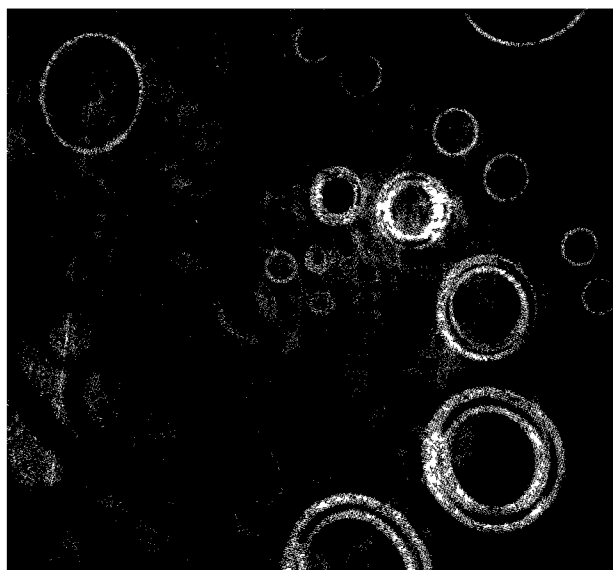


密封技术

译文集



前 言

液压与气动系统的密封问题是一个不易解决但又是十分重要的问题。我们本着“洋为中用”的精神，自国外有关期刊及论文集中搜集了这方面的文章共廿七篇，编译成册，以供参考。由于我们编译水平有限，文内错误之处在所难免，请读者批评指正。

译文集在编译过程中，承上海自动化热工仪表研究所，上海橡胶制品研究所，上海轮胎一厂协助校对，特此致谢。

上海科学技术情报研究所

1978年11月

目 录

1. 液压与气动用密封的概况及其问题	近森 德重	(1)
2. 密封与填料在流体动力中的重要性	R. H. 伟林	(9)
3. 往复运动用 O 形圈的特性研究	F. 海拉诺等	(16)
4. 不供油气缸用填料的特征	赤司 泰三	(25)
5. 液压系统中往复式密封件的设计和性能	D. E. 约翰斯顿	(32)
6. 压缩密封	B. D. 海立根	(40)
7. 弹性金属密封	G. 杜森伯里	(45)
8. 波纹管机械密封	J. C. 沃伦	(53)
9. 新型复合密封	D. A. 霍夫曼	(57)
10. 低温寒冷地区用的机械密封	近森 德重	(65)
11. 油缸使用的密封圈	大竹 惟雄	(73)
12. 特殊密封件	R. M. 奥斯汀	(82)
13. “道普林特”密封和垫片	R. A. 沃克	(87)
14. 对付 U 形密封圈背压的措施	藤本 佳宥	(91)
15. 轴封的摩阻	R. V. 布林克	(96)
16. 氟化磷腈弹性体——一种适用范围较大的轴封材料	L. A. 霍夫	(99)
17. 活塞密封件产生背压损伤的原因及其防止措施	山崎 敏宏	(107)
18. 静密封件的挤出	W. A. 卢茨等	(112)
19. 密封的泄漏及其防止方法	近森 德重	(118)
20. 密封问题的解决办法实例		(125)
21. 油缸的外泄漏	工藤 健嗣	(130)
22. 油缸用 U 形密封圈的故障	平尾庄 三郎	(133)
23. 密封漏油的原因	沢田 诚一	(137)
24. 从密封的使用部位看故障	国広 守 国分幸博	(139)
25. 旋转轴用的密封件泄漏问题	瀬崎 敏郎	(144)
26. O 形圈的外部漏油问题	细野正比古 福田 和夫	(148)
27. 使用阀门时出现的外泄漏	高桥 毅	(153)

液压与气动用密封的概况及其问题

近 森 德 重

一、标准形密封概况

应用在最普通油压机械和气动机械上的标准密封形式及其材料见表1~表3。

表1是往复运动用(密封圈)和固定用(垫圈)的压盖式填料。使用时将它嵌入普通的方形沟槽内,给予一定的压缩余量而作为密封之用,又称为压缩式密封。O形圈应用范围很广,尤其在固定部分。O形圈用于往复运动的轴的密封时,在直径大而行程长的情况就容易产生扭转损坏;在作为油压的密封时,其运动速度一高就会发生泄漏。所以像这些情况以使用唇形密封圈为宜。在用于旋转轴的密封时,如果周速太高,积蓄在接触部分的摩擦热使橡胶老化而损坏,所以O形圈只限于周速低时使用。在设计旋转轴用的密封时,O形圈的内

