

设备安全运行与管理 **丛书**

油罐 安全运行与管理

孙新宇 李晓明 彭仁海 编著
黄梓友 审核

中国石化出版社

设备安全运行与管理丛书

油罐安全运行与管理

孙新宇 李晓明 彭仁海 编著
黄梓友 审核

中国石化出版社

内 容 简 介

本书较全面地阐述了油品储运单元关键设备——油罐制造安装、运行管理的基础理论和实践经验。该书结合现行规范和目前我国现状,分六章重点介绍油罐的安装、附件与附属设备、日常操作与维护检修、腐蚀与防护、安全管理、常见事故分析等。

本书注重实用,通俗易懂,深入浅出,可操作性强。

本书可供油品储运工作的工程技术人员和管理人员在工作中学习参考,或者作为油罐操作工的培训教材,也可供大专院校油品储运专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

油罐安全运行与管理/孙新宇,李晓明,彭仁海编著.
—北京:中国石化出版社,2004
(设备安全运行与管理丛书)
ISBN 7-80164-676-2

I. 油… II. ①孙… ②李… ③彭… III. 油罐-安全技术
IV. TE972

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 113695 号

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

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

850×1168 毫米 32 开本 10 印张 268 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

定价:25.00 元



企业的竞争，归根结底是人才的竞争。对石油、石化企业而言，是否拥有一大批精通业务的工程技术人员和操作工人是生产能否平稳、企业能否发展的关键。然而目前国内关于油罐运行、管理方面的书籍很少；适合基层工程技术人员、管理人员和油罐操作工培训使用的这方面教材还是空白。随着社会发展，提高职工技术素质越来越成为增强企业竞争力重要而有效的手段，从事油罐管理、操作的基层工作者迫切需要一本全面介绍油罐基础理论和管理经验，通俗易懂且实用性强的书籍，供学习、培训使用。因此我们编写了此书。

本书共分六章，着重介绍油罐设备、安全方面的知识，同时也兼顾工艺操作方面的内容。第一章较系统地介绍油罐安装方面的基础知识，包括油罐分类、结构，建造油罐通常使用的材料，施工工艺和质量控制等。第二章主要介绍各种油罐的附件和附属设备，对呼吸阀、密封装置、仪表设施等作重点阐述。第三章论述油罐的日常操作和维护检修，对运行中常见故障和处理方法予以列举。第四章介绍油罐的腐蚀防护。随着我国各企业所加工原油劣质化程度增加，油罐腐蚀加剧，因腐蚀而造成的泄漏、自燃等事故时有发生；但职工对腐蚀防护方面知识却相当缺乏，故本章花费大量篇幅介绍与油罐腐蚀有关的知识，对涂料防腐蚀、热喷涂、阴极保护等防腐蚀方法进行介绍。

第五章从日常运行、清洗、检修和消防保护四个方面论述油罐的安全管理。第六章列举国内石油、石化系统所发生的近 50 个事故案例并进行分析,包括爆炸火灾事故、突沸事故、浮顶(内浮顶、内浮盘)沉没事故、脱水跑油事故、罐体变形事故、升举破坏事故以及其他事故等共七个类型。油罐基础和接地方面知识在附录 1、2 中介绍。附录 3 则对大家容易混淆的沸溢、喷溅和溅溢(突沸)概念进行论述比较。附录 4 为可燃物质的火灾危险性分类及举例。从相应标准中节选部分油品储运系统常用法兰规格尺寸汇集于附录 5 中,便于读者工作中查阅。

鉴于目前在用油罐的设计依据多为《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》(SH 3046—92)和《立式圆筒形钢制焊接油罐设计技术规定》(SYJ 1016—82),为便于大家阅读理解和联系现场实际,在介绍油罐结构、附件等相关知识时,结合《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》(SH 3046—92)的部分条款予以阐述。新的规范《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》(GB 50341—2003)于 2003 年 12 月 1 日颁布实施,其相关的特殊要求在该书中也作了一定说明。

