

王成 金健



上海市第一机电工业局科技组情报站

前 言

球罐是一种新型结构的压力容器。与相同容积的其他型式的压力容器相比，具有用料省，占地面积小，成本低等优点。一九七五年我局焊接二厂、彭浦机器厂、上海锅炉厂、上海工业锅炉厂、上海船厂、中华船厂、沪江机械厂、四方锅炉厂、新建机器厂、沪东船厂等单位承担了上海石油化工总厂第一期工程六种不同结构、不同介质、不同规格的二十八台大型球罐的制造和安装任务。

在毛主席革命路线指引下，广大职工发扬自力更生、艰苦奋斗的革命精神，苦干加巧干，在短短半年时间内高速度、高质量地完成了任务，为我国石油化工工业作出了贡献。

在施工中，他们坚持质量第一，精益求精，对材料进行了百分之百的超声波探伤，对焊缝进行了百分之百着色探伤和X射线探伤或者超声波探伤，对国外引进球罐和部分国内球罐在水压试验后进行了百分之百的磁粉探伤检验，直到完全达到质量要求为止。

在制造和组装过程中，他们大搞技术革新，积极采用新工艺。在组装工艺方面，他们参考国内外一般采用的分瓣组装工艺，加以革新，大胆采用多瓣预制组装、半球组装和分段组装新工艺。在焊接工艺方面，破除了迷信，解放思想，创造了在金山卫沿海地区恶劣气候条件下施工的经验，还采用了埋弧焊、二氧化碳气体保护焊、气电垂直自动焊等新工艺，为球罐焊接实现机械化和自动化创造了有利条件。

为适应我国石油化工工业的迅速发展，为今后球罐施工提供参考，我们组织了来自各厂参加施工实践的工人和技术人员编写了这本资料，共分设计、施工、制造、组装、焊接、检验等六章。内容力求结合实际，文字力求通俗简练，并附有较多插图，适于工人同志阅读。

本资料承上海交通大学、上海化工设计院、重机公司“七二一”工大、上海石化总厂等单位大力支持，积极配合，谨在此表示感谢。由于我们编辑水平有限，有错误之处请读者批评指正。

目 录

第一章 球罐设计.....(1)

- 一、概况
- 二、球罐设计范围和技术要求
- 三、材料
- 四、球壳计算
- 五、支座计算
- 六、开孔与开孔补强
- 七、其 它
- 八、强度实例计算

第二章 施工方案.....(41)

- 一、概 述
- 二、编制方案主要技术依据
- 三、编制工作需要考虑的一些问题
- 四、方案内容

第三章 制 造.....(51)

- 一、球罐制造概述
- 二、球罐放样及样板制造
- 三、球瓣制造
- 四、支柱制造
- 五、极顶制造

第四章 安装及现场施工.....(74)

- 一、半球组合法
- 二、分段组合法
- 三、分瓣组合法
- 四、球罐的通用工夹具及专用脚手架

第五章 焊 接(114)

- 一、材料的可焊性分析
- 二、焊工培训
- 三、焊接气候条件的控制和焊接材料管理
- 四、予热方式及予热器具
- 五、手工电弧焊
- 六、气电垂直自动焊
- 七、混合气体保护半自动焊
- 八、埋弧自动焊
- 九、球罐的残余应力消除

第六章 检查和试验(166)

- 一、原材料的检查和验收
- 二、球瓣的检查
- 三、基础检查
- 四、支柱的制造与安装检查
- 五、球罐的安装检查
- 六、上下极板的制造检查
- 七、焊接检查
- 八、竣工检查
- 九、水压试验和气密性试验

第一章 球罐设计

一、概 况

上海机电一局承担制造，上海化工设计院负责设计，上海交通大学和上海重机公司“七二一”工大参加部分球罐焊接工作，仅半年时间内从设计、制造、安装、焊接、检验竣工，完成了上海石化总厂第一期工程二十八台球罐，六种不同规格球罐概貌（见图1—1~7）。

