

文章编号:1006—2106(2005)06—0048—03

铝合金地铁车体零件有限元模态分析

陆娟 洪荣晶 朱壮瑞

(南京工业大学机械与动力工程学院,江苏南京 210009)

摘要:目前,铝合金地铁车体广泛采用大型中空闭口型材,其结构具有一定的复杂性,为简化计算程序,需进行铝合金车体的有限元建模与静力学分析。本文通过采用两种不同的单元类型(solid45 和 shell63)建立铝合金地铁车体典型零件的有限元模型,在相同的边界条件和载荷下,比较两种模型的静力学和动力学计算结果,得出在满足工程精度的前提下采用板壳单元,可使单元数大大减少,且提高了网格的质量,具有节约计算成本的特点,这为进行铝合金地铁车体的有限元建模与静、动力学分析及优化提供了参考依据。

关键词:地铁;铝合金车体;模态;有限元建模;振动

中图分类号: TB115 **文献标识码:** A

1 引言

铝合金地铁车体是城市轨道交通装备的重要组成部分,车体的轻量化是评价车体性能的重要指标之一。铝合金车体利用铝的密度小(同等体积下为钢的 1/3)的特点,减轻车体的自重,从而提高车辆的运行性能。铝合金车体从结构形式上可分为:板梁、大型开口型材和大型中空闭口型材及其组合形式,而大型中空闭口型材形式是目前和以后发展的方向。

然而我国关于铝合金车体结构设计方面的经验欠缺,大多数以大铁路客车设计经验为基础,采用板、梁单元进行钢结构车体的离散,对板梁结合的有限元模型进行各种载荷工况的强度、刚度、动力学分析。而对中空型材的铝合金地铁车体在各种载荷下进行的强度、疲劳、模态分析鲜见报道。

车体结构的有限元分析是开发新型车体结构设计的重要内容之一,然而有限元模型分析结果的正确性,直接受车体有限元模型与实际结构力学特性一致性程度的影响^[1]。本文针对大型中空型材的铝合金地铁车体,采用大型有限元软件 ANSYS,对车体的同一典型零件采用 solid45 和 shell63 两种不同的单元进行有限元建模,在相同的边界条件和载荷状况下,分析比较不同单元的两种有限元模型的静、动力学计算结果,并在此基础上为整车的有限元建模以及整车的静、动力学

分析与优化提供参考依据。

2 铝合金车体的结构特点

大型中空型材的铝合金地铁车体结构采用 6000 系列铝合金材料制造,车体为梯形断面,车体设计成整体承载轻型铝合金焊接(或铆接)模块化结构。车体主要由 6 块大型铝合金组件焊接而成的:一个底架(包括边梁、铸钢枕梁、钢箱缓冲梁);一个车顶(包括底部的侧梁);两块侧墙(包括顶部的侧梁、底部的侧梁);两个端墙(Tc 车包括一个司机室端部和一个后端墙;动车包括两个端墙)。各个大型铝合金组件是采用截面形状复杂的铝合金纵向挤压型材组焊或通过大量的铆钉和螺栓进行联接的。组装后的各个大型模块,最终通过整体焊接或铆接的形式拼装而成。车体结构可承受垂直、纵向、横向、扭转等载荷。

本文所讨论的车体零件为侧墙模块中的下边梁,长为 18.95 m,截面最小厚度为 3 mm,最大厚度为 7 mm,截面形状复杂,在整个车体的零部件中截面形状具有代表性特征。如图 1 所示。此结构的最小厚度与长度之比远远大于 10,对于这样的结构如果采用实体单元进行网格的划分时,必须采用较小的单元(如为最小厚度的 1/2),以避免单元的最大边长与最小边长之比不超过有限元软件的规定,防止单元矩阵出现奇异。较小的单元尺寸势必引用计算模型的庞大,并且引起车体的

局部模态,这对于分析评价车体的整体特性是不利的。然而如果采用板壳单元,以实常数形式赋于壳单元,在零件的长度方向可以采用较稀的网格划分,避免单元细长比过大,使整车的有限元模型具有较好的网格质量,同时单元数也大大减少。下面对如图 1 所示的典型零件进行实体与板壳单元的有限模型建模,并进行静、动力学分析比较。

