

弹性体O形圈的选择指南 以及选择时的问题及其对策

1. 前言

将O形圈用作密封件的领域非常之多，其结构简单、安装方便、密封不存在方向性，而且可适用的压力范围也非常广。

以各种液压、气压工业为中心，它被广泛应用于一般产业、食品工业、半导体、飞机、航天相关设备等领域。

但是，一方面，O形圈作为密封件拥有出色的优点，但另一方面，它在基于各种流体的材料选择、沟槽设计等上，如采用了错误的使用方法，则很多时候都会大幅影响其耐久性能。因此，使用O形圈时，必须要采用能充分发挥其特点优点的正确使用方法。

本报将对选择O形圈时的思路、选择方法、因选择失误所造成的问题事例及其对策进行说明。

2. O形圈的选择指南

2-1) O形圈所需的特性(功能)

- ① 具有机械强度(耐压性、耐磨损性)。
- ② 不被接触的流体(油、化学品、溶剂等)所侵蚀。
- ③ 适应广泛的温度范围(耐热性、耐寒性)。
- ④ 较小的压缩永久变形。

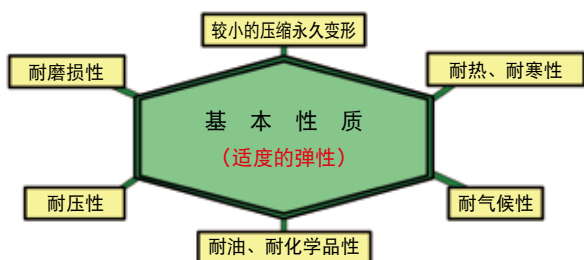


Figure1 O形圈所需的特性

2-2) O形圈防止泄漏的原理

O形圈通过压缩时的反斥力+流体压力实现密封。密封结构如Figure2所示。

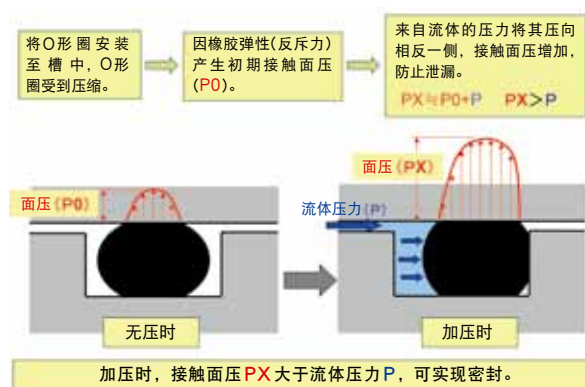


Figure2 O形圈防止泄漏的原理

2-3) FEA (有限元法)

FEA是一种模拟，用于针对各种规格标准进行最佳的产品设计及材料选择。此外，还可实现用于避免故障的解决方案活动。分析步骤示例如图Figure3所示。

2-4) O形圈的选择方法

O形圈的用途可分为用于固定部和可动部，必须要根据使用条件选择合适的尺寸、材料，否则将无法获得长期稳定的密封性能，可能在短期内就会发生密封不良。以下为选择时的参考资料。

