

GANGZHI SHIYOU CHUGUAN
FANGFUSHI GONGCHENG

钢质石油储罐 防腐蚀工程

王菁辉 主编

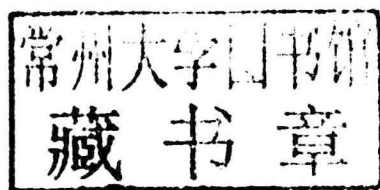


石油工业出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

钢质石油储罐防腐蚀工程

王菁辉 主编



中国石化出版社

内 容 提 要

本书主要涉及油罐的基本概况、油罐的内外腐蚀机理、油罐应该采取的防护措施,具体介绍了各种油罐的防腐蚀措施;详细论述了油罐内表面的涂料防腐和内底板的阴极保护措施,油罐外底板的阴极保护设计、施工等;还介绍了油罐阴极保护系统的检查验收和运行管理,油罐的静电和雷电安全以及轻质油罐使用的热反射隔热防腐蚀涂料、油罐长效外防腐的氟碳漆等方面的内容,希望能够给从事油罐设计、生产和管理以及防腐工作者有所帮助。

图书在版编目(CIP)数据

钢质石油储罐防腐蚀工程/王菁辉主编.
—北京:中国石化出版社,2011.3
ISBN 978-7-5114-0805-1

I. ①钢… II. ①王… III. ①钢-金属油罐-防腐
IV. ①TE988

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 024527 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 11.25 印张 274 千字

2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

前 言

本书的内容主要是这些年来作者从事油罐防腐蚀研究、设计、施工等有关工作的体会或看法，更多的是作者从事油罐防腐工作的经验，希望读者能系统地了解与石油储罐防腐蚀有关的比较新的内容，特别是能够给从事石油储罐设计、管理和施工的技术人员提供一种借鉴，希望大家共同努力，做好石油储罐的防腐蚀工作，抑制油罐的腐蚀以及由腐蚀引发的各种事故，延长油罐的使用周期，降低各项损失，为石油储罐安全、长效、经济地运行做出贡献。

在本书编写过程中承蒙中国腐蚀与防腐学会理事长陈光章教授、北京工业大学胡传昕教授、上海博泰集团公司王永琦教授、北京盈佳浩讯科贸有限公司肖冶顾问的帮助，在此表示感谢。

目 录

第一章 石油罐储的基本概况	(1)
第一节 石油储罐的分类	(1)
第二节 石油储罐基础选型	(3)
第三节 金属石油储罐附件	(4)
第四节 石油储罐的选材	(6)
第五节 各种石油储罐的构造	(9)
第二章 石油储罐的腐蚀	(11)
第一节 石油储罐的内部腐蚀	(11)
第二节 石油储罐外部腐蚀	(14)
第三节 石油储罐腐蚀检测	(16)
第三章 石油储罐的涂料防护	(20)
第一节 石油储罐涂料内防腐	(20)
第二节 石油储罐外壁的涂料防腐	(22)
第三节 各种石油储罐的防腐措施	(24)
第四节 石油储罐的本征型导静电防腐涂料	(33)
第五节 轻质石油产品储罐的热反射隔热防腐涂料	(37)
一、简介	(37)
二、热反射隔热防腐涂料(APTH) 隔热降温机理	(38)
三、APTH 制备及性能检测	(41)
四、热反射隔热防腐涂料(APTH) 施工工艺	(44)
第六节 石油储罐防腐用氟碳涂料	(45)
第七节 石油储罐的涂料防腐施工	(48)
一、工程概况	(48)
二、施工中执行的标准和规定	(48)
三、防腐技术要求	(49)
四、施工方案	(49)
五、施工安全措施和注意事项	(53)
第四章 石油储罐的阴极保护	(55)
第一节 阴极保护基本原理	(55)
一、阴极保护技术的分类	(55)
二、参比电极	(56)
三、阴极保护主要参数	(57)
四、阴极保护准则	(57)
五、牺牲阳极阴极保护系统	(58)
六、外加电流阴极保护系统	(60)

第二节 石油储罐内部的阴极保护	(66)
一、油罐内部阴极保护设计、施工及安装	(66)
二、设计步骤	(66)
三、油罐内部防腐施工程序	(67)
四、检测	(67)
五、设计计算	(68)
第三节 试压阶段临时用阴极保护	(68)
一、基本方案	(68)
二、基本结构	(68)
三、设计计算	(68)
四、实施步骤	(69)
第四节 石油储罐的外部阴极保护	(69)
一、牺牲阳极法	(70)
二、外加电源阴极保护	(70)
三、外底板牺牲阳极阴极保护施工方案	(72)
第五节 网状阳极的阴极保护	(73)
一、网状阳极系统的组成	(73)
二、网状阳极阴极保护系统的设计(以 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 原油储罐为例)	(74)
第六节 柔性阳极阴极保护系统	(77)
一、柔性阳极(第一代柔性阳极)	(77)
二、柔性阳极接头	(77)
三、参比电极	(77)
四、接线箱	(77)
五、恒电位仪规格	(78)
六、阳极电缆	(78)
七、阴极电缆	(78)
六、柔性阳极设计计算	(78)
第七节 深井阳极系统	(80)
一、深井阳极的组成	(81)
二、深井阳极系统的设计及计算	(82)
三、深井阳极系统的施工安装	(83)
四、深井阳极系统的应用	(84)
第八节 阴极保护参数的测量	(88)
第九节 阴极保护工程验收	(90)
第十节 阴极保护运行管理与维护	(91)
一、阴极保护投入前的准备	(91)
二、阴极保护投入运行	(91)
第五章 石油储罐的边缘板腐蚀与防护	(95)
第一节 石油储罐边缘板的腐蚀	(95)
第二节 石油储罐边缘板的防腐蚀	(97)