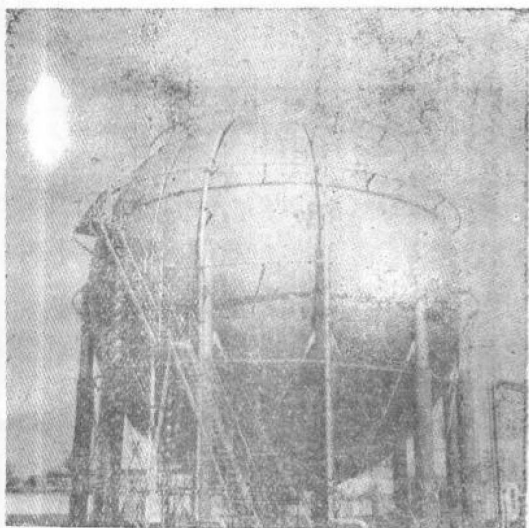


图1—1 上海锅炉厂制造2000米³球罐概貌

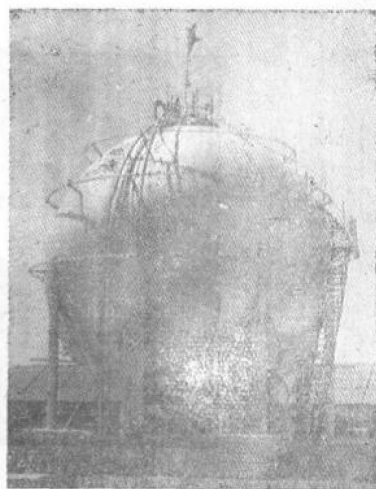


图1—2 上海沪江机械厂制造1000米³球罐概貌

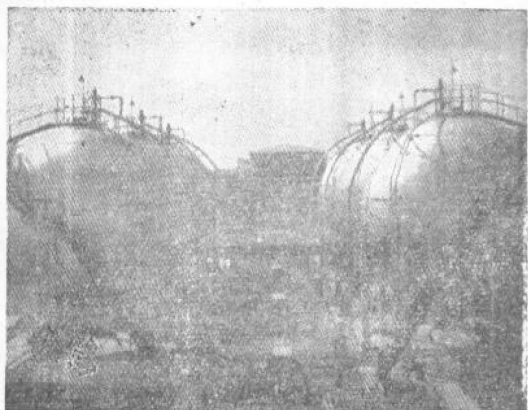


图1—3 上海工业锅炉厂制造400米³球罐群概貌

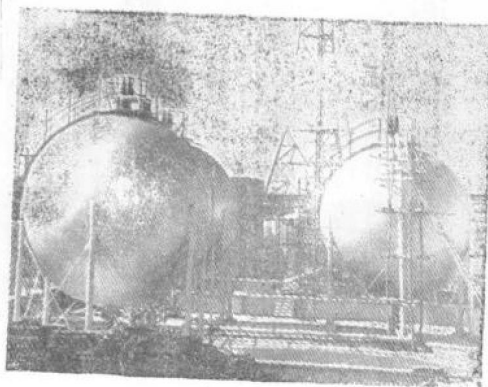


图1—4 上海四方锅炉厂制造200米³球罐概貌

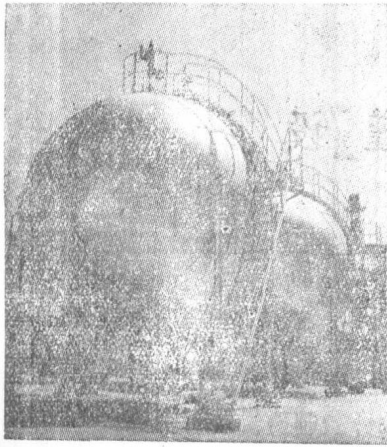


图 1—5 上海新建机器厂制造
200米³球罐概貌

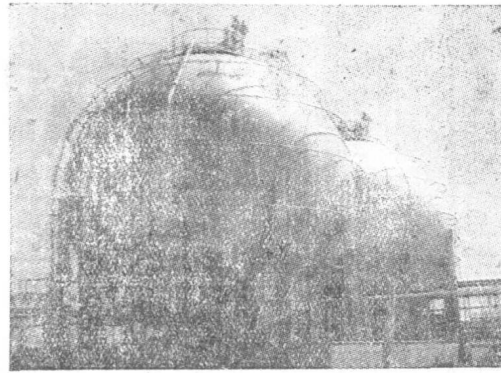


图 1—6 上海焊接二厂、彭浦机器厂制造国外
引进球瓣的2250米³球罐概貌

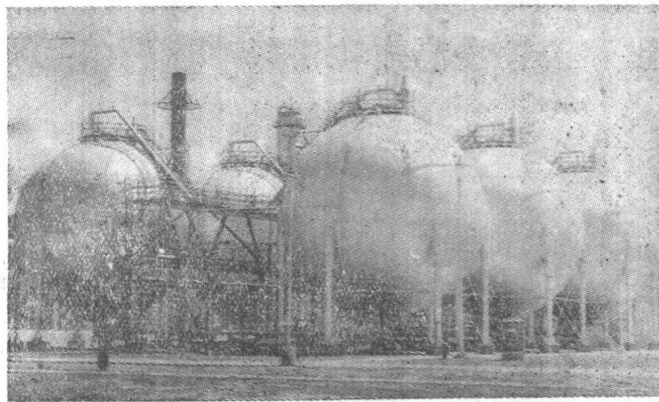


图 1—7 上海船厂、中华船厂、沪东船厂制造国外引进
球瓣的500米³球罐群概貌

球罐主要技术要求参数见表 1:

表1

球罐主要技术参数表

项目 制造单位	直径 (米)	容积 (米 ³)	数量 (只)	介 质	材 料	壁厚 (毫米)	设计 温度 (℃)	工作压力 公斤/厘米 ²	水压 试验	气 密 试 验	组 装 方 法	焊 接 方 法	焊 接 材 料	焊 接 设 备	焊缝检查要求(%)	球罐 重量 (吨)
上海锅炉厂	15.7	2000	2	C ₁	16MnR	25 28	常温	6.5	10.5	7.3	下寒带 作基准 双瓣预 制组装	手工焊	结 507 电力牌	Ax-320	直 缝 100超声波 丁字缝 100X光拍片 疑问处 100X光拍片	182
上 海 工业锅炉厂	9.2	400	6	C ₁	16MnR	32	常温	16.8	20.8	17.6	半 球 组 装	埋弧自动焊 为主, 手工 焊为辅	H10Mn2φ5 焊剂 431 结 507	Ax-320 Mz, -1000 Mz -1000	焊缝 100超声波 100X光拍片	70
