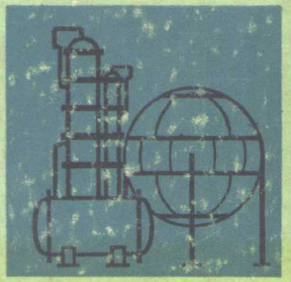


化工设备设计全书

球形容器设计

化工设备设计全书编辑委员会



上海科学技术出版社

79.5181

8601918

化工设备设计全书

球形容器设计

主 编

化学工业部设备设计技术中心站 洪德晓

编 写 者

广东省石油化工设计院	董永光	孔祥章
南 京 化 工 学 院		梁亚明
上海石油化工总厂涤纶二厂		蒋式烈

上海科学技术出版社

化工设备设计全书

球形容器设计

化学工业部设备设计技术中心站 洪德晓 主编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092-1/16 印张 10 插页 4 字数 243,000

1985年7月第1版 1985年7月第1次印刷

印数 1—7,300

统一书号: 15119·2402 定价: 8.10元

前 言

鉴于广大化工设备设计人员的要求,在化学工业部的领导下,由化工部设备设计技术中心站组织全国近百所高校、工厂、科研和设计单位,共同编写了这部《化工设备设计全书》,供从事化工设备专业的设计人员使用。

《化工设备设计全书》以结构、强度的设计计算为主,从基础理论、设计方法、结构分析、标准规定、计算实例等方面进行系统的阐述,并对化工原理的设计计算作了简介。在实用的前提下,尽量反映国内及国外引进的先进技术,并努力吸取当前国外新技术动向。总之,本书旨在继续搞好设备结构、强度设计的同时,结合化工过程的要求去研究改进设备的设计,提高设备的生产效率,降低设备的制造成本,与化工工艺专业人员一起实现化工单元操作的最佳化。

按照目前工程界的实际使用习惯,本书计量单位仍采用“米-公斤(力)-秒”工程制(MKS制),并积极创造条件,以便在再版时采用国际单位制(SI制)。

本分册——《球形容器的设计》,按照设计程序详细介绍了球形容器的各个环节,并对我国现行规范及国外有关规范作了阐述。

本分册各章由下列同志参加编写:第一、二、五、七章洪德晓,第三章董永光,第四章梁亚明,第六章孔祥章,第七章蒋式烈。

由于化工生产发展迅速,我们掌握情况有限,本分册的内容还会有不足和错误之处,热忱希望广大读者提出宝贵意见,以便再版时补充改正。

在本分册编写和审校的过程中,得到了很多单位和同志的大力协助和指导,在此致以深切的谢意。

《化工设备设计全书》编辑委员会

一九八三年

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 球形容器的特点	1
第二节 球形容器分类	1
第三节 球形容器的设计参数	3
参考文献	5
第二章 材料选用	6
第一节 球罐选材准则	6
第二节 壳体用材料	8
第三节 锻件用钢	14
第四节 球形容器用钢板性能数据	15
第三章 结构设计	17
第一节 概况	17
第二节 球壳设计	19
第三节 支座设计	41
第四节 人孔和接管	43
第五节 球罐的附件	51
第六节 球罐对基础的要求	67
第七节 球罐的抗震结构设计	69
参考文献	73
第四章 强度计算	75
第一节 球壳壁厚的确定	75
第二节 支柱、拉杆计算	78
第三节 各连接部位的强度计算	89
第四节 局部应力验算	92
第五节 计算实例	97
参考文献	108
第五章 工厂制造及现场组装	109
第一节 工厂制造	109
第二节 现场组装	111
第三节 组装方案的编制	118
第四节 组装准备	122
第五节 组装精度的控制	123
第六节 组装安全措施	125
参考文献	126

第六章 焊接	127
第一节 钢材的可焊性	127
第二节 焊接工艺的确定	129
第三节 焊工的训练及评定	131
第四节 球罐焊接工艺举例	131
第五节 焊后热处理	135
参考文献	136
第七章 检查	137
第一节 原材料检验	137
第二节 车间制造检验	140
第三节 安装焊接检验	143
第四节 竣工检查	147
第五节 使用安全检查	149

第一章

概 论

近几十年来球形容器在国外发展得很快,我国的球形容器引进装置的建设在七十年代才得到了飞速发展。通常球形容器作为大容量、有压贮存容器,在各工业部门中作为液化石油气(L. P. G.)、液化天然气(L. N. G.)、液氧、液氮、液氢、液氨及其他中间介质的贮存;也有作为压缩空气、压缩气体(氧气、氮气、城市煤气……)的贮存。在原子能工业中球形容器还作为安全壳(分隔有辐射和无辐射区的大型球壳)使用。总之随着工业的发展,球形容器的使用范围也就必然会越来越广泛。

