

球形容器

(讲义试用本)

国家劳动总局 ~~锅炉压力容器~~ 安全监察局

北京 1981

球形容器讲义目录

第一章 总论	1
第一节 球罐的名称及定义	1
第二节 球罐的特点	4
第三节 球罐的各种型式	5
第四节 球罐的用途	15
第二章 国内外球罐建造进展	21
第一节 球罐建造历史概况	21
第二节 各国球罐建造概况	24
第三节 国内球罐建造概况	33
第三章 球罐的材料	43
第一节 球壳选材的准则	43
第二节 各国球罐选材动向	53
第三节 国内球罐选材动向	56
第四章 球罐的设计	68
第一节 球罐规范综述	68
第二节 球罐的强度计算	73
第三节 球罐的结构设计	87
第四节 球罐安全设施设计	128
第五节 球罐计测仪表设计	142
第五章 球罐的制造	145
第一节 概述	145
第二节 球罐的放样及划线	147
第三节 球罐的压制及坡口加工	154
第四节 球壳板制造检验及包装	159
第六章 球罐的组装	161
第一节 球罐组装质量控制	161
第二节 球罐组装方法综述	166
第三节 球罐组装方案实例	173

第七章 球罐的检查和试验.....	195
第一节 概 述.....	195
第二节 原材料的检查和试验.....	198
第三节 制造质量检查.....	199
第四节 组装时的试验及检查.....	201
第五节 焊接时的试验及检查.....	203
第六节 竣工检查及试验.....	206
第七节 球罐开罐检查及试验.....	212
第八章 球罐事故与裂纹.....	212
第一节 “球罐事故”与“破坏”的概念.....	213
第二节 球罐事故及裂纹的分类.....	214
第三节 国外球罐事故.....	215
第四节 国内球罐事故及裂纹.....	231
第五节 事故特点与防止措施.....	261
参考文献 83种.....	263

第一章 总 论

球形容器（以下简称：球罐）是贮存和运输各种气体、液化气体、液体的压力容器，近50年以来，已在各种工业领域和城市建设中得到广泛的应用。鉴于球罐的优异的特点，随着工业向大型化、高参数方向发展，球罐的建造及应用也将与日俱增。

第一节 球罐的名称及定义

赤道正切式球罐是由以下几部分组成：

(1) 球罐本体：（球壳）（见图1所示）

（a）球壳板：（球板、瓣片、西瓜板）

将钢板压制成球形圆弧板，并由这些成型板拼装焊接成球壳，这些呈球形的壳板叫球壳板。

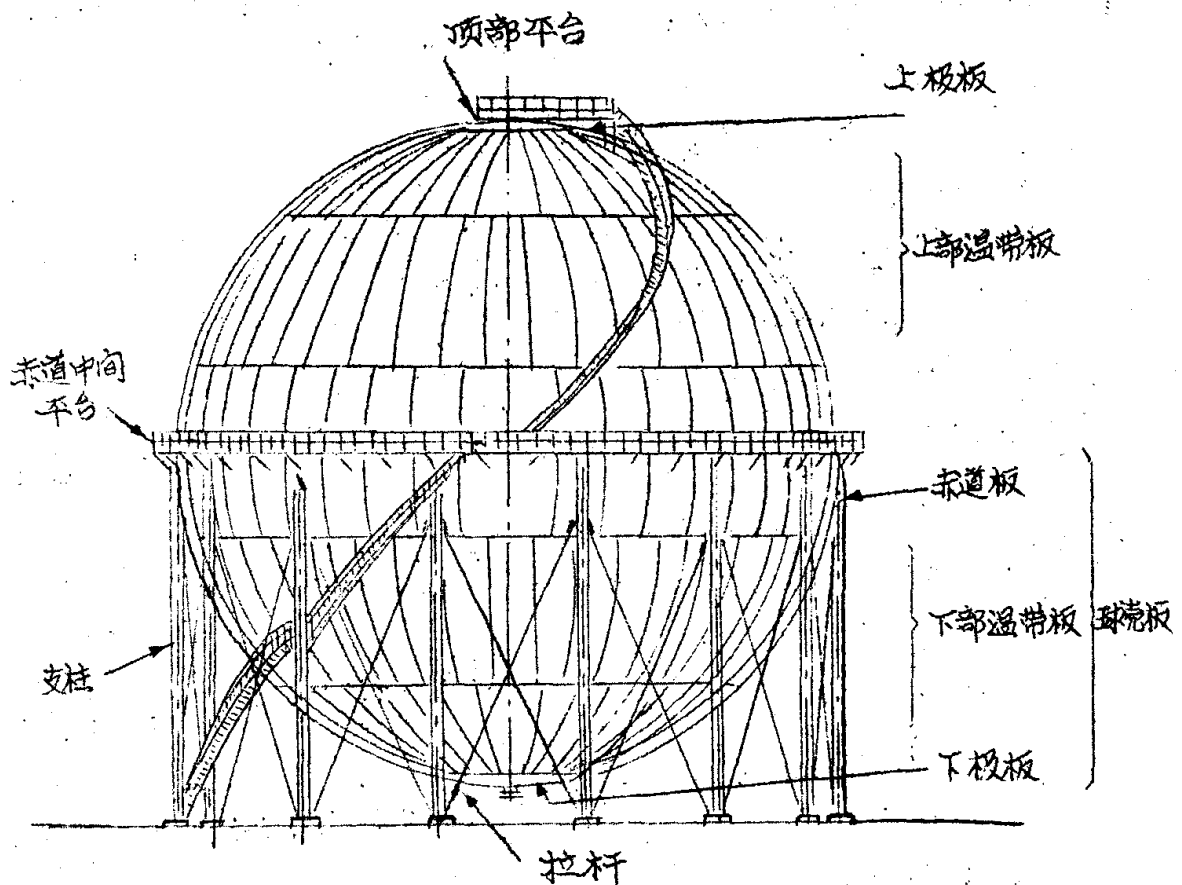


图1 球罐各部分的名称

(b) 球壳板分类:

球壳可以用各种经纬线进行分割成各种球壳板组底,一般常见的有足球式、桔瓣式、足球桔瓣混合式三种,目前以桔瓣式分割最常见,各部份的名称如下:

① 赤道带板:沿球壳而通过球体中心的赤道线的平行纬线所切割的球台带为赤道带,组成赤道带的球壳板叫赤道带板;

② 上下温带板:(南北温带板)

位于赤道带上部的纬线切割的球台叫上温带(北温带),位于赤道带下部的纬线切割的球台叫下温带(南温带)。组成上温带(北温带)的球壳板叫上温带板(北温带板),组成下温带(南温带)的球壳板叫下温带板(南温带板);

③ 上下寒带板:(南北寒带板)

位于上温带上部的纬线切割的球台叫上寒带(北寒带),位于下温带下部的纬线切割的球台,叫下寒带(南寒带)。组成上下寒带的球壳板,分别可称为:上寒带板(北寒带板),下寒带板(南寒带板);

④ 上下极带板:(南北极板)

位于上温带或上寒带上部的球冠部分叫上极带(北极带),位于下温带或下寒带下部的球冠部分叫下极带(南极带),组成上下极带的球壳板叫上极板(北极板)或者下极板(南极板)。

(2) 支承构件:

球罐是由多种钢结构的支承件进行支承的,目前常见的是赤道正切支柱拉杆结构。

(a) 支柱:承受球罐垂直载荷的柱式构件,与球壳赤道圈正切位置焊接;

(b) 拉杆:两相邻或相筒支柱间的连接构件,主要承受球罐的水平载荷;

(c) 地脚螺栓,球罐支柱与基础固定的螺栓叫地脚螺栓;

(3) 人孔及接管:

(a) 人孔:为了方便人进入球罐内部而设置的孔为人孔,分上部人孔和下部人孔两种;

(b) 接管：为了使贮存介质进入或输出，液位、温度及压力测试而开设接管，也可分为上部接管（顶部接管）和下部接管（底部接管）两种。

(4) 附件设施：

(a) 梯子平台：（外部附件）

为了使入能到达球罐顶部的设施，一般分为下部直梯、中间平台、中部赤道环形平台、上部盘梯（或者直梯）、顶部平台等组成；外部也有为了检查球罐外侧焊缝用的，各种旋转梯子；

(b) 内部转梯及平台：（内部附件）

为了开罐检查时方便检查内部焊缝用的旋转梯子及平台，分为内部上部转梯和内部下部转梯。

(c) 喷淋设施：

为了使球罐在高温季节对球壳进行降温的装置叫降温喷淋设施；为了在发生火灾时对球壳进行降温或水幕保护的喷淋装置叫火灾喷淋设施。

(d) 隔热设施：

为了使球罐与外界不进行热传递的设施，主要包括；球罐热量不传递给外界的保温层或者球罐冷量不传递给外界的保冷层，为了使支柱在火灾时不被烧塌的支柱防火绝热层。

(e) 计测安全设施：

球罐的贮存参数计测及安全设施较多，各种不同球罐要求也不一样，一般可分为以下几种：

① 安全阀：火灾安全阀及异常安全阀；

② 温度计测：

球罐现场显示进出口接管温度计

球罐控制室显示上下部温度计

球壳表面温度计

球罐保温层外侧温度计

③ 压力计测：

球罐现场显示上下部压力计

球罐控制室显示上下部压力计

超高压报警

④ 液位计测:

球罐现场显示高低液位玻璃板液位计

球罐现场显示浮子液位计

球罐控制室显示差压液位计

球罐超装最高液位报警

⑤ 紧急切断装置:

在发生火灾时将球罐与外界物料连通处进行切断,包括紧急切断阀,快速排泄阀及其执行机构,安装在液化石油气球罐的液体入口,排放口上。

第二节 球罐的特点

球罐具有较多的特点而优于其他形状的压力容器,主要特点如下:

(1) 与同等容量的圆筒形容器相比,球罐的表面积最小;

(2) 球罐表面积最小,因而在贮运气体或液化气体介质时,冷量或热量损失也最小,减少了贮运过程的能耗消耗,降低贮运成本费,在超低温介质的贮运必然大量采用球罐,如液氧、液氢、液氮贮罐均采用球罐;

(3) 球罐受力均匀,在相同直径和工作压力下,其薄膜应力仅为圆筒容器的环向应力的 $\frac{1}{2}$,故板厚仅需圆筒形容器板厚的一半。也就是说,在相同直径与板厚条件下,球罐承载压力最高,对于贮存超高压气体介质或超高压试验装置,球罐也被广泛采用;

(4) 球罐具有表面积小及板厚薄,因而重量轻,耗材少,造价低,材料的消耗比较见表1所示。因此对于超大型贮运液化天然气的槽球船,大都采用球罐,又如世界各国高架贮水水塔均采用球罐,均因球罐耗材少,重量轻;

