

中华人民共和国国家标准

标准分享网
www.bzfxw.com
免费 专业 丰富

立式圆筒形钢制焊接油罐 设计规范

Code for design of vertical cylindrical
welded steel oil tanks

GB 50341—2003

主编部门：中国石油天然气集团公司

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2003年12月1日

中国计划出版社

2003 北 京

中华人民共和国国家标准
**立式圆筒形钢制焊接油罐
设计 规范**

GB 50341—2003

☆

中国石油天然气集团公司 主编

中国计划出版社出版

(地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码:100038 电话:63906413 63906414)

新华书店北京发行所发行

世界知识印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 5.5 印张 138 千字

2003 年 12 月第一版 2003 年 12 月第一次印刷

印数 1--6000 册

☆

统一书号:1580058·541

定价:25.00 元

中华人民共和国建设部公告

第 186 号

建设部关于发布国家标准 《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》的公告

现批准《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》为国家标准,编号为 GB 50341—2003,自 2003 年 12 月 1 日起实施。其中,第 3.0.2、3.0.5、4.2.2、4.2.5、5.1.1、5.1.2、6.3.1、6.3.2、6.3.3、6.4.1、6.4.6、6.4.7、6.4.8、6.5.2、6.5.3、6.5.4、6.5.6、7.1.2、7.1.6、8.1.5、8.1.6、8.2.3、8.3.1 条为强制性条文,必须严格执行。

本规范由建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国建设部
二〇〇三年十月八日

前 言

本规范是根据建设部(1996)4号文下达的《关于印发“1995～1996年工程建设国家标准制订计划”的通知》的要求,由中国石油天然气管道工程有限公司(原中国石油天然气管道勘察设计院)会同中国石油天然气股份有限公司规划总院共同编制的。

本规范在编制过程中,以 API 650 等国内外同类规范为参考,深入进行调查研究,多次与科研、设计、施工和使用单位进行交流,在广泛征求意见的基础上,积极吸取国内外几十年来油罐设计的成熟经验,结合我国现阶段工程实际,经反复讨论、认真修改,最后经审查定稿。

本规范共分 11 章,5 个附录,包括了立式圆筒形钢制焊接油罐设计的主要内容,以及施工和验收的部分要求。主要包括:材料的选用、罐底设计、罐壁设计、固定顶设计、外浮顶设计、内浮顶设计、油罐附件、微内压油罐、高温油罐设计附加要求、带肋拱顶计算、油罐抗震计算、油罐对地基和基础的基本要求等。

本规范以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。本规范由建设部负责管理和对强制性条文的解释,中国石油天然气管道工程有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中,请各单位结合工程实践,认真总结经验,如发现需要修改或补充之处,请将意见和建议寄交中国石油天然气管道工程有限公司(地址:河北省廊坊市金光道 22 号,邮编:065000)。

本规范主编单位、参编单位和主要起草人:

主 编 单 位:中国石油天然气管道工程有限公司

参 编 单 位:中国石油天然气股份有限公司规划总院

主要起草人:王夫安 金维昂 孙正国 项忠权 邢燕生

刘雅兰	程 晖	杜保军	傅伟庆	王 莹
王玉清	王冰怀	王宝霞	王国丽	王更武
范 欣	尹晔昕	孙维礼	许 杰	陈 枫
董 旭	李正郁	李金国	屈英华	孟庆鹏
夏 薇	段金燕	蔡杭平		

目 次

1	总 则	(1)
2	术语与符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(4)
3	一般规定	(10)
4	材 料	(12)
4.1	一般规定	(12)
4.2	钢板	(13)
4.3	钢管	(17)
4.4	锻件	(18)
4.5	螺栓、螺母	(18)
4.6	结构型钢	(19)
4.7	焊接材料	(19)
5	罐底设计	(20)
5.1	罐底板尺寸	(20)
5.2	罐底结构	(21)
6	罐壁设计	(25)
6.1	罐壁排板与连接	(25)
6.2	罐壁包边角钢	(26)
6.3	罐壁厚度	(27)
6.4	顶部抗风圈	(27)
6.5	中间抗风圈	(32)
7	固定顶	(35)
7.1	一般规定	(35)

7.2	构件的许用应力	(37)
7.3	自支撑式锥顶	(39)
7.4	支撑式锥顶	(40)
7.5	自支撑式拱顶	(41)
8	浮顶	(42)
8.1	一般规定	(42)
8.2	浮顶的结构与连接	(42)
8.3	浮顶支柱	(43)
8.4	浮顶排水管	(43)
8.5	紧急排水装置	(44)
8.6	转动浮梯及轨道	(44)
8.7	自动通气阀	(44)
8.8	导向装置	(44)
8.9	密封及静电导出装置	(45)
8.10	浮顶人孔	(45)
8.11	船舱人孔	(45)
9	内浮顶	(46)
9.1	一般规定	(46)
9.2	敞口隔舱式、单盘式和双盘式内浮顶	(47)
9.3	浮筒式内浮顶	(47)
9.4	内浮顶支柱	(48)
9.5	环形空间的密封	(48)
9.6	自动通气阀	(49)
9.7	通气孔	(49)
9.8	高液位保护	(49)
9.9	导向装置	(49)
9.10	人孔和检查孔	(50)
10	附件	(51)
10.1	一般规定	(51)

10.2	罐壁开孔及补强	(51)
10.3	罐壁人孔	(53)
10.4	罐壁开孔接管	(55)
10.5	齐平型清扫孔	(59)
10.6	罐顶人孔	(63)
10.7	罐顶开孔接管	(64)
10.8	排水弯头	(66)
10.9	排水槽	(66)
10.10	盘梯、平台及栏杆	(68)
10.11	防雷、防静电接地及其他	(69)
11	预制、组装、焊接及检验	(70)
附录 A	微内压油罐	(73)
附录 B	提高油罐设计温度的附加要求	(77)
附录 C	带肋球壳拱顶计算	(79)
附录 D	油罐抗震计算	(82)
附录 E	油罐对地基和基础的基本要求	(87)
	本规范用词说明	(91)
	附:条文说明	(93)

1 总 则

1.0.1 为了规范立式圆筒形钢制焊接油罐的设计,提高设计水平,做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,制定本规范。

1.0.2 本规范仅适用于储存石油、石化产品及其他类似液体的常压(包括微内压)立式圆筒形钢制焊接油罐(以下简称油罐)的设计。

埋地的、储存极度和高度危害介质、人工致冷液体的储罐,不适用于本规范。

1.0.3 油罐设计除应遵守本规范外,尚应符合国家现行有关标准和规范的规定。

2 术语与符号

2.1 术 语

2.1.1 罐底环形边缘板 annular bottom plates

内边缘为正多边形或圆形的罐底边缘板。

2.1.2 罐底中幅板 bottom sketch plates

除边缘板以外的罐底板部分。

2.1.3 固定顶 fixed roofs

罐顶周边与罐壁顶端固定连接的罐顶。主要包括以下形式：

1 自支撑式锥顶：罐顶形状为正圆锥形，荷载仅靠罐壁周边支撑；

2 支撑式锥顶：罐顶形状为正圆锥形，荷载主要靠梁柱、桁架或其他结构支撑；

3 自支撑式拱顶：罐顶形状为球面形，荷载仅靠罐壁周边支撑。

2.1.4 浮顶 floating roofs

随液面变化而上下升降的罐顶，包括外浮顶和内浮顶。主要有以下形式：

1 单盘式浮顶：浮顶周圈设环形密封舱，中间仅为单层盘板；

2 双盘式浮顶：整个浮顶均由隔舱构成；

3 敞口隔舱式浮顶：浮顶周圈设环形敞口隔舱，中间仅为单层盘板；

4 浮筒式浮顶：盘板与液面不接触，由浮筒提供浮力。

在敞口油罐内的浮顶称外浮顶；在固定顶油罐内的浮顶，称内浮顶。敞口隔舱式浮顶和浮筒式浮顶通常只作为内浮顶。不特别

指出时,浮顶均指外浮顶。

2.1.5 设计压力 design pressure

设定的油罐顶部气相空间的最高压力(表压,下同),其值不应低于正常使用时可能出现的最高操作压力。

2.1.6 金属温度 metal temperature

罐壁板及受力元件沿截面厚度的平均温度。

2.1.7 设计温度 design temperature

在正常使用情况下,设定的罐壁板及受力元件的金属温度,其值不得低于罐壁板及受力元件可能出现的最高金属温度,或不得高于罐壁板及受力元件可能出现的最低金属温度。

2.1.8 计算厚度 calculated thickness

按公式计算所得到的厚度。

2.1.9 公称厚度 nominal thickness

即名义厚度。

2.1.10 有效厚度 available thickness

公称厚度减去厚度附加量。

2.1.11 抗风圈 wind girder

设置在罐壁上,以增加罐壁抗风能力的构件。

2.1.12 转动浮梯 rolling ladder

连结罐壁顶部平台和浮顶,可升降的人行通道。

2.1.13 自动通气阀 auto vent

浮顶浮起或回复支撑状态时,可自行启闭的通气装置。

2.1.14 浮顶排水管 primary drains

在正常情况下,将浮顶上的降水排出罐外的装置。

2.1.15 紧急排水装置 emergency drains

在紧急情况下,可排除浮顶上超载积水的一种安全装置。

2.1.16 环向通气孔 circulation vent

设置在内浮顶油罐罐壁上或顶部上,沿环向分布的通气装置。

2.2 符 号

2.2.1 作用及作用效应

$[P]$ ——带肋球壳的许用外荷载；

$[P_{cr}]$ ——核算区间罐壁筒体的许用临界压力；

$[\sigma]_d$ ——设计温度下钢板的许用应力；

$[\sigma]_p$ ——受压构件的许用压应力；

$[\sigma]_t$ ——常温下钢板的许用应力；

$[\sigma_{cr}]$ ——底圈罐壁的许用临界压应力；

M_1 ——总水平地震作用在储罐底部所产生的地震弯矩；

N_1 ——罐壁底部垂直荷载；

P ——设计压力；

P_t ——计算破坏压力；

P_{cr} ——临界压力；

P_{max} ——罐壁底部不被抬起的最大内压；

P_0 ——罐壁筒体的设计外压；

P_L ——固定顶的设计外荷载；

Q_0 ——在水平地震作用下，罐壁底部的水平地震剪力；

q ——罐顶呼吸阀负压设定压力的 1.2 倍；

T ——储罐基本周期；

T_c ——储罐与储液耦连振动基本周期；

T_g ——反应谱特征周期；

T_w ——罐内储液晃动基本自振周期；

V_s ——总剪切力；

w_0 ——基本风压；

w_k ——风荷载标准值；

α ——地震影响系数；

α_{max} ——地震影响系数最大值；

σ_b ——常温下钢材的标准抗拉强度；

σ_1 ——罐壁底部的最大轴向压应力；

σ_s ——常温下钢材的标准屈服强度。

2.2.2 几何参数

A_{\sim} ——固定顶罐罐顶与罐壁连接处有效截面积；

A_1 ——罐壁的横截面积；

A_{cs} ——清扫孔开孔上部需补强的面积；

A_d ——排水槽中心至罐壁的距离；

A_h ——焊脚尺寸；

A_s ——腹板的总截面积；

B ——环向通气孔总有效通气面积；

B_h ——焊脚尺寸；

b ——清扫孔宽度；

b_1 ——纬向肋有效厚度；

b_2 ——经向肋有效厚度；

b_s ——翼缘宽度；

C ——厚度附加量；

C_1 ——厚度负偏差；

C_2 ——腐蚀裕量；

C_h ——焊缝尺寸；

D ——油罐内径；

D_B ——螺栓孔中心圆直径；

D_c ——法兰及法兰盖外径；

D_d ——排水槽直径；

D_i ——人孔内径；

D_N ——接管公称直径；

D_0 ——接管外径；

D_p ——开孔直径；

D_R ——补强板开孔直径；

e_1 ——纬向肋与顶板组合截面形心到顶板中面的距离；

e_2 ——经向肋与顶板组合截面形心到顶板中面的距离；
 e_c ——清扫孔法兰螺栓孔中心至法兰外缘的距离；
 E_d ——排水槽深度；
 E_h ——焊脚尺寸；
 f_2 ——清扫孔法兰底部宽度；
 f_3 ——清扫孔法兰宽度；
 ΔF ——允许最小间隙；
 g_c ——清扫孔特殊螺孔间距；
 H ——计算液位高度；
 H_1 ——罐壁高度；
 H_2 ——山、顶或山坡全高；
 H_{ei} ——第 i 圈罐壁板的当量高度；
 H_E ——核算区间罐壁筒体的当量高度；
 H_N ——接管中心至罐底高度；
 H_w ——设计最高液位；
 h ——清扫孔高度；
 h_1 ——纬向肋宽度；
 h_2 ——经向肋宽度；
 h_i ——第 i 圈罐壁板的实际高度；
 h_v ——液面晃动波高；
 h_w ——翼缘内侧腹板高度；
 J ——接管安装高度；
 k_1 ——补强面积系数；
 L ——受压构件的无支撑长度；
 L_1 ——补强板尺寸；
 L_{1s} ——纬向肋的经向间距；
 L_{2s} ——经向肋的纬向间距；
 L_c ——清扫孔罐壁补强板高度；
 L_m ——罐壁内表面至环形边缘板与中幅板连接焊缝的最

小径向距离；

n_1 ——纬向肋与顶板的面积折算系数；

n_2 ——经向肋与顶板的面积折算系数；

R ——油罐内半径；

R_2 ——罐顶与罐壁连接处罐顶板到罐中心线的垂直距离；

R_c ——顶部罐壁内半径；

R_o ——钢管的外半径；

R_r ——人孔补强板圆角半径；

R_s ——球壳的曲率半径；

r ——受压构件截面的最小回转半径；

r_1 ——清扫孔开孔上部圆角半径；

r_2 ——清扫孔罐壁补强板上部圆角半径；

t ——底圈罐壁板厚度；

t_{1m} ——纬向肋与顶板组合截面的折算厚度；

t_{2m} ——经向肋与顶板组合截面的折算厚度；

t_a ——翼缘有效厚度；

t_b ——罐底环形边缘板的最小公称厚度(不包括腐蚀裕量)；

t_{bc} ——加强底板的计算厚度；

t_c ——顶部罐壁板的有效厚度；

t_d ——储存介质条件下罐壁板的计算厚度；

t_{dc} ——清扫孔所在罐壁板、补强板及孔颈板的有效厚度；

t_{dr} ——排水槽钢板厚度；

t_f ——法兰厚度；

t_h ——固定顶罐罐顶板的有效厚度；

t_{hs} ——罐顶板的计算厚度；

t_i ——第 i 圈罐壁板的有效厚度；

t_l ——扁钢的有效厚度；

t_m ——带肋球壳的折算厚度；

t_{\min} ——核算区间最薄圈罐壁板的有效厚度；
 t_n ——钢管有效厚度；
 t_r ——补强板厚度；
 t_s ——顶部罐壁加厚板的有效厚度；
 t_t ——试水条件下罐壁板的计算厚度；
 t_v ——法兰盖厚度；
 t_w ——翼缘内侧腹板的有效厚度；
 W ——补强板水平方向展开长度；
 W_c ——罐壁剖面线部分的最大宽度；
 W_h ——罐顶剖面线部分的最大宽度；
 W_z ——顶部抗风圈截面模数；
 Z ——油罐计算位置离地面的高度；
 Z_1 ——底圈罐壁的断面系数；
 δ_3 ——罐壁离底板 1/3 高度处的有效厚度；
 α ——山峰或山坡在迎风面一侧的坡角；
 θ ——罐顶与罐壁连接处，罐顶板与水平面之间的夹角。

2.2.3 其他

C_L ——翘离影响系数；
 C_v ——竖向地震影响系数；
 C_z ——综合影响系数；
 φ ——焊接接头系数；
 E ——设计温度下钢材的弹性模量；
 F_s ——安全系数；
 g ——重力加速度；
 K_c ——耦连振动周期系数；
 K_s ——晃动周期系数；
 k ——系数；
 k_1 ——清扫孔补强面积系数；
 m ——产生地震作用的储液等效质量；

m_1 ——储罐内储液总质量；
 m_2 ——罐壁和由罐壁及罐顶所支撑构件（不包括罐顶板）的总质量；
 Y ——受压构件类型系数；
 Y_1 ——罐体影响系数；
 β_z ——高度 Z 处风振系数；
 μ_s ——风荷载体型系数；
 μ_z ——风压高度变化系数；
 η ——修正系数；
 ρ ——储液的相对密度（取储液与水密度之比）；
 F_r ——动液系数。

3 一般规定

3.0.1 固定顶油罐的设计压力,应取常压或接近常压(负压不应小于 0.49kPa,正压产生的举升力不应超过罐顶板及其所支撑附件的总重);当符合本规范附录 A 的规定时,最大设计压力可提高到 6kPa。浮顶油罐的设计压力取常压。

3.0.2 油罐的设计温度,应取油罐在正常使用状态时,罐壁及主要受力元件可能达到的最高或最低金属温度。

油罐的最高设计温度不应高于 90℃。对于固定顶油罐,当符合本规范附录 B 的规定时,最高设计温度不应高于 250℃。

油罐的最低设计温度,在寒冷地区,对既无加热又无保温的油罐,应取建罐地区的最低日平均温度加 13℃。

3.0.3 油罐的罐底板,应有均匀支撑。

3.0.4 设计条件不应少于以下内容:

1 设计荷载:

1)设计压力(正压和负压);

2)液柱静压力;

3)油罐自重(含保温层重);

4)雨雪荷载、风荷载及地震荷载;

5)由附属设备和连接管道所引起的附加荷载。

2 存储介质的成分及物性。

3 介质的存储温度。

4 气象及工程地质资料。

5 油罐的直径、高度和容量。

3.0.5 厚度附加量应按下式计算:

$$C=C_1+C_2 \quad (3.0.5)$$

式中 C ——厚度附加量(mm);

C_1 ——钢材厚度负偏差(mm);按钢材标准或订货要求确定;当钢板的负偏差不大于0.25mm时,可忽略不计。

C_2 ——腐蚀裕量(mm);应根据使用环境、腐蚀特性、防护措施等因素确定。

4 材 料

4.1 一 般 规 定

4.1.1 钢材选用,应根据油罐的设计温度、油品腐蚀特性、材料使用部位、材料的化学成分及力学性能、焊接性能等综合考虑,并应符合安全可靠和经济合理的原则。

4.1.2 油罐所用钢材应采用平炉、电炉或氧气转炉冶炼。

4.1.3 选用钢材和焊接材料的化学成分、力学性能、焊接性能,应符合本规范所列标准最新版本的规定。按国内其他标准生产的材料和新研制的材料,如具有更优的性能并满足本规范的规定,经有关部门审定后,也可以使用。

4.1.4 选用国外钢材,应符合国外相应钢制焊接油罐规范的规定。

4.1.5 对所选用钢材有特殊要求时,应在图样或有关技术文件中注明。

4.1.6 不同温度下钢材的弹性模量应按表 4.1.6 选取。

表 4.1.6 钢材的弹性模量

钢 类	在下列温度(℃)下的弹性模量(10^3 MPa)						
	-100	-20	20	100	150	200	250
碳素钢(含碳量 $C \leq 0.30\%$)	—	194	192	191	189	186	183
碳锰钢	—	208	206	203	200	196	190

注:中间温度的弹性模量可用线性内插法计算。

4.1.7 本规范所引用的钢材及焊接材料应符合下列标准的规定:

《优质碳素结构钢》GB/T 699;

《碳素结构钢》GB/T 700;

《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709;
 《合金结构钢》GB/T 3077;
 《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274;
 《低温压力容器用低合金钢钢板》GB 3531;
 《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB 5293;
 《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479;
 《压力容器用钢板》GB 6654;
 《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189;
 《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163;
 《低合金钢埋弧焊用焊剂》GB/T 12470;
 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591;
 《低压流体输送用焊接钢管》GB/T 3092;
 《碳钢焊条》GB/T 5117;
 《低合金钢焊条》GB/T 5118;
 《熔化焊用钢丝》GB/T 14957;
 《压力容器用碳素钢和低合金钢锻件》JB 4726;
 《低温压力容器用碳素钢和低合金钢锻件》JB 4727。

4.2 钢 板

4.2.1 钢板标准及使用范围应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 钢板使用范围

序号	钢 号	钢板标准	使用范围		力学性能 检查项目	备注
			许用温 度(℃)	许用最大板 厚度(mm)		
1	Q235-A·F	GB/T 700 GB/T 3274	> -20	12	按相应钢材 标准规定	J
2	Q235-A	GB/T 700 GB/T 3274	> -20	12		—
			> 0	20		—

续表 4.2.1

序号	钢 号	钢板标准	使用范围		力学性能 检查项目	备注
			许用温 度(°C)	许用最大板 厚度(mm)		
3	Q235-B	GB/T 700 GB/T 3274	> -20	12	按相应钢材 标准规定	—
			> 0	24		—
4	Q235-C	GB/T 700 GB/T 3274	> -20	16		—
			> 0	30		—
5	20R	GB 6654	> -20	34		—
6	Q345-B	GB/T 1591 GB/T 3274	> -20	12		—
			> 0	20		—
7	Q345-C	GB/T 1591 GB/T 3274	> -20	12		—
			> 0	24		—
8	16MnR	GB 6654	> -20	34		—
9	16MnDR	GB 3531	> -40	16		—
10	15MnNbR	GB 6654	> -20	34		2
11	12MnNiVR	GB 19189	> -20	34		—
12	07MnNiCrMoVDR	GB 19189	> -40	16		—

注:1 设计温度低于 0°C 时,仅适用于厚度由刚度所决定的罐壁板以及罐顶板、中幅板。

2 当满足 4.2.5 条的要求时,许用温度可低至 -25°C ,但许用厚度不得大于 16mm。

4.2.2 钢板的许用应力值应按表 4.2.2 选用。符合本规范要求的其他碳素钢和低合金钢板的许用应力值,应取设计温度下 2/3 倍标准规定的最低屈服强度。

表 4.2.2 钢板许用应力值

序号	钢 号	使用 状态	板厚 (mm)	常温强度 指标		在下列温度(℃)下 的许用应力(MPa)				
				σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	≤ 20	100	150	200	250
一、碳素钢板										
1	Q235-A·F	热轧	≤ 16	375	235	157	157	137	130	121
2	Q235-A	热轧	≤ 16	375	235	157	157	137	130	121
			$> 16 \sim 40$	375	225	150	150	130	124	114
3	Q235-B	热轧	≤ 16	375	235	157	157	137	130	121
			$> 16 \sim 40$	375	225	150	150	130	124	114
4	Q235-C	热轧	≤ 16	375	235	157	157	137	130	121
			$> 16 \sim 40$	375	225	150	150	130	124	114
5	20R	热轧 正火 控轧式 正火	6~16	400	245	163	147	140	131	117
			$> 16 \sim 36$	400	235	157	140	133	124	111
二、低合金钢板										
6	Q345-B	热轧控 轧正火	≤ 16	470~ 630	345	230	210	197	183	167
7	Q345-C	热轧控 轧正火	≤ 16	470~ 630	345	230	210	197	183	167
			$> 16 \sim 35$	470~ 630	325	217	197	183	170	157
8	16MnR	热轧 正火 控轧式 正火	6~16	510	345	230	210	197	183	167
			$> 16 \sim 36$	490	325	217	197	183	170	157
9	16MnDR	正火	6~16	490	315	210	193	180	167	153
10	15MnNbR	正火	6~16	530	370	247	215	—	—	—
			$> 16 \sim 36$	530	360	240	208	—	—	—
11	12MnNiVR	调质	6~34	610	490	327	297	—	—	—
12	07MnNiCrMoVDR	调质	6~16	610	490	327	297	—	—	—

注:中间温度的许用应力值可采用线性内插法计算。

4.2.3 罐壁钢板的使用厚度,应符合本规范和国外相应油罐规范的规定,且不得大于 45mm。

4.2.4 钢板厚度大于 30mm 的 20R、16MnR,应在正火或控轧式正火状态下使用。

4.2.5 凡符合下列条件的钢板,应每批取 1 张进行夏比 V 形缺口低温冲击试验,冲击试验温度不应高于最低设计温度,并横向取样。

1 设计温度低于 0℃,厚度大于 25mm 的 20R;

2 设计温度低于 -10℃,厚度大于 16mm 的 20R,厚度大于 20mm 的 16MnR、15MnNbR;

调质状态供货的钢板,应逐张取样进行拉伸和夏比 V 形缺口冲击试验;设计温度低于或等于 -20℃ 的 15MnNbR 钢板,应每批取 2 张进行夏比 V 形缺口冲击试验。冲击试验温度不应高于最低设计温度,并横向取样。

低温冲击功指标,应根据钢材标准规定的最低抗拉强度按表 4.2.5 确定。

表 4.2.5 低温夏比(V 形缺口)冲击试验最低冲击功规定值

钢材标准抗拉强度 σ_s (MPa)	三个试样的冲击功平均值(J) 10mm×10mm×55mm
≤450	18
>450~515	20
>515~650	27

注:试验温度下,一组三个试样的冲击功平均值不得低于表中的规定值;允许其中有一个试样冲击功小于规定值,但不得小于平均值的 70%。

4.2.6 符合下列条件的罐壁用钢板,应逐张进行超声检测,检测方法和质量标准应符合《压力容器无损检测》JB 4730 的规定。

1 厚度大于 30mm 的 20R、16MnR 和 15MnNbR,质量等级不应低于Ⅲ级;

2 调质状态供货的钢板,质量等级不应低于Ⅱ级。

4.3 钢 管

4.3.1 罐壁开口用无缝钢管应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 无缝钢管使用范围

序号	钢 号	钢管标准	使用状态	使用范围	
				许用温度 (℃)	许用壁厚 (mm)
1	10	GB/T 8163	热轧或正火	> -20	≤ 16
		GB 6479	正火	> -30	≤ 16
2	20	GB/T 8163	热轧	> -20	≤ 10
3	20G	GB 6479	正火	> -20	≤ 16
4	16Mn	GB/T 8163	热轧	> -20	≤ 16
		GB 6479	正火	> -40	≤ 20

4.3.2 罐壁开口用无缝钢管在不同温度下的许用应力值,应按表 4.3.2 选用。

表 4.3.2 无缝钢管的许用应力值

序号	钢 号	壁厚 (mm)	常温强度指标		在下列温度(℃)下的 许用应力(MPa)				
			σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	≤ 20	100	150	200	250
1	10	≤ 16	335	205	112	112	108	101	92
2	20	≤ 10	390	245	130	130	130	123	110
3	20G	≤ 16	390	245	130	130	130	123	110
4	16Mn	≤ 16	490	320	163	163	163	159	147

注:中间温度的许用应力值可采用线性内插法计算。

4.3.3 油罐梯子、平台等钢结构及罐顶开口接管用钢管,应符合现行国家标准《低压流体输送用焊接钢管》GB/T 3092 的规定。

4.4 锻 件

4.4.1 罐壁开口接管用锻件,应符合表 4.4.1 的规定。

表 4.4.1 锻件使用范围

序号	钢号	锻件标准	热处理状态	许用温度(℃)
1	20	JB 4726	正火	> -20
2	16Mn	JB 4726	正火或正火加回火	> -20
3	16MnD	JB 4727	调质	> -40

4.4.2 锻件的许用应力值应按表 4.4.2 选取。

表 4.4.2 锻件的许用应力值

序号	钢 号	锻件标准	公称厚度 (mm)	常温强度指标		在下列温度(℃)下 的许用应力(MPa)				
				σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	≤ 20	100	150	200	250
1	20	JB 4726	≤ 100	370	215	123	119	113	104	95
2	16Mn	JB 4726	≤ 300	450	275	150	150	147	135	129
3	16MnD	JB 4727	≤ 300	450	275	150	150	147	135	129

注:中间温度的许用应力值可采用线性内插法计算。

4.5 螺栓、螺母

4.5.1 螺栓、螺母用钢的使用范围,应符合表 4.5.1 的规定。

表 4.5.1 螺栓、螺母材料使用范围

序 号	钢 号	钢材标准	许用温度(℃)
1	Q235-A	GB/T 700	> -20
2	20、25、35	GB/T 699	> -20
3	30CrMoA 35CrMoA	GB 3077	> -100

注:20号、25号钢只用于螺母。

4.5.2 螺栓的许用应力值应按表 4.5.2 选用。

表 4.5.2 螺栓的许用应力值

序号	钢 号	钢材标准	使用状态	规格	常温强度指标		在下列温度(℃)下的许用应力(MPa)				
					σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	≤ 20	100	150	200	250
1	Q235-A	GB/T 700	热轧	$\leq M20$	375	235	87	78	74	69	62
2	35	GB/T 699	正火	$\leq M22$	530	315	117	105	98	91	82
				M24~M27	510	295	118	106	100	92	84
3	30CrMoA	GB 3077	调质	$\leq M22$	700	550	157	141	137	134	131
				M24~M48	660	500	167	150	145	142	140
4	35CrMoA	GB 3077	调质	$\leq M22$	835	735	210	190	185	179	176
				M24~M48	805	685	228	206	199	196	193

4.6 结构型钢

4.6.1 油罐所用结构型钢应符合现行国家标准 GB/T 700 和 GB/T 1591 的规定。许用应力值应符合 7.2 节的规定。

4.6.2 当建罐地区的最低日平均温度低于 -20°C 时,主要承重构件不得采用沸腾钢。

4.7 焊接材料

4.7.1 焊接材料应与所焊钢材相匹配,焊接性能良好。

4.7.2 当最低设计温度小于等于 -20°C 时,罐壁板和罐壁开孔接管的焊接,应选用与母材成分和性能相同或相近的高韧性焊接材料。焊接材料的技术要求、试验方法、检验规则以及质量管理等,应符合相应标准的规定。

5 罐底设计

5.1 罐底板尺寸

5.1.1 不包括腐蚀裕量,罐底中幅板的最小公称厚度不应小于表 5.1.1 的规定。

表 5.1.1 中幅板最小公称厚度

油罐内径(m)	中幅板最小公称厚度(mm)
$D \leq 10$	5
$D > 10$	6

5.1.2 不包括腐蚀裕量,罐底环形边缘板的最小公称厚度应符合表 5.1.2 的规定。

表 5.1.2 环形边缘板最小公称厚度(mm)

底圈罐壁板公称厚度	环形边缘板最小公称厚度
≤ 6	6
7~10	7
11~20	9
21~25	11
26~30	12
≥ 30	14

5.1.3 环形边缘板的尺寸,在水平面内沿罐半径方向测量,应符合下列要求:

1 罐壁内表面至边缘板与中幅板之间的连接焊缝的最小距离,不应小于下式的计算值,且不小于 600mm;

$$L_m = \frac{215t_b}{\sqrt{H_w\rho}} \quad (5.1.3)$$

式中 L_m ——罐壁内表面至环形边缘板与中幅板连接焊缝的最小径向距离(mm);

t_b ——罐底环形边缘板的最小公称厚度(不包括腐蚀裕量)(mm);

H_w ——设计最高液位(m);

ρ ——储液相对密度(取储液与水密度之比)。

2 底圈罐壁外表面沿径向至边缘板外缘的距离,不应小于 50mm;

3 需抗震设防的油罐和采用外环梁基础的油罐,边缘板的径向尺寸宜适当加大。

5.2 罐底结构

5.2.1 油罐内径小于 12.5m 时,罐底可不设环形边缘板;油罐内径大于或等于 12.5m 时,罐底宜设环形边缘板(图 5.2.1)。

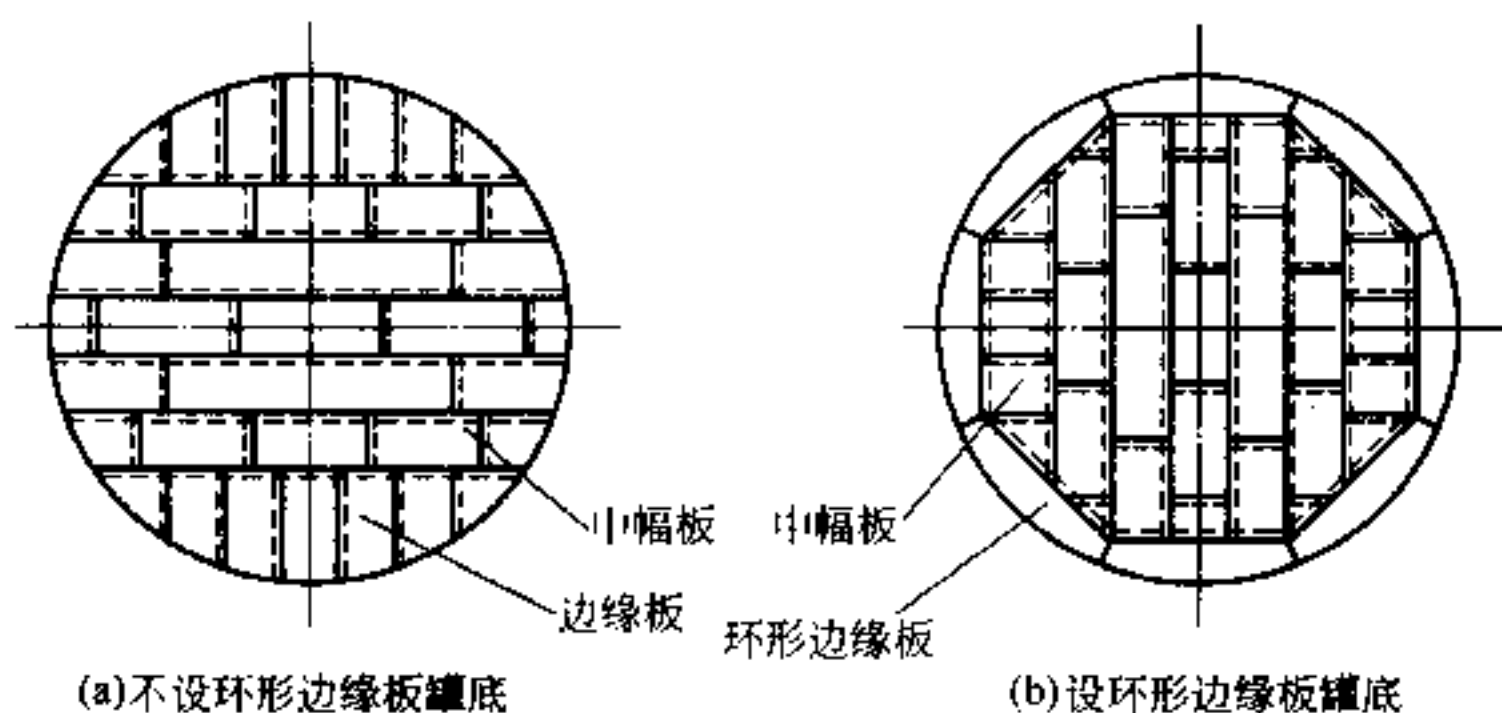


图 5.2.1 罐底结构

5.2.2 环形边缘板外缘应为圆形,内缘为正多边形或圆形;为正多边形时,其边数应与环形边缘板的块数相等。

5.2.3 罐底板可采用搭接、对接或二者的组合(图 5.2.3-1、图 5.2.3-2)。对较厚板宜选用对接。

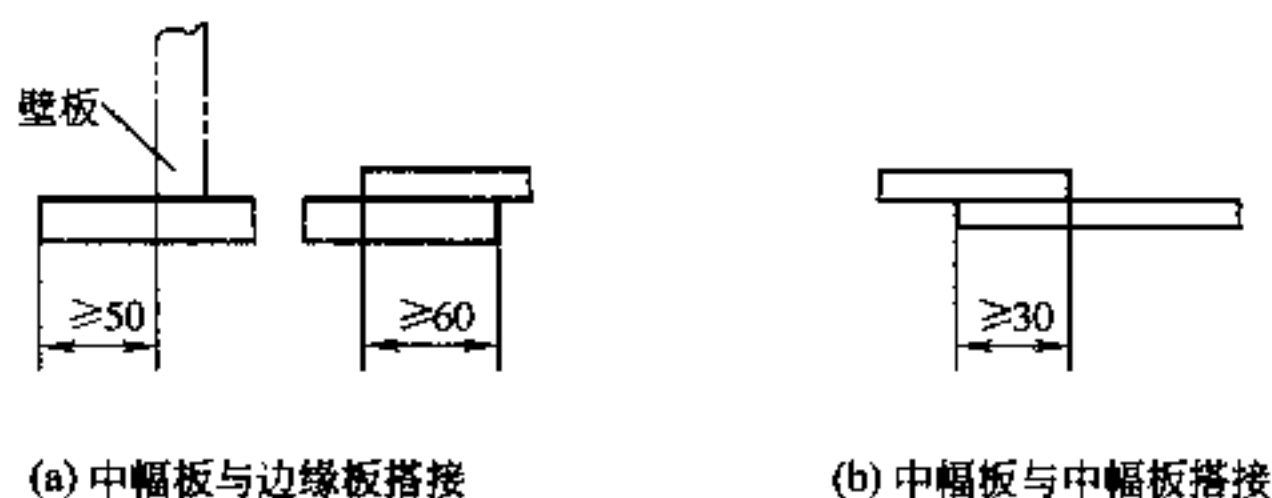


图 5.2.3-1 罐底板的搭接接头

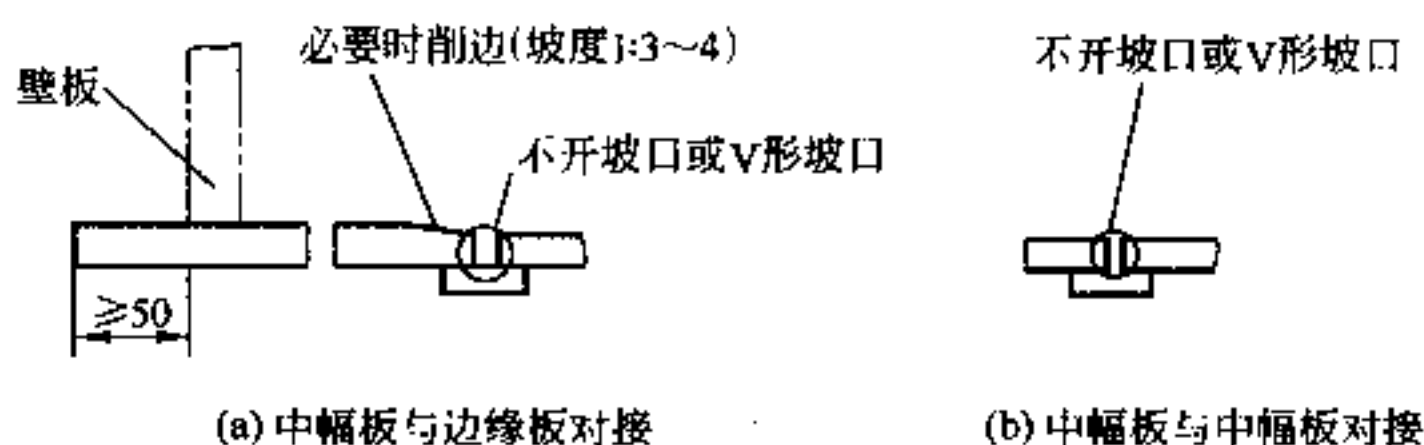


图 5.2.3-2 罐底板的对接接头

5.2.4 采用搭接时,中幅板之间的搭接宽度不应小于 5 倍板厚,且不应小于 30mm;中幅板应搭接在环形边缘板的上面,搭接宽度不应小于 60mm。

采用对接时,焊缝下面应设厚度不小于 3mm 的垫板。垫板应与罐底板贴紧并定位。

5.2.5 厚度不大于 6mm 的罐底边缘板对接焊缝可不开坡口,焊缝间隙不宜小于 6mm(图 5.2.5-1)。厚度大于 6mm 的罐底边缘板对接焊缝应采用 V 形坡口(图 5.2.5-2)。边缘板与底圈壁板相焊的部位应做成平滑支撑面。

