

新颖高温密封材料——膨胀石墨

张爱丽

摘 要

本文介绍了膨胀石墨的性能、制造工艺、密封机理以及在使用时的一些情况。

一、前 言

长期以来,飞行器动力装置高温燃气密封是研制中的一大关键。尤其当产品处于振动大及低温交变条件下工作时,热密封失效往往严重危及产品的安全可靠。采用传统的密封技术,如使用紫钢垫、石棉橡胶板等,在温度变化大的情况下,都曾遇到过不同程度的泄漏。新颖材料——膨胀石墨由于密封可靠、制造简单、使用方便、成本低而引人注目,解决了发动机高温密封一大技术难题。

二、膨胀石墨性能与制造工艺

膨胀石墨又称柔性石墨,是六十年代后期间世的一种新颖密封材料。美国首先发表专利,日本、西德、法国和我国也都相继研制成功。

1. 膨胀石墨的结构与工艺

膨胀石墨材料系天然鳞状石墨,经过化学处理使石墨粒子沿C轴得到急速膨胀,一般膨胀的倍数为80至200倍以上。形成一种疏松柔软具有弹性的物质(图1)。

膨胀石墨属于AB-AB, ABC-ABC 二种六方晶格(图2)。石墨粒子不需要加任何粘结剂,在机械压力作用下,加工成石墨带、板材等制品。使用温度范围在非氧化介质中为 -200°C — $+1600^{\circ}\text{C}$;在氧化介质中可达 400°C 。

膨胀石墨圈的制造工艺是先将板材裁制成初胚,再在专用的胎具芯轴上逐层缠绕,最后在压机上加压成形。制品表面光滑,断面呈波形。(图3, 4)

2. 膨胀石墨板材的主要物理性能(表1)

