

机械设备密封知识

寿震东 谢丰毅 编著



36

河北人民出版社

前 言

机械设备密封，可分为静密封和动密封两部分。它是工业（包括航天工业、核工业等尖端工业）、交通、国防、科研和农机等部门普遍关心的问题。拿炼油、化工之类企业来说，密封点数以万计，假如密封问题解决得不好，物料跑、冒、滴、漏的直接损失将以万元计；更换密封件的工、料损失也很可观；损失尤其重大的，是因密封失效而造成的停产。所以往往有这样的事例，某一工厂由于全面采用密封新技术，避免了过去的各项损失，每年得到数十万元的实益。这是一方面。另一方面，密封问题解决得好，有利于环境保护和职工安全。炼油、化工之类企业，过去屡屡发生着火、爆炸、中毒等事故，这些事故多半是密封失效，物料乱窜或逸出造成的。

鉴于机械设备密封的重要性，作者参考了有关资料和文献，结合工人的实践经验，编写了这本读物。书中着重介绍了机械设备密封的基础知识，同时反映了密封技术的新进展。

本书力求通俗实用，具有初中文化程度的同志即可看懂，并能解决生产操作和维护检修中的实际问题。

本书编写过程中，得到了浙江慈溪密封材料厂等单位的支持与帮助，特致谢忱。

该书上册由寿震东编写，下编由谢丰毅编写。限于水平，难免存在缺点和错误，敬希读者批评指正。

作 者

1983年8月

目 录

上篇 静密封

第一章 螺纹连接密封	(2)
第二章 法兰连接密封	(4)
第一节 法兰型式和特点	(4)
第二节 法兰连接密封的安装与使用	(6)
第三章 高压设备密封	(8)
第一节 B形环密封	(8)
第二节 C形环密封	(9)
第三节 其他自紧密封	(10)
第四节 双锥面密封	(11)
第五节 平垫圈密封	(12)
第四章 密封垫圈概述	(12)
第一节 垫圈密封原理	(13)
第二节 垫圈的设计压紧应力 y 和系数 m	(13)
第五章 平垫圈及高压管路垫圈	(17)
第一节 疏松性非金属平垫圈	(18)
第二节 致密性非金属平垫圈	(19)
第三节 石棉橡胶板垫圈	(22)
第四节 金属平垫圈	(24)
第五节 透镜式垫圈	(26)
第六节 椭圆形垫圈和八角形垫圈	(27)
第六章 不平垫圈及复合垫圈	(28)

第一节	波形垫圈、齿形垫圈和碟形垫圈.....	(28)
第二节	包垫圈.....	(30)
第三节	缠绕垫圈	(31)
第七章	O形密封环和特形密封环.....	(35)
第一节	橡胶O形密封环	(35)
第二节	金属O形密封环	(38)
第三节	特形密封环.....	(42)
第八章	液体垫圈和柔体垫圈.....	(43)
第一节	液体垫圈	(43)
第二节	聚四氟乙烯柔性垫圈.....	(50)
第三节	柔性石墨垫圈.....	(52)
第九章	垫圈的选择	(57)
第一节	垫圈选择原则.....	(57)
第二节	垫圈种类选择.....	(58)
第三节	垫圈尺寸选择.....	(69)
第十章	垫圈的保管与使用.....	(86)
第一节	保管.....	(86)
第二节	安装.....	(87)
第三节	使用维护.....	(88)
第十一章	静密封管理.....	(90)

下篇 动 密 封

第十二章	毛毡密封	(94)
第一节	毛毡密封的适用范围及特点.....	(94)
第二节	毛毡密封的结构型式.....	(95)
第十三章	软填料密封	(97)
第一节	软填料密封的结构及应用.....	(97)
第二节	软填料密封的填料.....	(102)

