

石油化工设备设计参考资料

废热锅炉元件强度计算研究报告(一)  
乙烯废热锅炉椭圆形管板冷态应力测试报告  
上海化工机修总厂 上海化工设计院

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

石油化工设备设计参考资料  
乙烯废热锅炉椭圆形管板冷态应力测试报告

---

75-17-V-10

(内部资料 注意保存)

上海化学工业设计院石油化工设备设计处编

(上海南京西路 1868 号)

国营海峰印刷厂印刷

一九七五年六月

赠 阅

---

## 前 言

目前石油化工、化肥引进装置广泛采用废热回收装置——废热锅炉回收生产过程中的余热，国内新设计项目，老厂改造及旧版设计亦都采用废热回收，但对废热锅炉主要元件强度缺乏计算方法。

为此，为了配合石油化工、化肥生产的发展，我组拟对椭圆形管板，波形膨胀节等元件强度计算，组织有关单位进行试验研究，将陆续发表有关研究成果的资料。

根据燃化部石油化工设计院(73)石化设管审便字第7号函对各种类型椭圆形管板进行试验研究。本篇是关于具有挠性加热管乙烯急冷换热器的椭圆形管板冷态应力测试报告。在应力测试过程中得到上海锅炉厂研究所、兰州石油机械研究所、兰州化工机械研究所大力协助，在此一并表示感谢。

高桥化工厂

上海化工设计院石油化工设备设计建设组

## 乙烯废热锅炉冷态应力测试报告

本试验废热锅炉是乙烯急冷热交换器，属火管型，由于其操作压力和温差较大，故采用椭圆形管板与螺旋形加热管，其操作特性是：

壳程内饱和蒸汽压力	100 kg/cm <sup>2</sup>
壳程内饱和蒸汽温度	~ 310 °C
管程内裂介气压力	1.2 kg/cm <sup>2</sup>
裂介气进口温度	780 °C
裂介气出口温度	420 ~ 550 °C

### 本体结构和材质简介

锅炉本体结构纵剖面图如图 1 所示（不包括顶部汽包和底部裂介气进口头盖等），主壳体内径  $\phi 800$ ，壁厚 46；上、下盖为标准椭圆形管板  $\phi 800 \times 60$ ，在上管板中心部有一只  $\phi 220$  大开孔，上通  $\phi 300 \times 20$  汽包短节， $\phi 34 \times 4.5$  螺旋加热管及  $\phi 57 \times 4$  外套管各 8 根同心地分内、外两圈，每圈 4 根沿圆周均布，在下部每圈各有一个  $\phi 76 \times 5$  环形集流管联通四根双套管，二根  $\phi 76 \times 5$  下降管将壳体和集流管联通。这样水由壳体内经下降管、环形集流管流过双套管环形空间内，向上流回壳体，裂解气由下部进入螺旋加热管经过与双套管及壳体内饱和水热交换后继续上升进入集气箱流出。

上述各零件的材质：

主壳体	16Mn
汽包短节	16MnR
螺旋加热管	10M <sub>0</sub> WVNb
外套管	10M <sub>0</sub> WVNb
下降管	10M <sub>0</sub> WVNb
环形集流管	10M <sub>0</sub> WVNb
短管节闷头	10M <sub>0</sub> WVNb

