

# 编织胶管使用状态下的力学平衡

洪 波

(驻化工部沈阳橡胶研究设计院军代表 110021)

根据密封薄壁圆筒理论进行胶管结构设计时,胶管的骨架材料编织角度为  $54^{\circ}44'$ 。而按标准试验方法进行试验,其结果仅用来考核胶管结构设计的准确性。胶管在实际使用过程中之所以能够达到预期的使用寿命,是因为结构设计时保留了较高的安全系数。按现行的国家标准 GB 5562—85 和 GB 5573—85 的试验要求,胶管的一端必须是密封自由伸缩端,以使胶管轴向内压力和周向扩张力的合力方向与骨架材料的编织方向一致,使管体结构达到力学平衡。胶管在实际安装使用时,其扣压接头连接在两个刚性固定接点上,既没有密封端头,也不处于自由伸缩状态。因此,胶管在实际使用状态下要承受由内压引起的轴向拉伸作用力,而仅有周向扩张力的存在,会导致胶管只能产生轴向缩短,骨架材料的编织角度增大,出现与设计理论力学平衡不同的受力状态。实际使用状态的胶管根本不存在设计理论的理想静力学平衡结构,而是当胶管承压后,其结构随着压力的变化,完成一种由不平衡态向平衡态过渡的动态平衡过程。本文分析了胶管在受力状态下的结构平衡过程,并在此基础上进一步探讨了胶管爆破的根本原因。

## 1 胶管受力状态下的结构平衡过程

胶管在使用过程中,其结构趋于平衡,现以直管的两种安装状态进行分析。

### 1.1 长度有松弛盈余的结构平衡过程

胶管承压后,其骨架材料编织角度将增大。其影响因素很多,包括胶管承受的内压( $P$ )、与编织工艺有关的张力因素、骨架材料

交叉束缚因素、骨架材料与内外层胶料的粘合因素等。在胶管使用过程中,这些因素的影响加大,最终与周向力产生的管体缩短达到平衡,即达到力学平衡状态。

胶管承受的压力不同,其结构变化也不同。压力增大,骨架材料的编织角度增大,这与静态平衡的骨架材料编织角度固定不变是不同的,适宜的胶管安装松弛盈余量,应以最大的工作压力为推算起点。

设胶管在最大压力下的变形模量为  $C$ ,则

$$C = y/l$$

式中  $l$ ——胶管长度;

$y$ ——骨架材料的整体变形。

在压力作用下,长度为  $l$  的直管产生长度为  $Cl$  的缩短变形,故胶管松弛盈余长度应为  $Cl$ ,但盈余的长度  $Cl$  也将缩短,需  $C^2l$  的盈余长度去补偿,依此类推,总的盈余长度应为:

$$l' = Cl + C^2l + C^3l + \dots + C^n l$$

当  $n \rightarrow \infty$  时,

$$\begin{aligned} l' &= Cl[(1 - C^n)/(1 - C)] \\ &= Cl/(1 - C) \end{aligned} \quad (1)$$

胶管的安装总长度  $L$  应为:

$$L = l + l' = l/(1 - C) \quad (2)$$

### 1.2 胶管无松弛盈余安装的力学平衡

胶管无松弛盈余安装的结构见图 1,受力分析见图 2。

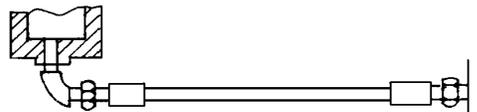


图 1 胶管无松弛盈余安装结构

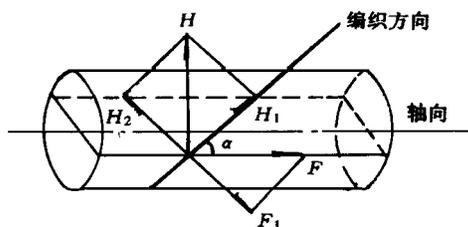


图 2 受力分析图

从图 2 中可见, 周向力  $H$  为骨架材料的拉伸力  $H_1$  与引起编织角位移增大的轴向缩短变形力  $H_2$  的合力。  $H_1$  和  $H_2$  分别为:

$$H_1 = \frac{\pi}{2} D^2 P \cot \alpha$$

$$H_2 = \frac{\pi}{2} D^2 P \cot \alpha \cos \alpha$$

若胶管安装无松弛盈余量, 变形力  $H_1$  必将引起刚性接头对管体缩短的约束反力  $F$ , 其分力  $F_1$  与  $H_2$  大小相等, 方向相反。

$$F_1 = \frac{\pi}{2} D^2 P \cot \alpha \cos \alpha$$

$$F = F_1 / \sin \alpha$$

$$= \frac{\pi}{2} D^2 P \cot \alpha \cos \alpha / \sin \alpha$$

$$= \frac{\pi}{2} D^2 P \cot^2 \alpha$$

当  $\alpha = 54^\circ 44'$  时,

$$\cot^2 \alpha = 1/2$$

则  $F = \frac{\pi}{4} D^2 P$ 。

该  $F$  值正是设计理论状态下的轴向拉伸力。因此无松弛盈余的直管安装, 也是一种静态力学平衡结构, 但受力作用机理与设计理论状态是不相同的。

设计理论状态力学平衡的骨架材料的编织角度是唯一的, 而胶管在无松弛盈余安装的情况下, 骨架材料的编织角度是任意的, 即不论角度是大于或小于  $54^\circ 44'$ , 胶管都处于一种力学平衡状态。

## 2 胶管爆破原因分析

按常规理论, 胶管爆破的原因主要有: 工艺结构设计不符合要求; 内胶层有杂质、划伤

或刺破; 扣压接头造成的内管壁损伤以及脉冲疲劳试验的总脉冲数低于正常水平。而胶管爆破的实际情况并非如此, 甚至与上述的几种可能性毫无关系。对爆破胶管的裂口进行电镜分析表明, 爆破裂口呈周向, 裂口由内胶的外表面向内扩展, 呈典型的疲劳纹理。

胶管的直管脉冲疲劳试验标准规定, 胶管安装应无松弛盈余。通过分析可知, 这种安装状态的胶管在工作压力作用下, 其结构不产生位移。而按有关规定要求, 实际安装胶管应留有一定的长度盈余, 一般为直管长度的 10% 左右。这种安装状态的胶管在工作压力脉冲作用下, 其结构将产生位移, 造成脉冲疲劳效应, 这是胶管疲劳爆破的根本原因。

若胶管弯曲安装, 也存在着有别于设计理论状态的结构平衡问题, 并且受力更加复杂, 因此, 爆破原因也更复杂, 更易产生爆破。

## 3 结论

(1) 胶管实际安装状态下的受力机理与设计理论有本质的差异, 不论骨架材料的编织角度多大, 都会产生轴向缩短, 胶管在工作压力作用下处于一种动态力学平衡状态。

(2) 若胶管采取无松弛盈余安装, 其耐疲劳性能优于有松弛盈余安装。

(3) 胶管按有松弛盈余的状态进行安装, 盈余量按公式(1)计算, 其变形模量  $C$  通过试验测定, 试验压力应大于或等于最高工作压力。胶管在累计工作脉冲总数低于标准试验脉冲总数的情况下爆破是由于胶管承压后结构位移增大, 疲劳效应也随之增大的缘故。

(4) 标准脉冲疲劳试验中, 胶管的安装应无松弛盈余, 因而有别于实际的安装状态, 其试验结果用于评价实际安装状态的耐脉冲疲劳性能是不合适的, 因此, 有必要开展实际安装状态的脉冲疲劳试验。