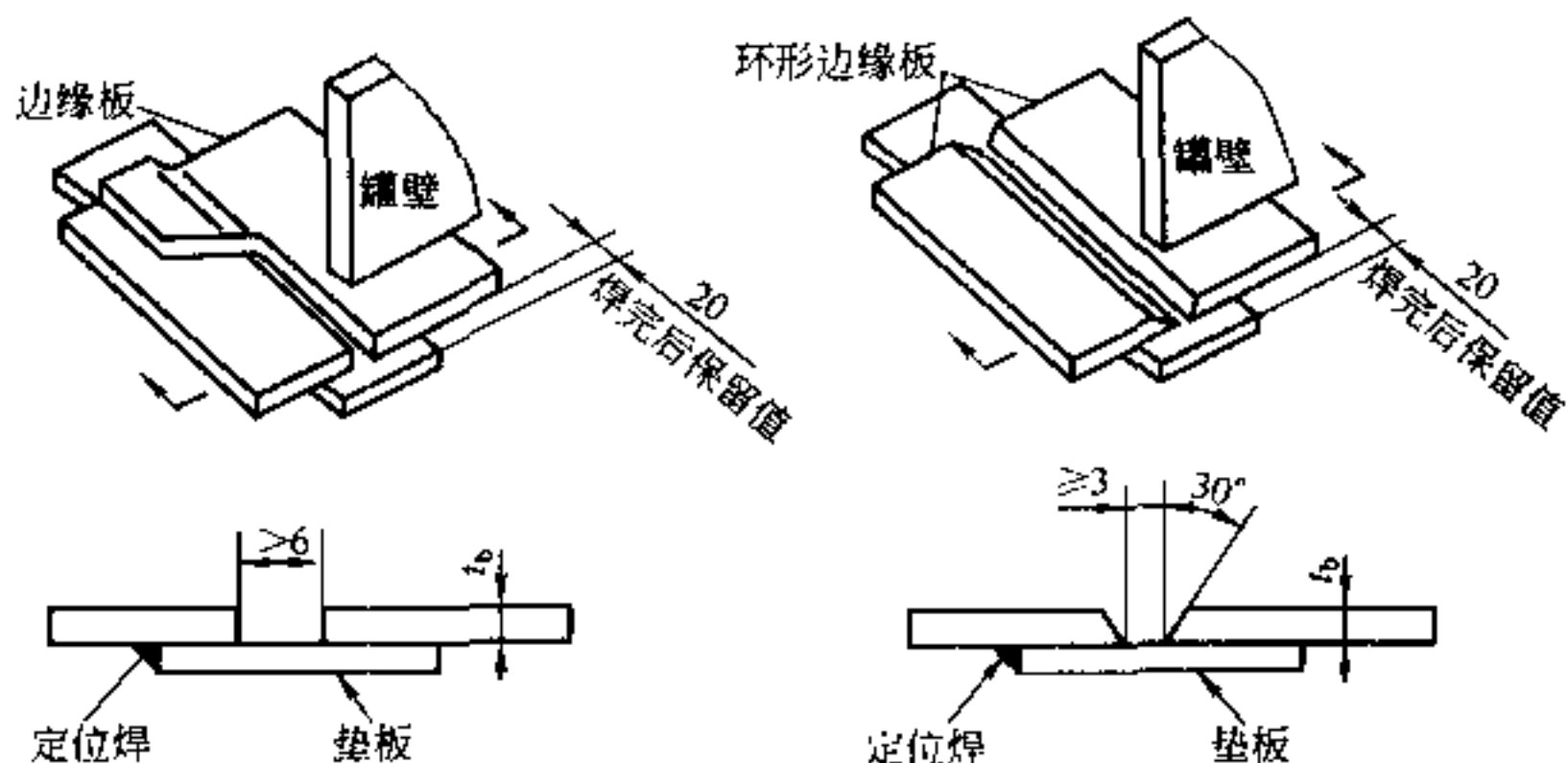


图 5.2.5-1 罐底边缘板搭接接头

图 5.2.5-2 罐底边缘板对接接头

5.2.6 中幅板、边缘板自身的搭接焊缝以及中幅板与边缘板之间的搭接焊缝,应采用单面连续角焊缝,焊脚尺寸应等于较薄件的厚度。

5.2.7 当边缘板与中幅板采用对接时,凡属下列情况,均应按图 5.2.3-2 的要求削薄厚板边缘。

- 1 中幅板厚度不大于 10mm,两板厚度差大于或等于 3mm;
- 2 中幅板厚度大于 10mm,两板厚度差大于中幅板厚度的 30%。

5.2.8 三层板重叠处,最上层钢板应做切角处理(图 5.2.8)。

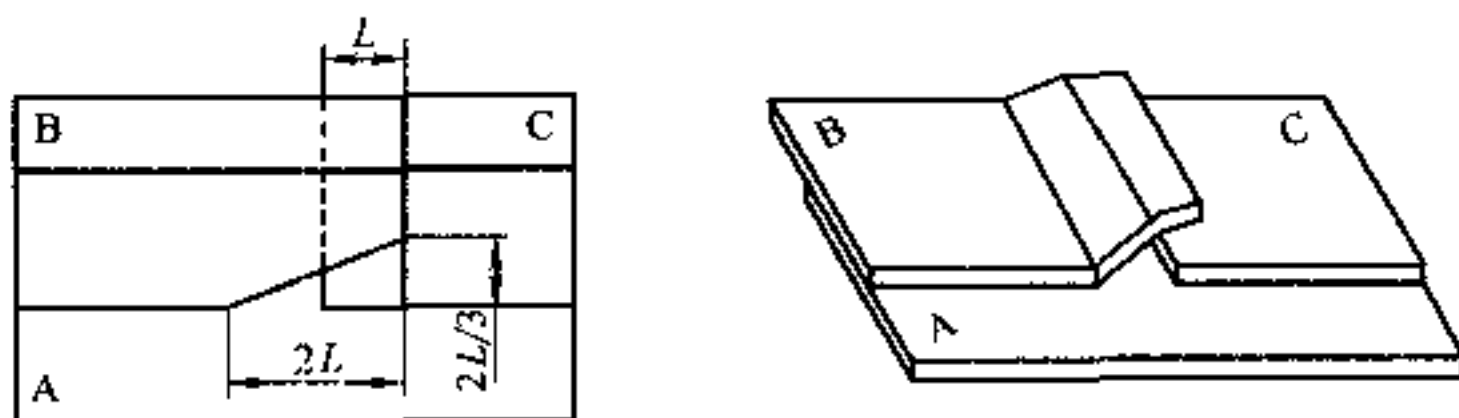


图 5.2.8 三层板重叠处接头

5.2.9 罐底板任意相邻的三块板焊接接头之间的距离,以及三块板焊接接头与边缘板对接接头之间的距离,不得小于 300mm。边缘板对接焊缝至底圈罐壁纵焊缝的距离,不得小于 300mm。

5.2.10 底圈罐壁板与边缘板之间的 T 形接头,应采用连续焊。罐壁外侧焊脚尺寸及罐壁内侧竖向焊脚尺寸,应等于底圈罐壁板和边缘板两者中较薄件的厚度,且不应大于 13mm;罐壁内侧径向焊脚尺寸,宜取 1.0~1.35 倍边缘板厚度(见图 5.2.10a、b)。当边缘板厚度大于 13mm 时,罐壁内侧可开坡口(见图 5.2.10b)。

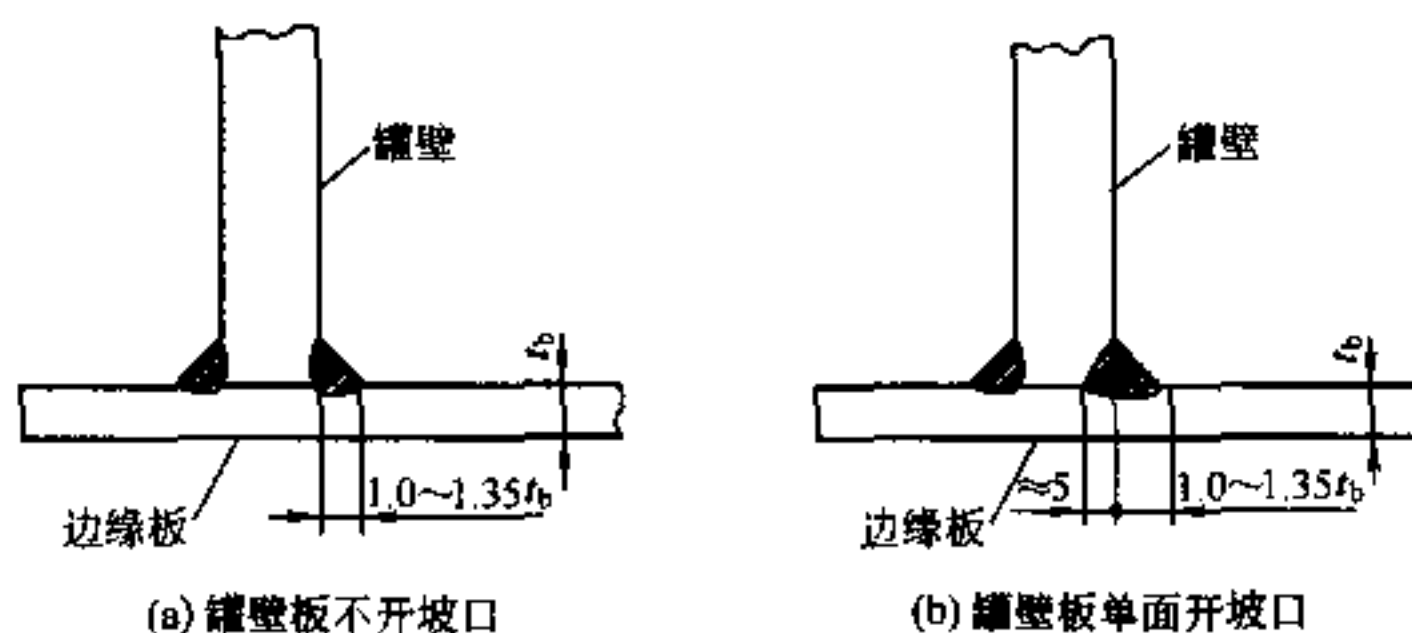


图 5.2.10 底圈罐壁板与边缘板之间的 T 形接头

5.2.11 边缘板的材质应与底圈罐壁板材质相同。

6 罐壁设计

6.1 罐壁排板与连接

6.1.1 罐壁相邻两层壁板的纵向接头应相互错开,最小距离应大于较厚壁板厚的5倍,且不得小于100mm。

6.1.2 上圈壁板厚度不得大于下圈壁板厚度。

6.1.3 罐壁板的纵环焊缝应采用对接,内表面对齐。

6.1.4 对接接头应采用全焊透结构(见图6.1.4-1、图6.1.4-2),焊接接头的设计应符合现行国家标准《气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》GB 985和《埋弧焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》GB 986的规定。

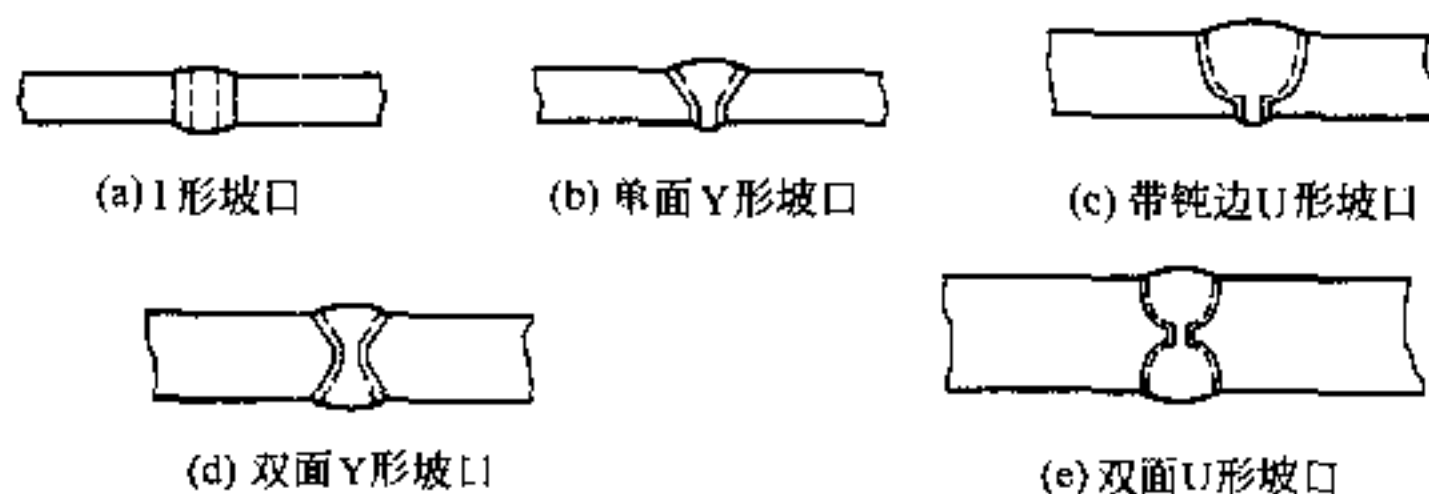


图 6.1.4-1 罐壁纵向对接接头

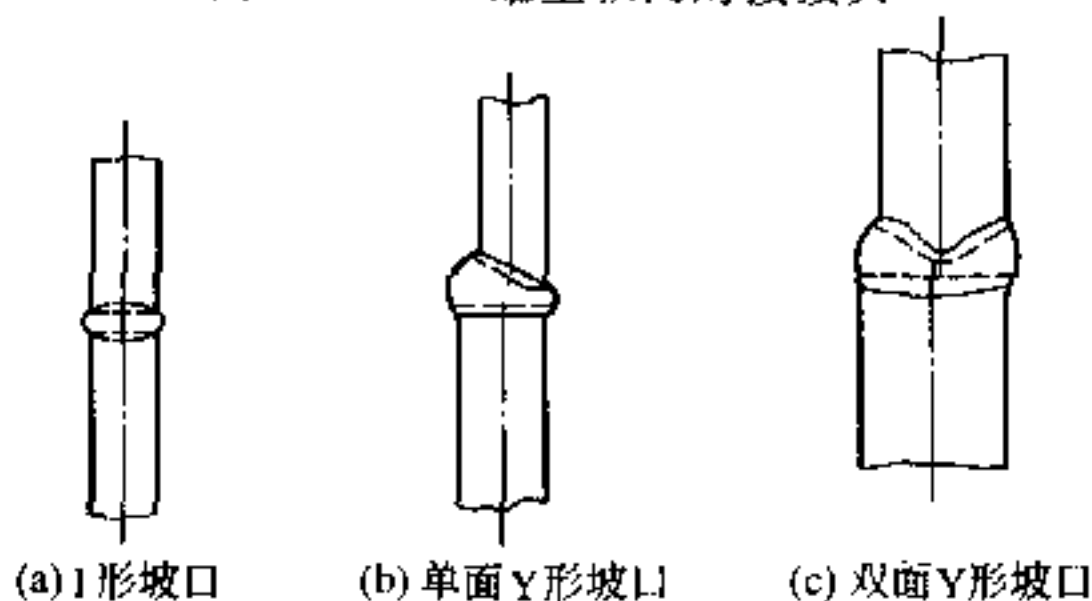


图 6.1.4-2 罐壁环向对接接头

6.2 罐壁包边角钢

6.2.1 罐壁上端应设置包边角钢。包边角钢与罐壁的连接,可采用全焊透对接焊结构或搭接结构。包边角钢自身的对接焊缝必须全焊透。浮顶罐罐壁包边角钢的水平肢必须设置在罐壁外侧(图 6.2.1)。

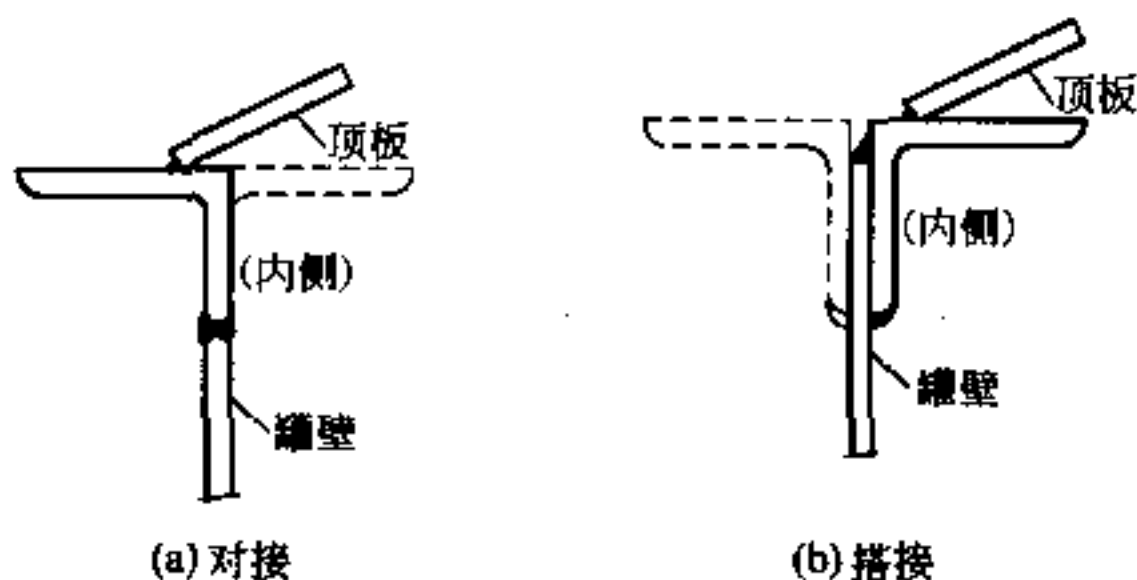


图 6.2.1 包边角钢与罐壁连接接头

6.2.2 油罐罐壁上端包边角钢的最小尺寸,应符合表 6.2.2-1、表 6.2.2-2 的规定。

表 6.2.2-1 固定顶罐包边角钢的最小尺寸

油罐内径 $D(\text{m})$	包边角钢尺寸(mm)
$D \leq 10$	L 50×5
$10 < D \leq 18$	L 65×8
$18 < D \leq 60$	L 75×10
$D > 60$	L 90×10

表 6.2.2-2 浮顶罐包边角钢的最小尺寸(mm)

最上圈罐壁公称厚度	包边角钢尺寸
5	L 65×6
>5	L 75×6

6.3 罐壁厚度

6.3.1 罐壁的计算厚度应按下列公式计算:

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)\rho}{[\sigma]_d\varphi} \quad (6.3.1-1)$$

$$t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{[\sigma]_t\varphi} \quad (6.3.1-2)$$

式中 t_d ——储存介质条件下罐壁板的计算厚度(mm);

t_t ——试水条件下罐壁板的计算厚度(mm);

D ——油罐内径(m);

H ——计算液位高度(m),从所计算的那圈罐壁板底端到罐壁包边角钢顶部的高度,或到溢流口下沿(有溢流口时)的高度;

ρ ——储液相对密度(取储液与水密度之比);

$[\sigma]_d$ ——设计温度下钢板的许用应力(MPa);

$[\sigma]_t$ ——常温下钢板的许用应力;

φ ——焊接接头系数,取 $\varphi=0.9$;当标准规定的最低屈服强度大于 390MPa 时,底圈罐壁板取 $\varphi=0.85$ 。

6.3.2 罐壁板的最小公称厚度,不得小于(6.3.1-1)式与(6.3.1-2)式的计算厚度分别加各自壁厚附加量的较大值。

6.3.3 罐壁板的最小公称厚度不得小于表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 罐壁最小公称厚度

油罐内径 D (m)	罐壁最小公称厚度(mm)
$D < 15$	5
$15 \leq D < 36$	6
$36 \leq D \leq 60$	8
$D > 60$	10

6.4 顶部抗风圈

6.4.1 敞口油罐必须在罐壁外侧靠近罐壁上端设置顶部抗风圈。

6.4.2 顶部抗风圈设置的位置,一般应在离罐壁上端 1m 的水平面上。

6.4.3 顶部抗风圈的外周边缘可以是圆形的,也可以是多边形的。当顶部抗风圈兼作走台时,其最小宽度不应小于 600mm。顶部抗风圈上表面不得存在影响行走的障碍物。

6.4.4 顶部抗风圈可以用钢板与型钢来制造。钢板最小公称厚度为 5mm,角钢的最小尺寸为 63×6、槽钢的最小尺寸为 □16a。

6.4.5 抗风圈水平铺板上应开设适当数量的排液孔,孔径通常为 16~20mm。

6.4.6 当盘梯穿过顶部抗风圈时,顶部抗风圈上的盘梯洞口外侧各截面(图 6.4.6 中 A—A、B—B、C—C 截面)的截面模数,均不应小于顶部抗风圈的最小截面模数 W_z 。

$$W_z \approx 0.083 D^2 H_1 w_k \quad (6.4.6)$$

式中 W_z ——顶部抗风圈的最小截面模数(cm^3);

H_1 ——罐壁高度(m);

w_k ——风荷载标准值(kPa)。

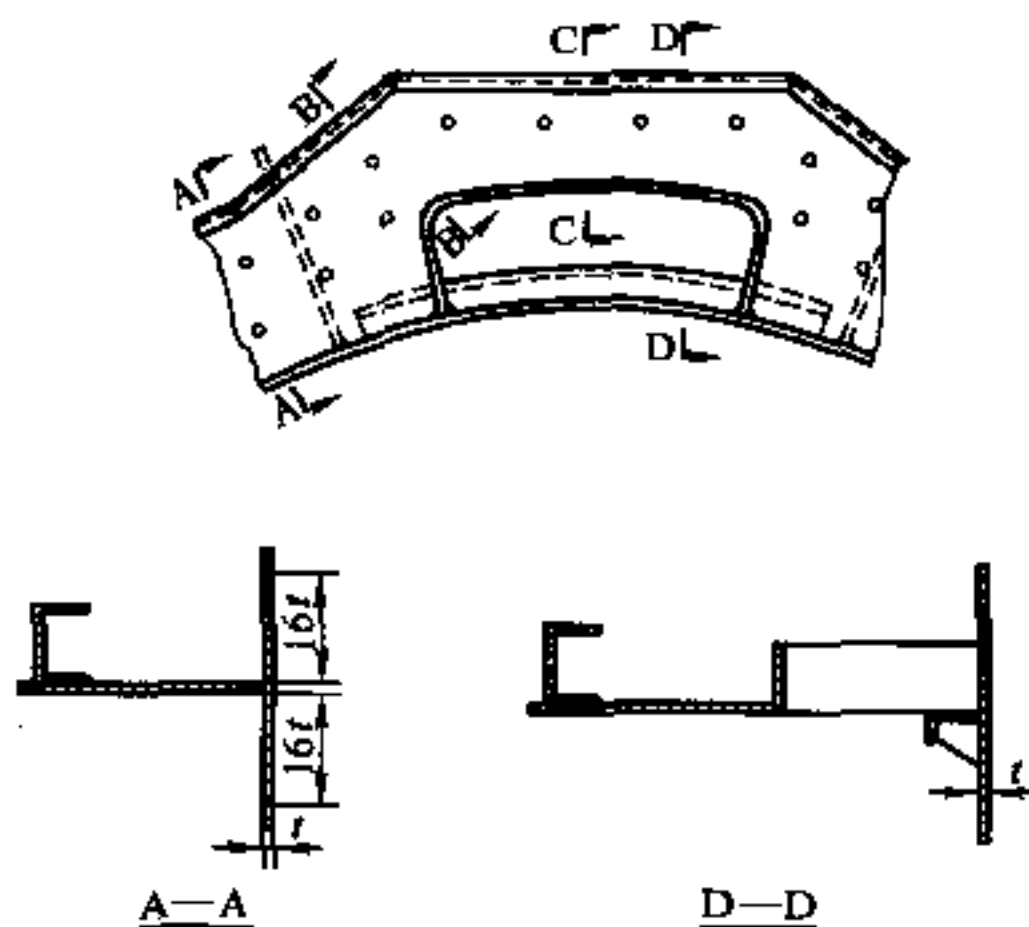


图 6.4.6 抗风圈截面图

6.4.7 风荷载标准值,应根据建罐地区的实际状况及油罐的高度,按照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009—2001 的规定进行计算。

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \quad (6.4.7)$$

式中 β_z ——高度 Z 处风振系数,对油罐 $\beta_z = 1$;

μ_s ——风荷载体型系数,应取驻点值 $\mu_s = 1$;

μ_z ——风压高度变化系数;

w_0 ——基本风压(kPa/m²)。

6.4.8 基本风压应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009—2001 附录 D.4 中表 D.4 给出的 50 年一遇的风压采用,但不得小于 0.3kPa。除此之外,还应考虑所建罐的地理位置和当地气象条件的影响。

当地没有风速资料时,应根据附近地区规定的基本风压或长期资料,通过气象和地形条件的对比分析确定。

当所设计油罐由于前排油罐有可能形成狭管效应,导致风力增强时,应将基本风压再乘以 1.2~1.5 的调整系数。

6.4.9 风压高度变化系数,按下列规定选用:

1 对于平坦或稍有起伏的地形,风压高度变化系数应根据油罐高度及地面粗糙度类别按表 6.4.9-1 确定,中间值采用插入法计算。

表 6.4.9-1 风压高度变化系数 μ_z

离地面或 海平面高度(m)	地面粗糙度类别			
	A	B	C	D
5	1.17	1.00	0.74	0.62
10	1.38	1.00	0.74	0.62
15	1.52	1.14	0.74	0.62
20	1.63	1.25	0.84	0.62
30	1.80	1.42	1.00	0.62

续表 6.4.9-1

离地面或 海平面高度(m)	地面粗糙度类别			
	A	B	C	D
40	1.92	1.56	1.13	0.73
50	2.03	1.67	1.25	0.84
60	2.12	1.77	1.35	0.93
70	2.20	1.86	1.45	1.02
80	2.27	1.95	1.54	1.11
90	2.34	2.02	1.62	1.19
100	2.40	2.09	1.70	1.27
150	2.64	2.38	2.03	1.61
200	2.83	2.61	2.30	1.92
250	2.99	2.80	2.54	2.19
300	3.12	2.97	2.75	2.45
350	3.12	3.12	2.94	2.68
400	3.12	3.12	3.12	2.91
≥450	3.12	3.12	3.12	3.12

地面粗糙度可分为 A、B、C、D 四类：

——A 类指近海海面 and 海岛、海岸、湖岸及沙漠地区；

——B 类指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇和城市郊区；

——C 类指有密集建筑群的城市市区；

——D 类指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。

2 对于建在山区的油罐，风压高度变化系数可按平坦地面的粗糙度类别，由表 6.4.9-1 确定后，再乘以修正系数 η ：

——对于山峰和山坡，其顶部 B 处的修正系数可按下述公式采用：

$$\eta_B = \left[1 + k \cdot \operatorname{tg} \alpha \left(1 - \frac{Z}{2.5H_2} \right) \right]^2 \quad (6.4.9)$$

式中 α ——山峰或山坡在迎风面一侧的坡角；当 $\text{tg}\alpha > 0.3$ 时，取 $\text{tg}\alpha = 0.3$ ；

k ——系数，对山峰取 3.2，对山坡取 1.4；

H_2 ——山顶或山坡全高(m)；

Z ——油罐计算位置离地面的高度(m)；当 $Z > 2.5H_2$ 时，取 $Z = 2.5H_2$ 。

对于山峰和山坡的其他部位，可按图 6.4.9 所示，取 A、C 处的修正系数 η_A 、 η_C 为 1，AB 间和 BC 间的修正系数按 η 的线性插值确定。

——山间盆地、谷地等闭塞地形 $\eta = 0.75 \sim 0.85$ ；

对于与风向一致的谷口、山口 $\eta = 1.20 \sim 1.50$ 。

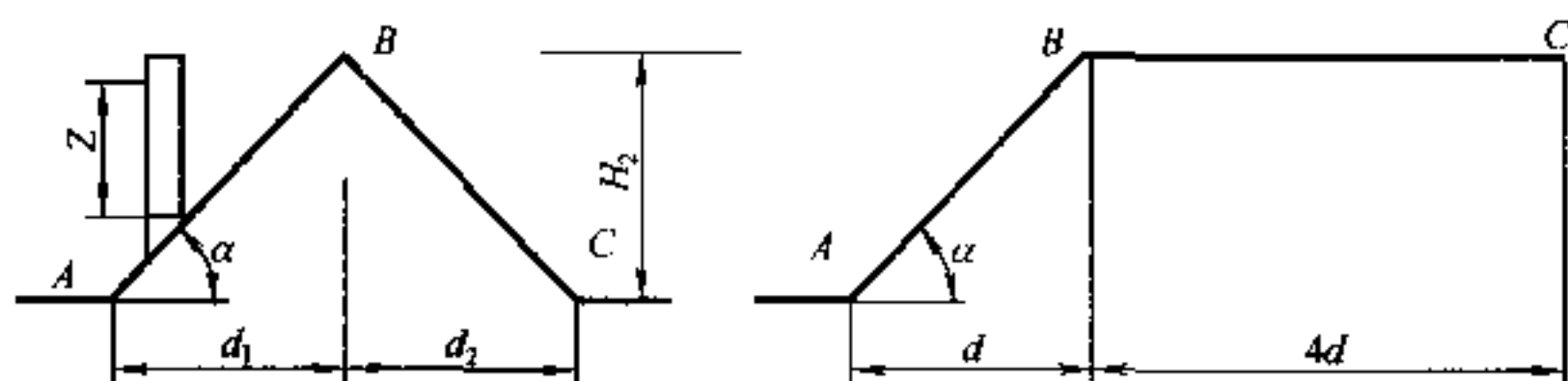


图 6.4.9 山峰和山坡的示意

3 对于远海海面和海岛的油罐，风压高度变化系数除可按 A 类粗糙度类别，由表 6.4.9-1 确定外，还应考虑表 6.4.9-2 中给出的修正系数。

表 6.4.9-2 远海海面和海岛的修正系数 η

距海岸距离(km)	η
<40	1.0
40~60	1.0~1.1
60~100	1.1~1.2

6.4.10 顶部抗风圈自身部件的对接接头应采用全焊透结构(必要时可加垫板)。顶部抗风圈与罐壁的连接在上侧应采用连续焊，下侧可采用间断焊。

6.4.11 计算顶部抗风圈的实际截面模数时,应计入顶部抗风圈上下两侧各 16 倍罐壁厚度范围内的罐壁截面积。当罐壁有附加量时,计算时应扣除厚度附加量。

6.4.12 盘梯洞口处的罐壁应采用角钢加强,角钢两端伸出洞外的距离不应小于顶部抗风圈的最小宽度(如图 6.4.6 中 B—B 所示)。加强角钢的尺寸不应小于罐壁包边角钢的尺寸。

6.4.13 顶部抗风圈腹板开洞边缘应采用垂直安放的扁钢加强,加强件有效截面积不应小于 32 倍罐壁厚度范围内的截面积,扁钢两端与罐壁实施双面满角焊,并与罐壁加强角钢焊接成一体。

6.4.14 顶部抗风圈应设置垂直支撑。支撑间距应满足顶部抗风圈上活动荷载及静荷载的要求,且支撑间距不应超过顶部抗风圈外侧边缘构件竖向尺寸的 24 倍。

6.4.15 顶部抗风圈外侧及盘梯洞口无防护侧应设置栏杆。

6.5 中间抗风圈

6.5.1 对于设有固定顶的油罐,应将罐壁全高作为风力稳定性核算区间。对于敞口油罐,应将顶部抗风圈以下的罐壁作为核算区间。

6.5.2 核算区间的罐壁筒体许用临界压力应按下式计算:

$$[P_{\sigma}] = 16.48 \frac{D}{H_E} \left(\frac{t_{\min}}{D} \right)^{2.5} \quad (6.5.2-1)$$

$$H_E = \sum H_{\sigma i} \quad (6.5.2-2)$$

$$H_{\sigma i} = h_i \left(\frac{t_{\min}}{t_i} \right)^{2.5} \quad (6.5.2-3)$$

式中 $[P_{\sigma}]$ ——核算区间罐壁筒体的许用临界压力(kPa);

H_E ——核算区间罐壁筒体的当量高度(m);

t_{\min} ——核算区间最薄圈罐壁板的有效厚度(mm);

t_i ——第 i 圈罐壁板的有效厚度(mm);

h_i ——第 i 圈罐壁板的实际高度(m);

H_{ei} ——第 i 圈罐壁板的当量高度 (m)。

6.5.3 罐壁筒体的设计外压应根据不同罐型采用不同的计算公式:

对于敞口的浮顶油罐:

$$P_0 = 3.375 w_k \quad (6.5.3-1)$$

对于与大气连通的内浮顶油罐:

$$P_0 = 2.25 w_k \quad (6.5.3-2)$$

对于存在内压的固定顶油罐:

$$P_0 = 2.25 w_k + q \quad (6.5.3-3)$$

式中 P_0 ——罐壁筒体的设计外压 (kPa);

w_k ——风荷载标准值 [见式 (6.4.7)] (kPa);

q ——罐顶呼吸阀负压设定压力的 1.2 倍 (kPa)。

6.5.4 中间抗风圈的数量及在当量筒体上的位置:

当 $[P_{cr}] \geq P_0$ 时, 不需要设中间抗风圈。

当 $P_0 > [P_{cr}] \geq \frac{P_0}{2}$ 时, 应设一个中间抗风圈, 中间抗风圈的位置在 $\frac{1}{2} H_E$ 处。

当 $\frac{P_0}{2} > [P_{cr}] \geq \frac{P_0}{3}$ 时, 应设 2 个中间抗风圈, 中间抗风圈的位置分别在 $\frac{1}{3} H_E$ 与 $\frac{2}{3} H_E$ 处。

当 $\frac{P_0}{3} > [P_{cr}] \geq \frac{P_0}{4}$ 时, 应设 3 个中间抗风圈, 中间抗风圈的位置分别在 $\frac{1}{4} H_E$ 、 $\frac{1}{2} H_E$ 、 $\frac{3}{4} H_E$ 处, 以此类推。

6.5.5 中间抗风圈在实际罐壁上的位置, 应符合下列规定:

当中间抗风圈位于最薄的罐壁板上时, 它离上面一个加强截面的实际距离, 不需要换算。

当该中间抗风圈不在最薄罐壁板上时, 它到上面一个加强截

面的实际距离,需要按 $h_i = H_{ei} \left(\frac{t_i}{t_{min}} \right)^{2.5}$ 式进行换算。

6.5.6 中间抗风圈所需的最小截面尺寸应符合表 6.5.6 的规定。

表 6.5.6 中间抗风圈最小截面尺寸

油罐内径 D (m)	中间抗风圈最小截面尺寸(mm)
$D \leq 20$	L 100×63×8
$20 < D \leq 36$	L 125×80×8
$36 < D \leq 48$	L 160×100×10
$D > 48$	L 200×150×12

注:中间抗风圈最小截面尺寸可以用同等组合惯性矩的型钢或组合件代替。

6.5.7 中间抗风圈与罐壁的连接应使角钢长肢保持水平,短肢朝下,长肢端与罐壁相焊,上面采用连续角焊,下面可采用间断焊。中间抗风圈自身接头应全焊透、全熔合。

6.5.8 中间抗风圈离罐壁环焊缝的距离不应小于 150mm。

7 固 定 顶

7.1 一 般 规 定

7.1.1 本章规定仅适用于下列固定顶:

- 1 自支撑式锥顶;
- 2 支撑式锥顶;
- 3 自支撑式拱顶。

7.1.2 罐顶板及其支撑构件应能承受下列设计外荷载:

1 固定荷载:罐顶板及其加强构件的重力荷载,当有隔热层时,尚应计入隔热层的重力荷载;

2 附加荷载:在罐顶水平投影面积上的附加设计荷载值,不应小于 1.2kPa ;当雪荷载超过 0.6kPa 时,尚应加上所超过的部分。当内浮顶油罐按本规范第 9.7.1 条要求设有环向通气孔时,附加荷载不应小于 0.7kPa 。

7.1.3 罐顶板及其加强支撑构件的最小公称厚度(不包括腐蚀裕量)不应小于 4.5mm 。

7.1.4 顶板间的连接可采用对接或搭接。采用搭接时,搭接宽度不得小于 5 倍板厚,且不小于 25mm ;顶板外表面的搭接缝应采用连续满角焊,内表面的搭接缝可根据使用要求及结构受力情况确定焊接形式。

7.1.5 罐顶板与罐壁的连接宜采用图 7.1.5 所示结构。结构件和壳板自身的拼接焊缝应全焊透。

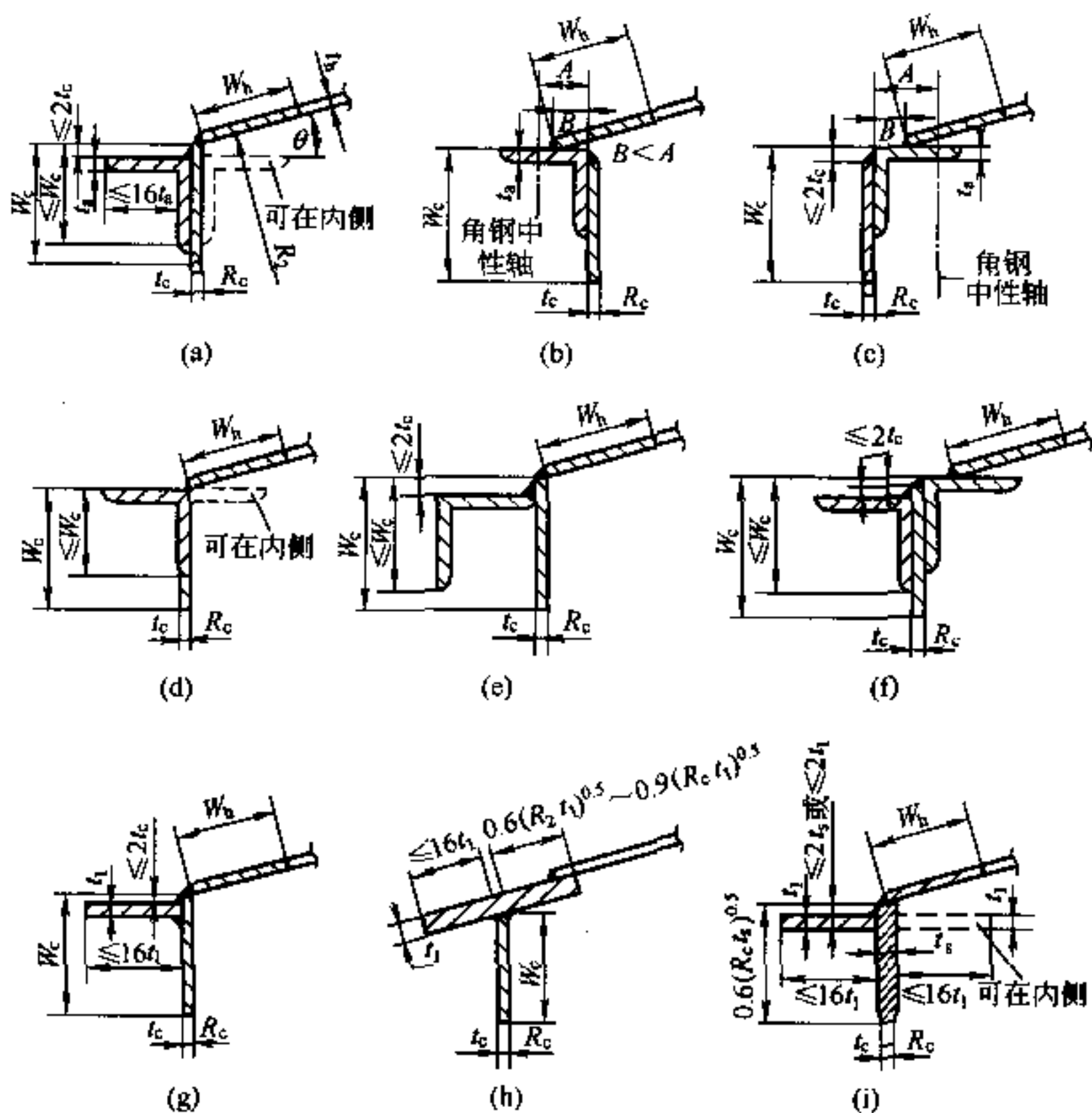


图 7.1.5 罐顶与罐壁连接处的有效面积详图

t_h —型钢翼缘厚度; W_c —罐壁剖面线部分的最大宽度, $W_c = 0.6(R_c t_c)^{0.5}$

t_l —扁钢厚度; W_h —罐顶板剖面线部分的最大宽度, $W_h = 0.3(R_2 t_h)^{0.5}$ 与 300 取较小值; t_c —顶部罐壁板的有效厚度; t_h —罐顶板的有效厚度; R_c —顶部罐壁内半径; t_s —顶部罐壁加厚板的有效厚度; R_2 —罐顶与罐壁连接处顶板到罐