本书第五章由李晓明执笔;第二章的第六节由彭仁海执笔;其余章节均由孙新宇执笔。全书由孙新宇统稿,黄梓友负责审核。

在编写过程中,参考了郭光臣、徐至钧、贾庆山、涂湘湘等许多前辈、专家的著作,在此一并致谢。还要感谢家人、朋友的帮助和支持。

由于笔者经验不足,水平有限,敬请同行专家和广大读者不吝指教。

第一章 油罐安装	(1)
第一节 油罐用途、建设现状与发展	(1)
第二节 油罐的种类及其结构	(4)
第三节 油罐的材料	(17)
第四节 油罐的施工工艺	(20)
第五节 油罐保温	(28)
第六节 油罐施工质量检查与验收	(31)
第二章 油罐附件与附属设备	(39)
第一节 拱顶油罐的附件	(39)
第二节 浮顶油罐的附件	(52)
第三节 内浮顶油罐的附件	(67)
第四节 油罐的呼吸阀、阻火器	(69)
第五节 油罐的密封装置	(81)
第六节 油罐的仪表设施	(87)
第三章 油罐日常操作与维护检修	(113)
第一节 油罐的日常操作	(113)
第二节 油罐的检查维护	(130)
第三节 油罐的检修	(149)
第四节 常见故障处理	(157)
第四章 油罐腐蚀防护	(163)
第一节 腐蚀	(163)
第二节 金属腐蚀原理、分类及破坏形式	(164)
第三节 表面清理	(170)
第四节 涂料防腐蚀	(178)
第五节 热喷涂	(183)
第六节 阴极保护	(190)

目 录

第七节	油罐防腐方案设计	(194)
第八节	油罐防腐施工管理	(201)
第九节	油罐防腐施工方案举例	(204)
第五章	油罐安全管理	(212)
第一节	油罐运行安全管理	(212)
第二节	油罐清洗安全管理	(219)
第三节	油罐检修安全管理	(226)
第四节	油罐的消防保护	(233)
第六章	常见事故分析	(245)
第一节	油罐爆炸火灾事故	(245)
第二节	油罐突沸事故	(260)
第三节	浮顶(内浮顶、内浮盘)沉没事故	(263)
第四节	脱水跑油事故	(266)
第五节	罐体抽瘪变形事故	(267)
第六节	油罐升举破坏事故	(271)
第七节	油罐使用过程中的其他事故	(273)
附录		(283)
附录 1	油罐基础	(283)
附录 2	油罐接地	(291)
附录 3	沸溢、喷溅和溅溢(突沸)	(293)
附录 4	可燃物质的火灾危险性分类及举例	(295)
附录 5	油品储运常用法兰、垫片、螺栓	(297)
参考文献		(313)

第一章 油 罐 安 装

第一节 油罐用途、建设现状与发展

石油储罐(简称油罐或储罐)在国民经济发展中具有重要作用。特别是石油、石化企业,没有储罐,就无法组织生产。储罐是储运单元储备原料、油品调合和成品油输转的重要设备。无论是陆地或海洋原油开采,还是炼油厂油品的存储;无论是长输管线的泵站、运销油库和军用油料油库,还是国家物资储备与战略储备,均离不开各种容量和类型的储罐。

当发现一个具有开采价值的油田或建设一个石油化工厂时,首先要根据生产能力考虑储油设施的规模,以储存一定量的原油或暂存等待外运的成品油。因此,储罐工程投资在石油、石化基本建设投资中占有相当大的比例。

改革开放以来,随着国民经济持续高速发展,我国对石油的需求也快速增长。而我国东部各油田已处于开发的后期,产量逐年下降;西部各油田上产较慢,因此,我国的石油进口量也剧增。目前,美国、中国、日本是世界三大石油进口国。由于海运是石油运输的主要方式,所以除在沿海口岸建造停泊的码头外,尚需建造大量的输油中转设施,大型储罐则是其中重要的设备。美国、日本、德国等为应对异常,保证本国的政治、经济稳定,均建有大型石油战略储备库,制订有石油储备法。美国、德国的石油储备量为 90 天的原油进口量,日本远高于美国和德国,达到 160 天。而我国的石油储备量虽无正式官方数字,但多数专家估算远低于以上国家。因此,从国家生存发展角度考虑,我国必须居安思危,建立石油储备库,以应对突发事件,且有必要尽快

