

学校代码： 11059

学 号： 1606014014

合肥学院

Hefei University

毕业设计（论文）

BACHELOR DISSERTATION



论文题目： 基于 workbench 的汽车转向拉杆设计与仿真

学位类别： 工学学士

学科专业： 机械设计制造及其自动化

作者姓名： 王金彪

导师姓名： 王 磊

完成时间： 2020 年 6 月 4 日

基于 workbench 的汽车转向拉杆设计与仿真

中文摘要

转向拉杆是汽车转向机构中的重要零件之一，它直接影响着汽车行驶的稳定性、运行的安全性和相关零部件的使用寿命。

本文以具有代表性的某款汽车的转向横拉杆为主要研究对象，该横拉杆适配齿轮齿条式转向器，并且该转向系统与麦弗逊式独立悬架配合使用。内容主要包括以下几个方面：系统阐述了转向横拉杆的结构形式、主要失效形式以及在不同工况下的受力情况；针对易失效的球头销、横拉杆进行了设计计算；通过 workbench 模拟仿真在汽车制动、转弯、冲击等工况下的静强度分析，分别校核横拉杆、球头销抵抗破坏的能力；最后根据仿真分析结果再进行相应优化设计。

本设计及优化基于 workbench，在转向横拉杆的设计环节引入虚拟仿真不仅有助于提高转向横拉杆的设计质量与可靠性，而且具有一定的现实意义。

关键词：转向横拉杆；Workbench；静强度；优化设计

Design and simulation of steering link based on workbench

ABSTRACT

Steering link is one of the most important parts in automobile steering mechanism, which directly affects the stability, safety and the service life of relevant parts.

In this paper, the main research object is the steering tie rod of a typical car, which is equipped with rack and pinion steering gear, and the steering system is used in conjunction with McPherson independent suspension. The contents mainly include the following aspects: The structural form, main failure forms and the stress under different working conditions of the steering tie rod are systematically described; The design and calculation are carried out for the ball stud and the tie rod which are easy to fail; The static strength analysis under vehicle braking, turning, impact and other working conditions were simulated by workbench, and check the resistance to damage of the tie rod and ball stud; Finally, according to the simulation results, the corresponding optimization design is carried out.

This design and optimization is based on workbench, and virtual simulation is introduced in the design link of the steering tie rod, which not only helps to improve the design quality and reliability of the steering tie rod, but also has certain practical significance.

KEY WORDS: Steering tie rod;Workbench;Static strength;Optimal design

目 录

第一章 前言.....	1
1.1 研究目的与意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.3 研究内容与目标.....	2
1.4 本章小结.....	3
第二章 样车悬架、转向器与转向横拉杆.....	4
2.1 样车悬架结构分析.....	4
2.2 样车转向器结构分析.....	4
2.3 样车转向横拉杆分析.....	6
2.3.1 转向横拉杆结构分析.....	6
2.3.2 转向横拉杆不同工况下受力分析.....	6
2.3.3 转向横拉杆失效形式分析.....	7
2.4 本章小结.....	8
第三章 转向横拉杆结构设计与校核计算.....	9
3.1 横拉杆结构设计.....	9
3.2 外接球头组件结构设计.....	12
3.3 校核计算.....	18
3.3.1 横拉杆校核计算.....	18
3.3.2 球头销校核计算.....	20
3.4 本章小结.....	22
第四章 基于 workbench 的转向横拉杆仿真分析.....	23
4.1 问题描述.....	23
4.2 模型简化处理.....	23
4.3 不同工况下仿真分析.....	26
4.3.1 前行制动仿真分析.....	27
4.3.2 极限转向仿真分析.....	29
4.3.3 倒车台阶冲击仿真分析.....	31
4.3.4 转弯过坑冲击仿真分析.....	32
4.3.5 整车过坎冲击仿真分析.....	34
4.3.6 过坑冲击仿真分析.....	36
4.3.7 结论.....	37
4.4 本章小结.....	38
第五章 转向横拉杆结构优化设计.....	39
5.1 结构优化设计.....	39

5.2 优化设计后仿真分析.....	40
5.3 本章小结.....	42
第六章 涉及的标准及经济核算.....	43
6.1 涉及的标准.....	43
6.2 经济核算.....	43
6.2.1 经济核算概述.....	43
6.2.2 转向横拉杆经济核算.....	43
6.3 本章小结.....	45
参考文献.....	46
致 谢.....	48
图纸清单.....	49
附 录.....	50

第一章 前言

汽车在行驶过程中需要不断的改变或调整方向，转向系统就是通过一系列机械传动使汽车前轮发生偏转，从而改变汽车的行驶方向。转向系统一般包括转向操纵机构（方向盘、转向管柱、转向轴、转向传动轴、转向万向节）、转向器、转向传动机构（转向摇臂、转向直拉杆、转向节臂、转向梯形机构）。转向拉杆是汽车转向系统中的重要零件，对汽车行驶的稳定性有着很大影响。转向拉杆分为两类，即转向直拉杆与转向横拉杆。转向直拉杆承担着把转向摇臂的运动传递给转向节臂的任务；转向横拉杆则是转向梯形机构的底边，是确保左右转向轮产生正确运动关系的关键部件^{【1-2】}。

目前，汽车上广泛使用的转向器类型有齿轮齿条式转向器、蜗杆曲柄指销式转向器以及循环球式转向器等。目前市场上保有量巨大的小汽车，多采用齿轮齿条式转向器，该结构省略了转向摇臂和转向直拉杆，使转向传动机构简化，常与麦弗逊式独立悬架配用。

1.1 研究目的与意义

汽车在转向过程中，转向横拉杆会受到很大的载荷，当汽车在过坑、过坎时，还可能会受到很大的冲击载荷，从而导致转向横拉杆出现失稳现象。球头销长期磨损可能导致汽车转向时发出异响。横拉杆的受压变形，可能造成汽车转向不准确等故障。尤其当横拉杆过载断裂时，会导致汽车转向系统失控，从而引发交通事故。由此可见，汽车转向横拉杆对于安全行驶的重要性^{【3】}。

因此，我们在对汽车转向横拉杆进行结构设计时，不仅要考虑其功能上的使用要求，还要考虑汽车在各种复杂路况下行驶的受力情况。传统的转向横拉杆设计大多通过实体实验的方式进行各指标评估分析，为渐进式研发过程，该研发方式成本高，周期长。在今天这个计算机技术高度发达的时代，仿真分析是一种既可靠又经济的分析方法。本文借助 workbench 软件，对转向横拉杆在汽车行驶各工况下进行有限元仿真分析，并且根据仿真结果进行结构优化设计，不仅能够缩减产品的研发周期，降低研发成本，而且有助于提高转向横拉杆的可靠性^{【4】}。

1.2 国内外研究现状

转向横拉杆作为转向系统的一部分，随着转向系统结构与性能的提高而发展。从十九世纪汽车诞生之初，汽车转向拉杆便随转向系统的出现孕育而生。随着制造业的发展以及人们对汽车操控性、舒适性的追求，汽车转向系统经历了机械式转向系统、液压助力式转向系统、电子液压助力式转向系统、电子助力式转向系统的演变，转向系统结构形式与性能的提升对横拉杆的结构、强度有了新的要求。由于横拉杆的结构尺寸不仅与汽车转向系统中的转向器有着直接联系，还与汽车悬架以及汽车载重等都有着很大的关联，因此针对不同车型横拉杆有着不同的结构形式^[5]。

由于汽车行业的飞速发展，国际上各国汽车领域研究水平不一，汽车、转向系统、悬架的种类繁多，导致了横拉杆结构上没有统一的研究标准。但是随着汽车行业发展水平的不断提高，各汽车企业研发技术的日益成熟，各企业基本上都有着自己的研发标准。目前，除了企业以外，国内外很少对转向横拉杆进行单独的设计研究，横拉杆的设计一般都伴随在转向系统的研发之中。

随着计算机技术的飞速发展，国内外各企业对横拉杆的设计研发都趋向于在横拉杆设计之初引入虚拟仿真技术，替代传统依靠实体实验的渐进式研发过程。随着制造技术的进步与材料领域的突破横拉杆的结构形式也由之前的组装趋向于一体式总成，球头销等零件也都采用最新的耐磨材料，这些转变大大提高了横拉杆的耐磨性与抗压性，提高了横拉杆的使用寿命。因此，转向横拉杆的失效大多出现在重卡或者越野车上，一般的轿车在不发生交通事故的情况下很少会出现横拉杆故障。

1.3 研究内容与目标

本文的主要研究内容为针对市场上保有量巨大的小汽车，进行转向拉杆设计与仿真，主要任务如下：

- 1) 进行文献查询，了解转向拉杆的原理，类型及总体设计；
- 2) 熟悉使用 AutoCAD、Solidworks 和 workbench 软件；
- 3) 进行转向拉杆总成方案分析与设计；
- 4) 对于主要零部件进行设计与计算；
- 5) 利用 workbench 软件进行相应仿真。

本章是在查阅大量关于汽车转向横拉杆相关文献资料的基础上，提出的本课题的研究目的与意义，并且列出了本课题研究的主要内容，对全文做了一个整体概述。第二章简要阐述了目前市场上的汽车悬架类型与特点，转向器的类型与特点，从而对转向

拉杆的结构、不同工况下的受力特点以及失效形式进行了系统的阐述；第三章为转向横拉杆结构设计及计算过程，并且使用 AutoCAD 软件建立二维模型，UG 软件建立三维模型；第四章基于 workbench 对 UG 三维模型进行简化处理，针对不同工况下横拉杆受力情况进行仿真分析；第五章针对仿真结果进行结构优化设计与二次仿真，最后得出结论；第六章简要叙述了转向拉杆涉及的相关标准并对其进行经济核算。

1.4 本章小结

本章对本课题的研究目的与意义进行了介绍，同时对目前国内外在该领域的研究进行了简述，最后通过介绍本课题的研究内容与目标给全文做了一个综合性概述。

第二章 样车悬架、转向器与转向横拉杆

2.1 样车悬架结构分析

汽车悬架系统是指汽车车架和车桥之间的一个连接系统，它的功能是传递作用在车轮和车架之间的力，并且能够衰减汽车行驶过程中的震动，以提高汽车行驶的稳定性。悬架系统可以分为两种，独立悬架与非独立式悬架。目前市场上常用的悬架系统有纵置板簧式、纵臂扭转梁式非独立悬架，以及麦弗逊式、双叉臂式、多连杆式独立悬架。本文选用的样车前置悬架类型为麦弗逊式独立悬架^{【6】}。



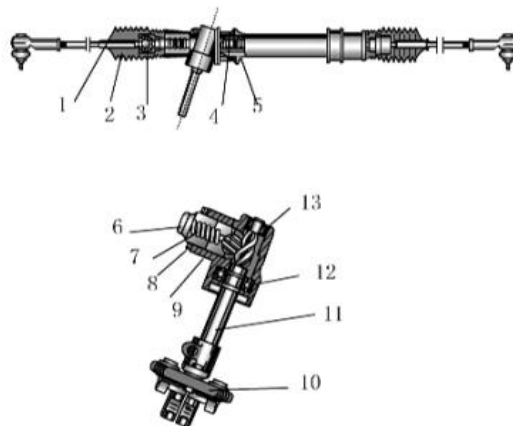
图 2-1 麦弗逊式独立悬架

目前，汽车上常使用的悬架类型为麦弗逊式独立悬架，它主要由螺旋弹簧、减震器和 A 字形下摆臂组成（图 2-1）。该种悬架的优点是占用空间小、结构简单、可靠性高并且经济性好，被广泛应用与各种轿车上；它的主要缺点是转弯时侧倾较大，稳定性欠缺、并且横向刚度小，汽车在转弯时，难以维持车身姿态^{【7】}。

2.2 样车转向器结构分析

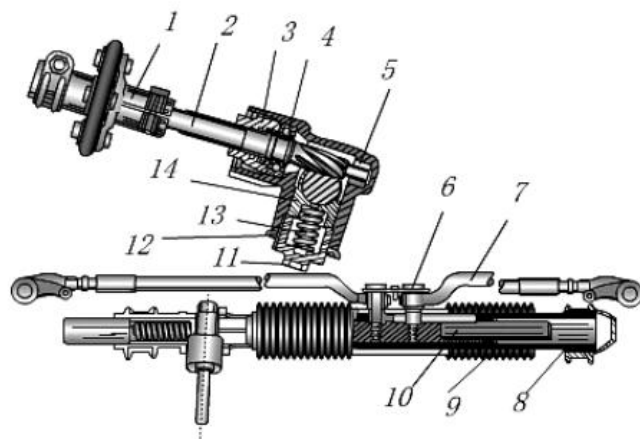
转向器(也常称为转向机)是将方向盘的圆周运动转换为直线运动(或近似直线运动)的一组齿轮机构，也是转向系统中的减速传动装置。目前常用的转向器有齿轮齿条式、循环球曲柄指销式、蜗杆曲柄指销式、循环球-齿条齿扇式、蜗杆滚轮式等。本文选用样车的转向系统转向器类型为齿轮齿条式转向器。

齿轮齿条式转向器分为两端输出式（图 2-2）和中间输出式（图 2-3）两种。两端输出式齿轮齿条转向器，转向横拉杆布置在转向器两端，与转向齿条连接。当转动方向盘时，转向器通过齿轮转动带动转向齿条沿轴向移动，转向齿条带动转向横拉杆移动，使车轮发生偏转，实现汽车转向。中间输出式齿轮齿条转向器的结构及其工作原理与两端输出式齿轮齿条转向器基本相同，不同之处在于它在转向齿条的中部用螺栓与左右转向横拉杆相连。本文选用样车转向器为两端输出式齿轮齿条转向器【8】。



- 1. 转向横拉杆 2. 防尘套 3. 球头座 4. 转向齿条 5. 转向器壳体 6. 调整螺塞
- 7. 压紧弹簧 8. 锁紧螺母 9. 压块 10. 万向节 11. 转向齿轮轴 12. 深沟球轴承
- 13. 滚针轴承

图 2-2 两端输出式齿轮齿条转向器

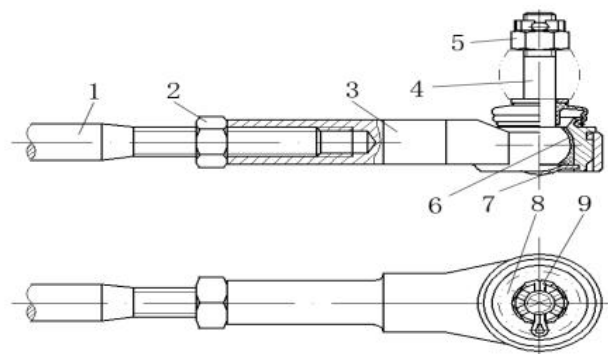


- 1. 万向节 2. 转向齿轮轴 3. 调整螺母 4. 深沟球轴承 5. 滚针轴承 6. 固定螺栓
- 7. 转向横拉杆 8. 转向器壳体 9. 防尘套 10. 转向齿条 11. 调整螺塞 12. 锁紧螺母
- 13. 压紧弹簧 14. 压块

图 2-3 中间输出式齿轮齿条转向器

2.3 样车转向横拉杆分析

2.3.1 转向横拉杆结构分析



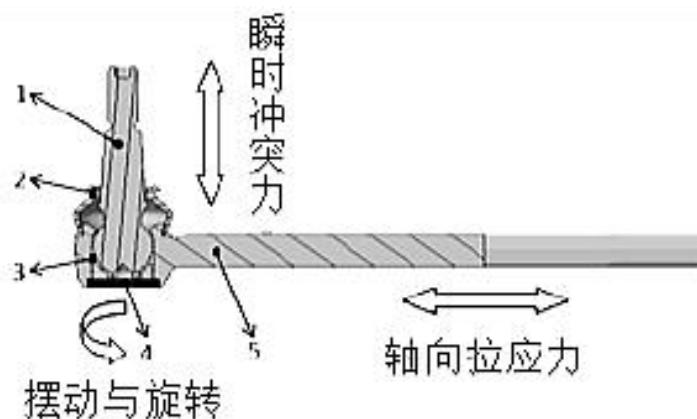
1. 横拉杆 2. 锁紧螺母 3. 外接头壳体 4. 球头销 5. 六角开槽螺母
6. 球头销座 7. 端盖 8. 梯形臂 9. 开口销

图 2-4 样车转向横拉杆总成

上图为样车转向横拉杆总成结构图，该转向横拉杆由横拉杆与外接头组件组成，外接头组件部分由外接头壳体、球头销等部分组成。横拉杆体与外接头组件通过螺纹连接，调整旋合长度可调整前轮前束，通过对六角螺母施加预紧力锁紧。外接头组件中球头销与外接头壳体通过球头销座铰接，球头销与减震器连接，通过六角开槽螺母与开口销固定。两端输出式齿轮齿条转向器转向系统中，转向横拉杆布置在转向器两端，与转向齿条通过球头铰接。

2.3.2 转向横拉杆不同工况下受力分析

汽车在转向过程中，方向盘的圆周运动通过齿轮齿条转向器转换为直线运动传递到转向传动机构，经过转向横拉杆驱动转向节臂，带动车轮发生偏转，从而实现汽车的转向。汽车在行驶过程中，当汽车向左转向时，左转向横拉杆受到转向系统沿轴向方向传导的压力，右转向横拉杆受到转向系统沿轴向方向传导的拉力，右转向时则相反，频繁的调转方向会使转向横拉杆承受交变的拉压应力。尤其当汽车在前行制动、极限转向时，瞬时制动力和加速度会导致车身重心偏移，挤压悬架系统，增加横拉杆受力。汽车在过颠簸路面时，车轮受到地面的冲击载荷，并传递到悬架系统，球头销在受到瞬时冲力的情况下与球头销座会发生相对运动，也会造成横拉杆承受载荷增加，并且可能导致球头磨损和老化。转向横拉杆在行驶过程中的受力情况如图 2-5 所示。



1. 球头销 2. 防尘罩 3. 球头座 4. 端盖 5. 横拉杆

图 2-5 转向横拉杆受力示意图

汽车在实际转向过程中，转向横拉杆受力情况十分复杂，想要准确模拟出转向横拉杆的工作情况，需要借助 CAE 专业软件，就各种工况进行仿真分析。具体技术路线为：建立转向横拉杆的三维模型；利用 Adams 对汽车前悬系统进行多体动力学仿真分析，获取各种工况下的硬点载荷；然后利用有限元分析软件对各种工况下的转向横拉杆进行静强度分析；最后应用第四强度理论来评估拉杆、球头抵抗破坏的能力^[4]。

由于个人能力所限，参考《基于数字样机的汽车转向横拉杆优化设计》（具体见参考文献[4]）中数据以及相应车型拟合出样车载荷，然后利用 workbench 对转向横拉杆进行静力学仿真分析，各工况下硬点载荷见表 2-1。

表 2-1 各工况下的硬点载荷

工况序号	工况名称	转向横拉杆与转向节臂			转向横拉杆与转向器		
		FX (N)	FY (N)	FZ (N)	FX (N)	FY (N)	FZ (N)
1	1.1G前行制动	-134	-925	-201	134	925	201
2	1.5G极限转向	48	330	72	-48	-330	-72
3	倒车台阶冲击	148	1019	221	-148	-1019	-221
4	转弯过坑冲击	-68	-467	-101	68	467	101
5	4G整车过坎冲击	68	471	102	-68	-471	-102
6	过坑冲击	-230	-1585	-344	230	1585	344

2.3.3 转向横拉杆失效形式分析

本节将从横拉杆的结构与不同工况下受力情况两方面来系统阐述横拉杆可能出现的失效形式。

从结构上来看，横拉杆的长度比直径大得多，属于细长杆件，并且横拉杆两端球

头与其它零部件的连接方式为铰接，故在理想情况下进行受力分析时可简化为二力杆，因此横拉杆在工作时承受的载荷形式为拉压应力，当拉压应力过大时可能会使横拉杆失稳弯曲或者拉断。两端的铰接连接方式会使球头与壳体之间产生相对运动，从而产生摩擦，造成磨损，反复如此可能会导致球头销与壳体之间连接松弛，磨损严重情况下可能会使球头老化失效。

从转向横拉杆在不同工况下的受力分析知，汽车在行驶过程中，球头销会受到瞬时冲击力，球头销与球头销座以及球头销座与外接头壳体之间会产生相对转动，横拉杆体会受到交变的拉压应力，这些现象都会对横拉杆的使用寿命造成影响。在球头销与外接头壳体中轴线偏离一定角度的情况下，较大的瞬时冲击力可能会使得球头销根部受剪切应力折断，并且加速球头销的磨损，横拉杆体受到交变拉压应力会导致横拉杆失稳弯曲或者折断。汽车在过颠簸路面或者其它恶劣环境路面时，车轮会受到很大的地面冲击载荷，也会使横拉杆受到严重瞬时冲击。尤其当汽车在进行前行制动、极限转向等操作时，产生的瞬时制动力和加速度，导致车身重心偏移，会加剧横拉杆的寿命损耗。

综上所述，理论上横拉杆可能出现的失效形式有球头磨损老化，横拉杆弯曲变形、断裂以及球头销根部剪断等。在实际情况中，一般轿车横拉杆主要失效形式为球头磨损老化，重载汽车横拉杆主要失效形式为横拉杆断裂^[9]。

2.4 本章小结

本章先是简要叙述了样车悬架系统的结构以及转向器的结构类型，然后对转向横拉杆从结构、受力以及失效形式三个角度进行了系统阐述。

通过前面三节的理论分析可以看出，汽车转向横拉杆在实际工况中工作受力情况十分复杂，不仅与本身结构有直接联系，还与汽车悬架系统以及转向器类型有着很大的关联。因此，我们在对横拉杆进行设计时，既要针对性的对横拉杆模型进行简化处理，又要结合实际情况进行实际工况分析；既要进行理论设计计算，又要引入虚拟仿真进行强度校核。如此，才能设计出贴合实际使用要求的汽车转向横拉杆件。

第三章 转向横拉杆结构与校核计算

汽车转向横拉杆结构尺寸与转向系统其它零部件有着很大联系，且实际受力较为复杂，由于相关文献资料不足以及个人知识储备限制等因素，本文针对市面上已有的样车横拉杆进行逆向设计，根据已知主要参数进行结构设计。

3.1 横拉杆结构设计

a. 横拉杆体设计

由于横拉杆体在工作过程中可能会出现断裂与球头磨损，故横拉杆体最小直径与球头直径为主要参数，横拉杆体结构示意图如图 3-1 所示。

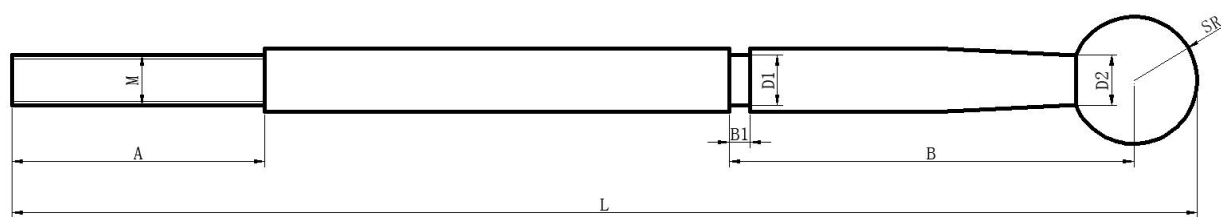


图 3-1 横拉杆体结构示意图

横拉杆体尺寸参数见表 3-1。

表 3-1 横拉杆体主要尺寸参数

符号	尺寸/mm
A	60
B	95
B1	5
D1	$\Phi 12$
D2	$\Phi 12$
M	M12 \times 1.5
SR	15
L	280

横拉杆体选用 40Cr 材料，三维模型见图 3-2。

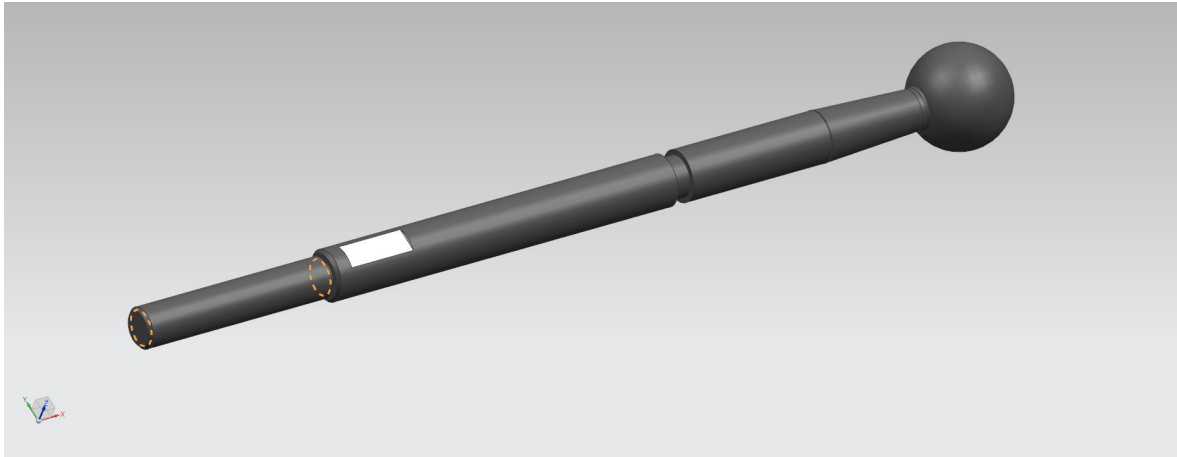


图 3-2 横拉杆体三维模型

b. 球头座设计

球头座的尺寸参数应该根据球头直径进行选择，内径与壁厚为主要参数，球头座结构示意图如图 3-3 所示。

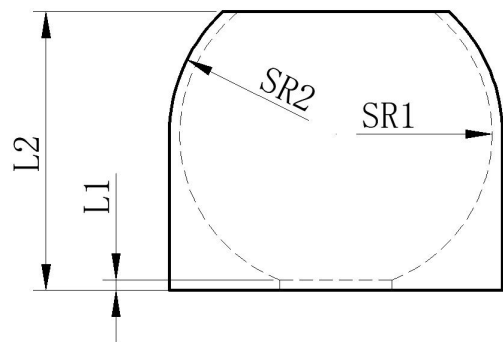


图 3-3 球头座结构示意图

球头座尺寸参数见表 3-2。

表 3-2 球头座尺寸参数	
符号	尺寸/mm
L1	1
L2	26
SR1	15
SR2	16

球头座内径 30mm，厚度 1mm，聚甲醛材料，见图 3-4。

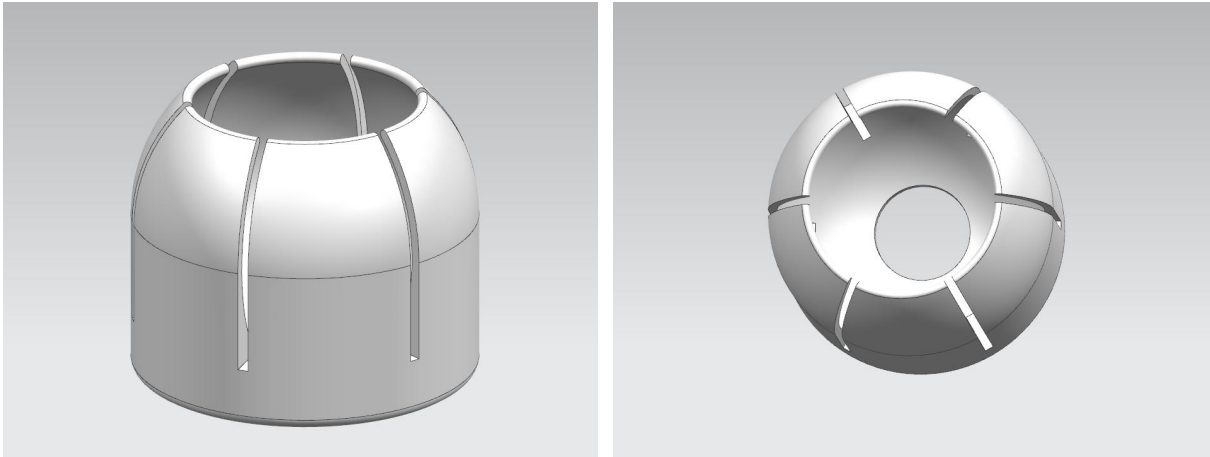


图 3-4 球头座三维模型

c. 方向机接头设计

方向机接头一端与横拉杆球头连接，另一端与转向器连接，其主要参数为连接螺纹、总体长度与内径尺寸，结构示意图如图 3-5 所示。

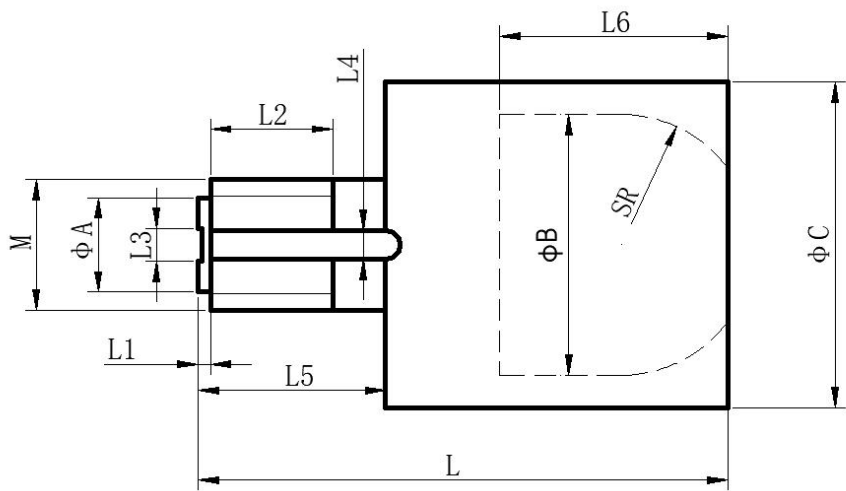


图 3-5 方向机接头结构示意图

方向机接头尺寸参数见表 3-3。

表 3-3 方向机接头尺寸参数

符号	尺寸/mm	符号	尺寸/mm
L1	1.5	L	65
L2	15	M	M16×1.5
L3	4	Φ A	11.6
L4	3.5	Φ B	32
L5	23	Φ C	40
L6	28	SR	16

