 A 臂悬架模型 .....	443
15.2	双 A 臂半主动悬架 .....	446
15.3	模糊 PID 控制器设计 .....	450
15.4	双 A 臂半主动悬架联合仿真 .....	456
15.5	总 结 .....	460
第 16 章	联合仿真—驾驶室隔振 .....	461
16.1	驾驶模型 .....	462
16.2	驾驶室前横向稳定杆 .....	472
16.3	驾驶室弹簧与避震器 .....	474
16.4	驾驶室约束关系 .....	477
16.5	主动驾驶室函数设定 .....	490
16.6	整车平台 .....	494
16.7	ADAMS\CONTROLS 设置 .....	496
16.8	匀速直线仿真 .....	497
16.9	ADAMS 与 MATLAB 协同 .....	498
16.10	模糊 PID-D 耦合算法 .....	504

16.11 机控联合仿真 .....	506
第 17 章 多柔体系统动力学仿真 .....	510
17.1 柔性四连杆 .....	511
17.2 柔性扭力梁悬架 .....	518
17.3 柔性钢板弹簧 .....	520
17.4 柔性横直板簧双横臂悬架 .....	521
17.5 多柔性 FSAE 赛车 .....	522
第 18 章 优化设计实验 .....	524
18.1 双 A 臂悬架前束角优化数据库导入模型 .....	524
18.2 运载火箭模型 .....	533
18.3 推杆式悬架外倾角优化——ACAR .....	538
附 录 .....	543
参考文献 .....	548



## 第 1 章 横置板簧悬架模型

横置板簧悬架较为少见，目前克尔维特跑车前后悬架以及沃尔沃后悬架采用此类悬架，横置板簧上有不同距离的螺孔，固定不同的螺孔位置，可以改变板簧的刚度，进而调整整车底盘的特性。横置板簧同时相当于一根横拉杆，对整车的稳定性起到提升作用。安装横置板簧后，螺旋弹簧可以省去，增大悬架系统的空间，降低非簧载质量。非簧载质量减小，车辆的制动特性改善明显。建立好的横置板簧双 A 臂悬架模型如图 1-1 所示。

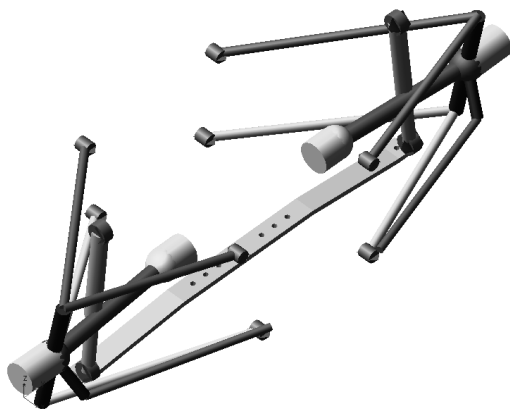


图 1-1 横置板簧双 A 臂悬架模型

### 学习目标

- ◇ 横置板簧前处理。
- ◇ 横置板簧 MNF。
- ◇ 横置板簧双 A 臂悬架模型。
- ◇ 通信器。
- ◇ 单轮激振仿真。

### 1.1 横置板簧前处理

• 启动 ABAQUS/CAE，切换到 PART 模块，创建草图绘制后通过拉伸厚度为 5 mm 完成几何体的创建，如图 1-2 所示。

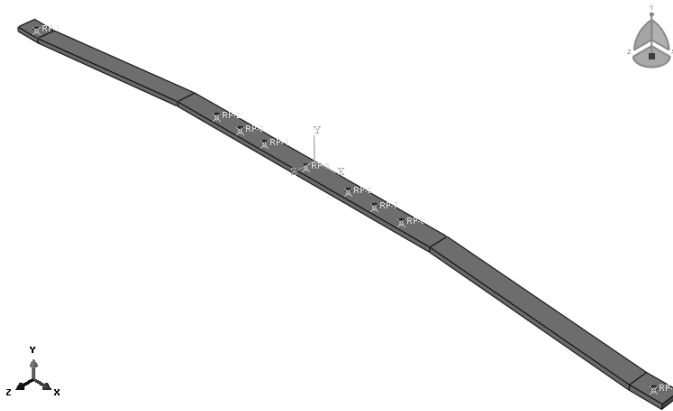


图 1-2 板簧三维模型 (20×5)

