

基于ANSYS的桥壳结构分析

鲁海宁¹, 宋丽², 宋建平¹, 王立帅¹, 鲁康平¹, 孙宇¹

1. 山东蓬翔汽车有限公司研发中心 山东烟台 265600

2. 烟台科技学院海洋工程学院 山东烟台 265600

摘要: 车桥桥壳是主要的承载件和传力件, 桥壳的强度及刚性对整车的安全可靠有直接影响。采用有限元分析方法, 对某型号装甲车前、中、后桥桥壳进行静力学分析。在极限工况下, 桥壳最大应力226.96MPa, 低于材料许用应力; 最大变形量0.90mm, 满足其强度和刚度要求。通过批量装车验证, 证明结构分析的有效性, 因此, 有限元分析方法可以为桥壳的设计与分析提供参考。

关键词: 桥壳; 有限元分析; 强度; 刚度

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.05.007

驱动桥是车辆的核心部件, 其主要功能是承载和传递驱动力。驱动桥桥壳是车辆主要的承载件和传力件, 是主减速器、差速器和半轴等的装配基体^[1]。在车辆行驶过程中, 桥壳承受道路和车架之间各方向的力^[2, 3], 冲击载荷较大, 严重影响桥壳的使用寿命, 一旦桥壳发生断裂, 便会严重危及生命安全。随着分析手段多样化, 部分研究人员将有限元方法和传统力学相结合, 为设计和优化驱动桥壳提供了理论依据^[4]。KUMAR^[5]等通过有限元分析的方法对汽车前桥进行了轻量化设计, 取得了显著的研究成果。

轮式装甲车传动系统由前桥、中桥、后桥组成, 起着连接传动轴和传递动力的作用。中桥带有分动器, 前桥、中桥、后桥直接与悬挂上下臂通过销轴连接, 不仅承受来自内部齿轮的齿轮啮合力, 还承受悬挂上下臂的力, 因此车桥应具有足够的强度和刚度去保证面对不同路面状况传递的反作用力和力矩。

本文基于ANSYS对前桥、中桥、后三桥的结构强度进行分析计算, 以保证其结构强度满足设计要求。

有限元模型建立

1. 坐标系及计算单位

分析模型是以前桥中心线与车体纵向中心线的交点, 沿竖直向下方向在底甲板外表面的投影点为坐标原点, 沿车体纵向中心线指向后方向为X轴正方向, 沿车体向右方向为Y轴正方向, 垂直底甲板向上方向为Z轴正方向。

2. 网格划分

为保证分析模型与实体模型的一致性, 对前桥、中桥、后桥桥壳及车体甲板进行实体建模。在网格划分中, 对模型进行适应性简化处理, 以符合结构的主要力学特性为前提。

在保证分析精度的前提下, 对分析模型进行如下简化假设: 结构中较小的尺寸结构, 如小孔、开口、倒角和小凸台等进行简化处理。选用ANSYS Workbench19.0软件建立有限元模型, 根据计算机运行

速度和计算精度综合考虑，桥壳、主减壳体采用5mm单元尺寸，上、下安装板采用3mm单元尺寸，车体甲板采用20mm单元尺寸，进行有限元网格划分，其中前桥节点5 615 578个，单元数3 773 808个；中桥节点7 059 307个，单元数4 713 076个；后桥节点6 034 653个，单元数4 059 548个，网格模型如图1所示。

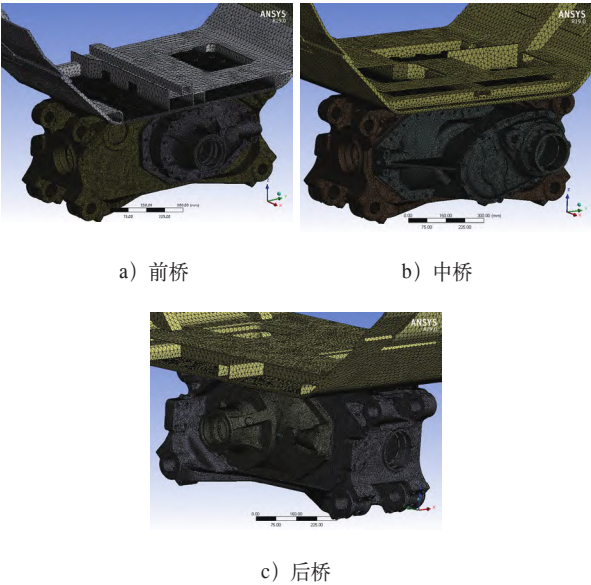


图1 有限元网格模型

3.设置材料属性

满足使用要求的前提下尽量采用轻量化设计。根据材料特性，本文主减壳体采用球墨铸铁QT450-10，桥壳采用球墨铸铁QT500-7，桥壳安装板采用35钢。各零件的材料属性见表1。