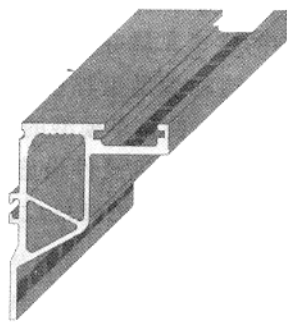


图 1 下边梁实体模型

3 静力学分析比较

由于仅比较两种不同单元所建模型的差别,故对同一零件,在相同的边界条件和载荷下,采用不同单元类型(solid45 和 shell63)进行静力学计算。将下边梁作为悬臂梁结构来处理。如图 1 所示,下边梁的一端固定,并在梁的另一端施加 10 N 的集中力载荷,得到两种模型 Y 方向上最大位移值如表 1 所示。

表 1 下边梁静力分析位移对比

单元类型	Y 方向最大位移值(mm)	单元数(个)
Solid45 实体单元	8.865	44 844
Shell63 板壳单元	8.487	5 400
比较	0.378	39 444

从表 1 可以看到,两种有限元模型在 Y 方向上最大位移值相对误差为 4.26 %,可见 shell63 的板壳模型与 solid45 的实体模型在静力学特性上比较接近,而两种单元的单元数相差 39 444,因此对于此结构选用 shell63 单元优于 solid45。

4 模态分析比较

4.1 板壳单元有限元建模

(1) 导入几何模型

由于零件的 CAD 几何模型是用 solidworks 设计的,因此,首先在 solidworks 中保存为 PARA 文件(以 x_t 为后缀名),然后在 ANSYS 中导入 PARA 文件。得到如图 1 所示的实体模型。

(2) 修改几何模型

万方数据

PARA 文件导入的模型,具有一些小特征^[2-3],如圆角,小孔等、也有出于对装配或工艺需要而设计的凹槽,凸槽等,这些应予以删除,因为它们并不影响结构承载能力,它们的存在只会使有限元模型的结点和单元数大大增加,从而加大计算量。

(3) 提取型材截面的中面

中面是指平分板厚的平面,根据薄板小挠度的基本假定,可将薄板的应力应变的计算简化为求中面的挠曲函数 $\omega(x,y)$ 。对截面进行简化,最终得到的中面如图 2 所示。

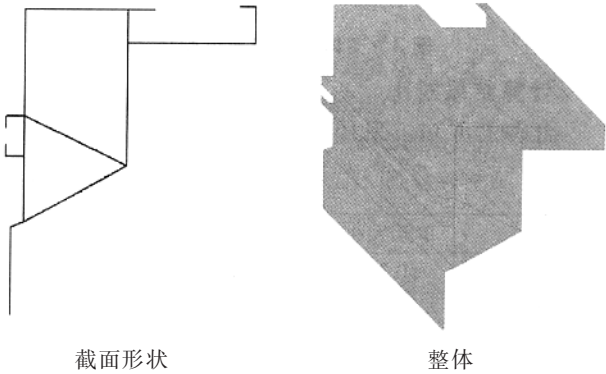


图 2 提取的截面形状与整体的中面

(4) 划分网格

由于车体结构采用大量的大型中空闭口型材,型材的长宽比较大,选择四边形的 Shell63 单元进行结构离散,它具有 6 个自由度(x,y,z 的位移及绕 x,y,z 轴的转动),且可承受平行与垂直于中面的载荷,可较精确地模拟车体的实际受力情况。

(5) 定义材料属性

由于模型从 solidworks 导入到 ANSYS,所以要注意单位的统一。本文计算采用的单位为:长度——m,质量——kg,弹性模量——Pa,密度—— kg/m^3 。

材料弹性模量 $E=6.9\text{e}10$ Pa,泊松比 $\mu=0.34$;密度 $\rho = 2\,700\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

(6) 边界条件

约束条件对结构的动力学分析至关重要,由于本文只对车体零件作分析,所以不施加任何约束,进行该零件的自由模态分析。因主要关心模型的低阶频率,故仅在计算选项中提取前 10 阶频率,其中前 6 阶为刚体模态(包括 3 个平动和 3 个转动)。

4.2 实体单元的有限元模态分析

从 solidworks 中导入实体模型,在 ANSYS 中对其进行简化重构,得到如图 3 所示的实体模型,采用 solid45 实体单元,以 1.5 mm 为单元尺寸,先对模型的截面进行网格的划分,再以 sweep 方式,对零件整体进行网格的划分。solid45 实体单元,每个单元有 8 个结