各材料的化学成分见表 1，焊接接头机械性能见表 2，本体材料机械性能见表 3。

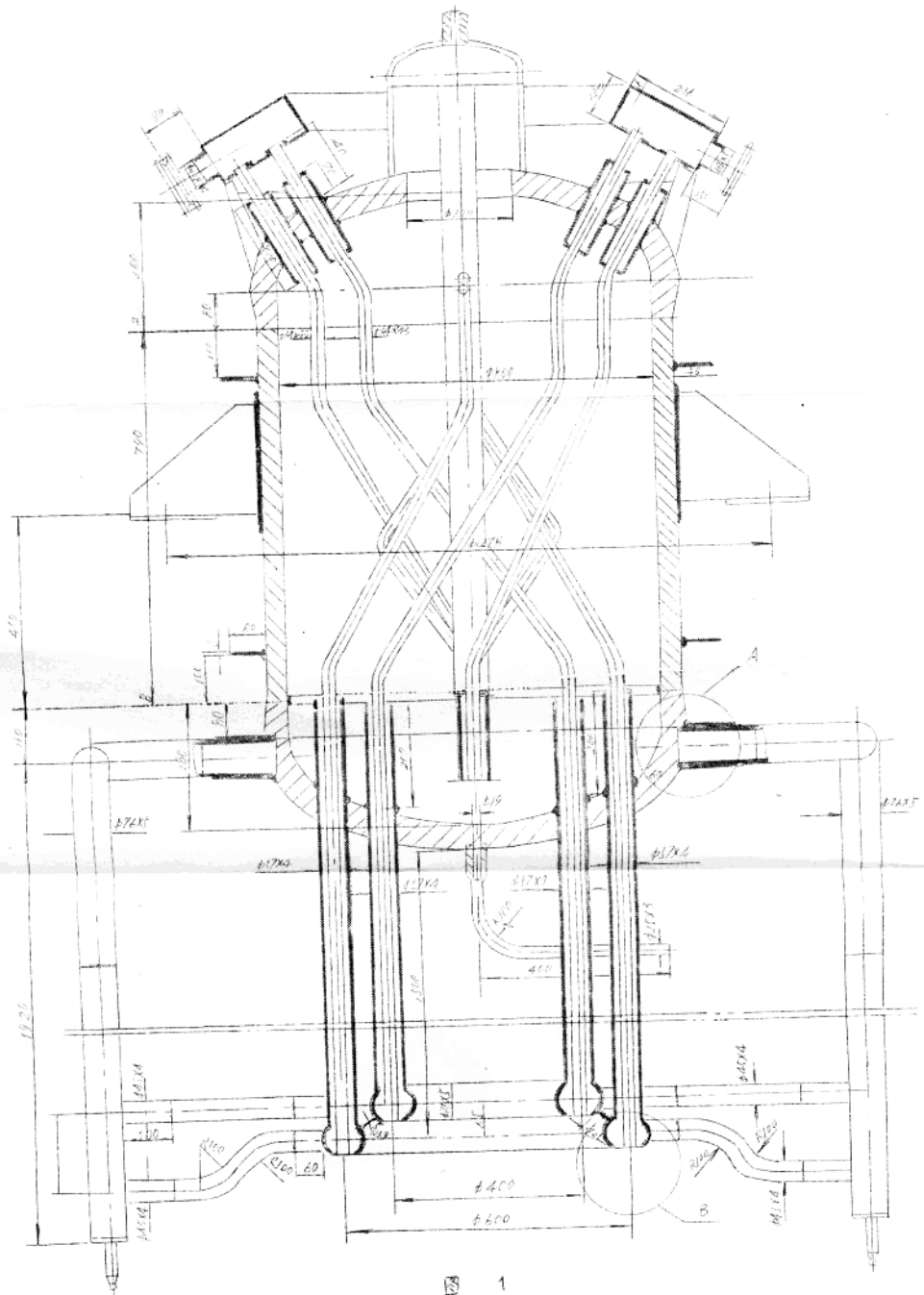


图 1

表一 主要材料化学成分

钢 种	规 格	成 份											武 钢				
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Re	Cr	Ni	Mo	V		W	Nb		
16Mn	板厚 46	0.135	0.360	1.30	0.017	0.038	0.215										武 钢
"	板厚 60	0.155	0.384	1.37	0.016	0.043	0.270										"
16MnR	φ300× 20 管	0.16	0.56	1.53	0.019	0.012		0.15									65 厂
10MnVNB (革 106)	φ34× 4.5 管	0.08	0.63	0.68	0.013	0.022				0.04	0.04	0.77	0.39	0.55	0.10		上 海 钢 管 厂
"	φ57× 4 管	0.08	0.63	0.68	0.013	0.022				0.04	0.04	0.77	0.39	0.55			上 二 钢 厂
"	φ76× 5 管	0.08	0.63	0.68	0.013	0.022	0.06			0.04	0.04	0.77	0.39	0.55			"

表 2 焊接接头机械性能

	母 材	焊接材料	$\sigma_s$	$\sigma_b$	S5%	4%	$\alpha_k$	冷 弯 100°	附 注
筒体纵缝	16Mn 板厚46	手工焊 结507							$d=3a$
"	"	自动焊丝 10Mn2							$d=3a$
螺旋换热管	$\phi 34 \times 4.5$	奥307		49.5				合格	断母材
外套管与封 头(角焊拉 脱力试验)	16Mn板 厚60,草106 $\phi 57 \times 4$ 管	"	37.8	55.5					抗拉断母材
环状管 管下降	草106 $\phi 76 \times 5$ 管	奥307		50				合格	抗拉断母材