表1 材料属性

零件	材料	密度/ (kg/m³)	弹性模量/ MPa	泊松比	屈服强度/ MPa
主减壳体	球墨铸铁 QT450-10	7060	1.69e5	0.257	310
桥壳	球墨铸铁 QT500-7	7060	1.69e5	0.33	320
桥壳安装板	35钢	7060	2.0e5	0.3	315

4.施加载荷和边界条件

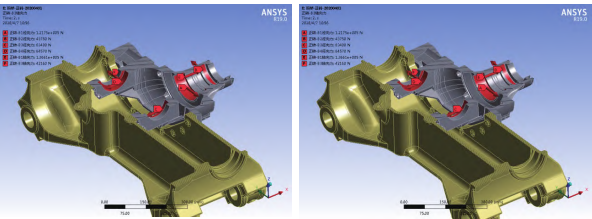
按照发动机最大扭矩及变速器速比，设定主减速器总成输入转矩8300N·m，结合主减速器总成主、从动锥齿轮副参数，计算齿轮副在传动转矩时产生的轴向与径向力。齿轮传动过程中产生的轴向、径向力通

过主锥轴承传递到轴承座，分别分解到X、Y、Z三个方向，前桥轴承座载荷值见表2，载荷位置如图2所示。中桥轴承座载荷值见表3，载荷位置如图3所示。后桥轴承座载荷值见表4，载荷位置如图4所示。

前桥、中桥、后桥上、下臂支座均承受载荷。装

表2 前桥轴承座载荷值 (单位: N)

部件		轴向力			径向力		
		X	Y	Z	X	Y	Z
正转	主动锥齿轮	136 610	0	0	0	43 750	0
	主动锥齿轮				0	-121 750	0
	从动锥齿轮	0	42 160	0	-63 400	0	0
	从动锥齿轮				-64 570	0	0
反转	主动锥齿轮	-162 890	0	0	0	-36 760	0
	主动锥齿轮				0	159 790	0
	从动锥齿轮	0	-122 960	0	76 900	0	0
	从动锥齿轮				57 320	0	0

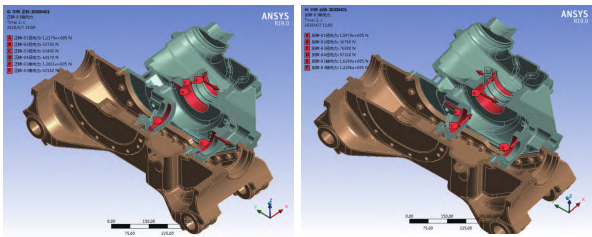


a) 前桥正转 b) 前桥反转

图2 前桥轴承座载荷

表3 中桥轴承座载荷值 (单位: N)

部件		轴向力			径向力		
		X	Y	Z	X	Y	Z
正转	主动锥齿轮	136 610	0	0	0	-43 750	0
	主动锥齿轮				0	121 750	0
	从动锥齿轮	0	-42 160	0	-63 400	0	0
	从动锥齿轮				-64 570	0	0
反转	主动锥齿轮	-162 890	0	0	0	36 760	0
	主动锥齿轮				0	-159 790	0
	从动锥齿轮	0	122 960	0	76 900	0	0
	从动锥齿轮				57 320	0	0

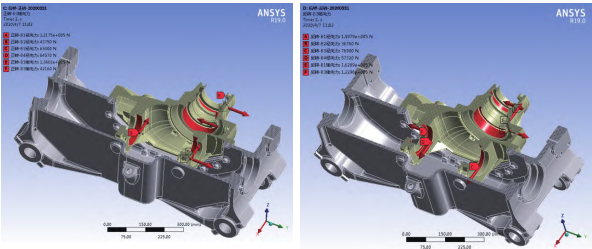


a) 中桥正转 b) 中桥反转

图3 中桥轴承座载荷

表4 后桥轴承座载荷值 (单位: N)