• 切换到 Property 界面，创建材料属性。弹性模量：2.1E5，泊松比：0.3，密度：7.9E-9。材料属性参数一定要保持正确，要注意不同软件的单位制不同，否则会导致计算出的模态出错。材料通过界面属性赋予三维模型上，赋予成功后，板簧几何体颜色变为浅绿色，界面属性如图 1-3 所示。

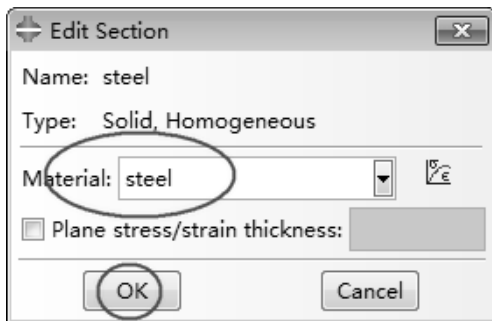


图 1-3 材料界面属性——steel

• 切换到 Assembly 界面，单击装配完成单体部件装配。  
 • 切换到分析部 Step 界面，完成 2 个分析部创建，如图 1-4 所示，Step-1 为模态分析步，设置提取前 20 阶模态；Step-2 为子结构生成，子结构即把整个连杆作为一个单一部件。Step-2 子结构在 Basic 选项卡设置子结构标示 (Substructure identifier: Z101)，点选 Whole model，在后续方框中选择整个模型；切换到 Options 选项卡：勾选 Specify retained eigenmodes by，点选 Mode range，在 Date 方框中输入 1,20,1。Step-2 设置如图 1-5、图 1-6 所示。