方向机接头选用 40Cr 材料，见图 3-6。

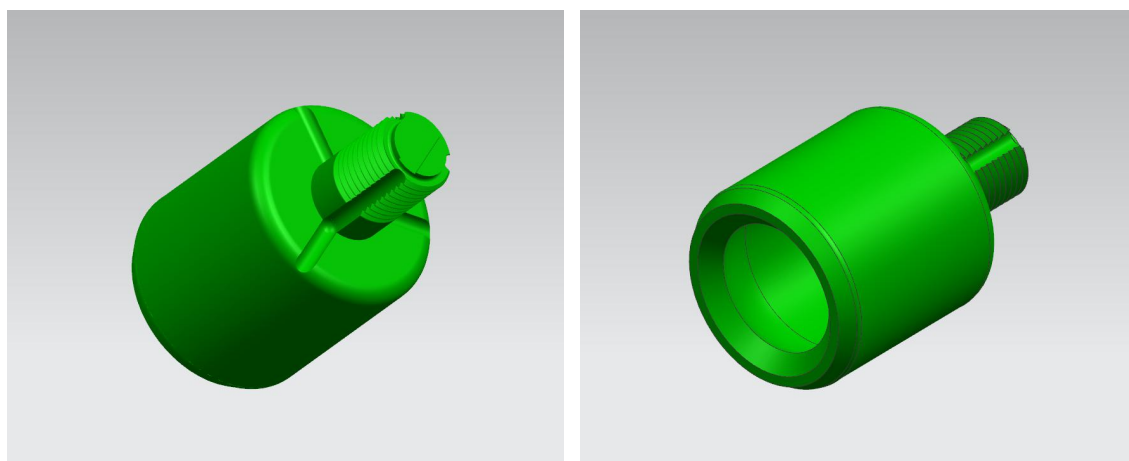


图 3-6 方向机接头三维模型

d. 螺母选择

根据横拉杆体螺纹尺寸，选择六角螺母：螺母 GB/T 6170 M12×1.5^{【11】}。

3.2 外接球头组件结构设计

a. 球头销设计

球头销结构示意图如图 3-7 所示。

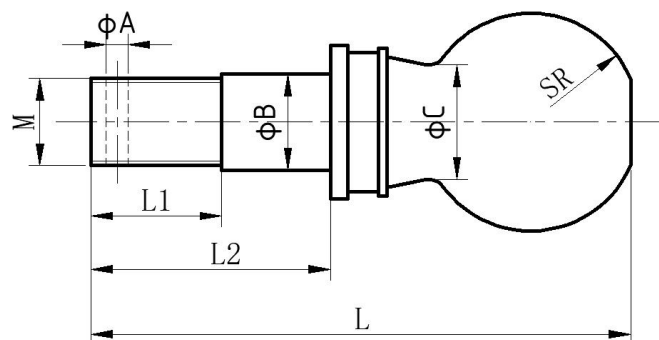


图 3-7 球头销结构示意图

球头销常由于球面部分磨损而损坏，材料选用 40Cr，球头直径为球头销主要设计参数，球头直径 d 可根据《汽车设计》表 7-4 球头直径（表 3-4）数据进行选择。由于样车满载重量 1.6t，转向轮负荷可视作一半 0.8t，考虑汽车前轮载荷大于后轮，因此选择球头直径 $d=25\text{mm}$ 。

表 3-4 球头直径

球头直径/mm	转向轮负荷/N	球头直径/mm	转向轮负荷/N
20	≤ 6000	35	24000~34000
22	6000~9000	40	34000~49000
25	9000~12500	45	49000~70000
27	12500~16000	50	70000~100000
30	16000~24000		

由于球头销螺纹与减震器连接，根据样车减震器选择球头销螺纹 $M10 \times 1.5$ ，螺纹长度 15mm；

整体长度尺寸根据样车转向梯形机构进行设计，整体尺寸长度 62mm；主要尺寸参数见表 3-5。

表 3-5 方向机接头尺寸参数

符号	尺寸/mm	符号	尺寸/mm
L1	15	ϕA	2.5
L2	27.5	ϕB	11
L	62	ϕC	13
M	$M10 \times 1.5$	SR	16

球头销三维模型见图 3-8。

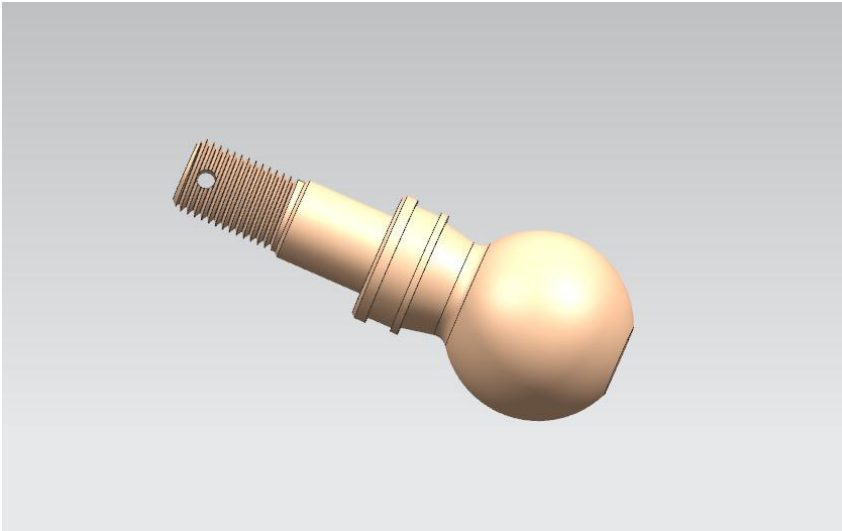


图 3-8 球头销三维模型

b. 球头销座设计

球头销座结构示意图如图 3-9 所示。

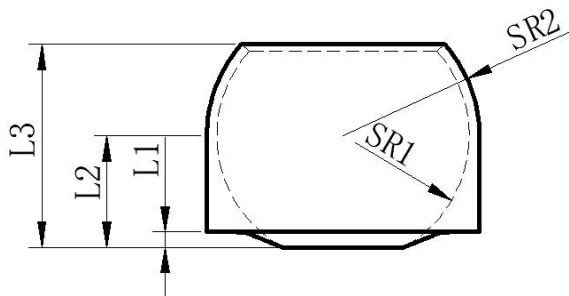


图 3-9 球头销座结构示意图

球头销座尺寸根据球头销球头直径进行设计，内径 25mm，厚度 1mm，聚甲醛材料。球头销座主要尺寸参数见表 3-6。

表 3-6 球头销座尺寸参数

符号	尺寸/mm
L1	1.5
L2	12
L3	20
SR1	12.5
SR2	13.5

球头销座三维模型见图 3-10。

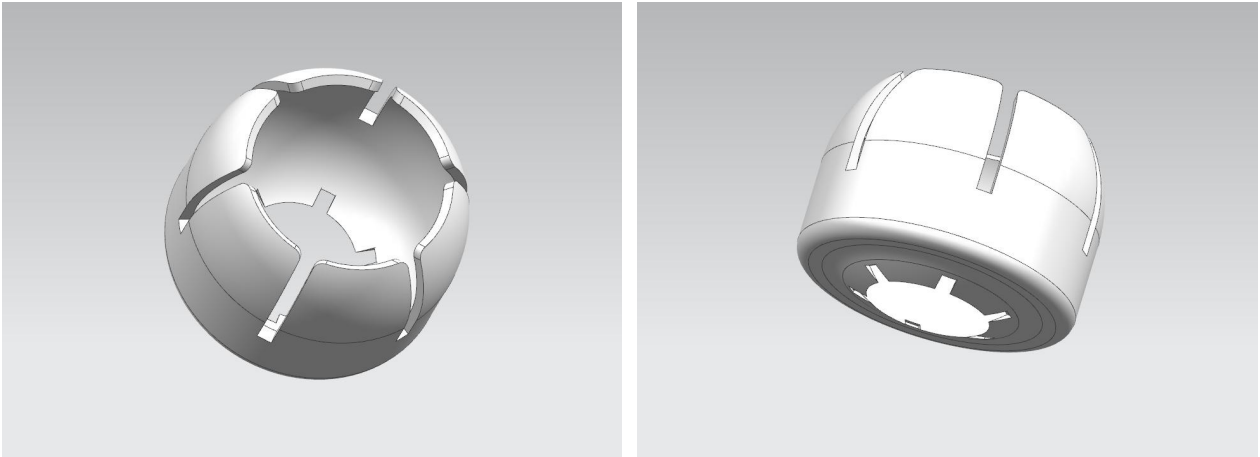


图 3-10 球头销座三维模型

c. 端盖设计

端盖结构示意图如图 3-11 所示。

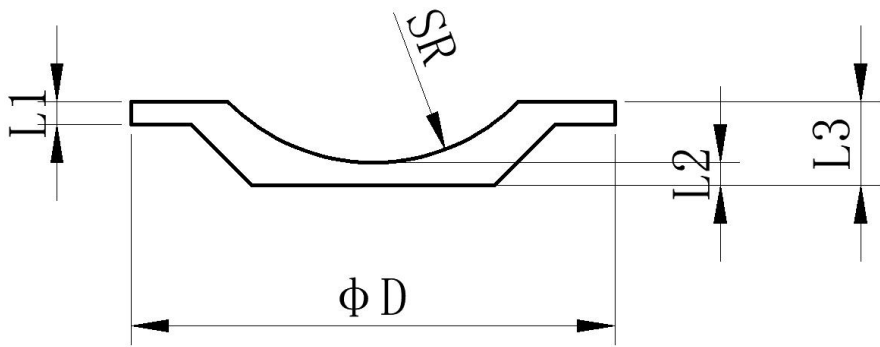


图 3-11 端盖结构示意图

端盖主要尺寸见表 3-7。

表 3-7 端盖尺寸参数	
符号	尺寸/mm
L1	1.5
L2	1.5
L3	5.5
SR	13.5
Φ D	32

端盖材料选用 40Cr，三维模型见图 3-12。

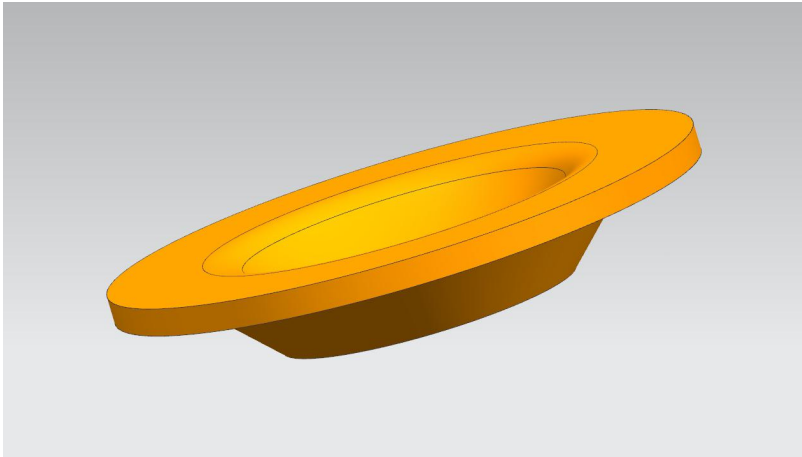


图 3-12 端盖三维模型

d. 外接头壳体设计

外接头壳体结构示意图如图 3-13 所示。

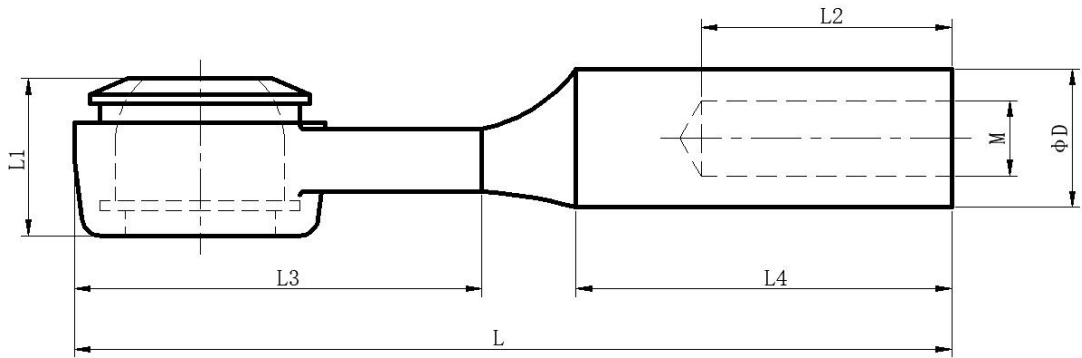


图 3-13 外接头壳体结构示意图

由于外接头壳体一端与球头销、球头销座、端盖以及防尘套等装配，另一端与横拉杆体螺纹连接，因此，外接头壳体尺寸需根据配合零件尺寸进行设计。主要参数见表 3-8。

表 3-8 外接头壳体尺寸参数			
符号	尺寸/mm	符号	尺寸/mm
L1	25	L	140
L2	40	M	M12×1.5
L3	65	φ D	22
L4	60		

外接头壳体材料选用 40Cr，三维模型见图 3-14。

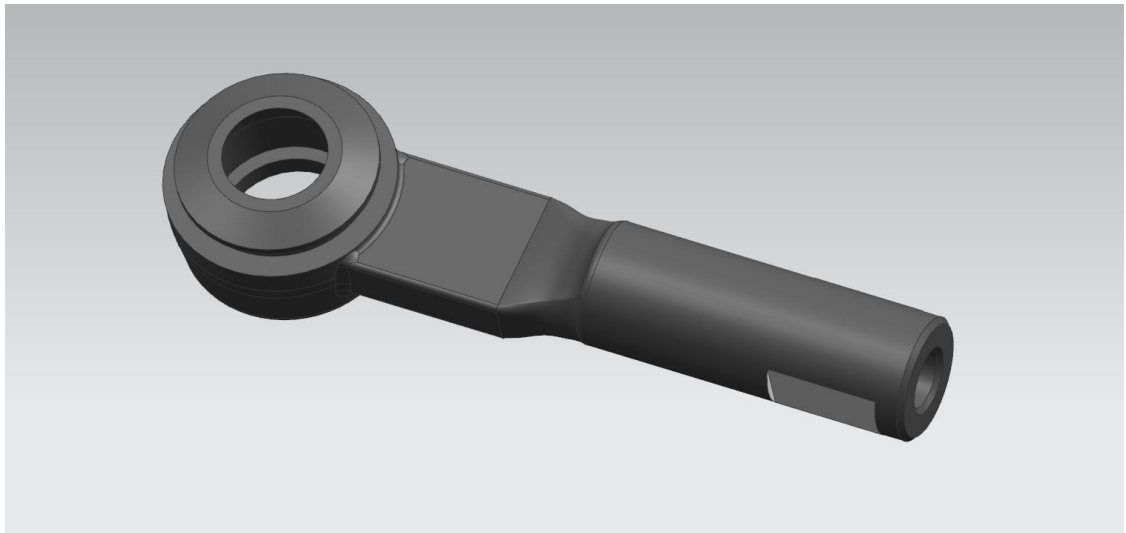


图 3-14 外接头壳体三维模型

e. 防尘套设计

防尘套结构示意图如图 3-15 所示。

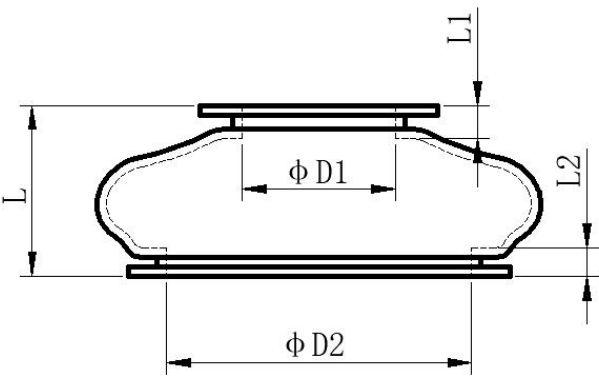


图 3-15 防尘套结构示意图

防尘套在安装中一端与球头销连接，另一端与外接头壳体连接，保证铰接处密封，材料选用氯丁胶合成橡胶，防尘套主要尺寸参数见表 3-9。

表 3-9 防尘套尺寸参数			
符号	尺寸/mm	符号	尺寸/mm
L1	3.5	$\phi D1$	16
L2	3.0	$\phi D2$	32
L	17.9		

防尘套三维模型见图 3-16。

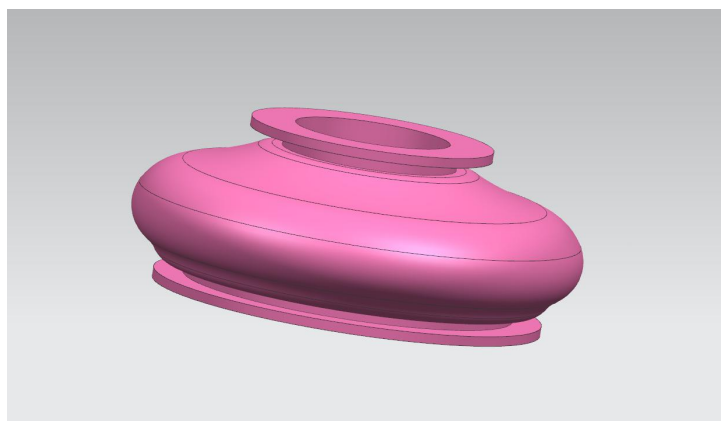


图 3-16 防尘套三维模型

f. 其它零件的选择

轴用钢丝挡圈：挡圈 GB/T 895.2 18；

轴用钢丝挡圈：挡圈 GB/T 895.2 35；

开口销：销 GB/T 91 2.5×20；

六角开槽螺母：螺母 GB/T 6178 M10^{〔11〕}。

3.3 校核计算

3.3.1 横拉杆校核计算

整体来看，转向横拉杆的轴线是一条直线，并且横拉杆的长度远大于直径，故横拉杆可视作细长杆件。根据《材料力学 I》，需要对横拉杆进行稳定性校核计算。由于横拉杆的两端为球铰链结构，故可简化为一个两端为球铰支座结构的压杆，图 3-17 为横拉杆受压时结构简图。

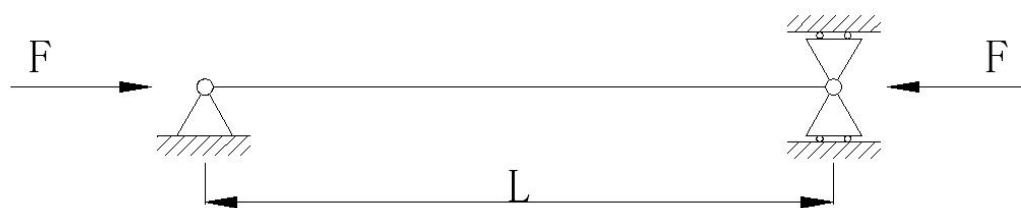


图 3-17 横拉杆受压结构简图

该横拉杆总成，横拉杆材料为 40Cr， $\sigma_s = 785\text{MPa}$ ， $\sigma_p = 980\text{MPa}$ ， $E = 210\text{GPa}$ 。

长度 $L=380\text{mm}$ ，连接螺纹 $M12\times 1.5$ 横拉杆直径 $D=12\text{mm}$ 。最大压力 $F_{\max}=4000\text{N}$ 。规定稳定安全因数 $n_{\text{st}}\geq 2.5$ （一般取 $3\sim 5$ ）。

a. 柔度计算

根据柔度计算公式：

$$\lambda = \frac{\mu L}{i} \quad (3-1)$$

其中： λ - 拉杆的柔度；

i - 截面的惯性半径；

L - 拉杆的总长度；

μ - 长度系数（两端为铰支座时 $\mu=1$ ）。

横拉杆截面为圆形， $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{D}{4}$ 。代入数据得柔度为

$$\lambda = \frac{\mu L}{i} = \frac{\mu L}{\frac{D}{4}} = 126.7$$

根据极限柔度计算公式：

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_p}} \quad (3-2)$$

代入数据得： $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_p}} = \pi \sqrt{\frac{210 \times 10^9 \text{ Pa}}{980 \times 10^6 \text{ Pa}}} = 45.99$ 。由于 $\lambda > \lambda_1$ ，故用欧拉公式计算临界压力。

b. 临界压力计算

由欧拉公式：

$$F_{\text{cr}} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu L)^2} \quad (3-3)$$

其中： F_{cr} - 杆件能够承受最大压力；

E - 横拉杆材料的弹性模量；

I-横截面的惯性矩；

μ -长度系数（两端为铰支座时 $\mu=1$ ）；

L-横拉杆总长。

截面为圆形，实心， $I = \frac{\pi D^4}{64}$ 。临界压力为

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu L)^2} = \frac{\pi^2 \times (210 \times 10^9 Pa) \times \frac{\pi D^4}{64}}{(1 \times 0.38m)^2} = 14609.88N$$

c. 安全因数计算

横拉杆工作安全因数由公式：

$$n = \frac{F_{cr}}{F_{max}} \quad (3-4)$$

代入数据得： $n = \frac{F_{cr}}{F_{max}} = \frac{14609.88N}{4000N} = 3.65$ 。由于 $n > n_{st}$ ，所以横拉杆满足稳定性要求。

d. 横拉杆强度校核

由拉压应力计算公式：

$$\sigma_{压} = \frac{F_{max}}{A} \quad (3-5)$$

代入数据得： $\sigma_{压} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{F_{max}}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4000N}{\frac{\pi \times (12mm)^2}{4}} = 35.37MPa$ 。由于 $\sigma_{压} < \frac{\sigma_p}{n_{st}}$ ，

故横拉杆强度满足使用要求。

综上可得出结论，该横拉杆满足使用要求。

3.3.2 球头销校核计算

由于球头销在工作过程中受到弯曲应力，故需对球头销危险截面进行弯曲应力校

核。而球头销在实际工作过程中主要失效形式为球头磨损，故需对球头进行接触应力校核。

a. 弯曲应力校核

该球头销材料为 40Cr，屈服极限 $\sigma_s = 785\text{MPa}$ 。球头销弯曲应力受力示意图如图 3-18 所示。

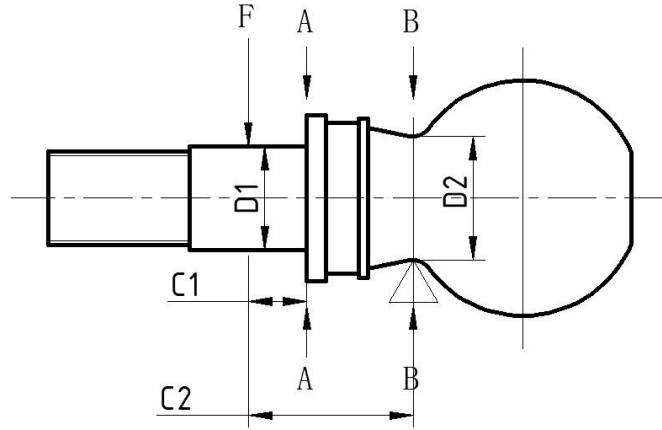


图 3-18 球头销弯曲应力受力示意图

球头销根部弯曲应力应满足：

$$\sigma_t = \frac{FC}{W_b} \leq \frac{\sigma_s}{n_s} \quad (3-6)$$

其中：F-作用于球头上的力；

C-球头悬臂尺寸；

W_b -弯曲截面系数；

σ_s -材料屈服极限；

n_s -安全系数，取 1.5。

分析知球头销截面 A 和截面 B 为危险截面，且形状为圆形，故 $W_b = \frac{\pi D^3}{32}$ ，

$$\sigma_{t1} = \frac{FC_1}{W_{b1}} = \frac{4000N \times 6.3mm}{\frac{\pi \times (11mm)^3}{32}} = 192.85\text{MPa}, \quad \sigma_{t2} = \frac{FC_2}{W_{b2}} = \frac{4000N \times 17.5mm}{\frac{\pi \times (13mm)^3}{32}} = 324.54\text{MPa},$$

$$\frac{\sigma_s}{n_s} = \frac{785\text{MPa}}{1.5} = 523.33\text{MPa}, \quad \text{由于 } \sigma_{t1} < \sigma_{t2} < \frac{\sigma_s}{n_s}, \text{ 故满足要求。}$$

b. 接触应力校核

根据汽车设计，用下式校核接触应力 σ_j ：

$$\sigma_j = \frac{F}{A} \quad (3-7)$$

其中，F 为作用在球头上的力，A 为垂直作用力方向截面投影面积。许用接触应力为 $[\sigma_j] \leq 25 \sim 30\text{MPa}$ 。

球头销接触应力受力示意图如图 3-19 所示。

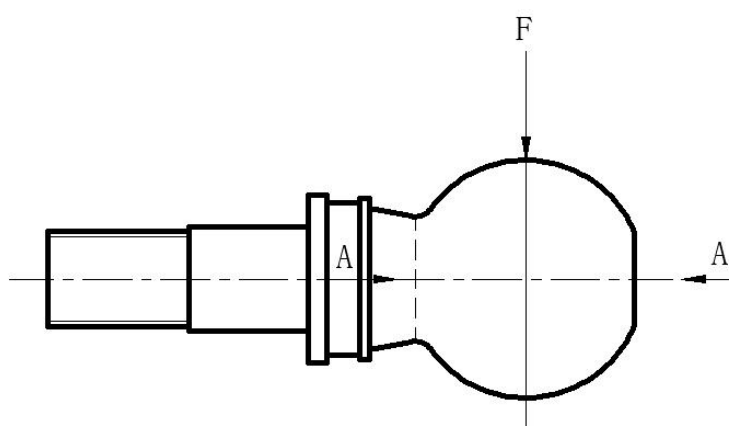


图 3-19 球头销接触应力受力示意图

代入数据得 $\sigma_j = \frac{4000\text{N}}{482\text{mm}^2} = 8.3\text{MPa} < [\sigma_j]$ ，故满足要求。

3.4 本章小结

本章前两节系统的介绍了汽车转向横拉杆总成结构的设计过程，由于针对横拉杆设计的文献资料不足以及自身知识储备限制等因素，设计方法选用逆向设计，即通过采集零件的主要尺寸参数及其结构形式进行再设计的设计方法。该设计方法具有起点低，周期短等优点，在工程中常被使用。

本文在逆向设计过程中，没有对已有的横拉杆结构形式进行套用，而是在第二章结合实际工作情况对横拉杆进行受力分析以及失效形式分析的基础上，针对性的对横拉杆各零件结构做出调整，以满足横拉杆质量小、刚度高等设计要求。第三节通过对横拉杆实际工作情况分析从而对横拉杆进行模型简化受力分析，然后使用材料力学中的相关公式对其进行稳定性校核，并且针对球头销的危险截面以及易失效的球头分别进行了弯曲应力校核计算以及接触应力校核计算。

第四章 基于 workbench 的转向横拉杆仿真分析

4.1 问题描述

如图 4-1 所示为横拉杆总成模型，横拉杆在实际工作中，球头销端与减震器连接，另一端拧入方向机中，两端连接方式为球头铰接。在前面章节中，已经对横拉杆在实际工作中的受力情况进行详细分析，本文将针对汽车在制动、转弯、冲击等六种工况对横拉杆进行仿真分析，各工况下硬点载荷见上表 2-1。

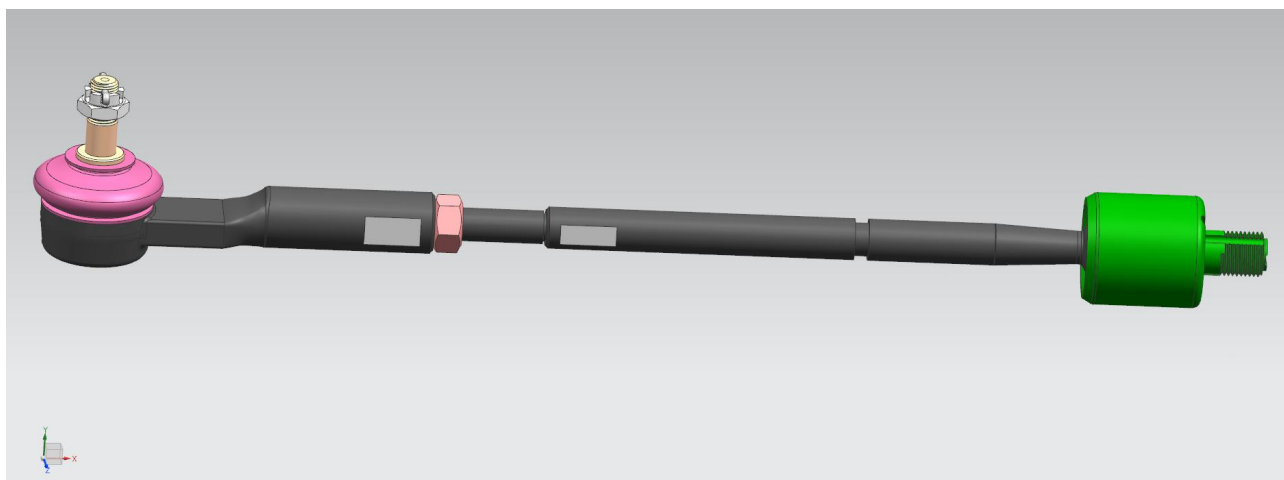


图 4-1 横拉杆总成模型

4.2 模型简化处理

在进行有限元分析时，模型需要与分析目的及其计算机性能相匹配，导入 CAD 软件中的模型精确度过高，可能会使得有限元分析时矩阵化简求解十分复杂，反而降低计算精确度，增大误差。因此需要对模型进行适当的简化处理，采用尽可能简单的模型，去掉不重要的细节特征，如去掉非关键位置的小孔和槽，用圆孔代替螺纹孔，用直角代替圆角及倒角等^{【13】}。