部件		轴向力			径向力		
		X	Y	Z	X	Y	Z
正转	主动锥齿轮	-136 610	0	0	0	43 750	0
	主动锥齿轮				0	-121 750	0
	从动锥齿轮	0	-42 160	0	-63 400	0	0
	从动锥齿轮				-64 570	0	0
反转	主动锥齿轮	-162 890	0	0	0	-36 760	0
	主动锥齿轮				0	159 790	0
	从动锥齿轮	0	-122 960	0	76 900	0	0
	从动锥齿轮				57 320	0	0



a) 后桥正转

b) 后桥+反转

图4 后桥轴承座载荷

备总质量24t,单桥承重8t,考虑车辆运行实际情况,根据经验按照3.5倍载荷计算。前桥上、下支座悬挂载荷值见表5。固定约束施加在壳体与车体连接表面上,前桥施加约束如图5所示。

中桥上、下支座悬挂载荷值见表6,中桥施加约束

表5 前桥支座悬挂载荷值 (单位: N)

部件			载荷			
			X	Y	Z	合力
左侧	上臂支座	前衬套	1485.5	39 191	-659.75	39 225
		后衬套	-1494.5	40 418	421.75	40 448
	下臂支座	前衬套	-1046.5	21 492	-78 551	81 444
		后衬套	-1013.3	27 668	31 540	41 968
右侧	上臂支座	前衬套	1485.5	-39 191	-659.75	39 225
		后衬套	-1494.5	-40 418	421.75	40 448
	下臂支座	前衬套	-1046.5	-21 492	-78 551	81 444
		后衬套	-1013.3	-27 668	31 540	41 968

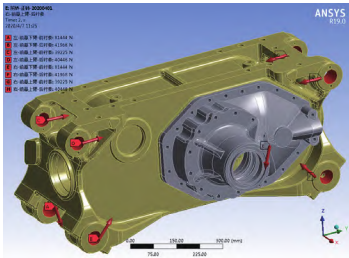


图5 前桥约束

如图6所示。

后桥上、下支座悬挂载荷值见表7,后桥施加约束如图7所示。

表6 中桥支座悬挂载荷值 (单位: N)

部件			载荷			
			X	Y	Z	合力
左侧	上臂支座	前衬套	2098.3	46 809	-542.5	46 859
		后衬套	-2107	46 232	413	46 281
	下臂支座	前衬套	-1837.5	30 482	-87 416	92 596
		后衬套	1800.8	35 553	35 282	50 120
右侧	上臂支座	前衬套	2098.3	-46 809	-542.5	46 859
		后衬套	-2107	-46 232	413	46 281
	下臂支座	前衬套	-1837.5	-30 482	-87 416	92 596
		后衬套	1800.8	-35 553	35 282	50 120

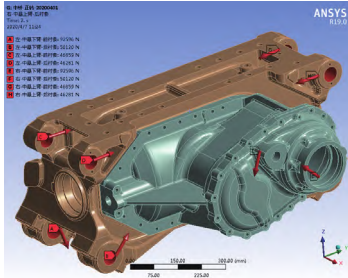


图6 中桥约束

表7 后桥支座悬挂载荷值 (单位: N)

部件			载荷			
			X	Y	Z	合力
左侧	上臂支座	前衬套	1655.5	47 248	-390.25	47 279
		后衬套	-1664.3	49 588	395.5	49 617
	下臂支座	前衬套	-1093.3	21 655	-83183	85 962
		后衬套	-1043	29 801	42359	51 802
右侧	上臂支座	前衬套	1655.5	-47 248	-390.25	47 279
		后衬套	-1664.3	-49 588	395.5	49 617
	下臂支座	前衬套	-1093.3	-21 655	-83 183	85 962
		后衬套	-1043	-29 801	42 359	51 802

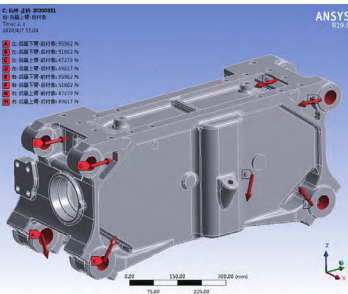


图7 后桥约束

计算结果

1.前桥

(1) 正转工况 前桥正转工况下，桥壳壳体应力分布云图如图8所示。桥壳壳体最大应力出现在右前方靠近车首上臂安装座附近的与安装板接触的面边缘，最大应力值为211.43MPa，未超过材料屈服极限（QT500-7屈服极限为320MPa）。

