

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50341-2014

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

2014-05-29 发布

2015-03-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

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

Code for design of vertical cylindrical welded
steel oil tanks

GB 50341-2014

主编部门：中国石油天然气集团公司
批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部
施行日期：2015年3月1日

中国计划出版社

2014 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 50341-2014



中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 7.75 印张 195 千字

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷



统一书号: 1580242 · 492

定价: 47.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 432 号

住房城乡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—2014，自2015年3月1日起实施。其中，第3.0.3、10.10.1（6）、10.10.3（3）、10.10.4、10.10.5条（款）为强制性条文，必须严格执行。原国家标准《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB 50314—2003同时废止。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2014年5月29日

前　　言

根据住房和城乡建设部《关于印发 2011 年工程建设标准规范制订、修订计划的通知》(建标〔2011〕17 号)的要求,规范编制组认真总结了《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB 50341—2003 实施过程中所取得的经验,参考有关国际标准和国外先进标准,经广泛调查研究,反复讨论修改,在广泛征求意见的基础上,修订本规范。

本规范的主要技术内容是:立式圆筒形钢制焊接油罐设计所涉及的材料、罐底设计、罐壁设计、固定顶、浮顶、内浮顶、附件、油罐抗风稳定计算及锚固设计,微内压油罐,外压油罐设计,提高油罐设计温度的附加要求,油罐抗震设计,油罐对地基和基础的基本要求,荷载组合,罐壁厚度计算变设计点法,带肋球壳拱顶计算,罐壁开口许用外荷载等。

本规范修订的主要技术内容是:

1. 新增了第 11 章“油罐抗风稳定计算及锚固设计”、附录 B “外压油罐设计”、附录 F “荷载组合”、附录 G “罐壁厚度计算变设计点法”、附录 J “罐壁开口许用外荷载”;
2. 修订了常压油罐设计负压值,将固定顶油罐设计正压提高到 18kPa,最大设计负压提高到 6.9kPa;
3. 修订了材料许用应力取值,取消了 Q235-A、F、Q235-A、Q345-C、Q345-D、15MnNbR、07MnNiCrMoVDR 等材料;
4. 修订了罐底边缘板最小厚度值和罐底板之间搭接宽度的限制,调整了罐底边缘板外伸长度的限制;
5. 修订了罐壁厚度定设计点法计算公式中的计算液位规定及焊接接头系数取值;

6. 修订了顶部抗风圈截面模量计算公式；
7. 修订了固定顶油罐罐顶与罐壁采用弱连接结构时应满足的条件要求、顶板厚度及有效截面面积的计算公式，新增了支撑式锥顶支柱导向支座结构形式及要求和单层球面网壳的相关规定；
8. 修订了浮顶结构设计应满足的条件、浮顶隔舱满足严密性要求的条件限制，修订了密封及静电导出装置的相关规定，新增了刮蜡装置的相关规定；
9. 修订了内浮顶关于电气连接及静电导出的相关规定，新增了隔舱焊接方面的相关规定；
10. 修订了接管补强板的规格尺寸、法兰连接罐壁开孔接管图、盘梯、平台和走道宽度、铺板上表面至栏杆顶部的高度，新增了中间休息平台设置和吊挂支柱的规定；
11. 修订并补充了组装、焊接及检验的相关规定；
12. 修订了微内压油罐的计算公式，新增了不大于 18kPa 锚固罐设计的计算和规定；
13. 修订了油罐抗震设计动液系数、晃动波高及罐壁许用临界应力的计算公式，新增了油罐抗震锚固判断及锚固计算；
14. 修订并补充了油罐对基础和地基的基本要求和油罐基础基本尺寸要求。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由石油工程建设专业标准委员会负责日常管理，由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。执行过程中如有问题或建议，请寄送中国石油天然气管道工程有限公司（地址：河北省廊坊市和平路 146 号，邮政编码：065000）。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

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

中国石化工程建设公司

合肥通用机械研究院

主要起草人:傅伟庆 张文伟 孙正国 王夫安 武铜柱
程晖 吴龙平 杜秀菊 章小浒 王更武
顾先山 岳忠 王国丽 董旭 陈枫
董月功 潘乐民 杜清华 尹晔昕 孟庆鹏
王成 杜亮坡 罗丽华 唐颖浩 付丽
主要审查人:李宏斌 王小林 金维昂 韦振光 吴晓滨
张晨光 郭廷顺 牟林 赵树继 许宁
虞孝磊 张斌 李永生 张有渝 成洁
史金宝 邱小林

目 次

1	总 则	.....	( 1)
2	术 语	.....	( 2)
3	基本规定	.....	( 4)
4	材 料	.....	( 6)
4.1	一般规定	.....	( 6)
4.2	钢板	.....	( 7)
4.3	钢管	.....	( 10)
4.4	锻件	.....	( 13)
4.5	螺栓、螺母	.....	( 14)
4.6	结构型钢	.....	( 16)
4.7	焊接材料	.....	( 16)
5	罐底设计	.....	( 17)
5.1	罐底板尺寸	.....	( 17)
5.2	罐底结构	.....	( 18)
6	罐壁设计	.....	( 23)
6.1	罐壁排板与连接	.....	( 23)
6.2	罐壁包边角钢	.....	( 24)
6.3	罐壁厚度	.....	( 24)
6.4	抗风圈	.....	( 25)
7	固定顶	.....	( 33)
7.1	一般规定	.....	( 33)
7.2	构件的许用应力	.....	( 35)
7.3	自支撑式锥顶	.....	( 38)
7.4	柱支撑式锥顶	.....	( 39)

7.5	自支撑式拱顶	(40)
8	浮顶	(43)
8.1	一般规定	(43)
8.2	浮顶的结构与连接	(44)
8.3	浮顶支柱	(44)
8.4	浮顶排水管	(45)
8.5	紧急排水装置	(45)
8.6	转动浮梯及轨道	(46)
8.7	自动通气阀	(46)
8.8	导向及限位装置	(46)
8.9	密封及静电导出装置	(47)
8.10	浮顶人孔	(47)
8.11	隔舱人孔	(48)
8.12	刮蜡装置	(48)
9	内浮顶	(49)
9.1	一般规定	(49)
9.2	敞口隔舱式、单盘式和双盘式内浮顶	(50)
9.3	浮筒式内浮顶	(51)
9.4	内浮顶支柱	(51)
9.5	环形空间的密封	(51)
9.6	自动通气阀	(52)
9.7	通气孔	(52)
9.8	高液位保护	(53)
9.9	导向装置	(53)
9.10	人孔和检查孔	(53)
10	附件	(54)
10.1	一般规定	(54)
10.2	罐壁开孔及补强	(55)
10.3	罐壁人孔	(56)
10.4	罐壁开孔接管	(60)

10.5	齐平型清扫孔	(65)
10.6	罐顶人孔	(70)
10.7	罐顶开孔接管	(71)
10.8	排水弯头	(73)
10.9	排水槽	(74)
10.10	盘梯、平台及栏杆	(76)
10.11	吊挂支柱	(77)
10.12	防雷、防静电接地及其他	(78)
11	油罐抗风稳定计算及锚固设计	(79)
11.1	抗风稳定计算	(79)
11.2	锚固设计	(81)
12	预制、组装、焊接及检验	(84)
12.1	预制、组装及焊接	(84)
12.2	焊缝无损检测及试验	(84)
12.3	几何形状及尺寸检查	(89)
12.4	充水试验	(91)
12.5	固定顶试验	(91)
附录 A	微内压油罐	(93)
附录 B	外压油罐设计	(97)
附录 C	提高油罐设计温度的附加要求	(108)
附录 D	油罐抗震设计	(110)
附录 E	油罐对地基和基础的基本要求	(118)
附录 F	荷载组合	(123)
附录 G	罐壁厚度计算变设计点法	(125)
附录 H	带肋球壳拱顶计算	(128)
附录 J	罐壁开口许用外荷载	(131)
本规范用词说明		(145)
引用标准名录		(146)
附:条文说明		(149)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Basic requirement	(4)
4	Materials	(6)
4.1	General requirement	(6)
4.2	Steel plate	(7)
4.3	Steel pipe	(10)
4.4	Forgings	(13)
4.5	Screw and nut	(14)
4.6	Structural steel	(16)
4.7	Welding materials	(16)
5	Bottom design	(17)
5.1	Size of bottom plates	(17)
5.2	Bottom structure	(18)
6	Shell design	(23)
6.1	Shell plate's arrangement and connection	(23)
6.2	Curb angle	(24)
6.3	Shell thickness	(24)
6.4	Wind girder	(25)
7	Fixed roof	(33)
7.1	General requirement	(33)
7.2	Allowable stress of structural components	(35)
7.3	Self-supporting cone roof	(38)
7.4	Column-supported cone roof	(39)

7.5	Self-supporting dome roof	(40)
8	Floating roof	(43)
8.1	General requirement	(43)
8.2	Structure and connection of floating roof	(44)
8.3	Floating roof supports	(44)
8.4	Primary floating roof drains	(45)
8.5	Emergency roof drains	(45)
8.6	Rolling ladder and track	(46)
8.7	Automatic bleeder vents	(46)
8.8	Guiding devices	(46)
8.9	Peripheral seals and static extracting devices	(47)
8.10	Floating roof manholes	(47)
8.11	Compartment manholes	(48)
8.12	Wax scrapers	(48)
9	Internal floating roof	(49)
9.1	General requirement	(49)
9.2	Open-top bulk-headed, single-deck and double-deck internal floating roof	(50)
9.3	Internal floating roof on floats	(51)
9.4	Internal floating roof supports	(51)
9.5	Peripheral seals	(51)
9.6	Automatic bleed vents	(52)
9.7	Vents	(52)
9.8	High liquid level protection	(53)
9.9	Guiding devices	(53)
9.10	Manholes and inspection hatches	(53)
10	Appurtenances	(54)
10.1	General requirement	(54)
10.2	Shell opening and reinforcement	(55)