2-4-1) 主要的O形圈材料种类和特点

适用规格和材料一览表如Table1所示。

2-4-2) 橡胶材料的耐油、耐化学品、耐气性

依据JISK 6258将橡胶浸渍到各药液中，根据浸渍前后的物性对比确认到的耐油、耐化学品、耐气性的结果如Table2所示。

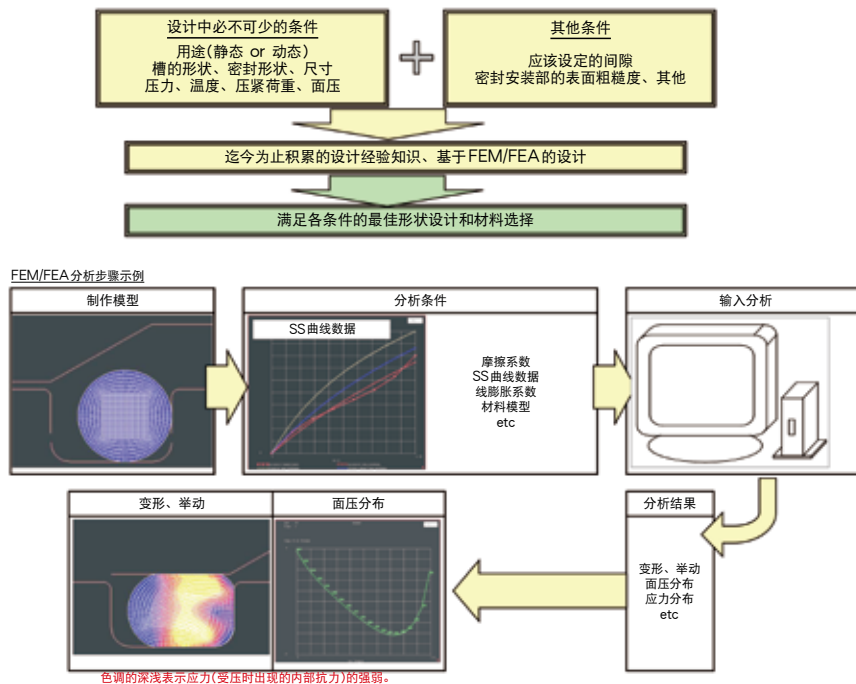


Figure3 FEA分析步骤示例

Table 1 O形圈材料的种类和特点

种类	适用规格 与JIS规格相 当的其它编号	橡胶的种类	华尔卡 材料符号	物性				使用温度 范围℃ (参考)	用途及特点	华尔卡产 品编号
				A型 硬度计硬度	拉伸强度 MPa	伸长率 %	压缩永久 变形 (℃Xhr)			
标准材料	NBR-70-1	丁腈橡胶 (NBR)	B0570	72	17.6	340	20 (120X72)	-35~120	具有耐油、耐热、耐磨损性, 为用于液压 气压的标准材料	640
	NBR-90		B0390	89	16.8	190	16 (120X72)	-35~120	与B0570基本同等, 为具有出色耐压性 的材料	
	NBR-70-2		B0170	71	16.1	310	8 (100X72)	-30~120	适用于灯油、汽车等优异的一般燃料油 用材料	
	EPDM-70	三元乙丙橡胶 (EPDM)	H0970	72	16.2	230	15 (150X70)	-50~150	用于乙二醇、刹车油及动植物油的材料	5640
	—	硅橡胶 (VMQ)	E0170	72	6.0	190	19 (175X22)	-60~200	具有出色的耐热、耐寒性的材料	
	FKM-70	氟橡胶 (FKM)	D2770	73	15.2	300	26 (200X72)	-15~200	具有出色的耐热、耐油性, 为压缩永久 变形较小的材料	4640
主要特殊材料	一般工业用 (ISO)	丁腈橡胶 (NBR)	B0570	72	17.6	340	20 (120X72)	-35~120	具有耐油、耐热、耐磨损性, 为用于液压 气压的标准材料	640
			B1370	70	13.2	210	—	-50~120	具有出色耐寒性的丁腈橡胶	
			B2070	70	14.5	370	13 (100X70)	-20~120	耐油性、耐汽油性尤为突出的丁腈橡胶	
		氢化丁腈橡胶 (HNBR)	B5170	71	24.3	270	14 (150X70)	-30~150	具有出色耐热、耐油、高强度、耐磨损性 的材料	4640
		氟橡胶 (FKM)	D0270	71	13.9	230	4 (175X22)	-15~200	较低压缩永久变形的真空用材料	
			D2570	72	13.6	230	3.8 (175X22)	-15~230	与传统的氟橡胶相比, 其压缩永久变形极 小, 是一款具有出色耐热性的材料	
			D2470	69	21.0	450	30 (175X30)	-12~200	具有出色耐酸性的材料	
			D0290	88	15.0	162	8 (175X22)	-15~200	与D0270基本同等, 为具有出色耐压性 的材料	
			D0970	73	15.7	290	23 (175X22)	0~200	具有出色耐热水、耐碱性的材料	
			D0875	78	18.6	190	8 (175X22)	-30~200	比D0270的耐寒性更为出色的材料	5640
		氟硅橡胶 (FVMQ)	E0470	73	7.8	280	29 (175X22)	-60~200	在低温~高温的燃油、矿油等中表现出色 的材料	
		三元乙丙橡胶 (EPDM)	H0970	72	16.2	230	15 (150X70)	-50~150	具有出色耐蒸汽、耐植物油·刹车油、耐 阻燃性机油的材料	640
		氯丁橡胶 (CR)	J0170	68	19.4	350	20 (100X70)	-30~120	具有出色耐氟利昂气体、耐气候性的材料	
		丁基橡胶 (IIR)	F0075	74	12.3	170	4 (100X70)	-20~150	用于自来水不锈钢管接头密封, 具有出色 耐热水、耐蒸汽性的材料	
		丙烯酸酯橡胶 (ACM)	L0770	71	10.8	200	20 (150X22)	-25~150	比丁腈橡胶更耐高温, 具有出色耐油性的 材料	
	—	聚氨酯橡胶 (AU、EU)	R0490	93	43.0	360	28 (80X70)	-20~80	在耐油、高强度、耐磨损性方面表现最为 出色的材料	TP9640