第三节	软填料的润滑剂·····	(106)
第四节	填料的选择·····	(107)
第五节	填料箱的装填和维护·····	(108)
第十四章	硬填料密封·····	(111)
第十五章	活塞环密封·····	(113)
第一节	金属活塞环·····	(113)
第二节	无油润滑活塞环·····	(115)
第十六章	成型填料密封·····	(116)
第一节	成型填料密封概述·····	(116)
第二节	唇形填料密封·····	(117)
第三节	挤压型成型填料密封·····	(118)
第十七章	机械密封·····	(122)
第一节	机械密封原理·····	(122)
第二节	机械密封的分类·····	(125)
第三节	机械密封的润滑·····	(130)
第四节	机械密封的冷却、冲洗与过滤·····	(132)
第五节	各种工作条件下的机械密封·····	(137)
第六节	机械密封零件的材料·····	(143)
第七节	机械密封的安装、使用与维护·····	(156)
第十八章	迷宫式密封和浮环密封·····	(161)
第一节	迷宫式密封·····	(161)
第二节	浮环密封·····	(163)
第十九章	其他型式密封·····	(170)
第一节	离心密封·····	(170)
第二节	螺旋密封·····	(172)
第三节	气动密封·····	(173)
第四节	水力密封·····	(174)
结束语	·····	(177)

上篇 静密封

密封，广义地说可分为永久密封和可拆密封两类。永久密封，指焊接、粘接等密封，有专门的工艺学进行研究。一般所说的密封，是指可拆密封。

可拆密封，又可分为两类：静密封和动密封。本书上篇讲静密封，下篇讲动密封。

静密封使用广泛，上至宇宙飞船，下至潜水设备，都离不开它。一个炼油企业或化工企业，静密封点成千上万，要做到没有泄漏，并非易事。静密封所接触的介质，从深冷到高温，从真空到高压，有的易燃易爆，有的腐蚀性强，情况千差万别。所以静密封不是一个简单的问题。

随着现代工业的发展，静密封技术不断前进。原始的线、麻材料已经逐渐淘汰，各种新兴的金属和合金，层出不穷的非金属合成材料，以及其他新材料，源源应用于静密封。尤其引人注目的是“液体垫圈”、“聚四氟乙烯生料制品”、“柔性石墨密封件”等新材料的出现，为静密封技术开创了新纪元。静密封垫圈的型式，已经从平垫圈发展到O形垫圈、X形垫圈、燕尾形垫圈以及复合垫圈等等。目前，静密封技术的发展正处在兴旺时期，并且有广阔的前途，深入研究探讨，定能取得丰硕的成果。

静密封的问题不只是技术问题，还有管理问题。一个工

厂，要想消灭泄漏现象，必须建立静密封管理制度，勤检查，勤维护，勤修理，也可在各车间、班组间开展降低泄漏率的竞赛。

只有掌握了技术并善于管理，才能把静密封工作搞好。

第一章 螺纹连接密封

螺纹连接是常见的连接形式之一，2吋以下的小管子采用较多。

螺纹连接的结合面是内螺纹和外螺纹。内外螺纹虽按规定要求进行加工，但难以达到配合时严实无缝，所以螺纹之间要有填充物，以保证密封。

过去，螺纹连接的密封，采用线麻和铅油。这种方法比较省钱，但施工麻烦，劳动条件差，耐腐蚀性能不够理想，抗振性能也不佳。

近年，我国采用了聚四氟乙烯生料带作螺纹连接的密封材料，在密封技术上前进了一大步。聚四氟乙烯，俗称塑料王，它的综合性能很好，具有优异的化学稳定性，能耐强酸、强碱、强氧化剂、酮、醇、醚、有机物质、无机盐类乃至腐蚀性极强的王水。目前发现能对它起作用的仅有熔融碱金属、高温高压下的三氟化氯和单质氟。由此可见，聚四氟乙烯几乎能耐一切腐蚀介质。这是线麻和铅油所无可比拟的。而且，它的耐温范围也很广，从 -180°C 到 $+250^{\circ}\text{C}$ 都能适应。它的制品分为熟料和生料两类。熟料制品是经过烧结的，有一定的强度和硬度，具有固体的特性。生料制品，十分柔

