前　　言

阀门填料函的密封问题，是一项重要的研究课题。因为它直接关系到阀门质量的优劣和阀门的安全操作，从而与设备的正常运转、工人的人身安全密切相关，所以很自然地受到人们的重视。

我国的填料生产随着阀门的日益发展而发展，对填料密封的试验研究在60年代就已开始。1975年，阀门填料密封列入一机部的机械工业十年科技发展规划中100项基础件攻关计划，并列为重点攻关项目。从此，在上级领导下，阀门填料密封研究工作进入了新的阶段。不仅在阀门行业受到重视，也得到了国家建委建材总局的大力支持。根据国家建设的近期任务和远景规划，提出了许多研究项目，组成了许多有阀门厂、石棉制品厂、科研单位和大专院校参加的三结合攻关小组，积极开展攻关工作，有力地推动和加快了填料密封的试验研究。

我国社会主义建设的飞跃发展，特别是石油化工的新发展，火力发电站和核电站的大型化，宇宙航行和国防建设，对阀门填料密封提出了更多更新更高的要求。这些要求可大致概括如下：

1. 发展填料新品种。主要是高温高压填料（$t=450\sim600℃$，$P\geqslant64\sim200kgf/cm^2$）；超高温（$t=800\sim1200℃$）填料；超高压（$P=1500\sim3000kgf/cm^2$）填料；低温与超低温填料（$t=-70\sim-196℃$；$t=3°K$）；塑料成型填料；原子能阀用填料等。

2. 提高填料的密封性能和使用寿命。由于工况条件的恶化，对防止阀门外漏的要求很严格，使用寿命除一般要求能达到1～2个检修期外，核电站阀门要求至少能连续运行40年以上。

3. 降低填料对阀杆的摩擦力。

4. 防止填料对阀杆和填料函的腐蚀。

5. 改进填料装卸方法，特别是对有放射性或剧毒等有害物质，往往要求远距离自动拆卸填料。

本书汇编了近年来我国填料密封攻关的部分成果，有关阀门填料密封理论，设计和标准的文章以及反映国外填料和垫片产品发展新动向和试验研究的文献资料，其中一篇文章谈的是往复压缩机的填料密封，一篇是涉及转轴密封的新结构和新材料，鉴于对阀门填料密封有参考意义，一并列入。

我们希望本书能对在阀门、密封填料生产岗位上及其它有关工业部门工作的工程技术人员和工人，研究单位的科研人员提供参考，起到交流技术、推动攻关工作深入开展的作用。由于我们经验不足，错误之处请予指正。

在本书出版过程中，得到上海阀门厂、上海阀门三厂及其它兄弟单位的热情帮助，在此表示衷心感谢。

合肥通用机械研究所阀门填料密封研究小组

一九七七年八月

目　录

1. 阀门填料函设计中的若干问题……合肥通用机械研究所　郑植荔(1)
2. 阀门用的填料和垫片……〔日〕中川孝次(12)
3. 压缩填料 ……〔英〕B. D. Halligan(20)
4. 高压填料的基础分析 ……〔美〕Thomson. J. L等(26)
5. 密封与填料的革新……(38)
6. BSP-600波型填料的试验研究 ……合肥通用机械研究所　上海石棉制品厂(44)
7. BSP-600波型填料的试制工艺……合肥通用机械研究所　上海石棉制品厂(55)
8. YBF成型填料密封性能试验……上海阀门厂　上海材料研究所(57)
9. 阀杆腐蚀的原因和防止的方法
……北京热电厂　上海石棉制品厂　合肥通用机械研究所(66)
10. 新的试验工作阐明原子能阀杆密封和填料的准则 ……〔美〕A. K. Velan(75)
11. 增加填料高度能否改善密封性的新见解——在原子能阀上的研究结果
……〔美〕R. F. Champagne(79)
12. 水在阀门填料函处的泄漏……〔美〕F. C. Apple(82)
13. 软质填料的收缩性和侧压力……〔苏〕Ю. и. бубнов(87)
14. 填料函摩擦表面的磨损……〔苏〕Н. Б. Вологодский等(89)
15. 阀门填料函的温度控制……〔英〕George I. Chinn(91)
16. 石棉及耐火纤维制的超高温填料……〔日〕栗原隆夫(94)
17. 液态填料在阀门中的应用……〔日〕原田静男(96)
18. 波型填料试验报告 ……上海阀门厂、上海石棉制品厂(102)
19. 超低温阀门填料垫片的特性 ……〔日〕素本博之等(108)

化工与通用机械参考资料
阀门填料密封
1977年12月

编辑：
出版： 合肥通用机械研究所
发行：
印刷： 机械工业出版社印刷厂

工本费：0.80元

033209

阀门填料函设计中的若干问题

合肥通用机械研究所　郑植嘉

阀门填料函虽是一种古老简单的轴封结构，但人们对它的认识并不深入。填料函的主要尺寸为填料宽度和填料函深度，这两个尺寸许多国家都已标准化或者有推荐的经验公式；关于填料压紧力和摩擦力也有各种计算公式，不过各家的说法不一，出入较大，值得进一步探讨。

填料函的尺寸选择，填料压紧力与摩擦力的计算，是阀门设计的重要组成部分。填料函结构是否合理直接影响阀门的使用性能。因此，对于填料函的设计一向为人们所重视。我们现把收集到的上述有关资料、标准汇集简介如后，以期引起从事阀门设计与制造方面工作的同志注意，便于进行分析研究，把我国阀门制造工业的水平提高一步，为赶超世界先进水平而共同努力。

填　料　宽　度

填料宽度 B 对密封性能和填料装拆都有很大影响。较宽的填料装拆方便，对阀杆表面和填料函内表面的不规格性不敏感，就是说，它具有较大的塑性，容易弥补密封表面的缺陷。但是，如果填料过宽，填料在压紧时将不容易均匀地压缩，而且要求较大的填料压紧力。反之，宽度较小的填料在相同的压紧力下产生较大的密封比压，较易达到密封，但宽度过小则对阀杆的振摆敏感，磨损严重，寿命短。

我国和其它一些国家都已将填料宽度 B 予以标准化。我国一机部部颁标准为 JB 1712-75，见表1。西德标准 DIN 3780 见表 2 与图1。阀门只用其中的普通型，尺寸列于表3。美国填料制造协会（MPA）的标准见表 4 和图 2。日本标准 JIS B 2405-1966见表 5。日本有些阀门厂则根据西德、美国标准制订了自己的厂标，如表6、7。捷克推荐的填料函尺寸如表 8。

除了上述标准外，关于填料宽度 B 和阀杆直径的关系，在许多资料、文献上还有推荐的经验公式，现部分引录于后：

$B=(1.5\sim2.5)\sqrt{d}$	（日）《バルブ便览》
$B=(1\sim2)\sqrt{d}$	（德）DIN3780
$B=(0.7\sim1.5)\sqrt{d}$	（苏）《阀门设计与计算》
$B=(1.4\sim2)\sqrt{d}$	（苏）《调节阀与闭路阀》
$B=(0.9\sim2.5)\sqrt{d}$	（中）JB1712-75

表 1　JB 1712-75　石棉填料（摘要）　mm

d	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	32	36	40	44	50	55	60	65	70	75	80	90
B	3		4		5		6			8					10					13			16

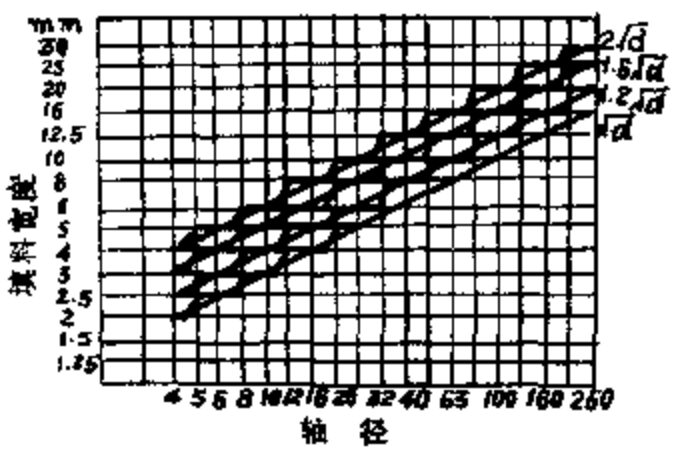


图 1　填料宽度与轴径的关系

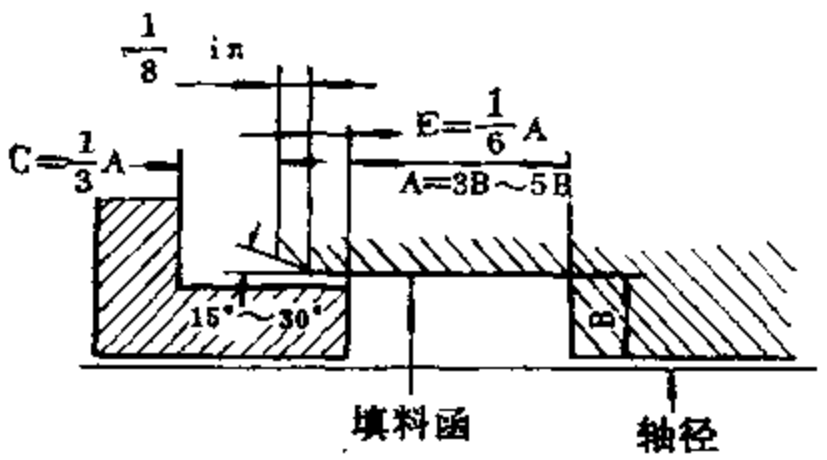


图 2　填料函简图

表 2　DIN 3780　　mm

d	填料函内径 D												d	填料函内径 D					
	1.28	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12.5	16		10	12.5	16	20	25	30
4			8	9	10	12							53	73	78	85			
4.5			8.5	9.5	10.5	12.5							55	75	80	87			
5				10	11	13	15						56	76	81	88			
5.5				10.5	11.5	13.5	15.5						60	80	85	92			
6	8.5*			11	12	14	16						63	83	88	95			
7				12	13	15	17						65	85	90	97			
8		11			14	16	18	20					67	87	92	99			
9			13		15	17	19	21					70	90	95	102			
10(10.5)				15	16	18	20	22					71	91	96	103			
11					17	19	21	23					75	95	100	107			
12(12.5)					18	20	22	24	28				80	100	105	112	120		
14(14.5)					20	22	24	26	30				85		110	117	125		
15						23	25	27	31				90		115	122	130		
16						24	26	28	32				95		120	127	135		
17						25	27	29	33				100		125	132	140		
18						26	28	30	34				105		130	137	145		
20							30	32	36	40			106		131	138	146		
22							32	34	38	42			110		135	142	150		
24							34	36	40	44			112		137	144	152		
25							35	37	41	45			115		140	147	155		
26								38	42	46			118		143	150	158		
28								40	44	48			120		145	152	160		
30								42	46	50			125		156	157	165	175	
32									48	52	57		130			162	170	180	
34									50	54	59		132			164	172	182	
35									51	55	60		135			167	175	185	
36									52	56	61		140			172	180	190	
38									54	58	63		150			182	190	200	
40									56	60	65		160			192	200	210	
42									58	62	67		170			202	210	220	
44									60	64	69		180			212	220	230	
45									61	65	70		190			222	230	240	
48									64	68	73		200			232	240	250	260
50										70	75	82	210				250	260	270

表3　DIN 3780（$S=1.25\sqrt{d}$部分）　mm

d	4～4.5	5～7	8～11	12～18	20～26	28～36	38～50	53～75	80～120	>120
B	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	18

表4　MPA 标准　mm

序号	B	轴径	填料函直径	A=3B	A=5B	序号	B	轴径	填料函直径	A=3B	A=5B
8	1/4″	1/4″	3/4″	3/4″	1-1/4″	46	3/8″	3-3/4″	4-1/2″	1-1/8″	1-7/8″
10	1/4″	3/8″	7/8″	3/4″	1-1/4″	49	7/16″	4″	4-7/8″	1-5/16″	2-3/16″
12	1/4″	1/2″	1″	3/4″	1-1/4″	50	7/16″	4-1/4″	5-1/8″	1-5/16″	2-3/16″
14	1/4″	5/8″	1-1/8″	3/4″	1-1/4″	51	7/16″	4-1/2″	5-3/8″	1-5/16″	2-3/16″
16	1/4″	3/4″	1-1/4″	3/4″	1-1/4″	52	7/16″	4-3/4″	5-5/8″	1-5/16″	2-3/16″
18	1/4″	7/8″	1-3/8″	3/4″	1-1/4″	53	7/16″	5″	5-7/8″	1-5/16″	2-3/16″
20	1/4″	1″	1-1/2″	3/4″	1-1/4″	54	7/16″	5-1/4″	6-1/8″	1-5/16″	2-3/16″
22	1/4″	1-1/8″	1-5/8″	3/4″	1-1/4″	55	7/16″	5-1/2″	6-3/8″	1-5/16″	2-3/16″
24	1/4″	1-1/4″	1-3/4″	3/4″	1-1/4″	56	1/2″	5-1/2″	6-1/2″	1-1/2″	2-1/2″
25	5/16″	1-1/4″	1-7/8″	15/16″	1-9/16″	58	1/2″	6″	7″	1-1/2″	2-1/2″
26	5/16″	1-3/8″	2″	15/16″	1-9/16″	60	1/2″	6-1/2″	7-1/2″	1-1/2″	2-1/2″
27	5/16″	1-1/2″	2-1/8″	15/16″	1-9/16″	62	1/2″	7″	8″	1-1/2″	2-1/2″
28	5/16″	1-5/8″	2-1/4″	15/16″	1-9/16″	64	1/2″	7-1/2″	8-1/2″	1-1/2″	2-1/2″
29	5/16″	1-3/4″	2-3/8″	15/16″	1-9/16″	66	1/2″	8″	9″	1-1/2″	2-1/2″
30	5/16″	1-7/8″	2-1/2″	15/16″	1-9/16″	67	1/2″	8-1/2″	9-1/2″	1-1/2″	2-1/2″
31	5/16″	2″	2-5/8″	15/16″	1-9/16″	68	1/2″	9″	10″	1-1/2″	2-1/2″
32	5/16″	2-1/8″	2-3/4″	15/16″	1-9/16″	69	1/2″	9-1/2″	10-1/2″	1-1/2″	2-1/2″
33	5/16″	2-1/4″	2-7/8″	15/16″	1-9/16″	70	1/2″	10″	11″	1-1/2″	2-1/2″
34	5/16″	2-3/8″	3″	15/16″	1-9/16″	71	1/2″	10″-1/2″	11-1/2″	1-1/2″	2-1/2″
35	5/16″	2-1/2″	3-1/8″	15/16″	1-9/16″	72	1/2″	11″	12″	1-1/2″	2-1/2″
36	3/8″	2-1/2″	3-1/4″	1-1/8″	1-7/8″	74	1/2″	12″	13″	1-1/2″	2-1/2″
38	3/8″	3-2/4″	3-1/2″	1-1/8″	1-7/8″	76	1/2″	13″	14″	1-1/2″	2-1/2″
40	3/8″	3″	3-3/4″	1-1/8″	1-7/8″	78	1/2″	14″	15″	1-1/2″	2-1/2″
42	3/8″	3-1/4″	4″	1-1/8″	1-7/8″	80	1/2″	15″	16″	1-1/2″	2-1/2″
44	3/8″	3-1/2″	4-1/4″	1-1/8″	1-7/8″						

表5　JIS B 2405　mm

d	4, 5, 6 7, 8, 9 10	11, 11.2, 12, 12.5 13, 14, 15, 16, 17, 18	20, 22, 22.4, 25, 28 30, 31, 35, 35.5, 40, 42	45, 65, 70, 85, 90 71, 75, 80, 95, 100	105, 110, 112, 120, 125, 130, 140, 150, 160	170, 180, 190, 200
B	6, 7, 8, 6, 8, 10	6～10, 12.5	8～12.5, 16, 20	10～20	12.5～25, 31.5	31.5

表6　日本东亚阀门厂标准　　mm

d	8.5	9.5	11	12	13	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	55	58	60	62
B	2.75	3.25	3.5	3.5	4	4	5	5	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16

表7　日本阀野阀门厂标准　　mm

d	16～20	24	28	36～44	48～62	68	72
B	3/16″	1/4″	5/16″	3/8″	1/2″	5/8″	5/8″

表8　捷克《发电厂管路附件》中推荐的填料函尺寸　　mm

d_c	s	h				
		P_y 6	P_y 10—16	P_y 25—40	P_y 64—100	$P_y \geqslant 160$
5	3	8	10	14	16	18
6	4	10	12	16	20	22
8	4	14	18	22	25	30
10	5	18	22	28	34	40
12	5	22	25	34	40	48
14	6	28	32	40	50	56
16	6	30	36	45	56	60
20	6	34	40	52	60	70
24	8	40	48	60	70	80
28	8	45	52	70	80	90
32	8	48	56	75	90	100
36	8	52	60	80	95	110
40	10	56	68	85	100	110
44	10	60	70	90	100	120
48	10	60	75	95	110	125
52	10	65	75	100	110	130
60	10	70	80	105	120	140
70	13	75	90	110	130	150
80	13	80	95	120	140	150
100	13	90	105	130	160	180

表中d_c—阀杆直径；s—填料宽度；h—填料深度；P_y—公称压力（kgf/cm^2）

填　料　深　度

填料深度与密封性的关系很大，各国都是凭经验选取。填料深度一般与介质工作压力成比例。这样，往往引起人们的错觉，以为填料深度越大越好。其实，填料圈数过多时，下部的填料不易被压紧，起不到密封作用，反而增加与阀杆的摩擦力。

我国的填料函深度和填料圈数在标准中都作了具体的规定，摘录如表9、10所示。

捷克的填料函深度是按公称压力分挡的，已如前述。德国、美国和日本标准如表11、12、13。

表9　JB 1707-75带孔式填料压盖填料函尺寸（摘要）　mm

阀杆直径d	14	16	18	20	22	24	26	28	32	36	40	44	50	55	60	65	70	75	80	90
填料函内径D	22	26	28	32	34	36	42	44	48	52	56	64	70	75	80	85	96	101	106	122
填料深度H	20	25		30	36		56					70					100			
填料圈数Z	≤5				≤6		≤7										≤8			

注：该标准适用于P_g1～64kgf/cm²阀门

表10　JB 1710-75 开口式填料压盖填料函尺寸（摘要）　mm

阀杆直径d	14	16	18	20	24	28	32	36	40	44	50	55	60	65	70	75	80	90
填料函内径D	22	26	28	32	36	44	48	52	56	64	70	75	80	85	96	101	106	122
填料深度H	36	45		55		72				90						118		145
填料圈数Z	8																	

注：该标准适用于P_g16～160kgf/cm²阀门

表11　DIN 3780

公称压力P(kgf/cm²)	～6	7～16	17～32	33～50	51～64	65～100	>100
填料圈数n	4	5	6	7	8	10	12

表12　日本东亚阀门厂标准

介质工作压力P(kgf/cm²)	10	20	30	45	65	110	140	180	250	320
填料圈数n	5	6	7	8	9	10	11	11	12	12

表13　美国 MPA 标准

P(kgf/cm²)	6～380
n	3～5

美国 MPA 标准的填料圈数较少，它反映了美国一些阀门厂的论点，他们认为压盖的力向下传递的深度有限，圈数超过一定数量便成为多余的。例如 Jas. 瓦克尔厂对大多数负荷推荐采用 5 圈填料，并认为，一般使用 3 圈填料已经足够。斯蒂希勒提出了计算填料函深度的经验公式：$h=(3.5\sim5)B$ 及 $h=(1.5\sim3)d$。

赞成超过 3～5 圈填料的论点是：实际上较多的填料圈数容易保证密封，即使不是这样，“多余的”圈数也可作为后备，在运行时便于多次拧紧。

看来，对于软质填料密封的合理深度，应当通过试验予以解决。

填　料　压　紧　力

为了保证填料的密封性，必须使填料函下层的填料圈对阀杆的径向压力超过介质的工作压力，并由此确定必须施加多大的力来压紧填料。由图 3 可以看出，填料压盖 2 将压紧力作用于填料，填料被压缩，对阀杆 4 与填料函 3 内壁产生径向压力，达到密封。

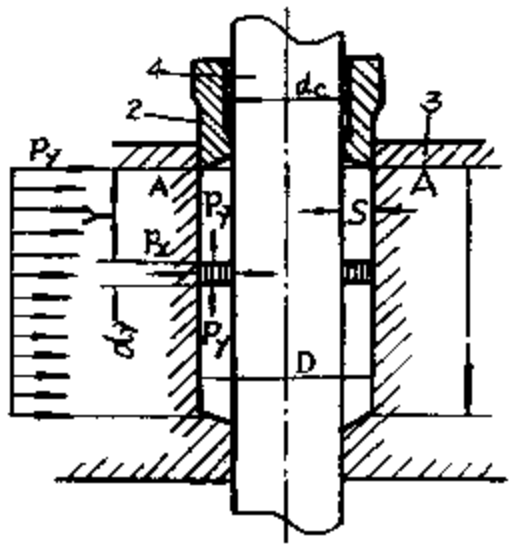


图 3

注：图中S应为B，右边尺寸线为填料高度h

表14 系数n值

压力 P kgf/cm²	填料圈断面为 4×4 mm 时	填料圈断面为 6×6 mm 时
50	5	3.0
100	3	2.2
200	2.3	1.8
400	1.7	1.6
600	1.5	1.5
900	1.4	1.4

表15 μ_1与μ_2的比值

压力 P kgf/cm²	НВДТ-1石棉填料	AC石棉填料
200	$\mu_2=1.2\mu_1$	$\mu_2=1.6\mu_1$
400	$\mu_2=1.4\mu_1$	$\mu_2=1.8\mu_1$
600	$\mu_2=1.5\mu_1$	$\mu_2=2.0\mu_1$
800	$\mu_2=1.6\mu_1$	$\mu_2=2.2\mu_1$

为保证密封所必需的填料压紧力有多种计算パ公式。日本《バルブ设计データブック》提出的公式为：

$$Q=C\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)P$$

式中 C——系数，高压时$C=3$，低压时$C=1.25$

P——介质压力(kgf/cm²)

斯蒂希勒提出的公式为：

$$Q=0.785B(D^2-d^2)PC$$

压力系数$C=1$（一般情况下），密封要求较严时取$C=3$，如>3则填料过紧，阀杆运动将受阻。

我国《机械设计手册》中的公式与日本阀门设计手册提出的公式一致：

$$Q=2.356(D^2-d^2)P$$

Ф.Гуревич对填料压紧力的计算作了详细讨论，简述于后。

取高度为d_y的一圈填料来研究填料函内的作用力（参见图3）。

取$p_y=np_x$，式中n——大于1的比例系数。n值不是常数，它视填料的弹性、填料的紧密程度和其它许多因素而定，对做成填料圈的软质填料n值可查表14。

p_y值的变化决定于填料与阀杆间的摩擦系数μ_1及与填料函间的摩擦系数μ_2。

在阀杆和填料函表面光洁度等级一样时，对于截面为4×4mm的填料圈得出μ_1与μ_2的比值列于表15。

由于填料具有塑性，造成的压紧力随时间逐渐降低，经过一段时间后，压力的降低逐渐减少，压力值稳定在一个数值上。如果我们把上述因素都考虑在内，势必使计算复杂化，因此我们在计算时作一些简化的假设。

假定我们所取的填料截面n值为常数，取作用在阀杆表面和填料函表面上的摩擦系数的平均值$\mu=\frac{\mu_1+\mu_2}{2}$作为计算值。

填料环形部分的平衡方程式可写成：

$$\pi(D+d_c)\mu P_x d_y = -\frac{\pi}{4}(D^2-d_c^2)dP_y$$

代入 $P_x=\frac{P_y}{n}$后，此公式简化成：

$$\frac{dP_y}{P_y} = -\frac{4\mu d_y}{n(D-d_c)}$$

为了保证密封，根据上述条件，当 $y=h$ 时，填料必须满足 $P_x=P$。

为了确定位于距 $A-A$线为 y 距离的截面上的 P_y，将微分方程积分，并求 y 至 h 段 的积分，该截面上的压力决定于作用在这个截面下段的摩擦力。

$$l_n\frac{P_y}{nP} = \frac{4\mu}{n}\cdot\frac{h-y}{D-d_c}$$

取 $$\frac{\mu}{n}=f \text{ 和 } \frac{D-d_c}{2}=B$$

则 $$P_y = nPe^{2f\frac{h-y}{B}}$$

$y=0$ 得出压紧填料所需的压力 P_c，即

$$P_c = nPe^{2f\frac{h}{B}}$$

简化后得 $$P_c=\varphi P$$

式中 $\varphi = ne^{2f\frac{h}{B}}$——比例系数，见表 16。

压紧填料所需的力

$$Q=\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)\ P_c \qquad \text{kgf}$$

由表 14 可知，$n=1.4$符合填料的最大塑性条件，从而可以促使压力的提高和 B 值的增大。取 $n=1.4$，得出必须压紧力的最小值。

填料与阀杆之间的摩擦力

根据Гуревич 的“阀门设计与计 算”，填料与阀杆间的摩擦力可通过下式计算：

在 $n=1.4$时

$$T=\psi dBP$$

式中 $\psi=2.2\ (e^{2f\frac{h}{B}}-1)$

ψ 值可查表16。由表可知，ψ 值随压力 P 增高而减小，即摩擦力与介质工作压力之间不是正比例关系。

填料与阀杆之间的摩擦力计算公式还有多种，如：

机械设计手册：$T=\pi dhp_c\mu$

式中 p_c——压紧填料的单位压力，kgf/cm^2

μ——填料与阀杆之间的摩擦系数，$\mu=0.04\sim0.08$

捷克林特给出的公式：

$$T=0.5\pi dhp_cK\mu$$

表16　当n＝1.4时对各种P和$\frac{h}{B}$的φ和ψ系数值

工作压力 P kgf/cm²	$\frac{h}{B}$	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	≥7.0
≤25	φ	2.13	2.28	2.45	2.63	2.82	3.02	3.25	3.47	3.72
(μ＝0.1)	ψ	1.14	1.39	1.65	1.94	2.22	2.35	2.90	3.26	3.65
26—63	φ	1.89	1.98	2.09	2.20	2.31	2.42	2.55	2.68	2.82
(μ＝0.07)	ψ	0.77	0.92	1.08	1.25	1.43	1.61	1.80	2.00	2.24
64—159	φ	1.73	1.80	1.86	1.93	2.01	2.08	2.15	2.23	2.31
μ＝0.05	ψ	0.53	0.62	0.73	0.84	0.95	1.06	1.19	1.30	1.43
160—349	φ	1.59	1.63	1.67	1.70	1.73	1.77	1.81	1.85	1.89
μ＝0.03	ψ	0.31	0.35	0.42	0.46	0.53	0.59	0.66	0.70	0.77
350—500	φ	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.64	1.66	1.68
μ＝0.02	ψ	0.18	0.22	0.26	0.29	0.31	0.35	0.37	0.41	0.44

注：当P>500kgf/cm²时取φ＝1.4ψ＝0.4

K——>1的系数

μ＝0.06～1，石棉变硬时为0.25

填料压的越紧，填料与阀杆间的摩擦力也越大，往往造成阀门开关困难。填料造成的摩擦力矩在阀门启闭力矩中占相当大的比例。仅将我国最近阀门三化产品定型设计中铸钢截止阀计算书中的有关数值列于表17。从表中看出，摩擦力矩最大占总关闭力矩的26%，最小也占14.1%，显然，减少填料的摩擦力矩对阀门操作轻便具有重大意义。为此，阀杆的表面光洁度要高，一般淬火后应磨光至▽7～▽9，以减小摩擦系数。

表17　铸钢截止阀计算数值

公称压力 kgf/cm²	16				40								64				100				
公称直径mm	80	100	125	150	32	40	50	65	80	100	125	150	50	65	80	100	32	40	50	65	80
名称	计算数值																				
填料与阀杆摩擦力矩	101	183	240	302	72.4	108	152	281	368	164	574		288	376	477		173	219	452	596	
关闭时阀杆总力矩	551	925	1406	2170	285	424	675	1180	1830	2740	4080	5580	1200	1900	2870	3770	680	1110	1830	2910	4050
摩擦力矩占总力矩的百分比%	18.2	19.7	17.1	14.3	26	25.4	22.8	26	26	16.9	14.1		24	19.8	16.6		25.4	22.1	24.7	20.5	

下面以J41H-40为例，将各填料压紧力公式与阀杆和填料摩擦力公式的计算值列于表18。

J41H-40的有关参数及尺寸如下：

工作压力P：40kgf/cm²

阀杆直径d：36mm

填料宽度B：8mm

填料高度h：64mm

表18　公式计算数值表

项　目	公　　式	计　算　数　值					
		P_c	ψ	K	C	μ	$Q(T)$
Q	$\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)P_c$	113					124
	$\frac{\pi}{4}C(D^2-d^2)P$				3		132
	$\frac{\pi}{4}B(D^2-d^2)\cdot P\cdot C$				1		352
T	$\psi d\cdot B\cdot P$		224				258
	$\pi dhP_c\mu$	113				0.06	324
	$0.5\pi dhK\cdot P\cdot\mu$			1		0.08	116

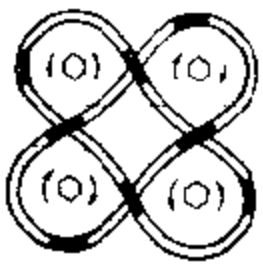
填　料　的　种　类

目前主要用的填料是石棉编结填料、塑料填料、金属填料、碳素纤维等。

石棉编结填料的型式主要有发辫式、穿心编结和软套式。国外高温高压介质多用穿心编结填料，如图4与6。

穿心编结填料是按对角线编结的，优点是：紧密、强度高、耐磨损、寿命长。我国的石棉填料结构主要是发辫形，它的工艺比穿心编结简单。为了提高其在高温下的性能，在石棉绳中夹有铜丝、不锈钢丝等，使用温度分别可达到350℃、450℃、550℃。它们的型号分别为XS350、450、550和YS350、450、550。

图4　填料型式
（1）穿心编结　（2）软套式
（3）发辫形



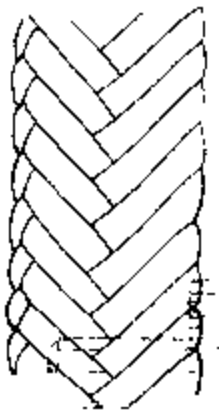
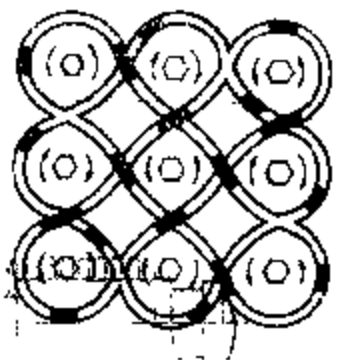


图5　发辫形填料结构型式



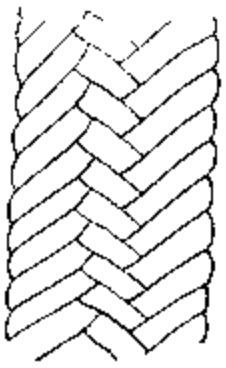


图6　穿心编结填料结构型式

填 料 函 型 式

填料函的结构型式较多，表19是几种常见的填料函。

为了使填料挤紧阀杆而不挤进阀杆和阀盖之间的间隙，在填料函的底部放一个填料垫。填料垫可以是平环，也可以是带斜度的环。带斜度的环是为了在填料中产生径向分力压紧阀杆。填料被填料压盖通过压套压紧。小口径阀门的填料压盖大多数做成压套螺母式的。中口径的铸铁阀门填料压盖通常与填料压套做成一体。钢制阀门中，填料压盖多做成铰链螺钉式，这样在更换填料时可以不拆螺钉。

表19 填料函结构示意图

结构	简图	应用范围
压套螺母式填料压盖		小口径阀门
整体填料压盖用螺钉或螺栓压紧		铸铁阀门或钢制阀门
可拆卸填料压盖用可拆卸铰链螺钉压紧		钢制阀门
波纹管填料型式		原子能阀，腐蚀介质用阀

在腐蚀性介质和放射性介质中工作的阀门，对其密封性提出了更高的要求，同时还应保证其检修时的安全，以及阀门远距离安装和拆卸的可能性。一般的填料满足不了上述要求。因为填料密封需要定期压紧，定期更换，而波纹管密封可以满足上述要求。有的波纹管密封同时还有填料函装置，不过它仅起辅助作用(参见表19)。

在对泄漏量要求严格的地方，为了不使液体或气体泄漏到大气中，在填料中装一分流环，与一导管联接，将泄漏的液体或气体引到专门的容器中，见图7。

在低温情况下，填料的弹性渐次消失，密封性能降低，这时低温介质很容易在填料和阀杆处泄出，将该部位空气中的水分冻结，使阀门不能操作，同时附在阀杆上的冰块，在阀杆上下移动时还会把填料划伤。故在低温下采用长颈阀盖的结构（图8）可以减缓阀体部位的低温向填料处扩散，从而使填料部位的温度保持在0℃以上。在长颈阀盖中部焊一隔板，隔板以下部分都覆盖保温材料，隔板上部的长颈阀盖暴露在空气中。

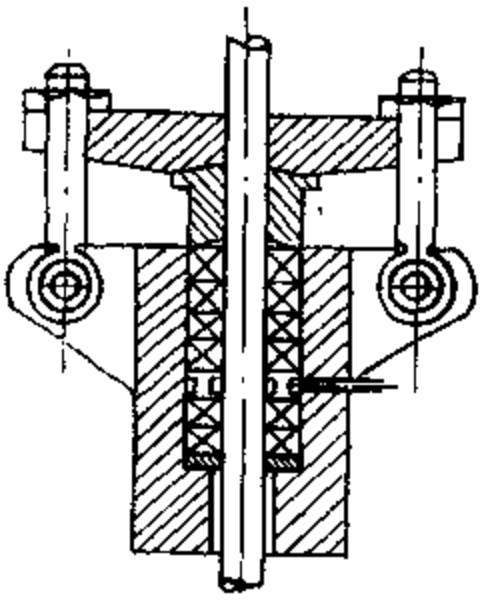


图7　带分流环的填料函

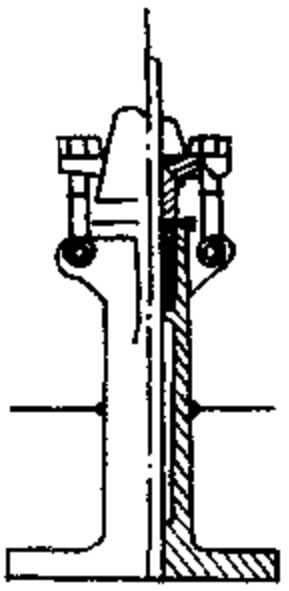


图8　低温填料盖

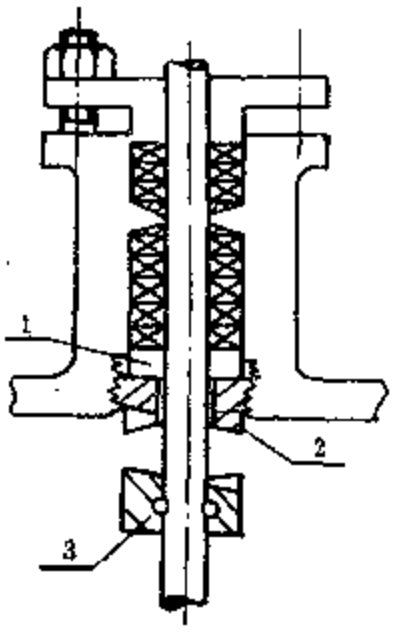


图9　内紧式填料箱

1—垫环　2—夹紧件　3—离合器

高温、高压、热介质、危险流体可用内紧式填料函（图9）。此种填料函分上下两室，上部和以前的填料函结构一样，在下部的填料函中设有承托填料的垫环1，垫环由带有螺纹夹紧件2支承，阀杆向开方向转动(左旋)，当到达终点时，夹紧件2的棘爪和装在阀杆上的离合器3啮合，夹紧件2旋转，借助于垫环1使填料向上方压紧。这样在流体压力侧的第一段给予填料极大的压紧力，流体压力在第一段填料处被减压，在第二段以下的填料处产生急速的减压效果，能够完全制止填料函的泄漏。上部填料函是下部填料函的后备结构，当长年使用时，万一下部填料出现故障，上部填料可以作为辅助填料使用。

参考资料12篇从略

阀门用的填料和垫片

（日）中川孝次

前　言

填料和垫片对于防止各种流体泄漏的重要性，业已无需多说。近代科学的发展，要求填料和垫片能在高温高压下工作，它所处理的流体也越来越复杂，因而对苛刻条件下工作的填料和垫片就成了新的课题。填料和垫片的组成材料也极其繁多，就是说涉及到金属、非金属、石棉、合成树脂、动植物纤维等，可以根据各种用途单独地或把它们组合起来，改变组成的材料和形状提供使用。

阀门用填料

阀门用填料种类有：压缩填料、O型密封圈、V型填料等等，本文讨论具有代表性的压缩填料。

压 缩 填 料

这种填料可以按使用条件把各种材料组合起来制成绳状、盘状、螺旋状、环状。在编结填料中纤维和粘结剂（润滑剂）的影响是重要的，如果缺少任何一种或出现事故，都不能发挥填料的作用。另外，纤维和粘结剂相互之间必须很好地配合。据多年的经验和研究，填料制造厂因做出适合各种使用条件的组合填料，但是要从这些种类繁杂的填料中选定适合使用条件的填料，则充分了解填料的特点是重要的。

A. 压缩填料的分类和特点

如果将填料按组成材料的不同大致区分开来，则可分为软质填料、非金属填料和金属填料三种。

1. 软质填料

软质填料是一种用非金属材料制成的填料，以石棉、动植物纤维为主要原料。

（1）植物纤维编结填料　是一种由棉类或麻类编结的填料，为了润滑和防止渗漏而浸渍矿物油、聚四氟乙烯树脂悬浮液、润滑油脂等制成的。在温度达到160℃后棉纤维失去分子中的水分开始分解，在250℃时变成褐色。而且在压力下加热到100℃以上时纤维开始膨胀，150℃时强度显著降低。一般，植物纤维和石棉相比，耐药品性差，但是浸在氨液中变化少，所以常常用在控制氨液的阀门中。另外，对醋酸、苛性钠等也可以和石棉一样使用。麻浸在水中后呈现出柔软性，而棉花有变硬的倾向，转矩增大，所以必须注意。

（2）石棉纤维编结填料　这种填料被用于棉类和麻类填料所不能使用的高温或有耐酸、耐碱性等要求的场合。润滑剂是用矿物油、石墨、TFE悬浮液。填料的原料为石棉和

青石棉，一般青石棉的耐酸性好，但纤维缺少柔软性，所以，多从白石棉浸渍TFE悬浮液提高它的耐酸性来代替青石棉作为耐酸用填料。一般认为石棉本身的耐热性为500℃，对填料来说，耐热界限350℃是合适的。使用在350℃以上的场合，“收缩”（指填料的体积烧损——译注）的现象加快，降低安装时的压紧压力，故经常要重新压紧。

（3）合成树脂纤维编结填料　有代表性的一种，叫TFE（聚四氟乙烯）树脂纤维的编结填料。这是一种把TFE纤维编结成方形绳状，浸渍TFE树脂悬浮液作为气密剂的全TFE树脂填料。这种填料的价格高，但能使用于－200℃到＋260℃温度范围内的几乎所有流体，极耐用。所以如果考虑到填料的磨损和更换工作的方便，可以说是一种能提高生产效率的便宜填料。

各种纤维编结填料，压缩率和回弹率都按棉类、麻、石棉的次序降低。因此棉花的压缩率最大，容易填满间隙。石棉编结填料的压缩率最小，压紧力必须比植物纤维填料大。而压紧下润滑剂的挤出量，则棉花最多，石棉最少。一般认为，这是因为棉花含有少量的蜡份，润滑剂不能全都粘附着。根据上述物理特性和我们的经验，在高压下可按照棉、麻、石棉的顺序使用。

2. 半金属填料

要密封的流体处在高温高压场合时，使用软质填料往往是不妥当的。根据这些要求，把石棉或植物纤维和软质金属组合起来制成填料，就是半金属填料。

（1）塑性填料　这是一种把石棉分成细小的纤维，根据用途的不同在石棉纤维中混入石墨、铜、铅的碎片和矿物油，把它加工成方形截面，外表用石棉线、棉线、铜线等简单地套编而成的填料（也有的只有芯子）。只有芯子的、外表用棉线套编的填料塑性变形大，所以必须和其它半金属填料或金属填料一起使用。

（2）半金属编结填料　这种填料主要是为用于高温高压的蒸汽而发展的。是以夹有不锈钢丝、铜丝的石棉作为芯子，外表用夹铜丝、不锈钢丝、蒙乃尔合金丝、因科镍合金丝的石棉线编结起来的。随用途的不同，在它的表面分别用石墨、云母、二硫化钼润滑剂加以处理。

（3）半金属螺旋状填料　这种填料有把石棉线用金属箔缠包，截面压成方形的，有用经过润滑处理的石棉作为芯子把用润滑剂处理过的铝、铅的箔包裹成旋螺状的等等。如果按材料的类别分类，属于半金属的填料，但按使用基准分类，则近似于金属填料。

（3）金属填料　这种填料是以散热、防止渗漏、减少转矩等为目的，为了不损伤与之相接触的金属，而用经过润滑处理的软质金属制成。一般为防止塑性填料的塑性变形，而把金属填料作为两端填料圈来使用。

象阀杆那样，在静止的时间长、滑动速度极低的场合，虽然润滑性不成问题，但还是需要使用致密的材料。为了使阀杆运动容易，要求有自润滑性，一般应用固体润滑剂。利用压紧力挤出润滑剂来润滑，原则上用在泵用压缩填料上。这种方法如用于阀杆时，由于体积发生收缩，就会成为泄漏的原因。

B. 各种填料的压缩特性

阀杆用填料的重要性能是泄漏和转矩，通常这两种特性是成反比的，压紧力大时，转矩增大，而泄漏则减少，如图1和图2所示。图1的曲线从压紧力300kg/cm²左右开始急剧地上升，所以过盈量必须在20%以下，压紧力300kg/cm²以下能制止泄漏。根据图1、图2也

可以判断，一般阀杆填料的标准过盈量为15～20%，压紧力应规定为 250kg/cm²。同时随着填料圈数的增加，应变率减少，这是因为均匀的压紧力没有传递到里面的填料上。

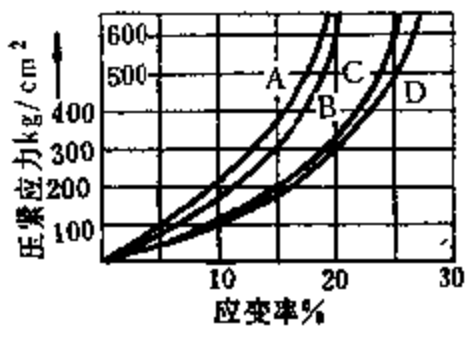


图 1

A—软质填料V135° 4 圈　半金属编结填料V1270°4 圈　*B*—金属填料V1110°2 圈　塑性盘状填料V1240° 7 圈　*C*—半金属编结填料V1270°6 圈　*D*—软质填料V135°6 圈

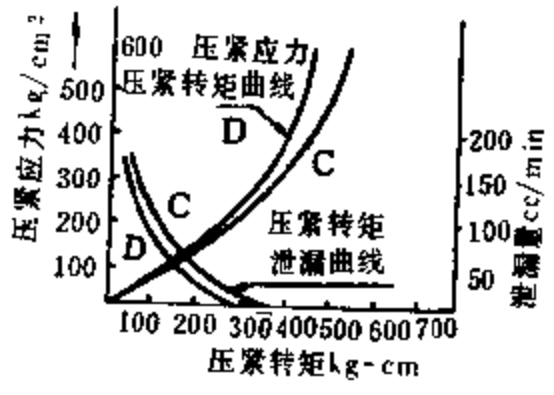


图 2

C—半金属编结填料V1270° 6 圈
D—软质填料V135° 6 圈

C　填料的使用标准

阀杆用填料的使用标准，即使在基本思想一致的情况下，由于填料制造厂的不同，也多少有些差异，同时由于填料设计者的不同而存在若干差异。这是因为没有一个关于填料的标准，而只取决于各制造厂的独自方法。既然它们在物理性质上存在差异，要统一使用标准是非常困难的。图 3 是以 JIS 法兰压力等级为基础划分的用于蒸汽的填料使用标准。因为 JIS 阀门的压力等级和 JIS 法兰的压力等级是一致的，所以在图 3 上法兰的公称压力就是阀门的公称压力。选定适合使用条件的填料时，温度是比压力更起决定作用的因素，然而在图 3 中表明压力也是一个因素，这是由于阀杆用的填料在规定的圈数下有各自的压力等级的缘故。

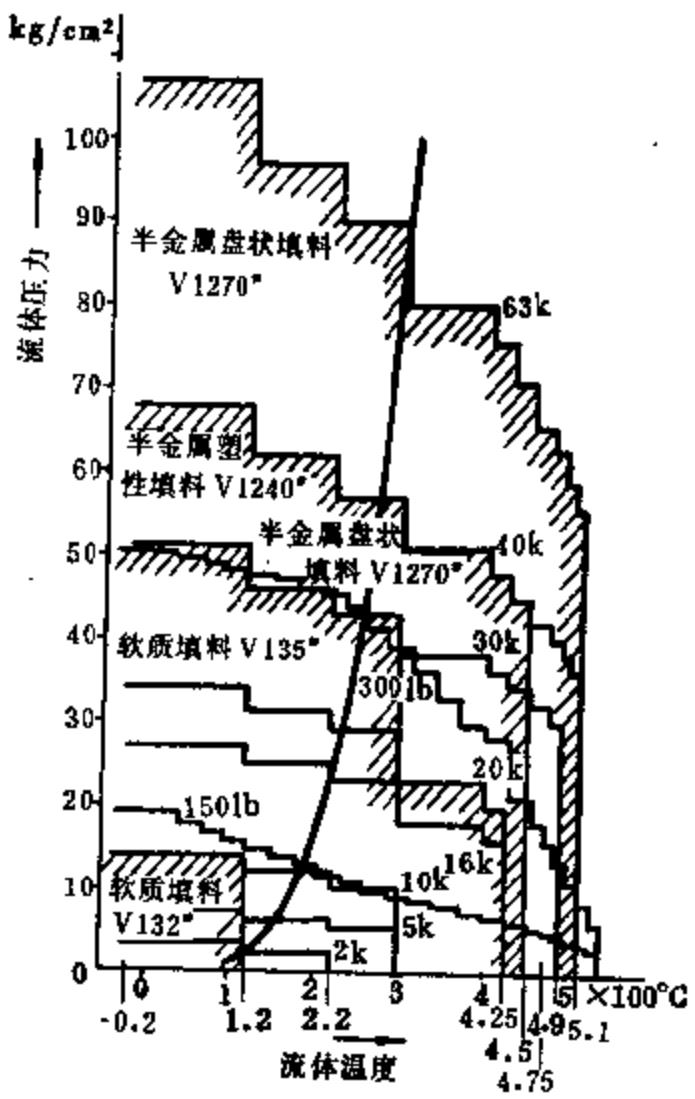


图 3

D　填料安装实例和存在问题

在使用填料的时候，应该进行填料函和填料的设计。当然，由于压缩填料影响因素多，它的物理性质偏差显著，所以有关密封的理论很少发表。为此，现在的填料设计是依据经验和若干理论进行的。正因为填料在受轴向压缩力后要向半径方向扩张，所以象软质填料那样的有弹性力的柔软材料就适合它的目的，但是软质填料一旦放在高温下，内部应力显著减少，会招致密封性能降低。在温水等压力比较低的流体中，如图 4 那样使用软质填料是能够密封的，但在高温高压的情况下，如图 5 、 6 ，必须使用半金属填料。而在高温高压的场合或者密封气体的场合，象图 7 那样，往往要与软质填料一起使用。这里是采用了软质填料压

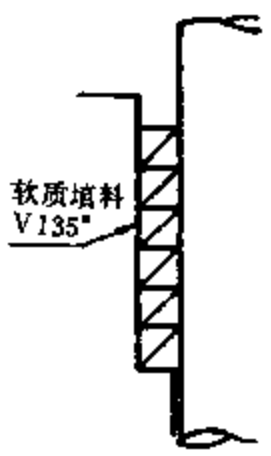


图 4

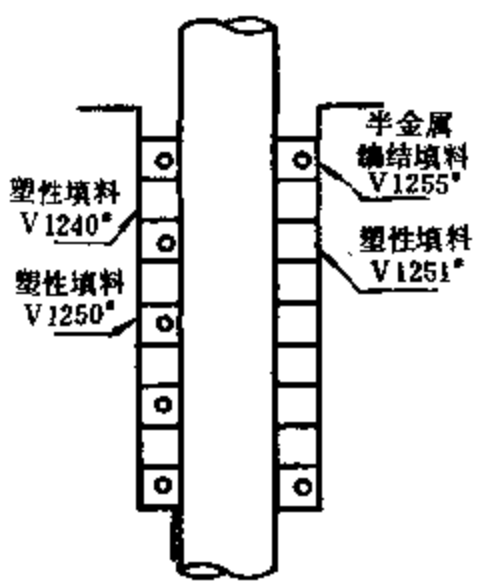


图 5

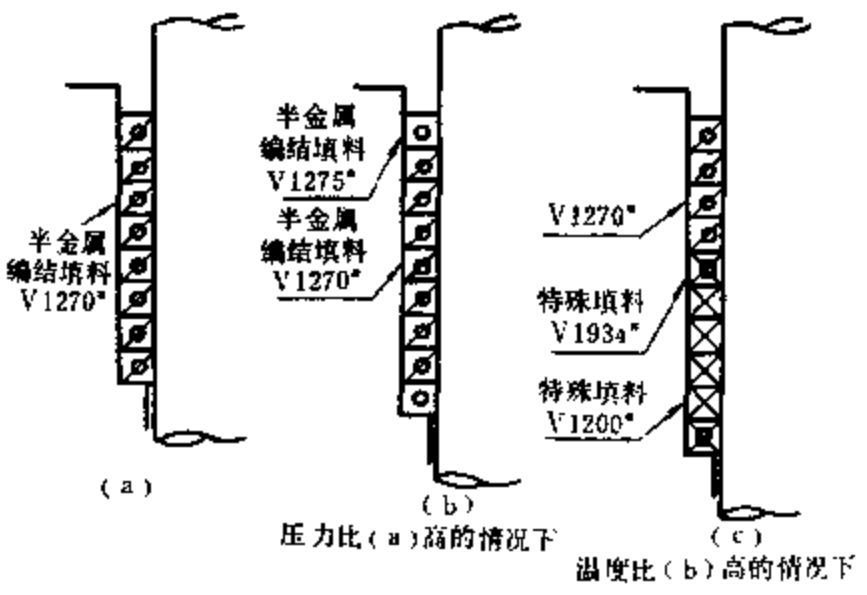


图 6

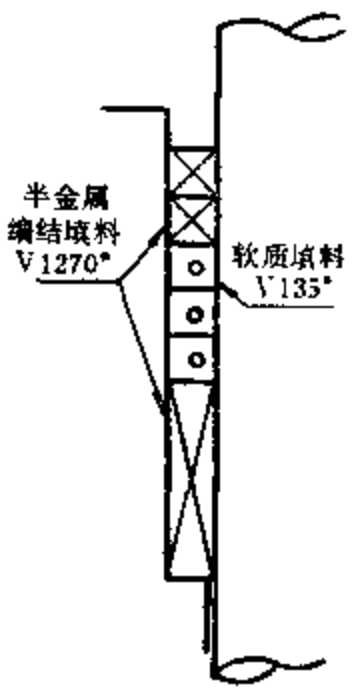


图 7

紧效果比半金属填料好而且也有密封效果的组合填料。可以估计在接近填料压盖的地方，填料的温度比流体的温度低得多，试验也证明填料的温度约降低到流体温度的 1/2 左右。因此确实掌握填料的温度梯度，即使在高温下也能配用软质填料来提高密封效果。图 8 就是把塑性填料和金属填料组合起来使用的。一般，紧贴在填料压盖下面的填料对轴的抱紧力大（图 9），填料压盖的间隙大时，填料就会嵌入到这个间隙中使轴的转矩增大。因此，如果把这个间隙限制在0.2～0.3mm以下，同时按图 8 所示的那样，上下各用1～2圈金属填料作为端圈，对于防止填料的嵌入和使轴的转矩减小是有效的。图10是使用分流环的例子。由于耐热、润滑、水封等原因而在中间放入分流环，分流环上下的填料按5～8:3分开安放比较好。另一方面，在图10中把填料压盖的端面加工成圆锥形，是为了增大由轴向压紧力而产生的径向压力，但正如图 9 所示，分布压力更容易集中在上部，所以不能认为是有效的。在硫酸、盐酸等腐蚀性流体中，如图 11 所示，使用以 TFE 树脂为主的填料。填料函的最里面放TFE 树脂纤维的编结填料，然后再放入浸渍 TFE 悬浮液的石棉编结填料。并且，为了保持每圈填料的形状，放入 TFE 树脂的隔片是有效的。

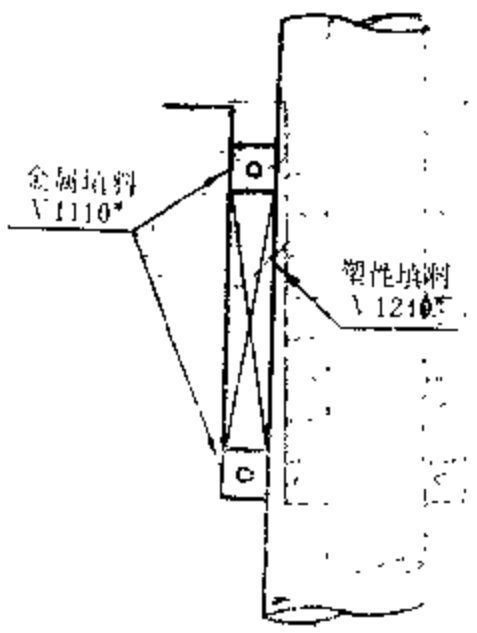


图 8

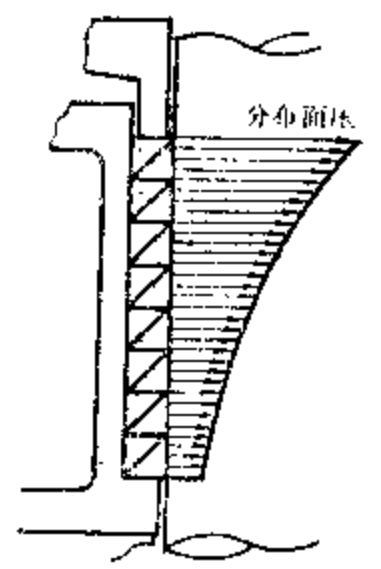


图 9 填料压力分布图

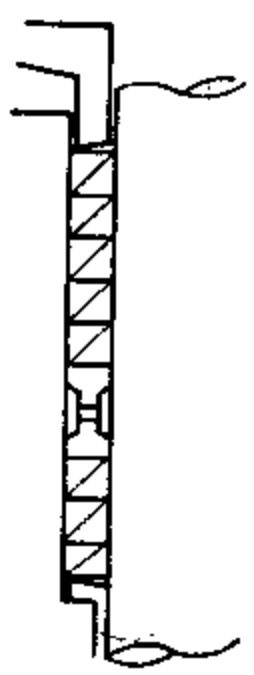


图 10

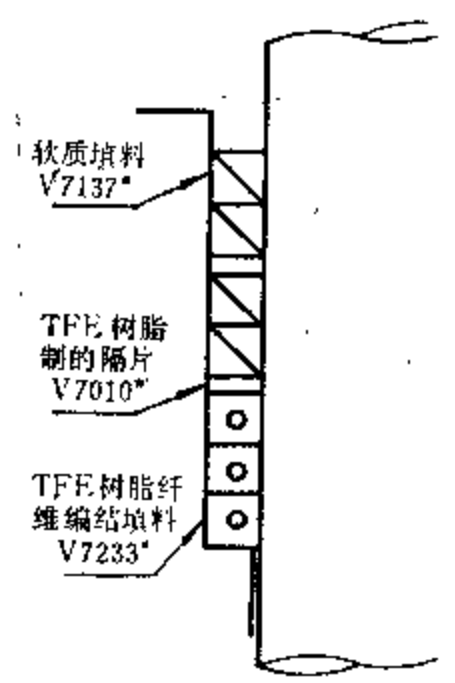


图 11

其 它 填 料

阀杆用填料，在压缩填料之后*又出现了O型密封圈和TFE树脂制的V型填料。O型密封圈用在油压机的阀门中，耐压性能优良，然而在耐热、耐腐蚀方面受到各种限制。TFE树脂V型填料利用它的低摩擦特性和耐腐蚀性，几乎全都用在控制药品、溶剂等往复式自动调节阀中。

