静密封 · 垫片 · 法兰 · 预紧比压 · 技术参考文档 · 公开

垫片 选型指南

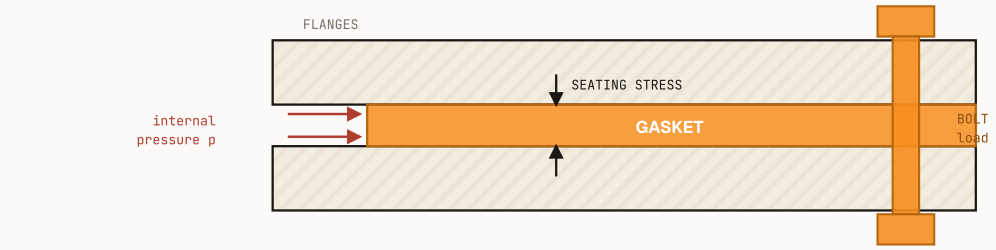
如何选择垫片或静态端面密封——按介质和温度选材，所需的预紧比压和螺栓载荷，法兰密封面加工要求，以及造成大多数泄漏的失效形式。

修订	发布	负责	附件
1.0	June 2026	Ideambox 工程团队	PDF 参考资料

摘要

当两个密封面无法加工得足够精细而自行密封时，就需要用垫片来密封这一静态连接。螺栓载荷将垫片压实以填满表面纹理（预紧），剩余的夹紧力则必须抵抗试图使垫片松脱或吹出的内压。选型的关键是让材料与介质和温度相匹配，然后提供足够且均匀的螺栓载荷。

第 1 节概述静密封方案。第 2 节为垫片类型与材料。第 3 节介绍预紧比压与螺栓载荷（m 和 y 系数）。第 4 节为法兰与连接设计。第 5 节介绍液态 / 现场成型密封胶。第 6 节为失效形式与检查清单。



螺栓连接的法兰垫片。螺栓载荷把垫片压入表面微观不平处（预紧比压），之后还必须让垫片保持压紧，以抵抗试图将其吹出的内压——所以这既是材料问题，也是夹紧力问题。

目录

1. 静密封方案
2. 垫片类型与材料
3. 预紧比压与螺栓载荷
4. 法兰与连接设计
5. 液态与现场成型密封胶
6. 失效形式与检查清单

1. 静密封方案

对于不运动的连接，有多种选择；应根据压力、温度、介质以及密封面的加工方式来选：

- **垫片**——夹在法兰之间的可压缩板材/环；最适合较大的平面连接和可现场维修的连接。
- **O 形圈（装在沟槽中）**——适用于中等压力、有加工密封槽的场合；螺栓载荷更低，可重复使用（见《O 形圈选型指南》）。
- **液态 / 现场成型密封胶**——RTV 硅酮胶或厌氧胶；填充间隙，无需裁切零件，非常适合盖板和不规则密封面。
- **金属密封**（RTJ 环垫、C 形环）——极端压力/温度，精密法兰。

密封面大、平整且用螺栓连接时，垫片更胜一筹；能加工沟槽、希望螺栓载荷低且可重复使用时，O 形圈更胜一筹。

2. 垫片类型与材料

类型	最高温度	压力	介质 / 优势	说明
橡胶板（NBR/EPDM/FKM/Si）	视橡胶种类（≤~200 °C）	低–中	按橡胶的介质相容性	软，螺栓载荷低，便宜；用于盖板/低压
压缩纤维板（无石棉，CNAF）	~400 °C	高	油、水、蒸汽	通用工业主力垫片
聚四氟乙烯（纯 / 膨体）	~250 °C	中–高	几乎所有化学介质	选用**膨体** PTFE，避免冷流蠕变
柔性石墨	~450 °C+	高	蒸汽、化学介质	耐高温；贴合性好
缠绕垫片（金属 + 填充材料）	高	高	法兰管道	回弹性好，螺栓松弛后可恢复
金属环垫（RTJ）	很高	很高	石油天然气	需要带环槽的法兰
软木 / 橡胶软木、纸质纤维	低	低	油、燃油（轻载）	油底壳、盖板、轻负荷场合
液态（RTV / 厌氧胶）	~200–300 °C	低–中	视化学成分	填充间隙（RTV）或金属对金属刚性密封（厌氧胶）

