

悬架球铰链优化设计

悬架球铰链是采埃ZF底盘技术零部件事业部的核心产品，球铰链的结构设计是部门的核心技术。随着汽车工业水平的发展，对球铰链产品的要求也不断提升，过去的一些产品设计已经无法完全满足目前市场的需求。客户会要求更加苛刻的模拟环境，更加复杂的工况载荷，同时也会引入一些新的法规要求，例如行人保护和碰撞后的失效要求。在这种环境下，球铰链的技术优化势在必行。球铰链较多运用在前悬架中，杆与转向节的连接都是通过球铰链实现的，因为只有这种连接方式才能提供车轮的第二个自由度（转向），为了能满足更高的客户要求，密封性能和疲劳磨损性能将成为主要研究和优化的方向。

本文基于ZF实际量产的国内OEM项目（东风柳州B20项目）对悬架球铰链进行结构优化设计。原计划准备沿用目前已批产项目的零件，但是经过第一轮DV试验后发现仍存在风险，有漏水和早期磨损的失效模式。经过分析后决定改进设计来满足当前的试验要求。同时，通过对其他国内OEM新项目的分析，发现很多OEM已经制定了专门针对球铰链性能的规范，设计要求上也有很大的提高。而全球性的OEM也在不断更新他们对于球铰链的规范，ZF产品需要面对更恶劣的环境条件，更为复杂多变的工况，更为细化的碰撞保护要求。本文通过对新规范的研究和分析，寻求合理的优化方案，以较少的成本获得满足性能的产品。

球铰链简介

球铰链通过保持彼此持续接触以及相对运动，可以保证机构链的连接。这些运动的连接位置被称为接

头。球铰链按照主要受载方向，可以分为径向受载的铰链（导向球铰）和轴向受载的铰链（承载球铰）。如图1所示，每一个接头都有两个连接元件，彼此配合，并且有与功能相适应的几何形状，如轴和滑动轴承、齿轮副的轮齿等。球铰链的主要连接元件是球头销和球窝。除了球铰链的工作性能，其他特征如材料、尺寸、表面质量、承载能力及润滑等也很重要。

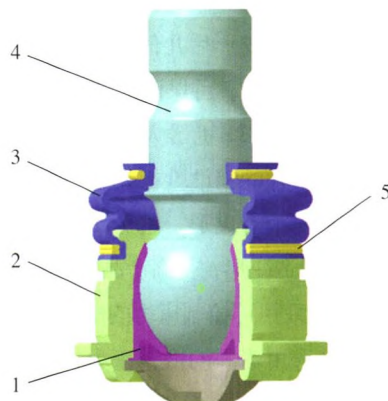


图1 球铰链总成

1.球窝 2.球壳 3.防尘罩 4.球销 5.卡圈

球铰链的作用和技术要求

球铰链的作用是将杆件与转向节连接起来，连接有三个自由度（见图2），将力和运动由转向节传递到杆上。其中两个自由度用于车轮跳动和转向，另一个用于车轮的弹性运动学变化。由于它有三个转动自由度，因此只能导入拉力、压力和径向力。在正常的工况下，球铰链不允许产生自由间隙（否则会造成不必要的噪声），弹性位移也应尽可能的小，避免造

成车辆行驶中产生的不适感，直接影响驾驶者的主观评价。同时球铰链的工作力矩也是一个重要的评价指标，在整车的寿命周期内，不能降到允许值以下，造成早期磨损，产生不必要的噪声。



图2 球铰链三个旋转自由度

原设计失效模式分析

1.密封性能试验失效状态

B20项目在初始阶段，客户要求沿用已有项目产品来减少研发费用和周期，但在DV试验中发现密封性能存在漏水生锈等失效模式。试验后发现球铰链与转向节之间贴合不良，存在2.5mm的自由间隙（见图3），有漏水的风险，密封系统未能通过试验要求。而且在球铰链拆卸后可以看见其与转向节的配合表面有严重的锈蚀（见图4），进一步验证了沿用产品的密封性能无法满足B20的产品设计要求。



图3 密封试验后防尘罩与转向节间的间隙



图4 密封试验后转向节配合面锈蚀

拆解球铰链本体时，可以发现其内部有可见水，球销暴露在防尘罩区域腐蚀严重（见图5）。由此可见，目前的防尘系统无法完全满足客户的设计要求，需要进行优化设计。正常情况下，试验后拆除防尘罩后，内部不应该存有明显的水渍，需要通过测量残留油脂中水的百分含量，来评价密封性能是否符合要求。一般含水量要求不超过0.6%。球销在试验后如若没有图层，一般只在球销与转向节的配合位置存在一圈锈蚀，如图5所示，球销下半部分——即插入转向节部分，锈蚀严重。主要是由于试验过程中有大量的污水侵入产生的。