第六章 石油储罐的静电及安全问题与对策 (101)

第一节 石油储罐的静电问题 (101)

一、油罐产生静电的机理 (101)

二、油罐现有的防静电措施 (103)

三、静电防护材料类别 (104)

四、油罐火灾 (105)

五、国内油罐导静电防腐涂料的状况 (105)

六、国内外导静电标准情况 (106)

第二节 石油储罐的安全问题与对策 (107)

一、油品的危险性及预防措施 (107)

二、各种易燃液体火灾危险等级的划分 (110)

三、油罐的雷电危害 (111)

四、油罐的腐蚀 (116)

五、油罐的静电 (117)

六、油罐的安全管理 (117)

第七章 GB 50390—2008 解读 (120)

1. 总则 (120)

2. 术语 (121)

3. 一般规定 (123)

4. 设计 (125)

5. 施工 (133)

6. 交工验收 (144)

7. 运行维护与检测 (145)

附录 A 储罐用防腐蚀涂料 (148)

附录 B 储罐用阴极保护材料 (153)

附录 C 磨料和表面处理设备 (158)

附录 D 露点温度值查对表 (160)

附录 E 表面处理等级及测定 (161)

附录 F 涂装质量检验规则及方法 (163)

附录 G 阴极保护电位的测试方法 (166)

第一章 石油罐储的基本概况

石油储罐是储存油品的压力容器，它是石油的主要储运设备。石油储罐既有金属的也有非金属的；既有地下油罐、半地下油罐也有地上油罐；既有分立式、卧式，也有圆柱形、方箱形和球形。

其中，金属油罐是采用钢板材料焊成的容器。普通金属油罐采用的板材是一种代号叫 A3F 的平炉沸腾钢；寒冷地区采用的是 A3 平炉镇静钢；对于超过 10000m^3 的大容积油罐采用的是高强度的低合金钢。非金属油罐的种类很多，有土油罐、砖油罐、石砌油罐、钢筋混凝土油罐、玻璃钢油罐、耐油橡胶油罐等。石砌油罐和砖砌油罐常用于储存原油和重油。该类油罐最大的优点是节约钢材、耐腐蚀性好、使用年限长。非金属材料导热系数小，当储存原油或轻质油品时，因罐内温度变化较小，可减少蒸发损耗，降低火灾危险性。又由于非金属罐一般都具有较大的刚度，能承受较大的外压，适宜建造地下式或半地下式油罐，有利于隐蔽和保温。但是一旦发生基础下陷，易使油罐破裂，难以修复。它的另一大缺点是渗漏，虽然使用前经过防渗处理，但防渗技术还未完全解决，因此非金属石油储罐的容积和数量越来越少，现在使用的主要是金属石油储罐。在本书中只介绍金属石油储罐的腐蚀与防护情况。

由于石油是战略物资，又是非常危险的易燃易爆物品，而金属石油储罐不仅种类多而且数量大，其能否安全运行，对石油化工行业以及其他有关行业都有很大的影响，因此，有必要对石油储罐的有关知识进行宣传。

第一节 石油储罐的分类

石油储罐的种类很多，依据其有关特性进行划分是行业习惯。下面简单介绍石油储罐的分类。

1. 按石油储罐所处位置分类^[1]

分为地上储罐、地下储罐、半地储罐、海上储罐、海底储罐等。

2. 按油品分类

分为原油储罐、产品储罐、中间产品罐、燃油储罐、润滑油罐、消防水罐等。

3. 按用途分类

分为生产运行油罐、储备油罐等。

4. 按结构分类

分为固定顶储罐、浮顶储罐、球形储罐等。

5. 按石油储罐几何形状分类

分为立式圆柱形罐和卧式圆柱形罐及球形罐。

6. 按石油储罐造成的材料分类

分为金属钢质油罐和非金属油罐，非金属油罐又可分为玻璃钢罐和砖贴罐。

7. 按结构形式分类

分为固定顶储罐、浮顶储罐、无力矩储罐。

(1) 固定顶储罐

固定顶储罐分为锥顶储罐和拱顶储罐。

① 拱顶储罐：拱顶储罐是指罐顶为球冠状、罐体为圆柱形的一种钢制容器。拱顶储罐制造简单、造价低廉，所以在国内外许多行业应用最为广泛，最常用的容积为 $1000 \sim 10000\text{m}^3$ ，目前，国内拱顶储罐的最大容积已经达到 30000m^3 。

