

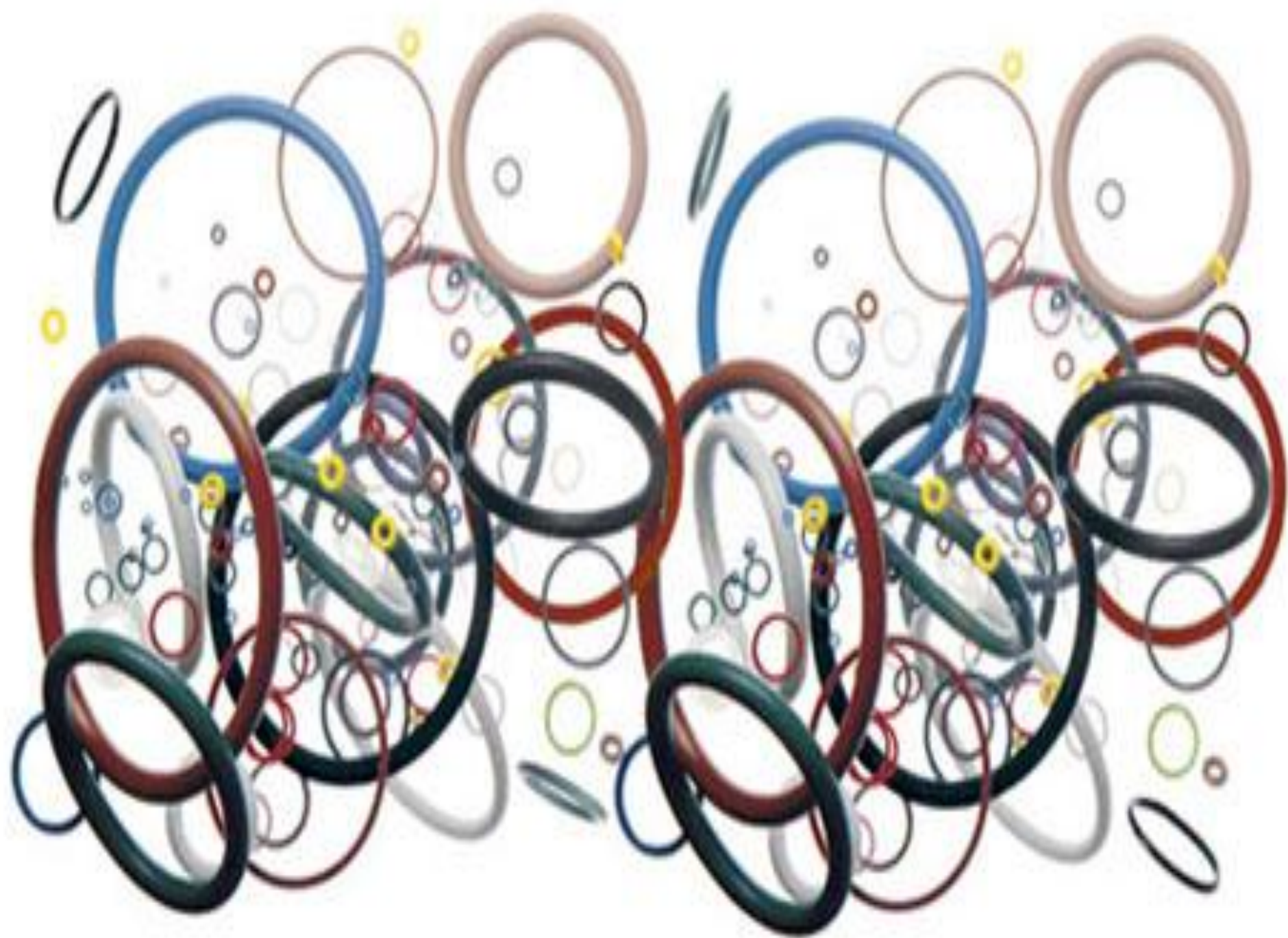
O形密封圈的性能与应用

编写：齐建军

批准：

审核：

2011年2月19日	修订内容	修订者	审核



O型圈适用范围

- O型密封圈适用于装在各种机械设备上，在规定的温度、压力、以及不同的液体和气体介质中，于静止或运动状态下起密封作用。在机床、船舶、汽车、航空航天设备、冶金机械、化工机械、工程机械、建筑机械、矿山机械、石油机械、塑料机械、农业机械、以及各类仪器仪表上，大量应用着各种类型的密封元件。O型密封圈主要用于静密封和往复运动密封。用于旋转运动密封时，仅限于低速回转密封装置。O型密封圈一般安装在外圆或内圆上截面为矩形的沟槽内起密封作用。O型密封圈在耐油、酸碱、磨、化学侵蚀等环境依然起到良好密封、减震作用。因此，O型密封圈是液压与气压传动系统中使用最广泛的一种密封件。

O形圈的定义

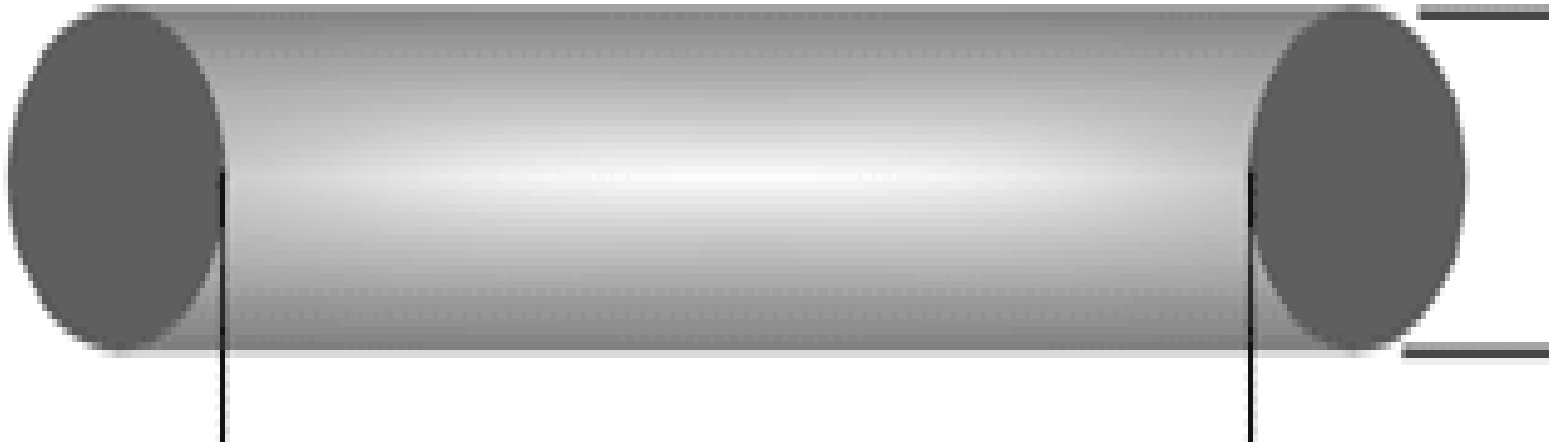
- O形圈是安装在沟槽中，适量压缩的O形截面的密封环。
- 在各种动密封和静密封的应用中，O形圈是一种有效且经济的密封元件。
- O形圈在模具中硫化成形。

O形圈的优点

- 简单，整体式沟槽设计减少了零件与设计成本。
- 设计紧凑，减小了零件尺寸。
- 容易安装，降低了出差错的风险。
- 适用于多种场合：动密封、静密封、单作用或双作用。
- 大量标准尺寸在全球范围内可购买现货，方便维护与修理。

