

螺纹联接结构密封材料应用研究

王 敏 闫平义

(中国河西化工机械公司 41 所 呼和浩特 010010)

文 摘 提出了一种适用于固体火箭发动机 (SRM) 的新型密封结构,并对应用于特定尺寸的螺纹联接结构方式、胶种选择进行了研究。通过压力、高低温循环等大量的试验和理论分析表明:采用填充密封胶的螺纹联接密封结构具有优异的密封性,适宜在固体火箭发动机环境中应用。

关键词 螺纹联接,密封结构,密封剂

Application of Sealing Material to Threaded Joint

Wang Min Yan Pingyi

(No.41 Institute of China Hexi Chemical & Machine Company Hohhot 010010)

Abstract A new seal structure suited to solid rocket motors (SRM) is introduced, and threaded joint structures and sealing glue compound are studied. Based on pressure and high-low temperature cycling tests and theoretic analysis, the threaded joint parts filled with sealing glue compound show excellent seal ability, and can be applied to SRM.

Key words Threaded joint, Seal structure, Sealing compound

1 前言

螺纹联接密封结构(如图 1)是采用整体螺纹进行联接,并在联接螺线中涂抹特制密封剂进行联接的密封结构。

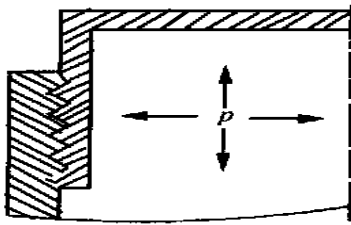


图 1 螺纹联接密封结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of thread seal structure

采用螺纹联接密封结构具有以下优点。

(1) 优良的密封可靠性

涂抹于螺纹上的特种密封剂在进行装配时受接触面挤压,向螺纹空腔处聚集并将空腔填满,形成螺旋形密封带。假设其密封破坏的机制是介质撕裂密封剂而泄漏,则显然不可能沿螺纹线泄露,那样介质将穿过更长的密封距离,受到的密封阻力也更大,因而介质只能从垂直于螺纹线的方向泄漏(如图 2)。这时聚集于空腔处的密封介质,相当于 O 型密封圈,每一圈螺纹就是一个隼槽密封结构或密封圈,具有极强的密封性能;同时在密封剂选择时采用了固化粘接性密封剂,与连接件的贴合面是依据化学键的方式胶接在一起的,要比单纯的压紧贴合方式承受更大的介质内压。

收稿日期:2001-11-26

王敏,1969 年出生,工程师,主要从事固体火箭发动机密封材料应用的研究工作

宇航材料工艺 2002 年 第 3 期

— 33 —

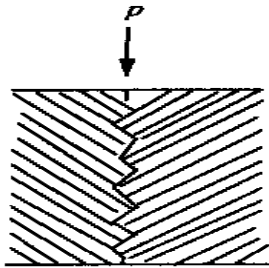


图2 密封泄漏示意图

Fig. 2 Schematic diagram of seal leakage

(1) 减轻结构质量

相对于法兰联接方式而言,螺纹联接结构只需将被连接件的连接部位加工成螺纹即可,省去法兰盘、螺栓、螺母,因而结构质量轻。

(3) 力学结构有所改善

法兰联接方式不可避免地在法兰盘与被连接件的过渡段(颈部)形成应力集中。据文献[1]报道,这种应力对特定的结构可达到200~250倍的介质内压,而对相同结构的螺纹联接应力集中将大大降低。

2 实验内容

2.1 密封剂的选择

适用于固体火箭发动机工作环境的螺纹密封胶需要满足如下条件:(1)密封剂具有较强的粘附能力,假设螺纹密封失效是由于粘接剂与连接件撕裂后介质发生泄漏,则内压对胶层产生剪切力,所以粘接剪切力指标是评价密封能力的重要指标;(2)密封剂应有较强的变形能力,在受到内压作用时,被连接件产生变形,所以不能选用变形能力较小的粘接剂;(3)密封剂粘度要适合螺纹涂抹,胶液粘度太小则可能在放置过程中流失造成螺纹空隙,粘度太大则与被连件的贴合能力、浸润能力太小,剪切强度较低;(4)具有较高的耐温能力,固体火箭发动机工作时的温度将达到3000以上,要求螺纹联接密封剂有较高的耐温性。

在实际研制过程中,我们选择有机硅密封胶、厌氧密封胶及环氧胶作为研究对象。这三类胶的剪切强度(约5 MPa)都达到或接近预定指标,而从延伸率及耐温性能看,有机硅胶粘剂更具优势。有机硅密封剂在剪切方向表现出较大的延伸率,且其高温剪切强度随时间变化的斜率很小(见表1),具有较好的变形能力,可在-70~190长期工作,因此将有机硅密封剂作为主要应用对象加以研究。

表1 密封剂高温剪切强度随时间变化斜率数据

Tab. 1 Slope of some sealing binder high temperature shear strength for time

胶粘剂种类	斜率
有机硅胶粘剂	0.26
环氧胶	0.80
厌氧胶	0.38

2.2 螺纹结构的确定

螺纹结构的确定包括以下几个方面:(1)旋合长度,旋合长度是螺纹联接中最重要的一项指标,它与承载状态相关;(2)螺纹衬壁厚度的选择;(3)齿型选择;(4)配合精度选择。