罐底：罐底由钢板拼装而成，罐底中部的钢板为中幅板，周边的钢板为边缘板。边缘板可采用条形板，也可采用弓形板。一般情况下，储罐内径 $< 16.5\text{m}$ 时，宜采用条形边缘板；储罐内径 $\geq 16.5\text{m}$ 时，宜采用弓形边缘板。

罐壁：罐壁由多圈钢板组对焊接而成，分为套筒式和直线式。

套筒式罐壁板环向焊缝采用搭接，纵向焊缝为对接。拱顶储罐多采用该形式，其优点是便于各圈壁板组对，采用倒装法施工比较安全。直线式罐壁板环向焊缝为对接。优点是罐壁整体自上而下直径相同，特别适用于内浮顶储罐，但组对安装要求较高，难度亦较大。

罐顶：罐顶由多块扇形板组对焊接而成球冠状，罐顶内侧采用扁钢制成加强筋，各个扇形板之间采用搭接焊缝，整个罐顶与罐壁板上部的角钢圈(或称锁)焊接成一体。

② 锥顶储罐：锥顶储罐与相同容积拱顶罐相比，制造简单，施工方便，但钢材耗用较多。拱顶储罐耗用钢材量较少，能承受较高的剩余压力，减少储液蒸发，造价较低，但罐顶制造施工较复杂。

(2) 浮顶储罐

浮顶储罐的种类很多，如单盘式、双盘式、浮子式等。

① 浮顶储罐。浮顶储罐的浮顶是一个浮在储液表面上的浮动顶盖，随着储液的输入输出而上下浮动，浮顶与罐壁之间有一个环形空间，这个环形空间有一个密封装置，使罐内液体在顶盖上下浮动时与大气隔绝，从而大大减少了储液在储存过程中的蒸发损失。采用浮顶罐储存油品时，可比固定顶罐减少油品损失 80% 左右。

② 内浮顶储罐。内浮顶储罐是带罐顶的浮顶罐，也是拱顶罐和浮顶罐相结合的新型储罐。内浮顶储罐的顶部是拱顶与浮顶的结合，外部为拱顶，内部为浮顶。内浮顶储罐具有独特的优点：一是与浮顶罐比较，因为有固定顶，能有效地防止风、沙、雨雪或灰尘的侵入，绝对保证储液的质量。同时，内浮盘漂浮在液面上，使液体无蒸气空间，减少蒸发损失 85% ~ 96%；减少空气污染，减少着火爆炸危险，易于保证储液质量，特别适合于储存高级汽油和喷气燃料及有毒的石油化工产品；由于液面上没有气体空间，故减少罐壁罐顶的腐蚀，从而延长储罐的使用寿命。二是在密封相同情况下，与浮顶相比可以进一步降低蒸发损耗。

内浮顶储罐适用于原油、汽油、溶剂油、重整原料油以及需要控制蒸发损失及大气污染、控制放出不良气体、有着火危险的产品的储存。内浮顶储罐的顶部是拱顶与浮顶的结合，外部为拱顶，内部为浮顶，故具有拱顶储罐和内浮顶储罐的优点。缺点是钢材耗量比较多，与拱顶罐相比，钢板耗量比较多，施工要求高。维修不便，储罐不易大型化。

浮顶储罐是由漂浮在介质表面上的浮顶和立式圆柱形罐壁所构成。浮顶随罐内介质储量的增加或减少而升降,浮顶外缘与罐壁之间有环形密封装置,罐内介质始终被内浮顶直接覆盖,减少介质挥发。

罐底:浮顶罐的容积一般都比较大,其底板均采用弓形边缘板。

罐壁:采用直线式罐壁,对接焊缝宜打磨光滑,保证内表面平整。浮顶储罐上部为敞口,为增加壁板刚度,应根据所在地区的风载大小,罐壁顶部需设置抗风圈梁和加强圈。

浮顶:浮顶分为单盘式浮顶、双盘式浮顶和浮子式浮顶等形式。

单盘式浮顶:由若干个独立舱室组成环形浮船,其环形内侧为单盘顶板。单盘顶板底部设有多道环形钢圈加固。其优点是造价低、好维修。

双盘式浮顶:由上盘板、下盘板和船舱边缘板所组成,由径向隔板和环向隔板隔成若干独立的环形舱。其优点是浮力大、排水效果好。

卧式储罐的构造。卧式储罐的容积一般都小于 100m^3 ,通常用于生产环节或加油站。卧式储罐环向焊缝采用搭接,纵向焊缝采用对接。圈板交互排列,取单数,使端盖直径相同。卧式储罐的端盖分为平端盖和碟形端盖,平端盖卧式储罐可承受 40kPa 内压,碟形端盖卧式储罐可承受 0.2MPa 内压。地下卧式储罐必须设置加强环,加强环用角钢煨制而成。

(3) 无力矩储罐

无力矩储罐结构简单,施工方便,钢材得到充分利用,但顶板太薄,易积水、易腐蚀、操作行走不便、不安全。

第二节 石油储罐基础选型

石油储罐的基础选型与很多因素有关,主要是基础能否满足承载力等方面的要求。

1. 储罐基础选型

当地基土层能满足承载力设计值和沉降差的要求且场地不受限制时,宜采用护坡式或外环墙式基础;

