

超 高 压 反 应 器 设 计



兰 州 石 油 机 械 研 究 所

超 高 压 反 应 器 设 计

兰 州 石 油 化 工 机 器 厂
兰 州 石 油 机 械 研 究 所 合 编



1 9 7 4 · 兰 州

一九七五年三月廿八日

内 容 提 要

本文介绍我国第一台 2000kg/cm^2 高压聚乙烯反应器的试验研究及设计计算资料, 分五部份介绍聚乙烯反应器中主要关键零件的试验研究及设计计算。主要内容有: 两次小容器的自增强试验; 聚乙烯反应器筒体的自增强计算; 聚乙烯反应器筒体的开孔试验; 聚乙烯反应器安全装置—爆破帽的试验及设计计算; 聚乙烯反应器搅拌轴动平衡及临界转速试验; 聚乙烯反应器的密封结构。还介绍了从英国引进的高压聚乙烯反应器的设计计算资料。

超高压反应器设计

*

兰州石油机械研究所出版

(兰州市七里河区敦煌路125号)

兰州印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 $\frac{1}{16}$ · 印张 $7\frac{3}{8}$ · 字数 167 千字

印数: 2500 定价: 0.60 元

目 录

概 述	(1)
第一部份 高压聚乙烯反应器筒体自增强试验研究及设计	(3)
一、小容器的自增强试验	(3)
二、高压聚乙烯反应器设计计算	(22)
三、高压聚乙烯反应器筒体制造、验收、维修技术条件(试行)	(50)
第二部份 高压聚乙烯反应器筒体开孔试验研究	(58)
一、锥孔的高度对应力集中的影响	(58)
二、锥孔的角度对应力集中的影响	(62)
三、结 论	(65)
第三部份 高压聚乙烯反应器安全装置—爆破帽的试验及验收条件	(66)
一、概 述	(66)
二、爆破帽的设计	(66)
三、爆破帽的制作	(69)
四、试压系统	(70)
五、试验结果	(71)
六、基本结论	(75)
七、结 论	(73)
八、爆破帽制造检收条件	(73)
第四部份 高压聚乙烯反应器搅拌轴的试验研究	(76)
一、搅拌轴动平衡试验	(76)
二、搅拌轴临界转速的测定	(77)
结 束 语	(78)
附 录	(79)
MKI 250立升反应器实践操作的最大压力、温度和温度递度极限值	(79)
MKI 250立升反应器在1550公斤/厘米 ² 、280°C~2000公斤/厘米 ² 、300°C 间操作的检查程序	(86)
MKI 250立升反应器设计计算	(90)
2000公斤/厘米 ² 、300°C, MKI 250立升反应器补充设计计算	(99)

概 述

高压聚乙烯塑料工业在国民经济中起着很重要的作用，它和重工业、轻工业、国防工业、农业及人民生活各方面都有着十分密切的关系。高压聚乙烯塑料具有优良的电绝缘性，可做电线、电缆、电绝缘材料。尤其是它的耐腐蚀性能良好，可做海底电缆，为海底的石油开发创造了有利的条件。高压聚乙烯塑料薄膜的透明度好，用于农业育秧，可以增产粮食，一吨塑料薄膜可增产一万吨粮食，相当于二万五千亩农田生产的粮食，解决了粮棉争地问题，有力的解决我国七亿人口吃、穿问题。在日常生活中塑料制品也应用得极广。

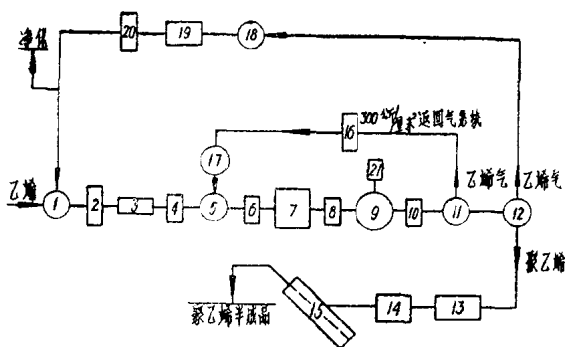
目前世界各国聚乙烯塑料发展很快，尤其是采用高中压法生产的聚乙烯塑料在逐年增长，1968年世界聚乙烯总产量为537万吨，其中高中压法生产的为405万吨，占聚乙烯总产量三分之二。1971年世界聚乙烯总生产能力达945万吨，其中高中压法生产能力已达695万吨，占总生产能力的四分之三。世界聚乙烯塑料的发展趋势是按高中压法进行生产。1970年世界几个国家的高压聚乙烯生产情况列于表一。

表一

国 家	装置数量 (个)	总生产能力 (万吨)	已投产的最大生产装置 (万吨)	在设计的最大生产装置 (万吨)
美 国	32	279.4	19.28	22.68
日 本	20	171.4	18	11.5
西 德	6	162	45	90
英 国	6	79.5	20	28
荷 兰	7	74.5	11	20
法 国	12	64.2	12	12.5
意大利	8	54.7	8	10
加拿大	7	40.54	10	11
苏 联	2	21.7	7.3	14.4