表1 压盖式填料的种类及特点

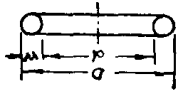
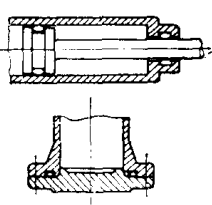
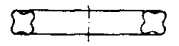
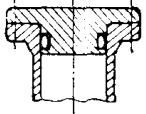
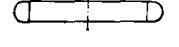
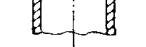
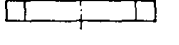
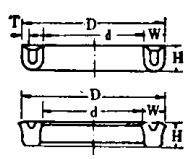
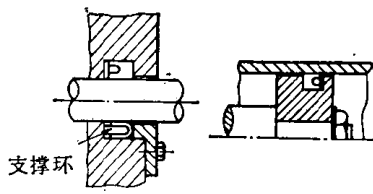
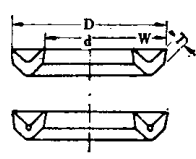
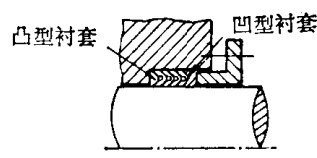
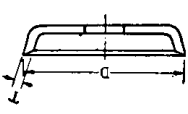
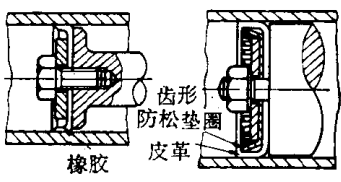
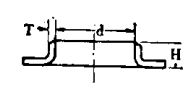
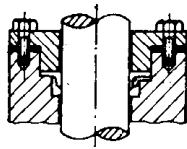
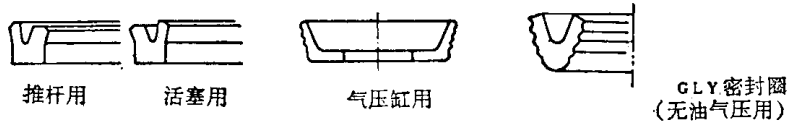
名 称	形 状	标 准 设 计	特 点	主要材料
O形圈			尺寸容易规格化,设计简便,密封性能好,广泛应用于一般机器的密封、垫圈。根据不同的流体来选择材料可以适用于宽的温度、压力范围。高压时可与挡圈一并使用。	合成橡胶 合成树脂 (PTFE)
X形圈			X形圈适用于低压、中压的往复运动,旋转运动,摩擦阻力较小。D形圈和T形圈的主要特点是用在往复运动可防止扭曲损坏。	合成橡胶
D形圈				
T形圈				
角 圈			主要用在固定场合,具有与O形圈同样的密封性能,紧固力要比O形圈的大。	合成橡胶 合成树脂 (PTFE)
组合式圈(例如ST密封)			在起动摩擦低的时候,推荐用PTFE圈与O形圈或角圈组合的组合式圈。	
O形圈用的挡圈	 (螺旋式)  (斜接口)  (无接口)		一般用在70公斤/厘米 ² 以上,用来防止O形圈超越到压盖空隙去而受到损坏。	皮革(环状) 合成树脂 (PTFE)

表 2 唇形密封圈的种类和特点

名 称	形 状	标 准 设 计	特 点	主要材料
U 形			油压、气压、水压机械作往复运动的活塞密封圈及推杆密封圈, 使用范围从低压到高压。也可用在低转速的旋转部分密封。密封槽的结构简单, 密封性能良好。	皮 合成橡胶 夹布橡胶
V 形			用作油压、气压、水压机械的活塞和推杆的密封圈。压力从低压到高压范围内均可适用。根据压力的大小, 可以用数层重迭使用。(参照 JISB 2403 规范) 使用时, 即使出现漏油, 由于它的胀紧作用而能减少漏泄。能适用于恶劣条件, 寿命长。	皮 革 合成橡胶 夹布橡胶 合成树脂 (PTFE)
L 形			用作低压、中压的气压、油压、水压机的气缸推杆密封圈, PTFE 材料做的密封圈, 可耐化学品。	皮 革 合成橡胶 夹布橡胶 合成树脂 (PTFE)
J 形			用作中压、低压的气压、油压水压机的气缸推杆密封圈, 密封圈边缘起垫片的作用。皮革做的 J 形衬垫也可用作转速低的转轴密封。	皮 革 夹布橡胶 合成橡胶 合成树脂 (PTFE)
其 它				合成橡胶

径应与轴径大致相等, 或采用比轴径稍大些, 从外周压紧给予 5% 断面直径的压缩余量。O 形圈的橡胶材料要根据机器的使用条件(压力介质的种类、压力、温度和运转速度等)来选择。在设计 O 形圈的装配槽时, 对其尺寸精度、表面光洁度要充分研究。有关这些方面的标准、规范各国都有, 日本对一般机器用的 O 形圈有 JISB 2401、JISB 2406 和 JISB 2407 等规范。表 2 是唇形密封圈(密封部分具有唇形密封面的密封圈的总称)的概况。唇形密封圈的使用压力范围很广, 并适用于作高速运动的长行程推杆和大直径缸筒。U 形密封圈大都用于建筑机械的油压缸密封, 也有采用 V 形密封圈的。根据压力的大小, 可以用数只密封圈重迭使用, 因此它可用于工作条件较严酷, 使用寿命较长的场合。L 形是活塞专用的密封圈, 适于大直径缸筒, J 形是推杆专用的密封圈, 也适用于旋转轴的密封。表 3 是密封用的橡胶及合成树脂(例如 PTFE)等材料的一般特性及其适用性, 但实际应用时要听取使用部门的意见而选用最符合使用条件的材料。例如在选用丁腈橡胶(NBR)时, 由于橡胶原料的种类和配方不同, 其物理性能也各不相同。无论是油压还是气压大都采用丁腈橡胶; 其它特