当地基土层不能满足承载力设计值要求、但沉降量不超过允许值时,可采用环墙式或外环墙式基础;

当地基土层为软土层时,宜对地基处理后再采用外环墙式基础;

当场地受限时,可采用环墙式基础。

2. 储罐基础施工

① 土方开挖:基坑夯实;

② 钢筋混凝土与砖石工程:(略);

③ 土方回填:机械夯实,回填土层大于 500mm ;

④ 砂垫层:选用中、粗砂,铺设厚度 $200 \sim 250\text{mm}$,用平板振荡器洒水夯实;

⑤ 沥青砂垫层:选用中、粗砂和 60 号甲道路石油沥青加热制成沥青砂,分层分块铺设平整,其厚度为 $80 \sim 100\text{mm}$,储罐基础顶面由中心向四周的坡度为 $15\% \sim 35\%$;

⑥ 护坡施工:储罐进行水压试验之后进行护坡施工,护坡宽度为 $800 \sim 1000\text{mm}$,护坡与储罐底板之间采用沥青玛蹄脂填塞;

⑦ 储罐基础设计与施工依据 SH/T 3083—1997《石油化工钢储罐地基处理技术规范》和

3. 储罐制作与安装

储罐建造过程分为半成品预制和现场组对安装两部分。

(1) 半成品预制

罐底、罐壁、罐顶等部件都需要进行预制(具体预制方法略)。

(2) 现场组对安装方法

大致分为倒装法施工工艺、正装法施工工艺和特殊法施工工艺。

第三节 金属石油储罐附件

石油储罐的种类比较多,各种储罐都有它所要求和适合的附件,包括测量、安全和生产等各个方面的附件。下面就各种石油储罐的附件进行介绍。

1. 拱顶、无力矩顶油罐附件

拱顶、无力矩顶油罐附件包括:人孔、透光孔、排污孔(管)、放水管、罐顶结合管与罐壁接合管、量油孔、呼吸阀、安全阀、通气管、防火器、内部关闭阀操纵装置、加热器、升降管、泡沫发生器、回转接头与升降管、进料孔。

2. 浮顶油罐附件

浮顶油罐附件包括:浮船人孔、单盘顶人孔、试验人孔盖板、自动透(通)气阀、盘边透气阀、浮顶支柱与单盘支柱、中央排水管、量油管。

3. 油罐上的安全附件^[2]

油罐上一般有以下安全设施:机械呼吸阀、液压安全阀、阻火器、测量孔、人孔、采光孔、进出油管、泡沫发生器、静电接地线、避雷针、梯子和栏杆等。在油罐运行过程中,这些安全设施要求保持完好的状态以应对可能出现的任何意外情况发生。

(1) 机械呼吸阀

机械呼吸阀是保护油罐储油安全的重要附件,装设在油罐的顶板上,由压力阀和真空阀两部分组成。它的作用是,在一般情况下保持油罐的密闭性,在一定程度上减少油品的蒸发损耗,而在必要时能自动通气,调节平衡油罐内外压力,对油罐起到安全保护作用。

机械呼吸阀的工作原理是:当罐内油气压力大于油罐允许压力时,油蒸气经压力阀外逸,此时真空阀处于关闭状态;当罐内油气压力小于油罐允许真空度时,新鲜空气通过真空阀进入罐内,此时压力阀处于关闭状态。允许压力(或真空压力)靠调节盘的重量来控制。

在使用中必须注意,呼吸阀座盘若太轻或有损坏,容易使罐内轻质油品的蒸气大量向罐外散逸,增加火灾危险性。呼吸阀的通气孔如选择不正确,压力阀太重,或阀盘升降失灵,就有可能使油罐产生爆裂或压瘪变形的危险。机械呼吸阀有时会锈蚀发生堵塞,在冬季会因油蒸气内含水而使阀盘与阀座冻结。

(2) 液压安全阀

液压安全阀是装设在油罐顶上、保护油罐安全的另一个重要附件。液压安全阀是为提高油罐更大安全使用性能的又一重要设备,它的工作压力比机械呼吸阀要高出5%~10%。正常情况下它是不动的,当机械呼吸阀因阀盘锈蚀或卡住而发生故障,或油罐收付作业异常而出

现罐内超压或真空度过大时，它将起到油罐安全密封和防止油罐损坏的作用。当机械呼吸阀发生故障时，液压安全阀就能代替机械呼吸阀进行排气或吸气。在油罐上既装设机械呼吸阀，又装设液压安全阀，安全性就提高了。

液压安全阀控制的压力或真空值比机械呼吸阀高 10%，因此在正常情况下是不会动作的。阀内用沸点高(夏季不易挥发)、蒸发慢、凝点低(冬季不致凝固)的油品(如轻柴油、太阳油或变压器油)作为密封液体(简称封液)。当罐内气体空间处于正压状态时，气体由内环空间把封液挤入外环空间，压力不断升高，封液液位不断变化，当内环空间的封液液位与隔板的下缘相平时，罐内气体经隔板的下缘进入大气。相反，当罐内出现负压时，外环空间的封液进入内环空间，大气进入罐内。罐内压力与周围空气压力平衡时，内外环空间的封液液位是保持在同一液面上的。