(5) 球罐承受风载荷较圆筒形容器小,球体的风力系数为0.3左右,圆筒形约为0.7左右,受风面积球罐比同样容量的圆筒形小,所以球罐较圆筒形罐抗风载荷能力大,较为安全,高架贮水容器大多采用球罐;

表1: 圆筒形与球形容器的材料消耗量

容 积 m ³	圆筒形容器 (A) 吨	球形容器 (B) 吨	消耗比 (B/A)
5000	180	100	0.555
10000	300	190	0.633
3000	800	530	0.663
3000	800	美国牌号 185 (T - 1 钢) 普通低合金高强度钢	0.231

(6) 采用赤道正切柱式支承球罐。基础简单，工程量小，建造费用便宜；

(7) 球罐制造方便，安装周期短，组建成本低；

(8) 球罐维修简单，配管方便，球罐占地面积小，外形美观；

(9) 球罐的缺点是在没有大尺寸的钢板及压制成型的压机开档尺寸小的情况下，球壳板多，焊缝长，组建难度大；

(10) 球罐在野外组建时间长，施焊时对周围环境要求高，因此施工季节短，不如圆筒形容器可在车间内部组建；

(11) 球罐的焊接要求高，且是全位置焊接，至今尚未有球罐全位置自动焊机得到使用时，手工焊施焊球罐环境恶劣，劳动强度大。施焊要求高，组建质量较难保证；

(12) 球罐对设计、制造、组装、焊接、检验的技术要求高，施工管理严格。

第三节 球罐的各种型式

在工业领域中使用的球罐以及以球体为主要形状的变种贮罐，型式是多种多样的，主要的分类及型式如下：

(一) 按使用工艺条件分类:

(1) 高压常温球罐:

使用压力在 $10 \sim 30 \text{ Kgf/cm}^2$ 之间, 使用温度为常温, 例如贮存氧气、氮气、空气、液化石油气等贮罐;

(2) 中压低温球罐:

使用压力在 $18 \sim 22 \text{ Kgf/cm}^2$ 之间, 使用温度在 $-20^\circ\text{C} \sim -50^\circ\text{C}$ 的范围之内, 例如: 乙烯、丙烯等液化气体球罐;

(3) 低压超低温球罐:

使用压力在 5 Kgf/cm^2 以下, 使用温度为 $-104^\circ\text{C} \sim -253^\circ\text{C}$ 左右, 例如: 液氢、液氧、液氮等贮运球罐;

(4) 超高压超低温球罐:

使用压力在 408 Kgf/cm^2 左右的超高压贮存液氧和液氢球罐。如工作压力为 408 Kgf/cm^2 , 容积为 1.2 m^3 , 内径为 1330 mm , 板厚 55 mm , 工作温度 -183°C 液氧球罐。

(二) 按贮存介质分类:

(1) 贮存气体的球罐:

主要贮存气体, 如氧气、氮气、氢气、空气、城市煤气等球罐;

(2) 贮存液化气体的球罐:

主要贮存液化石油气 (LPG), 液化天然气 (LNG), 液态乙烯、液态丙烯、液氮、液氧、液氢、液氦等介质, 在球罐内往往是气液两相共存;

(3) 贮存液体的球罐:

主要贮存液体, 如水、轻油等各种液体, 一般使用压力很低;

(三) 按球罐使用材料分类:

按球罐选用材料分类可分为铁基金属、非铁基金属及非金属三类球罐。

(1) 铁基金属类:

(a) 普通低碳钢球罐:

凡是选用钢材的强度极限低于 45 Kgf/mm^2 以下的球罐均属普通低碳钢球罐, 如中国的 A, R, 20g; 日本的 SPV24、SM41B、

SM41C; 西德的BH26C、BH29S、TSH29、BHW16;

(b) 普通低合金高强度钢球罐

凡是屈服极限在 30Kg f/mm^2 以上, 强度极限在 45Kg f/mm^2 以上, 屈强比一般超过 0.65 (美国的低合金钢其屈强比稍低些) 均属于高强度钢球罐。一般球罐选用高强度钢均采用正火状态, 消除应力退火, 正火加回火, 淬火加回火热处理状态使用, 例如, 中国的16MnR、15MnVR, 日本的WEL-CON 2H, NK-HT60、SUMITEN60、WEL-TEN62、WEL-TEN80C、RIVER ACE60、SPV50、SM50B、N-TUF50、K-TEN62; 美国的A515-70、A516-70、T-1; 西德的BH29S~BH51S、TSH32、TSH36、BHW22~BHW33; 法国的CREUSELSO 34SS、DILLINA 52/36N、GAPAVE121 A52; 英国的BS1501-213、BS3604-63。

(c) 低镍合金钢球罐

为了贮运液化天然气、液化气体, 要求在低压(0.07Kg f/cm^2)低温(-162°C)下具有较高强度及高韧性材料, 国外相继开发90%Ni、5.5%Ni、3.5%Ni等低镍合金钢球罐, 该材料是在普通低碳钢化学成份中加入9%Ni, 或者, 5.5%Ni、3.5%Ni, 经过适当热处理后获得的, 用于低压超低温贮存球罐, 在 -196°C 时钢材及焊接头具有良好韧性, 用于L.N.G球罐, 液氧、液氮球罐;