阀 门 用 垫 片

随流体的温度、压力的不同，阀盖使用各种不同垫片。如果按材料来分类，可分成非金属垫片、半金属垫片和金属垫片。

---

* 原文为“之前”，可能有误——译注。

A　各种垫片的种类和特征

1. 非金属垫片

组成材料是非金属，是一种容易填满间隙、最常使用的垫片。但在很大程度上受到温度压力等使用条件的限制。非金属垫片又可分为橡胶类、石棉类和合成树脂类垫片。

（1）橡胶类垫片　有代表性的是橡胶板垫片、O型密封圈等。O型密封圈具有理想的密封结构，也有密封内压2000kg/cm² 的实际成效，但耐热、耐腐蚀性不够，因此不能广泛使用。一般合成橡胶的耐热性为120℃，硅橡胶、氟橡胶等的界限为230℃，为用于蒸汽而发展的SH橡胶（日本バルカK.K制）的界限为170℃。

（2）石棉类垫片　有代表性的是石棉板垫片。这是一种以约占65%以上重量的石棉与粘结剂和约10%以上的橡胶以及其它的填充剂作为原料加热压成厚纸状的板材，是用得最广的垫片。石棉板垫片根据使用条件的不同有耐热的、耐酸的、耐油的几种。由于耐酸用垫片的原料是青石棉，所以作为垫片，其柔软性、弹性等重要性能稍稍有些不够，特别是压缩特性要注意。

（3）合成树脂类垫片　有代表性的可以举出TFE树脂垫片。这是一种利用TFE出色的耐腐蚀性能的垫片，在－200℃～260℃的温度范围内几乎可以用在所有酸、碱和溶剂中。只是由于TFE树脂是粘弹性体，容易冷流，所以在高温下使用时或在不能调节压紧力的情况下，必须研究它的形状，以便减低应力松弛的速度。

2. 半金属垫片

半金属垫片是把金属材料和非金属材料组合起来制成的垫片。与软质垫片相比，能耐更宽范围的温度和压力。而且和非金属垫片一样，不使用有机材料，所以使用时间可较长。反过来，由于这种垫片使用金属材料，难于填满间隙，弹性不太好等特性，所以要在几何形状方面加以考虑。半金属垫片的种类很多，本文列举的是有代表性的包石棉金属平垫片和缠绕式金属石棉垫片。

（1）包石棉金属平垫片

用极软的钢、铜、铝、蒙乃尔合金、镍、不锈钢、钛等的金属板包在石棉板上，加工成图12（*A*）所示的形状。标准厚度为3mm，从加工的角度来看，宽度必须在5mm以上。一块板不够大时，可把2块以上的板焊接起来制作，但焊接部分要进行局部退火，使其硬度均匀。由于这种垫片的制作过程基本上是手工操作的，加工尺寸的允许误差大，所以在槽形结构上使用必须注意。这种垫片原则上使用密封胶。使用胶后，压紧力可以降低到没有胶时的1/2～1/3，能百分之百的完全密封。

（2）缠绕式金属石棉垫片

缠绕式金属石棉垫片的结构，如图12（*B*）所示，是把金属带（带钢）和石棉纸（填充物）相互重叠起来，旋涡状地紧紧缠到规定的宽度。标准带钢为SUS-27，标准填充物为石棉纸，根据用途的不同，带钢还可使用SUS29、32、钛、蒙乃尔等。另一方面，由于特殊的流体面不能使用石棉的时候，填充物可用TFE树脂带。在各种半金属垫片中，缠绕式金属石棉垫片是最容易密封的，使用的温度和压力也最高，现在正在向取代其它半金属垫片的方向发展。垫片的厚度有4.8mm、4.5mm、3.2mm等几种，由于是利用带钢的弹性，所以规定了压紧后的厚度，在压紧时需要注意变形量。

3. 金属垫片

这种垫片使用在以石棉为基体的垫片所不能使用的高温场所。有代表性的垫片如图12的（C）～（E）。金属垫片多数采用与之配合的金属表面相同的材质，为此要求垫片比相配合的接触面金属的硬度低（布氏硬度 BHN30～40）。如果垫片使用同样硬度或者比它还要硬的金属，当然就违反了填料本来的密封机理，另一方面，也会使与之配合的金属表面发生变形，在机器的保养上便成为问题。

（1）齿形金属垫片　这种垫片是用各种金属通过机械加工制成的，如图12（C）所示的那样，大量同心的齿形尖端各自作为垫片而发挥有效的密封作用。同时压紧的垫片受压面积小，所以用比较低的压紧力就能保持密封性，是一种使用简便的垫片。但即使采用适当的硬度差，有时也会损伤配合的金属表面，故应注意。

（2）金属平垫片　如图12（D）所示，是一种形状最简单的垫片，由于用平面密封，与齿形相比，需要很大的压紧力，所以压紧力不足时往往发生泄漏，是一种不大好用的垫片。为此常常在接触面上加工出同心圆的槽后使用。原则上要用密封胶。

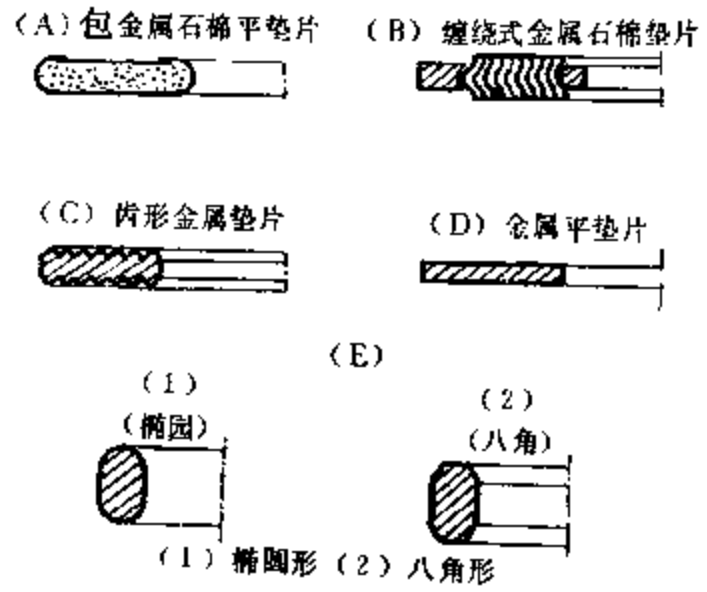


图　12

（3）环型密封垫　此种密封垫的耐热耐压性都是最高的。典型的密封垫的形状有图12（E）所示的椭圆形和八角形。八角形的使用量大，性能不会变化。密封垫、密封座的尺寸和材料按 JPI-7S-23-63标准（日本石油学会标准）设计。

B　各种垫片的压缩特性和压紧力

TFE 垫片的压缩屈服点受温度的影响很大，在100℃时，容许压紧应力为常温时的 1/2，在200℃时降低到1/4。放入填充剂的，杨氏模量高，能够降低冷流，所以在高温下使用时，有必要同时研究垫片的几何形状（做薄），以及考虑加入填充剂。

石棉板垫片的回弹率比金属垫片优越，但在高温下长期使用时，由于含有的有机物老化，回弹性就比半金属垫片低，所以应该在适当的使用条件范围内使用。半金属垫片的回弹率不好，但物理特性的不良变化小，是比非金属垫片稳定性高的填片，图13表示了各种垫片的压紧应力变形曲线。

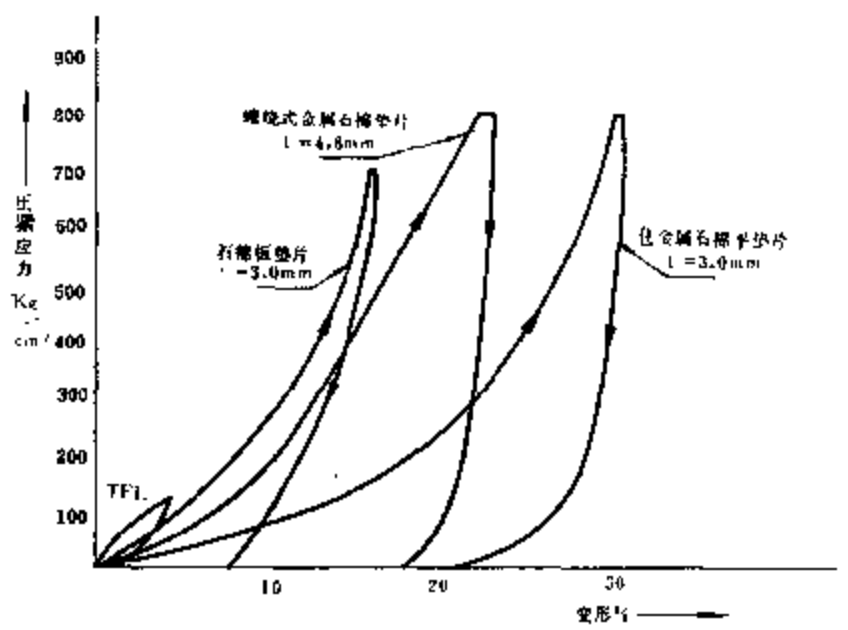


图　13

众所周知，一般使用垫片时，要在垫片的弹性极限范围内压紧，最小压紧力在ASME的非直接火压力容器规范中有记载，此外，在产品样本中也有转载，所以本文不再列举。根据经验估计，标准压紧力对石棉板垫片为300～400kg/cm²，对包金属石棉平垫片为

500～700kg/cm²，对缠绕式金属石棉垫片为 900 kg/cm² 左右(规定将厚度从 4.8 压紧到 3.8～4.0mm)。关于最高压紧力，象TFE树脂那样屈服点明显，就不存在问题，但其它的则不明显。因此，一般把压缩特性曲线中的回弹曲线急激上升的地方作为压紧力的极限。作为估计值，一般认为石棉板垫片为800～900kg/cm²，缠绕式金属石棉垫片为1600kg/cm²，包金属石棉平垫片为 1300 kg/cm²。因为压紧力大于这个值，螺栓的微小伸长就会使垫片的内部应力极大减小，相反会使泄漏事故增多，必须引起注意。

C　垫片的使用标准

本杂志七月号中登载了“JIS 管道法兰用垫片的使用标准草案”。这个 JIS 草案的特点是，以法兰的压力等级（见图 3）为基础，把流体分成水、油、气体，用图表规定它们的使用标准。阀盖用垫片的使用标准有 JIS F 7102，但满足不了，所以拟推荐 JIS 草案为阀盖用垫片的选定资料。一般认为，阀盖用垫片要求维修周期长，所以在同一公称压力下，必须使用比法兰用垫片等级高的垫片。但是管路引起的法兰弯曲力矩不会在阀盖上产生，同时考虑到把偏心压紧控制到最低限度，可以认为不一定使用高一级的垫片。即使在同一公称压力下，JIS法兰和JIS阀门的压力温度等级也存在着若干差异，然而，作为选定垫片的资料范围来说，JIS法兰的公称压力，也就是JIS阀门的公称压力，所以我们认为这样选用垫片对其性能也没有影响。

上海阀门三厂宋永生译自《配管と装置》1966.9

合肥通用机械研究所吴树济校

（上接第74页）

能保护阀杆，防止腐蚀。

以上这些防腐措施在解决阀门存放期中的防腐，已经取得了很好的效果。为了检验它们在阀门使用时的防腐效能，我们又进行了现场试验。初步的使用结果说明这些措施应用于生产中是可行的。它们对阀门的密封性能没有不良的影响。但因现场试验仍在进行之中，对这些防腐措施的效用还不能作最后结论。在现场试验过程中，也可能会出现这样或那样的问题和缺点，还需要我们设法改进和提高。

参　考　资　料

〔1〕 阀杆防腐研究，“化工与通用机械”，1972年第 1 期

〔2〕 阀杆防腐研究（小结），开封高压阀门厂、开封石棉制品厂、一机部通用所。1973年

〔3〕 Rasmussen. L. M; Corrosion 11 25-30(1955)

〔4〕 Wesnigk. E; Werkstoff und Korrosion 24 286-289(1973)

〔5〕 Staaf. E; 3rd International Coference on Fluid Sealing Cambridge. England. 1967. A2-13

〔6〕 Reynolds. H. J; Amer. Petro. Inst. Proc. 44. №3 286-289(1973)

〔7〕 Рагнер. А. В; Каган. Д. Я; Теплоэнергика 1961 №5. p. 35-38

压 缩 填 料

〔英〕B.D.Halligan

引 言

普通的软质压缩填料常常成为被评论的对象。看来它似乎是近代技术发展的重大障碍，但是它仍然是所有密封技术介绍的主要内容。在某些领域，例如在旋转泵中，以往占统治地位的软质填料已不再是唯一的密封方法了。不过，即使是这类机器设备，用得最多的还是填料密封。

另外，特别是在阀门的阀杆密封上的应用，由于压缩填料具有结构简单、价廉、工作可靠（特别是对于腐蚀性介质以及流体温度不能使用弹性制品等工况时）等优点，要想取代它不那么容易。

理论上讲，在环绕轴的空腔都可用几圈可变形的经常是纤维制品的环，把它填满。通常是采用承受压缩而不会变质的纤维的制品，他们的优越性要从成本、适用范围以及它对于工作条件如轴的尺寸精度、表面光洁度的要求如何等方面去衡量。

典型的填料函结构

所有软质填料，包括新型轴封填料在内，基本工作原理都是这样：用力压缩填料，使密封比压大于流体压力而达到密封（图1）。可以根据工作压力产生相应的密封比压，是软质填料的一个特点，然而，最重要的是填料的压紧方式。

可以用螺栓压盖或螺纹压盖压紧填料（图2），在工作期间，由于填料磨耗、润滑油挥发等原因使填料松弛时，这两种填料压盖都可用手调节填料的径向密封力。可采用弹簧自动调节填料压紧力，在不易接近压盖的场合也往往采用弹簧。但是，不论是螺旋弹簧或碟形弹簧，都不能在多种临界压力状态下灵敏地进行调节。

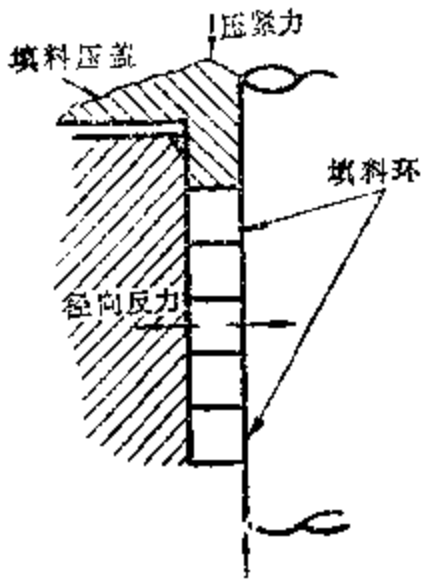


图1 压缩填料

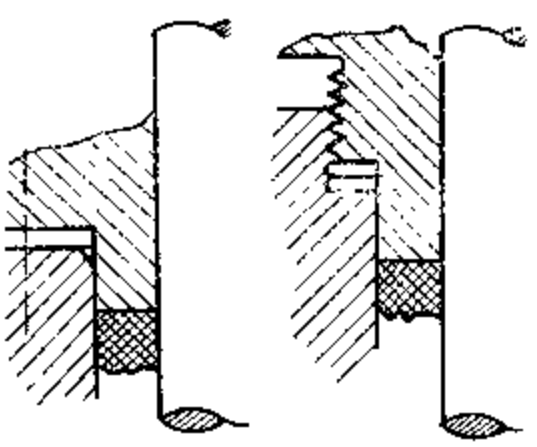


图2 螺栓压盖或螺纹压盖

大多数填料可以将被密封的有害介质的泄漏量控制到微小的程度，或者，为了润滑目的，有意保持一定的泄漏量。许多派生的软质填料具有自润滑性能，不过，由于温度或压力过高，润滑油会在工作过程中损耗，导致填料体积减小，从而使径向密封力下降，泄漏量逐渐增加。

当工作介质有腐蚀性或压盖要冷却时，润滑是个问题。这时，通常在压盖附近装一只分流环（图 3）。环的内径和外径部分的空间是相通的，因为分流环圆柱面上开有小孔。分流环位于填料中部引漏管处，两者通孔应吻合。

分流环安装位置依用途而定，一般是放在填料函中部，在压盖下 2 ～ 3 圈填料的下面。对于不允许漏出到大气中的介质，或会剧烈磨损填料的介质，可用比介质工作压力高0.5～1巴的乳化液或水注入。

如果被密封的介质会遇冷结晶（如糖），填料压盖应加热或采用蒸汽夹套，使晶体在轴开始转动之前恢复熔融状态，否则，压缩填料将被迅速毁坏。

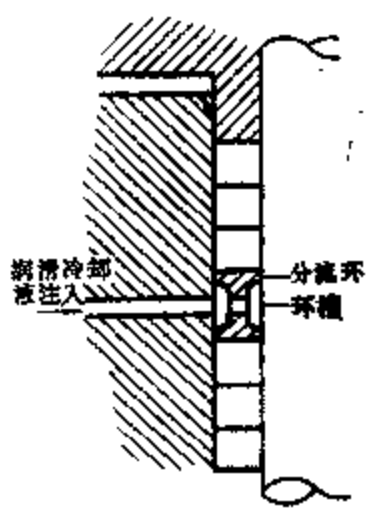


图 3　分流环简图

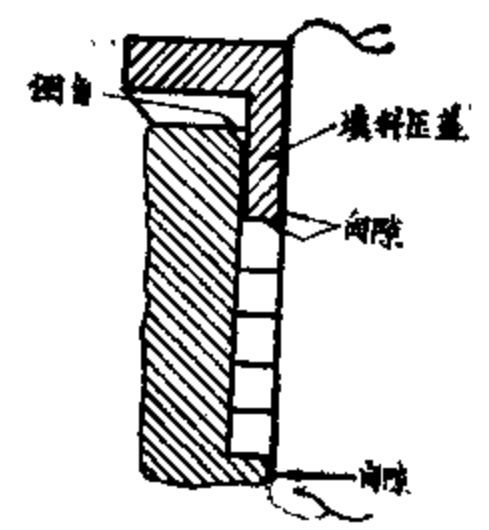


图　4

设 计 注 意 事 项

任何填料的作用都只是恰好将填料函填满。因此填料函结构设计的注意事项和填料选择原则同样重要。它们包括下列几点：

（1）填料函入口处必须有适当的倒角，使填料塞入方便，并避免安装时损伤填料。

（2）与填料接触部分的金属要求具有适当的表面光洁度，特别是运动表面。表面光洁度越高，填料越不易磨损。

（3）填料有被介质压力吹出的危险，这种现象可以防止。为此目的，必须在填料下面放置金属保护环，环的材料应坚固耐冲蚀，环的尺寸可将间隙减到最小程度。

（4）填料压盖下部的长度要适当，它塞入填料函的深度至少要超过入口处的倒角。至于压盖的高度，应根据填料的压缩量和压盖的调节量选定。这对于塑性填料或塑芯填料（jacketed plastic packings）特别重要。

上述注意事项可参见图 4 。

压缩填料的端面做成斜面并不会带来任何好处，尽管有人欢喜采用它。

材 料 和 结 构

与填料制品有关的基本材料有：

纤维： 矿物的——石棉。

植物的——棉花、亚麻、黄麻、苎麻、剑麻。

动物的——皮革、羊毛绒、头发。

合成的——人造丝、尼龙、聚四氟乙烯、碳素纤维、玻璃丝。

润滑剂： 干的——石墨、云母、滑石、二硫化钼。

湿的——牛脂、矿物油、石油产品、固体馏分、石蜡、硅酸脂、PTFE 乳液。

金　属： 铅箔和铅丝、铝箔、铜箔和丝、黄铜丝、蒙乃尔丝、因科镍尔丝、不锈钢丝。

橡　胶： 天然的和合成的。

编结填料的结构型式主要有：

穿心编结（图 5）由多股线穿心编结成绳，每股线都沿着填料截面的外围向芯部往返穿插，这种结构具有优良的润滑性和耐磨损，单股线磨破后不致引起整根绳的松散。这类填料适用于离心泵。

发辫式（图 5）多股线像发辫那样穿插编结，断面成正方形。发辫编结得致密时，往往比穿心式的还牢固。这种型式广泛地用作阀门填料。

扭编（图 5）多股线合在一起扭编，它可不用绕线盘。这种结构只宜作细小尺寸的填料，用于水暖阀门、旋塞等。

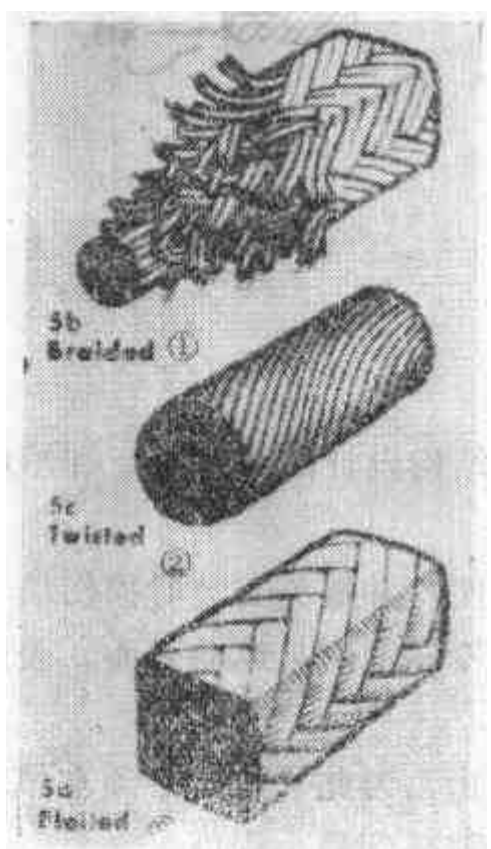


图　5

①—发辫式　②—扭编式

③—穿心编结

图　6

①—金属箔螺卷石棉芯

②—金属箔揉绉、叠压

塑性石棉填料——这种填料是近代发展的新品种，它包括两个品种：发辫式塑芯和增强套编塑芯填料。虽然，“塑性”这个术语在科学意义上是不确切的，借用来描述由石棉纤维和润滑油（矿物油或硅酸脂）的混合物，倒也合适。由这种材料制成的填料很容易变形。这

种填料广泛地用于多种阀上。

上述各种纤维编结填料往往用金属增强。特别是石棉填料常用金属丝增强，使它能在800℃甚至更高的温度下工作。如果不用金属丝增强，甚至最优质的石棉绳填料，最高工作温度也不超过315℃。

润滑剂与填料纤维粘结的方法有很多种，可供选择的有浸渍、涂复、浸泡、真空镀层、粉末填充等。主要目的是最大限度地在填料内保存润滑剂。各种工艺的优劣视其最后使用结果而定。

金属填料按结构分类，有许多品种，最流行的有三种：

金属箔缠卷石棉芯——图 6 A

金属箔揉绉、叠压——图 6 B

金属波纹片同心圆缠卷——图 7

这些金属填料适用于往复运动与旋转轴的密封，广泛地用在泵、阀门、透平、压缩机及制冷设备上。润滑剂一般采用矿物油和石墨。铅和铝是最常用的缠包金属。

合成橡胶填料的几种基本型式如图 8 所示。三种都是由浸胶纤维布折叠、缠卷或织布夹心形成。这类填料适用于往复运动、静态或低转速的轴封，介质为蒸汽、水、油、空气和低温介质。

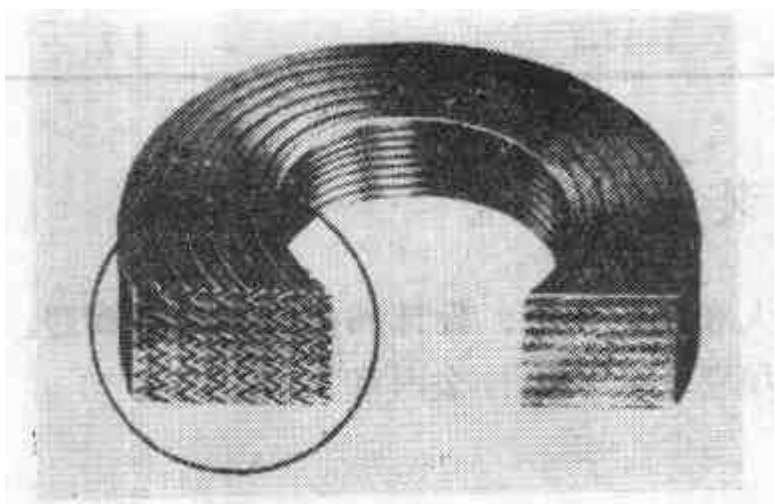


图 7

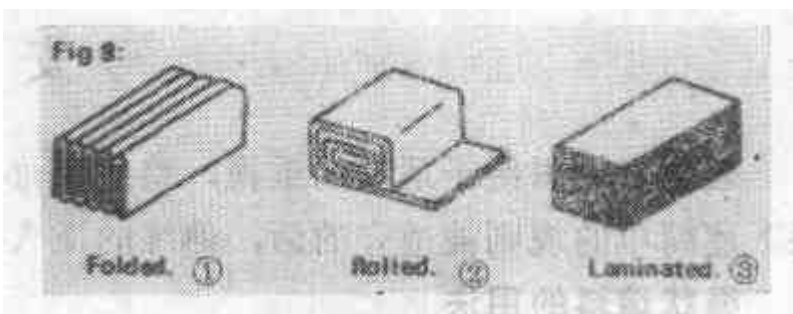


图 8

①—折叠　②—缠卷　③—夹心

选　择

随着压缩填料品种的多样化，帮助使用者正确选用是十分有益的工作。大多数厂商都有产品样本，可供用户选择。但还要根据经济性、交货情况、特别是该填料在类似工况下的使用结果来选择。

补充说明

从技术角度看来，将予成型环放入模中按规定尺寸压制成型填料比较好。它可减少安装差错，比切割成一段一段的穿心式或发辫式绳状填料更为致密。从商业观点考虑，为了提高效率，成型填料应作为标准件大量生产。

另一方面，有很多例子说明，型式和原材料的变化可能大到这种程度，填料环的备料和模压成型都将发生困难。在这种情况下，正确的备料有显著的好处。

此外，石棉绒和润滑剂混合的松散填料可用于容器上的密封。如果安装仔细，这也是解决阀门填料问题的最简便办法。

填料圈数和宽度的选取完全依填料厂的规格、工况而定。设计时与填料制造厂商定。如果对填料不够了解或有误解时，后一种办法较合适，这样可获得所用材料的性能与局限性的确切认识，如同填料制品厂专家的认识那样可靠。

对于不复杂的工况，通常采用5圈正方形截面填料就够了。也有不少用户要求最多只装3圈填料。与此相反，对于危险气体则要求填料圈数大大增加，并需精心制作填料圈。

表9列出与各种直径的旋转轴和杆相应的填料截面尺寸推荐值。

表9　填料截面尺寸推荐值

轴径		填料截面	
mm	in	mm	in
～12	～1/2	3	1/8
12～20	1/2～3/4	5	3/16
20～25	3/4～1	6.5	1/4
25～50	1～2	8	5/16
50～90	2～$3^1/_2$	10	3/8
＞90	＞$3^1/_2$	12.5	1/2

安　装

假若对填料给予适当的重视，将受到维修工人和所有工厂、设计和选用单位的欢迎。如果下述简单的规则被遵守的话，熟练的工人使用填料不会发生什么困难。

绳状填料的用法

（1）将填料绳螺旋缠绕在直径相同的轴上；

（2）按填料环的需要量切割，使每圈填料搭头平整，恰好合拢；

（3）然后进行下道加工工序。

带切口成型填料的用法

（1）将与填料接触的金属表面油泥等脏物全部擦洗干净。

（2）填料一圈一圈地放入，保证每圈都压得很紧；接头应相互错开。

（3）将填料压盖压紧到合适程度后，放松螺母到手紧程度。

（4）入库前，放松压盖以保证弹性不丧失。

松散填料的用法

（1）工艺如前述，将绒状填料均匀地一团一团地逐渐加入填料函中，直到要求的密实程度为止。

为了生产供应方便，简化填料品种无疑是有利的，使各个工厂在所有相似的工况下采用的填料品种为最少，而且是容易买到的填料。如果不考虑成本，问题就比较单纯，可以采用最好的材料和结构来满足使用要求，但是成本不能不考虑时，就不能这样做。最好是对于前面讨论过的用在泵、阀门等上的少数名牌填料，给予特殊照顾，保证它们的质量。

虽然许多公司和团体有内部标准，它们往往是填料制造厂和用户共同制订的，仍然有少

量适用于压缩填料的国家标准或国际标准。

BS 4371-1968 为填料产品标准，适用于棉纤维穿心偏结自润滑填料，亚麻纤维穿心式、石棉纤维穿心或发辫式自润滑填料、穿心或发辫式白色干石棉填料，金属丝增强的自润滑石棉填料。标准给出了产品的工作参数范围。

此外还有填料函尺寸通用标准：BS 1414-1960，BS 1873-1960和BS 3808-1964

袁玉球译自《Hydraulic Pneumatiic Power》1971. 6.

华宏勋校

（上接第86页）

二、动态试验

测定图6所示的三吋闸阀的泄漏速度是30磅/年，试验条件是闸板开、关1100次。每次间隔为三分钟。

此试验中，闸板在开启位置时，260℃、1000psig的纯水以最高速度为13呎/秒经过阀体。泄漏速度从试验开始时的最低值17磅/年，增大到试验结束时的最大值50磅/年。和预料的相同，在任何一个试验周期内，都是在开启位置时的泄漏速度为最大，关闭时漏速为最小。两者之间的差值没有一定的规律，范围在5至19磅/年之间。

参 考 文 献

〔1〕 Keidel, F. A.: "Determination of water by direct amperometric measurement" Anal. Chem. 31, 2043-48, (1959).

〔2〕 Apple, F. C.: "Leakage of water from gasketed joints proposed for the HWCTR-Part I. E. I. dupont de Nemours & Co, Savannah River Laboratary, Aiken, S. C. AEC Research and Development Report DP-487, 11pp. (July1960) P. 10.

合肥通用机械研究所 华宏勋译自 The United States Atomic Energy Commision Contract AT(07-2)-1 袁玉球校

（上接第56页）

（8）切制45°斜口： 预压成型过的填料圈放在开口模具上沿中心线轴向切制45°斜口。

（9）涂敷石墨： 石墨是作为固体润滑剂加到填料里的。为了使石墨更好地涂敷在填料上，先在填料圈整个表面涂上少量粘结剂，然后涂敷大量鳞片状石墨。

（10）成品模压成型： 把涂敷过石墨的填料圈放在成型模具里在压机上最后模压成型，就能得到波型填料的制品。

模压成型的压紧力对波形填料质量好坏影响极大，因此模压时必须控制在合适的比压范围内，使填料具有良好的弹性，同时尺寸和形状也达到设计的要求。图3是成型模具的结构图。

模具的设计要严格控制其尺寸大小和精度配合，成型后填料环的尺寸才能达到预定的精度要求。

高压填料的基础分析

Thomson J.L.等

以前 Beacham 及 Towler 所发表的文章（1949年）中，把流体密封的定义解释为，阻止流体从相对运动表面泄漏出来。从这一定义来衡量，许多填料函，特别是高压填料，就不适合此条件，因此需要一个较广义的定义。这一定义是：维持一个压力差是高压填料函的主要作用，而防止泄漏虽然重要，但属于第二位。为了便于说明，可借用一个电学名词来解释，即将填料函看作是相当于一个高电阻，只要电阻足够高，压力降就大，就能使漏损达到所要求小的程度。根据应用条件的不同，应该允许泄漏在较宽的范围内变化，而在所有情况下，要求泄漏量为零，是不切实际的。即使泄漏量能够达到零，也必然增大摩擦值，产生过热和磨损，并需要频繁的维修。本文所讨论的填料作用旨在控制泄漏，而不是消灭泄漏，此外，还研究各种减少泄漏的方法。只要是允许有些泄漏的部位，最好是在设计填料时，采取适当

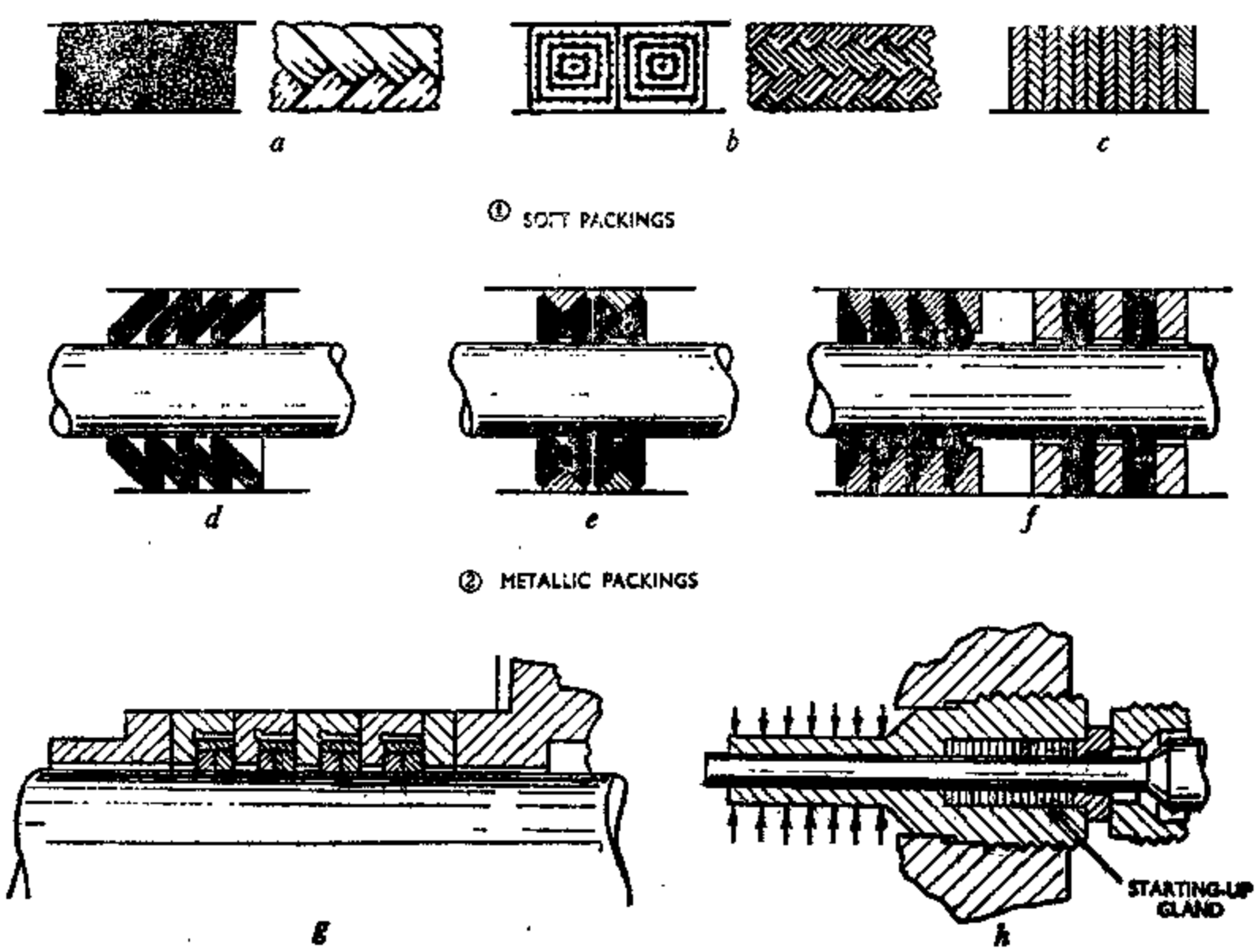


图 1　适于较高压力的几种填料的选择

a —整体编织填料　*b* —多层编织填料　*c* —多层填料　*d* —500～1000磅/吋²　*e* —1000磅/吋²　*f* —2000～3000磅/吋²　4000～5000磅/吋²　*g* —压力在500～5000磅/吋²范围内的多隔室浮动填料　*h* —压力在10000～50000磅/吋²范围内的带伸出套筒的填料

①—软填料　②—金属填料

的措施，将泄漏引出并回收到系统内。如果使用者还未察觉到泄漏，则泄漏是不重要的。透平与内燃机的喷射泵就是一个很好的实际例子，允许有轻微的泄漏即可将困难的密封问题大为简化。在这种喷射泵中，采用小的间隙以控制泄漏量在允许范围之内，而其性能上的微小损失，则可由使用上的可靠性和减少维修而得到补偿。

高压力差能产生大的压力，只要装置得适当，便能成为有效的密封，但另一方面，由于它可能引起变形和支承面超负荷，也会成为引起麻烦的根源。因此，要解决填料问题，除了选择适合的填料外，更重要的是解决整部机器的刚性和直线性，而且在高压下对填料的要求绝大部分取决于最初整个设计的性质。理论上，高压时所用填料的刚性应该较大，以抵抗较高的挤压力，但是刚性愈大，则所允许的直线性变化愈小，因此在高压下，为了弥补机器结构的缺陷，往往只能采用软填料。由于杆的磨损而造成的大量维修工作以及经常更换填料，则是必须付出的代价。

图1所列为适于较高压力的几种填料、其结构的目的在于用控制填料变形的办法，保证在工作压力下填料正好有足够的适应性。采用金属填料可以改善热传导性，减少摩擦和磨损。所采用的结构设计不同，主要在于使填料具有适当的挠性和足够的刚性，以适应需要，避免损坏。

图1的多隔室填料，是采用单独浮动的填料装在分离的隔室内，每个元件并不承受总的压力，而只受到总压力的一部分。需要有低摩擦的部位，应该采用有间隙的填料。在高压下，轴套的扩张会引起间隙的增加，因而采用如图1 h所示的端部伸出的套筒，以消除此种扩大。但应注意选择套筒材料的弹性及大小，以控制在工作压力下得到合适的间隙。这种填料可忽视其直线性。它是1931年所提出的，1956年修正设计后得到应用。

工 作 原 理

1. 填料的间隙

在研究填料之前，应先对填料间隙作简略的研究。如果理想上把它看作是一根圆杆在平直的套筒内具有均匀的环形间隙 c，并假定流过此间隙的流体呈层流状态，当杆静止时，其泄漏量为：

$$q_0 = \frac{\pi c^3 r}{6\eta} \frac{P}{L} \qquad (1)$$

式中 r——环形的平均半径；

η——流体的粘度；

$\frac{P}{L}$——压力梯度。

当圆杆在套筒内往后运动时，泄漏量随着运动方向而增减，即与圆杆的运动方向相同时泄漏量增大，相反时减小。但重要的是，泄漏量正比于间隙的三次方而增加，因此间隙起着最主要的作用。如直径上总间隙为$2c$，且间隙是不均匀的，当杆最大限度地偏心置于套筒内，即偏心距为c，其泄漏量为：

$$q_c = 2.5q_0 \qquad (2)$$

假设有一个填料，当压力为1000磅/吋^2，杆径为4吋，平均径向间隙为0.001吋，套筒长为10吋，则其压力梯度为100磅/吋^2/吋。当油的粘度为100厘泊时，泄漏量为2品脱/吋。

这个数字是可以允许的。但对于水或与其相似粘度的流体，则泄漏量将增大100倍，约为23加仑/时，此值便不能容许。如将间隙减小到0.0001时，则相当以上情况的泄漏量，将分别为0.002品脱/时（接近1厘米³/时），和0.2品脱/时。此值似能合乎要求。但应注意，甚至上面较宽的间隙0.001时，也不是一般机器的直线性所能达到的。所以泄漏量如保持很小，则一些型式的填料，将因之产生摩擦与磨损增加的问题。

2. 平填料函

填料函的密封作用，一般想象是由预紧力产生的。这在低压时也许是对的，但在高压时，则是由通过封密元件的压力降所造成的力，形成自动密封逐渐累积而成的。每个密封元件构成一个环形活塞，通过它造成一个压力差，此外，每个密封元件还支持着上面的元件，支持着施加在上的力。填料受到轴力P的挤压而向侧而扩展，使杆及填料函内壁受有密封力Q，其强度随压力降而自动变化，如图2所示。当开始时，密封作用由预紧力产生，而工作时，作用力则由压力降产生。以间隙与此相应的填料为例，轴向力的最大值约为5吨，而最初的填料力不会大于此力。邻近填料压盖的填料环（此处流体压力最小），由于力的积累，受到的挤压最厉害，经常超过此力。从杆和填料所受的磨损也可明显地看出这一点。以此为基础，并引用两个简单的假定，即可作出填料密封作用的理论公式，来说明压力降的分布基本上呈幂数形式，并且可以推导出以压力降来表示的最小填料长度的公式和填料与被密封流体的各个常数。

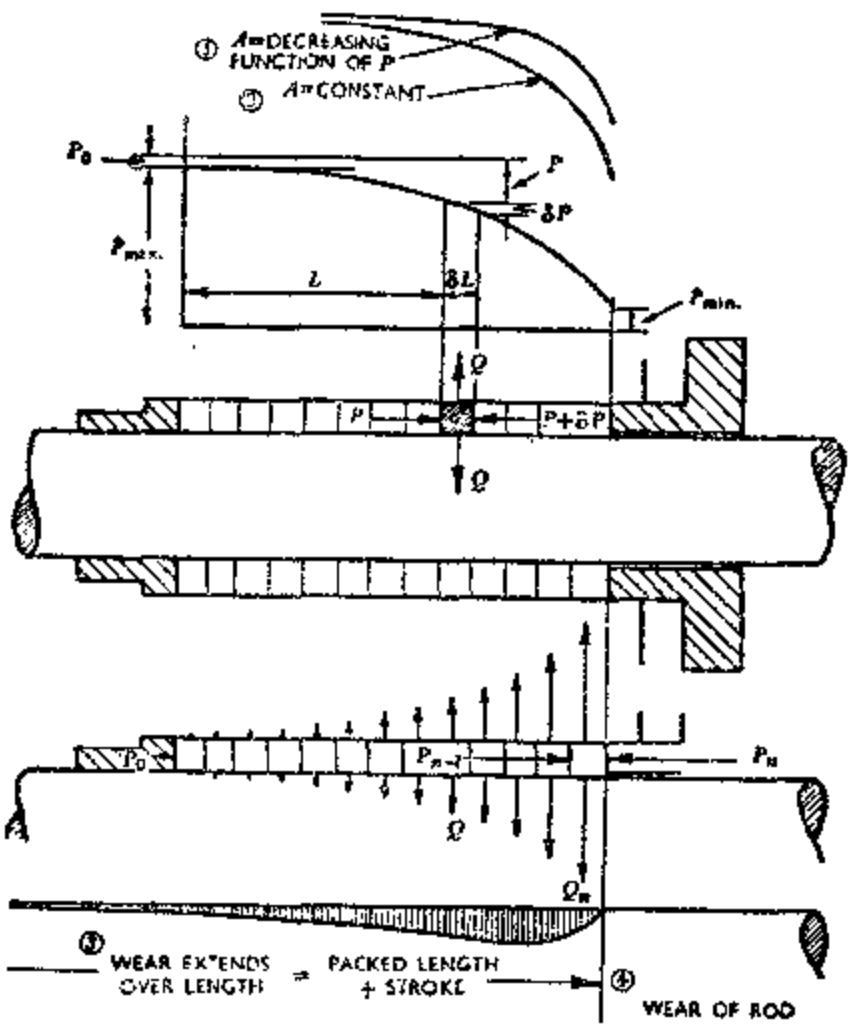


图2　填料函中压力与力的分布

①—A值随P而减小　②—A=常数　③—整个长度上的磨损=填料长度-活塞的冲程　④—杆的磨损

密封作用是由填料的侧面扩张而产生，如填料受到轴向力P而产生径向力Q，则可写成：

$$Q = f(P)$$

第一个假定是Q的近似值为

$$Q = KP \tag{3}$$

式中K为常数，它取决于填料的材料及结构。填料愈硬，则K值愈小，而软的或塑性填料，则接近于1。图1a～f的各种填料是大致按K值的增加而排列的。严格地说，K值不随P而变化，所有的填料在高应力时K值都接近于1，因为应力相当高时，所有材料均处于塑性状态。填料元件以Q力压向杆的表面，形成压力梯度dP/dL（图2），于是第二个假定就存在有如下关系：

$$\frac{dP}{dL} = \frac{Q}{A} \tag{4}$$

式中 A 为常数，其值根据填料的适应性、杆的表面光洁度、流体的物理性质，如粘度及表面张力等而定。

由式（3）及（4）得：
$$\frac{dP}{dL}=\frac{KP}{A}$$

故
$$\int dL=\frac{A}{K}\int\frac{dP}{P}+\text{常数}$$

积分得：
$$L=\frac{A}{K}\ln P+C \tag{5}$$

或压力降*
$$P=Be^{KL/A} \tag{6}$$

如果在工作情况下填料的预紧力能够在填料颈套面上产生足够的残余压紧力，常数 C（或 B）则取决于填料预紧力的程度。此残余压紧力的作用在于在产生给定的压力降下，可减少所需填料的长度。

目前实际上还不能在指定的填料及流体下，给出常数 A 及 K 的精确数据。但是如果利用 P 的对数座标，则可从式（5）得到直线图形关系，如图 3 所示。上面所说的许多变数的影响会造成工业应用结果对比的困难，但可由标准状态下所取得的参考直线得到帮助。泄漏限度以及杆在填料函内的直线性或偏心的限度都包括在内。但在许多实例中，并不需要求出常数值。如果在某一压力下已求出填料长度的结果，而对于同样流体的另一种压力所需的填料长度，还必须再行估算。例如压力为 1000磅/吋² 时所需要的填料长度，并不是 100磅/吋² 的 10倍，而是1.5倍。

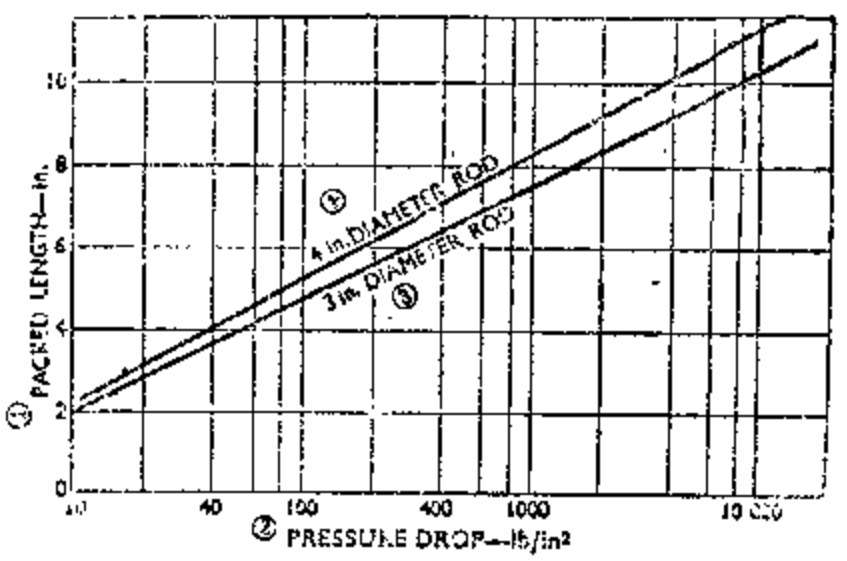


图 3　填料长度与压力降的关系
（对数座标图上）
①—填料长度　②—压力降　③—直径 3 吋的杆
④—直径 4 吋的杆

下面还要说明，有充分理由可以相信，压力很高时，A/K 值接近于 1。如果是软填料，则在压力为400～500磅/吋² 或更大的条件下，A/K 值是接近于 1 的。在这种情况下，公式（5）可以简化为：
$$L=2.3\log P+C \tag{7}$$

令 $C=0$，则在一般应用中此简单关系式可以给出很好的相互关系，但意外的是，在低压时用此式得出的长度，较实际需要的要大得多（此时 A/K 值比 1 大），特别是当杆的直径较小时，更为显著。毫无疑问，在此情况下，常数 C 的影响是较大的。由式（5）常数 C 的值为：
$$C=-\frac{A}{K}\ln P_0$$

式中 P_0 是填料在颈套面上的残余压紧力，即是说在此点存在有最大流体压力 P_{max}。在此点上最初的压紧是由预紧填料所产生，但在工作时，压力重新分布，其结果是压盖端的填料压缩增加，而颈套端的填料压缩减轻，如图 4 所示。由此可见，颈套上所存留的残余压紧力较高的可能情况是：（1）当填料函很短时；（2）杆的直径小时。将上面的 C 值代入式

* 严格说，压力降 $=P-P_0$

（5），即得：

$$L=\frac{A}{K}\left(\ln\frac{P}{P_0}\right) \tag{8}$$

由式可见，P_0值即使有很小的变化，也将发生很大的影响，并且任何标准的试验条件，都应该把这些变化考虑在内。对于所需填料长度的影响并不象乍看时那样的重要，特别是在高压下。图5中的曲线是由式（8）以不同的P_0值作出的。曲线的实线部分表示在实际应用中合适的P_0值范围。有一些专用填料，常在金属材料上装置弹簧，以保持颈套端的残余压紧力，在一定程度上可以避免填料的过度压紧。

摩擦力对轴向力P也有一定影响。为了减轻轴的摩擦，应该引入一个因数（$1+K\mu$），并根据轴的运动方向，决定符号的正负，如图4最上面的曲线所示。

从图2及图4，与以上的论证可知填料函两端所受的力有很大的差别。例如某一端上每个环的总压紧力可能是50磅，而另一端上是5吨或者更高些。此外，总压力降的百分率在每个环大致按相同的比例变化，从第一环的大约0.2%，到邻近压盖面的最后一环为50%。每个环的压力降所以这么高，是由于径向力Q也相当高的缘故，并且在高压时，径向力往往过大，从而造成杆的拉毛，并迅速磨损。如果能用不同的填料环，使其在相等情况下工作，则能够延长其使用寿命。从一环到另一环的压缩力积累是无可避免的，但是采用逐环硬度递增，亦即用K值较低的环，可以避免径向力的相应增加。这种填料的压缩较小，从而可使填料函另一端的压缩减轻。因此，高压填料函中应该安排不同等级K值的环，在颈套端的环用软的，而在压盖端用硬的。各种材料的K值虽然没有规定，但在图1的填料中，可以得到适合性质的等级。图1b及1c之间的填料，是用由软到硬不同等级的材料，并根据心部性质及所需要的层数卷制而成的。薄片组成的填料，横向扩张最小，所以图1c的填料可能是根硬的。另一种使整个填料环较硬的办法是使填料的一部分专门承受轴向负荷，而密封部分是可以变形的。图6a所示的填料，其主体部分担负传递轴向力，而其边缘部分则能独立地起作用。根据同样理由，图6b的填料则用金属网使其踵部增强，图6c的填料则在填料环间加隔离块，以进一步改善填料的性能。这种结构的增强部分能够将轴向力从一环传到另一环，而妨碍其边缘的作用。

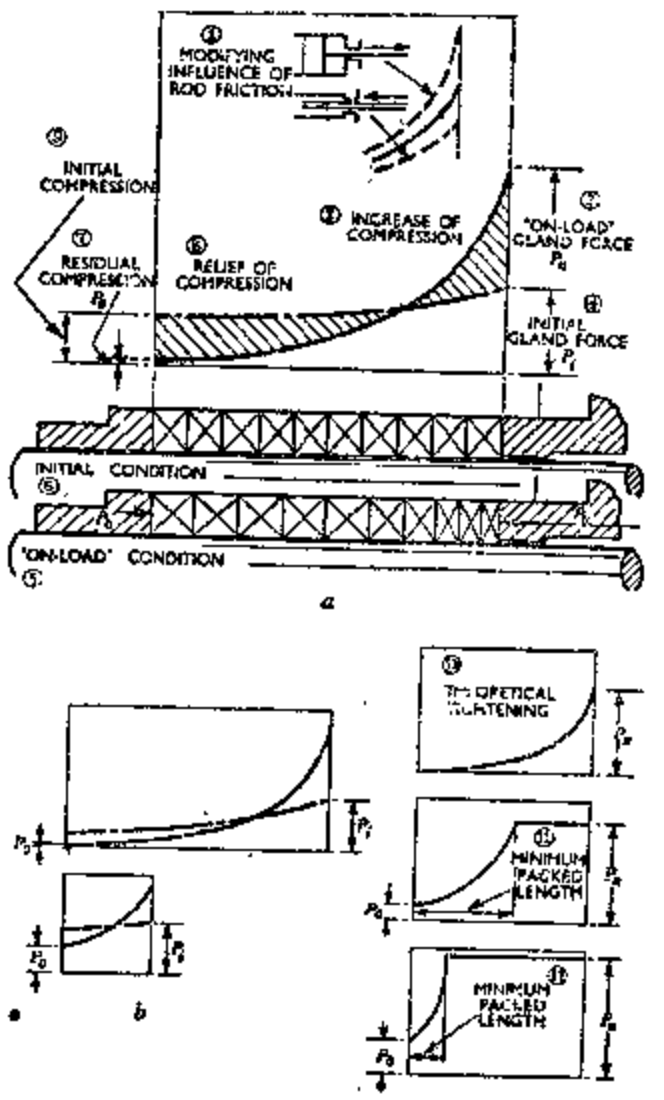


图4　预紧力的影响

a—填料中压紧力的再分布　b—长填料函与短填料函的比较　c—P_0增加时压力的加强　①—杆摩擦的影响　②—压缩增加了　③承受载荷时填料的力　④—填料最初的力　⑤—承受载荷时的情况　⑥—最初情况　⑦—残余压紧力　⑧—压缩减轻　⑨—最初压缩　⑩理论预紧力　⑪—最小填料长度

用硬填料时，应严格防止两个问题：①杆在填料函内直线性的变化；②不适当的填料函

长度。式（5）及（8）表明，填料的长度正比于A/K，对于硬填料此比值较高，因此在同样压力降下，硬填料需要较长的填料函。因此在机器设计中采用软填料时，不能采用新的观点。在与理论概念完全不同的一般设计中，往往在主填料函中采用软填料来密封漏气口（见图7）。全部几吨的压力从漏气口通过填料而压在压盖上。此时尽管流体的压力可以忽略不计，但会产生很大的磨损和过热。因此只要装有漏气口的地方，并且采用漏气口是必须的地方，就应该采用单独的低压填料函（见图7 b）。在适当的情况下采用图7 c 的简化结构也是令人满意的。其中两个推力传递环靠接在一起，限制了低压填料的压缩。

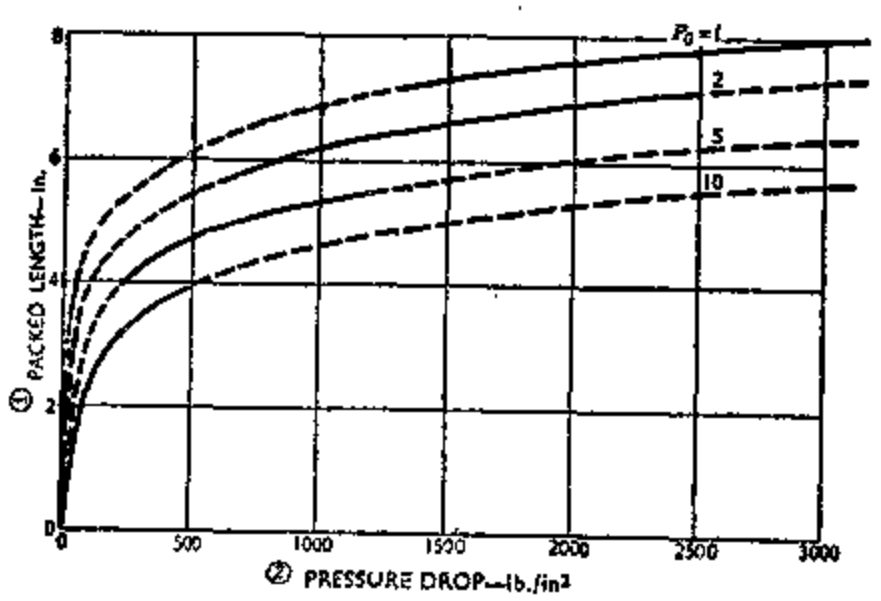


图5　填料长度与压力降的关系

$L=2.3\log P/P_0$

①—填料长度，吋　②—压力降，磅/吋²

3. 多层隔室的填料函

填料密封液体时，流体本身能够润滑，且有适度的冷却能力，但密封气体时，特别是密封压缩后的气体时，则流体将加热填料。由于允许的气体流速较高，所以杆的速度也高，因此必须使摩擦热减至最小，并能有良好的热传导。在大型机器中，多层隔室浮动型金属填料几乎是唯一采用的型式。这种型式的主要特征是，密封元件置于分隔室内，轴向力通过隔室壁而传递，因而减轻了轴向力的积累。每个元件仅承受通过它本身压力降的轴向力，如果力不太大，则元件可在杆上自由浮动，这样便可使在对准直线性方面的公差放宽，不然金属填料要对准直线是很困难的。但浮动的特性也有其本身的困难，即交替泄漏通路的密封问题。填料元件的结构种类很多。其目的是要解决一系列的问题，如连接处的适当掩盖，磨损的补偿，必要的强度和容易制造等。这些问题中，需要比较详细研究的是泄漏问题。