表3 主要材料机械性能

钢种	规格	产品部件	$\sigma_s$	$\sigma_b$	$\delta_5\%$	$\psi\%$	冲击值 (常温)	冷弯 180°	附注
16 Mn	板厚46mm	φ800筒体	37.3	52	25.7			合格	钢厂 武钢 本厂复验
"	"	"	29.25	49	29.25	61.7	23.3	"	"
"	板厚60	φ800封头	29	48	30	61	27	"	"
16MnR	φ300×20 无缝钢管	汽包	38	57.5	30				成都 65厂
10MoWVNb	φ34×4.5	螺旋换热管	34.1	55.3	30.8			压合格	上海钢管 厂冷拔管 交货状态 850正火
"	φ34×4.5	螺旋换热管	46	59.5	19.5				本厂复验
"	φ57×4管	外套管	28.5	51	32	68			上钢一厂 热轧
"	φ76×5管	下降管 环状集流管	33	49.5	29	72			"



## 设备制造工艺

(1) 筒体加工原设计本体材料为 16Mng 壁厚为 45mm，因 16 锅炉板不易解决，实际用武钢生产的 16 锰厚板 46mm 代用，下料前经超声波检查，筒体的加工由于直径小壁厚不能采用通常的卷板机轧圆，是在 1000 吨水压机热压成瓦片，四周均放余量，成型后按样板划线切除余量。（稍留加工量）在龙门刨加工纵缝坡口，坡口型式图 2，瓦片组庄，焊接手工焊封底，焊条结 507 焊至 20mm 左右经