中心线的垂直距离, 图中长度单位为 mm, 角度单位为°, $R_2 = R_c / \sin \theta$

7.1.6 罐顶板与罐壁采用弱连接结构时, 连接处应同时满足以下要求:

- 1 顶板与包边角钢只在外侧连续角焊, 焊脚尺寸不大于

4.5mm;

2 连接处的罐顶坡度不大于 1/6;

3 连接结构仅限于图 7.1.5 中 (a)、(b)、(c)、(d) 四种情况, 且应满足下式要求:

$$A \leq \frac{m_t g}{1415 \tan \theta} \quad (7.1.6)$$

式中 A ——罐顶与罐壁连接处有效截面积(mm^2), 按图 7.1.5 确定;

m_t ——罐壁和由罐壁、罐顶所支撑构件(不包括罐顶板)的总质量(kg);

θ ——罐顶与罐壁连接处, 罐顶板与水平面之间的夹角($^\circ$);

g ——重力加速度, 取 $g=9.81\text{m/s}^2$ 。

7.1.7 密闭固定顶油罐通气装置的设置, 应符合本规范附录 A.2 的要求。

7.2 构件的许用应力

7.2.1 许用拉应力不应大于 140MPa。

7.2.2 许用压应力:

1 不考虑压杆稳定时, 不应大于 140MPa;

2 考虑压杆稳定时, 受压构件的许用压应力按下式计算:

1) $\frac{L}{r} \leq 120$ 时:

$$[\sigma]_p = \left[1 - \frac{\left(\frac{L}{r} \right)^2}{34700} \right] \left(\frac{232}{F_s} \cdot Y \right) \quad (7.2.2-1)$$

2) $120 < \frac{L}{r} \leq 130$ 时:

$$[\sigma]_p = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{L}{r} \right)^2}{34700} \right] \left(\frac{232}{F_s} \cdot Y \right)}{1.6 - \frac{1}{200} \left(\frac{L}{r} \right)} \quad (7.2.2-2)$$

3) $\frac{L}{r} > 130$ 时:

$$[\sigma]_p = \frac{1040000Y}{\left(\frac{L}{r}\right)^2 \left[1.6 - \frac{1}{200}\left(\frac{L}{r}\right)\right]} \quad (7.2.2-3)$$

式中 $[\sigma]_p$ ——受压构件的许用压应力(MPa);

L ——受压构件的无支撑长度(mm);

r ——受压构件截面的最小回转半径(mm);

F_s ——安全系数, $F_s = \frac{5}{3} + \frac{L/r}{350} - \frac{(L/r)^3}{18.3 \times 10^6}$;

Y ——受压构件类型系数;型钢及型钢组合件, $Y = 1.0$;

钢管, 当 $t_n/R_0 \geq 0.015$ 时, $Y = 1.0$; 当 $t_n/R_0 <$

0.015 时, $Y = \left[\frac{200}{3}\left(\frac{t_n}{R_0}\right)\right] \left[2 - \frac{200}{3}\left(\frac{t_n}{R_0}\right)\right]$;

t_n ——钢管有效厚度(mm)(对无侧向支撑的重要受压构件, 不得小于 6mm, 其他情况不得小于 4.5mm);

R_0 ——钢管外半径(mm)。

主要受压构件, L/r 不得大于 150; 斜撑等次要受压构件, L/r 值不得大于 200。

7.2.3 许用弯曲应力:

1 荷载作用面内有对称轴的型钢(如工字钢)及组合构件, 许用弯曲应力不得大于 154MPa, 并应满足以下要求:

1) 侧向无支撑长度不得大于翼缘宽度 b_s 的 13 倍;

2) $\frac{b_s}{t_s} \leq 17$;

3) $\frac{h_w}{t_w} \leq 70$;

式中 b_s ——翼缘宽度(mm)(见图 7.2.3, 下同);

t_s ——翼缘有效厚度(mm);

h_w ——翼缘内侧腹板高度(mm);

t_w ——翼缘内侧腹板有效厚度(mm)。

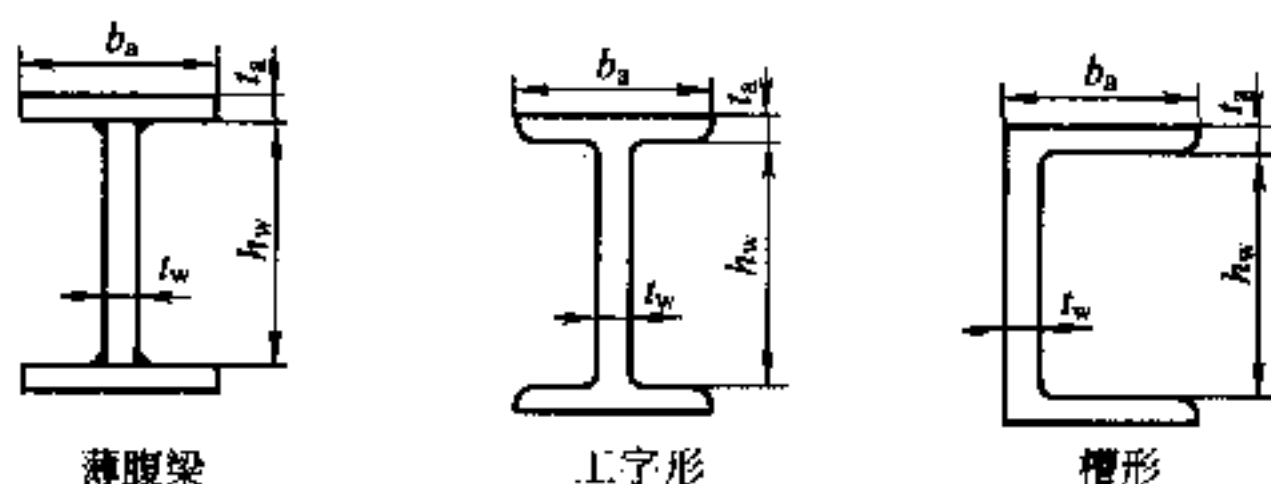


图 7.2.3 构件的尺寸

2 非对称构件(如角钢、槽钢)的许用弯曲应力不得大于 140MPa,且侧向无支撑长度不应大于受压翼缘宽度的 13 倍。

7.2.4 许用剪应力:

1 当 $h_w \leq 60t_w$, 或腹板上有加强肋时, 许用剪应力不得大于 91MPa;

2 当 $h_w > 60t_w$, 或腹板上无加强肋时, 许用剪应力应满足下式:

$$\frac{V_s}{A_s} \leq \frac{137}{1 + \frac{1}{7200} \left(\frac{h_w}{t_w} \right)^2} \quad (7.2.4)$$

式中 V_s ——总剪切力(N);

A_s ——腹板的总截面积(mm²)。

7.3 自支撑式锥顶

7.3.1 罐顶坡度不得小于 1/6, 不得大于 3/4。

7.3.2 罐顶板的计算厚度应按下式计算:

$$t_{hs} = 0.21 \frac{D}{\sin \theta} \quad (7.3.2)$$

式中 t_{hs} ——罐顶板的计算厚度(mm);

θ ——罐顶与罐壁连接处, 罐顶板与水平面之间的夹角。

当设计外荷载大于 2.2 kPa 时,顶板计算厚度尚应乘以

$$\sqrt{\frac{\text{设计外荷载}}{2.2}}。$$

罐顶板的最小公称厚度不应小于计算厚度加厚度附加量,最大公称厚度不应大于 12mm。

7.3.3 罐顶与罐壁板连接处有效抗拉截面积应满足下式:

$$A \geq 2.3 \frac{D^2}{\sin \theta} \quad (7.3.3)$$

有效截面积 A 按本规范图 7.1.5 确定。

当设计外荷载大于 2.2kPa 时,需要的有效截面积应按 7.3.3 式计算值乘以 $\frac{\text{设计外荷载}}{2.2}$ 。

7.4 支撑式锥顶

7.4.1 罐顶的坡度不应小于 1/16。

7.4.2 罐顶主要支撑构件包括檩条,可为型钢、钢管、焊接组合件或桁架,其强度和稳定性计算的许用应力应符合本规范第 7.2 节的规定。

7.4.3 与罐顶板直接接触的檩条,属于下列情况时,应考虑侧向支撑:

- 1 桁架或空腹梁檩条;
- 2 高度大于 380mm 的檩条;
- 3 罐顶的坡度大于 1/6 时的檩条。

7.4.4 罐顶支柱的柱脚应用导向支座限位,但不得与支座相焊。支座与罐底应相焊。当采用钢管作罐顶支柱时,支柱上应设置排气孔、排液孔,或制成密闭式支柱。

7.4.5 罐顶板及其加强构件不得与罐顶板的支撑构件固定连接。

7.4.6 相邻檩条的中心距,按外圆弧计算,最外排不得大于 2000mm,其余各排不大于 1700mm。

7.4.7 地震设防地区,檩条之间应按下列规定设置联结拉杆:

- 1 最外排檩条(工字钢除外)每个跨间均应设置联结拉杆;
- 2 联结拉杆应采用直径不小于 20mm 的圆钢或同等强度的构件制成。

7.5 自支撑式拱顶

7.5.1 拱顶球面的曲率半径宜为 0.8~1.2 倍罐直径。

7.5.2 光面球壳顶板的计算厚度应按下列公式计算:

$$t_{hs} = 0.42R_s \quad (7.5.2)$$

式中 t_{hs} ——罐顶板的计算厚度(mm);

R_s ——罐顶球面的曲率半径(m)。

当设计外荷载大于 2.2kPa 时,罐顶板的计算厚度尚应乘以 $\sqrt{\frac{\text{设计外荷载}}{2.2}}$ 。

罐顶板的最小公称厚度不应小于计算厚度加厚度附加量,最大公称厚度不应大于 12mm。

7.5.3 罐顶与罐壁连接处的有效抗拉截面积应满足下列公式:

$$A \geq 4.6DR_2 \quad (7.5.3)$$

有效截面积 A 按本规范图 7.1.5 确定。

当设计外荷载大于 2.2kPa 时,需要的有效截面积应按 7.5.3 式计算值乘以 $\frac{\text{设计外荷载}}{2.2}$ 。

7.5.4 带肋球壳拱顶的设计,应符合本规范附录 C 的要求。

8 浮 顶

8.1 一 般 规 定

8.1.1 本章适用于单盘式浮顶和双盘式浮顶及其附件的设计。

8.1.2 船舱的结构设计,在满足强度、稳定和抗沉性能的前提下,宜尽可能减少在船舱内的焊接工作量。

8.1.3 浮顶在最高液位和最低液位之间浮动时,不得和储罐内的附件相碰;有互相摩擦的元件(量油管、导向管、自动通气阀等组合件中的某些元件),应选用摩擦不会产生火花材料。

8.1.4 浮顶处于漂浮状态时,下表面应与储液全面接触。

8.1.5 浮顶浮力计算,当储存液体的密度不小于 700kg/m^3 时,应按 700kg/m^3 计算;当储存液体的密度小于 700kg/m^3 时,应按实际密度计算。单盘设计安装高度,应按储液实际密度计算。

8.1.6 在漂浮状态下,浮顶的结构设计应满足下列条件:

1 当排水管失效、浮顶上积存相当于 250mm 降水量时,浮顶不沉没;

2 当单盘式浮顶的任何两船舱及单盘同时泄漏、双盘式浮顶的任何两船舱同时泄漏时,浮顶不沉没;

3 在上述条件下,浮顶不发生强度和稳定性破坏。

8.1.7 浮顶上开孔直径大于 80mm 时应补强。

8.2 浮顶的结构与连接

8.2.1 浮顶的船舱顶板、船舱底板和单盘板的最小公称厚度(不包括腐蚀裕量),不宜小于 4.5mm,搭接宽度不应小于 25mm;船舱顶板应有不小于 15/1000 的排水坡度,最外圈船舱顶板的排水坡度应指向浮顶中心。

8.2.2 船舱底板、船舱顶板以及单盘板上表面的搭接焊缝,应采用连续满角焊,下表面可采用间断焊;支柱和其他刚性较大的构件周围 300mm 范围内,应采用连续角焊。

8.2.3 单盘式浮顶的所有船舱,应分别满足严密性要求。双盘式浮顶的最外圈船舱,应分别满足严密性要求;其余各船舱,除环板与顶板以及隔板与顶板的连接焊缝外,应有一面为连续焊缝。

8.2.4 船舱内、外环形板本身的拼接,应采用全熔透对接焊缝。

8.3 浮顶支柱

8.3.1 浮顶支柱应能承受浮顶自重及在浮顶上不小于 1.2kPa 的均布附加荷载。

8.3.2 浮顶支柱的最大安装高度应满足施工和检修的需要,一般不宜低于 1.8m。

8.3.3 支柱套管伸出浮顶上表面的高度,应高于浮顶最大允许积水高度,且不应使储液溢流到浮顶上。

8.3.4 支柱通过浮顶处局部应加强。

8.3.5 支柱与底板接触处,应设置厚度不小于 5mm、直径不小于 500mm 的圆形垫板;垫板周边应与罐底板连续角焊。

8.3.6 用钢管制作的支柱上端应盲死,与套管的间隙应加密封;下端盲死,或开设排油口。

8.4 浮顶排水管

8.4.1 浮顶排水管出水口应设置切断阀。单盘式浮顶排水管进水口应设置单向阀。浮顶排水管大小及设置的数量,应根据建罐地区降雨强度按浮顶处于支撑状态确定。

8.4.2 浮顶排水管所用的单向阀、旋转接头及出口切断阀不得采用铸铁件。

8.4.3 单向阀应设置在集水坑内,阀前应有过滤装置。

8.4.4 旋转接头应有良好的密封性能和足够的强度并转动灵活。

8.4.5 浮顶排水管采用软管时,应采取软管保护措施。

8.5 紧急排水装置

8.5.1 有暴雨的地区,浮顶上应设置紧急排水装置。紧急排水装置的大小及数量,应根据建罐地区的降雨强度确定。

8.5.2 紧急排水装置应有水封及防止储液倒流的功能。

8.6 转动浮梯及轨道

8.6.1 浮顶与罐壁顶部平台之间应设置转动浮梯。

8.6.2 当浮顶处于最低位置时,转动浮梯的仰角不宜大于 60° 。

8.6.3 浮梯应有足够的强度和刚度。当浮梯处于任何位置时,其中点应能承受 5kN 的集中荷载。

8.6.4 沿浮梯全长两侧应装设栏杆和扶手。踏步板在浮顶升降过程中应能自动保持水平,并有足够的刚度且能防滑。

8.6.5 当浮梯在最低位置和最高位置时,轨道两端必须有足够的富余长度。轨道应采用能防止滚轮脱轨的结构。

8.6.6 浮梯轨道应有足够的刚度,其支撑应有适当的高度。

8.7 自动通气阀

8.7.1 浮顶上应装设自动通气阀,其数量和流通面积应按收发油时的最大流量确定。当浮顶处于支撑状态时,通气阀应能自动开启;当浮顶处于漂浮状态时,通气阀应能自动关闭,并应密封良好。

8.7.2 自动通气阀阀盖的开启高度,应使阀盖和阀体之间的流通面积大于阀体通径提供的流通面积。用钢管制作的阀杆应两端盲死;或上端盲死,下端开设能排除积液的缺口。

8.8 导向装置

8.8.1 浮顶上应设保持其居于中心位置并防止转动的导向装置。

8.8.2 导向装置宜采用滚动磨擦结构。

8.9 密封及静电导出装置

8.9.1 浮顶与罐壁之间的环向间隙,应装设有效的密封装置。当采用钢滑板机械式密封时,钢滑板宜采用 1.5~2mm 的镀锌薄钢板制作。钢滑板与浮顶之间应采用截面积不小于 10mm² 的软铜电缆线进行连接,沿圆周导线的间距不宜大于 3m。当采用非金属材料制成的软密封时,至少应有 2 条截面积不小于 25mm² 的软铜电缆线连接浮顶与罐壁。导线与金属件连接处应有良好的导电性能。

8.9.2 密封装置所用的材料应耐油、耐腐蚀且不污染油品。

8.10 浮顶人孔

8.10.1 浮顶上应至少设置 1 个人孔。人孔的公称直径不应小于 600mm。

8.10.2 单盘上人孔的安装高度不宜小于 300mm,其内宜安装直梯,直梯下端应留有足够的空间。

8.11 船舱人孔

8.11.1 每个舱室应设 1 个人孔,其直径不应小于 500mm。人孔盖应采用防风结构。

8.11.2 人孔无防水密封时,其安装高度应高于浮顶允许积水高度。

9 内 浮 顶

9.1 一 般 规 定

9.1.1 本章规定仅适用于下列内浮顶：

- 1 敞口隔舱式内浮顶；
- 2 单盘式内浮顶；
- 3 双盘式内浮顶；
- 4 浮筒式内浮顶。

9.1.2 内浮顶在全行程上应能无阻碍地正常运行，在升降和静止时应处于水平漂浮状态。

9.1.3 内浮顶及其附件所选用的材料应与内存储液相适应。

9.1.4 内浮顶外周边缘板、浮顶支柱及浮顶上的所有开口接管，应至少高出液面 150mm。

9.1.5 内浮顶上的所有金属件均应互相电气连通，并通过罐壁与罐外部接地件相连。静电导出线通过环形密封区与罐壁相连时，不得少于 4 组；静电导出线与固定顶相连时，不得少于 2 组，且应均匀分布。选择导线应考虑强度、挠性、电阻、耐腐蚀性、连接的可靠性以及使用寿命。

9.1.6 在支撑状态和漂浮状态下，内浮顶上任何部位应能承受不小于 2.2kN 的集中活荷载，对于直径小于 10m 的内浮顶，可适当减小。

9.1.7 进行浮力计算的设计储液密度应按本规范第 8.1.5 条规定选取。

9.1.8 内浮顶的设计浮力不应小于其自重的 2 倍。

9.1.9 支柱、导向装置等穿过浮顶时，应加设密封。

9.1.10 必要时，内浮顶上应设置排液装置。

9.1.11 所用板材不包括腐蚀裕量在内的最小公称厚度为:

1 普通钢板:

1)与储液气或储液接触的部位为 4.5mm;

2)其他部位为 2.5mm。

2 不锈钢板:

1)蒙皮板 0.5mm;

2)浮动元件 1.2mm。

3 铝合金板:

1)蒙皮板 0.5mm;

2)浮动元件 1.2mm。

9.1.12 内浮顶的连接设计应符合下列要求:

1 内浮顶的连接可采用焊接、螺栓连接或铆接;

2 不同材质元件之间的焊接应符合国家或行业相应标准的要求;

3 浮顶上与储液气或储液连通的所有缝隙,均应采用焊接、螺栓连接或铆接等方式进行密封,并应检验其严密性。

9.2 敞口隔舱式、单盘式和双盘式内浮顶

9.2.1 敞口隔舱式或双盘式内浮顶任何两个隔舱泄漏后,单盘式内浮顶任何两个隔舱和单盘同时泄漏后,浮顶应仍能漂浮在液面上且不产生附加危害。

9.2.2 单盘式和双盘式内浮顶船舱上应设置人孔。

9.2.3 敞口隔舱式内浮顶的隔舱焊缝,应满足严密性要求;单盘式浮顶各船舱,应分别满足严密性要求;双盘式浮顶的最外圈各船舱,应分别满足严密性要求;其余各船舱,除环板、隔板与顶板外,应有一面为连续焊缝。

9.3 浮筒式内浮顶

9.3.1 内浮顶的浮力元件均应满足气密性要求。

9.3.2 任何两个浮筒泄漏后,内浮顶应仍能漂浮在液面上且不产生附加危害。

9.3.3 内浮顶的外周边缘板及所有通过浮盘的开孔接管,浸入储液的深度不应小于 100mm。

9.4 内浮顶支柱

9.4.1 内浮顶应设置固定的或可调节的浮顶支柱。当内浮顶处于最低支撑高度时,浮顶及其以下附件不得互相碰撞;当浮顶处于最大设计液位高度时,支柱不应与固定顶相碰撞。

9.4.2 当内浮顶上无排液装置或其他防止储液聚集的措施时,内浮顶支柱应能支撑浮顶自重和 0.6kPa 均布附加荷载。

9.4.3 焊接式内浮顶支柱下表面周围 300mm 范围内,应采用连续角焊。

9.4.4 罐底板上支撑支柱的部位,应设置直径不小于 500mm 的垫板,垫板周围应采用连续角焊缝。

9.5 环形空间的密封

9.5.1 内浮顶外缘与罐壁的环形间隙处,应设置密封装置。密封装置应能补偿±100mm 环向间隙尺寸偏差,且具有良好的密封性能;罐壁内表面应清除可能会损伤密封或影响浮顶升降的凸起物。

9.5.2 密封材料应满足耐温、耐磨、耐腐蚀、阻燃、抗渗透、抗老化等性能要求。

9.5.3 密封应采用以下形式或其他更良好的密封形式:

- 1 软泡沫塑料包带式密封;
- 2 充液管式密封;
- 3 弹性材料制成的舌型密封;
- 4 机械密封。

9.5.4 密封带的环向接头应粘结牢靠,无渗漏。其搭接宽度不应

小于 75mm。

9.6 自动通气阀

9.6.1 自动通气阀应符合本规范第 8.7 节的规定。

9.7 通 气 孔

9.7.1 无密闭要求的内浮顶油罐,应设置环向通气孔。环向通气孔应设置在最高设计液位以上的罐壁或固定顶上。当环向通气孔设置在罐顶上时,应考虑环向通气孔不被积雪堵塞。通气孔应沿圆周均匀分布,最大间距为 10m,且不得少于 4 个。通气孔的总有效通气面积应按下式计算:

$$B \geq 0.06D \quad (9.7.1)$$

式中 B ——环向通气孔总有效通气面积(m^2)。

9.7.2 无密闭要求的固定顶中心最高位置,应设置中央通气孔,其有效通风面积不应小于 350cm^2 。

9.7.3 环向通气孔和中央通气孔上应设置防雨雪罩,并配备 2~3 目/寸耐腐蚀钢丝网。

9.8 高液位保护

9.8.1 内浮顶油罐宜安装高液位报警装置或长型溢流孔。

9.8.2 当采用长型溢流孔时,应按罐的最大进油速度确定溢流孔的尺寸;油罐发生溢流时,不应损坏浮顶和其他附件。

9.8.3 浮顶密封不得影响液面指示装置和溢流孔的正常作用。

9.9 导 向 装 置

9.9.1 内浮顶应设置导向装置。导向装置可采用钢管、缆绳或其他适当机构。

9.9.2 导向装置穿过浮顶处应密封良好。

9.10 人孔和检查孔

9.10.1 油罐的固定顶及内浮顶上应至少各设 1 个 DN600 的人孔。

9.10.2 罐壁上应至少设置 1 个低位人孔,并宜设 1 个高位人孔,其规格不应小于 DN600。高位人孔的安装高度应高于内浮顶最大支撑高度并不应妨碍浮顶运行。低位人孔应在内浮顶最小支撑高度以下。

9.10.3 固定顶上宜设置目视检查孔。目视检查孔最大间距不应大于 20m,沿圆周均布,且不得少于 4 个。当环向通气孔设置在罐顶上时,通气孔可兼作检查孔。

10 附 件

10.1 一 般 规 定

10.1.1 本章仅适用于罐体开孔附件及其与罐体连接的设计。

10.1.2 承受外部管道或设备较大附加荷载的开孔接管,除本章规定外,尚应采取减小局部附加荷载的措施。

10.1.3 罐壁开孔补强板的材质应与开孔处罐壁板的材质相同。开孔接管的材质宜与开孔处罐壁板的材质相同或相近;采用钢板卷制的大口径接管的材质应与开孔处罐壁板的材质相同。

10.1.4 开孔接管法兰的公称压力及规格,应与所连接的管道或设备法兰相匹配。罐壁开孔接管用钢制法兰的压力等级,不宜低于 1.0MPa。罐顶开孔接管用钢制法兰的压力等级,不宜低于 0.25MPa。

10.1.5 所有开孔、接管和补强板上的切割表面,应光滑平整并将棱角倒圆。

10.1.6 罐壁开孔补强板应有信号孔。整块钢板制造的补强板应有 1 个信号孔;拼接的补强板,每一拼接段上,应有 1 个信号孔。信号孔宜为 M6~M10 螺孔,一般应位于开孔水平中心线上。

10.1.7 焊接在罐体上的连接件,焊接处应加垫板。垫板周边焊缝距罐壁环焊缝应大于 75mm,距罐壁纵焊缝或补强板外缘角焊缝应大于 150mm。

10.1.8 法兰密封垫片应选用耐温、阻燃的材料,并与储存介质相适应。

10.2 罐壁开孔及补强

10.2.1 接管公称直径大于 50mm 的开孔应补强。

10.2.2 开孔有效补强面积,不应小于开孔直径与罐壁厚度的乘积。

10.2.3 有效补强面积不得超出以下范围:

- 1 沿罐壁竖向,开孔中心线上下各 1 倍开孔直径;
- 2 沿接管轴线方向,罐壁表面内外两侧各 4 倍的管壁厚度。

10.2.4 有效补强面积包括:

- 1 罐壁富余壁厚提供的面积;
- 2 补强板的面积;
- 3 接管富余壁厚提供的面积;
- 4 焊缝金属的面积。

有效补强面积尚应乘以补强材料与罐壁材料许用应力之比(但不得大于 1.0)。

接管与罐壁标准规定的最低屈服强度之比小于 0.7 或抗拉强度之比小于 0.8 时,接管的富余壁厚不得作为补强面积。

10.2.5 两开孔之间的距离应满足以下要求:

1 两开孔至少 1 个有补强板时,其最近角焊缝边缘之间的距离,不应小于较大焊脚尺寸的 8 倍且不小于 150mm。

2 两开孔均无补强板时,角焊缝边缘之间的距离不得小于 75mm。

10.2.6 当任意两开孔之间的距离不能满足 10.2.5 条的要求时,应采用联合补强,并应满足以下要求:

1 联合补强板应能覆盖各开孔单独设置时的补强板,且外缘平滑;

2 当任一开孔竖向中心线与其他开孔相交时,则联合补强板沿竖向中心线的有效补强面积,不得小于各孔单独开孔时有效补强面积的总和。

10.2.7 罐壁开孔角焊缝外缘到罐壁纵环焊缝中心线的距离,应满足以下要求:

- 1 罐壁厚度不大于 12mm,或接管与罐壁板焊后进行消除应

力热处理时:距纵焊缝不应小于 150mm;距环向焊缝不应小于壁板厚度的 2.5 倍,且不小于 75mm。

2 当罐壁厚度大于 12mm,且接管与罐壁板焊后不进行消除应力热处理时:应大于较大焊脚尺寸的 8 倍,且不小于 250mm。

10.2.8 开孔到罐壁最下端的距离应满足以下要求:

1 罐壁板标准规定的最低屈服强度小于或等于 390MPa 时,罐壁人孔应符合本规范第 10.3 节的规定,罐壁接管应符合第 10.4 节的规定。

2 罐壁板标准规定的最低标准屈服强度大于 390MPa 时,罐壁开孔角焊缝外缘(有补强板时为补强板角焊缝外缘)到罐壁最下端角焊缝边缘的最小距离,不得小于壁板厚度的 2.5 倍,且不得小于 75mm。

10.2.9 凡属下列情况,开孔接管与罐壁板、补强板焊接完毕并检验合格后,应进行整体消除应力热处理:

1 标准规定的最低屈服强度小于等于 390MPa,板厚大于 32mm 且接管公称直径大于 300mm;

2 标准规定的最低屈服强度大于 390MPa,板厚大于 12mm 且接管公称直径大于 50mm。

10.3 罐壁人孔

10.3.1 罐壁人孔的结构及尺寸宜符合表 10.3.1-1~表 10.3.1-3 和图 10.3.1 的要求。

表 10.3.1-1 罐壁人孔法兰盖、法兰及补强板尺寸(mm)

人孔 内径 D_i	螺栓孔中心 圆直径 D_B	人孔法兰盖及 法兰直径 D_r	补强板		
			纵向长度或 直径 L_1	横向宽度 W	圆角半径 R_r
500	667	730	1170	1400	307
610	768	832	1370	1650	347
760	921	984	1675	2010	433

表 10.3.1-2 罐壁人孔法兰盖及法兰最小厚度

设计最高液位 H_w (m)	人孔法兰盖最小厚度 t_r (mm)			法兰最小厚度 t_f (mm)		
	$D_i=500$	$D_i=610$	$D_i=760$	$D_i=500$	$D_i=610$	$D_i=760$
6.5	8	10	12	6	7	10
8	9	11	13	6	8	11
9.5	10	12	14	7	9	12
12	11	13	15	8	10	13
13.5	12	14	16	9	11	14
16.5	13	15	18	10	12	15
20	15	16	19	11	13	16
23	16	18	21	13	15	18

注:1 当储液相对密度大于 1.0 时,设计最高液位应乘以储液相对密度,然后查表。

2 中间数值可用线性内插法计算。

3 厚度尺寸不含厚度附加量。

表 10.3.1-3 罐壁人孔角焊缝尺寸、罐壁板开孔直径及接管厚度 (mm)

罐壁及补强 板厚度 t 及 t_r	焊脚尺寸		罐壁板开孔直径 D_p	接管最小厚度 t_n		
	A_h	B_h		$D_i=500$	$D_i=610$	$D_i=760$
5	5	5	当 $2A_h$ 小于或等于 12mm 时,为接管外径 加 12mm;当 $2A_h$ 大于 12mm 时,最小值为接 管外径加 12mm,最大 值为接管外径加 $2A_h$	5	5	5
6	6	6		6	6	6
8	6	6		6	8	8
9	6	7		6	8	8
10	6	7		6	8	8
12	6	9		6	8	8
14	6	10		6	8	8
16	8	12		6	8	8
19	8	14		8	8	8
22	11	15		10	10	10
25	11	18		11	11	11
28	11	20		13	13	13
32	13	22		16	16	16
36	14	25		17	17	17
38	14	27		19	19	19
40	16	27		19	19	19
42	16	27		22	22	22
45	16	27		22	22	25

注:1 中间数值可用线性内插法计算。

2 厚度尺寸不含厚度附加量。

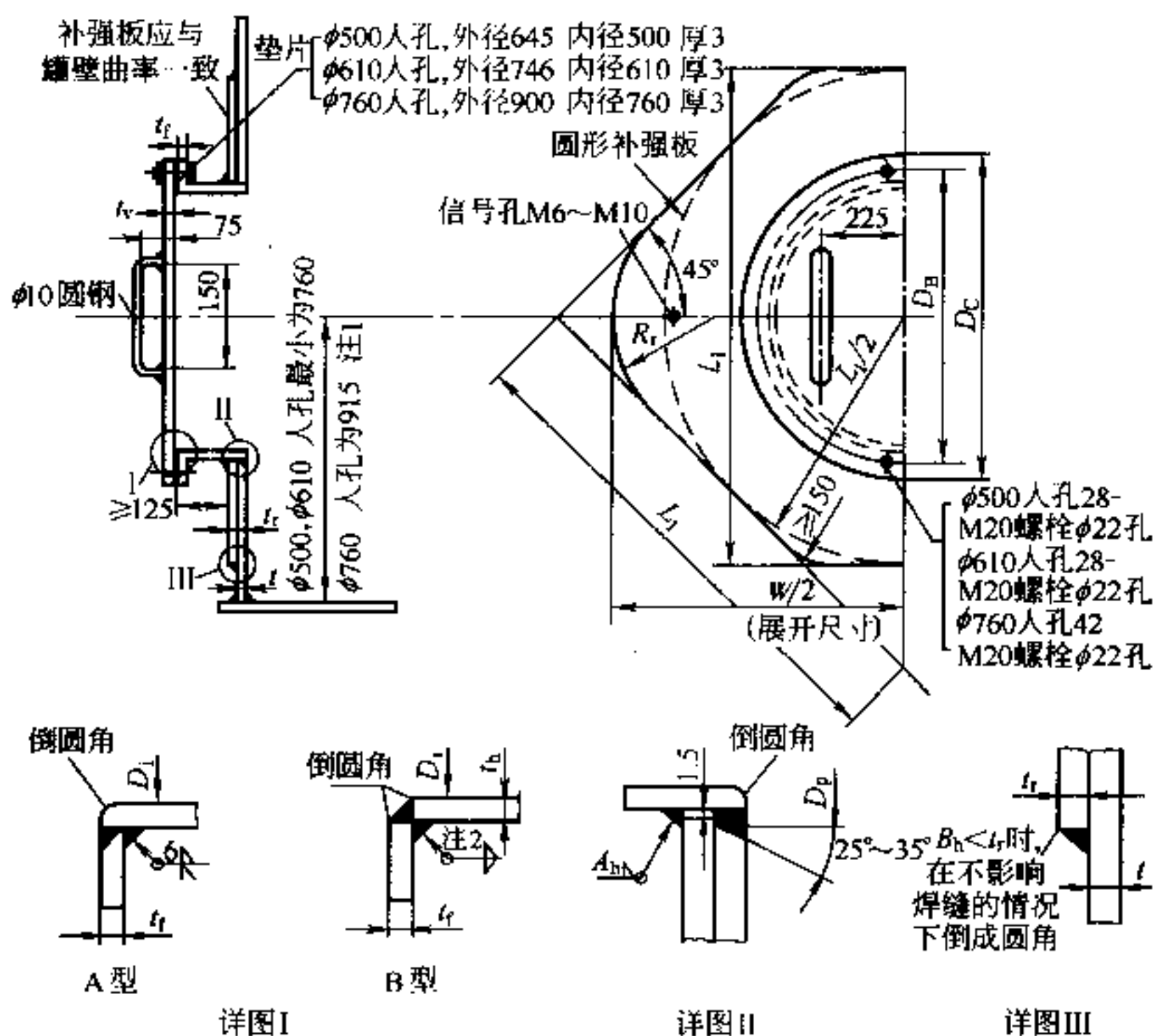


图 10.3.1 罐壁人孔

注:1 尚应满足本规范第 10.2.8 条的要求。

2 焊角高度与较薄件厚度相等。

3 法兰密封面最小宽度 20mm。

4 焊缝形式及尺寸仅供参考。

10.3.2 选用其他结构和尺寸的罐壁人孔时,应符合本规范第 10.1 节和第 10.2 节的规定。

10.4 罐壁开孔接管

10.4.1 罐壁开孔接管的型式和规格宜符合图 10.4.1-1、图 10.4.1-2 和表 10.4.1-1、表 10.4.1-2 的要求。

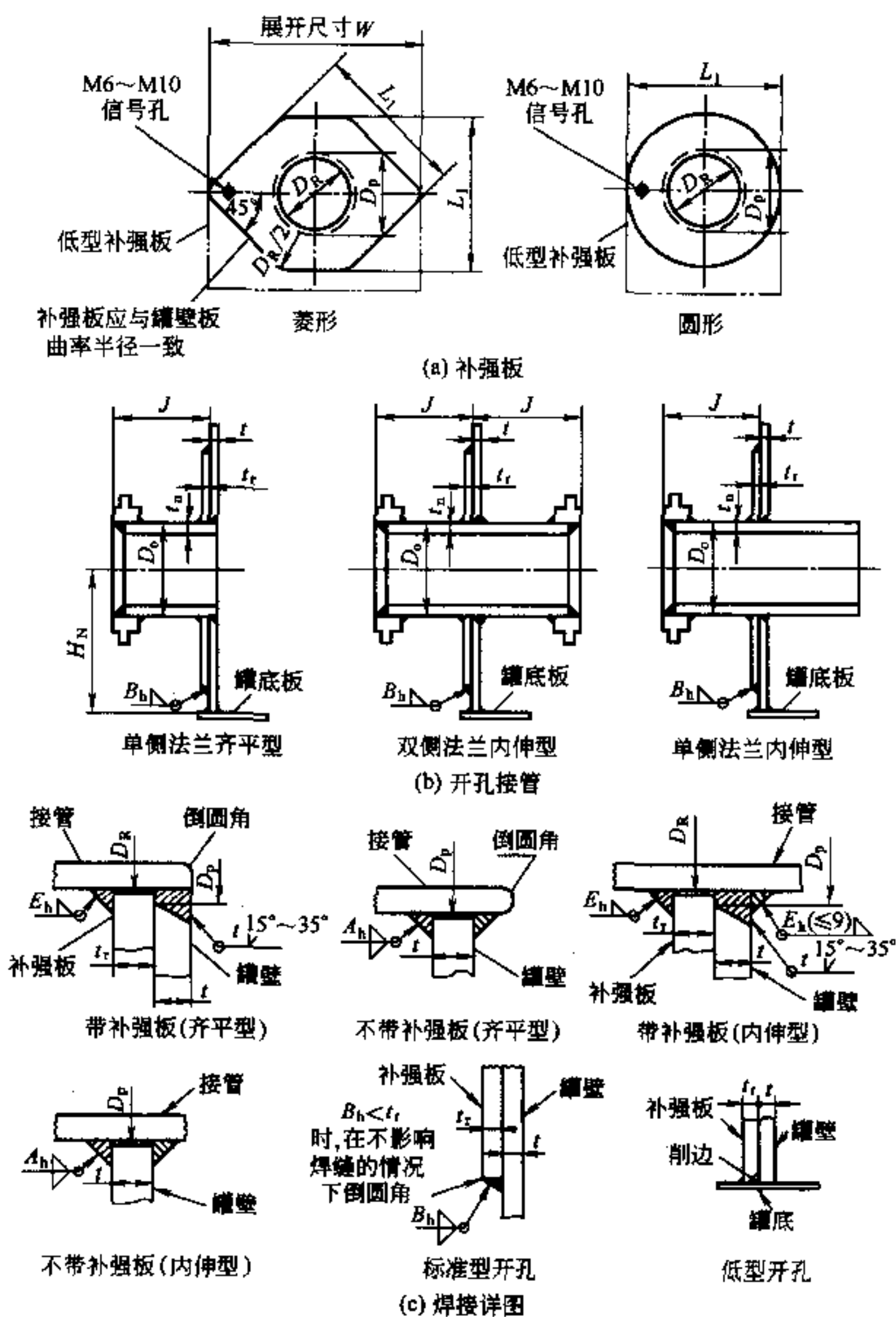


图 10.4.1-1 法兰连接罐壁开孔接管

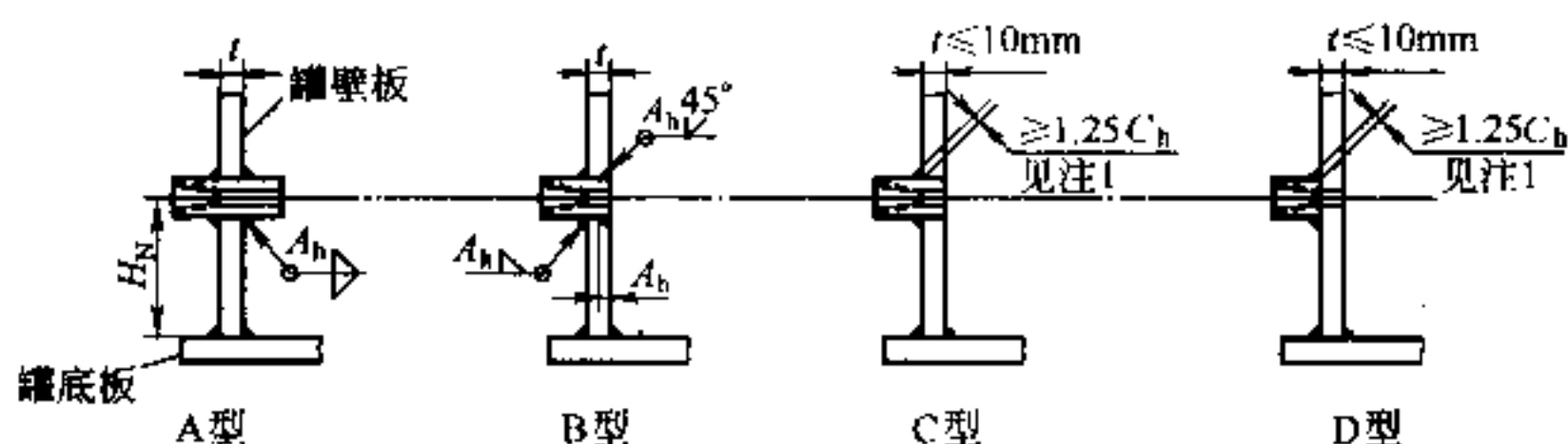


图 10.4.1.2 螺纹连接罐壁开孔接管

注:1 C_b 取两相焊件厚度的较小值,但不得大于 19mm。

2 焊缝型式及尺寸仅供参考。

表 10.4.1-1 罐壁开孔接管及补强板尺寸

连接类型	接管公称直径 DN		接管外径 D_o (mm)	接管厚度 t_n (mm)	补强板孔径 D_R (mm)	补强板尺寸 L_1 (mm)	补强板水平方向展开长度 W (mm)	罐外壁到法兰面最小尺寸 J (mm)	开孔中心到罐底的最小高度 H_N (mm) 见注 3	
	(mm)	(")							标准型	低型
法兰连接	40			5.0		见注 2	见注 2	150	150	75
	50			5.5		见注 2	见注 2	150	180	90
	80			7.5		265	340	180	200	133
	100			8.5		305	385	180	230	153
	150			11		400	495	200	280	200
	200			12		408	590	200	330	240
	250			12		585	715	230	380	293
	300			12	接管外	685	840	230	430	343
	350			12	径加	750	915	255	460	375
	400			12	3~4mm	850	1035	255	510	425
	450			12		950	1160	255	560	475
	500			12		1055	1280	280	610	528
	600			12		1255	1525	305	710	628
	700			见注 1		1440	1745	305	810	720
	800			见注 1		1645	1995	330	910	823
	900			见注 1		1845	2235	355	1020	923
	1000			见注 1		2050	2480	380	1120	1025