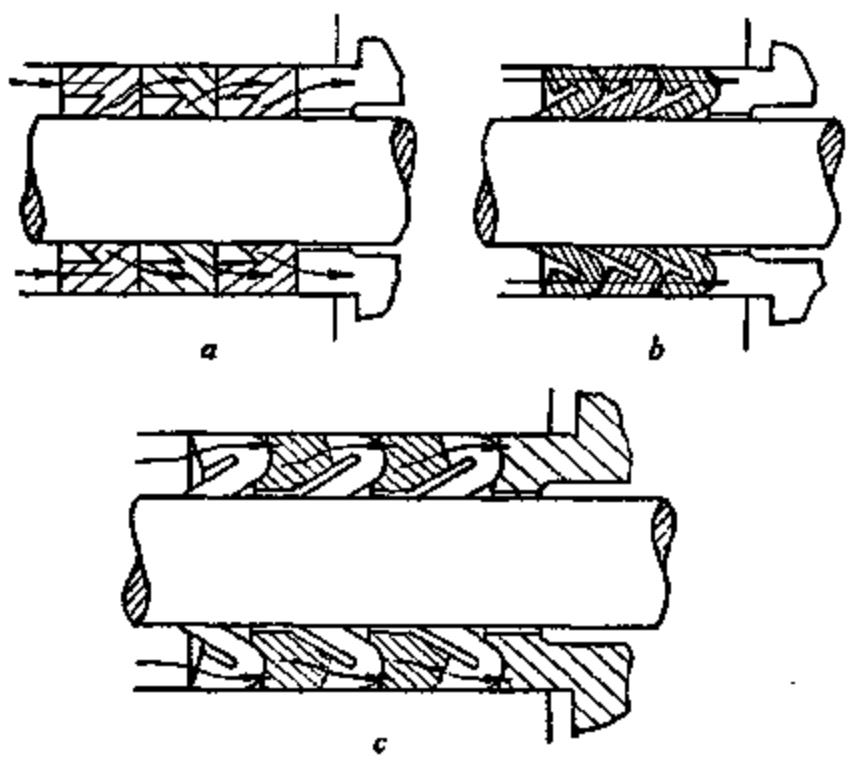


图6　轴向压力通过填料的传递

a—自动流体密封　b—用金属网加强环

c—带有隔块的金属网加强环

填料元件的密封机理类似于活塞环那样，密封压力主要来自顶部与后部的流体压力。如果是活塞环时，压力强度是环在孔径内的最初弹力所产生；如果是填料时，则压力强度是从带式或活塞环式的环绕弹簧所产生，此弹簧通常也用作使填料径向连接之需。增加压紧力，即增加了每环的压力降。从图8中可以看出，造成密封元件压紧在杆上的有效压力，是通过元件的压力降，而不是流体压力的局部强度。每个密封元件的压力降，可比照活塞环，但活塞

环的实际变化较宽。当总压力降为1500磅/吋²时，每个元件的平均压力降约为100磅/吋²，而总压力降为4000磅/吋²时约为200磅/吋²，其趋向为在低压时每个元件的压力降减少，而高压时增加，因此在全部压力范围内，隔室与元件的数量约在5～20内变化。当压力等于或接近常数时，整个填料长度上每个元件的负荷是接近一致的。在通常应用中，常遇到压力脉动的情况，这时，接近颈套的元件承受脉动的冲击，而在压盖端则趋于消失。双作用柴油机的填料函要受到剧烈的压力变化，1933年Jones从示动图上得到一个六隔室填料的压力降数据，其顺序为280、120、55、18、5.5、2磅/吋²。1940年Eichelberg对一组活塞环得到颇为相似的结果，气缸的最大压力是300磅/吋²，压力降的顺序为：140、60、30、25、15、2.2磅/吋²。但这些数据仅是瞬时值，而循环中大部分时间的值是小于此值的。循环中由峰值压力与平均压力的比例所给出的压力变化，及其对通过填料的压力梯度的影响，是在已知压力降下，确定需要隔室数量时所必须考虑的因素。在高压气体压缩机中，排气温度常限制其压力比约为2.5，而柴油机的压力比约为35，所以压缩机的总压力虽然较大，而每循环中的压力变化范围，则相对的较小。

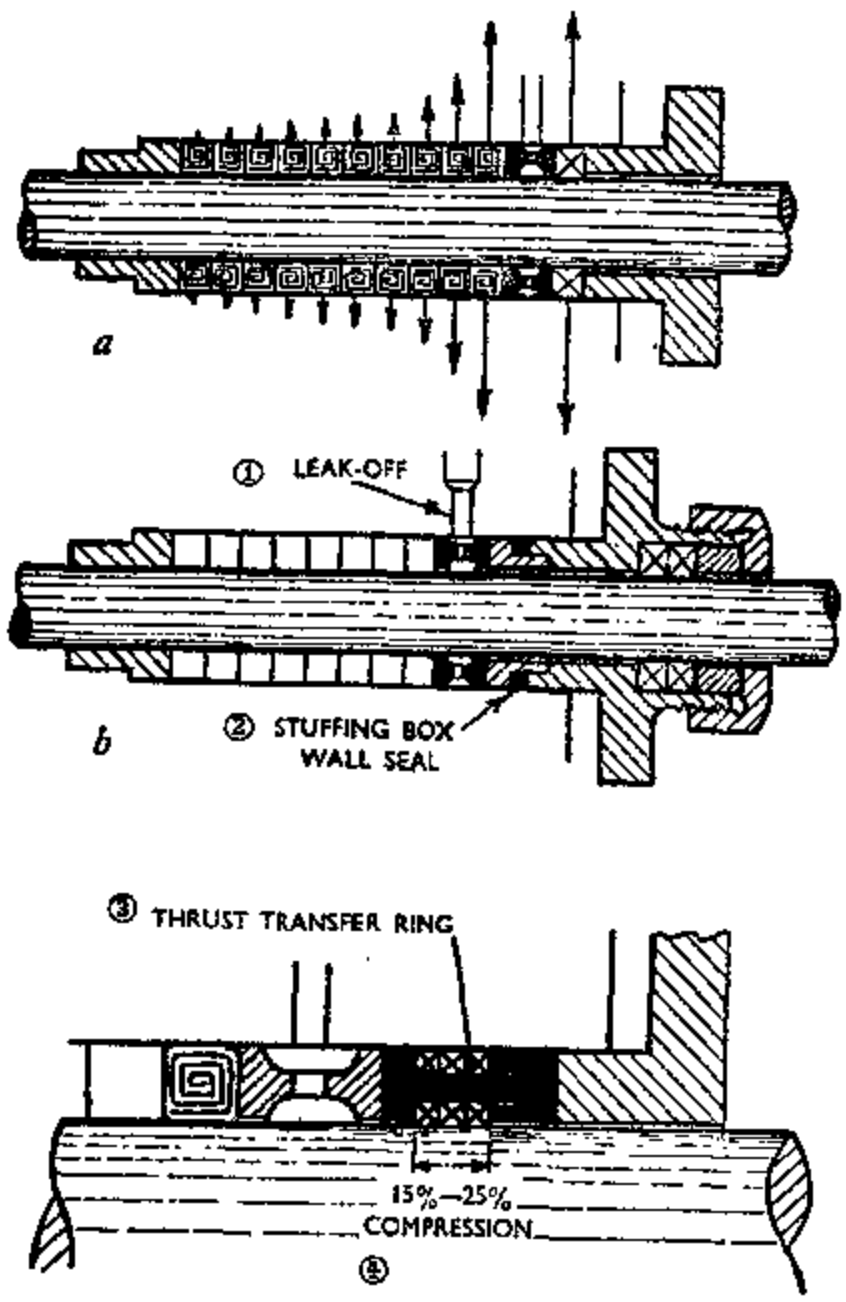


图7　带漏气口的填料

①—漏气口　②—填料函壁的密封　③推力传递环　④—15%～25%压缩

多隔室填料压力等于或接近于常数时，压力降趋于一致，这可由图9所示活塞杆的磨损得到间接的证明。如果与图2的开式填料的磨损进行比较，其结果显然是不同的。

通过元件的压力降，决定着压向支承面的力，也支配着填料浮动动作的摩擦阻力。支承面的磨损是限制填料寿命的因素之一。因此，在给定的使用寿命下，压力降及浮动量是相互并联的。要想得到良好的密封，支承面就应该研磨得很平，并且垂直于杆的轴线。因此，构成隔室的填料函必须经过刮研，而且刮研面是靠外面的一面，这样虽然装配时较困难，而检修时重研则容易得多。当每个隔室的压力降很高时，每个隔室的支承面可能产生倾斜，而使顶部成为碟形，所以应该考虑有较强的结构，

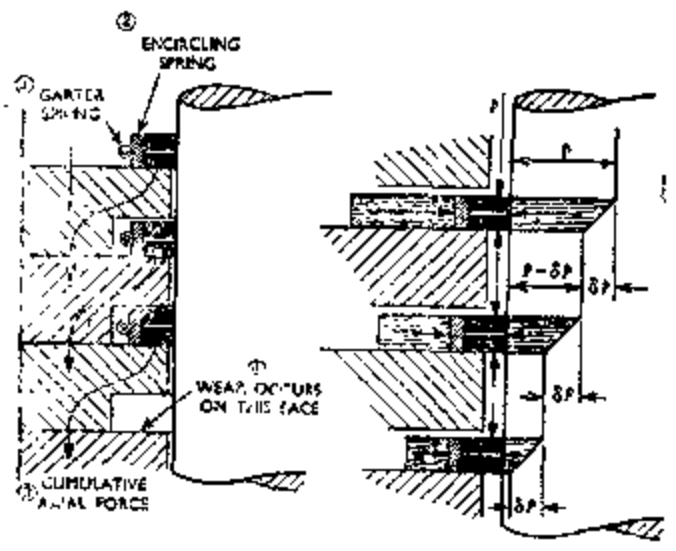


图8　多层隔室的填料函力和压力的分布

①—带式弹簧　②缠绕弹簧　③磨损面　④叠加轴向力

使能承受瞬时的 2 ～ 3 倍于规定的压力降值。

在高压压缩机的最后一段上，已成熟地在活塞上装置活塞环来密封气体，环数可达 20 个。近年来在实际应用中又有所发展，即将活塞环直接装在活塞杆上，以代替多层隔室填料，如图10所示。这种结构在压力很高时，显示出很大的优越性，此时填料的长纹大于活塞的行程，不然，活塞环填料将大大增加机器的长度或高度，原因是填料衬套的最小长度，应等于两端环的距离加上环的运行行程。活塞环式的填料及其衬套，因需高精度加工而成本很高，而活塞环则是由专门工厂大量生产的，质量高而价格低，较用手工刮研的填料元件，价格低廉得多，从而可以得到补偿。除开成本问题之外，二者在性能上也有重要的差别。多层隔室的填料是一种紧密贴合的密封，从这一意义来看，在填料大部分的使用寿命期间内泄漏是很轻微的；而活塞环式填料则在整个使用寿命期间内，要有一定程度的泄漏。但在另一方面，活塞环式填料在节约润滑油方面却有显著的优点，而在降低气体被油所污染方面也具有重要意义。

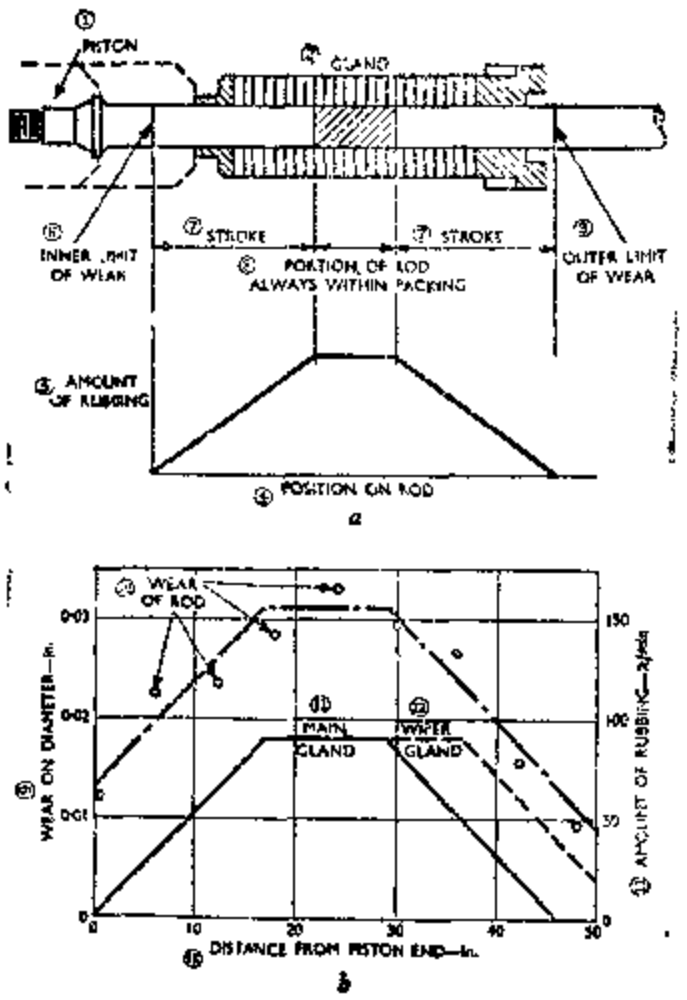


图 9　杆的磨损

（多层隔室填料，4000磅/吋²气体循环机）

①—活塞　②—填料函　③—磨损的外限　④—杆上的位置　⑤摩擦量　⑥—磨损的内限　⑦—行程　⑧—永远与填料相接触的杆部分　⑨直径上的磨损　⑩—杆的磨损　⑪—主填料函　⑫—软填料函⑬—摩擦量，尺/分　⑭与活塞端的距离，吋

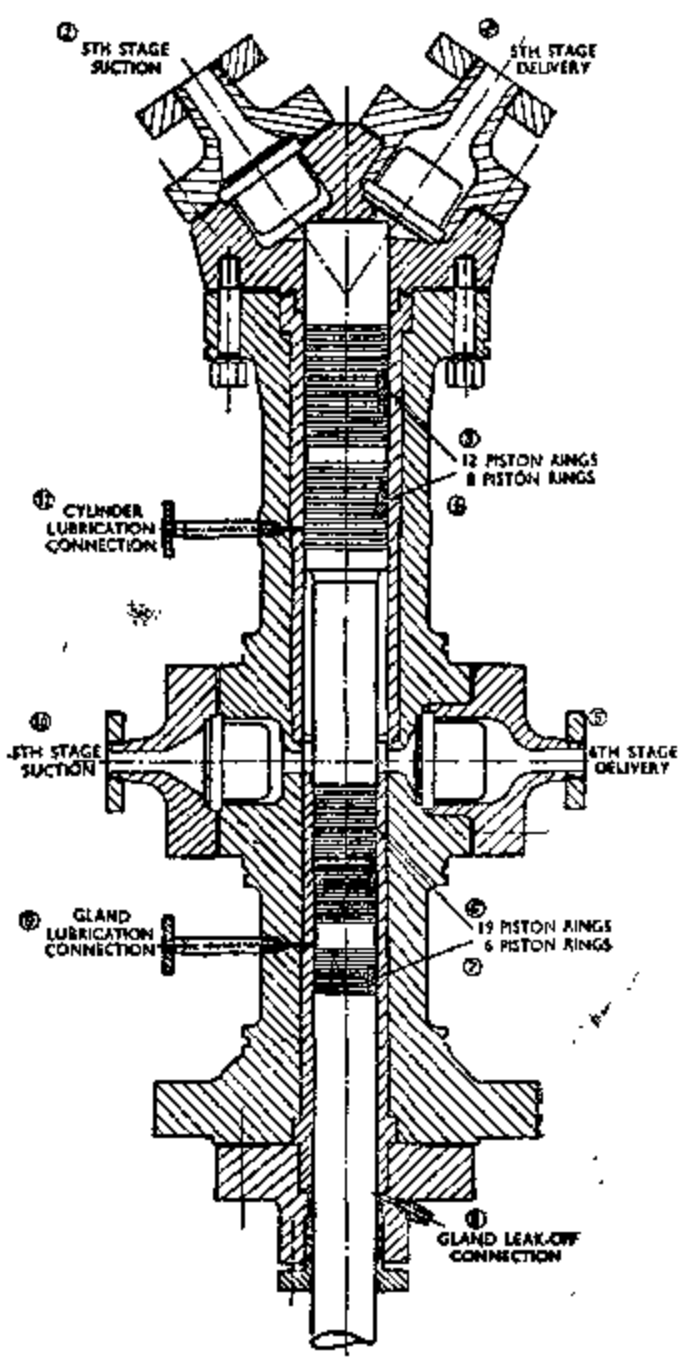


图10　5300磅/吋²气体压缩机中的活塞环式填料

①—5 级吸气口　②—5 级排气口　③—12个活塞环　④—8 个活塞环　⑤—6 级排气口　⑥—19个活塞环　⑦—6 个活塞环　⑧填料漏气口接头　⑨—填料润滑油接头　⑩—6 级吸气口　⑪—气缸润滑油接头

这种型式的填料都依靠供给适当的润滑油以实现气体密封。活塞环式填料只需供给有限的油，便可在环及衬套表面上分布均匀；而固定式密封元件的填料，则有刮去活塞杆上的油

的倾向，填料上必须充满润滑油，才能防止气体的泄漏。

活塞环式填料，在总压力为5000磅/吋^{2}时，其每环的正常压力降为200磅/吋^2。

摩　　擦

摩擦力是可变化的，甚至是难以确定的，一般认为这是填料的特性，在明显的相似条件下可能有3个或更多的因素而使摩擦力不等。可惜还没有一个公认的方法可以用来表示或比较摩擦损失。在适当条件下摩擦阻力是不难测量的，但怎样从测量结果来确定摩擦系数还是个问题。在大多数情况下摩擦常用压力损失来表示，但不同直径的杆，不能在此基础上对比。一个合理的方法是将摩擦力与垂直于杆表面的力建立起关系，即 $F \propto \mu Q$

研究一个宽为 δL 的微元体（图11）

则 $\delta F = \mu Q \pi D \delta L$

但 $Q = A\delta P/\delta L$

$\therefore \delta F = \mu \pi D A \delta P$

$F = \mu \pi D A P +$ 常数　　（9）

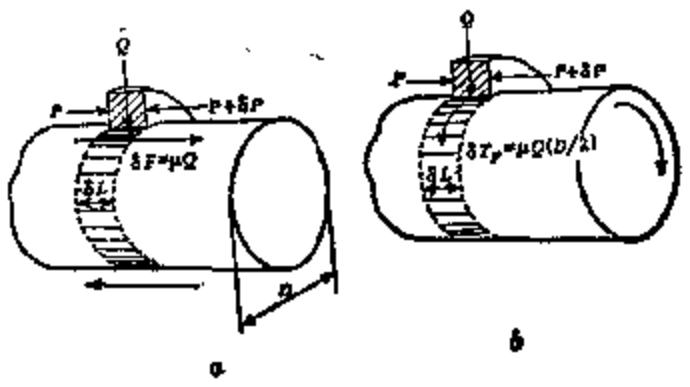


图11　利用于微元体上的力

a—往复式杆　b—旋转轴

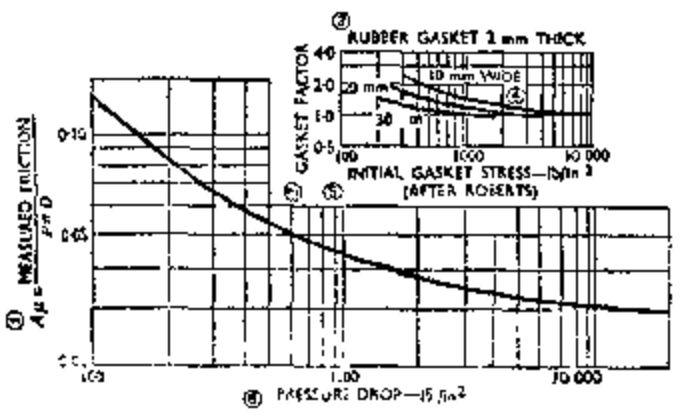


图12　摩擦与压力降的关系

①—$A\mu = \dfrac{\text{所测得的摩擦力}}{P\pi D}$　②—垫片因数

③—2毫米厚橡胶垫片　④—10毫米宽　⑤—垫片的初始应力（根据Robert数据）　⑥—压力降，磅/吋^2

Q力取决于常数K，所以可以由K值表示摩擦力。但当K值较低时，要求较大的填料长度，因此摩擦力分布很宽，但其大小不变。这并不是说K值不重要，因为摩擦的集中、磨损和发热会带来麻烦，尤其是转轴。金属填料的常数A值，一般是高于织物填料，但对摩擦力的影响，可由低的μ值得到补偿，而$A\mu$乘积是有很重要意义的。再者，在一定的压力降下，常数A影响到填料长度，从以上关系也可以看出A是关系着长度的大小的。

对任意一个杆-填料-流体的结合，等式（9）可写成：

$$F = \text{常数} \times D \times P$$

此式与一般高压试验的结果是一致的。如果压力范围很宽，包括了高压和中压，则发现F不能严格正比于P，但压力增加时，μ值有明显的减少。这种可能性不能作为规定，也可能是所观察到的减少是$A\mu$乘积的值。早年间，根据垫片连接的相似情况将常数A与Robert的垫片因数“m”来对比，发现在很高压力时接近于1。如果将不同压力下测得的F和计算所得的$A\mu$值作图，便可得到图12的曲线，同时，对比相似的垫片曲线，就很难避免如下的结

论，即A较μ的影响更大，A是这个变量的主要因素。此值用于气体时则较液体（如油）为高，而且应取曲线上较高的A值，但润滑不足时，μ值也将成为影响因素；如果是液体时，μ值肯定是低的，这是由于压力供油所产生强制润滑的结果。

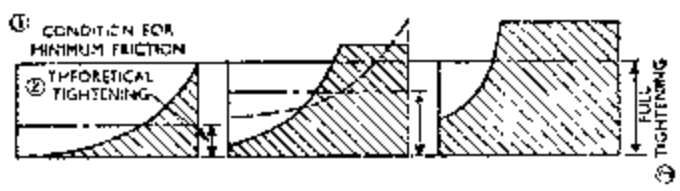


图13　预紧力对摩擦力的影响

①最小摩擦的条件　②理论预紧力　③全预紧

最近发表的技术文献中，建议应该对式（9）提出异议，理由是，式（9）指出摩擦力是可以确定的，并具有一定程度的精确性，可是与一般的经验并不一致。式中暗示出，填料函中力的分布如图2所示，其F值是最小值。填料过度预紧将产生不同的力的分布和较高的摩擦力，这一点可从图13中看出。其计算值则如表1所列，这些值是根据一根4吋直径的杆和$^{9}/_{4}$吋方形填料求得的。

表1　填料函的摩擦力

压力降，磅/吋^2	20	50	100	500	1000	5000
预紧力（理论的）——压强	6.68	12.8	21.8	90.5	145	588
预紧力（理论的）——总压力	74.6磅	143	0.11吨	0.45	0.72	2.9
全部压力	224磅	500	0.5吨	2.5	5.0	25.0
$A\mu$(从图14)	0.30	0.20	0.14	0.053	0.044	0.032
摩擦力，磅——最小	75	126	176	334	554	2010
摩擦力，磅——全压紧	225	493	810	不适用	不适用	不适用
比例F/F_{min}	3.0	39	46	/	/	/

可以看出，当预紧力超过图2力的分布时，摩擦力的增加正比于预紧力，而不取决于流体压力。这点已经多次观测到，并在1952年由Denng的试验报告所证实。

当预紧力等于全压力时，应看作是极限状态。当填料随着此力均匀压缩时，摩擦力则按如下比例增加。

$$\frac{F}{F_{min}} = \ln P \tag{10}$$

在低压时填料所需的力很小，很难避免过分压紧，但如表1所示，在高压时，此力达到很高的值，所示实际上预紧力的影响迅速降低，并且压力很高时，则变得无关紧要。

泄　漏

总的来看，软填料几乎在任何情况下所产生的泄漏都是最少的，但另一方面却需要经常压紧填料。当选择各种型式的填料，以达到摩擦小、磨损少、维修量小的目的时，最重要的是要预防较大的泄漏，并且要有防止泄漏的措施。很多改进填料的企图，由于泄漏量的增加，感到前途无望而不得不放弃。因此，分析泄漏时，必须注意不要再走这条老路，而应该分清主密封面与旁通的泄漏，并可再细分成（1）围绕填料后面的泄漏，（2）通过填料的泄漏。

1．软填料

软填料所保持的有效长度以能达到相对的不渗漏即可。通常采用滑脂、牛油、石蜡，有时还加入石墨、云母涂在填料织物之内，以密封其间隙。而在某些情况下，如炼油用泵，普通填充物是无效的，因为各种石油馏份能使这些填充物溶解，而使填料变为渗漏。橡胶织物虽

能保持不漏，但橡胶会胀大，因而在很多情况下，也不能应用。金属箔本身是不渗漏的，且能作成具有需要的挠性，因此往往广泛采用。如果不用中间填充溶体，而采用具有上述两种功能的不同材料，则有时也会取得较大的成效。例如采用一个或一组，用金属箔塑料或软木压成的薄膜夹在弹性填料之间。这些不渗漏的薄膜必须与杆和填料很好的配合，并且安装的直线性也好，则有较好的效果。如果是阀杆时，由于不常开启往往容易粘住，如能用一不渗漏的填料元件装在靠近颈套处，以减少通过填料体的渗漏，则即使是溶剂介质，也可采用多脂的填充物。但是这些措施对于往复泵的效果不大，因为压力的脉动会造成填料的渗漏。耐酸泵是在恶劣的工况下工作，因此，已向无填料函的方向发展，但也有其限制，在最近采用聚四氟乙烯以前，石棉一直是这种泵唯一可用的填料材料。聚四氟乙烯具有不渗漏及化学稳定性，同时也具有低摩擦的特点，所以现在已经广泛用作填料。

往复泵用的填料要承受周期性的循环压力，因而会使软填料形成一种特殊型式的泄漏，打个比喻来说会形成“海绵作用”。在半个循环内，填料或邻近压盖部分的填料被挤压而渗出流体，在其余半个循环内，压力松弛，填料开始吸收流体，以替代漏出的流体。从图 4 及图14可明显看到，当压力重新分配时，填料函二端任何半个循环内的作用情况是不同的。只有当填料渗漏时，才产生象海绵那样的作用。新装的填料中，通过填料的这种泄漏并不重要，而填料慢慢消耗时，即逐渐变得重要。

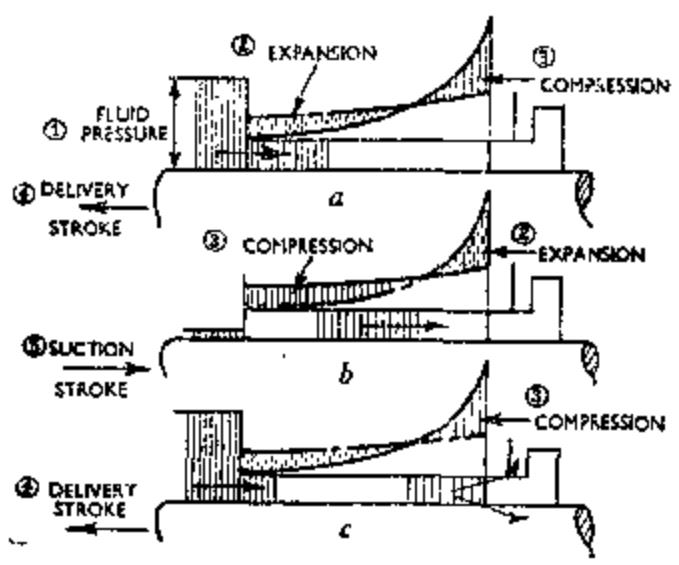


图14 象“海绵作用”的泄漏循环
a—吸收 b—传递 c—压出
①—流体压力 ②—膨胀 ③—压缩 ④—排出行程 ⑤—吸入行程

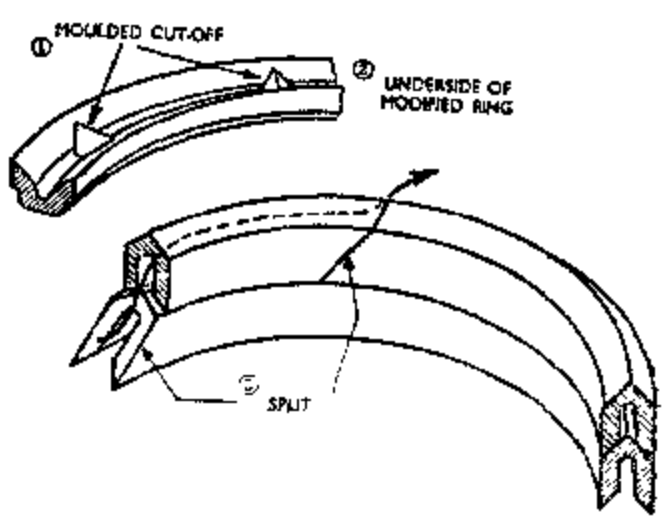


图15 开口环的周向泄漏
①—切成沟槽 ②—环的内侧
③—开口

2. 半硬填料

这类填料是依赖控制变形以保持密封作用的。如果为了便于嵌入而使填料带有开口时，则效果大为减小。因为内部的沟槽，提供了一条漏气通路（见图15），所以错开相磷二圈的接合也是无效的。一家美国制造厂介绍了一种改进的填料环，它把周向流通限制在一个小弧线上。如果是金属填料，填料环常做成圆锥形端面，依靠盖圈的锥面，将环压紧使与杆保持接触。如果设计不注意，则流体会在壁内空间及盖圈孔中逸出（如图16所示）。图 16 *A* 的叠合方式仍然是无效的，而 *B* 的接合则可得到满意结果。

3. 浮动填料

填料错开平面接口，以实现轴向密封，而不考虑径向密封是不够的。如果填料有一个通路通向环的背面，则必须兼顾到轴向与径向密封。这点对所有浮动填料及活塞环式填料都是

很重要的。活塞环式填料是外表面密封的浮动填料，近年来对于这种填料趋向于不重视活塞环开口缝隙的重要性，但这是以高速汽车的气体压力与惯性力的迅速变化会导致密封的间歇

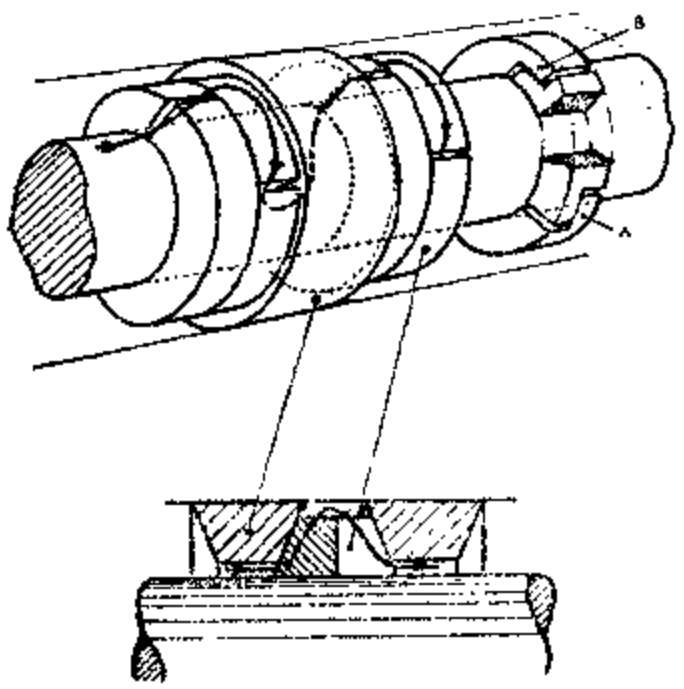


图16　通过金属环的泄漏

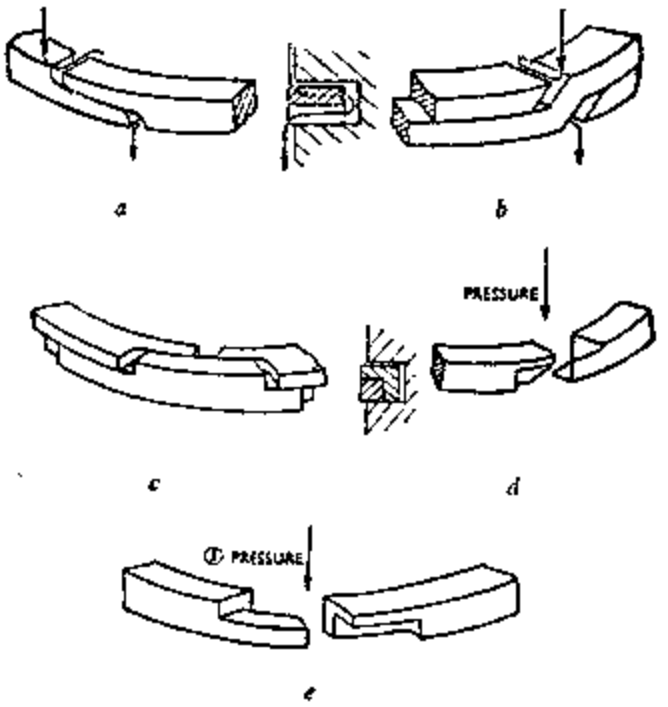


图17　填料环接口的密封

①—压力

a、b—通过环背面缝隙的泄漏　c—两块式的环　d—倾斜阶梯形接口　e—平面阶梯形接口

性损失为根据的。填料在正常情况下，主要是从环的开口缝隙中泄漏。由环与槽壁相接触所形成的径向密封会被缝隙所破坏。因此如图17 a 及 b 所示的仅以平面保持密封的环，要较平开口稍好些。实际上有许多结构是受到强度要求及易于制造所限制。图17 c 所示的双块式环的效果较好，而图17 d 的单块式环，则因其比较简单，应用也较广泛。这两种结构所应注意的是，必须以正确的方法与槽相配合。

内表面密封的多层隔室浮动填料也有类似性质的要求，这种填料的尺寸范围很宽，可以在广泛的范围内变化其结构设计。制造上最简单的一种，如图18 a 所示。两付弓形环的接口交错装置，以达到轴向密封，而由包围的圆环，密封其径向间隙。当用于高压气体时，填料需要适当的压力润滑，因此靠外边的填料必须倒角，以免产生剧烈的刮油作用。但如果内边也毫无区别地予以倒角，则将造成一条漏气通道如图所示。图18 b 的填料零件较少，但接口的准确加工需要特殊的制造设备。图18 c 所示的弓形填料也同样如此。图18 d 所示的径向密封型式，仅当接触面配合得很好时，才是有效的。

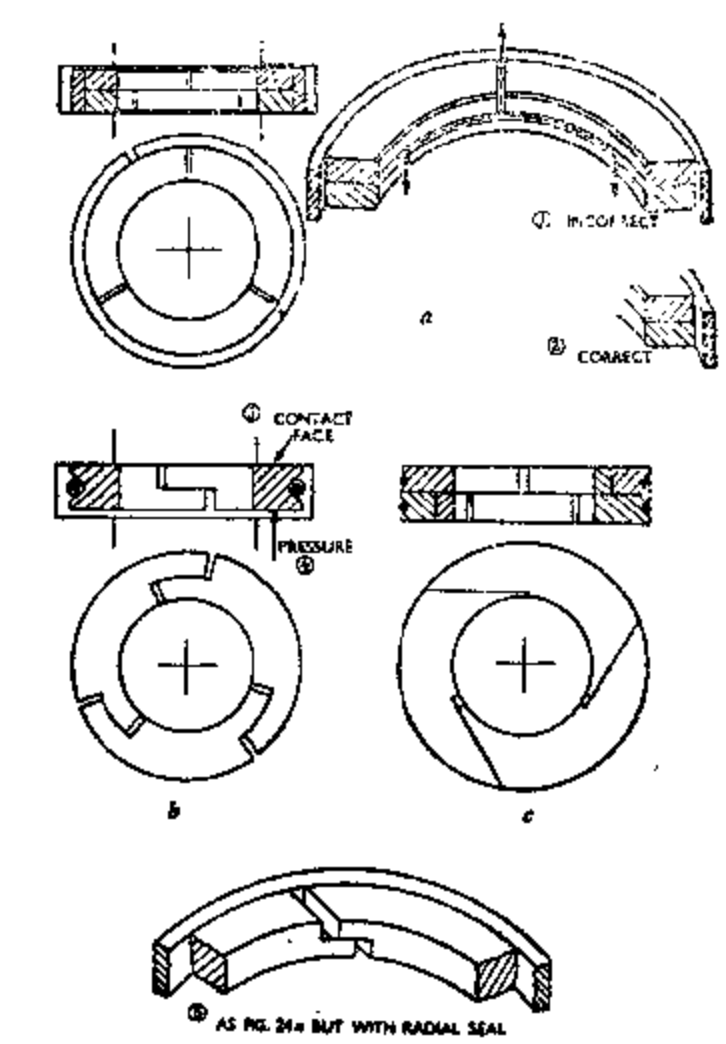


图18　多层隔室的浮动填料

a—简单分瓣式填料　b—阶梯接口式填料　c—法兰西式填料　d—折迭接口式填料　①—不正确　②—正确　③—接触面　④—压力　⑤—与17 a 相同，但有径向密封

黄隆厚节译自　The Institution of Mechanical Engineers Proceeding, 1958, V. 172, 471～486页，郁永章校

密封与填料的革新

由于流体动力的进展受到了密封的限制，所以迫切希望密封技术有一个很大的发展。不过在尖端技术领域和一般工程中对密封的要求各不相同，例如，在航空设计中，不断寻求适用于温度、压力都较高的工况下的新结构与新材料，而一般工业部门通常侧重于要求得到成本低而又性能可靠的密封。

这样，虽然我们看到了新的密封技术不断出现，但也应指出，还需要经过很大的努力，对新密封结构制订出标准，以便推广使用。

“O”形圈有可能优先列为国际标准。经过ISO（国际标准化组织）认真讨论，已经有了“O”形圈的公制尺寸系列，而且被美国广泛使用。ANSI-ISO的基础性文件—流体动力标准已在Product Engineering（1970年6月）上报导。冶金学家与合成橡胶化学家首先提供许多密封新材料，以适应恶劣的工作条件，密封工程师则担负改进结构设计的任务。

本文不准备叙述关于已载入手册的V形填料、平垫片、常用合成橡胶“O”形圈及其他目前已广泛使用的一些密封，而集中于尚未发表的特殊用途密封。

液态氟橡胶

最近公布的一种刚完成试验阶段的材料是杜邦（Du pont）公司的氟橡胶Viton，现在作为石棉及其它纤维的粘合剂，用来制造高效能的垫片与填料。这种方法制的垫片仍保持挠性，并可用至500°F。相反，一般的橡胶垫片只限用于300°F左右。

在室温下固化的硅酮橡胶液体垫料，现已直接用作法兰密封垫，以代替一般垫片。将液体垫料取代垫片推广使用于各种机器设备是完全可行的。

耐高温（400～600°F）的固态氟橡胶，以Viton和Fluorel两种牌号的性能较好。它们能耐热油、合成润滑油、汽油和许多其它有机溶剂。

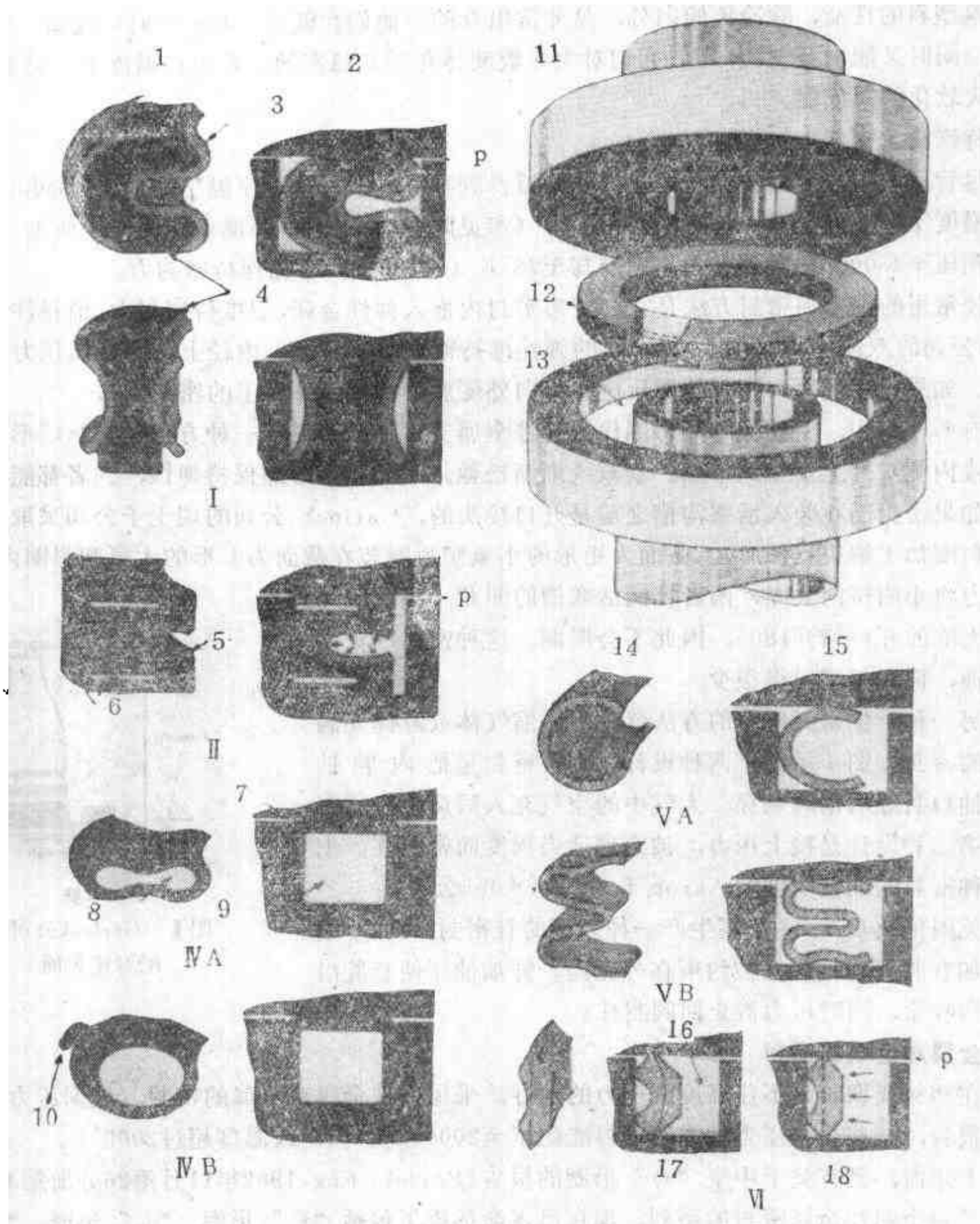
热固化的硅酮橡胶和氟硅酮橡胶也有一定的耐温性能，可用于温度大于325°F或低于－20°F的地方。据说，低温的使用效果非常好，某些品种在－150°F仍能保持柔软，另一些品种耐温至500°F或600°F。热固化的硅酮橡胶不会因冷流而损坏，并具有良好的耐热老化性能。

聚氨脂（Polyurethane）是一种新密封材料，它具有良好的耐磨性，适于作“O”形圈、“U”形圈及其它型式的填料，也适于作摩擦杆与摩擦元件。

高能塑料

如果能使塑料保持适当的位置，并在压缩时保持这一位置，则用它作为密封材料，冷流与弹性不足就不算是缺点。图I所示即为设计者是如何满足这一点的。

图中所示西洛杉矶W.S.Shamban公司的密封结构，是用泰氟纶（teflon）（杜邦公司产品）、Kel-F（3M公司出品）和海纶（Halon）（Allied公司出品）等氟塑料，在大大超过压服点情况下压制而成的，同时密封面受力。如果塑料收缩或者密封面稍微脱离，则可用弹性金属保持架将塑料保持住，以提供足够的弹性而保持密封力。根据Shamban公司工程师们的意见，一个直径4英吋的这种密封能耐12500磅/吋^{2}的气体压力，如果是液体压力，还可以更高些。



图Ⅰ　塑料密封（Shamban公司）

1—自由状态　2—夹紧状态　3—弹性金属　4—塑料或橡胶

图Ⅱ双向密封（Fluorocarbon公司）

5—弹性金属　6—到压尾座

图Ⅳ*A*　真空自充大气的密封（Swedish公司）

7—刺口　8—真空　9—大气

图Ⅳ*B*　充压密封（北美 Rockwell 国家航空与宇航局）

图Ⅴ*A*　"C"形金属圈（压力科学有限公司）

11—法兰　12—任一种密封圈　13—密封腔　14—自由状态　15—夹紧状态

图Ⅴ*B*　"E"形金属圈（压力科学有限公司）

图Ⅵ　蛤形金属密封（新产品公司）

16—无压力　17—开始是弯的　18—后来变直

氟塑料的性质，除冷流倾向外，是非常出众的。他们在低至－420°F时仍保留一定的延展性，同时又能用至＋500°F。它们对大多数液体介质是稳定的。在更高温度下，最好是采用退火软化的镍或铜。

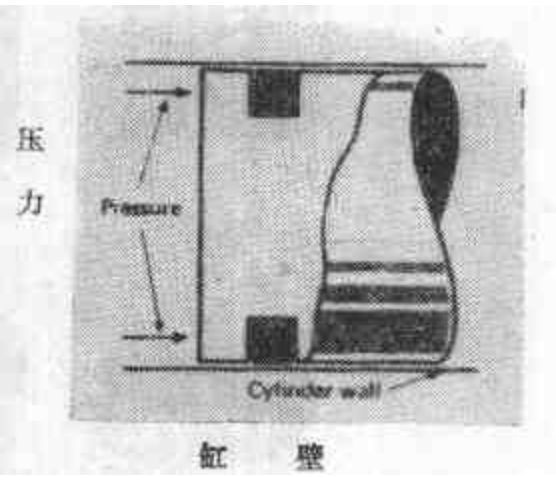
特殊法兰密封

尽管氟塑料收缩量较大，但它可随升温得到补偿。泰氟纶在室温下能承压45000psi，而且当温度下降至低温时，仍能保持密封性（参见附图）。当然，降温后仍会产生收缩，但不象初始预压至45000psi时那么大。它冷却至75°K（－198℃）时仍保持密封力。

较常用的氟塑料密封方法是在"U"形密封内嵌入弹性金属，以维持密封力。值得注意的是Raco公司的双向密封（图Ⅱ）。金属的弹性维持额定的密封力，内径上高的介质压力使密封增强。如果出现倒压，密封的倒压尾座将向外膨胀，并增强外径上的密封。

有些密封中，用胶橡"O"形圈代替弹性金属支撑住氟塑料。一种方法是在"O"形圈的周围（或内侧）套上泰氟纶罩圈，泰氟纶渐渐松弛，而"O"形圈保持弹性，二者都能密封。

如果密封圈在装入活塞沟槽之前是开口接头的，Garlock公司的瑞士子公司采取用配对氟塑料圈加工解决（图Ⅲ）。截面为矩形的小氟塑料圈装在截面为L形的大氟塑料圈内侧。缸的压力将小圈挤向大圈，两者填满活塞槽的凹角。小圈的开口与大圈的开口错开180°，因此不会泄漏。这种密封广泛用于欧洲，但在美国用得很少。



图Ⅱ Garlock公司的配对密封圈

另一种产生密封压力的方法就是用压缩气体或液体充满内腔的密封。图4示出了两种设计。真空密封是把内腔抽空，抽口封好后用时刺穿。大气中的空气充入后产生压紧密封。第二种设计是接上压力，被充到适当程度而密封住。生产这种密封的如俄亥俄洲Akron B. F. Goodrich公司。

英国伦敦Canron公司生产一种新型的管密封。两管端用附加套腔圈连接，并被约束在外壳内。外加油压使套腔沿着管端收紧，同时压力被止回阀封住。

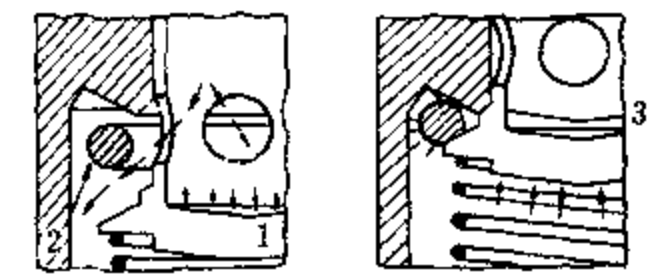
金属对金属的密封

在塑料或橡胶耐不住温度或压力的地方，采用弹性金属对金属的密封。根据压力科学公司的报告，某些金属压力增强的密封能耐压至200000磅/吋²，或温度超过2000°F。

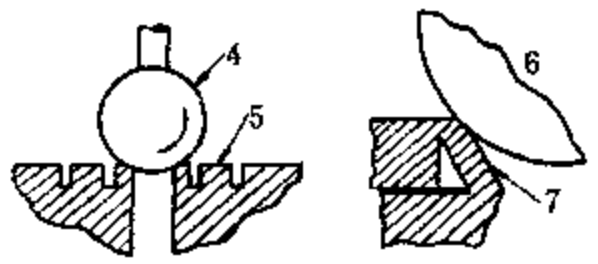
十年前，已有关于中空"O"形圈的报告(Product Eng.1962年11月第26分册第47页)，导出了整个弹性金属密封的系列。现在已逐渐形成了包括"C"形圈、"E"形圈、"K"形圈、"O"形圈、"U"形圈和"V"形圈在内的许多系列。每一种按其截面形状命名。严格的说，"C"形圈和"E"形圈目前还在改进(见图Ⅴ)。而实质上"C"形圈是一种留有缺口的"O"形圈。这种方法使它变得更有挠性，而又保留"O"形圈接触而不损坏法兰表面的优点。弹性力保证初始密封，而介质压力增强密封。"E"形圈及其它曲线形圈也具它有类似的性质。

这些金属圈不嵌入法兰表面，故其密封作用与一般的胶橡"O"形圈密封或凸缘密封很相似，但密封面必须更加服贴面较平滑。Hydrodyne公司的工程师们提出，密封圈腔表面的平整度大约在0.00005英吋/英吋的范围内效果最佳，镀金属的密封圈一般使用的平整度约在0.00002英吋/英吋的范围内，面涂泰氟纶的密封圈的不平度为0.00005英吋/英吋即可密封。

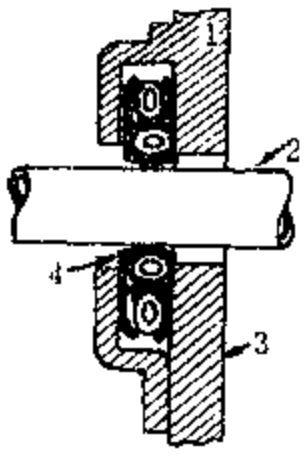
"O"形金属圈及相类似的金属圈应被设计成无阻碍地放入槽中。槽盖被螺栓拧紧即产



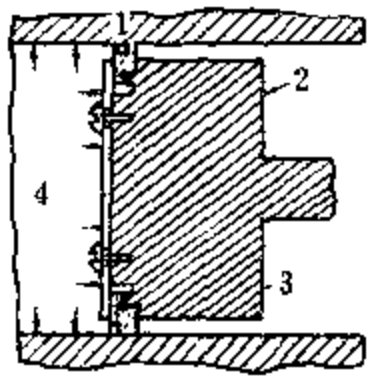
8



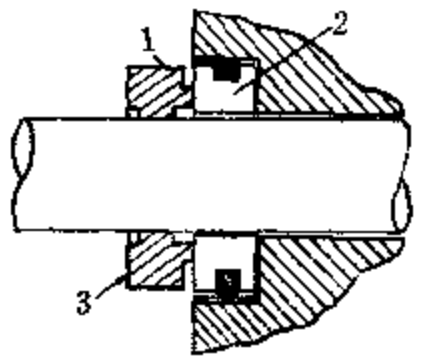
9



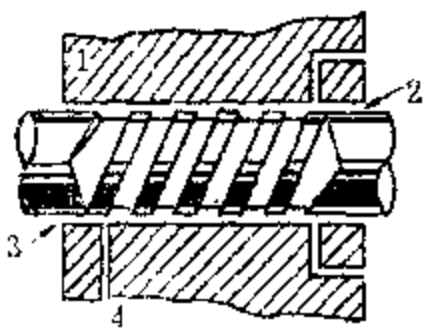
11



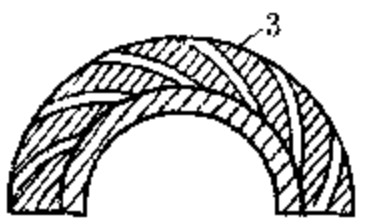
12



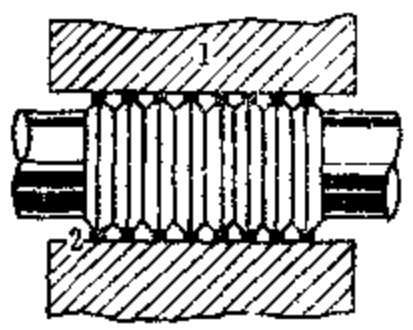
13



14 A

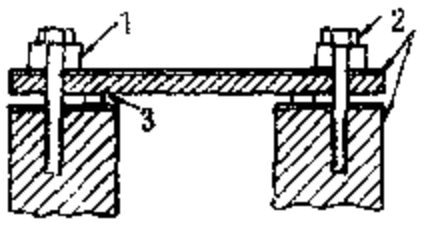


14 B

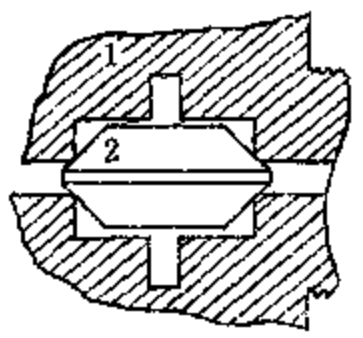


15

7



17



18

图 8　金属座与相配的“O”形圈（Circlt密封公司）
1—止回阀开启　2—浮动“O”形圈　3—金属座

图 9　柔性金属座阀门密封（国家航空与宇宙航行局）
4—阀球刚接触　5—支承圈　6—球　7—关

图11　偏心管或浮动管密封（Aeroquip）
1—螺旋形缺口以维持弹性　2—管　3—分壁　4—聚氯纶盖

图12　压力膨胀套圈密封（Lehigh univ）
1—形圈　2—活塞　3—套圈　4—缸内高压

图13　用磁吸密封面的密封（磁密封公司）
1—密封面　2—磁圈　3—钢圈

图14 *A*　自吸螺旋（GM Labs）
1—西林青浆液　2—高压　3—大气　4—排漏

图14 *B*　自吸螺旋管（Crane 盘根公司Labs）

图15　磁化液体珠粒密封（Ferrofluidics 股份有限公司）
1—磁体　2—磁化液体珠粒　3—细槽

图 7　压歪的金属圈密封（Gamah）
1—自由状态　2—压紧后　3—流体压力　4—螺母　5—管壁

图17　复合金属补偿密封垫（NASA/Melpar）
1—钽垫圈　2—不锈钢　3—铝圈

图18　高压锥面密封（Harwood 工程公司）
1—管壁　2—密封

生初始负荷。不像橡胶的密封，金属圈不能伸过轴端而进入（轴的）凹槽中。

一种基本的金属圈材料是不锈钢，但能够成型的任何金属都可用。圈倒不一定作成圆形，根据制造技术，此圈可作成椭圆形、叶形以及其他能够作成的特殊形状。往往将密封圈镀上或涂上一层复层，以改善腔的金属表面密封。典型的外敷层是金、银、銦、铅、橡胶和氟橡胶。涂层充填了表面缺陷并起到动密封润滑剂的作用。

充气的金属“O”形圈对于超高温是有效的。由于气体被密封在内，随着周围的温度上升，气体的压力增加。当金属的弹性由于温度影响而开始遭致破坏时，内部气压起到维持密封力的作用。

深入接触表面的密封 某些金属密封必须伸入法兰表面而密封。一个有趣的例子是“新产品”公司的“蛤”形密封（图Ⅵ）。当盖栓紧时，“蛤”开始顶入表面。当来自系统的内压力使“蛤”伸长并由弯变直时，就强迫“蛤”更深地顶入。“蛤”的金属必须至少比法兰表面制造硬30%。如果顶放部分每次正好在同一位置，密封就可以重复使用；只要凹槽按照厂家的推荐加工，自然就可得到这一位置。“蛤”表面镀银或镉最好，镀其他材料也可以。最佳密封需要的周边载荷为1300磅/吋。

另一些在高压或高温、低温下的密封见图7。图中扭变的金属圈（Gamah）装入前是一平垫片，安装部分的斜面由于受压而成圆锥楔形。还有一种双金属垫片，在温度剧烈变化下因复合金属层的热胀系数不同得到补偿，而使垫片保持平衡。高压锥面密封〔马萨诸塞州 Walpole Harwood 工程公司〕是打算用于200000磅/吋^{2}或更高的超高压情况下（图18）。

特殊阀门密封

Circle 密封公司的止回阀（图8）采用一种有双密封的方法。金属对金属的阀座产生高封闭力，“O”形圈被系统的压力压缩成埋紧密封的楔形环带。在自由流动方向，“O”形圈浮动着，并且不起妨碍作用。

NASA（美国国家航空与宇航局）设计另一种在阀门中有柔性金属的密封（图9），颇令人感兴趣。细薄的金属凸唇足够柔软，以致随球的压力而偏转。背面的橡胶圈或任何一种适当材料的圈阻止凸唇过份弯转。类似的设计由佛罗里达州 Fern Park，master union 公司装配在管法兰中（图10）。

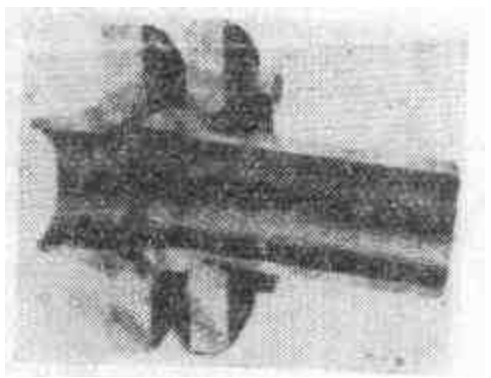


图10 金属凸唇密封
允许8°的不成直线装配

浮动密封

Aeroquip 浮动密封（图11）系 Omniseal 公司的一种改进。这种密封具有双重作用，除密封管（或轴）外，还由于能补偿管的偏心从而允许径向移动。

Lehigh 大学设计一种受压膨胀的套圈（图12）。设计用于200000磅/吋^{2}或更高的超高压。“O”形圈产生实际的密封。套圈由于活塞缸内的巨大压力被迫作径向膨胀，从而有助于保持“O”形圈与膨胀着的活塞缸的接触。

端面密封

磁密封公司用磁面密封（图13）解决高温环境中控制密封力的问题。过去靠弹簧起作用，就需要考虑支承，以致弄得复杂。这里，磁性圈吸引钢圈，同时以一定的力加载于（钢圈上）对磁性圈密封的碳环表面。

还有一个有趣的设计，它的特点在于用“O”形圈作为轴与密封面间扭矩的传递者。密

封面的支承件只带动轴上的“O”形圈。这个“O”形圈除传递扭矩外，还减少振动。

石油化学工业需要各种各样常用工程密封。按照“机械工程”(Mechanical engineering)四月的报导（指1972年—译注），温度范围是从液态氢的－423°F到800°F。Oley Giles of Borg Warner公司认为，这种端面密封实际上是一个润滑轴承，其中动环是旋转的，端面密封间存在被控制的间隙。被密封着的流体，不论是气体还是液体，或是二者的混合物，就是润滑剂。（密封）表面速度成百呎/秒是可行的。

自吸密封

轴及其能产生自密封压力的密封表面早已成为一研究课题（图14）。荷兰的Philips of Eindhoven公司有几种设计（Product Engineering，1967年No.19，六月，第34页1969年No.11，P108页），同时，美国自动机公司新近又研制出具有类似原理的凸边式橡胶轴密封用于车辆上（同上期刊1970年No.1第128页）。新泽西州和国际盘根公司被批准有这两种设计的专利。

无接触式密封在制造上最困难，但具有无磨损的优点。图中示出两种形式，第一种是自吸螺旋，它开有螺旋沟槽，用来输送硅酮浆液在零流量下压力可达1500磅/吋^2，这样就可使轴箱压力与高压气体相隔绝。

第二种是自吸螺旋面密封，它比图示的要复杂得多。它的表面不是平的，而是微球面，然而这一点，普通肉眼感觉不到。槽仅刻深0.0001至0.0004吋，需要精巧的加工。当槽旋转时，密封形成一个压力薄膜（液体或气体），相当一个推力轴承。

因为是球形，所以外径上的表面滑动间隙比内径上的大些。抽吸作用向内，并且最小间隙（在内径上）产生流动。它总是自平衡的，并且面密封稳定在一些极小的间隙内，而且很少流动。关键的问题在于设计和制造都困难。

SanJose公司制造一种新的自增压双密封用于潜水深井泵的电机轴上。其一面的密封近似常用的，作为外挡对水密封；另一面的密封作为内挡，防止油浸入电机内。二者之间是油室。

内挡密封为螺旋槽并且自吸。它维持着油室与井水间的正压差。当压力降到需要程度以下时，油室中的报警器报警，出现这种情况，水能进入油室并危及电机。作为流体动力的内挡密封始终在密封与轴之间维持一层油膜。停车时，内档密封通常把轴封紧。

英国液压研究协会（British Hydraulic Research Assocciation）的研究工程师G.J.Field最近进行另一项新的自吸密封的研究，叫做往复液压缸内密封的压力。它好像是活塞上的一个双面密封，在沟槽内轴向地前后滑动，不时地产生细微的抽吸作用。在一个方向上它们抽吸，面在另一个方向上变成止回阀。此两方向上的作用有助于对两侧密封空间的抽吸作用。两侧密封间的压力被测知竟超过系统压力的四倍！高压可能破坏密封。问题在于减缓密封区间的压力。

磁性流体密封

即采用磁性液珠作为一种完全阻止高压泄漏、产生无接触密封的方法图15为典型结构图。旋转轴有齿（不是螺纹），面轴套被磁化。液体成为磁性的动力流体，并且环绕于被磁化了的表面，高达5000磅/吋^{2}的气体压力能被连续的密封单元封住。

合肥通用机械研究所李汉武节译自《Product Engineering》1972，8，

袁玉球　校

BSP-600波型填料的试验研究

合肥通用机械研究所　　上海石棉制品厂

为了贯彻1973年全国阀门行业工作会议关于努力提高阀门产品质量和加强试验研究工作的决议，合肥通用机械研究所与上海石棉制品厂合作，于1974年开始对高温高压密封填料——波型填料进行研究。此后，由于阀门基础件攻关被列为机械工业十年科技发展规划的100项主要基础件攻关之一，本课题又被列为阀门基础件攻关的重点项目。

这项攻关工作的主要内容有：国内外高温填料分析、波型填料研制、实验室试验、现场工业性试验和拟制一机部阀门波型填料标准（草案）。

参加这项攻关工作的单位有：上海阀门厂、淮南发电厂、杨树浦发电厂、北京热电厂、北京东方红炼油厂、上海炼油厂等，负责单位为合肥通用机械研究所和上海石棉制品厂。

本文将只介绍高温高压填料的现状和展望，波型填料实验室模拟试验和现场工业性考核的结果。

一、国内外高温高压填料的分析

阀门同主机相比，是体积小得多的附件。为了缩小体积，减轻重量，方便维修，要求阀门填料函尽量采用最简单的结构型式（图1），即使是对介质外漏要求极其严格的原子能电站用阀门，其填料函结构设计也要力求简单（图2）。

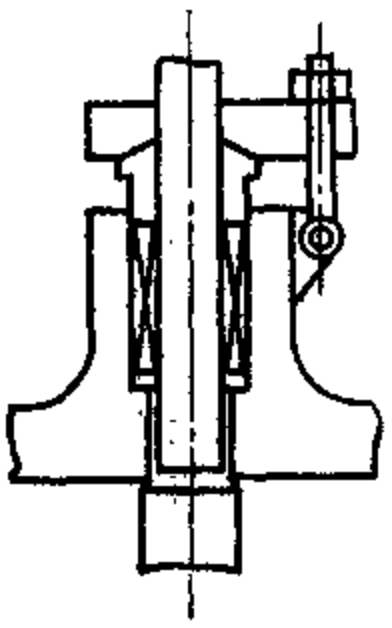


图1　常用阀门填料函结构

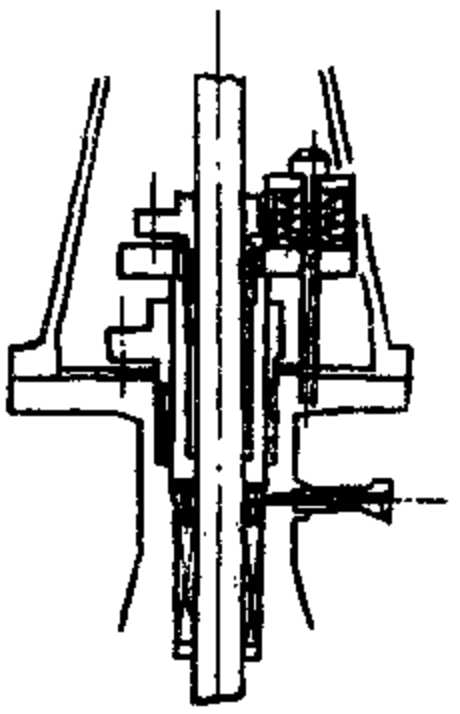


图2　原子能阀填料函结构

所谓高温高压阀门，通常是指在下述条件下工作的阀门，即介质温度 $t=450\sim600℃$，工作压力 $P\geqslant100\sim320kgf/cm^2$，介质一般无腐蚀性。适用于上述阀门的填料，被称为高温高压填料。由于这些阀门的正常工作往往是一个机组乃至全厂正常运行和生产的前提条件，

因此，人们对其填料密封的性能很重视，对于高温高压阀门的填料尤为重视，在发展填料品种和改进密封性能方面做了不少的研究工作。现将国内外对高温高压阀门填料的研制情况介绍如下。

我国已生产有三种高温高压填料，其主要技术性能列于表1[1]。

表1　国产高温高压填料

序　号	填料牌号	结构特征	适用范围
1	XS 450	石棉夹钢丝发辫式编结，浸胶	$t \leqslant 450$℃的蒸汽，油品
2	YS 450	石棉夹钢丝发辫式编结，油浸	同上
3	XS 550*	石棉夹镍丝发辫式编结	$t = 550$℃的蒸汽，油品

*　XS 550尚属非标准产品

日本生产高温高压填料的厂家较多，主要有瓦尔卡公司（Valgue·Ltd）、皮罗（Pillar）公司，日本石棉公司（Tonp）和东京兴业贸易商会。四家的产品大同小异，瓦尔卡的产品有代表性，列于表2[2][3]。英国 James Walker，Lta. 也生产套编结构的高温高压填料，其芯部为纯石棉线填充片状石墨，外层用夹层金属丝石棉线编结并涂敷石墨，可用于1000°F(≈540℃)。据称，Crane 公司的 181-1 型填料（因科镍尔合金丝增强）可用至650℃。苏联也生产和研制了多种高温高压填料，列于表3[4][5]。西德 Merkel 公司生产的C型高温填料有427*(500℃)、491*(600℃) 和491 A(650℃，镍丝增强)。

表2　瓦尔卡高温高压填料

序　号	填料牌号	结构特征	适用范围
1	V1240	芯子为石棉纤维、鳞状石墨和铜箔片混合物，外用棉线套编	与V1250组合安装用于500℃，100 kgf/cm²蒸汽
2	V1250	芯子与上同，外用铜丝套编	与1240组合用
3	V1255	夹铜丝JIS AAA级石棉线为芯子，外层用夹铜丝石棉线套编	<500℃
4	V1260	石棉线夹铜丝，穿心编结	≤500℃蒸汽、油品
5	V1271	芯子为JIS AAAA级石棉＋石墨，外层用不锈钢丝夹石棉线编结	<600°蒸汽
6	V1272	芯子与1271同，外套用蒙乃尔合金丝增强	≤600℃蒸汽
7	V1273	芯子与1271同，外套用因科镍尔合金丝增强	≤650℃蒸汽
8	V1200	石墨＋金属粉（或玻璃纤维）用耐热粘结剂压制成填料环	与1934组合，用于≤550蒸汽，油品
9	V1934	铜箔经特殊处理后使断面成正方形，加石墨做润滑剂，压成环状	≤550℃蒸汽，接触环用1200
10	V1110	铝箔包卷金属填料	<500℃蒸汽、煤油、油品有机溶剂，常与2140组合用
11	V2140	在石棉线内加石墨与减磨金属粒，用特殊粘接剂压成环状	与1110组合用
12	V1270A	结构与1271同，石棉经去氯离子处理	原子能阀用

国外高温高压填料品种虽然较多，但按结构特征可分为四种类型：

1. 塑性填料，如表 2 的 V 1240；
2. 成型石墨环填料，如表 3 的 ГСЦ，表 2 的 V 1200与 V 1934；
3. 编结填料，多采用穿心编结或耐高温合金丝增强的套编；
4. 金属填料，如表 2 的 V 1934与1110等。

表 3　苏联高温高压填料

序　号	填料牌号	结　构　特　征	适　用　范　围
1	ГСЦ	鳞状石墨＋云母＋锌粉，用耐热粘结剂在高压下压制成环	超临界参数蒸汽阀 $P=285kgf/cm^2$　$t=650℃$
2	ГСА	石墨环填料，将ГСЦ中锌粉换成铝粉	同上 $P=270kgf/cm^2$　$t=620℃$
3	1-АВТ	优质长纤维石棉穿心编结，填充耐热胶浆，表面涂滑石粉	$t\leqslant450℃$蒸汽
4	1-АВА	同上，表面涂一层铝粉	$t\leqslant560℃$，$P\leqslant325kgf/cm^2$蒸汽和人造液体燃料产品
5	НГЛТ-2С	石棉夹钢丝穿心编结（≥16×16mm时多层套编）	$t\leqslant450℃$，$P\leqslant910kgf/cm^2$蒸汽、氮气、有机酸、油品
6	АСГ АЖГ	石棉线＋大量石墨、滑石粉＋少量矿物胶水溶液，穿心编结 与АСГ同，将矿物胶换成动物胶	$t\leqslant500℃$，$P\leqslant100kgf/cm^2$蒸汽、水、油品、乙醇 有机酸

日本瓦尔卡公司的高温填料发展动向，带有一定的代表性，它具有两个特点：

一是着重发展编结石棉绳填料，用不锈钢丝、蒙乃尔及因科镍尔合金丝增强石棉线套编的办法提高填料的耐温性能；一是多品种发展，以便根据工况选用几种适当的填料组合安装，满足阀门密封的要求。

为了保证安全生产和设备正常运行，通常希望高温高压填料具有下述技术性能：

1. 密封性好。填料不论在正常运行期间或负荷急剧变化时，都能保持密封；
2. 工作可靠，耐冲蚀，微量渗漏发生后，不会迅速发展成跑冒泄漏；
3. 寿命长。在高温下石棉烧损小，不变质，填料弹性能长期保持；
4. 填料对阀杆的摩擦力小；
5. 填料对阀杆和填料函内壁被接触部位不产生点蚀和腐蚀；
6. 安装方便，对填料安装的技术要求低。

根据高温高压填料的工况特点，如何保证在高温下的密封性能和耐流体冲蚀，很自然地成为发展新型高温高压填料的主要研究课题。

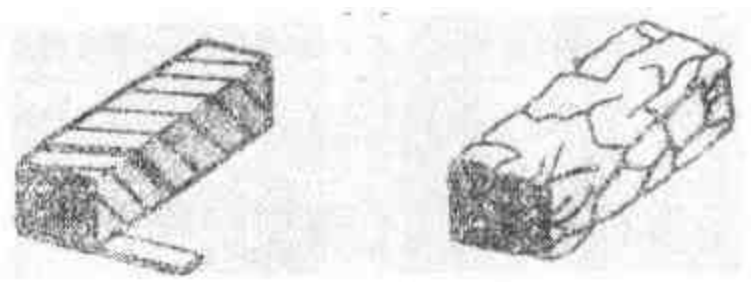


图 3　金属填料

目前世界各国研制高温高压填料的趋势是，改进编结填料和发展金属填料。在普通编结石棉绳填料的基础上，采用优质的纯石棉线，并用各种金属丝增强，以提高填料的耐温性能，为了提高增强效果，有采用套编结构的倾向。这种办法的优点是保持了编结石棉绳柔软、富有弹性和易密封等特点，而且价格低廉；但缺点是耐冲蚀性不够。金属填料是用柔软金属箔缠卷石棉绳和润滑剂成正方形断面的带状物，如图 3 所示，然后分段，在模中压制成环状的成型填料。这种结构的优点是耐

高温、耐冲蚀、耐磨、导热性好，但密封性差，必须与软质填料（常与塑性填料）组合使用。在转速高的泵上和高温高压阀上具有良好的密封性能。

二、BSP-600波型填料

我们研制的高温高压阀门填料，是一种具有新结构的金属-石棉填料。暂命名为波型填料，型号为BSP-600，符号的意义是B——波纹片金属缠卷，S——石棉，P——波纹片材料为不锈钢1Cr18Ni9Ti，600——最高介质温度≤600℃。

波型填料的结构如图4所示。它以多层同心圆金属波纹片组成正方形断面，在模具中

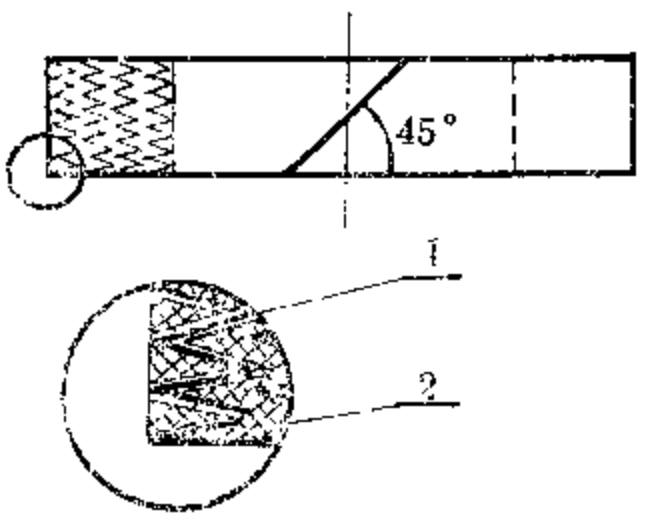


图4　波型填料结构

1—金属波纹片　2—石棉线

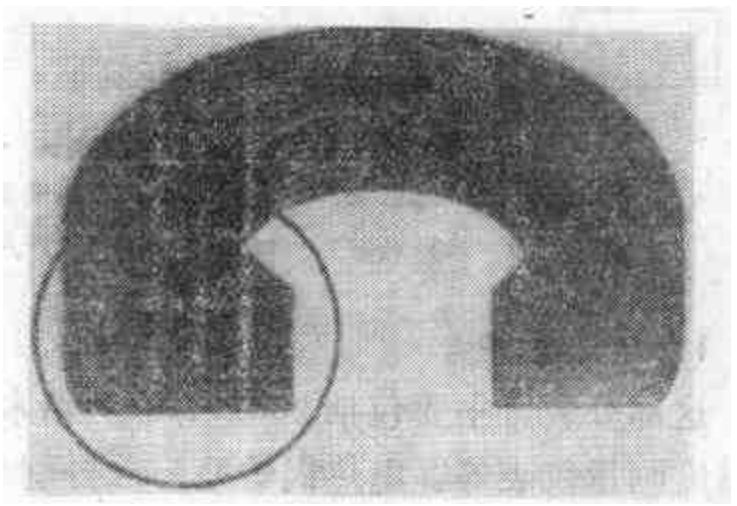


图5　波型填料剖视外观

压制成型。在每个波谷中填充优质纯石棉线，填料环的外表面涂鳞状石墨。填料具有45°切口。

波型填料大约是本世纪60年代问世的一种新型高温高压填料。它实际上是金属填料发展的必然产物，可以说是高温高压填料世界新水平的代表。据了解，目前只有英国的James Walker Ltd一家生产这种填料。我国于1969年从波兰引进的两套12.5万千瓦发电机组，配套阀门大部分是Hopkinson公司的，填料函中都是这种波型填料。

不锈钢箔的厚度选取为0.06mm，在轧波前材料处于淬火状态，表面硬度HV＝149左右（相当于HB＝152）。箔片薄而柔软，便于填料加工成型，并使填料保持柔软。

选用国产特1级优质石棉纤维纺成22支石棉线填充于波纹谷中。为了防止石棉对阀杆产生腐蚀，石棉进行水洗，以降低其氯离子含量，对于原子能阀，要求降至100ppm以下。

波型填料的金属波纹片材料，我们选取了18-8不锈钢、紫铜、铝、铅四种，由它们组成一个产品系列，分别适用于250～600℃的各种温度级。

波型填料的密封作用原理，可以解释为多级节流，每一圈填料相当于数个节流环，填料内外表面上填充石棉的波谷数即节流环的层数。在填料压盖的轴向力作用下，波纹被压缩，使缠包于波纹片中的石棉变形紧贴阀杆和填料函内表面，产生径向力，即产生密封比压。同时，波纹片的波峰也起一定的节流作用，不过波纹金属主要起强固作用，提高填料的抗冲蚀能力。

三、试 验 装 置

为了对波型填料进行模拟试验，在合肥通用机械研究所阀门实验室建立了填料性能试验装置系统，它由电热锅炉、填料试验机、操作台及测量仪表四个部分组成。系统流程参见图 6 。

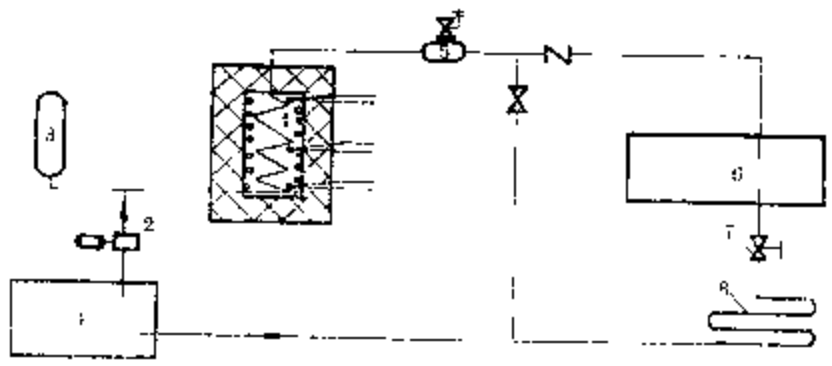


图 6　填料试验装置系统流程图

1—软水箱　2—给水泵　3—稳压器　4—电热锅炉
5—汽包　6—填料试验机　7—调节阀　8—冷却器

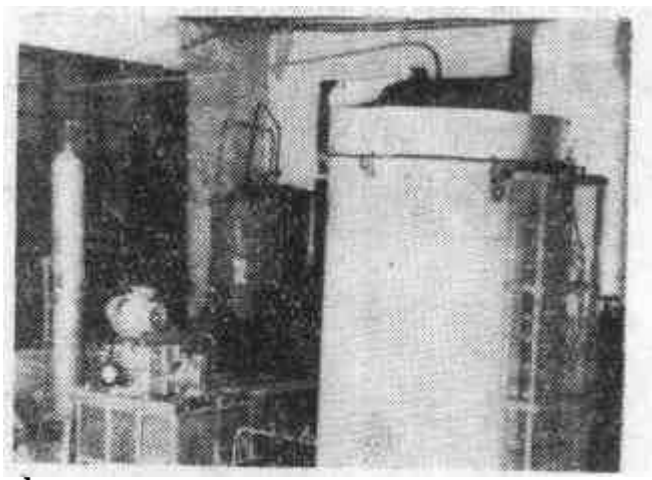


图 7　电热锅炉照片

1. 电热锅炉

这部分装置主要包括 200kgf/cm² 给水泵、80KW 电热锅炉、套管冷却器、软化水箱、压力温度测量仪表等。电热锅炉是一台自制小型直流锅炉，出口过热蒸汽参数：

最高温度　600℃

最大压力　170kgf/cm²

蒸发量　50kg/hr

由电热锅炉产生的蒸汽作为试验介质，按预定的试验参数调整蒸汽的温度压力，输入填料试验机，对填料进行模拟试验。

在电热锅炉炉膛内上、中、下三点位置设置热电偶，对炉温进行监视。用 XCT-191 型电子电位差计和 KT-120/380 型可控硅温控电源调节器自动控制炉温。用调节炉温的方法控制出口蒸汽的温度。

锅炉及试验系统的压力由管路中的调节阀调节。

2. 填料试验机

填料试验机的结构如图 8 所示，它的主要技术性能如下：

试验介质　水、水蒸汽、空气

最高温度　540℃（相应的 $P_{max}=140kgf/cm^2$）

最大压力　320kgf/cm²

试验杆最大直径　ϕ 40mm

试验杆运动速度　旋转时 n = 50rpm

往复时 V = 400mm/min

最大往复行程　L = 100mm

最大填料压紧力　P = 10000kgf

试验机的主要组成部分包括：驱动装置、填料函和筒体、填料压紧装置和测漏装置。

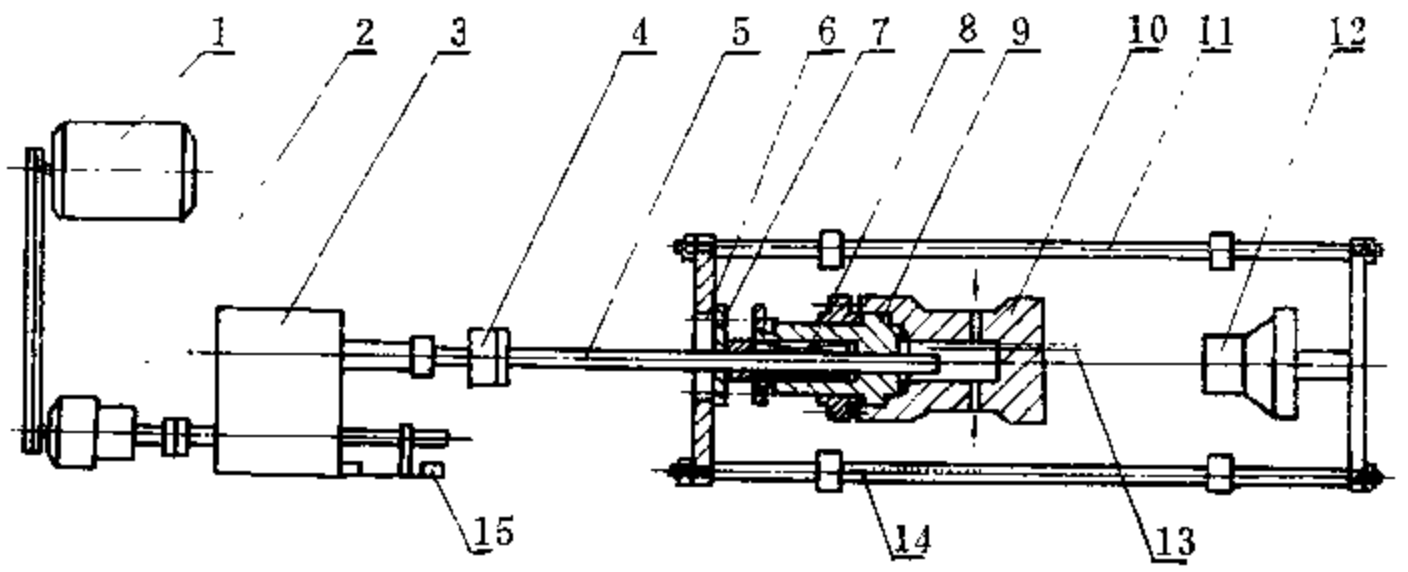


图 8　填料试验机结构示意图

驱动装置由2.2KW 电动机 1、减速器 2、变速箱 3 和一组限位开关15组成。变速箱 3 的输出轴通过测力杆 4 使试验杆 5 获得与电动闸门启闭速度近似的运动速度，调整变速箱可使试验杆分别获得三种运动方式：即往复、旋转和螺旋。调整限位开关位置可改变试验杆的往复行程。

由电热锅炉输出的蒸汽引入机筒10，使被试填料 8 获得预定的试验参数，模拟阀门工况进行性能试验。根据填料试样尺寸可更换填料函 9 和试验杆 5 。

填料压紧装置由油缸12、拉杆11及液压系统组成。液压系统参见图10。由油泵将压力油经送油阀、换向阀进入油缸，推动拉杆将填料压紧。送油阀可控制拉杆运动速度，使加压过程平稳，当压紧力达到预定值时可保持恒定。在油泵停止时，可轻轻地拧紧螺母 6，使压紧力继续保持一定。填料压紧力用0.35级标准压力表计量。填料压缩量由拉杆11上的刻度尺读出。

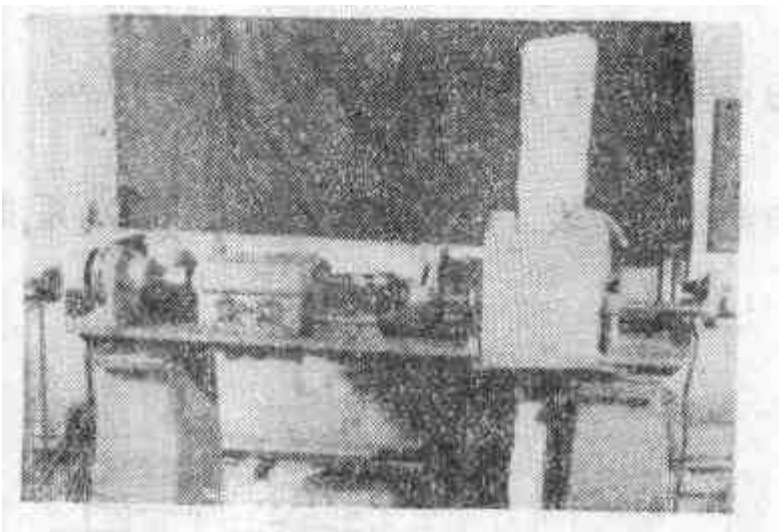


图 9　填料试验机及操作台外观

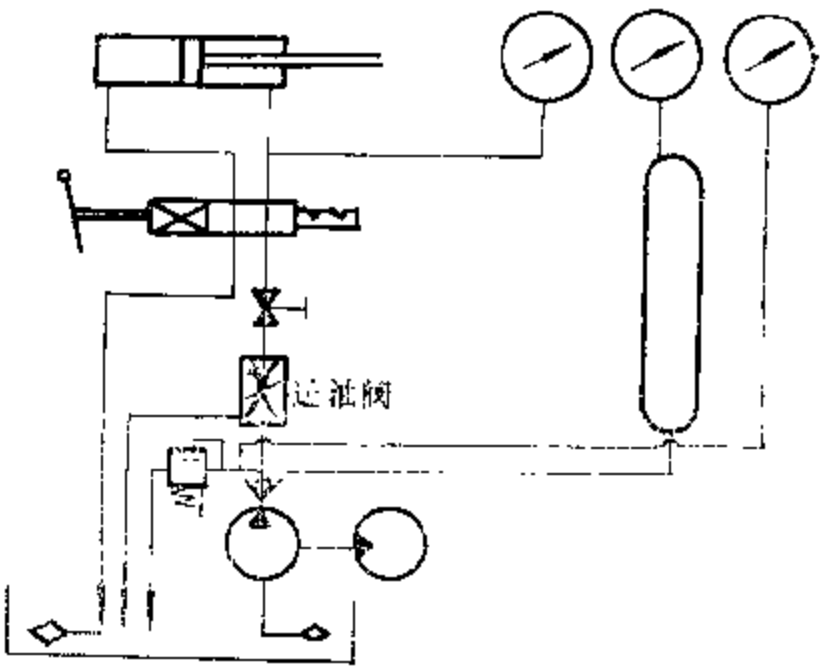


图10　填料压紧装置液压系统图

机筒中介质温度用 XCT 131 电子电位差计指示。填料函的泄漏量由引漏管排出的水珠或气泡计量。引漏结构见图11。

填料对试验杆的摩擦力通过贴在测力杆上的电阻应变片发生的讯号输入Y6D-3A型动态应变仪，由 SC-16型光点示波器显示光点位移量，可测得静摩擦力和动摩擦力。电阻片采用工作片和补偿片各 2 片，线路接成半桥，如图12。

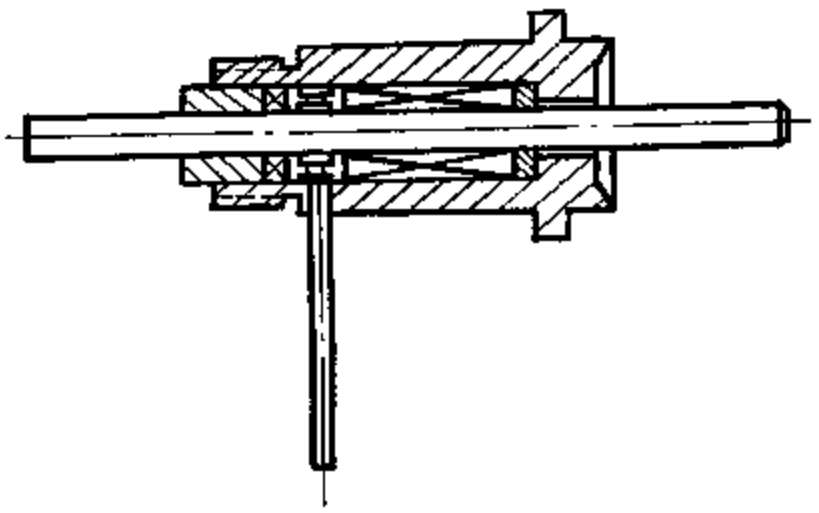


图11　引漏装置

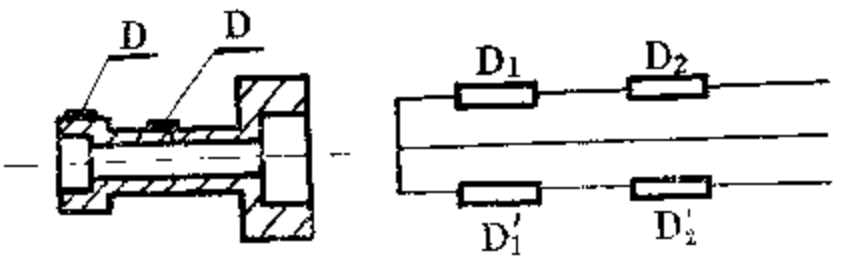


图12　电阻片线路图

D—工作片　D'—补偿片

四、实验室试验结果

在填料试验机上对 BSP-600波型填料进行了下述试验：

1. 填料压缩量与压紧力的关系；
2. 压紧力与介质压力的关系；
3. 摩擦力与压紧力的关系；
4. 热态密封性能试验。

试样规格：内径×外径×高＝ϕ26×ϕ38×6mm。试样由上海石棉制品厂制造。其外观如图13。

试样安装方法：试样每组数量为8圈，依次从试验杆一端套入填料函中，不采用分层压紧填料措施。虽然分层压紧对改善密封性能可能有利，但是这种办法生产率太低，在阀门厂实际上很难实行。因此，在试验中试样不分层压紧，与实际工作状态接近。每圈填料切口位置相互错开90°。

填料函与试验杆同填料接触表面光洁度分别为▽6与▽7，尺寸精度分别为 D_6 与d_c6。

1. 填料压缩量与压紧力的关系

这项试验是在无介质压力情况下进行的。试验结果列于表4，并获得它们之间关系曲线，如图14所示。

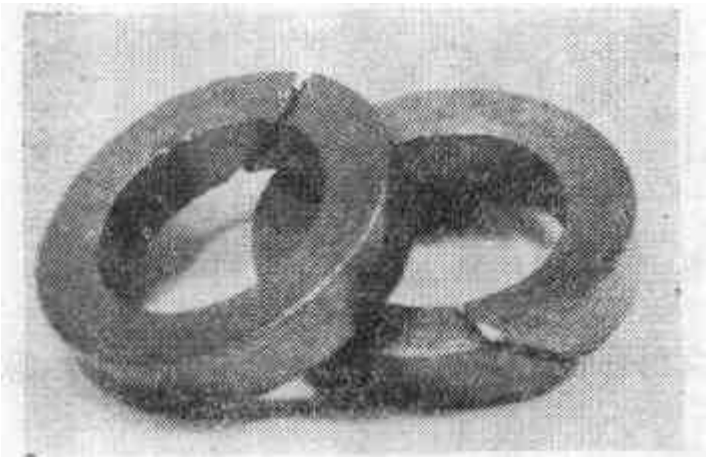


图13　试验前的波型填料外观

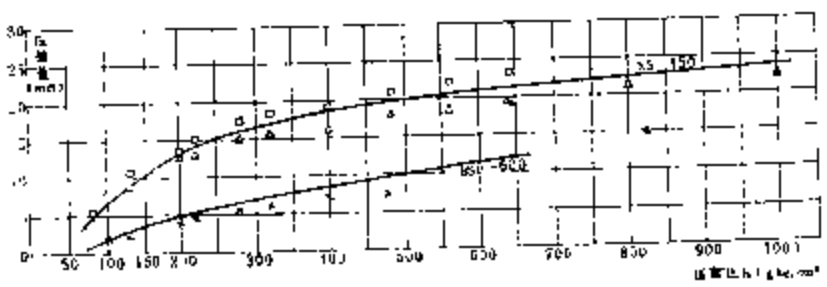


图14　填料压缩量与压紧力关系曲线

同时对国产 XS-450 填料做了对比试验，试验结果见表4或图14，石棉绳截面尺寸为6×6mm，做成具有45°切口的填料环，每组试样为10圈，也不分层压紧，切口位置相互错开90°。

表 4　填料压缩量与压紧力的关系试验数据

序号	压紧力 (kgf/cm²)		压缩量 (mm)				
	油缸压力 (W)	填料轴向比压 (p_y)	BSP-600		XS-450		
			第一组	第二组	第一组	第二组	第三组
1	1.5	50					
2	2.4	80	1.5		4	5	4
3	3.0	100	0.5	0.5	2		3.5
4	3.84	120	0.5	0.5		4	3.8
5	6.0	200	2	1.5	4	4.5	4.7
6	6.6	220	0.5	1	2	1.5	1
7	8.4	280	0.5	0.3		2	2.5
8	9.6	320	3	0.7	1.5	1	1
9	12	400	1	1	2	2	1
10	14.4	480	2	0.4	1	2	1
11	16.8	560	1			1	3.5
12	19.2	640	0.5			1	

油缸活塞面积为201cm²。填料轴向比压按下式求得：

$$p_y = \frac{p_y}{f_T} = \frac{201W}{\frac{\pi}{4}[(3.8)^2-(2.6)^2]} = 33.4W(\mathrm{kgf/cm^2})$$

2. 填料对试验杆的摩擦力与压紧力的关系

从示波器萤光屏显示的光点位移，可用下述公式计算摩擦力：

$$\varepsilon = n \times \frac{\varepsilon_{标}}{n_{标}}$$

式中 ε——由填料摩擦力在测力杆上发生的应变

n——示波器光点位移值

$\varepsilon_{标}$——应变仪给出的标准应变量

$n_{标}$——示波器接受标准应变量所显示的光点位移值

当衰减值为 1 时，$\varepsilon_{标}=30\mu\varepsilon$　$n_{标}=6.7$

当衰减值为 3 时，$\varepsilon_{标}=300\mu\varepsilon$　$n_{标}=22.5$

$$\sigma = E\varepsilon$$

$$F_T = \sigma \cdot f = 2.01\times10^6\times\varepsilon\times10^{-6}f = 4\varepsilon$$

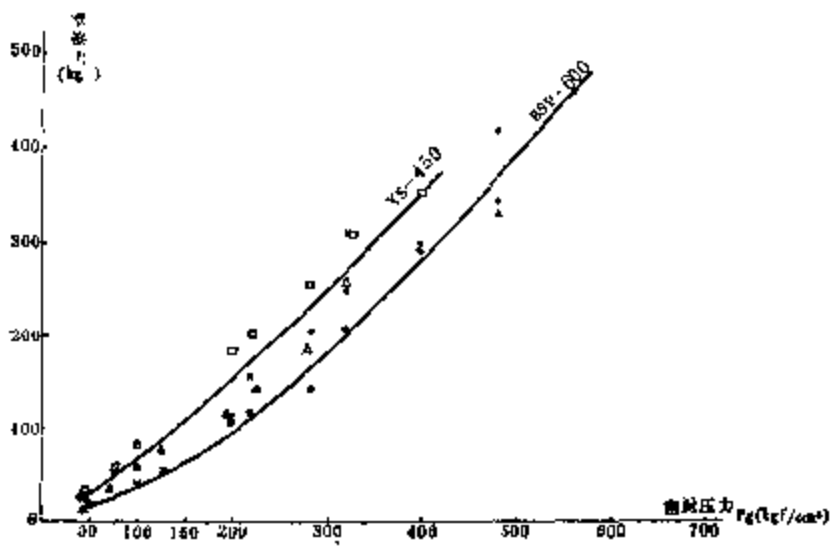


图15　填料摩擦力与压紧力关系曲线

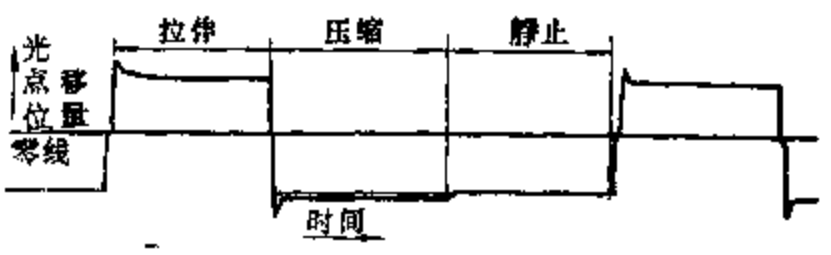


图16　示波器光点位移影象

式中 σ ——由填料摩擦力在测力杆上发生的应力

f ——测力杆截面积，等于$2cm^2$

F_T——填料对试验杆的摩擦力

试验数据列于表5，并绘制出关系曲线（图15）。由示波器拍摄的光点位移影象如图16所示。

表5　填料摩擦力与压紧力关系试验数据

序号	油缸压力 (kgf/cm²)	填料压紧力 轴向压力 P_y (kgf)	填料压紧力 轴向密封比压 p_y (kgf/cm²)	光点位移值(衰减≈1) B_1* 动态	B_1* 静态	B_2 动	X_1 动	X_1 静	X_2 动	X_3 动	填料摩擦力 (kgf) B_1 动	B_1 静	B_2 动	X_1 动	X_1 静	X_2 动	X_3 动
1	1.5	301	50	1	1	1.5	1.5	2	2	2	17	17	25.5	25.5	34	34	17
2	2.4	483	80	2.25	3	2	3	3.5	5.5	2.25	38.3	51	34	51	59.5	59.5	38.3
3	3.0	603	100	2.75	3.5	2.5			5	3.5	46.8	59.5	42.5			85	59.5
4	3.84	772	128	3.75	4.25	3.5	4.25	3.5		4.56	63.8	72.4	59.5	72.4	59.5		76.5
5	6.0	1206	200	4.25	4.75	6.5	6	7	10.5	7	72.4	81	110.7	102	119	178.5	119
6	6.6	1327	220	6.5	7	9.5	8.5	9	11.75	8.5	110.7	119	161.5	144.5	153	200	144.5
7	8.4	1688	280	8.25	8.75	10.5	12	11.5	15	11	140.5	149	178.5	204	196	255	187
8	9.6	1927	320	12	12.5	18	14.4	15	18	15	204	212	306	246.5	255	306	255
9	12	2410	400	17.5			17		20.75		298			289		253	
10	14.4	2890	480	24.5			20			19.25	416			340			353
11	16.8	3380	560	26.5							451						
12	19.2	3860	640														

* 试样编号，B_{1i} 表示波型填料第一组；X_{1i} 表示XS-450填料第一组；余类推

表6　填料压紧力与介质压力关系试验数据

序号	填料压紧力 轴向压力 P_y(kgf)	填料压紧力 轴向密封比压 p_y(kgf/cm²)	开始泄漏时的介质压力 (kgf/cm²) B_1	B_2	X_1	X_2
1	301	50			0.2	0.2
2	483	80			0.4	
3	603	100				1.2
4	772	128			3.2	2.5
5	1206	200			4.5	6.1
6	1327	220			10.5	12
7	1688	280	45		16	24.5
8	1927	320			20	36
9	2410	400		160		45
10	2890	480	76			60
11	3380	560	100			60
12	3860	640				70

3．填料压紧力与介质压力的关系试验

通过本项试验可了解填料在常温下的密封性能，并获得填料的轴向必须密封比压值。试验结果列于表6和图17。

必须指出，进行这项试验应以“填料允许泄漏量”为依据。但是，到目前为止，在国内外阀门标准或技术条件中尚未见有填料函部位允许泄漏量的规定。这种状况说明，人们对填料

密封要求的认识还不够深入。我们在试验时，暂对“开始泄漏”定义为：在引漏管端出现微量渗漏起，直到形成水珠，在3分钟内水珠不离开管口滴下为止，这种状态称为介质“开始泄漏”。介质开始泄漏时，填料的密封比压称为该工作压力下的必须密封比压。

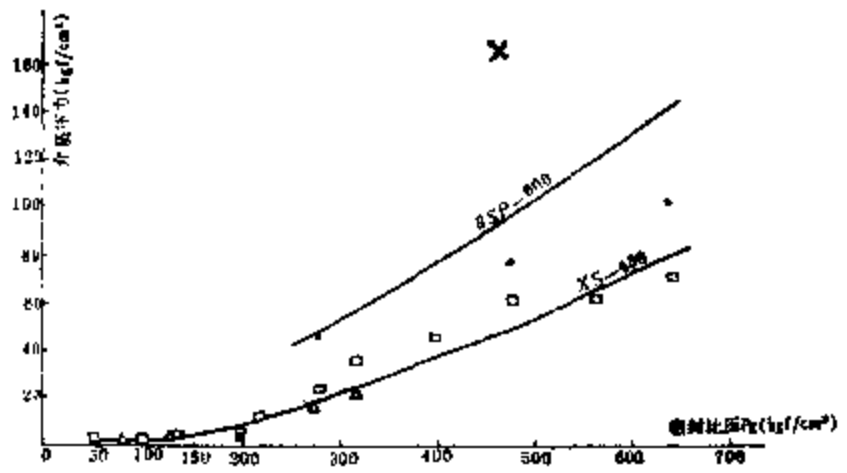


图 17

4. 热态试验

在100kgf/cm²、510℃条件下对BSP-600波型填料的密封性能进行了试验。被试填料安装如图18所示。当轴向压紧力达3860kgf、填料轴向密封比压 $p_Y=640kgf/cm^2$ 时，试验杆静止状态下保持了40分钟，没有发生泄漏。

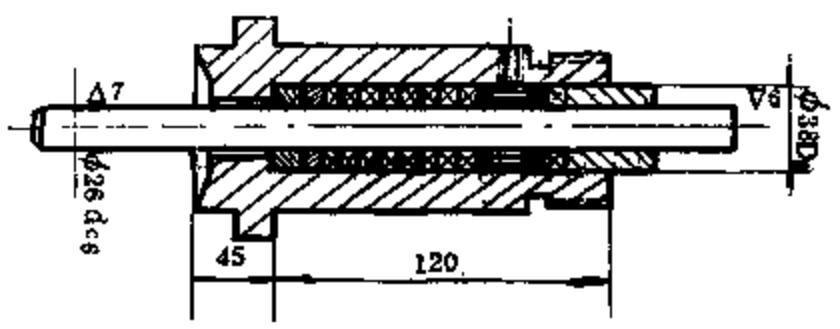


图 18

五、现 场 试 验

BSP-600波型填料在现场试验的结果如下：

1. 在淮南发电厂2*机组隔离门（主蒸汽阀）的旁通阀（Dg25截止阀）上于1975年3月安装规格为 $\phi38\times\phi22\times8mm$ 的试样（8圈），汽机运行后，填料密封情况一直良好，至1976年6月保持完全不漏。此后开始发生轻微泄漏，至10月份，泄漏加剧，形成跑冒泄漏，被迫拆换，拆下的试样内表面有明显的冲蚀沟槽，如图19，石棉线烧成焦黄。此后在同一阀门上装的是英国波型填料，于1977年3日拆下，发现下面4圈也被冲蚀，并已有不同程度的沟槽（图20）。但填料中的石棉线仍保持柔软，色泽未变。

2*汽机的工作参数为：温度535～540℃，压力127～135kgf/cm²。

2. 在淮南1*机组隔离门前疏水阀（Dg50截止阀）上于1975年2月安装 $\phi55\times\phi35\times10mm$ 一组试样（9圈），直到现在仍在使用，密封性良好。在出现轻微泄漏时，稍将填料压紧，泄漏即停止。工作参数：过热水，$t=350℃$，$P=140kgf/cm^2$。

3. 在上海炼油厂常压蒸馏车间酚精泵出口阀上安装 $\phi38\times\phi26\times6mm$ 试样一组。介质

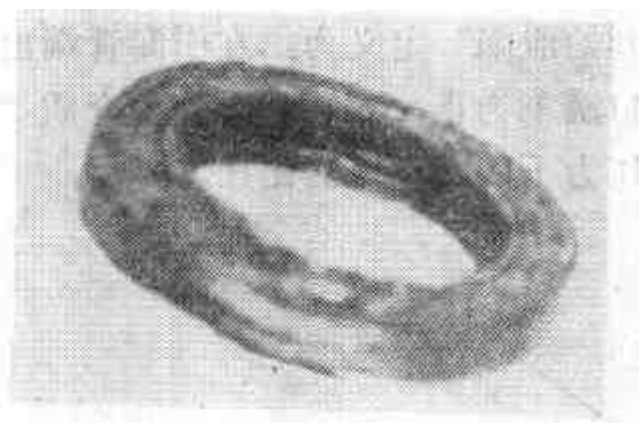


图19 工作18个月后的试样外观

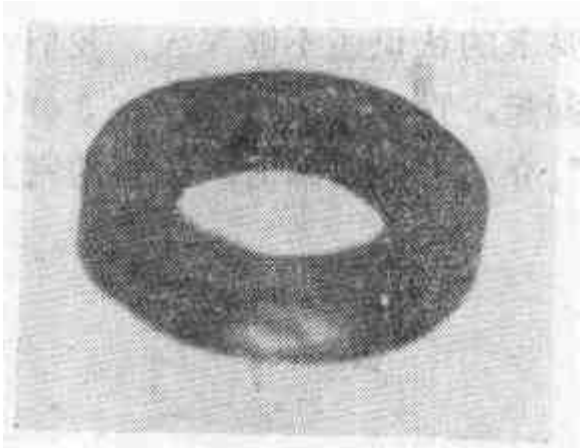


图20 工作5个月后的英国波型填料

为含80～90苯酚的热油，渗透性很强。介质温度200℃，压力20kgf/cm²。自1975年4月装上试验以来，只有微量渗漏，在填料压盖处观察，只显得有点润湿。原来是采用在XS-450石棉填料上部加一圈铅的组合填料防止渗漏。波型填料的密封效果比这种办法更好而且简便，因为如果铅垫加得不仔细，仍会发生滴漏。

六、结束语

通过在填料试验机上的模拟试验和在现场进行的工业性鉴定试验所取得的初步结果，BSP-600填料的性能已经明显地表现出来。根据试验结果，我们可以得出初步结论：

1. BSP-600波型填料是一种较好的高温高压填料。它已在540℃、135kgf/cm²蒸汽阀门中可靠地工作了一年半之久；在350℃、140kgf/cm²介质为过热水的阀门中已良好地工作了两年多，而且仍在使用，保持不漏。根据18-8不锈钢和纯石棉的耐温性能，可预料，它能够在600℃左右的高温下可靠地工作。已在北京热电厂进行570℃、170kgf/cm²工况的试验。

2. 波型填料不仅因具有耐高温、抗冲蚀的特点而适用于电站主蒸汽管道上的阀门，而且由于波纹片有防渗透的作用，在炼油厂也受到广泛的欢迎。

3. 波型填料还具有摩擦力小的优点。从初步试验结果来看，它比XS-450填料要小得多。淮南电厂工人反映，装波型填料的阀门开关轻便。

4. 波型填料制造工艺较复杂，18-8不锈钢箔较难获得，生产率比石棉绳低，成本较高。但是，考虑到高温高压阀门在工厂中所占比例很小，同时波型填料具有工作可靠、密封性好、寿命长等显著优点。因此，这个缺点是很次要的，而且，还可以不断改进制造工艺，提高生产率，以使这一缺点得到弥补。

5. 我们将继续在填料试验机上对BSP-600波型填料进行试验，并扩大现场试验点，对它的性能进行更深入的研究，以期作出最后的结论；另外，还拟研制紫铜、铝和铅等材料的波型填料，以使这种新型结构填料得到更大的发展，用途更加广泛。

参考资料

〔1〕 上海石棉制品厂产品样本

〔2〕 (日) Valque. Ltd 样本

〔3〕 高温高压阀的阀杆填料——《阀门技术》1974，№1.

〔4〕 A. B. Ратнор: Арматура для пара сверхкритических параметров.

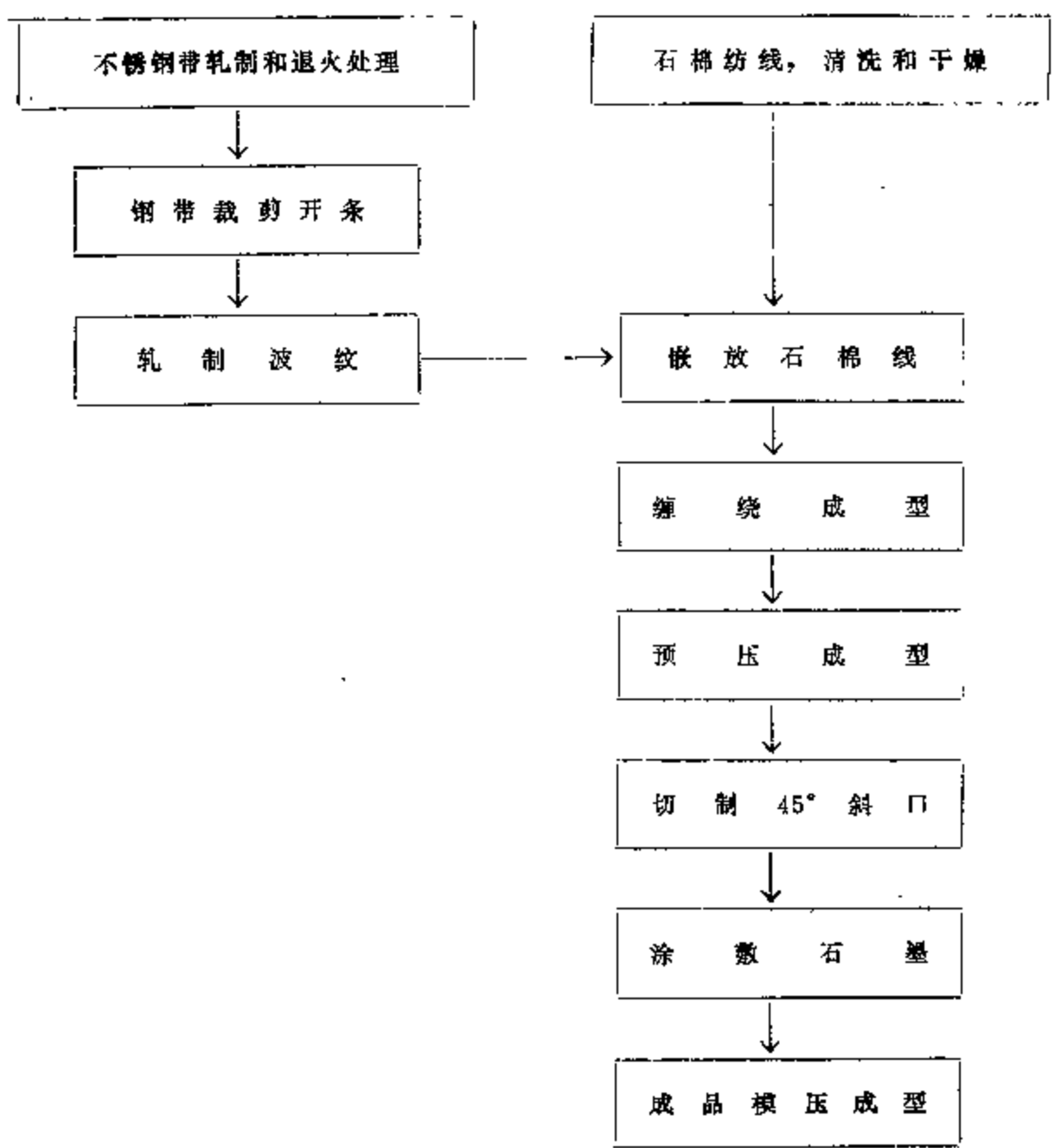
〔5〕 И.М.鲍罗霍夫：软质密封填料

BSP-600波型填料的试制工艺

合肥通用机械研究所、上海石棉制品厂

波型填料是用嵌放石棉线的金属波纹带缠绕后加上润滑材料，最后模压成形的。根据不同的使用场合，波纹带可以采用不同的金属材料。常用的金属材料有铅、铜、铝、不锈钢等。我们在这里简单介绍一下用 1Cr18Ni9Ti 不锈钢做的波型填料的制造工艺过程。在我们试制新型波型填料的过程中，不少单位发扬社会主义大协作的精神，对我们的研制工作给予大力协助和支持，在此我们表示衷心的感谢。在研制过程中，我们所用的不锈钢带由上海笔尖厂提供，上海钢研所曾协助我们对不锈钢带作退火处理，上海冷轧钢带三厂曾协助我们裁剪钢带，上海制笔零件三厂提供我们所需的粘结剂。

波型填料的制造工艺过程如下面方框图所示：



（1）不锈钢带轧制和退火处理： 波型填料用的不锈钢带要求厚度为0.06mm，它是在滚压轧钢机上经多次滚轧成的。由于冷作硬化的作用，在滚轧过程中要进行多次退火热处理。轧制好的不锈钢带最后还要进行退火，以便于以后轧制波纹和缠绕成型。退火处理后其硬度

为Hv = 210～230。

（2）钢带裁剪开条： 把经退火处理的不锈钢带按设计要求的宽度裁剪成适当的长条，条宽和长度均由波型填料的规格大小确定。

（3）轧制波纹： 把预定宽度的不锈钢带放在波纹轧机上轧制成波纹带。波纹的大小和数量要根据填料断面尺寸来设计，同时还要考虑到嵌好石棉线的需要。图1是$\phi 26\times\phi 38$mm波型填料的波形尺寸。这种规格的填料其开条宽度、长度、波纹数及轧制后的波纹带宽度列于表1。

图 1

表 1

单位：mm

波型填料规格	断面尺寸	开条宽度	波纹数	波纹带宽	波纹带长
$\phi 26\times\phi 38$	6 × 6	16	3 × 4	9.1	720

（4）石棉纺线，清洗及干燥： 普理的石棉填料是由石棉纤维加上一定数量的棉花纺制成线，再编结而成的。不同牌号的填料（如国产的牌号XS250，XS350，XS450等）往往在使用石棉纤维的品质和含棉花量的多少上有很大的差别。使用场合要求越高，所使用的石棉纤维就越好。其中所含的棉花量也越少，甚至可以不含棉花。考虑到波型填料是在高温高压工况下使用，我们采取不加任何棉花的措施，用优质纯石棉纤维纺成石棉线，以使石棉线在高温状态下保持高的机械性能，同时使体积损失极少。石棉原料为白特一级，石棉线为5.5支，4股，旋度为32转/10公分。通常在石棉纤维里或多或少地含有氯离子（Cl^-），容易使阀杆产生腐蚀。故在要求较高的场合还要对它进行清洗处理，把其中的Cl^-离子除去。清洗后的石棉线再干燥，除去其中的水分。

（5）嵌放石棉线： 将预处理过的石棉线用极少量粘结剂粘放在波纹带的波谷中，一般外波纹比内波纹少放一根石棉线。

（6）缠绕成型： 嵌放好石棉线的波纹带在缠绕机上通过一个缠绕模具初步缠绕成型。（如图2所示），要随时适当控制压轮的压紧力，使缠绕成型松紧程度合适，又不会破坏波纹的形状。

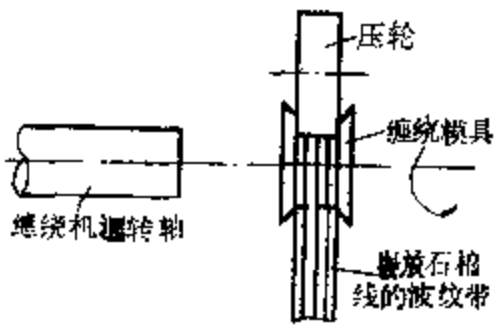


图 2 缠绕成型示意图

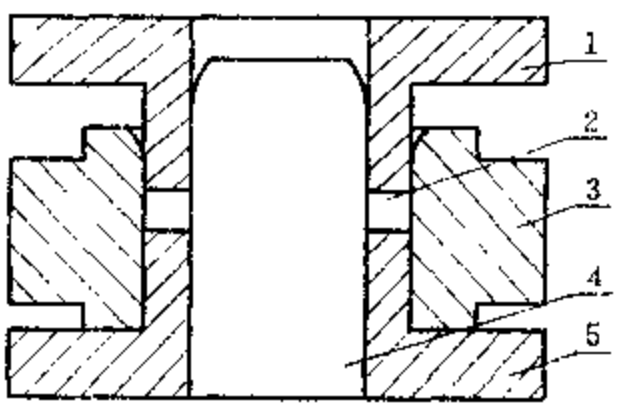


图 3 成型模具结构图

1—上模环 2—波型填料 3—外模环 4—模蕊 5—下模环

7）预压成型： 缠绕成型后的填料圈放到预压模上稍微预压一下，使填料基本成型，便于下步切45°斜口和涂敷石墨。

（下转第25页）

YBF成型填料密封性能试验

上海阀门厂　上海材料研究所

无产阶级文化大革命以来，我国的工农业生产蓬勃发展，对普遍应用的阀门质量提出了更高的要求，其中对如何防止阀杆填料泄漏，是个重要的基础件攻关项目。

阀杆填料泄漏不仅给工农业生产造成物料损耗，能量损失，甚至使生产被迫中断，停产检修，而且还大大恶化了工人劳动条件。如在化学工业、石油工业部门，填料泄漏造成有害物质的外泄；在原子能电站中，填料泄漏造成放射性物质的飞散，对人体和设备安全都带来不良的结果。

一般说来，阀门的体积较小，对填料密封装置结构也不允许设计得很复杂，因此，对阀杆填料密封装置中的主要密封元件——填料提出了更高的要求。在选择合适的填料时，必须考虑下列问题：

1．必须能承受工作场合的温度和压力。

2．必须能抗流体的冲刷和腐蚀。

3．材质要经久不变和耐磨损。

4．对阀杆和填料装置的金属不产生点蚀和腐蚀，与阀杆的摩擦力小。

近几年来，在填料方面已增添了许多新品种，如从原来的石棉填料，发展了夹金属丝编结和浸渍特殊润滑剂的填料；同时随着化学工业，尤其高分子化学的发展，工程塑料也大量地被引进作填料材料，在实际使用中，获得很好的结果。工程塑料几乎都具有如下优点：

1．密封性能好；

2．摩擦系数小，耐磨性好；

3．耐酸耐碱，对金属无腐蚀作用；

4．容易压制成型填料。

但是，目前一般工程塑料实际使用温度不高，如：聚乙烯<60℃，尼龙80℃，聚四氟乙烯<200℃，作为阀门填料来说，受到了一定限制。因此，如何扩展工程塑料的使用温度区域，增加阀门填料新的品种，还是当前急需解决的课题。

通过国内外情况的调查和分析，认为碳素纤维具有耐高温、耐腐蚀、自润滑等优点，可以作为填料的新颖材料。根据目前材料供应情况和实际使用条件，选用了碳素纤维类中的碳纤维预氧化体作为填料基材，研究、试制出碳纤维预氧化体增强聚四氟乙烯成型填料（简称YBF），并在“填料密封性能模拟试验台”上进行密封性能试验，结果表明YBF成型填料具有密封性能好、摩擦力小等优点。

一、YBF 简 介

1．YBF材料制备

YBF采用聚丙烯腈纤维经聚四氟乙烯乳液浸渍，预氧化后，在模具中烧结，压制而成，工

艺流程见图 1。

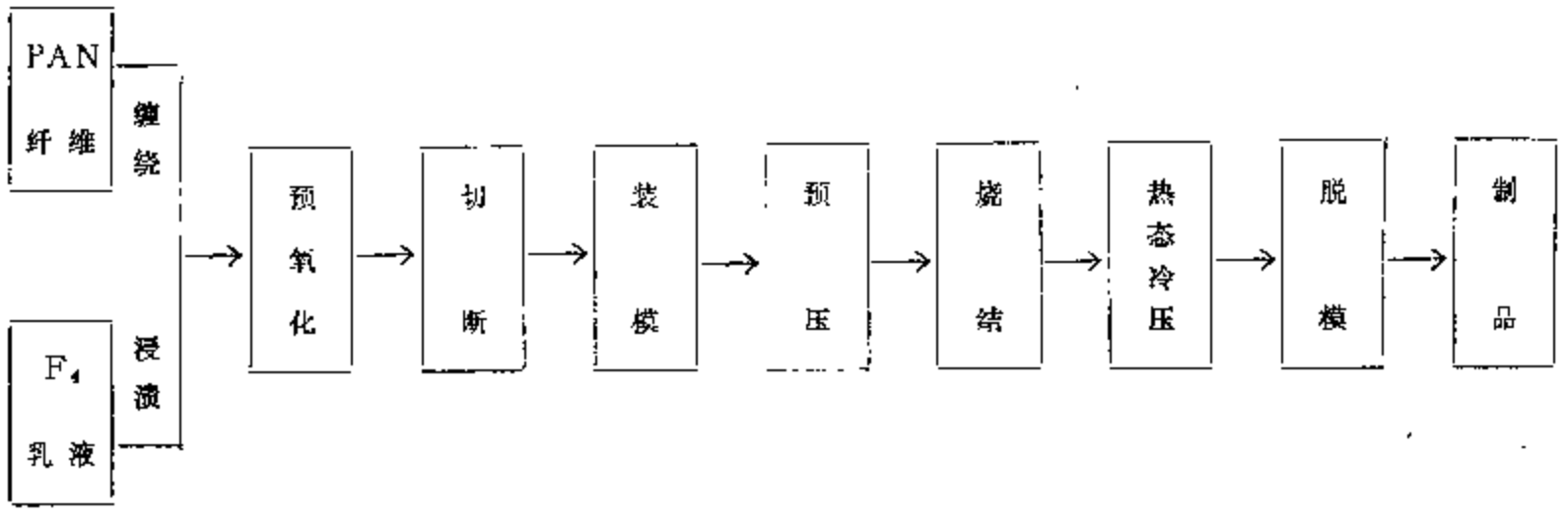
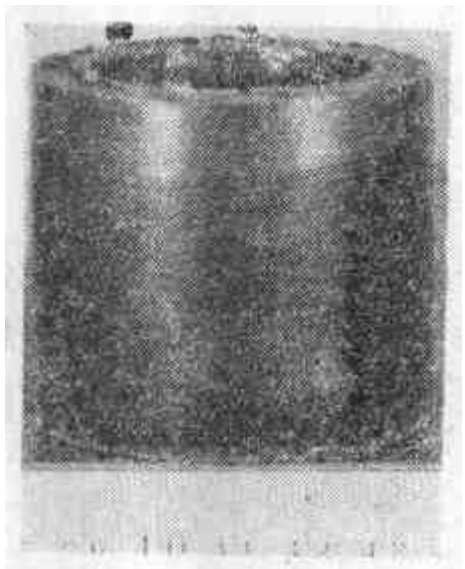


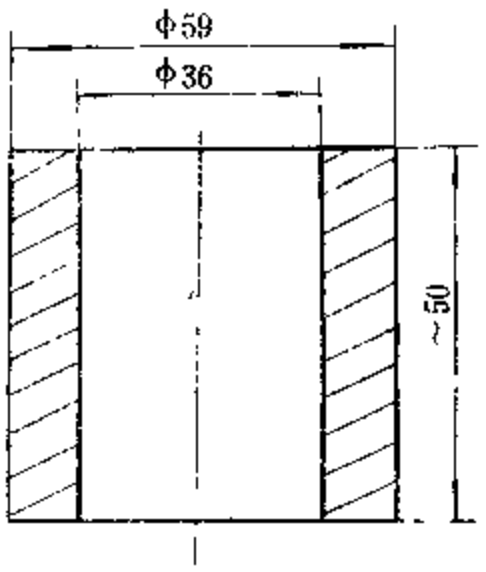
图 1　YBF成型工艺流程

YBF 材料碳纤维预氧化体与聚四氟乙烯的体积比例为1.2:1，重量比例为3:1。

考虑到作为填料试样，几何形状须随试验要求改变，而数量需要不多，成型模具也有困难，所以未进行一次成型压制工艺，仅先得到 YBF 材料的压制毛坯件，其外观和几何尺寸见图 2。



a—外观



b—几何尺寸

图 2　BYF压制毛坯件

再用 YBF 的毛坯件，经机械加工成填料试样，如图 3 所示。

2. YBF 组织相

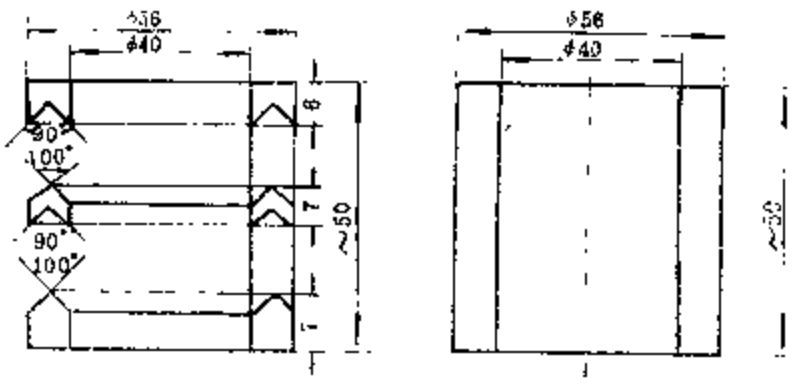
为观察碳纤维预氧化体对聚四氟乙烯乳液浸润性，我们进行了相图分析观察。图4a所示为 YBF 材料端面切削膜组织相，图4b表示YBF材料的组织相。从相图中清楚看出黑色体为纤维，白色体为塑料。其浸润性能较好，无气泡空隙。

3. 机械物理性能

YBF材料的机械物理性能与填料聚四氟乙烯性能比较列于表 1。

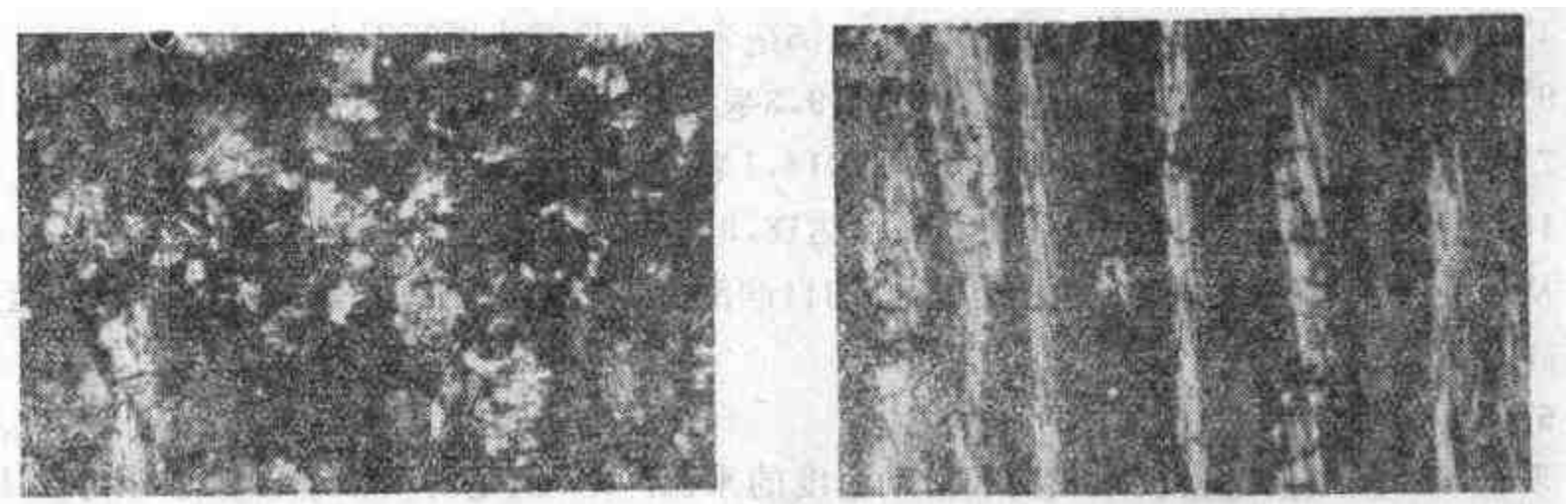
4. 摩擦磨损性能

用YBF材料与一般工程塑料在MM-200 型摩擦磨损性能试验机上进行了对比试验。



a—YBF-2（人形）　　b—YBF-3（筒形）

图 3　YBF填料试样



a —端面切削膜　　*b* —材料

图 4　YBF组织相（×500倍）

表 1　聚四氟乙烯及其复合材料性能

项　　目	单　　位	纯　　料	填充四氟	填充四氟 2	YBF
比　　重	—	2.1～2.2			
吸水率(24小时)	%	<0.005			
抗　　拉	kg/cm^2	140～250	96	87	
抗　　弯	kg/cm^2	*539	201	179.4	*166
抗　　冲	kg/cm^2		93.5	28.6	3.14
抗　　压	kg/cm^2	253	202	165	399
膨 胀 系 数	1/℃	$10\sim12\times10^{-5}$	9×10^{-5}	12.2×15^{-5}	2.1×10^{-5}

说明：（1）填充四氟：配方为65%聚四氟乙烯，20%铜粉，10%玻璃纤维粉，5%石墨（此材料应用较普遍）。

（2）填充四氟2：配方为81.5%聚四氟乙烯，15%聚芳，3.5%Cr_2O_3。

*　抗弯试样为50×10×10毫米，跨距40毫米，中交点$R=10mm$。

试验条件均为干摩擦。

配偶对磨件——45#钢，HRC45～50

钢盘转速——0.4m/s

负　　荷——23kg

时　　间——3小时（4、7、9、10项除外）

表 2 列出 YBF 材料及一般工程塑料的试验结果。

表 2　YBF与一般工程塑料摩擦磨损试验结果

序　　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
材　　料	尼龙 6	MC 尼龙 6	尼龙66	聚碳酸酯	低压聚乙烯	聚甲醛	聚四氟乙烯	YBF	铅青铜	巴氏合金
摩擦系数	0.45	0.45	0.50	0.42	0.18	0.14	0.145	0.12	0.31	0.55
磨痕宽度	4.5	5.0	5.0	16.5	9.1	4.1	18.1	8—9	19.3	18.9

4#聚碳酸酯仅磨了20分钟，磨损已达16.5毫米，试验无法进行下去。

9#铅青铜试验进行了120分钟，磨损达19.3毫米，试验无法进行下去。

7#纯聚四氟乙烯进行了60分钟，磨损达18.1毫米，试验无法进行下去。

10#巴氏合金试验进行了60分钟，磨损达18.9毫米，试验无法进行下去。

从试验结果看出，YBF 材料具有良好的自润滑性能，与聚四氟乙烯相比，耐磨性能也有了提高。

5. YBF 的PV 特性

所谓 PV 极限值是指极限载荷和滑动速度的乘积，PV 值是滑动轴承材料选择与设计的主要参考数据。

PV 值测定是在济南材料试机厂出品的 MH-15型滑动轴承试验机上进行的。对磨件采用轴为45#钢（RC50～55），YBF 作为轴套（内径35.3mm，外径 40mm，长度33.5mm）。速度为 1m/s。载荷为逐步加载形式。

表 3 列出了 YBF 及其它类型工程塑料 PV 极限值的测定结果。

由表 3 可见，YBF 的PV 极限值比其它类型工程塑料 PV 极限值要高三倍，摩擦系数低10～15倍，显示出 YBF 具有良好的自润滑特性。

表 3　YBF与其它类型工程塑料PV极限值（干摩擦）

性能＼材料	尼龙 100	填充聚甲醛	聚酯	聚酯＋聚四氟乙烯	YBF
PV 极限值（公斤/厘米²·米/秒）	1.8	2.25	1.40	2.40	6.21
摩擦系数	0.23～0.36	0.18～0.25	0.23～0.30	0.17～0.28	0.075

二、填料密封性能模拟试验台

填料密封性能模拟试验台系模拟阀门填料密封装置的工作情况，由给水泵、电加热炉、试验本体、阀杆传动装置和测试仪表所组成，填料密封性能模拟试验台布置如图 5 所示。试验介质为水、饱和蒸汽、过热蒸汽。其工作原理是：柱塞给水泵将净水送入电加热炉，加热至试验要求的温度，压力蒸汽（或水）送入试验本体，废汽由排汽管道排出，阀杆由电动头传动作垂直往复或螺旋运动，泄漏由专门装置测量。

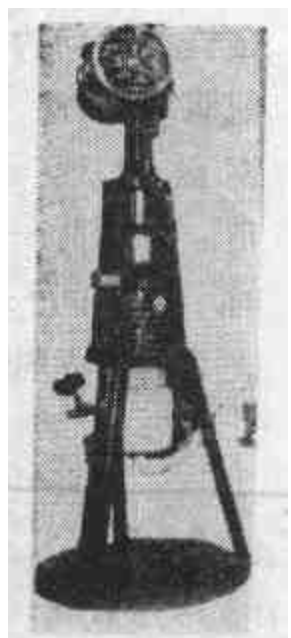


图 5　填料密封性能模拟试验台外观

填料密封性能模拟试验的本体结构在图 7 中示出，试验阀杆直径 ϕ40mm或 ϕ36mm，借以改变填料宽度，采用 2Cr13 和 Cr17Ni 2 材料经热处理、磨光加工而成。筒体材料为 1Cr18Ni9Ti。填料装置内壁为直径 ϕ56mm，装置填料最大高度为108mm，可垫以不同高度的填料座，以改变试验填料高度。

试验填料的压紧装置，采用了弹簧盘加载方式（图 8），自动补偿填料的磨损和烧损失去的体积，需要时可改变压紧装置的工作状况，如将四只串在弹簧内的螺钉固定，弹簧盘就失去了补偿作用。

弹簧盘经过专门设备标定，在工作状态下可迅速测量出填料所受的压紧力。

在阀杆和传动装置中间，接入 BLR 型拉压力传感器，经专门设备标定，在进行填料密封性能试验时，用 XWD 型电子电位差计测量、记录拉压力和填料对阀杆的摩擦力。

当填料和填料密封装置有泄漏时，由引漏装置计漏，引漏装置在图 9 示出，工作原理为：由引漏口集漏流，进入盘缠管冷凝（漏流量大时，可改用水冷却），以量筒测量泄漏量。

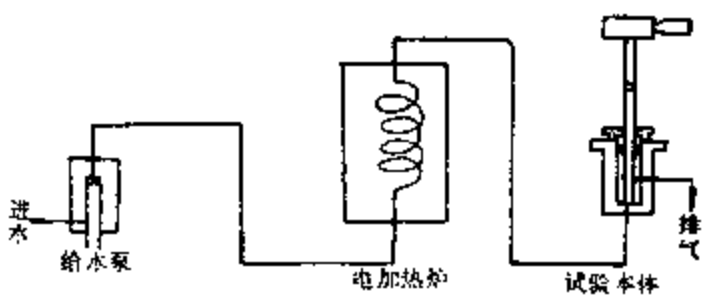


图 6　试验介质流程示意图

试验介质压力测量，直接取样于试验本体，用弹簧管压力表和 HYD-2 型霍尔变送器送入 XWD 型电子电位差计读数和记录。介质温度测量由试验本体进出口管道上各布置一对 EU 型热电偶，引入 ETF 型毫伏计读数。填料密封性能模拟试验需用的仪表见图10，所用的测量仪器、仪表都经专门设备标定和校验。

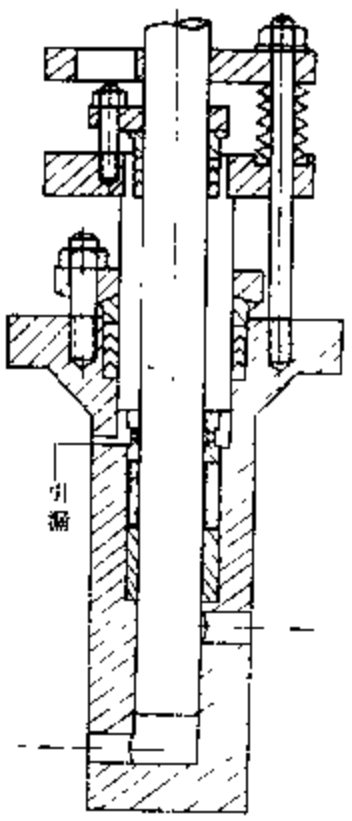


图 7　试验本体结构示意图

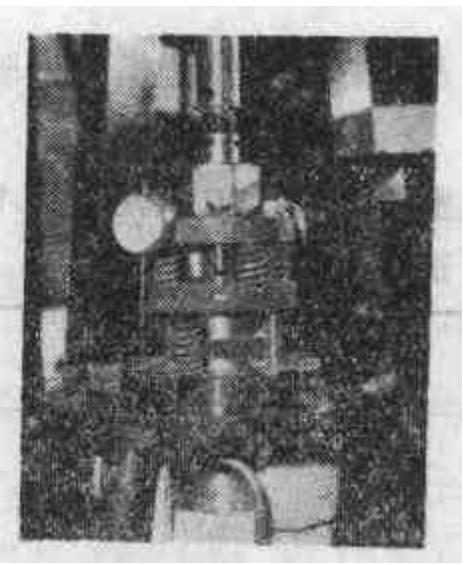


图 8　填料压紧装置

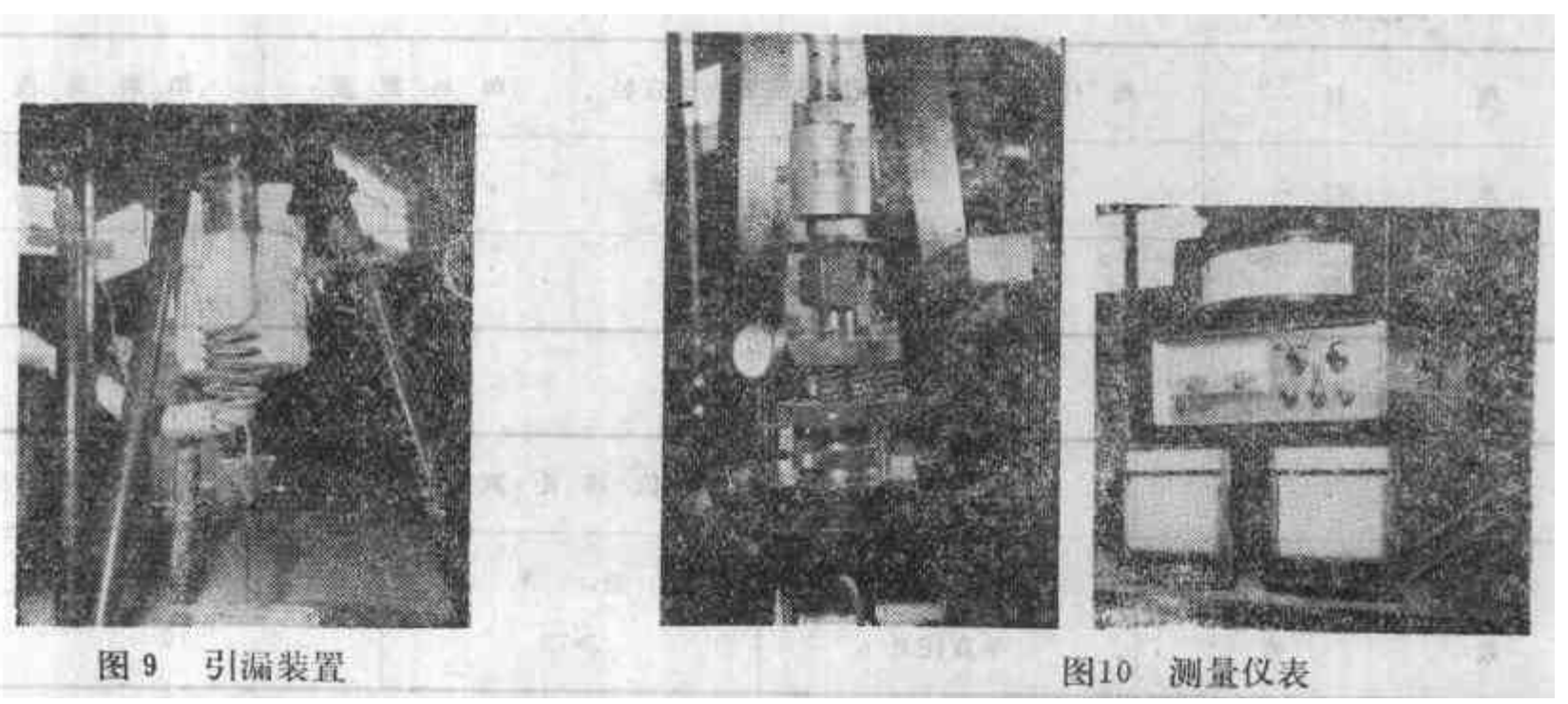


图 9　引漏装置　　图10　测量仪表

三、填料密封性能模拟试验

填料密封性能包含着多方面意义，填料在一定的工作条件下，有否泄漏和泄漏程度是衡量填料质量的主要指标。使用寿命也是个重要指标。另外，填料对阀杆的摩擦力，适应压力和温度波动的能力，以及安装拆卸工艺等等，在试验台条件下，填料密封性能模拟试验应该如何进行？都是有待研究的课题。

在进行 YBF 成型填料密封性能模拟试验时，根据YBF材料本身特性和试验条件，忽略使用寿命这一项（因已在其它场合进行现场使用试验），定为在 165kg/cm²、350℃饱和蒸汽进行各种工况试验。试验原则拟定为：

1. 以50℃/时速度升温，升压速度不严格控制。
2. 在 165kg/cm²，350℃饱和蒸汽的工作条件下，稳定运行2～6小时。
3. 在 165kg/cm²、350℃饱和蒸汽的工作条件下，阀杆动作100次左右。
4. 以＞20kg/cm²/分甩压到1～10kg/cm²时再升温升压。
5. 在200kg/cm²、375℃饱和蒸汽工作条件下，稳定运行0.5～1小时。
6. 在 200kg/cm²、375℃饱和蒸汽工作条件下，阀杆动作20次左右。

在上述整个试验过程中，分项测量填料密封模拟试验的泄漏量、填料压紧力、填料摩擦力。

在进行填料密封性能模拟试验前后，分别测量了填料试样的几何尺寸、重量，并观察其外形。

填料密封性能模拟试验的技术条件为：

a．试验介质：

介质状况	P	T
—	公斤/厘米²	℃
饱和蒸汽	165	～350℃

b．试验填料：

项目	阀杆直径	填料装置内壁直径	填料宽度	填料高度
单位	毫米			
数值	40	56	8	～50

c．试验阀杆动作：

项目	方式	位移距离	动作速度
单位	—	毫米	毫米/分
数值	垂直往复	≥72	36

d．试验填料安装工艺和压紧力：

采用一次压紧安装工艺，YBF成型填料不需逐圈预紧装填，使填料安装工艺变得简单、方便，填料试样装入填料密封装置后，分别给予120～210公斤/厘米^{2}的压紧力。

四、YBF成型填料密封性能模拟试验结果

YBF成型填料密封性能模拟试验结果汇总如表4。

表4　YBF成型填料密封性能模拟试验结果

试验序号		1	2	3	4	5	6	7
试样编号	—	YBF-2-1			**YBF-2-2		YBF-3-1	4F-2-1
试样型式	—	“人”字型			“人”字型		筒型	“人”字型
阀杆直径	毫米	40			40		40	40
填料箱内壁直径	毫米	56			56		56	56
填料宽度	毫米	8			8		8	8
试验前填料高度	毫米	49.7	50.0	47.4	49.0	49.0	49.0	50.5
试验后填料高度	毫米	48.3	47.4	45.4	48.3	48.3	48.2	无法测
试验前填料重量	克	110.8	112.8	112.7	110.9	112.3	114.9	119.0
试验后填料重量	克	112.7	112.8	113.0	112.9	112.0	114.8	无法测
安装方法	—	一次装入	一次装入	一次装入	一次装入	一次装入	一次装入	一次装入
压紧填料方式	—	补偿	补偿	固定	补偿	固定	固定	补偿
填料初压紧力	公斤/厘米^2	78(+31)*	125 (+24)*	208	119	126	82	120
稳定工况下泄漏	毫升/时	≅0	≅0	≅0	≅0	≅0	≅0	—
动作100次后泄漏	毫升/时	≅0	≅0	≅0	≅0	≅0	≅0	—
超温超压下泄漏	毫升/时	≅0	≅0	≅0	≅0	≅0	≅0	—
试验持续时间	小时	17	13	14	15.5	16	12	4.5
备注	—	试样完整	试样完整	上2圈变形	试样完整	试样完整	试样完整	试样破坏

* YBF-2-1试验时，在升温升压过程中，发现有微量泄漏，再次施加括号内所示的压紧力后不再泄漏。序1#试验后，又经3×10^{6}仑辐照后再进行2#3#两次密封性能模拟试验。

** YBF-2-2在第一次试验取出后，再次装入进行密封性能模拟试验。

表4中示出，YBF成型填料在试验的各种工况，就是在工作压力激剧变动时，泄漏量均为≅0cc/时，YBF成型填料还可重复使用，密封效果良好。

在YBF-2试验时，测量了冷态情况下不同压紧力对阀杆与填料的摩擦力，其测量结果示于表5和图11。

在图12中示出YBF-2试验的典型工况。由压紧力变化曲线看出，压紧力随填料工作压力和温度升高而变大，原因系YBF工作压力和热膨胀所致，密封填料装置充分利用了这些特性，获到良好的密封性能。

表5　不同压紧力对阀杆摩擦力影响

名　　称	单　　位	数			值	
填料压紧力	公斤/厘米²	0	27	63	96	123
阀杆摩擦力	公　　斤	0	32.6	65	92	100

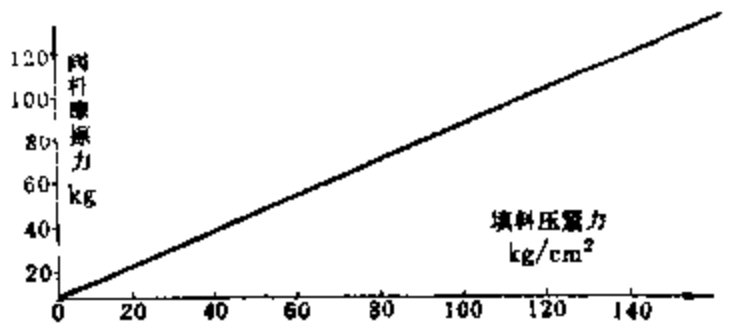


图11　不同压紧力对阀杆摩擦力的影响

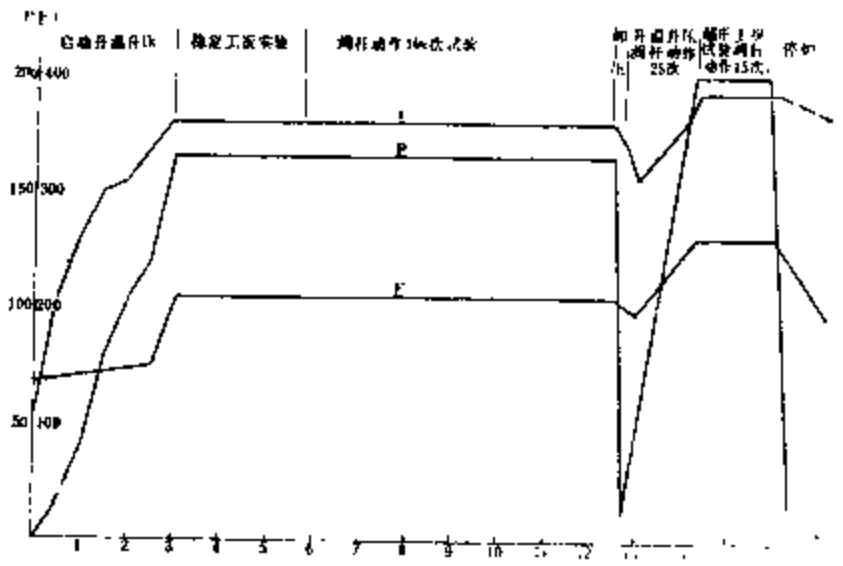
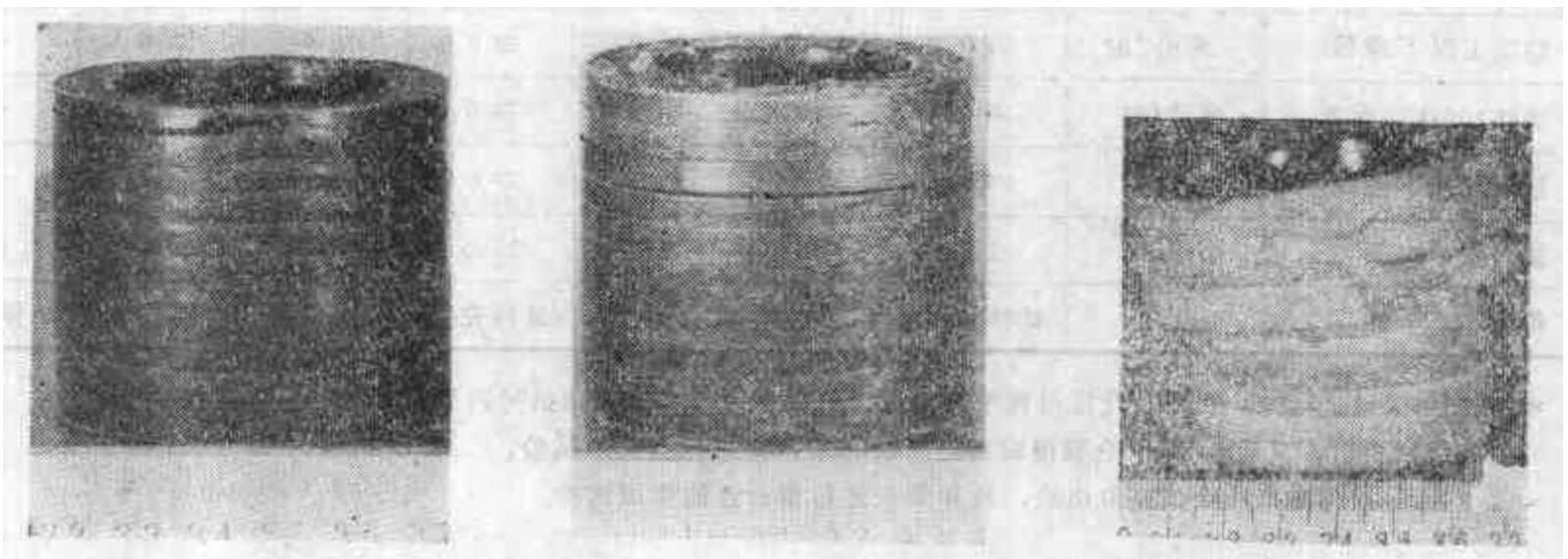


图12　YBF-2成型填料密封性能模拟试验典型工况

在进行YBF-2型填料密封性能模拟试验的同时，还选择了聚四氟乙烯成型材料按YBF-2型填料技术条件制成试样，作为YBF成型填料试样的对比组，并进行了密封性能模拟试验，在相同的工作压力、温度下，聚四氟乙烯成型填料激烈膨胀，试样破坏后被迫中止试验。

图13中示出YBF-2-1，YBF-2-2，聚四氟乙烯4F-2-1成型填料密封性能模拟试验后的外观。



a—BYF-2-1　　b—YLF-2-2　　c—聚四氟乙烯

图13　YBF和聚四氟乙烯成型填料试验后外观

YBF成型填料经热态密封性能模拟试验后，也存在“飞边”现象，但并不严重，“飞边”高度均小于1mm，厚度就是阀杆和引漏圈的间隙，与原四氟乙烯≃5～6mm相比，有很大程度的改善。

五、几点看法

1. 碳纤维预氧化体增强聚四氟乙烯（简称 YBF）的研制，扩展了工程塑料的温度应用范围，具有良好的自润滑和耐高温的特点，为阀门填料及其它场合应用增添了新的品种。

2. 用 YBF 制作的成型填料，在165公斤/厘米^2、350℃条件下，进行了密封性能模拟试验，各种类型的 YBF 成型填料试样的高温高压试验，泄漏量都≃0cc/时，还经受了急剧的压力波动，密封性能良好。

3. YBF 材料制备工艺并不复杂，预氧化过程无需高压、高温或真空工艺，成本低（估计为50元/公斤），适于压制成不同物理几何形状的制件。

4. 对 YBF 成型填料的使用寿命，已选点进行“现场使用试验”，现尚期待着试验结果。

（上接第88页）

式为：

$$K_y = 0.08 P_y^{0.5} e^{-0.18(s+\rho)}$$

方程式的数据只适用于试验的填料尺寸为 6×6、10×10、13×13，横断面积相当于 0.36、1.0、1.69cm^2，密度从0.70到1.63g/cm^2，填料上的压力到80kgf/cm^2。

其中，轴向力在填料中的系数具有0.5次幂在文献〔3〕中被证实。

图 3 表示出全部填料试样的计算值和试验值的对应关系。这些数据显示出有大量难于估计到的因素作用在填料上，它们引起的误差不超过15～25%。

参 考 文 献

〔1〕 Вологодский И. Б. Определение коэффициентов бокового давления и усадки мягких сальниковых набивок——《Химическое и Нефтяное Машиностроение》1970, №12, С7

〔2〕 Гуревич Д. Ф., Расчет и конструирование трубопроводной арматуры М.—Л.《Машиностроение》1969, С.569

〔3〕 Trutkovsky. K. Konstruktion in Maschinen, Apparaten und Geratebau, 20, №6 1968, C220

合肥通用机械研究所郑植荔译自《Вестник Маш.》

1973 №8 袁玉球校

（上接第 107 页）

海阀门厂填料试验台，进行了长期使用试验，工作介质为≃150 公斤/厘米^{2}饱和蒸汽，迄今历时 5000 多小时，经过 25 次左右启停，阀杆动作 120 次左右，目前，仍保持着优异的密封性能，泄漏量≃ 0毫升/时，长期使用试验仍在继续进行中。

七、 结 束 语

报告示出了 BS成型填料在填料试验台的试验结果。试验证明，BS成型填料具有优异的密封性能，可以大力发展和推广在密封性能要求严密的阀门上使用，

不当之处，还望指正。

阀杆腐蚀的原因和防止的方法

北京热电厂　上海石棉制品厂　合肥通用机械研究所

一、前　　言

阀杆腐蚀是阀门在生产和使用过程中经常出现的情况。它会造成阀杆的报废和阀门使用时的外漏。在我们检查的时候，可以看到阀杆上与石棉填料相接触部位的金属常产生严重的局部腐蚀。而阀杆的其它部位，则仍保持原状（图1、2）。

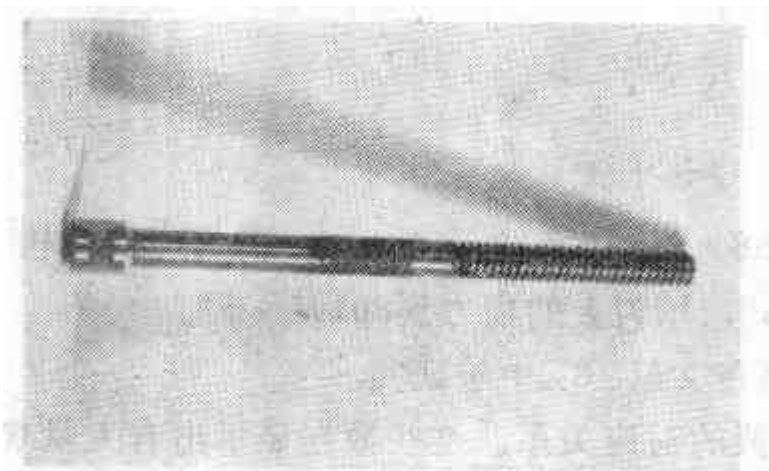


图1　东方红炼油厂Pg40、Dg150闸阀存放期间阀杆的腐蚀情况

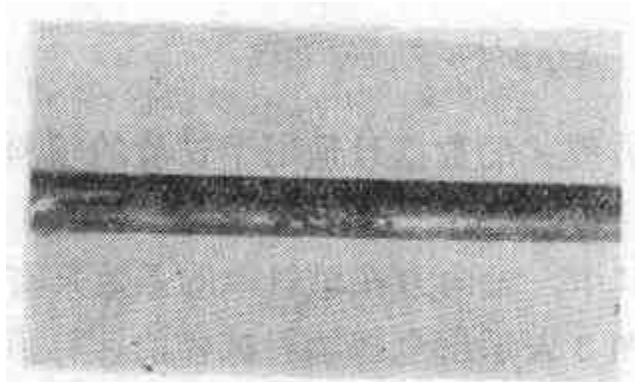


图2　北京热电厂水压逆止阀使用期间阀杆的腐蚀情况

阀杆材料：35号钢　工作条件：纯水，40℃，8～13kg/cm²　石棉填料：青岛XS550T

阀杆腐蚀会给生产造成很大的危害。例如，有的阀门厂过去在生产高压自密封闸阀时，由于石墨石棉制品对阀杆和阀体产生严重腐蚀，而致使生产无法正常进行。由于阀杆腐蚀问题未能到到解决，国内不少阀门厂采取阀门出厂时不装石棉填料，而改由使用者自装的做法。这样虽可避免阀门在存放期间出现腐蚀，但是在阀门使用时，阀杆腐蚀仍然会发生。以北京热电厂为例，在介质为水和蒸汽的管路上，由于阀杆腐蚀造成阀门外漏的情况就为数颇多。35号钢的阀杆，一般使用寿命只有二、三年。2Cr13 和经渗氮处理的 35CrMo 阀杆也只能使用五年左右。机组每次检修都必须更换一批阀杆。

国外情况，据 Staaf[6] 报导，瑞典海军部门在验收两艘驱逐舰时，发现船上的蒸汽、给水和热油管路上的424个阀门中，64%存在着阀杆腐蚀（阀杆材料是 2Cr13）。

由于阀杆腐蚀，造成金属材料的巨大浪费和管路内介质的外漏。这些都阻碍我国工业的发展。为此，极需研究其产生的原因，并找到有效和现实可行的防止方法。

近年来，在阀门的生产厂、使用厂、石棉制品厂和科研单位的努力下，阀杆防腐的工作取到了不少成果。例如，在大连高压阀门厂，上海阀门六厂和武汉材料保护研究所的合作下，使用表面化学热处理和电镀等工艺，提高了阀杆表面的耐腐蚀性能，对防止阀门存放期内的阀杆腐蚀，取到了较好的效果，各种表面处理的工艺已在阀门行业逐步推广。此外，开封高压阀门厂、开封石棉制品厂和合肥通用机械研究所在1973年还合作试制了含有缓蚀剂的石棉

填料，从而成功地解决了开封高压阀门厂生产中的阀杆腐蚀问题。但是，对于在阀门实际使用条件下的防腐措施还需要进一步探讨。为了使阀杆防腐的试验研究工作能更好地为生产服务，由阀门厂、石棉制品厂、使用厂和科研单位组成的三结合小组，曾将现有的阀杆防腐措施在实际生产的条件下进行考核，并再根据使用中出现的问题继续加以改进。

本文除综合介绍国内外关于阀杆腐蚀产生的原因和防止的方法外，将重点介绍现有的：

1. 石棉填料质量的改进和防腐剂的试验；
2. 现有防腐措施的现场试验。

二、阀杆腐蚀的原因

对于阀杆腐蚀的原因，国内外都曾进行了一些研究工作。

首先，阀杆腐蚀现象仅出现在阀杆与石棉填料相接触的部位。这说明石棉填料本身具备着使金属发生腐蚀的因素。而阀杆是被腐蚀的对象。因此，在研究阀杆腐蚀的原因时，主要是研究石棉填料的腐蚀作用。

石棉填料一般分为油浸石棉填料和橡胶石棉填料两种。石棉填料的主要成分是石棉、金属丝和石墨。以下分别说明它们在造成腐蚀时的作用。

关于石棉的作用，我们曾用我国的茫崖和涞源两地出产的石棉进行腐蚀试验。试验结果是涞源石棉对金属的腐蚀作用很小，而茫崖石棉的腐蚀作用很大。分析原因时发现茫崖石棉中含有大量氯化物，而涞源石棉中，氯化物很少。我们还发现石棉填料经过蒸馏水洗涤一、二、三次后，它们对金属的腐蚀作用是逐次减少的（见图3）。以上事实说明石棉填料对金属的腐蚀作用是与石棉中的可溶性物质的含量有关。可溶性物质含量高的石棉对金属的腐蚀作用大，反之，则腐蚀作用小。

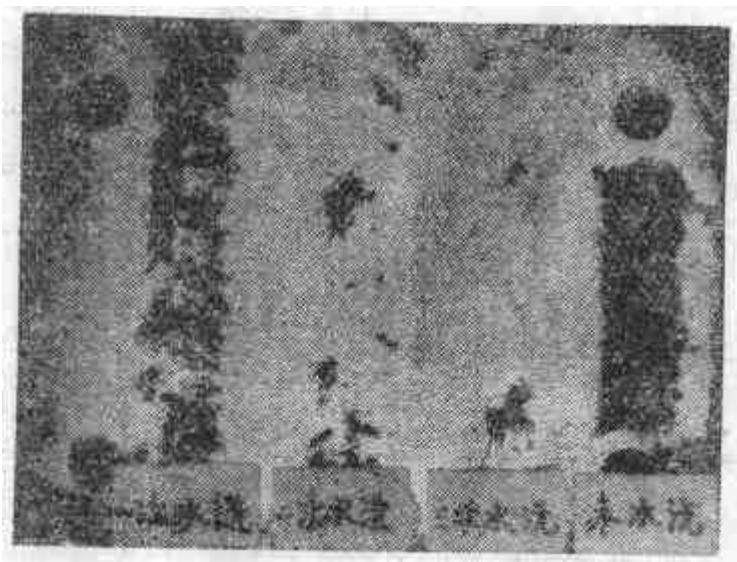


图3　白石棉在用蒸馏水洗涤后对35号钢的腐蚀情况

试验条件：50±1℃，相对湿度95～100%　试验时间：10天

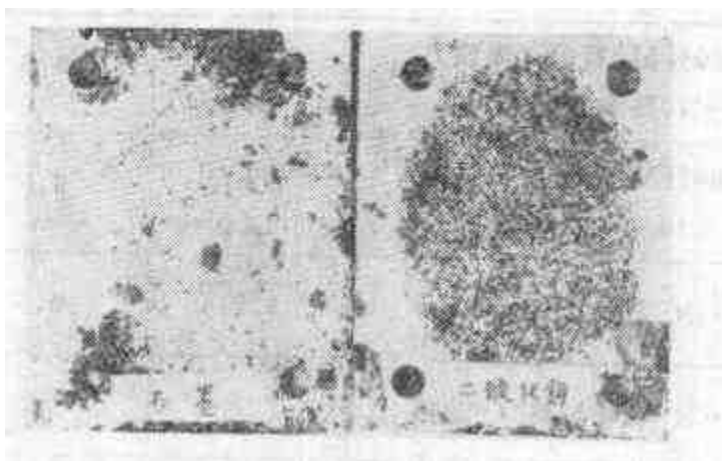


图4　天然石墨与二硫化钼对35号钢的腐蚀情况

试验条件：50±1℃，相对湿度95～100%　试验时间：10天

Wesnigk[4]测定了一些石棉的氯化物含量，pH值，并测定了这些石棉对几种常用的阀杆材料在240小时内的腐蚀量（见表1）。这些试验说明石棉经过一次水洗后，它们对35号钢和24CrMoV5.5的腐蚀比水洗前减少50%以上。并且金属材料的腐蚀失重与石棉中氯化物含量之间存在着正比关系。

石棉中的可溶性物质促成石棉填料对金属产生腐蚀作用，这一点已经没有疑问。但是，对腐蚀起主要作用的物质究竟是什么？Rasmussen[3]认为氯化物是腐蚀的主要原因。而Staaf[5]研究十八种石棉填料的腐蚀性和氯化物含量之间的关系时，发现这两者之间并不存在简单的对应关系。

Wesnigk[4]认为石棉填料的腐蚀性还来自具有碱性的阳离子如Na^+、K^+和Mg^{+2}。在碱性的条件下，氯化物的腐蚀作用更予加强。Reynolds[6]报导，美国的一些阀门厂在阀门的水压试验前，调整水的pH值至7，或在水中加入缓蚀剂，能防止阀杆腐蚀。

除石棉以外，石墨也能使金属发生腐蚀。我们在试验中证明天然的鳞片石墨可使35号钢和2Cr13产生严重的点蚀（见图4）。表1说明用聚四氟乙烯和滑石代替石墨作润滑剂时，金属的腐蚀作用可减小。Ратнер指出，这是天然石墨中的杂质如硫化铁等杂质造成的。如果改用精炼石墨，就能减轻腐蚀。

油浸石棉填料的腐蚀性小于橡胶石棉填料。Staaf[3]统计了蒸汽、热油、给水管道中的阀杆腐蚀情况时，指出其中使用油浸石棉填料的占59%，而使用橡胶石棉填料的占78%。

表1　石棉填料对阀杆材料的腐蚀

石棉填料	石棉中氯化物含量（%）	pH值	阀杆材料在240小时后的失重（g/m²）			
			C35	24CrMoV5.5	32CrAlMo4	X20Cr13
60%M4石棉（未洗）+40%石墨	0.024	9.6	27	26	8	1
60%M4石棉（已洗）+40%石墨	0.012	9.0	11	12	8	2
60%M4石棉（未洗）+40%滑石	0.024	9.6	12	11	7	7
60%M4石棉（已洗）+40%滑石	0.012	9.0	4	4	4	极微
60%M4石棉（未洗）+40%聚四氟乙烯	0.024	9.6	12	11	7	5
60%M4石棉（已洗）+40%聚四氟乙烯	0.012	9.0	6	6	4	极微
GR石棉填料（未洗）	0.044	9.5	28	22	11	2
CR石棉填料（已洗）	/	/	4	4	4	1
SG石棉填料（未洗）	0.038	9.6	28	17	17	2
SG石棉填料（已洗）	/	/	3	3	2	1

三、防止阀杆腐蚀的方法

前面已经说明，阀杆腐蚀的主要原因在于石棉中的氯化物和碱性物质以及石墨中的杂质。针对这些因素，我们可以选定防止腐蚀的措施。

1. 提高金属的耐蚀性能

表1是几种石棉填料对常用阀杆材料的腐蚀试验结果。它说明选用适当的合金钢能防止或减小阀杆腐蚀。

金属表面处理，如电镀铬和化学热处理也能提高阀杆的耐蚀性能。武汉材料保护研究所在这方面进行了很多的工作。并且已在一些阀门厂推广、使用，取得了良好的效果。目前在阀门生产中采用的工艺有电镀铬、化学镀镍、渗氮、渗硼、渗锌等。

2. 降低石棉填料的腐蚀性

使用蒸馏水洗涤的方法可以降低石棉中的氯化物含量，从而也可以降低石棉填料的腐蚀性。但由于使用这种方法进行生产时困难较多，它只能满足少量、特殊的需要。另一种方法是在石棉填料的生产过程中，把能抑制氯化物腐蚀的缓蚀剂和牺牲金属粉末均匀地分布在石棉填料中。Reynolds[6]报导：使用亚硝酸纳作缓蚀剂（含量为0.5～2.2%），锌粉作牺牲金属（含量为8～12%），能有效地防止阀杆腐蚀。这种加有缓蚀剂的石棉填料在国外已有商品供应市场。但是生产者对加工的工艺都严加保密，不予透露。我们在1968年经过试验研究和在上海石棉制品厂现场试制，了解到石棉填料的腐蚀作用主要在于它表面层的化学组成。因此，缓蚀剂和牺牲金属只需要加在石棉填料的表面层，即可达到防腐的目的。

在阀杆和石棉填料表面涂含有缓蚀剂的防腐剂也是防止腐蚀的有效方法。防腐剂由缓蚀剂和溶剂组成。缓蚀剂是具有抑制氯化物腐蚀作用的亚硝酸纳、铬酸纳等。它能使金属表面生成一层致密的氧化膜，并使金属钝化，以提高金属的耐蚀性能。溶剂的作用是使缓蚀剂均匀地溶解，并且具有一定的润滑性能。防腐剂具有使用方法简单，使用范围广的优点。目前在国外已有商品供应。

四、石棉填料质量的改进和防腐剂的试验

1. 石棉填料质量的改进

1973年由开封高压阀门厂、开封石棉制品厂和通用机械研究所合作研制的含缓蚀剂的石棉填料，成功地解决了阀门生产中的腐蚀问题[2]。访问用户证明：阀门存放二年后，阀杆仍然保持完整如新。而过去，经过半年，阀杆就已产生严重腐蚀，这说明石棉填料生产工艺的防腐效果是良好的。但是在使用时发现石棉填料表面的石墨由于和基体结合不牢，容易脱落。因而影响了产品的质量。同时，石棉制品厂的工人师傅们也认为原采用的工艺比较复杂，希望能在保证防腐效果的前提下，简化工艺。

根据以上情况，我们和工人师傅们一起研究改进产品质量的措施。通过试验，确定把原来二次上胶的工艺改为一次上胶。并且把缓蚀剂和锌粉直接放在胶浆内，在填料芯子上胶的过程中，使缓蚀剂和锌粉均匀地涂在石棉填料的表面。为了确定胶浆中缓蚀剂和锌粉的合适含量和检验新工艺的防腐效果，曾进行了腐蚀试验。

（1）阀杆

阀杆材料是35号钢。经过调质处理（860℃，保温15分钟油淬＋560℃保温2小时空冷）。表面光洁度▽4。

（2）石棉填料

试验中使用的是橡胶石棉填料。规格为6×6mm。填料表面的处理工艺见表2。

表 2　石棉填料的组成

种类 \ 石棉填料的组成	胶浆中 $NaNO_2$ 含量 (%)*	胶浆中 Zn 粉含量 (%)*	石棉填料中 $NaNO_2$ 含量 (%)**	石棉填料中 Zn 粉含量 (%)**	石墨中 $NaNO_2$ 含量 (%)
青岛石棉制品厂XS550	无	无	无	无	无
上海石棉制品厂XS450(1)	6	6	8.3	8.3	20
上海石棉制品厂XS450(2)	3	3	5.6	5.6	20

注：表中锌粉的粒度为120目，亚硝酸钠的粒度为100目。

* 上海石棉制品厂正常生产中使用的胶浆，其中胶片含量为20%，其余为汽油。

** 上海石棉制品厂的一般产品中橡胶石棉填料的含胶为5%。这里填料中锌粉和亚硝酸钠的含量是按填料上胶后的增重减去5%而计算得来。

（3）试验方法

腐蚀试验是在模拟阀门使用的条件下进行的。试验装置如图5所示。在无缝管与阀杆之之间压入石墨填料。用填料压盖压紧。每个装置中压十二圈石棉填料。每组试验使用三个试样。试样安装前，用砂纸磨光，除锈，并以去污粉除油。安装完毕后，将它们全浸在北京热电厂的冷却水井内的热水中。水温为80～85℃试验时间为四十天，每隔十天取出一次，检查试样的腐蚀情况。试验结果见表3和图6。

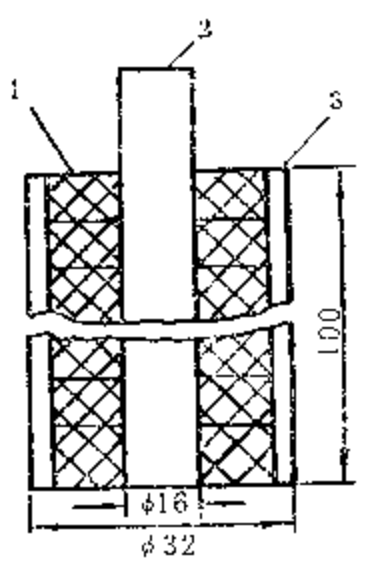


图5　阀杆腐蚀试验装置

1—石棉填料　2—阀杆　3—无缝管　单位：mm

（4）试验结果分析

青岛石棉制品厂的XS550是北京热电厂目前使用的阀门密封填料。在试验中，它使35号钢产生严重的腐蚀。而表面含有亚硝酸钠和锌粉的XS450填料，它们对35号钢的腐蚀性比前者显著减小。含亚硝酸钠和锌粉各为5.6%的填料仅使35号钢表面产生深褐色的痕迹，但未产生点蚀。而含亚硝酸钠和锌粉各为8.3%时，35号钢经四十天试验后，仍能保持原来的光泽。

试验结果说明：现在采用的一次上胶工艺已可使所得产品具有良好的防止阀杆腐蚀的效能。同时，表面的石墨与基体结合牢固。质量和原有产品相同，并避免了石墨脱落的弊病。而且一次上胶工艺和原用的工艺相同。只是在胶浆中加入了缓蚀剂，这样便简化了工序，更有利于生产。

表 3　阀杆在腐蚀试验中的情况

阀杆编号	石棉盘根	阀杆表面腐蚀情况			
		10 天	20 天	30 天	40 天
1 2 3	青岛石棉制品厂 XS550	局部有轻微点蚀	大面积有点蚀	严重的点蚀	严重的点蚀
4 5 6	上海石棉制品厂 XS450(1)	无腐蚀	无腐蚀	无腐蚀	无腐蚀
7	上海石棉制品厂 XS450(2)	无腐蚀	无腐蚀	无腐蚀	无腐蚀
8		无腐蚀	无腐蚀	无腐蚀但有局部变色痕迹	无腐蚀但有大面积变色痕迹
9		无腐蚀	无腐蚀	无腐蚀但有局部变色痕迹	无腐蚀但有大面积变色痕迹

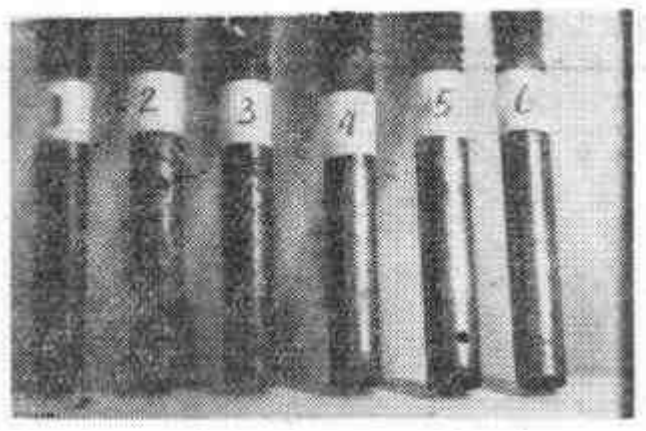


图 6　阀杆在腐蚀试验后的情况
试验条件：全浸在80～85℃的冷却水中40天

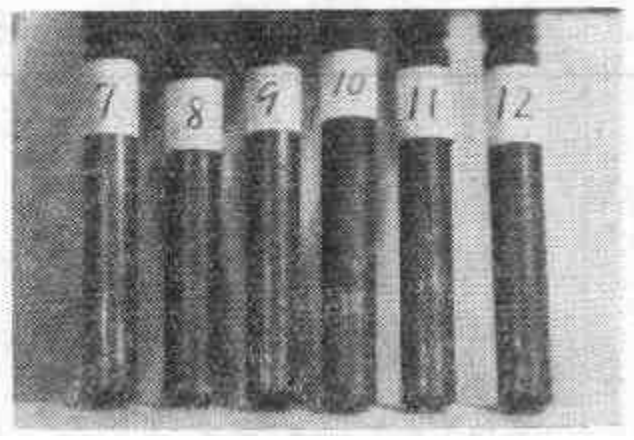


图 7　阀杆在腐蚀试验后的情况
试验条件：全浸在80～85℃冷却水中40天

2. 防腐剂的试验

防腐剂由缓蚀剂和溶剂构成。在阀杆防腐中使用的缓蚀剂应具有如下性质：

（1）具有强烈的抑制腐蚀作用。

（2）具有较高的热稳定性，不易在高温下分解，能在高温下保持防腐效能。

（3）在所选定的溶剂中有较高的溶解度。

对溶剂的要求是：

（A）具有较好的润滑性能。

（B）具有一定的粘度，使防腐剂能较牢固地附着在阀杆和石棉填料的表面。

能防止氯化物对铁合金腐蚀的缓蚀剂有有机物和无机物两种。有机缓蚀剂如六次甲基四胺，苯甲酸钠和肉桂酸钠等。由于它们在200℃以上都会分解失效，因此不适合防腐剂的要求。无机缓蚀剂有亚硝酸钠、铬酸钠、硅酸钠等，它们的防腐蚀效果见图 8 。它说明亚硝酸钠和铬酸钠的缓蚀效果最为显著，而硅酸钠和磷酸氢二钠只在高浓度下才有缓蚀作用，并在低浓度时会使腐蚀加剧。

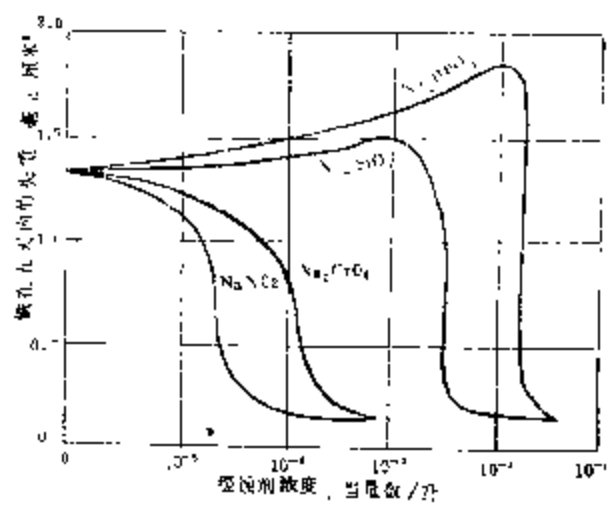


图 8　各种无机缓蚀剂的浓度对于铁的防腐蚀作用

我们测定了亚硝酸钠、铬酸钠在汽缸油、机油和甘油中的溶解度。亚硝酸钠和铬酸钠在汽缸油和机油中几乎不溶，而在甘油中溶解度较高；铬酸钠在甘油中的溶解度远小于亚硝酸钠。综合以上情况，我们在初步试验中选用亚硝酸钠和甘油制成防腐剂进行试验。

（1）防腐剂的制备方法

取分析纯的甘油（$CH_2OH \cdot CHOH \cdot CH_2OH$丙三醇）一公斤，加热至沸腾（290℃），加入分析纯的亚硝酸钠200克，同时充分搅拌，使之完全溶解再停止加热，并使之冷却至室温。此时，过饱和的亚硝酸钠开始析出。经倒出上层清液即可使用。

（2）腐蚀试验

腐蚀试验中使用的阀杆材料和试验方法与前述的试验相同。试验中使用的是青岛石棉制品厂产的 XS550 石棉填料。试验前将制备得的防腐剂均匀地涂在阀杆和石棉填料的表面，然后把阀杆的石棉填料装入无缝钢管。试验条件和前述试验相同。每十天取出观察一次。四十天后，试验结束。阀杆的腐蚀情况见表 4 和图 7 。

表 4　阀杆涂防腐剂的试验情况

阀杆编号	石棉盘根	阀杆表面腐蚀情况			
		10 天	20 天	30 天	40 天
1 2 3	青岛XS550 未涂防腐剂	局部有轻微点蚀	大面积有点蚀	严重的点蚀	严重的点蚀
10 11 12	青岛XS550 涂防腐剂	无腐蚀	无腐蚀	无腐蚀但局部有变色痕迹	无腐蚀但大面积有变色痕迹

（3）试验结果分析

图 7 和表 4 说明青岛 XS550 填料涂了防腐剂后，它对35号钢阀杆的腐蚀比未涂的情况，有显著地减小。但与图 6 和表 3 相对照，可知涂防腐剂的防腐效果仍次于含亚硝酸钠和锌粉各为8.3%的上海 XS450 填料。而与含亚硝酸钠和锌粉各5.6%的填料相似。

五、防腐措施的现场试验

在现场试验前，我们进行了调查，选择过去存在阀杆腐蚀的工况作为试验点。利用设备检修的时机，和工人师傅一起把试验的填料和阀杆安装到管路上，做好记录，定时检查阀门的工作情况。并在下一个检修期取下阀杆和填料，检验防腐措施的实际效果。

现场试验是在北京热电厂和东方红炼油厂进行的。试验项目有：

1. 检验阀杆经不同的表面处理后的防腐性能。
2. 检验加有缓蚀剂的石棉填料的防腐性能。
3. 检验防腐剂的防腐性能。
4. 检验石棉填料的生产工艺和防腐剂对阀门密封性能的影响。

现场试验中使用的石棉填料有：

1. 上海石棉制品厂的 XS450 填料，其中亚硝酸钠和锌粉的含量为8.3%。
2. 开封石棉制品厂的 YS450 和 XS450*填料。

试验中使用的阀杆材料均为35号钢。其中一部分阀杆经表面处理：

表面处理工艺	处理单位
气体渗氮	上海阀门六厂
化学镀镍	大连高压阀门厂
渗　锌	大连高压阀门厂
渗　铬	武汉材保所
渗　硼	安阳钢厂

现场试验的详细情况见表 5 。

到1976年11月25日，北京热电厂的五号发电机组已运行三百八十天，一号机组运行了一

* YS450生产工艺是填料芯子第一次浸油后，在表面涂 50%锌粉＋50% 亚硝酸钠，再第二次浸油，涂石墨（其中含20%亚硝酸钠）。XS450的生产工艺是填料芯子第一次上胶后，在表面涂50%亚硝酸钠＋50%锌粉，在轧机轧一次后，再第二次上胶，再涂石墨（其中含亚硝酸钠20%），详细情况见参考资料 1。

表5　阀杆防腐措施现场试验情况

阀杆安装部位	工作条件	阀杆材料	石棉填料	开工日期	使用情况
北京热电厂					
五号发电机组					无外漏，工作良好
高压加热器放水一次门	蒸汽，158℃，160kg/cm²	35号钢	开封XS450	75.11.11	〃
三段抽气门前疏水门	蒸汽，300℃，10-16kg/cm²	35号钢气体氮化	青岛XS550	〃	〃
一段抽气逆止门前疏水门	蒸汽，440℃，48kg/cm²	35号钢渗铬	青岛XS550	〃	〃
一段抽气门前疏水门	蒸汽，440℃，48kg/cm²	35号钢气体氮化	青岛XS550	〃	〃
二段抽气门前疏水门	蒸汽，370℃，23kg/cm²	35号钢渗硼	青岛XS550	〃	〃
低压导管疏水至连箱门	蒸汽。300℃，10-13kg/cm²	35号钢气体氮化	青岛XS550	〃	〃
高压加热器保护总水门	水，158℃，160kg/cm²	35号钢渗锌	青岛XS550	〃	〃
高压加热器保护电磁门前进水门	水，40℃，160kg/cm²	35号钢化学镀镍		〃	〃
高压加热器保护注水门	水，158℃，160kg/cm²	35号钢化学镀镍	青岛XS550	〃	〃
高压加热器保护滤网	水，158℃，160kg/cm²	35号钢渗锌	青岛XS550	〃	〃
北京热电厂一号发电机组					
五号加热器注水门	水，158℃，160kg/cm²	35号钢	上海XS450加缓蚀剂	76.7.1	使用良好，阀门无外漏
二段抽气疏水至水连箱门	蒸汽，430℃，40kg/cm²	35号钢	上海XS450加缓蚀剂	67.7.1	使用良好，阀门无外漏
五号加热器注水门	水，158℃，160kg/cm²	35号钢化学镀镍	上海XS450加缓蚀剂	〃	〃
启动门	水，常温，1kg/cm²	35号钢渗铬	上海XS450加缓蚀剂	〃	〃
8—13抽气连箱至高脱气阀前疏水门	水，常温，1kg/cm²	35号钢	上海XS450加缓蚀剂	〃	〃
发电机冷却水入口门					
（1）	水，常温，1kg/cm²	35号钢渗锌	青岛XS550	〃	〃
（2）	水，常温，1kg/cm²	35号钢化学镀镍	青岛XS550	〃	〃
（3）	水，常温，1kg/cm²	35号钢渗锌	青岛XS550	〃	〃
（4）	水，常温，1kg/cm²	35号钢渗铬	青岛XS550	〃	〃
抽气逆止门	蒸汽，200℃，1kg/cm²	35号钢	上海XS450加缓蚀剂	〃	〃
轴封供漏气系统	蒸汽，200℃，1kg/cm²	35号钢		〃	〃
水压逆止门	水，40℃，8～13kg/cm²	35号钢	青岛X550涂防腐剂	〃	〃
三段抽气门前疏水门	蒸汽，300℃，10～16kg/cm²	35号钢	青岛XS550涂防腐剂	〃	〃
东方红炼油厂催化裂化车间					
3009泵出口阀	20%NaOH溶液，20℃，30kg/cm²	35号钢	开封YS450	76.11.1～76.6	无腐蚀，无外漏，工作良好
进口阀	20%NaOH，20℃，25kg/cm²	35号钢	开封YS450	〃	〃
3002—2泵出口阀	液态烃，40℃，23kg/cm²	35号钢	开封XS450	〃	〃
3003泵出口阀	液态烃，40℃，18kg/cm²	35号钢	开封XS450	〃	〃
进口阀	液态烃，40℃，5kg/cm²	35号钢	开封XS450	〃	〃
3005泵出口阀	丁烯，45℃，23kg/cm²	35号钢	开封XS450	〃	〃
进口阀	丁烯，45℃，18kg/cm²	35号钢	开封XS450	〃	〃

（续）

阀杆安装部位	工 作 条 件	阀杆材料	石棉盘根	开工日期	使用情况
3001泵进口阀	异丙烷，20℃，13kg/cm²	35号钢	开封XS450	76.11.1～76.6	无腐蚀，无外漏，工作良好
3010泵出口阀	水，20℃，8 kg/cm²	35号钢	开封YS450	〃	〃
进口阀	水，20℃，3 kg/cm²	35号钢	开封XS450	〃	〃
3001—1泵出口阀	异丙烷，20℃，13kg/cm²	35号钢	上海XS450加缓蚀剂	76.6.15	无外漏，工作良好
进口阀	异丙烷，8 kg/cm²	35号钢	〃	〃	〃
3001—2泵出口阀	异丙烷，13kg/cm²	35号钢	〃	〃	〃
进口阀	异丙烷，8 kg/cm²	35号钢	〃	〃	〃
3003—1泵进口阀	液态烃，40℃，5 kg/cm²	35号钢	上海XS450加缓蚀剂	76.6.15	无外漏，工作良好
3003—2泵进口阀	液态烃，40℃，5 kg/cm²	35号钢	〃	〃	〃
3005—1泵出口阀	丁烯，45℃，23kg/cm²	35号钢	〃	〃	〃
3007—1泵出口阀	20%NaOH溶液，20℃，30kg/cm²	35号钢	〃	〃	〃
3007—2泵出口阀	20%NaOH溶液，20℃，30kg/cm²	35号钢	〃	〃	〃
3010—1泵出口阀	水，20℃，8 kg/cm²	35号钢	〃	〃	〃
3010—1泵进口阀	水，20℃，3 kg/cm²	35号钢	〃	〃	〃
3010—2泵出口阀	水，20℃，8 kg/cm²	35号钢	〃	〃	〃
3010—2泵进口阀	水，20℃，3 kg/cm²	35号钢	〃	〃	〃
2009—2泵进口阀	渣油，500℃，25kg/cm²	2Cr13	〃	〃	〃

百四十五天。试验的阀门都运行正常，未出现外漏现象。经表面处理的阀杆，最高的工作温度是440℃，最大压力是160kg/cm²。使用加有缓蚀剂的上海XS450填料，现场试验中最高温度是430℃，最大压力是160kg/cm²。现在的使用情况说明防腐措施对阀门的密封性能没有不利的影响。

东方红炼油厂裂化车间于1976年6月进行中修。据操作工人反映使用开封XS450和YS450填料的优点是密封性能比过去使用的填料好，阀门开关轻便，阀杆未受腐蚀，但缺点是开封石棉制品厂产品编结质量差。中修时，检查使用以上填料的阀杆都未受腐蚀，而过去情况是开工半年阀杆就产生腐蚀，并出现外漏。中修时改用上海加缓蚀剂的XS450，1977年2月向车间询问，操作工人反映开工八个月以来，使用情况良好。

六、结　　论

阀杆腐蚀对阀门的生产和使用都有很大的危害。我们根据阀杆腐蚀的原因是石棉填料的作用这一点出发，采取了阀杆表面处理，提高阀杆的耐腐蚀性能，和使用在石棉填料中加缓蚀剂或在石棉填料表面涂防腐剂的方法以降低石棉填料的腐蚀作用，来达到防止阀杆腐蚀的目的。

为了提高石棉填料的质量，我们改变了在填料中加缓蚀剂的工艺。腐蚀试验证明这种新工艺既能保持石棉填料的质量，又具有良好的防腐效能。此外，我们还试制了防腐剂，它也

（下转第19页）

新的试验工作阐明原子能阀杆密封和填料的准则

【美】 A·K·Velan

为了防止放射性流体经原子能冷却剂系统的填料函而泄漏，设计阀杆密封时需要密切的注意。在加有硼酸（含12%重量的 H_3BO_3）的系统中，即使微小的泄漏都容易显示出来。在和空气接触时，硼酸形成能刮伤阀杆的坚硬晶体，因而增加泄漏率。在原子能设备中，除了维修保养外，无泄漏地运转一个长的周期是必不可少的。

寻找高性能的阀杆填料材料和密封方法的研究计划已进行了三年多。起初，有关阀杆填料函泄漏的原因的资料很少，甚至现在这种原子能阀的密封元件，在 ASME 锅炉规范的要求中还没有涉及。本项研究工作在填料压盖泄漏标准和填料检修技术上已经显露出新的成果。

图 1 左上方是典型的填料函设计，包括一个压盖法兰和给填料圈施加载荷的压盖套。载荷使填料横向扩展，并充满填料函。当载荷高得足以使填料形成低疏松性和低透气性，能阻止填料纤维流动的时候，就能达到密封。

填料的泄漏用方程式 $Q=(KS_g^{-4}/\mu)dP/dS$ 来表示。式中 S_g 是由压盖产生的初始填料压力，μ 是流体粘度，dP/dS 是填料截面处的流体压力梯度，K 是取决于填料函的径向尺寸和阀杆及填料函壁的表面光洁度的常数。已经证明此公式相当准确。并且表明密封的能力由于轴向压力的增加和总的填料长度的缩短而大大地得到改善。

研究的重要目的是寻求填料损坏或开始刮伤阀杆的最小载荷范围。当压盖压力加于填料函上层那圈填料时，填料对填料函壁的摩擦阻止将全部压力传递到填料函底层的各圈，由于填料上的压力沿着填料函从压盖套起随着距离的增加而衰减，因而底层的各圈填料是低效的，这种现象是一般原子能阀填塞式的阀杆密封泄漏的主要原因之一。

沿填料任何截面上的轴向压紧力 S_o 的方程式示于图 1 。它给出一条类似于图下的曲线。方程式中，S_g 是直接压在压盖套下的力，f_1 和 f_2 是填料与填料函表面以及填料与阀杆表面之间的摩擦系数，R 为径向压力与轴向压力之比（在这种情况下为一半），L 是距压盖套的距离，t 为填料的径向宽度。

图 1 右上方表示由填料体积变形的作用造成的泄漏。这种变形的永久性是填料部分塑性变形的结果，它在达到最佳的压缩以后，就能保持很大的变形状态，甚至在压力除去后仍然如此。填料圈在安装前的这种预压方法在减少压力衰减作用上是很成功的。

当填料的压盖载荷一定时，压紧程度将随着填料的深度和宽度的减少而增加。它由轴向压缩应力方程式来表示。

高的操作压力和水压试验引起一个问题，它们将增加填料函底层各填料圈的压缩应力而减少总的填料深度，因此加到填料压盖螺栓上的初始力矩将减少。这就要求在水压试验后或使用开始时重新拧紧来建立被抵消的应力分布。

新装填料的阀门，其阀杆运动或循环操作如何影响填料的最初载荷呢？如图 1 右下方，阀门 20 次循环操作即使第一圈填料的最初载荷10000psi 减少到 7000psi，底层填料圈的轴向

应力减少得少些。螺栓就必须重新拧紧。

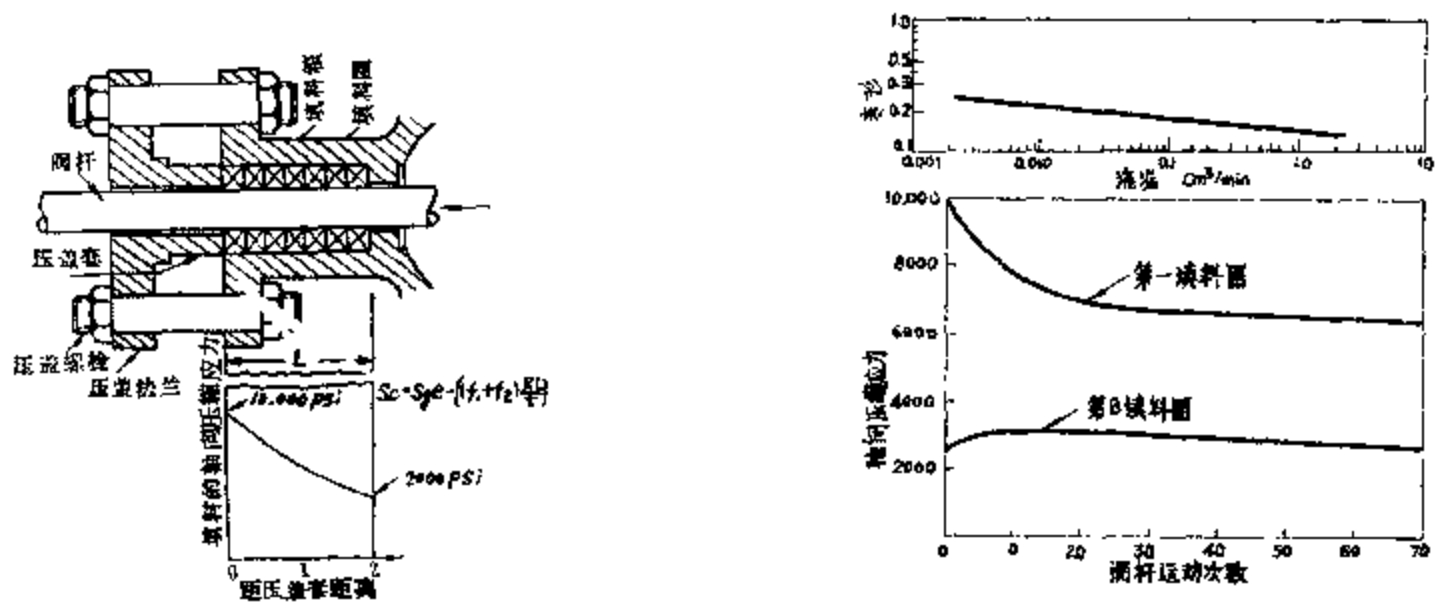


图 1　八圈填料的填料箱

最初的轴向压力10000psi到下层填料上衰减为2000psi，参见文中对方程式的解释。压力引起填料体积变形的增加，迅速地减少泄漏（右上图）。松弛疲劳和循环滞后的影响是持久的，循环动作影响新的填料（右下图），要求重新拧紧填料。

使压盖的载荷不变

由于纤维质填料里的应力随时间而松弛，因此一种用来保持压盖载荷不变的装置对补偿填料的松弛是合理的，否则就会减少最初的压盖载荷。平行地堆叠两个盘状蝶形弹簧是一种保持所需的载荷的切实可行的装置，很好的润滑能减少滞后现象，预压能使在使用时的调整减至最少，有一个指示器就可以使调整较为容易些。改变弹簧高度与厚度的比（h/t）就能得到各种载荷曲线。

对于给定挠度的碟形弹簧的载荷为：

$$P = Ed[(h-d/2)(h-d)t+t^3]\div(1-\mu^2)Mr_0^2$$

式中，P为载荷　磅，E为扬氏模数（磅/时^2），μ为泊松比，d为挠度，r_0为外径，h为碟形弹簧的高度，t为厚度，均为时，系数M为

$$M=(6/\pi lnD)\times(D-1)^2/D^2,$$

D为外径与内径之比。方程式表明厚度较小的改变就可以引起载荷能力的大的变化。因此弹簧的公差必须保持精密。总的使用期载荷P_m是另一意义的数值，它为：

$$P_m=\pi(D^2-d^2)S_r/4K$$

这里，K是补偿弹簧间摩擦损失的系数，对于两个对叠的弹簧为0.96。

以关键要素为基础的试验

填料和压盖的设计包括：

1．安装前预压各圈填料，这是保证所有填料都有相等的应力分布和有效性的办法。图 2 所示即为完成此项工作的装置。

2. 填料压盖的使用期载荷将保证填料的应力在使用期间能保持恒定。

3. 填料零件的最佳几何形状，以保证最好的性能。

4. 阀杆和填料函壁的最佳表面光洁度使载荷是可预测的。

5. 填料吹出装置，用来便于拆除旧填料。

根据上述各项关键要素的要求，已经用大量各种不同填料材料的专门填料试验圈进行了广泛的试验项目。

两种主要类型的填料在水冷反应堆阀门的使用看来是最有希望的。一种是具有因科镍线芯的纯石棉线填料，浸渍石墨作为润滑剂，氧化锌防腐剂用来抗腐蚀，以10000～15000psi压力预压，在使用期载荷为9000psi下安装。现广泛用于原子能工业上。已经证明，如果没有预压和使用期载荷是不合适的。另一种填料是化学上不活泼，能自润滑和不收缩的耐高温纯石墨填料，以5000psi预压，使用期载荷为4000psi。

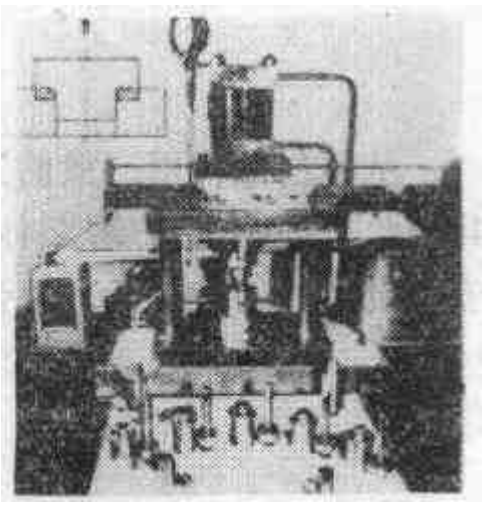


图2　试验装置

前方放的是各种压盖，左上方是剖面图

这两种填料的组合使用也曾试验过，上、下圈是石棉-因科镍填料，中间为纯石墨填料（填料的泄漏试验参见图3、4）。

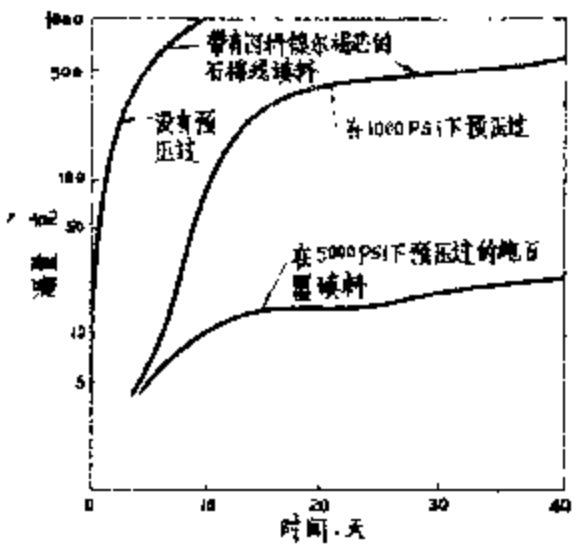


图3　填料圈静态泄漏试验

表明对于适当状态的材料，在10～20天后的泄漏量明显减少

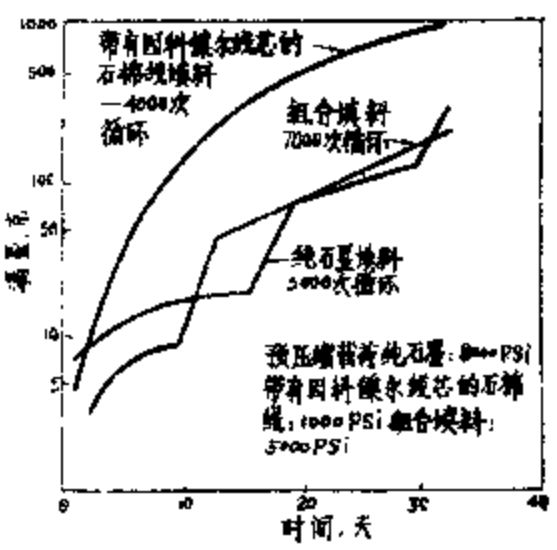


图4　单独的和组合的填料循环操作试验

表明组合填料的磨损和泄漏都较小

必需的使用期载荷 S_r 由所要求的填料应力来决定，以提供给定装置的绝对紧密度。对于这些材料及组合的 S_r 值，在试验中为：石棉因科镍填料在10000～15000psi预压时为9000psi；纯石墨填料在5000psi下预压时为4000psi；两种材料的组合在10000/5000psi下预压时为7000psi。

应用使用期载荷来产生 S_r 也会引起阀门操作时所必须克服的摩擦阻力，此阻力为 K_rS_r（$2\pi RL$）磅。K_r 为摩擦系数，S_r 为最大填料应力，R 为阀杆半径（吋），L 为填料箱的长度（吋）。对于石棉因科镍填料，K_r 为0.19，而纯石墨填料为0.09，组合填料为0.13。

预压过的纯石墨填料虽然在连续的循环操作中看来会突然损坏，但在静态试验中已证明是杰出的材料。石墨填料是由纯石墨压制成型的。

当然，除了密封外，其它某些因素也必须考虑。由于纯石墨填料圈容易破裂断裂，因而造成成本极高，安装困难。此外，除非阀门有吹出装置，否则从填料函内实际上不可能拆除

填料。纯石墨填料的腐蚀作用最近已用薄锌垫解决。有的地方可以允许极高成本，并能消除有害影响，则安装纯石墨填料同时具有吹出装置，看来能提供持久的无泄漏的密封。

便于填料拆除

从填料函内用一般的工具取出一般的石棉线填料圈是一种繁杂的操作，对较小的阀门尤其如此。拆除纯石墨填料圈在某些情况下由于材料的易碎性，实际上是不可能的。此外，原于核边缘地的放射性环境强烈地限制进行修理。图 5 所示的填料吹出方法能迅速拆除各类填料。

图 5　填料吹出法，借助于液压使旧填料缓慢地被吹出

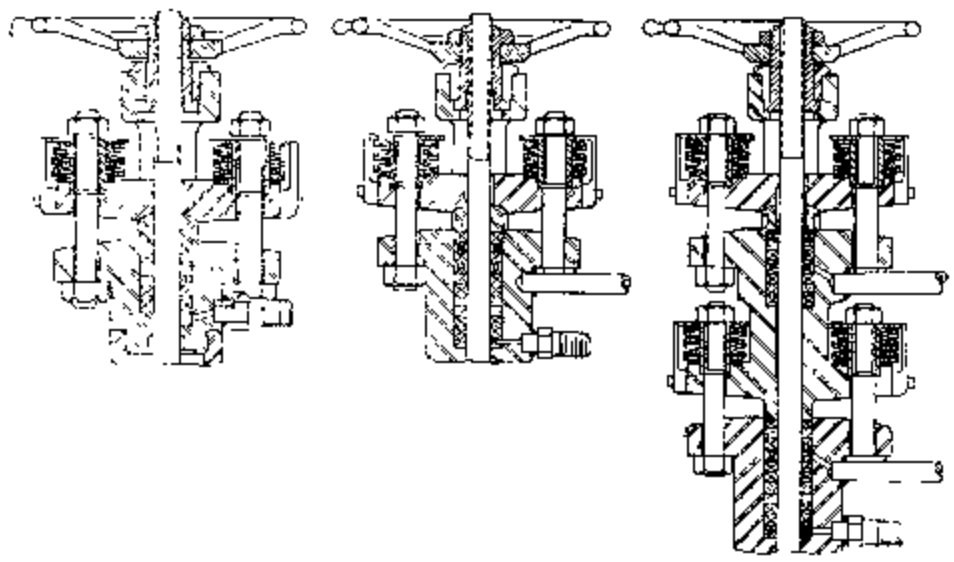


图 6　原子能阀门的三种填料函

图 6 所示的三种原子能阀门填料函，包括数组加因科镍芯的纯石棉填料（以“×”表示），交替有纯石墨填料圈（用小点表示）。所有填料函在靠近阀盖法兰的地方都有一个流体吹出接头，用来拆除旧的填料。蝶形弹簧在填料上产生使用期载荷。没有引漏的 6 圈填料（左方）用于较小的阀门。较大的阀门在一个简单的填料函里有两组填料，从分隔两组填料的隔离环有引出的导漏管。上一组填料不需要像下一组填料那样多。对子关键的大阀门，在单独的和分别加载的填料函中两组双重填料每组都有引漏管。这样可以产生高度可靠性以防液体逸出。密封的设计已表明，由子本文所叙述的试验工作的结果而得到发展。

合肥通用机械研究所　吴树济译自
《Power》1973，12，袁玉球校

增加填料高度能否改善密封性能的新见解
——在原子能阀上的研究结果

【美】 R. P. Champagne

原子能用阀的阀杆密封的根本要求是无泄漏运行和长期使用不需维修。所谓“双重填料”就是用来满足这种要求。两组填料由一个导漏零件所分隔，下一组填料圈作为主密封，任何泄漏通常通过一个导漏的接头排出。上一组填料产生第二级的而且是最后的密封，然而，这种装置在实际的工作要求的情况下只能有限的成功。首先碰到的是阀杆载荷增大甚至阀杆被卡死，其次是填料磨损加剧和压盖压紧力不能保持均匀等困难。

这些困难的主要原因是填料里由填料函壁的摩擦所造成的特有的松弛。这种填料体积应力由于填料函的深度而衰减的现象在原子能阀双重填料结构中较之在一般电站或工厂中的更为突出，因为它总的填料高度高。

研究在受轴向载荷的填料函里填料的力学特性就能定量分析摩擦和其他力学性能对密封系统完整性的影响，本文所叙述的研究计划就有这种意图。

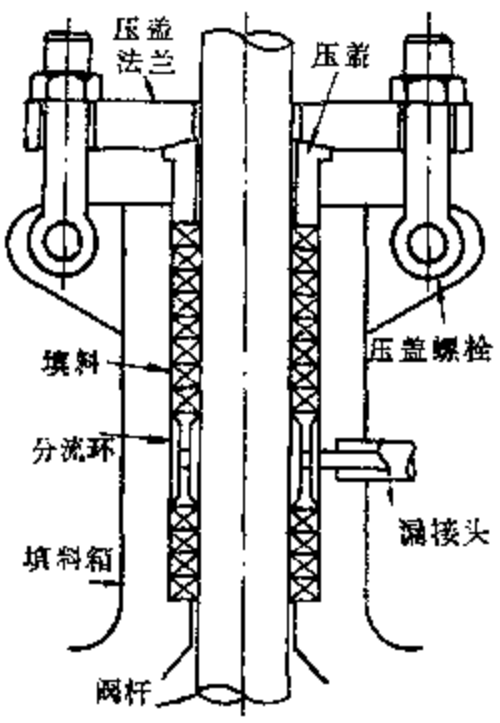


图 1

图 1　填料环变形而产生密封

把两个表面压在一起来使流体达到密封取决于很多因素，如表面状况，宏观变形的能力以及正压力的大小，就填料对阀杆和填料函的密封来说，本质上填料环可发生各种变形，显然，密封性取决于接合面（密封与填料之间）的平均间隙和面积比（面积比是指微观接触面积与宏观接触面积之比），这就必需使填料产生足够的对阀杆和填料函的径向压力。如图 1 中的一般装置那样只是一种减少填料和阀杆或填料函之间的实际流通面积的方法——增加面积比和减少间隙。对于任何一种填料，径向压力强度主要取决于被密封的介质压力。压力强度沿填料函的变化可以用本文中的方程来表示。

阀杆与填料的接合面的径向压力大小在填料的长度上是不同的，一种类似于分析金属加工中塑性变形的 *Slab* 方法可以得到一个描述径向压力变化的方程：

$$Sr(x) = RS_0 e^{-(\mu_1+\mu_0)Rx/t}$$

Sr 是这组填料上任意一点的径向压力；S_0 是压盖下的直接压力；R 是径向压力与轴向压力之比；μ_1 和 μ_0 分别为填料与阀杆、填料与填料函的摩擦系数；x 是从压盖与填料交接而开始的轴向距离；t 是填料的径向厚度。实际数值必须对填料试样进行测定，以寻求径向压力特性的影响。

摩擦系数常常认为是比较恒定的。但是对于很易变形的材料，如填料就不能这样假定。在广泛的载荷范围内进行摩擦试验所得到的结果示于图 2 上。全部试验材料都是原子能工厂中的普通材料：一种是有因科镍线芯的石棉线、一种是模压成圈的石墨片。

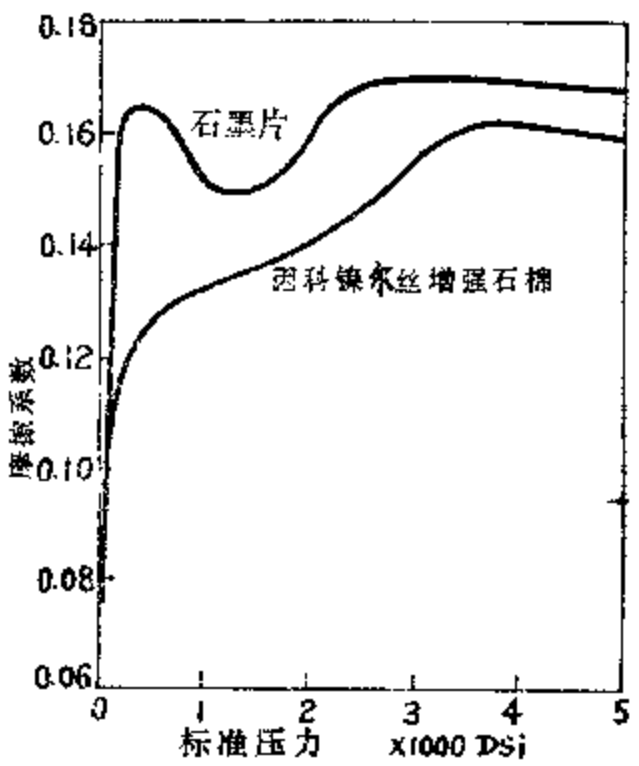


图 2　摩擦系数与填料压紧力关系曲线

压力比 R 类似于泊松比 ν，它与填料圈的几何形状变化有关，具体地说，$R=\nu/(1-\nu)$。R 可确定填料函里轴向力与径向力的换算。它也部分地决定贯穿填料函深度的体积应力的变化。用一个应变测量管代替阀杆测量径向压力就能直接求得 R。图 3 表示这些结果，平均曲线是表明各圈填料变化的综合。

填料的刚度决定它对输入载荷和阀杆运动的反作用。它也影响到摩擦系数和压力比。图 4 表示平均的试验结果。压缩时第一个循环（ABC）产生巨大的塑性变形，但以后的循环（CBC）却表明没有多大能测量的变形。用5000 psi 压力预压时石棉/因科镍填料具有 5.3×10^4psi 的弹性模量，石墨则为4.2×10^4psi。

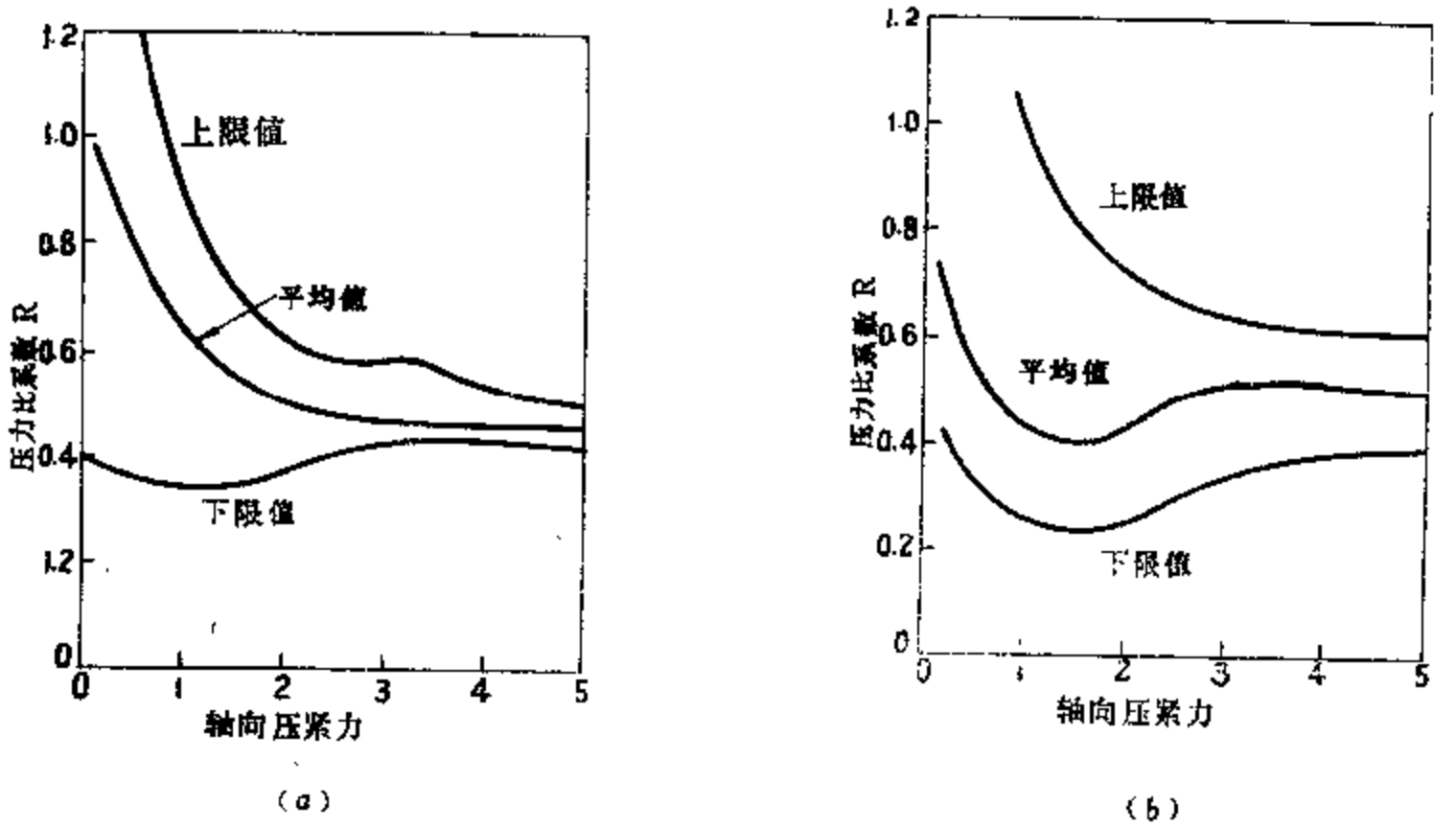


图 3　比例系数 R 与轴向压紧力关系曲线。石棉/因科镍和石墨片压制填料在轴向压力很高的情况下，压力比系数都趋向低的恒定值

（a）因科镍丝增强石棉填料　（b）石墨片压制填料

用这些摩擦系数和压力比的实际值代入 Sr 方程式，将得到径向压力的衰变。虽然方程式是从抽象的材料性质出发推导出来的，然而一种特殊的检验试验已能做到测定贯穿填料深度的实际径向压力。这项试验包括用一根内径可以实现应变测量的管子代替阀杆来测量若干已知点的环应变。应变测量螺栓测量输入的轴向载荷，管子的挠度在已知的给定径向载荷的情况下可用解析方法求得，管子实验挠度用来求出产生这样挠度的载荷的形式和大小，由此配

成一系列计算曲线。由 S_r 方程式所预示的结果始终非常接近于由测量管试验所得到的结果，使这方程式适合于分析用。

一个10吋、1500磅阀门例子，阀杆直径 2 吋，填料函内径3.04吋，隔离环下有 4 圈1/2吋方形石墨片填料，隔离环上面有 8 圈填料，如图 1 所示。系统压力2000 psi，摩擦系数假定为0.16，R 为0.5，对下面一组填料圈施加必需的体积应力虽然只有 2150 psi 径向载荷，但上面一组填料圈已经严重超压——径向压力为 7520 psi，轴向压力为 15040 psi，如图 5 所示。阀杆上合成的平均过载比填料均匀地径向受压到要求的 2150 psi 所引起的载荷大75%。

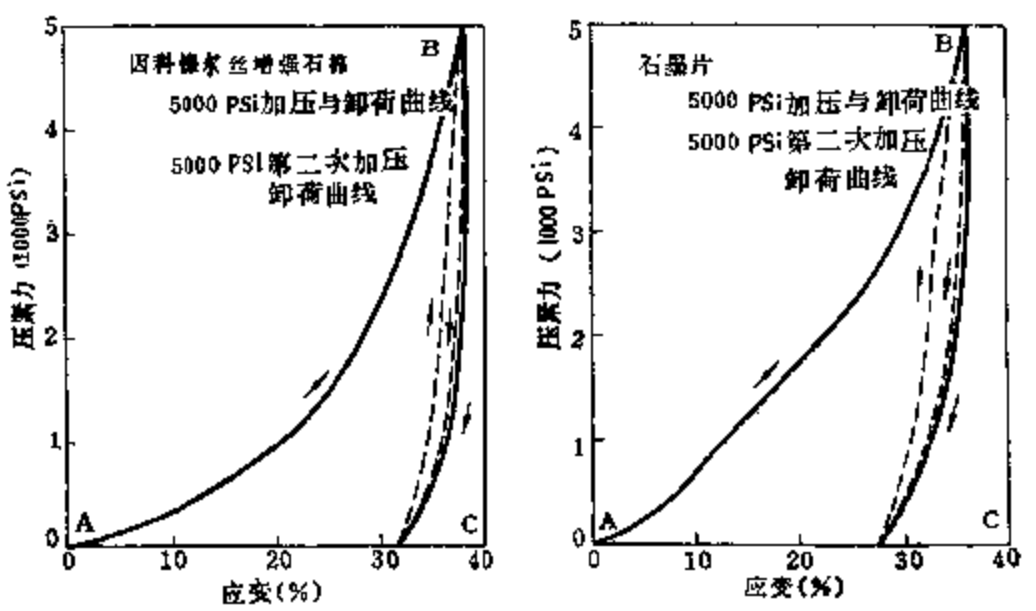


图 4　填料压缩性能试验曲线

试验还在给定的压盖载荷下寻找填料圈数对密封的影响。图 6 表示试验的结果，多于两圈的填料并不能改善短期密封能力。

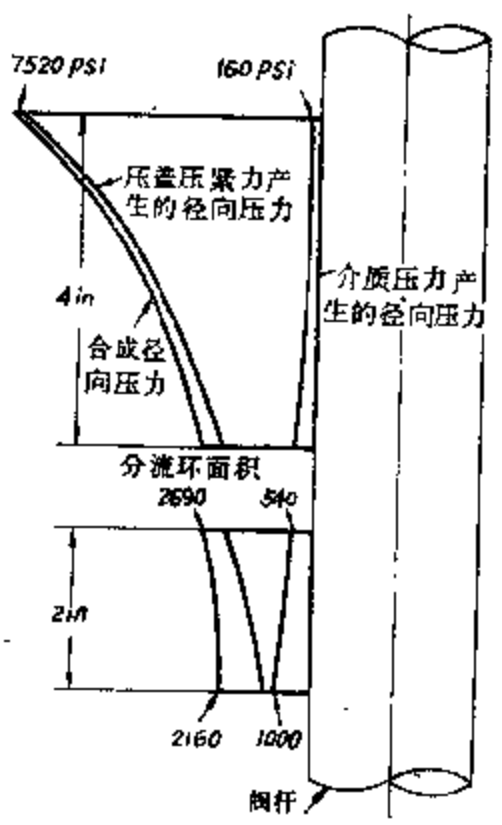


图 5　即使在填料函顶部过负荷也无益

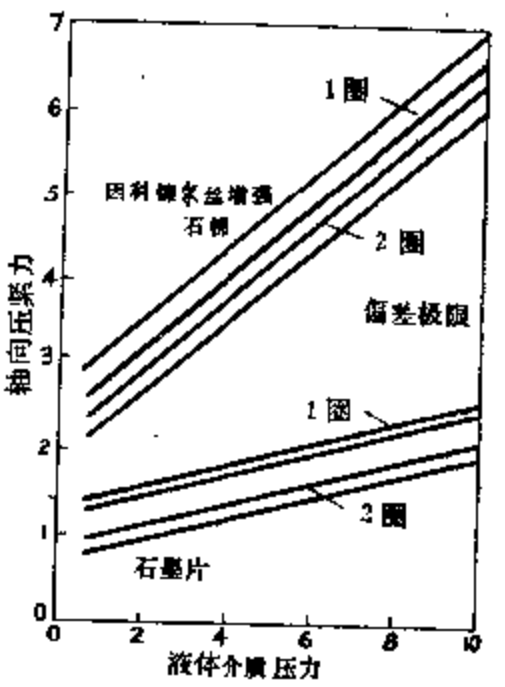


图 6　在短期密封时表明两圈填料已足够

总的来说，这些试验似乎是向以增加填料高度来得到更大的密封性的基本概念挑战。侧壁的摩擦由于填料深度的增加而减少压盖的输入载荷。预压填料还能使问题得到暂时避免。下沉和磨损将需要压盖载荷的输入，同时摩擦减少。作为非检修填料用时其体积应力应该适当地比最小值大些。特别深的填料深度合乎吸收局部磨损或阀杆有缺陷的需要。即使每组填料的深度超过最小值的两倍，但密封性并不能改善——甚至可能严重被削弱。

合肥通用机械研究所　吴树济译自《Power》1976.5.袁玉球校

水在阀门填料函处的泄漏

【美】F. C. Apple

摘　要

在模拟核电站的工作条件下，测量了水在四种常用阀门的填料函处的泄漏情况。测得处于全开状态下的三种阀门的平均泄漏速度在0.1至10磅/年之间，阀门的口径从3/4至6吋，条件是升温，增压至240℃、1000 psig循环一百次。此外，还在850～1000 psig、260℃条件下，测量三吋阀门开启和关闭一千次时的平均泄漏速度是30磅/年。

绪　言

评定一个用重水减速和冷却的核电站的经济性的重要因素是从系统中向外泄漏重水（D_2O）的数量。普通阀门的填料函由于价廉而受到重视，而它是泄漏D_2O的主要部位，并且不易克服。由于没有现成的定量数据，作者在核电站的温度、压力条件下，测量了几种常用阀门的填料函处水和汽的泄漏量。

总　结

将三种常用的阀盖-阀杆组合件置于经过去离子的轻水*中，并且从1000 psig、240℃到大气压、70℃循环变化100次。阀门处于全开状态，阀杆静止，并且使用上密封。3/4时截止阀的填料函和垫片处，总泄漏速度是10磅/年。3吋截止阀和6吋闸阀的填料函处的平均泄漏速度分别是0.09和0.6磅/年。

测量了一个完整的3吋闸阀在填料函处的泄漏速度，工作条件是在阀体内通过260℃、850-1000 psig的去离子水，闸板开启和关闭1000次，流速为13呎/秒。试验开始时，填料函处的导漏速度是17磅/年，试验结束时，增大到50磅/年。

由于没有确定泄漏速度数值的重现性，因此以上数值仅仅是预期常用阀门在高温高压下运行时泄漏的近似值。

讨　论

试验设备

图1是流程图。试验阀门的阀盖-阀杆组合体，其中阀杆是静止的，并使用上密封。每

* 轻水是相对重水而言，就是普通的水，去离子即经离子交换树脂处理过的意思。

一个试验单元能装一至二个阀门组合体。它是用两个三吋的1500psig 法兰加工而成。每个法兰与短管相接。试验组合体的热循环是使用如下方法实现的：在1000psig 压力下，向试验单元交变地供应260℃和30℃的纯水蒸汽。使用计数器和时间继电器控制供应热水和冷水的阀门。在一个为时三小时的试验周期内，先用260℃的水使组合体加热一小时，在最高的温度、压力下保持一小时。然后用30℃的水冷却一小时。在每一个周期的终了，当填料函的温度降到70℃以下，将所有的组合体都放空，压力降至大气压。

