

# 液压系统中的密封失效原因及 国产液压密封水平分析

王惠娟

(中国电子科技集团公司第38研究所,安徽合肥230001)

**摘要:**密封失效是引起液压系统故障的重要原因。从现代液压控制技术对密封的要求着手,分析了密封失效的原因,总结了密封失效的评定方法;有针对性地对密封结构设计中的常见失效问题进行了分析,并对国产液压系统密封的应用水平及其案例进行了相关分析。

**关键词:**液压系统;密封;故障;分析

**中图分类号:** TH136      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1005-6254(2005)06-0042-04

## 0 引言

液压系统因密封不好造成泄漏,是系统的一种常见故障,也是影响系统能否正常工作的重要因素。密封设计具有如此的重要性已经引起了许多发达国家的高度重视,他们不惜在液压系统的密封设计中投入大量的人、财力,以提高液压系统的使用寿命,来降低成本、提高效率。

## 1 现代液压控制技术对密封的要求

液压技术的发展是与密封技术的进步密不可分的。密封理论、密封设计也随着相关技术的要求而发展。现代液压控制技术对密封的要求有下列特点。

1. 液压系统的高压化一直是液压技术的一个发展方向。可以说,提高系统压力的关键在于解决高压元件与系统的密封问题。

2. 液压控制系统,例如何服控制、比例控制系统,要求对输出力、输出位移、速度等的控制有高精度、大范围的控制与调节性能。这不仅要求密封设计有优良的密封性,而且要求降低摩擦力,以减小机械摩擦造成的死区非线性,提高系统的反应速度;另外,密封摩擦力特别是动、静摩擦系数,动、静摩擦因数之差是低速运动液压缸产生爬行现象的主要原因。

3. 世界性的环保与资源问题对控制液压传

动工作介质的泄漏提出了更高要求。液压传动工作介质的泄漏不仅污染了环境,而且是一笔很大的资源损失。根据国外资料介绍,在开展防漏治漏以前,英国每年液压系统泄漏损失高达1.8亿美元,其中某一钢厂年泄漏油量就达2000万L;据美国工厂工程杂志不完全统计,美国工业部的液压系统泄漏为38000万L·Y以上,直接损失达6000万美元·Y;美国福特汽车公司设备液压系统泄漏损失500万美元·Y;日本奈川大学测算,日本液压油泄漏损失近9000万美元·Y<sup>[1]</sup>。

## 2 失效原因

现代的密封件、防尘圈和支承环,已发展成为高性能的标准件,只要正确地选择和安装,就能长期无故障地工作<sup>[2]</sup>。密封失效的原因很多,密封结构的设计、密封件的选择、安装和启动、系统中的污染、系统的温升等都能使密封系统产生故障。从Helment Weiss的著作和大量的实践中,我们总结了液压系统中的故障主要由以下原因造成,见表1。

## 3 密封常见失效问题分析

### 3.1 结构设计失效问题分析

密封失效的主要原因之一是设计不合理。选用的密封结构型式与工作压力、温度、介质、使用环境不相适应,选用的密封件材料与密封介质不

相容等,造成密封件的溶胀、变硬或变软而失效。

表 1 液压系统中的密封故障原因一览

起因	故障原因	后果
设计	O型圈压缩率过大	过早磨损
	间隙太大	密封件被挤入间隙
	压力释放快、且带有空气	剧烈的释压
	安装尺寸、公差不正确	密封件预压不合适、易泄漏
	流速太快	磨损、气蚀
	接触压力过高	粘着磨损
	表面太粗糙	密封件磨损
	存在背压	密封件过载
	密封槽太紧	摩擦力大,易发热、损坏,爬行
	密封槽太松	射流磨损
	系统散热不好	系统温升大,导致密封材料老化、变硬变脆
	管接头与压力、使用条件不符	因振动或高压产生泄漏
	密封件的选择	材料与介质不相溶
与使用环境温度不符		密封件容易老化
密封件太软		挤入间隙、塑性变形
材料或密封型式不合适		爬行、噪声大
安装和试车	安装不当或行程太长	O形圈扭转或由于螺旋形断裂而泄漏
	无引入倒角	密封件被微切
	系统无法泄漏	狄塞尔效应、密封件烧焦
	密封边扭曲	起动时泄漏
	安装工具不合适	损坏密封件
系统中的污染	由污染颗粒或表面裂纹引起的活塞杆缸筒内表面拉伤	密封件磨损引起泄漏,尘埃通过刮环密封进入导引件而引起功能性损害
	油中有水	水解(如聚氨酯)
	系统中有固体颗粒	研磨磨损