软，可塑性强，但当外力将其压薄时，却显示出很好的内聚力和弹性，能保持薄膜的连续和完整，且有回复厚度的趋向，这就使其能够充满连接间隙，起到密封作用。

使用聚四氟乙烯生料带作螺纹连接密封的方法很简单，只要将生料带缠于外螺纹上（见图 1—1），然后拧入内螺纹里就行了。

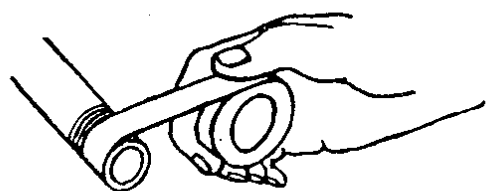


图1—1

生料带缠绕外螺纹示意

使用生料带的优点很多：

（1） 使用简便，货源丰富。

（2） 耐腐蚀性能优异，耐温范围宽阔。

（3） 密封效果理想，即使在100公斤/厘米²的高压下使用也很可靠。

（4） 干净，不污染水质，若用于生活上水管密封，可使用户放心。

（5） 耐振性能良好。

（6） 由于具有润滑性，螺纹装拆都很容易，既不磨损螺纹，也不粘附于螺纹之上，拆卸时仍可揭下一条连续完整的生料带。

故此，聚四氟乙烯生料带应该进一步推广应用。

目前，我国已能大批生产各种生料带，厚度（以毫米计）有0.1、0.15、0.2等，宽度（也以毫米计）有15、20、25、30等。

螺纹连接密封，还可以采用液体密封胶。液体密封胶由高分子有机化合物组成。密封原理与聚四氟乙烯生料带相仿，即在一定压力下能够显示内聚力和回弹性，产生很好的

密封效果。但与生料带相比，保管和使用较麻烦，耐腐蚀性能较差。关于液体密封胶的详情，将在第八章中介绍。

这里需要说明的是，螺纹连接，不仅仅指管道螺纹连接，其他螺纹连接还很多。例如有的阀门，阀座与阀体之间便采用螺纹连接。使用实践表明，阀座与阀体的螺纹连接，如不加填料，则容易泄漏。这种泄漏，在阀门外面看不见，叫内漏，它的危害比外漏更严重。同时还容易产生电化学腐蚀，损坏螺纹。有的单位，在阀座与阀体的螺纹连接处，加上聚四氟乙烯生料带，便使问题得到很好的解决。

第二章 法兰连接密封

法兰连接密封，使用于大小管道和大小设备，是目前使用最广的一种密封形式。它的连接是法兰，密封件是垫圈。垫圈密封不仅限于法兰连接，但了解了法兰连接密封，便可推及其他。所以，法兰连接密封是我们介绍的重点。

第一节 法兰型式和特点

法兰可从不同角度进行分类，这里按密封面来分，主要的型式有以下几种：

1. 平面法兰（见图 2—1）。这种法兰的密封面是平面，加工制造容易。法兰平面上，常车有数条同心的截面形状为三角形的沟槽，俗称水线。这种法兰在温度、压力等条件不太苛刻的场合使用广泛。这种法兰所用的垫圈，有平垫

圈、波形垫圈、组合垫圈、缠绕垫圈等。

2. 凸凹法兰（见图 2—2）。凸凹法兰能防止垫圈由



图2—1 平面法兰

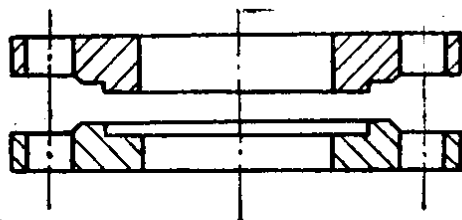


图2—2 凸凹法兰

于内压的作用而挤出密封面，安装时便于两个法兰与垫圈的对中。密封可靠性优于平面法兰，可用于要求较高的场合，尤其在热交换器中使用很广。所用垫圈有平垫圈、组合垫圈、缠绕垫圈、齿形垫圈等。

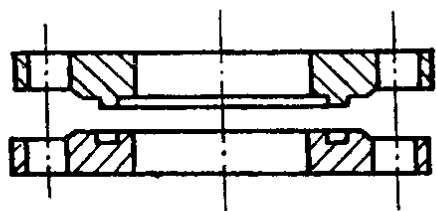


图2—3 榫槽法兰

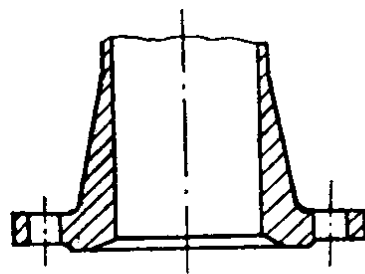


图2—4 透镜法兰

3. 榫槽法兰（见图 2—3）。此类法兰密封面窄，垫圈易于压紧，不易挤出，密封可靠性高。但安装要求严，两法兰必须高度同心；拆卸时垫圈不易取出。多用于有毒介质和其他密封要求高的地方。所用垫圈有平垫圈、组合垫圈和缠绕垫圈等。