3.5%Ni钢有: 美国的A203-70; 西德的10Ni14, 16Ni14; 法国的NFA36-208-66、3.5Ni; 日本的N-TUFCH130;

5%Ni钢有: 法国的NFA36-208-66、5Ni; 西德的12Ni19; 日本的N-TUFCH196;

9%Ni钢有: 美国的ASTM A353-70、A553-70A级; 法国的NFA36-208、9Ni; 西德的VDEh

680 X8N19, 日本的ASTM A353-70、A553-70A级, 英国的BS1501-509;

(D) 不锈钢球罐

用于低温低压贮存介质采用不锈钢制球罐, 此类球罐一般采用双层结构, 内球材料选用奥氏体不锈钢, 外球材料选用一般碳钢, 用于贮存液化天然气、液氢球罐。

(2) 非铁基金属类,

目前用于工业的非铁基金属类球罐主要是铝合金球罐, 用于大型低温低压贮运液化天然气, 材料选用, 5803-0铝镁合金。

(3) 非金属类,

用于工业的非金属类球罐主要是用于高架水塔的玻璃钢球罐, 贮存耐腐蚀介质的硬聚氯乙烯球罐, 玻璃钢是一种玻璃纤维增强塑料, 它是采用合成树脂为粘结材料, 以玻璃纤维及其制品(如玻璃布、玻璃带、玻璃丝等)为增强材料, 可按照各种成型方法加工成球罐。目前日本能制作 $0.5\text{ m}^3\sim 10\text{ m}^3$ 容量球罐, 用于高架水槽, 地下水槽, 药品贮槽, 粮食品贮槽等容器, 我国为了贮运盐酸也制作硬质聚氯乙烯非金属球罐。

(四) 按球罐结构形式分类:

(1) 单层壁纯圆形球罐。

此类球罐壳体是由单层钢板或者复合钢板、多层板绕制包扎等结构组成的纯圆形的球罐, 该结构是工业球罐主要形式, 单层板的球罐又以球壳板的分割形式不同可分成桔瓣式、足球式、足球桔瓣式等多种型式。

(A) 桔瓣式球罐:(见图2所示)

球壳板分割如桔子瓣一样, 一般容量在 $100\text{ m}^3\sim 10000\text{ m}^3$ 均采用此类型式。

(B) 足球式球罐:(见图3所示)

