

分动器O形圈密封不良分析与改进

□ 长城汽车股份有限公司技术中心 河北省汽车工程技术研究中心/龚正伟

对分动器O形圈密封的结构形式、密封机理进行介绍，从理论和实际应用两个方面对分动器O形圈密封不良问题的原因进行分析，并提出了改进措施，最终解决了密封不良问题，提高了传动系统密封的可靠性、安全性及系统零件的使用寿命。

在汽车产业高速发展的今天，都市中小型SUV以其靓丽的外观、居高临下的驾乘感以及适中的价格，抢占着乘用车市场。这种基于轿车平台开发的发动机横置、以前驱为主的适时四驱SUV以低油耗、高性价比、良好的驾乘舒适性及通过性，日渐成为SUV市场的主流。部分高性能轿车也采用了四驱技术，不仅是为提高汽车的牵引性和通过性，更注重汽车的行驶性、转向性、制动性。分动器作为四驱SUV的核心部件之一，发挥着重要作用，其工作的稳定性和可靠性影响整车各项性能的实现。

对于传动系统的密封问题一直都是研究并解决的重点。汽车传动系统如变速器、分动器的密封大多采用油封密封，其中也有部分结构采用橡胶O形密封圈（以下简称O形圈）进行密封。O形圈由于制造费用低，使用方便，因而被广泛应

用在机械、汽车等气、液密封装置中。密封是保证传动系统正常工作的重要装置，如果密封不良，发生泄漏，会导致润滑油量减少，造成齿轮磨损，影响齿轮的正常运转；还会使各零件使用寿命降低，产生噪声，严重的可导致齿轮、轴承等运转部件的烧死而发生事故；同时也会引发客户抱怨、造成环境污染等。因此，解决分动器密封问题具有现实意义，对于提高整车性能、环境保护和节约能源有着重要作用。

分动器的密封结构

1. 分动器的装配关系与密封结构

某分动器结构及装配关系如图1所示。发动机转矩经变速器传至分动器输入轴，再经齿轮传递至输出轴，分动器输出轴采用双列角接触球轴承支撑，轴承外圈与分动器

壳体采用间隙配合，通过螺栓将轴承外圈法兰与壳体固定，O形圈布置在壳体倒角与轴承外圈形成的三角槽中，属于静密封。

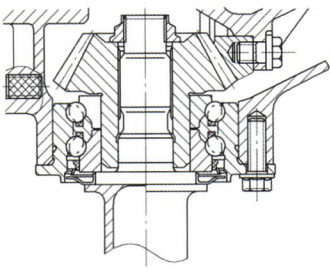


图1 某分动器装配结构图

2. O形圈的密封机理

对于所有的密封结构，为了保证可靠的密封，都需要从密封机理方面进行研究。O形圈是一种挤压型密封，挤压型密封的基本工作原理是依靠密封件发生弹性形变，在密封接触面形成接触压力，接触压力大于被密封介质的内压，则不发生泄漏；反之则发生泄漏。由此可见，对于静密封而言，只要O形圈

存在初始压力,就能实现无泄漏的绝对密封。O形圈的密封与所密封介质的压力相关,这种靠介质本身压力来改变O形圈接触状态,使之实现密封的性质,称为自封作用。

3.O形圈选用及密封三角槽设计

目前,大部分国家对O形圈设计都制定了系列的产品标准,如中国GB 3452.1标准、美国AS 568标准、日本JIS B 2401标准、国际ISO 3601/1标准,这都大大提高了设计与应用的效率。按GB/T 3452.1-2005标准设计并选用O形圈,其截面直径为 $d_2=2.65\text{mm}$,内径为 $d_1=103\text{mm}$,系列代号为G,材料选用耐油、耐高温、耐候性均佳的ACM。

O形圈密封沟槽的设计形式,一般分为矩形槽和三角槽,其中矩形槽最为常见,动、静密封均可,三角槽尺寸紧凑,多用于静密封。

O形圈密封不良原因分析与改进

1.密封不良现象

O形圈装配后,首先对分动器总成进行密封性试验,测试压力约为 50kPa ,试验无泄漏。分动器总成装车后,进行道路测试,无泄漏,车辆行驶里程 $2\ 000\text{km}$ 左右时,壳体下端出现油渍,出现缓慢渗油现象。

2.O形圈失效形式

一般O形圈的失效形式主要有以下几个类型:

(1) 密封材料选择不当, O形圈材料与密封介质不匹配, 材料与

工作环境(如温度等)不兼容, 长期使用老化失效。

(2) O形圈尺寸选择不正确, 密封结构设计不合理。

(3) 沟槽尺寸设计不正确, 即压缩率、填充率、拉伸量超出使用范围。

(4) 沟槽配合面加工尺寸精度、表面粗糙度不符合要求。

(5) 装配过程造成扭曲、刮伤、挤裂、过度拉伸等。

此外还要考虑润滑对O形圈密封的影响。由于处于密封状态的O形圈所受应力非常复杂, 实际上难于对它进行评估, 因此, 对O形圈的材料和尺寸及其在应用环境中进行试验验证是非常重要的。

通过对故障O形圈在放大50倍下进行观察, 发现O形圈沿径向有凹痕, 宽度为 $0.02\sim0.05\text{mm}$, 同时O形圈表面形成了许多周向压痕, 凹凸不平, 有较明显的挤压和永久变形, 如图2所示。

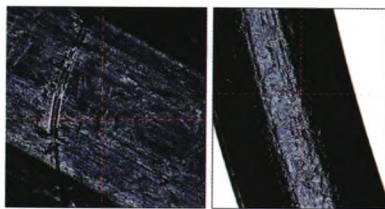


图2 故障O形圈

同时对装配后且无泄漏的O形圈和未装配过O形圈在相同倍数下观察, 其纹路平整, 未见异常。

通过初步分析, 建立了以下几个问题点: 并非所有O形圈均发生渗漏, 故障率低于5%; 故障O形圈上的压痕如何产生的? 密封性试验无泄漏, 为什么在工作一段时间后发生渗漏?