4. 透镜法兰（见图 2—4）。透镜法兰是与透镜垫圈配套使用的。透镜垫圈在受内压作用时向外挤压，跟法兰上的透镜槽贴合更紧，密封效果更好，故使用于高压设备及管道。

5. 椭圆垫圈法兰（见图 2—5）。顾名思义，这种法

兰是与椭圆垫圈配套使用的。此类密封法兰，加工制作较麻烦，但密封效果较好。

6. 梯形槽法兰（见图 2—6）。这种法兰是与八角垫圈配套使用的。此类密封，使用于压力较高的设备和管道，与椭圆垫圈密封的使用范围大体相当。这种法兰也可与椭圆垫圈配套使用。

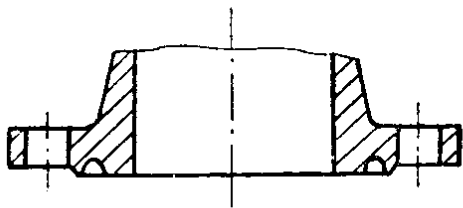


图2—5 椭圆垫圈法兰

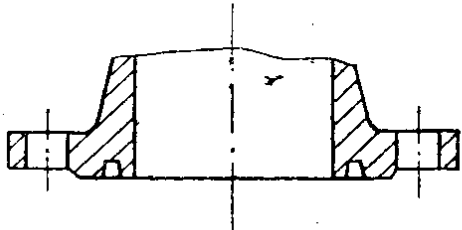


图2—6 梯形槽法兰

7. O形垫圈法兰（见图 2—7）。O形垫圈是一种新兴垫圈，密封效果好，它的使用范围正在迅速扩展，前途比较远大。这种法兰便是与它配合使用的。图 2—7 所示形状只是与O形垫圈配套的法兰型式之一，其他型式的O形垫圈法兰，将在第七章中介绍。

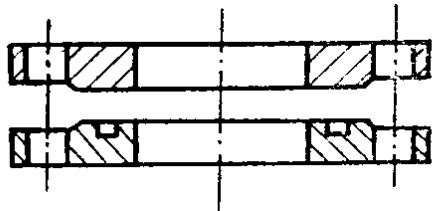


图2—7 O形垫圈法兰

第二节 法兰连接密封的安装与使用

法兰连接密封是否可靠，跟法兰与垫圈的选择关系甚大，这方面将在以后讲述；这里先谈另一个影响密封可靠性的问题：安装与使用。

总的来说，安装与使用要做到细心、谨慎和科学。具体地说，至少应该做到以下几点：

1.检查法兰面，应平整无毛刺，干净清洁，无径向划痕。

2.检查垫圈，应无划伤、破损，干净清洁，其外径应比法兰密封面的外径稍小，其内径应比法兰密封面的内径稍大。

3.现场制作平垫圈时，要用剪子剪取，不要将板材贴在法兰面上，依靠法兰的棱角，用手锤敲打出来。敲打出来的平垫圈，内外面毛糙，使用中容易损坏，垫圈尺寸也不精确。敲打过程中还容易损坏法兰面。

4.旋紧法兰螺栓时，应注意对称均匀，即相对位置同时旋紧，使压紧力的分布大体一致。每个螺栓不要一次旋到底，应轮流逐渐旋紧，一般循环两三次以上。

5.对于重要连接部位，应事先了解需用压紧力，用扭矩扳手或油压旋紧机按要求旋紧，不要不足或过紧。因为压紧力不足保证不了密封；过紧会使垫圈降低或丧失回弹力，同样不利于密封。

6.对于内存易燃易爆介质的管道或设备，拧动法兰螺栓时，必须采用铜合金安全扳手，以免产生火花，造成恶性事故。对于处在燃爆气体环境中的管道或设备，也应如此。这是一条用血换来的经验，必须切记。

7.对于使用温度较高的法兰连接面，最好涂以二硫化钼之类润滑脂或液体密封胶，既可提高密封效果，又可防止垫圈与法兰面粘住，为以后更换垫圈提供方便。

8.对于高温条件下所用的法兰，应该进行“热紧”，即在介质温度升高时，再将螺栓均匀地旋紧一遍或数遍，因为螺栓要随温度升高而伸长，在常温下得到的垫圈压紧力，到高温时就会不足。