10.3	Shell manholes	(56)
10.4	Shell nozzles	(60)
10.5	Flush-type cleanout fittings	(65)
10.6	Roof manholes	(70)
10.7	Roof nozzles	(71)
10.8	Drain elbows	(73)
10.9	Water drawoff sumps	(74)
10.10	Spiral stairway,platforms and handrails	(76)
10.11	Scaffold cable support	(77)
10.12	Protection against lightning,static and others	(78)
11	Wind stable calculation and anchorage design of oil tanks	(79)
11.1	Wind stable calculation of oil tanks	(79)
11.2	Anchorage design of oil tanks	(81)
12	Prefabrication,assembling,welding and inspection	(84)
12.1	Prefabrication,assembly and welding	(84)
12.2	Non-destructive testing and test of welding seam	(84)
12.3	Geometry and dimension inspection	(89)
12.4	Water filling test	(91)
12.5	Fixed roof test	(91)
Appendix A	Design of tank for small internal pressures	(93)
Appendix B	Design of storage tank for external pressure	(97)
Appendix C	Requirements for tank operating at elevated temperatures	(108)
Appendix D	Seismic design of oil tank	(110)
Appendix E	Basic requirement of foundation and	

	basis for oil tank	(118)
Appendix F	Load combinations	(123)
Appendix G	Variable-design-point method on tank shell thickness calculation	(125)
Appendix H	Calculation for spherical dome roof with rib reinforcement	(128)
Appendix J	Allowable external loads on shell openings	(131)
	Explanation of wording in this code	(145)
	List of quoted standards	(146)
	Addition: Explanation of provisions	(149)

1 总 则

1.0.1 为了规范立式圆筒形钢制焊接油罐的设计,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 本规范适用于储存石油、石化产品及其他类似液体的常压和接近常压立式圆筒形钢制焊接油罐的设计,不适用于埋地、储存毒性程度为极度和高度危害介质、人工致冷液体储罐的设计。

1.0.3 立式圆筒形钢制焊接油罐设计除应执行本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 罐底边缘板 annular/sketch bottom plates

位于罐壁板下部的最外侧罐底板。

2.0.2 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。

2.0.3 罐底中幅板 bottom plates

边缘板以外的罐底板。

2.0.4 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 柱支撑式锥顶：罐顶形状为正圆锥形，荷载靠罐壁，梁、柱或其他结构支撑；

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。

2.0.5 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。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。不特别指出时，浮顶油罐指外浮顶油罐。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，此形式仅适用于内浮顶；

4 浮筒式浮顶：盘板与液面不接触，由浮筒提供浮力，此形式仅适用于内浮顶。

2.0.6 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。

2.0.7 金属温度 metal temperature

罐壁板及受力元件沿截面厚度的平均温度。

2.0.8 设计温度 design temperature

油罐在正常工作情况下,设定的罐壁板及受力元件的金属温度。

2.0.9 计算厚度 calculated thickness

按本规范相应公式计算得到的厚度。

2.0.10 设计厚度 design thickness

计算厚度与腐蚀裕量之和。

2.0.11 名义厚度 nominal thickness

设计厚度加上材料厚度负偏差后向上圆整至材料标准规格的厚度。

2.0.12 有效厚度 available thickness

名义厚度减去厚度附加量。

2.0.13 抗风圈 wind girder

设置在罐壁上,以增加罐壁抗风能力的构件。

2.0.14 加强圈 stiffening ring

设置在罐壁上,增强油罐罐壁稳定性,防止罐壁失稳的构件。

2.0.15 转动浮梯 rolling ladder

连接罐壁顶部平台和浮顶,随浮顶升降的人行通道。

2.0.16 自动通气阀 automatic bleeder vent

浮顶浮起或恢复支撑状态时,可自行启闭的通气装置。

2.0.17 浮顶排水管 primary roof drains

在正常情况下,将外浮顶上的雨水排出罐外的装置。

2.0.18 紧急排水装置 emergency roof drains

在紧急情况下,用于排除外浮顶上超载积水的一种安全装置。

2.0.19 环向通气孔 circulation vent

设置在内浮顶油罐罐壁上或固定顶上,沿环向分布的通气装置。

3 基本规定

3.0.1 固定顶常压油罐的设计负压不应大于 0.25kPa, 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量; 当符合本规范附录 A 的规定时, 最大设计压力可提高到 18kPa; 当符合本规范附录 B 的规定时, 最大设计负压可提高到 6.9kPa。浮顶油罐的设计压力应取常压。

3.0.2 油罐的设计温度取值应符合下列规定:

1 油罐的设计温度取值不应低于油罐在正常操作状态时罐壁板及受力元件可能达到的最高金属温度, 不应高于油罐在正常操作状态时罐壁板及受力元件可能出现的最低金属温度。

2 油罐的最高设计温度不应高于 90℃。当符合本规范附录 C 的规定时, 固定顶油罐的最高设计温度可提高到 250℃。

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

3.0.3 在抗震设防烈度为 6 度及以上地区建罐时, 必须进行抗震设计。

3.0.4 抗震设计应符合本规范附录 D 的规定。

3.0.5 油罐的罐底板应放置于连续均匀的基础上, 油罐对地基和基础的基本要求应符合本规范附录 E 的规定。

3.0.6 油罐的设计条件应包括下列内容:

1 设计荷载:

1) 本规范附录 F 规定的荷载;

2) 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 油罐的类型、直径、高度和容量：

- 1)最大储存容量为储存介质液面达到设计液位(图3.0.6)时的容量；
- 2)有效操作容量为正常操作液位与最低操作液位之间的容量(图3.0.6)。

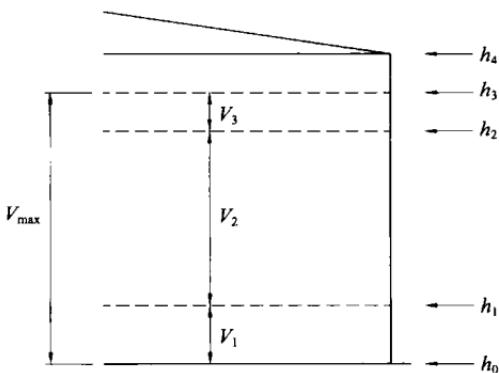


图3.0.6 油罐容量与液位

V_{max} —最大储存容量； V_1 —正常操作残留容量；

V_2 —有效操作容量； V_3 —预留保护容量； h_0 —罐底板上表面；

h_1 —最低操作液位； h_2 —正常操作液位； h_3 —设计液位； h_4 —罐壁顶部

3.0.7 厚度附加量应按下式计算：

$$C = C_1 + C_2 \quad (3.0.7)$$

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；

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

4 材 料

4.1 一般规定

4.1.1 钢材选用应综合考虑油罐的设计温度、介质腐蚀特性、材料使用部位、材料的化学成分及力学性能、焊接性能等，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氧气转炉或电炉冶炼，对于标准屈服强度下限值大于 390MPa 的低合金钢钢板，以及设计温度低于 -20℃ 的低温钢板和低温钢锻件，还应当采用炉外精炼工艺。

4.1.3 选用钢材和焊接材料的化学成分、力学性能和焊接性能应符合国家现行相关标准的规定。

4.1.4 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。

4.1.5 碳素钢和低合金钢钢材及其焊接接头的冲击试验应符合下列规定：

1 碳素钢和低合金钢钢材(钢板、钢管、锻件)及其焊接接头的冲击功应符合相应钢材标准的规定，且不应低于表 4.1.5 的规定。

表 4.1.5 碳素钢和低合金钢钢材及其焊接接头的冲击功

钢材标准抗拉强度下限值 R_m (MPa)	3 个标准试样的冲击功平均值 KV_2 (J)
$R_m \leq 450$	≥ 20
$450 < R_m \leq 510$	≥ 24
$510 < R_m \leq 570$	≥ 31
$570 < R_m \leq 630$	≥ 34

注：对 R_m 随厚度增大而降低的钢材，按该钢材最小厚度范围的 R_m 确定冲击功指标。

2 夏比 V 型缺口冲击试样的取样部位、方向及缺口位置应符合相应标准的规定。冲击试验每组应取 3 个标准试样,可有 1 个试样的冲击功数值低于表 4.1.5 的规定,但不得低于表 4.1.5 规定值的 70%。当钢材尺寸无法制备标准试样时,则应依次制备宽度为 7.5mm 或 5mm 的小尺寸冲击试样,其冲击功指标应分别为标准试样冲击功指标的 75%或 50%。

4.1.6 不同温度下钢材的弹性模量选取应符合表 4.1.6 的规定。

表 4.1.6 钢材的弹性模量

钢类	在下列温度(℃)下的弹性模量($\times 10^3$ MPa)					
	-40	20	100	150	200	250
碳素钢、 碳锰钢	205	201	197	194	191	188

注:中间温度的弹性模量可用线性内插法计算。

4.2 钢板

4.2.1 钢板的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	
			许用温度 (℃)	许用最大厚度 (mm)
1	Q235B	《碳素结构钢和 低合金结构钢热轧 厚钢板和钢带》 GB/T 3274	>-20	12
			>0	20
2	Q235C	《碳素结构钢和 低合金结构钢热轧 厚钢板和钢带》 GB/T 3274	>-20	16
			>0	24

续表 4.2.1

序号	钢号	钢板标准	使用范围	
			许用温度 (℃)	许用最大厚度 (mm)
3	Q245R	《锅炉和压力容器用钢板》GB 713	≥-20	36
4	Q345R	《锅炉和压力容器用钢板》GB 713	≥-20	36
5	Q370R	《锅炉和压力容器用钢板》GB 713	≥-20	36
6	16MnDR	《低温压力容器用低合金钢钢板》 GB 3531	≥-40	36
7	12MnNiVR	《压力容器用调质高强度钢板》 GB 19189	≥-20	45

4.2.2 钢板的许用应力值选取应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 钢板许用应力值

序号	钢号	使用状态	板厚 t (mm)	室温强度指标		在下列温度(℃)下的 许用应力(MPa)				
				R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	20	100	150	200	250
一 碳素钢板										
1	Q235B	热轧	$3 \leq t \leq 16$	370	225	150	136	132	127	122
			$16 < t \leq 20$	370	215	143	130	126	122	116
2	Q235C	热轧	$3 \leq t \leq 16$	370	225	150	136	132	127	122
			$16 < t \leq 24$	370	215	143	130	126	122	116