其中(1)、(2)由设计者按所要密封内压作强度校核后给定,而本研究所要解决的问题是密封齿型、配合精度对密封状态的影响。配合精度的影响比较简单,精度越高,配合间隙越小,密封的可靠性越高,如果采用这种螺纹则密封的可靠性更高。但配合精度往往不仅取决于密封要求,还要取决于加工成本以及配合的方便性。而不同齿型由于受力状态的不同,其密封效果也有差异。由于锯齿型螺纹的受力面只有3°的倾角(见图3),在受力时,形成较紧的贴合,且贴紧的部位还有密封剂,所以容易形成良好的密封,较其它形式的螺纹更适用于密封。对锯齿螺纹涂胶分别打水压、气压,结果如下。

气压试验: 0 — 0.5 MPa $\xrightarrow[\text{肥皂水检查不漏}]{\text{稳压 10 min}}$ 1 MPa
 稳压 3 min — 0.5 MPa $\xrightarrow[\text{肥皂水检查不漏}]{\text{稳压 10 min}}$ 0
 表压无变化

水压试验: 0 — 5 MPa $\xrightarrow[\text{无滴漏}]{\text{稳压 10 min}}$ 0

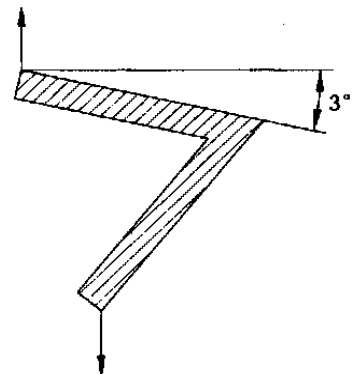


图3 锯齿螺纹受力状态

Fig. 3 Force state of thread sawtooth

从简单的力学分析可知:螺纹联接结构中如将模量大的材料或设计壁厚大的部件作外螺纹,密封的可靠性更好。

2.3 密封机制及设计规范

介质泄露将是克服粘附力的过程。这里所指的粘附剪切力,不是指由于联接件径向位移所产生的剪切力。由于金属材料的变形能力远小于胶膜,所以这种位移所产生的剪切力不可能引起粘附状态破坏。引起泄露的这种剪切力是介质直接作用于胶膜和金属件的接合部而产生的剪切破坏。如果我们将实际连接结构简化为图4的形状,可知这种剪切剥离实际上就是在校核粘附剪切强度。如果内压使内壁产生应变,则由其产生的力将通过胶膜的压缩而传递,胶膜的模量较小,因而将更好地贴紧金属壁,由此产生的贴合力将承担着阻断介质通过的作用。由上述可知,配合间隙越小则配合所产生的密封可靠性越好;而旋合长度越长,则所能密封的内压越大。

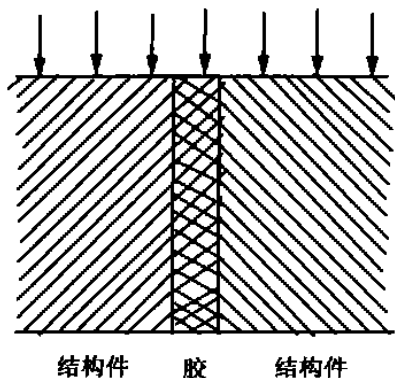


图4 联接结构简化图

Fig.4 Schematic of thread joint structure

设计螺纹联接密封结构,可遵循以下设计规范。

(1) 螺纹的精度。

(2) 如无特殊情况,可按有关标准中的中等旋合长度选螺纹及螺距,如有特殊情况可使单线螺纹满足如下条件减小旋合长度:

$$\frac{D^2 P t}{4 d L} [] \quad (1)$$

$[]$ 为材料的许允剪切应力; P 为内压; L 为旋合长度; t 为螺距; d 为内螺纹大径或外螺纹小径; D 为承受内压而产生轴向拉力的投影面直径。

(3) 如两种材料模量不同时,选择模量小的作内螺纹。

(4) 螺纹与薄壁圆桶相连厚度差大时,要作过渡连接。

(5) 胶膜许允应力与螺纹结构的关系^[2]:

$$[P] = \frac{2 L []}{1 + \frac{E_i}{E_0} \cdot \frac{t}{r_c - t} \cdot \left(\frac{r_0^2 + r_c^2}{r_0^2 - r_c^2} + \mu \right)} \quad (2)$$

$[P]$ 为胶膜许允应力; $[]$ 为材料的许允剪切应力; L 为旋合长度; E_i 为内螺纹材料弹性模量; t 为胶膜厚度; k 为常数; E_0 为胶膜的弹性模量; μ 为胶膜泊松比; r_0 为外螺纹内壁半径; r_c 为内螺纹外壁半径; t 为内螺纹壁厚度。

3 密封结构的温度适应性研究

为考察螺纹联接密封结构能否在不同的温度环境中具有良好的密封性。将涂有机硅密封剂的锯齿螺纹联接密封结构放入100℃烘箱中恒温30 min~40 min后,进行1 MPa气压检漏试验,然后放入-50℃恒温液氮箱中恒温30 min~40 min,再进行1 MPa气压试验,均未发现泄露。将经历上述温度循环的容器进行10 MPa水压检验,未发现泄露。说明胶与结构的温度适应性良好。

4 结论

(1) 有机硅密封剂适用螺纹联接密封结构,具有密封性能良好、耐高温性能优异等优点。

(2) 螺纹联接密封结构是一种密封可靠、安装简便、结构质量轻、性能优异的密封结构。

参考文献

- 1 陈汝训. 固体火箭发动机壳体法兰连接分析. 固体火箭推进, 1983;(1):8
- 2 化工设备设计全书编辑委员会. 超高压容器设计. 上海科学技术出版社,1983

(编辑 李洪泉)