备注 使用温度范围会因流体、压力、温度等的使用条件和要求性能等而发生变化。

Table2 各种橡胶材料的耐油、耐化学品性及耐气态性评价结果一览表

种类	NBR	HNBR	FKM	聚氨酯	VMQ	EPDM
一般矿油类	A	A	A	A	B	D
水、二醇类	B	A	B	D	D	A
汽油、轻油	A	A	A	A	C	D
有机酸	C	C	D	D	B	D
高浓度无机酸	B	B	A	D	C	B
低浓度无机酸	B	B	A	C	B	A
高浓度碱	B	B	D	D	A	A
低浓度碱	B	B	C	D	A	A
苯、甲苯	C	C	A	D	C	C
乙醇	A	A	A	C	A	A
MEK	D	D	D	D	B	A
醋酸乙酯	D	D	D	C	C	A
臭氧	D	B	A	A	A	A
热水、蒸汽	B	A	B	D	C	A

备注 评价基准是对试验后的体积变化率及其他物性进行综合研究后设定的。

种类	A	B	C	D
评价内容	优	良	中	差
评价指针(体积变化率)	10%以内	11~20%	21~50%	51%以上

2-4-3)规格外O形圈的尺寸选择指南

根据下述 Table3 的压缩率及槽占用率值，计算设定O形圈的粗细(φW)。

计算公式

压缩率=(W-H)/W

槽占用率=(W²×π/4)/(B×H)

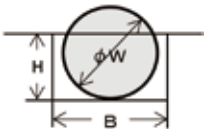


Table3 压缩率及槽占用率值

	用于往复运动	用于旋转运动	用于圆筒面固定	用于平面固定
压缩率(%)	8~18	5~10	10~20	20~30
槽占用率(%)	75~85 (用于固定真空 80~90)			

2-4-4)大口径O形圈的尺寸选择指南

O形圈的内径公差被设定为与直径尺寸成正比例，因此，大口径O形圈的公差范围必然会比较大，而当实际尺寸属正公差一侧时，在向槽内安装时，O形圈可能会因为出现重叠现象而无法安装的情况。