表3 密封圈、垫片用橡胶及合成树脂材料的特性

聚 合 物		简 称	特 性
天 然 橡 胶		NR	不适用于石油系的工作油、燃料油。在大气中容易老化，所以要避免紫外线、日光、臭氧等的直射以及高温空气。适用于水和酒精系液体、汽车制动油。使用的温度范围 $-50^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{C}$
丁 苯 橡 胶		SBR	主要适用在制动油，在矿物系润滑油、工作油中胀润大。使用的温度范围 $-40^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{C}$ 。
丁 基 橡 胶		HR	耐热、耐寒性良好。能耐磷酸酯系不燃性工作油、水、高压蒸汽、药品等；不能在矿物油系的润滑油、工作油中使用。气体透过性小，可用作真空密封的材料，使用的温度范围 $-40^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{C}$ 。
乙 丙 橡 胶		EPDM E P M	耐热、耐寒性良好，能耐磷酸酯系不燃性工作油、水、高压蒸汽、药品等。一般不适于矿物油系的润滑油、工作油。使用的温度范围 $-40^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{C}$
氯 丁 橡 胶		CR	耐气候性好，在空气中耐老化，耐油性较好，对苯胺点低的矿物油和汽油等胀润大。使用的温度范围 $-40^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{C}$
丁 二 烯 丙烯腈橡胶 (丁腈橡胶)	低 腈 (低温用)	NBR	耐低温、耐油、耐热性也好，使用的温度范围 $-40^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。
	中 高 腈 中 腈		这是采用最广的材料，耐油、耐热、耐磨性好，具有各方面的特性，不能在磷酸酯系工作油中使用，使用的温度范围 $-30^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{C}$ 。
	高 腈 (燃油用)		耐燃油、汽油、低苯胺点的矿物油，使用的温度范围 $-20^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{C}$ 。
聚氨基甲酸酯橡胶 (聚氨酯橡胶)		AU EU	耐油、耐磨，机械强度高，耐热性差些。在含有水份的液体中，高温时要分解使用的温度范围 $-40^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 。
2-环氧丙烷橡胶		CHR CHC	耐油、耐寒性好，适于苯胺点低的油，使用的温度范围 $-40^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{C}$ 。
丙烯酸酯橡胶		ACM ANM	耐热、耐油性好，适于齿轮油、发动机油、液压变换器油等一般石油系工作油。不耐水，使用的温度范围 $-20^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。
硅 橡 胶		MPVQ MVQ	耐热、耐寒以及压缩永久变形良好。适于高温、低温用以及低压下的高速旋转。机械强度低，不适于高压下的旋转用。能使用在马达油、发动机油中，但不适于低苯胺点的矿物油和含有一定量添加剂的齿轮油中。使用的温度范围 $-65^{\circ}\sim 230^{\circ}\text{C}$
氟 橡 胶		FPM	耐热、耐油、耐药，可适于一切的润滑油、燃料油、汽油；也可使用于磷酸酯系的不燃性工作油、合成油、药品等的密封，不适于酮类，酯类的有机溶剂，使用温度范围 $-20^{\circ}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。
聚四氟乙烯树脂		PTFE	耐热、耐寒，几乎不溶于一般化学品、溶剂、油等。摩擦系数小，高温、高压下容易引起变形。为了减小这些影响，要加入玻璃纤维、二硫化钼、青铜等填充剂。在设计时要考虑到它比橡胶硬，比金属的热膨胀系数大。使用的温度范围 $-260^{\circ}\sim 260^{\circ}\text{C}$ 。
皮革(丹宁革、铬革) 混合革			适于气压、水压、油压，尤其适于水压。其密封性能由填充剂而定。耐高压，寿命长。耐热性差，所以只限于常温下使用。

殊情况,如要求耐油和耐热性时则采用丙烯酸酯橡胶和氟橡胶;要求耐浸渍性时,采用砷板和 α -环氧乙烷橡胶;以及要求耐压、耐磨时采用聚氨酯橡胶。但任何一种橡胶都不可能完全满足所有的使用要求,如果选择不当,会显著降低密封的寿命。PTFE 是合成树脂、不具有橡胶那样的弹性,所以在单独使用时要对其形状加以研究。PTFE 的耐药性、耐油性以及耐热、耐寒性良好,适用于不能采用一般橡胶的地方。例如生产药品的机器和不能受污染的机器。目前用皮革作密封的较多,有用植物丹宁鞣成的丹宁革,铬盐鞣成的铬革,以及用铬盐和丹宁混合鞣成的混合革(称为再鞣革)。丹宁革硬化成形后富有弹性,所以它主要用作大直径的气压、水压用密封;铬革具有良好的耐热性,可用作油压密封;再鞣革无论对气压、水压、油压都适用。皮革的耐水、耐油性好,耐低温性也良好,但不能受热,所以高温下不适用。即丹宁革在 40°C 以下,铬革在 60°C 以下可用。皮革由于耐碱性差,所以水溶液的 pH 值在 $4\sim 8$ 之间时可以用;而水-乙二醇不燃性工作油等的 pH 值在 9 左右,所以不能用。皮革是骨胶原蛋白质的多孔性组织,须加以合适的填充剂进行填充处理,密封的性能由填充剂的种类及加工的方法而定。皮革密封比橡胶密封的耐压、耐磨性好,尤其在滑动面光洁度差的情况下,它具有即使不加润滑剂也可使用的特点。

皮革是由极强韧的骨胶原纤维组成的,但它是多孔性的组织,漏泄量大,所以在设计时,要注意采用最合适的填充剂。

二、压缩式密封及其有关问题

1. 压缩余量对密封作用的影响

具有自封作用及标准压缩余量的方形圈和 O 形圈,安装到方形的压盖槽内,在其断面直径方向要加以压缩,达到一定的压缩余量后,产生密封作用。

图 1(a)中,把平板状橡胶垫圈嵌进法蓝面之间,来达到密封作用,接触面的压力与所受流体压力无关,假定垫圈均匀地装在平滑面上,则可认为,当流体压力比接触面间压力大时,会产生漏泄。因此平板垫圈不漏泄的条件是它的紧固力应超过流体压力。图 1(c)所示为 O 形圈,安装时的接触面压力虽不大,但在中央处为最大,当流体作动时,由于 O 形圈被沟槽隔

开,因此流体压力加上接触面压力就形成如图 1(d)所示的接触压力。当接触压力的最大值 P_m 比流体压力 P_1 大时,就不会造成漏泄。由流体压力加上接触面压力而产生的密封作用,称为自封作用,这是极为有效的密封作用。因此为了要起到密封作用,必须在安装时加上一定的压缩余量以产生接触面压力。表面极光滑时,压缩余量在 0.1 毫米,或即使在 0.1 毫米以下,也具有自封作用。但在压力过小、流体的粘度较低、或密封面存在凹凸的情况下,不能起自封作用,此时必须有足够大的压缩余量。在使用中,若 O 形圈材料产生大的压缩永久变形,又在使用的油中