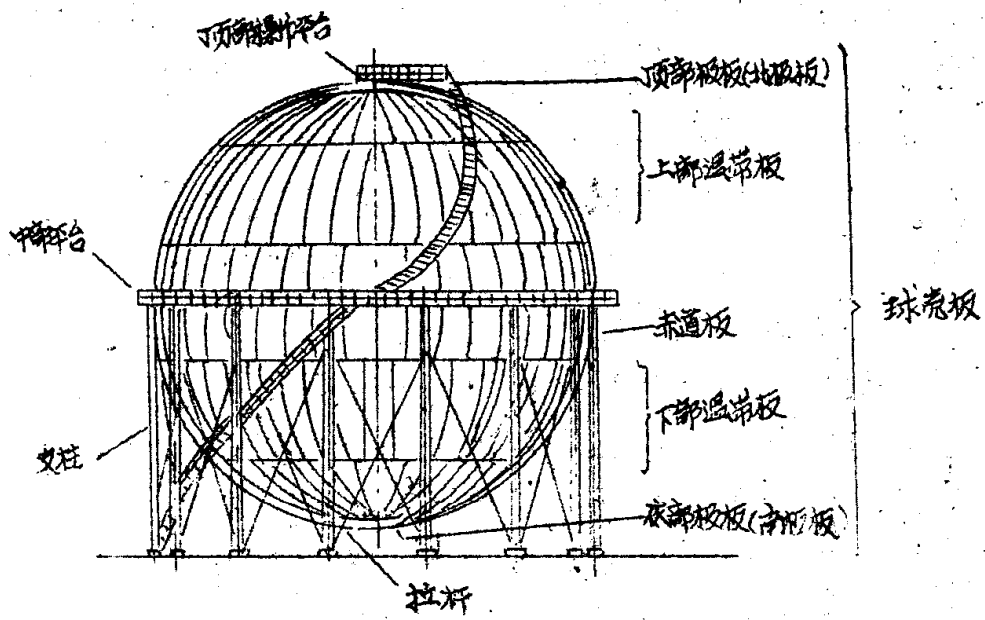


图2 单层壳球罐

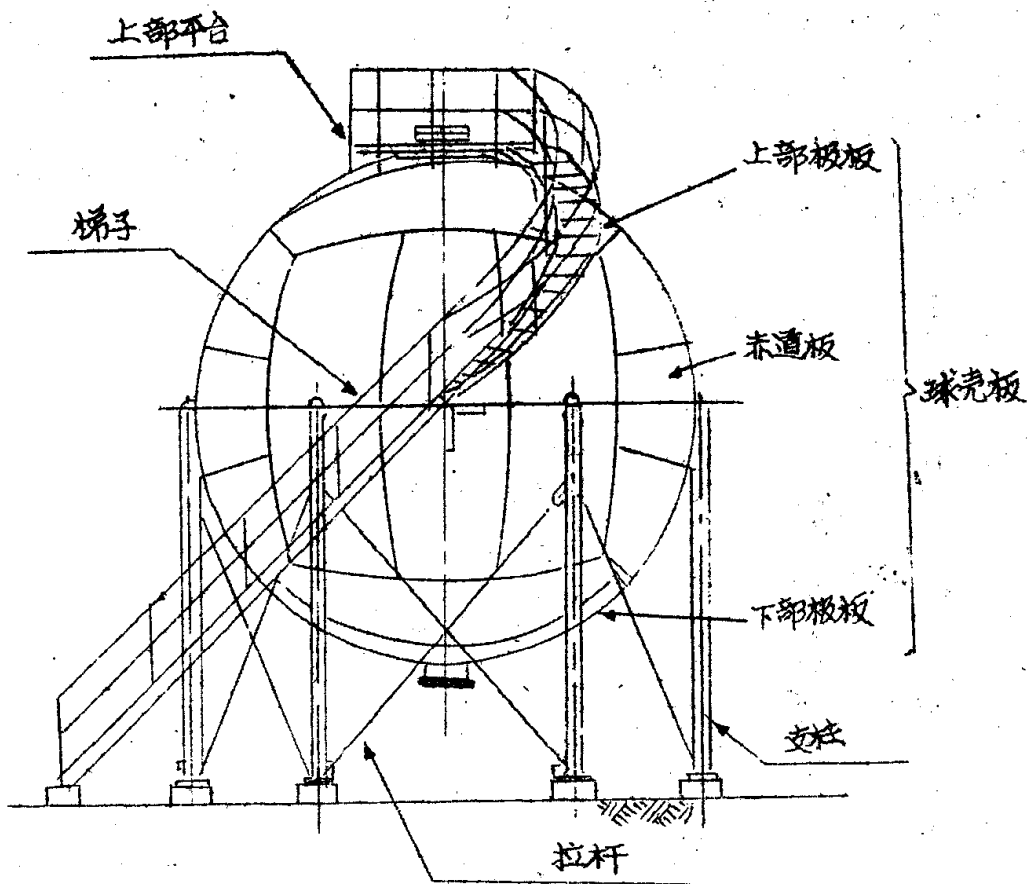


图3 足球式单层球罐

球壳板分割如足球壳的片一样，每块球罐板几何尺寸均相同，适用于容量小于 100 m^3 ，直径在 5.76 m 以下的小型球罐。

(c) 单层板球罐：

该球罐是由单层钢板压制成圆球形球壳板，经过拼装及焊接而成的球形容器。目前所运行球罐大多属于这些类型。

(D) 多层板球罐：

该球罐是由多层板组成，由一个内层和几个互相焊牢的支承层构成，这样就可以把很高的工作压力所需的壁厚化为几个适于焊接和制造的板厚，这种球罐应用于超高压气体或液化气体的贮存。如 408 Kg f / Cm^2 操作压力的液氢球罐就采用多层板球罐。法国还采用多层薄板（ $5\sim 15\text{ mm}$ 厚）和另一层 $30\sim 40\text{ mm}$ 的中厚板组合在一起，热压成型后再切割，将每层薄的球壳板组焊在厚的球壳板上。

(E) 双金属复合板单层球罐

为了防止腐蚀和节省贵重耐腐蚀材料的消耗，采用复合板制作单层球罐，球壳板内侧是耐蚀钢，外侧为低合金钢，例如，贮存三氧化硫介质的球罐，采用复合钢板制成，苏联制成 600 m^3 ，内径为 10.5 m ，工作压力 6 Kg f / Cm^2 ，工作温度 $80\text{ }^\circ\text{C}$ ，复合板单层球罐，球壳板采用 16 TC 和 $X17H13M3T$ 复合板，其中外侧 16 TC 的厚度为 22 mm ，内侧 $X17H13M3T$ 厚度为 $3\sim 4\text{ mm}$ 。

(2) 双层壁纯圆形球罐：（见图4-5所示）

将天然气和工业用气体液化贮运是十分经济和安全的，将常温常压气态甲烷液化时，其容积比约为 $\frac{1}{600}$ ，因此 1 m^3 的液态甲烷相

当于 600 m^3 的甲烷气，而丙烷则为 $\frac{1}{350}$ 。可见贮运液化气体

是很经济的，将气体液化可分为常温加压液化和低压低温（包括超低温）液化。常温加压液化会使球壳的板厚增加，并对某些气体（甲烷、乙烷）是在常温下加压不能液化的，故世界各国均采用低压低温液化，由于压力仅在 1 Kg f / Cm^2 以下，所以球壳板较薄，球罐重量轻，材

料省，由于低温或超低温，因此对球罐保冷要求甚高，一般保冷采用绝热保冷材料组成保冷层，保冷效果差一些，冷损失较大。另一种，采用双层壁球罐，即内层球罐采用性能优异的不锈钢或低温钢制作，外层球罐采用普通碳钢或低合金钢，内外球壳之间抽真空或采用珠光砂粉末真空绝热层，这就是双层壁球罐。

(3) 多段重叠球罐(见图8所示)

多段重叠球罐属于特殊形状球罐，它是由8台相同直径的小型球罐拼叠而成的组合式球罐，4台球罐平面拼接连通为一组，另一组放置在一组之上拼接连通，即形成多段重叠式球罐。它的优点是：多段球罐比同容积的球罐相比直径较小，在承受相同压力时，球壳壁厚较小，还有对于整体占有空间有限制的条件下，能够获得最大贮存容量，多段球罐可用于单台球罐的板厚度过于厚的情况下采用。多段球罐内部不连续部分用抗拉材料连接起来，是以内压平衡结构的球罐。

