

影响锥形喇叭口密封性的有限元分析

徐飞云¹, 张 涛²

(1. 上汽通用五菱汽车股份有限公司, 广西 柳州 545007; 2. 武汉理工大学 机电学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:为解决制动系统接头加注过程中出现的泄漏问题,将锥形接头的密封原理应用到泄漏原因分析中。首先,运用有限元分析软件 ANSYS,建立了两组不同结构尺寸与接头密封性之间的关系,根据分析得到的结果,把每一组的接触状态分布图和位移矢量变形图进行了对比,找出了影响喇叭口接触密封性能的主要原因;然后,进行了生产工艺上的改进;最后,进行了密封性试验。研究结果表明,锥角差是影响密封性能的主要原因,并且改进后的喇叭口密封性能得到了显著提高。

关键词:密封原理;锥形喇叭口;ANSYS;锥角差

中图分类号: TH122;TH137.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)07-0810-04

Finite element analysis of influence of cone horn mouth for sealing performance

XV Fei-yun¹, ZHANG Tao²

(1. SAIC-GM-Wuling Automobile Co., Ltd., Liuzhou 545007, China;

2. School of Mechanical and Electronic Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to solve the problems of leakage for connections of the braking system in the process of filling, the principle of sealing was investigated to analyze the cause of leakage. Firstly, using the software of ANSYS, the relation between difference size of two groups and the sealing was established. According to the analysis results, the charts of displacement vector sum of every group were compared to find the main reason of the influence of horn mouth of sealing. Then, the conclusion was utilized to the improvement of production technology. Finally, the sealing was tested on the automobile. The research result shows that, the difference of taper is the primary cause, and the performance of sealing is improved obviously after improvement.

Key words: principle of sealing; cone horn mouth; ANSYS; difference of taper

0 引 言

在发展高压设备的阶段,锥形体是形成可靠密封的主要元件。截止到目前,采用锥形设计密封的有很多变型,被广泛应用于各种各样的实验室、中间试验和液压系统中,且涉及到与一般工艺领域所遇到的完全不同的管接头问题。鉴于管道尺寸较小,安装空间有限,这些管路和设备的连接必须具有适当的通用性和灵活性,以便于拆装^[1-2]。

汽车制动管路中的密封,是锥形体密封在液压系统中的重要应用。它普遍采用的形式是锥形喇叭口与锥形凸台的面密封,喇叭口的结构尺寸很小,需要承受

很高的正负压。以现在很多汽车厂商采用的制动液负压加注机为例,加注前管路内需要抽真空至 100 Pa 左右(有的要求在 50 Pa 以下),此时接头处外部压力远大于内部压力,密封处受到向内的压强;在制动系统工作过程中,踩下制动踏板的力经过杠杆原理的放大,可以使管路内的制动液瞬间具有很高的压强(一般达到 5 MPa 以上),同加注时相反,此时密封处承受向外的压强。两种不同的受力形式,使得接头的密封必须可靠。

锥形体密封的特殊性,影响管路密封性能的因素很多,喇叭口密封面的粗糙度、外径以及内径的尺寸大小、角度误差、喇叭口内表面和锥形凸台外表面的划伤及砂眼等都会引起泄露,另外装配时的同轴度也必须

收稿日期: 2012-03-05

作者简介: 徐飞云(1966-),男,广西柳州人,高级工程师,主要从事整车制造方面的研究与优化工作. E-mail: feiyunxu@SGMW.com.cn

要保证。根据尺寸测量数据的对比分析,本研究只考虑锥形喇叭口内锥角和凸台外锥角的差值及喇叭口厚度的影响,并利用 ANSYS 软件,对比 A 和 B 两种锥形喇叭口的密封性,找出影响密封的关键尺寸。

1 密封的原理以及形成

1.1 密封的原理

细径管路接头的密封是静密封,属于金属与金属之间的直接接触密封^[3]。根据文献[4]所做的试验,该密封原理是:利用有效密封锥面的金属接触发生塑性变形,在接触面达到一定的密封面宽和密封比压后,塑性变形停止。这样,既可以对密封介质有效密封,又可以形成稳健可靠的密封结构。

1.2 密封面的形成

制动硬管的两端采用的是锥形喇叭口,与喇叭口形成密封连接的是锥形的凸台。其中,锥形凸台的外锥角是 84° ,双层翻边喇叭口的内锥角是 $90^\circ (\pm 1^\circ)$,因为有锥角差的存在,这两个面之间会存在一定的间隙 δ 。它们之间的配合情况如图 1 所示,施加预紧力之前,本研究先将联接螺母拧紧,凸台的外圆与喇叭口的内锥面 D 面相接触,形成线密封,起到定位的作用,然后施加一定的扭力,这样喇叭口的端面就会产生一定量的变形,使喇叭口的棱线挤压在凸台的外锥面 C 面上,形成一圈明显的压痕,从开始接触定位的点,到发生塑性变形的接触点,最终形成了锥形密封的密封面^[5-6]。