制订石油储备法。政府已经做出初步规划,在不远的将来,我国将会建造一批大型石油储罐。

自 20 世纪 60 年代大庆油田发现以来,我国的石油储罐建设也随之有了迅速发展,不但建造了许多较小直径的油罐,而且随着当时社会环境要求建造了一些地下油罐和半地下油罐。

20 世纪 70 年代后期到 80 年代,我国政治经济形势发生了翻天覆地的变化,石油工业迅速发展,石油储罐建设可以说是突飞猛进。首先,从分布地域上来看,原来的油气田及炼油厂、石油化工厂均在内地,油罐也建在内地。随着改革开放政策的实施,我国石油进出口量增大。再加海上石油的开采,使石油储罐建设在沿海地区得到迅速发展;其次,石油储罐的容积也不断向大型化发展。自 1985 年从国外引进 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ (在表示油罐罐容时,通常用“ 10^4m^3 ”代表 10000m^3 ,如 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 等于 50000m^3 。下同)浮顶油罐的设计和施工技术后,陆续在大庆、秦皇岛、仪征、黄岛、舟山、铁岭、大连、上海、镇海、燕山、湛江等地又建造了 80 多台 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐,并且自行设计、建造了茂名石化北山岭 2 台 $12.5 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐。现在开始研制大型储罐用国产钢材,已取得一定进展。目前中国石化集团公司的设计、安装部门正在进行 $15 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐的建设工作,预计 2004 年年底即可建成。但是,从我国现有储罐来看,大部分油罐的容积不超过 $5 \times 10^4 \text{m}^3$,而且容积在 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上油罐所用的大部分钢材是由国外进口的。国产钢材主要是 16MnR,因其强度较低,使 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶罐下部第一圈壁板厚度达 34mm,给大型储罐的建造带来很大困难。

在施工方面,大型油罐的施工需大规模采用高效自动焊。近几年,油罐专用国产自动焊接设备有了较大发展,打破了全部依赖进口的局面,但国产化程度还不够高,还有许多问题需研究和解决。

根据我国石油及化工企业的发展状况,今后油罐的发展方向

是大容积、国产化、自动焊等。

1962年,美国首先建成了 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐;1967年,在委内瑞拉建成了 $15 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐;1971年日本建成了 $16 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐,其直径达110m、高22.5m;沙特阿拉伯则成功地建造了 $20 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐。根据有关资料分析:采用大容量油罐具有节省钢材、减少占地面积、方便操作管理、减少油罐附件和管线长度、节省投资等优点。但最为经济的是 $12.5 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐, $15 \times 10^4 \text{m}^3$ 和 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 次之, 5000m^3 油罐的经济性最差。因而,我国的大型油罐建造应以 $12.5 \times 10^4 \text{m}^3$ 为首选对象,其他油罐建造应结合工艺条件要求,尽可能避免建造 5000m^3 及其以下的小容积油罐。

建造大容积油罐,需用高强度钢板。目前我国所使用的高强度钢板,多数为国外进口。由武汉钢铁设计院、北京燕山石化公司、合肥通用机械厂、中国石化北京设计院组成的攻关小组,对WH610D2钢板进行研究开发,并用于北京燕山石化公司4台 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐,效果不错。从有关资料得知,目前,除武汉钢铁(集团)公司外,舞阳钢铁公司和上海宝山钢铁公司也正在开发油罐用高强度钢材,很快即可投入批量生产。因此,为了满足我国大型储罐建设发展的需要,今后应进一步研制高强度钢材,提高国产高强度钢材的质量和产量。

有关学者将我国大型油罐(以 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐为代表)建造技术发展分为三个阶段:第一阶段为整体技术引进,包括材料、设计技术和施工技术,如20世纪80年代中期在大庆、秦皇岛建造的 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐;第二阶段实现设计和施工技术国产化,仅进口高强度钢材,如20世纪90年代在上海、镇海、黄岛等地建造的 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐;第三阶段实现设计技术、施工技术和高强度钢材全面国产化,如在北京燕山石化公司建造的4台 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 浮顶油罐。因此,可以乐观地认为,我国大型油罐的建设已经起步,正在进入一个快速发展阶段。