9. 法兰连接密封, 要在运行过程中密切监视, 经常检查。由于振动等原因, 螺栓可能松动, 一旦发现, 应及时旋紧。倘若介质开始渗漏, 可分析情况, 是压紧力不足, 还是压紧力不均匀, 然后有针对性地旋紧螺栓, 堵住渗漏。如初始状态不加处理, 泄漏加重, 垫圈被冲损, 既会给维修增加麻烦, 也易造成事故。

10. 要避免法兰受冲击, 防止法兰承受过大的额外负荷。并注意保持法兰和螺栓的清洁。

11. 要在安装、使用过程中, 不断总结经验, 掌握规律, 提高管理水平。

第三章 高压设备密封

高压设备密封在石油化工行业应用较广。高压设备密封, 结构比较复杂, 制造要求也高; 但某些密封十分巧妙, 富有启发意义, 所以即使不管高压设备的读者, 对于这一章也应读一读。

第一节 B形环密封

这种密封环, 端面形状如B字。B形环的两个高峰分别接触高压设备的顶盖内壁和本体内壁, 如图3—1所示。

在制造时, B形环上两个高峰的外径要比顶盖和本体的内径略大, 即有过盈, 以便在安装时产生预密封。

在工作状态下, 设备内压作用于B形密封环内壁, 使其

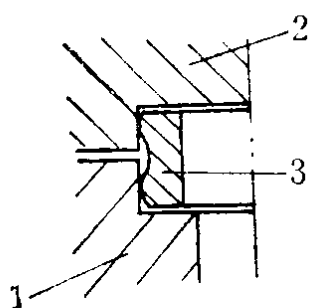


图3—1 B形环密封

- 1.本体 2.顶盖
3.B形环

往外扩张,这样,B形环的两个高峰对顶盖和本体内壁压得更紧,密封效果便更好。它的密封性质属于径向自紧密封。由于密封力来自设备内压,所以顶盖螺栓不必很粗很多,螺栓压紧力也不必很大。

这种密封的缺点是:各密封部件加工精度和光洁度要求高;装拆不方便,且易损坏密封面;密封环难以重复使用。

因此,B形环密封,只用于不经常拆卸的大直径高压设备。而且,B形密封环的材料要比设备顶盖和本体软一些,以保护它们的密封面。

第二节 C形环密封

C形环密封,也是一种自紧密封,但与B形环径向自紧密封不同,它是一种轴向自紧密封。密封环C形首尾,都有凸圆,依靠凸圆与顶盖及本体密封面接触。结构如图3—2所示。

当拧紧螺栓时,C形环受到压缩,由于C形环本身的弹性恢复力,使两端凸圆与顶盖、本体接触紧密,形成预密封。工作状态时,设备内压使C形环张开,与顶盖、本体压得更紧,密封得更好。C形环张开的方向是轴向,所以称这种密封为轴向自紧密封。

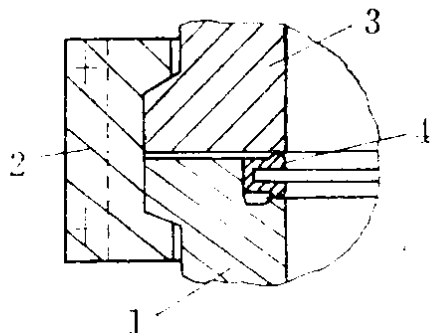


图3—2 C形环密封

- 1.本体 2.卡环
3.顶盖 4.C形环

这种密封，效果好，不需要很大预紧力，装卸方便，密封元件制造难度也不太大，所以堪称一种有发展前途的密封型式。在快速连接上使用此密封，尤其合适。

第三节 其他自紧密封

除B形环密封和C形环密封之外，自紧密封的型式还很多，这里仅举两个例子。

三角垫密封。结构如图 3—3 所示。

当设备压力作用于三角垫内壁时，三角垫便向外扩张，内壁形成弓形，朝外的两个斜面则紧紧地贴合于顶盖和本体共同构成的V形接触面，达到良好的密封效果。压力下降时，弓形趋直，三角垫的上下两角与顶盖和本体的接触面保持密合，密封状况依然良好。