Table4为内径尺寸的设定基准，Table5为粗细尺寸的设定指南。

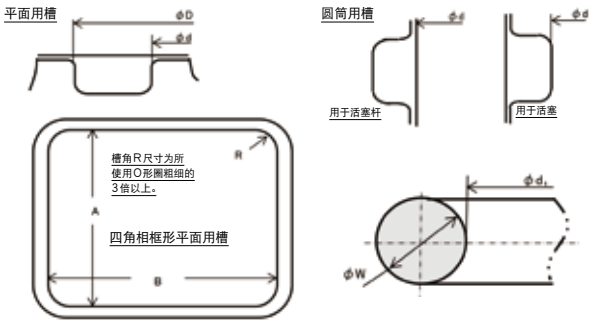


Table4 压缩率及槽占用率值

槽规格	d1 (基准公差为±设定)
平面槽	用于内压 D-2W
	用于外压 0.99d
圆筒槽	用于活塞杆 1.003d
	用于活塞 0.99d
框架平面槽	0.98 L/π L=2(A+B)-8R+2Rπ

Table5 粗细尺寸设定指南

O形圈内径	O形圈粗细
φ 400~ φ 1000	10
φ 1000~ φ 2000	12
φ 2000~	15

备注 建议在选择粗细时需要考虑到法兰面的平行度、翘曲(起伏)及偏芯量等因素。

2-4-5)特殊槽的设计指南

①燕尾槽

在配管法兰及各种容器的盖子等中，当O形圈安装槽为垂直或朝下时，为了防止O形圈脱落而采用此槽。

Table6为用于双燕尾槽的尺寸基准，Table7为用于单燕尾槽的尺寸基准。

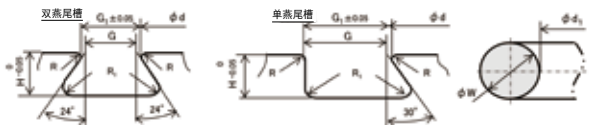


Table6 用于双燕尾槽的尺寸基准

用途	O形圈内径(d1)	H	G	G1	R	R1MAX
用于加压	依据下表“用于单燕尾槽的基准”	0.73~0.83W	0.82~0.85W	0.90~0.93W	0.15~0.5	0.4~1.6
用于真空		0.71~0.76W	0.86~0.88W	0.92~0.95W	0.2~0.4	0.8~1.6

Table7 用于单燕尾槽的尺寸基准

系列	W	H	G	G1	R	R1MAX
P·G	1.9	d=100以下 0.980d	1.5	1.77	1.92	0.2
	2.4		1.9	2.23	2.38	0.5
	3.1		2.5	2.88	3.10	0.3
	3.5		2.8	3.26	3.48	
	5.7		4.5	5.30	5.67	0.5
	8.4		6.7	7.81	8.18	
AS	1.78	d=400以下 0.985d	1.4	1.66	1.81	0.2
	2.62		2.1	2.44	2.66	0.3
	3.53		2.8	3.28	3.50	
	5.33		4.3	4.96	5.25	0.4
	6.98		5.6	6.49	6.78	
	10		8	9.30	9.89	0.8
V	4	基准公差 +0 -1.2% 内压、外压均适用	3.2	3.72	3.94	0.3
	6		4.8	5.58	5.95	0.5
	10		8	9.30	9.89	0.8

②三角槽

在常规的方槽加工空间不够时，有时会采用三角槽。因设计、结构上的原因，容易咬入 O 形圈，因此，在装入时需要充分留意。

Table8 所示为用于三角槽的尺寸基准。

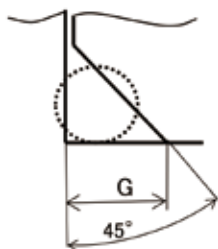


Table8 用于三角槽的尺寸基准

G	O 形圈粗细 × 1.3
---	--------------

2-4-6) 挡圈(防止挤出对策)