使用中必须注意，保持封液的流动性和封液的一定量，量少时要及时补充，否则，罐内与大气直接相通，油气散逸，会增加罐区的危险性。

(3) 阻火器

阻火器又称油罐防火器，是油罐的防火安全设施，它装在机械呼吸阀或液压安全阀下面。外形类似箱盒，内部装有许多铜、铝或其他高热容金属制成的丝网或皱纹板。当外来火焰或火星万一通过呼吸阀进入防火器时，金属网或皱纹板能迅速吸收燃烧物质的热量，使火焰或火星熄灭，从而防止油罐着火。

(4) 测量孔

测量孔是为检尺、测温、取样所设，安装在罐顶平台附近。每个油罐只装一个量油孔，它的直径为 150mm，距罐壁多为 1m 的距离，是用来测量罐内油面高低和调取油样的专门附件，每个油罐顶上设置一个，大都设在罐梯平台附近。测量孔的直径为 150mm，设有能密闭的孔盖和松紧螺栓。为了防止关闭时孔盖与铁器撞击产生火花，在孔盖的下面密封槽内嵌有耐油胶垫或软金属(铜或铝)。由于测量用的钢卷尺接触出口容易摩擦产生火花，因此在孔管内侧镶有铜(或铝合金)套，或者在固定的测量点外装设不会产生火花的有色金属导向槽(投尺槽)。常用规格为 DN150。

油罐火灾往往发生在测量孔部位，主要原因是测量作业时，孔盖打开，罐内油气冲出，如遇静电火花或撞击、摩擦火花，就会引燃油气着火。

(5) 人孔

人孔是供清洗和维修油罐时，操作人员进出油罐而设置的。一般立式油罐人孔都装在罐壁最下层圈板上，且和罐顶上方采光孔相对。人孔直径多为 600mm，孔中心距罐底为 750mm。通常 3000m³ 以下油罐设人孔 1 个，3000 ~ 5000m³ 设 1 ~ 2 个人孔，5000m³ 以上油罐则必须设 2 个人孔。非金属油罐的人孔设在罐顶上，金属油罐的人孔设在罐壁最下层圈板上，大都为直径 600mm 的圆孔，为油罐清洗或维修人员进出油罐用，又称做道门。检修清理油罐时可利用人孔进行采光和通风。常用有三种规格：DN500、DN600、DN750。

(6) 采光孔

采光孔又称透光孔，是供油罐清洗或维修时采光和通风所设。它通常设置在进出油管上方的罐顶上，直径一般为 500mm，外缘距罐壁 800 ~ 1000mm，设置数量与人孔相同。油罐的采光孔设在罐顶上，平时有孔盖环以螺栓严密封闭。在清理检修油罐时，用以采光、通风排气。常用规格为 DN500。

(7) 进出油管

进出油管是油品输入油罐和从油罐输出的必由之路。油罐的进出油管是从油罐罐壁的下部接入。进油管如必需从上部接入时，油管将延伸到油罐的下部，这主要是从安全和减少油品损耗方面考虑的。因为油品从上部进入油罐，如不采取有效措施就会使油品喷溅，这样除增加油品的大呼吸损耗外，更重要的是增加了油流与空气的摩擦，产生大量的静电，当静电电压增大到一定值时，就会放电产生火花引起爆炸起火。它是专门为排除罐内水杂质和清除罐底污油残渣而设的。放水管在罐外一侧装有阀门，为防止脱水阀不严或损坏，通常安装两道阀门。冬天还应做好脱水阀门的保温，以防冻凝或阀门冻裂。

(8) 泡沫发生器

泡沫发生器又称消防泡沫室，是装在油罐最上层圈板的罐壁上用于油罐灭火时喷射泡沫的消防装置。泡沫发生器一端和泡沫管线相连，一端带有法兰焊在罐壁最上一层圈板上。灭火泡沫流经消防泡沫室空气吸入口处，吸入大量空气形成泡沫，并冲破隔离玻璃进入罐内（玻璃厚度不大于2mm），从而达到灭火目的。喷口用薄玻璃片（或隔膜）与罐内空气封隔，起到防止罐内油液或油气进入泡沫室或消防管道的作用。在玻璃片的一面刻有易碎裂痕，裂痕面顺着喷出口方向安装，当泡沫液的压力达到0.1~0.29Pa时，就能冲碎它。油罐安装泡沫发生器采用的类型和设置数量的多少，是根据油罐容量、储存油品的品种、油面的大小以及泡沫种类通过计算来确定的，但最少不得少于2个，而且还各有一根单独的消防管线来供应泡沫混合剂。

(9) 静电接地线

静电接地线是将油罐各个部位积存的静电荷及雷电感应作用产生的电荷导入大地，避免放电产生火花，防止油罐爆炸着火，保护油罐安全的一种防护装置。

(10) 避雷针

避雷针是用来防止油罐遭受直接雷击着火的防雷装置。直接安装在油罐上的避雷针，其尖端要比呼吸阀至少高出5m，且油罐的最高点要在避雷针的保护范围之内。若是一组或多组油罐的油罐区，可根据油罐的具体位置，通过计算，设置单支或多支单根避雷针，使油罐区的所有油罐都处于防雷装置的保护范围之内。