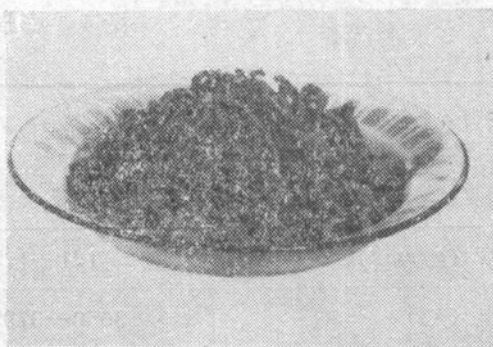


图 1

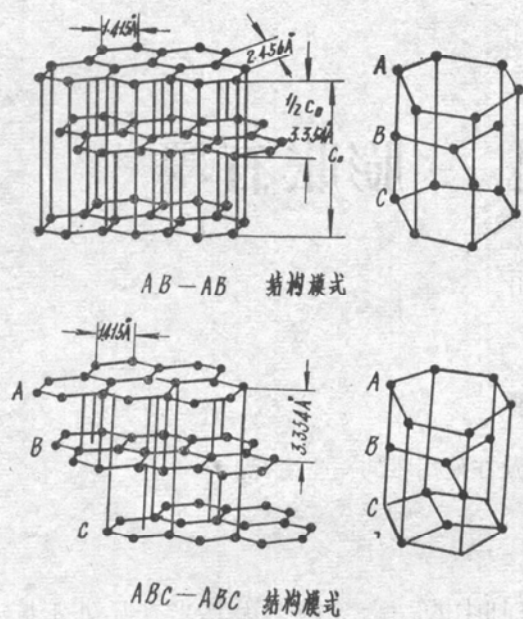


图 2

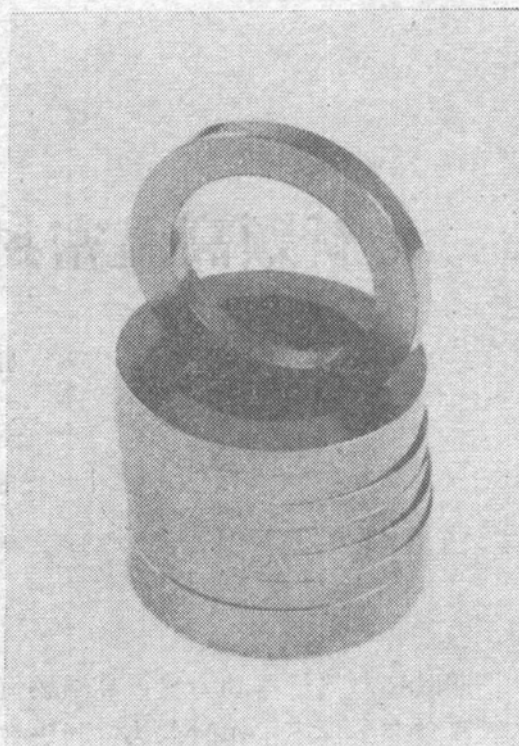


图 3 膨胀石墨圈成品

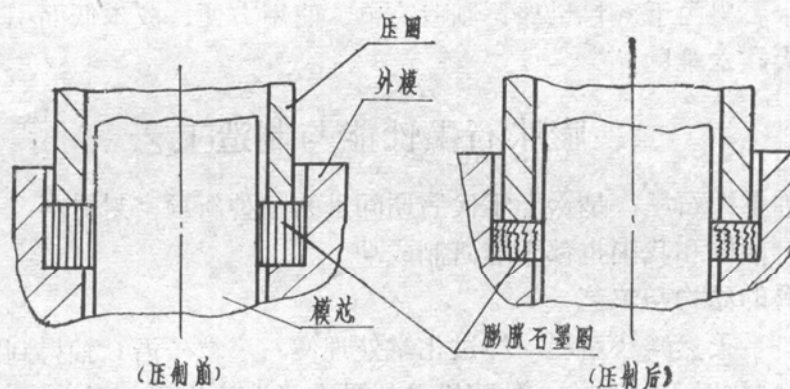


图 4 膨胀石墨垫圈成型工艺简图
表 1

参 数 项 目	中 国	美 国	日 本
密度 (g/cm ³)	1.1—1.6	0.9—1.28	1.5
熔点 (°C)	3650—3797	3680	3650
抗拉强度 (Pa)	(68.6—106.9) × 10 ⁵	(55—82.4) × 10 ⁵	73.6 × 10 ⁵
抗压强度 (Pa)	(196—1111) × 10 ⁵		(196—981) × 10 ⁵
压缩率 (%)	30—42		30
回弹率 (%)	35—50		40
摩擦系数	0.13—0.15		0.15
线膨胀系数 (°C ⁻¹)	面方向 3 × 10 ⁻⁶ 厚度方向 1 × 10 ⁻⁴		

三、使用膨胀石墨密封的一般要求

1. 纯膨胀石墨垫用于凹凸、榫槽式法兰,密封效果良好。密封面的光洁度要求为 $\nabla 6$ 。

2. 膨胀石墨垫圈是一种柔软并富有弹性的非金属垫,所受的总压紧力不宜过大,以免造成过量的压缩变形,失去弹性。但压缩过小则不能起到密封作用。试验表明膨胀石墨垫圈所需的压紧力不大,螺栓拧紧力矩为 $11.8—19.6\text{N}\cdot\text{m}$ (螺栓材料为钢GH130)。试验还表明,厚度为5毫米的膨胀石墨垫圈,一般只要压缩0.8毫米就可以保证密封(这个变形量随着垫圈成形的压密度增加而减小)。使用时可以根据法兰密封槽深度与密封圈厚度来控制压缩量。我们试验曾经压缩24%左右,此时的回弹率约为75%。图5给出了多次试验得出的膨胀石墨压缩量与回弹量的关系。

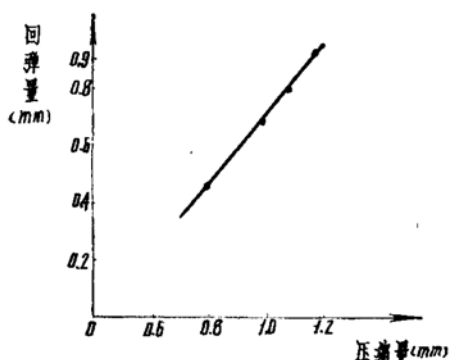


图5 压缩量与回弹量关系图

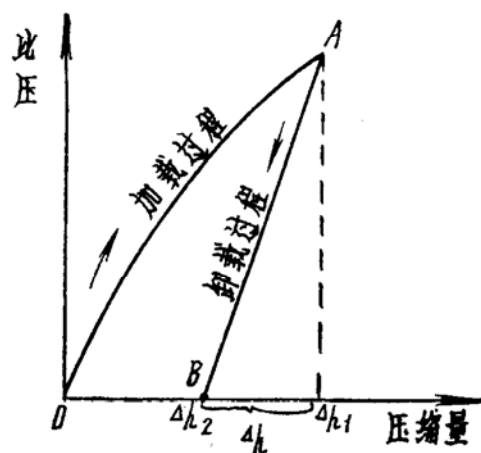


图6

四、膨胀石墨密封机理

当预紧螺栓时,垫圈受力,产生塑性变形,填补了法兰密封面凹凸不平而产生的间隙。由于密封材质的柔软,所以垫圈能与法兰密封的接触面很好地吻合。在压紧力和密封垫本身的弹力联合作用下,产生一定的接触应力,阻止流体的泄漏,达到密封目的。

高温下,膨胀石墨垫具有良好的弹性和复原性。其回弹力的大小可用坐标(图6)表示。图中OA为拧紧螺栓时加载变形曲线,AB为松开时卸载变形曲线,当AB线下降到B点时,会出现垫片的永久残余变形 Δh_2 ,垫片的回弹量为 $\Delta h = \Delta h_1 - \Delta h_2$ 。可以用 Δh 来衡量密封性能的好坏。

膨胀石墨材料本身具有热膨胀的特性,在制造和密封结构上也保证了密封的稳定性。制造垫圈时,其板材压制方向与垫圈工作面方向成 90° ,这样膨胀石墨粒子不致压得过紧而影响弹性;同时由于垫圈的内外径表面呈波形结构,当预紧螺栓时,垫圈在其中贮蓄一定的回弹能量,以补偿高温下的热变形量。

此外,膨胀石墨有良好的不渗透性,防止了密封圈的渗透泄漏。

几年来我们经过试验和应用证明膨胀石墨在高温或高、低温交变条件下,工作安全可靠,密封性能良好。

五、结 论

1. 膨胀石墨垫圈工艺性好，对密封面光洁度要求并不高。
2. 耐热性好，使用温度宽。
3. 法兰密封面所需的压紧力小。
4. 膨胀石墨在高温或高、低温交变条件下，工作安全密封可靠，是一种新颖的工程密封材料。