续表 4.2.2

序号	钢号	使用状态	板厚 t (mm)	室温强度指标		在下列温度(℃)下的 许用应力(MPa)				
				R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	20	100	150	200	250
一	碳素钢板									
3	Q245R	热轧,控轧,正火	$3 \leq t \leq 16$	400	245	163	149	144	139	132
			$16 < t \leq 36$	400	235	157	143	138	133	127
二	低合金钢板									
4	Q345R	热轧,控轧,正火	$3 \leq t \leq 16$	510	345	230	200	186	172	162
			$16 < t \leq 36$	500	325	217	188	175	162	152
5	Q370R	正火	$10 \leq t \leq 16$	530	370	247	214	200	185	173
			$16 < t \leq 36$	530	360	240	209	194	180	169
6	16MnDR	正火	$6 \leq t \leq 16$	490	315	210	182	170	157	148
			$16 < t \leq 36$	470	295	197	171	159	147	138
7	12MnNiVR	调质	$10 \leq t \leq 45$	610	490	294	268	256	244	233

注:中间温度的许用应力值可采用线性内插法计算。

4.2.3 未列入本规范表 4.2.2 中的钢板的许用应力值应符合下列规定:

1 当选取符合本规范要求的碳素钢和标准屈服强度下限值小于或等于 390MPa 的低合金钢板时,应取设计温度下 2/3 标准屈服强度下限值;

2 当选取符合本规范要求的标准屈服强度下限值大于390MPa的低合金钢钢板时,应取设计温度下60%标准屈服强度下限值。

4.2.4 罐壁钢板的使用厚度应符合本规范的规定,且钢板名义厚度不得大于45mm。

4.2.5 油罐的设计温度低于-10℃时,厚度大于20mm的Q245R钢板和厚度大于30mm的Q345R钢板应在正火状态下使用。

4.2.6 凡符合下列条件的钢板,应逐批取样进行夏比V型缺口冲击试验。冲击试验温度应按现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB 713的规定进行-20℃冲击试验,并应在图样或有关技术文件中注明。

1 设计温度低于-10℃时,厚度大于16mm的Q245R钢板;

2 设计温度低于-10℃时,厚度大于25mm的Q345R钢板。

4.2.7 调质状态供货的钢板应逐热处理张取样进行拉伸和夏比V型缺口-20℃冲击试验。冲击试样的取样部位和试样方向应符合现行国家标准《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189的有关规定。

4.2.8 符合下列要求的罐壁和罐底边缘板用钢板应逐张进行超声检测。检测方法和质量等级应符合国家现行标准《承压设备无损检测 第3部分:超声检测》JB 4730.3的有关规定。

1 厚度大于30mm的Q245R和Q345R钢板,质量等级不应低于Ⅲ级;

2 厚度大于25mm的Q370R钢板和厚度大于20mm的16MnDR钢板,质量等级不应低于Ⅱ级;

3 调质状态供货的钢板,质量等级应为Ⅰ级。

4.3 钢 管

4.3.1 罐壁开孔用无缝钢管的标准及使用范围应符合表4.3.1的规定。

表 4.3.1 无缝钢管标准及使用范围

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	《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163	热轧	≥-10	≤10
		《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479	正火	≥-10	≤16
		《石油裂化用无缝钢管》GB 9948	正火	≥-20	≤16
2	20	《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163	热轧	≥0	≤10
		《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479	正火	≥0	≤16
		《石油裂化用无缝钢管》GB 9948	正火	≥-10	≤16
3	Q345C	《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163	正火	≥0	≤10
4	Q345D	《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163	正火	≥-20	≤10
5	16Mn	《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479	正火	≥-40	≤16

4.3.2 无缝钢管的许用应力值选取应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 无缝钢管的许用应力

序号	钢号	壁厚 (mm)	室温强度指标		在下列温度(℃)下的许用应力(MPa)				
			R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	≤20	100	150	200	250
1	10	≤16	335	205	124	121	115	108	98
2	20	≤16	410	245	152	147	140	131	117
3	Q345C	≤10	470	345	174	174	174	174	167
4	Q345D	≤10	470	345	174	174	174	174	167
5	16Mn	≤16	490	320	181	181	180	167	153

注:中间温度的许用应力值可采用线性内插法计算。

4.3.3 选用本规范表 4.3.1 中的材料,应符合下列规定:

1 当选用现行国家标准《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479 中 10、20 和 16Mn 钢管时,钢管的化学成分应符合 S 不大于 0.020% 的规定;

2 设计温度低于-20℃时,16Mn 钢管的化学成分还应符合 P 不大于 0.025%、S 不大于 0.012% 的规定。

4.3.4 罐壁开口用外径不小于 70mm,且壁厚大于 10mm 的钢管,应按本规范表 4.3.1 中许用温度下限逐批取样进行夏比 V 型缺口冲击试验,并应符合下列规定:

1 当选用现行国家标准《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479 中各钢号钢管时,10 和 20 钢管应分别进行-10℃ 和 0℃ 的冲击试验,3 个纵向标准试样的冲击功平均值不应小于 31J; 16Mn 钢管,当设计温度大于或等于-20℃ 时应进行-20℃ 冲击试验,当设计温度低于-20℃ 时应进行-40℃ 冲击试验,3 个纵向标准试样的冲击功平均值不应小于 34J。

2 当选用现行国家标准《石油裂化用无缝钢管》GB 9948 中 10 和 20 钢管时,应分别进行-20℃ 和-10℃ 的冲击试验,3 个纵向标准试样的冲击功平均值不应小于 31J。

4.3.5 罐顶开孔接管用钢管应符合现行国家标准《输送流体用

无缝钢管》GB/T 8163 的有关规定。

4.3.6 油罐梯子、平台等钢结构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 3091 的有关规定。

4.4 锻件

4.4.1 罐壁开孔用锻件的标准及使用范围应符合表 4.4.1 的规定。

表 4.4.1 锻件的标准及使用范围

序号	钢号	锻件标准	热处理状态	许用温度(℃)
1	20	《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》 NB/T 47008	正火或正火加回火	≥-20
2	16Mn	《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》 NB/T 47008	正火、正火加回火或 调质	≥-20
3	16MnD	《低温承压设备用低合金钢锻件》 NB/T 47009	调质	≥-40

注:16MnD 锻件公称厚度小于或等于 100mm 时,许用温度大于或等于 -45℃。

4.4.2 锻件的许用应力值选取应符合表 4.4.2 的规定。

表 4.4.2 锻件的许用应力值

序号	钢号	锻件 标准	公称厚度 t (mm)	室温强度指标		在下列温度(℃)下的 许用应力(MPa)				
				R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	≤20	100	150	200	250
1	20	《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》 NB/T 47008	$t \leq 100$	410	235	152	140	133	124	111

续表 4.4.2

序号	钢号	锻件 标准	公称厚度 t (mm)	室温强度指标		在下列温度(℃)下的 许用应力(MPa)				
				R_n (MPa)	R_{eL} (MPa)	≤20	100	150	200	250
2	16Mn	《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008	$t \leq 100$	480	305	178	178	167	150	137
			$100 < t \leq 200$	470	295	174	174	163	147	133
			$200 < t \leq 300$	450	275	167	167	157	143	130
3	16MnD	《低温承压设备用低合金钢锻件》NB/T 47009	$t \leq 100$	480	305	178	178	167	150	137
			$100 < t \leq 200$	470	295	174	174	163	147	133
			$200 < t \leq 300$	450	275	167	167	157	143	130

注:中间温度的许用应力值可采用线性内插法计算。

4.4.3 设计温度低于0℃的20钢和16Mn钢锻件,应按现行行业标准《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008的规定进行-20℃冲击试验,并应在图样或有关技术文件中注明。

4.5 螺栓、螺母

4.5.1 螺栓、螺母组合用钢的使用范围应符合表4.5.1的规定;调质状态使用的螺母用钢,回火温度应高于组合使用的螺栓用钢的回火温度。

表 4.5.1 螺栓、螺母组合用钢的使用范围

序号	螺栓钢号	螺母钢号	钢材标准	使用状态	许用温度(℃)
1	20	10、15	《优质碳素结构钢》GB/T 699	正火	≥-20
2	35	20、25	《优质碳素结构钢》GB/T 699	正火	≥0

续表 4.5.1

序号	螺栓钢号	螺母钢号	钢材标准	使用状态	许用温度(℃)
3	30CrMoA	40Mn、45	《优质碳素结构钢》GB/T 699	正火	≥-10
		30CrMoA	《合金结构钢》GB/T 3077	调质	≥-70
4	35CrMoA	40Mn、45	《优质碳素结构钢》GB/T 699	正火	≥-10
		35CrMoA	《合金结构钢》GB/T 3077	调质	≥-50

4.5.2 螺栓的许用应力值选取应符合表 4.5.2 的规定。

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	室温强度指标		在下列温度(℃)下的许用应力(MPa)				
					R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	≤20	100	150	200	250
1	20	《优质碳素结构钢》GB/T 699	正火	≤M22	410	245	91	81	78	73	65
				M24~M27	400	235	94	84	80	74	67
2	35	《优质碳素结构钢》GB/T 699	正火	≤M22	530	315	117	105	98	91	82
				M24~M27	510	295	118	106	100	92	84
3	30CrMoA	《合金结构钢》GB/T 3077	调质	≤M22	700	550	157	141	137	134	131
				M24~M48	660	500	167	150	145	142	140
4	35CrMoA	《合金结构钢》GB/T 3077	调质	≤M22	835	735	210	190	185	179	176
				M24~M48	805	685	228	206	199	196	193

注:中间温度的许用应力值可采用线性内插法计算。

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《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的有关规定。许用应力应符合本规范第 7.2 节的规定。

4.6.2 当建罐地区的最低日平均温度低于 0℃ 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, 且应具有良好的焊接性能。

4.7.2 用于焊接罐底边缘板、罐壁板和罐壁开孔锻件、接管的焊接材料, 其技术要求、试验方法、检验规则以及质量管理等除应符合相应标准的规定外, 还应符合现行行业标准《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T 47018 的有关规定。