这种密封属于径向自紧密封，适用于压力和温度波动较大的设备。此密封结构紧凑，装卸容易，但加工精度和光洁度要求较高。

楔形垫密封。结构如图 3—4 所示。

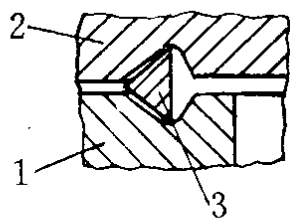


图 3—3 三角垫密封
1. 本体 2. 顶盖 3. 三角垫

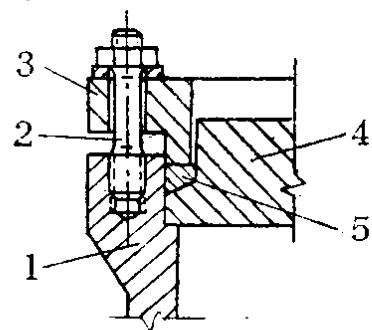


图 3—4 楔形垫密封
1. 本体 2. 螺栓 3. 压紧法兰
4. 浮动头盖 5. 楔形垫圈

楔形垫密封，由楔形垫圈、浮动头盖、法兰等零部件组成。当设备内压推着浮动头盖作轴向移动时，楔形垫圈受到挤压，与法兰和本体接触面之间紧密贴合，达到自紧密封。设备内压越大，密封越紧。

这种密封的缺点是：结构较复杂，零部件较笨重；在长期使用中，楔形垫圈易挤入浮动头盖和法兰的间隙里，造成拆卸困难。

第四节 双锥面密封

双锥面密封，是一种半自紧密封，它的作用原理是自紧密封与强制密封的结合。

请看图 3—5，密封环具有双锥面，顶盖与本体分别有相应的锥面与之配合，接触面上又放有厚度为 1 毫米左右的金属软垫片（图中无法表示），依靠螺栓的力量，压紧软垫片，达到初始密封，这种密封作用是强制性的。而当设备进入工作状态时，内压则将双锥面密封环往外推，使其进一步压紧顶盖与本体的配合锥面，加大密封效果，这就是自紧作用。

内压对双锥面密封环产生径向外推力，而在双锥面上又产生轴向分力，这个分力有推开顶盖与本体的趋势，这就需要螺栓的紧固力来平衡，而且，内压越大，螺栓受力也越大。为能承受内压产生的轴向分力，螺栓的直径和个数必须慎重考虑，内压很高时，螺栓的直径和个数是相当可观的。尽管有这样的缺点，双锥面密

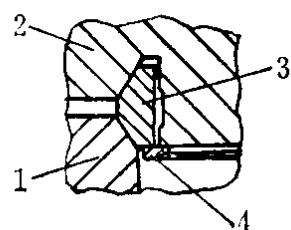


图 3—5
双锥面密封
1. 本体 2. 顶盖
3. 双锥环 4. 托圈

封仍使用较广，例如不少合成氨装置、石油加氢装置等都使用这种密封。这是因为：（1）双锥面密封结构简单，制造容易；（2）安装和拆卸方便；（3）密封可靠，能适应温度和压力的较大波动；（4）积累了丰富的使用经验。

第五节 平垫圈密封

除了上述自紧密封和半自紧密封外，高压设备有时也采用强制密封，即完全依靠螺栓拉紧力来达到密封。平垫圈密封（见图 3—6）就是一种强制密封。

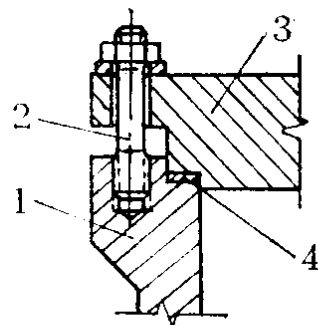


图 3—6
平垫圈密封
1. 本体 2. 螺栓
3. 顶盖 4. 平垫圈

这种密封，当温度、压力有较大波动时容易失效，并且需要粗笨的密封部件，每次检修均须更换平垫圈，缺点十分明显。但由于制作和安装方便，使用历史久远，故至今仍沿用于某些温度不高、直径不大的高压设备中。

平垫圈密封，大量使用于法兰连接中，它的特性将在下章讲述。

第四章 密封垫圈概述

下面以法兰连接为主要对象，概述密封垫圈的密封原理和特性。密封垫圈，广泛使用于高压设备密封、机器部件连接密封等，但使用最多的是法兰连接密封。

密封垫圈，是机械设备静密封的关键件，必须重点加以