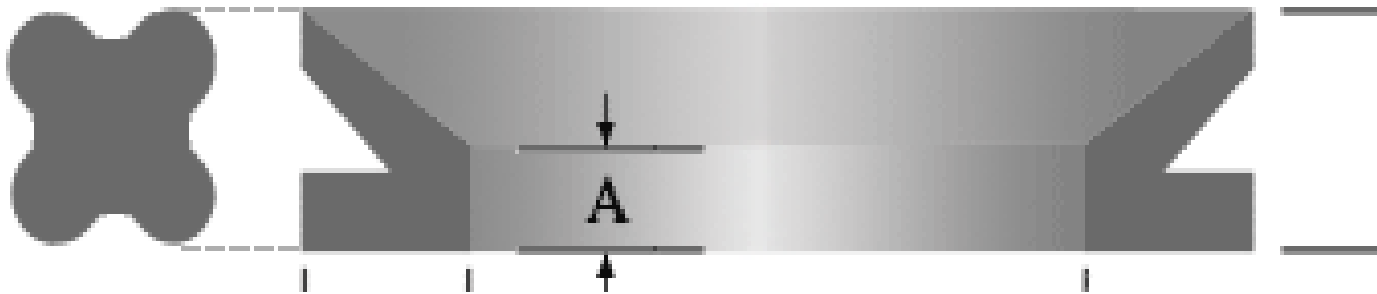
常见O形圈的形状

- O形橡胶密封圈



常见O形圈的形状

- 星形（X）及V形橡胶密封圈

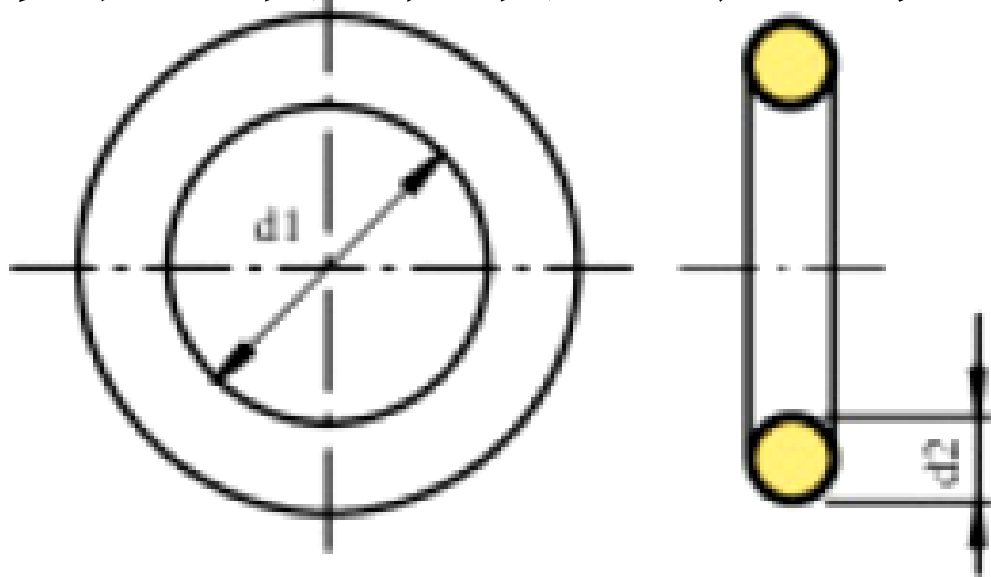


常见O形圈的形状

- 平垫橡胶密封圈

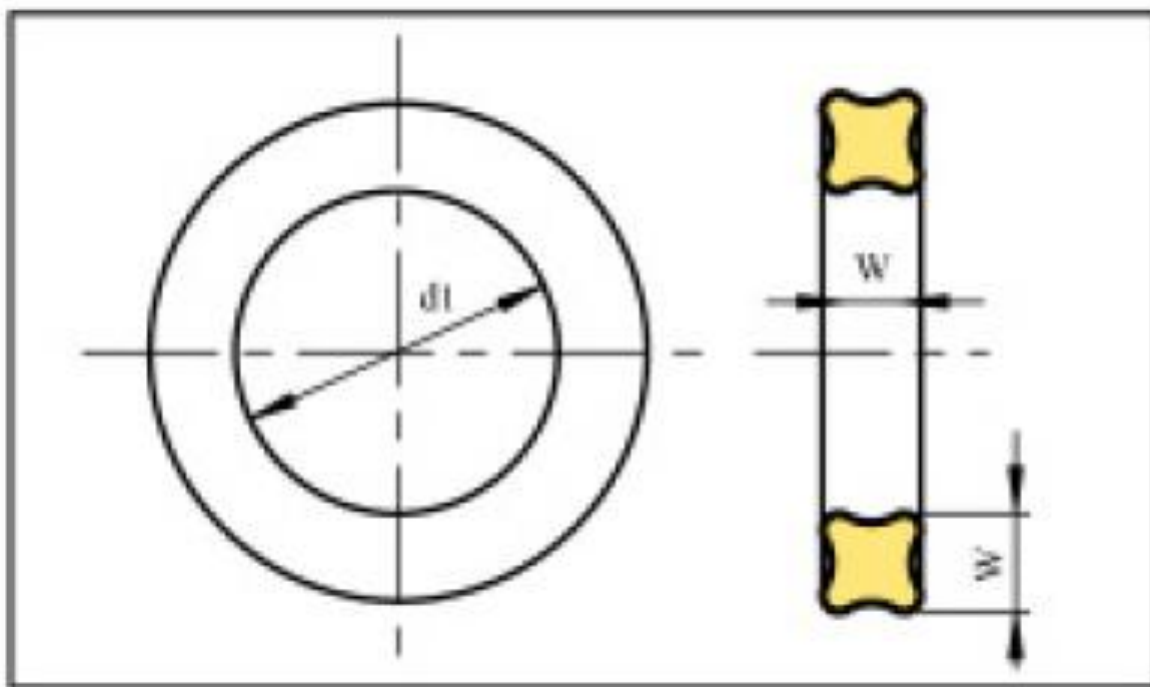


O形圈的标准标注尺寸



- d_1 是O形圈内径
- d_2 是O形圈的线径

星形圈的标准标注尺寸



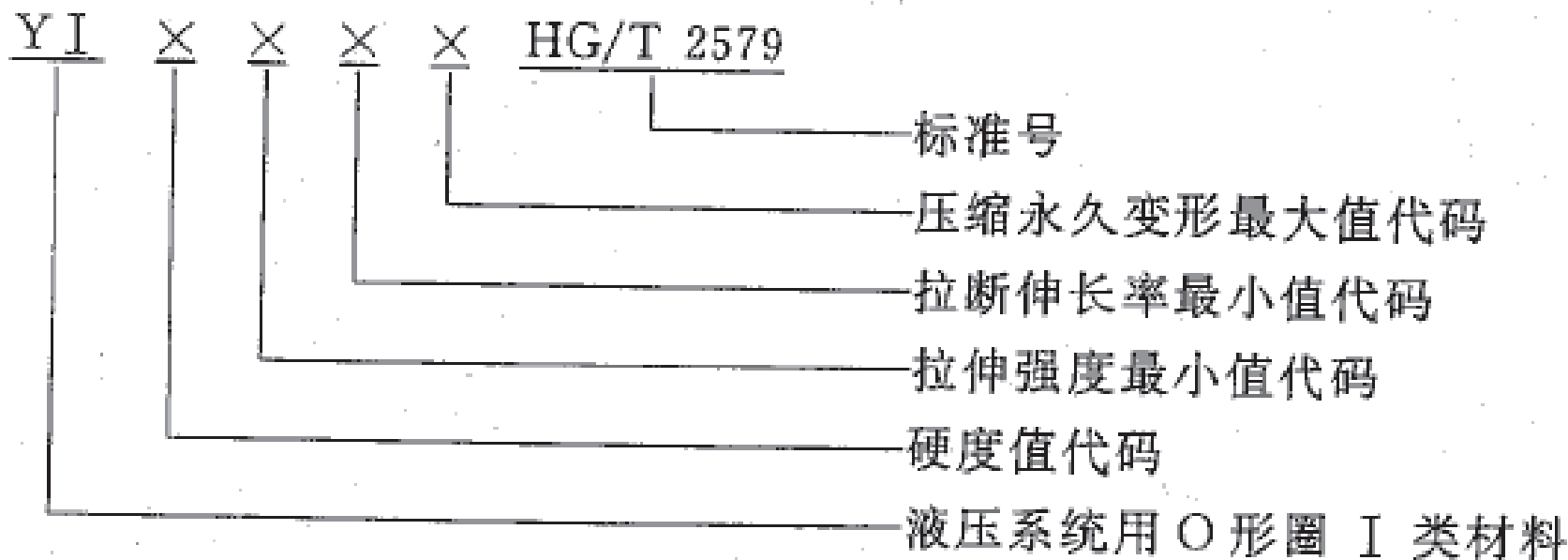
D_1 是星形圈的内径

W 是星形圈的高度

GB/T3452.1-2005的表示方法

- O形圈 7.5×1.8 -G-N ,
- 7.5——内径
- 1.8——断面直径
- G——系列
- N——等级
-

材料采用HG/T2579-2008的方法



O形圈的常用标准材料

- **丁腈橡胶密封圈（NBR）**：适合于石油系液压油、甘醇系液压油、二酯系润滑油、汽油、水、硅润滑脂、硅油等介质中使用。是目前用途最广、成本最低的橡胶密封件。其材料绝缘性能差，强力和弹性较低。
- 不适用于极性溶剂之中，例如酮类、臭氧、硝基烃、丁酮（**MEK**）氯仿和酸性液体。
- 一般使用温度范围为 $-40\sim 100^{\circ}\text{C}$ （短时间能耐 125°C ）。
- 硬度范围：邵氏A硬度40~90度。
- 颜色：黑色、棕色、绿色、白色、红色、黄色、蓝色、橙色、灰色。

O形圈的常用标准材料

- **氢化丁腈橡胶密封圈（HNBR）**：具有极佳的抗腐蚀、抗撕裂和抗压缩变形特性，耐臭氧、耐阳光、耐天候性较好。比丁腈橡胶有更佳的抗磨性。适用于洗涤机械、汽车发动机系统及使用新型环保冷媒 R134a 的制冷系统中。
- 不用于醇类、酯类或是芳香族的溶液中。
- 一般使用温度范围为 $-40\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 硬度范围：邵氏A硬度55~90度。
- 颜色：黑色、绿色、蓝色、棕色、棕红色、灰色。

O形圈的常用标准材料

- **硅橡胶密封圈（SIL）**：具有极佳的耐热、耐寒、耐臭氧、耐大气老化性能。有很好的绝缘性能。但抗拉强度较一般橡胶差且不具耐油性。适用于家用电器如电热水器、电熨斗、微波炉等。还适用于各种与人体有接触的用品，如水壶、饮水机等。
- 不用于大部份浓缩溶剂、油品、浓酸及氢氧化钠中。
- 一般使用温度范围为 $-55\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 硬度范围：邵氏A硬度25~90度。
- **颜色**：黑色、棕色、绿色、白色、红色、红棕色、黄色、蓝色、橙色、透明、灰色等。

O形圈的常用标准材料

- **氟素橡胶密封圈（FKM、FPM）**：耐高温性优于硅橡胶，有极佳的耐候性、耐臭氧性和耐化学性，耐寒性则不良。对于大部份油品及溶剂都具有抵抗能力，尤其是酸类、脂族烃、芳香烃及动植物油。适用于柴油发动机、燃料系统及化工厂的密封需求。
- 不用于酮类、低分子量的酯类及含硝的混合物。
- 一般使用温度范围为：静密封 $-26\sim 232\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；动密封 $-15\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 硬度范围：邵氏A硬度 $50\sim 90$ 度。
- 颜色：黑色、棕色、绿色、白色、棕红色、黄色、蓝色等。

O形圈的常用标准材料

- **氟硅橡胶密封圈（FLS）**：其性能兼有氟素橡胶及硅橡胶的优点，耐油、耐溶剂、耐燃料油及耐高低温性均佳。能抵抗含氧的化合物、含芳香烃的溶剂及含氯的溶剂的侵蚀。一般用于航空、航天及军事用途。
- 不暴露使用于酮类及刹车油中。
- 一般使用温度范围为 $-50\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 硬度范围：邵氏A硬度45~80度。
- 颜色：一般有黄色、蓝色。

O形圈的常用标准材料

- **三元乙丙橡胶密封圈（EPDM）**：具有很好的耐候性、耐臭氧性、耐水性及耐化学性。可用于醇类及酮类，还可用于高温水蒸气环境之密封。适用于卫浴设备、汽车散热器及汽车刹车系统中。
- 不建议用于食品用途或是暴露于矿物油之中。
- 一般使用温度范围为 $-55\sim 125^{\circ}\text{C}$ （采用过氧硫化可高至 150°C ）。
- 硬度范围：邵氏A硬度 $40\sim 90$ 度。
- 颜色：黑色、棕色、绿色、蓝色、白色、棕红色、黄色、橙色、灰色。

O形圈的常用标准材料

- **氯丁橡胶密封圈（CR）**：耐阳光、耐天候性能特别好。不怕二氯二氟甲烷和氨等制冷剂，耐稀酸、耐硅脂系润滑油，但在苯胺点低的矿物油中膨胀量大。在低温时易结晶、硬化。适用于各种接触大气、阳光、臭氧的环境及各种耐燃、耐化学腐蚀的密封环节。
- 不建议使用于强酸、硝基烃、酯类、氯仿及酮类的化学物之中。
- 一般使用温度范围为 $-40\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，短时间可至 $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 硬度范围：邵氏硬度 $30\sim 90$ 度。
- 颜色：黑色、白色、黄色、蓝色。

O形圈的常用标准材料

- **丁基橡胶密封圈（IIR）**：气密性特别好，耐热、耐阳光、耐臭氧性佳，绝缘性能好；对极性溶剂如醇、酮、酯等有很好的抵抗能力，可暴露于动植物油或可氧化物中。适合于耐化学药品或真空设备。
- 不建议与石油溶剂、煤油或芳烃同时使用。
- 一般使用温度范围为 $-50\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 硬度范围：邵氏A硬度50~70度。
- 颜色：黑色。

O形圈的常用标准材料

- **聚丙烯酸酯橡胶密封圈（ACM）**：对油品有极佳的抵抗力, 耐高温、耐候性均佳，但机械强度、压缩变形率及耐水性稍差。一般用于汽车传动系统及动力转向系统之中。
- 不适用于热水、刹车油、磷酸酯之中。
- 一般使用温度范围为 $-15\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，短时间可以达到 $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，特殊材料可达 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 硬度范围：邵氏A硬度 $45\sim 80$ 度
- 颜色：黑色、白色、橙色。

O形圈的常用标准材料

- **天然橡胶密封圈（NR）**：具有很好的耐磨性、弹性、扯断强度及伸长率。但在空气中易老化，遇热变黏，在矿物油或汽油中易膨胀和溶解，耐碱但不耐强酸。适合于在汽车刹车油、乙醇等有氢氧根离子的液体中使用。
- 不适合于紫外线、氧气、臭氧中。
- 一般使用温度范围为 $-20\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，短时间可达 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 硬度范围：邵氏A硬度 $40\sim 90$ 度。
- 颜色：黑色。