续表 10.4.1-1

连接类型	接管公称直径 DN		接管外径 D_o (mm)	接管厚度 t_n (mm)	补强板孔径 D_R (mm)	补强板尺寸 L_1 (mm)	补强板水平方向展开长度 W (mm)	罐外壁到法兰面最小尺寸 J (mm)	开孔中心到罐底的最小高度 H_N (mm) 见注 3	
	(mm)	(")							标准型	低型
螺纹连接	20	3/4	35	—	38 见注 2	—	—	—	100	75
	25	1	44		47 见注 2				130	75
	40	1 1/2	64		67 见注 2				150	75
	50	2	76		79 见注 2				180	75

注:1 接管厚度见表 10.4.1-2。

2 开孔直径小于或等于 50mm 时,不需补强,此时 D_R 表示罐壁开孔直径。

3 开孔中心到罐底的最小高度为标准规定的最低屈服强度小于或等于 390MPa 时的数值。当壁板标准规定的最低屈服强度大于 390MPa 时,不允许采用低型开孔,标准型开孔应符合本规范第 10.2.8 条的规定。

4 厚度尺寸不含厚度附加量。

表 10.4.1-2 罐壁开孔、接管及焊缝尺寸(mm)

罐壁板及补强板厚度 t, t_r	$DN700 \sim DN1000$ 开孔接管最小壁厚 t_n	罐壁板开孔直径 D_p	焊脚尺寸 B_h	开孔公称直径 20~50 的 焊脚尺寸 A_h	焊脚尺寸 E_h
5	12	有补强板时,开口接管外径加 12mm 为最小值,加焊脚尺寸 E_h 的 2 倍为最大值。无补强板时,见表 10.4.1-1 注 2	5	5	6
6	12		6	6	6
8	12		6	6	6
9	12		7	6	6
10	12		7	6	6
12	12		9	8	6
14	12		10	8	6
16	12		12	8	8
19	12		14	8	8
22	12		15	8	10
25	12		18	8	11
28	14		20	8	11
32	16		22	8	13
36	19		25	8	14
38	19		27	8	14
40	20		27	8	14
42	22		27	8	16
45	22		27	8	16

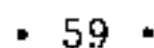
注:1 公称直径 80~600mm, E_h 值不应大于 t_n (t_n 见表 10.4.1-1)。

2 厚度尺寸不含厚度附加量。

10.4.2 选用其他结构及尺寸的开孔接管,应符合本规范第 10.1

10.4.3 当开孔接管中心线不垂直于罐壁安装时,补强板尺寸应加大,加大量应等于罐壁上所开椭圆孔的长径与表 10.4.1-2 中规定尺寸 D_0 之差,且在铅垂面内倾角不应大于 15° 。

10.5.1 当油罐采用清扫孔时,其结构和尺寸宜符合图 10.5.1 及表 10.5.1-1~表 10.5.1-3 的要求。当开孔尺寸为两相邻尺寸的中间值时,各元件尺寸应取与较大规格一致。



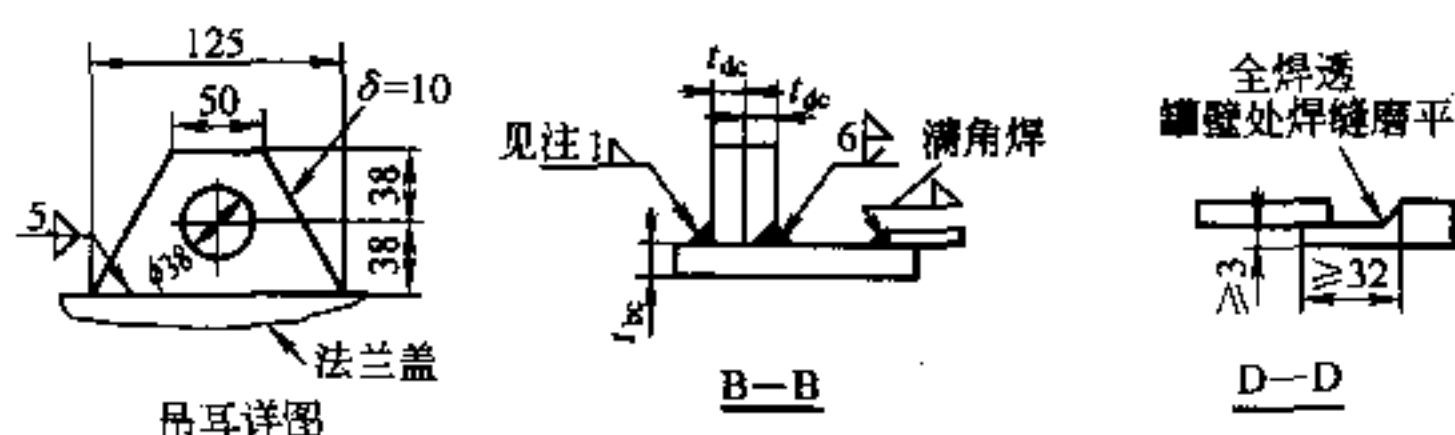


图 10.5.1 清扫孔

- 注:1 焊脚尺寸等于较薄板的厚度,最大 13mm。
 2 设有环形边缘板时,底部加强板应成为环形边缘板的一部分并与环形边缘板等宽。
 3 焊脚尺寸应符合本规范第 5.2.10 条的规定。
 4 焊缝形式和尺寸供参考。

表 10.5.1-1 清扫孔法兰、法兰盖和加强底板的厚度(mm)

设计最高液位 $H_w(\text{m})$	开孔尺寸 $h \times b$			
	203×406		610×610	
	法兰及盖板 最小厚度 t_f, t_v	加强底板 最小厚度 t_{bc}	法兰及盖板 最小厚度 t_f, t_v	加强底板 最小厚度 t_{bc}
6.1	9.5	12.5	9.5	12.5
10.4	9.5	12.5	12.5	12.5
12.5	9.5	12.5	12.5	14.5
16.2	9.5	12.5	14.5	16
18.3	11	12.5	16	17.5
19.5	11	12.5	16	17.5
22	11	12.5	17.5	19

- 注:1 当储液相对密度大于 1.0 时,设计最高液位应乘以储液相对密度,然后查表。
 2 厚度尺寸不含厚度附加量。

表 10.5.1-2 清扫孔的结构尺寸(mm)

开孔 高度 h	开孔 宽度 b	罐壁补 强板展 开长度 w	开孔上 部圆角 半径 r_1	罐壁补强 板上部圆 角半径 r_2	螺栓孔中 心至边缘 的距离 e_c	法兰宽度 f_3	底部法 兰宽度 f_2	特殊 螺孔 间距 g_c	螺栓 数量 (个)	螺栓 直径
203	406	1168	102	355	32	102	90	84	22	M20
610	610	1828	305	735	38	102	95	90	36	M20

表 10.5.1-3 清扫孔所在罐壁板及补强板尺寸(mm)

底圈 壁板 厚度 t	设计 最高 液位 H_w (m)	开孔尺寸 $h \times b$ (高 \times 宽)				底圈 壁板 厚度 t	设计 最高 液位 H_w (m)	开孔尺寸 $h \times b$ (高 \times 宽)			
		203 \times 406		610 \times 610				203 \times 406		610 \times 610	
		壁板及 补强板 厚度 t_{dc}	补强 板高 度 L_c	壁板及 补强板 厚度 t_{dc}	补强 板高 度 L_c			壁板及 补强板 厚度 t_{dc}	补强 板高 度 L_c	壁板及 补强板 厚度 t_{dc}	补强 板高 度 L_c
5	22	5	356	6.5	870	20.5	8.8	20.5	356	22	875
6.5	22	6.5	356	8	895	20.5	18.3	20.5	356	22	875
8	22	8	356	9.5	908	20.5	21.3	20.5	356	22	875
9.5	4.9	9.5	356	11	840	20.5	22	20.5	356	22	875
9.5	7.9	9.5	356	11	870	22	9.8	22	356	24	875
9.5	22	9.5	356	11	915	22	21.3	22	356	24	875
11	5.2	11	356	12.5	850	22	22	22	356	24	875
11	8.5	11	356	12.5	865	24	11	24	356	25.5	885
11	22	11	356	12.5	910	24	22	24	356	25.5	885
12.5	5.5	12.5	356	14.5	860	25.5	12.5	25.5	356	27	885
12.5	9.5	12.5	356	14.5	865	25.5	22	25.5	356	27	885
12.5	22	12.5	356	14.5	900	27	14	27	356	28.5	885
14.5	5.8	14.5	356	16	865	27	22	27	356	28.5	885
14.5	10.4	14.5	356	16	865	28.5	15.9	28.5	356	30	890
14.5	22	14.5	356	16	895	28.5	22	28.5	356	30	890
16	6.7	16	356	17.5	865	30	17.7	30	356	32	890
16	12.2	16	356	17.5	865	30	22	30	356	32	890
16	22	16	356	17.5	890	32	19.5	32	356	33.5	890
17.5	7.3	17.5	356	19	870	32	22	32	356	33.5	890
17.5	13.4	17.5	356	19	870	33.5	22	33.5	356	35	890
17.5	21.3	17.5	356	19	875	35	22	35	356	36.5	890
19	7.9	19	356	20.5	875	36.5	22	36.5	356	38	895
19	15.5	19	356	20.5	875	38	22	38	356	39.5	895
19	21.3	19	356	20.5	875	41	22	41	356	43	895
19	22	19	356	20.5	875	45	22	45	356	49	895

注:1 当储液相对密度大于 1.0 时,设计最高液位应乘以储液相对密度,然后查表。

2 厚度尺寸不含厚度附加量。

10.5.2 采用其他结构与尺寸的清扫孔应符合以下规定：

- 1 开孔高度不得大于 610mm；
- 2 开孔宽度不得大于 900mm；
- 3 清扫孔上部的圆角半径应等于开孔高度的 1/2。

10.5.3 开孔上部需补强的面积应按下式计算：

$$A_{cs} \geq \frac{k_1 h t}{2} \quad (10.5.3)$$

A_{cs} ——开孔上部需补强的面积(不含壁厚附加量)(mm^2)；

k_1 ——补强面积系数,按图 10.5.3 查取；

h ——清扫孔高度(mm)；

t ——底圈罐壁板厚度(mm)。

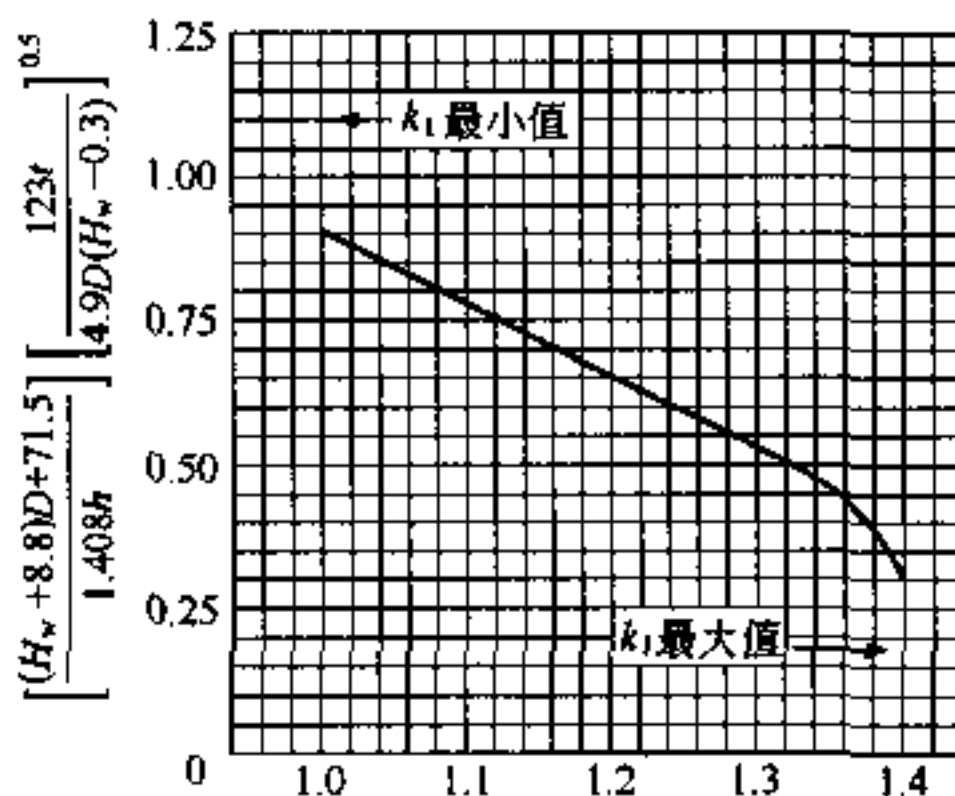


图 10.5.3 清扫孔补强面积系数 k_1

10.5.4 补强板及孔颈厚度应与开孔处罐壁板厚度相同。

10.5.5 清扫孔加强底板的宽度不应小于 255mm 加上罐壁和补强板厚度。

10.5.6 清扫孔加强底板的计算厚度应按下式计算：

$$t_{bc} = \frac{h^2}{360000} + \frac{b}{170} \sqrt{H_w} \quad (10.5.6)$$

式中 t_{bc} ——加强底板的计算厚度(mm);

b ——清扫孔宽度(mm)。

加强底板的最小公称厚度不应小于计算厚度加壁厚附加量。

10.5.7 沿罐壁竖向有效补强范围不应大于 0.5 倍的清扫孔高度。

10.5.8 有效补强金属应包括:

1 罐壁补强板;

2 长度等于罐壁及补强板厚度的孔颈板。

10.5.9 清扫孔组合件上的罐壁板、补强板、加强底板及孔颈板的材质,应与底圈罐壁板相同。

10.5.10 清扫孔盖板上不得连接有附加荷载的接管。

10.5.11 清扫孔组合件全部焊接完毕并检验合格后,应进行整体消除应力热处理。

10.5.12 清扫孔下面的罐基础,应根据清扫孔的要求进行局部处理。

10.6 罐顶人孔

10.6.1 罐顶人孔的结构及尺寸宜符合表 10.6.1 和图 10.6.1 的要求。

表 10.6.1 罐顶人孔(mm)

人孔 内径 D_i	螺栓孔中 心圆直径 D_B	人孔盖 外径 D_c	螺 栓			垫片内外 直径	补强板内 外径 D_R/L_1
			规格	数量 (个)	孔径		
500	600	660	M16	16	18	500/660	515/1070
610	700	760	M16	20	18	610/760	625/1170
760	850	910	M16	24	18	760/910	775/1370

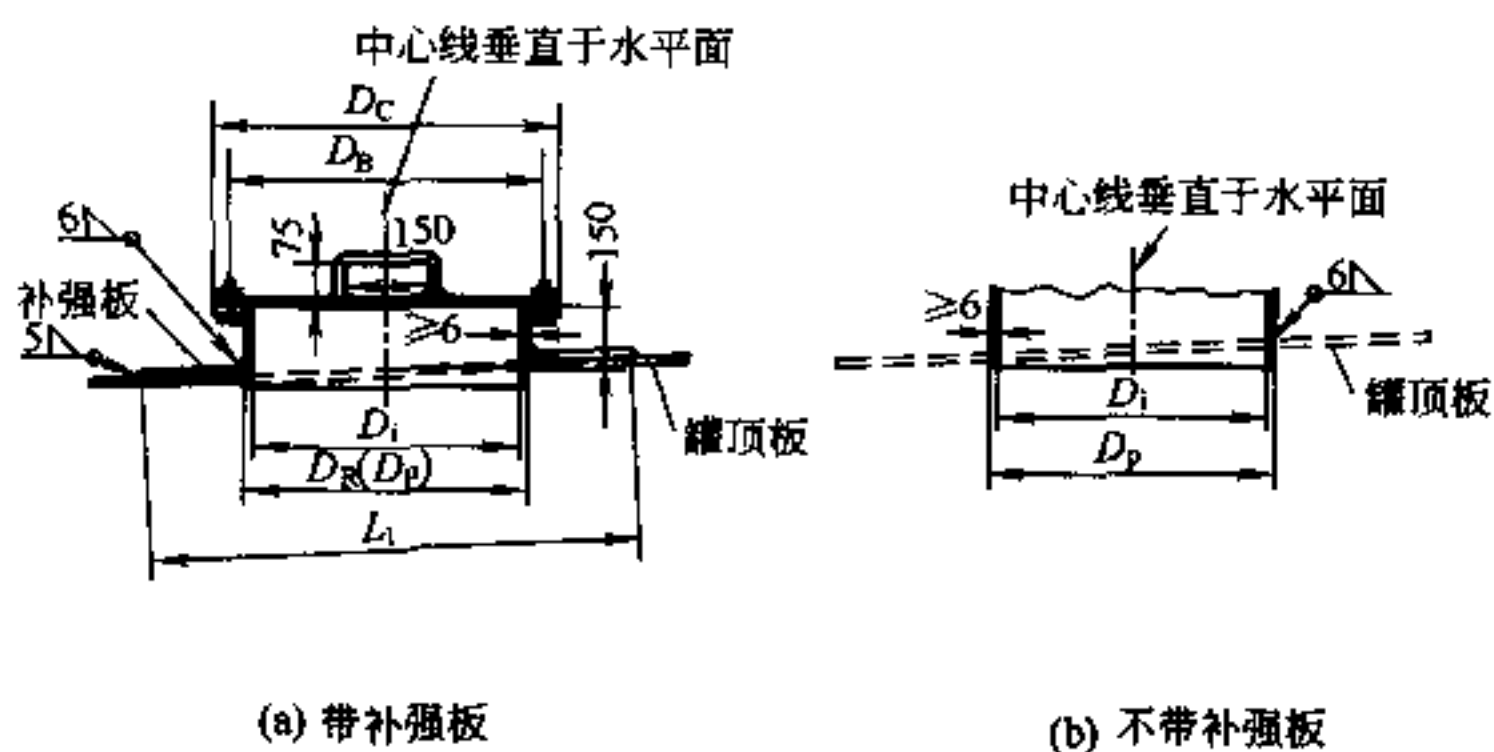


图 10.6.1 罐顶人孔

10.6.2 运行期间需要通过人孔进行作业的油罐,应采用带补强板的罐顶人孔。

10.7 罐顶开孔接管

10.7.1 罐顶开孔接管宜符合图 10.7.1-1、图 10.7.1-2 和表 10.7.1-1、表 10.7.1-2 的要求。

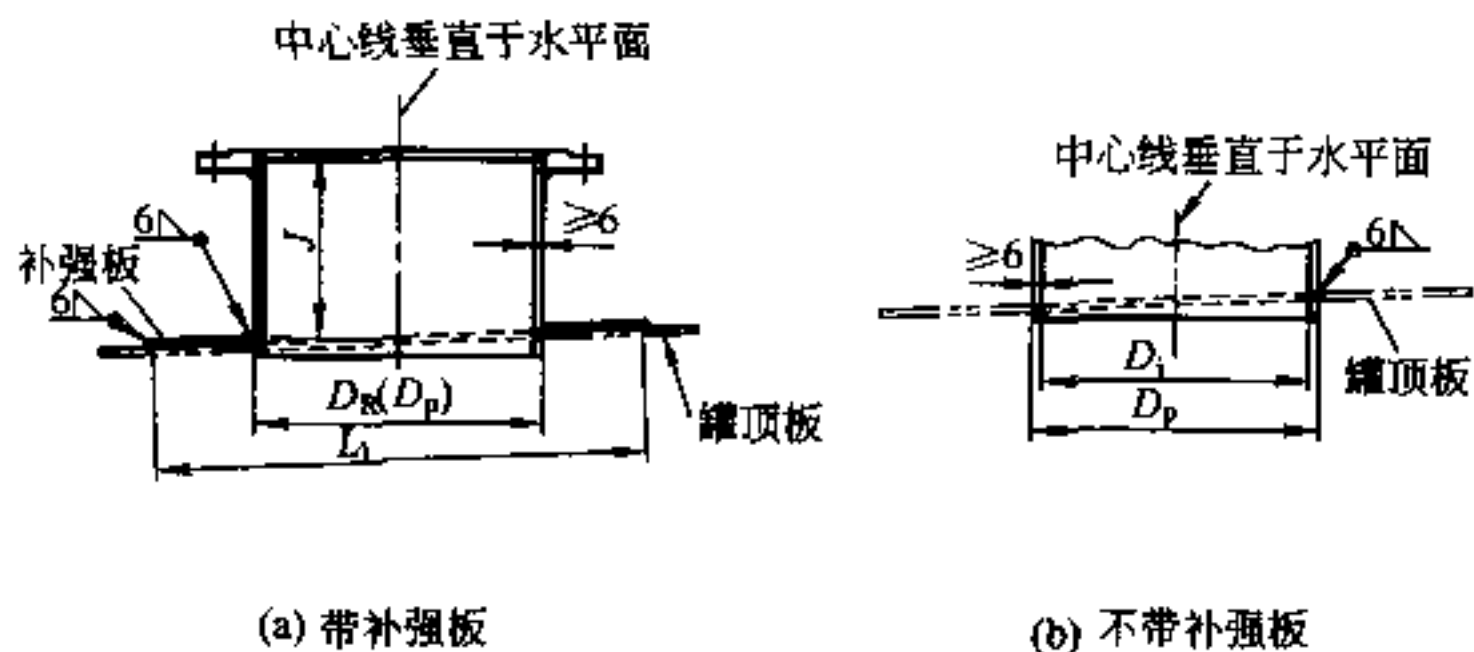


图 10.7.1-1 法兰连接罐顶开孔接管

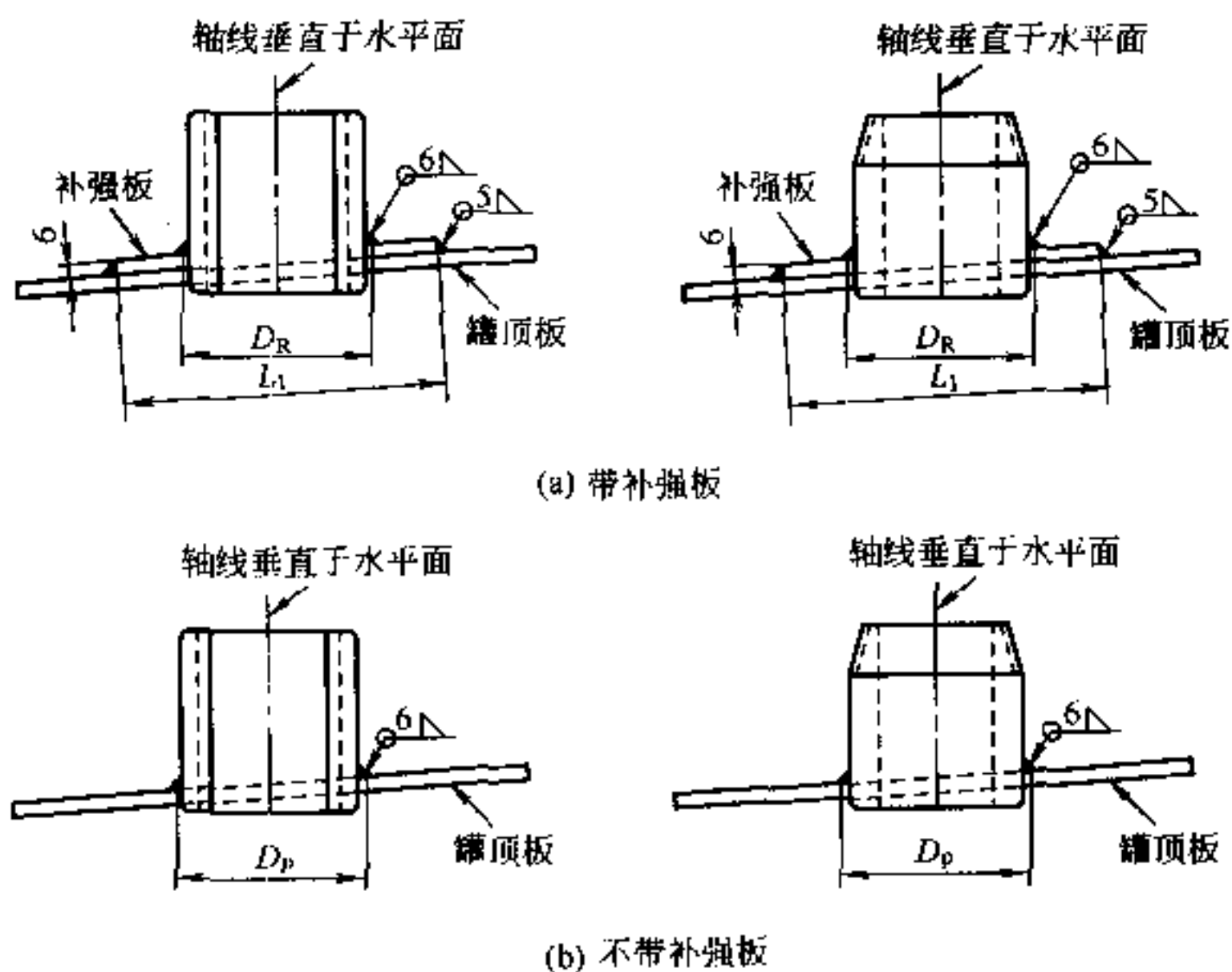


图 10.7.1-2 螺纹连接罐顶开孔接管

表 10.7.1-1 法兰连接罐顶开孔接管 (mm)

公称直径 DN	接管高度 J	顶板开孔直径 D_p	补强板内径 D_R	补强板外径 L_1
40	150	接管外径加 3mm	接管外径加 3mm	125
50	150			175
80	150			225
100	150			275
150	150			380
200	150			450
250	200			550
300	200			650

表 10.7.1-2 螺纹连接罐顶开孔接管(mm)

公称直径 DN	罐顶开孔直径 D_p	补强板内径 D_R	补强板外径 L_1
20	接管外径加 3mm	接管外径加 3mm	100
25			115
40			125
50			175
80			225
100			275
150			380
200			450
250			550
300			600

10.7.2 公称直径不大于 150mm 的开孔可不补强。

10.8 排水弯头

10.8.1 排水弯头的结构和尺寸宜符合图 10.8.1 的要求。

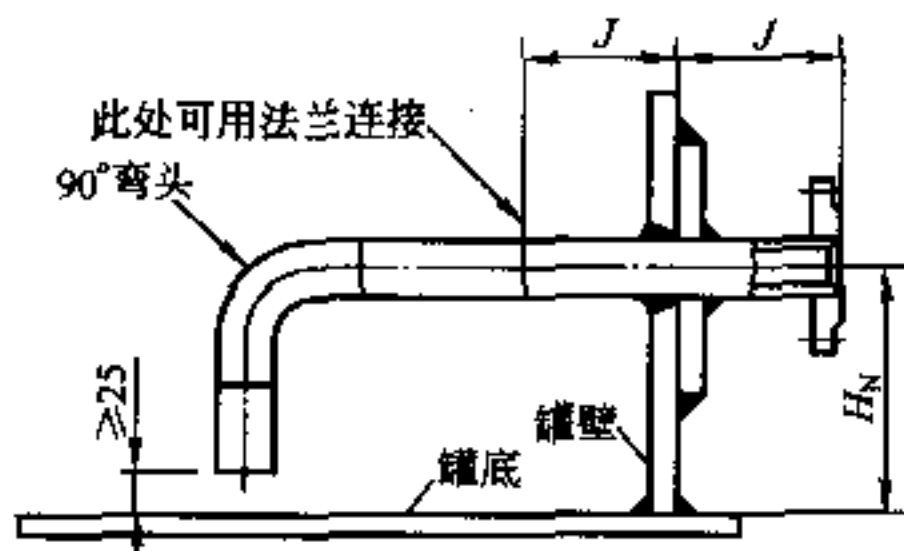


图 10.8.1 排水弯头

10.8.2 罐壁开孔接管及补强板的结构和尺寸应符合本规范第 10.2 节和第 10.4 节的规定。

10.9 排水槽

10.9.1 当油罐采用排水槽时,深型排水槽的结构及尺寸宜符合

表 10.9.1 及图 10.9.1-1 的要求,浅型排水槽的结构及尺寸宜符合图 10.9.1-2 的要求。

表 10.9.1 深型排水槽(mm)

接管 公称直径 DN	排水槽 直径 D_d	排水槽 深度 E_d	排水槽中心 至罐壁距离 A_d	排水槽钢板 最小厚度 t_{dr}	接管 最小壁厚 t_n	补强板 外径 L_1
50	610	305	1050	8	6	880
80	910	455	1500	10	6	1180
100	1220	610	2050	10	6	1480
150	1520	915	2600	11	6	1780

注:1 尺寸 A_d 为参考值,尚应满足 10.9.4 条要求。

2 厚度尺寸不含厚度附加量。

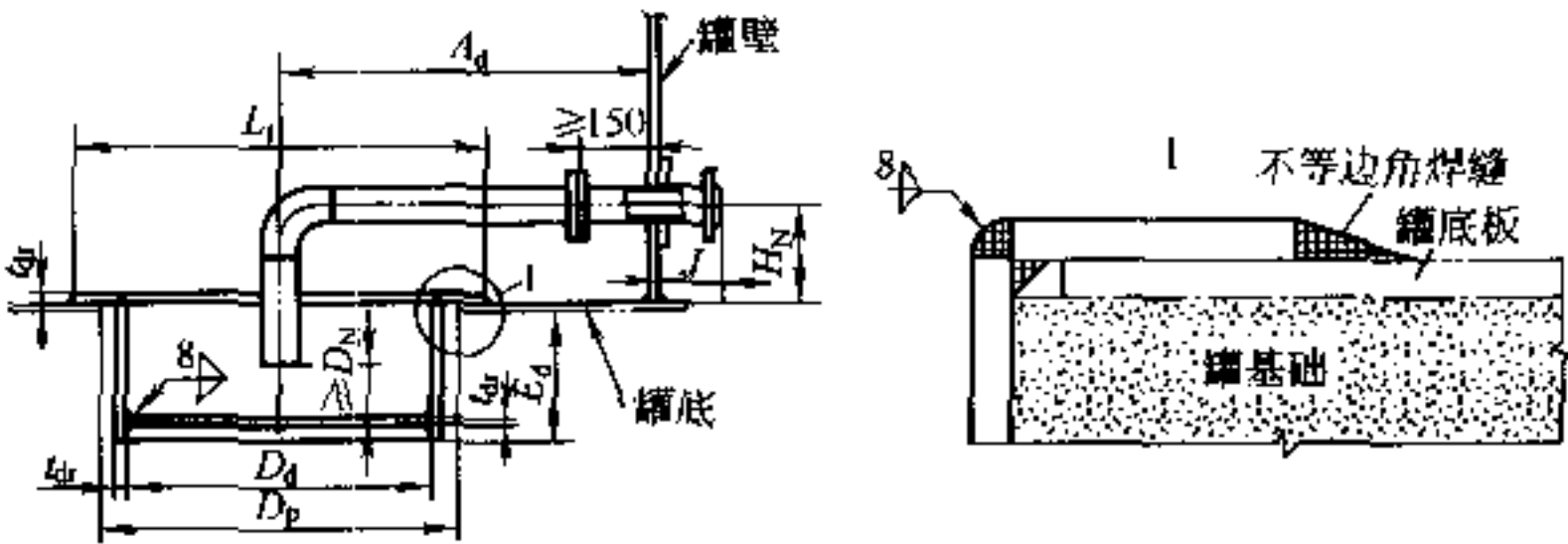


图 10.9.1-1 深型排水槽

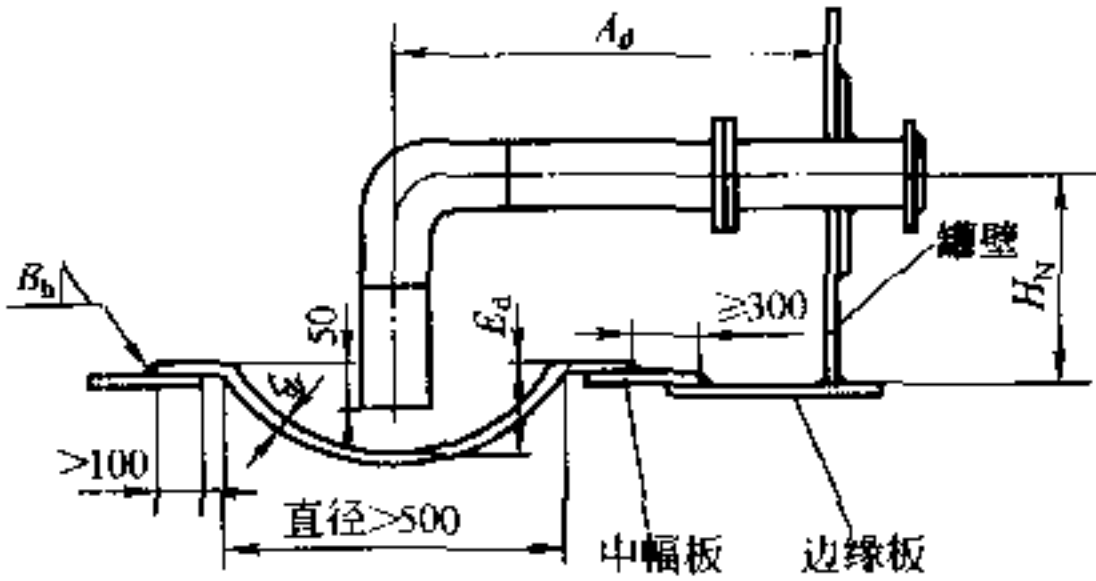


图 10.9.1-2 浅型排水槽

10.9.2 对于有滑移可能的油罐宜采用浅型排水槽。浅型排水槽应满足下列要求:

1 不包括壁厚附加量在内的排水槽钢板厚度 t_{dr} 不应小于 8mm,槽深度 E_d 不应大于 150mm;

2 排水槽与罐底连接的焊脚尺寸 B_h ,应取两相焊件中较薄件的厚度。

10.9.3 罐壁开孔接管的结构和尺寸,应符合本规范第 10.2 节和第 10.4 节的要求。

10.9.4 罐底排水槽中心线至罐壁的距离 A_d ,应满足排水槽周边焊缝到环形边缘板与中幅板连接焊缝的距离不小于 300mm 的要求。当接管悬臂较长时,尚应采取适当的支撑措施。

10.9.5 排水槽的材质应与罐底板材质相同或相近。

10.10 盘梯、平台及栏杆

10.10.1 盘梯的设计应符合下列要求:

- 1 盘梯的最小宽度为 600mm;
- 2 盘梯的最大升角为 50° ,一般宜取 45° ;同一罐区内盘梯升角宜相同;
- 3 踏步的最小宽度为 200mm;
- 4 相邻两踏步的水平距离与两踏步之间高度的 2 倍之和,不应小于 600mm 且不大于 660mm;整个盘梯踏步之间的高度应一致;
- 5 踏步应采用栅格板或防滑板;
- 6 盘梯栏杆上部扶手应与平台栏杆扶手对中连接;
- 7 沿栏杆扶手轴线测量,栏杆立柱的最大间距为 2400mm;
- 8 盘梯应能承受 5kN 集中活荷载;栏杆上部任意点应能承受任意方向 1kN 的集中荷载;
- 9 盘梯外侧应有栏杆,当盘梯内侧与罐壁的距离大于 150mm 时,内侧也应有栏杆;

