

柔性石墨的开发和应用

孙 波

(大连机车车辆工厂)

摘 要

本文介绍了国产柔性石墨的主要性能,并与日、美、法等国的同类产品作了比较。列举了使用国产柔性石墨作为新型密封材料的设备规格、工况条件、应用效果以及所取得的经济效益。

一、前 言

柔性石墨(或称膨胀石墨),是目前国际上广泛应用的新型工程密封材料之一。它是用天然鳞片状石墨经过特殊化学处理、热处理加工而成的纯石墨制品。它除了保持天然石墨原有特性外,还具有良好的柔韧性、自润滑性和回弹性;在高温下应用于气体或液体的介质中富有独特的不渗透性。柔性石墨问世后,日本巴尔卡公司和石棉制品公司、美国的联合碳公司、法国的罗兰公司等已先后推广应用。尤其在核工业上的应用已取得了明显的效果。

我国鳞片状石墨矿资源丰富,纯度也远远超过国外的。1979年我国试制成功柔性石墨后,质量不断提高。目前,国产柔性石墨的主要性能见表1。与国外同类产品的性能比较见表2。

表1 国产柔性石墨的主要性能

项 目	单 位	数 据	备 注
抗拉强度	$\times 9.8 \times 10^4 \text{Pa}$	5~100	密度1.1~1.5g/cm ³
抗压强度	$\times 9.8 \times 10^4 \text{Pa}$	>800	
纯 度	%	99.7	
灰 分	%	<0.3	在非氧化性气氛中 在空气中24小时失重1%
使用温度	℃	-200+2500	
氧化开始温度	℃	450	
回弹率	%	15~50	密度1.1~1.5g/cm ³
氧化开始温度	℃	600	作为填料使用
压缩率	%	16~47	密度1.1~1.5g/cm ³
滑动摩擦系数		0.149	
电阻系数*	$\Omega \cdot \text{cm}$	3.5×10^{-4}	
热膨胀系数*	1/℃	$(1.6 \sim 4.7) \times 10^{-6}$	从室温至600℃
热扩散系数	cm ² /S	2.86×10^{-2}	250~1100℃
氮气渗透率	ml/S.cm ²	$1.3 \times 10^{-5}, 2.1 \times 10^{-4}$	板厚1.75mm,密度1.5g/cm ³ 板厚0.5mm,密度1.5g/cm ³

*—a方向测定

表 2

国产柔性石墨与国外同类产品的性能比较

		密 度 (g/cm ³)	融 点 (℃)	拉 伸 强 度 ($\times 9.8 \times 10^4$ Pa)	压 缩 强 度 ($\times 9.8 \times 10^4$ Pa)	压 缩 率 (%)	回 弹 率 (%)	滑 动 摩 擦 系 数
中国	一机部	1.1~1.6	3697~3797	70~100	1000~1100	40~52	30~45	0.3~0.15
日 本	巴尔卡公司	1.5	3650	75	/	30	40	0.15
	石棉制品公司	1.1	3650~3800	40~50	1680	41.2	21.5	0.05~0.1
	皮拉公司	0.8~1.4	3300~3650	109~182	1752	/	/	0.05
美国	联合碳公司	0.96~1.28	3680	56~84	/	/	/	/
法国	罗兰公司	1.1	/	60~70	/	/	10~12	/

表 3 是国产柔性石墨板材与日本同类产品的主要性能比较,可以看出我国产品的灰分 1982 年比 1981 年减少了一半,比日本カーボン样品的灰分低得多。

几年来,在我国设备上用柔性石墨作动密封和静密封填料已收了显著的效果,深受用户欢迎,为我国密封材料填补了空白;为治理跑、冒、滴、漏,争创无泄漏工厂提供了物质基础;为确保安全生产、防止管道漏泄、爆炸等事故起了重要作用。实践表明,柔性石墨与过去常用的橡胶、皮革、石棉、尼龙等密封材料相比,具有以下优点:

1. 具有良好的回弹性和柔韧性,在工作或运行中不会由于温度、压力变化或震动等因素而引起泄漏和渗透。

2. 耐高、低温性能好,低温可用于-200℃,高温可用于1600℃(见表 4)。

表 3 国产柔性石墨板材与
日本同类产品性能比较

测试项目	一机部板材	日本力-ボリ板材
板厚(mm)	0.4~1.0	0.4~1.0
抗拉强度($\times 9.8 \times 10^4$ Pa)	52.5~55.6	40.4
抗压强度($\times 9.8 \times 10^4$ Pa)	685	831
回弹率(%)	29.6	18.4
压缩率(%)	34.5	48.5
灰分(%)	0.20*, 0.40*	4.20