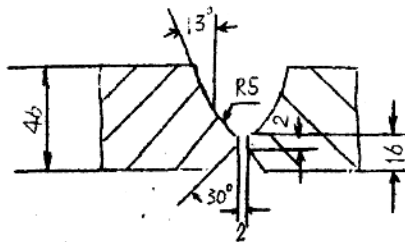


图 2

100% X 光探伤，合格后埋弧自动焊盖面，焊丝 10Mn2 再经超声波探伤，消除应力退火，按图 3

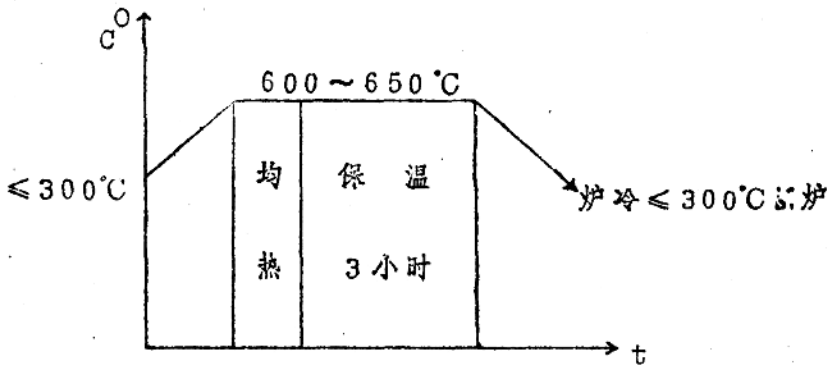


图 3

加工环缝坡口，坡口型式与上封头装配如图 4 与下封头装配如图

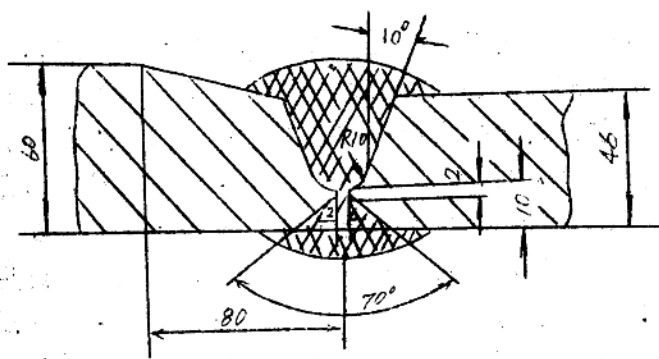


图 4

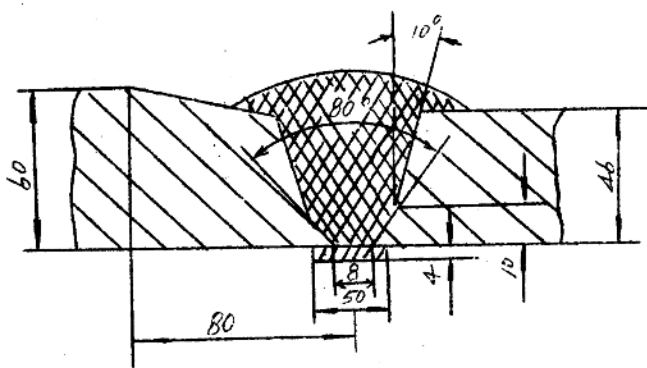


图 5

(2) 封头加工

上封头与汽包短节组装焊接坡口型式如图 6

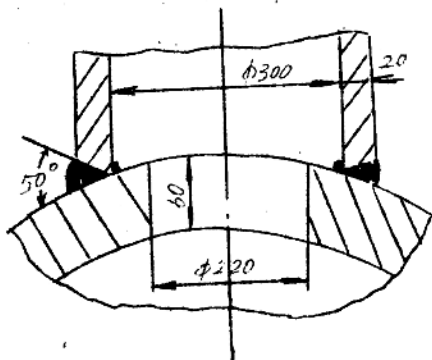


图 6

上下封头与本体组装环缝的焊接工艺同本体纵缝焊接工艺，环缝的消除应力热处理采用局部消除应力方法，因此时双套管已连接成整体考虑到整体进炉热处理担心会引起双套管的变形。（是否会变形我们没有实际生产经验，在没有把握的情况下，采用了局部消除应力处理）。

封头材料同样也是用武钢生产的16锰板厚为60mm，下料前经超声波探伤，封头冲压在水压机一次冲压，成型后的封头壁厚减薄不大，在1.7~2%左右（在上封头开孔部位测量，实际厚度在588~59mm）封头上 $\phi 59$ 孔的加工，系在曲面上钻孔。故用单个钻模加工，一次钻成， $\phi 59$ 孔的坡口图纸要求倒角 $4 \times 45^\circ$ 如图7。

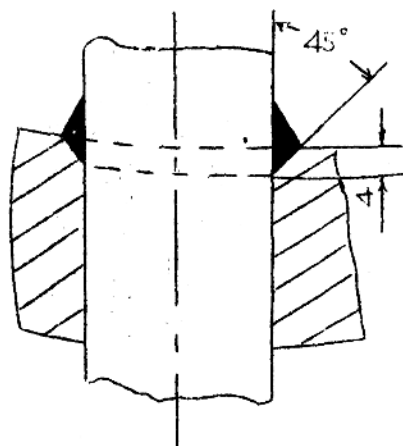


图 7

但因曲面上用一般机床上加工比较困难，所以在施工时是用碳弧气刨开坡口，但由于手工操作碳弧气刨有一定误差，故坡口实际加工情况如图8所示。

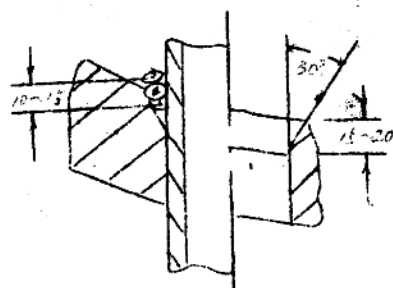


图 8

焊接用 $\phi 3.2$  共307焊三道，由于坡口 $30^\circ$ 角根部回隙小，施焊时实际焊条熔化不到根部，所以坡口全深 $15\sim 20\%$ ，实际熔深在 $10\sim 15\%$ ，在此深度范围施焊时也碰到去渣困难，后施焊位置从平焊改为立焊去渣情况有所改善。

### (3) 管材加工：

由于设备操作特性，在运转一定周期后需要进行烧焦，烧焦温度短期达 $650^\circ\text{C}\sim 700^\circ\text{C}$ 。国外在此温度范围，一般选用第一钼钢如 $2\frac{1}{2}\text{Cr}-1\text{Mo}$ ，本设备选用了上钢一厂试验钢种 $10\text{MoWVNb}$ (革106)，另外考虑到制造减少异种钢的焊接，故高压蒸汽部份的管材也选用同种材料，同时拟通过这台试验锅炉的运转考验革106材料在高温，高压工作状态下的性能。

