

赖盛刚 奚翠 编

膨胀石墨密封材料 及其制品



中国石化出版社

膨胀石墨密封材料及其制品

赖盛刚 奚翠 编

中国石化出版社

(京)新登字 048 号

内 容 提 要

本书对膨胀石墨及以膨胀石墨为原料加工制成的膨胀石墨密封填料和膨胀石墨缠绕垫片的理论及应用作了深入系统的阐述,重点叙述了膨胀石墨的物理性能和化学性能,膨胀石墨密封材料的分类及制品,膨胀石墨密封填料和垫片的制造工艺和性能测试,以及膨胀石墨密封材料在静密封和动密封中的应用。本书侧重实用,特别针对膨胀石墨密封材料在石化工业中的应用作了详细的介绍。

本书适用于石油化工、化工、电力、冶金、核工业、航空航天、机械等行业从事设备维护和制造的工程技术人员,亦可供从事密封制品生产和经销的读者参考。

膨胀石墨密封材料及其制品

赖盛刚 奚荣 编

中国石化出版社出版发行

(北京朝阳区太阳宫路甲 1 号 邮政编码: 100029)

煤炭工业出版社印刷厂排版

北京北方印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

787×1092 毫米 32 开本 5.5 印张 147 千字印数 1—5000

1994 年 5 月北京第 1 版 1994 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN7-80043-595-0 I B·001 定价: 5.00 元

目 录

第一章	概 论	1
第一节	填料密封的机理	1
第二节	膨胀石墨密封填料的发展状况	3
第二章	膨胀石墨	23
第一节	概述	23
第二节	膨胀石墨的微观结构	28
第三节	膨胀石墨的物理和化学性能	31
第四节	膨胀石墨的生产工艺	42
第五节	膨胀石墨的检测	45
第三章	膨胀石墨密封件	54
第一节	膨胀石墨密封材料的分类及发展	54
第二节	膨胀石墨制品	54
第四章	膨胀石墨材料的机械性能	62
第一节	膨胀石墨材料的机械性能	62
第二节	膨胀石墨材料在高温下的机械性能	74
第三节	影响膨胀石墨密封材料机械性能的因素	77
第五章	膨胀石墨密封材料在静密封中的应用	84
第一节	概述	84
第二节	膨胀石墨垫片的力学性能和密封性能	89
第三节	膨胀石墨垫片的应用及注意事项	123
第六章	膨胀石墨密封件在动密封中的应用	131
第一节	填料密封的泄漏和密封填料的力学性能分析	

.....	131
第二节 膨胀石墨填料密封的实际工况	139
第三节 膨胀石墨填料的密封性能测试	142
第四节 膨胀石墨填料密封装置的设计与安装	154
第五节 应用实例	158
参考文献	163

第一章 概 论

第一节 填料密封的机理

何谓填料？顾名思义，即用作填充物之材料。何谓密封填料？即是把与工况和工作介质性能相适应的材料填塞在泄漏通道内，以阻止工作介质外泄和外部大气内漏之物料。而这种用填料防止内外泄漏的方法，谓之填料密封。

从图 1-1 可见，填料密封的最简单结构是由填料 1、压盖 2 和填料函 3 所组成。填料函是放置填料的小室，它与机器的壳体连成一体，压盖 2 是把置于填料函 3 内的填料 1 压紧，使之紧贴在轴上，造成被密封的空间与外界隔绝，因而使工作介质不能或很少泄漏到外部。

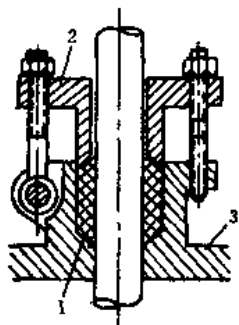


图 1-1 填料密封的最简单结构

1—填料；2—压盖或压紧轴套；
3—填料函

图 1-2 表示了填料密封的整个工作过程。图 1-2 (a) 指的是未压紧前的新填料。图 1-2 (b) 所示是被压紧的填料，在机器开始工作后，由于填料和轴之间的摩擦，使填料中含有的润滑剂一部分被挤出和被蒸发，从而使填料的体积减小，此时，填料不再和轴紧密接触，因而工作介质开始从被密封腔内泄出，这时，必须把压盖拧紧以压缩填料函中的填料，使

其再度与轴紧密接触，以堵塞介质泄漏的通道。而当没有泄漏时，以泄漏着的工作介质作为密封填料的润滑剂的供给就停止了，这时，在填料内尚存的润滑剂就又渗出来。图 1-2 (c) 表明随着填料内尚存的润滑剂的再渗出，由于轴和填料之间的摩擦，轴又开始变热，并使填料本身的温度升高，从而