* 1 为 1983 年产品; * 2 为 1981 年产品

3. 耐腐蚀性能优越,除强化性的硝酸、铬酸、发烟硫酸和卤素外,能长期接触酸、碱、盐以及有机溶剂,而不被腐蚀(见表 5、6)。

4. 耐压性能好,在 $200 \sim 650 \times 9.8 \times 10^4$ Pa 的压力下适用范围见图 1、2。

5. 摩擦系数低,自润滑性能好,比常用密封材料的摩擦系数都低,见表 7,其润滑性

表 4 非金属垫片使用温度界限

垫片材料	使用温度界限(℃)
纸 质	100
纤维橡胶	150
合成橡胶	120
石棉纸板	400
石棉橡胶	400
塑 料	200
柔性石墨	-200 + 1600

表 5 柔性石墨在强化性介质中
使用温度和浓度界限

介质	使用浓度 (%)	使用温度 (℃)	介质	使用浓度 (%)	使用温度 (℃)
硝酸	0~10	85	亚氯酸钠	0~4	常温
硝酸	10~20	60	溴	100	常温
硝酸	>20	38	氟	100	150
硫酸	>95	不能使用	碘	100	常温
铬酸	0~10	90	硫酸+硝酸	96+0.03	不能用
氯化钡	0~10	60	硝酸+氟酸	15+5	60
次氯酸钠	0~25	常温	次氯酸钠+氢氧化钠	25	90

表6 柔性石墨在各种介质中的使用范围

介质	浓度 (%)	温度 (°C)	介质	浓度 (%)	温度 (°C)
硫酸	0~20	全范围	氨水	全范围	全范围
硫酸	70~85	170	亚硫酸	全范围	全范围
硫酸	85~90	149	氢氧化钠	全范围	全范围
硫酸	90~93	71	氯化钠	全范围	全范围
硫酸	93~95	71	氯化钾	0~10	60
硫酸	>95	不可使用	次氯化钾	0~25	室温
硝酸	0~10	85	亚氯化钠	0~4	室温
硝酸	10~20	60	溴	100	室温
硝酸	>20	30	溴水	全范围	室温
盐酸	全范围	全范围	干氯气	100	全范围
磷酸	0~85	全范围	氟水	100	全范围
醋酸	全范围	全范围	碘	100	全范围
硼酸	全范围	全范围	水 (硼酸盐)	全范围	全范围
铬酸	0~10	90	矿物油样	100	全范围
柠檬酸	全范围	全范围	苯	100	全范围
乳酸	全范围	全范围	汽油	100	全范围
草酸	全范围	全范围	四氯化碳	100	全范围
硬脂酸	100	全范围	氯仿	100	140
氢氟酸	全范围	全范围	丙酮	0~100	全范围
硫化氢	全范围	全范围			

减少密封材料的摩擦损失。

7. 使用寿命长, 与石棉填料相比, 可延长使用寿命10~20倍以上, 在不增加或不更换填

表7 常用密封材料与钢的摩擦系数

材料名称	摩擦系数	材料名称	摩擦系数
橡胶—钢	0.2~0.4	石棉—钢	0.25~0.4
皮革—钢	0.3~0.5	尼龙—钢	0.3~0.5
毛毡—钢	0.22	石墨—钢	0.05~0.15

二、我厂推广应用柔性石墨概况

我厂自1981年开始, 在水泵轴、膨胀机拉杆、锅炉水位表阀杆等29台动力设备上改用柔性石墨作密封填料, 取得了一定的效果。近一年来, 又做了如下几项开发工作:

1 在半吨汽锤上的试验

111-8半吨汽锤锤挺原用棉纱填料和橡胶盘根合装作密封填料, 改用 $\phi 171 \times \phi 122 \times 18\text{mm}$

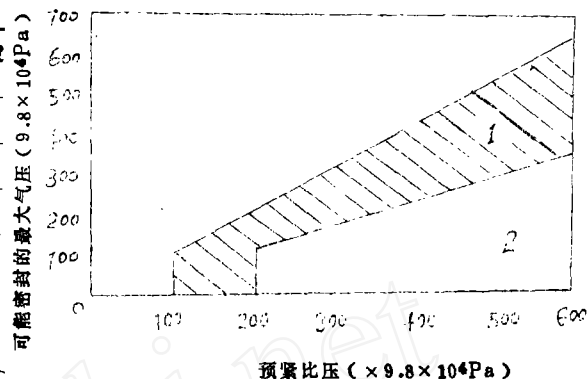


图1 液相密封压力与预紧比压关系示意图
1—短期适用范围; 2—长期适用范围

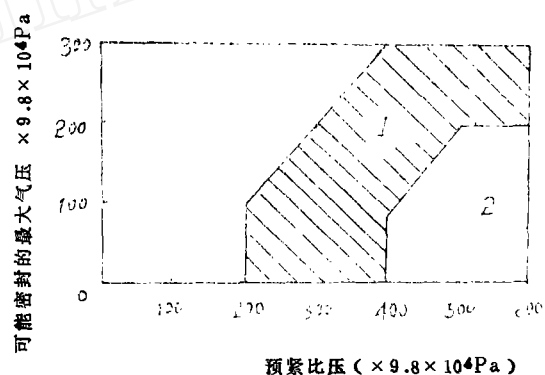


图2 气相密封压力与预紧比压关系示意图
1—可能范围; 2—适用范围

不会因温度、介质不同而失去效能。

6. 预紧力小, 与石棉填料相比, 可大大

减少密封材料的摩擦损失。
7. 使用寿命长, 与石棉填料相比, 可延长使用寿命10~20倍以上, 在不增加或不更换填料的条件下, 只需调整一下填料压盖的预紧力即可改善密封。用过的填料碎片, 还可回收重压使用。

由于柔性石墨具有上述特性, 所以有广泛的适应性, 是石油、化工、机械、电力、冶金等行业理想的密封材料。

的柔性石墨填料后经过一个月的试验,锤挺磨合情况良好,沿圆周未发现漏泄和擦伤现象,达到一次成功。据初步估计,填料的使用寿命可由过去的一两个星期延长到一年以上,平均提高使用寿命三十六倍。按此效果估算,改装一台汽锤每年可为国家节约材料费600余元,人工费700余元,1984年年底改完十一台,仅此项改革,每年可节约14000余元。

2.在三号膨胀机上推广应用

我厂氧气站KFS—860—2型制氧设备,配套用50-110/12型膨胀机,自1958年建站以来,由于膨胀机进排气阀杆填料经常漏泄结冰,不仅给操作者带来极大的麻烦,同时经常出现进排气阀杆动作失灵或卡住现象。为解决漏泄问题,我厂曾先后进行了四次改造,第一次采用牛皮与耐用橡胶圈;第二次改用尼龙填料;第三次改用聚四氟乙烯填料;第四次改用V型圈,结果都不理想,漏泄问题一直没有解决。第五次改造是用柔性石墨压制成 $\phi 32 \times \phi 18 \times 16\text{mm}$ 的填料作试验,取得了良好的效果,深受操作者的欢迎。随后又在三号膨胀机上试用,也获得成功,解决了二十余年的老大难问题。我厂经过两台膨胀机的改装试用及长期运行考验,证明柔性石墨材料在低温情况下应用是当前所有其它密封材料所不能比拟的,使用寿命也较其它密封材料长得多。现在采用的柔性石墨填料,只是结合检修更换一次即可,平日操作者发现有漏泄现象,调整一下压紧螺母就可以了。这不仅减少了维修时间,也减少膨胀机的冷量损失,同时还保证了动能供应和安全生产。

3.在阀门填料上应用

我们在锅炉水位表阀门上采用柔性石墨填料试验成功后,又对空压机水循环系统、锅炉

表8 推广应用柔性石墨填料的设备规格

规格 名称 型号	新锅炉房 1号上水泵	老锅炉房 温水泵	南压缩机站 循环水泵	北压缩机站 循环水泵	氧气站水 循环水泵	乙炔站 抽水泵	制氧设 备用机械 膨胀机	锻造 半吨汽锤
型号	150TS W×7	8DA- 8×2	8K-12	8B29A	6K-8A	8BA-9	50-110 /12	
流量(m ³ /h)	126	288	280	250	200	45		
扬程(m)	203	75	29.1	24	21.3	32.5		
电机功率(KW)	135	115	40	30	22	7.5	14	
电机转速(r/min)	1450	1450	1450	1450	1450	2900		
工作介质	清水	清水	清水	清水	清水	乙炔		
介质温度(℃)	40	90~110	常温	常温	常温	饱和水常温		
生产量(m ³ /h)							1000	
进气压力($\times 9.8 \times 10^4\text{Pa}$)							50	
排气压力($\times 9.8 \times 10^4\text{Pa}$)							8	
进气温度(℃)							-80	
出气温度(℃)							-110	
气缸直径(cm)							110	
活塞行程(cm)							200	
转速(r/min)							167	
气缸数							2	
给气压力($\times 9.8 \times 10^4\text{Pa}$)								5~7
最大行程(cm)								500
打击次数(次/分)								105
最大打击力(N)								5409

* 制氧设备用机械膨胀机的型式: 固定立式双缸双列单级作用活塞式;