10 盘梯应全部支承在罐壁上,盘梯侧板的下端与罐基础上表面应留有适当距离。

10.10.2 平台及栏杆的设计应符合下列要求:

- 1 平台和走道的最小宽度为 600mm;
- 2 铺板应采用栅格板或防滑板;
- 3 铺板至栏杆顶部的高度不应小于 1050mm;
- 4 挡脚板的宽度不应小于 75mm;
- 5 铺板与挡脚板之间的最大间隙为 6mm;
- 6 栏杆护腰应位于栏杆的 1/2 高度处;
- 7 栏杆立柱间距不得大于 2400mm;
- 8 平台及走道应能承受 5kN 的集中荷载;栏杆上部任意点应能承受任意方向 1kN 的集中荷载。

10.10.3 当需要到固定顶上操作时,应在固定顶周边设置栏杆,通道上设置防滑条或踏步板。

10.10.4 当抗风圈作为操作平台及走道使用时,在其周围应设置栏杆。

10.11 防雷、防静电接地及其他

10.11.1 油罐应按照有关标准规定设置防雷、防静电接地装置。

10.11.2 在罐壁下部宜设置沉降观测件。

10.11.3 在罐壁上易观察处,应设置铭牌。

11 预制、组装、焊接及检验

11.0.1 油罐的预制、组装、焊接、检查及验收,应符合本规范及现行国家标准《立式圆筒形钢制焊油罐施工及验收规范》GBJ 128 的要求。设计另有要求时,应在技术文件中明确。

11.0.2 材料代用,必须取得设计单位的同意。代用材料应与被代用材料具有相同或相近的化学成分、力学性能、交货状态、表面质量、检验项目和检验率,以及尺寸公差等。

11.0.3 油罐的梯子、平台、抗风圈、浮顶、固定顶等钢结构的安装,应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定。

11.0.4 焊接在罐壁上的所有构件,应在油罐试水前安装完毕;油罐防腐和保温,应在试水合格后进行。

11.0.5 设计温度低于或等于 -20°C 及标准规定的最低屈服强度大于 390MPa 的罐壁板、边缘板及罐壁开孔元件,不得采用锤击等强力手段组装,不得在其上锤印标记。

11.0.6 设计温度低于或等于 -20°C 和标准规定的最低屈服强度大于 390MPa 的罐壁板,不得直接焊接铭牌。

11.0.7 充水试验应注意试验用水的质量和试验持续的时间。当有可能对油罐造成腐蚀时,应采取可靠的防腐蚀措施。

11.0.8 标准屈服强度小于或等于 390MPa 、厚度大于 25mm 及标准屈服强度大于 390MPa 、任意厚度的罐壁板开孔焊缝,应在第一层焊完后,进行渗透检测,在最后一层焊完(对有延迟裂纹趋向的钢材至少要经过 24h)后,进行渗透或磁粉检测。有消除应力热处理要求时,最后一层渗透或磁粉检测应在热处理后、充水试验前进行。

11.0.9 射线检测的位置和数量应符合以下规定:

1 罐壁纵焊缝:

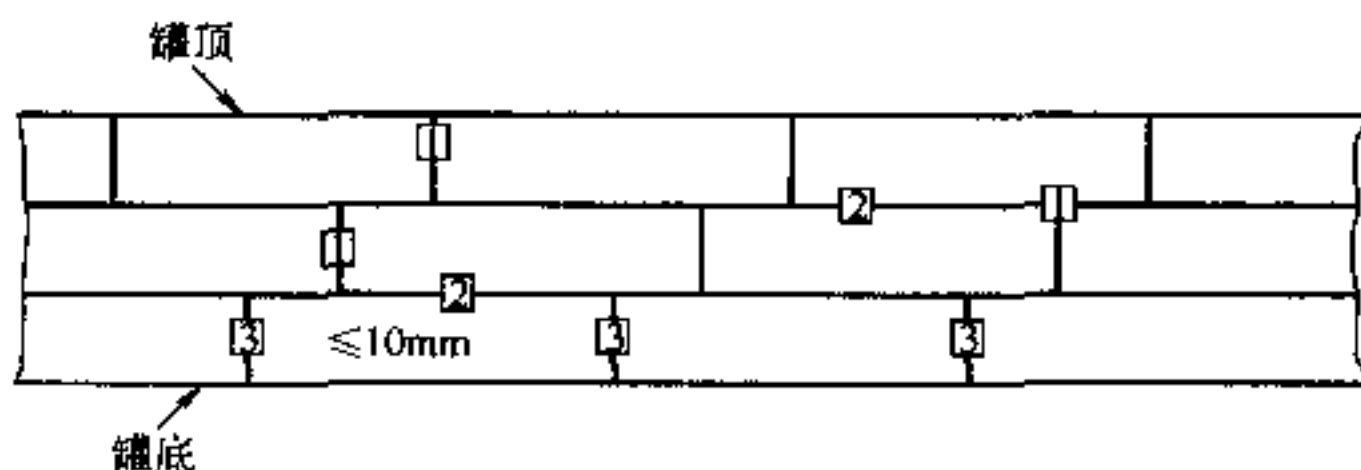
- 1) 当板厚小于或等于 10mm 时, 每一名焊工焊接的每一种板厚, 在最初 3m 内取 1 个射线检查点(不小于 300mm, 下同)。以后不考虑焊工人数, 每种板厚在每 30m 及其尾数内取 1 个射线检查点。选定的射线检查点至少应有 25% 位于纵缝和环缝的 T 形接头处, 且每台罐不少于 2 处。此外, 底圈罐壁每一条纵缝应任意取 1 个射线检查点[图 11.0.9(a)]。
- 2) 当板厚大于 10mm 小于或等于 25mm 时, 按上述 1) 项取射线检查点, 并对全部 T 形接头进行射线检测。此外, 底圈壁板每条纵缝取 2 个检查点, 其中 1 个应靠近罐底板[图 11.0.9(b)]。
- 3) 当板厚大于 25mm 时, 纵缝应 100% 进行射线检测, 全部 T 形接头应进行射线检测[图 11.0.9(c)]。

T 形接头的每一张照片, 应能显示交点两侧均不小于 50mm 长的环焊缝。

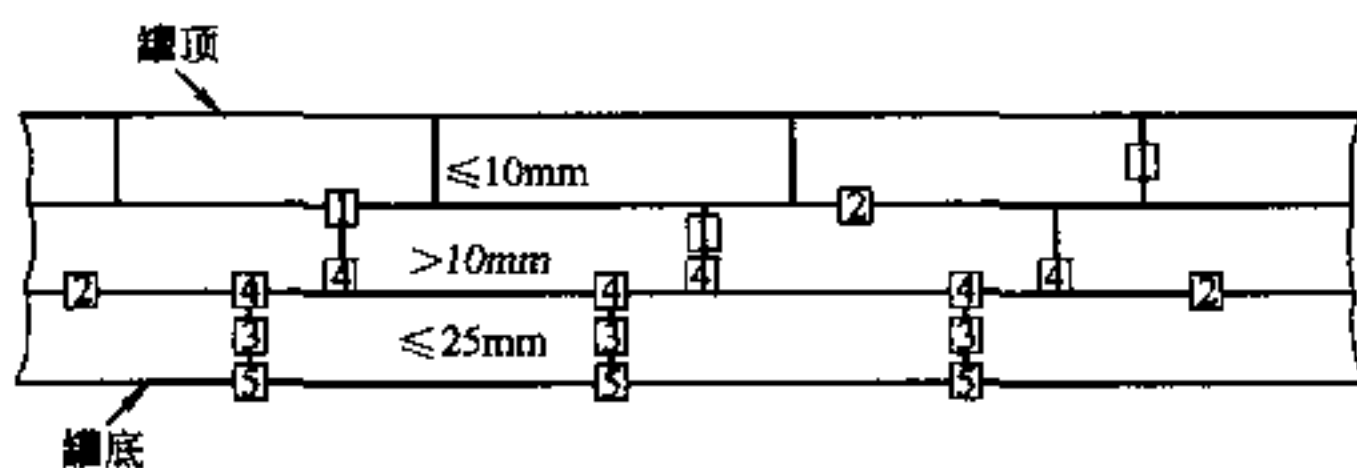
2 罐壁环焊缝:

每种板厚(以较薄的板厚为准)在最初焊接的 3m 焊缝内取 1 个射线检查点, 以后对每种板厚每 60m 及其尾数内取 1 个射线检查点(图 11.0.9)。上述检测均不考虑焊工人数。

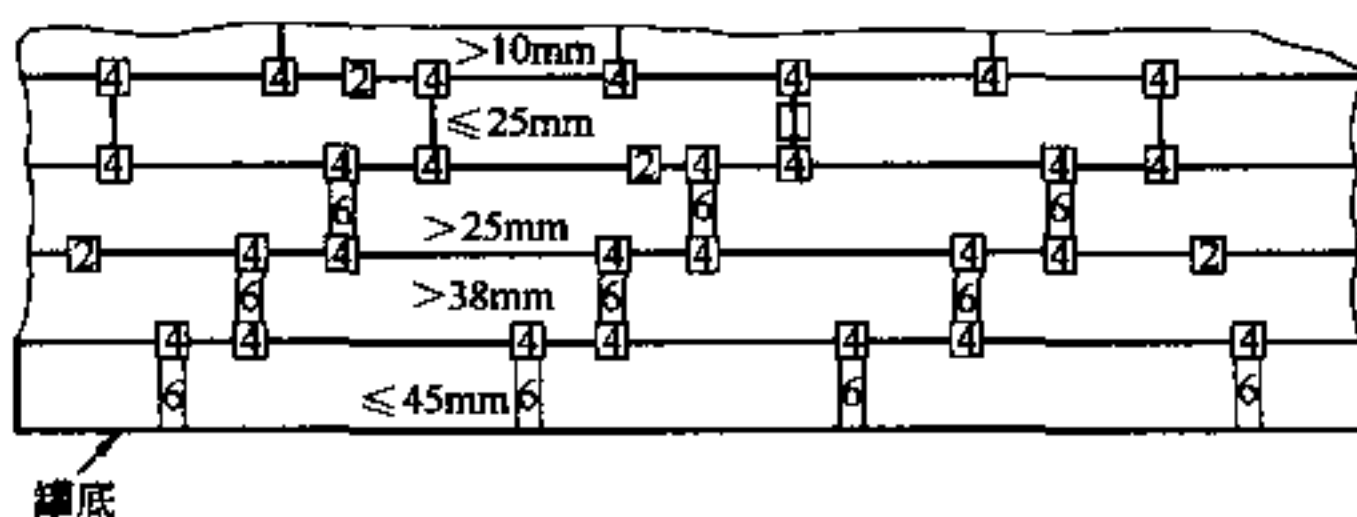
3 齐平型清扫孔组合件所在罐壁板与相邻罐壁板的对接焊缝, 应 100% 进行射线检测。



(a) 板厚 $t \leq 10\text{mm}$



(b) $10\text{mm} < \text{板厚 } t \leq 25\text{mm}$



(c) $25\text{mm} < \text{板厚 } t \leq 45\text{mm}$

图 11.0.9 罐壁焊缝射线照相要求

注:1 纵焊缝的射线检查点($t \leq 10\text{mm}$)。

2 环焊缝的射线检查点。

3 底层罐壁上纵焊缝的射线检查点($t \leq 25\text{mm}$)。

4 板厚大于 10mm 的所有 T 形接头上的射线检查点。

5 底层壁板厚度大于 10mm 的每条纵焊缝底部的射线检查点。

6 板厚大于 25mm 的所有纵焊缝要求 100% 射线探伤。

11.0.10 固定顶试验。 密闭油罐固定顶的焊缝, 应进行真空箱试漏或气密性试验。气密性试验压力: 常压油罐不应小于 0.35kPa , 且不得大于罐顶单位面积的重量; 非密闭油罐的固定顶, 应对焊缝进行目视检查, 可不作气密性试验。微内压油罐的试验要求, 应符合本规范附录 A 的规定。

附录 A 微内压油罐

A.1 一般规定

- A.1.1** 本附录适用于设计压力不大于 6kPa 的微内压油罐。
- A.1.2** 当罐内压产生的举升力不大于罐壁、罐顶及其所支撑构件的总重时,设计应符合本规范 A.2 至 A.6 的规定。
- A.1.3** 当罐内压产生的举升力大于罐壁、罐顶及其所支撑构件的总重时,设计尚应符合本规范 A.7 的规定。
- A.1.4** 当罐内压产生的举升力大于罐壁、罐顶及其所支撑构件的总重时,式(6.3.1-1)、式(6.3.1-2)中的计算液位高度,尚应加上由内压产生的当量液柱高度。
- A.1.5** 当设计温度大于 90℃时,尚应符合本规范附录 B 的要求。

A.2 通气装置

- A.2.1** 在正常使用状态下,应根据工艺要求设置呼吸阀。
- A.2.2** 在紧急状态下,当罐顶与罐壁连接结构不满足本规范第 7.1.6 条的弱连接条件,且所设置的呼吸阀不能满足通气要求时,尚应设置紧急通气装置。
- A.2.3** 紧急通气装置的设定压力,不应大于罐壁底部不被抬起的最大内压 P_{\max} ,且不得大于 0.8 倍的计算破坏压力 P_f 。

A.3 罐顶与罐壁的连接结构

- A.3.1** 罐顶与罐壁的连接结构应符合本规范图 7.1.5 的规定。
- A.3.2** 连接结构处有效截面积不应小于下式的计算值:

$$A = \frac{D^2 (P - 0.08t_h)}{1.1 \lg \theta} \quad (\text{A.3.2})$$

式中 A ——罐顶与罐壁连接处的有效截面积(mm^2),按本规范图 7.1.5 确定;

P ——设计压力(kPa);

t_h ——罐顶板有效厚度(m);

θ ——罐顶与罐壁连接处,罐顶与水平面之间的夹角。

A.3.3 当罐顶与罐壁的连接结构已确定时,微内压油罐的设计压力应按下式计算:

$$P = \frac{1.1A \tan \theta}{D^2} + 0.08t_h \quad (\text{A. 3. 3})$$

A.3.4 对于自支撑式锥顶和拱顶,有效截面积尚不应小于按本规范第 7.3.3 条和第 7.5.3 条计算出的有效截面积。

A.3.5 罐壁底部不被抬起的最大内压应按下式计算:

$$P_{\max} = \frac{0.00125m_t g}{D^2} + 0.08t_h \quad (\text{A. 3. 5})$$

式中 P_{\max} ——罐壁底部不被抬起的最大内压(kPa);

m_t ——罐壁和由罐壁及罐顶所支撑构件(不包括罐顶板)的总质量(kg);

t_h ——罐顶板有效厚度(m);

A.4 计算破坏压力

罐顶与罐壁的连接结构发生屈曲破坏的压力应按下式计算:

$$P_f = 1.6P - 0.047t_h \quad (\text{A. 4})$$

式中 P_f ——计算破坏压力(kPa);

t_h ——罐顶板有效厚度(m)。

A.5 试验与检查

油罐全部焊接完毕并经无损检验合格后,罐内应充水到最高设计液位,液面上加压至设计压力,稳压 15min;然后降至 1/2 倍的设计压力,检查所有焊缝,应无泄漏。通气装置的开启试验,可

同时进行或在罐体试压之后进行。

A.6 油罐锚固设计

A.6.1 当内压产生的举升力大于罐顶、罐壁及其所支撑的构件的总重时,油罐应加锚固。

A.6.2 锚栓和锚固附件的设计应满足下列要求:

1 锚栓的许用应力按表 A.6.2 选取。

表 A.6.2 锚栓的许用应力

荷 载 状 况	许 用 应 力
设计压力	$\frac{\sigma_s}{2}$
设计压力加风载或地震荷载	$\frac{2\sigma_s}{3}$
试验压力	$\frac{2\sigma_s}{3}$
1.5 倍计算破坏压力	σ_s

注: σ_s 为锚栓材料的标准屈服强度(MPa)。

2 所用锚栓公称直径不应小于 M24。当有腐蚀时,锚栓直径增加量不应小于 6mm。

3 锚栓不得直接安装在罐底板上,应通过刚性较大的垫板或固定环与罐壁相连接,并不应使罐壁产生过大的局部应力和变形。

4 油罐直径小于 15m 时,锚栓间距不得大于 2m;油罐直径大于或等于 15m 时,锚栓间距不得大于 3m。

5 锚固组合件,应在罐内充满水、水面上未加压前焊接在罐壁上;所有螺栓应均匀上紧,松紧适度。

6 锚固力应取下列工况举升力的最大值:

1)空罐时,1.5 倍设计压力与设计风压产生的举升力之和;

2)空罐时,1.25 倍试验压力产生的举升力;

3)储液在最高液位时,1.5 倍计算破坏压力产生的举升力。

A.6.3 锚固罐的试验与检验:

1 充水到最高设计液位,检查罐壁罐底的严密性以及锚栓的松紧程度。

2 在罐内液面上用空气加压至试验压力(1.25 倍的设计压力),稳压 15min,然后降至设计压力,检查罐体的严密性。

3 罐内的水放空后,在常压下检查锚栓的紧固性。

4 用空气充压至设计压力,检查锚固情况。

附录 B 提高油罐设计温度的附加要求

B.1 适用范围

B.1.1 本附录适用于设计温度大于 90℃,小于或等于 250℃的油罐。

B.1.2 本附录不适用于浮顶和内浮顶油罐。

B.2 提高设计温度的影响和附加要求

B.2.1 提高设计温度的影响。当设计温度大于 90℃时,应考虑以下影响:

1 罐壁与罐底、罐顶、梯子,罐顶与罐顶支撑,以及保温不连续处各部件之间的温度差;

2 罐底的热膨胀;

3 降温时储液凝固产生的影响,如储液凝固在罐顶支撑件上或堵塞通气孔等;

4 热应力的变化频率和幅度对油罐设计寿命的影响。

B.2.2 提高设计温度的附加要求:

1 罐壁人孔、罐壁接管和清扫孔的法兰、法兰盖以及清扫孔加强底板的厚度,应除以表 B.2.2 相应设计温度下屈服强度降低系数。

表 B.2.2 屈服强度降低系数

设计温度(℃)	最低屈服强度(MPa)		
	<310	≥310 且 <380	≥380
90	0.91	0.88	0.92
150	0.88	0.81	0.87
200	0.85	0.75	0.83
260	0.80	0.70	0.79

注:中间温度的屈服强度降低系数可采用内插法计算。

2 本规范第 7.2 节构件的许用应力,应乘以按表 B.2.2 确定的设计温度下材料的屈服强度与 210MPa 的比值(不得大于 1)。

3 本规范附录 A 式(A.3.2)、式(A.3.3)中的系数 1.1,应乘以设计温度下材料的屈服强度(MPa)与 210MPa 之比(不得大于 1)。

4 有保温的锚栓的许用应力,应为常温下的许用应力乘以表 B.2.2 设计温度下屈服强度降低系数。

5 自支撑式锥顶和自支撑式拱顶的顶板计算厚度,应为本规范式(7.3.2)和式(7.5.2)的计算值乘以常温与设计温度下钢材的弹性模量之比。

6 抗风计算中,罐壁的许用临界压力应乘以设计温度与常温下钢材的弹性模量之比。

7 适当增加环形边缘板的厚度和外接管道的温度补偿能力。

附录 C 带肋球壳拱顶计算

C.1 一般规定

C.1.1 密闭油罐拱顶带肋球壳的曲率半径不宜大于 40m。

C.1.2 肋条间距不得大于 1.5m。

C.1.3 肋条高厚比不宜大于 12。

C.2 许用外荷载

C.2.1 带肋球壳的许用外荷载应按下式计算：

$$[P]=0.0001E\left(\frac{t_m}{R_s}\right)^2\left(\frac{t_h}{t_m}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{C. 2. 1-1})$$

式中 $[P]$ ——带肋球壳的许用外荷载(kPa)；

E ——设计温度下钢材的弹性模量(MPa)；

R_s ——球壳的曲率半径(m)；

t_h ——罐顶板的有效厚度(mm)；

t_m ——带肋球壳的折算厚度(mm)。

带肋球壳的折算厚度应按式(C. 2. 1-2)~式(C. 2. 1-6)计算。

$$t_m=\sqrt[3]{\frac{t_{1m}^3+2t_h^3+t_{2m}^3}{4}} \quad (\text{C. 2. 1-2})$$

$$t_{1m}^3=12\left[\frac{h_1b_1}{L_{1s}}\left(\frac{h_1^2}{3}+\frac{h_1t_h}{2}+\frac{t_h^2}{4}\right)+\frac{t_h^3}{12}-n_1t_h e_1^2\right] \quad (\text{C. 2. 1-3})$$

$$t_{2m}^3=12\left[\frac{h_2b_2}{L_{2s}}\left(\frac{h_2^2}{3}+\frac{h_2t_h}{2}+\frac{t_h^2}{4}\right)+\frac{t_h^3}{12}-n_2t_h e_2^2\right] \quad (\text{C. 2. 1-4})$$

$$n_1=1+\frac{h_1b_1}{t_hL_{1s}} \quad (\text{C. 2. 1-5})$$

$$n_2=1+\frac{h_2b_2}{t_hL_{2s}} \quad (\text{C. 2. 1-6})$$

式中 t_{1m} ——纬向肋与顶板组合截面的折算厚度(mm);
 h_1 ——纬向肋宽度(mm);
 b_1 ——纬向肋有效厚度(mm);
 L_{1s} ——纬向肋在经向的间距(mm);
 n_1 ——纬向肋与顶板在经向的面积折算系数;
 e_1 ——纬向肋与顶板在经向的组合截面形心到顶板中面的距离(mm);
 t_{2m} ——经向肋与顶板组合截面的折算厚度(mm);
 h_2 ——经向肋宽度(mm);
 b_2 ——经向肋有效厚度(mm);
 L_{2s} ——经向肋在纬向的间距(mm);
 n_2 ——经向肋与顶板在纬向的面积折算系数;
 e_2 ——经向肋与顶板在纬向的组合截面形心到顶板中面的距离(mm)。

C.2.2 带肋球壳板应按图 C.2.2 配置。

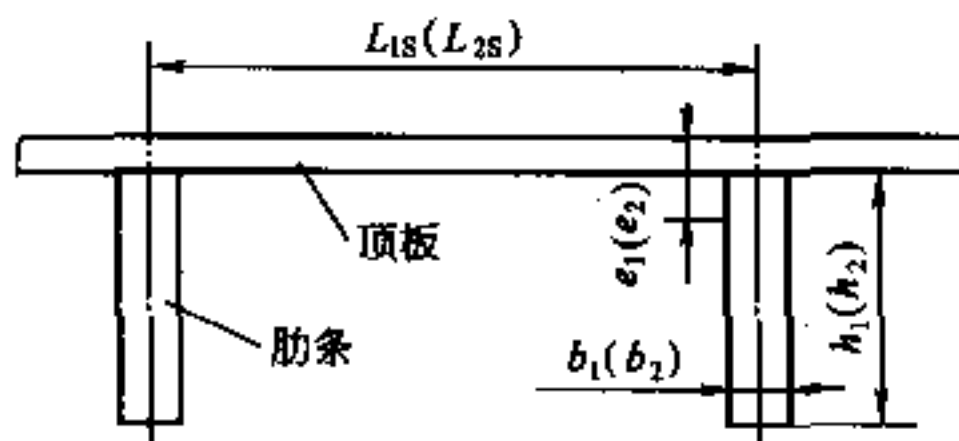


图 C.2.2 带肋球壳板

C.2.3 带肋球壳的稳定性应按式(C.2.3)验算。

$$P_L < [P] \quad (\text{C.2.3})$$

式中 P_L ——固定顶的设计外荷载(kPa),按本规范第 7.1.2 条确定。

C.2.4 罐顶与罐壁连接处的有效截面积应满足下式要求:

$$A \geq 4.6DR_s \frac{P_L}{2.2} \quad (\text{C.2.4})$$

微内压油罐尚应满足本规范附录 A 式(A. 3. 2)的要求。

C.3 带肋球壳的安装连接要求

C.3.1 带肋球壳顶板的连接应符合本规范第 7. 1. 4 条和第 7. 1. 5 条的规定。

C.3.2 肋条沿长度方向可拼接。采用对接时,焊缝应全焊透。采用搭接时,搭接长度不应小于肋条宽度的 2 倍,且应双面满角焊。

C.3.3 经向肋与纬向肋之间的 T 形接头应采用双面满角焊。

C.3.4 顶板与肋条的连接应采用双面间断焊,焊脚尺寸应等于顶板厚度。

C.3.5 肋条不得与包边角钢或罐壁相焊接。

附录 D 油罐抗震计算

D.1 适用范围

D.1.1 本附录适用于罐壁高度与直径比不大于 1.6, 且容积不小于 100m^3 的常压立式圆筒形钢制平底油罐的抗震计算。

D.2 设计准则

D.2.1 罐壁轴向压应力应小于许用临界压应力。

D.2.2 固定顶油罐和浮顶油罐的设计最高液位到罐壁上沿的距离应大于液面晃动波高。

D.2.3 内浮顶油罐在达到设计最高液位时, 浮顶周边最上缘到罐壁上沿的距离应大于液面晃动波高。

D.2.4 浮顶导向机构的设计应考虑在地震状态下不被卡住。

D.3 地震作用

D.3.1 计算地震作用时, 油罐的地震影响系数应根据建罐地区的抗震设防烈度、设计地震分组、场地类别和油罐基本周期, 按图 D.3.1 采用。抗震设防烈度及设计地震分组应按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 附录 A 采用, 场地类别应按业主提供的书面资料确定。

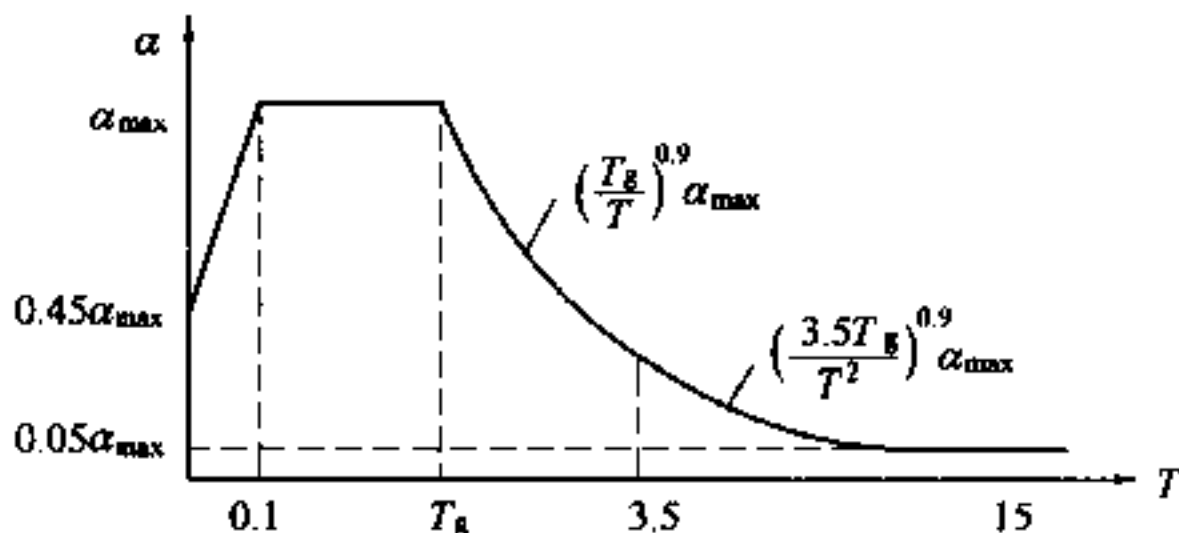


图 D.3.1 地震影响系数 α 曲线

T_g 为反应谱特征周期,按表 D. 3. 1-1 选取。

表 D. 3. 1-1 特征周期 T_g 值(s)

设计地震分组	场 地 类 别			
	I	II	III	IV
第一组	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.35	0.45	0.65	0.90

α_{\max} 为水平地震影响系数最大值,按表 D. 3. 1-2 选取。

表 D. 3. 1-2 地震影响系数最大值

设防烈度	7		8		9
设计基本地震加速度	0.1g	0.15g	0.2g	0.3g	0.4g
α_{\max}	0.23	0.345	0.45	0.675	0.90

T 为油罐基本周期。当计算罐壁底部水平地震剪力及弯矩时, T 采用罐液耦连振动基本周期 T_c ;当计算罐内液面晃动液高时, T 采用储液晃动基本周期 T_w 。

D. 3. 2 储罐的罐液耦连振动基本周期应按下式计算:

$$T_c = K_c H_w \sqrt{\frac{R}{\delta_3}} \quad (\text{D. 3. 2})$$

式中 T_c ——储罐与储液耦连振动基本周期(s);

R ——油罐内半径(m);

δ_3 ——罐壁距底板 1/3 高度处的有效厚度(m),即该处罐壁的名义厚度减去腐蚀裕量及钢板负偏差;

H_w ——油罐设计最高液位(m);

K_c ——耦连振动周期系数,根据 D/H_w 值由表 D. 3. 2 查取,中间值采用插入法计算;

D ——油罐内径(m)。

表 D.3.2 耦合振动周期系数

D/H_w	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
K_c	0.514×10^{-3}	0.44×10^{-3}	0.425×10^{-3}	0.435×10^{-3}	0.461×10^{-3}	0.502×10^{-3}
D/H_w	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
K_c	0.537×10^{-3}	0.58×10^{-3}	0.62×10^{-3}	0.681×10^{-3}	0.736×10^{-3}	0.791×10^{-3}

D.3.3 储液晃动基本周期应按下式计算：

$$T_w = K_s \sqrt{D} \quad (\text{D.3.3})$$

式中 T_w ——储液晃动基本周期(s)；

K_s ——晃动周期系数，根据 D/H_w 由表 D.3.3 查取，中间值采用插入法计算。

表 D.3.3 晃动周期系数

D/H_w	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
K_s	1.047	1.047	1.054	1.074	1.105	1.141
D/H_w	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
K_s	1.184	1.230	1.277	1.324	1.371	1.418

D.3.4 罐壁底部水平地震剪力应按下式计算：

$$Q_0 = 10^{-6} C_z \alpha Y_1 m g \quad (\text{D.3.4-1})$$

$$m = m_1 F_r \quad (\text{D.3.4-2})$$

式中 Q_0 ——在水平地震作用下，罐壁底部的水平剪力(MN)；

C_z ——综合影响系数，取 $C_z = 0.4$ ；

α ——地震影响系数，根据 T 值及反应谱特征周期 T_g 及地震影响系数最大值 α_{\max} 按图 D.3.1 采用，对于计算容量小于 10000m^3 的储罐可取 α_{\max} 。

Y_1 ——罐体影响系数，取 $Y_1 = 1.10$ ；

g ——重力加速度，取 $g = 9.81\text{m/s}^2$ ；

m ——产生地震作用的储液等效质量(kg)；

m_1 ——储罐内储液总量(kg)；

F_r ——动液系数，由 D/H_w 值按表 D.3.4 选取，中间值用

插入法计算。

表 D.3.4 动液系数

D/H_w	0.6	1.0	1.33	1.5	2.0	2.5	3.0
F_r	0.869	0.782	0.710	0.663	0.542	0.45	0.381
D/H_w	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	—
F_r	0.328	0.288	0.256	0.231	0.210	0.192	-

D.3.5 罐壁底部的地震弯矩应按下式计算：

$$M_1 = 0.45 Q_0 H_w \quad (\text{D.3.5})$$

式中 M_1 ——总水平地震作用在油罐底部所产生的地震弯矩 (MN·m)。

D.3.6 水平地震作用下,罐内液面晃动波高应按下式计算：

$$h_v = 1.5 \alpha R \quad (\text{D.3.6})$$

式中 h_v ——液面晃动波高(m)；

α ——地震影响系数,根据液体晃动基本周期 T_w 及地震影响系数最大值 α_{\max} 按图D.3.1选取。

D.4 罐壁许用临界应力

罐壁许用临界应力应按下式计算：

$$[\sigma_{cr}] = 0.15 E \frac{t}{D} \quad (\text{D.4})$$

式中 $[\sigma_{cr}]$ ——罐壁许用临界应力(MPa)；

E ——设计温度下罐壁材料的弹性模量(MPa)；

t ——底层罐壁有效厚度(m),即底层罐壁的名义厚度减去腐蚀裕量与钢板负公差之和。

D.5 抗震验算

D.5.1 地震作用下罐壁底部产生的最大轴向压应力应按下式计算：

$$\sigma_1 = \frac{C_v N_1}{A_1} + \frac{C_L M_1}{Z_1} \quad (\text{D. 5. 1})$$

式中 σ_1 ——罐壁底部的最大轴向压应力(MPa);

C_v ——竖向地震影响系数(7度及8度地震区 $C_v = 1$; 9度地震区 $C_v = 1.45$);

N_1 ——罐壁底部垂直荷载(MN);

A_1 ——罐壁横截面积(m^2), $A_1 = \pi D t$;

C_L ——翘离影响系数, $C_L = 1.4$;

Z_1 ——底圈罐壁的断面系数(m^3), $Z_1 = 0.785 D^2 t$ 。

D. 5. 2 罐壁轴向应力校核应满足下式要求:

$$\sigma_1 \leq [\sigma_{cr}] \quad (\text{D. 5. 2})$$

D. 6 附加要求

导向管与导向管套管上的钢盖板之间的允许最小间隙应按下式计算:

$$\Delta F > 2(\sqrt{R^2 + h_v^2} - R) \quad (\text{D. 6})$$

式中 ΔF ——允许最小间隙(m);

R ——油罐内半径(m);

h_v ——液面晃动波高(m)。

附录 E 油罐对地基和基础的基本要求

E.1 一般要求

E.1.1 罐址场地土层的物理力学性能指标,应在充分勘察和分析的基础上确定。

E.1.2 地基应能承受油罐自重及其所储存液体的荷载;基础的沉降不得造成连接管道的显著变形及影响油罐的安全使用和计量。

E.2 地基

E.2.1 当罐址属于下列情况时,应进行地基处理:

- 1 部分在山坡地上,部分在厚薄不均的回填土上;
- 2 在沼泽地及其回填土上;
- 3 存在会严重下沉的塑性粘土;
- 4 靠近水源或地下洞穴,可能产生横向稳定问题;
- 5 邻近的构筑物对罐基础下的土层承载力有严重影响;
- 6 遭受洪水时,可能受到冲刷,导致地基隆起、滑移;
- 7 地震时可能液化的饱和粘土和砂土。

E.2.2 地基处理方法:

- 1 除去不满足要求的土质,用致密的合乎要求的材料代替;
- 2 采用砂石桩排水挤密;
- 3 采用化学方法或注射水泥薄浆使软地基固化;
- 4 采用端承桩或摩擦桩支撑的承台基础;
- 5 振动压实或振动置换压实;
- 6 建罐前堆土或油罐建成后缓慢充水压实。

E.3 罐 基 础

E.3.1 一般规定:

1 基础顶部应采用沥青砂垫层,厚度不应小于 100mm;下部宜采用粗砂碎石垫层。

2 罐基础应有适当的排水和罐底泄漏检查措施。

3 罐内储存介质温度高于 90℃ 时,与罐底接触的基础表面应采取隔热措施。

4 大型油罐、罐壁高度较大的油罐和浮顶油罐,不宜采用无环梁砂石垫层基础。

E.3.2 钢筋混凝土环梁基础:

1 钢筋混凝土环梁基础宜符合图 E.3.2 的要求。

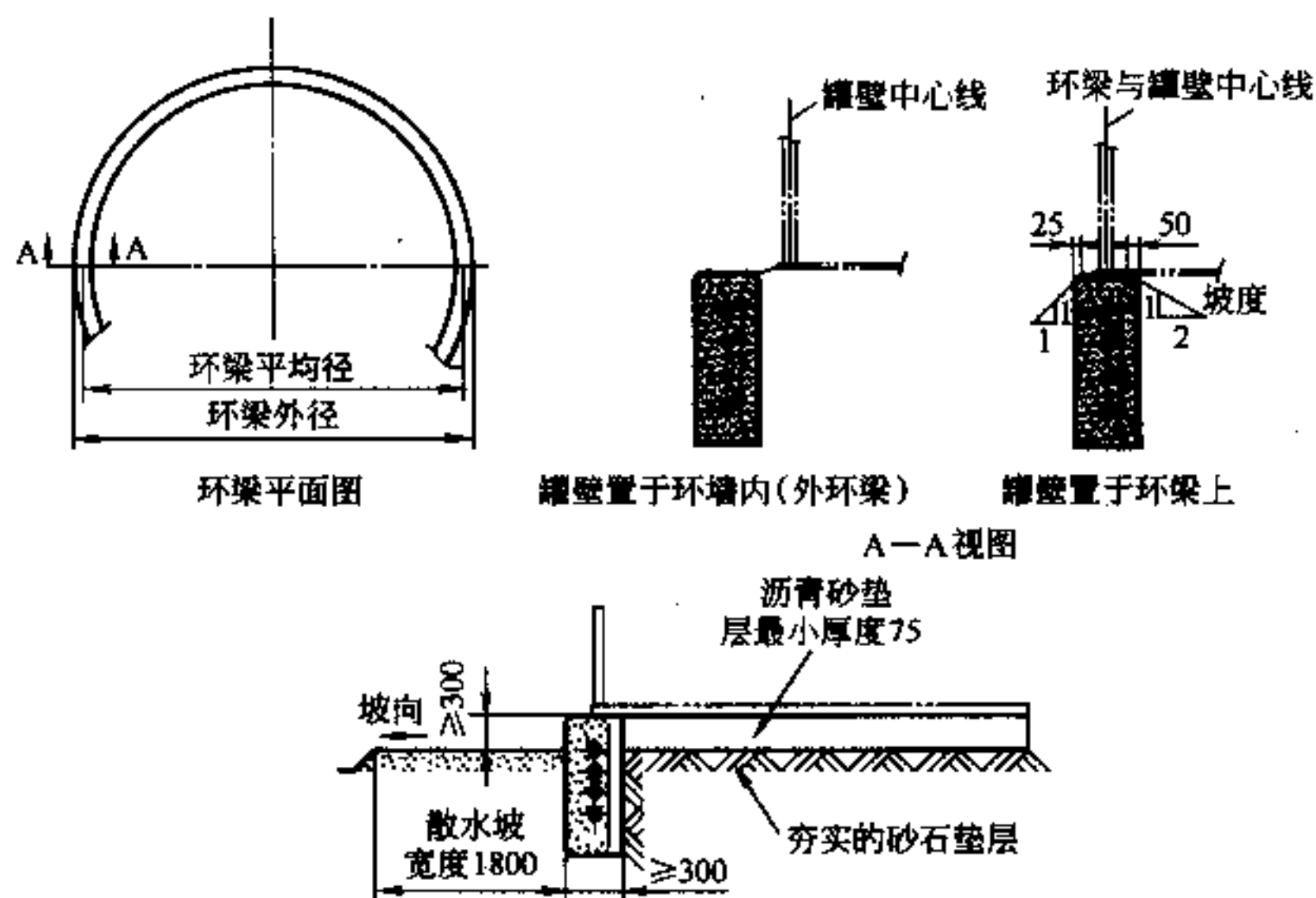


图 E.3.2 钢筋混凝土环梁基础

2 环梁厚度不应小于 300mm。当罐壁置于环梁之上时,环梁的平均直径应等于油罐的公称直径;环梁的深度应根据建罐地

区地基情况确定,不宜过深但必须在冰冻层以下。

3 环梁应能承受温差、回填材料、罐体及储液自重,以及风荷载或地震荷载的作用。

4 环梁环向配筋不应小于环梁纵向截面积的 2.5‰;竖向配筋不应小于环梁横向截面积的 1.5‰。

E.3.3 碎石环梁基础:

- 1 碎石环梁基础应符合图 E.3.3 的要求。
- 2 基础外围凸台和护坡应有防冲刷措施。

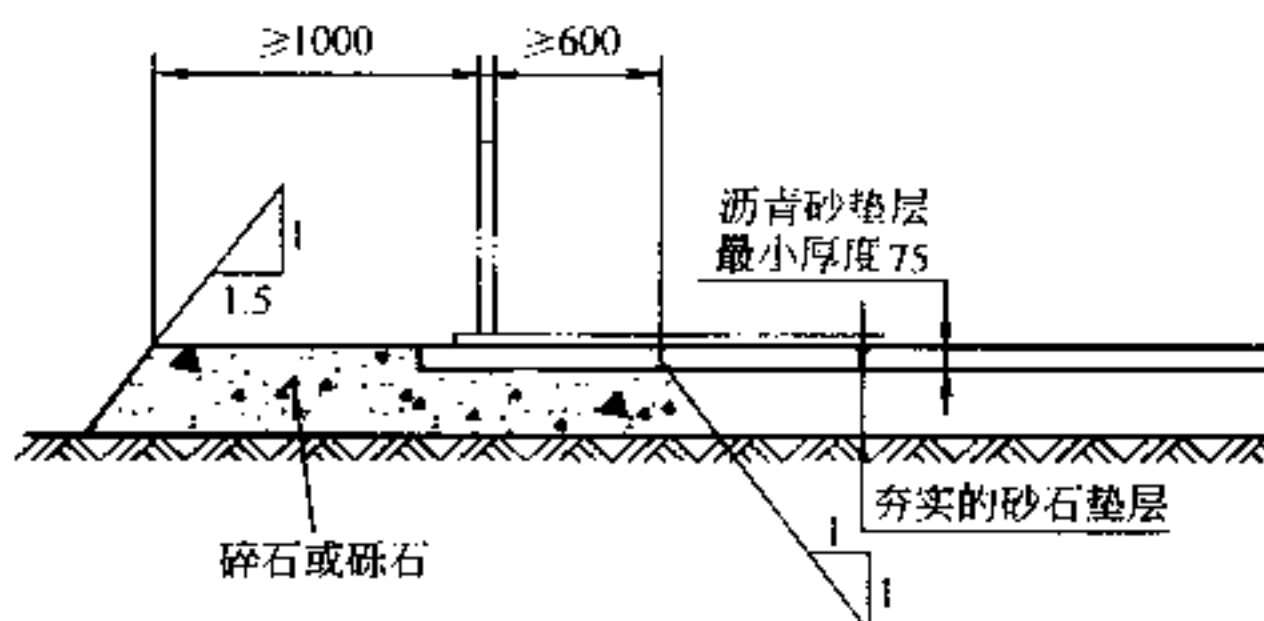


图 E.3.3 碎石环梁基础

E.3.4 无环梁砂垫层基础:

1 当地基能满足承载和沉降差要求时,可采用无环梁砂垫层基础。

2 地表上影响罐基础稳定的表层土应除去,回填土应夯实。

E.3.5 承台基础:

1 当地基承载能力不能满足要求时,可采用承台基础。

2 承台应能承受油罐作用在其上的全部荷载。

E.4 罐基础基本尺寸要求

E.4.1 基础中心坐标偏差不应大于±20mm;标高偏差不应大于±20mm。

E.4.2 罐壁处基础顶面的水平度:钢筋混凝土环梁基础,任意10m弧长上不应超过 $\pm 3.5\text{mm}$,在整个圆周上,不应超过 $\pm 6\text{mm}$;碎石环梁基础和无环梁砂垫层基础,任意3m弧长上不应超过 $\pm 3\text{mm}$,在整个圆周上,不应超过 $\pm 13\text{mm}$;承台基础,罐壁中心内外各150mm宽的环形面内,水平度要求同钢筋混凝土环梁基础。

E.4.3 基础表面的沥青砂垫层,在任意方向上不应有突起的棱角,从中心向周边拉线测量,表面凹凸度不应超过25mm。

E.4.4 基础锥面坡度由罐中心坡向周边时:一般地基不应大于15‰,软弱地基不应大于35‰,基础沉降基本稳定后,锥面坡度不应小于8‰。

E.4.5 罐基础直径方向上的沉降差,不应超过表E.4.5的许可值。支撑罐壁的基础部分不应发生沉降突变。沿罐壁圆周方向任意10m弧长内的沉降差不应大于25mm。

表 E.4.5 储罐基础径向沉降差许可值

外浮顶罐与内浮顶罐		固定顶罐	
罐内径 $D(\text{m})$	任意直径方向 最终沉降差许可值	罐内径 $D(\text{m})$	任意直径方向 最终沉降差许可值
$D \leq 22$	$0.007D$	$D \leq 22$	$0.015D$
$22 < D \leq 30$	$0.006D$	$22 < D \leq 40$	$0.010D$
$30 < D \leq 40$	$0.005D$	$40 < D \leq 60$	$0.008D$
$40 < D \leq 60$	$0.004D$	—	—
$D > 60$	$0.0035D$	—	—

E.4.6 基础沉降稳定后,基础边缘上表面应高出地坪不小于300mm。在地坪以上,基础应设置罐底泄漏信号管,其周向间距不宜大于20m,每台罐最少4个,钢管直径不宜小于DN50且不宜大于DN70。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”;反面词采用“不宜”。

表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国国家标准

立式圆筒形钢制焊接油罐
设计 规 范

GB 50341—2003

条 文 说 明

目 次

1	总 则	(97)
2	术语与符号	(98)
2.1	术语	(98)
2.2	符号	(98)
3	一般规定	(99)
4	材 料	(104)
4.1	一般规定	(104)
4.2	钢板	(105)
4.3	钢管	(113)
4.4	锻件	(113)
4.5	螺栓、螺母	(114)
4.6	结构型钢	(114)
4.7	焊接材料	(114)
5	罐底设计	(115)
5.1	罐底板尺寸	(115)
5.2	罐底结构	(118)
6	罐壁设计	(121)
6.1	罐壁排板与连接	(121)
6.2	罐壁包边角钢	(121)
6.3	罐壁厚度	(121)
6.4	顶部抗风圈	(126)
6.5	中间抗风圈	(128)
7	固定顶	(133)
7.1	一般规定	(133)

7.2	构件的许用应力	(134)
7.3	自支撑式锥顶	(134)
7.5	自支撑式拱顶	(134)
8	浮顶	(135)
8.1	一般规定	(135)
8.2	浮顶的结构与连接	(135)
8.5	紧急排水装置	(135)
9	内浮顶	(137)
10	附件	(138)
11	预制、组装、焊接及检验	(140)
附录 A	微内压油罐	(141)
附录 B	提高油罐设计温度的附加要求	(142)
附录 C	带肋球壳拱顶计算	(143)
附录 D	油罐抗震计算	(144)
附录 E	油罐对地基和基础的基本要求	(162)

1 总 则

1.0.2 标准适用范围。本规范的适用范围从以下 3 个方面进行了限定。

1 油罐类型,指立式圆筒形钢制焊接油罐。卧式罐、非圆筒形罐、罐体为非焊接结构的钢制油罐以及有色金属制作的油罐等,均不包括在本规范范围之内。地下洞库油罐,不属于特殊结构的,仍可执行本规范。

2 工艺条件,储存介质仅包括在常温常压条件下的液态石油、石化产品及其他类似液体,不包括 LPG 和 LNG 等介质。操作压力为常压或接近常压,对固定顶罐当满足本规范附录 A 的要求时,设计压力允许提高到 6kPa;最高设计温度为 90℃,当满足本规范附录 B 的要求时,可提高到 250℃;最低设计温度,可至 -20℃ 以下,但不适用于人工致冷的储罐。

3 油罐结构,仅包括罐主体及其附件。此附件仅指直接连接在罐主体上的工艺附件,消防、仪表等附属设施不包括在内。

2 术语与符号

2.1 术 语

为了方便设计、施工和管理,本规范给出了油罐部分常用术语的定义。术语定义,力求照顾习惯并与其他相关行业的定义(如GB 150)尽可能保持一致,以避免造成概念上的混乱。

2.1.1、2.1.2 罐底边缘板和中幅板。罐底边缘板受力复杂,设计和施工对其均有特殊要求,特分别定义。

2.1.3、2.1.4 定义了罐顶的两种基本形式,固定顶和浮顶。

2.1.5~2.1.10 油罐与钢制压力容器有某些相同或相似之处,同属储存容器,因而将设计压力、金属温度、设计温度及有关厚度等与钢制压力容器尽可能定义一致。

设计压力,定义为设定的油罐顶部气相空间的最高压力,这与过去油罐设计方面的习惯提法不同,只有设计内压而无设计外压的概念。

2.2 符 号

按照建设部《工程建设标准编写规定》要求,本规范将计算公式和图的符号分为三类:

- 1 作用及作用效应;
- 2 几何参数;
- 3 其他。

所用符号,尽可能与习惯用法保持一致。

3 一般规定

3.0.1 关于设计压力。对于固定顶,所谓接近常压,通常指内压不大于罐顶单位面积的自重,与 API 650、JIS B8501、BS 2654 等标准的规定基本相同,见表 1。

表 1 几个国家储罐标准规定的设计压力

序号	规范名称	设计压力
1	美国《钢制焊接油罐》API 650	正文:接近常压 附录 F:18kPa
2	日本《钢制焊接油罐结构》JIS B8501	常压,约为几十毫米水柱
3	英国《石油工业立式钢制焊接油罐》BS 2654	常压储罐:正压 7.5mbar 负压 2.5mbar 低压储罐:正压 20mbar 负压 6mbar 高压储罐:正压 56mbar 负压 6mbar
4	原联邦德国《地上圆柱形钢制储罐—基本计算方法》DIN 4119 1961	正压 500mm 水柱
5	我国《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规定》SYJ 1016—82	正压约为 200mm 水柱 负压约为 50mm 水柱
6	我国《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规定》SH 3046- 92	正压 6000Pa 负压 490Pa

对于所谓微内压的正压值界限:内压值大于单位面积罐顶自重,但不大于 6kPa;对于内压大于 6kPa 而小于约 18kPa 的油罐,目前使用经验还不太多,在规范的编写上尚存在一些问题,故参照国内外有关规范的习惯做法,暂未纳入。定义为微内压,以与 API 620 低压储罐相区别。

关于罐内油气空间的负压值,本规范按 API 650、JIS B8501 处理方式,不单独列出,包括在附加荷载之内,一般认为其值不得低于 -490Pa 。

3.0.2 关于设计温度。

1 最高设计温度:本规范正文规定最高设计温度应小于或等于 90°C 。当满足本规范附录 B 的要求时,设计温度允许提高到 250°C ,与 API 650 和 JIS B8501 的规定基本相同。

对外浮顶油罐和内浮顶油罐,受密封材料耐温性能的限制,其最高设计温度限定为 90°C 。有特殊要求时,应采用特殊材料,特殊对待。

2 最低设计温度:本规范规定油罐储存非人工致冷介质,通常又露天放置,因此在无保温和加热的情况下,其使用温度受环境温度影响。在寒冷季节里,罐体的金属温度通常介于环境温度与油品温度之间,而不会低于最低日平均温度。基于这一情况,传统的做法是在某一环境温度上加几度作为最低设计温度。国外规范通常取建罐地区最低日平均温度加 10°C 左右为油罐的最低设计温度,如美国 API 650、日本 JIS B8501 均加 8°C ,英国 BS 2654 加 10°C ,原联邦德国 DIN 4119 加 13°C 。我国标准 SYJ 1016—82 和 SH 3046—93 均规定最低设计温度为建罐地区最低日平均温度加 13°C 。本规范仍沿用这一规定,即最低日平均温度加 13°C 作为最低设计温度(见表 2),主要考虑:

1)国内使用经验。多年使用经验证明这样规定还是适当的,安全的。

2)如果要降低设计温度,譬如定为日最低平均温度加 10°C ,对于许多地区来说,过去不需要用低温钢板现在可能需要用低温钢板,势必引起建罐的费用增加。

3)但这样规定,少数地区最低设计温度仍然在 -20°C 以下,如西北和东北的一些地区。如要再降低最低设计温度界限,缺乏依据。考虑到在这些地区目前建无加热无保温的大型油罐的可能性

较小,由于受热处理条件的限制,本规范表 4.2.1 规定,设计温度低于或等于 -20°C 时,板厚不超过 16mm,不可能建较大型的罐。建不加热不保温的轻质成品油罐,一般容量不大,即使使用低温钢也不会对建罐费用产生较大的影响。除了可用低温材料之外,某些材料尚可用于低温工况,如本规范第 4 章,就规定了 15MnNbR 只要满足低温冲击要求,就可以用于 -20°C 以下。

表 2 几个国家油罐标准规定的最低设计温度

序号	规 范 名 称	最低设计温度
1	美国《钢制焊接油罐》API 650—98(第 10 版)	最低日平均温度加 15°F (约 8°C)
2	日本《钢制焊接油罐结构》JIS B8501 95	最低日平均温度加 8°C
3	英国《石油工业立式钢制焊接油罐》BS 2654	最低日平均温度加 10°C
4	原联邦德国《地上圆柱形钢制储罐—基本计算方法》DIN 4119-1961	最低日平均温度加 13°C
5	我国《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规定》SYJ 1016 82	最低日平均温度加 13°C
6	我国《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》SH 3046-92	最低日平均温度加 13°C

对于无加热的油罐,确定最低日平均温度,应取建罐地区尽可能长时间里的气温记录。建罐地区无记录时,应向距建罐地区最近的气象台站查询;附近气象台站无此记录或资料不全时,可参考表 3。

表 3 国内最低日平均温度低于 -20°C 的气象台站及数据摘要

地 名	气象台站位置		最低日平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)
	北纬	东经	
黑龙江 爱辉	$50^{\circ}15'$	$127^{\circ}27'$	-36.1
伊春	$47^{\circ}43'$	$128^{\circ}54'$	-37.0

续表 3

地 名	气象台站位置		最低日平均温度 (℃)
	北纬	东经	
齐齐哈尔	47°23'	123°55'	-32.0
鹤岗	47°22'	130°20'	-30.0
佳木斯	46°49'	130°17'	-33.7
安达	46°23'	125°19'	-33.7
哈尔滨	45°41'	126°37'	-33.0
牡丹江	44°34'	129°36'	-31.0
吉林			
吉林	43°57'	126°58'	-33.8
长春	43°54'	125°13'	-29.8
通辽	43°36'	122°16'	-25.1
延吉	42°53'	129°28'	-25.7
通化	41°41'	125°54'	-29.7
辽宁			
赤峰	42°16'	118°58'	-24.7
沈阳	41°46'	123°26'	-24.4
丹东	40°03'	124°20'	-20.7
新疆			
阿勒泰	47°44'	88°05'	-39.1
塔城	46°44'	83°00'	-33.3
克拉玛依	45°36'	84°51'	-32.8
伊宁	43°57'	81°20'	-34.0
乌鲁木齐	43°47'	87°37'	-33.3
哈密	42°49'	93°31'	-26.4
铁干里克	40°38'	87°42'	-22.5
甘肃			
老东庙	42°13'	101°22'	-30.2
酒泉	39°46'	98°31'	-23.3
宁夏			
银川	38°29'	106°13'	-24.9

续表 3

地 名	气象台站位置		最低日平均温度 (℃)
	北纬	东经	
青海			
西宁	36°37′	101°46′	-20.3
格尔木	36°25′	94°54′	-23.0
陕西			
榆林	38°14′	109°42′	-25.7
内蒙古			
海拉尔	49°13′	119°45′	-42.5
乌里雅斯太	45°31′	116°58′	-32.0
锡林浩特	43°57′	116°04′	-32.5
二连浩特	43°39′	112°00′	-34.5
虎勒盖尔	42°12′	106°00′	-25.9
呼和浩特	40°49′	111°41′	-21.6

3.0.4 关于荷载。油罐所受荷载主要有：

- 1 设计压力；
- 2 液柱静压力；
- 3 油罐自重；
- 4 雨雪荷载、风荷载及地震荷载；
- 5 来自连接管道或其他部件的作用力。

对于高温罐，还应该考虑较高温度和变形引起的附加荷载。

3.0.5 壁厚附加量按有关标准选取。

4 材 料

4.1 一 般 规 定

4.1.1 油罐是存储石油和石化产品的重要设备。由于其存储容量大和存储介质的易燃易爆特性,正确的设计、精心的施工,对于油罐的安全使用具有重要的意义,而适当的材料选择,又是正确设计的重要内容。本条提出材料选择的两大原则,一为安全可靠,二为经济合理。一台油罐存储油品,少则数百立方米,多则数万乃至十几万立方米,一旦发生破坏,损失极大,后果严重。因此油罐的设计,在安全可靠的前提下,应尽可能地节省材料,降低工程造价。

油罐材料的选用主要应考虑以下几方面:

- 1 设计温度:气温条件、有无保温、有无加热;
- 2 存储介质:油品的物性,油品的腐蚀性;
- 3 材料的使用部位:使用部位不同,受力状况不同,腐蚀特性也不同;
- 4 材料的化学成分、力学性能、焊接性能及低温冲击性能。

4.1.3 新研制材料的使用,应采取慎重态度,未经充分的调查研究、试验和论证,不应首先应用于油罐上,尤其是大容量的油罐上。

4.1.4 随着国家的对外开放以及油罐的大型化,国外钢材,尤其是某些高强度优质钢材,已经为我国油罐建造所采用。本条对国外钢材的使用,提出了限制性要求,即所选用的国外钢材,应是国外油罐标准所允许使用的钢材,并不应超出国外相应油罐规范所规定的使用范围。

近年来,日本的油罐建设发展较快,其罐壁由刚度条件决定的部分一般采用 SS400(《一般构造用压延钢》JIS B3101);由强度决

定的部分,小于 2 万 m^3 的油罐,一般采用 SM400(JIS B3106),其中以 SM400B 和 SM400C 用的较多。更大的油罐,多采用 SPV360、SPV490Q 及 HW50。钢号 SPV $\times\times\times$,SPV 表示压力容器用钢(Structure Pressure Vessel), $\times\times\times$ 表示材料的屈服强度值(MPa);钢号 HW $\times\times$,H 代表高强度钢(High Strength Steel),W 代表焊接结构(Welding Structure),后面的两位数字为材料的屈服强度值(kgf/mm²)。SS400 大约相当于我国的 Q235-A·F,SM400 相当于我国的 20R,SPV360 与我国的 16MnR 相近。SPV490Q 与我国近几年来新研制成功的 12MnNiVR 相近。以上提到的日本钢材在我国建造的油罐上均有应用,尤其是 SPV 型钢材应用较多。 2 万 m^3 的油罐一般用 SPV355, $5 \text{ 万} \sim 10 \text{ 万 m}^3$ 油罐一般用 SPV490Q。据了解,到目前为止国内建造的 10 万 m^3 油罐大都采用 SPV490Q。

4.2 钢 板

由强度条件决定的罐壁部分,罐底边缘板及罐壁开孔补强用钢板,是油罐的主要受力部件,从焊接考虑,应尽可能选择同一材料。罐顶、罐壁顶部及其他部件大多数由刚度条件所决定,在选材要求上可以放宽一些。

1 钢板选用,主要应考虑以下 3 项基本要求:

1)强度。油罐的罐壁为圆筒形,除微内压固定顶油罐有较低内压之外,罐壁主要承受静液压。力学分析和实测证明,罐壁主要承受环向应力。静液压由上到下逐渐增大,呈三角形分布,故罐壁厚度也由上至下逐渐增厚,且油罐越大罐壁越厚。因此,所用材料的许用应力成为制约油罐设计和影响建罐费用的决定性因素。钢材的强度越高,所用钢材越省。如 16MnR 与 20R 相比,屈服强度大约高 30%,建罐费用大约可节省 15%,故采用强度较高的钢材比较经济。另外,罐壁有最大允许厚度的限制,要想建造更大型的油罐,就必须进一步提高材料的强度。美国石油协会规范

API 650—98,规定壁板的最大允许厚度为 1.75 英寸(约 45mm);日本油罐规范 JIS B8501—95 规定低碳钢为 38mm,高强度钢为 45mm。API 650 罐壁用钢板最大屈服强度为 60000 磅/平方英寸(约合 420MPa),日本油罐使用的高强度钢最大屈服强度为 490MPa。

钢材强度的增加往往会影响到钢材的可焊性和容易产生脆性破坏。到目前为止,尚未把强度指标提得更高,还不能使用抗拉强度大于或等于 700MPa 的钢种。

2)可焊性。钢材的可焊性,通常用碳当量表示。对于高强度调质钢,有时也对冷裂纹敏感系数 P_{cm} 提出限制。

碳当量的计算方法和限定值,各国规范并不完全一致。

英国油罐规范 BS 2654 对碳当量的要求比较严格,该规范规定炉前分析碳当量按下式计算:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \quad (1)$$

不同的钢板厚度,有不同的 C_{eq} 允许值:

当钢板厚度为 20~25mm 时,不超过 0.43%;

当钢板厚度大于 25mm 时,不超过 0.42%。

日本规范对 C_{eq} 的要求比英国宽, C_{eq} 按下式计算:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (2)$$

对于 HW50,要求 C_{eq} 值不超过 0.46%。

对于 SPV490Q,要求 C_{eq} 值不大于 0.47%。

对 C_{eq} 的要求又与现场焊接条件有关,如焊接环境气温高,预热条件控制得好,则 C_{eq} 可略高些,否则 C_{eq} 值应略低些。

3)冲击韧性。油罐破坏造成灾难性后果的往往是罐体的脆性破坏。油罐脆性破坏在历史上并不罕见。1925 年美国曾发生过一起油罐破裂事故。当时发现,由断口看材料呈脆性,但对同一金属的拉伸试验则呈塑性,且化学成分均未超过规定的指标。1952

年英国有 2 台 2 万 m^3 油罐在试水时发生了破裂。1974 年,日本水岛炼厂一台 5 万 m^3 油罐由罐壁与罐底边缘板之间的角焊缝处断裂,储液由此处冲出,冲破防火堤,污染了近 15 万 m^2 地面并有 7500~9500 m^3 的油流入海中,这次共跑油 42888 m^3 ,造成极大损失。我国国内也曾多次发生过油罐破裂事故。

日本在水岛炼厂 5 万 m^3 油罐发生破裂事故以后,成立了专门的调查委员会,分析事故原因,总结经验教训。这些经验和教训反映在日本油罐规范 JIS B8501—79 版对 JIS B8501—76 版在材料方面选择的较大修改上,79 版(及以后的版本)规定只允许使用最小拉伸强度不大于 620MPa 左右的钢材。

钢材的韧性与材料的强度、钢板的厚度以及使用温度等有关。一般来说,材料的强度等级越高,需提供的韧性指标越高。温度越低,材料能够提供的韧性指标越低。板材厚度的增加促使产生脆性断裂。因此,在选择材料时应根据不同的情况,对材料提出不同的韧性指标要求。材料的强度等级高,冲击功中和断裂无关的成分(譬如消耗于弹性变形的功值)越多,因而,要求有较高的冲击功值;温度越低越容易产生脆性破坏,所以对设计温度较低的罐壁,要求材料在低温下仍有较高的冲击韧性;钢板厚度越大,越容易产生三向拉伸应力,致使脆性破坏,所以一定厚度的钢板,在不太低的设计温度下也要求做冲击试验。薄钢板冲击韧性好,是因为薄钢板停轧温度低,冷却速度快,可获得较细的晶粒;而厚钢板停轧温度高,冷却速度慢,晶粒较粗,且容易产生缺陷。日本油罐规范 JIS B8501 规定公称厚度不大于 6mm 时,无论何种材料和无论何种应力,不进行冲击试验即可使用的最低金属温度可达 -20°C 。甚至有的资料认为,相当于 SS41 的沸腾钢,厚度不大于 16mm,在温度不低于 -29°C 条件下使用时,也可以不做冲击试验。对薄板不要求做冲击试验,除其韧性好外,还和有缺陷时不易形成三轴拉伸应力有关。

世界各国对罐壁用钢板冲击韧性的要求大致相同,美国

API 650采用钢种分类图示法,日本 JIS B8501 采用列表法,限制不同钢种在不同厚度下的使用温度。英国油罐规范 BS 2654 根据强度等级将材料分为三类:

①材料抗拉强度等级为 43kgf/mm^2 或更低(相当于我国的 Q235),当 $t \leq 12.5\text{mm}$ 时,可以不做冲击试验;当 $t > 12.5\text{mm}$ 时,应做夏比 V 形缺口冲击试验。试验温度按图 1 选取。在该温度下要求的夏比冲击值 $A_{kv} \geq 27\text{J}$ 。

②材料抗拉强度等级为 43kgf/mm^2 至 50kgf/mm^2 (如我国的 16MnR 钢):当 $t \leq 12.5\text{mm}$ 时,可以不做冲击试验;当 $t > 12.5\text{mm}$ 时,应做夏比 V 形缺口冲击试验。试验温度按图 1 选取。在该温度下要求的夏比冲击值 $A_{kv} \geq 41\text{J}$ 。

③材料抗拉强度等级大于 50kgf/mm^2 (如我国的 15MnVR 钢):任何厚度均需进行冲击试验。试验温度按图 1 选取。在该温度下要求的夏比缺口冲击值 $A_{kv} \geq 41\text{J}$ 。

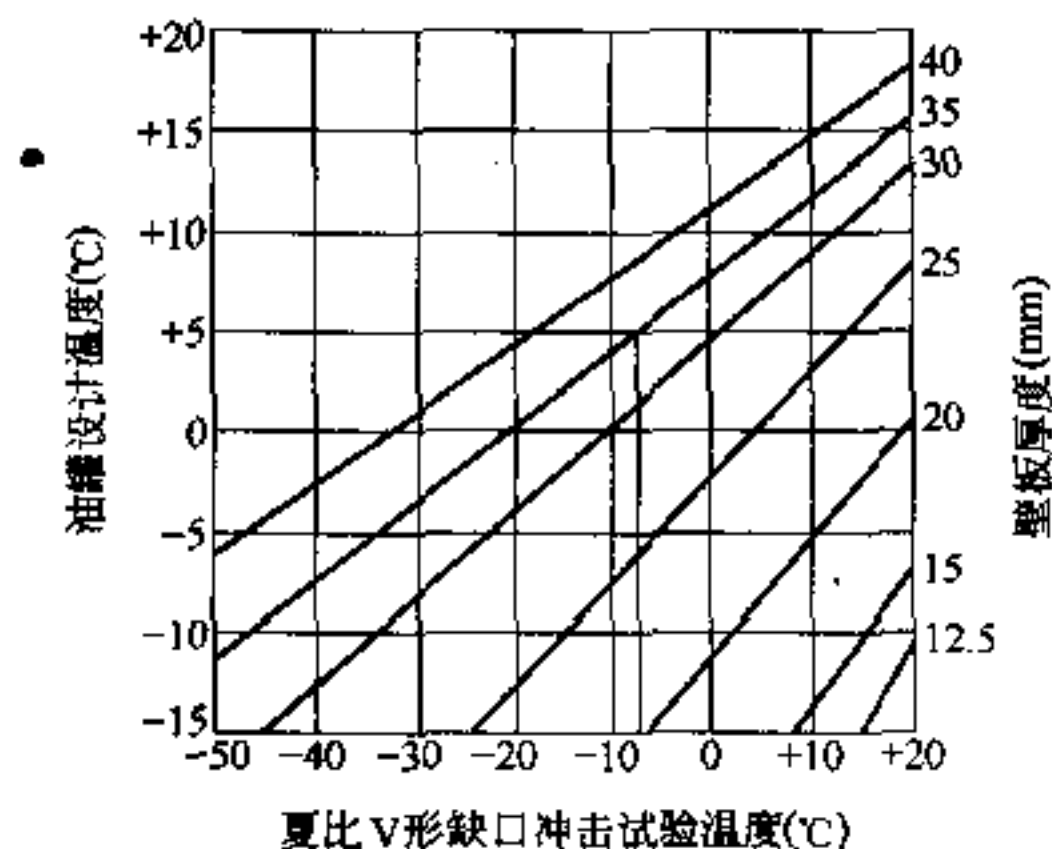


图 1 夏比 V 形缺口冲击试验温度图

由图 1 可以看出,对于同一种材质,在同样的设计温度下,板材越厚,要求的冲击试验温度越低。例如设计温度等于 0°C 时:

板材厚度(mm)	夏比 V 形缺口冲击试验温度(℃)
$t=40$	-31
$t=35$	-20
$t=30$	-12
$t=25$	3
$t=20$	19

由图 1 还可以看出,对同一种材质,同样的厚度,设计温度越低,冲击试验温度也越低,例如壁板厚度等于 25mm 时:

设计温度(℃)	冲击试验温度(℃)
-15	-26
-10	-17
-5	-7
0	3

综上所述,可见钢材的冲击韧性是一项极为重要的指标,参照 GB 150—98,本规范在低温性能方面提出了一些要求。对由强度所决定的罐壁板和边缘板、补强板等重要部件的要求,与压力容器相近。油罐虽然压力不高,但应力不低,尤其是开口接管附近、清扫孔以及大脚焊缝等部位,应力分布十分复杂,故不宜降低要求。油罐一旦发生脆性破坏,后果不堪设想,造成的损害不会比压力容器小。从这一想法出发,参考国内外标准,本规范做出了 4.2.5 条规定。冲击试验温度和冲击功值与国外规范及 GB 150—98 要求基本相同。GB 150—98 以无延性转变温度(NDT)作为塑脆转变温度,相对讲,要求不算高。但经多年实践经验证明,以此温度的横向取样试件的冲击值控制起裂,仍是可行的、可靠的。

2 罐壁及罐底边缘板等,本规范共列入 12 个钢号。属于沸腾钢的 1 个,其余均为镇静钢;镇静钢中普通碳素钢 3 个,优质碳素钢 1 个,低合金钢 7 个(其中低温用钢 2 个)。这 12 个钢号分别为 Q235-A·F、Q235-A、Q235-B、Q235 C、20R、Q345-B、Q345-C、

16MnR、16MnDR、15MnNbR、12MnNiVR、07MnNiCrMoVDR。国内新研制的屈服强度达 490MPa 的 WH610D2 钢,具有优良的综合机械性能,已作为主要板材用于 100000m³ 油罐,在北京燕山石化建成投产,在高强度钢国产化方面,迈出了可喜的一步。此种钢已纳入国标,新牌号为 12MnNiVR。

参考压力容器的相应规定,结合油罐的设计使用经验,本规范中对钢板的使用范围限制如下:

1)普通碳素钢板。沸腾钢板 Q235-A·F:许用温度可达到 -20℃以上;但当使用温度低于 0℃时,只能用于低应力状态或由刚度条件决定的罐壁板部分。罐顶板以及中幅板,一般应力值都很低,基本上不存在强度问题,所以可以使用;边缘板局部弯曲应力值很高,甚至远大于罐壁板中的环向应力,且存在疲劳问题,故在低温下不能使用。沸腾钢分层比较严重,尤其是厚钢板,越厚分层越严重,据有关资料介绍,厚度大于 16mm 时,问题很突出,厚度小于 16mm 时,问题要少一些,而厚度小于或等于 12mm 时,分层问题就更少了。随着钢板厚度的增加,沸腾钢内部出现缺陷的可能性增大,钢厂不提供冲击韧性,因此对其使用厚度规定不大于 12mm。

碳素镇静钢板 Q235-A、Q235-B、Q235-C:有害杂质含量各自已有不同的控制指标,特别是 Q235-C,P、S 含量已比较低,故根据不同情况,有不同的厚度限制,温度控制,以及冲击试验要求。

2)优质碳素钢板 20R。许用温度大于 -20℃;钢板使用厚度不大于 34mm。当设计温度低于 0℃,厚度大于 25mm,或设计温度低于 -10℃,厚度大于 16mm 时应做设计温度下的冲击试验。

3)低合金钢板。16MnR:许用温度大于 -20℃;钢板使用厚度不大于 34mm。当设计温度低于 -10℃,厚度大于 20mm 时应做设计温度下的冲击试验。

15MnNbR:为武钢近年来研制的一种性能优良的新钢种,其焊接性能与 16MnR 相近,但强度和韧性都优于 16MnR,尤其是有

较好的低温性能,已正式作为压力容器用钢列入 GB 6654,其使用范围同 16MnR。

12MnNiVR:许用温度 $>-20^{\circ}\text{C}$;为武钢近年来研制的一种性能优良的高强度调质钢板,其性能与 SPV490 相当,已列入《压力容器用高强度调质钢板》GB 19189。根据使用情况,本规范暂确定最大允许使用厚度不超过 34mm,当通过论证及严格的工艺评定后,再适当提高。

07MnNiCrMoVDR:为武钢近些年来研制的新钢种,已大量应用于大型球形储罐,和 07MnNiCrMoVR 一起已正式作为压力容器用钢纳入 GB 19189 和 16MnDR 一样,属于低温用钢。

关于 16MnDR、07MnNiCrMoVDR 低温用钢:由表 3 国家气象台提供的气象资料可以看出,我国仍有一些地区的设计温度在 -20°C 以下。无论是 SYJ 1016 还是 SH 3046,都没有列入低温用钢。本规范初次将低温用钢列入了油罐设计规范。低温用钢在压力容器方面已有将近 20 年的应用历史,已经很成熟,产品供应据了解也不成问题。本规范共列入两个钢号:16MnDR 和 07MnNiCrMoVDR。此外,15MnNbR 的低温韧性也不错,在 -20°C 的冲击值为 34J,对于油罐设计所谓低温就国内的情况来说并不太低,一般在 -25°C 以上,因此只要所用材料能通过低温冲击试验,可以代替低温钢使用。

关于夏比 V 形缺口冲击试样的取样方向,本规范规定为横向取样。国外有关规范的规定不尽相同,美国 ASME 规定横向取样,ASTM 规定既可以纵向取样,也可以横向取样;而日本和英国标准规定为纵向取样。横向取样更安全,我国压力容器规范规定为横向取样。

由前述可知,随着钢材强度的提高,相应所需的冲击功值也高,且容易有缺陷,容易产生脆性断裂,因而在施工、检验诸多方面要求都更高,无论是 API 650 还是 JIS B8501 对此都有相应规定。本规范 10.2.9 条关于消除应力热处理等多处规定以标准规定的

最低屈服强度 390MPa 为界。按 390MPa 划分,低合金钢 16MnR、15MnNbR 在界限之下,16MnR 的使用经验证明,暂不提高要求应该是可以的。本规范分界线定在 390MPa 与 GBJ 128—90 的要求保持一致。

4.2.2 确定许用应力值所考虑的主要因素如下:

- 1 材料的性能、检验项目及材料的质量;
- 2 荷载的性质及特点;
- 3 计算公式的准确性;
- 4 安装制造误差;
- 5 设备的重要性;
- 6 其他不确定因素。

BS 2654 规定:取钢材最小屈服强度的 $2/3$ 作为许用应力,即 $n_s = 1.5$,且在任何情况下许用应力不得超过 260MPa,以此对高强度钢的许用应力加以严格限制。

API 650 规定:操作条件下的许用应力取 $2/3$ 屈服强度和 $2/5$ 抗拉强度的较小值,即 $n_b = 2.5$, $n_s = 1.5$;充水试验条件下的许用应力取 $3/4$ 屈服强度和 $3/7$ 抗拉强度中的较小值,亦即 $n_b \approx 2.33$, $n_s \approx 1.33$ 。用以上两种条件下的许用应力分别代入罐壁厚度计算公式进行计算,取较大值。

JIS B8501 规定许用应力为 0.6 倍最小屈服强度,即 $n_s \approx 1.67$ 。

我国的油罐设计规范(行业标准)SYJ 1016 和 SH 3046 均规定:许用应力取 $2/3$ 倍的材料标准屈服强度,即 $n_s = 1.5$ 。SH 3046 对最大许用应力做了限制,不得大于 260MPa,与 BS 2654 相同,限制了高强度钢的使用。

按 API 650,在材料的屈强比较小时,许用应力由屈服强度决定,屈强比较大时,由拉伸强度决定。英国和我国的行业设计规范相同,许用应力由屈服强度决定,取 $n_s = 1.5$,比日本规范的取值略小。但不能仅从许用应力取值的大小判定其安全程度,焊接接

头系数等参数的取值也同样影响壁厚的计算值,因此需全面比较。经综合考虑,确定本规范许用应力取 $2/3$ 倍钢材的标准屈服强度,与 BS 2654 相同,符合国内油罐设计习惯做法。

4.2.3 罐壁用钢板的最大厚度,根据使用经验,并参考国外标准和 GB 150 的规定,确定了各自的许用厚度,但最大不大于 45mm。对于新研制的高强钢 12MnNiVR,因为使用经验还不多,仍暂定为不大于 34mm。低温钢,沿用 GB 150 的规定,焊后不热处理时,最大厚度为 16mm。

4.2.4 随着厚度的增加,热轧钢板的综合力学性能会有明显下降,故规定采用细晶粒高性能的正火板。

4.3 钢 管

本节钢管分为两类:一类为罐壁开孔用无缝钢管,共 4 个钢号:10 号、20G、20 号、16Mn;另一类为结构及罐顶附件用钢管,可采用焊接钢管。

需要说明,在低温时,对于罐壁用无缝钢管,由于直径小,静液压小,如果计算其薄膜应力应当很小,属于低温低应力状态,可不作使用限制。但考虑到接管直接和罐底层壁板相焊,按力学原理,相焊处相当范围内和补强圈一样,与底层壁板同时承受罐壁承受的膜应力,且底层壁板开口处受力十分复杂,所以仍要求在低温时使用能满足低温要求的钢管。本规定和过去油罐设计的习惯做法相比要求严,但和压力容器规定的要求相比要求宽。

4.4 锻 件

锻件材料共选入 3 个钢号:20 号、16Mn、16MnD,分别满足不同使用情况的要求。

4.5 螺栓、螺母

螺栓、螺母材料共选入 6 个钢号:Q235-A、20 号、25 号、35 号

和 30CrMoA、35CrMoA,设计时应根据不同的使用条件选用。20 号、25 号钢只用于螺母。

4.6 结构型钢

油罐结构用型钢多为受压受弯构件,一般无特殊要求。但对 Q235-A·F,参照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017,规定在最低日平均温度低于或等于 -20°C 时,不得作为承重构件使用。

4.7 焊接材料

焊接材料品种繁多且与焊接工艺相关,API 650、JIS B8501、GB 150 均未做任何具体规定,本规范也只提出一些原则性的要求,未列出焊接材料的牌号。

5 罐底设计

5.1 罐底板尺寸

5.1.1 各种规范关于罐底板的最小公称厚度为：

API 650 1/4" (6mm) 不包括腐蚀裕量

JIS B8501 6mm (实际厚度)

BS 2654 6mm

SYJ 1016 中幅板厚度根据油罐内径 D 确定：

油罐内径(m) 中幅板厚度(mm)

$D < 12$ 4

$12 \leq D < 20$ 5

$D \geq 20$ 6

SH 3046 中幅板厚度根据罐内径 D 确定：

油罐内径(m) 中幅板厚度(mm)