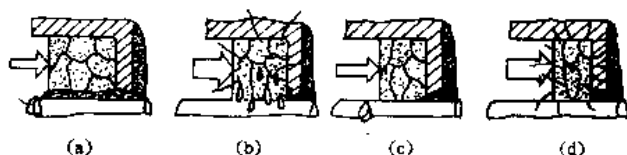


图 1-2 填料在密封工作过程的示意图

- (a) 未被压缩的密封填料；
- (b) 填料经压缩后，润滑着轴；
- (c) 工作介质开始泄漏，并润滑着轴；
- (d) 继续压缩填料，填料内的浸渍物流出

使填料内尚存的润滑油不断地渗出，渗出的浸渍剂则不断被蒸发和挤出，填料在填料函内的体积逐渐减小，使得填料再一次不和轴接触，于是工作介质再次从被密封腔体向外泄漏。图 1-2 (d) 表明继续压缩填料，填料内的浸渍物流出的示意，如果把填料内的浸渍物全部挤出，其后果是填料的体积再度减小并变干发硬，这样不仅失去密封的效果，还将擦伤轴的表面。

在讨论了填料密封的工作过程以后可见，决定填料密封性能的因素，一是填料本身所具有的性能，二是填料所处的工况参数（温度、压力、轴的转速和工作介质的腐蚀性等等）。这两种因素是互有影响的，后者促进了填料研制的发展，而每一种新的填料问世，就促进机器设备密封结构和性能的

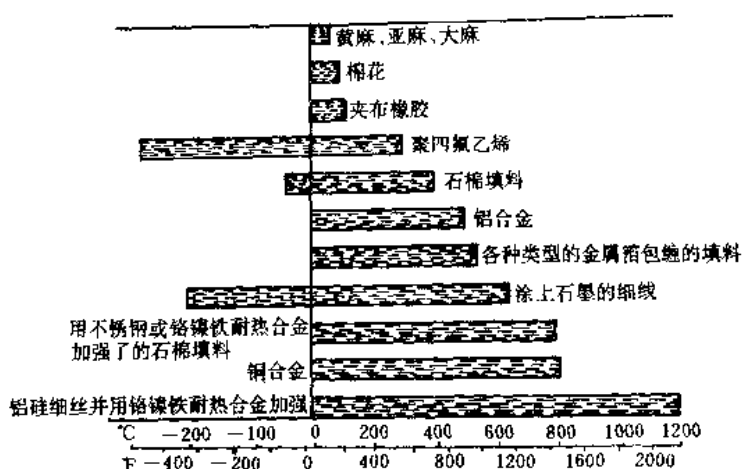


图 1-3 不同材质的填料适应的不同使用温度

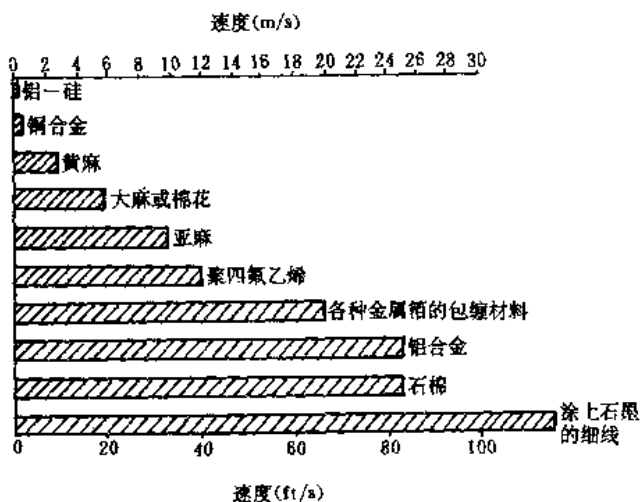


图 1-4 不同材质的填料适应的不同使用速度

进一步提高。这就是说，不同质的填料适用于不同的工况和不同的介质（见图 1-3、图 1-4 和表 1-1），同时，对于同一个填料函和同一个工作介质和工况，必然对应着一个“量”，即填料在填料函内应占有的体积（通常以圈数表示），下面将讨论填料在填料函中，是不是填料的圈数越多越好。