* 半吨汽锤的型式: 单臂滑框式

水处理系统和空分设备空气净化系统等三个系统之部分阀门上进行了改装,从已经改完的五十多个阀门看,效果都比较好,计划在全厂普及推广,以便消除管道阀门跑、冒、滴、漏现象。我厂推广应用柔性石墨填料的设备的规格见表8。

三、 柔性石墨密封机理

柔性石墨是不含有任何粘结剂的纯石墨制品,其结构系碳原子正六角形排列的层面,层与层之间由极微弱的范德华力连接,通过氧化处理就可较容易地使异种分子或原子渗入层



图3 柔性石墨六方晶体示意图

间,形成石墨层间化合物,此化合物经过瞬间热处理,使其分解气化而产生推力,获得层间膨胀,沿着碳层C轴方向膨胀100~200倍(见图3),所以柔性石墨有良好的回弹性。这有利于使填料环径向压力大于介质内压力,保证填料的密封性能。由于纯石墨制品在高温或低温的情况下不变质、不老化,有良好的自润滑性,加上不需要很大的顶紧力这种特点,就大大减少了与相应零件的摩擦与磨损。因此,就其使用寿命或密封效果而言,柔性石墨是其它非金属材料填料所不能比拟的。

四、 经济效益分析

1. 改装水泵的经济效益

(1) 节电概算: 为了考察水泵改用柔性石墨后的耗电情况,我们对供风工段北站8B-24A冷却水循环泵进行了测试。首先测定了静摩擦力。改前,石棉填料的静摩擦力矩为 $2.65\text{N}\cdot\text{m}$,改用柔性石墨填料后的静摩擦力矩为 $1.53\text{N}\cdot\text{m}$,即启动瞬间摩擦力矩之差为 $1.09\text{N}\cdot\text{m}$ 。由此可见,柔性石墨填料用于启动频繁的水泵和小水泵上节电是明显的。再测定其运行中的功率。已知电机额定电压为380伏,采用携带式LD6-W型功率测试仪测得用石棉填料时的电流为44A,改用柔性石墨填料后的电流为43.6A,即每台水泵可降低功率消耗 $N = A \cdot V = 380 \times 0.4 = 152\text{W}$,一年可节电 $152/1000 \times 2000 = 304\text{kW}\cdot\text{h}$ 。每度电按0.06元计算,每泵可节约电费 $304 \times 0.06 = 18$ 元多。估计实现此项改革,131台泵每年总共可节约电费2389元。

(2) 每年节约原材料费11266元;节约水费约为4544元;

全厂已改装131台水泵,按上述几项估算,每年可节约18199元。

2 改装汽锤的经济效益

(1) 节约原材料: 改前,每年外购棉纱填料和橡胶盘根的费用为7361元,改用柔性石墨后,每年外购柔性石墨费用为1254元,可节约6107元

(2) 节约维修费用7920元:

全厂已改装11台汽锤,每年可节约费用14027元。

改用柔性石墨后，水泵和汽锤两种设备的年经济效益为32226元。

五、 体会及注意事项

柔性石墨在我厂推广应用后，已充分显示了它的优越性。汽锤、膨胀机、水泵、阀门等漏泄问题得到了改善，使用寿命延长到一年以上（石棉填料只能用一至二星期），更换下来的旧品还可再生，避免了浪费。但在使用中需要注意下列事项。

1. 要干净彻底清除箱内的氧化物，内孔的光洁度不应低于 $\nabla 5$ 。
2. 水泵轴或轴套等与填料滑动部位的光洁度不应低于 $\nabla 6$ ；轴或轴套等的外径与填料箱滑动内径的间隙量应保持在 $0.2\sim 0.5\text{mm}$ 之间。
3. 水泵轴两端填料处的同轴度不得超过 0.02mm ；两点间最大的同轴度不得超过 0.05mm 。
4. 填料箱底面或压盖 45° 的斜面处应修平，使填料与相应的接触面平行接触。
5. 装入切口填料时，不要径向拉开，应按轴向扭开装入轴上，以防止拉损填料，还要注意填料的切口位置相互错开 $90^\circ\sim 180^\circ$ ，以防泄漏。
6. 调整填料箱压盖螺丝时，不要过紧或偏斜，以防抱轴或冒烟，失去自润滑作用。
7. 柔性石墨填料用于大型水泵上或起动次数少的水泵上还有待进一步研究探讨。

Development and Application of Flexible Graphite

Sun Bo

(*Dalian Engine and Vehicle Factory*)

Abstract

As comparison with Japanese, American and French products, the properties of Chinese flexible graphite are reported. The specifications and working conditions of the equipments, in which the flexible graphite is used as sealings are cited.

The effectiveness of sealings and the economic benefit are also given.