O形圈的常用标准材料

- **聚氨脂橡胶密封圈（AU、EU）**：聚氨脂橡胶可分两类：聚酯型（AU）聚醚型（EU）。聚氨脂橡胶的机械性能非常好，耐磨、耐高压性能均远优于其它橡胶。耐老化性、耐臭氧性、耐油性也相当好，但高温易水解（特别是AU）。一般用于耐高压、耐磨损密封环节，如液压缸。
- 不适用于高温环境中。
- 一般使用温度范围为 $-40\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，短时间可用于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 硬度范围：邵氏A硬度60~93度。
- 颜色：黑色、透明、绿色、橙色。

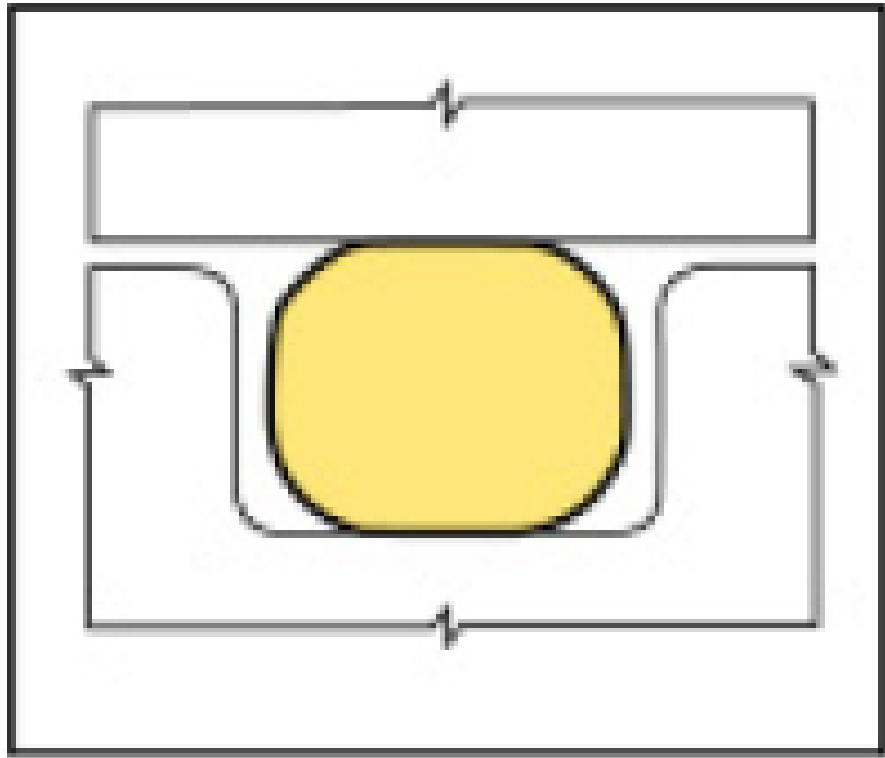
O形圈的常用标准材料

- **全氟橡胶（FFKM）**：非常优异的耐化学腐蚀性能，耐酸、碱、酮、酯、醚、强氧化剂等绝大多数化学品。最高耐热可到320℃。通常用于终极性的解决密封问题，价格为一般橡胶材质的近百倍，非常昂贵。
- 一般使用温度范围为-25~240℃。有些特殊的全氟橡胶可用到320℃。

O形圈的密封机理

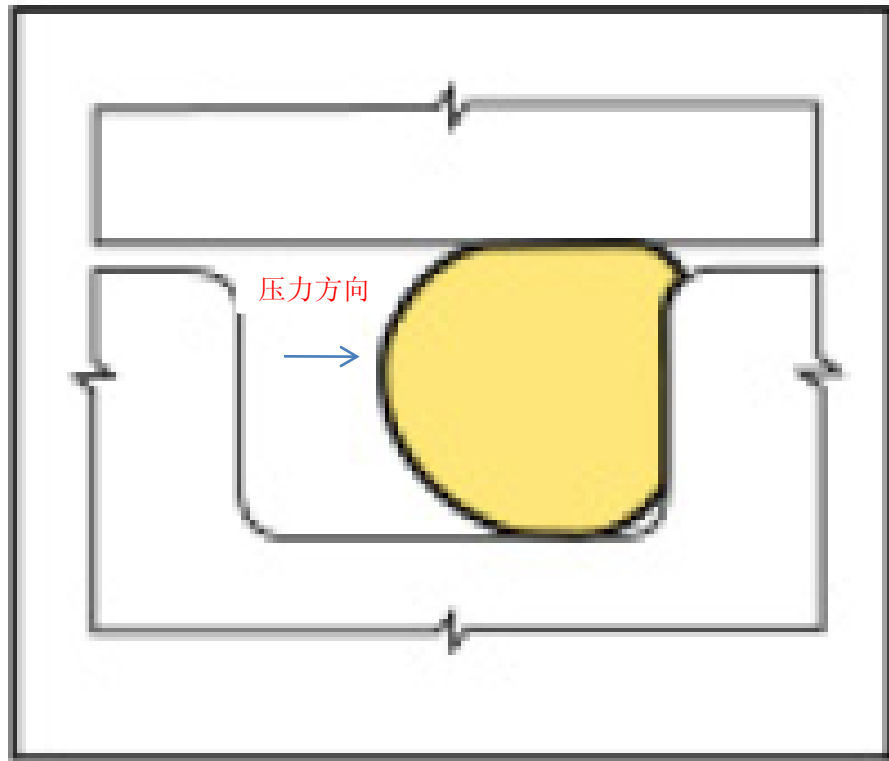
- 橡胶密封圈可以想象成为不可压缩的、具有提高表面张力的“高粘度流体”。不论是受周围机械结构的机械压力作用、还是受液压流体传递的压力作用，这种“高粘度流体”在沟槽中“流动”，形成“零空间”，或者说阻止了被其密封的流体的流动。橡胶的弹性补偿了制造和装配公差，其材料内部的弹性记忆是维持密封的重要条件。

O形圈装入沟槽时的形状



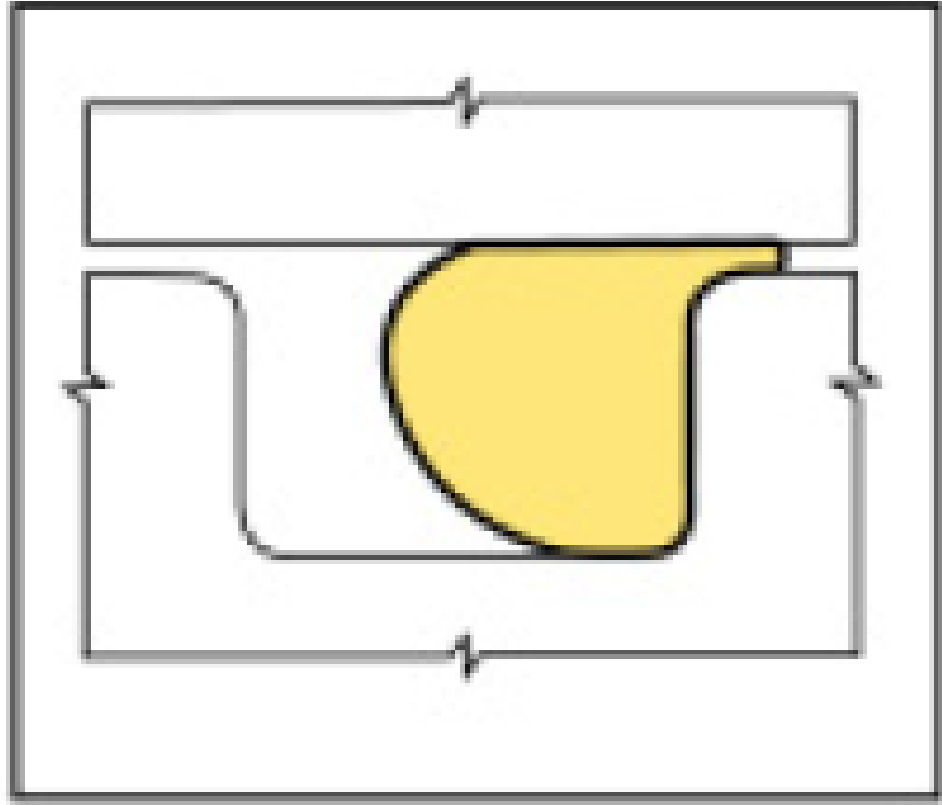
- O形圈安装后，未施加系统压力。此时O形圈受沟槽的机械压力，其截面已不是圆形，他关闭了流体的通道。

O形圈受到系统压力时的形状



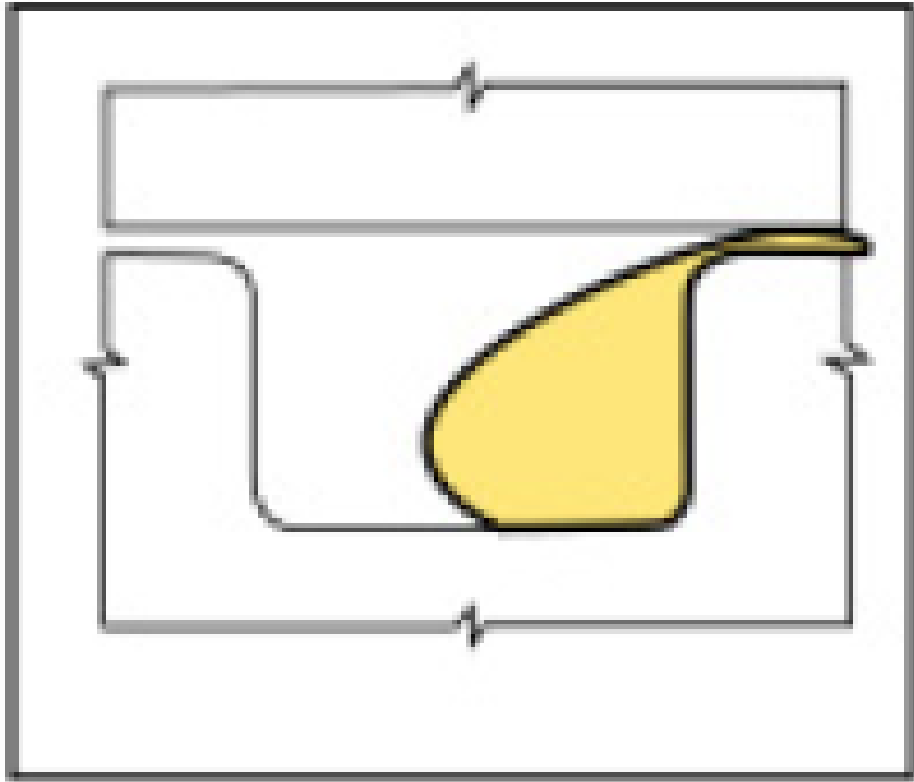
- 在系统压力下，O形圈被迫挤向（但未挤进缝隙）配合面之间的狭窄间隙，从而获得了更大的接触面积和密封应力。

O形圈挤出时的形状



- O形圈所受压力达到了它的压力极限，有一小部分密封材料被挤进了沟槽间隙。

O形圈失效时的形状



- 进一步加大系统压力，密封件的表面张力已不足以阻止“流动”，材料挤出到开放的通道或间隙中，导致O形圈挤出失效。

O形圈的安装注意事项

- 基本要求：
- 安装O形圈前检查一下各项
 - 1.引入角是否按图纸加工？
 - 2.内径是否去除毛刺？锐边是否倒圆？
 - 3.加工残余，如碎屑、脏污、外来颗粒等，是否已去除？
 - 4.螺纹尖端是否已遮盖？
 - 5.密封件和零件是否已涂润滑脂或润滑油？（注意要保证与弹性体的介质相容性，最好用所密封的流体来润滑）
 - 6.不得使用含固体添加剂的润滑脂，如二硫化钼、硫化锌。