被密封的配合表面的粗糙度,对密封的可靠性和使用寿命也有较大影响。表面粗糙度过大或硬度不够都会使密封件因与接触表面产生研磨和粘着磨损而过早失效。任何划痕刮伤、气孔和加工痕迹都会损伤密封件。尤其往复运动密封的配合表面对粗糙度要求更高。往复运动的圈密封,油由于其粘度、压力及在运动速度的作用下,沿金属滑移面和密封件之间形成一层粘附力极强的油膜。当轴向外伸出时,轴上的油膜便与轴一起被拉出;当轴缩回时油膜便被密封件阻留在外边。随着往复次数增多,阻留在外边的液体就越多,最后形成油滴从轴上落下。液压缸缸轴头经常有油污就是这个原因。若密封表面光滑、粗糙度小,外边的液体在一定时间内不会形成油滴

落下,不会对系统的正常工作造成影响;若密封表面较粗糙,阻留在外边的液体会在极短的时间内形成油滴从轴上落下,从而形成泄漏。

零件设计时密封件安装经过的轴端、轴肩、孔边等处必须设有导向角,且过渡处圆角,不能有尖角,以免装配时划伤密封件造成泄漏。导向角一般为 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 。密封槽棱边设计应小圆角过渡,若为尖角,则尖角处象一刀口,在往复运动过程中密封件会被切口损坏。图1所示为O型圈被尖角切口情况。

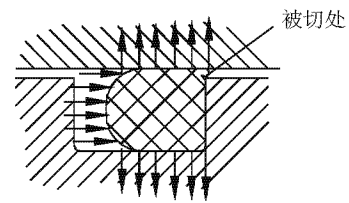


图1 O型圈被尖角切口情况

密封圈的沟槽设计,除O型圈以外的大部分密封圈,都由生产厂家提供,一般只要严格按照设计即可。而对于O型圈而言,沟槽的设计对密封失效至关重要。沟槽过大或过深都会造成压缩量不够而引起泄漏;沟槽过小或过浅,压缩量过大将使压缩应力增大、摩擦力增大从而加快密封圈的磨损,也使O型圈易产生扭曲破损。一般在设计中,我们遵循这样的原则,高压则压缩量大,低压则压缩量小;静密封压缩量大,动密封压缩量小。

### 3.2 背压结构设计失效问题分析

当两个密封圈前后串联安装时,被活塞杆从油腔中拉出的微油膜会在两道密封之间的封闭区内汇集形成油环,当液压缸的行程较长时,油环的压力会迅速升高形成背压 $p_1$ ,可能会超过系统的压力 $p$ ,以致引起密封件折叠或从其座上被推出。背压问题的形成见图2,背压形成原理及改进结构见图3。

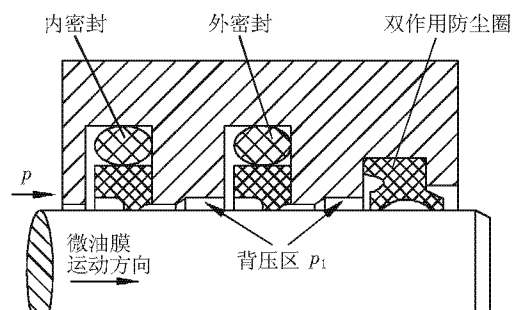


图2 背压问题形成图

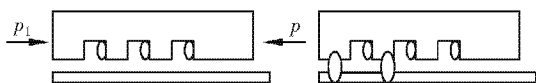


图3 背压形成原理及改进结构图

背压问题可通过合理的密封设计得以解决。当活塞杆缩回时,困在两道密封之间的油液被活塞杆带回到系统中去形成回吸效应,就能有效地防止背压产生。例如,德国宝色霞板公司于1973年研制的被称作特康斯特封的PTFE刃状密封,就具有很好的回吸效果和抗挤出性能。该公司近年来又研制成功新型的杆密封件——佐康雷姆封,在串联密封中增加了辅助导向件,辅助件为充填青铜的PTFE复合物,起润滑和导向作用<sup>[3]</sup>,见图4。佐康雷姆封是成组使用的密封圈,据称这种密封结构借助两种密封圈的优势互补,具有优良的回收特性和极低的摩擦力,被广泛用于压力小于25 MPa的往复运动的孔与轴间的动密封。