由于球形容器多数作为有压贮存容器,故又称球罐。

第一节 球形容器的特点

球形容器与常用的圆筒形容器相比具有下列的一些特点:

- (1) 球形容器的表面积最小,即在相同容量下球形容器所需钢材面积最小。
- (2) 球形容器壳板承载能力比圆筒形容器大一倍,即在相同直径、相同压力下,采用同样钢板时,球形容器的板厚只需圆筒形容器板厚的一半。

上述二个特点使球形容器的用材远比同样容量、同样压力的圆筒形容器省料。例如,以贮存液态乙烯的 1000 m^3 容器考虑,若采用屈服强度为 50 kgf/mm^2 的钢材,贮存压力为 22 kgf/cm^2 (-31°C),则采用球形容器约需钢板 143 t ,而采用直径:长度为 $1:4$ 的圆筒形容器约需钢板 181 t 。可见采用球形容器可较多地节约钢材。

- (3) 球形容器占地面积小,且可向高度发展,有利于地表面积的利用。

由于这些特点,再加上球形容器基础简单、外观漂亮、受风面小等等原因,使球形容器的应用得到扩大。

第二节 球形容器分类

球形容器可按不同方式,如按贮存温度、结构形式等分类。

按贮存温度分类:

球形容器一般用于常温或低温。只有极个别场合,如造纸工业用的蒸煮球等,使用温度高于常温。

- (1) 常温球形容器 这类球罐,如液化石油气、氨、煤气、氧、氮等球罐。一般说这类球罐的压力较高,取决于液化气的饱和蒸气压或压缩机的出口压力。常温球罐的设计温度大于 -20°C 。

- (2) 低温球罐 这类球罐的设计温度低于常温(即 $\leq -20^\circ\text{C}$),一般不低于 -100°C 。压力属于中等(视该温度下介质的饱和蒸气压而定)。如在 -31°C 下贮存液态乙烯的球罐。

- (3) 深冷球罐 设计温度在 -100°C 以下。往往在介质液化点以下贮存,压力不高,有时

表 1-1 七十年代引进球形容器

容量, m ³	280	300	400	500	1000	1000	1000	1350	1900	2200	5200	8250
内径, mm	7300	8300	9300	9830	12400	12410	12450	13700	15400	16310	21500	25100
设计压力, kgf/cm ²	19	2	6	29.7	18.98	19.8	22	21.5	21	18.6	5.0	4.05
设计温度, °C	-15	+55~-20	+55~-20	-29	+55~-20	+50~-12.8	-31	+40~-40	-31	48	0	+4~-10
壁厚, mm	18	8	10.3~10.9	34.7~35.9	39.5~40.6	30.1~31.4	37	49.5~50.7	39~40	36~38.3	17~21	15.7~21.3
贮存介质	氢气	戊烷	丁烷	液态乙烯	丙烯 L.P.G.	液态丙烯	液态乙烯	液态乙烯	液态乙烯	液态丙烯	液氮	液氮
球壳材质	SPV 50	DILLINAI 52/36 N	DILLINAI 52/36 N	N-TUP 50	UN 10 N 36 Nb	N-TUP 50	N-TUP 50	GRE 34 SS	RIVERAGE 60 L	WEL-TEN 62	SPV 36	A 52 P 1
材质标准	JIS G 3115	S 52/36 F	S 52/36 F	LT 50-IV 60 G	S 50/34 SRF	LT 50-IV 60 G	LT 50-IV 60 G	S 50/34-SRF 27	LT 50-V 40 G	HW 50	JIS G 3115	A 537 G-A
焊条牌号	L-60	T 507-特	T 507-特	LB-62 N	T 507-特	LB-62 N	LB-62 N	FRIG-O-50	L-60 S	LB-62 P	LB-52	CRÜNK 50
焊条厂商	日铁	沈阳焊条厂	沈阳焊条厂	神钢	沈阳焊条厂	神钢	神钢	萨哈森	日铁	神钢	神钢	联邦德国
引进国别	日本	法国	法国	日本	法国	日本	日本	法国	日本	日本	日本	法国
制造厂商	日本制作所	普罗旺斯	普罗旺斯	东洋火热	普罗旺斯	东洋火热	石井铁工	普罗旺斯	石井铁工	东洋火热	石井铁工	普罗旺斯
施工单位	十三冶建	沈阳指挥部	沈阳指挥部	上船、中华、沪东	沈阳指挥部	石化五公司	吉化公司	沈阳指挥部	北化建	上焊、彭浦	山东化建、川化	江苏、广东、石化
使用单位	07 工程	辽阳化纤总厂	辽阳化纤总厂	上海石化总厂	辽阳化纤总厂	向阳化工厂	吉化公司	辽阳化纤总厂	前进化工厂	上海石化总厂	胜利化肥二厂 四川化工厂	南京、广州、安庆
设计规范	高压气体法	SNCTTI(法)	SNCTTI	KHK	SNCTTI	KHK	KHK	SNCTTI	KHK	KHK	KHK	ASME
支柱形式	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切	赤道正切
球板块数	15	16	18	42	28	54	54	30	66	66		
焊缝探伤	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线	全部射线
热处理				局部热处理	整体热处理	局部热处理	局部热处理	整体热处理	局部热处理	局部热处理	局部热处理	局部热处理