点,每个结点具有 3 个自由度,为 x, y, z 方向的平动。

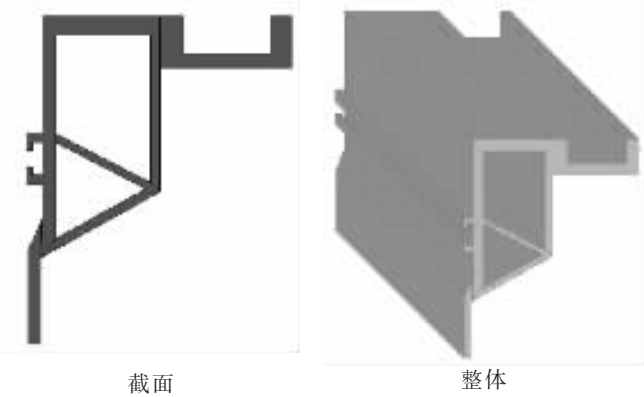


图 3 实体截面与实体整体

4.3 计算结果对比

由表 1 可知:采用不同单元划分模型,solid45 与

shell63 单元误差最大为 5.23 %,最小的是 3.07 %,这样的误差是可以接受的。这也与其它文献所述相符,用 shell63 来离散整车模型,能够较好的反应车体实际结构相符。

5 结 论

(1) solid45 单元数是 shell63 单元数 10 倍以上,但两者的静动力学的计算结果相差很少,故对于这种大型中空型材结构的整车车体在进行有限元建模时,应采用 shell63 单元,这在满足工程精度的前提下,使零件的单元数大大减少,使整车模型的总单元数控制在 10 万个以内,降低对计算机硬件设施的需求,计算时间大大减少,使模型在现有的硬件设备上进行动力学分析成为可能。

表 2 不同单元网格划分计算结果

单元	单元大小	纵向划分份数	第 7 阶(Hz)	第 8 阶(Hz)	第 9 阶(Hz)	第 10 阶(Hz)	结点数(个)	单元数(个)
Shell63	0.2	100	1.3710	2.5895	3.7783	7.1315	1 717	1 800
	0.2	200	1.3709	2.5893	3.7772	7.1293	3 417	3 600
	0.2	300	1.3709	2.5892	3.7770	7.1289	5 117	5 400
Solid45	0.005	100	1.3159	2.4608	3.6647	6.8475	62 822	44 844
误差			4.18 %	5.22 %	3.07 %	4.11 %		

(2) 在零件长度方向采用大小不同的 shell63 单元,结点和单元数有明显的增加,但是对计算结果的影响却很小。因此,在整车分析中,可采用纵向划分 200 等份。

(3) 为进行大型中空型材铝合金车体的整车有限元建模和静、动力学分析及优化提供依据。

参考文献:

[1] 缪炳荣,肖守纳.ANSYS 在机车车体结构设计中的应用[J].铁道机车车辆,2002,(增刊):197-199.

[2] 兆文忠,谢素明,李福,范国海.误区、技巧、建模原则及建议——大型有限元软件应用浅谈[J].大连铁道学院学报,2000,21(3):1-6.
[3] 杜平安.结构有限元分析的形状处理方法[J].机械与电子,2000,(1):26-27.
[4] 缪炳荣,肖守纳.机车车体结构模态的有限元分析[J].电力机车技术,2002,25(4):41-45.
[5] 王凤丽,宋继良,谭光宇等.在 ANSYS 中建立复杂有限元模型[J].哈尔滨理工大学学报,2003,(3):22-24.
[6] 傅志方.振动模态分析与参数辨识[M].北京:机械工业出版社,1990.

(编辑 慕成娟)

MODAL ANALYSIS OF FITTINGS OF ALUMINIUM-ALLOY CAR BODY FOR METRO

LU Juan, HONG Rong-jing, ZHU Zhuang-grui

Machinery and Power Engineering School of Nanjing Industry University

Abstract: Nowadays large-sized hollow closed-end section bar is widely used in aluminium-alloy car body for Metro with certain complex structure. It is necessary to establish finite-element model and make static analysis to aluminium-alloy car body in order to simplify calculation process. The static and dynamic calculation results of two types of models are compared under the same boundary and load in this paper, through establishing finite-element model with two different types of units (solid45 and shell63) to aluminium-alloy car body. It is concluded that adopting lamella unit can reduce unit quantities greatly and increase the network quality on the premise of meeting the accuracy requirement, with the feature of saving calculation cost. It and optimising calculation to aluminium-alloy car body.