第二节 油罐的种类及其结构

一、油罐的分类

(一) 按油罐相对标高分类

按油罐相对标高区分,油罐可分为地面罐、地下罐、半地下罐和高架罐4种。

地面罐是指罐内最低液面略高于附近地坪的罐。最常见的也是应用最广泛的地面罐是罐底坐落在均质油罐基础上,基础顶面高于附近地坪 200~400mm 以利于排水的立式圆柱形钢制油罐。某些架设于矮支墩上的卧式罐也属于地面罐。同其他油罐相比,地面罐具有投资少、施工快、日常管理和维修方便等优点。但这类油罐的罐内温度受大气温度的影响大,不利于易挥发油品降低蒸发损耗和重质油品的加热保温,而且要求罐间的防火安全距离大,因而占地面积大。

地下罐是指罐内最高油面低于油罐附近地面(周围 4m 范围内)最低标高 0.2m 的油罐。这类油罐多采用非金属材料建造,内壁涂敷防渗层或粘贴薄钢板衬里,以防油品渗漏,顶板上覆土厚度为 0.5~1m。这类油罐多用于储存原油或渣油。优点是隔热效果好,不仅受大气温度日常变化的影响小,减少了油品蒸发损耗,而且对于需要加热的油品,也可降低热能消耗;由于采用非金属材料建造,因而钢材耗量较少;着火危险性小,即使着火也不易产生油品漫溢而危及其他油罐;具有一定的隐蔽性。它的缺点是造价高,施工期长,操作管理不便,输送泵的吸入条件较差,而且不宜在地下水位较高的地区建造。由于这种油罐具有一定的对空隐蔽和防御能力,20 世纪 60 年代在我国强调战备的历史时期曾建造了不少这样的油罐,目前已很少建造。

半地下油罐是指罐底埋入地下深度不小于罐高的一半,且罐

内最高油面不高于油罐附近(周围 4m 范围内)地面最低标高 2m 的油罐。其结构、适用油品和优缺点同地下罐类似。这类油罐实际上是地下罐的改型,以解决地下水位对罐高的限制。

高架罐系指罐内最低油面高出油罐附近地坪 3~8m 的油罐。这类油罐一般作为自流灌装汽车或油桶的工艺罐。高架罐的罐型一般采用架设在支墩上的卧式钢油罐。

(二) 按罐体材质分类

按罐体材质分类,油罐可分为金属罐和非金属罐两大类。

金属罐是用钢板焊接的薄壳容器,具有造价低、不渗漏、施工方便、易于清洗和检修、安全可靠、耐用、适宜储存各类油品等优点。

非金属油罐包括砖油罐、石砌油罐、钢筋混凝土油罐,以及耐油橡胶制成的软体油罐、玻璃钢油罐、塑料油罐等。由于非金属油罐不用或少量用到钢材,因此可以大量节省钢材,20 世纪 50~60 年代曾在我国大力推广,主要用来储存原油和重油。砖、石、钢筋混凝土等非金属油罐除能节约钢材外,由于罐壁厚、材料导热系数低,因而储存热油时热损失小,可以节约热能;储存原油时油罐气体空间温度日变化小,可以降低呼吸损耗。非金属油罐刚度大,承受外压能力强,特别适宜建成地下罐或半地下罐,有利于对空隐蔽。其缺点是,由于非金属材料砌体的抗拉强度低,油罐不宜太高,只能靠增加截面积扩充容量,因而占地面积大,造价高,灭火困难,而且不易清罐和检修。从安全角度考虑,石油、石化企业目前已基本不再建造和使用非金属油罐,以后不再论述。耐油橡胶等其他材质的油罐,一般容量都较小,易于搬迁和运输,常用于军队的野战油库。