流体的压力可能会造成 O 形圈被挤入至缝隙导致其破损，而该部分再次被挤入最终会造成大的缺损，从而导致密封不良。作为上述情况的防止对策，建议配合使用挡圈。

挤出取决于压力、缝隙和橡胶硬度，其关系性如图 Figure4 所示。

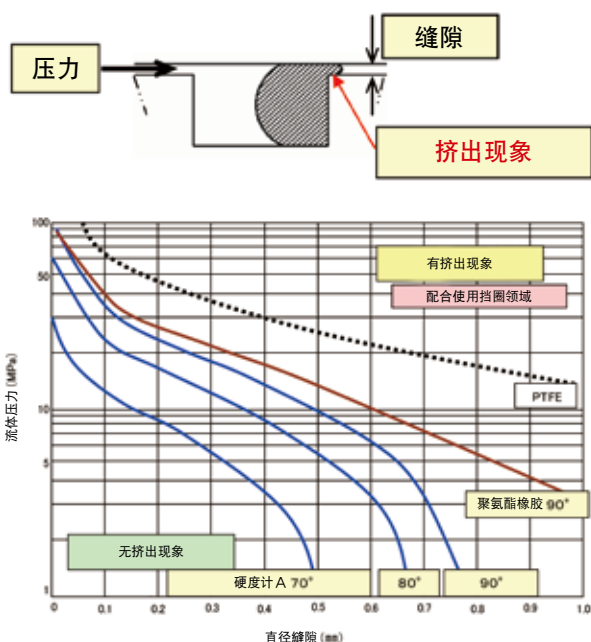


Figure4 挤出极限曲线(橡胶硬度、压力和缝隙之间的关系)

挡圈标准材料 PTFE 的压缩强度较小，容易变形，因此，它是一种保护效果较为出色的材料。但在高压领域，PTFE 材料本身就会发出挤出现象，因此最好是与工程

塑料等高强度材料配合使用。

Table9 所示为挡圈的材料构成和耐压力。但是，还要考虑到缝隙的问题，因此仅供参考。

Table9 (参考)挡圈的材料构成和耐压力

	材料构成	耐压(MPa)
①	PTFE	~ 50
②	带填料 PTFE	~ 100
③	带填料 PTFE + 工程塑料	100 ~
④	带填料 PTFE + 工程塑料 + 金属	200 ~