第四节 石油储罐的选材

石油储罐所需材料分为罐体材料和附属设施材料。罐体材料可按抗拉伸屈服强度(σ_s)或抗拉伸标准强度(σ_b)分为低强钢和高强钢，高强钢多用于5000m³以上石油储罐；附属设施(包括抗风圈梁、锁口、盘梯、护栏等)均采用强度较低的普通碳素结构钢，其余配件、附件则根据不同的用途采用其他材质。制造罐体常用的国产钢材有20、20R、16Mn、16MnR以及Q235系列等。

1. 石油储罐的罐底选材

通常石油储罐的底板是用来传递石油储罐本身的重量和所储存油品的重量并直接把这些应力传递给罐基础，因此罐底板起到传递力的作用。由于储罐储存油品量的变化，储罐的底板同时由于地基等变化而变形，边沿板的腐蚀翘起造成雨水、露水等存在于储罐底板外表面与基础之间，加上空气的作用，底板外表面腐蚀严重，同时由于储存介质的作用，储罐底板内表面也会腐蚀甚至严重的电化学腐蚀，因此，储罐的底板要合理选材。就钢质立式罐来

说,罐容小于 10000m^3 的为普通储罐,超过 10000m^3 的为大型储罐。储罐的底板由中幅板和边缘板构成,一般边缘板采用条形板或拱形板,对于大罐采用拱形板,对于罐径小于 12.5m 的小罐采用条形板。对于立式油罐的罐底选择与罐壁相同的材质,厚度与罐壁第一层圈板的厚度相同,对于大型储罐来说,拱形板采用强度大的低碳钢。一般储罐东北采用 Q235 - A,对于各种规格的储罐基本上都适用。罐底由钢板拼装而成,罐底中部的钢板为中幅板,周边的钢板为边缘板。边缘板可采用条形板,也可采用弓形板。一般情况下,储罐内径 $<16.5\text{m}$ 时,宜采用条形边缘板;储罐内径 $\geq 16.5\text{m}$ 时,宜采用弓形边缘板。

2. 石油储罐的罐壁选材

罐壁是储罐的主要受力构件,整个罐壁从上到下所受的压力逐步增大,罐顶最轻而罐底最重。罐壁由圈板一层一层焊接而成,分为套筒式和直线式。套筒式就是罐壁焊缝的环向采用搭接式焊接,纵向采用对接式焊接。拱顶储罐多采用该形式,其优点是便于各圈壁板组对,采用倒装法施工比较安全。直线式罐壁板环向焊缝为对接,优点是罐壁整体自上而下直径相同,特别适用于内浮顶储罐,但组对安装要求较高,难度亦较大,现在使用越来越少。为了保证对接焊缝的质量,当壁板厚度大于 6mm 时,应打坡口进行焊接。一般油罐和 10^4m^3 以下的储罐一般采用 Q235 - A、FQ235 - A、20R、16Mn、16MnR 等。只是大于 10^4m^3 以上的储罐采用强度更高的钢种。一般为了减少罐体的重量而采用强度高的钢来代替壁厚、重量大、强度低的钢。

3. 石油储罐的罐顶选材

油罐的区别主要在罐顶上,现在油罐主要为拱顶和浮顶这两种,其中原油罐和轻质油罐均采用浮顶罐,而柴油和润滑油以及重油等采用拱顶罐。罐顶由多块扇形板组对焊接而成球冠状,罐顶内侧采用扁钢制成加强筋,各个扇形板之间采用搭接焊缝,整个罐顶与罐壁板上部的角钢圈(或称锁口)焊接成一体。其罐顶的材质与罐壁的基本相同,只是厚度上的差别。

4. 石油储罐的内构件选材

油罐内构件对不同的储罐有所不同。成品油罐基本上没有内构件,除了浮船的支撑腿外。而原油罐则包括加热器、排水管、搅拌器等。就加热器来说一般选择耐腐蚀(特别是氯离子等)而且传热性能优良的铜材或钢材等。而搅拌器一般用来混合油品,应选择耐腐蚀特别是耐冲刷腐蚀的硬度大的钢种。排水管选择耐电化学腐蚀的钢种,或选择普通的钢材进行阴极保护。

5. 石油储罐的浮船选材

各种浮顶罐的浮船材质为金属铝合金或合金钢。

6. 大型石油储罐的用材

(1) 基本概况

储罐大型化是发展趋势,1962 年美国首先建成了 $10 \times 10^4\text{m}^3$ 浮顶罐,1967 年委内瑞拉建成了 $15 \times 10^4\text{m}^3$ 的浮顶罐,1971 年日本建成了 $16 \times 10^4\text{m}^3$ 的浮顶罐,其直径 109m 、高 17.8m ,沙特阿拉伯建成 $20 \times 10^4\text{m}^3$ 的巨型储罐,其直径 110m 、高 22.5m 。我国于 1985 年从日本引进 $10 \times 10^4\text{m}^3$ 浮顶罐的设计和施工技术,并在秦皇岛建造了 $10 \times 10^4\text{m}^3$ 单盘浮顶油罐,其后十余年间已建造 $10 \times 10^4\text{m}^3$ 大型储罐 20 多台。