沪江机械厂	12.3	1000	2	C ₁	A ₁ R	20	常温	5	7.6	6	多带分 段组装	气电垂直自 动焊, 混合 气体半自动 保护焊, 手 工焊	B10管状焊丝 H08Mn2Si 结 507	NBC, -300 NBC, -500-1 Ax-320	焊缝 100超声波 100X光拍片	76
四方锅炉厂	7.1	200	8	乙 醛	16MnR	16	常温	7	13	10.5	分 段 组 装	手工焊	结 507	Ax-320	焊缝 100超声波	23
新建机器厂	7.1	200	7	氧、氮	16MnR	34	常温	22	28.6	23.1	分 带 组 装	手工焊, 埋弧自动焊	结427、507 H10Mn2 焊剂 431	Ax-320 M-1000	焊缝 100超声波	45
上焊二厂	16.31	2250	1	丙 烯	WEL- TEN62	36 36.3	常温	18.6	27.9	18.6	赤道带 作基准 双瓣预 制组装	手工焊	LB-62P	Bx, -1-500	焊缝 100X光拍片 水压前后100超声波 挑根100着色	260
彭浦机器厂	16.31	2250	1	丙 烯	同 上	36 36.3	常温	18.6	27.9	18.6	赤道带 作基准 双瓣预 制组装	手工焊	LB-62P	Bx, -1-500	同 上	260
沪东船厂 中 上 海	9.8	500	6	乙 烯	N-TUF -50	34.7 35.9	-29	29.7	44.6 (实际40)	32.7 (按29.7)	赤道带 作基准 分瓣组 装	手工焊	LB-62N	Bx, -1-500	同 上	98

随着我国石油、化工工业的发展,需要建设更多大容量的容器,贮藏有一定压力的液体或气体,以此来达到节省钢材,节省管道长度,充分利用空间和减少占地面积。由于焊接技术和加工方法的提高,将会促进球罐的应用与发展,并逐步趋向大型化。目前,球罐的设计和强度计算引起十分重视,尤其是对球罐的支承方式和计算,将成为一个重要问题加以研究和探讨。

设计上海石油化工总厂的一批球罐中,除了采用一机部兰州石油化工研究所的定型设计外,同时参照了有关方面的资料,制定了如下设计和计算方法:

二、球罐设计范围和技术要求

1. 本计算方法:

适用于设计压力为 ≤ 50 公斤/厘米²,设计温度为 $-40\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的石油化工用球形容器(通称球罐)。

2. 定义:

- (1) 最高工作压力,系指球罐顶部在工艺操作过程中可能产生的最高表压力。
- (2) 设计压力取略高于最高工作压力,球罐上装有安全伐泄放装置,其初始起跳压力值为设计压力。(一般使用安全伐时取最高工作压力的 $1.05\sim 1.10$ 倍,使用爆破膜时取最高工作压力的 $1.15\sim 1.30$ 倍)当贮存液化气体的球罐应根据其充装系数和可能达到的最高温度来确定设计压力。
- (3) 计算球形容器各部分的壁厚及元件尺寸时,应取设计压力加球罐该截面处所受的液柱静压力。
- (4) 设计温度,系指球罐于工作过程中在相应的设计压力下罐壁金属可能达到的最高或最低(指 0°C 以下)温度。

3. 载荷:

设计时必须考虑以下载荷:

- (1) 设计压力;
- (2) 工作条件下的液体静压力;
- (3) 球罐及其物料和内件的重量,或者球罐在液压试验时液体的重量;
- (4) 保温层、平台、扶梯和防腐蚀衬里等附加装置产生的外加载荷;
- (5) 风载荷、地震载荷和雪载荷。

4. 壁厚附加量:

壁厚附加量按下式确定:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

式中: C ——壁厚附加量(毫米)

C_1 ——钢板或钢管厚度的负偏差(毫米)

一般情况下 C_1 可按下表2选取。

钢板厚度负偏差 " C_1 "

表 2

钢板厚度(毫米)	8~25	26~30	32~34	36~40	42~50	52~60
负偏差(毫米)	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3

钢管厚度负偏差 “C₁”

钢 管 种 类	壁 厚 (毫米)	负 偏 差 (%)
碳素钢和低合金钢	≤ 20	15
	> 20	12.5
不 锈 钢	≤ 10	15
	> 10~20	20

C₂——根据物料的腐蚀性和容器的设计寿命而定的腐蚀裕度 (毫米)。

对于碳素钢和低合金钢, 取C₂不小于1毫米。

C₃——球瓣冲压时拉伸减薄量 (毫米)

5. 许用应力:

对于已有成熟使用经验的钢材, 许用应力可按表3中的强度数据安全系数除得。

球罐安全系数取值

表 3

材 料	常温下的最低强度限 (σ_b)	常温或设计温度下的最低屈服限 σ_s (或 σ_s^t)
碳 素 钢 低 合 金 钢	$n_b \geq 8$	$n_s \geq 1.8$

6. 焊缝系数:

焊缝系数中应根据焊接接头的型式和焊缝的无损探伤检验要求按下列规定选取 (自动焊、半自动焊和手工电弧焊的焊缝系数均相同)。

双面焊或单面焊双面成型的对接焊缝:

100%无损探伤 $\phi = 1.0$

局部无损探伤 $\phi = 0.9$

7. 焊缝无损探伤:

焊缝无损探伤检验按JB928—67“焊缝射线探伤标准”或JB1152—73“钢制压力容器对接焊缝超声波探伤”进行。

一般讲由于容器在现场组装和焊接施工条件差, 且容积较大, 应力较高其焊缝应要求百分之百无损探伤, 所有角焊缝及屈服限大于35公斤/毫米²的钢材, 其对接焊缝应百分之百进行表面磁粉探伤或着色探伤, 但必须在图样上加以说明。

焊缝射线探伤或超声波探伤其检查结果应符合表4规定的合格级别。

探 伤 合 格 级 别

表 4

设计温度 \ 标准	JB 928—67	JB 1152—73
-40~200℃	Ⅰ	Ⅰ

8. 焊后热处理:

根据球罐及其受压部件所用钢板的化学成份、板厚、结构刚性和使用条件等因素确定是否需要作焊后热处理。有焊后热处理要求时, 应在图样上说明。

容器符合下列情况之一应作热处理：

- (1) 要求抗应力腐蚀的容器（如氨、烧碱等）；
- (2) 对接焊缝处的厚度符合表 5 规定者：

对接焊缝焊后热处理要求

表 5

序号	钢 号	预热温度 (°C)	需焊后热处理的厚度 (毫米)	
			焊 前 不 预 热	焊 前 预 热
1	A ₃ R 20g	100~180	>34	>38
2	16MnR	100~180	—	>34
3	15MnVR	100~180	—	>32
4	15MnVNR	120~200	—	>32