本文模型简化处理方式如下：

- 1、球头销螺纹用圆柱面代替，省略球头销上销孔，倒角与圆角用直角代替见图 4-2；
- 2、外接头壳体螺纹孔用圆孔代替，倒角及圆角用直角代替见图 4-3；
- 3、横拉杆体螺纹用圆柱面代替见图 4-4；

- 4、方向机接头螺纹用圆柱面代替，省略沟槽，圆角用直角代替见图 4-5；
- 5、球头销座与球头座圆角用直角代替，分别见图 4-6 与图 4-7；
- 6、横拉杆总成模型省略六角开槽螺母、开口销以及锁紧六角螺母，见图 4-8。

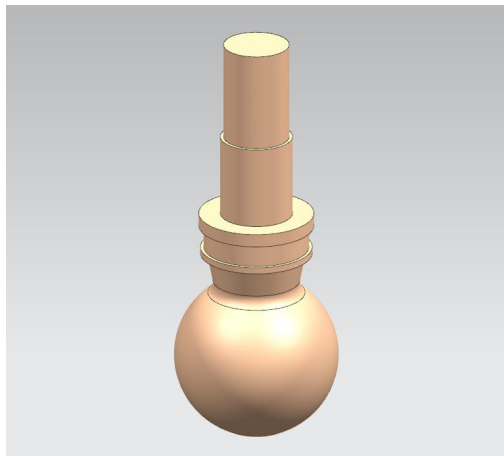


图 4-2 球头销简化模型

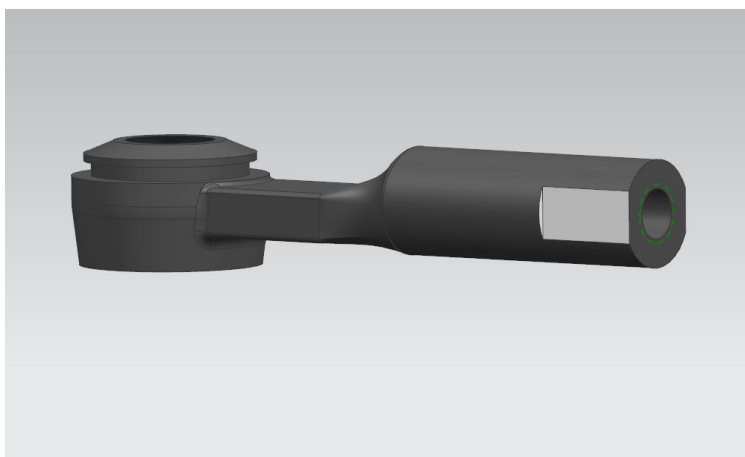


图 4-3 外接头壳体简化模型

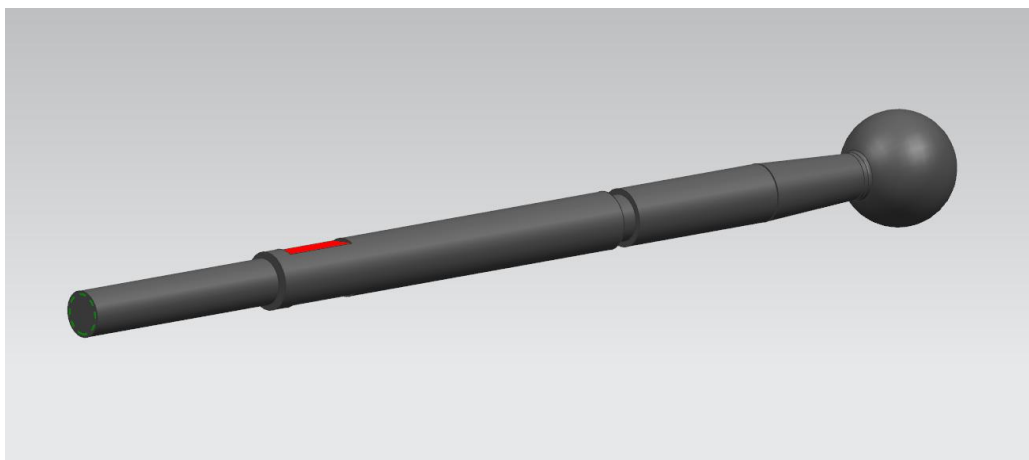


图 4-4 横拉杆体简化模型

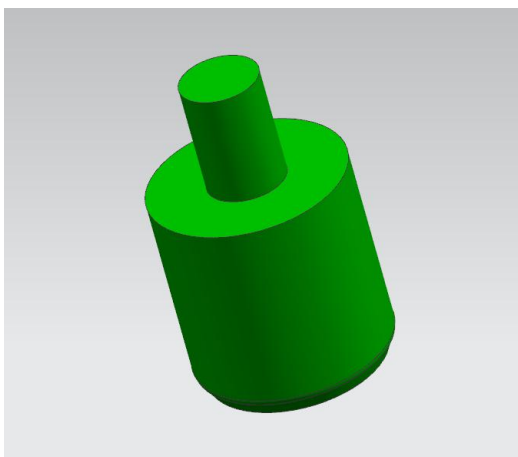


图 4-5 方向机接头简化模型



图 4-6 球头销座简化模型

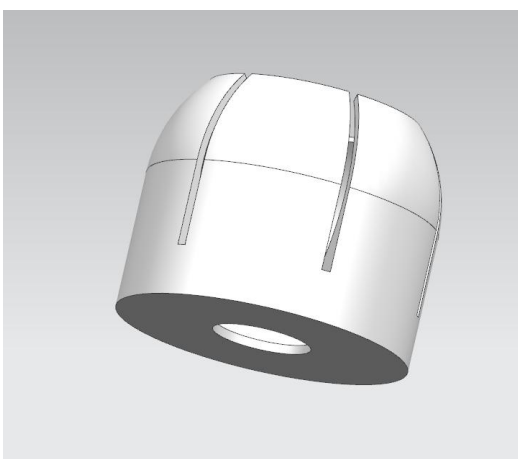


图 4-7 球头座简化模型

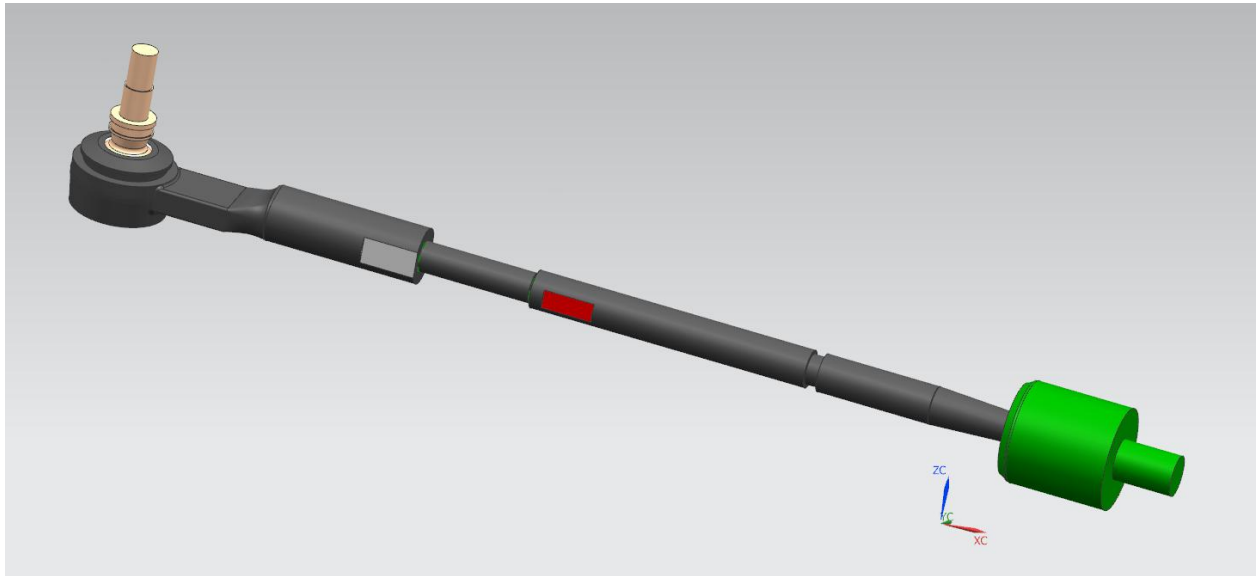


图 4-8 横拉杆总成简化模型

4.3 不同工况下仿真分析

转向横拉杆两端为球头铰接，属于典型的非线性系统，但由于个人知识储备等因素限制，本文将通过对横拉杆进行线性分析代替非线性分析，由于横拉杆两端球头运动范围不大，偏移角度较小，对横拉杆整体受力影响较小，因此通过线性分析仿真出的结果具有实际参考价值。

使用 Workbench 对装配体进行静力学分析的一般步骤为：（1）启动 Workbench 并建立分析项目；（2）导入创建几何体；（3）添加材料库；（4）添加模型材料属性；（5）创建接触；（6）划分网格；（7）施加载荷与约束；（8）结果后处理。

本设计转向横拉杆使用的材料共有两种，分别为 40Cr 与 POM 材料，因此材料库中需添加这两种材料并设定相关属性。转向拉杆模型各组成部分材料属性分别为：球头销、端盖、外接头壳体、横拉杆体以及方向机接头选用 40Cr 材料，球头销座与球头座选用聚甲醛（POM）材料。

仿真分析对象为装配体，因此要对零件间创建接触，workbench 导入模型以后，系统会根据在 CAD 软件中的装配情况自动创建接触，接触方式采用 Bonded（固结）设置，其它采用系统默认设置。

网格划分方式采用 Adaptive 系统默认方式，通过输入单元尺寸大小来控制模型几何尺寸网格划分的粗细程度，Element Size（单元尺寸）设置为 1mm，Relevance Center（相关性中心）选择 Fine 以增加几何模型节点数量和单元数量，Span Angle Center（跨度中心角）选择 Medium 细分弯曲区域，其它参数设为默认值进行网格划分。划分好的汽车转向横拉杆有限元模型共有 254939 个单元，443957 个节点，如图 4-9 所示^[14]。

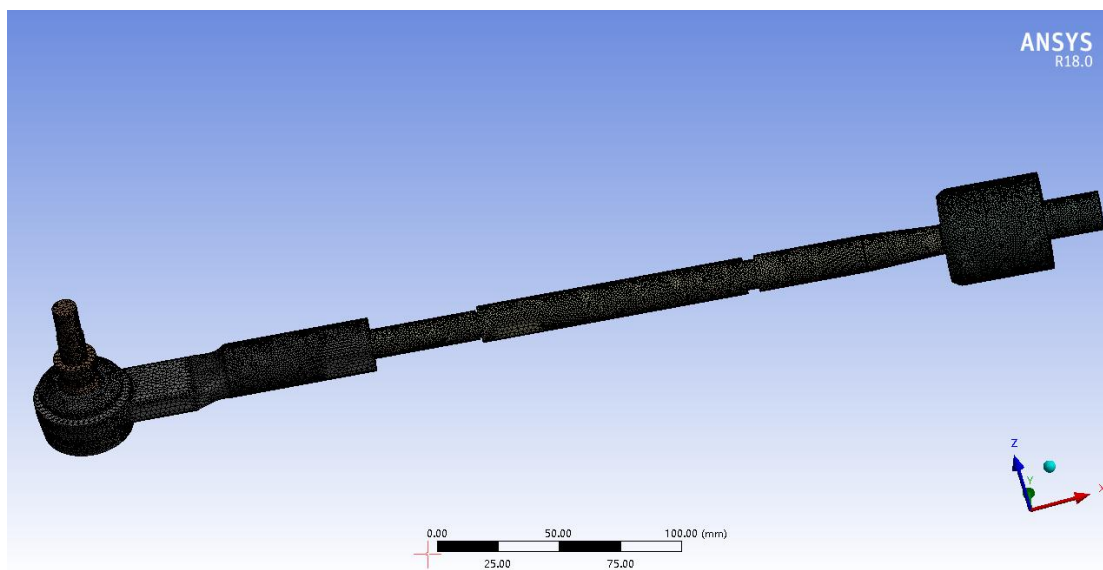


图 4-9 有限元模型网格

根据横拉杆在实际工作中的受力分析，将横拉杆方向机接头进行全约束，对球头销施加 X、Y、Z 三个方向的硬点载荷，如图 4-10 所示。

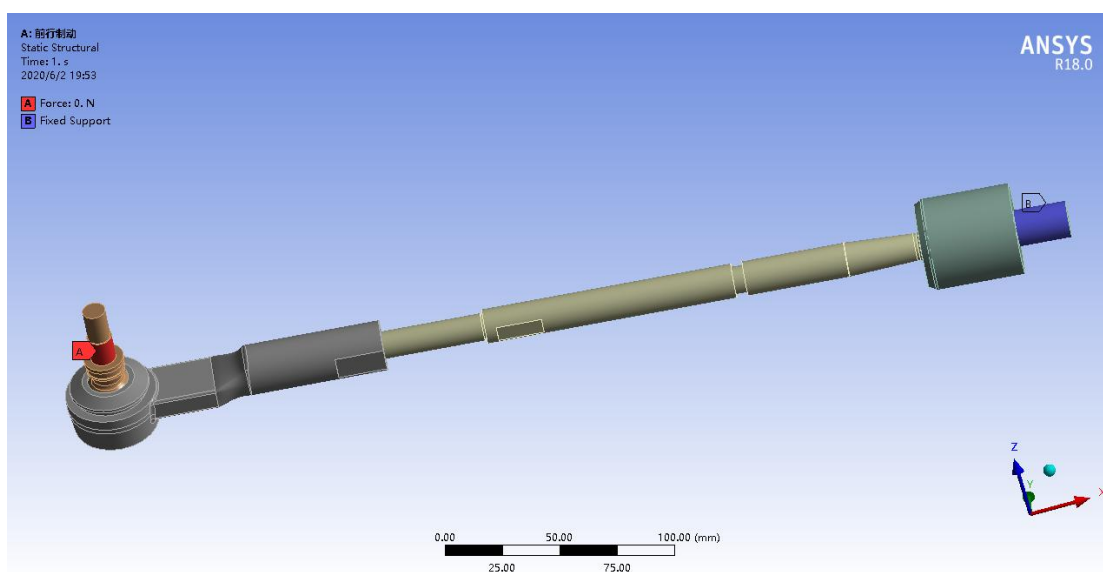


图 4-10 施加载荷与约束位置

在实际仿真过程中，应力集中及其危险截面主要出现在球头销与横拉杆体上，因此对各工况的仿真分析主要给出球头销与横拉杆体的应力分布情况及其球头销座与球头座的应力分布情况。

4.3.1 前行制动仿真分析

工况设定：转向横拉杆与转向节臂： $F_X = -134\text{N}$ ， $F_Y = -925\text{N}$ ， $F_Z = -201\text{N}$ ；转向横拉杆与转向器： $F_X = 134\text{N}$ ， $F_Y = 925\text{N}$ ， $F_Z = 201\text{N}$ 。该工况下仿真结果如下。

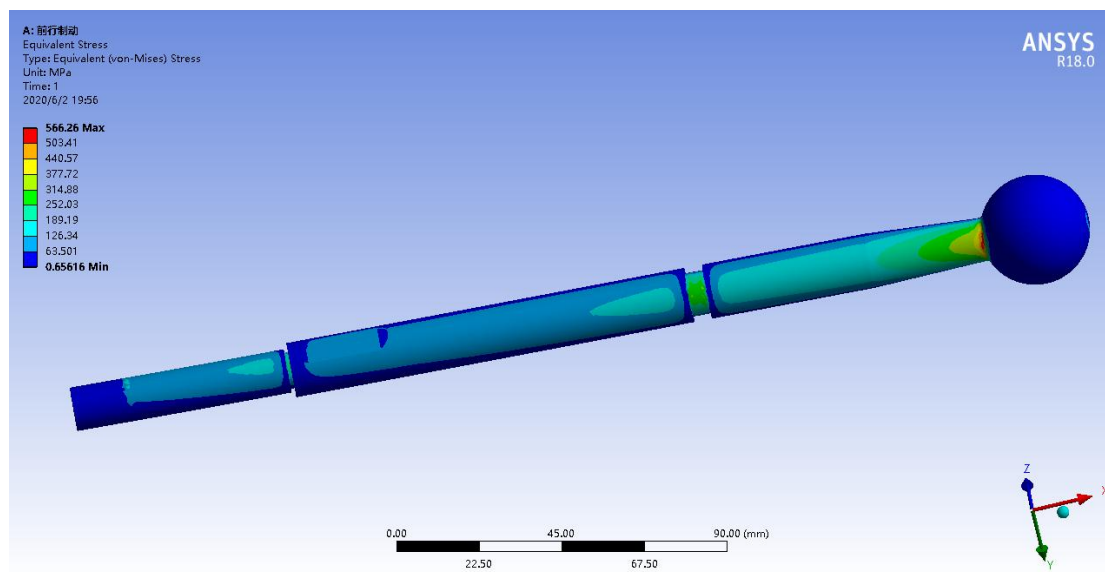


图 4-11 前行制动工况下横拉杆体应力分布图

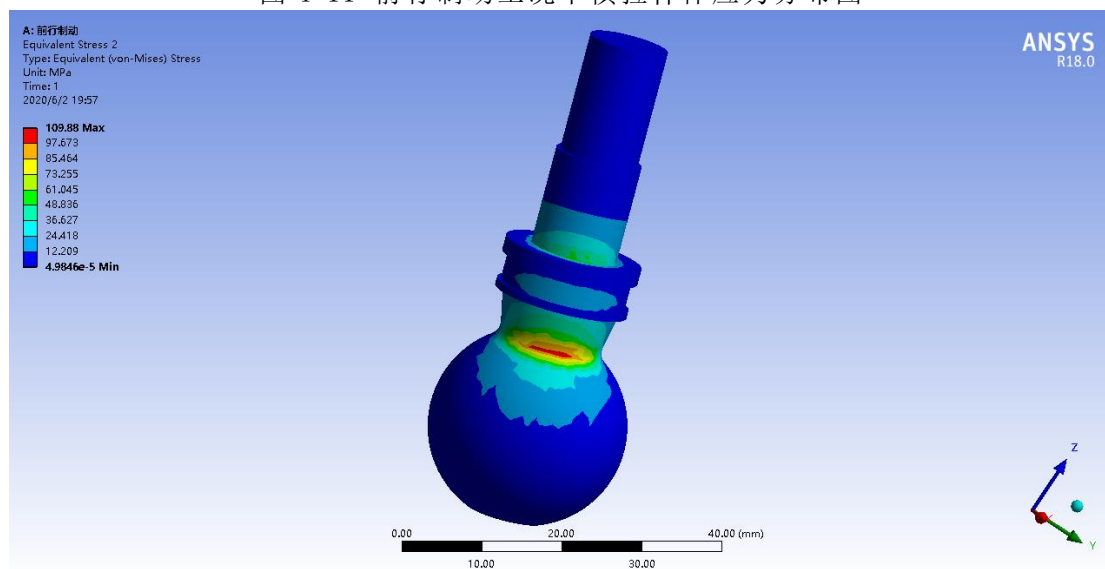


图 4-12 前行制动工况下球头销应力分布图

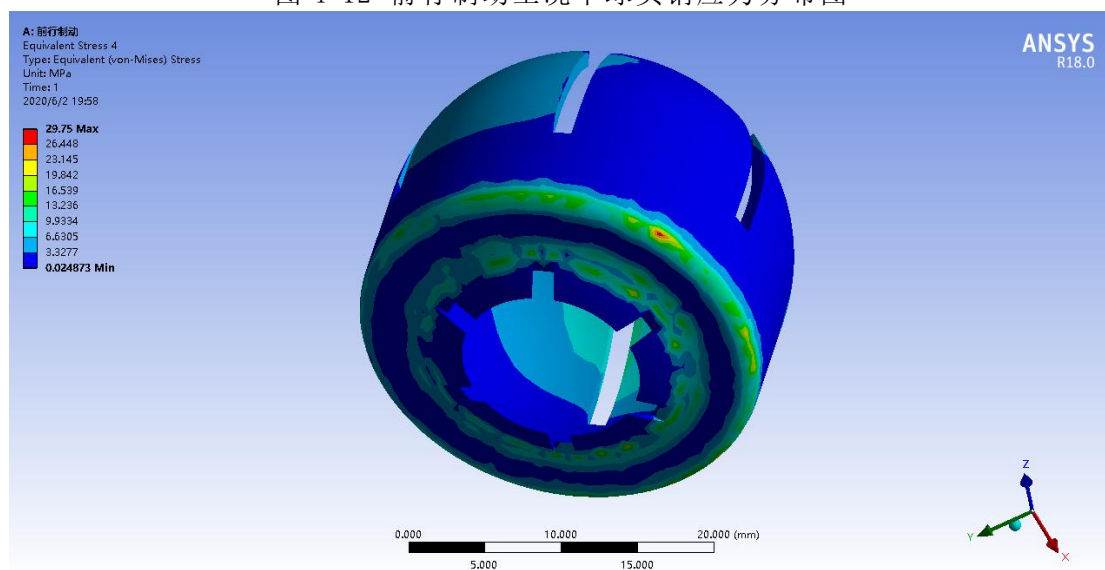


图 4-13 前行制动工况下球头销座应力分布图

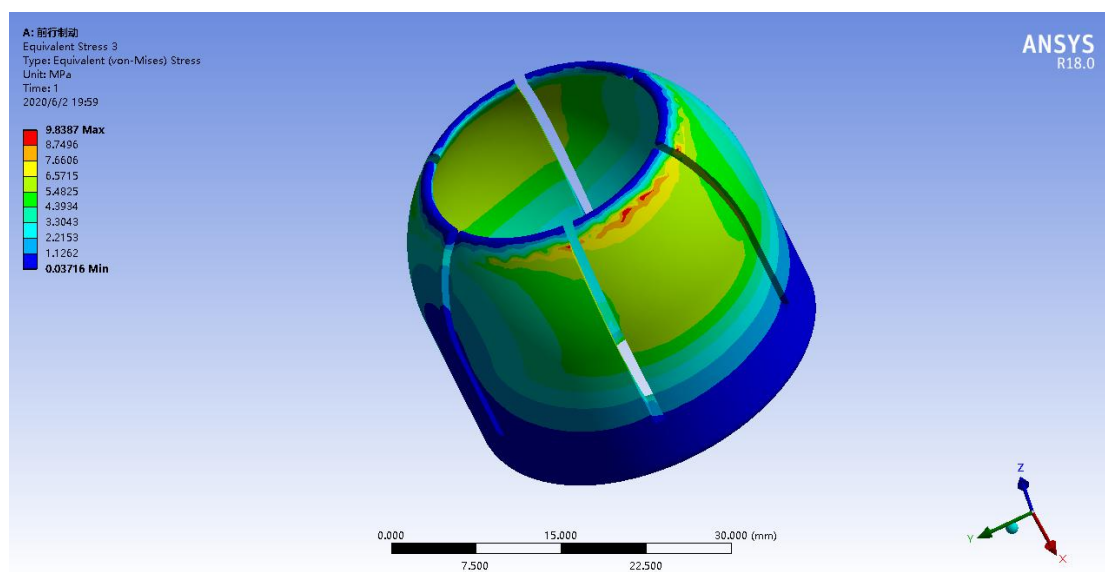


图 4-14 前行制动工况下球头座应力分布图

由仿真分析结果知，横拉杆体最大应力 566.26MPa，球头销最大应力 109.88MPa，球头销座最大应力 29.75MPa，球头座最大应力 9.94MPa。

4.3.2 极限转向仿真分析

工况设定：转向横拉杆与转向节臂：FX=48N，FY=330N，FZ=72N；转向横拉杆与转向器：FX=-48N，FY=-330N，FZ=-72N。该工况下仿真结果如下。

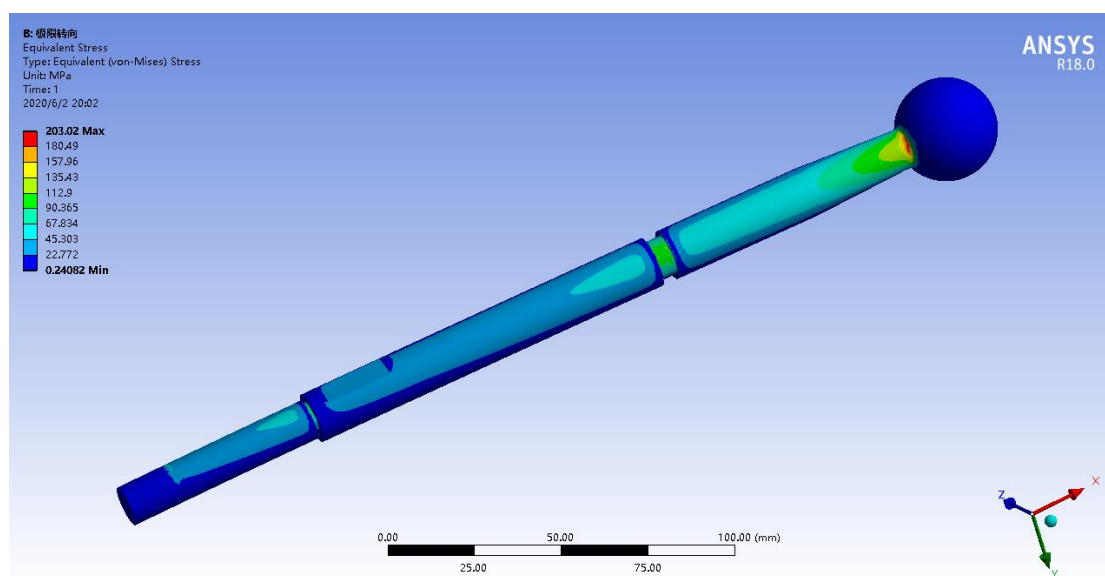


图 4-15 极限转向工况下横拉杆体应力分布图

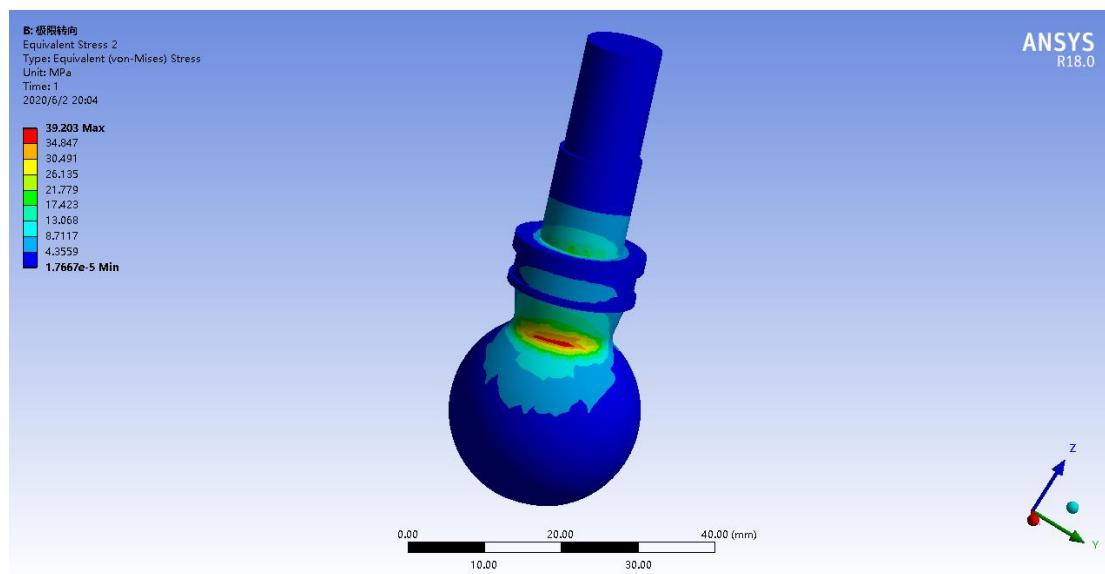


图 4-16 极限转向工况下球头销应力分布图

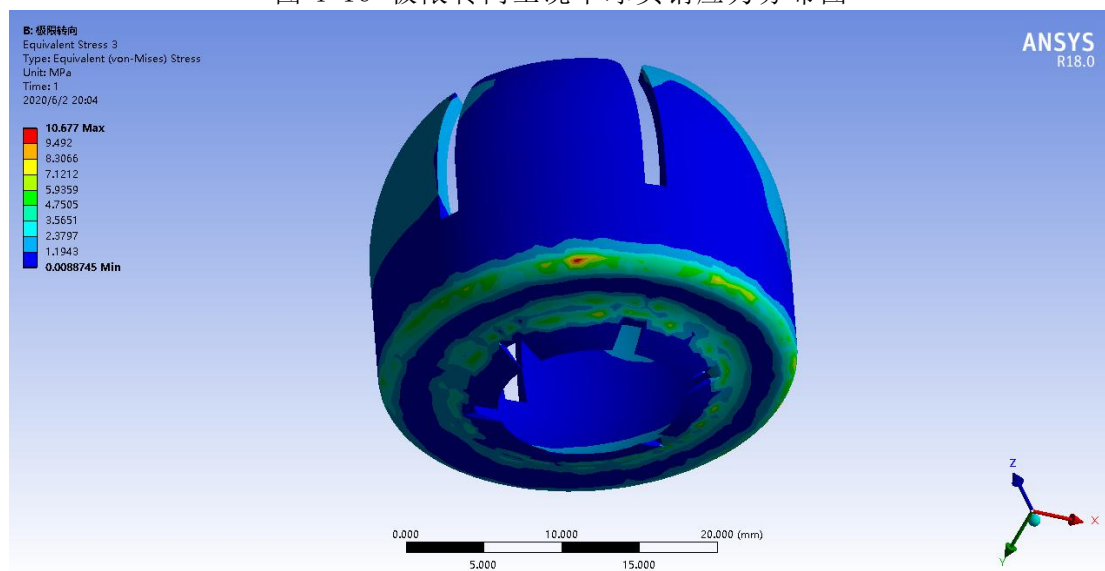


图 4-17 极限转向工况下球头销座应力分布图

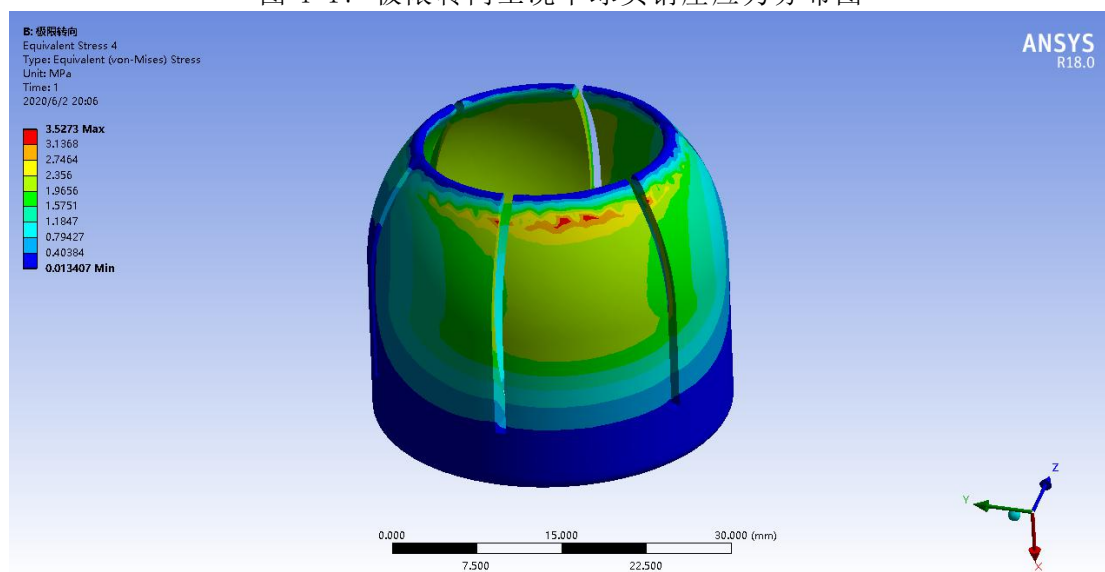


图 4-18 极限转向工况下球头座应力分布图

由仿真分析结果知，横拉杆体最大应力 203.02MPa，球头销最大应力 39.20MPa，球头销座最大应力 10.68MPa，球头座最大应力 3.53MPa。

4.3.3 倒车台阶冲击仿真分析

工况设定：转向横拉杆与转向节臂：FX=148N，FY=1019N，FZ=221N；转向横拉杆与转向器：FX=-148N，FY=-1019N，FZ=-221N。该工况下仿真结果如下。