在我国，高压法生产聚乙烯塑料的工业还很落后，远远不能满足国民经济的急需。

高压法生产聚乙烯塑料的流程参看图一，其中关键设备为高压聚乙烯反应器及二次压缩机。高压聚乙烯反应器有两种类型：釜式反应器及管式反应器，现仅介绍釜式反应器。



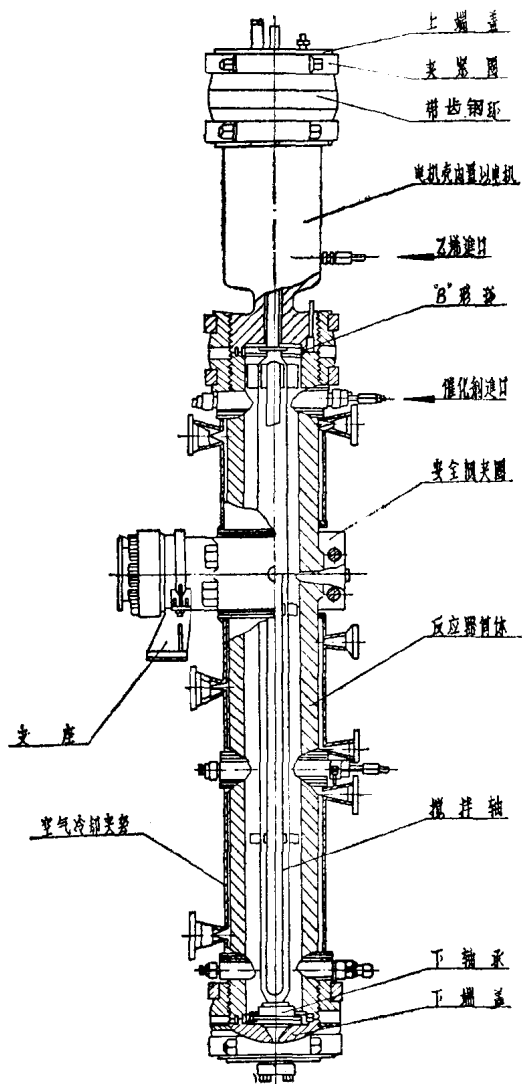
图一 高压法生产聚乙烯塑料的流程

“自力更生、奋发图强”，从1968年开始，由兰州石油化工机器厂、燃化部第五设计院、合肥通用所及兰石所四个单位，在兰州对高压聚乙烯反应器的试验和设计研究做了一些工作，坚持实践第一的观点，从科学实验中寻找可靠的设计依据。1969~1970年在兰石厂三分厂组织了三结合设计小组，进行了聚乙烯反应器的联合设计工作。1973年由兰石厂开始试制工作。

高压聚乙烯反应器分上、下两部份，上部为电机壳，内置以电机，下部为带有空气冷却夹套的反应器筒体，内置以电机带动的搅拌器。反应器筒体两侧开有 $\phi 51$ 径向孔，装有安全装置—爆破帽。密封结构为B形环。筒体与端盖、筒体与电机壳以平行锯齿连接。参看图二。

反应器的关键零件及存在的问题归纳如下：反应器筒体设计原理；筒体径向开孔内壁孔边缘应力集中情况；爆破帽设计计算；搅拌轴的动平衡精度要求及设计计算；“B”形密封的可靠性试验及设计计算。根据以上问题我们做了一些试验研究工作，现汇总如下。

1—低压气体接受器；2—一次压缩机吸入过滤器；3—一次压缩机；4—一次压缩机后冷却器；5—气体混合器；6—二次压缩机吸入过滤器；7—二次压缩机；8—二次压缩机后冷却器；9—反应器；10—产品冷却器；11—分离器；12—挤压贮斗；13—挤压齿轮泵；14—模面切粒机；15—脱水振动筛；16—返回气体冷却器；17—聚合物分离器；18—低压气体接受器；19—辅助压缩机；20—辅助压缩机后冷却器；21—催化剂注射器。



图二 聚乙烯反应器总图

第 一 部 份

高压聚乙烯反应器筒体自增强 试验研究及设计

我们曾对英国引进的兰化 303 厂的高压聚乙烯反应器进行过测试工作，得知内壁在 2600 公斤/厘米² 内压下，材料已处于屈服状态，符合英国所提供的计算说明书所述：

按 $n_b = \frac{\text{爆破压力}}{\text{设计压力}} = 1.8$ 进行设计的，这样，在操作条件下和液压试验下筒体内壁将处

于屈服状态，英国采用严格控制操作条件，如操作压力，内外壁壁温之差和安装安全阀一爆破帽等措施来限制最高压力和筒体内的应力，保证反应器筒体的安全，应该说，英国的设计原理是比较先进的。若按国内常用的弹性理论计算公式进行设计，则筒体壁厚将大大增加，这样，不利于及时散热，也是聚乙烯工艺设计所不允许的。若按英国的设计方法，则对操作条件的限制是十分苛刻的，而且筒体在屈服状态下操作总是不利的，尤其是反应器筒体有径向开孔，反应器内经常因操作失调等因素引起二次分解爆炸，这种瞬时的突然升压，使筒体内壁的应力分布更为恶化，在内壁泄压口处产生微裂纹的可能性是很大的，因此，生产过程中欠安全可靠。我们设想提高筒体内壁的承载能力，再配备良好的自动控制和仪表，使高压聚乙烯反应器在生产中更安全可靠。

提高筒体的承载能力有两种方法：1. 采用更为优质的材料，使筒体在弹性状态下操作；2. 给筒体预加应力，改变筒体内壁的应力分布，降低内壁应力。采用第一种方法是有限的，采用第二种方法是在原材料基础上提高承载能力，是有利的。

预加应力的获得，可通过机械挤压法；液压自增强法；热套法等。由于条件所限，我们企图在聚乙烯反应器筒体的设计中，采用液压自增强法，来提高反应器筒体内壁的承载能力。通过两次小容器的液压自增强试验，使我们认识到这种方法用在聚乙烯反应器的设计中是可行的。