表 1-2 国内设计的球形容器

容量, m ³	2000	1000	1000	2300	400
内径, mm	15700	12300	12300	16400	9200
设计压力, kgf/mm ²	6.5	16	20	7	30
设计温度, °C	常温	48	48	常温	常温
壁厚, mm	25~28	40	34	20	36
贮存介质	C ₄	液化石油气		氮气	氧气
球壳材质	16 MnR	15 MnVN	FG 43	15 MnVNR	
材质标准	YB 536	YB 536	联邦德国标准	YB 536	
焊接方法	手工焊	手工焊		手工焊	
焊接材料	结 507 (电力牌)	结 507		结 507	
制造单位	上海锅炉厂	兰州石油化工机器厂		冶金部十三冶金金属结构厂	
施工单位	上海锅炉厂	北京市设备安装工程公司		冶金部十三冶金金属结构厂	
使用单位	上海石化总厂二分厂	天津佃起村液化气站		宝山钢铁厂等	
设计规范	《钢制石油化工压力容器设计规定》		《冶金部球罐设计规定》		
支座形式	赤道正切	赤道正切		赤道正切	
探伤要求	100% 超探	100% 超探		100% 超探	
热处理		整体热处理		整体热处理	

为常压。由于对保冷要求高,常采用双层球壳。

目前国内使用的球罐,设计温度一般在 $-40\sim+50^{\circ}\text{C}$ 之间。

按结构形式分类:

按形状分有圆球形、椭球形、水滴形或上述几种形式的混合;

圆球形按分瓣方式分有桔瓣式、足球瓣式、混合瓣式等;

圆球形按支承方式分有支柱式、裙座式、半埋式、V 形支承等。

第三节 球形容器的设计参数

球形容器的主要设计参数为设计压力和设计温度。这两个参数互有影响,对球形容器的设计影响很大,决定了材料的选用。

(1) 设计压力 设计球罐时,用来确定各部件的计算厚度或机械强度的压力。设计压力由工艺条件确定,要考虑如下几方面:

① 贮存介质为液化气时设计压力由最高设计温度决定;

② 装有安全阀时,设计压力取安全阀调定压力;

③ 装有爆破膜时,设计压力取爆破膜爆破压力。

(2) 设计温度 与设计压力同时存在的球罐壁温为设计温度。

① 设计温度由工艺条件确定时,即根据工艺传热计算确定的金属壁温为设计温度;

② 设计温度由大气环境温度确定时,参照以下方法:

最低温度——取当地月平均最低气温;

最高温度——取当地月平均最高气温作为依据。此值高于 27°C 时取最高温度为 48°C ; 低于 27°C 时取最高温度为 40°C 。当贮存液化气时,一般以此作为设计温度并由此确定设计压力。