$D < 10$ 5 不含腐蚀裕量

$D \leq 20$ 6 不含腐蚀裕量

$D > 20$ 6 不含腐蚀裕量

参考以上规定,本规范按罐径大小,限定中幅板的最小厚度。

5.1.2 各国规范关于环形边缘板的最小厚度见表4、表5。

表4 API 650 环形边缘板的最小厚度

第一层罐壁的公称 厚度(英寸)	充水试验时低层罐壁上的应力(磅/平方英寸)			
	≤ 27000	≤ 30000	≤ 33000	≤ 36000
$t \leq 0.75$	1/4	1/4	9/32	11/32
$0.75 < t < 1.00$	1/4	9/32	3/8	7/16
$1.00 < t \leq 1.25$	1/4	11/32	15/32	9/16
$1.25 < t \leq 1.50$	5/16	7/16	9/16	11/16
$1.50 < t \leq 1.75$	11/32	1/2	5/8	3/4

表 5 JIS B8501 环形边缘板的最小尺寸

最下层壁板厚度 t (mm)	边缘板最小厚度(mm)
$15 < t \leq 20$	12
$20 < t \leq 25$	15
$25 < t \leq 30$	18
$T > 30$	21

BS 2654 规定:

直径不大于 12.5m 油罐的边缘板最小厚度为 6mm;

直径大于 12.5m 时:

最下圈壁板厚度 19mm 或更薄时为 8mm;

最下圈壁板厚度大于 19~32mm 时为 10mm;

最下圈壁板厚度大于 32mm 时为 11mm。

SYJ 1016 环形边缘板厚度根据底圈罐壁板厚度确定:

底圈罐壁板厚度(mm)	边缘板厚度(mm)
≤ 6	同底圈罐壁板厚度
7~10	6
11~20	8
21~30	10
> 30	12

SH 3046 环形边缘板厚度根据底圈罐壁板厚度确定:

底圈罐壁板厚度(mm)	边缘板厚度(mm)
≤ 6	6 不含腐蚀裕量
7~10	6 不含腐蚀裕量
11~20	8 不含腐蚀裕量
21~25	10 不含腐蚀裕量
> 26	12 不含腐蚀裕量

国内油罐大角焊缝应力测试结果表明,适当增加边缘板厚度可以减小底圈罐壁及边缘板的不协调变形,减小边缘板大角焊缝处的峰值应力。增加边缘板厚度,也能提高油罐的抗震能力。故本规范参照 API 650、JIS B8501、SH 3046 的规定,分别不同情况适当增加边缘板最小厚度。

5.1.3 环形边缘板沿径向的宽度,各国规定不完全相同。

API 650 规定按下式计算:

$$\frac{215t_b}{\sqrt{H_w G}} \quad (3)$$

式中 t_b ——环形边缘板的厚度(mm);

H_w ——储液的最大高度(mm);

G ——储液的设计比重。

并规定环形边缘板的径向宽度,在罐壁内侧至少 600mm,伸出罐壁外侧至少 50mm。

JIS B8501 规定,罐壁内侧的边缘板宽度,不得小于按下式算出的 L_m 值,且 L_m 不得小于 600mm。

$$L_m = \frac{280t}{\sqrt{H}} \quad (4)$$

式中 L_m ——罐壁内侧的边缘板宽度(mm);

t_b ——边缘板厚度(mm);

H ——最高液位(m)。

可以看出,JIS B8501 与 API 650 的规定基本一致。

BS 2654 规定边缘板的最小宽度为 500mm。

SYJ 1016 规定边缘板的最小宽度为 600mm。

SH 3046 规定边缘板的最小宽度为 700mm。

适当增加边缘板的宽度,能提高罐底抵抗基础局部沉降的能力,本规范采用 API 650 的计算公式和规定。

5.2 罐底结构

5.2.1 罐底设置环形边缘板的规定。

API 650 以底圈罐壁的材质和应力的确定是否设置环形边缘板。

JIS B8501 规定罐直径超过 30m 或最下层罐壁板厚度超过 15mm,或采用高强度钢时,应设置环形边缘板。

BS 2654 规定直径大于 12.5m 的油罐应设有环形边缘板。

SYJ 1016 规定直径大于或等于 16.5m 时,罐底宜采用环形边缘板。

SH 3046 规定直径大于或等于 12.5m 时,罐底宜采用环形边缘板。与 BS 2654 相同。

《圆柱形金属油罐设计》(潘家华编著)指出:“加宽边缘板可使罐底板的整体性加强,从而使罐底板抵抗不均匀沉降的能力加强,……。当建罐地区土质条件较差时(如在海边,土壤承压能力很差,或土质不均),油罐基础的费用是很高的,为减小罐基础的不均匀沉降值,往往要付出很大的代价。在这种情况下,应从经济上做全面比较,可以考虑增加边缘板的宽度,从而降低对基础不均匀沉降的要求,减少基础费用。”

本规范采用 BS 2654 和 SH 3046 的规定,罐直径大于或等于 12.5m 时宜设置环形边缘板。

5.2.10 底圈罐壁板与边缘板之间的连接焊缝,即所谓的大角焊缝,是一个关键部位。《圆柱形金属油罐设计》(潘家华编著)一书指出:“罐壁与底板之间的角焊缝非常重要,很多油罐的事故都是在这部位发生的,如日本水岛炼厂 5 万 m^3 油罐的破坏事故就是在此处产生的。角焊缝的尺寸过大过小都不好。尺寸过小焊缝接头强度不够,尺寸过大会造成接头刚性过大,接头处所受的应力会加大。”

美国 API 650 规定:

1 罐底环形边缘板的厚度不大于 1/2 英寸(不包括腐蚀裕度)时,最下层罐壁与罐底板之间的连接焊缝不应大于 1/2 英寸(不包括腐蚀裕量),应不小于两相连接钢板中较薄钢板的公称厚度,且不小于下列数值:

底层罐壁板最大厚度(英寸)	角焊缝最小尺寸(英寸)
3/16	3/16
>3/16~3/4	1/4
>3/4~5/4	5/16
>5/4~7/4	3/8

2 环形边缘板厚度大于 1/2 英寸时,其连接焊缝的尺寸应是角焊缝的焊脚长度或坡口深度加上罐底板侧的焊脚长度。对于后者,组合的焊缝尺寸应不小于环形边缘板的厚度。

JIS B8501 规定:

1 边缘板厚度小于或等于 13mm 时,底层壁板与底板(或边缘板)之间的焊角尺寸应等于两者中较薄钢板的厚度,罐内侧靠底板一侧的焊缝尺寸应较大。

2 底板或边缘板厚度超过 13mm 时,罐壁内侧底板侧的焊缝尺寸,应与边缘板厚度大致相同。当开坡口时,焊缝尺寸应为坡口深度与罐壁内侧底板侧的焊角尺寸之和。

BS 2654 规定:壳体最下圈壁板与边缘板的接缝角焊缝的高度应等于边缘板的厚度。

SYJ 1016 规定:底圈罐壁板与边缘板之间的连接焊缝焊脚高度等于边缘板的厚度。在地震设防烈度大于七度的地区建造容量大于或等于 10000m³ 的油罐时,底圈罐壁板与罐底边缘板之间的连接采用图 2 的焊接形式。

图中,外侧采用焊脚尺寸等于边缘板厚度的连续角焊缝。内侧除了采用喉高等于边缘板厚度($BD=S$)的连续角焊缝之外,还需堆焊成断面呈 $\triangle ABC$ 的形状,以减少应力集中。其中焊脚延长

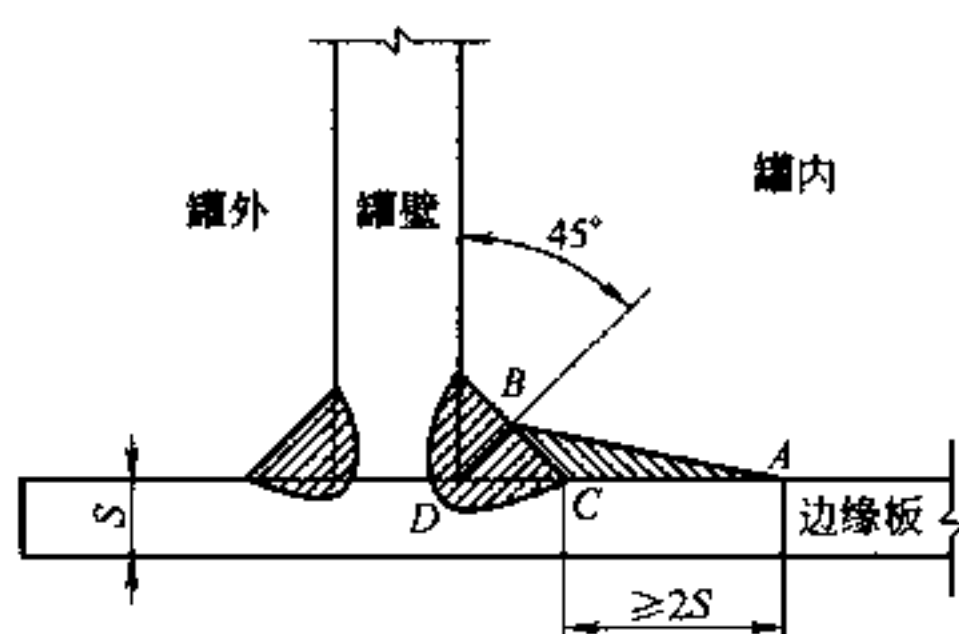


图 2 底圈罐壁板与罐底边缘板之间的连接

的长度 AC 应不小于 2 倍边缘板厚度 ($2S$)。

综合以上情况,根据应力分析和应力测试,都证明内侧应力较大,适当加大焊脚尺寸是有利的,但焊缝太大也不一定好,焊接工作量大,容易出现较大变形。

本规范规定:罐壁外侧及罐壁内侧竖向焊脚尺寸等于底层罐壁板和边缘板两者中较薄件的公称厚度但不大于 13mm。罐壁内侧径向焊脚尺寸取 1.0~1.35 倍的边缘板厚度,当边缘板厚度大于 13mm 时,罐壁内侧可开坡口。

6 罐壁设计

6.1 罐壁排板与连接

6.1.4 罐壁板焊接接头共分 8 种形式,其中纵焊缝 5 种,环焊缝 3 种。纵焊缝不开坡口,适用于较薄钢板,开坡口,适用于较厚钢板。坡口形式分单面 Y 形、单面 U 形、双面 Y 形和双面 U 形。环焊缝分不开坡口和开单面 Y 形及双面 Y 形坡口。采用何种形式,应根据厚度和焊接工艺等因素确定。

6.2 罐壁包边角钢

6.2.1 各国规范均规定罐壁上端应设置包边角钢。

6.2.2 包边角钢的规格,API 650 最小,JIS B8501、SYJ 1016、SH 3046 较大。本规范与 API 650、JIS B8501 取值接近。

6.3 罐壁厚度

6.3.1 罐壁厚度计算公式。

1 API 650 提供了两种方法:一为定点法,即“一英尺”法;二为变点法。

1) 定点法:罐壁需要的最小厚度应是以下两式计算的较大值:

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d} + CA \quad (5)$$

$$t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_t} \quad (6)$$

式中 t_d ——设计壁厚(mm);

t_t ——充水试验设计壁厚(mm);

D ——罐的公称直径(m);

H ——计算液面高度(m);

G ——储液设计比重;

CA ——腐蚀裕量(mm);

S_d ——设计条件下的许用应力(MPa);

S_t ——充水试验条件下的许用应力(MPa)。

2) 变点法:略

2 JIS B8501:

$$t = \frac{D(H-0.3)\rho}{0.2fm} + C \quad (7)$$

式中 t ——壁板所需最小壁厚(mm);

D ——储罐内径(m);

H ——从计算的壁板下端到液面的高度(m);液面高度为最高使用高度。

ρ ——储液比重,但不得小于 1.0;

f ——材料的设计应力,取相应的日本工业标准或钢厂所保证的屈服强度或条件屈服强度的 60%(MPa);

m ——按罐壁板层次,由 JIS B8501 附录 3 所规定的射线探伤或超声波探伤确定的焊缝系数;经 A 级或 B 级检验的最下层壁板取 0.85;经 A 级检验的最下层以外的其他壁板取 0.85;经 B 级检验的最下层以外的其他壁板取 1.0。包括腐蚀裕量在内最大公称厚度不超过 12mm,未进行射线探伤检验或超声探伤检验的壁板(只限于低碳钢)取 0.7;

C ——腐蚀裕量(mm)。

3 BS 2654:

$$t = \frac{D}{2S} + [9.8W(H-0.3) + P] + C \quad (8)$$

式中 t ——最小计算板厚(mm);

D ——油罐直径(m);

H ——由所计算的壳体圈板的底边缘到壳体顶端的高度(m);

W ——储液的最大比重,但不得小于1.0;

S ——设计许用应力(N/mm²);

P ——设计压力(对常压罐可以不计)(mbar);

C ——腐蚀裕量(mm)。

4 SYJ 1016:

$$t \geq t_0 + \frac{1}{2}C_0 + C \quad (9)$$

式中 t ——罐壁设计公称厚度(mm);

t_0 ——罐壁计算厚度(mm);

$$t_0 = \frac{\gamma(H-0.3)D}{2[\sigma]\phi}$$

H ——所计算的那一圈罐壁板底边至罐壁顶端(当设有溢流口时,应至溢流口下沿)的垂直距离(m);

D ——油罐内直径(m);

$[\sigma]$ ——设计温度下罐壁钢板的许用应力(kg/mm²);

γ ——储液密度(T/m³);

ϕ ——焊缝系数,取 $\phi=0.9$;

C_0 ——钢板厚度负偏差(mm);

C ——腐蚀裕量(mm)。

5 SH 3046:罐壁设计厚度按下列公式计算,取其中的较大值:

$$t_1 = 0.0049 \frac{\rho(H-0.3)D}{[\sigma]^1 \phi} + C_1 + C_2 \quad (10)$$

$$t_2 = 4.9 \frac{(H-0.3)D}{[\sigma]^2 \phi} + C_1 \quad (11)$$

式中 t_1 ——储存介质时的设计厚度(mm);

t_2 ——试水时的设计厚度(mm);

ρ ——储液密度(kg/m^3);

H ——计算的罐壁板底边至罐壁顶端(当设有溢流口时,至溢流口下沿)的垂直距离(m);

$[\sigma]^t$ ——设计温度下罐壁钢板的许用应力(MPa);

$[\sigma]$ ——常温下罐壁钢板的许用应力(MPa);

ϕ ——焊缝系数,取 $\phi=0.9$;

C_1 ——厚度负偏差(mm);

C_2 ——腐蚀裕量(mm)。

6 分析比较。

1)国内外大多数油罐规范采用定点法计算罐壁厚度,美国 API 650 除定点法之外又推出了变点法;

2)定点法计算公式各国规范大同小异,不同之处在于参数的定义和选取:

D ——油罐直径,API 650 定义为油罐底圈壁板中心线的直径,JIS B8501 定义为油罐内径,BS 2654 未明确,我国 SYJ 1016 和 SH 3046 均为油罐内径,对计算值影响不大;

H ——计算液位高度,各规范取法有所不同,对计算值影响较大;

ρ (或 γ) ——储液比重或储液密度,物理概念虽不同,但不影响计算结果;

ϕ ——焊缝系数(焊接接头系数),各规范取值有所不同,对计算值影响较大;

$[\sigma]$ ——许用应力,各规范取法不尽相同,对计算值影响较大。

3)定点法用于较小油罐设计时,各圈壁板的应力分布比较合理,但对于较大的油罐,如 5 万 m^3 以上(直径 60mm 以上)的油罐,采用变点法,材料利用比较合理,但计算较麻烦。

结合国内外油罐规范的规定和我国多年来的设计经验,本规范采用定点法设计,公式采用 API 650 模式。

7 说明。焊接接头系数的大小与焊缝类型、焊接工艺及焊缝无损检测的严格程度有关。合适的焊缝形式和焊接工艺是保证焊缝质量的前提,焊缝无损检测是保证焊缝质量的必要手段。近年来国内油罐施工采用 GBJ 128—90 进行检验和验收,其探伤要求与 API 650 和 JIS B8501 B 级基本相同。考虑到底层壁板受力复杂,本规范的焊接接头系数,当底层罐壁强度较高时取 0.85,其余情况取 0.9。需要说明的是,本标准的焊接接头系数的概念与压力容器焊接接头系数的概念不完全相同。

6.3.3 各国规范罐壁板最小厚度比较:

API 650:

罐的公称直径(英尺)	罐壁板最小公称厚度(英寸)
$D < 50$	3/16
$50 \leq D < 120$	1/4
$120 \leq D \leq 200$	5/16
$D > 200$	3/8

JIS B8501:

罐内径(m)	罐壁板最小公称厚度(mm)
≤ 16	4.5
$> 16, \leq 35$	6
$> 35, \leq 60$	8
$> 60, \leq 75$	10
> 75	12

BS 2654:

储罐公称直径(m)	罐壁板最小公称厚度(mm)
< 15	5
$\geq 15, < 36$	6

$\geq 36, \leq 60$	8
> 60	10

SYJ 1016:

油罐内径(m)	罐壁板最小公称厚度(mm)
$D < 12$	4
$12 \leq D < 15$	5
$15 \leq D < 36$	6
$36 \leq D \leq 60$	8
$D > 60$	9

SH 3046:

储罐内径 D (m)	罐壁板最小公称厚度(mm)
$D < 16$	5
$16 \leq D < 36$	6
$36 \leq D \leq 60$	8
$60 \leq D \leq 75$	10
$D > 75$	12

本规范罐壁板最小公称厚度采用 BS 2654 的规定。

6.4 顶部抗风圈

1 对于敞口油罐,由于上口缺乏足够强的加强构件,在大风下罐壁迎风面大面积向内弯塌的事故国内外均有发生。

抗风圈的设置是为了增强储罐上口的强度和刚度,达到抵御设计风载的目的。

针对这个问题我们曾开展过研究,发现这种现象往往发生在圆心角接近 60° 的迎风面。瞬间强风不一定能使罐壁弯塌,而风力小得多,但持续时间较长的大风反面导致罐壁弯塌。究其原因,

是强度破坏需要有能量积聚的时间。因此,抗风圈最小截面模数的计算公式是采用 10min 平均风压作用下,满足强度条件来确定的。

罐壁上的风压分布规律:

1)外表面:

①在模型的风洞试验中测得,当实验风压为 W 时,罐壁对表面沿圆周方向的风压变化如图 3 所示:

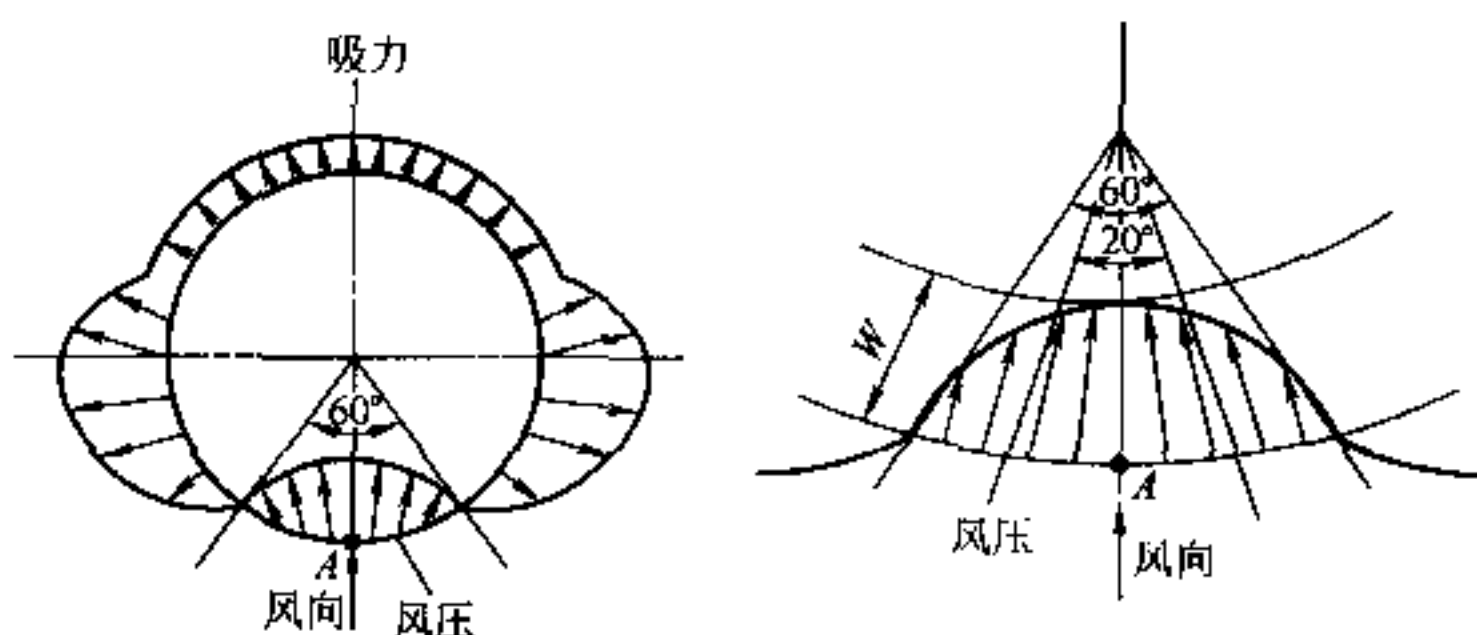


图 3 油罐外壁风压分布图

最大风压发生在驻点 A,其数值为 1 倍 W 。

②只有迎风面 60° 圆心角所对应的罐壁为受压区。其余部位的罐壁承受的是张力。

2)内表面:罐壁内表面全部是负压区,驻点内侧的负压值为 $W/2$ 。其余部位的负压变化不大。

3)内外合成:敞口储罐罐壁内外合成风压的分布是不均匀的,最大外压发生在驻点线上,其值为 $1.5W$ 。

2 罐壁的设计外压。敞口储罐与没有固定顶的储罐相比,罐壁外表面的风压分布两者相同,但是,在内表面固定顶储罐没有风的吸力,但可能有罐内负压,而内浮顶罐罐内既无负压又无风的吸力。因此这三种油罐的罐壁设计外压是不相同的。

由于风力作用下的临界驻点压力比均匀外压临界压力高百分

之十几,因此在工程上用驻点的最大侧压作为设计外压是安全而简便的。

1)浮顶罐的设计外压:

$$P=K_1 K_2 \mu_z w_0 (\text{Pa}) \quad (12)$$

式中 w_0 ——建罐地区的基本风压。根据业主提供的设计条件,除了地形条件需考虑调整系数外,尚应考虑从前排两个罐之间吹来的强风产生的狭管效应;

K_1 ——体形系数,考虑了敞口罐在风力作用下内壁还存在的吸力,因此 $K_1=1.5$;

K_2 ——将 10min 平均风压转换成瞬时风压的转换系数 $K_2=1.5^2$;

μ_z ——风压高度变化系数。

2)固定顶罐的设计外压:

$$P=K_2 \mu_z w_0 + K_3 p \quad (13)$$

式中 p ——固定顶罐呼吸阀的负压起跳压力(Pa)。

K_3 ——呼吸阀打开滞后的系数,建议 K_3 取 1.2。

3)内浮顶的设计外压:

$$P=K_2 \mu_z w_0 \quad (14)$$

3 顶部抗风圈截面系数计算公式。计算力学模型的基本假定:

1)假定顶部抗风圈在罐壁迎风面 60° 圆心角范围内为两端铰接的圆拱。

2)在圆拱上的风压呈正弦曲线分布。

3)罐壁全高 1/2 的迎风面风压均由该圆拱承担。

由于顶部抗风圈截面模数是由强度条件控制的,因此,其自身接头必须采用等强度连接。

6.5 中间抗风圈

1 壁厚薄壁圆筒在均匀外压下的临界压力求解问题,国内外

的许多学者都进行过试验研究,其共同结论是:材质确定之后,在均匀外压作用下薄型圆筒的临界压力与壁厚的 2.5 次方成正比,与筒体直径的 1.5 次方成反比、与筒体高度的 1 次方成反比。至于其他因素,对临界压力影响甚微,可以忽略不计。

储罐的罐壁属于大直径薄壁圆筒,但是它在风压下临界压力的求解问题与等壁厚薄壁圆筒在均匀外压下求临界压力问题上有两点不同:

1) 储罐的罐壁为了满足储液作用的强度要求,除上部构造厚度为等壁厚区外,以下各圈壁板自上而下一圈比一圈加厚。因此属变壁厚薄壁圆筒。

2) 风压在罐壁上分布是不均匀的。

2 为求解变壁厚罐壁的临界压力,中、美、英、日等国都做过不少研究,最佳的计算方法共同点是:

1) 都以驻点最大外压作为设计均匀外压。

2) 都接受了英国(BS 2654)当量筒体的概念。

把每圈壁板当作一个独立的圆筒,根据均匀外压下的临界压力与壁厚的 2.5 次方成正比,与筒体直径的 1.5 次方成反比、与筒体高度的 1 次方成反比的规律,将不同厚度的圈板都转换成壁厚相同、临界压力相等的当量筒体。然后再按均匀外压下求等壁厚筒临界压力方法求解。

3 标准的罐壁临界压力计算举例。

举例说明:

有一台浮顶油罐,内径 60m、罐壁高 18m、由 9 圈 2m 宽的钢板组成。抗风圈离罐壁顶端 1m,罐壁板自下而上的厚度分别为 23、20、18、16、14、12、10、10、10mm。风荷载标准值 $w_k = 0.85\text{kPa}$,要求确定中间抗风圈的数量与位置。

1) 求设计外压力 P_0 :

$$P_0 = 3.375w_k = 2.87\text{kPa}$$

2) 求核算区间的罐壁筒体许用临界压力;

$$[P_{cr}] = 16.48 \frac{D}{H_E} \left(\frac{t_{\min}}{D} \right)^{2.5}$$

上式中, $t_{\min} = 10\text{mm}$, $D = 60\text{m}$; 按下式换算罐壁高度, 罐壁折算高度计算见表 6。

表 6 罐壁折算高度计算表

罐壁层次	$h_i(\text{m})$	$t_i(\text{mm})$	$H_{ei}(\text{m})$
9(顶圈)	1	10	1
8	2	10	2
7	2	10	2
6	2	12	1.268
5	2	14	0.862
4	2	16	0.618
3	2	18	0.460
2	2	20	0.354
1(底圈)	2	23	0.249

$$H_{ei} = h_i \left(\frac{t_{\min}}{t_i} \right)^{2.5}$$

$$H_E = \sum H_{ei} = 8.811\text{m}$$

$$[P_{cr}] = 16.48 \frac{60}{8.811} \left(\frac{10}{60} \right)^{2.5} = 1.3\text{kPa}$$

3) 中间抗风圈的数量与位置:

因为 $\frac{P_0}{2} > [P_{cr}] \geq \frac{P_0}{3}$, 所以应设置 2 道中间抗风圈。

第一道中间抗风圈在当量筒体上离顶部抗风圈为 $\frac{1}{3} H_E = 2.937\text{m}$, 由于它位于最薄的罐壁板上, 所以它离顶部抗风圈的实际距离就是 2.937m。

第二道中间抗风圈在当量筒体上离顶部抗风圈为 $\frac{2}{3}H_E = 5.874\text{m}$, 而顶部抗风圈以下, 最薄壁板区段的高度仅为 5m , 因此第 2 个中间抗风圈在最薄罐壁区段以下的当量高度为 $5.874 - 5 = 0.874\text{m}$ 。由于小于 1.268m (厚度为 12mm 那圈罐壁板的当量高度), 因此第 2 个中间抗风圈应设在厚度为 12mm 这圈罐壁板上。第 2 个中间抗风圈离厚度为 12mm 这圈板上口的实际距离应是: $(5.874 - 5) \times \left(\frac{12}{10}\right)^{2.5} = 1.379\text{m}$ 。

4) 设置 2 道中间抗风圈后罐壁能承受的风荷载 w_k :

$$w_k = \frac{3[P_{cr}]}{3.375} = 1.156\text{kN/m}^2 > w_k \text{ 已满足要求。}$$

几点说明:

①罐壁的临界压力实际上除了与罐壁厚度的 2.5 次方成正比、与直径的 1.5 次方及计算段高度成反比之外, 还与圆柱壳的曲线参数有关。

对于阶梯型断面还要受最大壁厚与最小壁厚比值的影响。因此, 精确地计算阶段断面圆筒体的临界压力是相当困难的。在对“1000~10 万 m^3 浮顶油罐系列”进行过大量的比较计算并通过风洞试验可以观察到圆柱薄壳在风压达到 2 倍临界风压时一旦停止吹风, 壳面上的凹瘪会立刻弹跳回去, 而且不留痕迹。

由于设计外压是考虑了各种不利因素的瞬时最大外压, 这不是经常发生的。因此, 本文推荐的计算方法是安全可靠的。本标准与国外一些计算方法的安全度相当接近。

②壁厚对罐壁的临界压力影响非常大, 因此在计算时应该扣除罐壁腐蚀裕量。

③罐壁在制造中的局部凹瘪部位在强风袭击下容易提前失稳, 由于中间抗风圈对提高罐壁的制造圆度很有帮助。因此, 在各段罐壁的许用临界压力大于设计外压的前提下, 在有利于施工质

量的提高时,可以适当挪动中间抗风圈的位置。

4 中间抗风圈。中间抗风圈的作用是在薄壁圆筒上形成节线,将筒体划分成较矮的筒节,以提高其临界压力。罐底、中间抗风圈、顶部抗风圈或钢制固定顶都能起到节线的作用。当中间抗风圈的截面尺寸达到本规范表 6.5.6 推荐的数值时,对相应罐体已能起到节线的作用,若再增大断面对提高临界压力作用不大。值得注意的是,中间抗风圈在安装时应将其长肢保持水平,长肢肢端与罐壁相焊,才能使它与罐壁形成的组合断面满足刚度的要求。

基本风压 w_0 为 50 年一遇的风压,我国各城市的基本风压 w_0 取自现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009—2001 表 D.4。

7 固定顶

7.1 一般规定

7.1.1 固定顶按形状及支撑方式分为3种:

- 1 自支撑式锥顶;
- 2 支撑式锥顶;
- 3 自支撑式拱顶。

自支撑伞形顶在国内比较少见,无力矩顶大多为小型油罐,由于这种罐顶的局限性,多年来已不再采用。

7.1.2 固定顶的设计外荷载包括以下两部分:

1 固定荷载:罐顶板及其加强构件的自重;当有隔热保温层时,应计入隔热层重。

2 附加荷载:附加荷载主要包括:

- 1)由于抽空和储存油品温度变化在气相空间形成的负压值;
- 2)雪荷载和活荷载。

在罐顶水平投影面积上的附加设计荷载应不小于 1.2kPa 。当雪荷载超过 0.6kPa 时,还要加上所超过的荷载。限制负压值,旨在防止油罐被抽瘪。

对于内浮顶油罐的固定顶,无需考虑负压,取附加设计荷载为 0.7kPa 。

7.1.3 罐顶板的最小公称厚度,API 650 规定为 $3/16$ 英寸(4.76mm),JIS B8501 规定为 4.5mm ,本规范为 4.5mm ;罐顶板加强构件和罐顶结构支撑件的最小公称厚度,API 650 无规定,JIS B8501 规定为 4.5mm ,本规范为 4.5mm ,均不包括腐蚀裕量。

7.1.4 顶板的连接方式,可以搭接,也可以对接。一般小块板拼成大块瓜皮板多采用对接,大块板之间多采用搭接。

7.1.5 罐顶板与罐壁的连接结构以及有效截面积的计算,采用 API 650 的规定。在有效截面积上,当承受外荷载时为拉应力,承受内荷载时为压应力。

7.1.6 弱顶结构,为事故状态下的安全泄放措施,要求内压产生的举升力将抬起而尚未抬起罐底时,弱连接处则发生塑性失稳而有效泄压。构成弱顶的条件,采用 API 650 的规定。

7.1.7 常压和微内压油罐均需按要求设置通气装置。

7.2 构件的许用应力

参照 JIS B8501 本节采用 API 650(第九版)的规定。本节为推荐性的条文,此外,亦可按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定计算。

7.3 自支撑式锥顶

与 API 650 基本相同。式(7.3.2)和式(7.3.3)设计外荷载为 2.2kPa,与 API 650 内容相同。

7.5 自支撑式拱顶

本节基本采用 API 650 规定。在外荷载作用下,自支撑式拱顶和自支撑式锥顶油罐:顶板的最小厚度,由外荷载作用下薄板的稳定性控制;罐顶与罐壁连接处有效截面的大小,往往由拉应力控制。外荷载的最小值取 2.2kPa,多数情况下偏于安全。

自支撑式拱顶,有光球壳和带肋球壳之分。带肋球壳适用于较大直径的拱顶,在我国应用时间较长、应用范围较广,从设计到施工均有较成熟的经验,设计计算方法见本规范附录 C。

8 浮 顶

8.1 一 般 规 定

8.1.1 浮顶形式,API 650 附录 C 列出三种:盘式、单盘式和双盘式。盘式浮顶强度和抗沉性较差,且国内罕见,本规范不用。

8.1.5 浮顶浮力计算,储液密度不得大于 700kg/m^3 。

8.1.6 浮顶计算的三项基本内容。

8.2 浮顶的结构与连接

8.2.3 从浮船的抗沉性考虑,要求单盘所有隔舱应互相密闭,双盘最外圈隔舱应互相密闭,其余隔舱要求除顶板与隔板、顶板与环板焊缝外均要求密闭焊,以防止漏油时串舱。

8.5 紧急排水装置

关于是否安装紧急排水装置,过去有不少争议,本文归纳如下:

1 对有暴雨的地区,紧急排水装置是浮顶上必不可少的一种安全设施。资料显示,沉船事故的发生,多与暴风雨有关。我国近几年来发生的 2万 m^3 和 3万 m^3 油罐浮顶沉船事故,均发生在暴风雨时。

2 API 650 对紧急排水装置的要求,是不允许储液回流到浮顶上。

3 JIS B8501 编制说明指出:通常使用的立管带水封式的紧急排水装置虽无可转动部件,结构上较少发生故障,但存在一旦水封失效、储液会反流的缺点。不设紧急排水装置,在浮顶上积存过量雨水时,可能造成浮顶破坏或丧失浮力。

4 化工设备设计全书《大型储罐设计》(化工设备设计全书编辑委员会编)一书指出:当暴雨时,中央排水管来不及排除浮顶上的积水,为保证浮顶的安全而把高出允许液面的雨水直接导入储罐内部,这种应急装置虽有使雨水与储液相混之虞,但它可使浮顶免遭沉没(浮顶浮于储液面时)或(浮顶支柱)丧失稳定(浮顶支撑于立柱上时),所以紧急排水装置是必不可少的。

5 《圆柱形金属油罐设计》(潘家华编著)一书指出:关于是否要安装紧急排水管,在我国的设计人员中尚有不同的意见,有人主张取消紧急排水管,其理由是如采用本书所介绍的这种带水封槽的排水管,工人需定期加水,在我国目前尚难要求全部做到,而老式的不带水封槽的排水管设计不当则可能会使储液反溢造成灾害。另外一些人主张加设紧急排水管,这是一个必要的安全措施,认为定期加水亦无技术上的困难,是可以做到的。对此,可因地制宜,对于有暴雨的地区,还是加设紧急排水管为好,但对于老式的不带水封槽的排水管应逐渐淘汰。

综上所述,本规范规定在有暴雨的地区,浮顶上应加设紧急排水装置。紧急排水装置应有水封和防止储液倒流的功能。虽然规定浮顶应能承受 250mm 静水荷载,但从安全考虑,宜在小于 250mm 静水荷载时就将积水排除。

9 内 浮 顶

本章主要技术内容与 API 650 附录 H 基本相同,只作了如下变动:

1 内浮顶的形式:API 650 共有 7 种,根据国内的使用情况,前 4 种较为普遍,后 3 种很少或几乎没有应用,故未列入。

2 对于设不设内梯国内有争议,本规范不作规定。API 650 规定可设置。设计时如设置内梯,其结构应使浮顶在运行中不受任何妨碍且不损伤浮顶和其他部件,无论浮顶处于任何位置,都能顺利到达。

3 增加了高位人孔,方便检修。国内多采用此方式以代替内梯。

10 附 件

1 本章主要包括以下几方面内容:

- 1) 罐壁开孔及补强;
- 2) 罐壁开孔附件,如罐壁人孔、罐壁接管及齐平型清扫孔等;
- 3) 罐顶开孔及附件;
- 4) 其他附件,如梯子、平台、栏杆及支撑件等。

2 本章规定内容与 API 650 基本相同,只有少量变动:

1) 罐壁底圈接管往往与外部管道相连或其他设备如阀门、搅拌器相连。由于管线的胀缩、设备的自重,以及油罐基础的沉降、地震荷载等的作用,常会在底圈罐壁局部造成较大的附加荷载,对罐壁造成不利影响,甚至严重破坏,酿成重大事故。

这一问题早已引起国内外油罐专家和有关人士的高度重视,不少人对此进行了研究,并取得了一些成果,有的已应用于工程实践。如:

- ① 理论分析法,如 API 650 附录 P;
- ② 变形补偿法,如在罐前加波纹补偿器或软管。

第一种方法据了解国内尚无实践经验,API 650—98 附录 P 也仅作为推荐做法,有待今后进一步探讨。因此本规范暂未列入。第二种方法在国内使用较为普遍,效果不错且简单易行,但这种方法在国内应用时间尚短,虽然有的单位已将其列入企业标准,但缺乏系统的总结,因而本规范也未作具体规定,仅予以提示,以期引起设计人员的重视。

2) 规定罐壁开孔补强板的材质与开孔处罐壁板的材质应相同,主要从焊接匹配考虑。对于大直径的开孔接管,往往不易找到成品钢管,由于用量少,用钢板卷制在施工中较易实施,其材质可

做到与低圈罐壁板相同。对于较小直径的接管,其材质与罐壁难以做到一致,尤其是当罐壁板是高强度钢时,因此本规范提出宜与罐壁材质相同或相近。

罐壁顶部的开孔及补强,基本不存在强度问题,可以适当放宽要求。

3)罐体接管通过法兰和外接管线及设备相连。本规范只给出了接管的公称直径和最小壁厚,法兰应根据需要配设。

4)齐平型清扫孔。API 650 给出了四种规格:8"×16"、24"×24"、36"×48"、48"×48"。考虑到国内的实际需要,以及大开孔时尚受壁板尺寸的限制,本规范只采用了前两种。清扫孔开孔底部通常为矩形,开在罐壁底部,受力恶劣。清罐一般5~7年一次,而且近年来有的地方已采用机械和化学的方法清罐,故一般情况下,除非业主要求,可不设清扫孔。JIS B8501 没有规定清扫孔的内容。

API 650 对清扫孔下部基础处理的有关内容,国内有自己的习惯做法,本规范未列入。

5)罐壁开孔热处理。对于罐壁开孔接管,根据材料的强度及壁厚大小规定是否进行热处理,相对于过去,在设计上提出了新的要求,但比国外规范要求稍宽。

对于清扫孔组合件,因受力复杂,焊接残余应力较大,本规范采用 API 650 的规定,无论材质强度高低,一律要求焊后整体热处理,但均未列为强制性条款,其用意在于不是可以不做,而是在于给予了在保证消除残余应力的前提下,探讨不同消除应力方法的可能性。