一、小容器的自增强试验

自增强试验工作分为两部分—基础试验和自增强试验。

1. 基础试验

由于小容器自增强试验难以完全达到自增强设计所需的参数，为了简化试验程序，采用基础试验的模拟方法来寻求一部份设计依据。基础试验的内容：选择自增强压力下的保压时间；选择自增强后低温稳定热处理的温度范围。

(1) 选择自增强压力下的保压时间

通过拉伸试棒在受力下变形的时间和变化速度的试验，来选择自增强压力下的保压时间，拉伸试棒参看图三。材料为35CrMoA，用 3×20 应变片和YJ—5型应变仪进行测量，每根试棒变形量在1%左右，一共做了三根试棒。

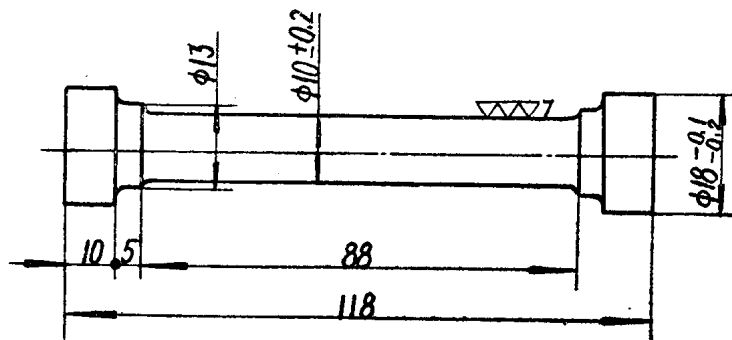


图 三

表二及图四列出试棒在拉伸过程中 $\varepsilon-t$ (变形—时间)关系,可以看出,试棒在衡压下,应变随时间逐渐增大,而速率逐渐减小,可以认为在衡压下15~20分钟后,应变的变化甚微,可以忽略不计。

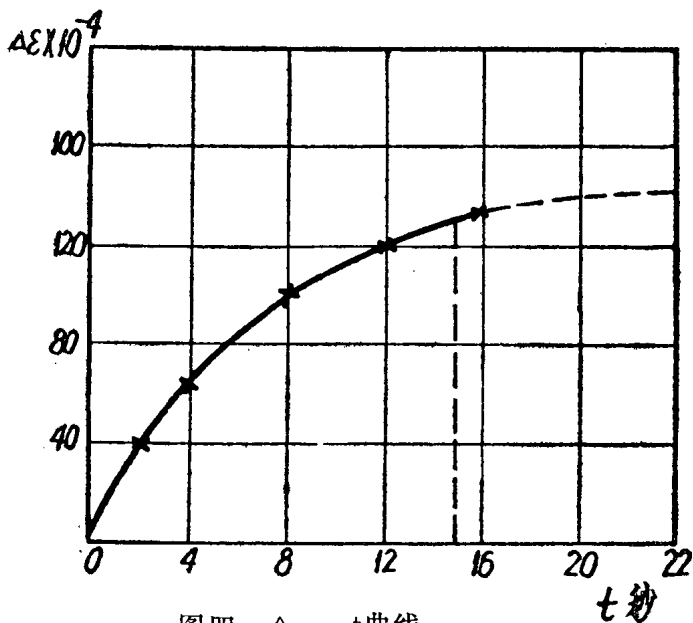
拉 伸 试 棒 变 形 — 时 间 关 系

表二

试 棒 编 号	$P_{0.2}$ (公斤)	$P_{保压}$ (公斤)	$\varepsilon_{保}$ %	$\varepsilon_{保} + \Delta\varepsilon$ %	在不同时间下绝对应变值 $\Delta\varepsilon \times 10^{-4}$							
					2	4	6	8	10	12	14	16
1-1-4	5260	5680	0.85	0.8635	35	61	84	96	111	119	128	135
1-1-5	5020	5440	0.87	0.8872	55	90	116	134	144	153	166	172
1-1-6	4810	5250	0.86	0.8701	30	43	56	69	77	85	93	101
平 均	5030	5456	0.86	0.8736	40	65	85	99	110	118	129	135

(2)选择自增强后低温稳定热处理的温度范围

拉伸试棒经预拉伸后分别进行不同的低温热处理，一部份未经低温热处理，然后进行第二次拉伸，比较经低温热处理与未经低温热处理的拉伸试棒，在重复拉伸下屈服限的差别和比较不同低温处理条件的影响，以确定适宜的低温热处理条件。分别做了残余变形为0.5%、1%、1.5%，及低温热处理条件为375℃分别保温1.5小时、3小时、5小时；350℃分别保温1.5小时、3小时；400℃分别保温1.5



图四 $\Delta\varepsilon-t$ 曲线

小时、3 小时的试验，共做了十二组，每组三根试棒。

试验结果：试棒经预拉伸后，不同热处理条件和不同变形对屈服限的影响列于表三和表四中，从中看出：

- ①试棒预拉伸后的屈服限比未经预拉伸的屈服限有显著提高，反映出应变对材料的强化作用。
- ②预拉伸试棒经低温热处理的屈服限比未经低温热处理的屈服限有显著提高，反映出低温热处理的作用。
- ③从表三和表四得知：经375°C 3小时热处理，变形量为1.5%的试棒的屈服限提