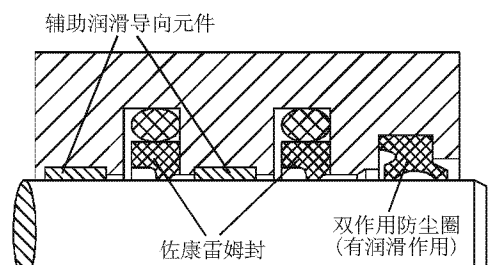


图4 佐康雷姆封结构原理示意图

### 3.3 安装和起动结构设计失效问题分析

在安装密封圈时,一般需要使用专业工具,尤其在安装较大密封圈时一定要使用专用工具。在安装过程中要特别小心,以防切伤或划伤密封圈或划伤密封表面而造成泄漏。在启动时密封处泄漏并在跑合之后泄漏现象仍未消失,就要考虑是以上原因了。此外,在起动试压时压力要适中,升压不可太快,以免还未跑合的密封圈变形损坏。

O型圈在安装时必须按要求安装,挡圈要安装在低压一侧,所通过的轴端、轴肩必须按设计要求倒圆,不能有尖角。圆角半径至少应等于O型圈截面的直径,金属表面不能有毛刺、生锈或腐蚀等情况,密封槽棱边应按要求修圆,以免划伤密封圈造成泄漏。在装配前各装配件必须严格清洗,不能携带有颗粒或杂质,所通过的偶合面要有较低的粗糙度,并涂以润滑剂,以减少对密封面的磨损。

### 3.4 气体污染引起的密封失效问题分析

大气是引起液压系统故障的重要因素。在1个标准大气压下,油液中可溶解约9%的空气,在高压下,空气和其他气体在油液中的溶解度更大,而当压力降低时,它们就逸出<sup>[2]</sup>。因此,液压系统在运转之前应放掉空气,以免造成严重的故障。常用的方法是在初次启动或长时间停机后启动前,反复点动液压系统开关几次以释放泵或阀内的空气。

#### 3.4.1 气蚀

当溶于液体内的气体释放出来形成气泡存在液体内部,这种现象叫气穴现象。气穴不仅会造成流量的脉动,严重时会在高压下爆裂,这就是气蚀。气蚀将产生噪声和冲击振动,从而不仅会划伤密封件,而且损伤接触的固体表面。一旦密封表面被凹点和气孔凹坑所损坏时,液压油就以很高的速度和极大的加速度流经纵向伤痕而加剧磨损,金属表面崩掉的颗粒随着液体的流动再次划伤密封件和密封表面,从而加速密封失效的进程。所以压缩体内一定要防止气体的污染,防止出现气穴现象。液压系统中要设排气装置,针对气穴一般发生在通道狭窄、液体流速激增部位的特点,设计中尽量避免急变管径。控制急变部位的压力比值。

#### 3.4.2 狄塞尔效应

如果系统的压力在极短的时间间隔内急剧升高时,气泡就被加热到能使气泡中的气体混合物产生自燃的程度,这就是狄塞尔效应。例如,一个直径 $D=25\text{ mm}$ 的空气泡,在几ms内从大气压缩到50 MPa,气泡中心的温度将升至2 500℃。如果这种效应发生在密封或支承环的附近,密封和支承环将被烧焦。除了元件产生直接失效外,环或密封烧焦产生的坚硬碎颗粒也将引起系统故障<sup>[2]</sup>。为减少狄塞尔效应的危害,在设计时注意密封材料的选用,这种材料不仅要耐高温,重要的是高温燃烧后不会留下残渣。