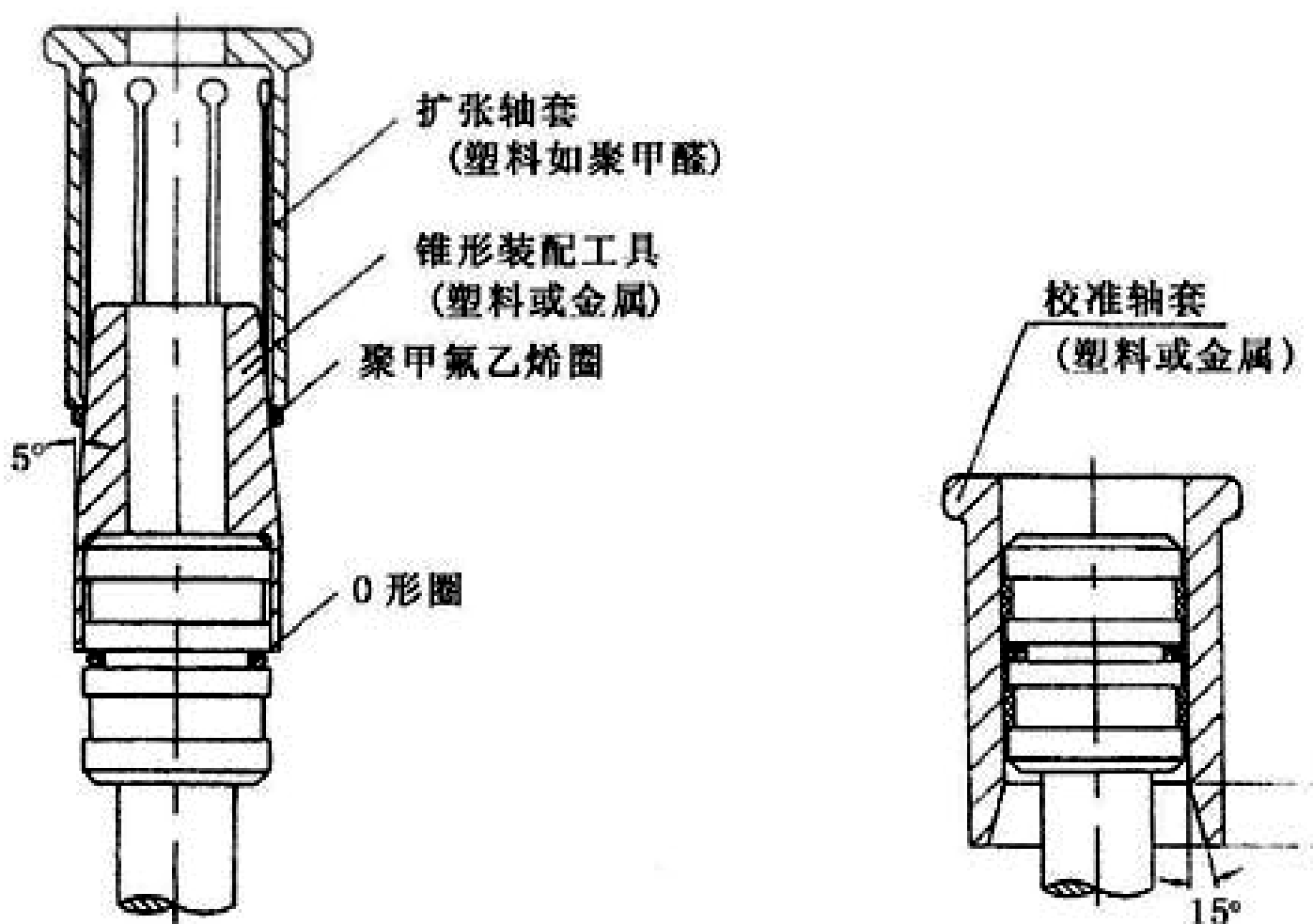
手工安装O形圈注意事项

- 1.使用无锐边的工具；
- 2.保证O形圈不扭曲，使用辅助工具保证正确定位；
- 3.尽量使用安装辅助工具；
- 4.不得过量拉伸O形圈；
- 5.对于用密封条粘接成的O形圈，不得在连接处拉伸。