不同残余变形经 375°C 保温 3 小时热处理后的比较

表三

组 号	试棒号	ϕ mm	$\varepsilon_{0.2}$	Ps公斤	$\varepsilon_{残}$	热处理条件	$\varepsilon_{0.2}$	P's公斤	P's/Ps
1	1-1-5	10.16	0.202	5590	0.550	375°C 3小时	0.248	6410	1.147
	1-1-5	10.12	0.208	5435	0.510		0.205	6220	1.145
	1-1-5	10.12	0.200	5290	0.488		0.218	6060	1.142
	平 均	10.13	0.203	5438	0.516		0.220	6230	1.145
2	1-1-1	10.00	0.200	4940	0.490	未经热处理	0.198	5280	1.069
	1-1-1	9.96	0.204	4910	0.512		0.198	5280	1.075
	1-1-1	脱 片							
	平 均	9.98	0.202	4925	0.501		0.198	5280	1.072
3	1-1-2		0.198	5300	1.02	375°C 3小时	0.198	6320	1.192
	1-1-2		0.228	4700	1.02		0.586	5690	1.210
	1-1-2		0.205	5000	1.03		0.37	6060	1.211
	平 均		0.210	5000	1.02			6020	1.204
4	1-1-3	10.04	0.221	4690	1.03	未经热处理	0.226	5180	1.105
	1-1-3	10.04	0.210	5140	1.01		0.223	5655	1.095
	1-1-3	脱 片							
	平 均	10.04	0.215	4915	1.02		0.225	5412	1.10
5	1-1-4	10.08	0.225	4880	1.58	375°C 3小时	0.209	6040	1.237
	1-1-4	9.96	0.200	5030	1.480		0.197	6220	1.235
	1-1-4	10.04	0.228	4920	1.520		0.220	6160	1.251
	平 均	10.03	0.218	4943	1.506		0.209	6140	1.241
6	1-1-6	10.00	0.210	4620	1.470	未经热处理	脱 片		
	1-1-6	10.00	0.210	4880	1.496		0.209	5630	1.152
	1-1-6	10.00	0.224	4975	1.490		0.198	5890	1.182
	平 均	10.00	0.215	4825	1.485		0.203	5760	1.167

残余应变 1 % 时不同低温热处理条件比较

表四

组 号	试棒号	ϕ mm	$\varepsilon_{0.2}$	Ps公斤	$\varepsilon_{残}$	热处理条件	$\varepsilon_{0.2}$	P's公斤	P's/Ps
7	1-2-1	10.08	0.234	4600	1.01	375°C 5小时	0.256	5470	1.190
	1-2-1	9.96	0.204	4730	1.00		0.203	5570	1.163
	1-2-1	10.04	0.194	4870	1.00		0.202	5670	1.165
	平 均	10.03	0.211	4750	1.00		0.220	5570	1.175
3	1-1-2		0.198	5300	1.02	375°C 3小时	0.198	6320	1.192
	1-1-2		0.228	4700	1.02		0.586	5690	1.21
	1-1-2		0.205	5000	1.03		0.37	6060	1.211
	平 均		0.210	5000	1.02			6020	1.204
8	1-2-2		0.210	5020	1.03	375°C 1.5小时	0.220	6145	1.223
	1-2-2		0.204	4900	1.024		0.224	5980	1.221
	1-2-2		0.226	4960	1.01		0.220	5960	1.202
	平 均		0.213	4960	1.02		0.221	6028	1.215
9	1-2-3	9.96	0.240	4700	0.99	350°C 3小时	0.224	5700	1.21
	1-2-3	9.94	0.206	4550	1.01		0.206	5580	1.23
	1-2-3	9.94	0.209	4590	1.00		0.204	5610	1.22
	平 均	9.95	0.218	4613	1.00		0.211	5630	1.22
10	1-2-4	9.80	0.210	4680	1.10	350°C 1.5小时	0.225	5860	1.25
	1-2-4	10.10	0.210	4760	1.02		0.191	5890	1.24
	1-2-4	10.12	0.240	4770	1.12		0.204	5840	1.23
	平 均	10.01	0.220	4737	1.08		0.207	5863	1.24
11	1-2-5	9.70	0.226	4490	1.08	400°C 3小时	0.210	5435	1.20
	1-2-5	9.48	0.220	4100	1.03		0.190	5090	1.24
	1-2-5	9.58	0.230	4280	1.06		0.240	5150	1.21
	平 均	9.59	0.228	4290	1.06		0.231	5225	1.22
	1-2-6	10.10	0.208	5150	0.968	400°C 1.5小时	0.216	6100	1.182
	1-2-6	9.96	0.193	5080	0.980		0.210	6090	1.197
	1-2-6	9.98	0.202	4810			0.246	6070	1.261
	平 均	9.98	0.201	5008			0.224	6087	1.213

高为最大；从表四得知，变形量为 1 % 经 350°C 1.5 小时热处理的试棒屈服限提高的最大，从而可以推测：在既定变形量下，有一个合理的热处理条件，能使屈服限提高量达到最大；在既定热处理条件下，有一定变形量，在此变形量下屈服限提高量为最大；不同的变形量具有不同的最适宜的热处理条件，变形

量大，热处理温度高一点，时间长一点，变形量小，则反之。

2. 两次小容器的自增强试验

(1) 试验的目的

- ① 比较经自增强处理后的筒体与未经自增强处理的筒体的差别—内壁屈服压的提高程度；
- ② 测定自增强处理后的筒体内的残余应力，了解筒壁的应力分布状况及验证现有设计计算公式的可靠性；
- ③ 通过试验摸索和熟悉自增强液压处理的工艺过程；
- ④ 进行自增强处理后的筒体爆破试验，了解自增强后筒体爆破压是否有变化；
- ⑤ 通过自增强后筒体材料的冲击试验，了解其自增强处理对筒体材料韧性的影响。

(2) 自增强小容器几何尺寸及材料性能（见表五）。

自增强小容器几何尺寸及材料性能

表五

编 号		外 径×内 径×长 度	K	材 料 机 械 性 能					
第 一 次	1—1	φ166.9×φ100.52×700	1.66	35CrMoA					
	1—2	φ166.86×φ99.85×700	1.67	σ _b	σ _s	δ ₅	φ	a _K	HB
	1—3	φ166.60×φ100.09×700	1.66						
	2—1	φ100.24×φ60.28×800	1.66	94.3	79.3	15.3	57.5	9.2	269
	2—2	φ99.98×φ60.7×800	1.64	33CrNi3MoA					
第 二 次	2—3	φ100.15×φ60.12×800	1.66	σ _b	σ _s	δ ₅	φ	a _K	HB
	2—4	φ99.23×φ60.18×800	1.64						
	2—5	φ100.54×φ60.28×800	1.66	93.0	77.0	18.0	63.0	18.6	269

(3) 小容器自增强试验过程

自增强小容器的结构参看图五。

先将容器内的压力升到2000公斤/厘米²，若B形环密封不漏，则卸压至零，因筒体在此压力下仍处于弹性状态，故可认为对压力一应变化没有影响，然后进行升压和测量，压力在2000公斤/厘米²以下时，按500公斤/厘米²压力为一级，每级停留10至20分钟，以保

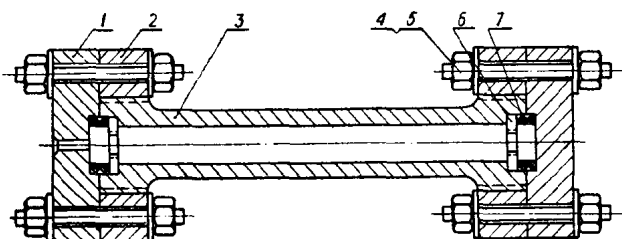


图 五

1—盲板，2—法兰，3—小筒体，4—螺栓，
5—螺母，6—垫环，7—“B”形环。

证筒体内的应力—应变趋于平衡，然后进行读数，升压情况见表六。

表六

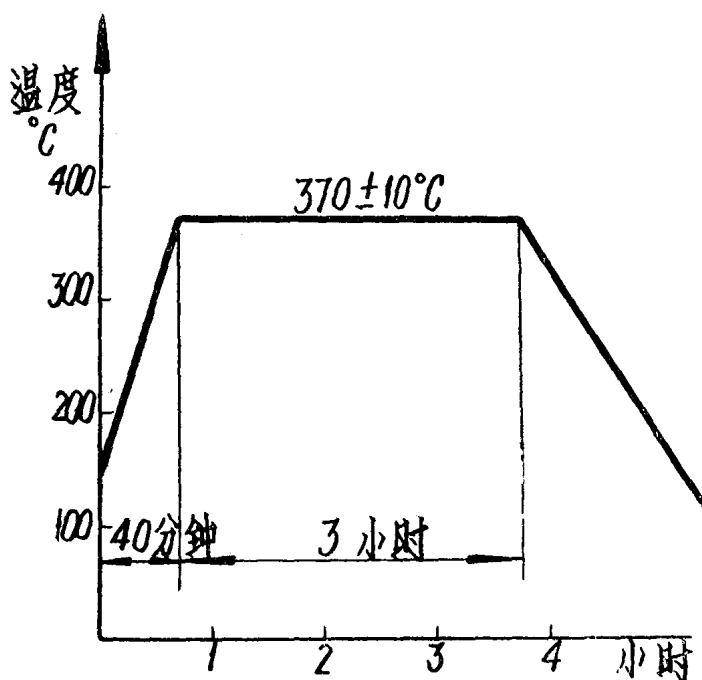
压力 筒体 级别 编号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2—1	压力 公斤/厘米 ²	0	500	1000	1530	2000	2200	2400	2620	2800	2980	3230	3430	3740
	保压时间(分)		10	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20
2—2	压力 公斤/厘米 ²	0	480	1030	1500	2000	2400	2600	2820	2980	3250	3450	3680	
	保压时间(分)		10	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	
2—3	压力 公斤/厘米 ²	0	500	990	1520	2000	2200	2400	2610	2790	2980	3220	3420	3740
	保压时间(分)		10	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20
2—4	压力 公斤/厘米 ²	0	520	1000	1550	2000	2400	2650	2800	2980	3200	3420	3700	
	保压时间(分)		10	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	
2—5	压力 公斤/厘米 ²		520	1000	1480	2000	2200	2400	2640	2800	3020	3170	3370	3700
	保压时间(分)		10	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20