(4) 水滴状球罐

此类球罐外形呈水滴状，一般用于高架贮水球罐，几何容量从500~2000m³左右，美国芝加哥桥樑与钢铁公司能制造各种水滴状球罐容量为100m³~4738m³左右，这种球罐呈现两极直径大于赤道带的直径，可以增加贮水的水位压头，减少迎风面积等优点。

(5) 纯椭圆形球罐

此类球罐外形如一滴水银在钢板上静止时的形状一样，因而壳体中的薄膜应力就和水银柱的表面张力差不多，这种形状是很理想的，在工业中采用纯椭圆形球罐是将钢板压制理想中的形状后，附加了辅助支柱。在内部压力小于设计压力时，为了支持壳体的自身重量，在外侧装设了环状补强圈和一些托架，然而内部却没有任何支承构件。采用这种型式球罐的优点是在液压或气压作用时，壳体的应力在任何部位均相同，所使用的材料是最少，最经济的。这种球罐可以直接放在简单的基础上，~~与球罐相比~~，不需要支柱拉杆等支撑材料，通常用于蒸汽压力较高~~汽相平衡~~的贮存，使用压力在0.2~2kgf/cm²，容量在500~6000m³的范围之内。

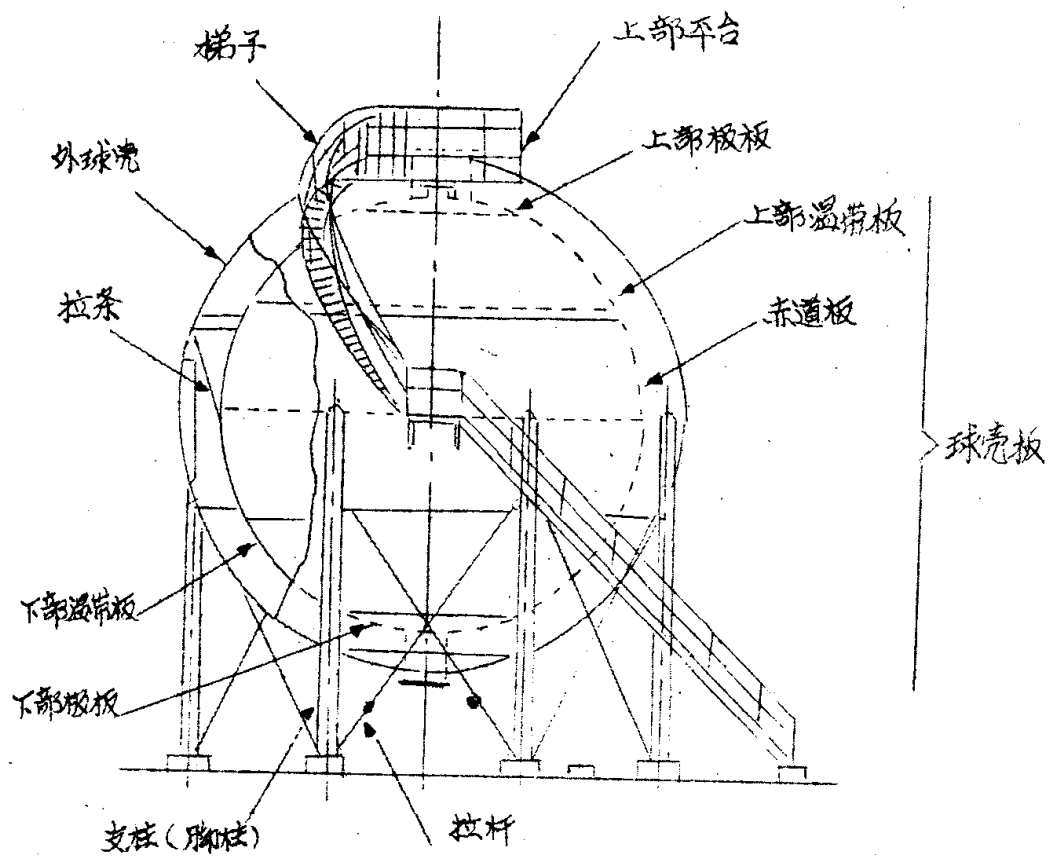


图4 外部支承双层球罐