4.7.3 当设计温度低于 -20℃ 时罐底边缘板、罐壁板和罐壁开孔锻件、接管的焊接应选用高韧性焊接材料。

5 罐底设计

5.1 罐底板尺寸

5.1.1 除腐蚀裕量外,罐底板的厚度不应小于表 5.1.1 的规定。

表 5.1.1 罐底板厚度

油罐内径(m)	罐底板厚度(mm)
$D \leq 10$	5
$D > 10$	6

5.1.2 除腐蚀裕量外,罐底环形边缘板的厚度不应小于表 5.1.2 的规定。

表 5.1.2 环形边缘板厚度

底圈罐壁板名义厚度(mm)	环形边缘板厚度(mm)	
	底圈罐壁板标准屈服强度下限值(MPa)	
	≤ 390	> 390
≤ 6	6	—
7~10	7	—
11~20	9	—
21~25	11	12
26~30	12	16
31~34	14	18
35~39	16	20
≥ 40	—	21

5.1.3 环形边缘板的尺寸在水平面内沿罐半径方向测量,应符合下列规定:

1 罐壁内表面至边缘板与中幅板之间的连接焊缝的最小径

向距离不应小于下式的计算值,且不应小于 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 ——罐底环形边缘板的名义厚度(不包括腐蚀裕量)(mm);

H_w ——设计液位高度(m);

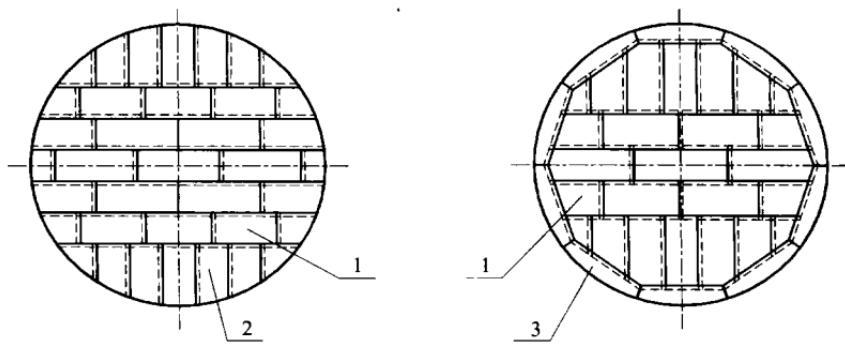
ρ ——储液相对密度。

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,且不宜大于 100mm。

3 需抗震设防的油罐和采用环梁基础的油罐,环形边缘板的径向尺寸宜加大。

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)。



(a) 不设环形边缘板罐底

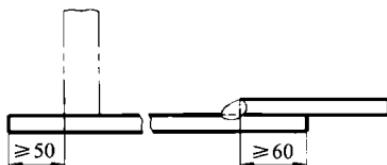
(b) 设环形边缘板罐底

图 5.2.1 罐底结构

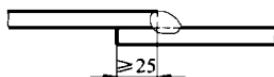
1—中幅板; 2—非环形边缘板; 3—环形边缘板

5.2.2 环形边缘板外缘应为圆形,内缘应为正多边形或圆形;内缘为正多边形时,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 和图 5.2.3-2),较厚板宜选用对接。

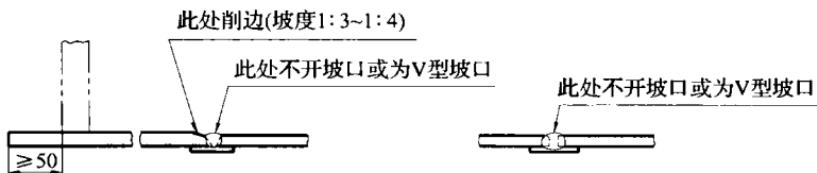


(a) 中幅板与边缘板搭接



(b) 中幅板与中幅板搭接

图 5.2.3-1 罐底板的搭接接头



(a) 中幅板与边缘板对接

(b) 中幅板与中幅板对接

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宜为 5 倍板厚,且实际搭接宽度不应小于 25mm;中幅板宜搭接在环形边缘板的上面,实际搭接宽度不应小于 60mm。

采用对接时,焊缝下面应设厚度不小于 4mm 的垫板,垫板应与罐底板贴紧并定位。

5.2.5 厚度不大于 6mm 的罐底边缘板对接时,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 的罐底边缘板对接时,焊缝应采用 V 型坡口(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。

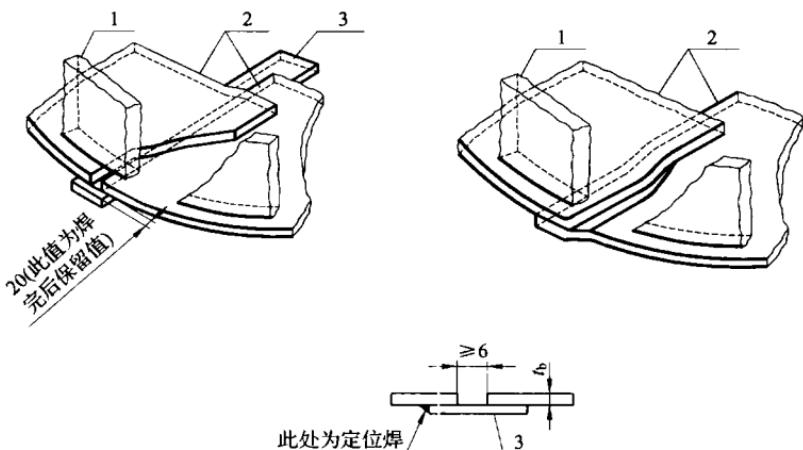


图 5.2.5-1 罐底边缘板搭接接头
1—罐壁板；2—罐底边缘板；3—垫板

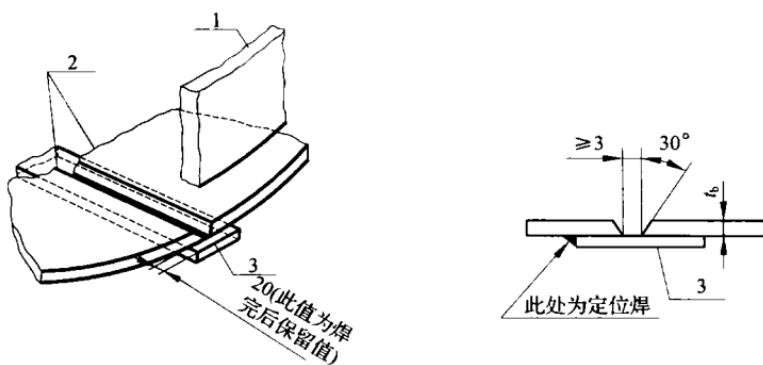


图 5.2.5-2 罐底边缘板对接接头
1—罐壁板；2—罐底边缘板；3—垫板

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，下列情况应符合罐底板的对接接头要求（图 5.2.3-2）：

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 三层底板重叠处结构组装(图 5.2.8), 最上层搭接底板应做切角处理。

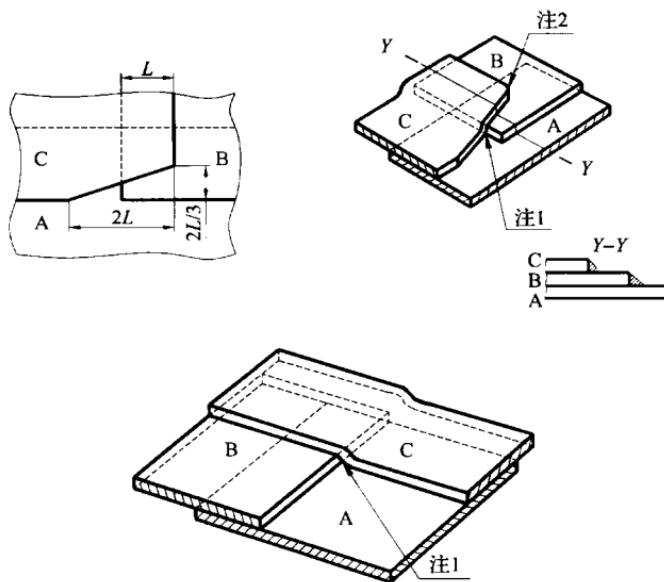


图 5.2.8 三层底板重叠处结构组装

注:1 焊接最上层 C 板角焊缝之前, 应先焊接 A 板和 B 板之间的角焊缝, 并应延长到 C 板覆盖的区域内;

2 转角处应倒圆。

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应小于 300mm。边缘板对接焊缝至底圈罐壁纵焊缝的距离不应小于 300mm。

5.2.10 底圈罐壁板与边缘板之间的 T 形接头(图 5.2.10)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

内侧的焊缝沿径向的尺寸宜取 1.0 倍~1.35 倍的边缘板厚度(图 5.2.10)。当边缘板厚度大于 13mm 时,罐壁内侧可开坡口[图 5.2.10(a)]。

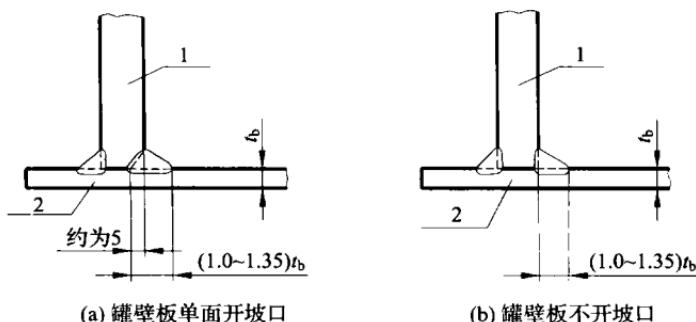


图 5.2.10 底圈罐壁板与边缘板之间的 T 形接头
1—罐壁板;2—边缘板

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 罐壁相邻两圈壁板的纵向接头应相互错开,距离不应小于300mm。

6.1.2 上圈壁板厚度不应大于下圈壁板厚度。

6.1.3 罐壁板的纵环焊缝应采用对接,内表面应齐。

6.1.4 罐壁纵向对接接头(图6.1.4-1)、罐壁环向对接接头(图6.1.4-2)应采用全焊透结构,焊接接头的设计宜符合现行国家标准《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985.1和《埋弧焊的推荐坡口》GB/T 985.2的有关规定。



(a) I形坡口



(b) 单面Y形坡口



(c) 带钝边U形坡口



(d) 双面Y形坡口



(e) 双面U形坡口

图 6.1.4-1 罐壁纵向对接接头



(a) I形坡口



(b) 单面Y形坡口



(c) 双面Y形坡口

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结构或搭接结构。包边角钢自身的对接焊缝应全焊透。浮顶油罐罐壁包边角钢的水平肢应设置在罐壁外侧(图6.2.1)。