随着国民经济的高速发展,我国对油品的需求越来越大,已成为世界上第二大石油消费国。一旦国际原油价格出现大波动,将影响我国成品油价格,所以必须建立一定数

量的原油储备。现在我国原油储备只有 20 天左右，而美国、日本等国原油储备将近半年。因此，我国启动了国家原油战略储备库(一期项目)4 个基地的建设，近年来建成了 162 个 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 或 $15 \times 10^4 \text{m}^3$ 大型原油储罐。此外，一些地方和企业也开始投入该领域，如锦州港务局等。

为了降低储罐用钢量，一般储罐下面几圈壁板均采用高强度钢板制造，底板、顶板、上部壁板可以用其他强度级别较低的钢材制造。其中壁板所用的高强度钢板，在 2004 年之前我国石化企业所建造 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 石油储罐，主要采用日本钢铁企业生产的屈服强度 490MPa 以上、抗拉强度大于 610MPa 的大线能量焊接调质高强度钢板，钢板厚度一般在 12 ~ 40mm 之间。近年来我国高强度钢的研制成功解决了大型石油储罐的急需。

(2) 大型石油储罐用钢

石油储罐中的介质属于易燃危险品。因此，建造储罐所需钢材和焊材需经过国家指定的权威质检部门认证后，方可使用。目前，我国大规模建造的储罐容积 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ ，壁板主要采用 610MPa 的大线能量焊接高强度钢板。

我国大规模建造的 $(10 \sim 15) \times 10^4 \text{m}^3$ 的储罐，主要选用屈服强度 490MPa、抗拉强度 610MPa 的大线能量焊接高强度调质板。610MPa 级可以建造的储罐容积最大为 $17.5 \times 10^4 \text{m}^3$ 。在不远的将来，我国将建造 $20 \times 10^4 \text{m}^3$ 或 $30 \times 10^4 \text{m}^3$ 石油储罐，610MPa 钢已不能满足要求，需要强度级别更高(690MPa 或 780MPa)的大线能量焊接高强度调质板。

为了降低材料成本，油罐用钢量主要采用高强度调质板。如用屈服强度 490MPa 的大线能量焊接钢替代屈服强度 350MPa 的 16MnR 制造储罐，壁厚可以减薄 25% ~ 30%。为了降低制造成本，主要通过提高焊接效率，如底板焊接时在焊缝中添加铁粉或碎焊丝，壁板施工中主要采用大线能量的气电立焊和埋弧焊、横焊工艺。

石油储罐用高强度钢应满足以下要求：

① 满足力学性能指标要求(高屈服和抗拉强度、高韧性、高均匀性和稳定性等)，一般采用调质钢。

② 必须适应大线能量焊接。 10kJ/mm 的大线能量钢焊接后，其 HAZ 塑韧性无明显降低，接头的力学性能达到与母材相同的要求。因此，石油储罐用钢又称为大线能量焊接钢。

③ 为了适合现场焊接，焊接前不需要预热，焊后不产生焊接冷裂纹。此类钢又称为低裂纹敏感性系数钢。

由此可知，石油储罐用钢主要特点就是在满足力学性能要求的前提下，具有适应大线能量焊接和低裂纹敏感的特性。石油储罐用钢不同于制造球罐用 CF 钢。石油储罐用钢必须适应大线能量焊接要求，且储罐通常不需要进行焊后整体热处理(有时仅进行局部焊后热处理)；CF 钢虽然具有低裂纹敏感性，但通常不能适合大线能量焊接。用于制造球罐时，需要满足焊后整体热处理的要求，即无 SR 再热裂纹倾向。

(3) 我国储罐用钢的情况

我国大型储罐所使用的板材长期以来都依赖进口，已使用日本不同钢铁企业生产的 610MPa 高强度钢板建设了 $(10 \sim 15) \times 10^4 \text{m}^3$ 不同容积石油储罐，使得国内油罐设计和施工企业对应用日本钢种性能、加工、焊接等积累了较丰富的经验。现在我国的宝钢、武钢和舞钢等国内大型钢铁企业也能生产出适合大型石油储罐使用所要求的高强度钢。中国石化集团公司等高度重视大型储罐主体板材的国产化应用，并在前几年专门进行了大型储罐施工技术联合攻关，中国石化燕山石化分公司 4 台 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶式油罐要采用 600MPa 级钢板制

造,经多番选材论证,确定首次选用武钢研制的大线能量焊接用 WH610D2 钢板制造,首次实现了我国 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 浮顶式油罐用钢国产化,并进行了较深入的理论研究,在中国石化燕山石化分公司建造了 4 台 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 储罐,积累了设计、施工、应用经验,当年该钢种通过了原国家冶金局的技术鉴定。2002 年,武钢该钢种通过了全国压力容器标准化委员会的技术评审。评审委员会专家一致认为,武钢生产的 WH610D2 钢的企业标准高于日本同类标准,其质量性能能够满足 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上大型原油储罐及相应压力容器的使用要求。