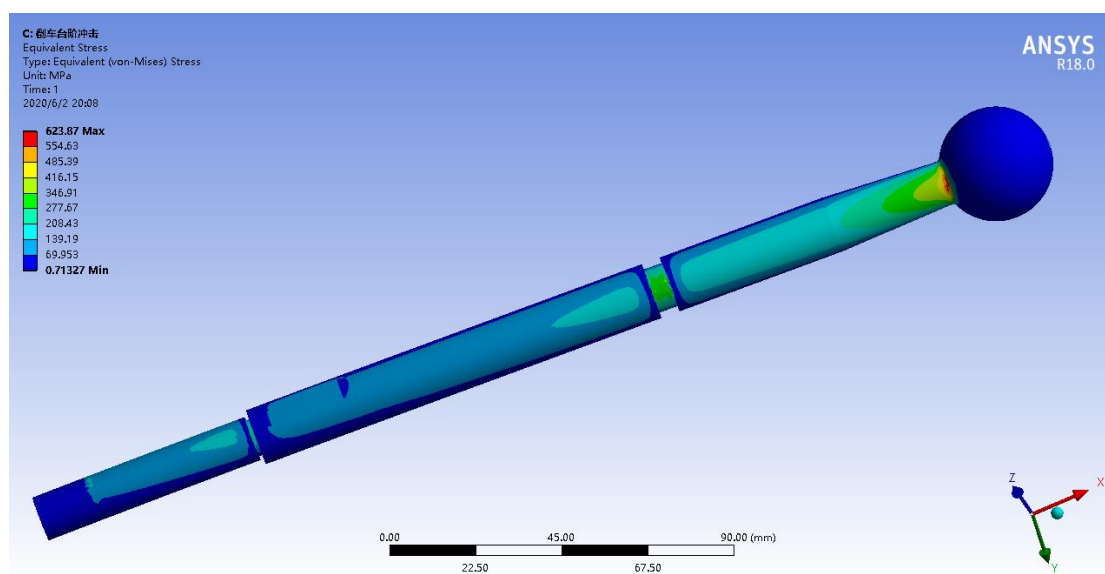


图 4-19 倒车台阶冲击工况下横拉杆体应力分布图

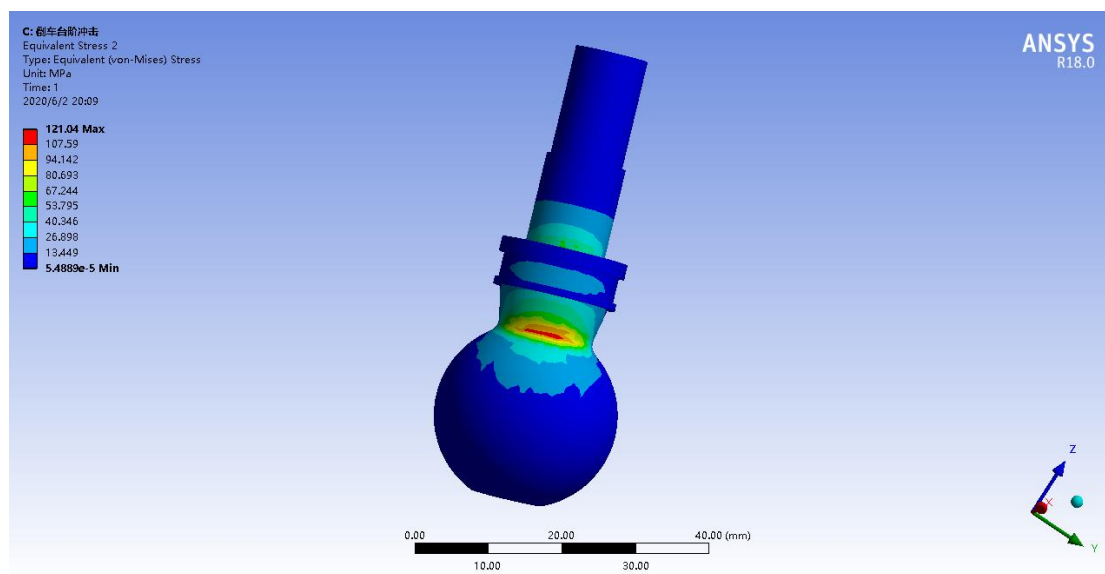


图 4-20 倒车台阶冲击工况下球头销应力分布图

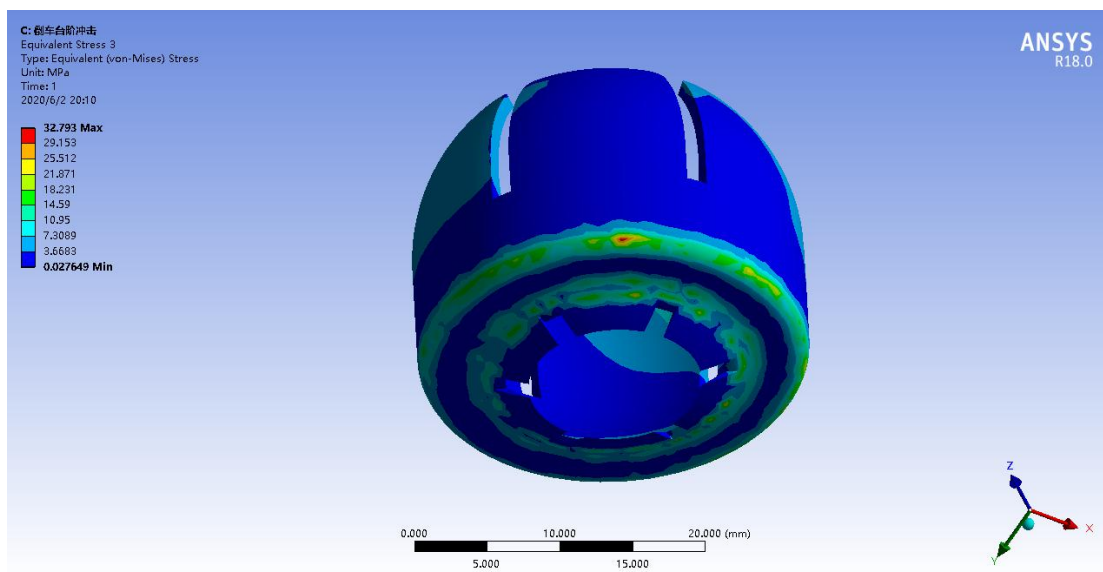


图 4-21 倒车台阶冲击工况下球头销座应力分布图

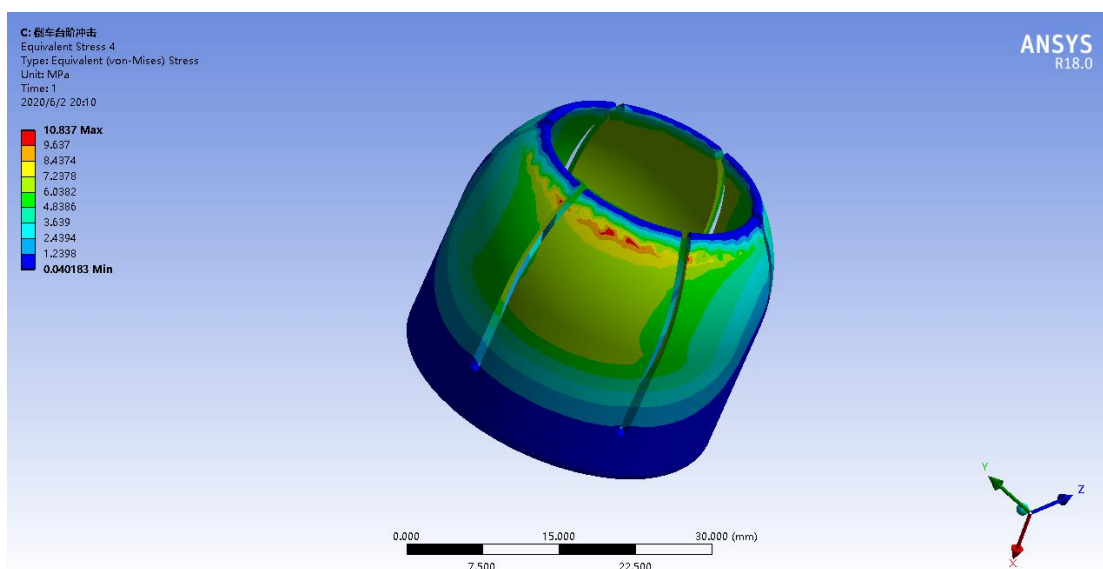


图 4-22 倒车台阶冲击工况下球头座应力分布图

由仿真分析结果知，横拉杆体最大应力 623.87MPa，球头销最大应力 121.04MPa，球头销座最大应力 32.79MPa，球头座最大应力 10.84MPa。

4.3.4 转弯过坑冲击仿真分析

工况设定：转向横拉杆与转向节臂：FX=-68N，FY=-467N，FZ=-101N；转向横拉杆与转向器：FX=68N，FY=467N，FZ=101N。该工况下仿真结果如下。

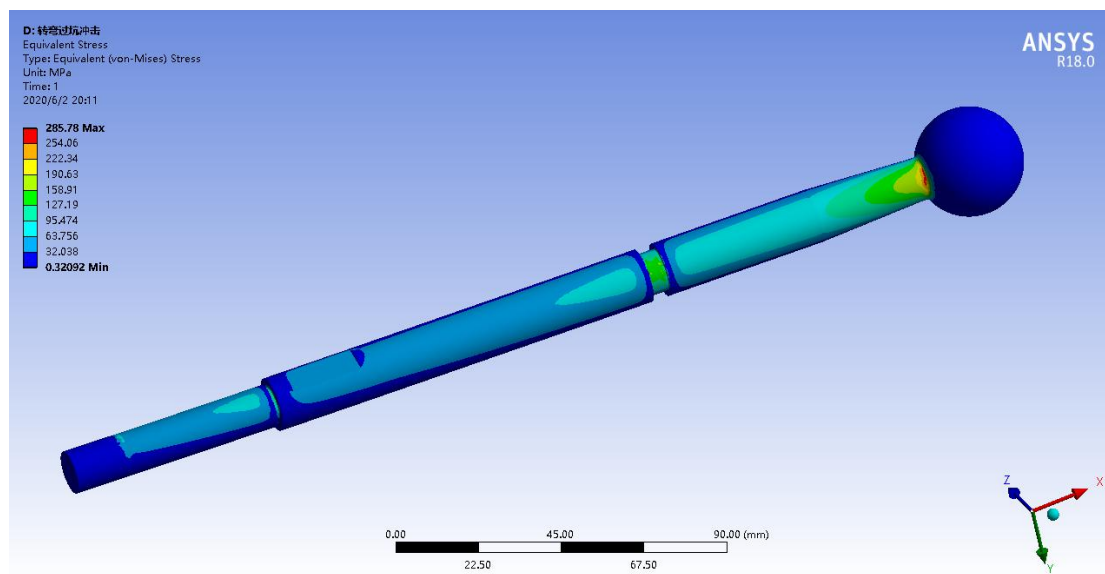


图 4-23 转弯过坑冲击工况下横拉杆体应力分布图

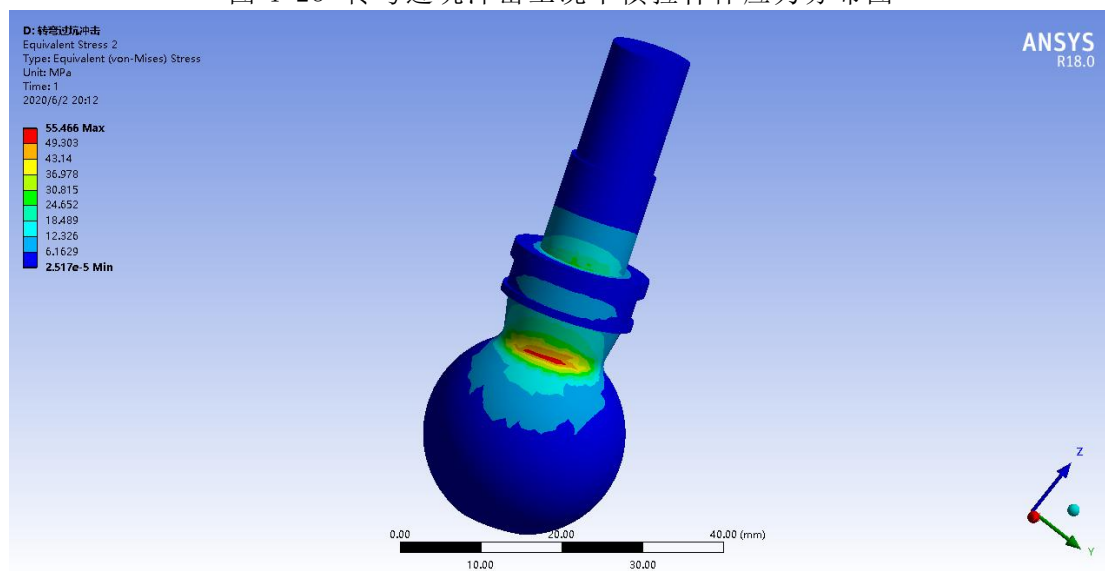


图 4-24 转弯过坑冲击工况下球头销应力分布图

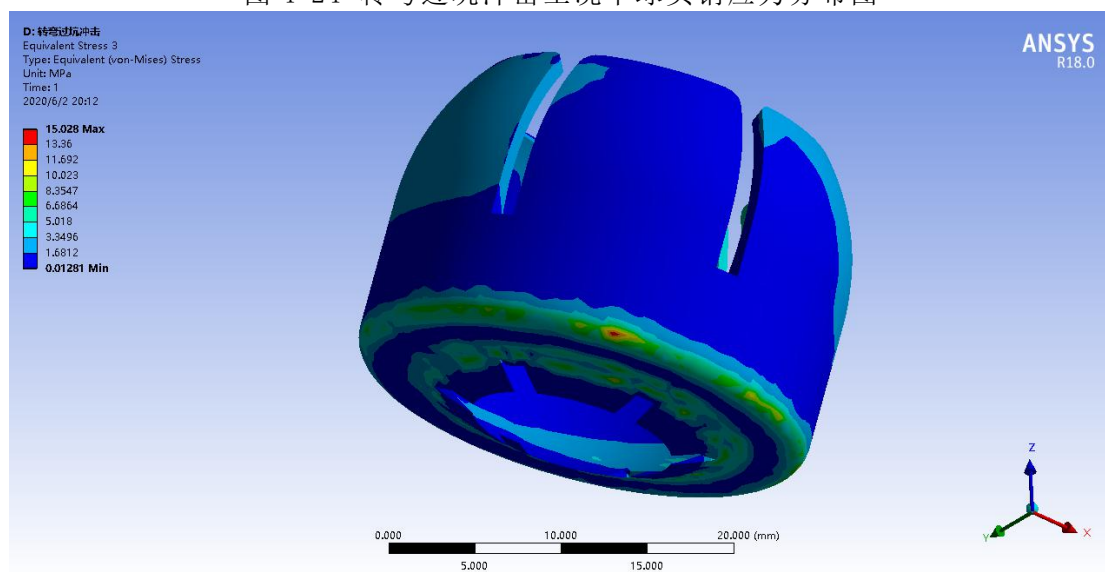


图 4-25 转弯过坑冲击工况下球头销座应力分布图

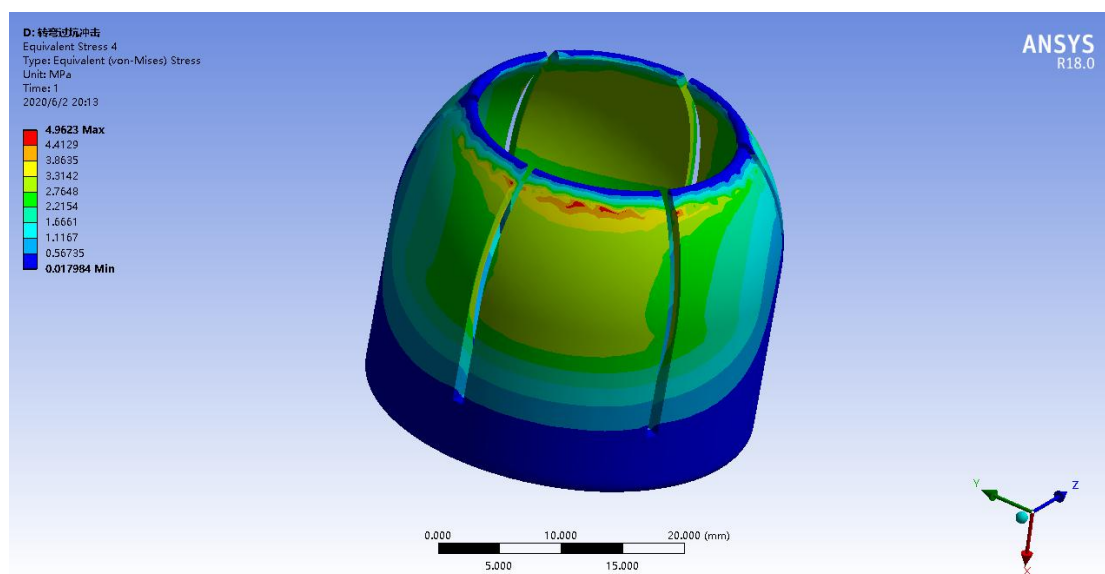


图 4-26 转弯过坑冲击工况下球头座应力分布图

由仿真分析结果知，横拉杆体最大应力 285.78MPa，球头销最大应力 55.47MPa，球头销座最大应力 15.03MPa，球头座最大应力 4.96MPa。

4.3.5 整车过坎冲击仿真分析

工况设定：转向横拉杆与转向节臂：FX=68N，FY=471N，FZ=102N；转向横拉杆与转向器：FX=-68N，FY=-471N，FZ=-102N。该工况下仿真结果如下。

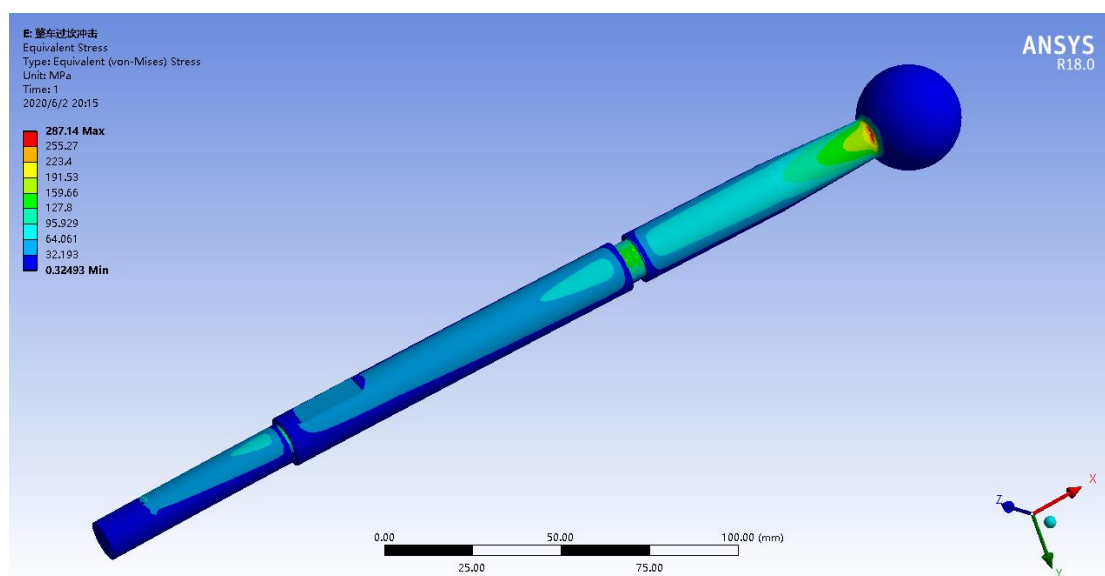


图 4-27 整车过坎冲击工况下横拉杆体应力分布图

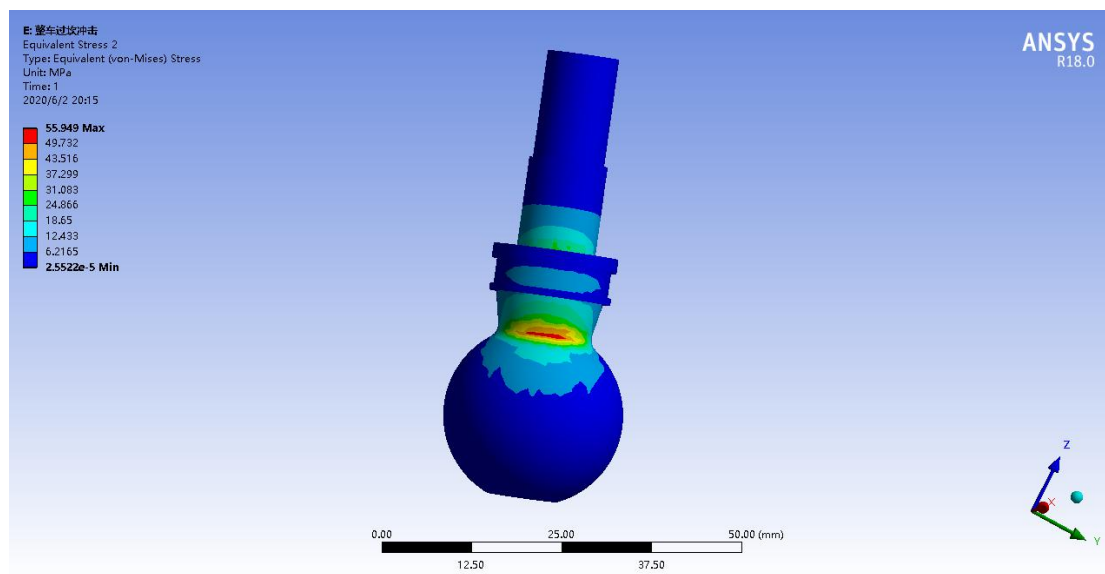


图 4-28 整车过坎冲击工况下球头销应力分布图

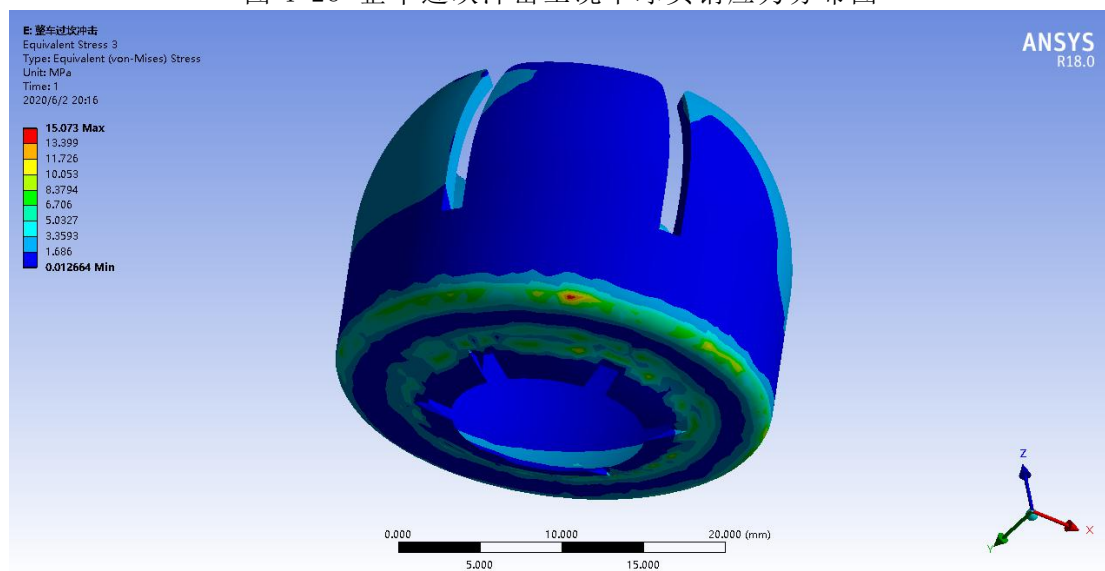


图 4-29 整车过坎冲击工况下球头销座应力分布图

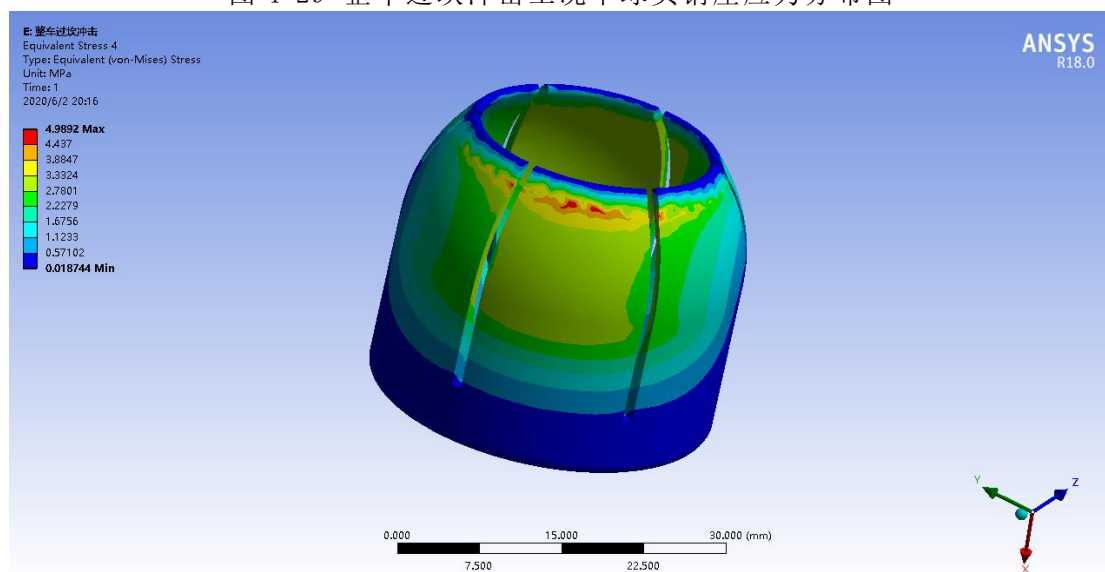


图 4-30 整车过坎冲击工况下球头座应力分布图

由仿真分析结果知，横拉杆体最大应力 287.14MPa，球头销最大应力 55.95MPa，球头销座最大应力 15.07MPa，球头座最大应力 4.99MPa。

4.3.6 过坑冲击仿真分析

工况设定：转向横拉杆与转向节臂： $F_x=-230\text{N}$ ， $F_y=-1585\text{N}$ ， $F_z=-344\text{N}$ ；转向横拉杆与转向器： $F_x=230\text{N}$ ， $F_y=1585\text{N}$ ， $F_z=344\text{N}$ 。该工况下仿真结果如下。