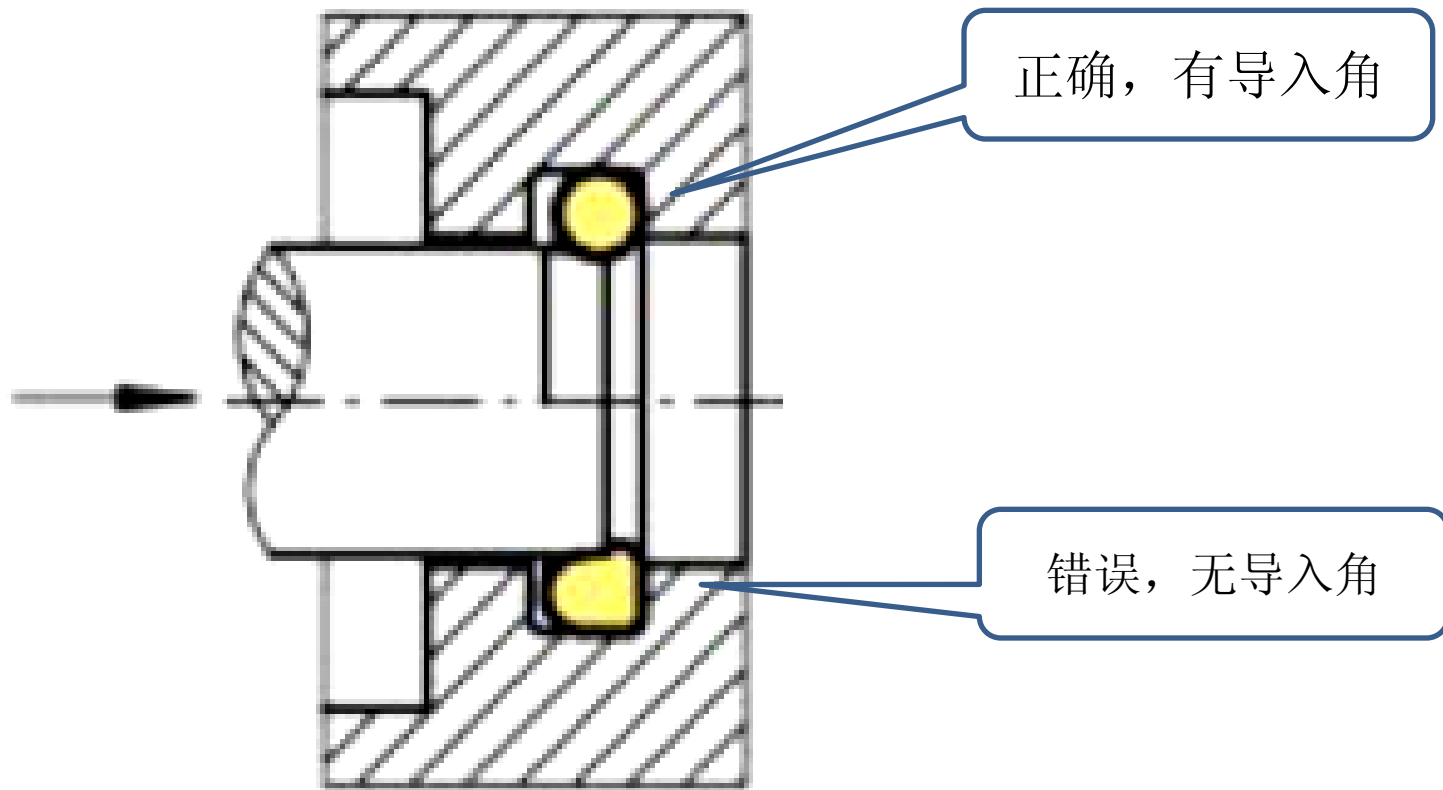
O形圈过螺纹、花键安装

- 当O形圈拉伸后，要通过螺纹、花键、键槽等时，必须使用安装心轴（导向套管见下图）。该心轴可用较软的金属或塑料制成，并不得有毛刺和锐边。

O形圈安装心轴工具

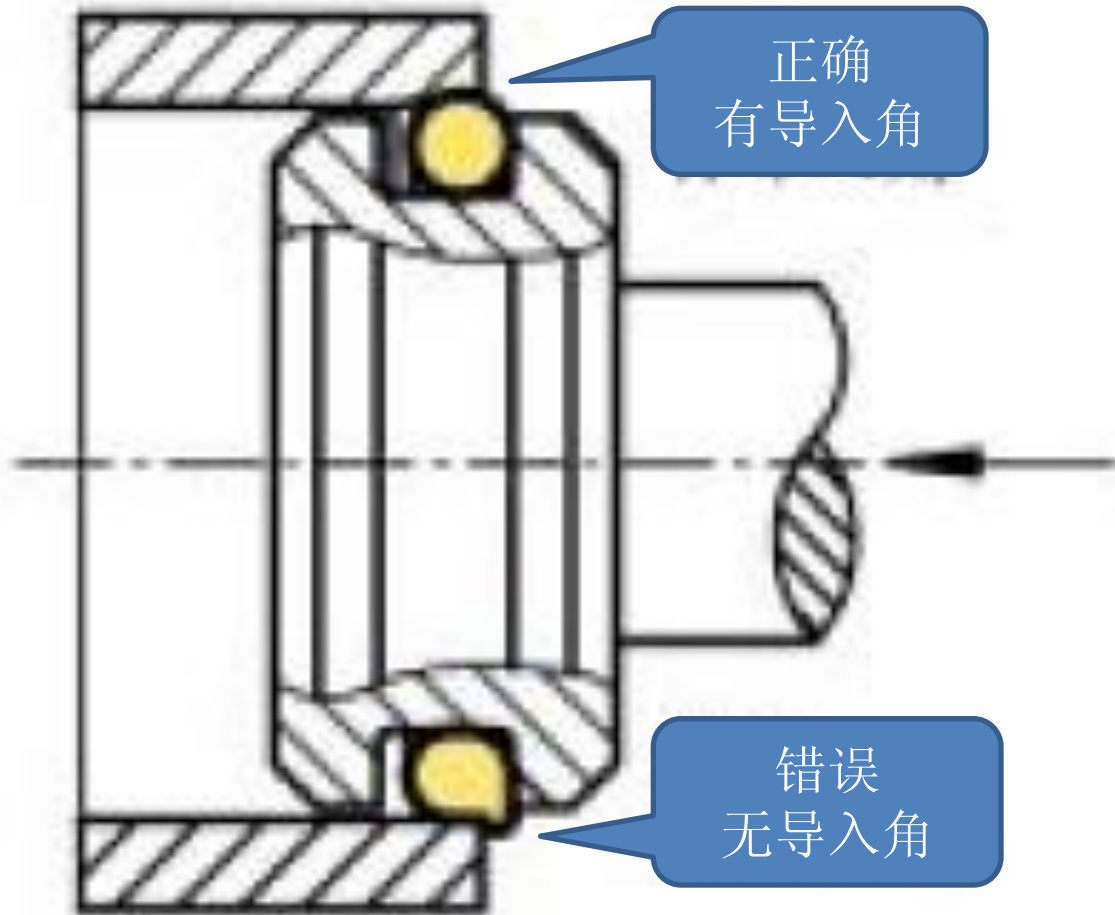


几种常见安装方法



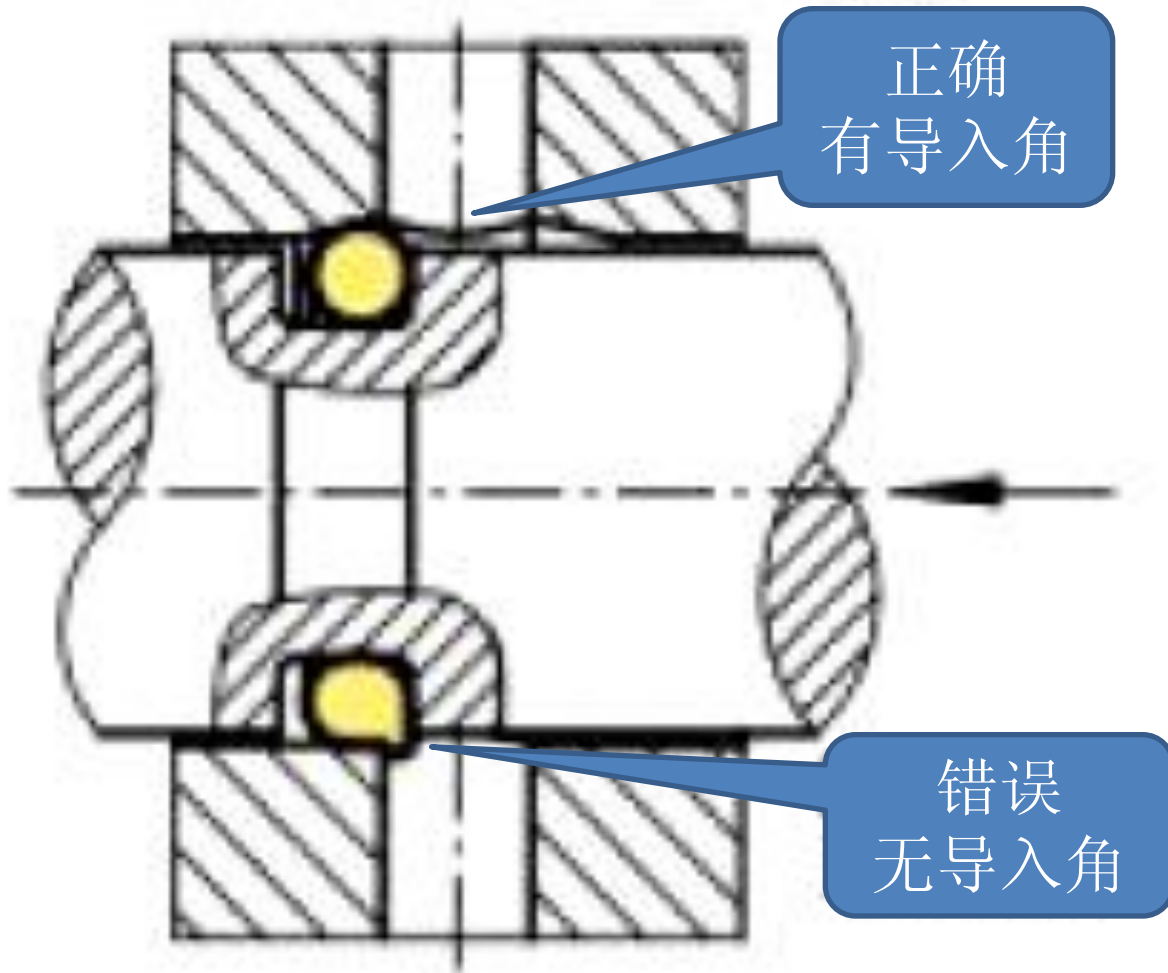
在圆柱的外圆上安装O形圈

几种常见安装方法



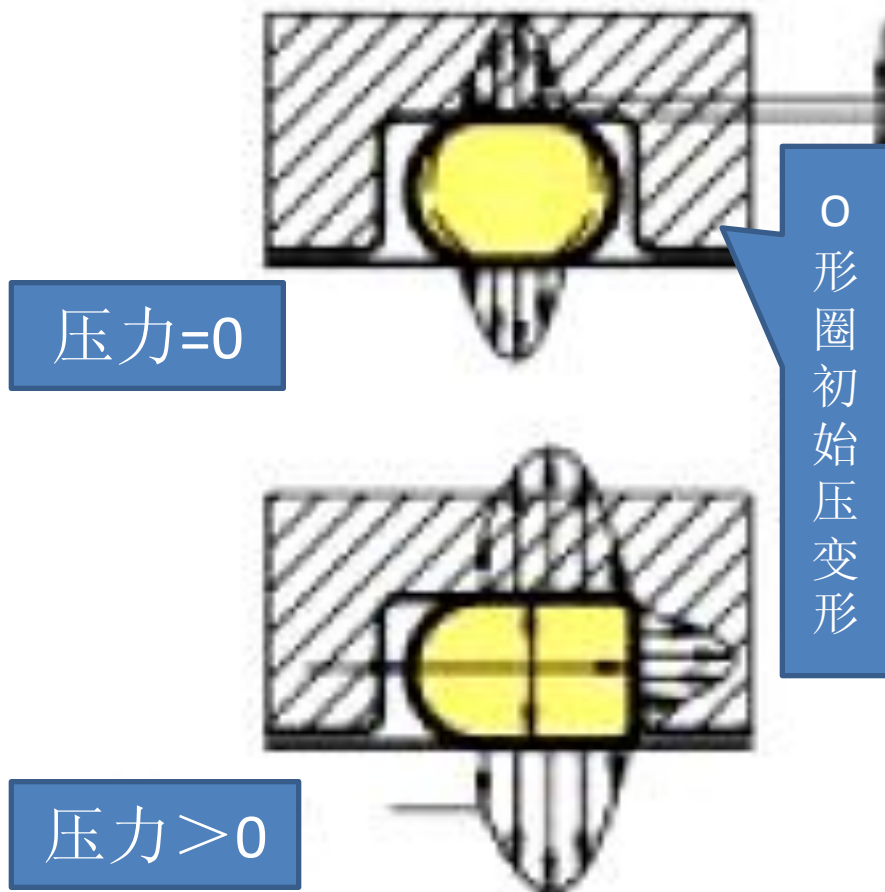
在活塞安装O型圈

几种常见安装方法



横截面上过孔的O型圈

O形圈初始和工作时受力情况



O形圈装入沟槽时和在工作时的接触压力

O形圈的压缩率

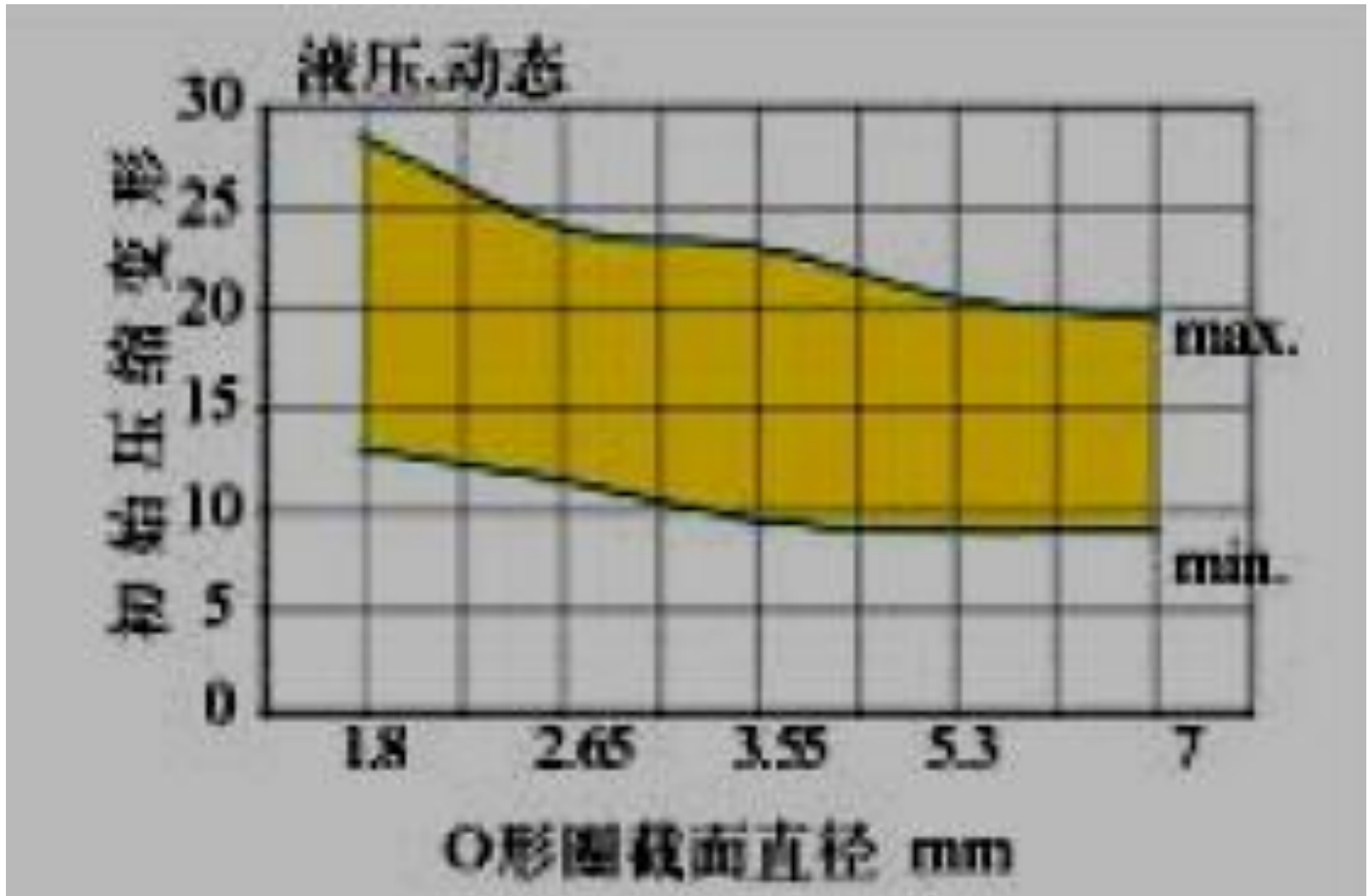
- O形圈在沟槽中的初始变形（挤压量）对其密封作用是：
 1. 获得初始密封接触应力；
 2. 补偿产品公差（在间隙配合中连接二者）；
 3. 保证一定的摩擦力；
 4. 补偿永久压缩变形（损失）；
 5. 补偿磨损。

