靜態密封 · 墊片 · 法蘭 · 墊片壓緊應力 · 技術參考文件 · 公開

墊片 選用指南

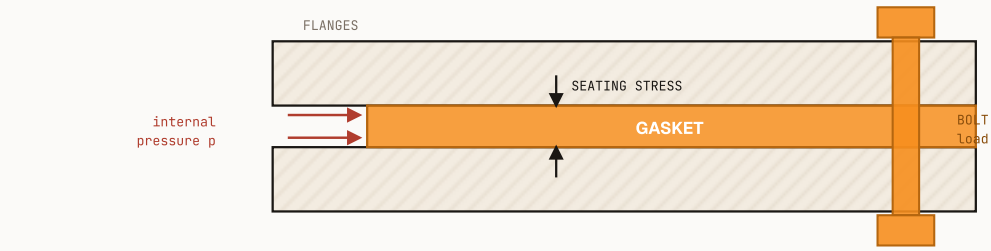
墊片與靜態端面密封的選用——依介質與溫度選材、所需的壓緊應力與螺栓負荷、法蘭面粗糙度，以及大多數洩漏背後的失效模式。

修訂	發行	負責	附件
1.0	June 2026	Ideambox 工程團隊	PDF 技術參考

摘要

墊片用於密封兩個無法加工到足以自行密封的靜態接合面。螺栓負荷將墊片壓緊以填滿表面紋理（壓緊），剩餘的夾緊力則必須抵抗內壓，避免墊片鬆脫或被吹出。選得好，就是讓材料匹配介質與溫度，再提供足夠且均勻的螺栓負荷。

第 1 節整理靜態密封方案。第 2 節為墊片種類與材料。第 3 節探討壓緊應力與螺栓負荷（m 與 y 係數）。第 4 節為法蘭與接頭設計。第 5 節探討液態 / 現場成形密封膠。第 6 節為失效模式與檢核清單。



螺栓鎖緊的法蘭墊片。螺栓負荷先把墊片壓入表面凹凸（壓緊應力），之後還必須在內壓試圖把它吹出時維持壓緊——所以這既是材料問題，也是夾緊力問題。

目錄

1. 靜態密封方案
2. 墊片種類與材料
3. 壓緊應力與螺栓負荷
4. 法蘭與接頭設計
5. 液態與現場成形密封膠
6. 失效模式與檢核清單

1. 靜態密封方案

不動的接頭有多種選擇；依壓力、溫度、介質與接合面的加工方式挑選：

- **墊片**——夾在法蘭之間的可壓縮片材 / 環；最適合較大的平面接頭與可現場維修的連接。
- **O 形環（裝於溝槽）**——在有加工溝槽時較適合中等壓力；螺栓負荷低、可重複使用（見 O-ring selection guide）。
- **液態 / 現場成形密封膠**——RTV 矽膠或厭氧膠；填滿間隙、不需裁切零件，非常適合蓋板與不規則接合面。
- **金屬密封**（RTJ、C 形環）——極端壓力 / 溫度、精密法蘭。

接合面大、平坦且以螺栓鎖緊時，墊片勝出；能加工溝槽且需要低螺栓負荷、可重複使用的密封時，O 形環勝出。

2. 墊片種類與材料

種類	最高溫度	壓力	介質 / 強項	說明
橡膠片（NBR/EPDM/FKM/Si）	依橡膠種類（≤~200 °C）	低–中	依橡膠相容性	軟、螺栓負荷低、便宜；蓋板 / 低壓
壓縮纖維板（CNAF）	~400 °C	高	油、水、蒸汽	一般工業的主力
PTFE（純 PTFE / 膨體）	~250 °C	中–高	幾乎通用的耐化學性	使用**膨體** PTFE 以避免冷流潛變
可撓性石墨	~450 °C+	高	蒸汽、化學品	耐高溫；貼合性佳
纏繞式（金屬 + 填料）	高	高	法蘭管路	有回彈性，螺栓鬆弛後能恢復
金屬環墊（RTJ）	非常高	非常高	石油與天然氣	需要開槽法蘭
軟木 / 橡膠、紙纖維	低	低	油、燃油（輕度）	油底殼、蓋板、低負荷
液態（RTV / 厭氧）	~200–300 °C	低–中	依化學成分	填隙（RTV）或剛性金屬對金屬（厭氧）