升压前用 2×10 应变片和 1 T—1 型应变仪进行应变测量，第一次试验筒体内、外壁均贴片，第二次试验仅在外壁贴片。

小容器经自增强液压试验后，进行自增强低温稳定热处理，其热处理工艺过程参看图六。

经过自增强处理后的小容器，六个进行第二次液压试验，以测定自增强效果，并进行残余应力测定，有两个做了爆破试验。

(4) 小容器自增强处理前后几何尺寸测量，参看表七、图七。



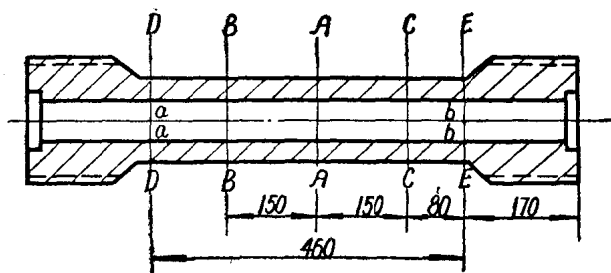
图六

表七

筒体 编号	截面 几何尺寸(毫米)	A	B	C	D	E	a	b
2—1	加工后	100.22	100.16	100.29	100.16	100.385	60.25	60.33
		100.22	100.16	100.28	100.16	100.385	60.24	60.33
	自动增强处理后	100.215	100.18	100.29	100.173	100.36	60.32	60.41
		100.22	100.18	100.29	100.185	100.36	60.32	60.41
2—2	加工后	99.93	99.89	100.00	99.88	100.05	60.07	60.06
		99.93	99.89	100.00	99.88	100.06	60.07	60.06
	自动增强处理后	99.94	100.05	99.88	100.005	99.89	60.18	60.11
		99.94	100.06	99.88	100.000	99.89	60.18	60.11
2—3	加工后	100.16	100.21	100.12	100.24	100.10	60.00	60.14
		100.16	100.21	100.12	100.24	100.10	60.00	60.10
	自动增强处理后	100.18	100.22	100.125	100.24	100.13	60.08	60.11
				100.14			60.08	60.11
2—4	加工后	99.23	99.26	99.195	99.29	99.18	60.15	60.21
		99.23	99.26	99.195	99.29	99.18	60.15	60.21
	自动增强处理后							
2—5	加工后	100.53	100.63	100.49	100.67	100.48	60.26	60.37
		100.53	100.63	100.49	100.67	100.47	60.26	60.11
	自动增强处理后	100.54	100.63	100.513	100.69	100.495	60.25	60.365
		100.56	100.69	100.499	100.69	100.51		60.13

(5)小容器经自增强处理后内
壁屈服压提高的效果。

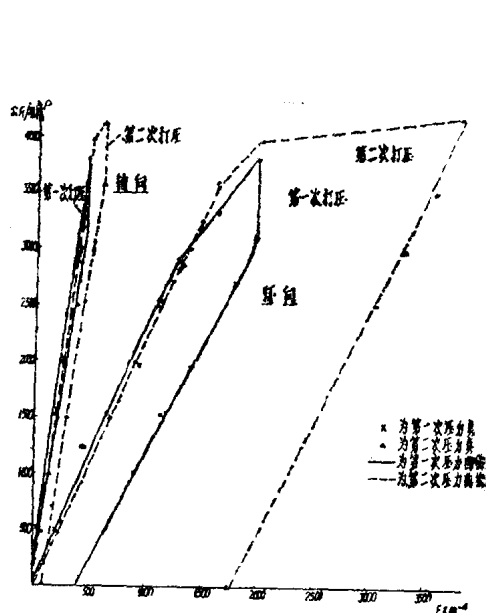
第一次小容器自增强试验结果
综合于表八。



图七

表八

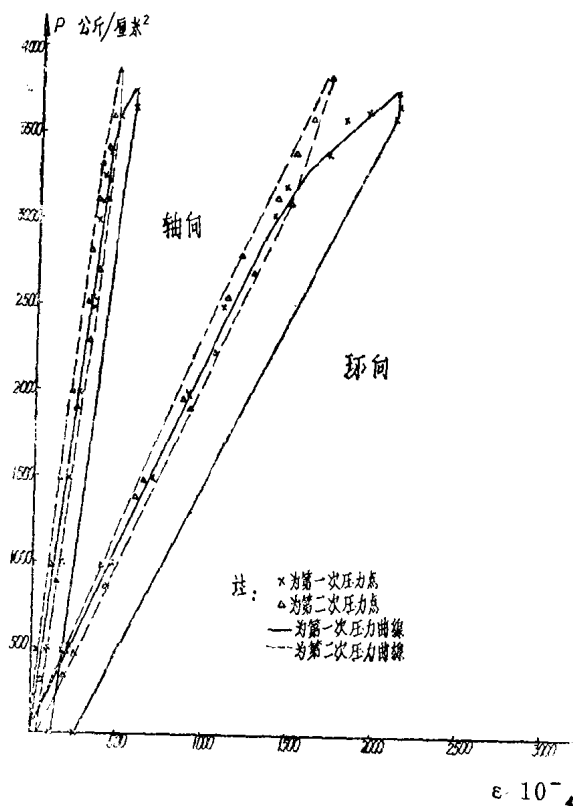
筒体 编 号		热 处 理 条 件	内壁屈服限 公斤/厘米 ²		最 高 压 力 公斤/厘米 ²	保压 时间 (分)	外壁最大环向 应 变	环向残余应变 %	
			实际	计算				实际	计算
第一次 打压	1—1	调 质	2900	2920	3810	10	0.1904	0.400	0.0116
	1—2	调 质	3000	2920	3750	10	0.2114	0.0224	0.0100
	1—3	调 质	2950	2920	3900	10	0.2371	0.0600	0.0137
第二次 打压	1—1	375°C, 4.5小时 随 炉 冷 却	3570	3800	4160	10	0.3864	0.0176	
	1—2	375°C, 4 小时 空 冷	3870	3740	3870	10	0.1705	0.001	
	1—3	未经热处理	3530	3880	3820	10	0.1787	0.0074	



图八 筒体1—1 P—ε曲线图(外壁)