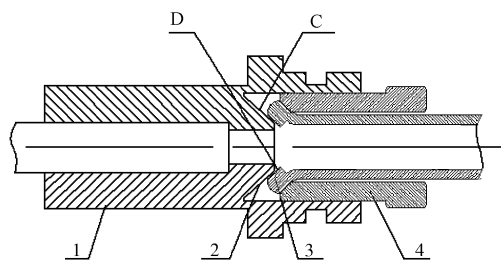


图1 锥形管路接头装配图

1—接头螺母;2—锥形凸台;3—双锥形喇叭口;4—联接螺母

2 锥形喇叭口尺寸差异分析

2.1 测量数据

A 和 B 两种制动硬管锥形喇叭口,都是按照同一标准生产的,尺寸图如图 2 所示,但是在实际安装的过程中密封性却有较大的差别,B 的密封性好于 A。其

中,与喇叭口接触的锥形凸台是相同的,材料是 20 号钢。锥形喇叭口使用的材料也是相同的,为碳量 0.08% 的低碳钢。现取 A 和 B 各 10 组,测量喇叭口的主要尺寸(外径 D_1 ,内径 D_2 ,内锥角 H ,厚度 L 等),部分测量数据如表 1 所示。

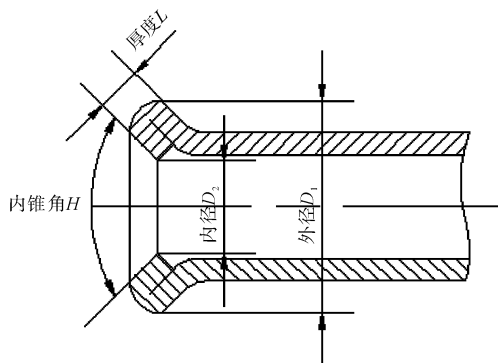


图2 锥形喇叭口尺寸图

表1 管接头尺寸测量数据

分组	外径 /mm	内径 /mm	厚度 /mm	内锥角 /(°)
A 第1组	6.86	2.92	1.45	89.87
B 第1组厚端	6.84	2.9	1.66	87.9
B 第1组薄端	6.86	2.93	1.49	87.9

2.2 分析影响因素

从表 1 中可以得出,外径和内径在标准范围内,喇叭口的厚度和内锥角的值有较大的差别,因此,把厚度和内锥角作为主要因素进行分析:

(1) 喇叭口的厚度。

由密封的原理可知,产生塑性变形的接触面是锥形喇叭口,因此假设厚度越大,产生的塑性变形量可能越小,接触压力达不到密封的要求,密封性能差。

(2) 内锥角的大小。

凸台的锥角尺寸是 84° 。测量数据表明,A 的内锥角在 $90.5^\circ \pm 0.5^\circ$ 之间,B 的内锥角在 $87.5^\circ \pm 0.5^\circ$ 之间。锥角差 B 要小于 A。根据建立的所有组的模型,B 的锥角差小,其装配之前的间隙都小于 A 的间隙,按照密封面的形成过程,锥角差越小,贴合的越紧密,在同样的塑性变形条件下,形成的密封可靠性越好。

3 模型的建立以及计算

3.1 模型的建立

A 和 B 在装配过程中的扭力是相同的, $T = 18 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。硬管接头上配合的螺母尺寸也是相同的,螺

纹的大径 $d = 10 \text{ mm}$, 预紧力 F_0 和拧紧力矩 T 之间的转化为: $T = 0.2 F_0 d$, 且 $F_0 = 9\,000 \text{ N}$ 。喇叭口的材料为含碳量 0.08% 的低碳钢, 力学性能分别为 $\sigma_b = 390 \text{ MPa}$, $\sigma_s = 195 \text{ MPa}$, $E = 2.1 \text{ GPa}$, $\delta = 33\%$ 。由图 1 可知, 锥形密封结构为轴对称结构, 因此建立的二维轴对称模型如图 3 所示^[7-8]。