11 预制、组装、焊接及检验

油罐预制、组装、焊接及检验要求应按现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接油罐施工及验收规范》GBJ 128—90 执行。本规范超出 GB 128—90 的内容,主要有以下几点:

- 1 材料的代用(11.0.2 条);
- 2 钢结构的施工及验收要求(11.0.3 条);
- 3 对试水和防腐保温的顺序要求(11.0.4 条);
- 4 高强度钢和低温钢板的组装要求(11.0.5 条);
- 5 高强度钢和低温钢罐安装铭牌的要求(11.0.6 条);
- 6 充水试验要求(11.0.7 条);
- 7 罐壁开孔接管的渗透和磁粉检测要求(11.0.8 条);
- 8 射线检测要求(11.0.9 条);
- 9 固定顶油罐的试验要求(11.0.10 条)。

附录 A 微内压油罐

本附录主要技术内容与 API 650 附录 F 基本相同,不同之处为:

最大内压:API 650 附录 F 为 18kPa;BS 2654 为 5.6kPa。考虑到我国的使用情况,本附录最大内压定为 6kPa,有关各条作了相应修改。

需说明:①从式(A.4)可以看出式(A.3.3)限制设计压力,是为了防止罐壁、罐顶接合部不发生屈曲破坏。而罐壁不被抬起的最大内压按 A.3.5 计算。特殊情况下,紧急通气阀可能和呼吸阀同时动作,这是不希望发生的。但设计压力仅表示罐顶可接受的压力,而操作压力是可调的,由呼气阀控制。②紧急通气装置以及高开启压力的呼气阀目前国内尚无厂家生产。③有火情需要紧急通气时,目前使用液压安全阀,可以提供部分通气面积。

附录 B 提高油罐设计温度的附加要求

主要技术内容与 API 650 附录 M 基本相同。

附录 C 带肋球壳拱顶计算

带肋球壳拱顶用于钢储罐始于 20 世纪 60 年代,其临界荷载的计算方法采用了中国建筑科学研究院对钢筋混凝土带肋壳的研究成果。由于钢制带肋球壳固定顶盖比桁架式或柱支撑锥顶节省钢材,而且制作安装比较简单,因此,在国内得到广泛应用。实践证明,在一定范围内是一种比较成熟可行的结构形式。

除了带肋球壳拱顶之外,单层网壳拱顶正在得到应用,尤其是用在大直径的油罐上,待进一步积累使用经验后,再纳入规范。

附录 D 油罐抗震计算

D.1 适用范围

本附录是参照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 有关规定制定的。

根据现行国家标准《建筑抗震设防分类标准》GB 50223—95 的规定,石油天然气生产建筑抗震设防类别为乙类。按 GB 50011—2001 的规定,对于“乙类建筑,地震作用应符合本地区抗震设防烈度的要求;抗震措施,一般情况下,当抗震设防烈度为 6~8 度时,应符合本地区抗震设防烈度提高一度的要求,当为 9 度时,应符合比 9 度抗震设防更高的要求”。

对于油罐抗震设防烈度为 6 度时,不必进行地震作用计算,但是仍需按本标准对罐底边缘板的材质、尺寸及对 T 形接头的规定来进行设计,使这个受力状况比较恶劣的部位抗震能力得到加强。

1990 年中国地震烈度区划图规定的地震基本烈度,或新修订的中国地震动参数区划图规定的峰值加速度所对应的烈度均为 50 年超越概率约 10% 的烈度,即为油罐的抗震设防烈度。

GB 50011—2001 规定在上述地震烈度作用下,“建筑物允许进入非弹性工作阶段,但非弹性变形或结构体系的损坏控制在可修复的范围”。

对于油罐,地震作用的破坏性,往往首先表现为罐壁下部出现象足(轴压失稳),这是罐壁下部进入非弹性状态的体现。

当局部变形超过一定限度时,就会引发焊缝开裂,从而导致无法阻挡油品外泄。一旦着火,就会酿成灾难性事故。因此,本标准采用的抗震设计准则首先是不允许油罐在设防烈度的地震

作用下罐壁进入非弹性状态。因为罐壁一旦出现象足,即使没有引发焊缝开裂,事后亦难以修复,只能将出现象足的这圈罐壁钢板切换成较厚的钢板,而且还可能涉及罐底边缘板。如果在油罐抗震设计时就限制了非弹性状态的出现,这不但是安全的,而且是经济的。

采用本油罐抗震计算方法,分别对几次大地震中的几十台油罐在地震作用下的罐壁稳定性进行了验算,验算结果与实际震害符合得很好。

D.1.1 油罐设计时,由于构造的要求,容积小于 100m^3 时,采用的钢板厚度与容积等于 100m^3 的储罐相同。因此容积小于 100m^3 储罐抗震能力足够,可以不作抗震计算。

当油罐高度与直径比大于等于 1.6 时,属于容易倾覆的立式设备,不在本附录的抗震计算范围之内。

D.2 设计准则

D.2.1 在地震力作用下,储罐破坏形态主要表现为罐壁下部出现象足。因此,抗震计算的重点是防止罐壁发生轴压失稳。

D.2.3 国外曾发生过在地震时浮动顶与固定顶发生撞击,罐顶附件脱落,从而引发严重的次生灾害的实例,因此抗震设计时应满足本条要求。

D.2.4 浮顶导向管和量油管如果在地震时卡住,会导致导向管拉弯、顶支架严重变形或拉脱,从而导致浮顶倾斜、受力不均,甚至发生浮顶结构的破坏。因此设计时应根据储液晃动波高及相应的结构尺寸来推算导向管与钢盖板之间的允许最小间隙。采用合理的构造来避免这类问题的发生。

D.3 地震作用

D.3.1 盛装储液的储罐,在地震力作用下会发生两种震动:

1 储液和储罐耦联振动,其基本周期在 $0.1\sim 0.5\text{s}$ 的范

围内;

2 储液晃动,其基本周期在 3~14s 的范围内。

我国目前抗震验算所用的反应谱其最长周期仅到 6s,这是因为至今国内外已有的实测地面加速度记录,绝大多数都是由模拟式强震仪记录的,受仪器特性的影响,很难可靠地记录地面运动中大于 6s 的长周期分量。近期数字式强震仪问世,由于其频带宽,动态范围大,可以记录 10s 以上的长周期分量,但是已取得的强震记录资料极少。

在地震影响系数 α 曲线图中,反应谱的高频段($T=0$ 到 $T=T_g$)主要决定于地震最大加速度,其形状为由 $T=0$ 的 $\alpha=0.45\alpha_{\max}$ 按直线变化到 $T=0.1s$ 处达 α_{\max} ,然后保持此值到 T_g 。在中频段(由 T_g 到 $T=3.5s$)主要决定于地震动最大速度,此段按 $\left(\frac{T_g}{T}\right)^{0.9}$ 衰减直到 $T=3.5s$ 。在低频段(由 $T=3.5\sim 15s$),决定于地震最大位移,此段反应谱按 $\left(\frac{3.5T_g}{T^2}\right)^{0.9}$ 规律衰减。

本条所采用的反应谱是按阻尼比 $\xi=0.05$ 来确定的,其周期小于 3.5s 的曲线与 GB 50011—2001 中采用的相应阻尼比的反应谱曲线相一致。至于大于 3.5s 的长周期分量的反应谱曲线,我们参考了“石油化工设备抗震设计反应谱”等国内外资料,规定了 $T=3.5s$ 至 $T=15s$ 段的长周期反应谱曲线,用以计算液体晃动反应。

根据建标[1992]419 号文“关于统一抗震设计规范地面运动加速度设计取值的通知”,各设防烈度分别取值如下:7 度 0.1g,8 度 0.20g,9 度 0.40g。又根据《中国地震动区划图 A1》规定,在设防烈度 7 度时增加一个设计基本加速度 0.15g;在设防烈度 8 度时增加一个设计基本加速度 0.3g。

参考国内外有关规范及试验数据,取最大动力系数 $\beta_{\max}=2.25$ (和 GB 50011—2001 取值一致)。 $\alpha_{\max}=k\beta_{\max}$ 。对应地震系

数 $k = 0.10、0.15、0.20、0.30、0.40$ 得出表 D.3.1-2 (依据 GB 50011—2001 P200 倒数 1~7 行)。

D.3.2 罐液耦连振动基本周期计算公式是由项忠权教授等导出的,采用梁式振动基本周期的近似公式简化而来的。

$$T_c = 4K'_c H_w \sqrt{\frac{K'_c \rho}{G}} \sqrt{1 + 0.345 \frac{\rho_L R \rho_w}{\rho_w \delta_3 \rho}} \quad (15)$$

假设条件是充液高度 H_w 为罐壁高度的 80% 以上。

式中 G ——钢材剪切模量, $G = 7.92 \times 10^{10}$ (Pa);

ρ ——钢材密度, $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$;

ρ_L ——储液密度 (kg/m^3);

ρ_w ——水的密度, 1000 kg/m^3 ;

K' ——截面剪切系数, $K' = 2$;

δ_3 ——储液 1/3 高度处的壁厚 (m);

R ——储罐内半径 (m);

K'_c ——系数, $K'_c = \xi_1 \xi_2$;

ξ_1 ——截面变形影响系数。

当 $\frac{D}{H_w} < \frac{8}{\pi \sqrt{1-\mu}}$ 时:

$$\xi_1 = \frac{1}{1 - \frac{\pi^2}{256} (1-\mu) \left(\frac{D}{H_w}\right)^2} \quad (16)$$

当 $\frac{D}{H_w} \geq \frac{8}{\pi \sqrt{1-\mu}}$ 时:

$$\xi_1 = \frac{1}{\frac{8}{\pi \sqrt{1-\mu}} \left(\frac{H_w}{D}\right) \left\{ 1 - \frac{1}{4} \left[\frac{8}{\pi \sqrt{1-\mu}} \left(\frac{H_w}{D}\right) \right]^2 \right\}} \quad (17)$$

式中 ξ_2 ——弯曲变形影响系数。

$$\xi_2 = \sqrt{1 + \frac{0.4}{1+\mu} \left(\frac{H_w}{D}\right)^2} \quad (18)$$

将 $\mu=0.3$ 代入并化简, 得出

当 $\frac{D}{H_w} \leq 3.044$ 时:

$$K'_c = \frac{\sqrt{1 + 0.308 \left(\frac{H_w}{D} \right)^2}}{1 - 0.027 \left(\frac{D}{H_w} \right)^2} \quad (19)$$

当 $\frac{D}{H_w} \geq 3.044$ 时:

$$K'_c = \frac{\sqrt{1 + 0.308 \left(\frac{H_w}{D} \right)^2}}{3.044 \left(\frac{H_w}{D} \right) \left[1 - 2.316 \left(\frac{H_w}{D} \right)^2 \right]} \quad (20)$$

在 (15) 式中 $4K'_c H_w \sqrt{\frac{K'_c \rho}{G}}$ 为空罐的振动周期;

$\sqrt{1 + 0.345 \frac{\rho_L R \rho_w}{\rho_w \delta_3 \rho}}$ 为充液影响系数。

对于储罐当 $\frac{R}{\delta_3} \geq 1000$ 时, 上述根号中第二项远大于 1, 因而可忽略第一项的 1。并将水的密度 ρ_w 和 G, K' 值代入, 则可将 (15) 式简化为:

$$T_c = 0.374 \times 10^{-3} K'_c H_w \left(\frac{R}{\delta_3} \right)^{1/2} \left(\frac{\rho_L}{\rho_w} \right)^{1/2} \quad (21)$$

为简化计算, 用 K_c 代替式 (21) 中的 $0.374 \times 10^{-3} K'_c$, 即:

$$K_c = 0.374 \times 10^3 K'_c \quad (22)$$

并偏于安全地取消了 $\left(\frac{\rho_L}{\rho_w} \right)^{1/2}$ 项后, 得出:

$$T_c = K_c H_w \left(\frac{R}{\delta_3} \right)^{1/2} \quad (23)$$

根据式(19)、(20)及(22),用有限元计算 T_c ,结果见表 7。

表 7 罐液耦连振动基本周期 T_c 计算结果

公称容量 (m ³)	罐高 (m)	罐半径 (m)	壁厚变化(mm)										罐壁 1/3H 处 厚度 (cm)	有限元 计算 T_c (s)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1000	11.86	5.43	6	5	5	5	5	5	5	5	5		0.5	0.1692
2000	13.11	7.29	8	7	6	5	5	5	5	5	5		0.55*	0.1940
3000	13.85	8.71	9	8	7	6	5	5	5	5	5		0.65*	0.2122
5000	15.14	10.54	12	12	9	8	7	6	6	6	6		0.85*	0.2248
10000	17.50	14.15	18	16	14	12	10	8	7	7	7		1.3*	0.2558
10000	15.85	14.25	16	15	13	11	10	8	6	6	6	6	1.1	0.2525
20000	15.85	20.25	16	14	12	11	9	8	8	8	8	8	1.1	0.3227
30000	19.35	23.00	23	21	18	15	13	11	9	8	8	8	1.5	0.3561
50000	19.35	30.00	32	28	23	20	18	14	11	10	10	10	2.0	0.3870

注: * 1/3H 处恰是上下二层壁板交界处,故取该二层壁厚的平均值。

用式(23)计算结果和其他方法计算结果见表 8。

表 8 T_c 计算结果对照表

公称容量 (m ³)	本规定计算 T_c (s)	与有限元计算 误差	坂井公式 T_c (s)	与有限元计算 误差
1000	0.1768	4.5%	0.1736	2.6%
2000	0.2052	5.8%	0.2029	4.3%
3000	0.2133	0.5%	0.2123	0.5%
5000	0.2233	0.7%	0.2221	1.2%
10000	0.2417	5.5%	0.2411	5.7%
10000	0.2629	4.5%	0.2403	4.8%
20000	0.3306	2.5%	0.3040	5.8%
30000	0.3457	2.9%	0.3330	6.5%
50000	0.3783	0.9%	0.3512	9.3%

$$\text{坂井公式 } f = \frac{\lambda}{2} \sqrt{\frac{\pi g E \delta_3}{W}}, \text{ 或 } T = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{W}{\pi g E \delta_3}}$$

式中 D ——罐直径；

λ ——参数, $\lambda = 0.067(H_w/D)^2 - 0.3(H_w/D) + 0.46$

H_w ——设计最高液位；

W ——液体总重；

δ_s ——1/3 罐高处壁厚；

E ——弹性模量。

D.3.3 公式(D.3.3) $T_w = K_s \sqrt{D}$, 系由 Housner 根据储罐底部固定的条件导出的近似解。式中 K_s 值由下式求得：

$$K_s = \frac{2\pi}{\sqrt{3.67g \tanh\left(\frac{3.67}{D/H_w}\right)}} \quad (24)$$

当 g 取 9.81m/s^2 代入, 则：

$$K_s = \frac{1.047}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3.67}{D/H_w}\right)}} \quad (25)$$

据(24)式可得出表 9。

表 9 储罐模型晃动周期 T_c (s)

模拟原型	模型尺寸 $D \times H$	充液高度 $H_w = 0.85H$ (mm)	有无 浮顶	模型试验 值晃动 周期(s)	模型 相似 系数	换算到 原型晃 动周期 (s)	按 $T_c = K_s D^{1/2}$ 计算值 (s)模型	误差 (%)
50000m ³ 钢罐	φ3750× 1210	1029	无	2.43	3.87	9.4	2.31	5
			有	2.30	—	—	2.31	—
3000m ³ 钢罐	φ2750× 2380	2023	无	1.785	2.45	4.4	1.71	4
			有	1.739	—	—	1.71	—
塑料 模型罐	φ400× 400	240	无	0.71	—	—	0.67	6

注: 3000m³ 及 50000m³ 模型罐试验表明, 有浮顶覆盖较无浮顶覆盖时的自由液晃动周期下降 3%~5%。

K_s 值与用速度势理论得出的精确解相同。

水利水电科学研究院抗震所在 $(5 \times 5)\text{m}$ 大型三向振动台上的 3000m^3 及 50000m^3 储罐模型振动试验,和天津大学海船系小型塑料模型储罐振动试验结果表明:虽然储罐在振动时发生翘离、弹性变形和多波变形,但试验得出的晃动周期仍与按式(D. 3. 3)计算的结果非常近似,详见表 9。

D. 3. 4 储罐所受的地震作用包括罐体重量产生的惯性力和储液的动液压力两部分。而动液压力又可分短周期的脉冲压力和长周期的液体晃动的对流压力。国内外规范对储罐地震作用均按地震反应谱理论计算。具体方法有:

1 美国《钢制焊接油罐》API 650 附录 E,将罐体惯性力、脉冲压力和对流压力的最大值叠加。此法将不同时出现的短周期地震作用和长周期地震作用相叠加,显然偏于保守。

2 日本《钢制焊接油罐结构标准》JIS B8501 认为,罐液耦联振动(产生脉冲压力)的基本周期在 $0.1 \sim 0.5\text{s}$ 之间;由加速度型地震所激发,液面晃动(产生对流压力)的基本周期在 $3 \sim 13\text{s}$ 之间,系由远震的位移型地震所激发,两种地震反应不会同时发生。故分别计算脉冲压力与对流压力,各与罐体惯性力叠加后分别进行抗震强度验算。

3 我国《工业设备抗震鉴定标准》认为,由大量计算结果统计得出的罐体自重惯性力仅为动液压力的 $1\% \sim 5\%$ 。为简化计算,可以忽略罐体自重惯性力。又因地震加速度的卓越周期在 1s 以内,经试验证明在现有记录的地震条件下所激发的液面晃动对流压力极小,故仅计算脉冲压力,而不计算晃动压力。但此法不适用容量大于 5000m^3 的大型储罐。且此法所取稳定核算的许用临界应力值偏低。

4 国内外资料认为按照反应谱理论,不同周期的地震反应分量最大值可采用分量的平方和开方(SRSS)法求得总的反应,即:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2} \quad (26)$$

式(26)是将脉冲压力分量和对流量压力分量采用平方和开方(SRSS)法组合,并经简化而得。

根据以上结果,本标准采用:

$$Q_0 = 10^{-6} C_z \alpha Y m g \quad (27)$$

式(27)中各项系数的确定原则分析如下:

1)地震影响系数 α ($\alpha = \beta \cdot k$)。地震影响系数 α 为动力系数 β 与地震系数 k 的乘积,储油罐的地震动力系数只在底部固定的时候才有理论解,而且只对应于 $n=1$ 的梁式振动。加州大学 Clough 等对 0.02 阻尼比采用实际反应谱计算时动力系数 β 取为 4.3。而日本抗震规范取 β 为 3。对于自由搁置的储罐在地震作用下的运输系数采用上述数值是否合适,目前只有通过试验得出。我们在 $(5 \times 5)\text{m}$ 的振动台上进行了 50000m^3 和 3000m^3 两个储罐模型振动试验,分别输入 ElCentro 地震波,人工模拟地震波和正弦共振三波。试验综合反应了罐壁多波变形、水的阻尼、环梁及地基、翘离等因素的影响。试验得出的动液压力大体为刚性壁理论的动液压力的 2 倍(即 $\beta=2$),因此本标准用刚性壁动液压力作为基准应该乘上 2。因为储罐耦联振动周期为 0.3s 左右,对不同场地的相应动力系数 β 为 2~2.25,由于推荐的反应谱动力系数最大值 β_{\max} 为 2.25,与试验结果接近,考虑到与原储油罐抗震标准的延续性,所以仍借用反应谱概念取 $\beta_{\max} = 2.25$,又因为试验结果 $\beta=2$ 已包括水的阻尼影响在内,所以反应谱中小于 3.5s 短周期部分不再进行阻尼修正。

2)罐体影响系数 Y 。引入 Y 是考虑罐壁惯性力的影响,罐壁质量约为罐内储液质量的 1%~5%,平均为 2.5%。试验结果表明,罐壁顶部的反应加速度常为地面加速度的 8~10 倍,即动力系数比储液动力系数 $\beta=2$ 大 3~4 倍,使罐体惯性力影响为 4×0.025 即可达动液压力的 10%左右,故取 Y 为 1.1。

3)综合影响系数 C_z 。从小模型罐的屈曲试验中发现罐的失稳主要是由 $n=1$ 梁式分量控制。在大振动台试验中得出动液压力虽然为 2 倍的刚性壁动液压力,但其中 $n=1$ 的梁式分量约占总量的 30%~50%,即 $n=1$ 的分量为 0.6~1 倍的刚性壁动液压力。所以式(27)中应使 $C_z Y \beta = 1$,即设计动液压力不宜小于刚性的动液压力。故 $C_z = \frac{1}{Y \beta} = \frac{1}{1.1 \times 2.25} = 0.4$,本标准取 C_z 为 0.4。

4)动液系数 F_r 。工程上刚性壁动液压力计算,一般均采用 Housner 近似理论公式,该方法考虑到储罐及其储液的两种反应形式:①罐壁和罐顶加上一部分储液与罐壁一起做一致的运动,通常称为脉冲压力;②储液自身的晃动,称为对流压力。 F_r 曲线是根据 Housner 推导并被 API 650 等规范广泛采用的,即是参加脉冲作用的罐内储液等效质量 m ,在各种罐体直径 D 与最大充液高度 H_w 的不同比值(D/H_w)情况下,和罐内储液总质量 m 的比值。 F_r 值是按下列公式确定的:

①当充液高度 H_w 和半径的比值小于 1.5(D/H_w 大于 1.33)时:

$$F_r = \frac{\tanh 0.866 D/H_w}{0.866 D/H_w} \quad (28)$$

②当充液高度 H_w 与半径的比值大于 1.5(D/H_w 小于 1.33)时,就脉冲压力而言 Housner 方法是将罐体下部深度低于 1.5 倍半径的储液当作刚体来考虑,即设想从储液上表面到深度为 1.5 倍半径处有一刚性水平薄膜把储液分成上下两部分,液体的运动只限于上部分,而下部分液体如刚体一样固定在罐壁上,不发生流动。此时:

$$F_r = 1 - 0.218 D/H_w \quad (29)$$

D.3.5 由公式(D.3.4-1)求出了总水平地震力后,需要确定总水平地震力的作用高度,才能求出地震作用弯矩。美国石油学会(API 650)采用 Housner 刚性壁理论,分别计算晃动和脉冲两种

等价质量的作用高度。储罐的脉冲动液压力重心对于国内大部分储罐在 $H_w/D < 1$ 时接近于 $0.375H_w$ ，日本 JIS B8501 中将该重心提高到 $0.42H_w \sim 0.46H_w$ 之间，我国《工业设备抗震鉴定标准》由于规定动液压力在罐壁沿液面高度均匀分布，合力作用点于 $1/2$ 液面高度即 $H_w/2$ 。按壳、液耦合振动理论，根据有限元法计算的脉冲动液压力沿高度近似于高次抛物线分布，重心位置距底为 $0.44H_w$ 。按梁的理论用解析法得出各种罐的动液压力合力点在 $(0.44 \sim 0.5)H_w$ 之间，与模型试验结果极接近。为了简化计算，本标准采用了 $0.45H_w$ 作为总水平地震作用的合力点高度。

D.3.6 Housner 根据理想流体的条件导出了晃动波高 h 的公式，经 Clough 修正后为： $h_v = \alpha_1 R$ ，后来美技术情报司 TID 7024 在应用时又改变成：

$$h_v = 0.343\alpha_1 T_s^2 \tanh\left(4.77 \sqrt{\frac{H}{D}}\right) \quad (30)$$

式中 h_v ——液面晃动波高(m)；

α_1 ——地震影响系数；

H ——储液高度(m)；

D ——罐直径(m)；

T_s ——储液晃动基本周期(s)。

日本工业标准《钢制焊接油罐结构》JIS B8501 规定液面晃动波高为：

$$h_v = 0.418D\alpha_1 \quad (31)$$

$$\alpha_1 = \frac{0.641}{T_s} \quad (32)$$

该标准中选取速度谱段进行波高计算，并且取速度谱值为 100cm/s 。

编制本标准时，采用势流理论并考虑流体粘性影响后导出液面晃动波高 h_v 为：

$$h_v = 0.837R\alpha_1 \quad (33)$$

当采用反应谱理论计算波高时, α_1 由加速度反应谱查出。

由于本标准中反应谱对应的阻尼比为 5%, 而晃动阻尼比为 0.5%, 随着阻尼减少、地震反应加大, 故应修正。日本及美国的设备抗震标准中规定的修正系数见表 10。

表 10 阻尼修正系数

阻尼	0.3	0.2	0.1	0.05	0.03	0.02	0.01	0.005
日本修正系数	0.44	0.56	0.78	1.00	1.18	1.32	1.53	1.79
美国修正系数	0.40	0.54	0.77	1.00	1.17	1.31	1.54	1.77

1985 年 9 月 18 日墨西哥地震记录分析, 随不同土壤而异的阻尼修正系数在 1.7~2.3 之间。

本条在计算储液晃动波高时, 随着阻尼减少至 0.005 而乘以系数 1.79。即:

$$h_v = 1.79 \times 0.837 R_\alpha = 1.5 R_\alpha$$

D.4 罐壁许用临界应力

我们用本规范规定的计算方法, 对国内外地震中的几十台油罐进行了验算, 当 $[\sigma_{cr}] = 0.15 \frac{Et}{D}$ 时, 验算结果与实际震害符合得很好。

日本《钢制焊接油罐结构》JIS B8501—85 中介绍, 根据 Timoshenko 公式临界应力 $\sigma_{cr} = 0.4 \frac{Et}{D}$; 而圆筒形薄壳受到弯曲时的失稳, 则其临界应力下限值为 $\sigma_{cr} = 0.5 \frac{Et}{D}$; 故在 JIS B8501 中考虑弯曲应力及环向应力的影响, 最后取临界应力为 $\sigma_{cr} = 0.5 \frac{Et}{D}$, 当取安全系数为 1.5 时则许用临界应力为 $[\sigma_{cr}] = \frac{0.5Et}{1.5D} = 0.33 \frac{Et}{D}$ 。

美国 API 650 中其稳定许用临界应力值(当 $E=2.9 \times 10^7$ 磅/平方英寸代入时)为 $[\sigma_{cr}] = 0.413 \frac{Et}{D}$, 此值偏高, 已接近轴压失稳临界应力下限值(表 11)。

表 11 各种轴压失稳的临界应力

荷载	最小临界应力	备 注
纯轴向压力	$\sigma_{cr} = 1.21 \frac{Et}{D} \sim 0.6 \frac{Et}{D}$	铁木辛柯 (Timshenko)《小挠度理论解》
	$\sigma_{cr} = 0.4 \frac{Et}{D} \sim 0.2 \frac{Et}{D}$	试验的下限值
	$\sigma_{cr} = 0.346 \frac{Et}{D} \sim 0.182 \frac{Et}{D}$	坎普涅尔 (Kapner)《大挠度理论压力容器设计》中采用
	$\sigma_{cr} = 0.36 \frac{Et}{D} \sim 0.18 \frac{Et}{D}$	赛得 (Seide) 试验的下限值在抗震验算中采用
纯弯曲	$\sigma_{cr} = 0.44 \frac{Et}{D} \sim 0.22 \frac{Et}{D}$	伏尔米尔 (Волъмир)
轴压缩及环向应力	$\sigma_{cr} = 0.5 \frac{Et}{D} \sim 0.25 \frac{Et}{D}$	沃兹尼克 (Wozniak) 日本 JIS B8501—85 采用

按本规范的抗震计算方法, 其计算结果与实际震害的符合程度远远高于目前美、日等国规范的计算方法。

D.5 抗震验算

D.5.1 罐壁底部的最大压应力 σ_1 由两部分组成: 即 $\frac{C_v N_1}{A_1}$ 和 $\frac{C_L M_1}{Z_1}$, 其中 $\frac{N_1}{A_1}$ 为由罐体自重产生的轴向压应力, 但在 9 度设防烈度区需考虑垂直地震的影响, 故乘以 C_v 垂直地震影响系数, 垂直地震影响为 $\frac{1}{2} \alpha_{\max}$, 对 9 度区则为 $\frac{1}{2} \times 0.9 = 0.45$ 加上本身自重影响, 故 $C_v = 1.45$ 。对 7 度和 8 度设防烈度区, 不考虑垂直地震的影响, 故 $C_v = 1$ 。

第二项 $\frac{M_1}{Z_1}$ 为由地震弯矩引起的弯曲应力,使储罐一侧产生压应力,应为固定罐的弯曲应力,但储罐实际是浮放于环梁基础上的,在地震作用下,会产生翘离,从而使另一侧罐壁产生更大的压应力。此时罐壁最大压应力要大于固定罐的 $\frac{M_1}{Z_1}$,故应乘以翘离影响系数 C_L ,此 C_L 表示翘离后的压应力和固定罐弯曲应力之比。

“翘离”在过去的资料中称之为“提离”(uplift),在地震作用下储罐底部某区段的抬起是由地震弯矩造成的,并非因罐壁受到向上的提升力造成的,储罐发生“抬起”现象仅增加受压一侧的压应力,并不增加抬起一侧的拉应力。故本条文以“翘离”代替了“提离”的术语。

关于翘离的计算方法,国内外资料中提出了不少数学模型,但其假设条件均有不足之处,存在不少值得商榷的问题;且其计算结果和实际震害及振动试验也有矛盾,其主要问题如下:

1 用现有各种数学模型计算在地震作用下各种储罐的翘离深度均较振动试验结果为小,仅为试验结果的 $1/4 \sim 1/3$ 。因此低估了被翘离的储液质量对储罐产生的压力。

2 各种数学模型计算的翘离深度非常接近,但不同假设的翘离角度差别很大(由接近 0° 到接近 180°),因此作为平衡反力的分布区不等,而导致罐壁的计算压应力不等,且差异较大。

3 各种模型假设的压应力在罐壁上的分布及罐底地基反力分布形状不同(三角形分布或曲线分布),导致同一平衡总力产生的罐壁翘离压应力不等。

4 各种数学模型仅考虑了静力平衡条件,但忽略了动态非线性效应。

5 API 650 附录 E 中规定的翘离应力计算方法,在工程应用上存在如下问题:

API 650 中认为:当 $\frac{M}{D^2(W_t + W_L)}$ 大于 1.57 时,储罐在结构

上是不稳定的,储罐必须锚固或增加罐壁厚度。用此法计算我国系列油罐,在 8 度地震烈度区,表 12 所列出的储罐必须锚固,但实际上并无油罐倾覆的震害出现。

表 12 8 度地震烈度区需锚固的储罐

类型	容积(m^3)	$D(\text{m})$	$H(\text{m})$	$t_1(\text{m})$	$\frac{M}{D^2(W_t + W_L)}$
浮顶	2000	14.5	12.69	0.007	1.58
浮顶	3000	16.5	14.27	0.009	1.90
拱顶	1000	11.58	10.58	0.006	1.62

注: M —地震倾覆力矩。

W_t —罐壁共同运动的储液有效质量。

W_L —抗震倾覆力矩的最大储液质量。

t_1 —底圈罐壁厚度。

在 Manos 和 Clough 的文献中介绍“API 650 中规定的设计谱加速度值 $C_1 = 0.24$, 当谱加速度超过 $0.24g$ 时, 储罐将发生倾覆。若某一特定设计谱加速度值大于 $0.24g$ 时, API 650 规范要求应将罐体锚固”。文献中也列出一些储罐, 其 C_1 均超出 $0.24g$, 但震害中并无储罐倾覆现象(详见表 13)。

表 13 罐壁压应力

类型	容积(m^3)	$D(\text{m})$	$H(\text{m})$	$t_1(\text{m})$	$\sigma_1(\text{MPa})$	$[\sigma_{cr}](\text{MPa})$
拱顶	2000	15.78	11.37	0.008	31.35	17.73
拱顶	700	10.26	9.41	0.0045	33.96	14.54

该文献认为, API 650 规定对浮顶储罐的动态翘离机理及导致失稳的趋势阐述不完善, 有待改进。

API 650 抗倾覆计算是按小挠度理论, 并假设储罐底板存在两个塑性铰, 一个塑性铰在与罐壁的连接点, 另一个在罐内离罐壁

的某一距离。这种假设使位于“倾覆区”附近储罐的计算罐壁压应力过大,问题在于罐底板的双铰梁假设与振动台试验结果不符;人们对储液的有利作用估计不足。

由于储罐动态翘离现象的复杂性,至今尚无一种理论能够理想地表达翘离储罐实际的动力反应;故本标准运用已经发生过的大批储罐震害记录,用统计归纳法得出翘离影响系数 C_L ,以确定储罐发生的翘离对弯曲应力的影响程度。此种方法与其他翘离算法相比,突出的优点在于计算简单,切合实际。

C_L 值用下列方法求出:设储罐的许用临界应力 $[\sigma_{cr}] = 0.15 \frac{Et}{D}$,采用一定数学模型及本条文公式计算出 1964 年 Alaska 地震,1979 年 Imperial Valley 地震和 1983 年 Coalinga 地震中 54 台储罐的抗震承载能力(以极限地震系数 k_1 表示)。当储罐所受实际地震系数 k 超过极限地震系数 k_1 时,储罐将遭受震害;反之则储罐不受震害。如计算结果与实际震害相符,说明所用计算方法可行。

使用极限地震系数 k_1 求出罐壁翘离弯曲应力与固定罐的弯曲应力相比,经统计归纳得出翘离系数 $C_L = 1.4$ 。采用 $C_L = 1.4$ 来表达翘离的不利影响,从而达到计算的结果符合震害实际情况的目的。

D.5.2 按本规范的计算方法对国内常用浮顶罐及拱顶罐系列进行抗震核算,其结果见表 14、表 15。表中所用罐壁厚度为图纸上的名义厚度。因此,表中计算结果仅供参考,不能作为设计依据。但从表中可以看出,容量在 5000m^3 以下的储罐,在地震中最容易发生罐壁下部失稳。

对于新设计的油罐,罐壁的计算厚度应取名义厚度减去腐蚀裕量及其负公差。

抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组应取自《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 的附录 A。

表 14 地震烈度 8 度 IV 类场地土浮顶罐抗震校核

项目	单位	1000m ³	2000m ³	3000m ³	5000m ³	10000m ³	20000m ³	30000m ³	50000m ³
材料	—	Q235A	Q235A	Q235A	Q235A	Q235A	16MnR	16MnR	16MnR
D	m	12.0	14.5	16.5	22.0	28.5	40.5	46.0	60.0
H ₁	m	9.52	12.69	14.27	14.27	15.85	15.85	19.35	19.35
$H_w = H_1 - 1.5$	m	8.02	11.19	12.77	12.77	14.35	14.35	17.85	17.85
R	m	6.00	7.25	8.25	11.00	14.25	20.25	23.00	30.00
t	m	0.0045	0.0065	0.0085	0.0115	0.0155	0.0155	0.0225	0.0315
T _w	s	3.65	4.00	4.26	4.98	5.73	7.17	7.52	9.08
T ₁	s	0.124	0.192	0.204	0.203	0.229	0.306	0.332	0.374
F _r	—	0.664	0.717	0.718	0.605	0.545	0.403	0.443	0.341
m ₁	kg	907000	1848000	2731000	4854000	9154000	18486000	29665000	50470000
m	kg	602000	1325000	1960000	2937000	4989000	7450000	13140000	17210000
Q ₀	N	1169000	2574000	3807000	5705000	9691000	14471000	25523000	33428000
M ₁	N·m	4220000	12960000	21877000	32782000	62576000	93445000	205012000	268513000
N ₁	N	199000	296000	401000	667000	1065000	1596000	2898000	4960000
A ₁	m ²	0.1697	0.2962	0.4408	0.7953	1.3886	1.9729	3.2532	5.9408
Z ₁	m ³	0.5091	1.073	1.8186	4.3741	9.8942	19.9735	37.4112	89.1140
C _L	—	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
σ ₁ (无保温)	MPa	12.764	17.896	17.751	11.331	9.621	7.359	8.563	5.053
σ ₁ (有保温)	MPa	13.826	18.862	18.581	11.942	10.125	7.862	8.986	5.355
$[\sigma_{cr}] = 0.15 \frac{Et}{D}$	MPa	11.302	13.509	15.523	15.752	16.388	11.534	14.740	15.820
鉴定结果	—	不合格	不合格	不合格	合格	合格	合格	合格	合格
h _v	m	1.105	1.132	1.150	1.158	1.166	1.106	1.153	1.071

注:以上计算时,壁厚尚未扣除腐蚀裕量及负偏差。

表 15 地震烈度 8 度 IV 类场地土拱顶罐抗震校核

项目	单位	400m ³	500m ³	700m ³	1000m ³	2000m ³	3000m ³	5000m ³	10000m ³
材料	—	Q235A	Q235A	Q235A	Q235A	Q235A	Q235A	Q235A	Q235A
D	m	8.288	8.983	10.263	11.580	15.781	18.992	23.760	31.282
D ₁	m	8.292	8.9875	10.2675	11.586	15.789	19.001	23.772	31.300
H	m	8.24	8.81	9.41	10.58	11.37	11.76	12.53	14.07
$H_v = H - 1.5$	m	7.416	7.929	8.469	9.522	10.233	10.584	11.277	12.663
R	m	4.144	4.4915	5.1315	5.790	7.8905	9.496	11.880	15.641
t ₁	m	0.0035	0.004	0.004	0.0055	0.0075	0.0085	0.0115	0.0175
t ₀	m	0.0035	0.004	0.004	0.0045	0.005	0.006	0.008	0.0125
T _s	s	3.02	3.14	3.36	3.57	4.19	4.64	5.26	6.16
T _c	s	0.111	0.115	0.131	0.147	0.173	0.181	0.191	0.206
F _r	—	0.756	0.753	0.736	0.735	0.652	0.588	0.520	0.454
m ₁	kg	400090	502520	700600	1002850	2001530	2998340	5000070	9732300
m	kg	302500	378400	515400	736800	1304300	1763800	2600300	44222400
Q ₀	N	588000	735000	1001000	1431000	2533000	8426000	5051000	8590000
M ₁	N·m	1961000	2622000	3815000	6132000	11666000	16317000	25631000	48949000
N ₁	N	83000	109000	136000	200000	344000	483000	865000	1652000
N' ₁	N	190000	232000	287000	391000	623000	829000	1327000	2333000
A ₁	m ²	0.0912	0.1129	0.1290	0.2002	0.3720	0.5074	0.8538	1.7208
Z ₁	m ³	0.1889	0.2536	0.3310	0.5796	1.4677	2.4090	5.1015	13.4585
C _L	—	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
σ ₁ (无保温)	MPa	15.444	15.440	17.190	15.811	12.053	10.435	8.041	6.052
σ' ₁ (有保温)	MPa	16.617	16.530	18.361	16.765	12.803	11.117	8.579	6.448
$[\sigma_\alpha] = 0.15 \frac{Et}{D}$	MPa	12.726	13.419	11.746	14.313	14.232	13.487	14.585	16.857
鉴定结果	—	不合格	不合格	不合格	不合格	合格	合格	合格	合格
h _v	m	0.941	0.985	1.059	1.110	1.133	1.135	1.133	1.123

注：以上计算时，壁厚尚未扣除腐蚀裕量及负偏差。

附录 E 油罐对地基和基础的基本要求

1 主要技术内容与 API 650 附录 B 基本相同,但有以下差别:

1)有关解释性的内容如各种基础的优缺点分析未采用;

2)API 650 第 10 版较第 9 版增加了一些新的东西,但国内还缺少工程实践,待条件成熟时再采用。

2 罐基础基本尺寸要求与 API 650、SYJ 1016 和 SH 3046 基本相同。