1—1筒体

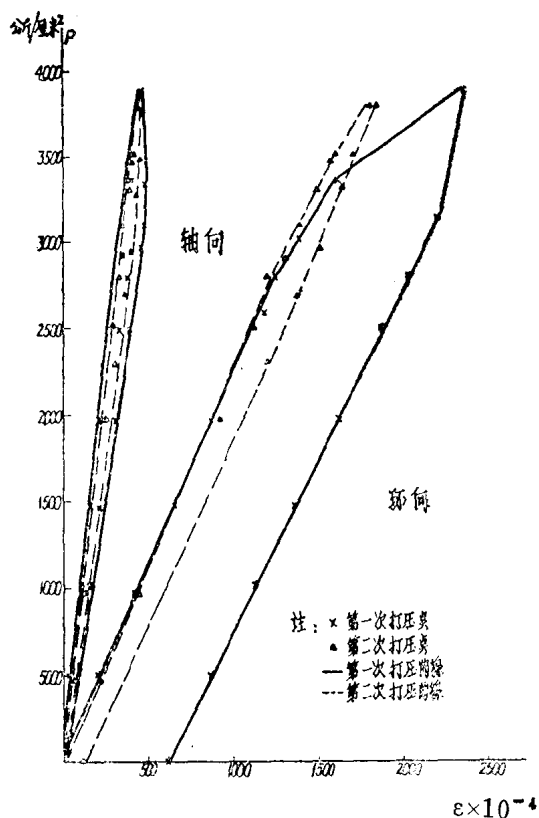
1. 第一次打压3810公斤/厘米²
2. 低温热处理温度375°C
保温时间为≥4.5小时
3. 第二次打压4160公斤/厘米²



图九 筒体1—2 P—ε图(外壁)

1—2筒体

1. 第一次打压3750公斤/厘米²
2. 低温热处理温度375°C
保温 4 小时后空冷
3. 第二次打压3870公斤/厘米²



图八、九、十分别为第一次小容器三个筒体经二次打压时的压力—应变（ $P-\epsilon$ ）曲线，从表和曲线得知：筒体的内壁屈服压和计算值基本相符，经过自增强处理后提高了内壁屈服压；将筒体1—2和1—3相比较，得知自增强筒体经低温热处理后比未经低温热处理的屈服压要高，从筒体1—2可得知适宜的热处理条件，自增强效果更为显著，筒体1—1低温热处理的效果不如1—2筒体明显，据分析由于筒体1—1的低温热处理工艺不适宜（随炉冷却，即闭着炉门冷却，经14小时后降至 80°C ），可能保温时间过长，影响筒体的屈服压，从基础试验中也有相同结论。

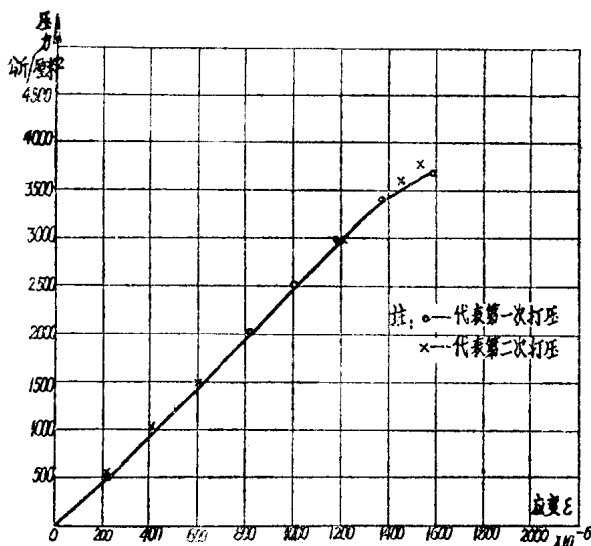
图十 筒体1—3 $P-\epsilon$ 图（外壁）
1—3筒体

- 1.第一次打压3900公斤/厘米²
- 2.未经低温热处理
- 3.第二次打压3820公斤/厘米²

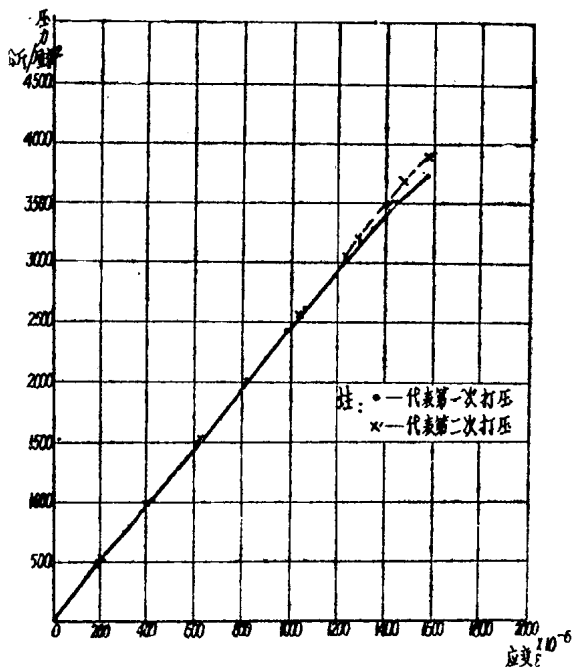
第二次自增强试验升压情况参见表九

表九

		压 力 公 斤 / 厘 米 ²	500	1000	1530	2000	2200	2400	2620	2800	2980	3230	3430	3740
		应 变 $\epsilon \times 10^{-6}$	244	410	630	830	910	1014	1076	1090	1190		1400	1620
2—1 筒体	第一次 液压时	压 力 公 斤 / 厘 米 ²	500	1000	1470	2000	2530	3000	3100	3400	3600	3840		
	第二次 液压时	应 变 $\epsilon \times 10^{-6}$	241	408	609	827	1051	1197	1290	1380	1410	1550		
2—2 筒体	第一次 液压时	压 力 公 斤 / 厘 米 ²	480	1030	1500	2000	2400	2600	2820	2980	3250	3450	3680	
	第二次 液压时	应 变 $\epsilon \times 10^{-6}$	194	429	621	824	983	1055	1174	1234	1357	1443	1577	
2—3 筒体	第一次 液压时	压 力 公 斤 / 厘 米 ²	520	1000	1550	1980	2500	2970	3180	3400	3630	3900		
	第二次 液压时	应 变 $\epsilon \times 10^{-6}$	221	400	637	822	1030	1206	1300	1388	1481	1568		
2—3 筒体	第一次 液压时	压 力 公 斤 / 厘 米 ²	500	990	1520	2000	2200	2400	2610	2790	2980	3220	3300	3740
	第二次 液压时	应 变 $\epsilon \times 10^{-6}$	212	420	630	820	914	1010	1095	1143	1245	1370	1463	1645
2—3 筒体	第一次 液压时	压 力 公 斤 / 厘 米 ²	500	1000	1580	2000	2520	3000	3200	3400	3600	3820		
	第二次 液压时	应 变 $\epsilon \times 10^{-6}$	186	403	640	823	1014	1220	1320	1395	1476	1571		