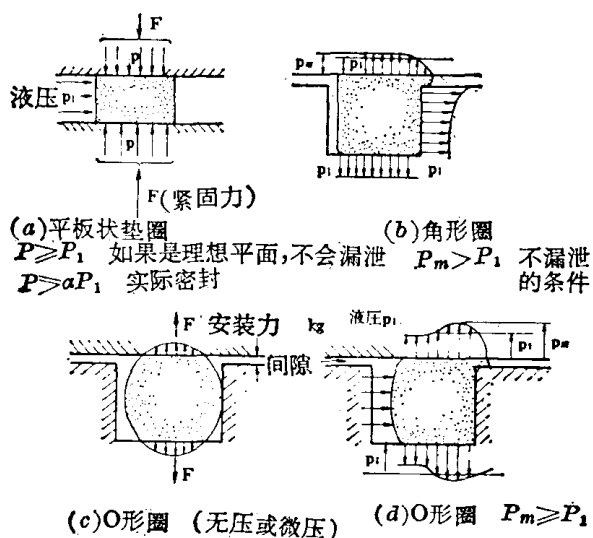


图 1 固定用橡胶圈的接触压力分布

产生收缩, 则压缩余量就减小, 也就丧失了自封作用。在高温下尤其容易引起大的永久变形。另外, 橡胶在不适当的工作油中, 例如含腈高的橡胶在高苯胺点的油中使用时, 容易收缩, 因此在使用前, 必须采取造成若干胀润的措施。为此, 在实际使用时要参照表 6 所示的压缩余量, 才能起到自封作用。

表 4 KS 皮革密封*的应用

填 充 剂	皮 革	适 用	耐 压 性
A	丹 宁 革	气 压 用	至 10 公斤/厘米 ²
W	丹 宁 革	水 压 用	至 500 公斤/厘米 ²
K300	铬 革	油 压 用	至 50 公斤/厘米 ²
K19	铬 革	油 压 用	至 500 公斤/厘米 ²
K4	铬 革	油 压 用	至 1000 公斤/厘米 ²

* 市场上供应的皮革密封名称。

表 5 各种密封材料的特点

		皮 革 密 封	合 成 橡 胶 密 封	夹布合成橡胶密封	合成树脂密封
媒 体	水 · 油	可用	可用	可用	聚四氟乙烯树脂能使用在所有的媒体内
	高压水蒸汽	不可用	可用(例如 EP 橡胶)	可用	
	酸、碱 溶 液	pH4~8.5 可用	选择适宜的橡胶才可用		
	不 燃 性 油	按油的种类决定可用, 不可用			
使用的温度范围(°C)		-60~+60	按不同的橡胶种类, -60~+200 -25~+200		-160~+260
对方金属材料		铁-非铁金属	镀铬钢以及硬质非铁金属		
金属滑动面光洁度		6.3S	1.6S	3.2S	适用于要求耐 磨和耐药品等特 殊用途情况
可用间隙		可稍大些	极小	稍小	
耐磨性		大	中	中	
最大使用压力(公斤/厘米 ²)		1,000	500	550	
耐冲击性		极大	中	大	
寿命		极大	中	大	
漏油		有些情况有漏	无	无	

注: 此表是一般的情况, 根据具体的橡胶种类、配方、加工方法而不同。

表 6(a)是一般机器用的 O 形圈的压缩余量。运动用时, O 形圈接触面的表面光洁度在滑动面是 1.6S; 考虑到加工费及其它性能上的原因, 固定用时应比运动用时粗糙些, 一般为 3.2S。为起到自封作用和安全起见, 固定用时应取运动用时 1.5 倍左右的压缩余量。法兰直径大时, 其平面度就达不到十分精密, 因此采用断面直径大、压缩余量大的 O 形圈。

气压装置运动时用的 O 形圈, 大都要求启动摩擦和运动摩擦小些。气压装置的作用压力通常只有 5 公斤/厘米² 到 7 公斤/厘米², 摩擦阻力太大, 就会影响性能。为此, 采用减小 O 形圈压缩余量的方法来减小摩擦阻力, 设计时尤其要考虑到提高尺寸精度和滑动面的光洁度。

表6 O形圈的标准压缩余量

(a) JISB 动态, 静态(圆筒面) O形圈的压缩余量(JISB2406)

O 形 圈 号 数	O 形 圈 的 断 面 直 径 (W)	压 缩 余 量	
		毫 米	%
P3~P10	1.9 ± 0.07	$0.47 \sim 0.28$	23.8~15.3
P10A~P22	2.4 ± 0.09	$0.47 \sim 0.27$	19.0~11.6
P22A~P50	3.5 ± 0.10	$0.60 \sim 0.32$	16.7~9.4
P48A~P150	5.7 ± 0.15	$0.85 \sim 0.45$	14.5~8.1
P150A~P400	8.4 ± 0.15	$1.65 \sim 0.65$	12.3~7.9
G25~G145	3.1 ± 0.10	$0.70 \sim 0.40$	21.85~13.3
G150~G300	5.7 ± 0.15	$0.85 \sim 0.45$	14.5~8.2

(b) 瑞典规格(SMS)的压缩余量

O 形圈的断面直径(W)	最 小 压 缩 余 量	
	毫 米	%
1.6 ± 0.1	0.27	17
2.4 ± 0.1	0.5	21
3.0 ± 0.1	0.6	20
5.7 ± 0.1	1.0	17.5
8.4 ± 1.5	1.55	18.5

表7是美国W公司生产的气压用低摩擦O形圈的压缩余量,为一般所采用的一半左右。这种设计在尺寸精度和滑动面光洁度差的时候,还是经常有泄漏现象。近来,在要求低摩擦阻力时,建议采用PTFE圈及O形圈或角形圈组合的组合式密封(表1)。可是PTFE是合成树脂,硬而缺乏弹性,其配合面不易磨合,因此也会产生少量漏泄。