(三) 按油罐形状和结构特征分类

按油罐形状和结构特征可将油罐分为立式圆柱形罐、卧式圆柱形罐和特殊形状罐三大类。见图 1-1

立式圆柱形钢制油罐(储存非致冷液体)是一种应用范围最广的油罐,它的承压能力有限,在 0.1MPa(表压)以下,大多属于

常压油罐。一般拱顶罐和带有气封系统的内浮顶罐的设计内压(表压)为 1960Pa ($200\text{mmH}_2\text{O}$) 和 -490Pa ($-50\text{mmH}_2\text{O}$)，浮顶罐、内浮顶罐(不带有气封系统)均不承受内压。部分用于储存 C_5 等轻组分的立式圆柱形锚固罐设计内压稍高，但也在 0.1MPa (表压)以下。本书以此类油罐为论述对象。按油罐罐容大小，可将立式圆柱形油罐分为二类：大型油罐和一般油罐。通常将罐容在 $1 \times 10^4\text{m}^3$ 及其以上的油罐称为大型油罐，罐容小于 $1 \times 10^4\text{m}^3$ 的油罐称为一般油罐。

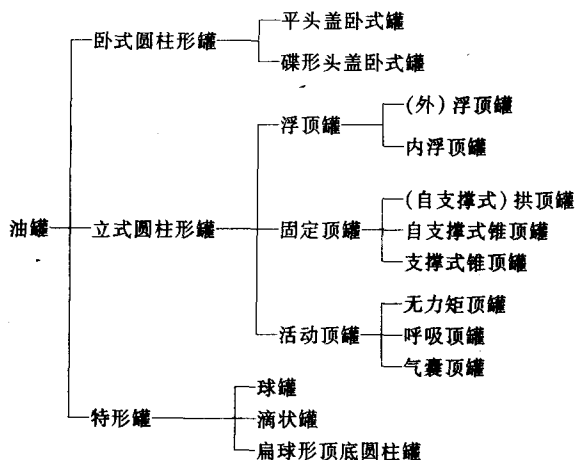


图 1-1 金属油罐分类图

此外，还可以根据油罐内储存的油品种类或它的工艺功能进行分类，例如原油罐、汽油罐、润滑油罐；调合罐、扫线罐、沉降罐等。

二、油罐的构造

(一) 拱顶油罐的构造

拱顶油罐是指罐顶为球面形、罐体为圆柱形的一种容器，其罐顶由厚度为 $4 \sim 6\text{mm}$ 的薄钢板和加强筋(通常用扁钢或型钢)构成，

或由桁架和薄钢板构成。拱顶载荷通过拱顶周边传递于罐壁上。这种罐顶可承受较高的剩余压力,有利于减少罐内液体介质的挥发损耗。拱顶罐除罐顶板的制作较复杂外,其他部位的制作较易,造价较低,故在国内外石油化工企业应用较广泛。目前国内拱顶罐的最大容积已达到 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$,最常用的容积为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 或再小些。

1. 罐底

罐底由多块薄钢板拼装而成,参见图 1-2。罐底中部钢板称为中幅板,周边的钢板称为边缘板(边板)。边缘板可采用条型板,也可采用弓形板,依油罐的直径、与底板相焊接的第一圈壁板的厚度和材质而定。《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》(SH 3046—92)第 4.2.1 条和第 4.2.2 条规定,油罐的内径 $< 12.5 \text{ m}$ 时,罐底周边宜采用条型边缘板,如图 1-2(a)所示;