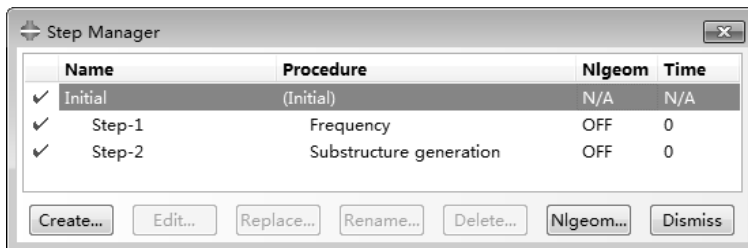


图 1-4 分析步设置

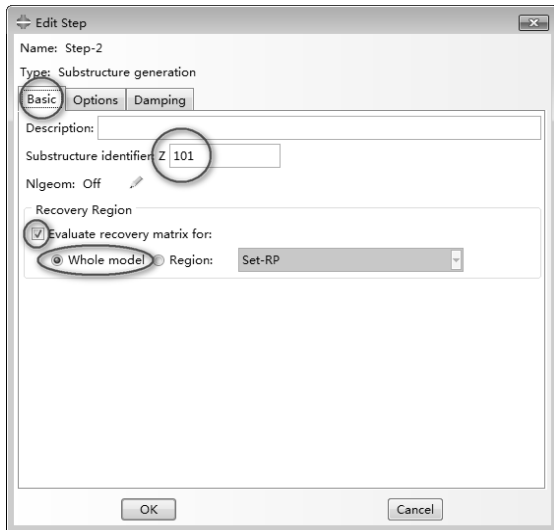


图 1-5 Basic 选项卡设置

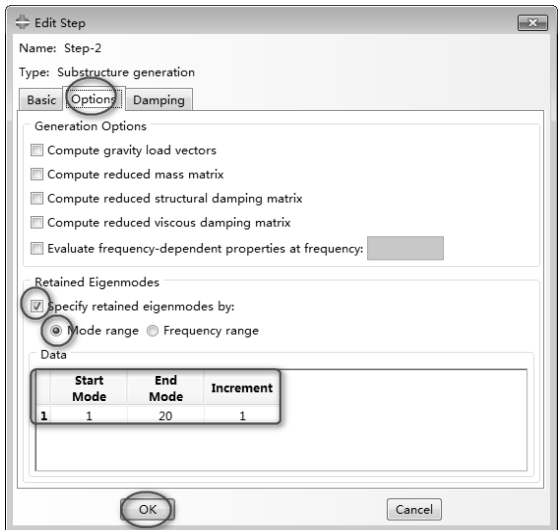


图 1-6 Options 选项卡设置

• 切换到相互作用 Interaction 界面，在连杆两圆孔中心创建 RP 参考点，建立 RP 点与孔内表面的 MPC 多点约束，如图 1-7 所示。

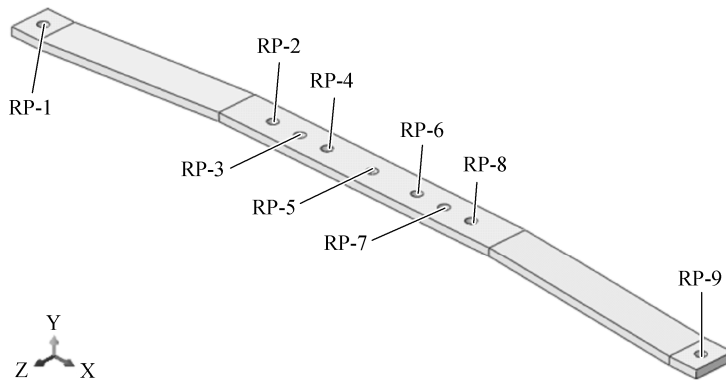


图 1-7 RP 点约束

板簧长度中心线上设计出 9 个孔，孔直径为 5 mm，此板簧有 4 种刚度：RP-5 为板簧长度的中心，固定 RP-5 时，单侧臂 RP-5 与 RP-1 之间的刚度为  $A$ ，单侧臂 RP-5 与 RP-9 之间的刚度为  $A$ ；RP-4 与 RP-6 关于 RP-5 对称，固定 RP-4 与 RP-6 时，单侧臂 RP-4 与 RP-1 之间的刚度为  $B$ ，单侧臂 RP-6 与 RP-9 之间的刚度为  $B$ ；RP-3 与 RP-7 关于 RP-5 对称，固定 RP-4 与 RP-6 时，单侧臂 RP-3 与 RP-1 之间的刚度为  $C$ ，单侧臂 RP-7 与 RP-9 之间的刚度为  $C$ ；RP-2 与 RP-8 关于 RP-5 对称，固定 RP-2 与 RP-8 时，单侧臂 RP-2 与 RP-1 之间的刚度为  $D$ ，单侧臂 RP-8 与 RP-9 之间的刚度为  $D$ ；RP-1、RP-9 与下控制臂刚性固定连接。

• 切换到网格划分 Mesh 界面，设置网格全局尺寸为 2 mm，网格划分完成后如图 1-8 所示，共包含 5 488 个六面体单元，经检查，网格全部符合要求。

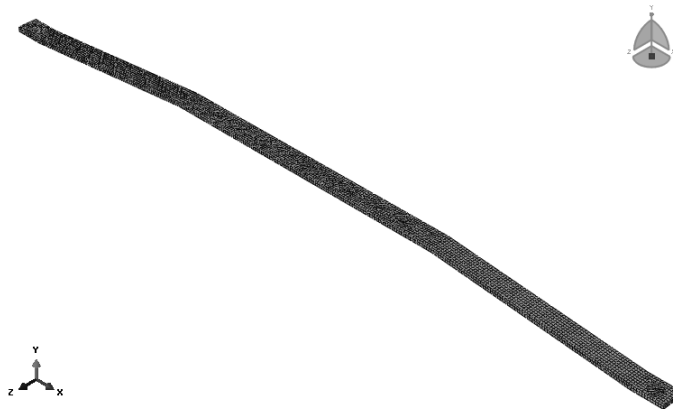


图 1-8 板簧网格划分——六面体

- 切换到 Load 界面，在 Step-1 分析步下约束 RP-1、RP-2 两个参考点完全固定。
- Step-2 分析步下选择 Retained nodal dofs，点击继续弹出编辑界面对话框如图 1-9 所示，勾选全部约束。
- 切换到 Job 界面，在模型下点击编辑关键字，弹出关键字命令窗口如图 1-10 所示。