表7 W公司低摩擦用O形圈的压缩余量

O 形 圈 号 数 (JISW1516)	O 形 圈 断 面 直 径 (W)	最 小 压 缩 余 量	
		毫 米	%
1~7	1.78 ± 0.07	0.102	5.96
8~14	2.62 ± 0.07	0.102	4.00
15~27	3.53 ± 0.10	0.102	2.94
28~52	5.33 ± 0.12	0.102	1.95
53~88	6.98 ± 0.15	0.102	1.49

注: 1) W公司的O形圈是按美国军用规格尺寸AN6277,换算成表7中的毫米单位;

2) JISW1516是汇总美国军用规格MIL-P-5516, AN6227, AN6230换算成毫米单位,作为日本航空用O形圈的尺寸。

2. 选择材料中的若干问题

(1) 对工作油的适应性 表 8 是 O 形圈材料的标准 JISB2401。其中采用最普遍的是丁腈橡胶(NBR),大都用 1 种 A(一般用)和 1 种 B(HS 为 90°, 高压用)。可是,这些 O 形圈由于工作油的原因,也会产生明显的胀润或收缩,所以要选择与工作油相适应的材料,避免因收缩而减小压缩余量,以致丧失自封作用,造成漏泄。

表 8 O 形圈材料(JISB2401)

分 类	一 种		二 种	三 种	四 种	
	A	B			C	D
硬质(HS)	70	90	70	70	70	70
	耐 矿 物 油		耐 汽 油	耐动植物油	耐 热	
材 料	中 ~ 中高腈橡胶		高腈橡胶	苯乙烯橡胶	硅 橡 胶	氟 橡 胶
适 用	气压、油压装置等用		燃油用	动植物油用(含有甘醇等的制动油)	高温用(以固定为主)	高温用(固定、运动)

注: 1) 硬度 HS 在 90° 者为高压用;

2) 丁腈橡胶是丁二烯和丙烯腈的聚合物。丙烯腈的含量在 4.8~42%。含量少者,低温性和弹性良好,而耐油、耐汽油性差;含量高者,低温性和弹性差,而耐油、耐汽油性好。按丙烯腈含量的不同,丁腈橡胶有低腈、中腈、中高腈、高腈之分。

图 2 所示为各种 O 形圈材料对不同矿物油的体积胀润率(%),一般说来,苯胺点低的矿物油(环烷系碳化氢等含量高的矿物油)的胀润量大;而苯胺点高的矿物油(含有大量烷烃系碳化氢,如透平油属于此类)的胀润量小;配合剂中可塑剂的提取量过多,就会发生总的收缩。用高腈橡胶制的 O 形圈在透平油中使用时,由于橡胶的胀润量小,配合剂中液态可塑剂的提取量多,因此总的收缩量多,造成体积胀润量屡次减小。若胀润量小,压缩余量也随之减小而失去自封作用,漏泄即容易发生。所以对于苯胺点高的矿物油来说,就必须在中高腈或中腈类橡胶中选择胀润量大的橡胶。在用于垫圈等的场合,选择在工作油中有若干胀润的橡胶原料和适当的配合剂是方便的。

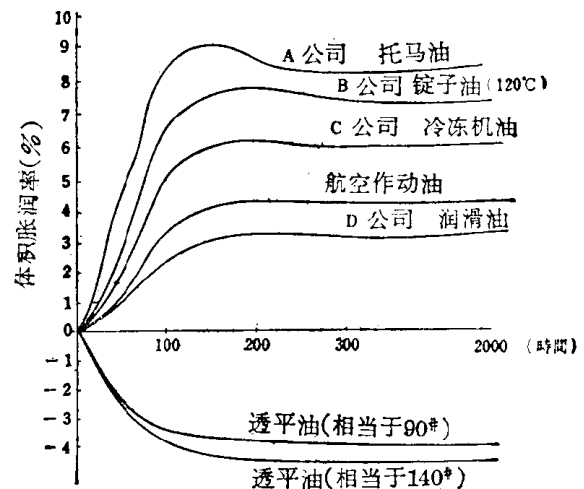


图 2 硬度 90° 的丁腈橡胶采用各种矿物油的体积胀润率

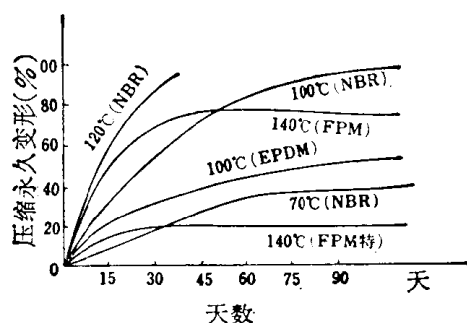
注: 1) 中高腈的 O 形圈硬度 HS 是 90°;

2) 用 JISK6301 (加硫橡胶物理试验方法) 耐油试验法测得。

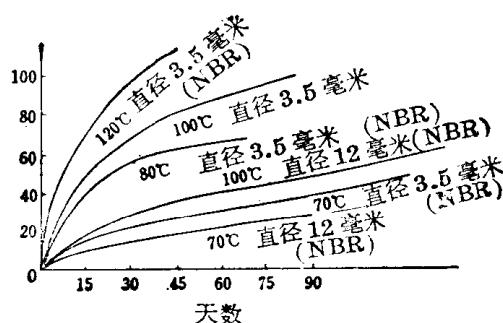
(2) 高温空气中使用的 O 形圈, 尤其作气压密封用时, 必须选择压缩永久变形小的材料制造。即 O 形圈的永久变形大, 压缩余量就小, 因而失去自封作用而引起漏泄。例如, 在丁腈橡胶这样的分子结构中, 含有丁二烯类不饱和物质, 这些物质在高温气体中受到很大破坏而发生永久变形。在油压中使用时, 因不与空气接触, 因此由油引起胀润而使产生的总永久变形量并不大, 有时几乎不产生变形。图 3 所示为 O 形圈材料在加热空气中的压