3.系统分析

按O形圈失效的几个类型逐一进行排查, 对故障件及故障现象进行系统分析。

分动器在工作过程中输出轴因受轴向力使双列角接触球轴承与壳体有彼此分离的趋势, 如果联接螺栓预紧力不足或螺栓联接失效, 会使O形圈在轴承与壳体间无压缩变形量, 产生间隙, 从而丧失密封能力, 造成泄漏。经对失效分动器联接螺栓拧紧力矩及壳体与轴承端面间隙分别进行确认, 此原因被排除。

由于在O形圈开发验证阶段, 已经做了橡胶材料与分动器润滑油、工作环境的兼容匹配性试验, 因此排除了选材问题。

(1) 零件尺寸及装配过程因素分析。对O形圈的装配过程进行确认, 装配过程符合技术要求。对沟槽配合面进行尺寸精度和表面粗糙度确认, 经检测尺寸精度符合要求, 但发现部分壳体倒角表面粗糙度较差, O形圈装配后, 使用一段时间出现凹凸不平的压痕, 壳体倒角配合面表面粗糙度不良是造成O形圈渗漏的原因之一。

(2) O形圈及沟槽尺寸设计因素分析。在排除了装配过程的影响后, 由故障现象分析可知, O形圈发生泄漏的主要原因可能是沟槽尺寸设计公差不合理, 在极限尺寸情况下, 发生压缩率(指O形圈截面在沟槽内被压缩的距离与自然状态下O形圈截面直径之比)过大产生永久变形或填充率过大, 造成O形圈被挤伤而密封失效。O形圈所用的各种配方的橡胶, 在压缩状态

下都会产生压缩应力松弛现象，使用时间越长或者压缩率越大，则由橡胶应力松弛而产生的应力下降就越大，以致O形圈弹性不足，失去密封能力。O形圈的填充率太大，在使用过程中，易导致O形圈被挤入缝隙中，产生挤伤，造成密封不良。因此，设计上应考虑在允许的使用条件下，设法降低压缩率和填充率。

另外，O形圈在安装后产生安装压缩量，也称预压缩量。预压缩量不可设计太大，工作时，密封系统存在工作介质压力，工作温度下橡胶比金属膨胀系数大，产生膨胀压力，因此工作压缩量会大于安装压缩量。

4.改进措施及建议

(1) 优化壳体配合面倒角尺寸及公差。保证各零件在尺寸公差

范围内，O形圈的压缩率和填充率均满足设计要求。

(2) 改进加工工艺。壳体内孔和倒角采用复合刀具，一次加工，保证尺寸加工精度，提高零件表面质量，使配合面表面粗糙度达到 $R_a=1.6\text{mm}$ 要求。

此外，在O形圈式密封结构设计中，还要重点考虑工作环境温度的影响，即温度对永久变形的影响。高温会加速橡胶材料的老化，使之失去弹性变形能力。因橡胶材料热膨胀系数比金属大，工作温度越高，O形圈压缩变形量越大。当永久变形大于40%时，O形圈就失去了密封能力。低温下，O形圈的预压缩量可能因为温度的降低而减小或消失，使密封性能下降出现低温泄漏现象。所以沟槽设计时还需要考虑密封圈高温下的膨胀扩展空间，同时设计合理的安装预压缩量

保证低温下的密封性。

结语

导致O形圈密封不良的原因很多，需要具体问题具体分析，除了O形圈本身制造质量问题外，大部分与其配合件的结构设计、尺寸公差、加工精度、使用环境、安装方法、橡胶配方、密封介质等相关，需要全面分析并解决。

对于汽车传动系统而言，分动器是重要组成部件，其密封失效将带来很多问题，甚至引发事故，需要设计人员正确设计并选用合理的密封结构。为了使O形圈获得最优的使用寿命和可靠性，设计人员必须知道影响O形圈密封的各种因素及失效模式，并在设计、装配、使用 and 售后维修中提前制定措施加以避免。AME

诺德专注于传动领域50年

诺德传动集团2015年庆祝了其成立50周年。300多名行业代表于6月12日参加了诺德在德国总部举办的隆重的庆祝活动。还有一部分人在四月参观了诺德在汉诺威工业博览会上的展台，包括德国总理安吉拉默克尔以及作为该展会合作伙伴国的印度的总理莫迪。

诺德是在1965年由三人合伙成立的一家齿轮供应商。早期，该公司建立了齿轮和轴的生产工厂，并因优异的品质奠定了公司美誉。从20世纪80年代起，诺德就开始内部开发和生产电子驱动产品和电动机，成为屈指可数的拥有全球销售和服务网络的全面的驱动系统制造商。除了被公认为优质齿轮设备的领先供应商，诺德还成为电力电子集成领域的领导者，提供全面的电动机启动器和变频器，以经济高效的方式满足客户的需求。今天，诺德的员工已超过3200人，在全球拥有36家子公司。其驱动工程师可为客户提供20种语言支持。2014年，这家家族式企业的营业额已超过5亿欧元。为了继续加强可持续性发展，诺德在其德国总部成立了新的行政大楼并扩建了工厂，包括新的喷漆大车间和物流中心。