垫片*材料*与流体的匹配方法与 O 形圈完全相同——橡胶/PTFE/石墨的相容性规则是一样的。

3. 预紧比压与螺栓载荷

垫片需要螺栓提供两件事，设计必须同时满足：

1. **预紧密封**——把垫片压实到足以贴合：在垫片面积上施加最小预紧比压 **y**（MPa）。`W_seat = y · A_gasket`。
2. **保持密封**——抵抗压力产生的端部载荷并留有余量：**m**（垫片系数）决定了在压力作用下所需的剩余比压。`W_operate = (pressure end load) + m · p · (contact area)`。

螺栓载荷须满足两者中较大的一项。这直接衔接《*螺栓连接*》参考资料——垫片决定所需的预紧力，螺栓的数量/规格/拧紧力矩负责实现它。

垫片材料	M 系数	Y 预紧比压（MPA）
软橡胶（<75 Shore A）	0.5–1.0	0 – 1.4
夹布橡胶	~1.25	~2.8
压缩纤维板（1.5 mm）	~2.0	~11
聚四氟乙烯	~2.0	~9
缠绕垫片（不锈钢 + 石墨）	~3.0	~69
软铝（金属平垫）	~4.0	~60

数值仅供参考（按 ASME VIII Div 1, App. 2 的方法）。较软的垫片所需螺栓载荷小得多——但蠕变也更大。

4. 法兰与连接设计

- **表面粗糙度：** 软垫片在略粗糙的同心圆或螺旋形水线密封面（Ra ~3.2–6.3 μm）上反而密封更好，因为能"咬住"；PTFE 和金属密封则要求更光滑、更平整的密封面。
- **平面度与刚度：** 法兰在螺栓载荷下必须保持平整——法兰过薄或螺栓间距过大时，会在螺栓之间翘曲并在该处泄漏。螺栓间距要小，法兰要有足够刚度。
- 按星形/对角顺序分步**均匀拧紧**，使载荷分布均匀，避免垫片偏斜。
- **不要过度压缩**（压溃/挤出垫片），也不要螺栓载荷不足（泄漏）。选用厚度和宽度合适的垫片——越宽所需总载荷越大，越薄蠕变越小。
- **吹出：** 高压时要约束垫片（凸面、沟槽或 O 形圈式结构），使内压无法将其推出。

5. 液态与现场成型密封胶

- **RTV 硅酮胶（FIPG）：** 柔性、可填充间隙、可剥离；适用于钣金盖板以及会变形或密封面不完美的连接。需接触空气/湿气固化；注意表干时间。

- **厌氧胶（平面密封胶）：** 在紧密贴合的金属面之间隔绝空气后固化为刚性；无间隙、强度高，非常适合机加工壳体。要求金属面清洁且紧密接触。

- 两者都可在不值得为垫片开模的场合替代裁切垫片——但要求表面**清洁、脱脂**，并在加压前充分固化。

6. 失效形式与检查清单

失效形式	原因	对策
装配后即泄漏	预紧比压不足 / 螺栓载荷不均	增大/均匀预紧力，选对垫片，按星形顺序拧紧
使用一段时间后泄漏	螺栓松弛、垫片蠕变（尤其是 PTFE）	预紧后复紧，选用缠绕垫片/膨体 PTFE，加碟形弹簧垫圈
压溃 / 挤出	过度压缩，垫片过软/过宽	选用更硬的垫片，约束垫片，控制螺栓载荷
化学腐蚀 / 溶胀	材料选错	按介质相容性重新选材
热松弛	高温蠕变导致夹紧力丧失	耐高温垫片，弹性加载（弹簧），热态复紧
吹出	压力超过约束能力	有约束/凸面法兰连接，提高螺栓载荷

6.1 选型检查清单

- **介质与温度**——选择两者都能承受的材料（第 2 节），方法与 O 形圈相同。
- **压力**——稳态压力和峰值压力；高压时要约束垫片。
- **预紧载荷与操作载荷**——由 y 和 m 确定螺栓预紧力（衔接《
  螺栓连接
  》参考资料）。
- **法兰**——合适的表面粗糙度、平面度和较小的螺栓间距；按星形顺序拧紧。
- **维护**——是否需要再次拆开？需维修的用裁切垫片 / O 形圈；永久密封用密封胶。
- **松弛预案**——对易蠕变或高温连接，制定复紧计划或采用弹性加载。

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/zh-hans/downloads/gasket-selection-guide/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact