

化工与炼油机械

双革四新资料选编

产 品 分 册

全国化工与炼油机械行业情报网
东北、华东地区“双革四新”调查组编

兰 州 石 油 机 械 研 究 所
上 海 锅 炉 厂
上 海 化 工 机 修 总 厂
上 海 新 建 机 器 厂

毛主席语录

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

人的正确思想，只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来。

坚持政治挂帅，加强党的领导，大搞群众运动，实行两参一改三结合，大搞技术革命。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

要把一个落后的农业的中国改变成为一个先进的工业化的中国，我们面前的工作是很艰苦的，我们的经验是很不够的。因此，必须善于学习。

前 言

近年来,我国化工与炼油机械工业正在突飞猛进地发展,特别是在波澜壮阔的无产阶级文化大革命中,在伟大领袖毛主席关于“抓革命,促生产”和“备战、备荒、为人民”的伟大方针指引下,广大工人阶级高举《鞍钢宪法》的光辉旗帜,狠批叛徒、内奸、工贼刘少奇所推行的“洋奴哲学”、“爬行主义”、“专家治厂”等反革命修正主义路线,实行两参一改三结合,大搞技术革新和技术革命,取得了丰硕的成果。

为了适应新的工业跃进形势,进一步推动“双革四新”群众运动的蓬勃开展和促进化工与炼油机械工业的飞速发展,“全国化工与炼油机械行业技术情报网”网组长单位协同东北、华东地区情报网,共同组织了该两地区的“双革四新”调查组,于一九七一年五月二十七日至七月二十四日开展了学习、交流和推广活动。参加这次调查活动的单位有哈尔滨锅炉厂、吉林化工机械厂、开原化工机械厂、抚顺市机械厂、金州重型机器厂、锦西化工机械厂、合肥化工机械厂、南京第二化工机械厂、苏州化工机械厂、上海锅炉厂、上海新建机器厂、上海化工机修总厂、杭州锅炉厂、福建省三明化工机械厂、华东石油学院、大连工学院、合肥通用机械研究所、兰州石油机械研究所。在近二个月的调查中,先后调查了十九个单位(包括华北地区的北京市金属结构厂),总结了近二百项“双革四新”成果,其中有些项目达到了一定的先进水平。如具有我国独特风格的化肥工业用“三合一”、“四合一”高压容器,螺旋板式换热器等新产品;等离子焊接、二氧化碳气体保护焊、滚丝、机械穿管、可控硅等新工艺、新技术,普低钢与工程塑料等新材料。这些都值得在行业厂中推广。

通过调查活动,还进一步密切了行业各厂的联系,促进了各厂的“双革四新”活动和技术情报工作的开展。

调查过程中,行业各厂的广大工人和技术人员迫切要求将收集、总结的资料汇编出版,以便广泛交流和推广。为此,我们选编了东北、华东地区行业厂自文化大革命以来所涌现出来的部分“双革四新”成果资料,并以产品、焊接、冷作、机加工和热加工等四个分册陆续出版。

由于我们毛泽东思想学得不好,业务水平有限,调查过程和编辑整理时间仓促,因此,错误和遗漏之处一定不少,恳请读者批评指正。

在调查和汇编中,我们得到了许多兄弟单位的大力支持,并提出宝贵意见,特此表示谢意。

编 者

一九七一年九月

目 录

1. $\phi 1000$ 毫米扁平绕带式高压容器……南京第二化工机械厂、合肥通用机械研究所(1)
2. 扁平钢带倾角错绕高压容器的试制 ……………上海东方红锅炉厂(15)
3. 绕板容器试制总结 ……………哈尔滨锅炉厂(38)
4. $\phi 500$ 毫米绕板式高压容器的试制……北京市金属结构厂、合肥通用机械研究所(54)
5. 热套容器的试制 ……………哈尔滨锅炉厂(74)
6. 氨分离器、油分离器、冷交换器“三合一”塔……南京第二化工机械厂(79)
7. 小化肥“四合一”高压容器的设计、制造与试验……杭州锅炉厂(86)
8. 内径 $\phi 900$ 毫米球形容器的爆破试验报告 ……………哈尔滨锅炉厂(93)
9. ~~4.5~~ 万吨/年尿素合成塔的制造 ……………上海锅炉厂(108)
10. ~~4.5~~ 万吨/年尿素合成塔球形封头开孔应力测定 ……………上海锅炉厂(124)
11. $\phi 6100$ 毫米普低钢球形容器的制造 ……………北京市金属结构厂(129)
12. 球形容器的瓣片切割工艺 ……………上海新建机器厂(134)
13. 压力容器采用十字焊缝试验……兰州石油化工机器厂、兰州石油机械研究所(138)
14. 3000—5000吨/年合成氨高压容器自紧式密封……上海化工机修总厂(149)
15. 高压三角形密封环试验总结 ……………金州重型机器厂(155)
16. $\phi 550$ 毫米空心金属“0”形环高压密封试验
……………南京化工机械厂、兰州化工机械研究所(159)
17. 螺旋板式换热器 ……………苏州化工机械厂(164)
18. 板式换热器 ……………兰州石油机械研究所(172)
19. 伞形板式换热器……天津化工石油设备厂、合肥通用机械研究所(178)
20. 蜂窝板式换热器 ……………合肥通用机械研究所(182)
21. 板壳式换热器……江西化工石油机械厂、兰州石油机械研究所(192)
22. 大型板翅式换热器 ……………上海东方红锅炉厂(200)
23. 圆形波纹板换热器……南京第二化工机械厂、南京化工研究院(205)
24. 水调质 14MnMoV 钢的应用 ……………哈尔滨锅炉厂(211)
25. 内径 $\phi 800$ 毫米 14MnMoVB 钢多层卷板式高压容器……南京化工机械厂(215)
26. 内径 $\phi 1000$ 毫米氨合成塔制造总结——普通低合金钢异种钢焊接生产
……………南京化工机械厂(231)
27. $\phi 800$ 毫米铬锰氮无镍不锈钢 (A_4) 衬里尿素合成塔 ……………南京化工机械厂(244)
28. 维尼纶设备的制造 ……………上海新建机器厂(263)
29. 12AlMoV(上 104) 钢加工工艺 ……………上海新建机器厂(269)
30. 15Al3MoWTi 耐蚀钢焊接试验……北京市金属结构厂(277)
31. -70°C 09 锰 2 钒钢及其焊接材料的低温爆破试验及在生产中的应用
……………上海东方红锅炉厂(284)

32. 钛制设备的生产 上海新建机器厂(313)
33. 钛制冷却器的制造 锦西化工机械厂(321)
34. 工程塑料——玻璃钢球阀 锦西化工机械厂(327)
35. 金属喷镀的防腐应用 上海化工机修总厂(331)
36. 轧制法兰 合肥通用机械研究所(337)

φ 1000 毫米扁平绕带式高压容器

南京第二化工机械厂、合肥通用机械研究所

自 φ 500 扁平绕带式高压容器冲破了重重阻碍,成功地进行了爆破试验并获得投产以来,事实说明这种新型容器具有无限的生命力。以同样一台合成塔来说,绕带式的成本比多层式降低约 38%,材料节省约 46%,工时减少 20%以上,工序从 21 道减少到 12 道,特别是减少了对工人身体有害的喷砂、深缝焊接和深缝 X 探伤等工序。这样一个多快好省的新生事物得到了广大工人师傅的热情支持。为了使我国独创的新型容器更加完善,在更大的范围内获得使用并在高压容器的设计制造上走出一条自己的道路来,我厂的工人阶级依靠了毛泽东思想,成功地爆破了我们首创的第一台 φ 1000 扁平绕带式高压容器。

试制 φ 1000 绕带容器的目的是考核此容器在大直径、高压下的综合性能。其中包括容器的承载强度;具有较大厚度钢带层的容器的应力状态,大直径容器的绕制工艺,进一步考察扁平绕带式容器受力机理以及设计公式。

容 器 设 计、制 造

1. 设计条件

工作压力 $p = 320$ 公斤/厘米², 容器内径 $D = 1000$ 毫米, 材质 16Mn,

设计公式 $\sigma = \frac{\sqrt{3} K^2}{K^2 - 1} p \leq \frac{\sigma_s}{n_s}$; 式中 $\sigma_s = \sigma_{s1} \frac{\delta_1}{\delta} \varphi_1 + \sigma_{s2} \frac{\delta_2}{\delta} \varphi_2$,

综合屈服限 $\sigma_s = 3550$ 公斤/厘米², n_s 取 2; 内筒和带层的焊缝系数 φ_1, φ_2 均取 1。

2. 容器参数

内 径 $D = 1000$ 毫米; 外 径 $D_H = 1216$ 毫米; 壁厚比 $K = 1.216$;
内筒厚度 $\delta_1 = 28$ 毫米; 带层厚度 $\delta_2 = 80$ 毫米; 总厚度 $\delta = 108$ 毫米;
内筒长度 $l = 4350$ 毫米; 容器总长 $L = 5310$ 毫米。

3. 材料

现将容器用材情况汇总于表 1。

表 1

		材 料 机 械 性 能				材 料	材 料 规 格	材 料 质 量
		σ_b (公斤/厘米 ²)	σ_s (公斤/厘米 ²)	δ %	α_K (公斤·米/厘米 ²)			
内筒	原 材 料	5750	3540	29.6	12.3	16Mn	三张钢板厚度分别为: 27.5 毫米 27.4 毫米 27.4 毫米	三张钢板经100%超声波探伤合格。表面质量较差,有大量凹痕和麻点,最深的凹痕达3毫米以上,并有一处有较为严重的重皮(面积较大)。
	经650℃退火	5600	3490	29.7	12.0			
	爆破口碎片	7000	不明显	6.8	1.5			
钢带	原 材 料	5510	3810	25.1	8.3	16Mn	宽度偏差 80±0.3 毫米 厚度最大偏差 0.3 4±0.2 毫米	盘状供货,表面质量良好。
	经滚轮冷拉	5940	不明显	15.8	5.8			
	爆破口附近	6470	不明显	7.2	/			
锻件	顶 部	5100	3800	24	7.2	20MnMo		顶部锻件经超声波探伤合格,而底部发现φ8密集的缺陷,大大超出了JB755-65标准许可范围。
	底 部	5050	2950	23	5.6			
备 注		钢带原材料和经滚轮后机械性能是抽查全部钢带盘数的25%进行试验的平均结果,每盘钢带绕制前后各取二根试样。						

4. 容器制造

(1) 内筒组合

内筒纵焊缝采用手工焊,焊条为上焊 41,焊后经 650°C 退火,经 X 探伤为 III 级片。

内筒环焊缝为不等边 X 型坡口,采用上焊 41 焊条手工焊接,经 X 光探伤为 III 级片。外面焊接时,预热到 150°C ,里面焊接时未加热。

内筒与锻件组合环焊缝为 U 型坡口手工焊,预热规范为 $150^{\circ}\sim 200^{\circ}\text{C}$,实际温度较低,采用上焊 41 焊条,顶部锻件环焊缝探伤,因焊缝处总厚度 56 毫米已超过 250KV X 光机允许照射厚度,故 X 光底片较模糊,第一次评片为合格片,后覆查底片发现在焊缝边缘处有 5~6 毫米夹渣,已超过标准允许缺陷范围。底部锻件处焊缝因锻件直伸进内筒部分长度较短, X 光无法照,故未经探伤。

(2) 内筒组合后,表面质量和几何尺寸

内筒外表面有三处点焊补焊痕迹,在这些点处发现有发裂现象。

内筒最大椭圆度为 1.75 毫米,具体尺寸见表 2。

内筒组合后最大不直度为 2 毫米。

内筒内径测量断面位置及尺寸见图 1 和表 2。

(3) 内筒的水压试验

按 0.6 倍内筒屈服压力 120 公斤/厘米² 进行水压试验,未发现任何渗漏现象。

(4) 容器的绕制

容器沿两封头安置于两转台上,容器顶底锻件端面上的螺孔与绕带机床车头和尾架相连接,校正后进行绕制。

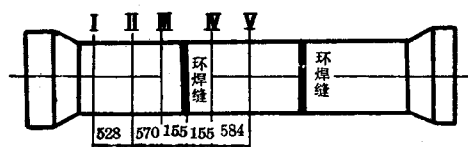


图 1 内筒测量断面示意图

表 2

(单位:毫米)

方 向 \ 断 面	I	II	III	IV	V
0°	1000+1.95	1000+1.68	1000+1.45	1000+1.33	1000+0.85
90°	1000+2.03	1000+2.05	1000+1.77	1000+2.5	1000+2.59

A. 预应力测量

a. 钢带预应力测量

本台容器的钢带预拉应力是通过机床上一油压千斤顶施加钢带一正压力,使其产生变形,当钢带缠绕时,克服此变形阻力而得到的。通过电测得到千斤顶压力与钢带预拉力之间关系。

实测钢带预拉应力时,大多在没经过预弯的平直钢带上贴片测得。实际上钢带绕制到筒体上是经过预弯的。先后测量了几根钢带的预拉应力,见图 2。

试验容器前 10 层钢带的千斤顶压力在 130~140 公斤/厘米²,以后控制的压力多在 170~180 公斤/厘米²,个别达 195 公斤/厘米²。从图 2 可知实际预拉应力控制在 800~1900 公斤/厘

米²之内。

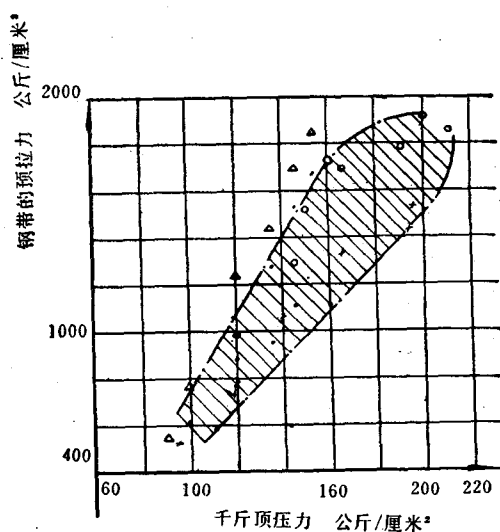


图2 千斤顶压力对钢带预拉力的影响

图中“△”实测点是在经过预弯的钢带上贴片测得的,结果偏高些。

b. 内筒预加应力的测量

内筒布片和绕制后内筒预加应力分布见图3,括弧内的数字表示应力值。

内筒预应力和绕制层次的关系见图4。

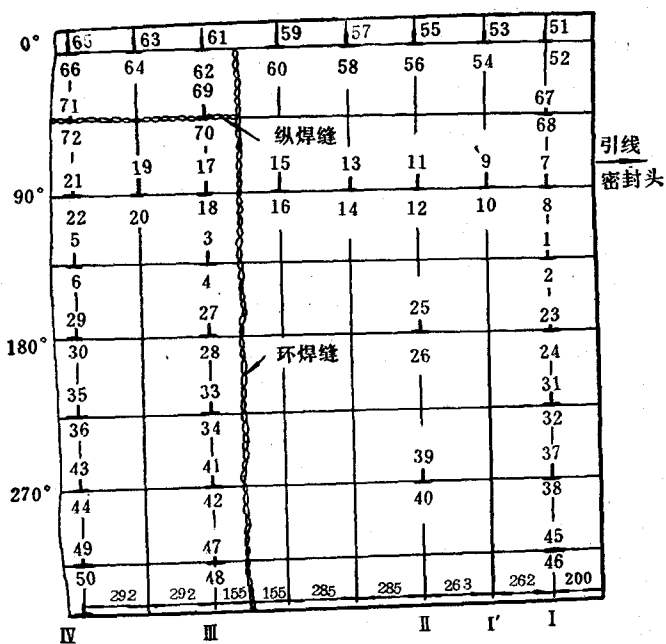


图3 内筒预加应力测点示意图

内筒各点预加应力实测值见附表。

附表

测点	实测值	测点	实测值	测点	实测值	测点	实测值	测点	实测值
1	-1920	16	-745	31	-1590	46	-520	61	-2420
2	-660	17	-2200	32	-427	47	-2090	62	-985
3	-2210	18	-756	33	-1980	48	-535	63	
4	-670	19	-2490	34	-502	49	-2690	64	
5	-2740	20	-1045	35	-2530	50	-1283	65	-2620
6	-1270	21	-2630	36	-965	51	-1740	66	-1164
7		22	-1160	37	-1810	52	-417	67	
8		23	-1600	38	-512	53	-2210	68	
9	-2250	24	-384	39	-2270	54	-734	69	
10	-800	25	-2150	40	-945	55	-2430	70	
11	-2440	26	-815	41	-1970	56	-835	71	-2540
12	-872	27	-2040	42	-510	57	-2090	72	-1018
13	-2140	28	-610	43	-2720	58	-723	73	
14	-580	29	-2450	44	-1025	59	-2030	74	
15	-2120	30	-900	45	-1760	60	-505	75	

由图4可见：①绕制到第6层以后，在I环上，预应力随层次变化减小。在第14层以后绕制的层次几乎对I环的预应力没有影响。这可能是不能保证两头缠绕很紧所致。②第6、10、16层时，Ⅲ环上出现明显三个凹点，这可能是某种原因造成该环所有电阻片系统误差引起（该环共用一补偿片一补偿点）。否则这条线应接近线Ⅳ。③线Ⅱ和线Ⅳ在第17层以内很接近，Ⅱ线比Ⅳ线稍低，这可能是Ⅱ环离封头较近之故。④线Ⅰ远较线Ⅱ、Ⅳ低是由于Ⅰ环位于封头附

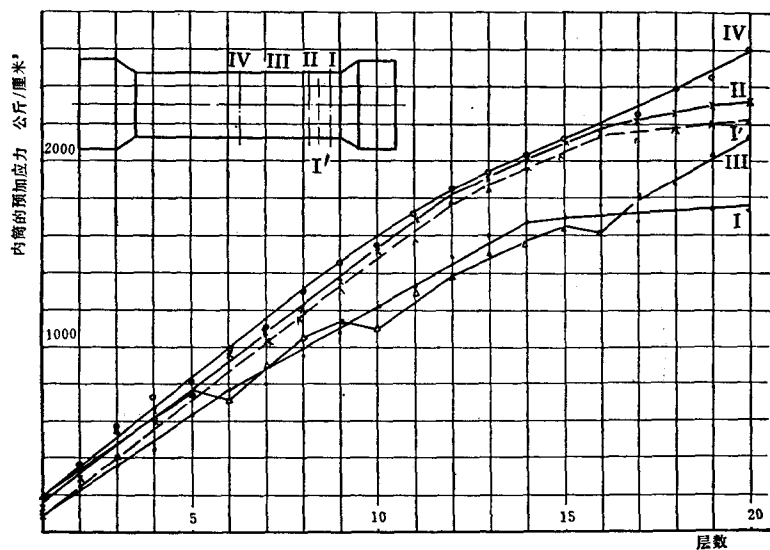


图4 各环平均的环向预应力与层次的关系

近,且又绕制不紧所致。⑤线Ⅱ和线Ⅳ在第18层以后相差较大可能是两头绕制较松,随层次增加对筒体中部逐渐影响所致。

内筒的扭矩测量和以前历次结果一样,其值很小。

B. 绕制质量

容器绕制的一般参数详见表3。

表 3 钢带绕制工艺参数

层 数	千斤顶压力 (公斤/厘米 ²)	根 数	导 程 (毫米)	筒 体 直 径 (毫米)	倾 角	
					计 算	实 际
1	150	22	2050	1056	32°	32°
2	150	22	2050	1064	31°42'	32°
3	150	22	2050	1072	31°24'	31°30'
4	150	22	2050	1080	31°12'	31°30'
5	150	22	2050	1088	31°	31°30'
6	150	22	2050	1096	30°52'	31°30'
7	150	22	2050	1104	30°48'	31°
8	150	22	2050	1112	30°32'	30°30'
9	150	22	2050	1120	30°24'	30°30'
10	150	22	2050	1128	30°12'	30°
11	170	22	2050	1136	30°	30°
12	170	22	2050	1144	29°48'	29°45'
13	170	22	2050	1152	29°36'	29°30'
14	170	22	2050	1160	29°24'	29°30'
15	170	22	2050	1168	29°18'	29°
16	170	22	2050	1176	29°12'	29°
17	170	23	2050	1184	29°	29°
18	170	23	2050	1192	28°48'	28°30'
19	170	23	2050	1200	28°40'	28°30'
20	170	23	2050	1208	28°30'	27°

a. 第一层钢带由于机床压紧装置前导轮的曲率过大,钢带经压紧装置拉出后,预变形量较大,绕上筒体后,沿钢带宽度方向中部约有20~30毫米的松动现象,为了减少钢带预变形量,将压紧装置前导轮曲率减小,钢带中部松动消除。但又发现两侧有翘边现象。

b. 钢带间间隙比较均匀,本台容器各层钢带间隙比较小,最大间隙在4毫米以内,一般为2毫米。

c. 由于钢带预应力的测量装置及绕制工艺不够完善,电测结果反映了同层钢带之间受力情况均不相同,而同一钢带受力比较均匀。这说明一根钢带绕制是均匀的,而钢带间不太均匀。在容器两端,由于钢带在此处不能拉的很紧,故有200~300毫米处钢带贴合较松。

(5) 容器缠绕后几何尺寸测量

A. 容器周长测量情况及其基准点见表 4 和图 5。

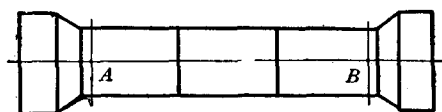


图 5 测量容器周长时的基准点

表 4

与 A 距离(毫米)	360	880	1610	2450	3090
周 长(毫米)	3803	3802	3796	3800	3796
对应直径(毫米)	1211.1	1210.8	1208.9	1210.1	1208.9
与 B 距离(毫米)	360	880			
周 长(毫米)	3805	3804			
对应直径(毫米)	1211.8	1211.4			

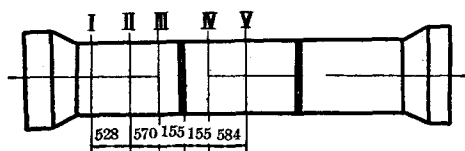


图 6 内筒测量断面示意图

表 5

(单位:毫米)

方 向 \ 断 面	I	II	III	IV	V
0°	1000 ^{+1.04}	1000 ^{+1.10}	1000 ^{+0.15}	1000 ^{+0.83}	1000 ^{+0.97}
90°	1000 ^{+0.2}	1000 ^{+0.90}	1000 ^{+0.85}	1000 ^{+0.85}	1000 ^{+1.00}

由测量数据可知,容器缠绕后两端距封头 360 毫米处直径较容器中部稍大,主要是由于钢带在二端压紧贴合的不够紧,及焊缝处磨平不够。

B. 容器缠绕后内径尺寸

容器缠绕后,内径有减小,0°方向直径减小平均值为 0.88 毫米,90°方向直径减小的平均值为 1.35 毫米。详见表 5 及图 6。

(6) 容器的冷绕工艺

冷绕工艺即常温下钢带在拉伸状态绕于筒体上。此种工艺具有一定的优点,为大多数工厂采用。现各厂在生产中,拉伸作用均是由牵引钢带通过一与校平机型式相似的滚轮组,克服钢带变形阻力而形成的,一般预拉应力取材料屈服限 30%~40%。

为了掌握钢带经滚轮组反复弯曲后,机械性能的变化情况,对几种不同钢号的带材预拉前后的机械性能进行了测定(表 6)。

表 6

材 质	性 状 能 态	σ_b (公斤/厘米 ²)		σ_s (公斤/厘米 ²)		δ %		α_x (公斤·米/厘米 ²)		预拉力的大小
		预拉前	预拉后	预拉前	预拉后	预拉前	预拉后	预拉前	预拉后	
A ₃ F 钢带		48.1	51.2	32.5	不明显	26.2	18.3	未作	未作	较小(未测定)
16Mn 钢带		55.1	59.4	38.1	不明显	25.1	15.8	8.3	未作	40%的屈服限
14MnV 钢带		75.7	79.9	49	64.8	13.9	11	未作	未作	较小(未测定)
14MnMoV 钢带		91.8	98.5	72.7	84.3	19.7	16.7	未作	未作	较小(未测定)
16Mn 层板		轧元前	轧元后	轧元前	轧元后	轧元前	轧元后	未作	未作	
		60.3	60	40	39.4	24.2	24.2			

表 6 说明钢带经预拉后,强度有了提高,但延伸率降低较多,而多层式层板轧元前后延伸率变化甚小。此结果表明用这种绕制方法所获得的容器塑性受到影响。同时,说明了延伸率和施加的预拉应力大小及方法有关。容器的绕制质量是与钢带中的预拉应力大小有关,但钢带的贴合质量并非唯一取决于预拉应力(预拉应力过大过小都不恰当),它与绕制工艺也是密切相关的。因此创造良好的绕制工艺,在保证贴合质量的前提下,适当的降低预拉应力的数值,对容器的强度,延伸率的消耗,以及设备等各方面都是有益的。

爆 破 试 验

1. 试验概述

爆破容器结构示意图见图 7。

试验过程共进行了 8 个循环,如图 8 所示。试验在第 V, VI 循环时均由于内筒两封头部位环焊缝相继裂开而泄漏(发生开裂的原因和补救的方法从略),经修复后继续进行爆破。

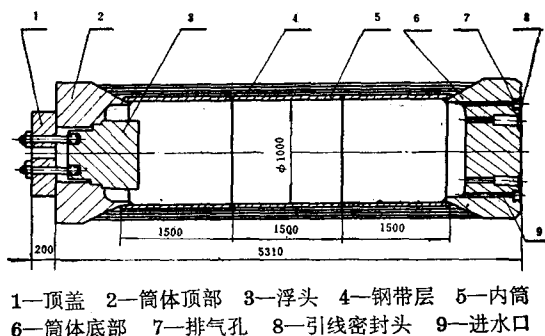


图 7 爆破容器示意图

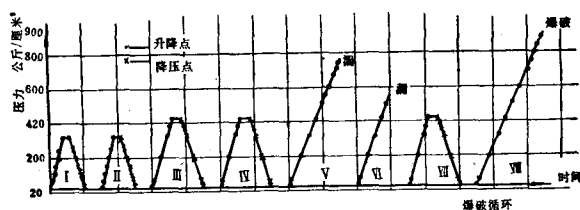


图 8 爆破过程加压循环

整个试验进行了内、外壁应力测量，外壁百分表径向与轴向测量，以及加水量的测量(第Ⅶ,Ⅷ循环电阻片重新贴片,百分表架重新安装)。

2. 内壁应力测量 根据测量结果归纳成:

$\varepsilon_T = k p$, $\varepsilon_z = k_1 p$, 相应的应力 $\sigma_T = K P$, $\sigma_z = K_1 P$; 并将斜率 k , k_1 , K , K_1 列于表 7。

表 7

循 环	断 面	I		II		III		IV		备 注
		$\times 10^{-6}$ aT	公斤/厘米 ² aT	$\times 10^{-6}$ aT	公斤/厘米 ² aT	$\times 10^{-6}$ aT	公斤/厘米 ² aT	$\times 10^{-6}$ aT	公斤/厘米 ² aT	
一	$k(K)$	3.29	7.50	3.42	8.26	3.37	7.20	3.10	7.17	平均数 据内以 第三, 四,五 循环为 准。
	$k_1(K_1)$									
二	$k(K)$	3.09	7.20	3.20	7.77	3.15	7.02	2.87	7.17	
	$k_1(K_1)$	0.61	3.32	1.11	4.20	1.12	4.08	0.877	3.97	
三	$k(K)$	2.99	6.95	3.12	7.35	3.00	7.17	2.94	6.85	
	$k_1(K_1)$	0.522	3.30	0.99	3.93	1.01	3.85	0.77	3.55	
四	$k(K)$	3.06	6.96	3.16	7.62	3.06	7.10	3.02	6.98	
	$k_1(K_1)$	0.575		1.04	4.16	0.99	3.85	0.80	3.65	
五	$k(K)$	3.03	6.90	3.08	7.32	3.05	7.00	2.90	6.93	
	$k_1(K_1)$	0.61		1.01	3.98	0.954	3.75	0.81	3.58	
平均	$k(K)$	3.03	6.95	3.12	7.45	3.04	7.09	2.95	6.93	
	$k_1(K_1)$	0.57	3.31	1.01	4.03	0.98	3.82	0.79	3.59	
各点实测范围		2.96~3.15	6.85~7.10	2.94~3.43	6.74~8.20	2.67~3.09	6.54~7.50	0.83~3.16	6.52~7.25	此值指 各断面 上所有 点而言
		0.46~0.66	2.96~3.78	0.85~1.21	3.44~4.4	0.9~1.1	3.81~3.90	0.7~0.96	3.09~3.96	

3. 内壁残余变形 根据测量结果,各个加压循环都存在残余变形,各典型点在各循环中的残余变形列于表8。从表8的数据分析,各个循环残余变形并非很大。

表 8

应 变 $\varepsilon \times 10^{-6}$	片 号	7	8	11	12	13	14	25	26
一		67	12	32	-35	41	7	69	-12
二		66	-11	83	62	50	70	46	54
三		62	13	64	15	48	8	61	2
四		40	57	42	-1	43	34	49	30
累 计 值		235	71	221	41	182	119	225	74
相应应力(公斤/厘米 ²)		567	306	517	231	480	380	541	306

4. 容器内壁的屈服压力 容器的屈服压力是项重要的数据,但组合式容器的屈服和其它容器不相同,很难确定,目前确定其屈服压力方法也并不一致,在此根据几种不同方法得到的屈服压力列于表 9。

表 9

计算 方法	断 面 位 置		I	II	III	IV	最低屈服压力所在断面
	屈服压力(公斤/厘米 ²)						
按 0.2%残余变形计算			726	762	760	727	I
按当量应力(第四强度理论计算)达到材料屈服应力计算	不计容器预应力		478	475	470	460	IV
	考虑预应力和累计残余应力		555	602	580	617	I
按 ϵ — p 曲线开始有较明显拐弯计			500	550	550	500	I、IV
按加水量曲线开始有较明显拐弯计			650 左右				

5. 外壁应力的测量 据历次钢带测量结果来看,钢带的主应力方向均是沿钢带方向,并可近似的认为是单向应力。因而此次布片多是单向片,仅在个别点上贴验证性的双向或三向的电阻花(应变丛)片,为了解沿钢带宽度的受力情况,在二处沿宽度方向贴了三片(钢带方向)。

表 10

片 号	θ	最大主应力	按单向计算应力	备 注
52,53,54	2°18'	835公斤/厘米 ²	836公斤/厘米 ²	以第一压力循环 320公斤/厘米 ² 计
22,23,24	-15'	766公斤/厘米 ²	758公斤/厘米 ²	

(1) 钢带的主应力 最大主应力方向和钢带的夹角实测结果列于表 10。由表 10 可知,钢带应力可按单向计算,主应力基本和钢带同向。测量结果表明,从容器两端钢带到容器中间钢带,此结论均适用。

(2) 同一钢带上的应变比较列于表 11。

表 11

钢 带 号	7						14				21			
	19	16	22	42	29	8	46	15	6	35	25	14	32	3
应变 $\epsilon \times 10^{-6}$	410	360	370	388	394	383	367	312	374	358	489*	345	367	352
$\epsilon_{\max}/\epsilon_{\min}$	1.14						1.19				1.07			

* 片号 25 特殊,可能是该点局部受力不均所致,故此点不计。

上表表明,容器上沿同一钢带受力较均匀,这与天锅厂爆破的 $\phi 500$ 容器测量结果类似。

(3) 与容器同一轴线上的各片应变比较,分散性较大(具体数据不再列出)。

(4) 各环面应变比较列于表 12。

(5) 钢带同一断面,不同宽度方向上的受力比较见表 13。

据表 13 和第 VII、VIII 循环测得结果均说明: A. 三片受力较均匀。B. 中间片子受力适中(第 VII、VIII 循环数据结果不再列出)。

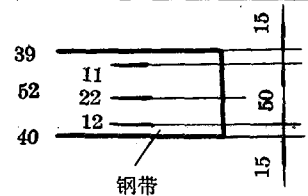
(6) 各压力循环结果比较:

表 12

断 面 号	I				VII				II				VI			
片 号	18	19	47	48	1	2	27	28	16	17	44	45	5	4	30	31
应 变 $\varepsilon \times 10^{-6}$	397	410	367	524	291	349	425	304	360	381	436	429	388	438	268	295
$\varepsilon_{\max}/\varepsilon_{\min}$	1.32				1.44				1.21				1.63			

断 面 号	III				V				IV							
片 号	20	*25	55	43	7	6	33	34	9	10	13	36	38	52	22	41
应 变 $\varepsilon \times 10^{-6}$	310	489	432	323	347	374	324	311	313	375	380	358	452	391	370	391
$\varepsilon_{\max}/\varepsilon_{\min}$	1.39				1.20				1.44							

表 13

片 号 循 环	11	22	12	39	52	40	
I	389	361	257	445	399	381	
IV	398	370	270	475	391	392	
VI	478	393	363	466	427	441	

现以 k_{11} 表示沿钢带方向变形和压力 p 的关系式的斜率即 $\varepsilon = k_{11}p$, 则各断面的 k_{11} 值结果列于表 14。

表 14

断 面	I					II				
片 号 循 环	18	19	47	48	平 均	16	17	44	45	平 均
一	1.45	1.58	1.29	1.91	1.55	1.3	1.38	1.47	1.5	1.41
一(降压)	1.56	1.46	1.27	2.01	1.57	1.38	1.47	1.57	1.66	1.52
二	1.41	1.45	1.26	1.85	1.49	1.23	1.36	1.42	1.41	1.35
二(降压)	1.56	1.47	1.38	1.93	1.58	1.34	1.41	1.61	1.57	1.48
三	1.41	1.44	1.31	1.93	1.52	1.3	1.37	1.57	1.57	1.45
三(降压)	1.52	1.41	1.35	1.96	1.58	1.26	1.3	1.59	1.65	1.45
四	1.46	1.76	1.36	1.94	1.63	1.33	1.41	1.61	1.59	1.48
四(降压)	1.53	1.42	1.39	1.92	1.56	1.31	1.33	1.6	1.63	1.47
五	1.76	1.83	1.26	1.87	1.68	1.67	1.74	1.56	1.52	1.62
六	1.74	1.69	1.31*	1.98	1.67	1.45	1.58*	1.64	1.75	1.60
七**	**1.2	**1.28				1.32	1.37			
八**	**0.925	**0.87				1.30	1.2			

续表 14

断 面 片 号 循 环	III					IV							
	20	25	55	43	平均	9	10	22	13	38	52	41	平均
一	1.05	1.71	1.48	1.15	1.35	1.11	1.33	1.34	1.31	1.58	1.47	1.39	1.36
一(降压)	1.21	1.82	1.61	1.22	1.46	1.24	1.52	1.40	1.46	1.87	1.5	1.57	1.50
二	1.10	1.52	1.57	1.28	1.37	1.03	1.50	1.14	1.42	1.64	1.12	1.26	1.3
二(降压)	1.11	1.76	1.65	1.18	1.42	1.33	1.38	1.36	1.54	1.52	1.45	1.59	1.45
三	1.09	1.74	1.56	1.13	1.38	1.17	1.39	1.72	1.35	1.70	1.39	1.42	1.45
三(降压)	1.06	1.67	1.54	1.15	1.35	1.16	1.35	1.26	1.3	1.65	1.41	1.45	1.37
四	1.15	1.81	1.60	1.20	1.44	1.16	1.39	1.37	1.41	1.67	1.45	1.45	1.41
四(降压)	1.17	1.74	1.56	1.15	1.40	1.22	1.38	1.35	1.37	1.73	1.44	1.52	1.43
五	1.46	1.74	1.56	1.11	1.46	1.15	1.39	1.74	1.31	1.68	1.39	1.44	1.44
六	1.24	1.74	1.63	1.31	1.48	1.41	1.64	1.45	1.66	1.72	1.58	1.18	1.51
七	1.28	1.54											
八	1.2	1.59											

(7) 外层钢带屈服压力

根据不同方法计算的屈服压力列于表 15。

表 15

计 算 方 法		屈服压力 (公斤/厘米 ²)	最小屈服压力所在断面
按残余变形达 0.2% 计		800~840	I
按应力值达材料屈服极限计	考虑预拉应力	545~585	I
	不计预拉应力	665~720	I
按 ε - p 曲线开始有较明显拐弯计		500~600	I III IV

6. 百分表测量 容器进行了径向、轴向百分表测量, 轴向测量中有基长为 2 米(约一螺距长)和容器全长。根据测量结果, 径向残余变形约为 0.008%, 轴向残余变形为 0.004%, 这比国外型槽绕带容器的标准中优秀产品的条件好得多。

7. 加水量测量 根据测量结果, 第三循环(即第一超工作压力循环)残余水量为 2.3%。

8. 爆破 本容器在 920 公斤/厘米²时首先有一钢带断裂, 随即发生爆破。有两块碎片, 破口位置正常, 在容器中间。经观察, 容器并未产生明显的“鼓肚”现象, 直径方向的增量不大(由于外层钢带散开无法测量), 容器爆破后的全貌和破口见图 9。

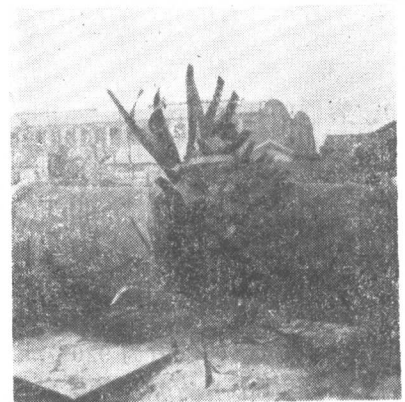


图 9 容器爆破情形

钢带的断口是正常的,各层钢带的断口方向均是沿上层钢带的方向。内筒断口发现有两裂源,其中一处是原点焊发裂处,该处内筒减薄约 1 毫米多,另一裂源处钢板厚度从 27.5 毫米减薄至 20 毫米左右,初步分析该点是起爆点。

内筒上有裂纹多条,破口尺寸见图 10,而断面情况不太理想,断口带有脆性断裂的象征,肉眼看断口晶粒粗大,为此又对容器的碎片和母材进行了金相分析和成分复验,金相分析结果列于表 16,成分符合要求。

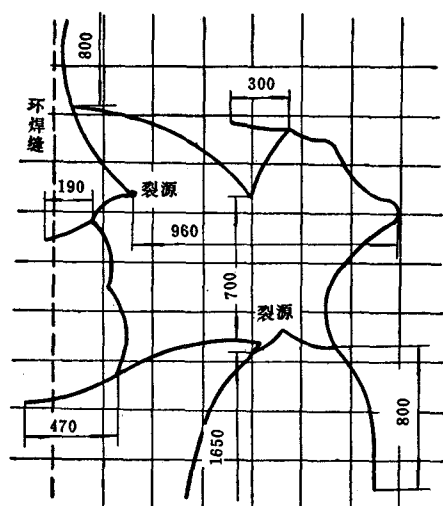


图 10 内筒破口展开

检查结果,未发现母材中有较大的问题,同时母材的机械性能各项指标也是满足标准要求。因此,单根据碎片等现象不足说明容器爆破属于脆性断裂。

表 16

金 相 组 织	45%左右的粒片状珠光体 + 铁素体,组织稍有过热,并呈长条偏析,偏析度 2 级左右。
夹 杂 物	氧化物 1 级,硫化物 2.5~3 级,呈细长条状,含有少量的碳化钛。
晶 粒 度	一般为 5~6 级,少部分为 3~4 级。
备 注	母材与碎片相同

讨 论

1. 容器的基本情况

(1) 爆破压力与屈服压力

据材料的实际机械性能和容器几何尺寸,按第四理论式计算

$$p = \frac{\sqrt{3} K^2}{K^2 - 1} \sigma_b = 1005 \text{ 公斤/厘米}^2$$

本台容器的实际爆破压力为 920 公斤/厘米²,其误差为 -8% 左右,达到了以往此结构容器的爆破水平。爆破压力的安全系数 $n_b = 2.88$,是完全满足高压容器的安全生产和设计要求的,至于容器屈服压力,根据表 9 和表 15 数据,基本上也是符合要求的。