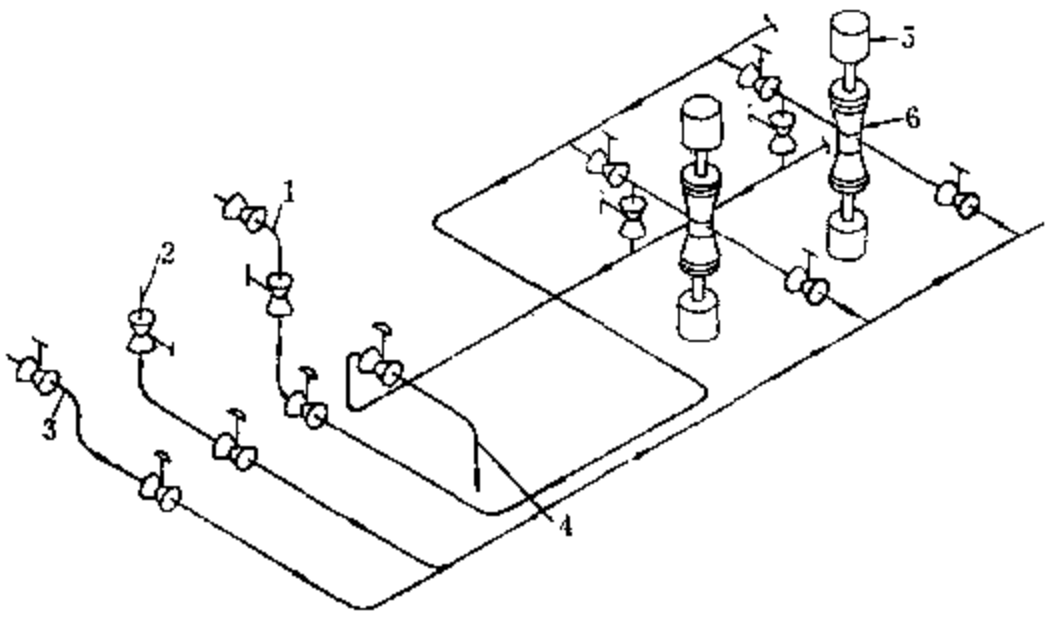


图 1　循环试验流程图

1—冷、热水出口　2—去离子水入口　3—去离子水入口　4—放空
5—典型的试验装置和泄漏液收集腔　6—典型的试验单元

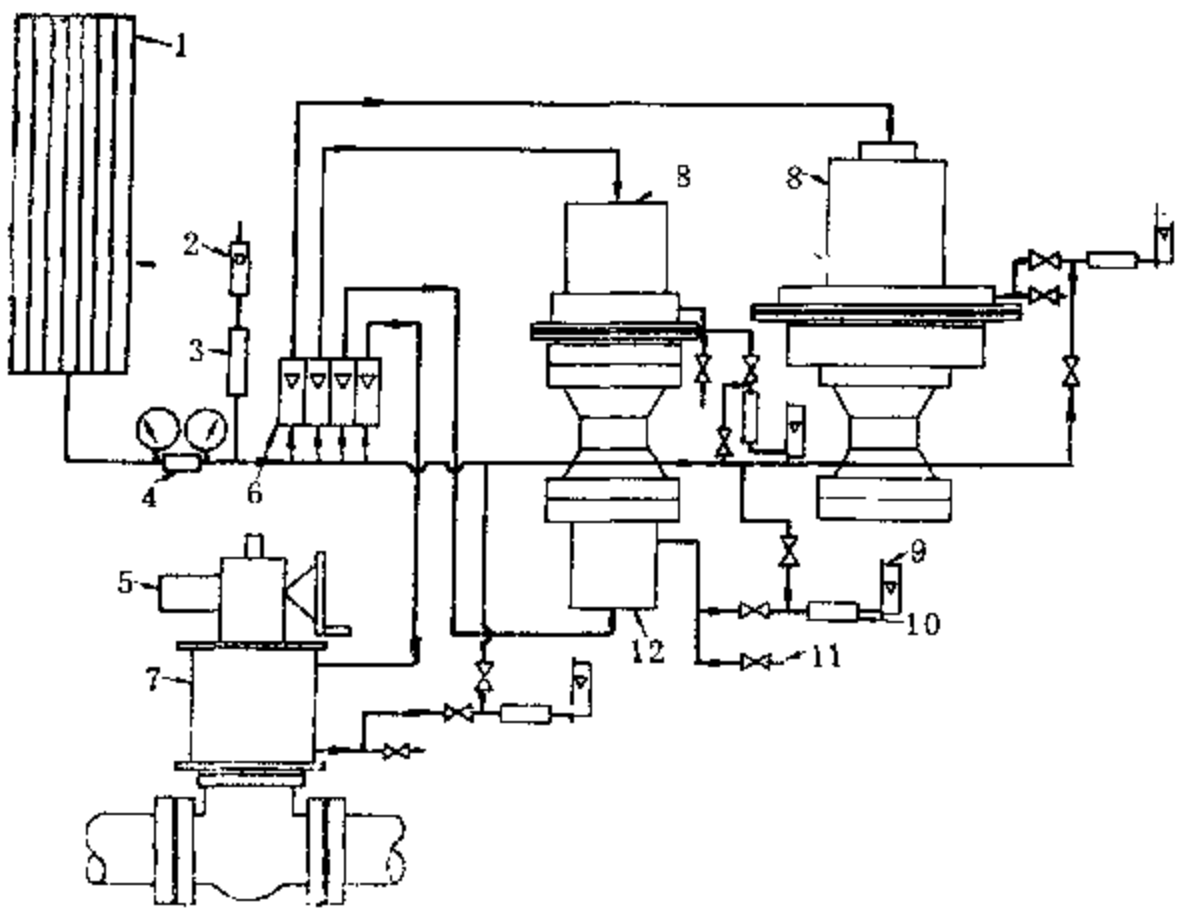


图 2　湿度检测系统图

1—氮储罐　2—转子流量计　3—背景湿度检测电池　4—气体调节器　5—限定扭矩执行机构　6—转子流量计　7—阀杆罩漏液收集腔　8—阀杆罩漏液收集腔　9—转子流量计　10—湿度检测电池　11—排放阀　12—阀杆罩漏液收集腔

图注：图的左方用于动态试验，右方用于静态试验。

进行动态试验的闸阀安装在2吋的管路上。管路内是260℃、900psig的纯水，流量为300加仑/分。用“限定扭矩”的电动执行装置使阀杆运动。当闸板处于关闭状态时，阀前压力是1000psig，阀后压力是850psig，在一个以三分钟为一个试验周期的中间，闸板保持开启和关闭位置各一分钟，其余一分钟用于阀杆和闸板的运动。

如图2所示，在每个做试验的阀门填料函上装一个密封的空腔，并向其中通入已计量的干燥的氮气流，用于收集泄漏出来的水。氮气的流量为20至90呎^3/小时。它的作用是使漏出来的水全部都汽化，并且把它从空腔中赶出。使用电子湿度计连续测定进和出的氮气中的水汽含量。湿度计是Keidel型[1]。它基本上是一个由铂丝电极和五氧化二磷薄膜构成的电解池。从各个湿度计来的电讯号隔一分钟记录一次。使用这个系统可以测出0.05至50磅/年的泄漏速度，精度为±5%。

用铁-康铜热电偶测量每个阀门装置的填料附近金属的温度，每隔一分钟记录一次。用Bourden计指示试验系统的压力。

试验中使用的是具有一般填料函的常用阀门。循环试验前对它作二点改变：将阀杆精磨至光洁度不高于6rms微英吋，降低对填料内表面的磨损；另一是把原有的填料换成Savannah River厂为特殊条件下使用的填料。它是含有石墨润滑剂(Johns-Manville №.14)的夹铜丝石棉线编结填料。使用的填料函和填料环的尺寸列于表1。把三吋和六吋阀门在填料函分流环处的引漏口堵上并焊死。

表1　填料函与填料的规格

阀门的规格	填料函外径（吋）	阀杆外径（吋）	方填料环			
			尺寸(吋)	热紧之前的圈数		压紧前的总高度（吋）
3/4吋，600psig截止阀	$1^1/_8$	5/8	1/4	6		$1^1/_2$
3吋，600psig截止阀	规定值：$1^7/_8$ 实际值：1.90	$1^1/_4$	5/16	分流环以下的圈数3	分流环以上的圈数8	$3^7/_{16}$
6吋，900psig闸阀	$2^3/_8$	$1^5/_8$	3/8	3	9	$4^1/_2$
3吋，600psig闸阀	$1^5/_8$	1	5/16	3	6	$2^{13}/_{16}$

表2　动态试验中阀门试验装置的扭矩

阀门规格	扭矩[a]，呎·磅					
	试验前			试验后		
	填料函螺栓	阀杆（处于上密封位置）	阀盖	填料函螺栓	阀杆（上密封位置）	阀盖
3/4吋，600psig截止阀	17	30	50	10	30	15～20
3吋，600psig截止阀	30	100	—	10—15	240	—
6吋，900psig截止阀	50	200	—	15—20	140	—
3吋，600psig闸阀	25～40	—	—	0～2	—	—

(a)试验前的扭矩是在填料函温度为240℃时测的，试验后的扭矩是温度低于70℃时测的。

循环试验开始前24小时，将阀门填料进行“热紧”，即在加热到240℃左右，这是在每一个循环的热半周中填料函的实际温度。由于填料软化，此时把填料压盖螺栓紧固。热紧后，在每一个装有静止阀杆的填料函中再加入一圈填料，而在阀杆运动的阀门中加两圈。表2列出了试验前后填料压盖螺栓和上密封阀杆的扭矩。上密封的扭矩是按照标准直径的手轮来确定的。

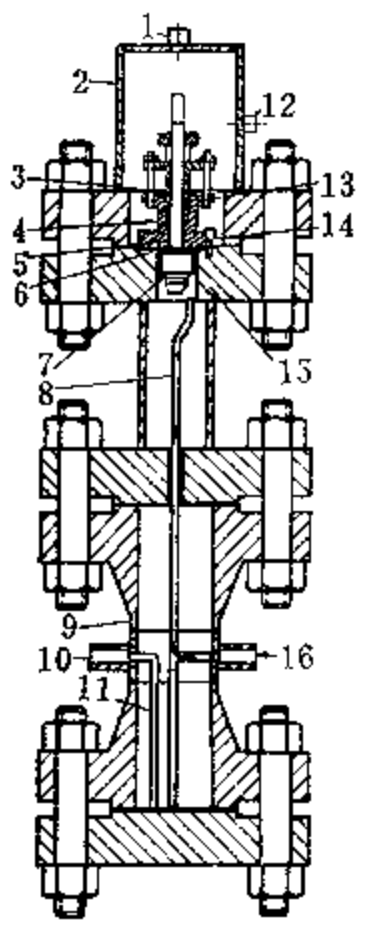


图3　装有3/4吋阀门的静态试验装置

1—潮湿氮气的出口，去湿度计 2—漏液收集腔 3—6圈J.M° 14填料1/4×1/4吋 4—3/4吋600°阀盖 5—5/8吋阀杆，表面光洁度6 rms 6—柔性金属垫片 7—阀门上密封 8—入口液分布器 9—试验单元 10—水出口 11—立管 12—干氮气入口 13—$1^1/_8$吋填料函 14—阀盖螺栓，共四个（相隔90°） 15—热电偶 16—1000 psi的热水或冷水入口

试验结果

一、静态试验

1．3/4吋阀门：

在80个周期的试验中，3/4吋阀门填料函和阀盖垫片处的总泄漏速度是10磅/年。试验后检查表明在阀杆和填料上都未出现损坏。试验装置见图3。

如表3所示，在加热的过程和在热半周中的泄漏速度几乎是冷半周时的三倍。试验开始和结束时的泄漏速度没有明显的差别。由于这里测得的泄漏速度是填料函和阀盖垫片两处的总和，因而在此试验中，不能确定仅从填料函处的泄漏速度。在以前的试验中，用相同的“柔性金属”垫片在1000 psig、260℃测得的泄漏速度是0.065磅/年·吋²[2]。根据它，计算出阀盖垫片处的泄漏仅有0.3磅/年，因此，总泄漏量中的大部分都来自填料函。

2．三吋和六吋阀门

在以上规定的条件的100周期试验中，三吋截止阀、六吋闸阀填料函的泄漏速度分别是0.09和0.6磅/年。试验结束后检查未发现构件有损坏情况。图4、5示出两个阀门的试验装置。

三吋阀门填料函在试验中加热时，热半周或冷半周的泄漏速度没有显著的差别。六吋阀门填料函，在热段的泄漏速度为1.0磅/年，大约是热和冷半周时的0.4和0.5磅/年的一倍。

试验开始和结束时填料函的泄漏速度没有显著差别。泄漏速度的数据列于表3。

表3　静止的阀杆处于上密封位置时阀门装置的泄漏

阀门规格	试验周期数[a]	泄漏速度（磅/年）						
		试验中的平均值	加热段		热段		冷却段	
			最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值
3/4吋，600psig，截止阀	80	10	30	13	20	12	8	5
3吋，600psig，截止阀	100	0.09	0.3	0.08	10	0.09	0.6	0.16
6吋，900psig，闸阀	100	0.6	3	0.4	3	1.0	3	0.5

（a）在具有典型性的一个为时三小时的试验周期内，在1000psig下加热一小时，最高温度为240℃，最大压力1000psig下保持一小时，然后，在1000psig下冷却一小时，此时温度低于70℃，每一周期结束时试验装置放空至大气压。

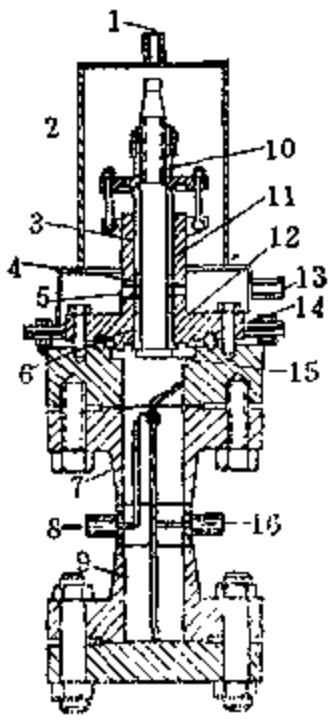


图 4　三吋阀门的静态试验装置

1—干燥氮气的入口　2—漏液收集腔　3—八圈14#的J.M.填料5/16×5/16吋　4—分流环　5—泄压孔堵上并焊死　6—三圈14#J.M.填料，5/16×5/16吋　7—试验单元　8—水出口　9—立管　10—阀杆直径1¼吋，光洁度4rms　11—填料函直径1⅞吋　12—热电偶　13—湿氮气至湿度计　14—三吋的600#阀盖　15—阀门上密封　16—1000psi的冷或热水入口

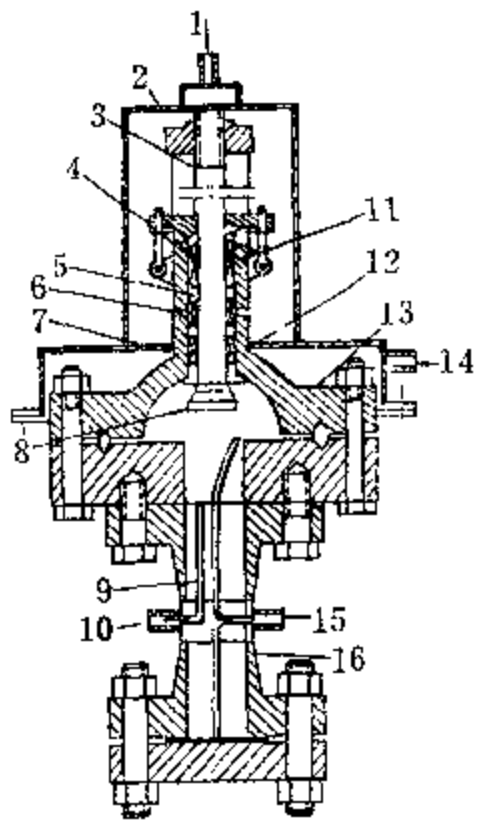


图 5　六吋阀门的静态试验装置

1—干燥氮气的入口　2—漏液收集腔　3—阀杆直径1⅝吋，光洁度2rms　4—九圈14#的J.M.偏结填料3/8×3/8吋　5—分流环　6—泄压口已堵住并焊死　7—三圈14#的J.M.填料　8—阀门上密封　9—立管　10—水的出口　11—填料函直径2⅜吋　12—热电偶　13—六吋900#阀盖　14—湿氮至湿度计　15—1000psi的热或冷水入口　16—试验单元

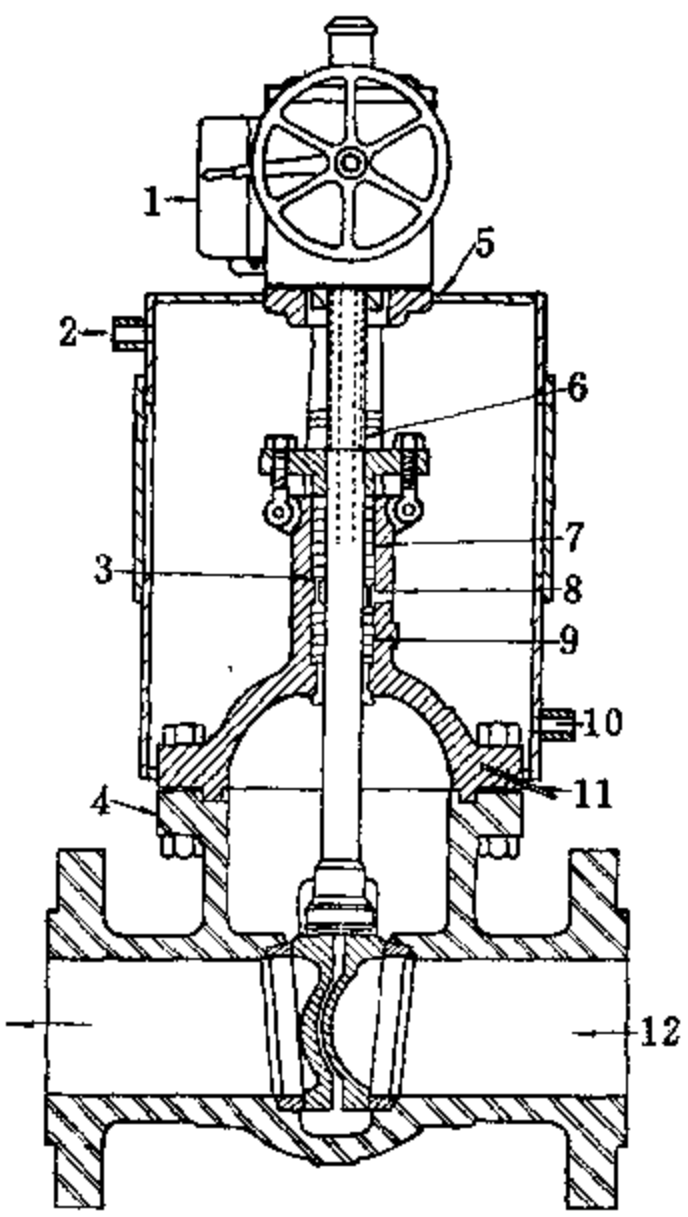


图 6　三吋阀门的动态试验

1—电动头　2—干氮气入口　3—填料函直径1⅝吋　4—三吋的600Powell闸阀　5—漏液收集腔　6—阀杆直径1吋，光洁度6rms　7—六圈14#的J.M.填料5/16×5/16吋　8—泄压口堵住并焊死　9—三圈14#的J.M.填料　10—湿氮至湿度计　11—热电偶　12—200℃。1000psi的水

（下转第25页）

软质填料的收缩性和侧压力

【苏】 Ю. И. Бубнов

收缩性和侧压力是软质填料的重要工作特性，它们决定于填料的材料和结构，同时也决定于制造工艺和使用条件。

本文叙述密度、横断面和压力对软质填料收缩率的影响及各种软质填料传递侧压力的能力的研究结果。曾对九种类型、三种规格的工业方断面填料进行过试验。它们是混有合成纤维、塑性或固体润滑剂（石墨、滑石粉）及浸氟塑料的石棉、大麻、棉织的填料。

填料的收缩性和侧压力用图1所示的装置来测量。该装置的测量元件的工作原理如下。液压装置通过弹簧测力计给活塞一作用力，液压缸的油压由固定的手摇泵产生和保持。填料试样称过重量以后放到矩形凹槽里，用活塞压紧填料，侧压力作用在贴有应变片的薄板上，应变片的信号经过电子放大系统放大以后，由记录仪拍摄。选择薄片的变形数值时，必须使它不超过指示仪器的精确极限，这需要靠移动薄板的支承点的位置来达到。用具有0.1mm刻度的千分表作为测量填料收缩的仪器。

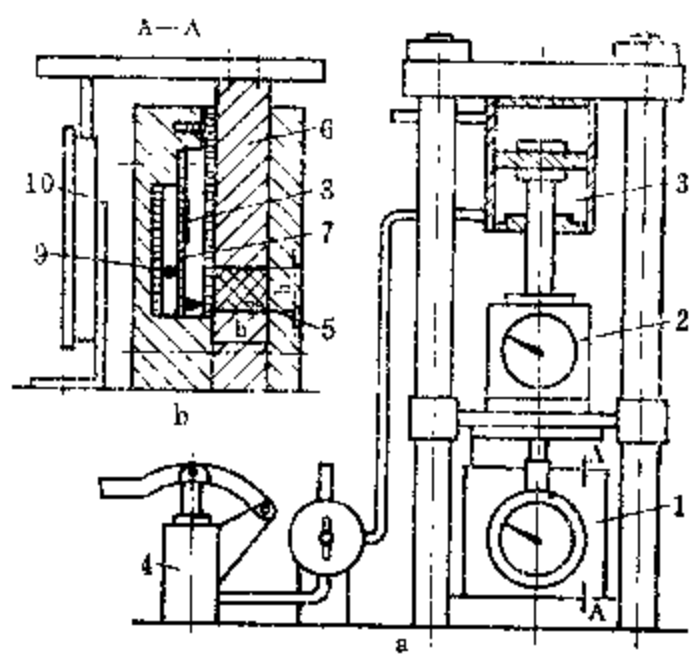


图1 仪器示意图

1—测量元件 2—测力计 3—油缸 4—泵 5—填料 6—活塞 7—薄板 8—传感器 9—板的支承点 10—千分表

填料的收缩量用收缩系数 K_y 表示。

$$K_y = \frac{h_0 - h_k}{h_0} \tag{1}$$

式中 h_0——开始时高度，

h_k——终了时高度。

有了侧压力值就可以计算侧压系数 k_6

$$k_6 = P_x / P_y \tag{2}$$

式中 P_y——活塞作用在填料上的轴向压力，

P_x——填料的侧压力。

按照测量的结果在图2上表示出 K_y，$k_6 = f(P_y)$ 的关系。需要指出，开始加载时，K_y 和 K_6 与时间有关。在静载荷作用下，经过20～30分钟以后，收缩值就不再明显增大。在AΓ-型断面为10×10mm的填料上加静压力60kg/cm²，在24小时的时间内收缩的增加量是开始1.5小时内收缩量的0.02%。因此各种填料的试验时间都是1.5小时。

从图2看出收缩系数随着压力增加而不断增长，最后趋近于某一固定值。而且具有固体填充物的填料具有最小的收缩率，反之干的和塑性润滑的填料具有最大的收缩率。假如以收缩系数来表示填料收缩性质的话，则以塑性润滑填充填料具有最大收缩系数，而干填料有最

小收缩系数。

文献〔1〕指出增加压力对侧压系数没有影响，而文献〔2〕指出侧压系数随压力的增大而略有增加。这是由于增大了填料的塑性。应当指出上述文献都没有给出填料高度 h 和宽度 b（图16）的比值。我们试验中的所有试样均是$h/b<1$。在这种条件下，随着轴向力的增加，由于填料压缩使传递侧压力的面积逐渐减小。因此侧压系数随着轴向力 P_y 的增加而减小（图2），可是在$h/b>1$的条件下可望由于填料塑性的提高，侧压系数随着压力的增加将有所增大。

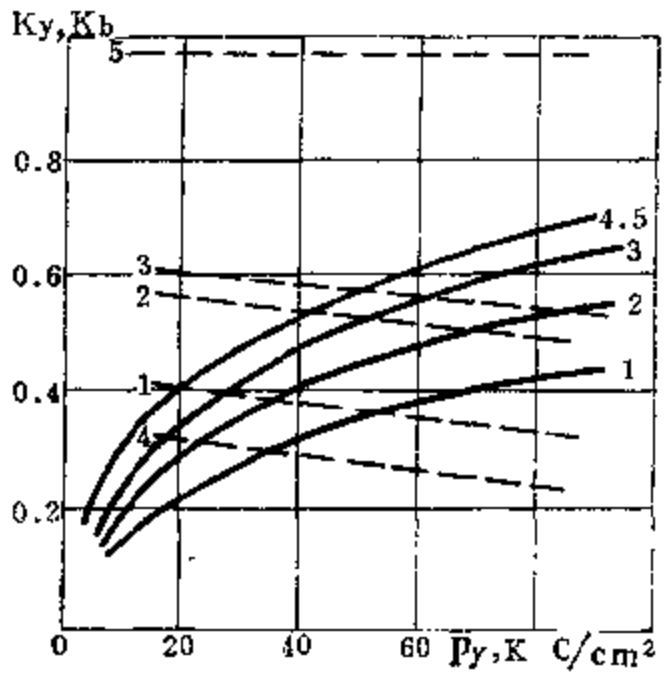


图2　填料断面为10×10mm的收缩系数 K_y（实线）与侧压系数 $K_б$（虚线）与轴向压力的关系

1—АПБ　2—АГ-1　3—АСТ　4—АС　5—АП

注：图中kc/cm₂应为kgf/cm²；$K_б$应为$K_б$

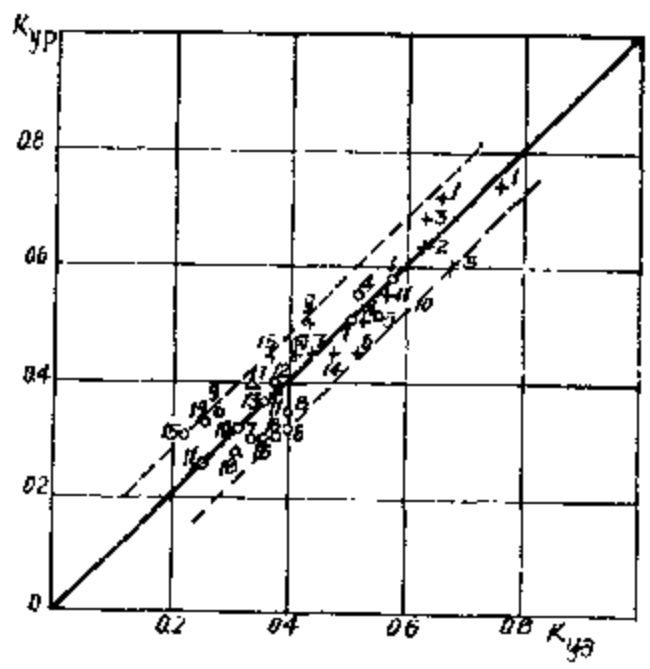


图3　在20kgf/cm²（三角形），40kgf/cm²（点），80kgf/cm²（+）压力下的各种材质和断面的填料收缩系数的试验值 $K_{y\text{э}}$ 与计算值 K_{yp} 的关系

1—АС(6×6)　2—АС(10×10)　3—ПП(6×6)　4—ХБП(6×6)　5—АП(10×10)　6—АСТ(10×10)　7—АГ(13×13)　8—АГ(10×10)　9—АГ(6×6)　10—АПБ(10×10)　11—ХФМ(13×13)　12—АПС(6×6)　13—АПСФ(10×13)　14—АСТ(13×13)　15—АПСФ(13×13)　16—АПБ(13×13)　17—ХВС(Ф10)〔2〕　18—ХРПГ(Ф10)〔3〕　19—АСТ(10×10)〔1〕

缩小系数可以用函数表示：

$$K_y = f(P_y、\tau、t、v、k、\rho) \tag{3}$$

式中　τ——时间；t——温度；v——填料的体积；k——考虑编结填料结构的系数；ρ——开始时填料的密度。

所有试验的温度均是20℃，编结填料试样的结构一样，试样长度取10cm，时间因素不再对收缩起重要的影响，因此方程式（3）可以写成下列形式：

$$K_y = f(P_y、s、\rho) \tag{4}$$

式中　S——填料的截面积

在对数坐标中作图已经弄清楚 $K_y e^{ms} e^{n\rho} = f(P_y)$ 的指数幂 m 及 n 的意义并得到经验公式。

对于АС、АП、ПП、ХПБ型干填料和塑性润滑填料方程式具有如下形式：

$$K_y = 0.1 P_y^{0.5} e^{-0.18(s+\rho)} \tag{5}$$

对于固体填充物的填料和浸氟填料АГ-1，АСТ、АПБ、АПС、АПСФ、ХФМ的方程

（下转第65页）

填料函摩擦表面的磨损

【苏】 Н. Б. Вологодский, Н. А. Животовский

当轴在填料函中转动时，靠近压盖的两圈填料磨损最严重，它占全部填料磨损量的70%，后面的填料几乎不磨损，可以说磨损对这几圈填料不起作用。

无介质压力时的填料径向压力沿着高度分布规律公式也能证明以上结论（图1Б）。

$$P_x = KP_н e^{-\frac{4Kfh}{D_к - D_в}}$$

式中：P_x——填料作用在轴上的径向力。

$P_н$——压盖作用在填料上的压力。

K——填料侧压系数。

f——填料磨擦系数。

h——填料高度。

e——自然对数基数。

$D_к$——填料函内径。

$D_в$——轴直径。

在化学搪瓷研究所所做的填料函摩擦表面磨损的研究表明，在密封介质方向的后几圈填料和前面几圈有同样的磨损。试验用的填料函如图2所示：它由轴，填料函壳体，填料圈和压盖组成。在填料函表面有凹槽，在凹槽里安放着用于测量填料径向力的传感器。在轴表面焊有热电偶，用来测量轴和填料之间摩擦处的温度。

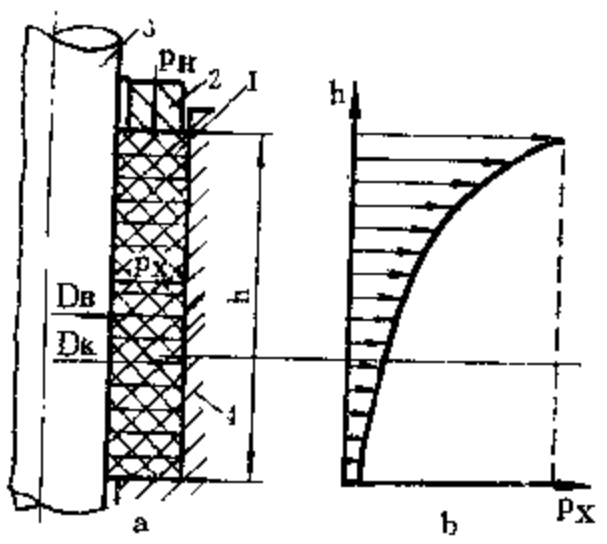


图1 填料密封（a）和填料径向压力分布图（b）

1—填料圈 2—压盖 3—轴 4—填料函壳体

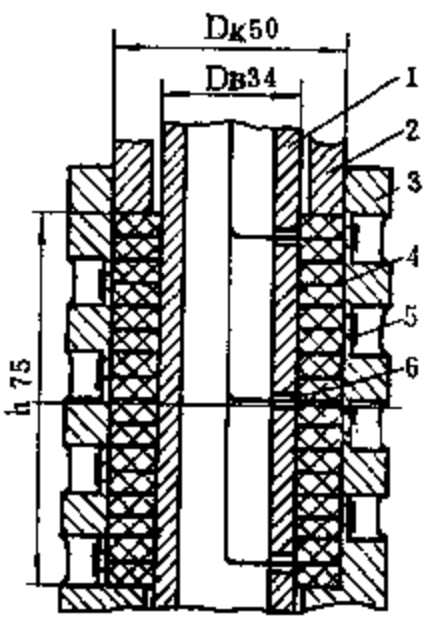


图2 试验的填料密封装置

1—轴 2—压盖 3—填料函壳体 4—填料圈 5—传感器 6—热电偶

试验用的填料圈用干石棉填料AC做成。尺寸是8×8mm。填料圈装入填料函之前先以300kg/cm²压力预压。加在填料上的压紧力和密封介质（锭子油）压力均为50kg/cm²。当轴

的滑动速度达到 1 米/秒时在轴和填料之间摩擦处的温度是45～50℃，介质的漏损是18-20毫升/小时，这时轴和填料之间的摩擦力是16-18kg。以上这些数据是经过70小时试验以后取得的。用 45* 钢做成的轴，它的磨损是用《Камба》工厂生产的测表面光洁度的 M-201型轮廓图仪进行测量。测量是沿着轴表面的三条母线进行。

专门制造的仪器（图 3）是用来测量填料圈的磨损重量，它是一个 АДВ-200 型分析天平，下面安装了一个充满密封介质的容器，做试验用的填料圈放在这一容器里，在室温中称填料圈的重量，一定要在容器中的填料重量不变以后读数。

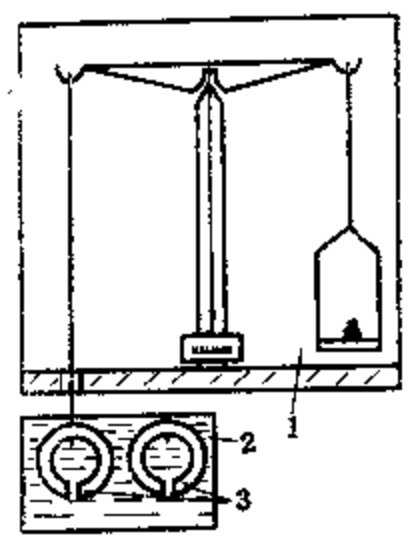


图 3　确定填料圈磨损重量的仪器示意图
1—分析天平АДВ-200
2—有密封介质的容器
3—填料圈

用下面的公式来确定填料圈的磨损：

$$\Delta = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100\%$$

式中　G_1 和 G_2 是试验以前和试验以后的重量。对标准填料圈（处在相同的工作条件下，但没有磨损）的测量表明，称重误差为±0.05～0.10%。

试验的结果示于图 4，从图 4 可以看出，取得的数据足够证明填料和轴在填料函长度上各处的磨损程度完全一致。轴和填料磨损严重处产生在填料函末端部，这是由于填料圈受到密封介质压力作用的缘故，因为介质压力引起了对轴的径向压力，这一压力在数值上和前面几圈所产生的径向压力接近（图 5）。

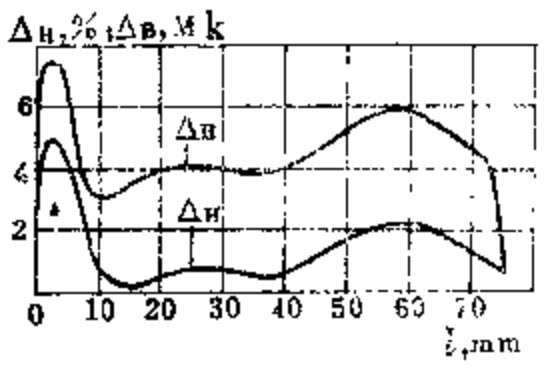


图 4　当填料密封漏损为20毫升/小时，工作70小时后，填料圈磨损 $\Delta_н$ 和轴的磨损 $\Delta_в$

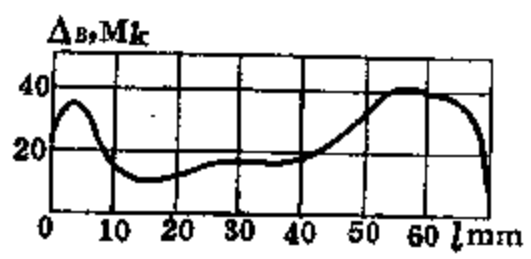


图 5　填料密封漏损为20毫升/小时，工作 60 小时以后沿长度 L 轴的磨损 $\Delta_в$

另外在基辅食品工业技术学院（КТИПП）所做的软质填料对转轴磨损的研究结果也证实了以上所得数据，不论在化学搪瓷研究所或食品工业技术学院所做各种条件下的试验，所得到的数据均证实轴的磨损有相似的特徵。

根据以上研究可做如下结论，在填料密封计算时不仅要考虑靠近压盖的前几圈填料对轴的径向力，如像一般的计算方法那样，同时还必须考虑靠近密封介质后几圈填料对轴的径向力的影响。

合肥通用机械研究所　郑植荔译自《Химическое и Нефтяное Машиностроение》1972　№4　袁玉球校

阀门填料的温度控制

【英】 George. I. Chinn

绝大多数非金属填料适用温度范围为 32-450°F。如果加长阀盖颈部，即使在很高的工作温度下也能采用非金属填料。工厂中大批生产的长颈阀盖，当介质温度从低温到 1000°F 范围变化时，可以使填料温度有效地保持在非金属的适用温度范围内。例如，截止阀的低温试验表明（介质为液氧，-297°F，环境温度 106°F），大气中的水分在阀体和联接管道上冷凝并凝结成冰，可是，霜线的边界只达到中法兰。

散 热 片 型 式

阀盖的加长颈部与液体介质的热交换方式为阀杆与阀盖的传导，介质的传导与对流、冷凝（当介质为蒸汽时）。其次，颈部与大气的热交换为辐射和对流。

颈部加长的效果与许多因素有关（见表 1）。为了散热，高温阀阀盖往往采用水平圆盘式散热片（图 1）。这种设计对热交换可能不是最有效的，由于大部分辐射表面相互离得很近。而空气向上流动时，垂直表面的对流效率最高。

表 1 颈部加长效果的影响因素

热交换因素	种类
颈部型式	平直的，水平鳍片，垂直鳍片
介质	液体、气体、蒸汽
阀门安装方式	垂直、水平、倒立
加长颈部材料	良导体
阀门外表面	绝缘、敞开

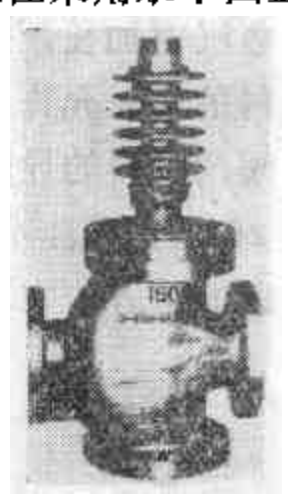


图 1 阀盖加长颈部的水平盘状散热片

不带散热片的加长颈部，在高温或低温工作时，对流性能好，但辐射效率低。采用适当形状的垂直散热片可提高辐射和对流效能，但是许多因素影响从这种设计中获得最大的益处。为了使颈部获得与水平散热片（至少需四片）相同的辐射面积，结果垂直鳍片彼此靠得太近；此外，垂直散热片容易引起液体介质的热传导（在扇形散热片上它可以减少），而且，散热片超过四片时，铸件复杂，虽然工艺上是可行的。

为了比较水平、垂直以及未加鳍片的阀盖结构的散热特性，在一个阀体组件上对水平鳍

表 2 加长颈部的温度试验

颈部结构	散热面积	平衡时温度（°F）
水平鳍片	173 in^2	325
鳍片除去时	—	432
垂直鳍片	63 in^2	392

片的铸造阀盖进行了试验。阀体组件放在加热炉中，体内温度为1000°F，然后，将鳍片加工去掉，再重复进行试验。再一次，把垂直的扇形鳍片焊在阀盖上（接头全部焊透）作第三次试验。用少量氮气模拟工作气体通过试验阀，达到平衡后，测量填料函底部颈部表面温度，试验结果列表于2。

内 部 影 响

液体（特别是液态金属如钠或钠-钾）借传导和对流方式将热自阀体传至填料函。在有些情况下，必须使加长颈部所散的热减少，防止液体介质在加长颈部固化。为了这个目的，可采用带蒸汽夹套的平直加长颈。相反，在另一种工况下，希望液体介质因散热而凝结，以产生阀体与颈部的冷冻密封（图2）。阀杆与颈壁间的环形面积力求最小，以减少液体介质自阀体到密封部位产生热交换。当阀门需要动作时，这种密封将被电动装置强制破坏。

图2 冷冻密封所采用的带扇形垂直散热片的加长颈

气体的导热系数比金属小得多，在加长颈部的散热成份中可以忽略。载热气体通过对流把热传到填料函。低温下，没有对流散热，因为较热的部位处于加长颈部的上端。

蒸汽对加长颈表面（包括填料部位）给热是借冷凝方式进行的。如果蒸汽的饱和温度大于填料的最大允许温度，则需要将阀门倒装，使蒸汽在低于饱和温度下冷凝，产生水封。

阀门材料的导热系数对加长颈效果影响极大。例如，碳钢的导热系数（$Btu/hr/ft^2/°F/ft$）约为26，奥氏体不锈钢为9.4，铸铝约为95。有一种阀门的散热片是用导热系数高的冲压铝环做的，并将它套在圆筒形钢的长颈阀盖上，以提高散热速度。

表 面 状 况

长颈内部的温度分布与阀体和长颈阀盖的表面状况及其周围环境有关。在正常环境中的阀门若不保温，同阀体换热的结果，使颈部温度下降。加果阀门放置在冷箱中，则颈部温度降低更多。同样，在热流体的情况下，正常环境中不保温的阀门与保温的相比，颈部温度要低些。保温阀门的热交换状态，可认为阀体同液体介质温度接近并保持平衡。比较在加热炉中试验的阀门（图3）和介质温度为1000°F的不保温阀门上用的加长颈部的温度分布可知（表3），后者阀门的中法兰处的温度只有500°F，远比介质温度为低。而加热炉试验的阀门，邻近阀体的颈部温度只比阀体温度略为低些。

水平卧式安装的低温阀，填料压盖处往往发生冰冻。解决的办法之一，是采用带内套管（精密地套在阀杆上的衬套）的加长颈（图4）。

加长颈是控制填料函温度的有效方法，使阀门在各种不同的工况和不同颈部材料情况下能够采用F-4和石墨石棉填料。铸造阀盖的试验表明，水平鳍片比垂直鳍片和不带鳍片的平直长颈都更有效。这个结论（按实际尺寸）同以往的研究结果完全不同。原来的结论是：不带散热片同带水平圆盘式散热片的颈部效果一样，而比带垂直散热片的更有效。这个相矛盾的结论是在早期用经过加工的阀盖来模拟长颈阀盖而取得的。

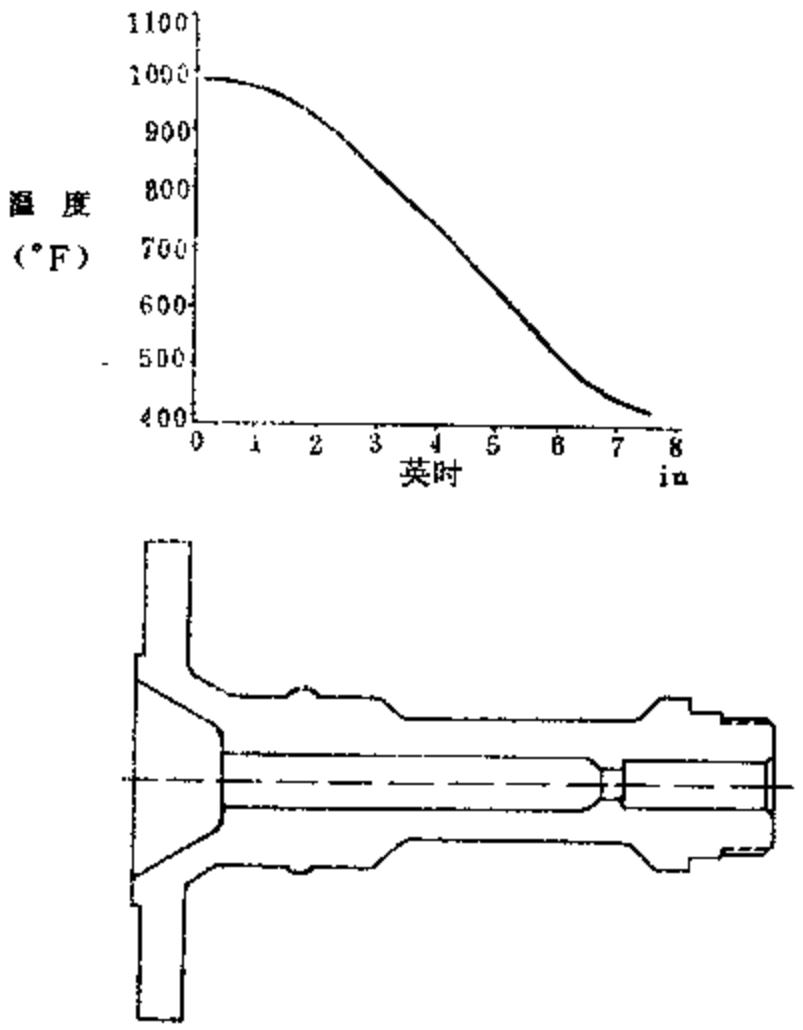


图 3　在加热炉上测试平直长颈阀盖温度的结果

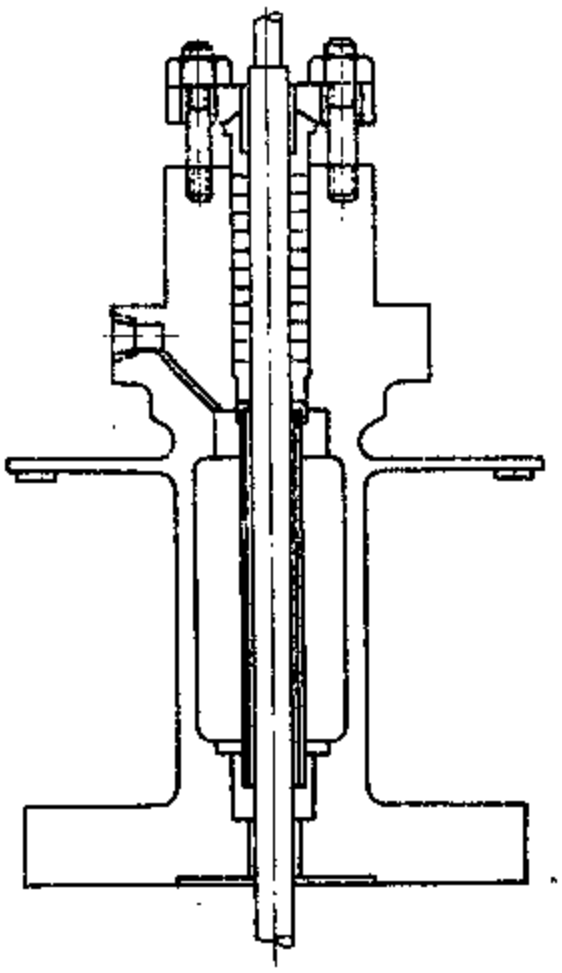


图 4　带内套管的平直长颈阀盖

表 3　不保温阀门上平直加长颈部的温度分布

液体介质温度(°F)	沿颈部的测试点温度(°F)			
900	465	325	305	245
1000	525	370	310	250
1000	500	345	310	240
1000	530	440	400	305
1000	530	380	350	260

参　考　文　献　(略)

合肥通用机械研究所袁玉球译自《Instruments and Control Systems》1969, 2　华宏勋校

石棉及耐火纤维制的超高温填料

【日】栗原降夫

J-M 耐温填料是一种用石棉纤维或氧化铝、二氧化硅等耐火性陶瓷纤维制成绳状的使用于极低温和超高温的绳状填料，按所使用的温度条件，可分为如下六类。

	J-M 型编号	最高使用温度	成分
1	耐温填料 500#	260℃(500°F)	工业等级的白石棉
2	耐温填料 750#	400℃(750°F)	95%～98%的白石棉
3	耐温填料1000#	540℃(1000°F)	98%～100的白石棉
4	耐温填料2300#	1260℃(2300°F)	硅酸铝纤维
5	耐温填料2700#	1480℃(2700°F)	硅酸铝铬纤维
6	耐温填料兰色	540℃(1000°F)	纯的兰石棉

上述各种绳状填料，能够根据各种用途搓成从 3.2mm（1/8″）到 50mm（2″）的各种规格，也可以根据安装对象的间隙的不同，拆开捻线或把几根线捻合起来自由地增减规格。

1. 耐温填料500* 750* 1000*

如在它们的成分栏中表示的那样，由白色温石棉组成。石棉的种类相当多，它们的组成成分和物理性质各稍有不同。其中最重要的是温石棉，占普通所见石棉制品的 95%。化学分子式一般表示为 $3MgOSiO_2 \cdot 2H_2O$，含有结晶水的硅酸镁呈淡绿色或白色。加拿大出产的温石棉，由于纤维极细、直径以微米级为单位，所以极为柔软、强度高、耐热性好，这种纤维含有 12～15%的结晶水，而南非产的部分含有 18～20%的结晶水，印度产的也有的在22%以上。温石棉随产地而不同，加热到 400℃ 以上后，结晶水急速失去，超过 700℃ 后就完全丧失，呈淡褐色、发脆。石棉的熔融点近于 2000℃。根据上述的特性，ジョンス、マンビル公司把细长纤维石棉的最高使用温度规定为 540℃（1000°F）。

2. 耐温填料2300*2700*

与上述的 500* 750* 1000*不同，使用陶瓷纤维。作为天然产的无机纤维类的石棉纤维，如上面概述的那样，最高使用温度为 500℃左右，所以人工制造能耐这个温度以上高温的无机纤维的研究一直在孜孜不断地进行着。而且在这个目的下研制出了这种陶瓷纤维。

2-1. 耐温填料 2300*

是以硅酸铝耐熔纤维为主体的绳状填料，最高使用温度为 1200℃（2300°F），它的耐热稳定性如表 1 所示。

2-2. 耐温填料2700*

是以硅酸铝铬耐熔纤维为主体的绳状填料，最高使用温度为 1480℃（2700°F），它的耐热稳定性如表 2 所示。

上述两种隔热密封材料原来是作为宇宙科学中火箭引擎的高温部分的密封材料，由ジョンス、マンビル公司中央研究所发明，多次应用在美国的登月征服计划中。在マギュリーヂェシニ、阿波罗中，它的优异性能得到了确认。

表 1

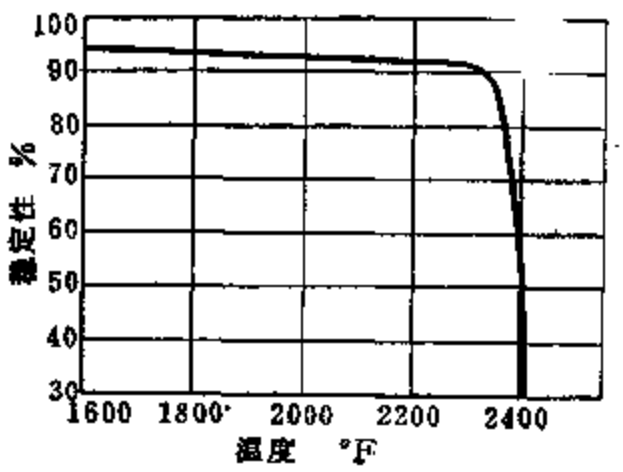
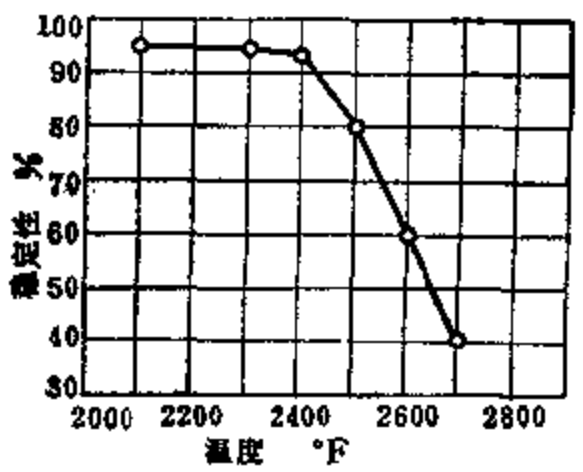
J-M2300# （耐温填料）	典型的化学分析（%）
	SiO_2 54.0 Al_2O_3 45.5 Fe_2O_3 0.2 Na_2O 0.2 点火损耗 2～5 纤维直径（微米） 3.5

表 2

J-M2700# （耐温填料）	典型的化学分析（%）
	SiO_2 55.0 Al_2O_3 40.5 Cr_2O_3 4.0 Fe_2O_3 0.21 Na_2O_3 0.15

上海阀门三厂宋永生译，袁玉球校

液态填料在阀门中的应用

【日】 原 田 静 男

前 言

液体密封材料——液态填料广泛地使用在汽车、农机、船舶、其它的普通机械以及配管接头等的结合部分的密封中。

这种液态填料已研究成适合各种用途并制造出了多种产品。最近也研究使用在阀门和旋塞的滑动部分，起止漏作用的密封剂，正逐步地得到利用。

JIS 制定之后，液态填料被称为液体垫片，正如它的名字所表示的，如果不是当作垫片使用，即不是用在静止部分的结合面上，则就不能发挥原来的止漏效果。想把它当作旋转部分的填料，如像压缩填料那样使用，就会产生种种问题，滑动部分用的液态填料是在考虑这点之后制造出来的，即使使用在旋转部分也能得到止漏效果。

在本文中，介绍几种使用在阀门和旋塞中的滑动部分用的液态填料。

现在使用的阀门密封材料

使用在滑动部分的密封材料，随运动的种类、运动的速度和温度的不同而变化。使用在旋转泵、往复泵等的滑动部分的压缩填料是利用内部泄漏出来的流体作为填料和轴之间的润滑液的。阀杆运动极其缓慢，轴的润滑，一般认为采用固体润滑是可能的，也是比较容易的。

过去，阀门采用的密封材料和密封方法，在填料函部分，一般是使用石棉、麻、棉花等材料的编结填料或是用皮、橡胶和塑料成型的填料，在密封面上，是涂油、润滑脂或其它的石墨、二硫化钼等的固体润滑剂进行密封，或像软密封阀门那样将软密封材料嵌入阀瓣。

即使使用这样的密封材料，阀门的密封也是不完善的，可以听到，装有管道的工厂泄漏点数最多的是阀门。

阀门泄漏的原因可列举如下：填料不良，变质和介质中有夹杂物或者阀门频繁启闭引起阀座损伤等等，然而，即使只是使用本文介绍的液态填料来进一步提高阀门中填料的密封效果，阀门的泄漏就能得到很大的改善。

滑动部分用的液态填料

在目前市售的液态填料中，有经过一定时间之后像粘结剂一样发硬的液态填料（干性附着型）；干燥后成胶状没有粘性的液态填料（干性皮膜可剥离型或者半干性粘弹型）和经过一段时间之后也不会发硬继续有粘性的液态填料（不干性粘型）等等。

能够使用在阀门滑动部分的，是干燥后也不会发硬的不干性型液态填料。可是市面上作为滑动部分用的密封剂，是把不干性型再降低粘度，改良润滑性后的液态填料。

发硬的液态填料使滑动变得困难，或者使滑动部分粘结，往往损伤轴的密封面。在不干性型中放入溶剂的含溶剂型的液态填料，常常在溶剂蒸发以后粘度上升，所以应该注意。另外，在常温下有粘性、低温时发硬的液态填料，和与之相反在常温下是粘性体，加热以后发生反应变硬的液态填料等，需要注意。

一般的液态填料含有黑铅，滑石、硅石等粉末的填充增强剂。如果这些粉末的颗粒大，在阀门启闭时经常损伤轴的表面。

作为滑动部分用密封剂的条件如下：

（1）不发硬、不粘结

（2）有粘合力、粘附力

（3）有润滑性

（4）体积变化小

（5）对各种流体有化学稳定性

（6）颗细

（7）温度变化引起的粘性变化小

市售品中能够使用在滑动部分的液态填料和现在滑动部分使用的液态填料，及其特性如表1所示。

表1　滑动部分用液态填料的特性

项目＼商品名	ヘルメシール723	ヘルメシール723GA	ヘルメシールTD-578	ヘルメシールTD-580
色　泽	绿色	淡桃色	黄透明色	黑色
性　质	浓液状	浓液状	胶状	油状
粘　度	1200Poise	120Poise	580Poise	900Poise
比　重	1.25	1.18	1.08	1.40
加热残分	100%	90%	100%	100%
使用温度范围	-20～150℃	-5～188℃	-10～180℃	-40～200℃
最大粒子直径	72μ	44μ	0.02μ	1～4μ
耐水性	可	可	可	可
耐油性	可	可	可	不可
耐碱性	不可	可	可	不可
耐液化石油气性	可	可	可	可
主要成分	酚醛树脂精制植物油	酚醛树脂重含油石墨	酚醛树脂重含植物油二氧化硅－1	高温用润滑脂二硫化钼

在阀门中的应用

如前所述，以往液态填料是用于管道的接缝和法兰的静密封，现在想使用在阀门等的滑动部分上，使用方法要严格规定。

它可应用于填料函部分，阀盖垫片部分、密封面。现在一般认为，用液态填料单独密封填料函部分是不可能的，只能作为压缩填料的辅助材料。以下就它们的使用方法和例子进行说明。

1．填料函部分

在填料函中，通常是含浸润滑油或涂石墨等料材的编结填料，或者是成型石棉填料圈。

如果让编结填料涂敷和浸渍不干性的液态填料，由于填料层内填充了液态填料，填料变得致密了，不会发生填料层引起的泄漏。另外还可知道，由于填料的表面残留着粘附力，和轴的粘合性良好，耐压性也比浸没有粘附力的润滑剂和油脂的填料要高。