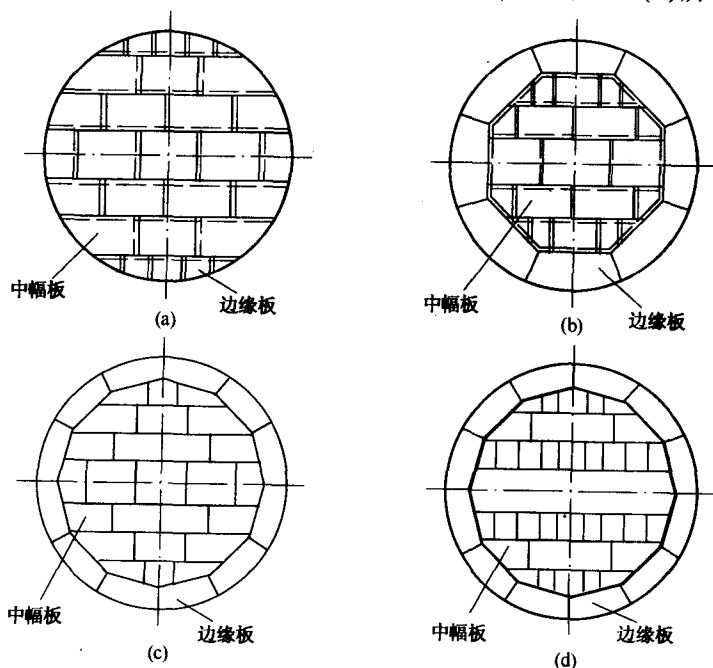


图 1-2 罐底结构图

油罐内径 $\geq 12.5\text{m}$ 时,罐底周边宜采用弓形边缘板,如图1-2(b)、(c)、(d)所示。

当油罐内径 $> 30\text{m}$ 时,边缘板沿半径方向最小尺寸不得小于 1500mm ;当油罐内径 $\leq 30\text{m}$ 时,边缘板沿半径方向最小尺寸不得小于 700mm 。

由于最下圈壁板与罐底边缘板之间必须严密而无间隙,当底板为搭接而无弓形边缘板时,边缘处底板必须设计为对接。

国外有些标准要求,在罐壁最下一圈板板厚超过 15mm 或使用高强钢的情况下,要采用弓形边缘板,罐底焊缝采用对接焊缝,如图1-2(c)、(d)所示。

2. 罐壁

罐壁由多圈钢板组对焊接而成,分为套筒式及直线式两种,如图1-3所示。套筒式罐壁板环向焊缝采用搭接,纵向焊缝为对接。其优点是便于各圈壁板的对口,特别是采用气吹顶升倒装法施工时十分方便安全。直线式罐壁板环向焊缝和纵向焊缝均为对接,优点是罐壁整体自上而下直径相同,特别适用于内浮顶罐。但组对安装要求较高、难度较大。以前拱顶罐壁板环向焊缝多采用搭接,其搭接环缝外侧采用连续焊缝,内侧采用断续焊。搭接宽度不小于钢板厚度的5倍,相邻对接纵焊缝的间距不小于 500mm 。罐壁板与罐底

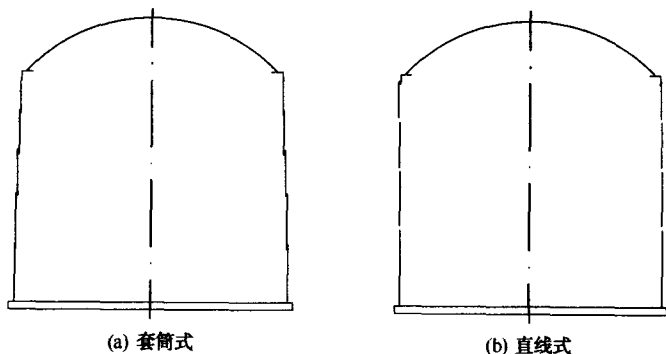


图1-3 拱顶油罐罐体结构形式

边缘板相连的丁字焊缝(大角缝)内外侧均为连续焊缝。

近几年随着液压顶升、电动葫芦提升等新的施工方法的普及,气吹顶升施工已逐渐减少。同时因直线式罐壁受力较好,套筒式罐壁亦逐渐被取代。于2003年12月1日颁布实施的新的国家标准《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》(GB 50341—2003)第6.1.3条明确要求:罐壁板的纵环焊缝应采用对接,内表面对齐。故以后新建的各种类型油罐将很少采用套筒式罐壁。