缩永久变形。

图 3(a) 所示为硬度 70°(HS)、断面直径 3.53 毫米的丁腈橡胶 O 形圈, 当发生 25% 压缩时, 永久变形的变化情况。使用时, 永久变形大的话, 压缩余量就小, 造成自封作用差而漏泄。考虑到种种因素, O 形圈的永久变形要在 40% 以内, 因此气压装置用的丁腈橡胶 (NBR) 耐热使用极限在 70° 左右为宜。用在油压的情况, 因为油的胀润和不存在空气老化的影响, 其使用温度极限可在 120°C, 有时也可能在 140°C。图 3(a) 中可见, 乙丙橡胶 (EPDM) 的分子结构中, 不饱和的结合键少, 所以受加热空气的影响很小, 用这种永久变形极小的橡胶制成的耐热用 O 形圈, 在 100°C 时还可使用。可是它的主要成分是高分子碳氢化合物, 在相同碳氢化合物的矿物油中胀润量大, 所以不能在矿物油中使用。它主要用在高压水蒸汽或空气中需耐热的地方。FPM 是特殊配制的氟橡胶, 它在空气中或油中的永久变形极小, 可作耐热用。图 3(b) 是丁腈橡胶断面直径与永久变形的关系曲线, 断面直径愈大, 永久变形愈小, 所以丁腈橡胶的 O 形圈在高温中使用, 断面直径愈大愈好。根据上述理由, 在选用高温中使用的 O 形圈材料时, 为了确保压缩余量, 首先要选择永久变形小的材料, 这点是十分重要的。



(a) 在加热空气中, 压缩永久变形与温度的关系



(b) 压缩永久变形与直径的关系

图 3 O 形圈材料的压缩永久变形与耐热性

注: 1) O 形圈试料 尺寸: AN6227-27 直径: 3.53 毫米

硬度: 70°(HS) 压缩率: 25%;

2) 采用 JISK6301 试验方法。

译自《油压技术》1975 年第 5 期

密封与填料在流体动力中的重要性

R. H. 伟林

液压线性执行元件的工作效率所以能达到 98% 以上,主要是由于近代密封的密封能力强,在动态情况下密封流体时摩阻极小,这样两种性能造成的。用流体作为功率传递的第一个实例,是在勃拉马(Brahmah)的液压机床上实现的,它由于首创了一种附加的自密封压盖装置而获得成功。

当然,甚至更早一些,在一般实用水力学里早已提出了密封问题。特别像往复式水泵,例如罗曼斯曾研制一种全木结构的、用铅皮镶衬的往复式水泵,具有一种半硬半软衬垫的原始密封。几乎二千年以后,流体装置的主要密封形式还保持压缩式填料这种形式。密封与填料的进一步发展是由于蒸汽机的发展,在制造蒸汽机的初期,令人惊奇的是都愿采用全金属填料。

在动态应用中要求密封好、摩阻小二种性能,因此压力强化的密封就取代了压缩密封。当初研制时,可供选择的柔性材料很少,而水在当时是作为标准液压流体使用的,由于其粘性小,要封住就很困难;但另一方面由于水价廉,因之漏水除降低效率外,问题不大。压力强化密封的基本形式有皮碗形、U 形及 V 形等多种形式,直至今天还在应用。

本世纪初,人们开始以油代替水作为液压用的流体。但密封材料的选择依然成为问题,由于天然橡胶不耐油,因此压缩填料仍与皮碗及圈状密封同时选用。此外,虽然油较水易于密封,但当系统的压力不断提高后,密封问题就变得更严重了。在初期阶段,材料的发展可能比密封设计起着更重要的作用,出现了最早的高效低摩阻密封;但有一个例外,那就是 O 形密封圈的出现。

直至 1940 年初,皮碗、U 形圈、V 形圈都是自容性液压技术的标准密封形式,密封材料是皮革、均质橡胶或橡胶与纤维的复合材料。U 形圈及 V 形圈是永久组装在填料箱或压盖内的,用压圈调节压力。在适用的合成橡胶、均质橡胶密封(限用于低压)及橡胶纤维复合材料(用于重型)出现以后,液压流体就要求采用非矿物性油了。

对蓖麻基的工作液或酒精与甘油的混合液通常用天然橡胶做的碗或圈作密封,特别在航空液压技术上是这样。工业液压技术是采用矿物油,用皮碗或圈或压缩填料来进行密封的。只有德国在 1930 年已广泛应用合成橡胶填料。至 1930 年后期,大家都换用矿物油了,用作碗及圈的主要材料都用氯丁橡胶以代替天然橡胶。但氯丁橡胶远远不能令人满意,主要的一些缺点是粘滞作用强,低温性能差,在飞机装置上成为特殊的问题。

那时已普遍使用较高的压力系统,并强调流体与密封之间的相互关系。因此当氯丁橡胶圈的粘滞作用这一缺点由于使用表面处理材料而大为改善的时候,油的规格却改为轻质油,于是又产生了极为严重的漏油问题。大多数故障都与飞机系统的低温操作有关。V 形圈组件用在较高的压力系统倒是一种较好的密封形式,并将氯丁橡胶圈与皮革圈结合使用,以改善氯丁橡胶的低温缺陷。

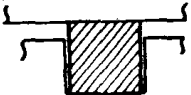
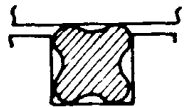
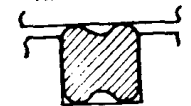
表 1 O形密封圈的故障与原因