9. 压力试验：

(1) 球罐制成后须进行压力试验，试验合格后方能交付使用。对需作焊后热处理的球罐，必须将所有的焊接工作全部完成并经热处理后，才能进行压力试验。

(2) 压力试验的项目和要求应于图样上注明。

(3) 液压试验压力为 ≥ 1.25 倍的设计压力。

当设计温度 $t \geq 100^\circ\text{C}$ 时液压试验压力由下式确定：

$$P_{\text{液}} \geq 1.25P \left(\frac{[\sigma]}{[\sigma]'} \right)$$

式中： $[\sigma]$ ——试验温度（常温）时的材料许用应力公斤/毫米²

$[\sigma]'$ ——设计温度时的材料许用应力公斤/毫米²

(4) 液压试验时，球罐壳体任意一点的一次薄膜应力的计算值不得超过所用材料在试验温度下的90%屈服限（或残余变形0.2%的条件屈服限）。校核时所取的壁厚应扣除壁厚附加量“C”，且计入液压试验时壳体该点的液柱静压力。

(5) 气压试验：

不便于进行水压试验时，可进行气压试验，此时焊缝必须作100%无损探伤，气压试验压力等于1.15倍设计压力。气压试验时必须有特殊的防护措施，以保证安全。

(6) 气压试验时，球罐壳体任意一点的一次薄膜应力的计算值不得超过所用材料在试验温度下的80%屈服限（或残余变形0.2%的条件屈服限）。校核时所取的壁厚应扣除壁厚附加量“C”。

10. 气密性试验：

当球罐贮存剧毒、易燃、易爆物料时，应作气密性试验，其试验压力为1~1.05倍的设计压力。

球罐的制造和检验根据以上设计要求，还应遵循下列标准和技术条件：

- JB1127—70 “碳素钢和低合金钢焊制球形容器技术条件”；
- JB741—73 “钢制焊接容器技术条件”；
- JB1150—73 “压力容器用钢板超声波探伤”；
- JB1152—73 “钢制压力容器对接焊缝超声波探伤”；

- JB928—67 “焊缝射线探伤标准”；
 JB303—62 “焊缝金属及焊接接头的机械性能试验”；
 YB 19—64 “金属低温冲击韧性试验方法”；
 JB755—73 “压力容器锻件技术条件”；
 JB/2 105—73 “钢制压力容器焊接规程”。

三、材 料

选择球罐用钢材必须考虑球罐的操作条件（如设计温度、设计压力、介质腐蚀性能、介质对材料的脆化作用及毒性等）、材料的焊接性能、冷热加工工艺性能及经济合理性。

制造球罐之受压元件用材料的质量及规格应符合相应国标、部标或有关技术条件。制造厂必须取得钢厂的钢材合格证明书，如来料证明书不全或制造部门认为有必要时，应对钢材进行复验。凡与受压元件相焊接的非受压元件用钢，必须为可焊性良好的钢材。

特殊要求钢材，应在图纸或技术文件上注明。

1. 钢 板：

钢板用钢应以平炉、电炉或纯氧顶吹转炉冶炼。

制造球壳的板材，目前一般用A₃R、16MnR和15MnVR。支柱附件等可选用焊性良好的碳钢或碳锰钢等钢管。

制造球壳之钢板，一般均须逐张进行超声波探伤检验，其标准应按JB1150—73“压力容器用钢板超声波探伤标准”中的Ⅲ级验收。在拼板时，将钢板质量好的放于应力较大的部位，如赤道带和球壳下部等处。

当设计温度低于0℃使用的球罐用钢板，应作低温冲击试验，用于-21~-40℃的钢板须逐张作低温冲击试验，冲击试样采用U型缺口（横向），试样最低冲击值需≥6公斤-米/厘米²，当用于0~-20℃的钢板可按批作低温冲击试验，三个试样平均冲击值需≥3.5公斤-米/厘米²，其中允许一个≥3.0公斤-米/厘米²。钢板的标准及其相应的使用范围及检验要求应符合表6规定。

钢板使用范围和检验要求

表 6

钢 号	钢 板 标 准	使用温度范围	检 验 要 求	说 明
A ₃ R	YB 536—69	-20~475℃	按批检验化学成份， σ_b 、 σ_s 、 δ_5 、常温 α_k ， 冷弯、超声波检验，0℃ 以下需作低温 α_k 。	—
16MnR	YB 536—69	-40~475℃		
15MnVR	YB 536—69	-20~500℃		正火状态可用至-40℃