在填料函中，位于压盖附近的几圈填料具有关键的密封作用。图 1-5 所示的在填料函中各圈填料的受力图象，正说明了这个问题。这是由于填料与填料函内表面的摩擦要比沿着轴的摩擦大得多（这甚至在填料函内表面与轴的光洁度一样时也如此）。显然，如果填料与填料函内表面的摩擦不大，则填料将和轴一起旋转。因此，施加于压紧轴套（或压盖）上的力越大，则靠近压盖的第一圈填料承受的压力越大。由于填料都有一定的回弹性，因而，这个压力的传递是随着填料环与压盖之间的距离增加而减弱。图中的压力分布曲线表明，在总数为八圈的填料函中，实际工作的只有五圈，在后面的三圈只具有不大的密封作用。实践证明，圈数过少容易泄漏，而圈数过多（超过八圈），则轴的磨损和耗功量增大。但是，

表 1-1 不同材质填料的使用范围

材 质	形 状	纤维材料	润滑剂	温度 ℃	一般用途
编织的浸渍过润滑剂的棉织物	正方形	长城棉	5~15%重量比的石墨（或云母），40~50%重量比的润滑油和凡士林或钙基黄油	65	离心式水泵

续表

材 质	形 状	纤维材料	润滑剂	温度 ℃	一般用途
编结的浸渍过润滑剂的大麻编结的浸渍过润滑剂的亚麻	正方形	大麻或亚麻短纤维	5~15%重量比的石墨(或云母)、动物或矿物脂 35~45% (重量比)	65	往复式高压泵(用于输送食品时不用矿物润滑剂)
干的编结的石棉 干的扭制的石棉	圆的或正方形的	白色蛇纹石石棉纤维	5~15%重量比的石墨(或云母)、23~33%的粘度 $\geq 400\text{cst}$ (38℃) 闪点 $\geq 205^\circ\text{C}$ 的矿物油(重量比)	-40~300	用于蒸汽压力小于4MPa的冷凝液、腐蚀性液体的蒸发器和空气压缩机的阀门
用金属丝加强了的编结的石棉 用金属丝加强了的扭制的石棉	正方形	白色蛇纹石石棉纤维加黄铜丝(或镍铜铬铁丝, 或不锈钢丝)	$\geq 3\%$ 重量比的云母(或石墨)	-40~800	无酸性或碱性的锅炉阀门
加固了的石棉	疏松的纤维	用未经硫化的橡胶覆盖的白色蛇纹石石棉纤维	不用润滑剂	450	用来代替预制填料在水龙头或阀门上使用

续表

材 质	形 状	纤维材料	润滑剂	温度 C	一般用途
浸渍了润 滑剂的石棉 纤维	疏松的 纤维	白色蛇 纹石石棉 纤维	石墨（或云 母）	540	可代替预 制填料在阀 门填料函使 用
含有润滑 剂的金属箔	正方形	螺旋绕 制的铅或 铝箔	石墨和矿物 润滑油	250（铅） 540（铝）	用于高速、 高压溶剂热 油；气体和锅 炉进水装置
干的编结 的聚四氟乙 烯	正方形	聚四氟 乙烯	无	230	腐蚀性介 质
夹布橡胶	正方形	带有橡 胶涂层的 棉织压制 品	无	120	往复式或 低转速泵
干的编结 的碳纤维	正方形	碳纤维	无	310	腐蚀性介 质，在无氧化 性介质时，可 耐 高 温 到 650 C
干的编结 的石棉 干的扭制 的石棉	圆形或 正方形	白色蛇 纹石石棉 纤维	无	500	用于准静 态的高压釜、 锅炉截止阀

续表

材 质	形 状	纤维材料	润滑剂	温度 ()	一般用途
铜合金	正方形	铜丝	无	800	高温阀杆
带有铬镍 铁耐热合金 金属丝的铝 硅编结物	正方形	铝-硅 纤维	无	1200	静密封或 非常慢的运 动和抵抗急 冷急热

在高温和高压条件下，或工作介质为含磨粒或具有腐蚀性时，在填料密封中唯一的解决方法就是使用大量的填料环。

综上所述，由于橡胶、合成树脂、合成纤维和石棉等四大类密封填料存在着许多弱点，尽管它们目前还算是国内常用的主要密封填料的原料，但是，它们必将被新型的原料所逐步取代。

八十年代初期，由于上述四类填料材料存在的延伸率大、容易蠕变、老化、松弛、耐热性差和本身具有“毛吸”现象、容易渗漏等缺点，我国石油化工企业开始应用膨胀石墨作为密封填料的材料，经过十年来的实践，已经全面推广，但由于应用理论研究跟不上，使它的应用效果与范围一度受到限制。