## 4 失效的评定

密封失效将会引起整个系统的故障,从而影响整个系统的正常工作。由于有些密封失效并不存在于表面,直观上不易发现,故判断故障时有一定的难度。要想了解整个系统的工作情况,通过采用光谱分析仪、铁谱分析仪及磁塞等设备测量油液中的磨屑颗粒,就可估计出设备的磨损程

度<sup>[6]</sup>。但目前,实际工业生产中油质化验只强调油液的污染等级、水分、粘度等,对颗粒杂质没有进行认真的化学分析,因此很难了解颗粒的真正来源。通常的办法是进行元件解体检查、油质分析和对外界颗粒加以分离和识别,从而得出详细数据,了解故障发生的真正原因,在设计、制造和使用中避免引起失效的因素,做到早期预防;在故障发生后能快速准确地找出原因并进行妥善处理。

## 5 国产液压系统密封的应用水平及其案例分析

密封系统的设计和应用水平依赖于密封制品的研制能力,主要表现在下列3个方面(以宝钢为例)。

### 5.1 静密封

90年代中期之前,国内的静密封主要使用石棉及植物纤维密封制品。随着高分子材料技术的发展,目前国内此类产品主要使用O型圈、胶垫片和石棉垫片。O型圈在静密封中以其价格低廉、密封可靠及适压范围广而得到广泛应用。另外,液态密封胶在静密封中也得到广泛应用,主要以乐泰公司生产的产品和广研系列的产品为主。

### 5.2 往复密封

90年代中期设计生产的国产工程机械、锻压机床和冶金设备的液压缸密封系统基本采用同轴密封、Y形圈、U形圈和组合V形圈的复合设计,但是在密封材料选型和密封结构设计方面都比较落后。目前国产工程机械和锻压机床、冶金设备的液压缸密封一部分采用进口件,一部分采用国产知名品牌。国内知名厂家在密封形式和结构方面都做了重大改进,一些产品已接近或达到进口件的水平。在宝钢,某厂一重要冶金油缸的结构和配套密封经由广州机械科学研究院密封研究所承接并对其结构与配套密封作出重大改进,即将活塞侧的标准孔用方形圈改进为重载孔用方形圈,以确保高压时的密封性良好,将活塞杆侧的标准轴用阶梯圈改为重载阶梯圈,并将普通型的防尘圈改为双作用的防尘圈,这样在低压时解决了无泄漏、无爬行现象,经改进投线使用后,其效果比原先的进口件大大提升,动作的准确性和油的泄漏远优于改进前,使用寿命也大幅度提高。

又如宝钢某厂的高压油缸,以前由耐压Y形

圈+挡圈构成主密封,一直难以保证密封的可靠性,后经广州机械科学研究院密封研究所将主密封改为组合V形圈GEK/GES+导向,其密封的可靠性得以提高,给生产和操作带来了很大方便。

### 5.3 旋转密封

目前大量采用的仍是普通标准型油封,对于有压力要求的旋转密封,国内一些厂家只能提供压力 $p$ 为0~0.5 MPa的耐压油封。处于国内领先水平的广州机械科学研究院研制的各种规格的GSB及GSBB型油封,其使用压力 $p$ 可达0.5~1 MPa。主要应用于冶金轧钢机械和高速旋转的减、变速机中。宝钢二冷轧的1420工作辊上使用的夹布油封(240×290×25,330×374×20等)和支承辊上使用的40度多肢密封由广州机械科学研究院密封研究所国产化,其产品的使用状况达到进口件的水平。宝钢一冷轧2030支承辊上使用的54度多肢密封也正在试用由广州机械科学研究院密封研究所承制的产品,在线使用一直良好。这些从技术上给宝钢提供了很大支持,同时也降低了宝钢的生产成本和采购成本。

## 6 结语

随着机械设备对密封要求的提高,密封技术已发展成为一门精密的学科。密封技术涉及到流体力学、摩擦学、油膜及润滑理论,高分子材料,粘弹性力学,机械加工、传热学等许多学科。只有对密封设计有足够了解与认识,才能对密封失效的故障原因有确切的认识,才能在设计加工和装配时,做到尽可能完善。在出现密封系统故障时,也能在较短时间内采取合适的方法进行处理。更为重要的是,能够早期预防故障的发生,提高液压系统的可靠性、安全性及元件的寿命。