图5 密封试验后球销杆部腐蚀严重

2.试验结果分析

试验结果显示，目前的进水量属于W3级，即通过目视可见水渍，说明密封系统在试验后进水状况很严重。进水区域主要是球铰链的两端卡圈位置。

综上所述，可能的失效原因如下：

（1）卡圈的装配质量和尺寸选择 球铰链卡圈装配时对于自身撑开后的最大尺寸有着明确的定义，主要是为了避免卡圈经过弹性变形后，卡紧力达不到设计的要求。供应商交货时的状态即未撑开时的状态（见图6a）， ϕA 在此状态下需要100%检测控制。装配时产品通过撑开直径 ϕD 和撑开后端部距离 Y 来控制（见图6b）。如果在实际装配时没有严格按照规范执行，其结果很可能造成夹紧力过小，卡圈松垮。

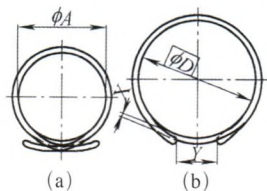
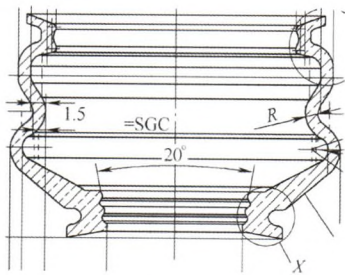


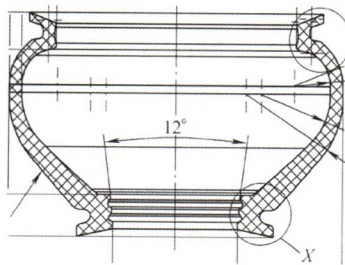
图6 卡圈的安装尺寸控制

（2）防尘罩的设计失效 经过对防尘罩设计的对比分析，发现在防尘罩球销端迷宫区域，存在锥角的设计偏差，与设计手册和规范定义不同，有泄漏的风险。图7（a）为目前的防尘罩设计，在球销端的迷宫区域X，锥角为 20° 。图7（b）是标准图样的设计，锥角为 12° 为试用于圆柱形的球销。而目前的设计则是

试用于锥角1:10的球销形式，所以可能造成迷宫区域X有较大的间隙，产生泄漏的可能。



(a) 原防尘罩设计



(b) 标准图样设计

图7 防尘罩球销端迷宫区域

(3) 球销密封区域的设计失效 对于目前的球销设计也存在风险，图8所示的区域Z，有一圈的台阶结构，其直径比球销杆部直径大1mm，其目的是为了防尘罩轴向压缩时，避免压入球销的颈部位置而导致防尘罩无法正常工作，造成球铰链和配合件进水。但是由于B20这个项目的工作角度比较大，在摆动到极限位置时防尘罩与台阶接触面积太小，容易直接压入，造成失效的可能性。另外，在低温下接触面积过小，也容易产生间隙，发生漏水现象。

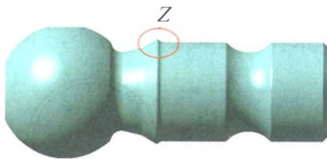


图8 有台阶特征的球销

球铰链优化设计方案

1.卡圈的装配优化

卡圈端的失效主要来源于对生产装配的控制，比较有效的方法就是在IPS，即内部工艺流程规范中定义卡圈的安装尺寸，成为生产作业指导书的一部分。附表定义了卡圈的安装方向、工装夹具的最大直径和卡圈张开的直径范围，同时还提供防尘罩的FEA分析报

告和布置报告。这样的方式可以改善卡圈装配时产生的误操作风险，保证符合设计要求。

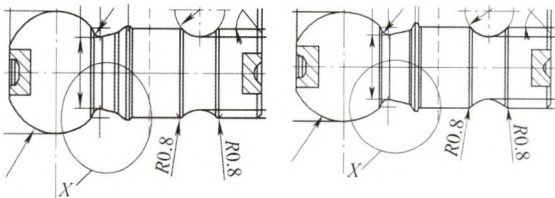
卡圈的IPS（单位：mm）

卡圈物料号	000 000 028 013
装配伞套的最大直径	41
卡圈最小张开直径	34.5
卡圈最大张开直径	40
防尘罩的布置	D-DBL01270
防尘罩的德有限元分析	D-FEM01019-A

注：卡圈的安装方向要求根据LMN 429，卡圈末端与主运动方向保持90°。

2.球销的优化设计

根据上文分析的失效模式，防尘罩迷宫区设计不合理和球销台阶接触面积过小，是两个主要可能导致密封试验失败的因素。考虑到成本和项目开发节点的因素，优化球销的结构是性价比最好的方案。优化的方案是基于希望球铰链在最大工作角度的状态下，球销的台阶与防尘罩有更大的接触面积。原设计球销台阶截面形状为φ 1mm的半圆（见图9a），新设计则是采用了截面矩形结构（见图9b），并将台阶的外径增加了φ 1.8mm，相比原设计接触面积增大，在球铰链极限工况下，提供较大的反作用力，减小了产生间隙和防尘罩被压入颈部的风险。