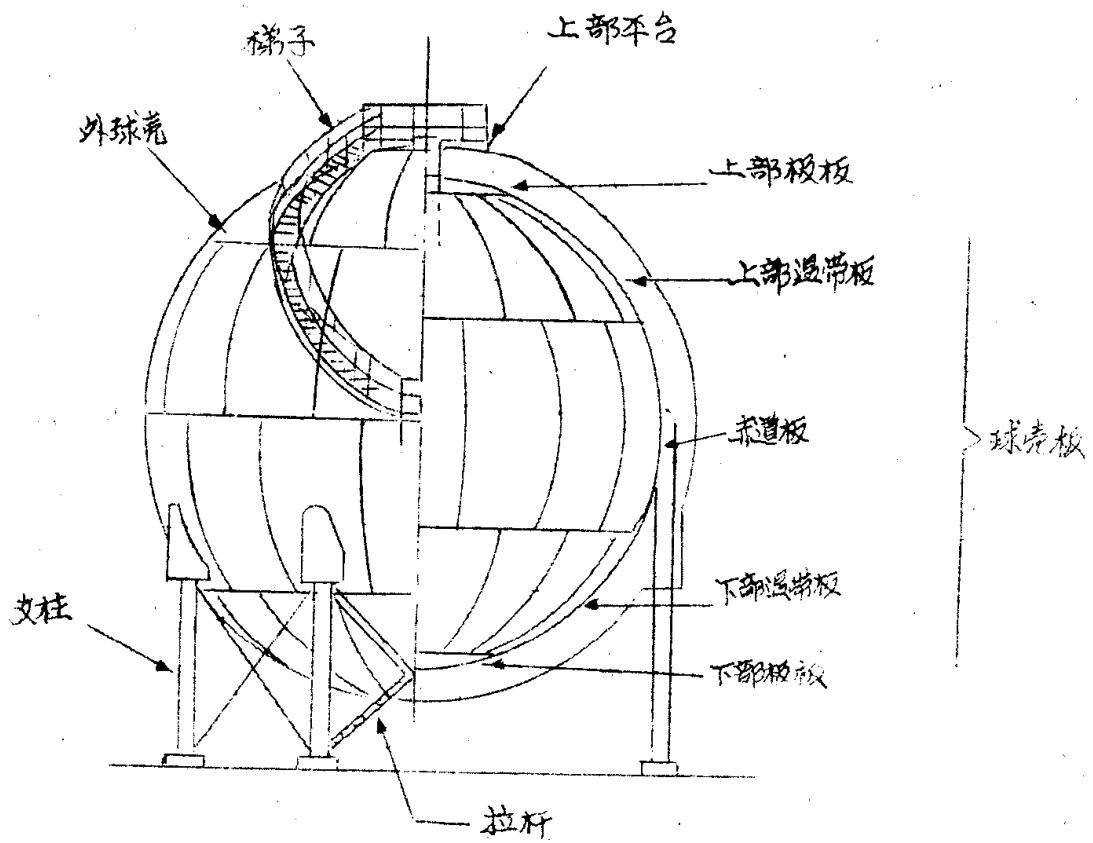


图5 内部支承双层球罐

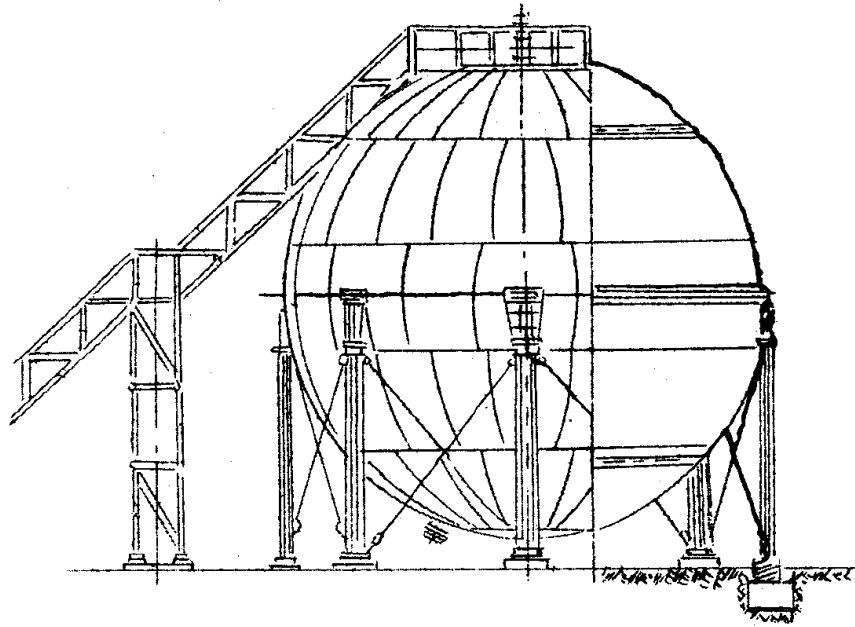


图6 单层球罐结构

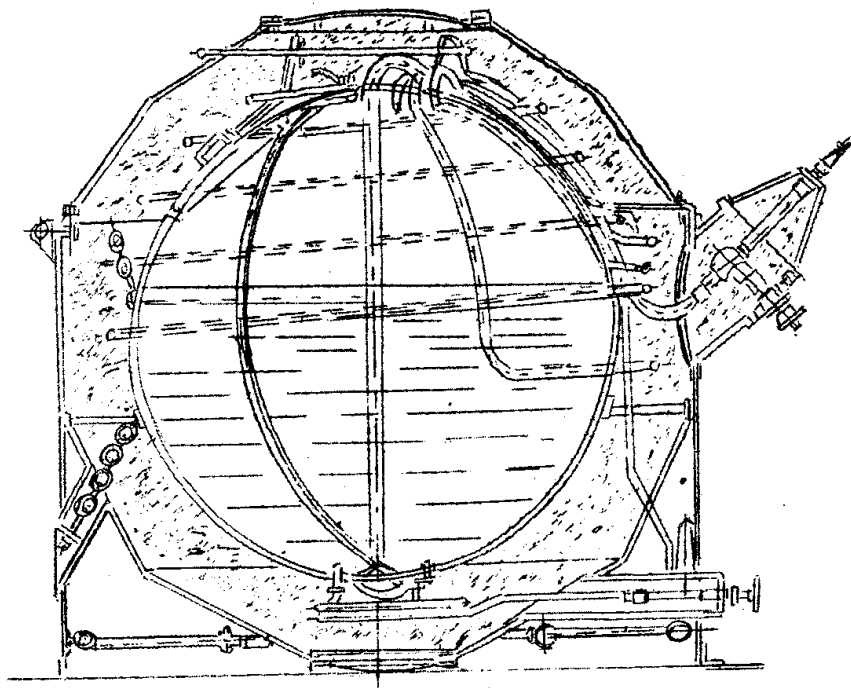


图7 双层液氧球罐

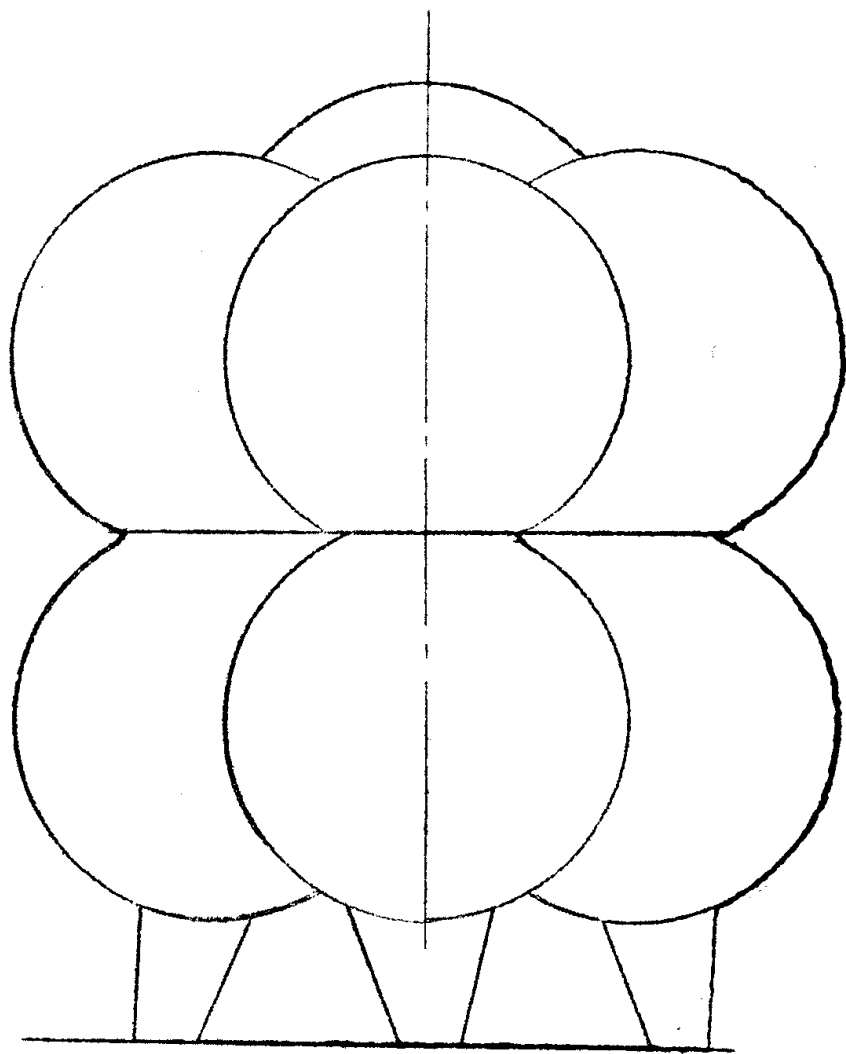


图8 多段重叠球罐

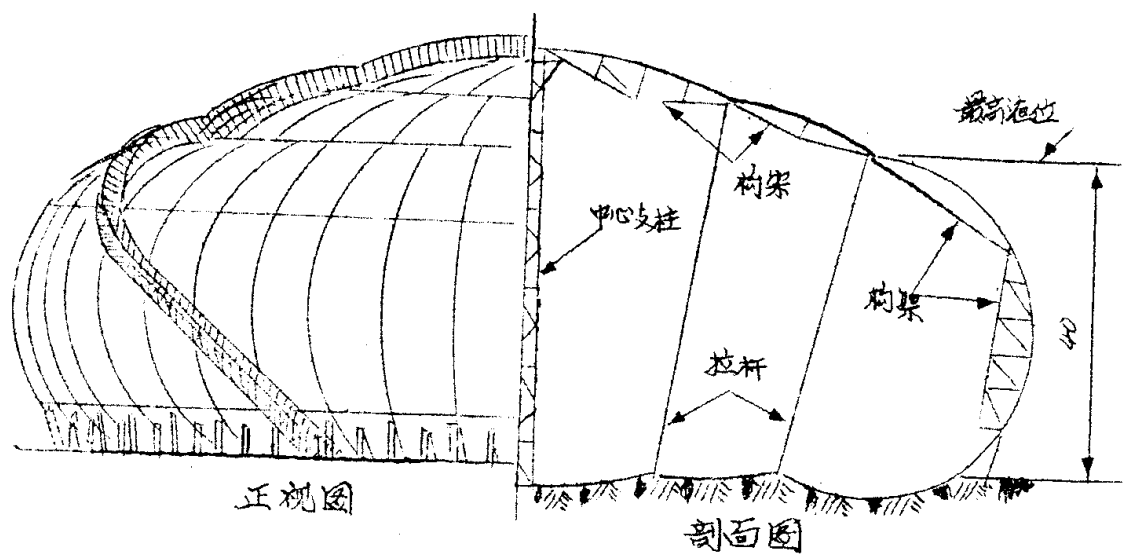


图9 多弧拱顶椭圆形球罐