使用皮和石棉那样的多孔质的材料制成的成型填料，和编结填料一样让它浸液态填料好，甚至在合成橡胶和合成树脂的场合，如图 1 表示的那样，在轴上涂敷液态填料后使用，就没有必要注油，同时耐压性也得到提高。图 2 是在阀门填料函部分使用液态填料的例子。

如果这样来使用液态填料，在密封气体时特别有效。

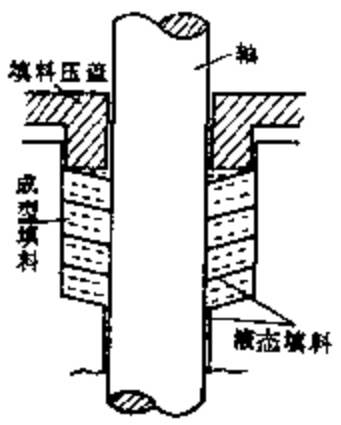


图 1　液态填料涂敷图

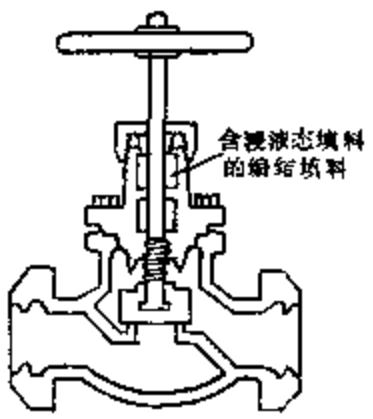


图 2　使用液态填料的阀门

实际的浸渍方法，是在液态填料中加入有机溶剂或稀释剂降低它的粘度，把编结填料放进去浸渍 5～10 分钟以上，干燥 1～2 小时以上就可以了。

加溶剂的量随液态填料的多少而定，可以调整到能够浸渍的浓度，即常温下的粘度为500～3000 厘泊左右。

2. 阀盖垫片部分

阀盖垫片常常使用普通的平面垫片。如果在阀盖垫片上涂敷液态填料，比单独用密封垫片密封时的耐压性好。图 3 表示的是在低质的密封垫片上涂敷液态填料时耐压效果的差异。

并用液态填料时，在金属的表面和密封垫片的表面上都涂敷是理想的，然而即使是只在金属表面或密封垫片表面的任意一方上涂敷，耐压性也得到提高。普通是在金属表面上涂敷的。

（a）0.6 mm 厚牛皮纸密封垫片

（b）在密封垫片的二面涂液态填料

（c）在凸缘结合面的二侧涂敷

（d）在密封垫片和凸缘的双方涂敷

（e）单独使用液态填料

测定条件(法兰密封面宽5mm，内径 60mm$\frac{1}{2}$吋螺栓6根，压紧力矩400kg. cm，透平油瞬间泄漏试压)

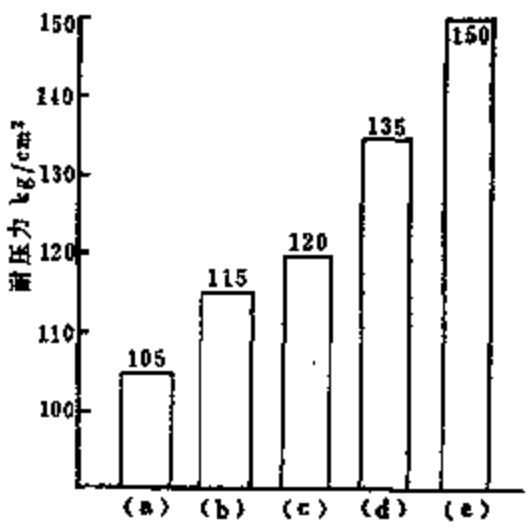


图 3　液态填料的耐压效果

液态填料使用在这样的平面上时，原有的性能得到发挥，产生了高的耐压效果。因此，在结合面的加工精度高，压紧时不变形和没有间隙的时候，涂敷液态填料代替固体密封垫进行密封是可行的。

单独使用液态填料时，如表 2 必须考虑到压紧面的压力，结合面的大小等等。压紧力越大或者结合面越小耐压性就越高。

表 2

（1）压紧螺栓位于法兰中心的情况下		
压紧力 \ 法兰	内径100mm，面宽17mm，8mm 螺栓6根，加工表面6S	内径90mm，面宽15mm，6mm 螺栓6根，加工表面18S
35	4 kg/cm²	5.5 kg/cm²
45	9 〃	10
60	11 〃	12
（2）压紧螺栓位于凸缘面外周的情况下		
压紧力 \ 法兰	内径60mm，面宽15mm，1/2吋 螺栓6根，加工表面6S	内径25mm，面宽14mm，3/8吋 螺栓4根，加工表面12S
50kg/cm²	30 kg/cm²	40 kg/cm²
100 〃	55 〃	80 〃
150 〃	110 〃	130 〃

图4表示的是在阀盖垫片部分使用液态填料的阀门。

能够使用在阀盖垫片部分的液态填料不限于滑动部分用的液态填料，过去的所有的液态填料都能使用。单独使用时，以合成橡胶为主要成分，皮膜有弹性和隆起性的半干粘弹性型的液态填料（J1S第2种）比用树脂制成的、滑动部分用的液态填料能得到更好的效果。

在用软质橡胶和软木橡皮制成的固体型密封垫片上涂敷有粘性的不干性粘型液态填料使用的情况下，压紧时密封垫片延伸，常常挤出，必须注意。

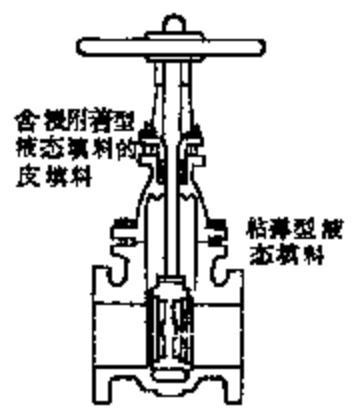


图4 使用液态填料的楔式闸阀

3. 密封面

把阀门密封面的加工精度提高1.5～3S以上，利用金属结合密封，或者像软密封阀座面那样，嵌入柔软的橡胶或树脂使之和金属结合。另一方面，在旋塞或龙头的滑动面上涂油和润滑脂密封。

液态填料浸透到金属的凹凸之中，有填补凹凸的作用，所以在阀座面和旋塞的滑动面上涂敷液态填料之后，填充了结合面上的细小凹凸，一般认为，由于这个填补作用和粘结效果的相互结合，气密性得到了提高。

可是在密封面上应用液态填料受到其性质的限制。

旋塞和龙头用在压力低的场所比较多，所以基本没有使用上的问题。

转动旋塞和龙头的手柄小，所以所使用的密封剂的性能差别显著反映出来。使用粘度（粘结力）高、润滑性差的密封剂，轴的运转变得困难。如果使用放入溶剂的含溶剂型的密封剂，开始时虽然能平稳地运转，可是经过一定的时间之后溶剂完全干燥了，往往也不能运转。另一方面，与此相反也有这样的说法：在不运转时能够进行密封，可是轴一转动后就发生泄漏。因此，所用的液态填料必须选用能在滑动部分使用的。

图5是使用在切断10kg/cm²压力空气时的空气断流旋塞，使用的是滑动部分用的液态填料。

图6是切断液化石油气用的充油式旋塞。在过去的液化石油气旋塞中使用润滑脂，但是该旋塞不使用能溶于液化石油气的润滑脂，而使用耐液化石油气性的滑动部分用液态填料，

得到了良好的效果。

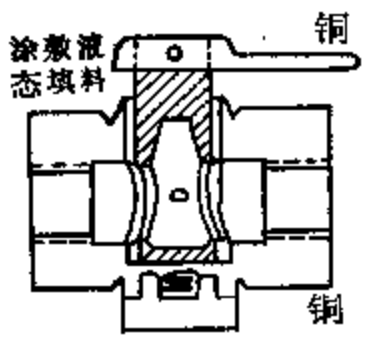


图 5　空气断流旋塞

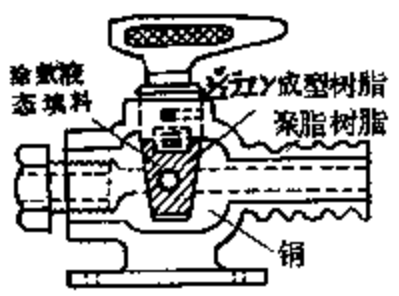


图 6　充油式旋塞

使用液态填料时的注意点

1. 粘度问题

在滑动部分使用液态填料时，最需注意的是液态填料的粘度和硬度。液态填料对温度的变化敏感，有低温时粘度上升、高温时软化的倾向。图 7 表示的是滑动部分用液态填料的粘度和温度的关系。即使是滑动部分用的市售的液态填料，在温度降到零度以下后，从图示可以知道，已变得相当硬了。

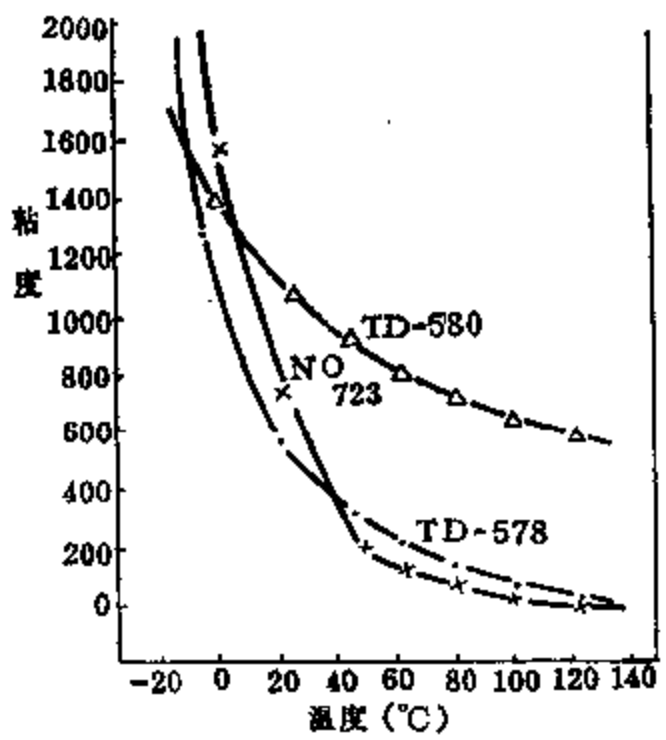


图 7　温度和粘度的关系

一般能够在阀门滑动部分使用的粘度界限，大体上最高为 10000～20000 泊，超过这个界限轴的运转发生困难，有损伤填料函中填料的危险。

必须指出，本文谈到的粘度，是指液态填料保护膜的粘度，不是指加入溶剂使用前的粘度。

2. 耐液性问题

选用对阀门流体介质有耐药性的液态填料，必须保证长时期内不发生泄漏。

过去利用内部泄漏的流体密封，在使用液态填料时，液态填料兼作密封剂和润滑剂，所以不利用泄漏的流体。因此液态填料普通是不和内部流体溶合的，如果不选用不溶合的液态填料就不能得到良好的结果。

旋塞的滑动部分使用的是油或润滑脂，但是除了特殊的之外，油和润滑脂都能溶于石油，液化石油气等等之中。把油或润滑脂当作密封剂使用的旋塞或阀门就不能使用在流过这样流体的场所。液态填料具有耐这些流体的耐药性，所以可以放心使用。

关于液态填料、润滑脂、白油漆等的耐液化石油气的性能，请参见《配管技术》的第 6 卷第 4 号（1964 年 4 月号）。

3. 干燥问题

单独使用液态填料密封阀盖垫片部分时，含溶剂型的必须考虑到干燥的时间问题。液态填料在溶剂蒸发完全干燥时能得到最好的密封效果，所以待完全干燥后再供实用是一种高明的使用方法。通常可以采用用毛刷涂敷、经过 3～6 分钟的干燥后接触压紧，再放置 4～6 小时以上使之完全干燥的方法。

并用密封垫片和液态填料时，液态填料是作为密封垫片的辅助材料使用的，所以不必作过分的考虑，也可涂好后马上压紧使用。浸在编结填料中使用时，或只是在表面涂敷使用时，都同样要完全干燥。如果残留着溶剂，会遭到内部流体浸蚀。

新型的绳填料

在利用液态填料新近发明的密封材料中，有一种图 8 结构的绳填料。这是把耐药品性好的合成橡胶类或氟化乙烯树脂加工成绳状，在它的表面编织一层耐热性好的玻璃纤维，再在这个表面用有粘性的不干性液态填料进行处理制成的。由于表面有粘结力，所以在像填料函部分那样卷叠起来使用的场合，各层填料之间充分粘结。同时，也会紧紧地粘合在金属面上，加了压力之后有填补金属表面凹凸的作用。

图 8　新型绳填料

芯子用合成橡胶制成的绳填料，有硫化橡胶型和非硫化橡胶二种。硫化橡胶型的发现有和油封、和 O型密封卷相同的弹性。非硫化胶橡型的，在加压后压延成薄片状，能压成任意的厚度。

把氟化乙烯树脂制成芯子的绳填料。对所有的药品都稳定，耐热的稳定性也可达到 260℃。由于这些绳填料是将玻璃编织物织成袋状的，在加了外力之后有弹回复原的趋势，所以在这一点上比用树脂和橡胶单独制成的绳填料有利，看来作为阀门的压缩填料是合适的。

结 束 语

以上介绍了阀门滑动部分用的液态填料。自发明在滑动部分使用液态填料以来。时间还不长，实际应用的例子也还少。因此，本文不能举出应用在滑动部分的实验数据，对此深表遗憾。

不过在理解了本文列举的事项并选用最合适的产品以后，能够得到从未有的结果和在新的范围内利用液态填料。

今后还需研究的问题很多，把得到急速发展的液态填料作为阀门的密封剂，今后可以得到更正确的使用，这就是笔者写这篇文章的缘由。

上海阀门三厂宋永生译自《配管技术》
1966.9　袁玉球校

波型填料试验报告

上海阀门厂　上海石棉制品厂

上海阀门厂为适应社会主义建设、工业发展的需要，设计了并即将投产一批密封性能要求很严密的阀门，其中有部分阀门在阀杆引出阀体处，采用双重填料密封装置结构。阀门工作状态为：压力 150公斤/厘米²，温度 310℃，介质为水，允许泄漏量≤10 毫克/时。由上海石棉制品厂研制并提供了多种石棉填料试样，在上海阀门厂填料试验台进行了密封性能、压缩变形、压紧力特性、摩阻特性等方面试验。

本报告对其中BS成型填料试验进行了小结，主要列出各项试验结果，以便于作进一步的分析，从而有助于增进对密封理论，摩阻特性的认识。本报告未予提及的试验装置和测试技术等内容，请看阅《YBF成型填料密封性能试验》一文。

一、填料简介

BS成型填料是一种新型填料。它的制作过程是以石棉线填嵌在波形金属带的波谷内，再在模具中缠绕成正方形截面的同心填料环，表面涂以石墨和有机胶，然后在专门成型模具中压制成型。

填料试样选用了 1Cr18Ni9Ti；（厚度 0.06 厘米）和铅（厚度 0.1 厘米）两种金属和国产特 1 级优质石棉纤维，经过去氯离子预处理后，纺制成的 22 支石棉线。

由 1Cr18Ni9Ti 金属波形板和石棉线制作而成的填料为 BSP成型填料；

由铅金属波形板和石棉线制作而成的成型填料为 BSP_b 成型填料。

BS 成型填料由于采用波纹金属作为骨架，改善了石棉型填料抗冲蚀性能；另一方面，BS 成型填料在制作过程中，在模具中成型，有利于填料对阀杆密封力的建立。

二、填料试样

BS成型填料试样采用了BSP和BSP_b两种成型填料的组合，即采用这两种成型填料混合安装方式。

填料试样高度～9.0 厘米，由 BSP 成型填料 4 圈，BSP_b成型填料 6 圈间隔装填，填料外径为 5.6 厘米，内径为 4.0 厘米，单圈高≈0.9 厘米，BS成型填料在填料装置的情况如图 1 所示。

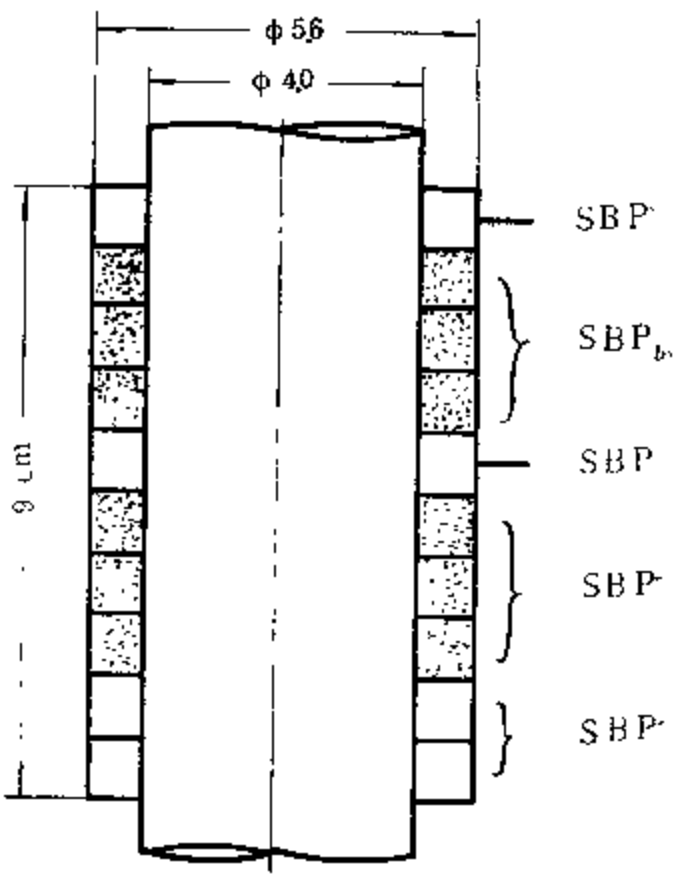


图 1　BS 成型填料装填图

单位：厘米

图右侧的SBP均应为BSP，第四行应为BSP_b

BS成型填料装填工艺采用一次安装方式。

三、压 缩 变 形 情 况

对 BS成型填料测定了其单圈压缩变形，测定结果列于表 1 及图 2。

表1-1 BSP 成型填料1#　　试样高度0.91厘米

填料压紧比压	公斤/厘米²	0	92	230	380	510	680	740
填料高度	厘米	0.91	0.87	0.80	0.75	0.72	0.70	0.69
压缩后比率	%	100	95	92	86	83	80	80

表1-2 BSP 成型填料2#　　试样高度0.87厘米

填料压紧比压	公斤/厘米²	0	165	250	385	540	680	820
填料高度	厘米	0.87	0.83	0.82	0.77	0.74	0.72	0.71
压缩后比率	%	100	95	94	89	85	80	79

表1-3 BSP_b成型填料1#　　试样高度0.94厘米

填料压紧比压	公斤/厘米²	0	49	290	520	740	830
填料高度	厘米	0.94	0.93	0.92	0.89	0.87	0.85
压缩后比率	%	100	98	97	95	92	90

表1-4 BSP_b成型填料2#　　试样高度0.93厘米

填料压紧比压	公斤/厘米²	0	66	150	220	300	410	470	780
填料高度	厘米	0.93	0.89	0.87	0.86	0.85	0.85	0.85	0.85
压缩后比率	%	100	95	93	92	91	91	91	91

为了便于与目前常用的填料比较，将XS型编结石棉填料压缩形变情况附于表 1 内：

表1-5 XS型编结填料1#　　试样高度11.5厘米

填料压紧比压	公斤/厘米²	0	69	138	207	276	345
填料高度	厘米	1.15	1.01	0.90	0.85	0.82	0.80
压缩后比率	%	100	88	78	73	71	69

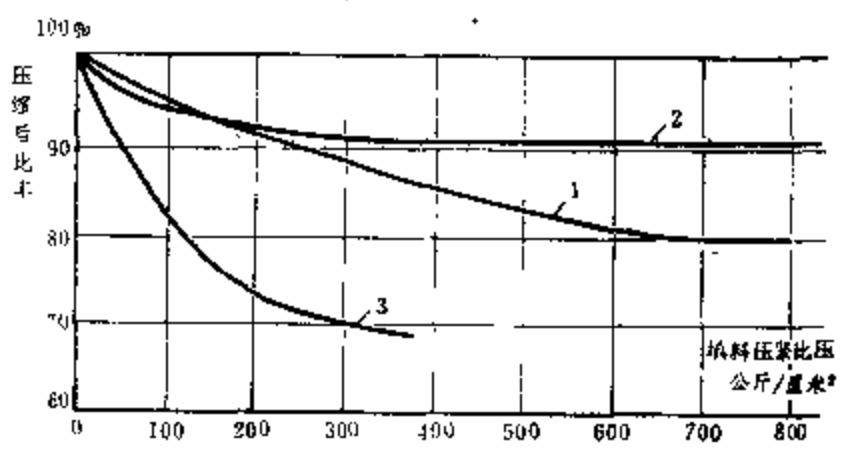


图 2　BS成型填料受压变形特性

图例：1—BSP成型填料2#　2—BSP_b成型填料1#　3—XS型石棉编结填料

由上述试验结果可以看出，提供试验的填料试样。对于：

BSP成型填料压缩后比率为≃80%（填料压紧比压≥650公斤/厘米²）

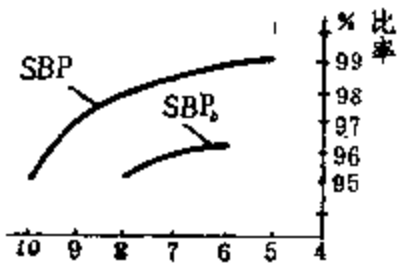
BSP_b成型填料压缩后比率为≃90%（填料压紧比压≥300公斤/厘米²）

压缩后比率主要与成型填料制造工艺的成型压力有关，控制成型填料的成型压力，将有利于填料密封质量的改进。

BS成型填料经165公斤/厘米²压力（最高压力为195公斤/厘米²）的饱和蒸汽热态试验，填料试样初压紧力为180公斤/厘米²，填料试样试验后，压缩变形结果如表2所列：

表2　BS成型填料经热态试验变形情况

安装位置	圈第	型　号	试验前高度	试验后高度	压缩后比率	填料变形线图
↑↑↑ 填料压盖	1	BSP	0.85	无法测	—	
	2	BSP_b	0.90	无法测	—	
	3	BSP_b	0.89	无法测	—	
填	4	BSP_b	0.90	无法测	—	
	5	BSP	0.86	0.85	99	
料	6	BSP_b	0.91	0.88	96	
	7	BSP_b	0.87	0.84	96	
	8	BSP_b	0.91	0.86	95	
填料座	9	BSP	0.86	0.84	97	
↓↓↓	10	BSP	0.89	0.85	95	



图中的SB应改为BS

从单圈BS成型填料压缩后比率测定中得出，填料的塑性变形，与填料受力的大小有关，因此表2中不同圈第填料的变形情况反映了填料的受力分布，由于拆卸填料试样时疏忽，使1-4圈填料损坏，但从5-10圈填料变形线图，已可看出填料装置中下半部填料的受力情况。

四、压紧比压变化

当填料装入填料装置后，通过填料压盖施加一定的压紧比压，以获得填料对阀杆密封力，保证对介质密封。虽然，填料初压紧比压是一个给定值，但是在安装后，使用过程中，填料压紧比压是一个变值，造成压紧比压变化的原因有填料受压后引起的塑性变形，介质工作压力，工作温度的变化等。这种填料压紧比压变化特性，在试验研究填料密封装置的密封原理，摩阻特性时，应予以恰当的重视。

BS成型填料在试验中的填料压紧比压变化测定结果如表3、图3所示

表3-1　第一次启动—热态试验　　初压紧力≃180公斤/厘米²　记录时隔30分

次　第	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	19	20	21	22
工作压力	公斤/厘米²	0	0	8	30	38	66	90	105	137	160	160	160	165	165	165	165
填料压紧比压	公斤/厘米²	179	179	175	172	164	157	136	135	145	162	168	168	187	188	187	188

表3-2 第二次热态试验启动　　初压紧力140公斤/厘米²　记录时隔30分

次　　第	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
工作压力	公斤/厘米²	0	0	50	165	165	165	160	160	160	165	165
填料压紧力	公斤/厘米²	143	142	137	184	156	153	159	170	170	170	170

表3-3 第四次热态试验启动　　初压紧力150公斤/厘米²

时　　间	分	0	30	80	106	125	130	140	150	165
工作压力	公斤/厘米²	0	50	50	70	113	145	165	200	195
填料压紧力	公斤/厘米²	153	149	149	144	147	149	149	164	198

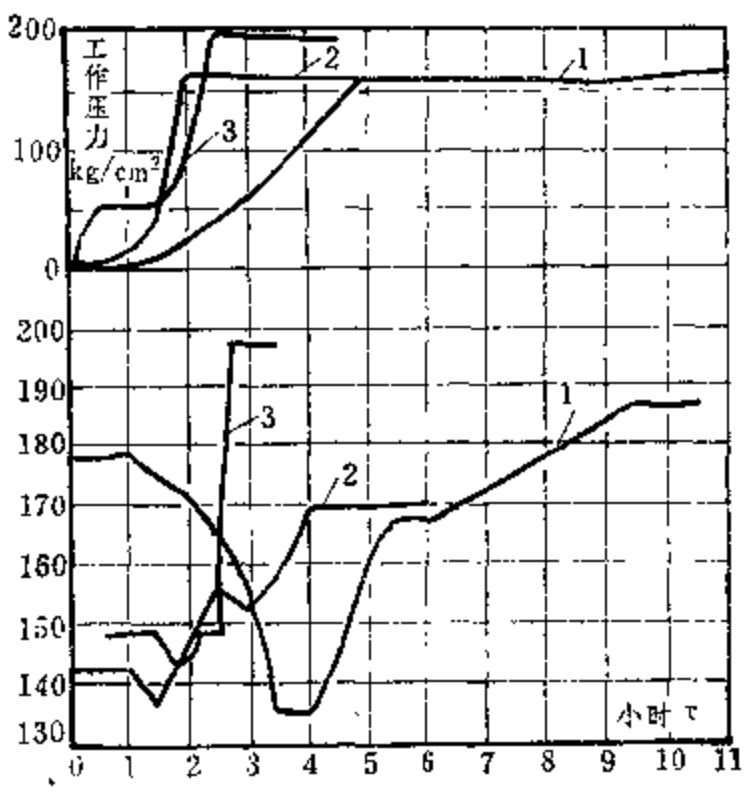


图 3　填料压紧比压变化特性

1、2、4 为热态试验顺序号

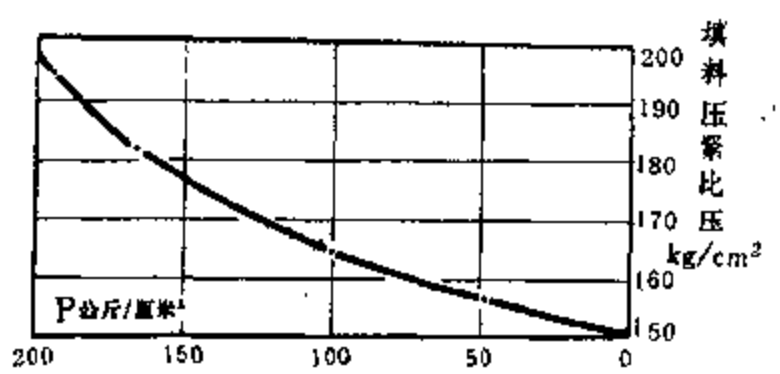


图 4　甩压过程中填料压紧比压变化

从填料压紧比压的变化可以看出，它与工作压力紧密相关，这就是所谓“自密封作用”，充分利用这一特性，将有利于提高密封性能。试验中，还测定了甩压过程中填料压紧比压变化情况，也证实了工作压力对填料压紧比压的作用，试验结果示于表 4 和图 4 。

比压数据在稳定介质压力 10 分钟，阀杆多次动作后，填料压紧比压基本维持不变时测得的。

表 4　甩压过程中填料压紧比压变化

工作压力	公斤/厘米²	195	165	100	50	25	0
填料压紧比压	公斤/厘米²	195	182	165	157	155	150

五、摩 阻 特 性

填料密封装置安装就绪，对填料施加一定压紧力后，在阀杆运动初始和运动中，即产生一定的摩擦力；当阀杆运动速度一定时，其阀杆-填料间的摩擦力值取决于

1. 阀杆材料及其表面光洁度
2. 填料材料特性
3. 填料压紧力

当阀杆运动时阀杆-填料间存在一定的摩阻系数μ这与运动学摩阻特性是一样的，BS成型填料试验时，对摩阻系数μ进行了测定。表5示出了试验结果。

表5-1是在工作介质为0公斤/厘米²情况下，试验测得的数据。为了便于比较，图5中列出了YBF成型填料在同样条件下的摩阻测量结果。

摩阻系数μ是按下式进行整理的：

$$\mu = \frac{F_{摩}}{\pi d h F_{压}}$$

式中$F_{摩}$——阀杆-填料摩擦力（公斤）

$F_{压}$——填料压紧比压（公斤/厘米²）

d——阀杆直径（厘米）

h——填料高度（厘米）

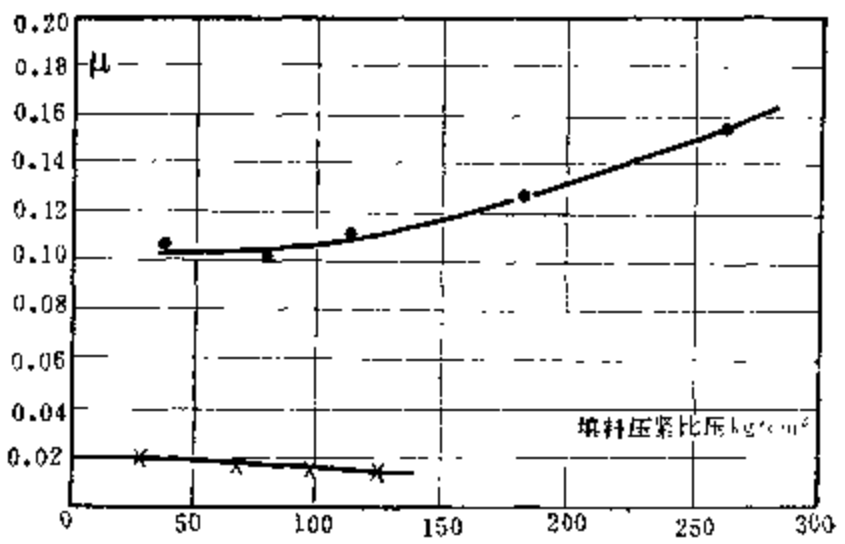


图5 BS、YBF成型填料在介质压力 $P = 0$ 公斤/厘米²时摩阻系数μ

·—ES成型填料 X—YBF成型填料

测定的填料压力，严格地说，是不同于运动学摩阻特性所指的正压力的，这里所指的填料压紧力需通过填料对阀杆建立密封力（即正压力）除了填料性质以外，还与安装方法有关，且在填料密封装置中，填料对阀杆的正压力沿轴线边也不是等值，在这里，忽略了这些因素，所测的μ值，也只是指试验的特定情况而言的，不完全同于材料学所指的摩擦系数值。

表5-1 在介质压力BS成型填料 $P = 0$ 公斤/厘米²下摩阻测量值

填料压紧比压	公斤/厘米²		35	76	110	180	260
摩 擦 力	公斤	150	400	850	1300	2050	3000
摩阻系数μ	—		0.1078	0.1045	0.1100	0.1250	0.1565

表5-2 YBF成型填料在 $P = 0$ 公斤/厘米²下摩阻测量值

填料压紧比压	公斤/厘米²	0	27	63	96	123
摩 擦 力	公斤		32.6	65	92	109
摩阻系数μ	—		0.0202	0.0172	0.0159	0.0147

对BS成型填料在热态工况下，测定了它的摩阻系数μ（见表5-3），试验数据是在工作介质为温度基本保持在150℃的水的情况下测得的，由于工作介质压力变动。填料压紧力也随着变动，这一点，在数据处理时未予考虑。

表5-3 BS成型填料在介质压力$P>0$公斤/厘米^{2}温度$t\simeq150$℃下摩阻值

工作介质压力	公斤/厘米^2	50	100	140	165
填料压紧比压	公斤/厘米^2	143	145	152	170
填料摩擦力	公斤	600	600	615	670
摩阻系数μ	—	0.0392	0.0388	0.0378	0.0368

在195公斤/厘米^{2}介质压力的饱和蒸汽条件下，测量了填料-阀杆的摩阻系数μ示于表5-4。

从表5-1，5-3，5-4可见，BS成型填料摩阻系数μ与填料温度有关，对于μ值尚需继续进行大量试验来验证，同时，切望有关单位提供理论方面的研究成果，这里示出的μ试验值，只是抛砖引玉，以期引起讨论。

表5-4 BS成型填料在$P=195$公斤/厘米^{2}饱和蒸汽下摩阻值

工作质介压力	公斤/厘米^2	195
填料压紧力	公斤/厘米^2	195
填料摩擦力	公斤	310
摩阻系数μ	—	0.0144

六、密封性能试验

为了观察BS成型填料密封性能，在填料试验台上，进行了摸拟阀门使用工况的密封性能试验，还进行了超压超温条件下的密封性能试验。

填料密封性能共进行以下几项：

1. BS成型填料在4次启停工况下的密封性能；
2. BS成型填料在额定参数165kg/cm^{2}饱和蒸汽、稳定工况的密封性能；
3. BS成型填料在超温超压195kg/cm^{2}饱和蒸汽、稳定工况下的密封性能；
4. BS成型填料在压力急剧波动工况下的密封性能；
6. BS成型填料在阀杆运动（>120次）及其过程中的密封性能；

BS成型填料在填料密封试验装置就绪后，给以填料初压紧比压180公斤/厘米^2，在整个试验过程中不再（也不允许）追加填料压紧力。

BS成型填料在整个密封性能试验中，密封性能满意，泄漏量≃0毫升/时。

为了考核BS成型填料长期使用的密封性能。在专门的填料试验点，试验装置类似于上

（下转第65页）

超低温阀门填料垫片的特性

【日】 素本博之，住田一彦

1. 前　言

用于低温阀门的阀杆密封填料，介质为－50℃左右的LPG* 时，是一种浸渍聚四氟乙烯的石棉填料和聚四氟乙烯“V”形填料。

阀门具有加长阀盖颈部的结构，通常使填料部分的温度升高到常温附近。阀门的中法兰和端法兰上的垫片，一般也是石棉垫。如有必要，为了增大压紧力往往也采用金属垫。

最近，由于LNG** 的大量输入，大型高压的超低温装置成为必要。因而进行了很多的实验和研究。在LNG 输入之前，作为低温使用的填料垫片，也进行过－162℃的超低温下是否能够使用的试验。但是，在装置大型化而且超低温条件下，由常温领域向低温发展，普通的填料垫片性能难以保证密封。有必要研制适用于超低温流体的密封材料。

日本纤维工业股份有限公司以LNG 为对象，通过在超低温范围的填料垫片的材料试验和图1的以LNG 用阀门为对象的试验装置，试验了各种填料垫片耐低温的程度，并作出报告。

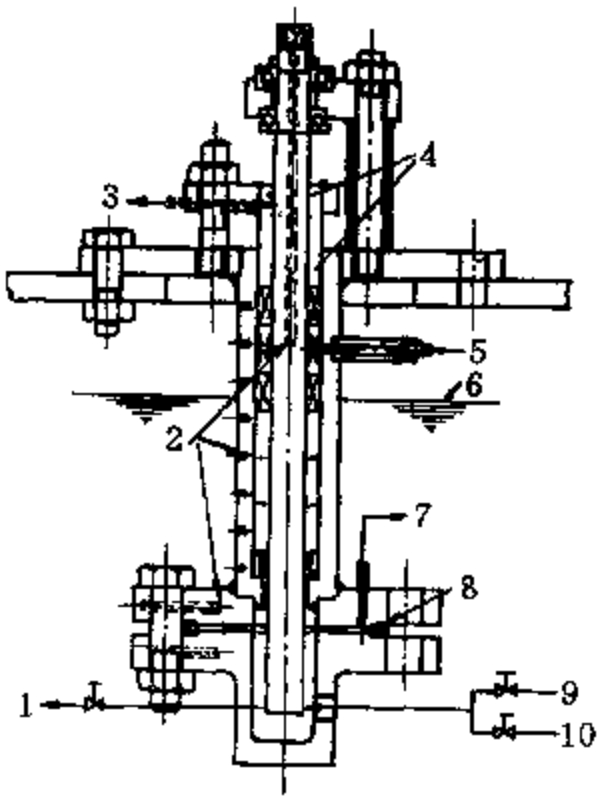


图1　试验装置简图

1—排往大气　2—测温点　3—填料的泄漏　4—硅橡胶“O”形圈　5—注入润滑脂　6—液氮的液面　7—垫片的泄漏　8—硅橡胶“O”形圈　9—液态氮　10—氮气

2. 试 验 装 置

在超低温下进行试验需要低温介质作冷源。即使阀门流过低温介质，填料垫片也难于达到介质的温度。试验的装置为省略阀体后的加长阀盖结构，把装置的下部沉浸在盛有液态氮的开口槽中冷却。图1是它的简图。改变液氮的液面位置，能够把填料部分的温度冷却到－190℃左右的超低温。

在图1所示的测温孔中固定铜-康铜热电偶，用打点式记录议自动记录各部分的温度。中间温度的调节是通过调节液氮的液面位置来实现的。从氮气瓶经过调节器输入试验介质。在超低温范围，试验压力的调节和获得方法是：先把液态氮流入试验机本体，然后关闭排往大

* 液化石油气；** 液化天然气。

气和液态氮侧的阀门。

试验装置主要部分的材料全部是 SUS304。为了测量泄漏量，在填料压盖和垫片的外周部分使用硅橡胶“O”形环。

3. 试 样

根据使用在超低温阀门和管道中的填料垫片的材质和使用方法选择试样。同时还有适用于超低温的新材料和新结构的试样。试样的名称和结构列于表 1 和表 2 中。

表 1 填料试样

产品名称	结 构	产品名称	结 构
P# 4513	用石棉线作外套编结层，表面浸渍聚四氟乙烯	P# 6507	把浸渍聚四氟乙烯的碳素纤维编成方形
P# 4533	把浸渍聚四氟乙烯的石棉线编结成方形	P# 6610	将片状石墨（グラフォイル）卷起来制成
P# 4533L	在P#4533中浸渍低粘度的润滑油	P# 4360	聚四氟乙烯“V”形环，并用弹簧
P# 4525	将聚四氟乙烯维纤编结成方形	P# 4360	夹金属聚四氟乙烯“V”形环，并用弹簧
P# 4505L	在P#4525中浸渍高粘度润滑油		

表 2 垫片试样

产 品 名 称	结 构
P# 5360	丁腈橡胶系粘接剂石棉板垫片，相当于JPI A级
P# 5550	丙烯腈含量高的丁腈橡胶系粘接剂石棉板垫片相当于JPI B级
P# 2100GOR	缠绕式垫片，带钢SUS304，填充物为气体处理石棉纸
P# 2500R	缠绕式垫片，带钢SUS304，填充物为聚四氟乙烯纸
P# 6630	石墨（グラフォイル）

方形填料的尺寸为内径 20mm×外径 33mm×宽 6.5mm的环状。如图 2，插入 25mm宽的灯笼环，每边各 3 圈共使用 6 圈填料。聚四氟乙烯“V”形环的形状表示在图 3 和图 4 中。

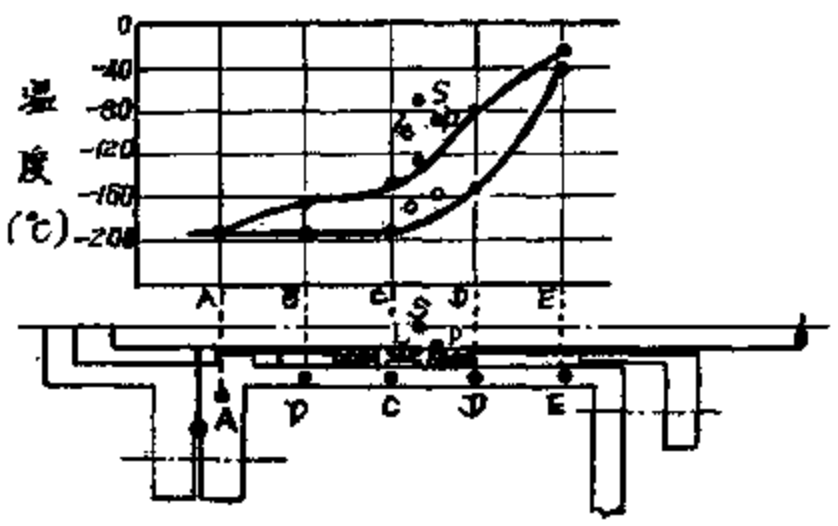


图 2 温度分布

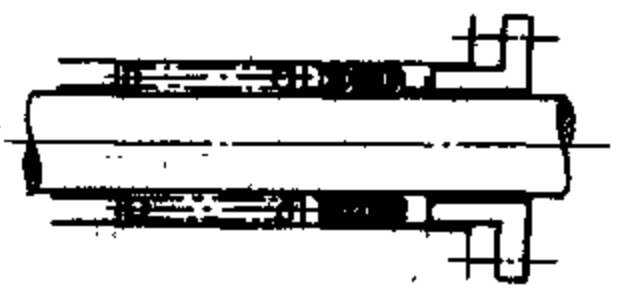


图 3 聚四氟乙烯“V”形环

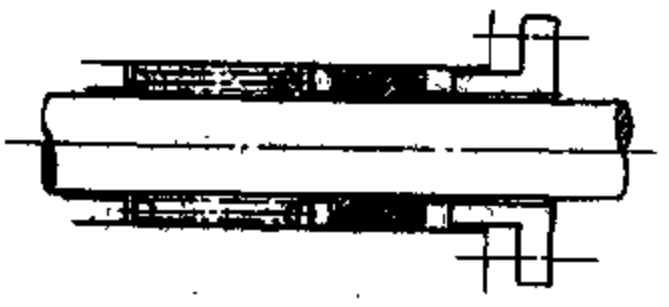


图 4 夹金属聚四氟乙烯“V”形环

4. 试 验 结 果

4. 1 填料的试验结果

填料试验，先在常温下压紧，测定阀杆转矩和压力 40kg/cm²下的氮气泄漏量，然后以约 1℃/分的降温速率冷却填料部分，并测定转矩和泄漏量。在最低温度下保持 30 分钟之后，以约 1℃/分的速率升温。用这种试验方法得到的结果表示在图 5 至图 8 中。图 5 和图 7 是转矩的变化，图 6 和图 8 是泄漏量的变化。这里，填料的温度是这样求得的：如图 2 所示，在这些试验前将热电偶插入 P 部和 L 部，测量与各部分的温度差，在实际试验时根据周围的温度换算 L 部的温度。

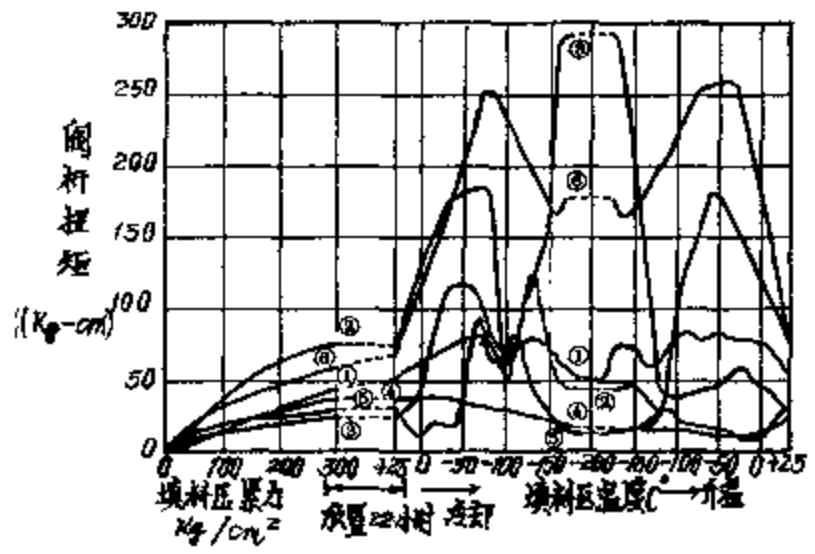


图 5　填料的试验结果　阀杆转矩

①—P#4513　②—P#4533　③—P#4533　④—P#4525
⑤—P#4505　⑥—P#6507

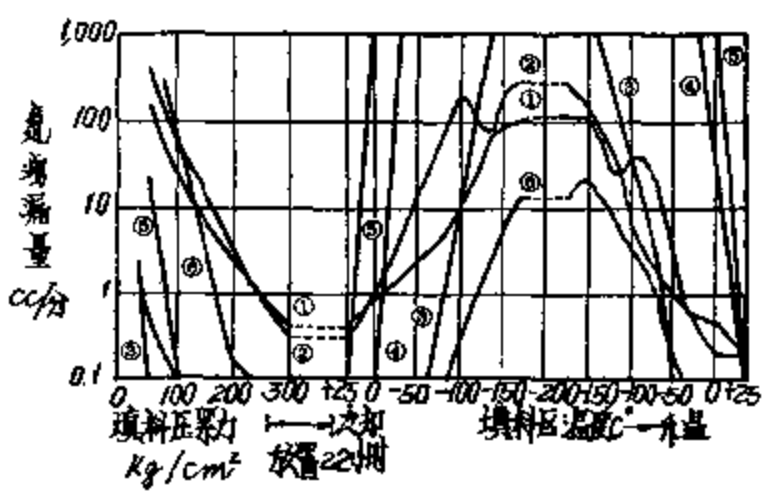


图 6　填料的试验结果　泄漏量

图中 0 → −50为冷却

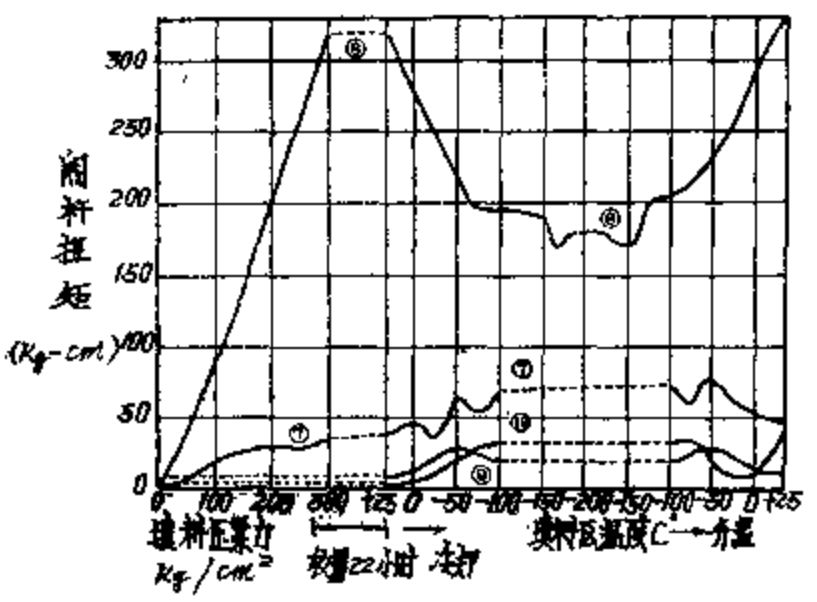


图 7　填料的试验结果　阀杆转矩

⑦—在P#4513上涂硅润滑脂　⑧—P#6610　⑨—聚四氟乙烯“V”形环　⑩—夹金属聚四氟乙烯“V”形环

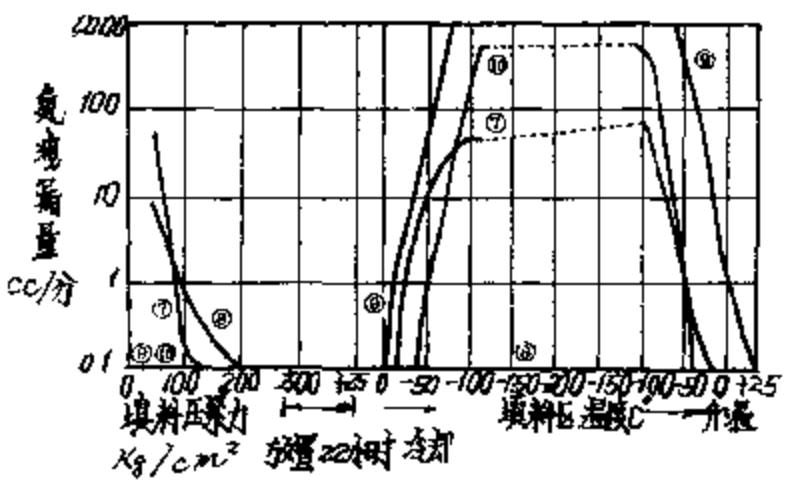


图 8　填料的试验结果　泄漏量

（1）浸渍聚四氟乙烯的石棉填料

P#4513、P#4533、P#4533L等通常称作浸渍聚四氟乙烯的石棉填料。石棉和聚四氟乙烯的配合比与润滑油的有无有关。不含油的不能完全密封氮气，而且随着温度的下降泄漏量增多。含油的在常温下有最好的密封性，但是在－50℃时发生泄漏，在超低温时处于漏气状态。转矩随温度的降低而增大，当温度降低到泄漏量增大的时候反而有减小的趋势。在各温度下转矩

都稳定地是不含油的含有少量聚四氟乙烯的P#4513。

因此，对在P#4513的表面涂敷硅润滑脂的填料也进行了试验。这也是一种通常使用的方法密封性确实得到提高，转矩也稳定在很低值。可是，在－20℃以下硅润滑脂的功效几乎丧失，发生泄漏。

（2）聚四氟乙烯纤维填料

P#4525、P#4525L是聚四氟乙烯纤维填料。常温的密封性非常好，但在低温下没有密封能力。特别是浸渍油的，只要温度稍有下降就发生泄漏。

（3）浸渍聚四氟乙烯的碳素纤维填料

浸渍与P#4533相同的聚四氟乙烯悬浮液的碳素纤维填料P#6507，低温下的转矩上升很大，可是在编结填料中是一种在低温下还保持完全密封性的填料。在超低温下泄漏量也不超过20cc/分，表现出良好的密封性。

（4）グラフオイル填料

P#6610是由100%的片状石墨构成。这种填料在超低温下也有完全的密封性。阀杆转矩要比其它的填料高，但随温度的降低而降低。这是一种与其它的填料相反的倾向。

（5）聚四氟乙烯“V”形环

是一种并用弹簧和有张力材料的设计，只需很小的预紧力就能够完全密封。而且转矩也非常小。可是降到0℃以下后密封能力消失。

为了减少聚四氟乙烯的收缩量，对嵌有金属的“V”形环进行了试验。这种填料能耐到－40℃左右，具有一定的效果。

4. 2 垫片的试验结果

试验垫片的时候，中间温度范围的测量是困难的，因此研究常温和液态氮的沸点，－196℃的密封性和再回到常温时的密封性。压力为40kg/cm²。

（1）石棉板垫片

普通的石棉板垫片就是在常温下完全密封氮气也是困难的。如在超低温下使用，涂敷过硅润滑脂的有良好的密封性。

（2）其它的垫片

グラフオイルシート和缠绕式垫片都有完全的密封性。可是缠绕式垫片的压紧面的压力值比较高。

表3 垫片的试验结果

种　类	表面处理	压紧面压力(kg/cm²)	氮气泄漏量(cc/分) 常温	－196℃	常温
P# 5360	—	400	4.0	6.0	1.4
P# 5550	—	500	0	0.2	0
P# 5360	硅润滑脂	400	0.1	1.0	0.7
P# 5550	硅润滑脂	400	0	0	0
P# 6630		400	0	0	0
P# 2100GOR		800	0	0	0
P# 2500		800	0	0	0

尺　寸　P# 5360，P# 5550　：44×76×1.5
　　P# 6630　：44×76×0.38
　　P# 2100GOR、P #2500：47×64×4.8

5. 讨 论

试验超低温用的试验装置，对拟选作LNG用的填料垫片材料进行了试验。其结果，石墨或碳素系的填料垫片有良好的性能，特别是只用石墨制成的グラフオイル制的填料垫片，在超低温下也发挥了完全的密封性。一般认为，这是由于它的热膨胀率比周围的金属还要小。当作垫片使用是最适宜的材料。可是作填料使用时往往嫌阀杆转矩太大。

现在，使用得最多的浸渍聚四氟乙烯的石棉填料和石棉板垫片，在常温下完全密封气体都被认为是困难的。试验也证实了这个结论。这是因为，如果想完全密封而增加聚四氟乙烯和橡胶的量或加油，由于低温下的性能变坏，所以结果是最少限度加入聚四氟乙烯和橡胶的填料垫片有最好的性能。为了提高密封性，常常利用在它的表面涂敷硅润滑脂的方法。填料和垫片都有效。可是不涂硅润滑脂的基体材料的特性，在低温下才能发挥，而且涂厚厚一层的硅润滑脂，低温下的性能反而恶化，所以应该认为涂敷只是个辅助手段罢了。

聚四氟乙烯纤维填料，由于聚四氟乙烯的热膨胀系数大，就那样是完全不能使用的。单用聚四氟乙烯制成的“V”形环也是一样。使用聚四氟乙烯的时候，如何将低温下的收缩量设计得小呢，是个问题。只要在“V”形环中加入金属就有相当的效果。聚四氟乙烯“V”形环的压紧压力和转矩都是极小的，所以利用加长阀盖的散热很好地进行设计，利用价值是很高的。

上面说的是填料垫片的特性，关于材料试验的结果省略了。可是，其中特别有趣味的是聚四氟乙烯纤维的延伸率，在－196℃的超低温下也在其它的高分子纤维5倍以上，将聚四氟乙烯使用在填料垫片的表面并置于超低温下，可以评价为具有当作填料使用的优异的性能。而且グラフオイル还是一种新型的材料，超低温下的研究尚未充分进行。可是，由实验结果可以预料，它是一种很有希望的材料。垫片试验的结果表明其它的垫片料材也可以得到好的性能，但是，是不是能应用在大口径的配管中还有问题。由法兰的应变、配管系的收缩等引起的压紧力的降低，弯曲应力的增加，另外，由铝合金和不锈钢的异种金属法兰带来影响等的局部情况也是现实上的重大问题。对于这些问题，各种垫片材料有何种程度的适应性，是一个一定要设法掌握的课题。

上海阀门三厂　宋永生译自《超低温技术》№·25

合肥通用机械研究所　袁玉球校

[General Information]
书名=化工与通用机械参考资料　　阀门填料密封
作者=合肥通用机械研究所编辑
页数=112
SS号=10902011
出版日期=1977年12月

封面页
前言页
目录页
１．阀门填料函设计中的若干问题　合肥通用机械研究所［郑植荔］
２．阀门用的填料和垫片　〔日〕［中川孝次］
３．压缩填料〔英〕［Ｂ．Ｄ．Ｈａｌｌｉｇａｎ］
４．高压填料的基础分析〔美〕［Ｔｈｏｍｓｏｎ．Ｊ．Ｌ］等
５．密封与填料的革新
６．ＢＳＰ－６００波型填料的试验研究　合肥通用机械研究所　上海石棉制品厂
７．ＢＳＰ－６００波型填料的试制工艺　合肥通用机械研究所　上海石棉制品厂
８．ＹＢＦ成型填料密封性能试验　上海阀门厂　上海材料研究所
９．阀杆腐蚀的原因和防止的方法　北京热电厂　上海石棉制品厂　合肥通用机械研究所
１０．新的试验工作阐明原子能阀杆密封和填料的准则〔美〕［Ａ．Ｋ．Ｖｅｌａｎ］
１１．增加填料高度能否改善密封性的新见解－－在原子能阀上的研究结果〔美〕［Ｒ．Ｐ．Ｃｈａｍｐａｇｎｅ］
１２．水在阀门填料函处的泄漏〔美〕［Ｆ．Ｃ．Ａｐｐｌｅ］
１３．软质填料的收缩性和侧压力〔苏〕［Ю．и．бубиов］
１４．填料函摩擦表面的磨损〔苏〕［Н．Б．Вологодский］等
１５．阀门填料函的温度控制〔英〕［George　I．Chinn］
１６．石棉及耐火纤维制的超高温填料〔日〕［栗原隆夫］
１７．液态填料在阀门中的应用〔日〕［原田静男］
１８．波型填料试验报告　上海阀门厂、上海石棉制品厂
１９．超低温阀门填料垫片的特性〔日〕［素本博之］等
附录页