管材经磁粉探伤检查，螺旋换热管的加工，因数量只有各四根，故采用手工扳弯，模具用 $\phi 360$ 、 $\phi 560$ 筒体划出螺旋线焊上扁钢作为靠模，加热弯制；下料须两端放余量，此余量在最后总装后切除。

(4) 焊接接头的机械性能见表2，对于角焊缝的质量检查，是比较困难的问题，这次除了做了外套管与封头角焊拉脱力试验外，没有采用其他措施，但焊工师傅思想上十分重视，设备经 $190\text{kg}/\text{cm}^2$ 水压试验是一次成功，无泄漏现象，当然有条件能用射线或超声波探伤，则质量上更有保证，例如用着色探伤方法；也是切实可行的。

## 试 验 目 的

设备的冷态试验主要对椭圆形管板进行应力测定，为建立计算公式积累必要的数椐，但由于本锅炉受裂介炉的能力限制，加热管祇有8根，数量太少了，表现不出管子对管板的作用，祇能看出开孔的影响。此外，对接管，三通连接处局部应力不是本次试验的目的，祇作大概地观察。具体考核下列各项：

- (1) 管板、开孔后的强度削弱情况
- (2) 在内压作用下管板应力分布状况
- (3) 了解上管板大开孔对应力分布的影响

- (4) 验证现有的椭圆管板计算公式
- (5) 观察加热管接管，三通连接处局部应力。

### 布片、试验程序

这次试验都采用直角应变花，两种基长的电阻片：基长 $3 \times 5$ 箔式片用于水下（测点23、24、29、30），外表面都用 $2 \times 6$ 纸垫电阻丝片。测点总计48点，具体分布见图9