图十一 筒体 2—1 P—ε图（环向）



图十二 筒体 2—2 P—ε图（环向）

为了再次确定经自增强处理后的筒体屈服压力的提高程度，在第二次小容器自增强试验中，将 2—1，2—2，2—3 筒体经两次液压试验测量。在经第一次液压试验后（自增强压力），进行低温稳定热处理，其温度为 370°C，保温 3 小时，然后空冷。两次液压试验数据参看表九和图十一、图十二、图十三。从而看出，经过自增强处理后的筒体其屈服压较弹性筒体大有提高。

(6) 小容器经自增强处理后筒体残余应力及屈服层测定。

为了了解自增强筒体内的残余应力的分布及屈服层的实际情况，采用了“车削法”及“X 光测法”进行试验。

① 车削法测定残余应力

车削法测定残余应力是将自增强筒体从内壁开始一层一层的车掉，以测量外壁的应变变化，然后再换算成内壁的应力变化值。

试验过程：先把筒体两端切去，取筒体中间均匀部份进行车削，共车削 3 个小筒体，其长度见表十。

表十

筒体编号	2—1	2—2	2—3
长度 (毫米)	400	400	350

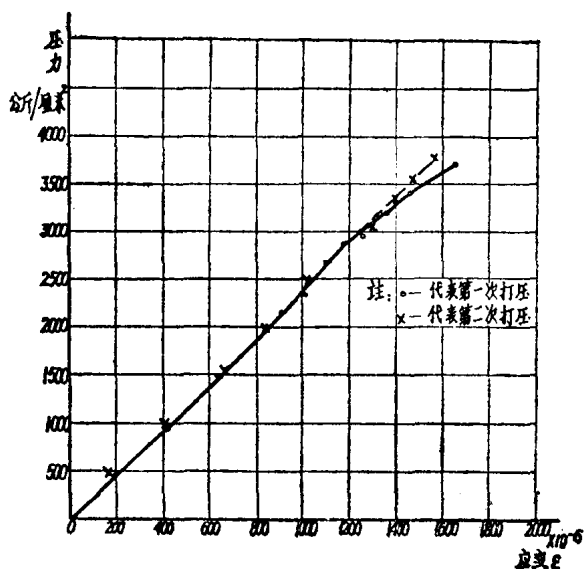
根据第一次试验经验及兄弟单位试验的经验，本次试验采用如下参数进行

切削转速—38 转/分

切削深度—0.1~0.2 毫米（即内径增大 0.2~0.4 毫米）

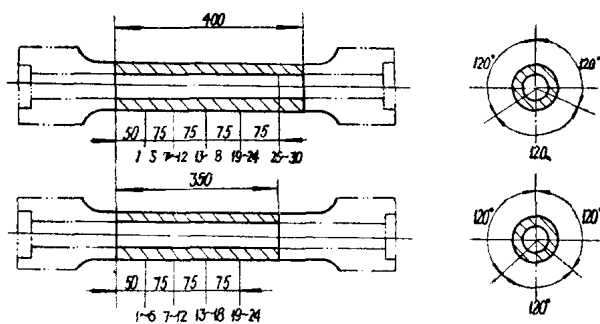
走刀速度—0.2 毫米/转

车削冷却剂—20* 机油



图十三 筒体2—3 P—ε图（环向）

每车去2~3毫米后松开卡盘,测定内径尺寸精确到0.01毫米,每天早上8点30分~9点钟进行应变测量,9点~18点进行车削,测量气温为15°C—19°C,应变测量时,采用插头连接,所用应变片为2×10,应变仪为J—S型,筒体的贴片位置如图十四所示。车削中实测的应变值参看表十一。



图十四 筒体的贴片位置图

筒体 2—1, 2—2, 2—3 车削应变值

表十一

		轴 向 应 变 ($\times 10^{-6}$)						环 向 应 变 ($\times 10^{-6}$)					
2—1	内径毫米	63.3	66.2	69.3	72.2	74.4	76.7	63.3	66.2	69.3	72.2	74.4	76.7
筒体	应 变	-18	-8	-20	-17	-8	+1	-69	-94	-116	-118	-105	-96
2—2	内径毫米	64.2	67.3	69.8	71.9	73.7	75.7	64.2	67.3	69.8	71.9	73.7	75.7
筒体	应 变	-7	-1	-1	-1	+2	+3	+36	-47	-54	-53	-43	-42
		轴 向 应 变 ($\times 10^{-6}$)						环 向 应 变					
2—3	内径毫米	62.67	64.82	67.63	69.89	71.88	73.63	75.61	62.67	64.82	67.63		
筒体	应 变	+1	+9	+6	+10	+14	+22	+27	-40	-56	-84		
		($\times 10^{-6}$)											
		69.89	71.88	73.63	75.61								
		-95	-98	-95	-89								