在图片位置处添加关键字符如下：

MASS MATRIX=YES     %质量矩阵

\*FLEXIBLE BODY, TYPE=ADAMS     %转换为 ADAMS 关键字；

\*ELEMENT RECOVERY MATRIX, POSITION=AVERAGED AT NODES     %计算结果中显示应力应变

S,

E,

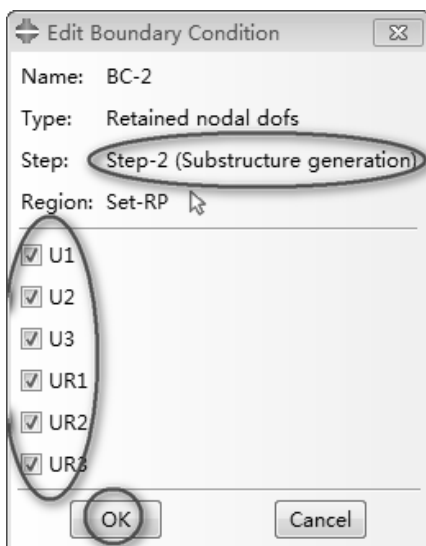


图 1-9 约束设置

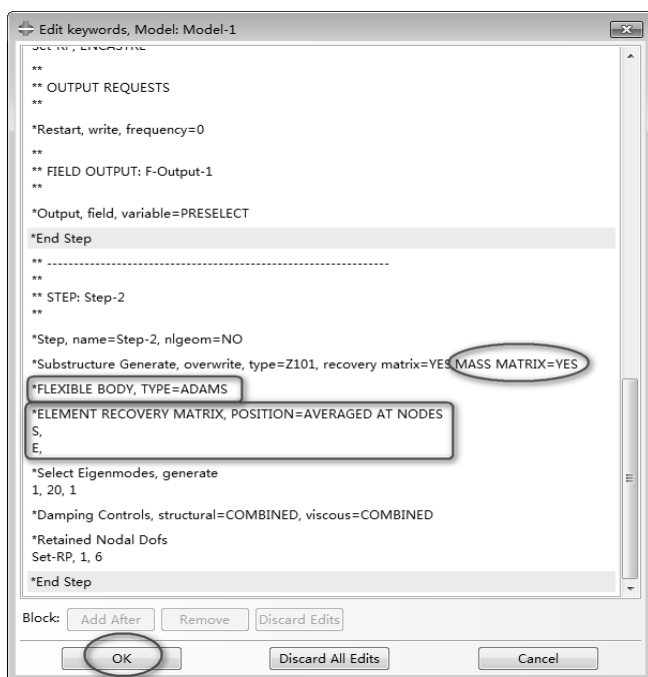


图 1-10 模型关键字编辑

• 创建 fsae\_leaf\_20p5 分析作业并提交运算，运算完成后可以在后处理模块中显示连杆的模式变形及对应的频率。前 4 阶模态变形如图 1-11 ~ 图 1-14 所示。