### 参考文献:

- [1] 张宏. 液压系统的密封与泄漏防治探讨[J]. 流体传动与控制,2004(6):16—18.
- [2] Helment Weiss. 液压系统中的密封失效原因和现象[J]. 液气气动与密封,1995(4):50—56.
- [3] 刘美仙. 浅谈液压系统中的密封装置[J]. 福建轻纺,2004(10):4—6.
- [4] 顾永泉. 流体动密封[M]. 北京:轻工业出版社,1992.
- [5] 张富喜,王俊耀. 用于液压缸密封件的密封性能分析[J]. 流体传动与控制,2004(2):33—35.
- [6] 刘青梅,邢丽娟. 预防液压系统故障的关键问题——清洁和密封[J]. 农业机械,2004(5):27—28.

(下转第49页)

## Test and Application of Thin-wall Multi-arch Bank Protecting Wall at Sands Soil District

ZHANG Yu-jian, SHEN Bo

(Rugao City Electromechanical Irrigation and Drainage Administer Station, Rugao 226500, China)

**Abstract:** Sands soil district thin-wall multi-arch bank protecting wall is a structure of cantilever sustain and thin-wall multi-arch with out soleplate. At the center of arch bar using no-sands concrete scupper armoured concrete rib shape precast slab, rush sink structure, low cost and beauty outline, anti lean, good anti slide performance. The bank protect wall economic and property, easy structure, easy carry out, can be used plain country where river way need restoration and conservation of water and soil.

**Key words:** conservation of water and soil; thin-wall multi-arch; river bank protect; test; application

(上接第 27 页)

## Properly Determine Pumping Station Rebuilding Technical Method By Field-testing Technology

ZHANG Shu-ping

(City Hydraulic Reconnaissance Survey Design Institute, Yuncheng 044000, China)

**Abstract:** By instance, discussed by pumping station test technology overall analysis, fined out the problems such as low flux, low efficiency, high energy consume and then by property selecting pump style, turning impeller, adjust vane fix angle, form siphon at out flow pipe so on and so forth different technical method, improved the unit efficiency, realized the purpose of cost reduction and improve the economic returns.

**Key words:** pump; test; unit efficiency; project technical method

(上接第 30 页)

- [1] 贾国方. 水泵试验台的微机系统开发[J]. 排灌机械, 1990, 8(2):11~13.  
 [2] 贾国方. 电容式压力传感器与微机联接测量水泵扬程的研究[J]. 排灌机械, 1993, 11(4):53~55.  
 [3] 盛兆顺, 尹琦岭. 设备状态监测与故障诊断技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.

- [4] 孙昕, 王健, 怀千江. Internet 高级应用与技巧[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.  
 [5] 赵林度. 大型机电系统故障诊断技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2001.  
 [6] Chander Dhawan[迪艾伦]. 远程接入网络[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.

## Research of the Online Intelligent Monitoring Technology of the Water Pump

JIA Guo-fang

(Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** In view of the nuclear electricity, the chemical flow with pumps the monitoring parameter to be few, carries on the monitoring and the breakdown diagnosis to the water pump also appears the difficulty. Introduced the water pump monitoring parameter signal transformation method and the analysis main point, Proposed with the performance characteristic, the steam eclipse performance monitors the water pump the new method, Described with has made use of a favorable situation the analytic method to carry on the water pump breakdown tendency forecast the new technology, elaborated the monitoring network platform constructed the thought.

**Key words:** water pump; chemical flow pump; online; Intelligent monitoring

(上接第 45 页)

## Fault Elements Analysis of Sealing in Hydraulic System and the Application of Seal to Domestic Hydraulic System

WANG Hui-juan

(China Electronics Technology Group Corporation No.38 Research Institute, Hefei 230001, China)

**Abstract:** The malfunctions of hydraulic system are caused by many reasons, the most common one was the failure of hydraulic system which caused by the sealing system losing effect mostly. This article analyzed the causes of sealing system losing effect and summarized its criterion, though the demand on seal of Modern hydraulic control technology. In this article, it provided a reference about the exploration and elimination of hydraulic system's malfunction.

**Key words:** hydraulic system; seal; malfunctions; analyze