图 6.2.1 包边角钢与罐壁连接接头

6.2.2 固定顶油罐罐壁和浮顶油罐罐壁包边角钢的最小尺寸应符合表 6.2.2-1 和表 6.2.2-2 的规定。

表 6.2.2-1 固定顶油罐罐壁包边角钢的最小尺寸

油罐内径 D (m)	包边角钢尺寸(mm)
$D \leq 10$	L 50×5
$10 < D \leq 18$	L 63×8
$18 < D \leq 60$	L 75×10
$D > 60$	L 90×10

表 6.2.2-2 浮顶油罐罐壁包边角钢的最小尺寸

最上圈罐壁板名义厚度(mm)	包边角钢尺寸(mm)
5	L 63×6
> 5	L 75×6

6.3 罐壁厚度

6.3.1 罐壁厚度的计算,当油罐直径小于或等于 60m 时,宜采用定设计点法;当油罐直径大于 60m 时,宜采用变设计点法,罐壁厚度变设计点法应符合本规范附录 G 的规定。

6.3.2 当采用定设计点法时,罐壁厚度应按下列公式计算:

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)\rho}{[\sigma]_d\varphi} \quad (6.3.2-1)$$

$$t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{[\sigma]_t\varphi} \quad (6.3.2-2)$$

式中: t_d ——设计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);指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,或到采取有效措施限定的设计液位高度;

ρ ——储液相对密度;

$[\sigma]_d$ ——设计温度下钢板的许用应力(MPa);

$[\sigma]_t$ ——试水条件下钢板的许用应力,取20℃时钢板的许用应力(MPa);

φ ——焊接接头系数,底圈罐壁板取0.85,其他各圈罐壁板取0.9。

6.3.3 罐壁板的名义厚度不应小于试水条件或设计条件下的计算厚度加各自厚度附加量的较大值。

6.3.4 罐壁板的最小名义厚度应符合表6.3.4的规定。

表6.3.4 罐壁板的最小名义厚度

油罐内径(m)	罐壁板的最小名义厚度(mm)
$D < 15$	5
$15 \leq D < 36$	6
$36 \leq D \leq 60$	8
$60 < D \leq 75$	10
$D > 75$	12

6.4 抗风圈

6.4.1 抗风圈(顶部抗风圈、中间抗风圈)的设计应符合下列规定:

1 敞口油罐应在罐壁外侧靠近罐壁上端设置顶部抗风圈,设置位置宜在离罐壁上端 1m 的水平面上。

2 当设置一道顶部抗风圈不能满足要求时,可设置多道。

3 抗风圈的外周边缘可以是圆形的,也可以是多边形的。当抗风圈兼作走道时,其最小净宽度不应小于 650mm,抗风圈上表面不得存在影响行走的障碍物。

4 抗风圈结构形式(图 6.4.1-1)可采用钢板、型钢或两者组合焊接而成;钢板最小名义厚度应为 5mm,角钢的最小规格应为 63mm×6mm,槽钢的最小规格应为 160mm×60mm×6.5mm。

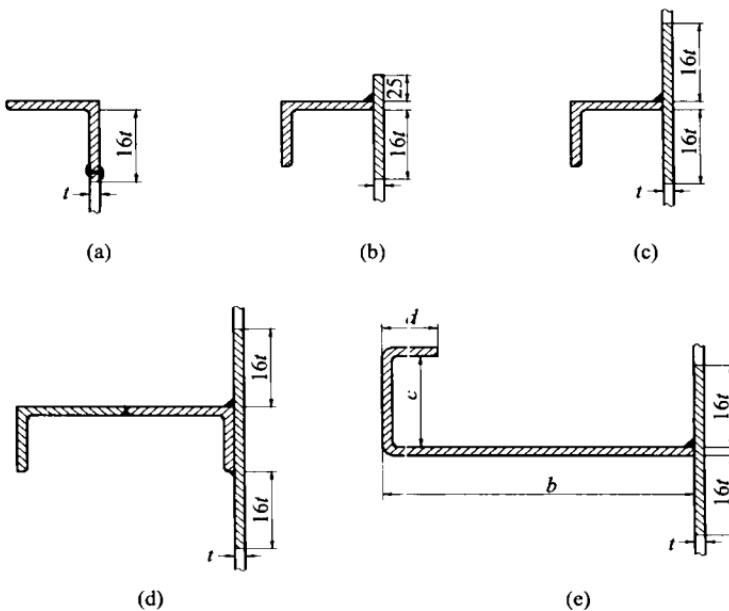


图 6.4.1-1 抗风圈截面结构形式

5 抗风圈水平铺板上应开设排液孔,孔径宜为 16mm~20mm。

6 抗风圈自身部件的对接接头应采用全焊透对接结构,对接焊缝下部宜加垫板,且距罐壁纵焊缝的距离不应小于 150mm;抗风圈与罐壁的连接,上侧应采用连续焊,下侧可采用间断焊,且距罐壁环焊缝的距离不应小于 150mm。

7 当盘梯穿过抗风圈(图 6.4.1-2)时,抗风圈应开设盘梯洞口;开口处任意截面的截面模量不应小于顶部抗风圈、中间抗风圈各自最小截面模量的规定。

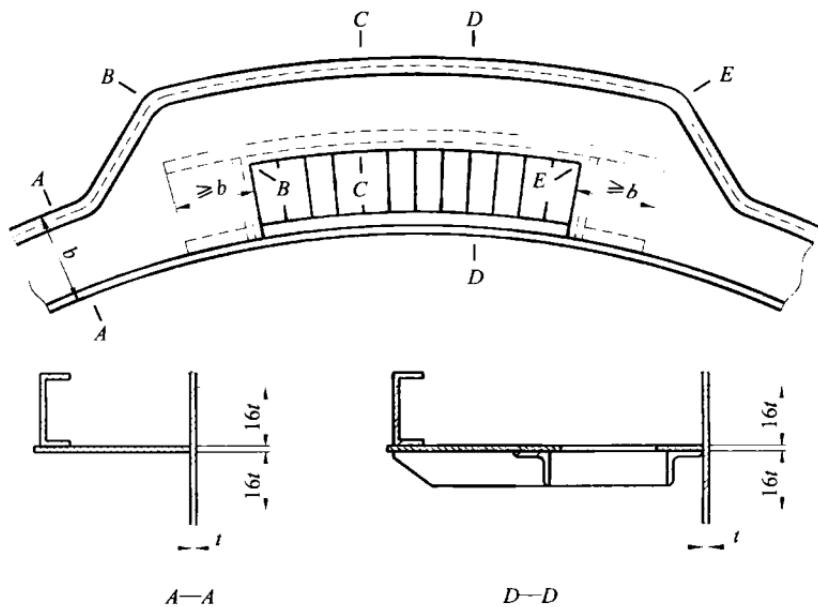


图 6.4.1-2 盘梯穿抗风圈示意图

8 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抗风圈的最小宽度;加强用角钢的尺寸不应小于罐壁包边角钢的尺寸。

9 抗风圈腹板开洞边缘应进行加强,加强件有效截面积不应小于所在位置 32 倍罐壁厚度范围内的截面积。加强件之间及加强件与罐壁之间应进行双面满角焊。

10 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。

11 顶部抗风圈外侧及盘梯洞口无防护侧应设置栏杆。

6.4.2 顶部抗风圈设计还应符合下列规定:

1 顶部抗风圈的最小截面模数应按下式计算：

$$W_z = 0.083 D^2 H_1 \omega_0 \quad (6.4.2)$$

式中： W_z ——顶部抗风圈的最小截面模数(cm^3)；

H_1 ——罐壁总高度(m)；

D ——油罐内径(m)；

ω_0 ——基本风压(kPa)，取值应符合本规范第 6.4.4 条的规定。

2 计算顶部抗风圈的截面模数时，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。当罐壁有厚度附加量时，计算时应扣除厚度附加量。

6.4.3 中间抗风圈设计还应符合下列规定：

1 固定顶油罐应将罐壁全高作为风力稳定核算区间，敞口油罐应将顶部抗风圈以下的罐壁作为风力稳定核算区间。

2 核算区间的罐壁筒体许用临界压力应按下列公式计算：

$$[P_{cr}] = 16.48 \frac{D}{H_E} \left(\frac{t_{min}}{D} \right)^{2.5} \quad (6.4.3-1)$$

$$H_E = \sum H_{ei} \quad (6.4.3-2)$$

$$H_{ei} = h_i \left(\frac{t_{min}}{t_i} \right)^{2.5} \quad (6.4.3-3)$$

式中： $[P_{cr}]$ ——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)。

3 罐壁筒体的设计外压应按下列公式计算：

对于敞口的浮顶油罐：

$$P_o = 3.375 \mu_z \omega_0 \quad (6.4.3-4)$$

对于与大气连通的内浮顶油罐：

$$P_o = 2.25\mu_z\omega_0 \quad (6.4.3-5)$$

对于存在内压的固定顶油罐：

$$P_o = 2.25\mu_z\omega_0 + q \quad (6.4.3-6)$$

式中： P_o ——罐壁筒体的设计外压(kPa)；

ω_0 ——基本风压(kPa)，取值应符合本规范第6.4.4条的规定；

μ_z ——风压高度变化系数，取值应符合本规范第6.4.5条的规定；

q ——设计真空负压(kPa)，不得超过0.25 kPa。

4 中间抗风圈的数量及在当量筒体上的位置应按下列规定设置：

1) 当 $[P_{cr}] \geq P_o$ 时，可不设中间抗风圈；

2) 当 $P_o > [P_{cr}] \geq \frac{P_o}{2}$ 时，应设一个中间抗风圈，中间抗风圈

位置宜在 $\frac{1}{2}H_E$ 处；

3) 当 $\frac{P_o}{2} > [P_{cr}] \geq \frac{P_o}{3}$ 时，应设两个中间抗风圈，中间抗风圈

位置宜分别在 $\frac{1}{3}H_E$ 与 $\frac{2}{3}H_E$ 处；

4) 当 $\frac{P_o}{3} > [P_{cr}] \geq \frac{P_o}{4}$ 时，应设三个中间抗风圈，中间抗风圈

的位置宜分别在 $\frac{1}{4}H_E$ 、 $\frac{1}{2}H_E$ 、 $\frac{3}{4}H_E$ 处；

5) 当 $\frac{P_o}{4} > [P_{cr}] \geq \frac{P_o}{5}$ 时，应设四个中间抗风圈，中间抗风圈

的位置宜分别在 $\frac{1}{5}H_E$ 、 $\frac{2}{5}H_E$ 、 $\frac{3}{5}H_E$ 、 $\frac{4}{5}H_E$ 处；