Key words: metro; aluminium-alloy car body; modal; establishing finite-element model; vibration

作者: 陆娟, 洪荣晶, 朱壮瑞, LU Juan, HONG Rong-jing, ZHU Zhuang-grui
作者单位: 南京工业大学机械与动力工程学院, 江苏, 南京, 210009
刊名: 铁道工程学报 **ISTIC PKU**
英文刊名: JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY
年, 卷(期): 2005(6)
被引用次数: 6次

参考文献(6条)

1. 缪炳荣;肖守讷 ANSYS在机车车体结构设计中的应用[期刊论文]-铁道机车车辆 2002(ZK)
2. 兆文忠;谢素明;李福;范国海 误区、技巧、建模原则及建议——大型有限元软件应用浅谈[期刊论文]-大连铁道学院学报 2000(03)
3. 杜平安 结构有限元分析的形状处理方法[期刊论文]-机械与电子 2000(01)
4. 缪炳荣;肖守讷 机车车体结构模态的有限元分析[期刊论文]-电力机车技术 2002(04)
5. 王凤丽;宋继良;谭光宇 在ANSYS中建立复杂有限元模型[期刊论文]-哈尔滨理工大学学报 2003(03)
6. 傅志方 振动模态分析与参数辨识 1990

本文读者也读过(10条)

1. 李权才. 吴俊峰. LI Quan-cai. WU Jun-feng 三峡地电坝顶门机金属结构有限元分析[期刊论文]-机械工程师2010(7)
2. 黄学君. HUANG Xue-jun 电力机车车体顶盖对车体固有频率的影响[期刊论文]-机车电传动2008(1)
3. 张成云. 商献伟. 张威. 周俊. 史向阳. ZHANG Cheng-yun. SHANG Xian-wei. ZHANG Wei. ZHOU Jun. SHI Xiang-yang 液压支架联接头的有限元分析及优化[期刊论文]-煤矿机械2011, 32(7)
4. 刘洁. 张和平. LIU Jie. ZHANG He-ping 不锈钢薄壁波纹换热管强度的有限元分析[期刊论文]-淮海工学院学报(自然科学版) 2005, 14(1)
5. 胡杰. HU Jie 磁浮列车走行机构曲线通过能力分析[期刊论文]-铁道车辆2008, 46(9)
6. 李大涛. 刘晓婷. Li Datao. Liu Xiaoting 高空作业平台伸缩臂有限元分析及优化[期刊论文]-起重运输机械2011(5)
7. 马军. 孙秦. MA Jun. SUN Qin 磁悬浮列车走行机构关键部件DFR法疲劳寿命估算[期刊论文]-机械设计与制造2008(6)
8. 王勋龙. 姜岩. 孙巍. WANG Xun-long. JIANG Yan. SUN Wei 城市轨道客车车体结构固有频率的测试方法及研究[期刊论文]-内燃机车2006(6)
9. 朱惠华. 石端伟. 宋蓓莉 基于ANSYS的布料机结构有限元分析[期刊论文]-机械设计2004, 21(z1)
10. 王丹. 李强 高速客车车体钢结构弹性模态分析研究[期刊论文]-北方交通大学学报2001, 25(4)

引证文献(6条)

1. 张军. 王悦东. 兆文忠 中空挤压铝型材声振系统统计能量分析[期刊论文]-大连交通大学学报 2010(4)
2. 张军. 兆文忠. 李永华. 王悦东. 王剑 基于APDL高速铝合金车体参数化建模[期刊论文]-大连交通大学学报 2009(4)
3. 马维莲. 张克姝 有限元分析在城轨车辆扶手结构设计中的应用[期刊论文]-沿海企业与科技 2011(12)
4. 汪学岭. 程熊. 蒋忠城 基于LMS系统的空调板模态仿真及试验联合应用研究[期刊论文]-技术与市场 2013(12)
5. 耿烽. 左言言. 李树栋 铝合金A型地铁轻量化车体结构与有限元建模[期刊论文]-制造业自动化 2010(11)
6. 赵红伟. 田爱琴 基于动车组车体结构改进的低阶模态分析[期刊论文]-武汉理工大学学报(交通科学与工程版) 2011(3)

引用本文格式: 陆娟. 洪荣晶. 朱壮瑞. LU Juan. HONG Rong-jing. ZHU Zhuang-grui 铝合金地铁车体零件有限元模态分析[期刊论文]-铁道工程学报 2005(6)