用于超高压的挡圈构成的功能机制

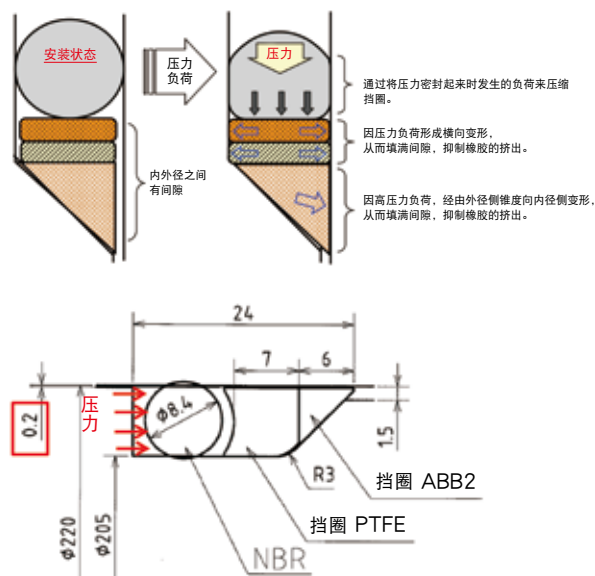


Figure5 FEA模型

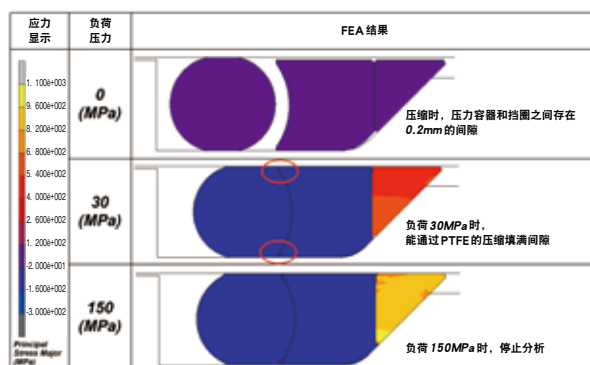


Figure6 FEA结果

使用斜切形时，发生过O形圈挤出至斜切部的缝隙(下图Z)导致破损等情况的问题事例。

对于这个缝隙(Z尺寸)，通过参考AS规格(MS28774)制定了Figure7的容许范围。

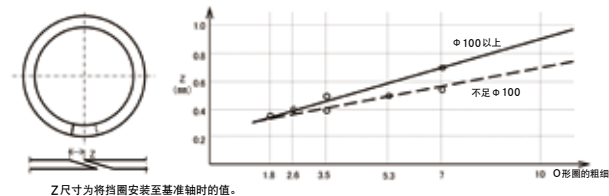


Figure7 圆筒用挡圈的斜切部缝隙的容许范围

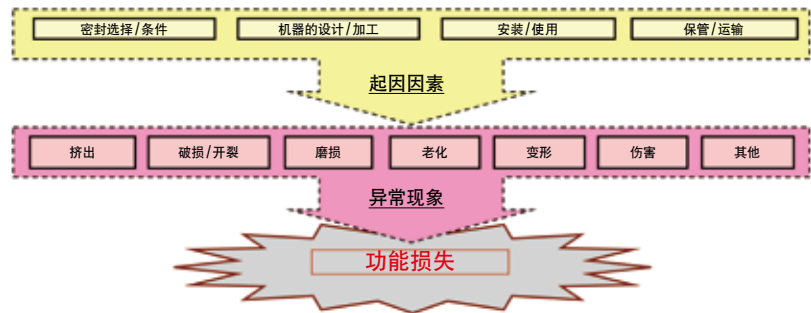
PTFE的线膨胀系数与一般的树脂在同一水平上，特别是在23℃附近有着材料所特有的转移点，发生故障时，需要确认使用位置的环境温度范围，然后在根据以下Table10的线膨胀系数进行尺寸补偿的基础上进行应对处理。

Table 10 温度范围和线膨胀系数的关系

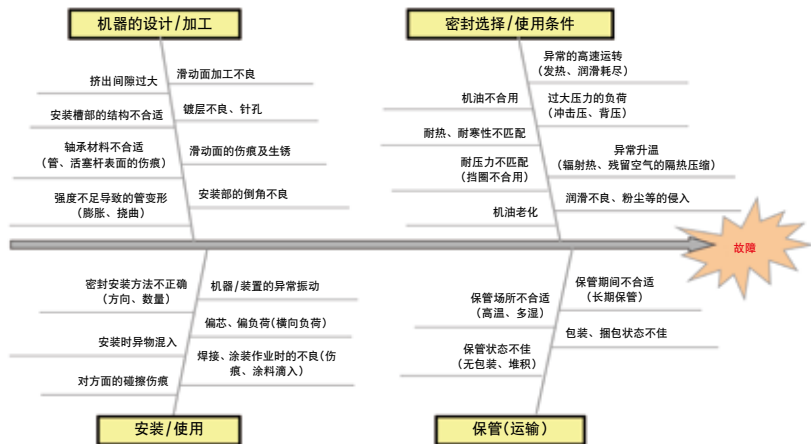
温度范围(℃)	25~100	25~50	25~30	25~20	25~0	25~-50
线膨胀系数(×10-5/℃)	12.4	12.4	16	79	20	13.5