6) 当 $\frac{P_o}{5} > [P_{cr}] \geq \frac{P_o}{6}$ 时，应设五个中间抗风圈，中间抗风圈

的位置宜分别在 $\frac{1}{6}H_E$ 、 $\frac{1}{3}H_E$ 、 $\frac{1}{2}H_E$ 、 $\frac{2}{3}H_E$ 、 $\frac{5}{6}H_E$ 处。

5 中间抗风圈在实际罐壁上的位置应符合下列规定：

- 1) 当中间抗风圈位于最薄的罐壁板上时, 其到上面一个加强截面的实际距离可不换算。
- 2) 当中间抗风圈不在最薄罐壁板上时, 其到上面一个加强截面的实际距离应按下式进行换算:

$$h_i = H_{ei} \left(\frac{t_i}{t_{mir}} \right)^{2.5} \quad (6.4.3-7)$$

6 中间抗风圈的最小截面尺寸应符合表 6.4.3 的规定。

表 6.4.3 中间抗风圈的最小截面尺寸

油罐内径 D (m)	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
$48 < D \leq 60$	L 200×125×12
$D > 60$	L 200×200×14

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。

8 当设计负压大于 0.25kPa 时, 中间抗风圈设计应按本规范附录 B 的规定进行。

6.4.4 基本风压取值应符合下列规定:

1 基本风压应采用现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012 附录 E 中表 E.5 重现期为 50 年的风压值, 但不得小于 0.3kPa。除此之外, 还应考虑建罐地区地理位置和当地气象条件的影响。

2 当建设地点没有风荷载资料时, 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。

3 当所设计的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。

6.4.5 风压高度变化系数 μ_z 应按下列规定选用:

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 6.4.5-1 确定,中间值应采用插入法。

地面粗糙度可分为 A、B、C、D 四类: A 类指近海海面和海岛、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, 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。

表 6.4.5-1 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	1.09	1.00	0.65	0.51
10	1.28	1.00	0.65	0.51
15	1.42	1.13	0.65	0.51
20	1.52	1.23	0.74	0.51
30	1.67	1.39	0.88	0.51
40	1.79	1.52	1.00	0.60
50	1.89	1.62	1.10	0.69
60	1.97	1.71	1.20	0.77
70	2.05	1.79	1.28	0.84
80	2.12	1.87	1.36	0.91
90	2.18	1.93	1.43	0.98
100	2.23	2.00	1.50	1.04
150	2.46	2.25	1.79	1.33
200	2.64	2.46	2.03	1.58
250	2.78	2.63	2.24	1.81
300	2.91	2.77	2.43	2.02
350	2.91	2.91	2.60	2.22
400	2.91	2.91	2.76	2.40
450	2.91	2.91	2.91	2.58
500	2.91	2.91	2.91	2.74
≥550	2.91	2.91	2.91	2.91

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按表 6.4.5-1 确定后,再乘以修正系数 η 。山峰和山

坡,顶部 B 处的修正系数可按下式确定:

$$\eta_B = \left[1 + k \cdot \tan \alpha \left(1 - \frac{z}{2.5 H_2} \right) \right]^2 \quad (6.4.5)$$

式中: η_B —— 山峰或山坡顶部的修正系数;

α —— 山峰或山坡在迎风面一侧的坡度,当 $\tan \alpha > 0.3$ 时,取 $\tan \alpha = 0.3$;

k —— 系数,对山峰取 2.2,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 $z > 2.5 H_2$ 时,取 $z = 2.5 H_2$ 。

山峰和山坡的其他部位可按山峰和山坡(图 6.4.5)结构,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。

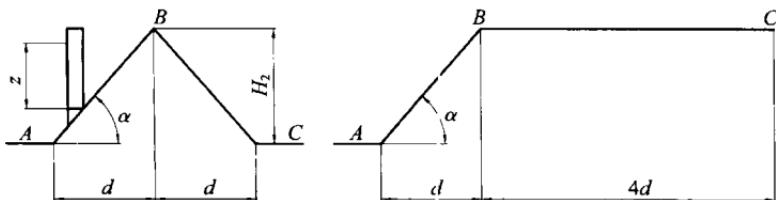


图 6.4.5 山峰和山坡示意图

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, $\eta = 1.20 \sim 1.50$ 。

3 对于远海海面和海岛的油罐,风压高度变化系数除可按表 6.4.5-1(A 类粗糙度类别)确定外,还应乘以表 6.4.5-2 中给出的修正系数。

表 6.4.5-2 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

7 固定顶

7.1 一般规定

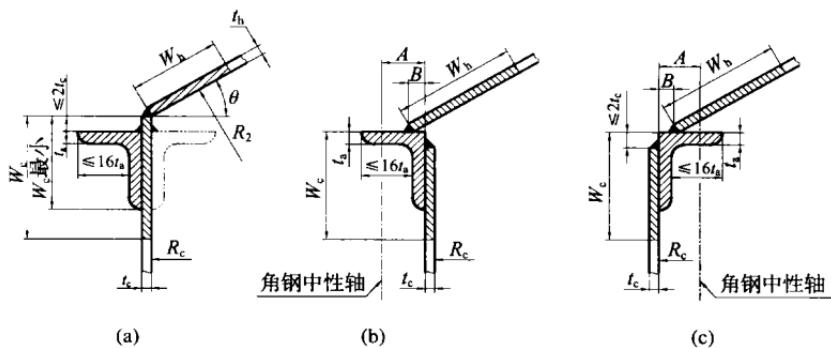
7.1.1 本章规定适用于自支撑式锥顶、柱支撑式锥顶、自支撑式拱顶。

7.1.2 罐顶板及其支撑构件应能承受本规范附录 F 规定的荷载及荷载组合。

7.1.3 罐顶板及其支撑构件的名义厚度不应小于5mm。

7.1.4 顶板间的连接可采用对接或搭接。采用搭接时,搭接宽度不应小于5倍板厚,且实际搭接宽度不应小于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。顶板自身的拼接焊缝应为全焊透对接结构。

7.1.5 罐顶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为全焊透对接结构。



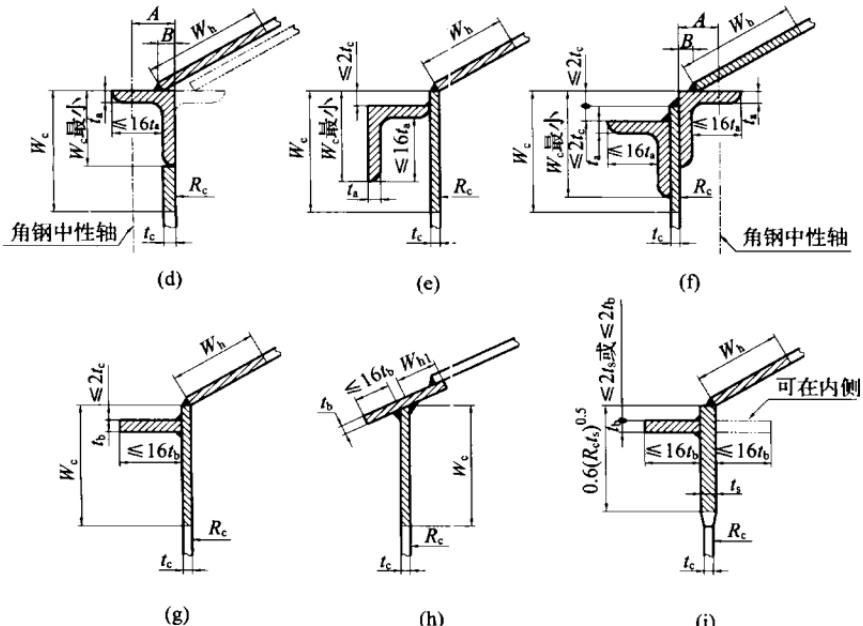


图 7.1.5 罐顶与罐壁连接处的有效面积示意图

t_a —角钢水平肢厚度; t_b —加强扁钢厚度; t_c —顶部壁板厚度;

t_h —罐顶板的厚度; t_s —罐壁上端加厚壁板厚度; R_c —顶部罐壁内半径;

R_2 —罐顶与罐壁连接处罐顶板的曲率半径, $R_2 = R_c / \sin \theta$;

θ —罐顶与罐壁连接处罐顶与水平面之间的夹角;

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

W_h —罐顶板剖面线部分的最大宽度, 取 $W_h = 0.3(R_2 t_b)^{0.5}$ 与 300 的较小值;

W_{h1} —宜取 $0.6(R_2 t_b)^{0.5}$, 但不应大于 $0.9(R_2 t_b)^{0.5}$

注: 图中长度单位为 mm, 角度单位为 $^\circ$; 承受内压时为抗压环, 承受外压时为抗拉环。

7.1.6 罐顶与罐壁采用弱连接结构时, 连接处应符合下列规定:

1 直径不小于 15m 的油罐应符合下列规定:

1) 连接处的罐顶坡度不应大于 1/6;

2) 罐顶支撑构件不得与罐顶板连接;

3) 顶板与包边角钢仅在外侧连续角焊, 且焊脚尺寸不应大于 5mm, 内侧不得焊接;

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

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

式中: A ——罐顶与罐壁连接处有效截面面积(mm^2);

m_i ——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与水平面之间的夹角($^\circ$);

g ——重力加速度,取 $g = 9.81 \text{m/s}^2$ 。

2 直径小于 15m 的油罐,除应满足本条第 1 款的全部要求外,同时还应满足下列要求:

- 1) 应进行弹性分析确认,在空罐条件下罐壁与罐底连接处强度不应小于罐壁与罐顶连接处强度的 1.5 倍,满罐条件下罐壁与罐底连接处强度不应小于罐壁与罐顶连接处强度的 2.5 倍;
- 2) 与罐壁连接的附件(包括接管、人孔等)应能够满足罐壁竖向位移 100mm 时不发生破坏;
- 3) 罐底板应采用对接结构。