初始变形量与截面直径（d2）的比例

- 动密封应用：6%至20%
- 静密封应用：15%至30%

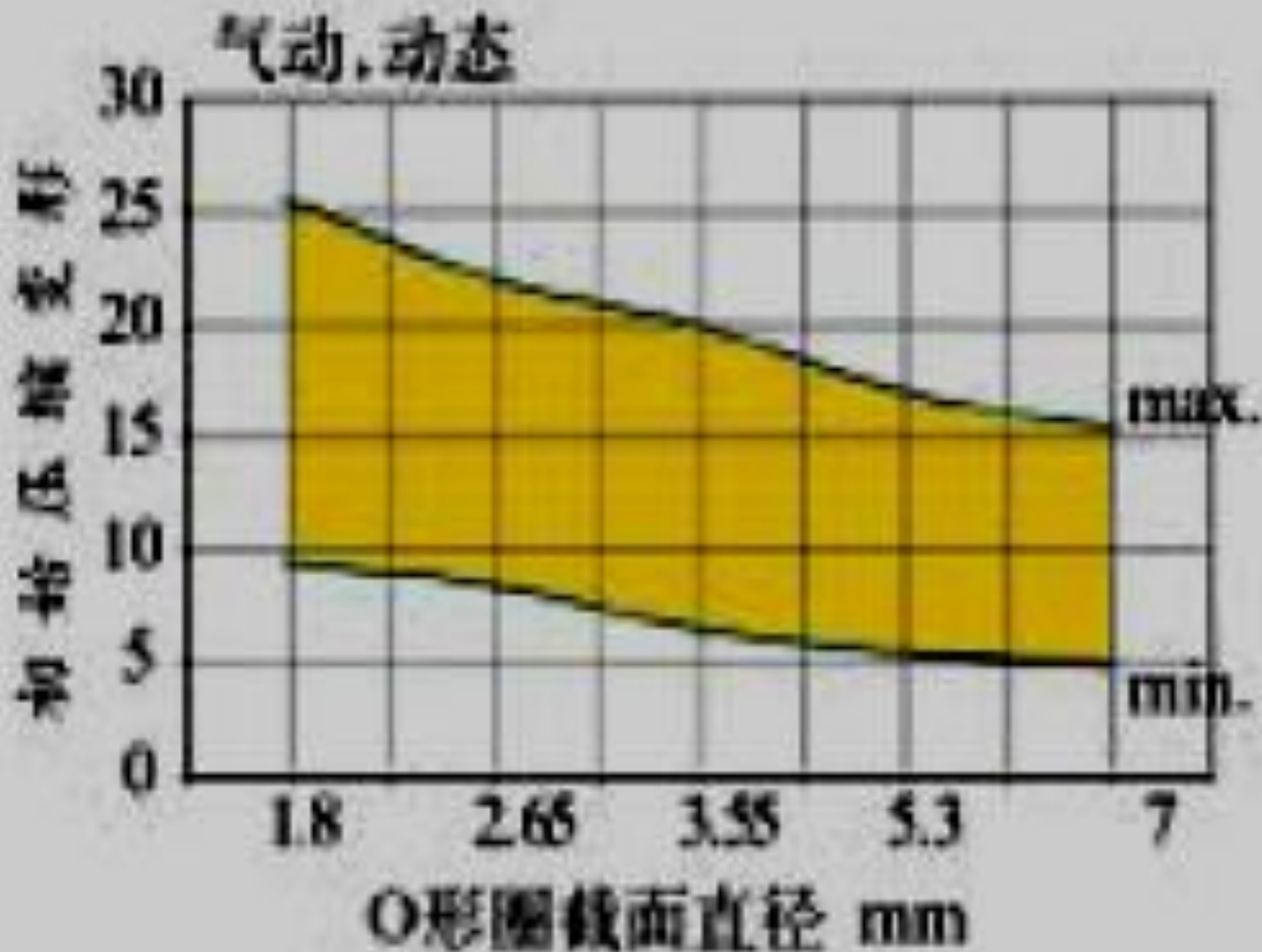
O形圈在沟槽中的初始压缩量合格要求

ISO3601-2标准

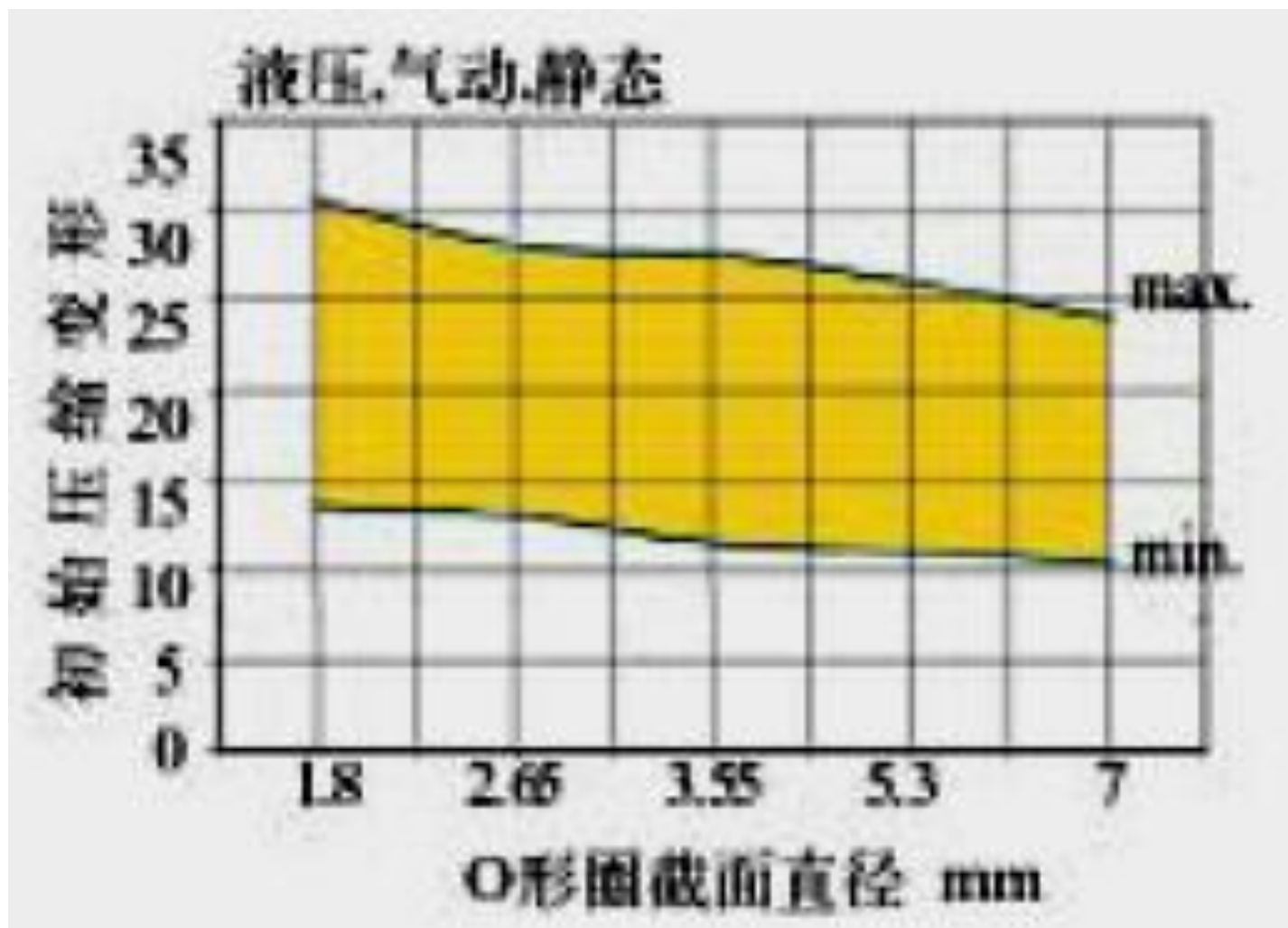


O形圈在沟槽中的初始压缩量合格要求

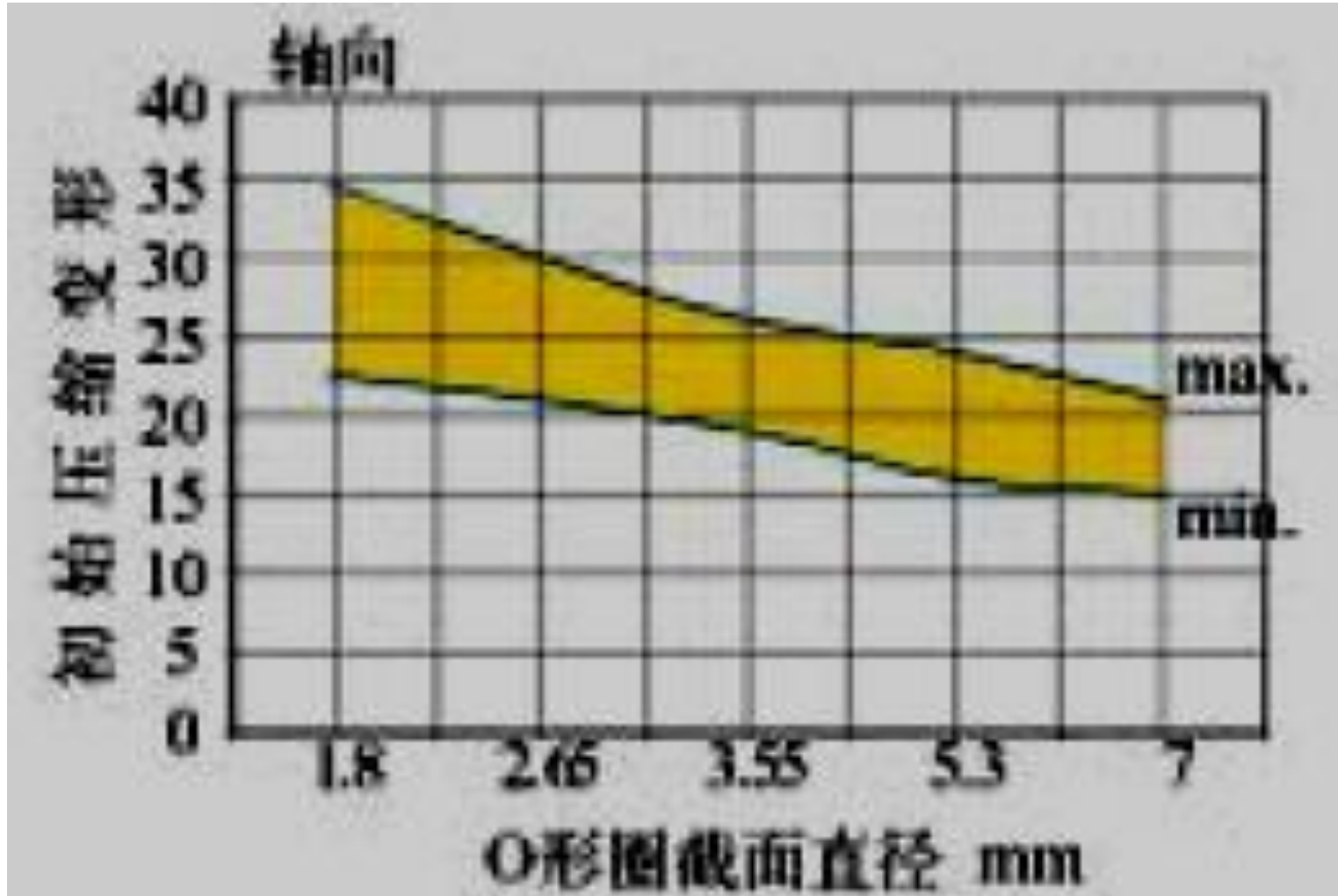
ISO3601-2标准



O形圈在沟槽中的初始压缩量合格要求 ISO3601-2标准



O形圈在沟槽中的初始压缩量合格要求 ISO3601-2标准



关于O形圈压缩与拉伸的注意事项

- 1.由于初始变形的程度不同，以及密封材料的硬度不同，O形圈的压缩力的大小也不同
- 2.拉伸与压缩时O形圈在沟槽中安装的两种形态。
在径向密封的结构配制中，O形圈在内沟槽中（作为“外圆密封”），O形圈必须受到拉伸，且其内径拉伸后大于沟槽的外径。在安装后的状态，O形圈最大拉伸量为3%（内径 $>50\text{mm}$ ）或5%（内径 $<50\text{mm}$ ）。