罐壁钢板的厚度沿罐的高度自下而上逐渐减小,最小厚度为4~6mm。最上一圈壁板与顶部角钢圈通过两条环缝相连,外侧为连续焊缝,内侧为断续焊缝,如图1-4所示。

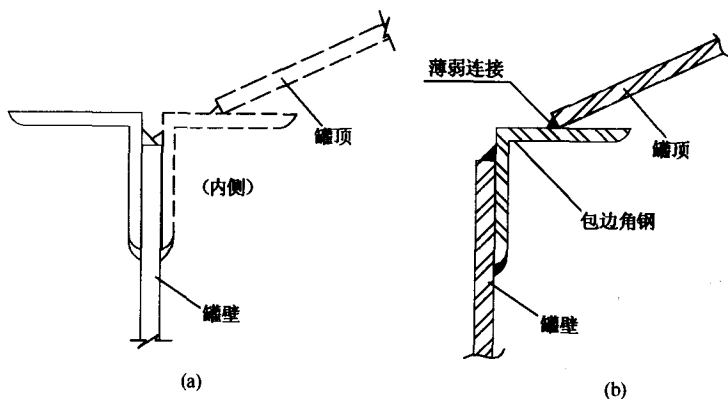


图1-4 拱顶油罐罐顶与罐壁连接结构示意图

3. 罐顶

拱顶油罐的罐顶是由多块扇形板构成的,为了增加顶板的刚度,在其背面(罐顶内侧)焊加强筋(一般用扁钢)。各扇形顶板之间采用搭接焊缝,整个罐顶与罐壁板上部的角钢圈相互焊接。对于固定顶罐和内浮顶罐,角钢的水平肢可朝外或朝内,结构如图1-4(a)所示。

由于拱顶罐罐内液面上部存在油气空间,一旦发生火灾,极易引起爆炸。爆炸如果使罐体整体撕裂,灾害将扩大。故《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》(SH 3046—92)第6.1.5

条要求：罐顶板与包边角钢之间的连接应采用薄弱连接，外侧采用连续焊，焊角高度不应大于顶板厚度的 $3/4$ ，且不得大于 4mm，内侧不得焊接。如图 1-4(b)所示。这样，一旦发生爆炸，罐顶将首先崩开，使压力得以释放，避免罐底或罐壁被撕开，尤其是避免将罐底与罐壁相连的大角缝撕裂，使油品四溢，灾害扩大。规范将该种罐顶结构称为“弱顶结构”或“弱连接结构”。

(二) 浮顶油罐的构造

1. 种类和构造特点

浮顶油罐由浮在罐内液体介质表面上的浮顶和立式圆筒形罐体所构成。浮顶直接浮在液面上，罐内储油量增加时浮顶上升，减少时浮顶下降。在浮顶外缘与罐内壁的环形空间加设随浮顶一起升降的密封装置。由于这种罐内油品液面始终被浮顶直接覆盖，从而有效减少了油品的挥发损耗。浮顶罐的种类有单盘式、双盘式和浮子式等(图 1-5~图 1-7)。

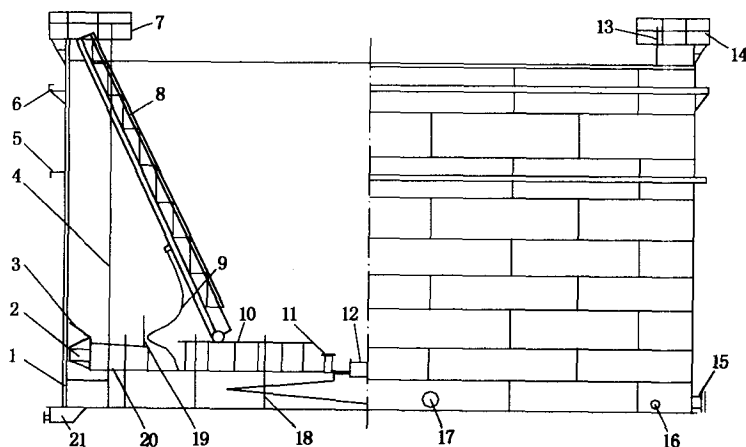


图 1-5 单盘式浮顶罐结构示意图

- 1—罐壁与罐底；2—浮顶一次密封装置；3—浮顶二次密封装置；4—量油管；
- 5—加强圈；6—抗风圈；7—盘梯与平台；8—转动扶梯；9—静电导出装置；
- 10—转动扶梯轨道；11—紧急排水装置；12—浮顶积水坑；13—导向管；
- 14—导向管平台；15—罐壁人孔；16—浮顶排水装置；17—罐壁接管开口；
- 18—浮顶立柱；19—泡沫挡板；20—浮舱；21—带放水水管排污孔