前桥正转工况下，桥壳壳体变形分布云图如图9所示。最大变形出现在左侧下臂车首方向安装支座的安装面上，最大变形量为0.66mm。

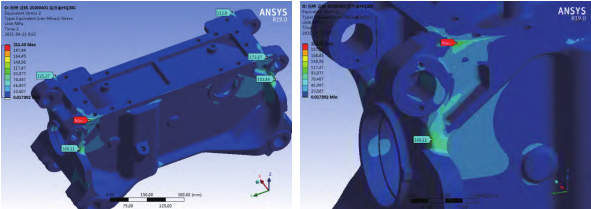


图8 应力分布云图

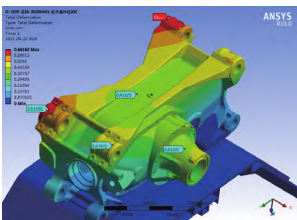


图9 变形分布云图

(2) 反转工况 前桥反转工况下，桥壳壳体应力分布云图，如图10所示。桥壳壳体最大应力出现在轴承座安装销轴附近，最大应力值为171.32MPa，未超过材料屈服极限。

前桥反转工况下，桥壳壳体变形分布云图，如图11所示。最大变形出现在左侧下臂车首方向安装支座的安装面上，最大变形量为0.62mm。

2.中桥

(1) 正转工况 中桥正转工况下，桥壳壳体应

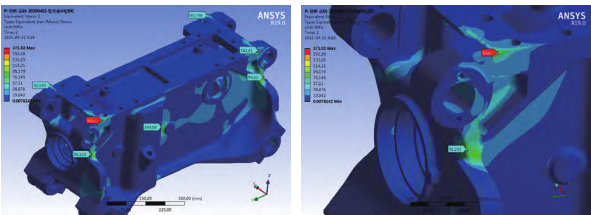


图10 应力分布云图

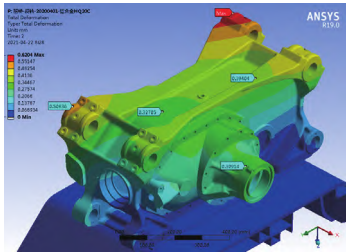


图11 变形分布云图

力分布云图如图12所示。桥壳壳体最大应力出现在左前方靠近车首上臂安装座附近的与安装板接触的面边缘，最大应力值为221.68MPa，未超过材料屈服极限。

中桥正转工况下，桥壳壳体变形分布云如图13所示。最大变形出现在左侧下臂车首方向安装支座的安装面上，最大变形量为0.80mm。

中桥反转工况下，桥壳壳体应力分布云图如图14所示。桥壳壳体最大应力出现在左前方靠近车首上臂安装座附近的与安装板接触的面边缘，最大应力值为171.33MPa，未超过材料屈服极限。