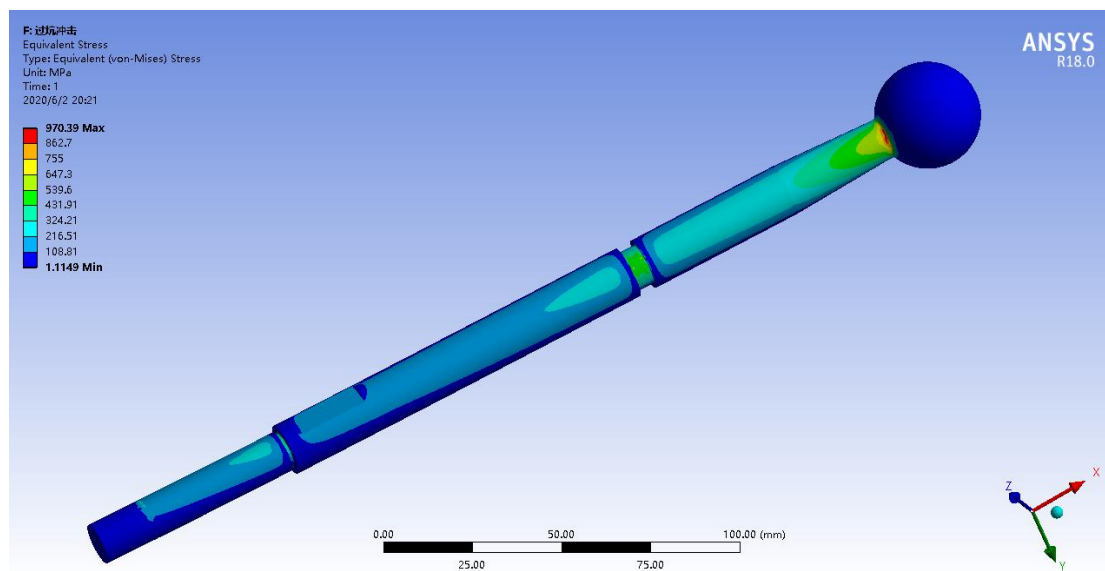


图 4-31 过坑冲击工况下横拉杆体应力分布图

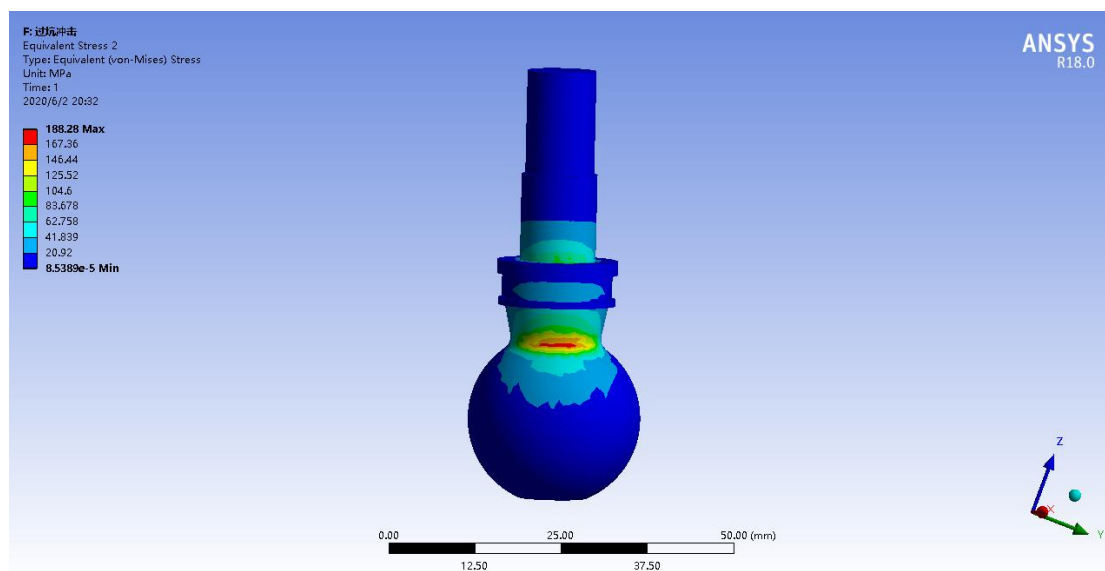


图 4-32 过坑冲击工况下球头销应力分布图

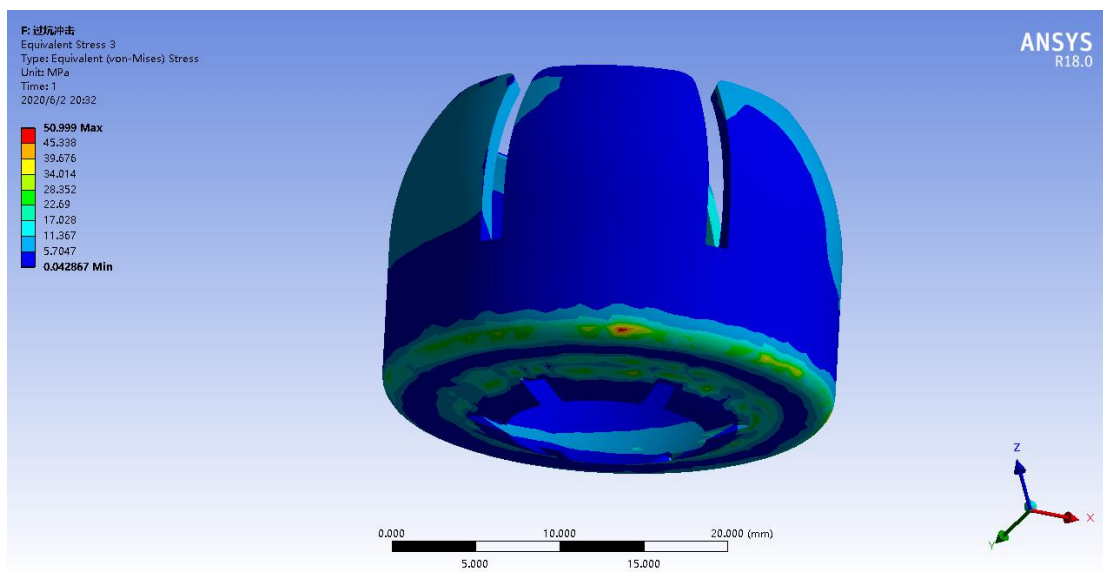


图 4-33 过坑冲击工况下球头销座应力分布图

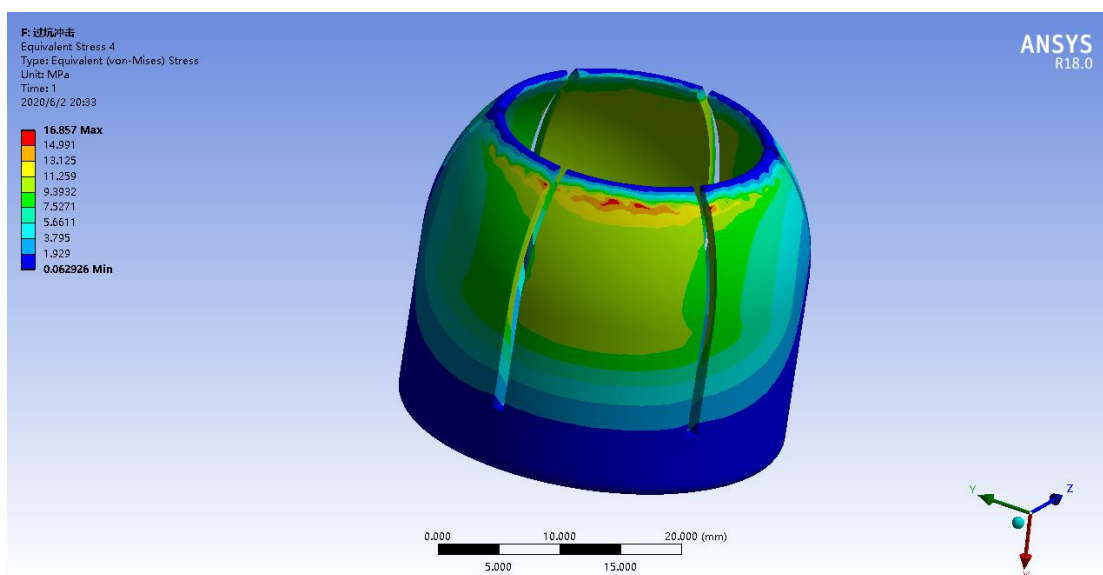


图 4-34 过坑冲击工况下球头座应力分布图

由仿真分析结果知，横拉杆体最大应力 970.39MPa，球头销最大应力 188.28MPa，球头销座最大应力 51.00MPa，球头座最大应力 16.86MPa。

4.3.7 结论

已知 40Cr 材料屈服极限 $\sigma_{s1} = 785\text{MPa}$ ，POM 材料的屈服极限为 $\sigma_{s2} = 70\text{MPa}$ 。转向横拉杆强度分析表见表 4-1。

表 4-1 转向横拉杆强度分析表

序号	工况名称	最大应力/MPa				结论
		横拉杆	球头销	球头销座	球头座	
1	前行制动	566.26	109.88	29.75	9.94	合格
2	极限转向	203.02	39.20	10.68	3.53	合格
3	倒车台阶冲击	623.87	121.04	32.79	10.84	合格
4	转弯过坑冲击	285.78	55.47	15.03	4.96	合格
5	整车过坎冲击	287.14	55.95	15.07	4.99	合格
6	过坑冲击	970.39	188.28	51.00	16.86	不合格

由仿真分析结果知，汽车转向横拉杆在前行制动、极限转向、倒车台阶冲击、转弯过坑冲击、整车过坎冲击等工况下仿真结果皆合格，且横拉杆体球头根部所受集中应力最大。转向横拉杆在过坑冲击工况下，由于横拉杆体球头根部受到应力大于屈服极限，因此会弯曲变形，仿真结果不合格，需要该处进行结构优化设计。

4.4 本章小结

本章系统的介绍了使用 Workbench 对转向横拉杆进行仿真分析的详细过程，包括仿真方法、几何模型简化处理方式、定义材料属性、装配体接触设置、网格划分、施加载荷与约束以及各工况下仿真分析后处理等操作。

通过对横拉杆各工况下仿真分析，可以清楚地了解转向横拉杆在各工况下的受力情况，从而针对性的对横拉杆进行结构设计，以提高转向横拉杆设计的可靠性与质量。

第五章 转向横拉杆结构优化设计

5.1 结构优化设计

通过第四章仿真分析结果知，需要对转向横拉杆的横拉杆体球头根部进行结构优化处理。为满足横拉杆质量小，刚度高，强度足够的要求，一方面加大球头根部直径与圆角半径，另一方面减小应力较小部位结构尺寸，以减小质量。优化前后部分数据对比见图 5-1。

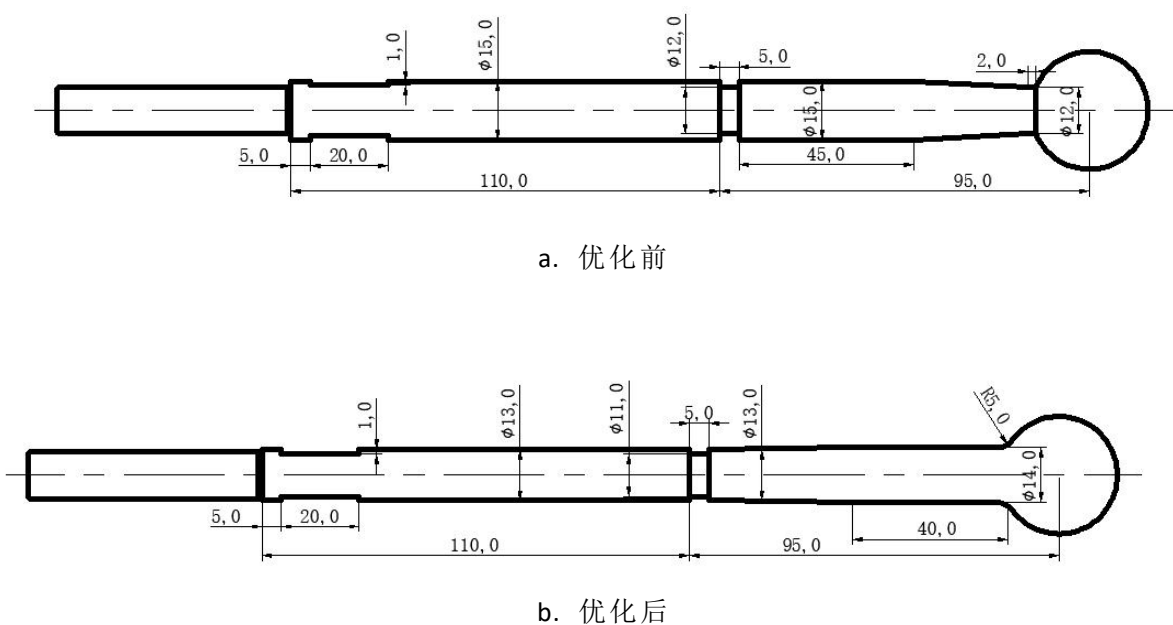


图 5-1 横拉杆体优化前后对比图

优化后模型见图 5-2。

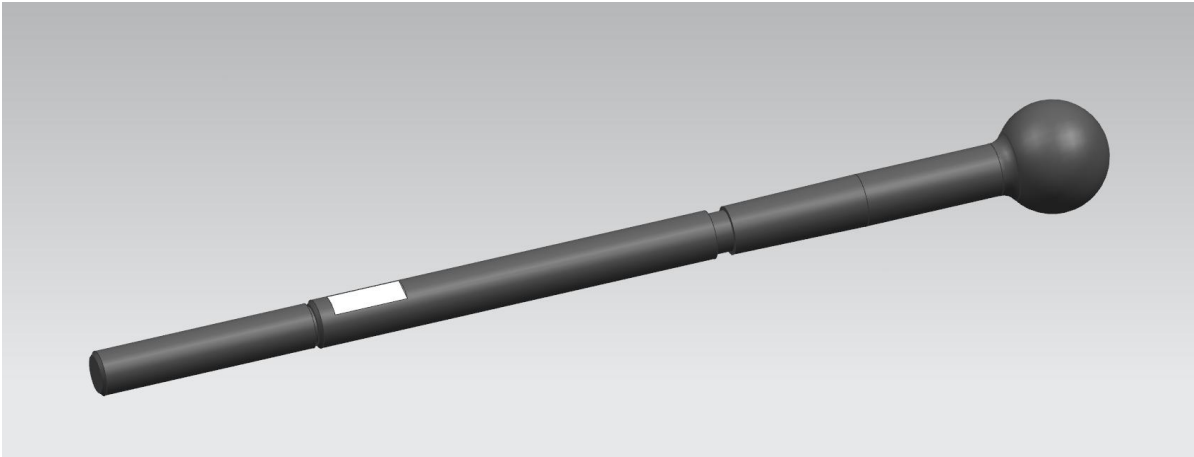


图 5-2 横拉杆体优化后模型

5.2 优化设计后仿真分析

通过第四章仿真分析结果知，在六种工况中过坑冲击工况下转向横拉杆受到应力最大，因此只需对优化后的模型进行过坑冲击工况下的仿真分析即可。

参数设置与 4.3.6 节保持一致，优化后的转向横拉杆有限元模型共划分出 242966 个单元，423277 个节点，如图 5-3 所示。

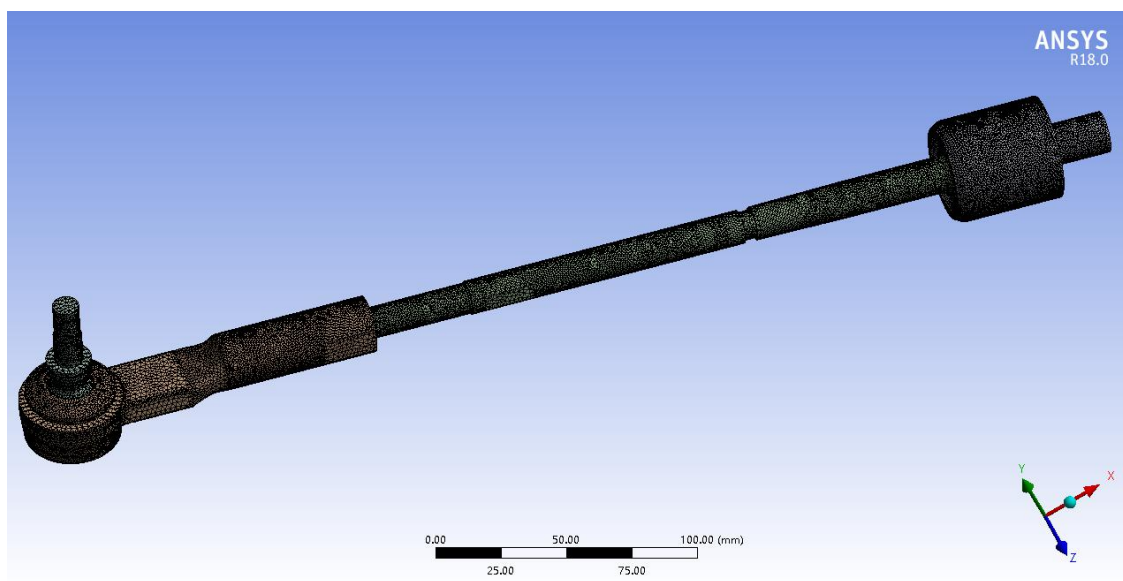


图 5-3 优化后有限元模型网格

过坑冲击工况设定：转向横拉杆与转向节臂： $F_x = -230\text{N}$ ， $F_y = -1585\text{N}$ ， $F_z = -344\text{N}$ ；转向横拉杆与转向器： $F_x = 230\text{N}$ ， $F_y = 1585\text{N}$ ， $F_z = 344\text{N}$ 。仿真结果如下。

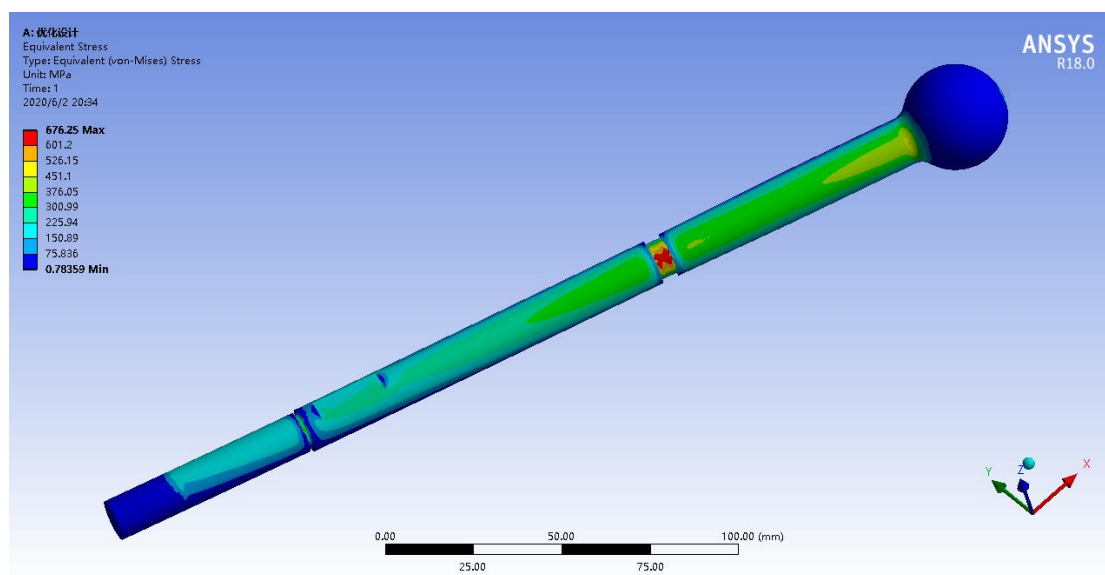


图 5-4 优化后过坑冲击工况下横拉杆体应力分布图

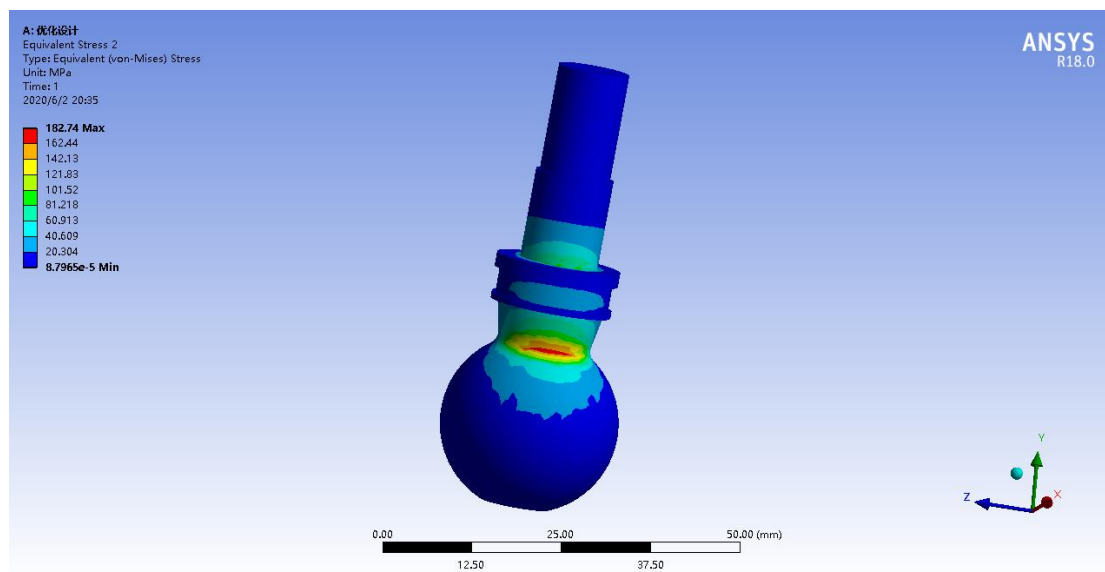


图 5-5 优化后过坑冲击工况下球头销应力分布图

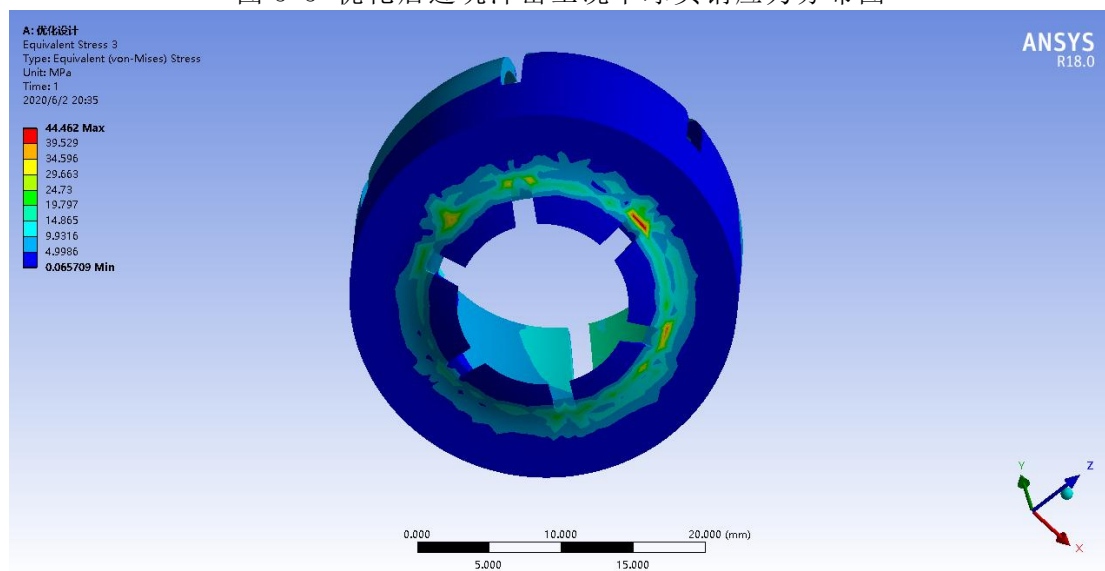


图 5-6 优化后过坑冲击工况下球头销座应力分布图

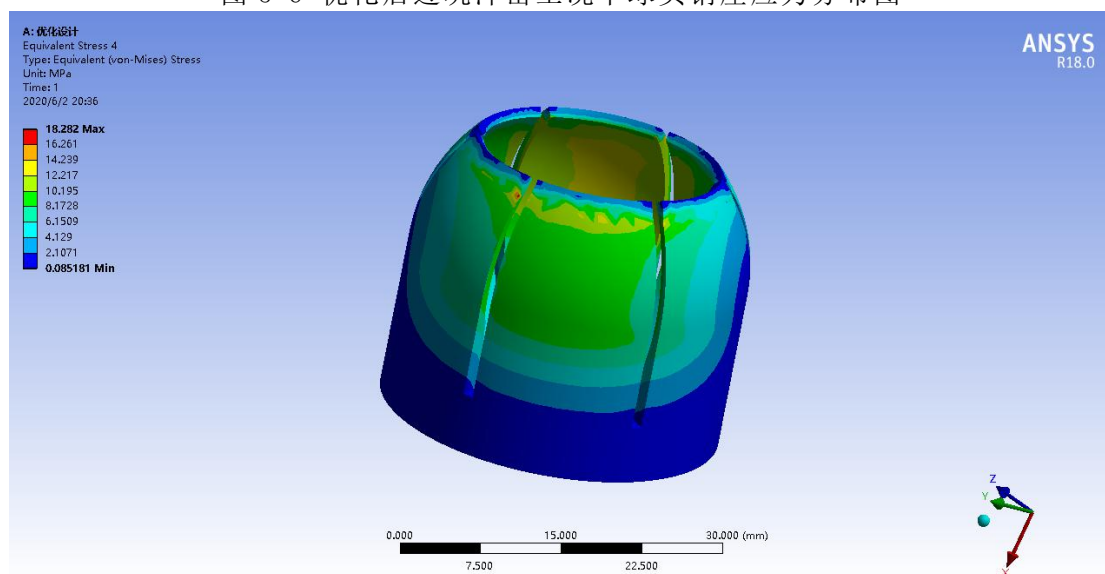


图 5-7 优化后过坑冲击工况下球头座应力分布图

由仿真分析结果知，横拉杆体最大应力 676.25MPa，球头销最大应力 182.74MPa，皆小于 785MPa，球头销座最大应力 44.46MPa，球头座最大应力 18.28MPa，皆小于 70MPa，故仿真结果合格。

5.3 本章小结

本章主要内容为根据前面的仿真分析结果对转向横拉杆进行结构优化设计，并且对优化设计后的模型进行再次仿真，验证其强度是否满足使用要求。

通过优化设计及其仿真分析结果可以看出，在设计环节引入虚拟仿真可以很大程度的提高设计质量，保证产品的高可靠性。

第六章 涉及的标准及经济核算

本章主要介绍汽车转向拉杆涉及的相关标准，以及经济核算两部分内容。相关标准的引入，有助于提高我们对该产品结构设计要求、使用要求等相关规范的认识，以保证产品的质量，提高产品的规范性与可靠性。科学的经济核算可以有效地控制产品的加工制造成本，有助于提高产品的经济性。

6.1 涉及的标准

关于汽车转向拉杆总成设计的最新相关标准为中华人民共和国汽车行业标准 QC/T 648-2015，该标准由中华人民共和国工业和信息化部发布。

该标准规定了汽车转向拉杆总成性能要求及台架试验方法，对球接头总成基本性能、球接头总成刚度、球接头总成强度、球头销静态强度、球接头总成耐久性试验以及拉杆总成疲劳寿命等做出了相应的性能要求规范，并且给出了相应的试验方法与试验标准。

6.2 经济核算

6.2.1 经济核算概述

产品的经济核算是指产品在制造、运输、维护等过程中所花费的成本与收益之间的一种盈亏核算，是产品设计过程中的一个重要环节。科学的经济核算可以有效地控制产品的加工制造成本，在不影响产品使用性能的前提下，尽可能地降低成本有助于提高产品的经济性。目前，相似产品的市场价格已经成为企业对产品进行优化设计的主要标准之一。

6.2.2 转向横拉杆经济核算

基于个人能力有限，下述经济核算采取经验估算法对转向横拉杆单件产品进行粗略估算。估算步骤如下：

- 1、通过 CAD 软件计算出该产品中非标准件质量；
- 2、根据目前市场原材料价格估算该产品中非标准件原材料价格；
- 3、根据该产品中标准件市场价格计算出总标准件采购价格；

4、根据机械行业相关经验计算制造成本。

5、最后核算利润与税收等。

该产品使用的原材料有 40Cr、POM 以及氯丁橡胶等三种类型，根据目前市场 40Cr 钢 5000 元/吨，POM33500 元/吨，氯丁橡胶 35000 元/吨。非标准件原材料价格见表 6-1。

表 6-1 非标准件原材料价格表

序号	零件名称	数量	材料类型	体积/cm ³	密度g/cm ³	质量/g	单价/元/g	总价/元
1	球头销	1	40Cr	12.450	7.85	97.733	0.0050	0.489
2	端盖	1	40Cr	1.859	7.85	14.593	0.0050	0.073
3	外接头壳体	1	40Cr	42.900	7.85	336.765	0.0050	1.684
4	横拉杆体	1	40Cr	47.071	7.85	369.507	0.0050	1.848
5	方向机接头	1	40Cr	34.761	7.85	272.874	0.0050	1.364
6	球头销座	1	POM	2.281	1.40	3.193	0.0335	0.107
7	球头座	1	POM	5.771	1.40	8.079	0.0335	0.271
8	防尘套	1	氯丁橡胶	3.926	1.20	4.711	0.0350	0.165
合计								6.000

标准件采购价格见表 6-2。

表 6-2 标准件价格表

序号	零件名称	数量	单价/元
1	开口销	1	0.17
2	六角开槽螺母	1	1.80
3	六角螺母	1	1.50
4	小扣环	1	0.17
5	大扣环	1	0.41
合计			4.05

在机械行业中，该产品属于中小件产品，加工难度一般，加工费用与零件原材料成本之比为 2~3：1，由于原材料计算中没有考虑毛坯废料，本文取加工费用与零件原材料成本之比 3：1，故加工费用为 18 元。成本价=非标准件原材料价格+标准件采购价格+加工费用，因此转向该横拉杆成本价为 28.05 元。机械行业一般成品毛利润与成本之比为 1：1，故毛利润为 28.05 元，售价为 56.1 元。税收占利润的 13%，因此需交税 3.65 元，则净利润为 24.4 元。经济核算表见表 6-3。

表 6-3 转向横拉杆经济核算表

序号	类型	报价
1	成本	28.01
2	售价	56.10
3	毛利润	28.01
4	净利润	24.40
5	税收	3.65

6.3 本章小结

本章主要介绍了汽车转向横拉杆在汽车行业中涉及的标准以及对样车转向横拉杆进行单件经济核算，其中包括成本核算、利润核算、定价以及税收核算等。

本章节的引入,有助于提升我们对产品设计的全面认识,在设计产品的过程中，保证产品满足相关标准以及使用性能的前提下，要尽可能降低成本，以提高产品的经济性。

参考文献

- [1] 陈家瑞.吉林大学汽奎工程系.汽车构造:下册(第五版)[M].北京:人民交通出版社.2006.
- [2] 吴文祥, 尚灿, 廖冰, 陈旭东.汽车转向直拉杆断裂原因分析[J].理化检验(物理分册), 2016, 52(11): 818-821.
- [3] 谢卫亮, 沈亮.基于有限元分析的汽车转向拉杆安全稳定性分析[J].汽车工艺师, 2016(02): 72-73.
- [4] 吴峰, 杨志鹏, 王良熙, 李智聪, 张帆.基于数字样机的汽车转向横拉杆优化设计[J].制造业自动化, 2019, 41(06): 43-46+91.
- [5] 韩艺斐, 齐浩男, 王金来, 李爽.汽车转向系统发展史及未来展望[J].时代汽车, 2019(11): 97-98.
- [6] 赵宇, 刘凤珠.汽车底盘构造与维修[M].吉林: 东北师范大学出版社, 2007.
- [7] 老侯解车.汽车上常见的悬架系统有哪些类型, 都有什么优缺点[Z/OL].<http://auto.ifeng.com/quanmeiti/20180726/1212926.shtml>, 2018.
- [8] 对汽车转向系统的认识[Z/OL].<https://www.docin.com/p-713586500.html>, 2013.
- [9] 卢柳林, 冯继军, 黄文长, 彭贤锋.汽车转向横拉杆失效原因分析[J].失效分析与预防, 2011, 6(04): 253-256.
- [10] 张缓缓, 杨国平.汽车设计[M].北京: 清华大学出版社, 2016.
- [11] 吴宗泽, 高志, 罗圣国, 李威.机械设计课程设计手册[M].北京: 高等教育出版社, 2018.
- [12] 刘鸿文.材料力学 I[M].北京: 高等教育出版社, 2011.
- [13] 周炬, 苏金英.ANSYS Workbench 有限元分析实例详解(静力学)[M].北京: 人民邮电出版社, 2019.
- [14] 陈艳霞.ANSYS Workbench 18.0 有限元分析从入门到精通[M].北京: 电子工业出版社, 2018.
- [15] 高耀东.ANSYS Workbench 机械工程应用精华 30 例[M].北京: 电子工业出版社, 2013.
- [16] 黄志新, 刘成柱. ANSYS Workbench 14.0 超级学习手册[M].北京: 人民邮电出版社,

2013.

[17] 王国军, 李栓成.车辆结构有限元分析[M].北京: 机械工业出版社, 2013.

[18] 谭继锦.汽车有限元法[M].北京: 人民交通出版社, 2005.

[19] 桂军.基于 ADAMS 的汽车行驶平顺性仿真分析及优化[D].锦州: 辽宁工业大学, 2014.

[20] 陈军.MSC.ADAMS 技术与工程分析实例[M].北京: 中国水利水电出版社, 2008.

[21] 邓文英,宋力宏.金属工艺学(第五版)[M].北京: 高等教育出版社, 2008 .

[22] Moriarty P, Honnery D.The prospects for global green car mobility [J].Journal Of Business Research,2017.

[23] Dave. The study on the car sharing under the sharing economic [J]. Journal of Business Research, 2017.

致 谢

大学四年转瞬即逝，毕业设计临近尾声，意味着大学生涯即将结束。此时，四年的校园生活种种回忆涌上心头，心情缭乱，五味陈杂。在此，谨致谢在做毕设的这几个月时间里，给予我帮助的王磊老师。

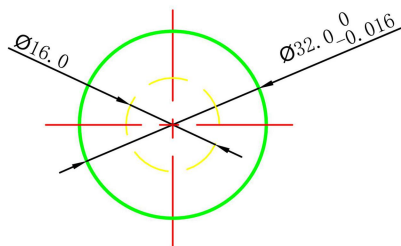
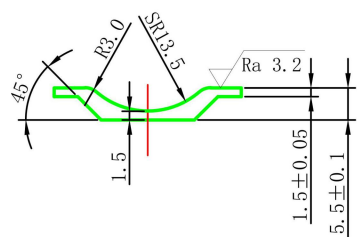
还记得在去年临近毕设选题的那天，因为一些突发原因，一时找不到指导老师，在百般焦急的情况下，王磊老师果断给予我答复选择了我。在做毕设的这几个月时间里，每当我对自己的课题有所疑问，又或者在查阅资料以及做结构设计仿真分析出现问题时，王磊老师总会耐心的给予指导，即便是下班时间，也会及时的答疑、回复消息。尤其在临近考研复试的那段时间里，老师利用自己的休息时间帮我逐字逐句的修改摘要、目录。尽管在此之前已经和王磊老师相识，但能够如此给予帮助，甚是感激。

大学四年系为师生，数月以后视为挚友。在此致谢！

图纸清单

序号	图名	图纸大小	备注
1	端盖零件图	A4	
2	外接头壳体零件图	A3	
3	防尘套零件图	A4	
4	球头销零件图	A3	
5	球头销座零件图	A4	
6	横拉杆体零件图	A3	优化前
7	横拉杆体零件图	A3	优化后
8	球头座零件图	A4	
9	方向机接头零件图	A4	
10	转向横拉杆装配图	A1	优化前
11	转向横拉杆装配图	A1	优化后
12	转向横拉杆 UG 模型	A4	
13	转向横拉杆 UG 爆炸图	A4	
14	Workbench 仿真应力图	A4	28 张

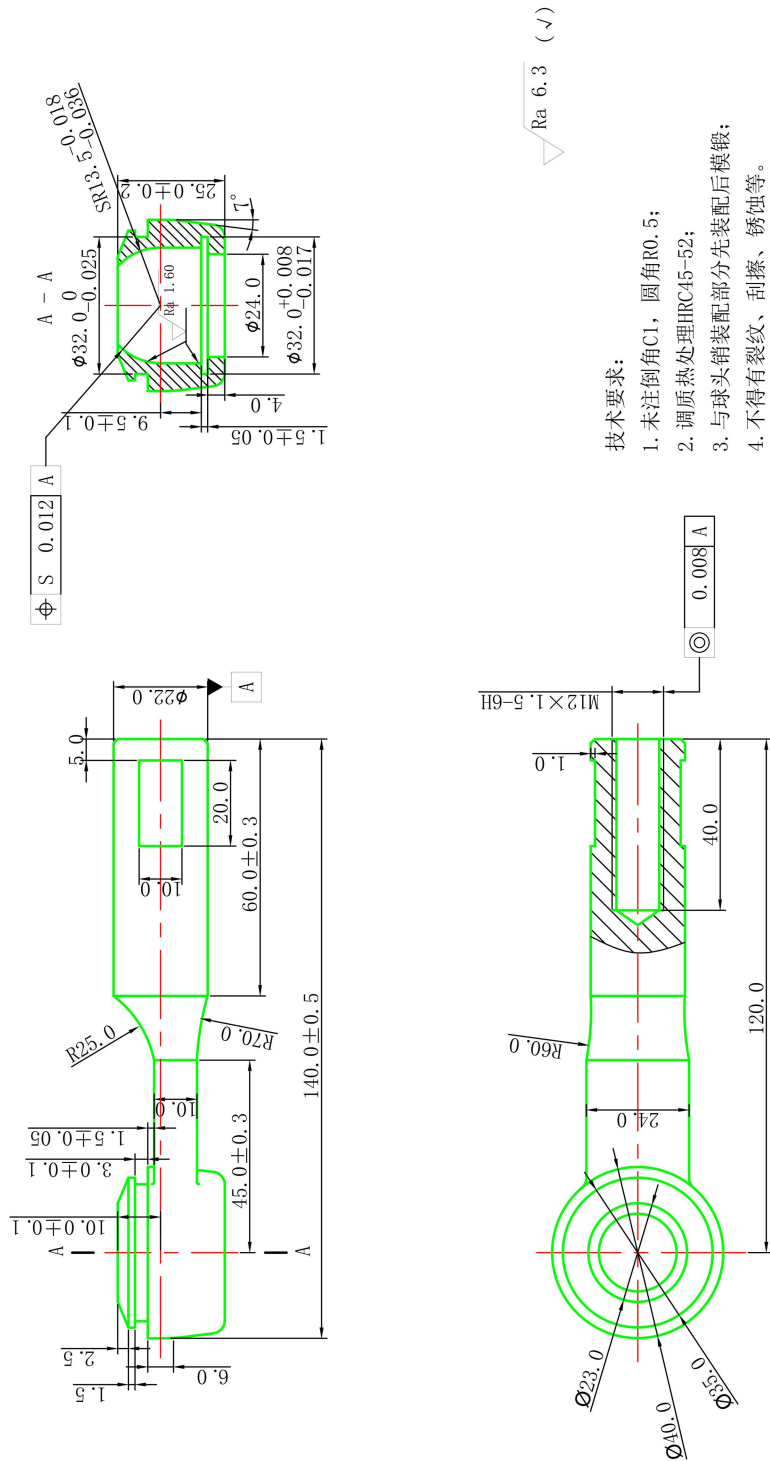
附 录



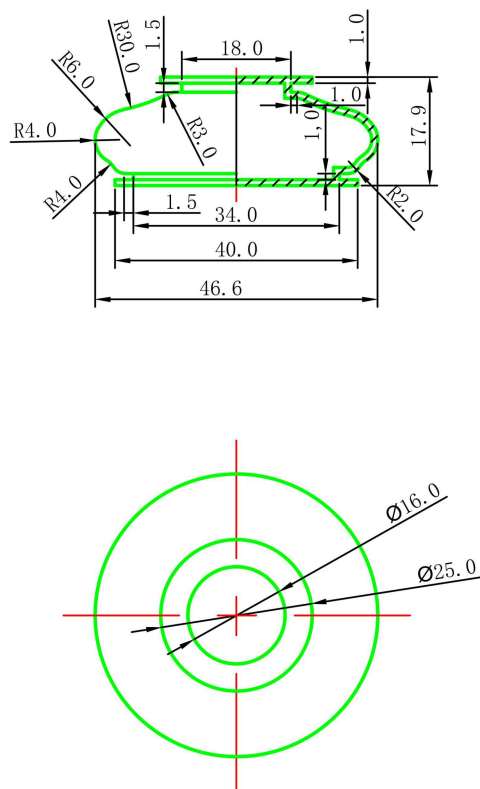
$\sqrt{Ra\ 6.3}$ (✓)

技术要求：
表面光整、无毛刺。

						40Cr			合肥学院	
									端盖	
标记	处数	分区	更改文件号	签名	年.月.日					
设计			标准化			阶段标记	重量	比例	HLG-01	
								1 : 1		
审核										
工艺			批准			共	张	第 张		



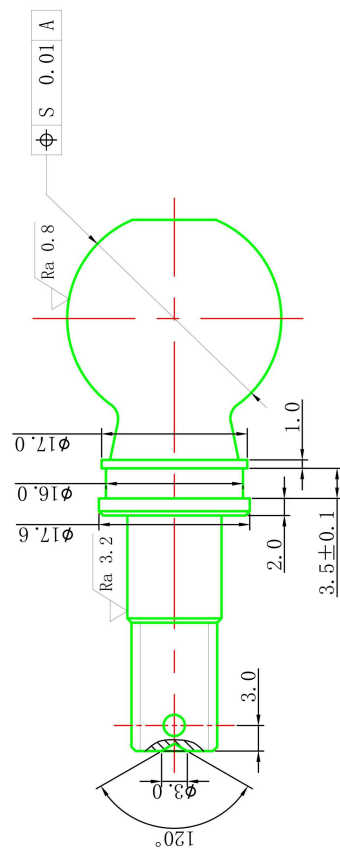
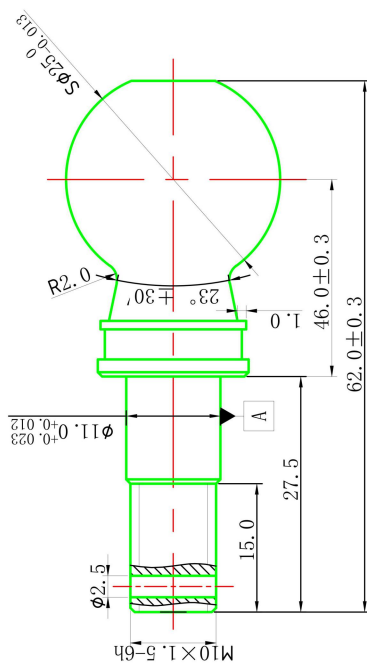
合肥学院		40Cr		阶段标记		重量		比例		1:1		共 张		第 张		HLC-02	
标记	处数	分区	更改件号	签名	年.月.日	设计	审核	工艺	批准	共	张	第	张	共	张	第	张



技术要求:

1. 防尘套厚度1mm;
2. 表面不粘结;
3. 颗粒之间无粘结或结块现象;

						氯丁橡胶				合肥学院	
										防尘套	
标记	处数	分区	更改文件号	签名	年.月.日						
设计			标准化			阶段标记		重量	比例		HLG-03
									1：1		
审核											
工艺			批准			共		张	第	张	

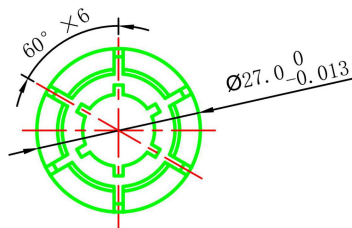
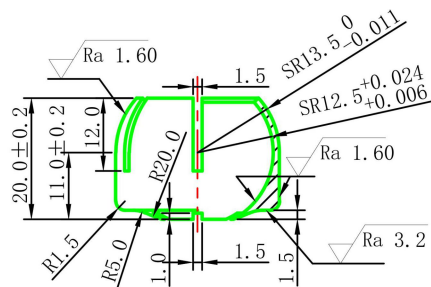


Ra 6.3 (✓)

技术要求:

1. 未注倒角C1;
2. 渗碳热处理HRC42-46;
3. 不得有裂纹、刮擦、锈蚀等。

[illegible]

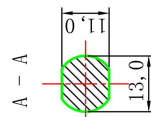
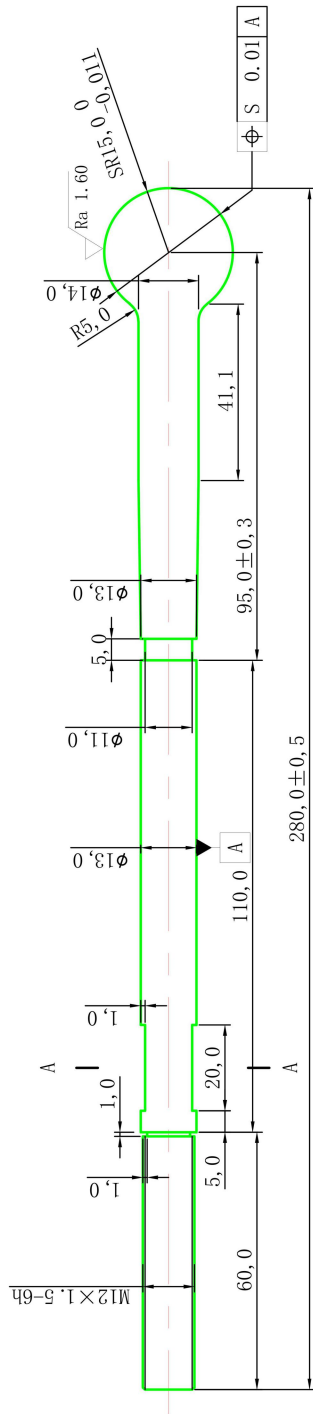


▽ Ra 6.3 (✓)

技术要求:

1. 颗粒应均匀、光亮;
2. 颗粒之间无粘结或结块现象;
3. 色差应 $\geq 4-5$ 级;
4. 性能指标POM (II) 。

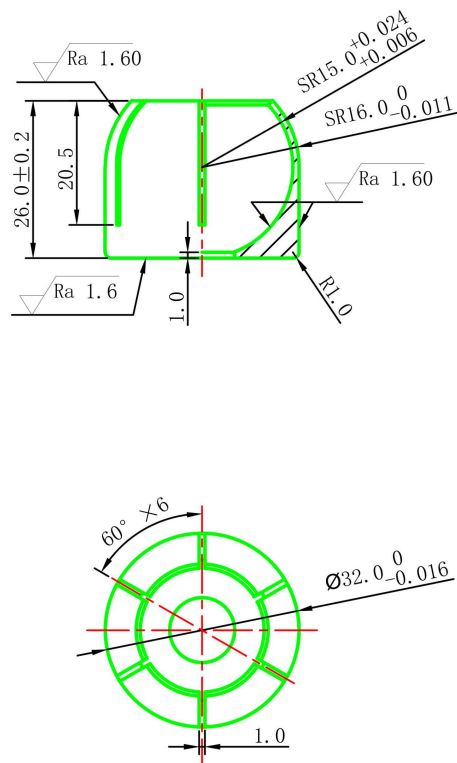
						POM			合肥学院	
									球头销座	
标记	处数	分区	更改文件号	签名	年.月.日					
设计			标准化			阶段标记	重量	比例	HLG-05	
								1:1		
审核						共	张	第		
工艺			批准					张		



技术要求:

1. 未注倒角C1;
2. 渗碳热处理HRC42-46;
3. 不得有裂纹、刮擦、锈蚀等。

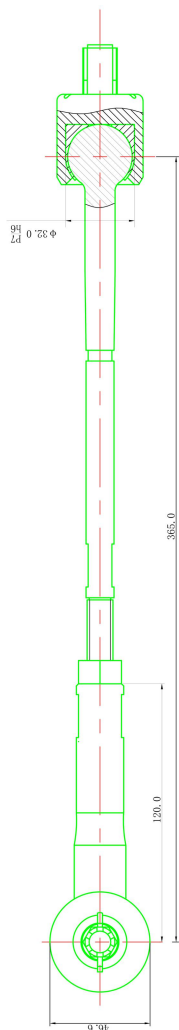
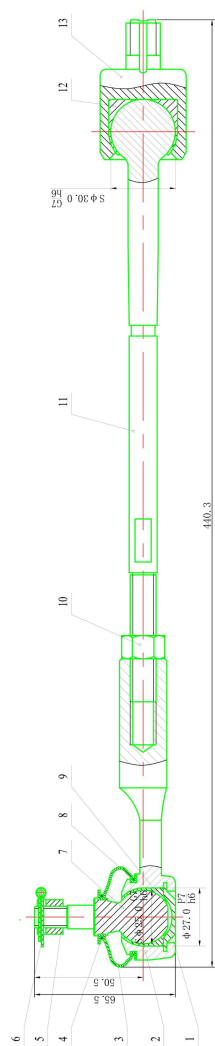
合肥学院		40Cr		阶段标记		重量		比例		共 张		第 张		HLG-06-A	
标记	处数	分区	更改文件号	签名	年,月,日	设计	标准	审核	批准	工艺	共	张	第	张	HLG-06-A



技术要求:

1. 颗粒应均匀、光亮;
2. 颗粒之间无粘结或结块现象;
3. 色差应 ≥ 4 -5级;
4. 性能指标POM (II) 。

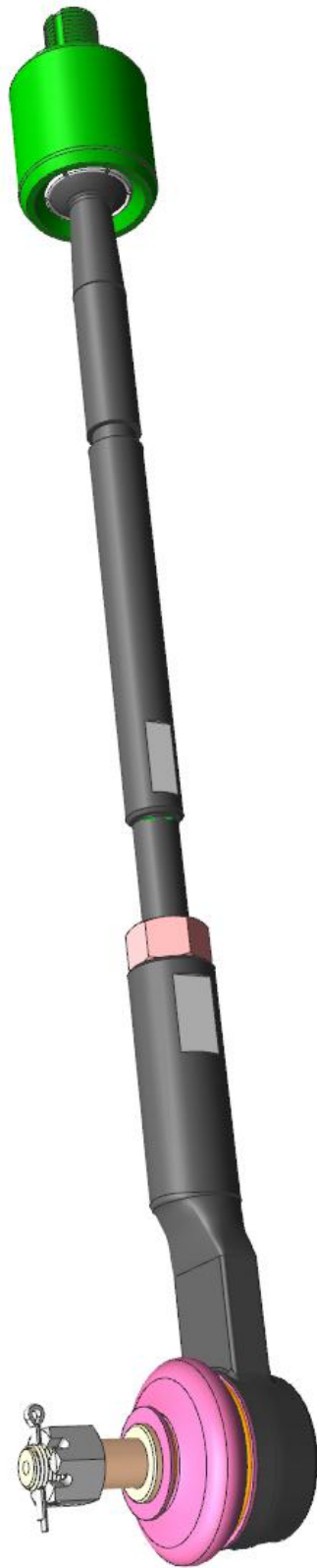
						POM			合肥学院
标记	处数	分区	更改文件号	签名	年.月.日				球头座
设计			标准化			阶段标记	重量	比例	
审核								1 : 1	
工艺			批准			共	张	第	张
									HLG-07



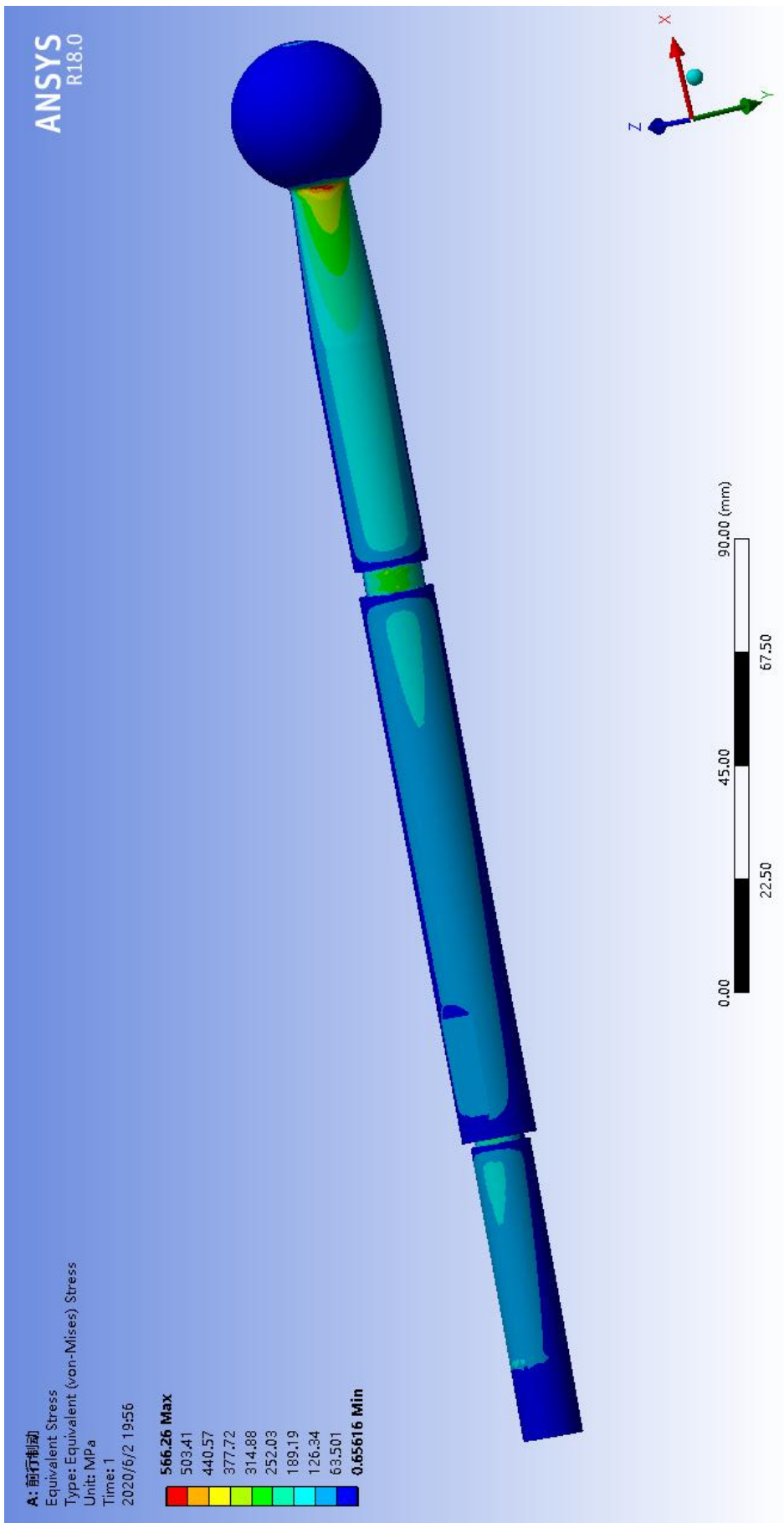
技术要求

1. 零件在装配前需要清洗干净，不得有毛刺、飞边、灰尘颗粒等；
2. 螺旋杆体与本体头壳体连接可预留20mm;
3. 安装时六角螺母需要适当预紧力；
4. 球头轴与球头腔室、螺旋杆体与球头腔室时需要涂沫润滑脂；
5. 球头轴与球头腔室、螺旋杆体与球头腔室良好，转动时不允许出现卡顿；
6. 装配时，保证密封挡圈准确卡在防生套安装槽内，保证良好密封性；

13	HLG-08	方向使接头	1	40Cr	外购件	
11	HLG-07	球头壳体	1	190H	外购件	
12	HLG-06A	侧板下体	1	40Cr	外购件	
10	HLG-012	侧板下体	1	190H	外购件	
9	HLG-011	侧板下体	1	190H	外购件	
8	GH7-885.2.35	侧板侧板圈	1	侧板侧板圈	外购件	
7	HLG-04	球头销	1	40Cr	外购件	
6	GH7-91.2.5.20	开口销	1	304不锈钢	外购件	
5	GH7-6178.100	六角内螺帽母	1	45钢	外购件	
4	GH7-885.2.18	侧板侧板圈	1	侧板侧板圈	外购件	
3	HLG-05	侧板下体	1	氮化钎焊	外购件	
2	HLG-02	外板左壳体	1	40Cr	外购件	
1	HLG-01	端盖	1	40Cr	外购件	
序号	代号	名称	数量	材料	备注	
<div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						
<div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div> <div> <div>数量</div> <div>分库</div> <div>设计</div> </div> <div> <div>分库</div> <div>设计</div> <div>工艺</div> </div>						