关于O形圈压缩与拉伸的注意事项

- 当O形圈装在外沟槽中（作为“内圆密封”），O型圈沿圆周周长方向被压缩。在安装后的状态，其最大周长压缩量1%。若超过以上拉伸或压缩量，会导致O形圈截面尺寸的过度增加或减少，这会影响O形圈的工作寿命。O形圈沿周长方向拉伸1%，会导致其截面积尺寸缩小0.5%。

O形圈的使用注意事项

- O形圈可以广泛应用在各种环境中，环境的温度、压力、速度和介质决定了密封材料的选择。

1.工作压力：

静密封

内径大于50mm的O形圈在5MPa以下工作时，不需要挡圈；内径小于50mm的O形圈在10MPa以下工作时，不需要挡圈；（与材料硬度、截面积。间隙有关）40MPa至10MPa以内必须使用挡圈，50MPa以内，使用特殊挡圈。

动密封

压力小于5MPa的往复运动，不需要使用挡圈；大于5MPa，必须使用挡圈。

O形圈的使用注意事项

2.速度（与材料、应用有关）

往复运动速度最大0.5m/s；旋转运动速度最大0.5m/s；

3.温度

-60℃至325℃（与材料种类和介质相容性有关）

在检修更换O形圈评估时，极端温度和连续工作温度都要予以考虑，由于摩擦生热造成的温度升高，要特别注意。

4.介质

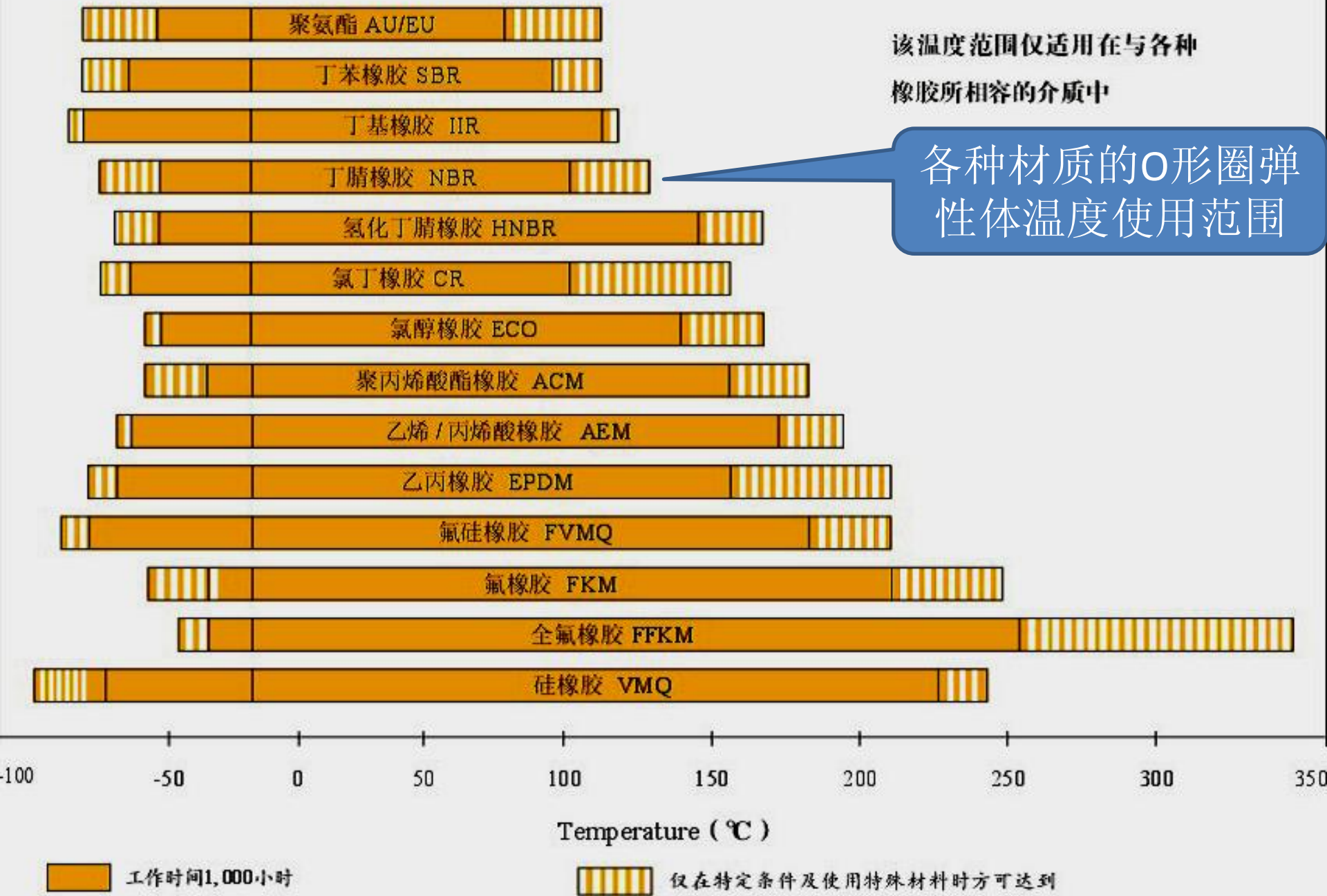
介质的不同所用的O形圈材质也不同，确定O形圈接触密封的液体、气体的化学成分，再根据要求选用何种材质的O形圈。

常用材料标准缩写及参数

橡胶名称	国际标准缩写	硬度范围 (邵A)	适用温度 (°C)	标准材料	
丁腈橡胶	NBR	40~93	-55~150	N7096、N8000、N9000	
羧酸腈橡胶	XNBR	50~90	-20~125	X7000	
氟橡胶	FKM	50~90	-44~275	V7500、V8033、V9000	
乙丙橡胶	EPDM/EPM	40~90	-55~150	E7050、E7002	
氢化丁腈橡胶	HNBR	55~90	-55~150	H7000、H8300	
硅橡胶	VMQ	25~90	-100~300	S7000、S7031	
氯丁橡胶	CR	30~90	-40~125	C7000	
氟硅橡胶	FVMQ	45~80	-60~232	F7004、F8004	
聚氨酯	AU/EU	60~95	-80~100	U7000、U7005	
氯醇橡胶	CO/ECO/GECO	50~80	-40~135	D7000	
丁苯橡胶	SBR	50~70	-40~70	B7000	
丁基橡胶	IIR	50~70	-55~100	I7000	
天然橡胶	NR	40~90	-50~100	A4000	
乙烯/丙烯酸橡胶	AEM	40~85	-30~175	G7000	
聚丙烯酸酯橡胶	ACM	45~80	-25~175	P7000	
全氟醚橡胶	FFKM	75~91	-25~327	Kalrez® 1050LF Kalrez® 6375	Kalrez® 4079 Kalrez® 7075

该温度范围仅适用在与各种橡胶所相容的介质中

各种材质的O形圈弹性体温度使用范围



Temperature (°C)

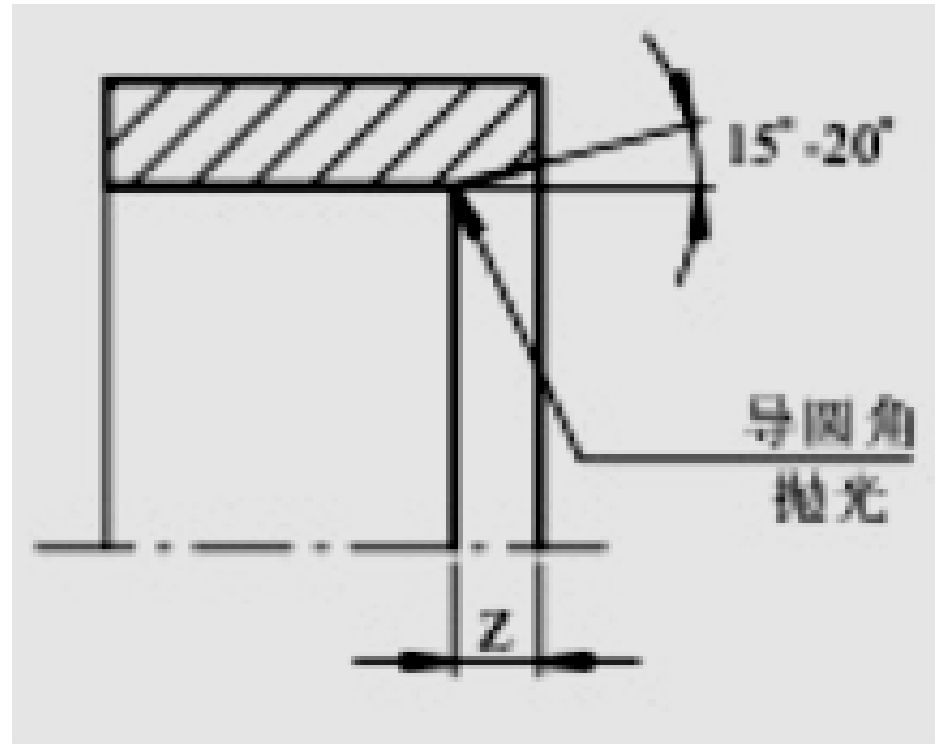
工作时间1,000小时

仅在特定条件及使用特殊材料时方可达到

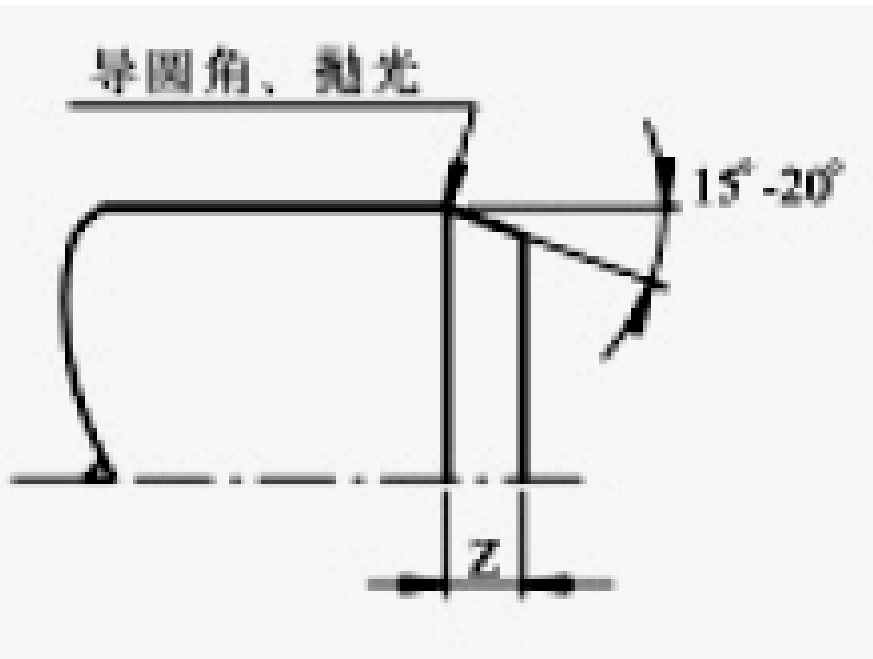
图2-1弹性体使用温度范围

O形圈安装时检查导入角

- 由于O形圈安装时受挤压，O形圈导入过程中接触零件时，必须有规定的倒角和倒圆。



O形圈安装时检查机件导入角



- 倒角最小长度 Z ，与O形圈截面直径相关

机件导入角规定

机件导入倒角最小长度 (Z min)		O形圈截面积直径 d2
15°	20°	
2.5	1.5	≤1.78
3.0	2.0	≤2.62
3.5	2.5	≤3.53
4.5	3.5	≤5.33
5.0	4.0	≤6.93
6.0	4.5	≤6.99