各地的月平均最低气温及最高气温参见表 1-3。

(3) 设计压力与设计温度的配合 当球罐操作时可能出现不同的压力和温度的配合,则

表 1-3 月平均最低/最高气温

单位: °C

地 名	最 低	最 高	地 名	最 低	最 高
北京	-12.4	32.9	克拉玛依	-24.9	36.6
上海	-1.2	34.3	乌鲁木齐	-21.8	35.1
天津	-10.0	33.3	吐鲁番	-19.4	41.9
呼玛	-35.1	29.4	哈密	-21.7	36.4
齐齐哈尔	-30.2	30.4	西宁	-20.2	32.5
安达	-31.8	29.5	玉门镇	-19.0	29.8
哈尔滨	-30.2	29.9	兰州	-12.5	30.5
牡丹江	-30.3	29.7	天水	-7.5	30.7
长春	-24.3	29.3	银川	-18.2	31.0
通辽	-21.0	31.7	延安	-14.1	31.3
四平	-22.4	29.8	西安	-7.4	35.5
延吉	-22.6	30.0	汉中	-2.6	32.2
沈阳	-19.8	30.8	二连浩特	-27.6	30.6
锦州	-16.6	30.2	呼和浩特	-21.0	29.3
本溪	-18.9	29.4	大同	-20.8	29.3
营口	-17.8	29.4	太原	-15.0	30.5
丹东	-15.3	28.4	运城	-9.3	35.0
大连	-10.4	27.7	承德	-16.8	32.8
沧州	-10.6	34.9	武汉	-3.2	34.9
石家庄	-10.2	35.0	常德	-0.9	36.4
济南	-7.3	34.2	长沙	-1.1	36.3
徐州	-5.9	33.6	汕头	7.3	32.5
南京	-3.5	34.7	广州	6.6	33.5
蚌埠	-3.9	35.5	桂林	1.7	34.9
合肥	-3.2	34.8	梧州	5.3	35.3
安庆	-2.0	35.4	南宁	6.1	34.3
杭州	-1.8	36.3	成都	1.1	32.2
衡县	-0.8	36.7	重庆	3.3	35.9
温州	3.0	32.9	贵阳	-1.2	30.2
南昌	-0.9	36.7	昆明	-0.5	25.6
赣州	1.6	35.8	昌都	-12.9	26.2
福州	5.6	35.9	拉萨	-11.2	24.2
厦门	8.3	34.3	日喀则	-13.9	23.3
郑州	-7.6	34.2			
宜昌	-1.0	36.3			

应取最不利的同时出现的压力和温度配合作为设计依据。但应对其他可能出现的压力和温度配合进行校核,以证明设计满足各种使用条件。

【例 1】 无保温液态丙烷球罐的设计温度及设计压力,该球罐建造在沈阳。

因该球罐无保温,其罐壁温度取决于环境气温,而液态丙烷的蒸气压也由罐壁温度决定。

沈阳地区的月平均最高气温为 30.8°C (大于 27°C), 故取设计温度为 48°C 。此时相应的丙烷饱和蒸气压为 $18\text{kgf}/\text{cm}^2$ (即设计压力)。又沈阳地区的月平均最低气温为 -19.8°C , 此时丙烷的饱和蒸气压为 $3\text{kgf}/\text{cm}^2$, 这个压力低于设计压力 ($18\text{kgf}/\text{cm}^2$) 的 40%, 故可不必考虑 -19.8°C 及 $3\text{kgf}/\text{cm}^2$ 这一温度压力配合。

【例 2】 无保温煤气球罐的设计温度及设计压力,该球罐建造在齐齐哈尔。

同样因球罐无保温,罐壁温度也取决于环境气温。煤气球罐的压力由压缩机出口压力决定,该压力为 18 kgf/cm^2 , 取为设计压力。影响材料选择的温度为低温,即 -30.2°C ; 取该温度为设计温度。

参 考 文 献

- [1] 洪国宝 《球罐》 化学工业出版社 1982 年 2 月。
- [2] 《球罐》 上海市第一机电工业局科技组情报站。
- [2] 日本液化石油气协会标准 JLPA No. 2-1 1978. 《液化石油气球形贮罐标准》 石油部炼油设备设计技术中心站。
- [4] 《中国地面气象记录年报 1971~1979》 中华人民共和国中央气象局。
- [5] 日本工业标准 JIS B8243-1981 《压力容器的构造》 中国机械工程学会压力容器学会、化工部设备设计技术中心站。
- [6] 《化工工艺设计手册》 上海医药设计院 1974 年。
- [7] 《暖通空调气象资料集》 冶金工业部北京有色冶金设计研究总院 1979 北京。