A: 前行制动

Equivalent Stress 2

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

2020/6/2 19:57

109.88 Max

97.673

85.464

73.255

61.045

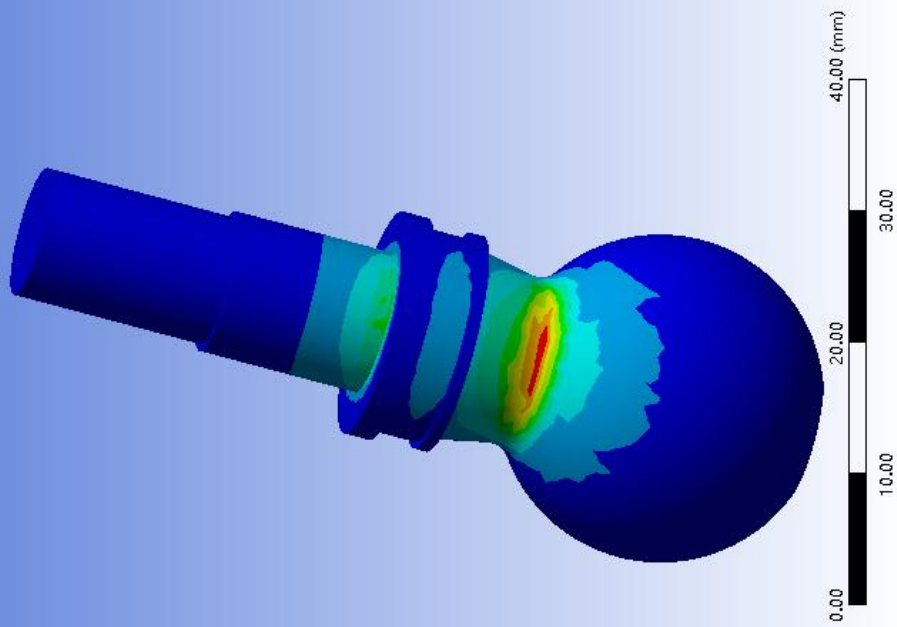
48.836

36.627

24.418

12.209

4.9846e-5 Min



ANSYS
R18.0

A: 前行制动

Equivalent Stress 4

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

2020/6/2 19:58

29.75 Max

26.448

23.145

19.842

16.539

13.236

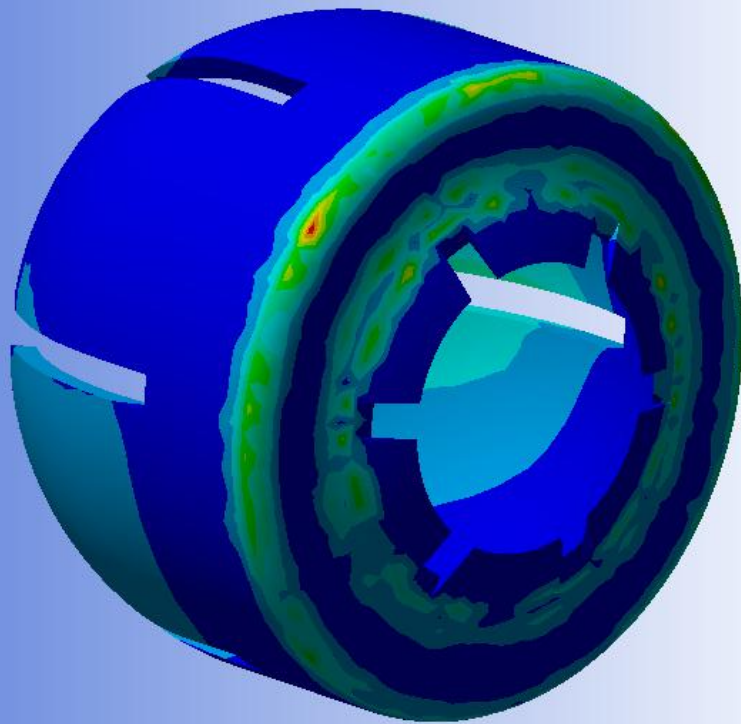
9.9334

6.6305

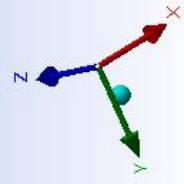
3.3277

0.024873 Min

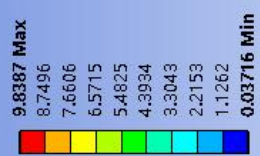
ANSYS
R18.0



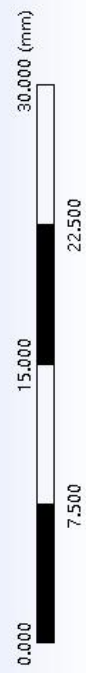
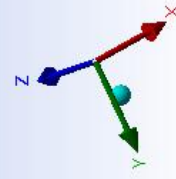
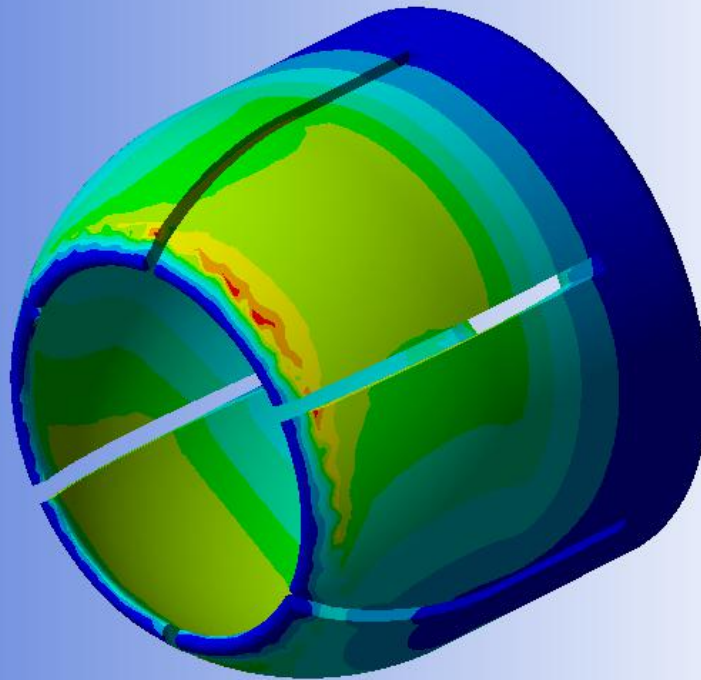
0.000 5.000 10.000 15.000 20.000 (mm)

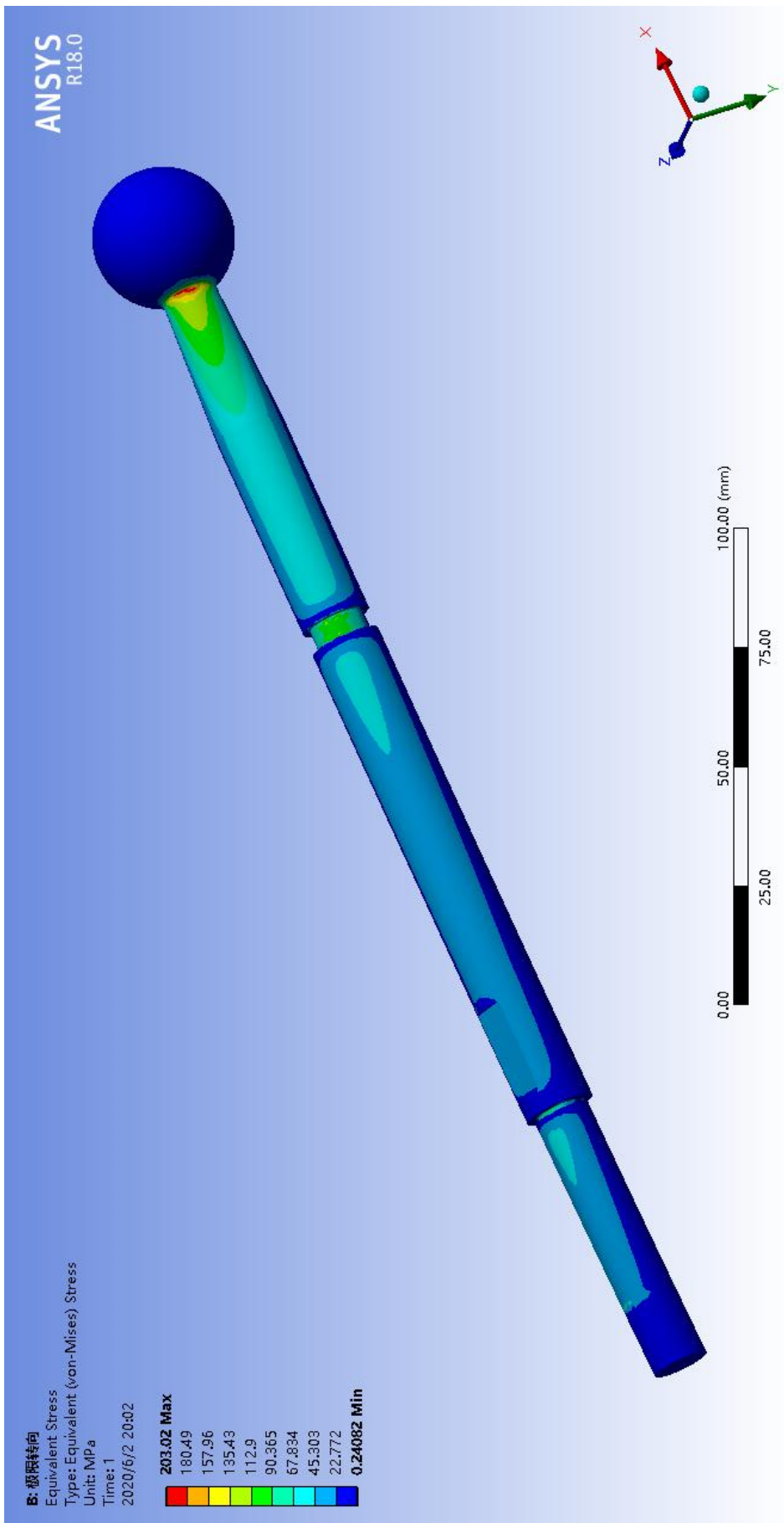


A: 前行制动
Equivalent Stress 3
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2020/6/2 19:59



ANSYS
R18.0





B: 极限转向

Equivalent Stress 2

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

2020/6/2 20:04

39.203 Max

34.847

30.491

26.135

21.779

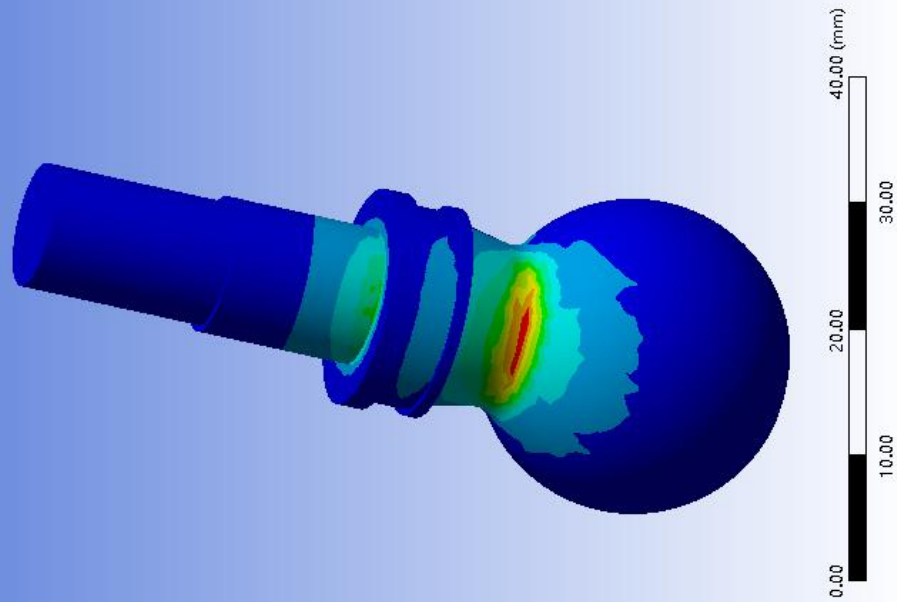
17.423

13.068

8.7117

4.3559

1.7667e-5 Min



ANSYS
R18.0

B: 极限转向

Equivalent Stress 3

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

2020/6/2 20:04

10.677 Max

9.492

8.3066

7.1212

5.9359

4.7505

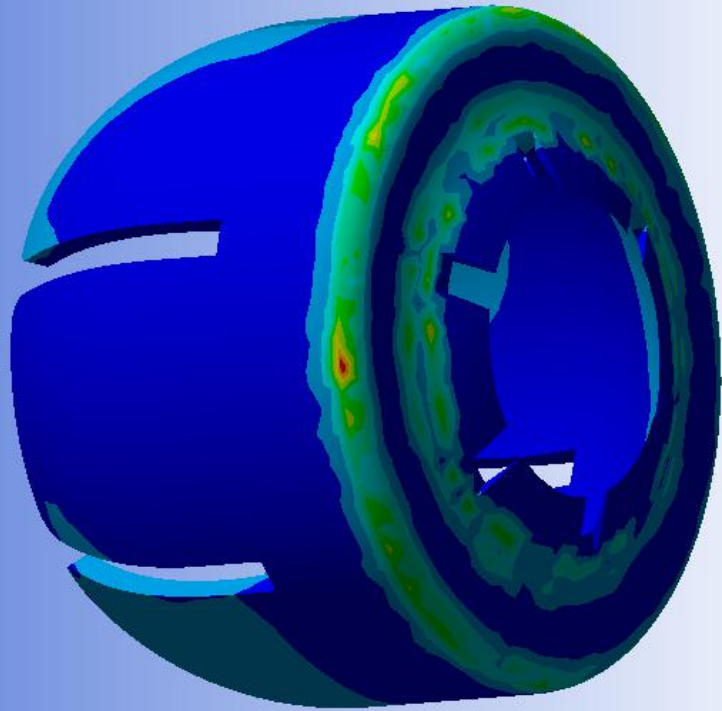
3.5651

2.3797

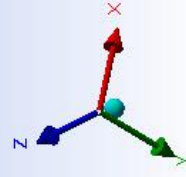
1.1943

0.0088745 Min

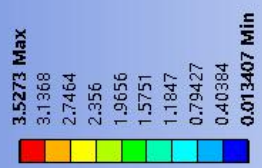
ANSYS
R18.0



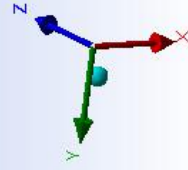
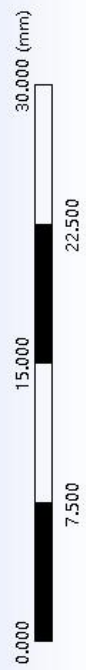
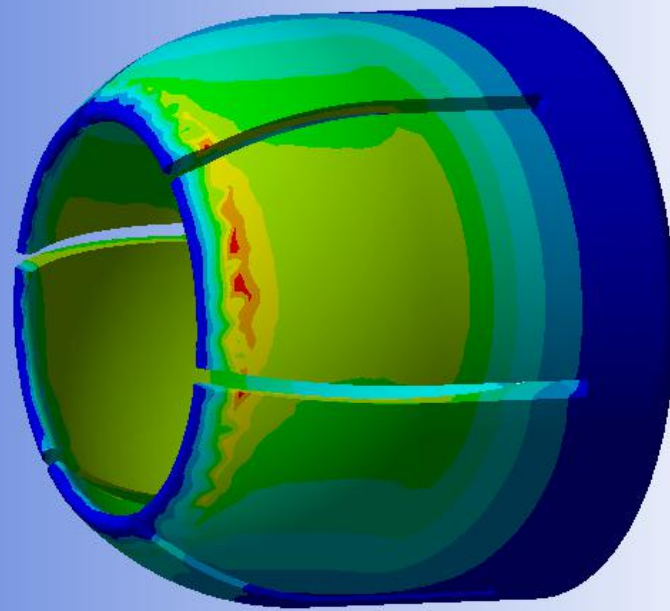
0.000 5.000 10.000 15.000 20.000 (mm)

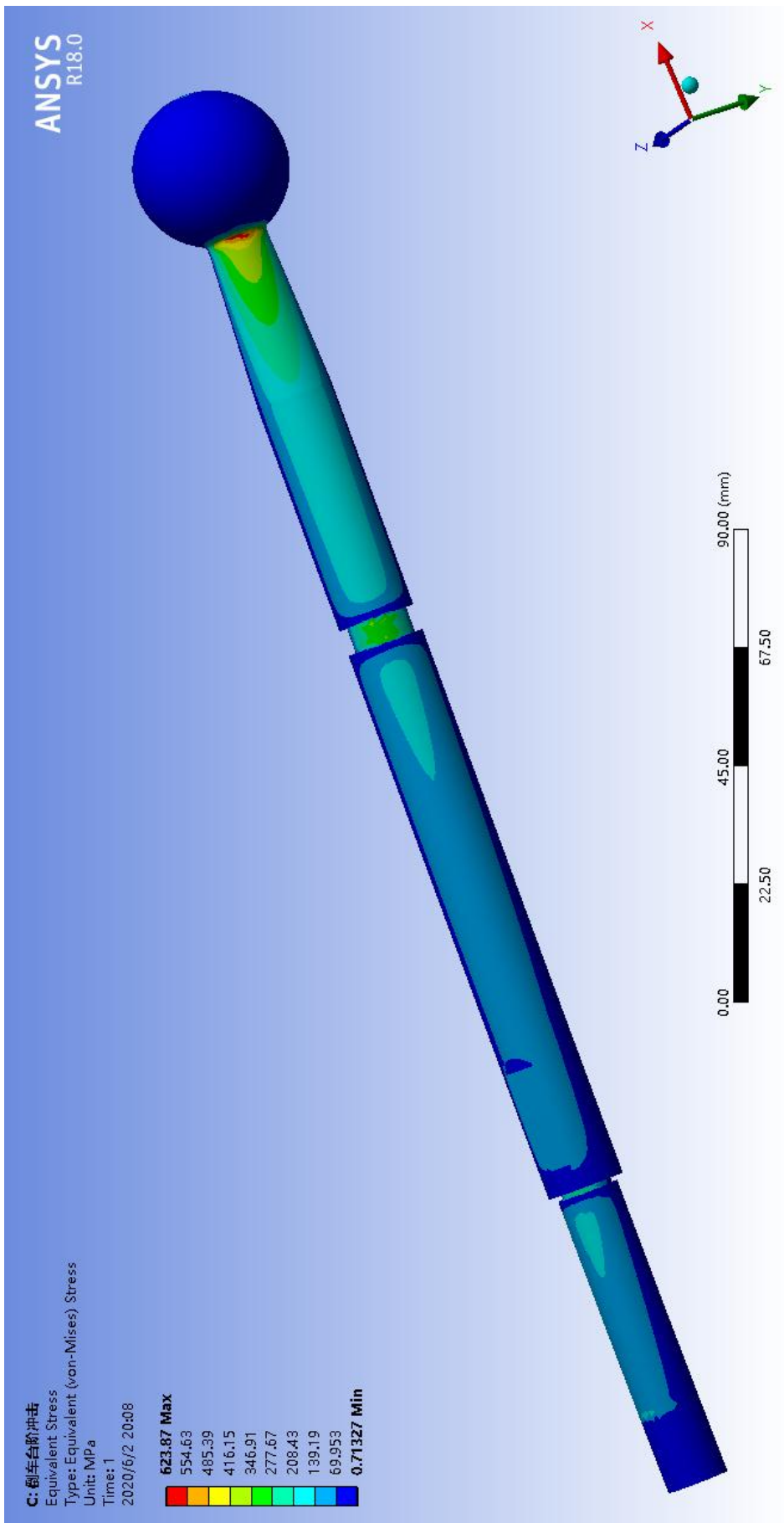


B: 极限转向
Equivalent Stress 4
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2020/6/2 20:06

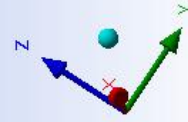
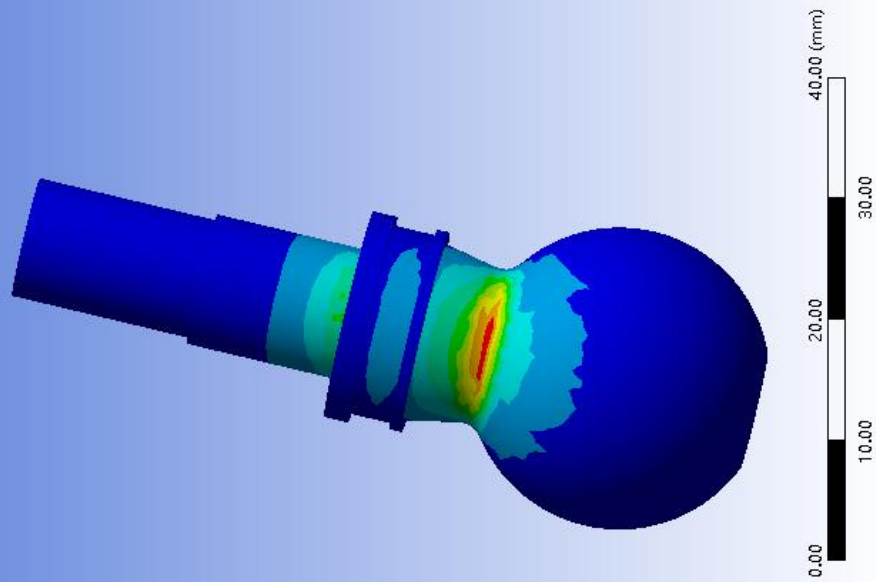
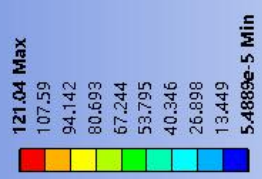


ANSYS
R18.0





C: 倒车台阶冲击
 Equivalent Stress 2
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1
 2020/6/2 20:09



ANSYS
 R18.0

C: 刹车台阶冲击

Equivalent Stress 3

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

2020/6/2 20:10

32.793 Max

29.153

25.512

21.871

18.231

14.59

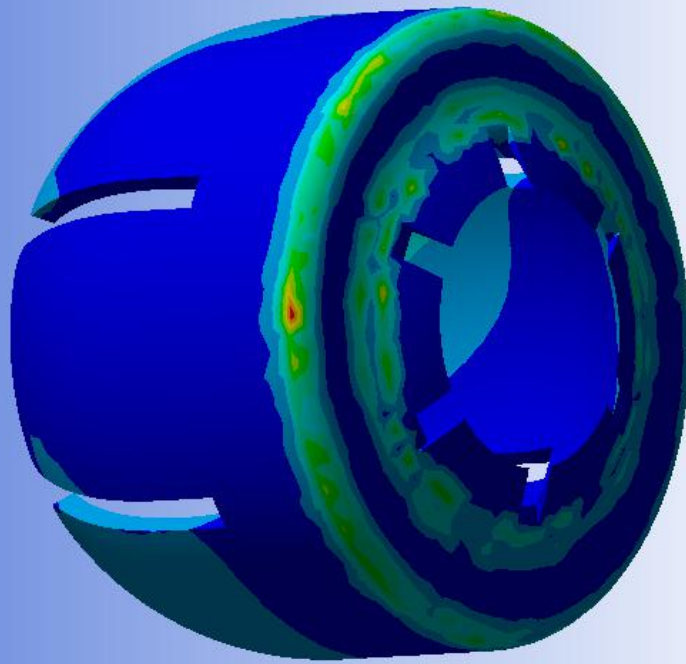
10.95

7.3089

3.6683

0.027649 Min

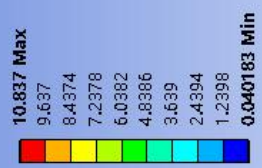
ANSYS
R18.0

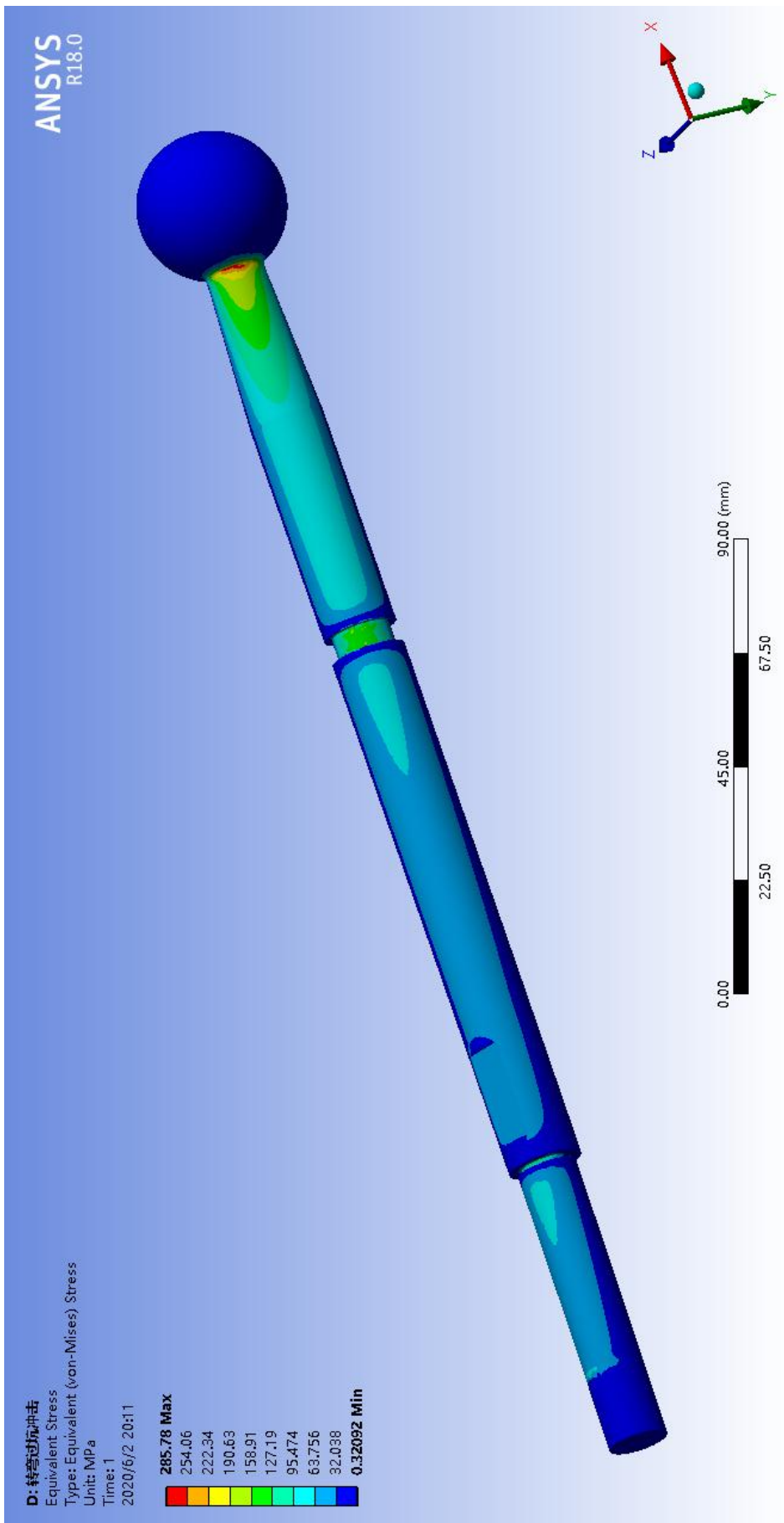


0.000 5.000 10.000 15.000 20.000 (mm)

C: 刹车台阶冲击
Equivalent Stress 4
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2020/6/2 20:10

ANSYS
R18.0





D: 转弯过坑冲击

Equivalent Stress 2

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

2020/6/2 20:12

55.466 Max

49.303

43.14

36.978

30.815

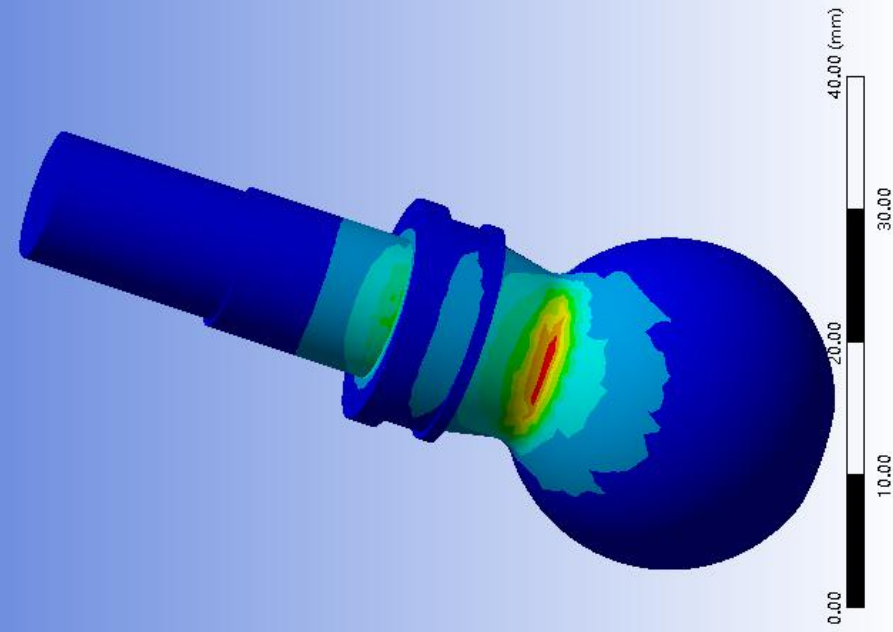
24.652

18.489

12.326

6.1629

2.517e-5 Min



ANSYS
R18.0

D: 转弯过坑冲击

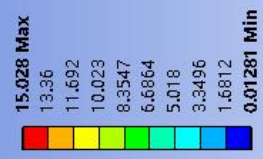
Equivalent Stress 3

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

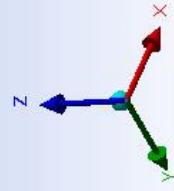
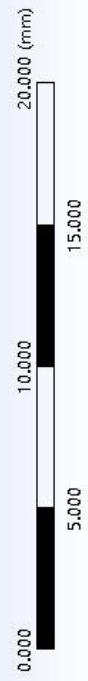
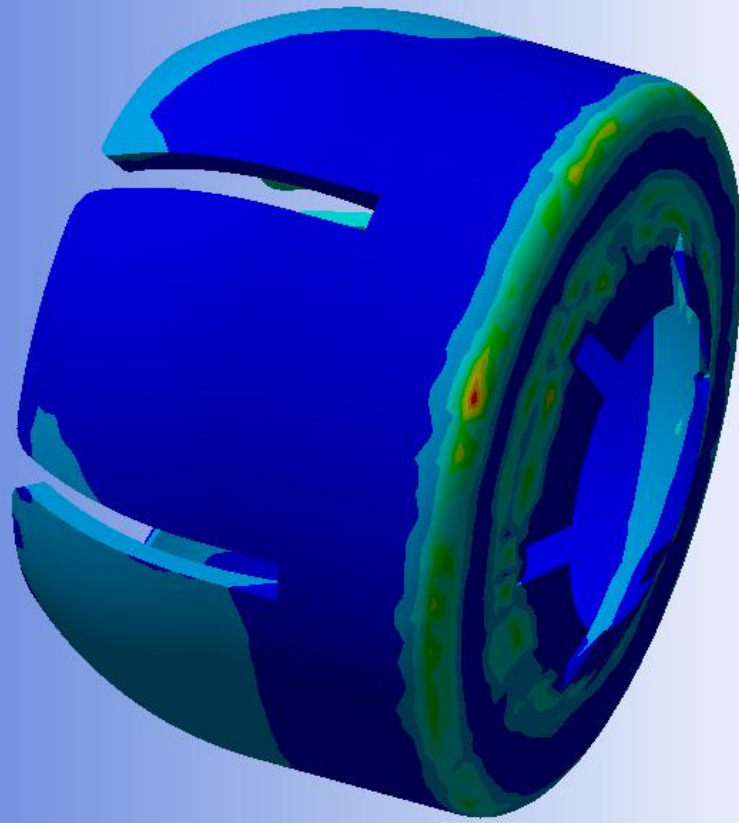
Unit: MPa