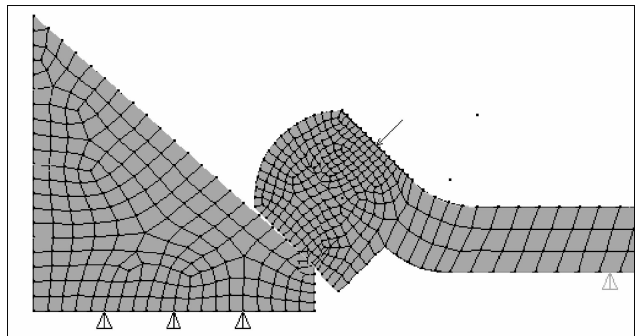


图 3 有限元模型

其中, 喇叭口和锥形凸台都采用四边形节点单元。在喇叭口的外锥面上施加均布载荷, 在管路的内壁、外壁以及锥形凸台的内壁施加约束条件。由于凸台的硬度比喇叭口的硬度大, 定义凸台为目标面, 喇叭口为接触面, 接触形式定义为刚性体-柔性体。本研究采用大变形有限元接触算法, 摩擦系数取 0.1。

3.2 计算结果及其分析

针对两组不同的锥形喇叭口, 本研究分别计算不同厚度和不同锥角差对位移变形量的影响。在相同的预紧力作用下, 间隙 δ 一定, 位移变形量越大, 形成的密封越可靠。

3.2.1 厚度影响分析

通过计算 B 的 10 组模型, 可得到每组的 Displacement vector sum 位移云图, 通过对比每一组厚端和薄端的最大位移变形量, 在等间隙 δ 的条件下, 本研究发现锥形喇叭口的端面越厚, 变形量越小, 接触面处的最大 von Mises 等效应力越小, 密封性能随之下降。与假设相符合。这里只能对比 B 两端的密封性, 对于 A 和 B 的密封性还需要对比锥角差。第一组的两个位移云图的对比如图 4、图 5 所示^[9-10]。

3.2.2 锥角差的影响分析

A 和 B 是两组不同的内锥角, 与喇叭口配合的凸台的锥角是一定的, 所以, 锥角差越大, 施加预紧力之前两个接触面的间隙 δ 越大, 在施加扭力相同的条件下, 接触压力越小, 密封越不可靠^[11-12]。对比 A 和 B 的每组 Displacement vector sum 位移云图发现: A 的最大位移量大于 B 的, 但是因为 A 种硬管施加预紧力之前的间距要大于 B 种的, 从数量级的比较上来分析, B

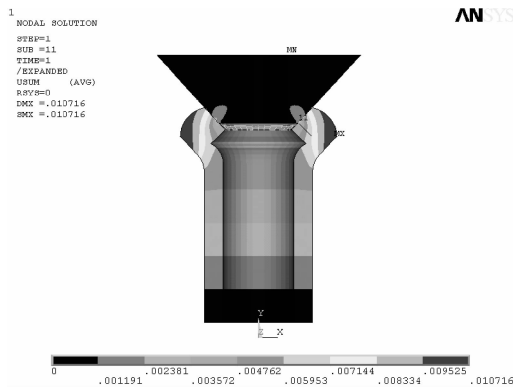


图 4 B 第 1 组厚端

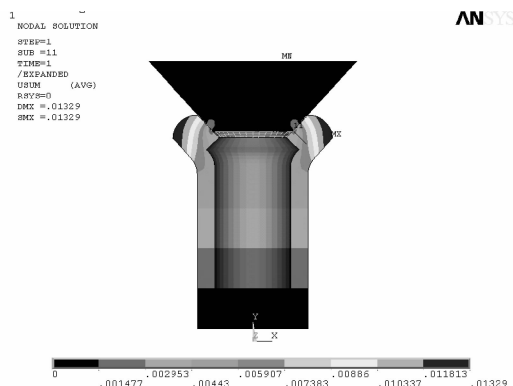


图 5 B 第 1 组薄端

的最大位移量与间距的差值小, 变形量对密封性能的影响也就越大。

4 结束语

以上分析表明: 锥角差是影响锥形喇叭口密封性能的主要因素。试验验证结果表明, 接头喇叭口在扭力的作用下 ($16 \text{ N/m} \sim 18 \text{ N/m}$), 扩口最大的变形量不超过 0.1 mm 。相同扭力的作用下, 锥角差越小, 喇叭口内锥面和锥形凸台外锥面的间隙越小, 密封情况越可靠。

为了验证上述结论, 本研究将 A 种喇叭口的内锥角按照 B 的生产 100 件, 并装车进行气密性试验: 在管路内充入 6 atm 的氮气, 将接头处覆盖肥皂水, 10 s 后没有出现气泡, 证明接头密封良好, 没有泄漏。最后跟踪 100 件接头在加注过程中的情况, 成功率为 100%, 试验结果表明, 内锥角改小后, 密封性能有了明显的改善, 进而减少了接头的泄漏。最后, 进行了为期一个月的检测, 接头泄漏率降低到 0.5%, 达到了预期的效果。

参考文献 (References):

- [1] 孙见君. 机械密封泄漏预测理论及其应用[M]. 北京: 中

国电力出版社,2011.