3. 选择错误的主要原因及其对策

3-1)产品故障的起因因素和异常现象流程图



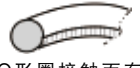
3-2)故障主要原因图



3-3)使用O形圈时的注意事项

- ① O形圈在扭曲的状态下装入时，可能会有磨损或破损的危险，因此，请勿在扭曲的状态下安装O形圈。
- ② 安装时使用润滑脂或润滑油时，会使O形圈发生膨胀，因此，请事先确认其耐受性等问题。
- ③ 棉纱布、劳保手套的线头、切屑、垃圾等会缩短O形圈的寿命，因此，需要防止这些异物、垃圾混入其中。
- ④ O形圈过度拉伸将无法恢复原状，这将导致无法装入机器、或造成泄漏。请勿使用蛮力过度拉伸。
- ⑤ 安装时有可能被螺丝部或边缘部等损伤时，请使用安装夹具(软质金属或树脂制品)进行安装，注意避免O形圈受损。
- ⑥ 有的材料会对人体造成不良影响。用于食品、医药用途时，请事先确认或进行咨询。
- ⑦ 焚烧O形圈有可能会释放出有害气体，因此，请勿焚烧O形圈。

3-4)问题事例及其对策

外 观		原 因	对 策
现象	外 观		
硬化	 整体硬化，弯折时出现裂纹。	· 使用温度超过材料的耐热极限	· 变更为具有出色耐热性的材料 · 降低环境温度
膨润 (软化)	 整体软化膨胀。	· 密封对象物与材料不匹配	· 确认耐受性，更改橡胶材料
		· 溶剂类等清洗剂的残留	· 彻底去除清洗剂
弹性减弱	 以贴合安装槽的状态发生变形	· 在高温条件下使用	· 变更为具有出色耐热性的材料 · 降低密封部的温度
挤出	 圆周边(整体或部分)缺损。	· 安装槽与对象面之间的间隙过大	· 缩小间隙尺寸
		· 承受过大的压力	· 同时使用挡圈
		· O形圈材料的强度不足	· 提高橡胶硬度
伤痕	 圆周面上有摩擦产生的伤痕。	· 安装时被螺纹牙等划伤了圆周边	· 使用保护夹具，避免直接接触螺纹牙等
磨损	 O形圈接触面有磨损。	· 对象面的表面精加工粗糙	· 使对象面粗糙度符合规定
		· <用于可动部时> · 润滑不充分	· 改善润滑状态 · 变更为具有出色耐磨损性的材料
扭曲	 圆周上发生扭曲变形。	· 在扭曲的状态下安装	· 安装时需要注意 · 对O形圈进行新型氟橡胶处理
		· <用于可动部时> · 运动速度过快 · 发生偏心运动	· 变更密封垫形状 · 消除偏心运动
咬入	 在圆周上有部分被切除、或被挖去。	· 安装时由于孔部、螺纹牙部、端部边缘等而造成缺损	· 注意端部等的倒角 · 安装时使用保护夹具等
		· 在压缩量过大的状态下强行安装	· 修改槽尺寸或O形圈尺寸
臭氧裂纹	 表面出现裂纹状龟裂。	· 在伸展状态下在空气中放置	· 请勿在伸展状态下放置 · 在适当的包装状态下保存
		· 臭氧浓度过高	· 变更为具有出色耐臭氧性的材料

4. 结语

本报对选择O形圈时的思路、选择方法、因选择失误所造成的问题事例及其对策进行了介绍。

对于其中没有提到的O形圈的选择，请参阅本公司“O形圈”产品目录(No.Lc01)及“华尔卡手册”2011年修订版。

对于这些资料中没有记载的选择条件，请咨询本公司。

了解O形圈的正确选择思路和步骤，正确地进行选择，可以防止因O形圈引起的泄漏问题。衷心希望本报能在这方面对您有所帮助。

5. 参考文献

1)华尔卡评论编辑室，
华尔卡评论VOL.31 No.3 No.4(1987)
2)华尔卡手册技术篇 (2010)
3)八木义则，弹性体密封技术资料(2014)



保科 正次
营业本部
技术解决方案组