(a) 优化前

(b) 优化后

图9 球销结构

3.优化设计试验验证

依照优化设计方案，生产样件，再次进行密封性能试验。结果显示，在球销端和球壳端的含水量仅有0.1%~0.2%，试验顺利通过。原设计与优化设计球销及防尘罩的腐蚀情况如图10所示，原设计的防尘罩在迷宫区域基本已经被磨损，而优化后的设计依然完整。而球销部分原设计下半部分基本腐蚀，优化设计只有局部暴露在外部分腐蚀。

（下转第81页）

2. 扭曲问题

针对扭曲问题，我们采取增加成形模，拉延模改为成形模（折弯）的方法，有效减小了扭曲，同时也减少了拉毛现象。此缺陷的一个主要原因是由于拉延时翼面间隙不均所致，针对这个原因，我们提高了加工、装配与钳工研磨质量，防止立边产生波纹变形。

综上所述，为了解决纵梁前段回弹、扭曲的问题，主要采取变更原冲压工艺的方法，即增加一套成型模，改拉延序为折弯序。变更后冲压工艺流程为：成形→折弯→修边+冲孔→侧整形+侧修边→修边+侧修边+冲孔+侧冲孔+侧翻边。

调试结果

采取上述措施后，实际模具进行调试时，技工又对拐点区域模具研合强压0.2mm，以增加拐点区域的校形力，改变该件成形时应力状态，使其出现充分塑性变形。同时，对模具重新进行精研合。研合时有效控制翼面拐角区域间隙，改善走料状况，进一步改善了回弹、扭曲问题。通过以上一系列整改措施，最终解

决了该件的回弹及扭曲问题。

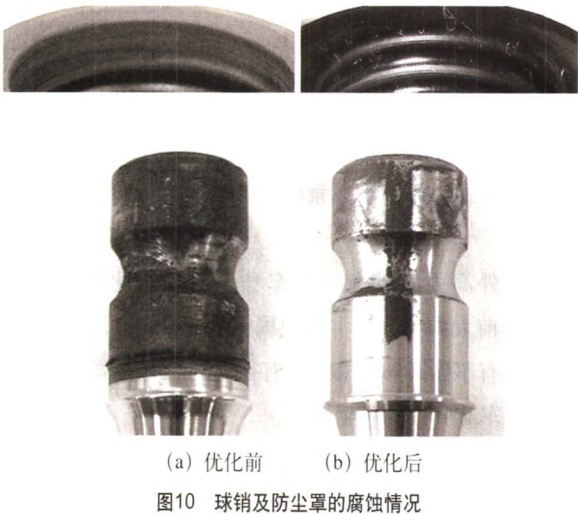
结语

纵梁前段冲压工序改进的重点在于，在充分利用现有模具的前提下，增开一副成形模，并改第二道拉延工序为折弯工序。在较短时间内解决了纵梁前段回弹、扭曲等瓶颈问题，缩短了研发周期，降低了冲压件废品率，最大程度地节约了研发费用。通过对纵梁前段成形性缺陷的解决，为后续类似产品的设计在数模阶段，在易产生弹性恢复的区域增加回弹补偿与防弹特征，提供了思路与参考。

纵梁前段冲压工艺的优化过程，主要通过增加校形力，改变冲压件成形时的应力状态，使冲压件塑性变形充分发生，减小成形时的弯曲成分，最终减少回弹量，提高了冲压件精度。并通过现场模具调试，最终得到合格冲压件，满足了装车的要求。该方法被证明是有效的，为后续类似件冲压工艺设计起到了重要借鉴作用。

关键词：车架纵梁 冲压工艺 回弹 扭曲
(收稿日期20131030)

(上接第78页)



结语

试验结果反映了优化方案再密封性能上取得了明

显的改善。从技术角度来说，目前的设计方案还远没有达到最好的性能。假设防尘罩可以全新开发，设计更为合理的结构，选择性能尺寸更好的卡圈，密封性能或许会取得更好的效果。但从项目节点上，目前的方案是惟一能满足客户时间要求的。

经过B20项目对球铰链的优化设计，对其密封性能有了更深刻的体会。看似最简单的项目，却往往隐藏着很多风险，对待这样的项目需要投入更多的时间和精力去彻底分析客户的要求。另外，在项目的初始做好产品的总布置草稿图也很有必要，这有助于我们在初期避免很多的问题。

关键词：球铰链 密封性能 疲劳磨损 结构优化
(收稿日期20131030)