- [2] 顾伯勤,李新华,田 争. 静密封技术[M]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [3] 布赫特. 工业密封技术[M]. 北京:化学工业出版社,1988.
- [4] 王小刚. 管路锥形密封结构的稳健设计[D]. 绵阳:中国工程物理研究院,2009.
- [5] 冉光斌,张方晓. 双锥形管接头角度参数对管路密封的影响分析[J]. 环境技术,2005,23(2):4-6.
- [6] 潘仁度. 从分子密封学角度分析密封条件与泄露原因[J]. 润滑与密封,2006,31(1):172-173.
- [7] 杜平安,于亚婷,刘建涛. 有限元法:原理、建模及应用[M]. 2版. 北京:国防工业出版社,2011.
- [8] 张朝晖. ANSYS 12.0 结构分析工程应用实例解析[M]. 3版. 北京:机械工业出版社,2010.
- [9] 屠胜立,张 宪. 膜式水冷壁焊接变形热弹塑性有限元分析[J]. 轻工机械,2011,29(5):11-13.
- [10] 朱红建. 基于 ANSYS 的粉料罐有限元分析及结构优化[J]. 现代制造技术与装备,2011(2):57-59.
- [11] TOM L, RALPH I G, LOIS M Y. Improved performance seals for pipeline applications [J]. **Lubrication Engineering**,2003,59(4):18-29.
- [12] YAN Hong-wei ,KOU Zi-ming, WU Juan, et al. Based on risk source pipe leakage emergency device and sealing method research [J]. **Advanced Materials Research**, 2011(287-290):2834-2839.

[编辑:张 翔]

(上接第 805 页)

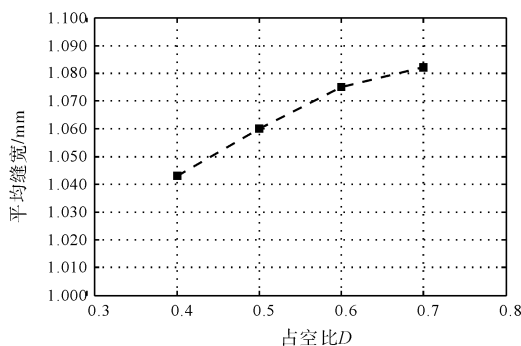


图5 不同占空比对切割缝宽的影响

大,而此时线电极进给速度保持不变,所以切割缝宽会增大。由以上分析可知,在保证加工稳定的条件下,要提高加工精度,可尽量减小加工脉冲电源的占空比。

3.4 与直流电源加工的对比分析

通过以上分析,本研究对脉冲电源的参数进行优化,同时进行直流电源的切割实验并加以对比。笔者将脉冲电压设置成 23 V,脉冲宽度设定为 8 ms,占空比设定为 0.5。其他主要参数及电解液与直流电源相同。脉冲电源加工出的工件切割缝宽在整个轨迹上的平均值为 1.536 mm,上下波动范围仅 0.12 mm。而直流电源的平均缝宽为 2.145 mm。因此本次脉冲电源工件切割加工在缝宽值上比直流电源加工减小了 0.609 mm,显著提高了加工精度,并且加工过程较稳定。

4 结束语

本研究用脉冲电源替换了解剖切割电源系统的直流电源,分析了脉冲电源切割的理论缝宽模型,并进行了切割实验,实验结果表明采用脉冲电流进行电化学

线切割可以有效地缩小切割缝宽,在脉冲电流条件下,电源的电压、脉冲宽度和占空比对切割缝宽有显著的影响。其实验规律验证了本研究对加工机理的分析。

在上述工作基础上,对于如何提高切割加工的稳定性以及采用更高频率的脉冲电源来进一步缩小切割缝宽,从而提高精度,还有待作进一步的研究。

参考文献(References):

- [1] 徐家文. 电化学加工技术—原理·工艺及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
- [2] 相 奎,李湘生,程 松,等. 金属电化学线切割工艺参数优化分析[J]. 机械工程师,2010(8):6-10.
- [3] 陈里龙,李湘生,李高飞,等. 金属电化学线切割加工装置的设计及其实现[J]. 机械工程师,2009(11):8-10.
- [4] 陈里龙. 金属电化学快速线切割技术研究[D]. 杭州:浙江理工大学机械与自动控制学院,2010.
- [5] 王建业. 脉冲电解加工技术在精微加工领域中的新发展[J]. 中国机械工程,2007,18(1):114-119.
- [6] 王凤平. 腐蚀电化学原理、方法及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2008.
- [7] 杨 辉,卢文庆. 应用电化学[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [8] 范植坚. 电解加工技术及其研究方法[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [9] 范植坚. 电解加工测试方法的研究进展[J]. 电加工与模具,2005(5):1-4,11.
- [10] 郑冀鲁. Matlab 与化学—作图、计算与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社,2009.

[编辑:张 翔]