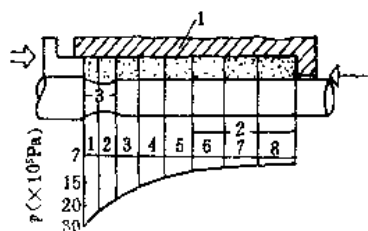


图 1-5 密封软填料对轴的压力分布曲线图

1—粗车的小室；2—轴磨损的地方；
3—用不着的密封填料环

第二节 膨胀石墨密封填料的发展状况

近代工业技术对新一代优良的密封填料，要求它们应具备下列主要特性：

(1) 对气体和液体具有不渗透性，且能适应高温和高压工况；

(2) 具有良好的回弹性和可塑性，它不仅在承受轴向压紧力时，能产生足够的起密封作用的径向力，而且还应有一定的补偿轴向压紧力松弛的回弹力；

(3) 具有耐化学腐蚀性。材料本身不分解，不被介质泡胀，不污染介质，在与轴接触时不产生电化学反应，不腐蚀密封面；

(4) 自润滑性能良好，摩擦性能好（耐磨、摩擦系数小）；

(5) 无毒，不会引起环境污染；

(6) 具有良好的导热性。能以较快的速度把轴和填料之间的摩擦热导出，使填料密封能适应动密封的一定的线速度；

(7) 耐辐射；

(8) 有较长的使用寿命。

石墨的性质与上述要求的特性有许多共同点，但天然石墨并不能直接用作密封填料，而需要进行一系列的物理和化学处理。六十年代中期，美国联合碳化物公司首先研究成功膨胀石墨密封材料，并于 1963 和 1966 年分别在美国和英国发布了专利。嗣后，美国洛克惠尔阀门工程研究设计中心试验所为解决原子能阀门泄漏问题，于 1971 年 4 月至 12 月采用美国九家公司生产的 16 种不同类型的密封填料，在 64 个试验点进行对比试验。试验是在浓度为 2000ppm 的硼酸溶

液，温度为小于 56°C 、压力为 17.6MPa 和温度为 $260\sim 343^{\circ}\text{C}$ 、压力为 15.7MPa 工况条件下进行的。在 75 天试验中，温度压力交变 40 次，结果表明，膨胀石墨填料密封效果最好。于是，引起世界各国的重视，这种材料的生产发展很快，英国克朗填料密封公司 (Crane Packing Seal Corporation)、法国罗兰碳公司、德国西格里电碳公司、马丁·莫克尔公司、日本彼勒公司和日本碳素公司都先后投入生产，并已达到系列化、标准化的程度。表 1-2 列出了日本彼勒公司生产的膨胀石墨制品的系列代号、名称、构造、性能及用途。1978 年，我国也研制成功这种新颖的密封材料，并已广泛用作机、泵、管、阀的填料密封，效果显著。我国从 1983 年起，进行了膨胀石墨盘根的研制，并于 1987 年投入批量生产，产品经美国联合碳化物公司 (UCC) 全面测试分析与日本彼勒公司 (Nippon-pillar) 类似产品比较认为：构思有别于目前各国的所有方法，具有独创性，处于国际领先水平。目前已在国内石油化工、机械、冶金、电力、原子能和航空等部门应用，效果良好。下面举几个国内外的应用例子。

一、国外应用实例

(1) 在日本，轻水反应堆和重水反应堆上的多数阀门用此种填料，无一台发生泄漏。在超临界压力下试用的结果也很良好。

(2) 在德国，布格曼公司将膨胀石墨填料密封用于锅炉给水泵、热油泵及高压蒸汽阀门，密封效果良好，使用寿命均在 10000 小时以上 (详见表 1-3)。

(3) 在墨西哥，海湾炼油厂用膨胀石墨作泵的密封填料，在 23 台转速为 3600r/min 、轴径为 $44\sim 50\text{mm}$ 的泵上，输送温度达 315°C 的各种石化产品，三年未出现明显的泄漏。拆开