钢板化学成份、机械性能和物理性能、弹性模数E、线膨胀系数 α 值，见表6、7、8、9、10。

热轧厚钢板化学成份

表 7

钢 号	碳	硅	锰	磷	铜	氮	硫	磷	铬	镍	钛
A ₃ R	≤0.22	0.12~0.50	0.40~0.65	—	—	—	≤0.045	≤0.04	—	—	—
16MnR	≤0.20	0.20~0.60	1.20~1.60	—	—	—	≤0.045	≤0.04	—	—	—
15MnVR	≤0.18	0.20~0.60	1.20~1.60	0.04~0.12	—	—	≤0.045	≤0.04	—	—	—
15MnVNR	0.12~0.20	0.20~0.60	1.30~1.70	0.16~0.25	—	0.014~0.022	≤0.045	≤0.04	—	—	—

注：注意用于-20℃以下的钢材，磷含量要求尽可能低，建议P≤0.020。

热轧厚钢板常温机械性能

表 8

钢 号	厚 度	σ _s	σ _b	δ ₅	α _k	180度冷弯 d=弯心直径 a=试样厚度
		公斤/毫米 ²			公斤-米/厘米 ²	
		不 小 于				
A ₃ R	6~16	24	38	26	7.0	d=1.5a
	17~26	23	38	26	6.5	
	27~36	23	38	23	6.0	
	38~60	22	38	26	6.0	
16MnR	6~16	35	52	21	6.0	d=2a
	17~26	33	50	20		d=3a
	27~36	31	50	19		d=3a
	38~60	29	48	19		d=3a
15MnVR	6~16	40	54	13	6.0	d=3a
	17~26	38	52	17		
	27~36	36	52	17		
	38~60	34	50	17		
15MnVNR	11~26	45	60	18	6.0	d=3a
	27~36	43	57	17		
	38~50	41	55	17		

热轧厚钢板高温机械性能

表 9

钢 号	厚 度	高热抗拉强度 (公斤/毫米 ²)					高温屈服强度 (公斤/毫米 ²)				
		20℃	100℃	150℃	200℃	250℃	100℃	150℃	200℃	250℃	300℃
A ₃ R	≤20						22	20	19	17	15
	21~40						21	20	19	17	15
	42~60	38	36	35	35	35	21	20	19	17	15
16MnR	6~16	52	48	48	48	48	31	28	26	24	22
	17~26						30	28	26	24	22
	27~36	50	47	47	47	47	29	27	26	24	22
	38~60	48	46	46	46	46	28	27	26	24	22
15MnVR	6~16	54	48	48	48	48	36	33	30	27	25
	17~26						35	32	29	27	25
	27~36	52	47	47	47	47	33	31	29	27	25
	38~60	50	46	46	46	46	32	30	28	27	25

钢材弹性模数E值表

表10

材 料	用于不超过下列金属温度(℃)下的弹性模数E值 (kgf/cm ² ×10 ⁶)						
	-182	-50	20	100	150	200	250
含碳量小于或等于0.3%的碳素钢	2.06	2.03	1.95	1.93	1.91	1.88	1.86
碳-铝钢及合金含量小于或等于8%的合金钢-铝钢	2.14	2.13	2.1	2.05	2.02	2.00	1.98

平均热膨胀系数

表11

材 料	在下列温度每20℃之间的平均热膨胀系数“α” (厘米/厘米/℃×10 ⁻⁶)											
	-193	-50	-100	-50	±0	50	100	150	200	250	300	
碳素钢、碳铝钢、低铬钢(至Cr3%)	9.1	9.44	9.89	10.39	10.76	11.12	11.53	11.89	12.26	12.66	12.99	

四、球 壳 计 算

1. 符号说明:

P	—设计压力	(公斤/厘米 ²)
P _T	—试验压力	(公斤/厘米 ²)
P' _T	—设计温度≥100℃时的试验压力	(公斤/厘米 ²)
D _i	—球壳的内直径	(毫米)
S	—球壳的壁厚	(毫米)
C	—壁厚附加量	(毫米)
φ	—焊缝系数	
[σ] ^t	—设计温度下材料的许用应力	(公斤/厘米 ²)
σ _s	—材料的屈服限	(公斤/厘米 ²)
σ _T	—压力试验时壳体的应力	(公斤/厘米 ²)

2. 承受内压的球壳:

内压球壳的壁厚按下列公式计算:

$$S = \frac{PD_i}{4[\sigma]^t \phi - P} + C \quad (\text{毫米})$$

球壳的许用压力按下列公式计算:

$$P = \frac{4[\sigma]^t \phi (S - C)}{D_i + (S - C)} \quad (\text{公斤/厘米}^2)$$

3. 压力试验时球壳的应力按下列公式计算:

$$\sigma_T = \frac{P_T [D_i + (S - C)]}{4(S - C) \phi} \quad (\text{公斤/厘米}^2)$$

当设计温度≥100℃时,上式的P_T以P'_T代入。

4. 压力试验时球壳的应力不得超过以下数值:

进行液压试验时: $\sigma_T \leq 0.9\sigma_s$

进行气压试验时: $\sigma_T \leq 0.8\sigma_s$

五、支 座 计 算

1. 符号说明:

D_o	球壳外直径	(毫米)
D_i	球壳内直径	(毫米)
D_z	球壳中径	(毫米)
D_f	保温后球壳外直径	(米)
W_e	地震水平载荷	(公斤)
Q_s	雪载荷	(公斤)
Q	风载荷	(公斤)
Q_o	地震水平载荷	(公斤)
Q_g	操作时球罐总重	(公斤)
Q_w	水压试验时球罐总重	(公斤)
P_y	操作时每根支柱上的静载荷	(公斤)
P_w	水压试验时每根支柱上的静载荷	(公斤)
γ	钢材比重	(公斤/毫米 ³)
γ_1	物料比重	(公斤/毫米 ³)
N	支柱数	
q	风 压	(公斤/米 ²)
K	风力系数 (对球形设备取0.35)	
K_o	地震载荷系数	
n_k	振动系数	
Q_1	球壳重量	(公斤)
Q_2	球壳内物料重量	(公斤)
Q_3	附件重量	(公斤)
	(包括梯子、平台、保温材料等, 可先估算)	
Q_4	支柱重量	(公斤)

2. 载荷计算:

(1) 静载荷:

球壳重量

$$Q_1 = \pi D_z^2 S \gamma \quad (\text{公斤})$$

球壳内物料重量

$$Q_2 = \frac{\pi D_i^3}{6} \gamma_1 \quad (\text{公斤})$$

附件重量,梯子、平台可按表12进行估算:

附件重量参考值

表12

名 称	闭式扶梯 (公斤/米)	开式扶梯 (公斤/米)	钢制平台 (公斤/米 ²)
单位重量	40	15~24	130

支柱重量,可先按下例计算,后验算。

静载荷:

$$Q_g = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (\text{公斤})$$

$$Q_w = Q_1 + \text{水重} + Q_3 + Q_4 \quad (\text{公斤})$$

每根支柱承受的静载荷:

$$P_g = \frac{Q_g}{N} \quad (\text{公斤})$$

$$P_w = \frac{Q_w}{N} \quad (\text{公斤})$$

(2) 风载荷:

$$Q = \frac{\pi}{4} D_f^2 \cdot q \cdot K \quad (\text{公斤})$$

我国主要地区基本风压值 q (10米高度处)

表13

地 区	q 公斤/米 ²	地 区	q 公斤/米 ²	地 区	q 公斤/米 ²
上 海	45	长 春	50	银 川	50
南 京	25	抚 顺	45	长 沙	35
徐 州	35	大 连	50	株 州	35
扬 州	35	吉 林	40	南 宁	40
南 通	40	四 平	55	成 都	25
杭 州	30	哈 尔 滨	40	重 庆	30
宁 波	50	济 南	40	贵 阳	25
衢 县	40	青 岛	50	西 安	35
温 州	55	郑 州	35	延 安	25
福 州	60	洛 阳	30	昆 明	20
广 州	50	蚌 埠	30	西 宁	35
茂 名	55	南 昌	40	拉 萨	35
湛 江	85	武 汉	25	乌 鲁 木 齐	60
北 京	35	包 头	45	台 北	120
天 津	35	呼 和 浩 特	50	台 东	150
保 定	40	太 原	30	金 山 卫	45
石 家 庄	30	大 同	45		
沈 阳	45	兰 州	30		

注: ① 河道、峡谷、山坡、山岭、山沟汇交口、山沟的转弯处以及垭口应根据实测值选取。

② 基本风压值 q 系按TJ 9—74“工业与民用建筑结构荷载规范”选取。

风压随高度不同而变化。表13以10米高度处的风压为基准,陆上风压高度变化系数,一般按表14规定采用:

陆上风压高度变化系数

表14

离地面高度 (米)	≤5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
变化系数	0.75	1.0	1.15	1.25	1.41	1.54	1.63	1.71	1.78	1.84	1.90	1.93

(3) 地震载荷:

地震载荷按下式计算:

$$Q_0 = KQg$$

(公斤)

地震载荷系数K是由结构影响系数M和相应于结构基本周期T的地震影响系数 α 值而取得, 根据球形容器结构, 可按地区的地震烈度由表15选取。

地震载荷系数K。

表15

地 震 烈 度	七 度	八 度	九 度
地 震 载 荷 系 数 K	0.069	0.135	0.27

注: ① 表内K值系按TJ11—74“工业与民用建筑抗震设计规范”选取。

② 地震影响系数 α 系取最大值, 如须较精确计算可按TJ11—74。

对于六度及六度以下的地震烈度, 计算时可不予考虑。

(4) 雪载荷:

球顶部水平投影面上的雪载荷按下式和表16计算:

$$Q_s = \frac{\pi}{4} D_f^2 S_0 C_0$$

(公斤)

式中符号:

S₀——基本雪压(公斤/米²)C₀——球面积雪分布系数可取0.4我国主要地区基本雪压值 S₀

表16

地 区	S ₀ 公斤/米 ²	地 区	S ₀ 公斤/米 ²	地 区	S ₀ 公斤/米 ²
北 京	30	长 春	35	包 头	25
上 海	20	抚 顺	45	呼和浩特	30
南 京	45	大 连	40	太 原	20
徐 州	25	吉 林	75	大 同	25
南 通	20	四 平	30	兰 州	15
杭 州	40	哈 尔 滨	45	长 沙	35
宁 波	25	济 南	20	西 安	20
衢 县	40	青 岛	25	延 安	20
温 州	15	郑 州	25	西 宁	25
天 津	25	洛 阳	25	拉 萨	15
保 定	25	蚌 埠	45	乌鲁木齐	60
石 家 庄	20	南 昌	30	金 山 卫	20
沈 阳	40	武 汉	40		

注: ① 基本雪压值S₀, 系按TJ9—74“工业与民用建筑结构荷载规范”选取。

② 山区基本雪压应通过实际调查后确定。如无实测资料时, 可按当地空旷平坦地面S₀乘以系数1.2采用。

(5) 载荷的组合:

构成球罐的各部的设计应力, 在一般场合, 可采用表17载荷组合中最不利的条件进行计算。

载 荷 的 组 合

表17

		一 般 地 方	降 雪 压
长 期	正 常 时 间	$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4$	$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5$
短 期	暴 风 时	$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q$	$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+0.9Q+0.9Q_5$
		$Q_1+Q_3+Q_4+Q$	$Q_1+Q_3+Q_4+0.9Q+0.9Q_5$
	地 震 时	$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_0+0.25Q$	$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_0+0.5Q_5+0.25Q$
	试 验 时	$Q_1+Q_2+Q_4+水重$	

3. 支柱计算:

(1) 地震时或暴风时, 在最远的一根支柱上总的最大承压载荷。

$$G = \pm \frac{Q_H H}{K_1 D_i} + P_y \quad (\text{公斤})$$

地震区 $Q_H = Q_0 + 0.25Q$

非地震区 $Q_H = Q$

K_1 ——支柱有效模量系数见表18。

支柱有效模量系数表

表18

支 柱 数 N	6	8	10	12	14	16
K_1	1.5	1.9	2.15	2.25	2.3	2.4

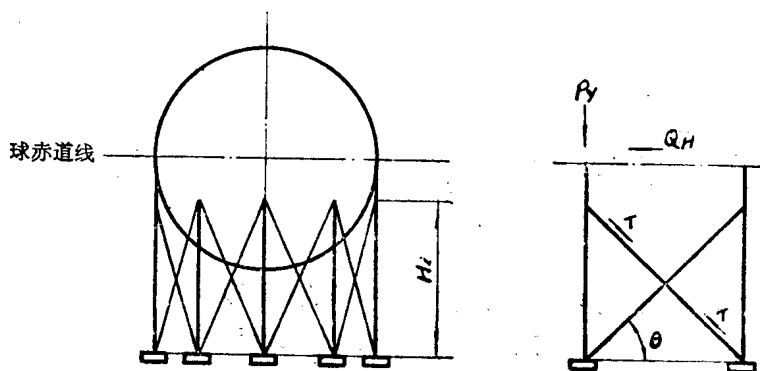


图 1—8 支柱简图