第二章

材料选用

第一节 球罐选材准则

球罐是压力容器的一种结构形式,因而在选用材料的基本要求方面与压力容器相同。球罐与一般圆筒形压力容器比较有其特殊之处:首先,球罐容量较大,目前国内较为一般的容量为 400m^3 ,最大的约有 9000m^3 ,失效的影响大;其次,球罐壳体承受相等的双向拉应力,而圆筒形容器轴向应力仅为周向应力的一半;第三,球罐装配比较复杂,且在现场组装,组装对口多(焊缝多)角变形可能性大,局部应力也大;第四,球形容器在现场施焊,焊接条件苛刻,因而对材料的可焊性要求高。总之由于球形容器的固有特点,就必定会对材料提出特殊的要求。

球罐在使用时的主要失效模型有五种,对这五种失效模型起控制作用的物理及力学性能如下:

失效模型	控制性能
弹性失稳	弹性模量
过渡的弹性变形	弹性模量
整体塑性变形	屈服强度
拉伸失稳	屈服强度
快速断裂	韧性

由此可见要求材料必须具有一定的强度(σ_s 、 σ_b)、刚度(E)、韧性(冲击韧性、无延性转折温度、断裂韧性等)。

球罐在成形加工过程中必须经受各种变形,因而要具有一定的塑性,即要求有一定的伸长率(δ)和断面收缩率(ψ)。

对材料的可焊性要求,目前以控制材料的碳当量(C_{eq})、焊接裂纹敏感性指数(P_c)及焊接裂纹敏感性组成(P_{cm})等为基准。

目前球罐的使用场合基本上属于常温及低温,因而对高温方面的材料要求就不加考虑了。这里重点介绍常温、低温球罐用材料的选材准则。

1. 强度指标 主要指材料的屈服强度 σ_s 及抗拉强度 σ_b 。习惯上以屈服强度作为材料级别分类依据,如 40kgf/mm^2 级材料,即指屈服强度规定指标大于 40kgf/mm^2 的材料。材料的屈服强度与韧性有关,往往是强度越高、韧性越差。此外,高强度材料对成型、组装、焊接也带来了一些新的问题。应该怎样选择材料的强度级别呢?

(1) 要考虑现行设计规范材料许用应力安全系数的规定 目前的设计规范对材料许用应力安全系数的规定有三类。一是只取屈服强度的安全系数,即只考虑屈服强度;其二是同时考虑屈服强度和抗拉强度,即同时取屈服强度安全系数和抗拉强度安全系数,取较低值为许用应力;第三类为按材料的屈强比取许用应力。对第一类情况,只要施工条件许可,可考虑采用高屈服强度材料以减少壁厚;对第二类情况应综合考虑,否则单纯考虑选用高屈服强度材料不但不能达到减少壁厚的目的,还可能带来韧性降低,成型、焊接困难等一系列问题;对第三类情

况,当屈强比为 0.5 时,屈服强度安全系数为 2,屈强比升高则该安全系数也增大。

(2) 要考虑钢材的质量(板厚效应) 我国钢厂生产的中板以 40mm 左右以下的综合性能较好。从国外引进的多层高压容器,倾向于采用 30mm 左右的板材,估计也是较全面地考虑了材料综合性能而定的。从我国的中厚板生产情况看也有相仿情况。因而我们建议在选用材料的强度级别时应尽可能使材料厚度控制在 30mm 左右或 40mm 以下。

(3) 要考虑施工的方便 从我国现有的施工实践经验出发,目前可采用的高强度材料以 50kgf/mm² 级为限,更高屈服强度级别的材料在施工中将会遇到更多的困难。此外目前有一不成文的规定,即在采取一定措施(如焊前预热,焊后缓冷等)后球形容器焊后不进行热处理的厚度界限可达 40mm。这也是考虑采用较高强度级别的因素之一。

2. 韧性指标 韧性是保证材料避免产生裂纹,防止快速断裂的重要性能,对球形容器来说这一指标更为重要。韧性指标很多,有考虑“转折温度”的 V 形缺口冲击试验,落锤试验(NDT 温度),宽板拉伸试验;有考虑“断裂韧性”的 COD 及 K_{IC} 等。由于韧性指标繁多,相互因试验方法不同而不能统一,但世界各国从实用上将各种韧性指标与 V 形缺口冲击试验的吸收能量相联系,以期达到简单方便的目的。作为材料的验收方法,我们认为这是现实可行的。

韧性要求应随着材料强度级别的升高而提高。制造球形容器的材料,在使用温度时,其 2mm V 形缺口夏比纵向冲击试样的能量吸收值应满足下列要求:

屈服强度(kgf/mm ²)	三个试样平均值	单个试样最小值
≤30	1.8	1.5
>30~≤40	2.0	1.6
>40~≤50	2.8	2.2
>50	侧向膨胀量 ≥0.38mm	

从上面要求可看到,在钢厂没有明确保证材料韧性的情况下(或保证的韧性指标与使用要求有差距时),规定某一材料的允许使用最低温度是不恰当的。因为材料的韧性不仅与其化学成分、冶炼工艺、使用状态有关,还与材料的厚度有关。

3. 塑性指标 目前常用的压力容器用钢,均属中、低强度钢,其塑性指标(如伸长率、断面收缩率、冷弯)均能满足要求,不如韧性指标那样矛盾比较突出。

4. 可焊性要求 球形容器用材料对可焊性要求比通常的压力容器用材更为高。理由是很明显的,大量的双曲面组对焊及现场施工……。因而在材料的选择上就要严格考虑可焊性。

常用的考虑可焊性的指标有以下几种:

(1) 碳当量 C_{eq} 国际焊接学会(IIW)推荐用于低合金结构钢的碳当量计算公式为:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \%$$

一般要求屈服强度为 50kgf/mm² 级的低合金高强度钢的 C_{eq} 控制在小于等于 0.45。

(2) 裂纹敏感性指数 P_c 碳当量与焊接热影响区硬度有一定关系,但大量研究结果指出以此来判断裂纹出现的可能性不够完全,因而采用考虑拘束度(材料厚度)和开裂性(焊缝中 H 含量)的裂纹敏感性指数 P_c , P_c 的计算式如下:

$$P_c = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{h}{600} + \frac{H}{60} \%$$

式中: h ——钢板厚度, mm;

H ——焊缝中 H 含量, cc/100 g。

上式的适用范围为: C=0.07~0.22%, Mn=0.40~1.40%, Si=0~0.60%, Cu=0~0.50%, Cr=0~1.20%, V=0~0.12%, Ni=0~0.05%, B=0~0.005%, $h=19\sim 50$ mm, $H=1.0\sim 5.0$ cc/100 g。

大量试验结果表明 $P_o > 0.35$ 情况裂纹发生几率很大, 而 $P_o \leq 0.30$ 则裂纹发生几率就小(当然还应考虑预热的影响)。由 P_o 尚可得出 Y 型坡口拘束试验中防止裂纹产生的预热温度, 其经验关系为:

$$T(^{\circ}\text{C}) = 1440P_o - 392$$

式中 T 为防止 Y 型坡口拘束试验产生裂纹的预热温度。

(3) 裂纹敏感性组成 P_{cm} 裂纹敏感性指数 P_o 包括了板厚与焊缝金属中扩散氢量两项, 与材料的关系不大, 因而在考虑板材焊接裂纹时略去该两项, 而引出了裂纹敏感性组成 P_{cm} , P_{cm} 实质上也是一种碳当量计算式, 特别适用于屈服强度大于 40 kgf/mm² 的高强度钢:

$$P_{cm} = C + \frac{\text{Si}}{30} + \frac{\text{Mn}}{20} + \frac{\text{Cu}}{20} + \frac{\text{Ni}}{60} + \frac{\text{Cr}}{20} + \frac{\text{Mo}}{15} + \frac{\text{V}}{10} + 5B\%$$

日本对裂纹敏感性组成很感兴趣, 近来按 $P_{cm} \leq 0.20$ 的要求发展了所谓“无裂纹”球形容器用钢, 当然这种“无裂纹”也是有一定要求的。从 P_{cm} 也可看出“无裂纹”球形容器用钢的强度级别不会太高。

5. 经济指标 对球形容器用钢提出了各种要求, 势必在经济上增加了成本。在球形容器用钢的选择上, 经济指标是要重点考虑的, 因为钢材的价格在整个球形容器的投资上占了相当的比例。

根据国际焊接学会的文件, 材料的选用会影响很多工序, 如: 设计计算中容器几何尺寸, 焊接工艺, 材料的检验要求, 焊接工艺评定, 焊工考核, 焊接准备工作, 焊接过程的管理, 焊后的检验, 焊后热处理要求, 水压试验等等。

作为一个优秀的设计工作者, 对于材料的选用应作全面考虑, 恰切地选用合适的材料。如果认为选材要求越高越好的话, 则造成优材劣用的设计决不是一个好的设计方案。对材料要求不合适地提高, 不但增加了材料的成本, 也导致整个施工价格的上升, 是一种极大的浪费。在设计选材时, 必须着眼于确保安全使用, 又要经济合理。