导入倒角的表面粗糙度为：Rz≤4.0um； Ra≤0.8um

表面粗糙度要求

- 在压力作用下，O形圈弹性体将贴紧不规则的密封面。
- 对气体或液体的紧密配合静密封，被密封表面应满足一些基本的要求。密封表面上不得有开槽、划痕、凹坑、同心或螺旋状的加工痕迹。
- 对于动密封，配合面的粗糙度要求更高。
- 表面粗糙度的标准按照DIN4768/1和ISO1302要求执行。

O形圈沟槽表面粗糙度要求

负载类型	表面		秒面粗糙度 μm 接触区域>50%	
			Ra	Rmax
动密封	配合面		0.1~0.4	1.6
	沟槽槽底		1.6	6.3
	倒入面		3.2	12.5
静密封	配合表面	压力脉动	0.8	6.3
		压力恒定	1.6	6.3
	沟槽槽底、槽侧面	压力脉动	1.6	6.3
		压力恒定	3.2	12.5
	导入面		3.2	12.5

端面密封沟槽检查主要事项（轴向）

- O形圈在轴向发生变形：在压力作用下，O形圈会产生径向运动，所以要注意压力的方向。
- 若压力来自内测，则O形圈的外径应该与沟槽的外径接触（其周长压缩1%~3%），如下图1
- 若压力来自外侧，则O形圈的内径应该与沟槽的内径接触，最大允许拉伸3%，如下图2

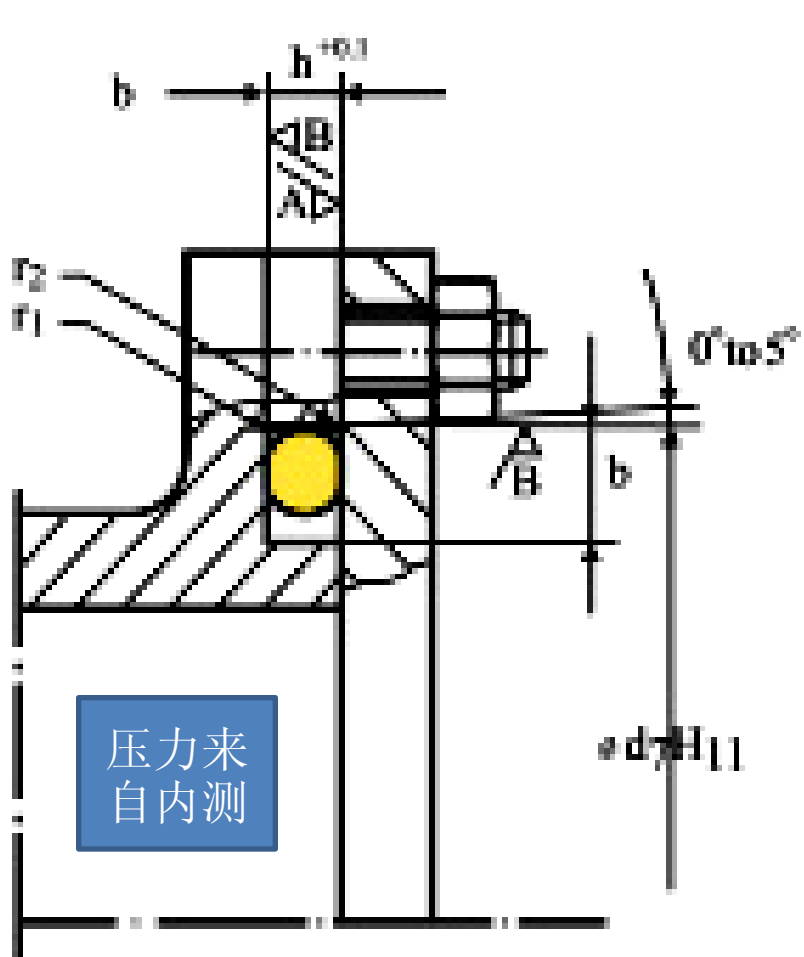


图1端面静密封（压力来自内测）

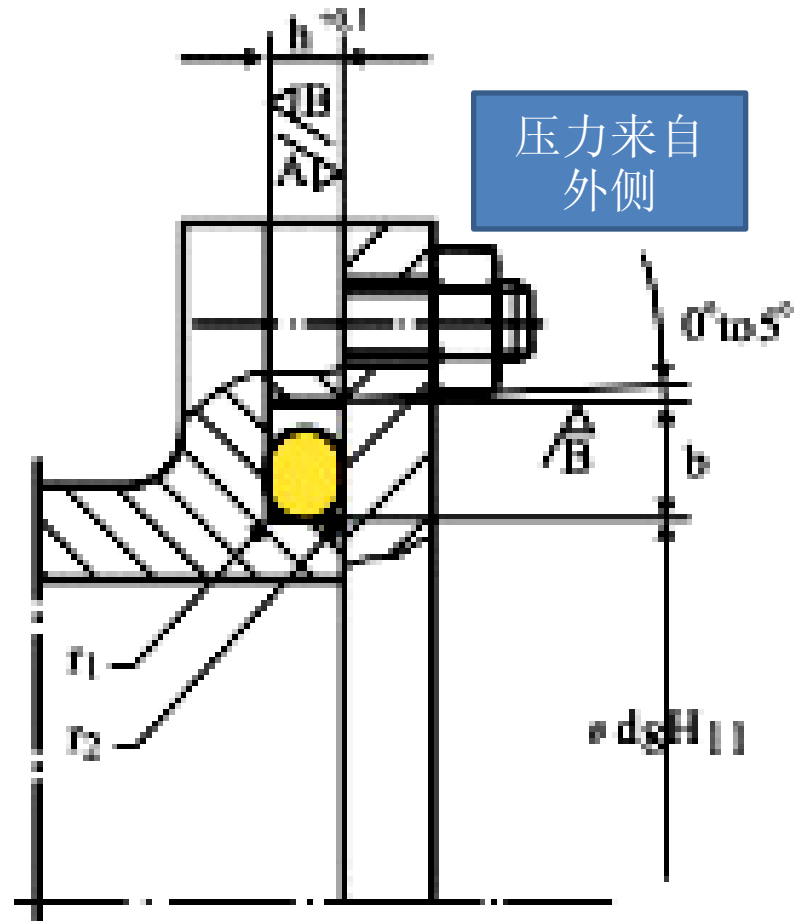


图2端面静密封（压力来自外侧）

O形圈的失效形式与对策

- O形圈的失效会引发许多事故，而负责设计、装配和维修的人员将不得不对这些事故负责。
- 要使O形圈获得最优的使用寿命和可靠性，设计人员必须选择使用正确的O形圈材料，检修人员要深入了解影响密封的功能的各种因素。

安装损伤



- 密封圈部分或全部呈现整齐伤口。
- 原因：沟槽等部件边角锋利、密封件尺寸不合适；密封件硬度或弹性过低；密封件表面有污物。
- 解决方法：清除锋利边角；沟槽设计更加合理；选择尺寸合适的密封件；选择弹性更大硬度更高的密封件。

O形圈卷曲



- O形圈明显出现卷曲情况
- 原因：安装造成，运动速度太低，材料太硬或弹性太小，O形圈表面处理不均匀，沟槽尺寸不均，沟槽表面粗糙，润滑不足。
- 解决方法：正确安装，选用高弹性材料，适当提高沟槽的设计和表面光洁的度，尽量使用支撑环。

O形圈过度压缩损坏



- O形圈接触面呈现扁平状变形，并可能伴有裂纹。
- 损坏原因：设计不合理，没有考虑材料由于热量及化学介质引起的变形，或压力过大引起变形。
- 解决方法：沟槽的设计应考虑到材料由于温度及化学介质引起的变形。

O形圈受压挤出



- O形圈有粗糙破烂的边缘，通常在压力低的一侧。
- 损坏原因：间隙过大；压力过大；材料硬度或弹性太低；沟槽空间太小；间隙尺寸不规则；沟槽边角过于锋利；密封件尺寸不合适。
- 解决方法：降低间隙尺寸，选用更高硬度弹性更好的材料，合理的沟槽设计。

O形圈永久压缩变形



- 密封件接触表面呈现平面永久变形。
- 损坏原因：压力过大；温度过高；材料没有完成硫化处理；材料本身永久变形率过大；材料在化学介质中过度膨胀。
- 解决方法：选择低变形率的材料；合适的沟槽设计；确认材料与介质相容。

O形圈化学腐蚀损坏



- 化学腐蚀可引起O形圈的各种缺陷，如起泡，破裂，小洞，或褪色等，有些时候化学腐蚀仅可通过仪器测量其物理性能而得知。
- 损坏原因：材料与介质不符或温度过高。
- 解决方法：选择更加耐化学介质腐蚀的材料。

O形圈热腐蚀



- O形圈的高温接触表面呈现径向裂纹，有的材料可能会变软，或因温度过高而使材料变得有光泽。
- 损坏原因：材料不能承受高温，或温度超出设计温度，或温度变化过快过频繁。
- 解决方法：选择具有抗高温性能的材料，如可能尽量降低密封面温度。

O形圈损坏



- O形圈全部或部分密封区域产生磨损损坏，可在密封表面找到材料磨损的颗粒。
- 损坏原因：密封表面光洁度不够，温度过高，密封环境进入磨损性强的杂物，密封件产生相对运动，密封件表面处理不彻底。
- 解决方法：提高沟槽光洁度，选用可自我润滑的材料，清楚造成磨损的部件和环境。

O形圈压力爆破



- O形圈表面呈现气泡，凹坑，疤痕；压力很大时材料吸收介质内的气体，当压力突然减小时，材料所吸收的气体快速跑出，造成O形圈表皮爆破。
- 损坏原因：压力变化太快，材料的硬度和弹性过低。
- 解决方法：选择硬度更高、弹性更好的材料，降低减压的速度。

O形圈电腐蚀



- O形圈褪色，同时有粉末状物质残留在表面，与介质无接触一侧有腐蚀痕迹。
- 损坏原因：化学反应产生电解，溅蚀（离子对结构表面冲击引起材料损耗），灼热，沟槽设计、制造不合理。O形圈材料与介质不相容。
- 解决方法：选择与介质相合适的材料，降低暴露区域，检查沟槽设计加工精度。

气体析出材料损坏



- 此缺陷通常较难判断，O形圈通常表现为截面尺寸减小。
- 材料硫化处理不当，高真空密封要求，材料硬度过低，或使用了带有增塑剂的材料。
- 解决方法：避免使用带有增塑剂的材料，确认密封件经过正确的硫化处理以减低泄露。

杂物污染



- O形圈截面有异物。
- 损坏原因：生产过程受环境污染，材料遭到腐蚀或产生反应，材料为非半导体行业等级材料。
- 解决方法：注明生产及包装要求的清洁度，加强O形圈生产和运输使用过程中的环境控制。

休息会吧！我撤了