国内武汉钢铁集团公司生产的 WH610D2 大线能量焊接高强度钢板,舞阳钢铁公司生产的 WY610D 钢板,济南钢铁集团“X65—X80 针状铁素体管线钢板”和“JGR610E 大型石油储罐用高强度钢板”等,使得我国大型石油储罐用钢有较多的选择。

鞍钢研发生产的高强度大型储油罐钢板应用于中国石化曹妃甸油库工程和镇海岚山 4 座 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 浮顶储油罐。这种长期依赖进口的专用钢板的国产化,为我国石油战略储备建设提供了坚实的物质基础。

随着国民经济的高速发展,我国对油品的需求越来越大,建设一定数量的大型原油储罐,增加原油储备,满足国民经济高速发展对石油产品需求的增长,是相当一段时间内石油储运领域的主要任务,而高强度钢板的国产化无疑为解决这一任务提供了坚实的基础。

第五节 各种石油储罐的构造

石油储罐的种类多,各种储罐的构造都不相同,所用材质、使用的介质和盛装油品的多少也都大不相同。因此,本节简单介绍有关类型的石油储罐的构造。

1. 拱顶储罐的构造

拱顶储罐是指罐顶为球冠状、罐体为圆柱形的一种钢制容器。拱顶储罐制造简单、造价低廉,所以在国内外许多行业应用最为广泛,最常用的容积为 $1000 \sim 10000 \text{ m}^3$,目前国内拱顶储罐的最大容积已经达到 30000 m^3 。

① 罐底:罐底由钢板拼装而成,罐底中部的钢板为中幅板,周边的钢板为边缘板。边缘板可采用条形板,也可采用弓形板。一般情况下,储罐内径 $< 16.5 \text{ m}$ 时,宜采用条形边缘板;储罐内径 $\geq 16.5 \text{ m}$ 时,宜采用弓形边缘板。

② 罐壁:罐壁由多圈钢板组对焊接而成,分为套筒式和直线式。

套筒式罐壁板环向焊缝采用搭接,纵向焊缝为对接。拱顶储罐多采用该形式,其优点是便于各圈壁板组对,采用倒装法施工比较安全。

直线式罐壁板环向焊缝为对接。优点是罐壁整体自上而下直径相同,特别适用于内浮顶储罐,但组对安装要求较高、难度亦较大。

③ 罐顶:罐顶有多块扇形板组对焊接而成球冠状,罐顶内侧采用扁钢制成加强筋,各个扇形板之间采用搭接焊缝,整个罐顶与罐壁板上部的角钢圈(或称锁口)焊接成一体。

2. 浮顶储罐的构造

浮顶储罐是由漂浮在介质表面上的浮顶和立式圆柱形罐壁所构成。浮顶随罐内介质储量的增加或减少而升降,浮顶外缘与罐壁之间有环形密封装置,罐内介质始终被内浮顶直接覆盖,减少介质挥发。

① 罐底：浮顶罐的容积一般都比较，其底板均采用弓形边缘板。

② 罐壁：采用直线式罐壁，对接焊缝宜打磨光滑，保证内表面平整。浮顶储罐上部为敞口，为增加壁板刚度，应根据所在地区的风载大小，罐壁顶部需设置抗风圈梁和加强圈。

③ 浮顶：浮顶分为单盘式浮顶、双盘式浮顶和浮子式浮顶等形式。

④ 单盘式浮顶：由若干个独立舱室组成环形浮船，其环形内侧为单盘顶板。单盘顶板底部设有多道环形钢圈加固。其优点是造价低、好维修。

双盘式浮顶：由上盘板、下盘板和船舱边缘板所组成，由径向隔板和环向隔板隔成若干独立的环形舱。其优点是浮力大、排水效果好。

3. 内浮顶储罐的构造

内浮顶储罐是在拱顶储罐内部增设浮顶而成，罐内增设浮顶可减少介质的挥发损耗，外部的拱顶又可以防止雨水、积雪及灰尘等进入罐内，保证罐内介质清洁。这种储罐主要用于储存轻质油，例如汽油、喷气燃料等。内浮顶储罐采用直线式罐壁，壁板对接焊制，拱顶按拱顶储罐的要求制作。目前国内的内浮顶有两种结构：一种是与浮顶储罐相同的钢制浮顶；另一种是拼装成型的铝合金浮顶。

4. 卧式储罐的构造

卧式储罐的容积一般都小于 100m^3 ，通常用于生产环节或加油站。卧式储罐环向焊缝采用搭接，纵向焊缝采用对接。圈板交互排列，取单数，使端盖直径相同。卧式储罐的端盖分为平端盖和碟形端盖，平端盖卧式储罐可承受 40kPa 内压，碟形端盖卧式储罐可承受 0.2MPa 内压。地下卧式储罐必须设置加强环，加强环用角钢煨制而成。

5. 常用储罐标准

① 美国石油学会标准 API650；② 英国标准 BS2654；③ 日本标准 JISB8501；④ 德国标准 DIN4119；⑤ 石油行业标准 SYJ1016—82；⑥ 石化行业标准 SH3046—92；⑦ GB 50393—2008《钢质石油储罐防腐工程技术规范》。