故 障	可能的原因与排除方法	故 障	可能的原因与排除方法
小 漏	安装时割伤或其它损坏 挤压不足——增加挤压 沟槽的尺寸错误——检查槽是否过宽 摩擦面的表面光洁度差 侧向负载——检查偏心度或侧向负载	摩 阻 过 大	挤压过度——检查沟槽的尺寸比例 过度膨胀——检查与所用油液的相容性 金属与金属接触——检查准线位置是否偏离或过度不均匀的膨胀 挤压——O形圈须加保护圈
大 漏	O形圈在工作中损坏 摩擦面有严重伤痕 由于与流体接触而O形圈变质 O形圈过度收缩 过于不均匀的膨胀	O形圈早期失效	槽的设计太差——特别检查圈是否过度胀紧 组装时损坏 组装时过度伸长 过度挤压——检查间隙 O形圈尺寸错误——用较大的断面
低温泄漏	O形圈材料配方错误 挤压不足——增加挤压以补偿热收缩		

表 2 各种密封适用的工作状态

密 封 形 式	往 复 式			旋 转 式	
	轻 型 低 速	中 型	重 型	轻 型	重 型
O形圈	×	×		×	
矩形圈	×	×			
正方形圈	×	×		×	
心形断面				×	
U形圈: 橡胶	×	×		×	
橡胶浸渍的纤维		×	×		
皮革		×	×		
V形圈: 橡胶		×			
橡胶浸渍的纤维		×	×		
皮革		×	×		
O形圈: 橡胶	×	×		×	
橡胶浸渍的纤维		×	×		
压盖圈: 橡胶浸渍的纤维	×	×		×*	
石棉纤维	×	×	×	×*	
自动密封: 橡胶	×	×		×*	
橡胶浸渍的纤维		×	×		
垫圈		×	×	×*	×*
金属活塞环	×	×	×		
帽形或法蓝盘形: 橡胶	×			×	
橡胶浸渍的纤维	×	×		×	
皮革		×	×	×	

表 3.1 液压密封的型式

型 式	沟 槽	使 用 场 合	备 注
矩形 	与 O 形圈同	代用 O 形圈、特别在低速时	位移小, 较 O 形圈刚性好、摩擦大
四角形 	一般较 O 形圈配合紧	代用 O 形、圈特别在加速时	在中等压力下抗螺旋形破坏能力强、位移小
H 形 	一般较 O 形圈配合紧	代用 O 形圈、特别在速加时	在中等压力下抗螺旋形破坏能力强、位移小
△形 	特 定	—	位移大, 也可用作挡圈, 加大 O 形圈
N _g —唇形 	与 O 形圈相似	代用 O 形圈	四角形密封圈基础上的变型。
D 形 	特 定	—	低压下稳定性好、能抗螺旋形破坏
梯形 	紧 配 合	防 尘 圈	采用多孔材料也可作为润滑圈
心形 	标准 O 形圈	只用于轻型旋转轴的密封	—
T 形 	特 定	高 压	与可膨胀及收缩的挡圈合用、位移大

这时候 O 形密封圈在美国的航空液压系统中显得很突出。简单的 O 形圈曾经历过各种改进过程, 直到 1939 年出现了一种新形式后才获得成功。这种形式在狭小的矩形沟槽内防

止了圈的移动,成功的关键是防止了圈的滚动不超过 180 度。

早期的 O 形圈是用氯丁橡胶做的,可以明显地看到上面提到过的这种材料的一些缺陷。于是采取了一些措施来克服这些缺陷。曾采用 V 形或圆形沟槽来获得更多的挤压,但均告失败。最后还是靠改进弹性体材料来解决。最成功的是一种根据通常称为 Goshen 公式配制的丁腈与氯丁橡胶混合物,这可以从战争年代美国航空液压技术中 V 形圈及 O 形圈密封的使用中清楚看到。到战争结束时, O 形圈的数量及应用大大超过了 V 形圈,这很有意义。

O 形圈在所有的密封设计中一直是最重要的一种,因为它可以替代许多其它密封形式,可以同样完成密封任务,包括用作静密封的垫片。近代弹性体复合材料对许多密封都提供了良好的性能,丁腈(布纳 N)橡胶仍是密封油液的常用材料,乙丙橡胶则用于密封磷酸酯流体。氯丁橡胶(及硅橡胶)也可用作气动密封,而维通(Viton)胶通常用于高温时。

O 形圈密封的最大优点是十分简单、价格低廉、适用的压力范围可至 1500 磅/英寸²(105 公斤/厘米²),在与挡圈合用时可用至 3000 磅/英寸²(210 公斤/厘米²)。这是一种摩阻低的压力强化密封,但也有它特有的一些缺陷。它往往被过多地采用(自然而然地就作为解决密封的办法),因为它容易采购。归纳起来, O 形圈主要用在直径小的缸体内等,作为往复式运动时的密封。缸体尺寸逐渐增大或用在不易密封的地方, O 形圈的性能就差一些。为延长密封寿命,表面光洁度要保持在 15 微英寸以上。

曾经对 O 形圈外形进行过多次改进,但仍保持简单的断面,以便于在沟槽内装配。主要断面有正方形、矩形、四角形及其他变形(如 Nu-唇形)。这些断面的抗螺旋形扭曲的稳定性较好,尺寸比例设计得可以在标准 O 形圈沟槽或近似的简单沟槽内装用,可以与 O 形圈互换。

O 形圈在发展现代化高性能液压密封件中起了重要作用,这可以自各种“结合”设计中看出,都是将基本的 O 形圈断面与其它断面相结合,此附加的断面可以是坚实的,就是说与挡圈相粘结或与低磨阻轴承套圈相结合的,也可以是半坚实的,甚至与第二个弹性断面相结合。所有这些密封都具有挤压强化的特性,与基本的 O 形圈密封工作原理相同。在基本上保持结构简单及单个密封圈易于装配的情况下,这些密封的性能却可以超过 O 形圈密封,特别在高压时更是如此。对具有往复式密封的现代液压机械及装置来说,这种密封大大提高了工作效率及延长了寿命。