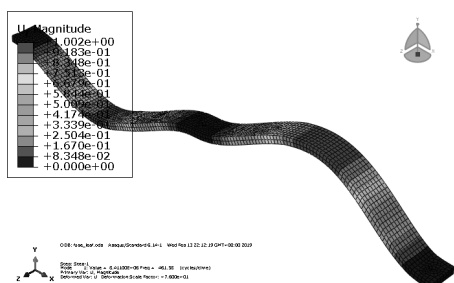


图 1-11 板簧一阶模态

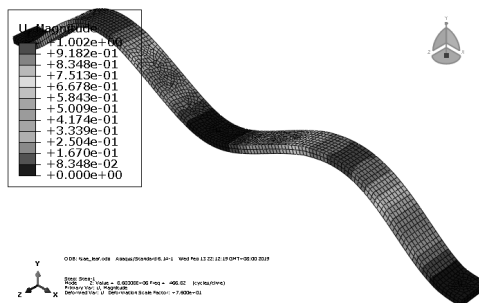


图 1-12 板簧二阶模态

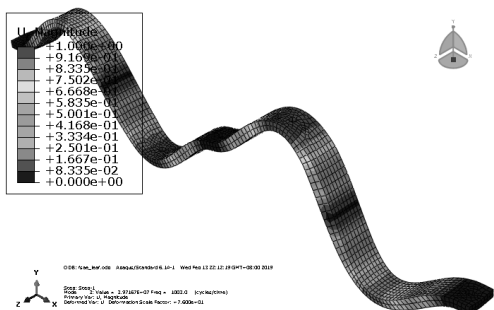


图 1-13 板簧三阶模态

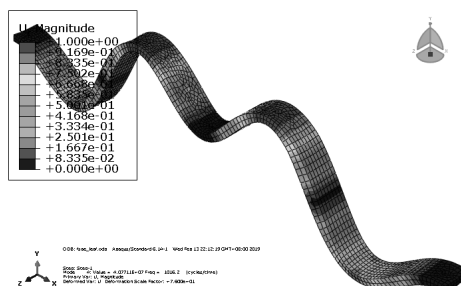


图 1-14 板簧四阶模态

## 1.2 横置板簧 MNF

- 打开 ABAQUS COMMAND, 输入 `cd D:\ADAMS_MNF`, 切换命令至 ADAMS\_MNF 文件夹。

- 继续输入以下命令: `abaqus adams job= fsae_leaf_20p5 substructure_sim=fsae_leaf_20p5_Z101 model_odb= fsae_leaf_20p5 length=mm mass=tonne time=sec force=N`, 命令输入完成后, ABAQUS COMMAND 完成提交并运算产生 `fsae_leaf_20p5.mnf` 中性文件。

- 板簧子数据块完成计算后通过转换命令生成板簧中性文件 MNF, 在 ADAMS 中导入中性文件添加约束、驱动计算板簧刚度, 单侧臂刚度测试过程如下: RP-9 处添加与 Y 轴平行的移动副, 在移动副上添加驱动位移, 运动速度为 20 mm/s, 分别固定约束 RP-5、RP-6、RP-7、RP-8 计算出刚度 A、B、C、D 如图 1-15 所示; 刚度 A 为 26.10 N/mm、刚度 B 为 56.04 N/mm、刚度 C 为 107.54 N/mm、刚度 D 为 232.55 N/mm。从计算结果可以看出, 同一片钢板弹簧, 通过改变力臂大小, 刚度实现了 9 倍范围内变化。

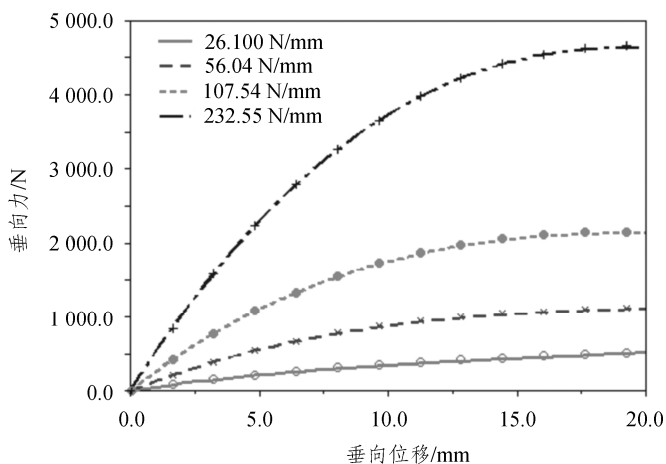


图 1-15 板簧刚度

## 1.3 横置板簧双 A 臂悬架模型

- 启动 ADAMS/CAR, 选择专家模块进入建模界面。
- 单击 `File > New` 命令, 弹出建模对话框如图 1-16 所示, 在模板名称输入 `fsae_suspension_rear_axle`, 主特征选择 `suspension`, 单击 OK。
- 单击 `Build > Hardpoint > New` 命令, 弹出创建硬点对话框如图 1-17 所示。
- 在硬点名称里输入 `drive_shaft_inr`, 类型选择 `left`; 在位置文本框输入 `1 500, -200.0, 225.0`。
- 单击 `Apply`, 完成 `drive_shaft_inr` 硬点的创建。此时在屏幕上显示出左右对称的两个