点15~22沿0-I截面布置

点29~35沿截面0-I布置

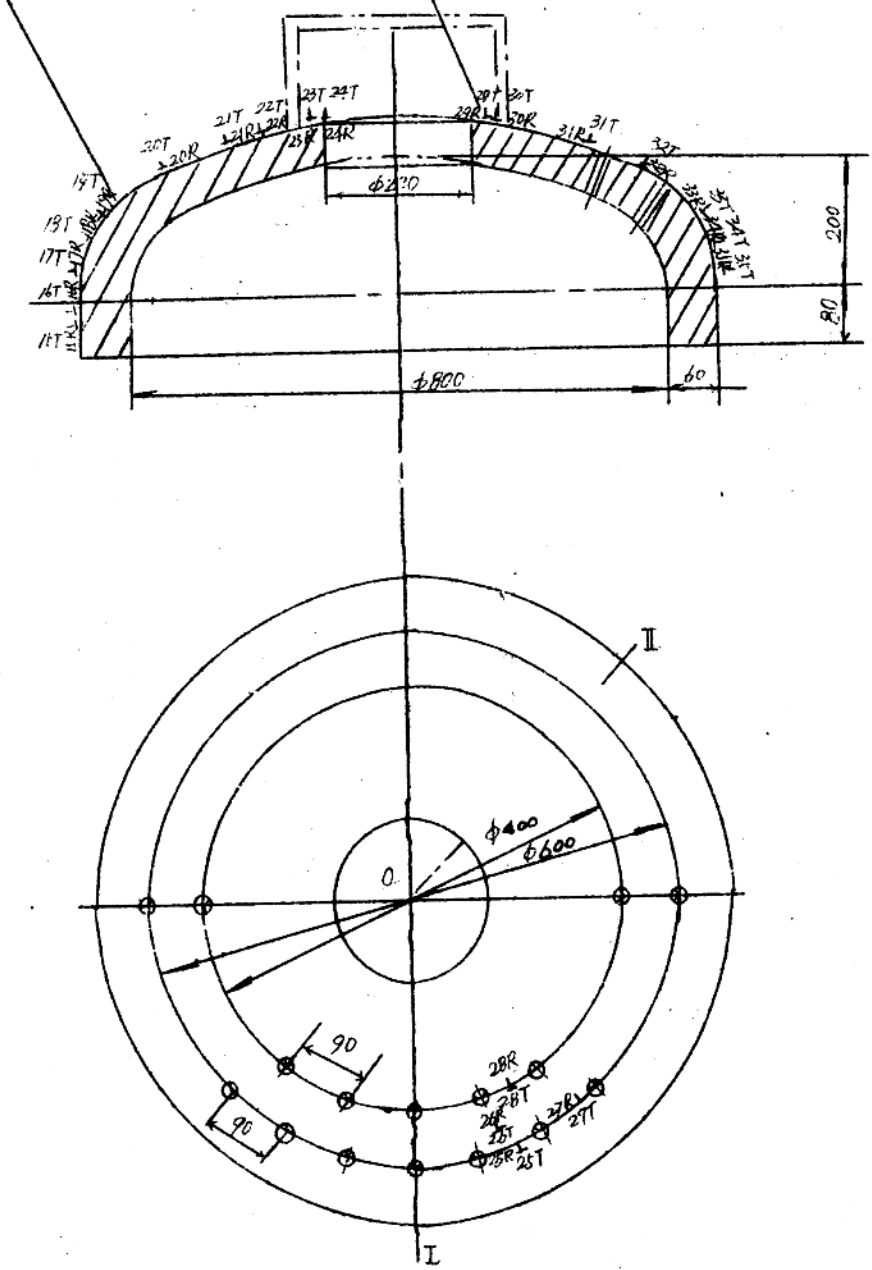


图9 a 上管板布片图

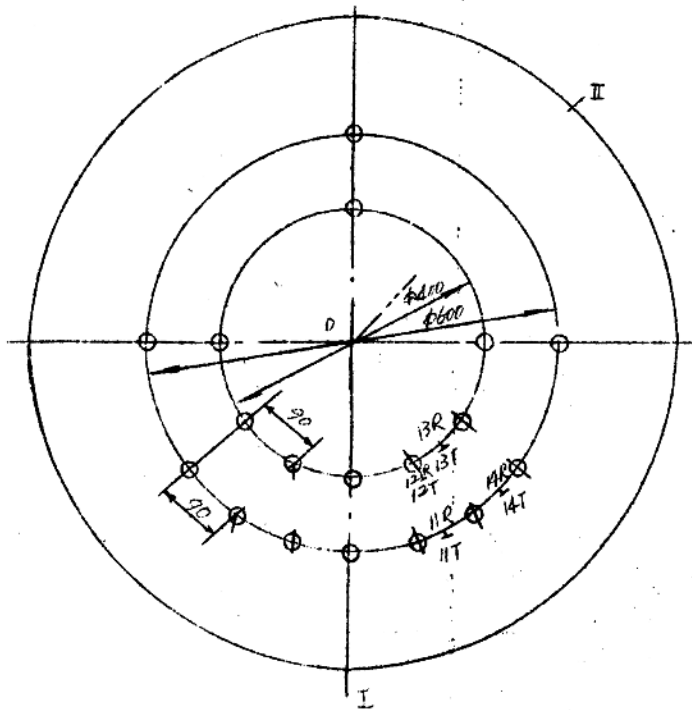
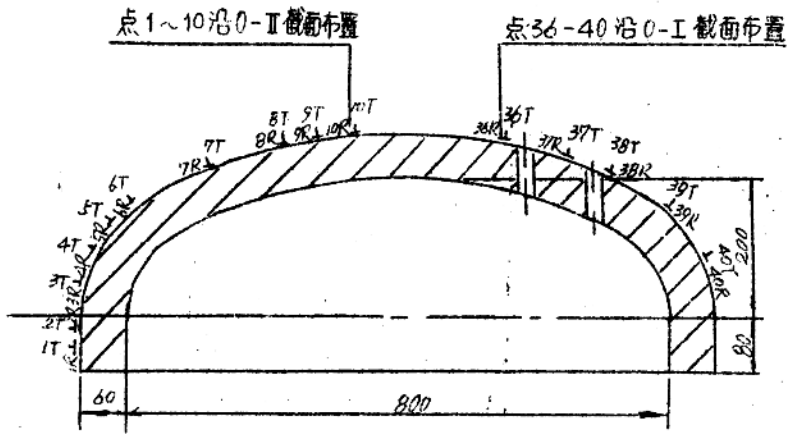