第二节 壳体用材料

本节介绍适宜用来制作球形容器壳体的钢材, 分碳素钢、低合金钢、低温用钢及不锈钢。设计时可根据工艺条件选用。为了保证球罐的质量, 我们根据各钢号的原有技术条件提出了补充技术条件, 这些补充技术条件在设计(或订货)时必须提出, 有关这些钢号的化学成分及机械性能列于第三节。

一、球形容器用碳素钢

1. A3R(甲3容)

标准依据: YB536-69“压力容器用碳素钢及普通低合金钢热轧厚钢板技术条件”

适用范围:

温度 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 壁厚 ≤ 30 mm

补充技术要求(指每张钢板):

- (1) 厚度大于 20 mm 时应保证超声波探伤质量。
- (2) 厚度大于 20 mm 时应进行断口检验。
- (3) 常温 V 形缺口冲击试样冲击吸收能量不小于:

三个试样平均值 1.8 kgf·m

单个试样最低值 1.3 kgf·m

2. 20 g(20 锅)

标准依据: YB 713-72“制造锅炉用碳素钢及普通低合金钢钢板技术条件”

适用范围:

温度 $\geq 0^{\circ}\text{C}$

厚度 ≤ 30 mm

补充技术要求(指每张钢板):

- (1) 厚度大于 20 mm 时应保证超声波探伤质量。
- (2) 常温 V 形缺口冲击试样冲击吸收能量不小于:

三个试样平均值 1.8 kgf·m

单个试样最低值 1.3 kgf·m

二、低合金高强度钢材

1. 16 MnR(16 锰容)

标准依据: YB 536-69“压力容器用碳素钢及普通低合金钢热轧厚钢板技术条件”

适用范围:

(1) 热轧状态

温度 $> 0^{\circ}\text{C}$ 厚度 ≤ 30 mm

温度 $> -20 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 厚度 ≤ 20 mm

(2) 正火状态

温度 $\geq -40^{\circ}\text{C}$ 厚度 ≤ 30 mm

补充技术要求(指每张钢板):

- (1) 厚度大于 20 mm 时应保证超声波探伤质量。
- (2) 厚度大于 20 mm 时应按锅炉钢板要求进行断口检验。
- (3) 对正火状态钢板应注明正火热处理状态供货。
- (4) 使用温度下 V 形缺口冲击试样的冲击吸收能量不小于:

三个试样平均值 2.1 kgf·m

单个试样最低值 1.4 kgf·m

2. 15 MnVR(15 锰钒容)

标准依据: YB 536-69“压力容器用碳素钢及普通低合金钢热轧厚钢板技术条件”

适用范围:

温度 $> 0^{\circ}\text{C}$ 厚度 ≤ 30 mm

温度 $> -20 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 厚度 ≤ 20 mm

补充技术要求(指每张钢板):

- (1) 厚度大于 20 mm 时应保证超声波探伤质量。

(2) 厚度大于 20 mm 时应按锅炉钢板要求进行断口检验。

(3) 使用温度下 V 形缺口冲击试样的冲击吸收能量可小于:

三个试样平均值 2.8 kgf·m

单个试样最低值 2.0 kgf·m

3. 15MnTiCl(15 锰钛船 I 组)

标准依据: YB183-70“造船用碳素钢及普通低合金钢板技术条件”

适用范围:

温度 $\geq -40^{\circ}\text{C}$ 厚度 $\leq 40\text{ mm}$

补充技术要求:

(1) 厚度大于 20 mm 时应保证超声波探伤质量。

(2) 使用温度下 V 形缺口冲击试样的冲击吸收能量不小于:

三个试样平均值 2.8 kgf·m

单个试样最低值 2.0 kgf·m

4. 15MnVNR(15 锰钒氮容)

标准依据: YB536-69“压力容器用碳素钢及普通低合金钢热轧厚钢板技术条件”

适用范围:

温度 $\geq -40^{\circ}\text{C}$ 厚度 $\leq 40\text{ mm}$

补充技术要求:

(1) 厚度大于 20 mm 时应保证超声波探伤质量。

(2) 厚度大于 20 mm 时应按锅炉钢板要求进行断口检验。

(3) 应注明正火热处理状态交货。

(4) 使用温度下 V 形缺口冲击试样的冲击吸收能量不小于:

三个试样平均值 2.8 kgf·m

单个试样最低值 2.0 kgf·m

5. 14MnMo(14 锰钼)

标准依据: “乙烯球罐用 14MnMo 钢板验收技术协议”及“乙烯球罐用钢基本技术要求”

(附后)

适用范围:

温度 $\geq -40^{\circ}\text{C}$ 壁厚 $\leq 40\text{ mm}$

附一: 乙烯球罐用 14MnMo 钢板验收技术协议(本协议为武汉钢铁公司签订)

钢的生产

(1) 钢由平炉冶炼, 钢的生产必须严格遵守本钢种规定的冶炼工艺要求和缓冷工艺要求、热处理工艺要求, 钢板采用横向轧制。

(2) 钢的熔炼化学成分(%)如下:

C	Si	Mn	Mo	S	P
≤ 0.15	0.2~0.4	1.15~1.5	0.4~0.6	≤ 0.025	≤ 0.03

注:

1. 钢中残余含铜量 $\leq 0.35\%$;

2. 钢板以熔炼成分交货, 成品成分与熔炼成分允许有如下的偏差:

Si $\pm 0.03\%$ Mn $\pm 0.03\%$ Mo $\pm 0.02\%$

(3) 钢板以调质状态交货

技术要求

(1) 拉伸试验 钢板拉伸试样按 GB 228-76 规定, 选取 $D=15\text{ mm}$ 的短试样。拉伸性能应满足以下规定: $\sigma_{0.2} \geq 50\text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_b = 60 \sim 75\text{ kgf/mm}^2$, $\delta_5 \geq 16\%$, $\psi \geq 50\%$ 。

(2) 冷弯试验 采用 $B=2a$, $d=3a$, 试样弯至 180° 不裂, 侧面无起层为合格。

(3) 冲击试验 采用 2 mm V 形缺口夏比试样, 试验温度为 -40°C , 单个试样的冲击值 $\geq 3.5\text{ kgf}\cdot\text{m/cm}^2$ 。

(4) 断口检验 对大于 20 mm 钢板按 GB 713-72 “制造锅炉用碳素钢及普通低合金钢板技术条件”第 5 条, 在钢板断口上金属组织应均匀, 不得有气泡、裂缝和夹杂, 一个断口上允许有长度总和不大 30 mm 的发纹, 但任一条发纹长度不应大于 15 mm , 大断口试验数据由武钢提供作为参考。

尺寸、公差与外观

(1) 钢板长宽尺寸按 GB 709-65 “热轧厚钢板品种”的规定。

(2) 钢板表面质量按 YB 536-69 “压力容器用碳素钢及普通低合金钢热轧厚钢板技术条件”第 7 条要求交货。

验收规则

(1) 所有拉伸、冲击试样均为横向切取。

(2) 试样数量, 每张钢板拉伸一个, 冷弯一个, 断口一个, 冲击二个。

(3) 如拉伸、冷弯和冲击有任何一个指标数值不合格者, 按规定用双倍试样对该项进行复验, 如复验结果中仍有一个试样不合格时, 则该钢板应予报废, 但可重新热处理后提交验收。

标志、证明书

(1) 质量证明书应按 GB 247-63 规定。

(2) 每张钢板端部应用钢印与油漆记上钢号、炉罐号、批号、规格尺寸。

(3) 本钢号以 “14 Mn Mo” 标志。

附二: 乙烯球罐用钢板基本技术要求 (由鞍山钢铁公司、武汉钢铁公司及用户单位制定, 经石油、化工、冶金三部炼油化工用钢试验协作组转发)

(1) 材料

① 化学成分

$$S \leq 0.03\% \quad P \leq 0.03\%$$

参考要求

$$\text{碳当量 } C_{eq} \leq 0.45$$

$$C_{eq} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{40} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{V}}{14} \%$$

$$\text{裂纹敏感性组成 } P_{cm} \leq 0.28$$

$$P_{cm} = C + \frac{\text{Si}}{30} + \frac{\text{Mn}}{20} + \frac{\text{Cu}}{20} + \frac{\text{Ni}}{60} + \frac{\text{Cr}}{20} + \frac{\text{Mo}}{15} + \frac{\text{V}}{10} + 5B\%$$

② 热处理状态: 调质

③ 机械性能 ($\leq 40\text{ mm}$)

$$\sigma_s \geq 50\text{ kgf/mm}^2, \quad \sigma_b = 60 \sim 75\text{ kgf/mm}^2$$

$$\delta_5 \geq 16\%, \quad \psi = 50\%$$

④ 低温韧性 -40°C V 形缺口横向冲击试样单个冲击值 $\geq 3.5\text{ kgf}\cdot\text{m/cm}^2$