墊片*材料*與流體的匹配方式和 O 形環完全相同——橡膠 / PTFE / 石墨的相容性規則一樣適用。

3. 壓緊應力與螺栓負荷

墊片需要螺栓提供兩件事，設計必須同時滿足：

1. **壓緊**——把墊片壓到足以貼合：墊片面積上的最小壓緊應力 **y**（MPa）。`W_seat = y · A_gasket`。
2. **維持壓緊**——抵抗壓力端部負荷再加上餘裕：**m**（墊片）係數決定在壓力下所需的殘留應力。`W_operate = (pressure end load) + m · p · (contact area)`。

螺栓負荷須涵蓋兩者中較嚴苛者。這直接銜接 *Bolted joint* 技術參考——墊片決定所需的預緊力，再由螺栓數量 / 尺寸 / 扭矩來提供。

墊片材料	M 係數	Y 壓緊應力（MPa）
軟質橡膠（<75 Shore A）	0.5–1.0	0 – 1.4
夾布橡膠	~1.25	~2.8
壓縮纖維板（1.5 mm）	~2.0	~11
PTFE	~2.0	~9
纏繞式（不鏽鋼 + 石墨）	~3.0	~69
軟鋁（平金屬墊）	~4.0	~60

數值僅供參考（依 ASME VIII Div 1, App. 2 形式）。較軟的墊片所需螺栓負荷少得多——但潛變也較大。

4. 法蘭與接頭設計

- **表面粗糙度：** 軟墊片在略粗、具同心或螺旋鋸齒紋的接合面（Ra ~3.2–6.3 µm）上反而密封更好，因為能「咬住」；PTFE 與金屬密封則需要更光滑、更平坦的面。
- **平面度與剛性：** 法蘭在螺栓負荷下必須保持平坦——太薄或螺栓間距過大的法蘭會在螺栓之間翹曲並由該處洩漏。螺栓間距要密、法蘭要有剛性。
- **均勻鎖緊**——以星形 / 對角順序分段鎖緊，使負荷分布均勻並避免墊片偏斜。
- **不要過度壓縮**（壓潰 / 擠出墊片），也不要螺栓負荷不足（洩漏）。選用厚度與寬度合適的墊片——越寬所需總負荷越大，越薄潛變越小。
- **吹出：** 高壓時要約束墊片（凸面、溝槽或 O 形環式），讓內壓無法將其推出。

5. 液態與現場成形密封膠

- **RTV 矽膠（FIPG）：** 柔韌、可填隙、可剝除；適合鈑金蓋板，以及會撓曲或接合面不完美的接頭。需要空氣 / 濕氣才能固化，注意表乾時間。
- **厭氧膠（法蘭密封膠）：** 在緊密貼合的金屬面之間隔絕空氣後固化為剛性；無間隙、強度高，非常適合加工過的殼體。需要乾淨、緊密接觸的金屬面。
- 兩者都能在不值得開墊片模具時取代裁切墊片——但都需要**乾淨**、**已脫脂**的表面，並在加壓前完成固化。

6. 失效模式與檢核清單

模式	原因	對策
組裝時洩漏	壓緊應力不足 / 螺栓負荷不均	增加 / 均勻預緊力、正確的墊片、星形順序鎖緊
長時間後洩漏	螺栓鬆弛、墊片潛變（尤其 PTFE）	壓緊後再次鎖緊、改用纏繞式 / ePTFE、碟形彈簧墊圈
壓潰 / 擠出	過度壓縮、墊片太軟 / 太寬	更硬的墊片、加以約束、控制螺栓負荷
化學侵蝕 / 膨潤	材料錯誤	依介質相容性重新選材
熱鬆弛	高溫潛變喪失夾緊力	高溫墊片、彈性加載（彈簧）、熱態再鎖緊
吹出	壓力超過約束能力	約束式 / 凸面接頭、提高螺栓負荷

6.1 選用檢核清單

- **介質與溫度**——選擇兩者都能承受的材料（第 2 節），方法與 O 形環相同。
- **壓力**——穩態與峰值；高壓時要約束墊片。
- **壓緊與操作負荷**——由 y 與 m 計算螺栓預緊力（連結 Bolted joint 技術參考）。
- **法蘭**——足夠的粗糙度、平面度與密集的螺栓間距；星形順序鎖緊。
- **維修**——會再拆開嗎？可維修用裁切墊片 / O 形環；永久性用密封膠。
- **鬆弛對策**——對易潛變或高溫的接頭，規劃再鎖緊時程或彈性加載。

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

Designing something that needs this? ideambox.com/contact