Time: 1

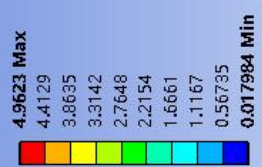
2020/6/2 20:12



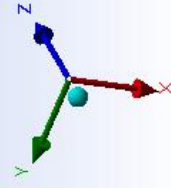
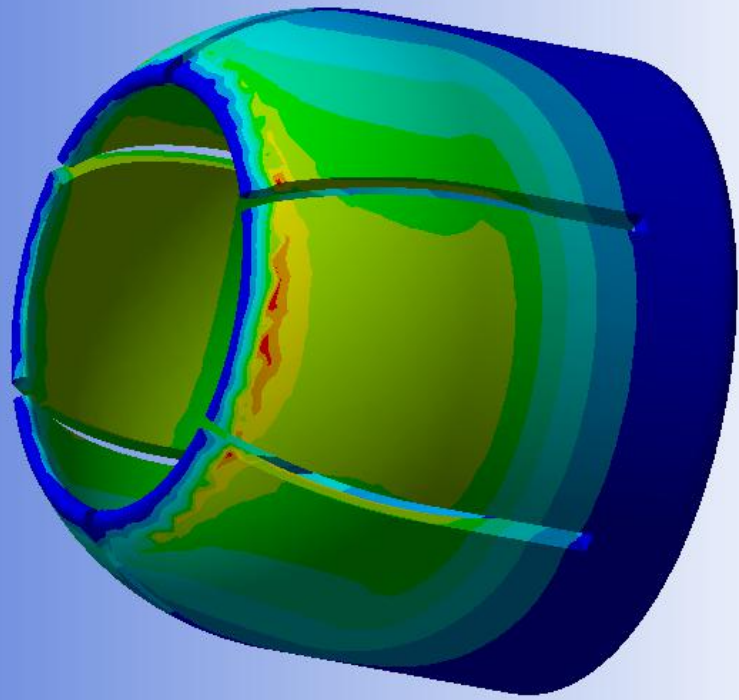
ANSYS
R18.0

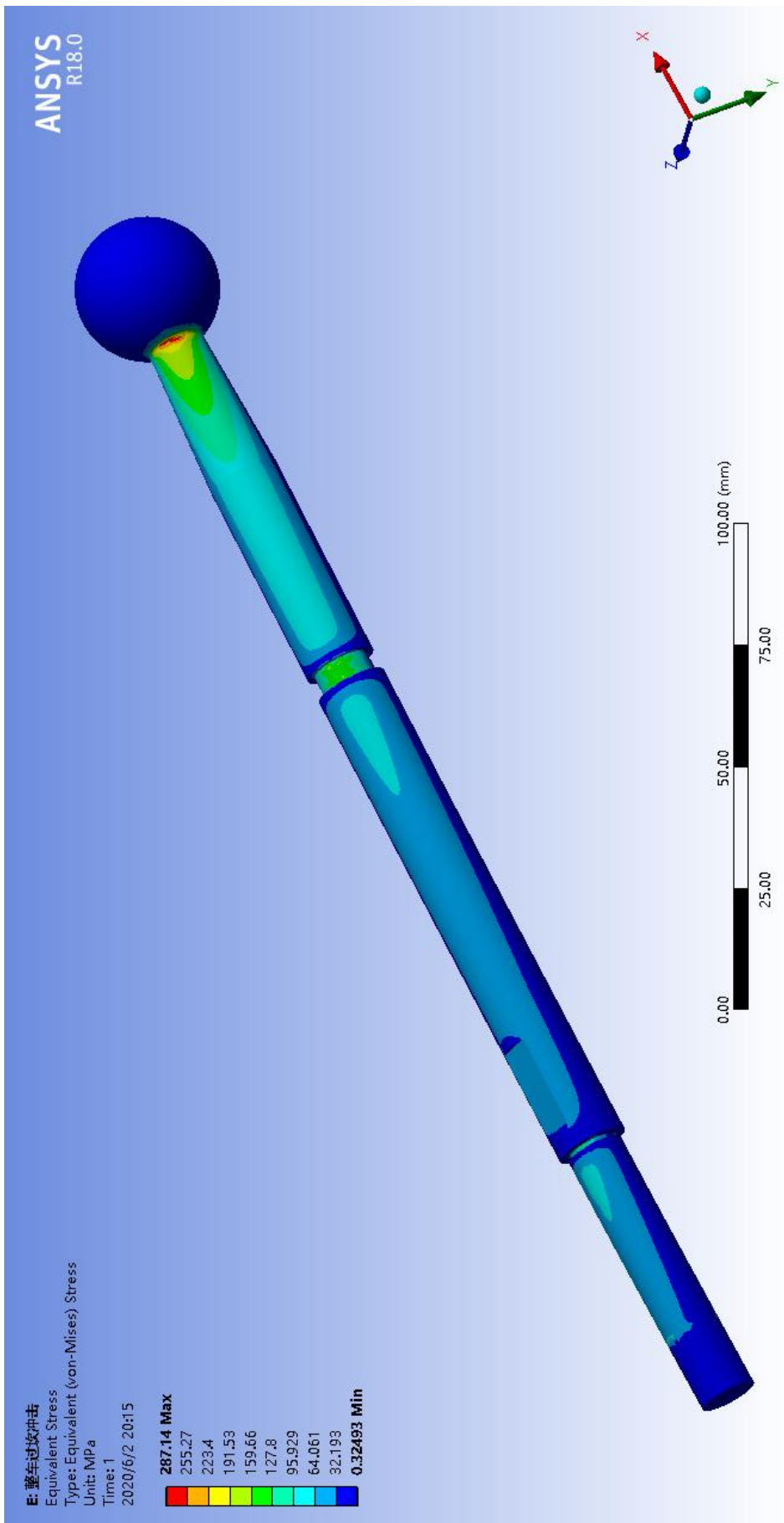


D: 转弯过坑冲击
Equivalent Stress 4
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2020/6/2 20:13



ANSYS
R18.0





E: 蒙车过坎冲击

Equivalent Stress 2

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

2020/6/2 20:15

55.949 Max

49.732

43.516

37.299

31.083

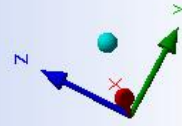
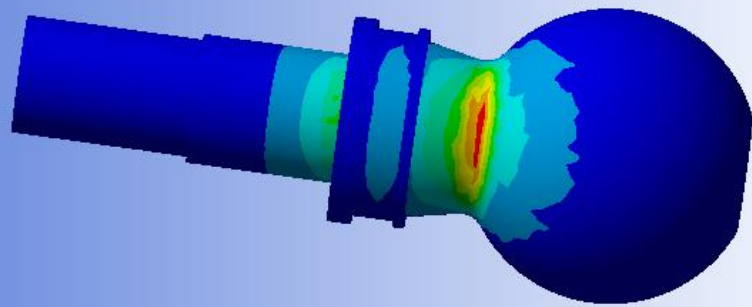
24.866

18.65

12.433

6.2165

2.5522e-5 Min



ANSYS
R18.0

E: 蒙车过坎冲击

Equivalent Stress 3

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

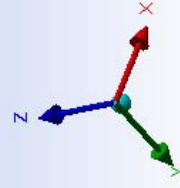
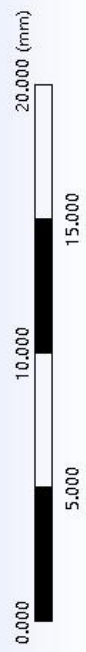
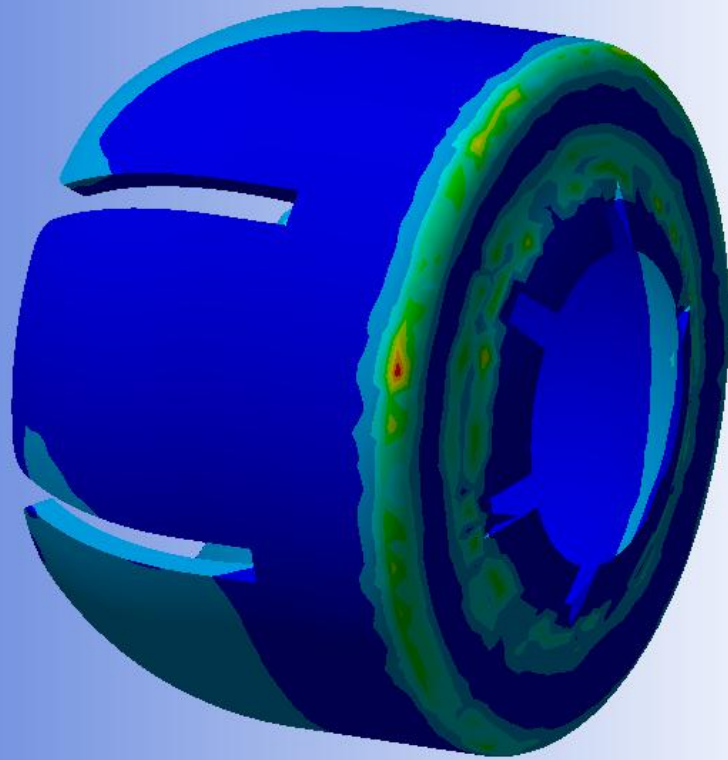
Unit: MPa

Time: 1

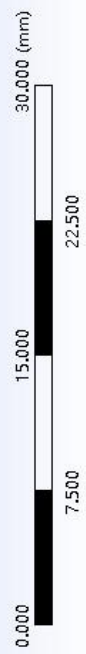
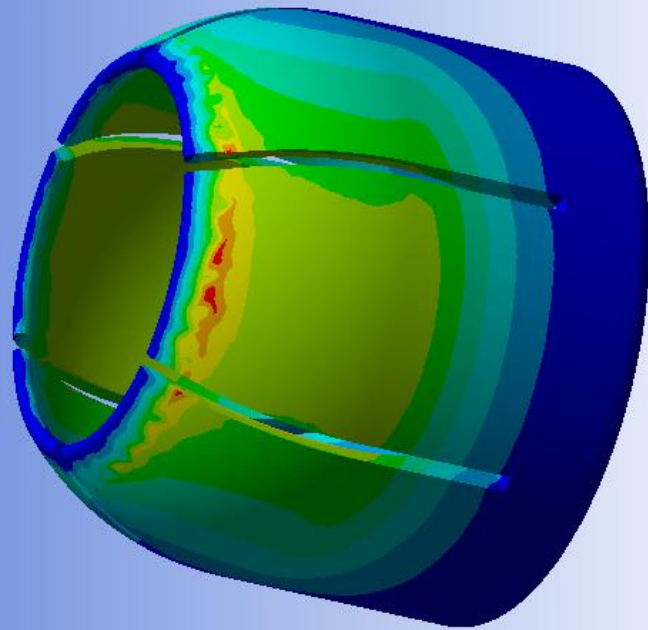
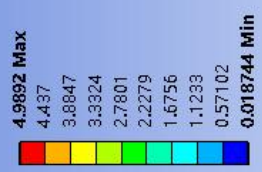
2020/6/2 20:16



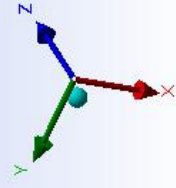
ANSYS
R18.0

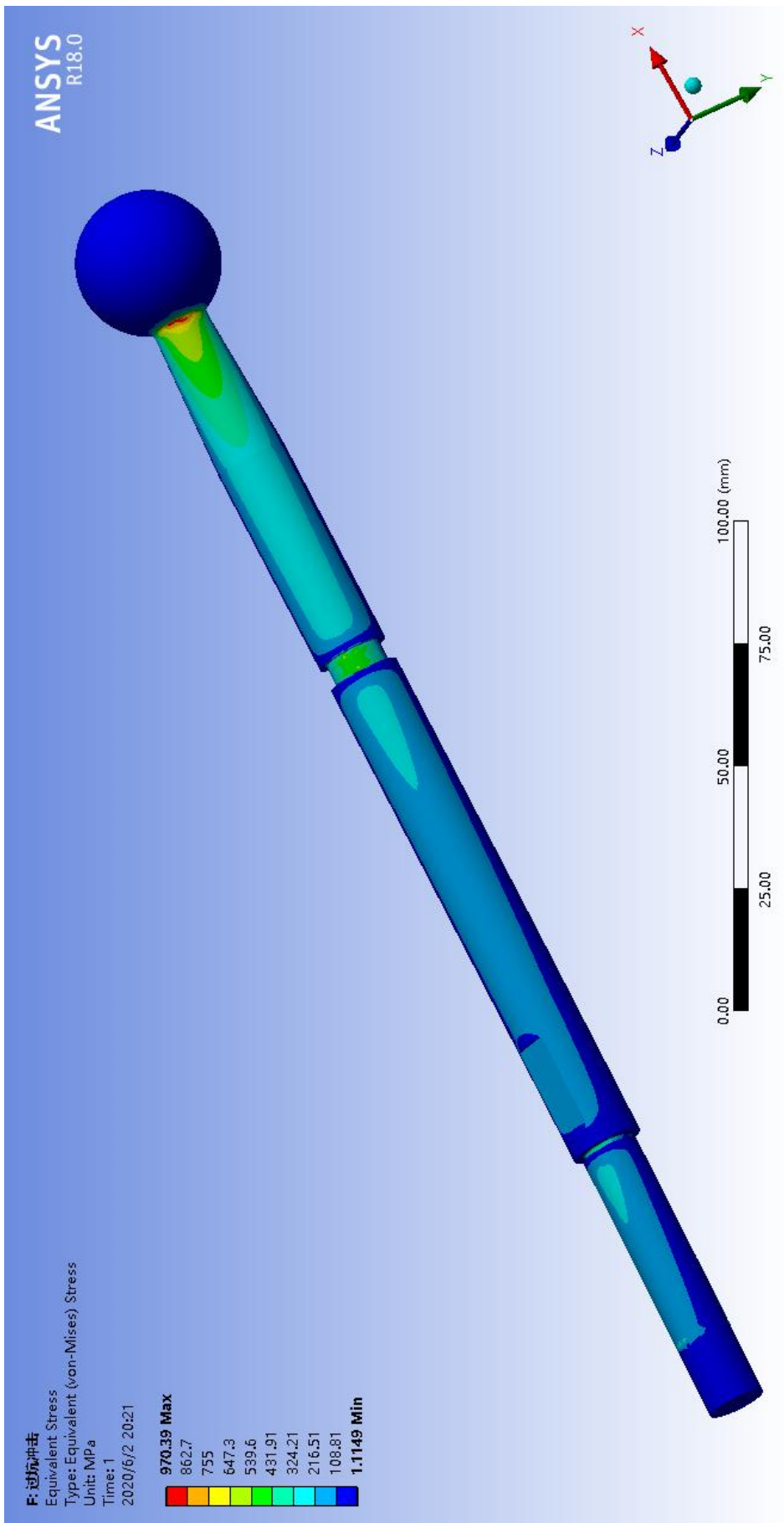


E: 蒙车过坎冲击
Equivalent Stress 4
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2020/6/2 20:16



ANSYS
R18.0





F: 过坑冲击

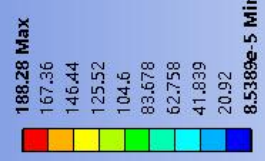
Equivalent Stress 2

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

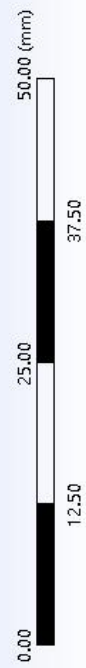
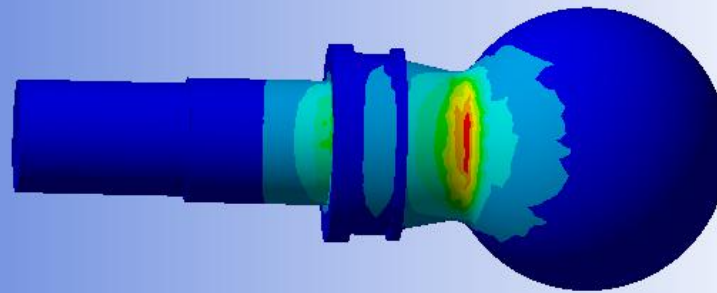
Unit: MPa

Time: 1

2020/6/2 20:32



ANSYS
R18.0



F: 过坑冲击

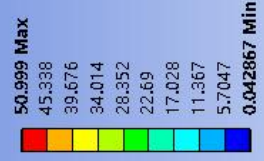
Equivalent Stress 3

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

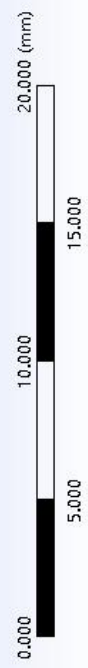
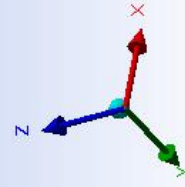
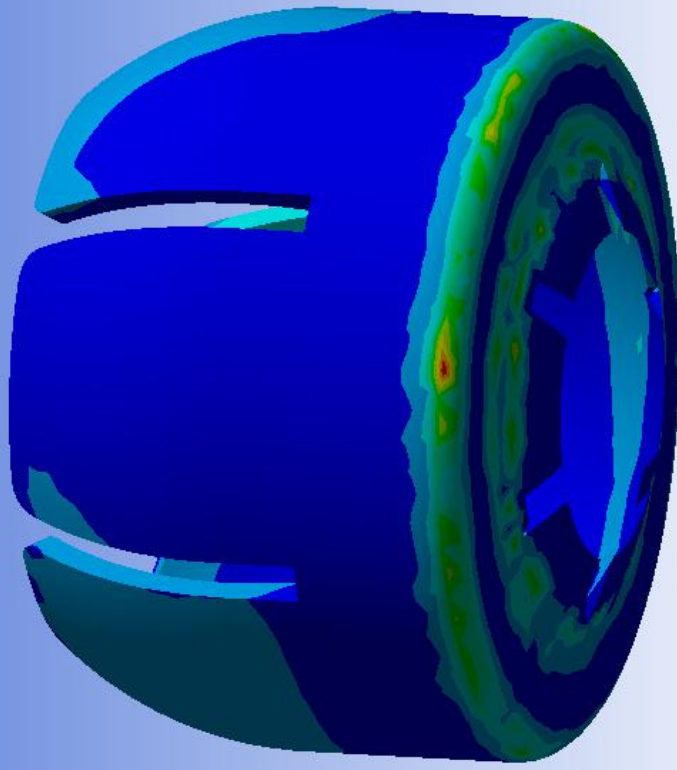
Unit: MPa

Time: 1

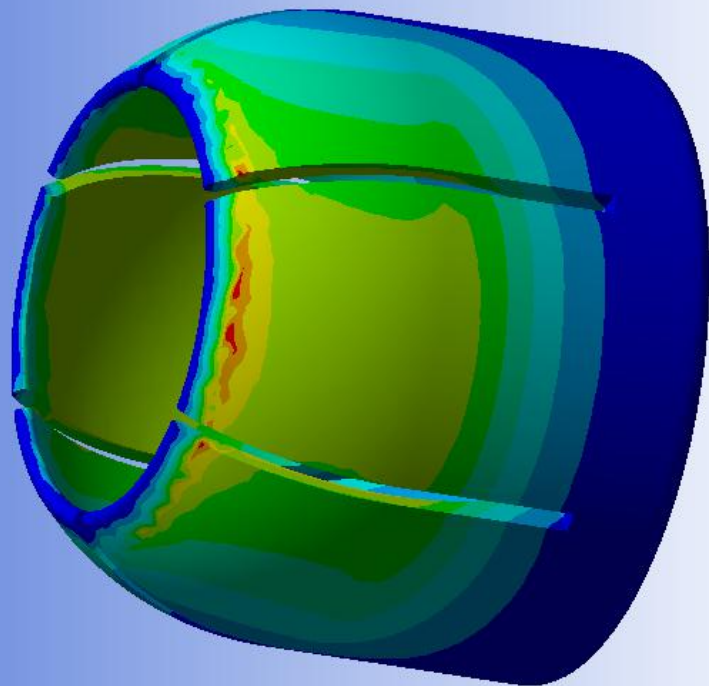
2020/6/2 20:32



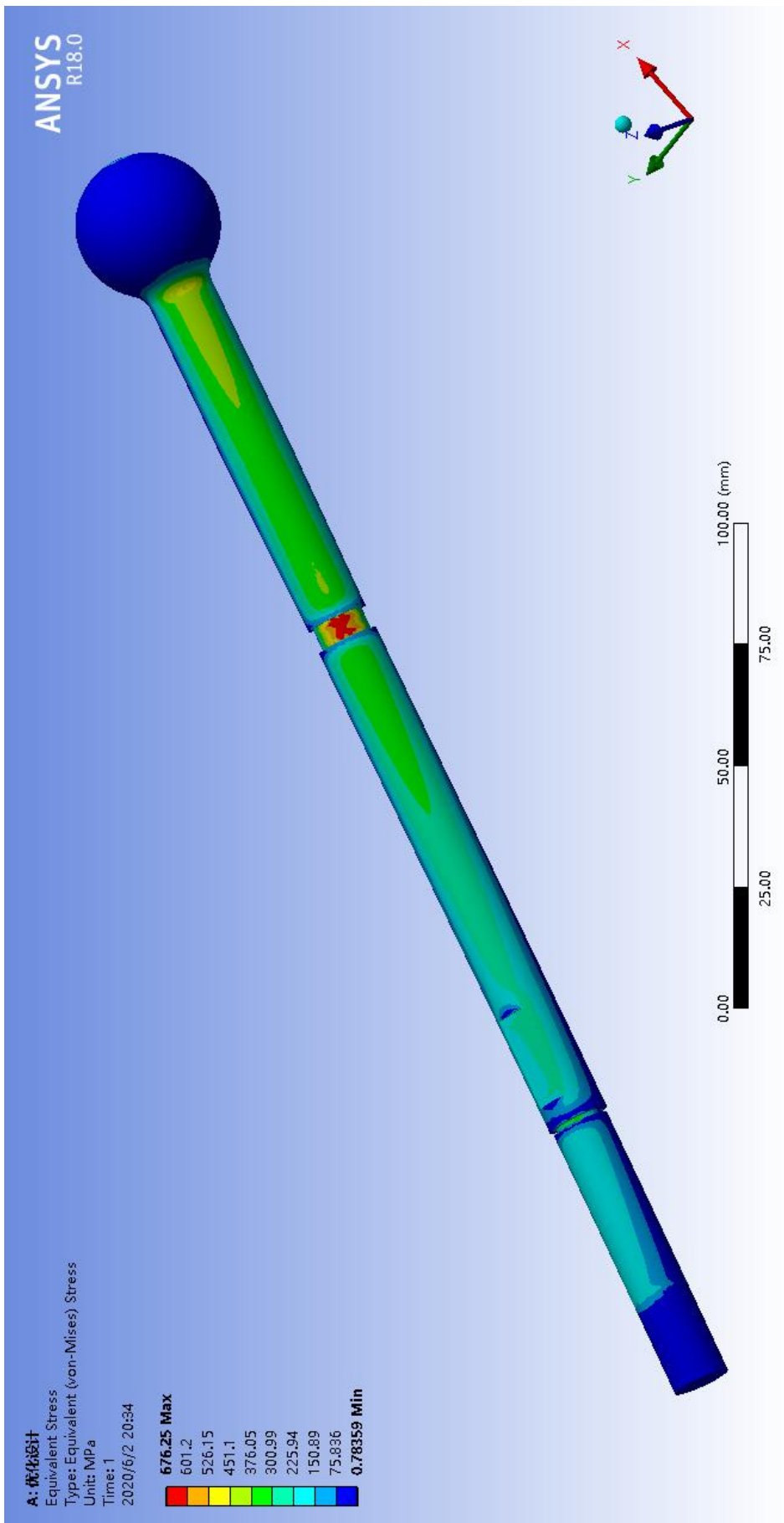
ANSYS
R18.0



F: 过坑冲击
Equivalent Stress 4
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2020/6/2 20:33



ANSYS
R18.0



A: 壳体设计

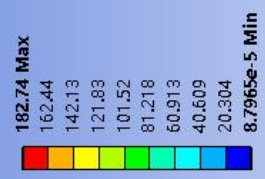
Equivalent Stress 2

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

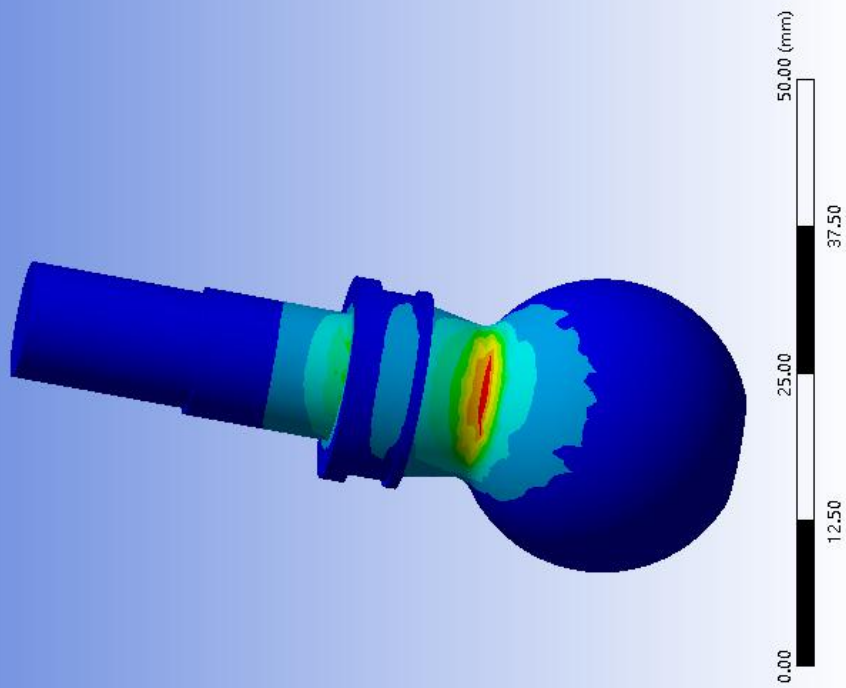
Unit: MPa

Time: 1

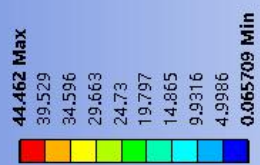
2020/6/2 20:35



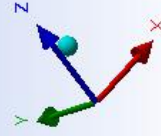
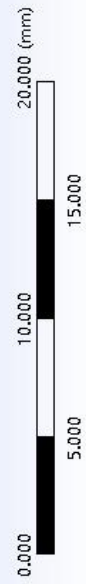
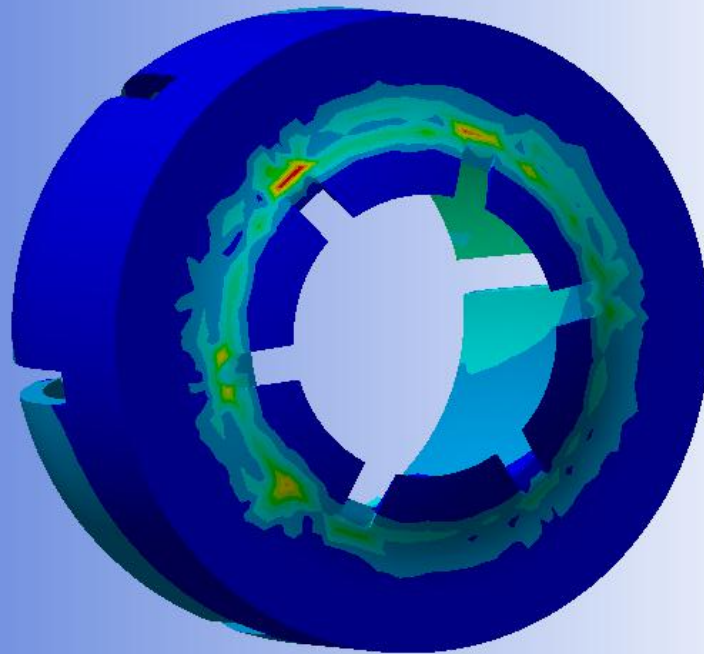
ANSYS
R18.0



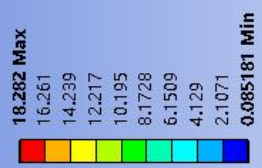
A: 模体设计
Equivalent Stress 3
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2020/6/2 20:35



ANSYS
R18.0



A: 壳体设计
Equivalent Stress 4
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2020/6/2 20:36



ANSYS
R18.0