表 1-2 日本彼勒公司膨胀石墨密封制品

商品号	名称	结构	性能	主要用途
P1630	膨胀石墨包覆金属垫片	石棉板外包薄金属片,外面再覆盖一层或两层膨胀石墨		高温、高压蒸汽、油、热媒、氨、极低温流体的法兰垫片
P2600	膨胀石墨缠绕垫片	不锈钢薄片与膨胀石墨片相互重叠缠绕成螺旋形,并将两端进行点焊	-200~1000℃ 25MPa	高温、高压蒸汽、危险性气体、氨、氯等配管法兰用垫片,压力容器垫片
P2600N	原子能用膨胀石墨立式垫片	P2600 制品在构造上加以改进,以适应于原子能工业	1000℃ 25MPa	同上
P6610	膨胀石墨填料	将膨胀石墨板加工成与填料函配合的成型填料	870℃ 30MPa	高温、高压阀门、热媒用阀门、各种机械用阀门
P6610N	膨胀石墨填料	P6610 制品在结构上加以改进,以适应于原子能工业	870℃ 30MPa	同上
P6615	膨胀石墨填料	将膨胀石墨板加工成皱纹状并与填料函配合的成型填料	250℃ pv=20MPa·m/s	罐水循环泵、高温高压泵、机械泵
P6630	膨胀石墨积层垫片	按所定厚度将膨胀石墨板积层冲压加工	-200~1650℃	高温、高压蒸汽、油、热媒、氨、腐蚀性流体等配管及机器法兰
P6631	膨胀石墨板金属背架垫片	膨胀石墨片内装有薄金属片,通过机械压制成板状,再冲压裁成垫片	-200~870℃	
P6660	膨胀石墨普通平带	膨胀石墨板加工成带状,里面涂有粘剂	870℃	配管法兰、热交换器、液面计、泵壳等的垫片,高温用螺纹密封
P6670	膨胀石墨皱纹带	膨胀石墨板表面加工成皱纹状里面涂以粘剂	870℃	配管法兰、热交换器、液面计、泵壳等的垫片

表 1-3 德国布格曼公司应用膨胀石墨填料的效果

设备名称 使用条件	介质	温度 ℃	压力 MPa	线速度 m/s	填料寿命 h
锅炉给水泵	水	220	0.9	19	>30,000
锅炉给水泵	水	190	3	5.3	>24,000
二级给水泵	甲醇盐	165	0.88	18	>10,000
酸 泵	稀盐酸	40	0.6	4	>14,000
油 泵	热油	175	0.6	4.3	>10,000
减压阀	蒸汽	150	7		>16,000
透平稳压阀	蒸汽	500	20		>10,000

3 台泵检查，没有发现轴有明显的损坏，认为比机械密封可靠。

(4) 此外，国外还将这种填料用在温度为 350℃、压力为 2MPa 的合成热煤介质的设备中，经受周期性改变温度和压力的工况。有时，还工作在 -196℃ 的液氮中，结果均未发生任何泄漏。

综上所述，膨胀石墨密封填料的耐高低温性能和耐溶剂性能是良好的。

二、国内发展及应用实例

1. 国内现状及发展

自 1978 年以来，我们对膨胀石墨材料的研究、生产与应用越来越深入与广泛。浙江大学对材料的微观结构、膨胀机理、性能、影响因素、测试检验及改善与提高材料和产品性能等方面进行了大量的工作，并取得了较好的科研成果。

膨胀石墨密封材料及其制品,自我国试制与生产以来,已在石油化工、油气田、化工、机械、电力、冶金、化纤、化肥、染料、原子能和航空航天等许多工业部门得到了应用,并取得了良好的效果。实践证明,它是一种比较理想的密封材料。随着我国产品质量的提高和新品种的出现,受到国外同行的青睐,产品已远销国外,尤其在西方发达国家更受欢迎。有的生产厂已在多个国家申报了专利,已获中国和美国专利权。

膨胀石墨材料及其密封制品的生产厂家,如雨后春笋般地发展起来,数量难以统计,据了解仅浙江省慈溪市就有数十家生产厂。

国营浙江慈溪密封材料总厂(邮编:315302),是国内最早研制与生产膨胀石墨密封材料及制品的专业化生产厂。它是机械部的重点企业,也是石化总公司、化工部、冶金部、核工业部及航天部的选点企业,并于1988年在同行中率先进入国家二级企业。该厂自1978年以来,经过十多年的努力,现能生产膨胀石墨板材、卷材、波形花纹带,各种高强复合垫片,新型编织盘根,以及换热器用垫片和汽缸垫等十一大类,共5000多种规格。其中PSPG盘根、PSFD高强复合板等是国内首创,在国际上也未见报道。尤其是PSPG产品,是在高新领域中的重大突破,是传统石棉制品的最佳代用品。去年又成功地研制了膨胀聚四氟乙烯密封胶带,经石化企业使用,密封效果良好,并通过了石化总公司的技术鉴定,目前正在推广应用。

PSPG膨胀石墨编织填料不含石棉,可在除强氧化剂外的绝大多数化学介质及最恶劣的化学环境中使用。在 $-200^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$ 温度范围内非常稳定,不发热、不硬化、易