(2) 反转工况 中桥反转工况下，桥壳壳体变形分布云图如图15所示。最大变形出现在右侧下臂车首方向安装支座的安装面上，最大变形量为0.65mm。

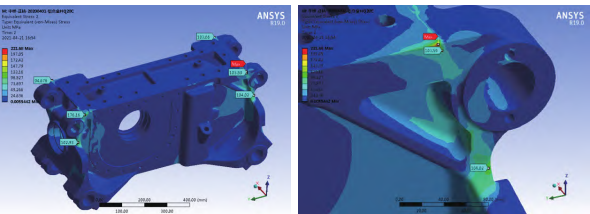


图12 应力分布云图

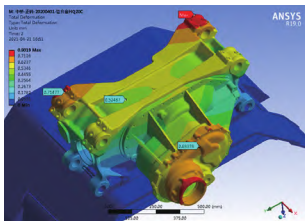


图13 变形分布云图

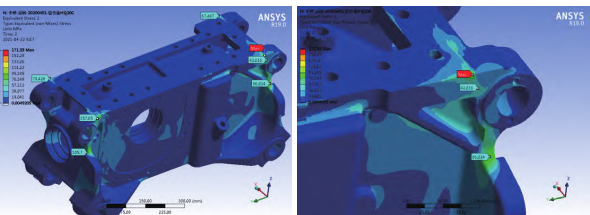


图14 应力分布云图

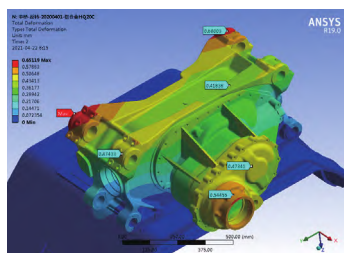


图15 变形分布云图

3.后桥

(1) 正转工况 后桥正转工况下，桥壳壳体应力分布云图如图16所示。

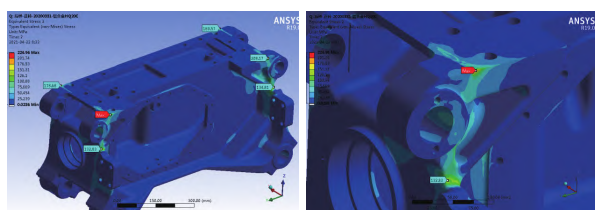


图16 应力分布云图

桥壳壳体最大应力出现在右前方靠近车首上臂安装座附近的与安装板接触的面边缘，最大应力值为226.96MPa，未超过材料屈服极限。

后桥正转工况下，桥壳壳体变形分布云图如图17所示。最大变形出现在右侧下臂车首方向安装支座的安装面上，最大变形量为0.90mm。

(2) 反转工况 后桥反转工况下，桥壳壳体应力分布云图如图18所示。桥壳壳体最大应力出现在左前方靠近车首上臂安装座附近的与安装板接触的面边缘，最大应力值为182.60MPa，未超过材料屈服极限。

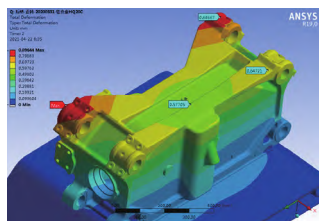


图17 变形分布云图

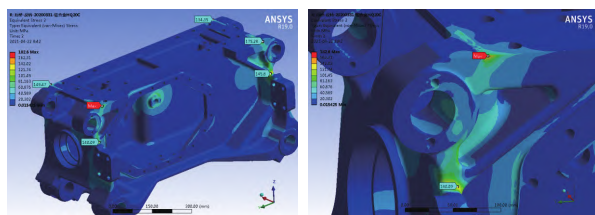


图18 应力分布云图

后桥反转工况下，桥壳壳体最大变形出现在右侧下臂车首方向安装支座的安装面上，最大变形量为0.75mm。

结语

为满足某轮式装甲车桥壳性能要求，通过多轮仿真技术和优化设计，最终完成桥壳设计，经有限元分析验证达到性能要求。以前桥为例，先后经过七轮结构设计，最大应力从428.5MPa降到226.96MPa；单桥质量从352.4kg降到268.8kg。对前、中、后桥桥壳在正、反转工况下的计算结果见表8。

表8 分析结果

部件	工况	最大应力/MPa	屈服极限/MPa	最大变形/mm
前桥	正转	211.43	428	0.66
	反转	171.32	428	0.62
中桥	正转	221.68	428	0.80
	反转	171.33	428	0.65
后桥	正转	226.96	428	0.90
	反转	182.60	428	0.75

由分析结果可得出结论：两种工况下，前、中、后桥桥壳最大应力值为226.96MPa，位于右前方靠近车首上臂安装座附近的与安装板接触的面边缘，不超过QT500-7材料屈服强度。目前该桥已批量装车，前、中、后桥均达到设计要求。

参考文献：

- [1] 刘艳萍，林方军，王海龙，等.基于Abaqus的35T驱动桥壳总成优化设计[J].机械传动，2022，46（5）：167-172.
- [2] 张学忱，张涛，张慧波.CA1040P90L2轻型货车驱动桥设计[J].工程图学学报，2011，32（6）：5-8.
- [3] 吕栋腾.一种汽车驱动桥总成试验台的设计[J].内燃机与配件，2021（23）：84-85.
- [4] 董二婷，白宁山.基于ANSYS Workbench载货汽车驱动桥壳的静力学分析[J].河南机电高等专科学校学报，2017，25（1）：5-10.
- [5] KUMAR G S, KUMARASWAMIDHAS L A.Design Optimization Focused on Failures During Developmental Testing of the Fabricated Rear-axle Housing[J]. Engineering Failure Analysis, 2021, 120: 104999. **AUTO1950**