图9 b 下管板布片图

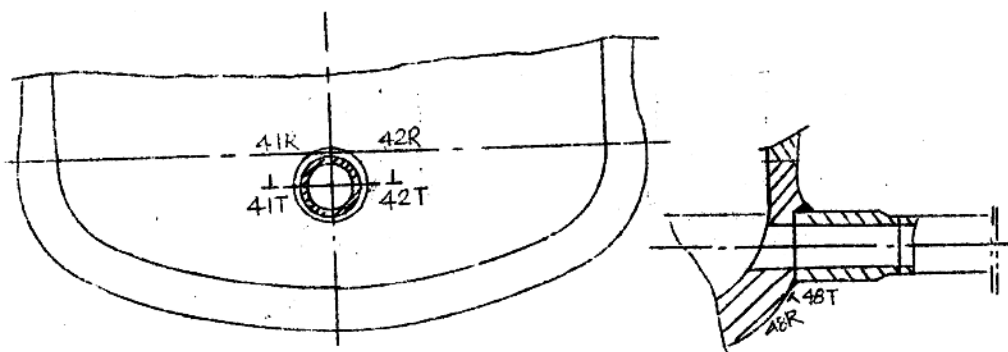


图 9 c 图 1 详图 A 布片图

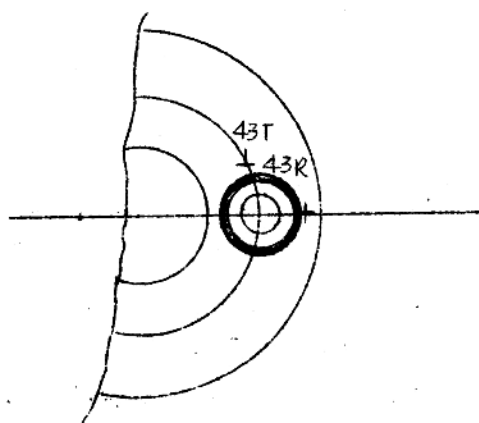
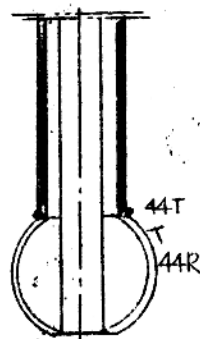


图 9 d 图 1 详图 B 布片图



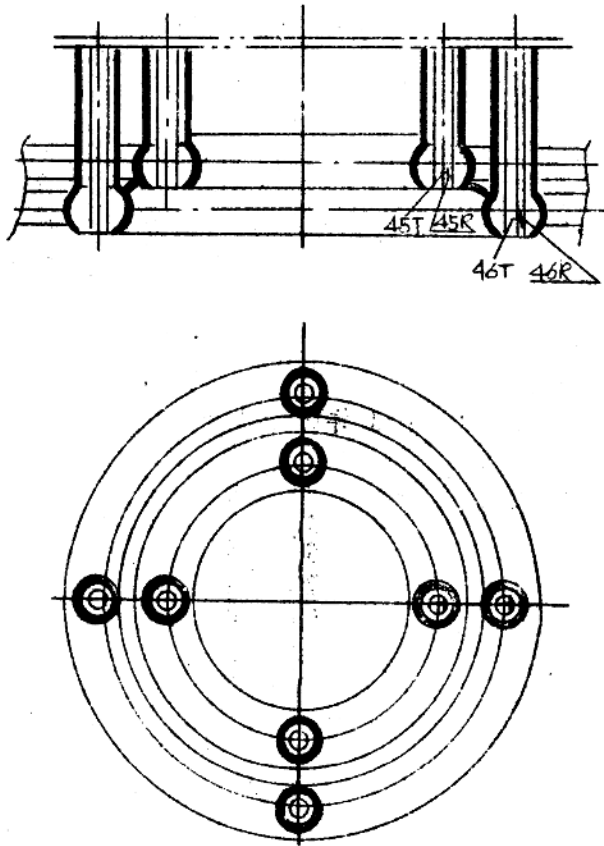


图 9 e 加热管进口布片图

本锅炉操作压力为  $100 \text{ kg/cm}^2$ ，设计压力为  $110 \text{ kg/cm}^2$ ，水压试验压力按下式确定

$$P_{液}^t = P_{液} \times \frac{\sigma_S^{20}}{\sigma_S^{390}} = 1.25 \times 110 \times \frac{29}{21}$$

$$= 190 \text{ kg/cm}^2$$

泵压在壳程内进行，试验程序如下：

压力按  $0 \Rightarrow 50 \Rightarrow 100 \Rightarrow 125 \Rightarrow 150 \Rightarrow 175 \Rightarrow 190$  等级数升降，先由 0 逐级升压至 190 后逐级降压至 0，每级压力稳压  $\sim 3$  分钟记录