正当 O 形圈发展为单圈复合密封时,出现了一种现代的柔性唇型密封,基本上是从 U 形圈、V 形圈或人字形环发展而来的,杯形密封也是一种良好的低摩阻活塞密封。从这些原始断面变化而得许多专用密封断面的设计,特别自 U 形、非对称性 U 形或 C 形圈变化的最多,少量自 V 形圈变化而来;有些是专门设计成单个密封圈、有些则为组件。这些变型断面的适用范围自轻型、重型一直到往复式密封所可能封住的最高实用压力的各种工作场合;压缩填料作为现代液压密封则已经陈旧了。

实际上各种柔性唇形密封都是用均质橡胶模压或用浸橡胶的纤维织物制成的,有些具有复合结构的特征,在断面内镶嵌入硬件。均质橡胶的模压制品特别宜于做尺寸小的圈,适用于轻型及中型的工作状态;浸橡胶的纤维织物制成品适用于重型的工作状态,需要强度大、耐磨性好的地方。

表 3.2 液压密封的型式

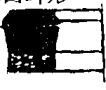
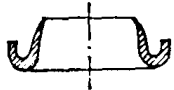
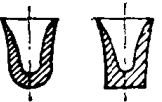
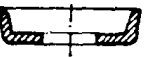
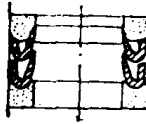
名 称	结 构	机 理	最大工作压力 磅/英寸 ² (标准间隙)	型 式
巴尔西耳形 	模压橡胶圈与织物材料的基圈相粘结	用过盈配合来产生预负载。 压力强化型	2500	单向作用 双向作用 (内部的/外部的)
带槽的巴尔西耳形 	唇形圈与织物材料的基圈相结合	压力强化及能适应偏心度或侧向负荷	2500	单向作用 (内部的/外部的)
道蒂复合形 	硬质聚四氟乙烯镶在固体橡胶圈内	过盈配合产生预紧力,压力强化		单向作用 (内部的与/部的) 双向作用 (内部的与外部的)
赫尔普林形 	织物材料的U形圈与橡胶O形圈结合 (与结实的挡圈合用)	挤压强化以产生预紧力	10000	单向作用 (内部的/外部的) 双向作用 (内部的/外部的)
H.P 形 	硬质聚四氟乙烯接触圈与固体弹性体圈粘结	挤压产生接触压力,压力强化	5000~6000	双向作用 (内部的或外部的)
海帕克形 	特殊橡胶断面与尼龙档圈粘结	挤压与压力强化		单向作用 (内部的/外部的) 双向作用 (内部的/外部的)
SCN 形 	特殊弹性体断面与二个同心迭片橡胶圈粘结	挤压与压力强化		单向作用 (内部的/外部的) 双向作用 (内部的/外部的)
SCN 锦杯形 	特殊弹性体断面与伸长的层迭纤维断面粘结	挤压与压力强化		单向作用 (内部的/外部的)
锁牢西耳形 	改进的O形圈断面与迭片织物材料的档圈粘结	挤压与压力强化		只有双向作用 (内部的/外部的)
TMS 液压密封 	特殊弹性体断面与单个迭片织物材料的圈于工作面上粘结	挤压与压力强化		单向作用 双向作用 (内部的/外部的)

表 3.3 液压密封的型式

型 式	应 用	特 性	备 注			
唇形 	柔性唇形密封是自强化密封, 预紧力保证了静密封	在低压下摩阻相当高、摩阻随压力提高而增加, 在返回行程时摩阻减小。	许多专用密封的基础, 也用作密封组件, 与自调式密封等合用, 并加压环。			
自动式 	自强化密封, 主要用于往复式运动	密封效率随压力增加而提高, 摩阻随压力上升而增加	大量专利密封断面的基础。也用作两只或多只的组合件, 加或不加压环。			
U 形圈 	加或不加随动圈的活塞密封等一般适用的压力高至1500磅/英寸 ²	低压下密封性能好, 高压时摩阻大, 在跟部磨损大, 圆的或方的底	将外形修改后成为各种专用密封 通常用在滑动时的密封			
V 形圈或人形圈 	往复式密封, 压盖密封等凡是有足够位置可供装配的地方 效率很高、适于高压	在组装件上略加预压, 低压时摩阻低, 摩阻随压力增加而升高	通常成组使用、在各端都加支撑圈			
杯形 	几乎全用作活塞密封, 标准尺寸的范围很广。	在往复运动中的单向密封性能极佳, 返回行程时摩阻低	圈数	橡 胶 磅/英寸 ²	橡胶纤维 磅/英寸 ²	皮 革 磅/英寸 ²
			3	至 500	至 500	至 500
			4	500~1500	500~3000	500~2000
			5	1500~3000	3000~5000	2000~6000
			6	3000~5000	~10000	6000~20000
法兰盘形(有边帽形) 	广泛应用于中等压力时, 轴上或活塞的内密封。 紧凑。	用弹簧扩张器以增大预紧力, 较 U 形或紧凑 V 形圈更些, 但作为密封则效率差些	可以单个使用或反向成对使用, 也可用作防尘圈或擦油圈, 可以与压盖圈合用, 还可以加扩张器弹簧			
项圈形 	与法蓝盘圈相似	由于改进了断面形状, 故改善了耐磨性并不易卡住	也可以用作刮擦圈			
密封组 	具有或不具有楔入作用的压盖及活塞密封	密封组件的基础是在压力强化或自强化二种表面上进行密封	具有专用密封及特殊断面的密封组件, 已广泛采用。			