3 采用锚固的油罐除应满足本条第 1 款的全部要求外,锚固和配重还应按照 3 倍罐顶破坏压力进行设计。

7.1.7 密闭固定顶油罐通气装置的设置应符合本规范第 A.2 节的规定。

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 许用压应力应符合下列规定:

- 1 不考虑压杆侧向稳定性时,不应大于 140MPa ;
- 2 考虑压杆侧向稳定性时,受压构件的许用压应力计算应符合下列规定:

1) 当 $\frac{L}{r}$ 小于或等于 120 时, 受压构件的许用压应力应按下式计算:

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

2) 当 $\frac{L}{r}$ 大于 120, 且小于或等于 130 时, 受压构件的许用压应力应按下式计算:

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

3) 当 $\frac{L}{r}$ 大于 130 时, 受压构件的许用压应力应按下式计算:

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

其中: $Y = \left[\frac{200}{3} \left(\frac{t_n}{R_o} \right) \right] \left[2 - \frac{200}{3} \left(\frac{t_n}{R_o} \right) \right] \quad (7.2.2-4)$

$$F_s = \frac{5}{3} + \frac{L/r}{350} - \frac{(L/r)^3}{18.3 \times 10^6} \quad (7.2.2-5)$$

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;

Y —— 受压构件类型系数: 型钢及型钢组合件, $Y = 1.0$; 钢管, 当 $t_n/R_o \geq 0.015$ 时, $Y = 1.0$; 当 $t_n/R_o < 0.015$ 时, 按式 (7.2.2-4) 计算;

t_n —— 钢管有效厚度 (mm), 不应小于 4.5mm, 当用作无侧向支撑的重要受压构件时, 不应小于 6mm;

R_o ——钢管外半径(mm)。

主要受压构件, L/r 不应大于 150; 斜撑等次要受压构件, L/r 不应大于 200。

7.2.3 许用弯曲应力应符合下列规定:

1 荷载作用面内有对称轴的型钢或组合构件(图 7.2.3), 许用弯曲应力不应大于 154MPa, 侧向无支撑长度不应大于翼缘宽度 b_a 的 13 倍; 并应满足下列公式的要求:

$$\frac{b_a}{t_a} \leq 17 \quad (7.2.3-1)$$

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 70 \quad (7.2.3-2)$$

式中: b_a ——翼缘宽度(mm);

t_a ——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)。

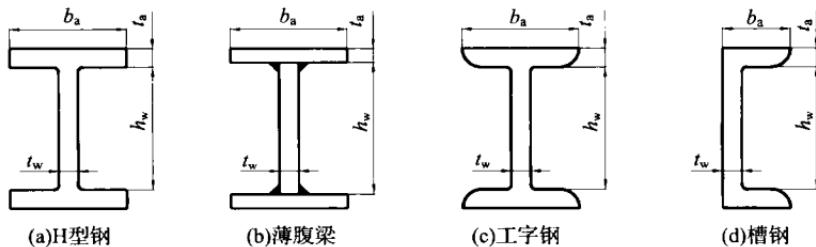


图 7.2.3 常用抗弯曲构件尺寸示意图

2 非对称构件(角钢、槽钢)的许用弯曲应力为 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 许用剪应力应符合下列规定:

1 当 h_w 小于或等于 $60t_w$ 或腹板上有加强肋时, 许用剪应力不应大于 91MPa;

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

下式要求：

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

式中： V_s ——总剪切力(N)；

A_s ——腹板的总截面积(mm^2)；

h_w ——翼缘内侧腹板高度(mm)；

t_w ——翼缘内侧腹板有效厚度(mm)。

7.3 自支撑式锥顶

7.3.1 罐顶坡度不应小于1/6,不应大于3/4。

7.3.2 罐顶板的计算厚度应按下式计算,且罐顶板的名义厚度不应大于12mm:

$$t_{cr} = \frac{D}{4.8 \sin \theta} \sqrt{\frac{T}{2.2}} \quad (7.3.2)$$

式中： t_{cr} ——罐顶板的计算厚度(mm)；

T ——荷载组合(kPa),应按本规范附录F表F.0.1的e项确定；

D ——油罐内径(m)；

θ ——罐顶与罐壁连接处罐顶与水平面之间的夹角(°)。

7.3.3 罐顶与罐壁板连接处有效抗拉或抗压截面积应满足下式要求：

$$A \geq \frac{TD^2 \times 10^3}{8[\sigma] \tan \theta} \quad (7.3.3)$$

式中： A ——按本规范图7.1.5确定的有效面积(mm^2)；

$[\sigma]$ ——材料许用应力(MPa),应取设计温度下1/1.6材料标准屈服强度下限值；

T ——荷载组合(kPa),应按本规范表F.0.1的e项确定；

D ——油罐内径(m)；

θ ——罐顶与罐壁连接处罐顶与水平面之间的夹角(°)。

7.4 柱支撑式锥顶

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,强度及稳定性计算的许用应力应符合本规范第 7.2 节的规定。

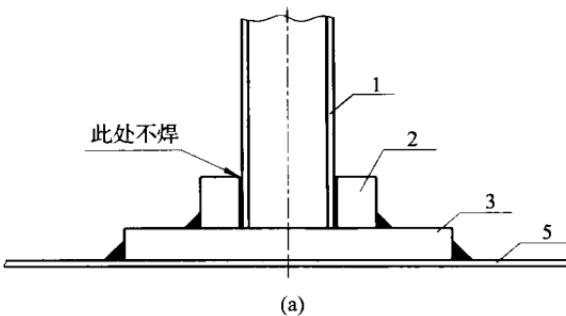
7.4.3 与罐顶板直接接触的檩条,属于下列情况时应设置侧向支撑:

- 1 桁架或薄腹梁组合件檩条;
- 2 高度大于 380mm 的檩条;
- 3 罐顶坡度大于 1/6 时的檩条。

7.4.4 罐顶支柱的柱脚应采用导向支座限位,不得与支座相焊。当采用钢管制作罐顶支柱时,支柱上应设置排气孔、排液孔或制成密闭式支柱。

7.4.5 导向支座结构形式(图 7.4.5)应符合下列规定:

- 1 图 7.4.5(a)所示结构,当承载板厚度不小于 12mm 时,可兼作垫板,不另设垫板;
- 2 图 7.4.5(b)、(c)所示结构应设置厚度不小于 6mm 的垫板;
- 3 支柱应能沿导向套垂直方向自由移动;
- 4 导向套与罐底板不得直接相焊。当支柱与罐底板相对位移达到 75mm 时,导向套应能有效阻止支柱沿横向滑移。



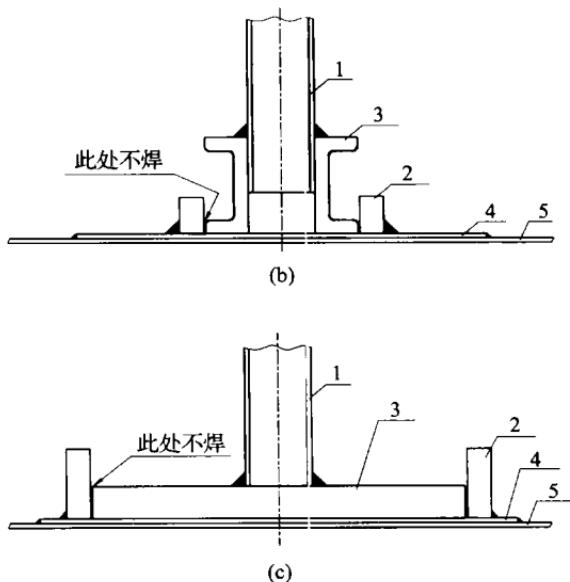


图 7.4.5 导向支座结构示意图

1—支柱；2—导向套；3—承载板；4—垫板；5—罐底板

7.4.6 罐顶板及其加强构件不得与罐顶板的支撑构件固定连接。

7.4.7 相邻檩条中心的间距按外圆弧计算时,最外圈不得大于2000mm,其余各圈不得大于1700mm。

7.4.8 地震设防地区,檩条之间设置联结拉杆应符合下列规定:

- 1 最外圈相邻檩条(工字钢除外)之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 自支撑式拱顶包括光面球壳、带肋球壳和单层球面网壳,拱顶球面的曲率半径宜为0.8倍~1.2倍罐直径。

7.5.2 光面球壳顶板的计算厚度应按下式计算,且罐顶板的名义

厚度不应大于 12mm。

$$t_{rs} = \frac{R_s}{2.4} \sqrt{\frac{T}{2.2}} \quad (7.5.2)$$

式中: t_{rs} —— 罐顶板的计算厚度 (mm);

R_s —— 罐顶球面的曲率半径 (m);

T —— 荷载组合 (kPa), 应按本规范表 F.0.1 的 e 项确定。

7.5.3 罐顶与罐壁连接处的有效抗拉或抗压截面积应满足下式要求:

$$A \geq \frac{TD^2 \times 10^3}{8[\sigma] \tan \theta} \quad (7.5.3)$$

式中: A —— 本规范图 7.1.5 所示结构的有效面积 (mm^2);

$[\sigma]$ —— 材料许用应力 (MPa), 取设计温度下 1/1.6 材料标准屈服强度下限值;

T —— 荷载组合 (kPa), 应按本规范表 F.0.1 的 e 项确定;

D —— 油罐内径 (m);

θ —— 罐顶与罐壁连接处罐顶与水平面之间的夹角 ($^\circ$)。

7.5.4 带肋球壳的曲率半径不宜大于 40m, 且油罐直径不宜大于 40m, 计算方法应符合本规范附录 H 的规定。

7.5.5 钢制单层球面网壳的油罐直径不宜大于 80m, 设计应符合下列规定:

1 钢制单层球面网壳应采用刚接节点, 相邻节点之间的网杆长细比不应大于 150;

2 钢制单层球面网壳的边环梁应满足强度与刚度要求, 并应与网壳结构一起进行整体计算;

3 钢制单层球面网壳应采用空间梁系有限元进行计算, 结构内力与位移可按弹性理论进行计算; 网壳结构的整体稳定性计算应考虑结构非线性的影响, 进行荷载-位移全过程分析;

4 钢制单层球面网壳罐顶在外压设计荷载作用下, 应符合下列规定:

- 1) 网壳许用挠度不应大于油罐内径的 0.0025 倍；
- 2) 网壳任意部位的应力不应超过相应材料的许用应力，许用应力值取 1/1.6 网壳所用材料标准屈服强度下限值；
- 3) 网壳各元件不应发生局部失稳；
- 4) 网壳整体稳定的安全系数不应低于 1.65。

5 对于抗震设防烈度在 7 度及以上地区，直径大于 50m 的单层球面网壳应进行竖向及水平向抗震计算；

6 对于常压油罐，单层网壳上表面的蒙皮与网壳结构之间不应有任何焊接；蒙皮周边与边环梁之间，外表面应连续角焊，焊脚高度不应超过 5mm，内表面不得进行焊接。

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 隔舱的结构设计在满足强度、稳定和抗沉性能的前提下，应方便施工，减少在隔舱内的焊接工作量。

8.1.3 浮顶在最高液位和最低液位之间浮动时，不得与罐内的附件相碰；有互相摩擦的元件，应选用摩擦不会产生火花的材料。

8.1.4 浮顶的所有金属部件之间均应互相电气连通，浮顶上带开口附件的活动盖板应与浮顶电气连接。

8.1.5 浮顶处于漂浮状态时，下表面应与储液全面接触。

8.1.6 浮顶浮力计算应符合下列规定：

1 当储存液体的密度大于或等于 700kg/m^3 时，应按 700kg/m^3 计算；

2 当储存液体的密度小于 700kg/m^3 时，应按实际密度计算；

3 设计单盘安装高度时，应按储液实际密度进行计算。

8.1.7 单盘式浮顶的结构设计应符合下列规定：

1 当排水管失效时，浮顶应能承受 24h 内降水量为 250mm 的雨水荷载而不沉没；

2 在浮顶上没有雨荷载和活荷载的情况下，单盘板和任意两个隔舱同时泄漏时，浮顶应能漂浮在液面上不沉没；

3 在上述两种情况下，浮顶不应发生强度和稳定性破坏。

8.1.8 双盘式浮顶的结构设计应符合下列规定：

1 当排水管失效时，浮顶应能承受 24h 内降水量为 250mm 的雨水荷载而不沉没；对设置紧急排水设施的浮顶，可不受此条件限制，但紧急排水设施的排水能力应使浮顶上存留的积水荷载小

于浮顶设计所允许的积水荷载。

2 在浮顶上没有雨荷载和活荷载的情况下,浮顶任意两个隔舱同时泄漏时,浮顶应能漂浮在液面上不沉没。

3 在上述两种情况下,浮顶不应发生强度和稳定性破坏。

8.1.9 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 浮顶的隔舱顶板、隔舱底板和单盘板的名义厚度不应小于5mm,实际搭接宽度不应小于25mm;隔舱顶板应有不小于1/1000的排水坡度,最外圈隔舱顶板的排水坡度应指向浮顶中心。

8.2.2 隔舱底板、隔舱顶板以及单盘板的搭接焊缝,上表面应采用连续满角焊,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,搭接焊缝内、外侧均应采用连续满角焊。

8.2.3 单盘式浮顶的所有隔舱应分别满足气密性要求。双盘式浮顶密封隔舱的数量应按本规范第8.1.8条的规定确定,至少最外圈隔舱应为密封舱,密封舱应分别满足气密性要求;其余隔舱除环板与顶板和隔板与顶板的连接焊缝外,应至少有一面为连续焊缝。

8.2.4 外边缘板与浮顶底板之间应采用双面连续焊。

8.2.5 隔舱内、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重量和1.2kPa的均布附加荷载。

8.3.2 浮顶支柱的最小安装高度应满足施工和检修的需求,且长细比不应大于150;浮顶外边缘底部距罐底上表面的垂直距离不宜小于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量时的积水液面,且不应使储液溢流到浮顶上。支柱套管浸入

储液的深度不应小于 100mm。

8.3.4 支柱通过浮顶处应局部加强。

8.3.5 与支柱相接触的罐底板处应设置厚度不小于 5mm、直径不小于 500mm 的垫板, 垫板周边与罐底板之间应采用连续角焊缝。

8.3.6 用钢管制作的支柱上端应盲死, 下端应盲死或开设排油口。支柱与套管上端的间隙处应密封。

8.4 浮顶排水管

8.4.1 浮顶应设置浮顶排水管, 排水管规格及数量应根据建罐地区的降雨强度按浮顶处于支撑状态确定。

8.4.2 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。

8.4.3 浮顶排水管的单向阀、旋转接头及出口切断阀不得采用铸铁件。

8.4.4 单向阀应设置在集水坑内, 阀前应有过滤装置。

8.4.5 旋转接头应有良好的密封性能和足够的强度, 且转动灵活。

8.4.6 用于浮顶排水管的挠性管或挠性接头应具有足够的抗外压能力。

8.4.7 浮顶排水管在任何位置均不得与罐内部件相碰撞; 当采用整条挠性管时, 应采取有效保护措施。

8.5 紧急排水装置

8.5.1 有暴雨的地区, 双盘式浮顶上应设置紧急排水装置。紧急排水装置的规格及数量应根据建罐地区的降雨强度确定。

8.5.2 紧急排水装置应具有水封及防止储液倒流的功能。

8.5.3 双盘式浮顶紧急排水装置的安装高度, 应使外边缘板至少高出浮顶最高积水液面 50mm。

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,转动浮梯通道净宽度不应小于650mm。

8.6.2 当浮顶处于最低位置时,转动浮梯的仰角不宜大于55°。

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,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,且应有足够的刚度和防滑。

8.6.5 浮梯滚轮外缘应采用摩擦或碰撞时不产生火花的材料。

8.6.6 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。轨道应能防止滚轮脱轨。

8.6.7 浮梯轨道应有足够的刚度,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。自动通气阀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且密封良好。

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。

8.7.3 在有相对摩擦运动的两零件中,至少应有一个零件采用摩擦时不产生火花的材料制作。

8.8 导向及限位装置

8.8.1 浮顶上应设置能保持其居于中心位置并防止转动的导向及限位装置。

8.8.2 导向装置宜采用滚动摩擦结构。

8.8.3 浮顶外边缘应设置具有限位功能的装置。

8.9 密封及静电导出装置

8.9.1 浮顶与罐壁之间的环形空间应装设密封装置。在浮顶外边缘板与罐壁之间的环形空间径向间距偏差为±100mm时,密封装置应仍能保持良好密封效果。

8.9.2 一次密封宜采用下列密封形式:

- 1 软泡沫密封;
- 2 充液管式密封;
- 3 机械式密封。

8.9.3 当采用钢滑板机械式一次密封时,在浮顶正常漂浮状态下,钢滑板应插入液面100mm以上;钢滑板宜采用1.5mm~2mm的镀锌薄钢板或1.0mm~1.5mm的不锈钢薄钢板制作。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,沿内壁间距不宜大于3m。

8.9.4 当一次密封采用非金属材料制成的软密封时,宜采用浸液式结构。

8.9.5 浮顶与罐壁之间应采用至少两条截面积不小于50mm²的软铜电缆线进行连接,导线与金属件连接处应具有良好的导电性能。

8.9.6 二次密封应配设能密封环形空间连续分布的油气隔膜。二次密封的紧固件应采用不锈钢;在腐蚀较严重的场合,二次密封的支撑板也应采用不锈钢。

8.9.7 密封装置采用的材料应耐油、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2个人孔。人孔的内直径不应小于600mm。

8.10.2 人孔的安装高度不宜小于300mm,人孔内应设置直梯,

直梯下端距罐底板之间应留有足够的距离。

8.11 隔舱人孔

8.11.1 每个隔舱应至少设置 1 个直径不小于 500mm 的人孔。人孔盖应采用防风结构。

8.11.2 当人孔无防水密封时,人孔高度应高于浮顶上允许积水的液面高度。

8.12 刮蜡装置

8.12.1 对罐壁上可能产生凝油的油罐应装设刮蜡装置。刮蜡装置可采用机械刮蜡。

8.12.2 刮蜡装置不得影响浮顶的正常运行,且不得与罐内任何附件相碰。

9 内 浮 顶

9.1 一 般 规 定

9.1.1 本章规定适用于敞口隔舱式内浮顶、单盘式内浮顶、双盘式内浮顶、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。静电导线应采用不小于 25mm^2 的软铜电缆线,但对于装配式内浮顶油罐,可采用不小于 5mm^2 的整根不锈钢钢丝绳。选择导线时应考虑强度、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,内浮顶上任何部位均应能承受在 0.1m^2 范围内不小于 2.2kN 的集中活荷载。对于直径小于 10m 的内浮顶,可根据操作工况适当减小。

9.1.7 进行浮力计算时,设计储液密度应按本规范第 8.1.6 条的规定选取。

9.1.8 内浮顶的设计浮力不应小于自重的 2 倍。

9.1.9 支柱、导向装置等穿过内浮顶时,应加设密封。

9.1.10 需要排液时,内浮顶上应设置排液装置。

9.1.11 除腐蚀裕量外,内浮顶最小名义厚度应符合表 9.1.11 的规定。

表 9.1.11 内浮顶最小名义厚度 (mm)

序号	材料	部 位	最小名义厚度
1	普通钢板	与储液蒸汽或储液接触的部位	5
		其他部位	2.5
2	不锈钢板	蒙皮板	0.5
		浮动元件	1.2
3	铝合金板	蒙皮板	0.5
		浮动元件	1.2

9.1.12 内浮顶元件的连接设计应符合下列规定：

- 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现行相关标准的规定；
- 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有效密封，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隔舱上应设置人孔。

9.2.3 隔舱底板、隔舱顶板以及单盘板的搭接焊缝，上表面应采用连续满角焊，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，搭接焊缝内、外侧均应采用连续满角焊。

9.2.4 外边缘板与浮顶底板之间应采用双面连续焊。

9.2.5 敞口隔舱式内浮顶的隔舱焊缝应满足严密性要求；单盘式内浮顶各隔舱应分别满足气密性要求；双盘式内浮顶密封隔舱数量应按内浮顶设计要求确定，至少最外圈隔舱应为密封舱，密封舱

应分别满足气密性要求,其余各隔舱除环板与顶板以及隔板与顶板的连接焊缝外,应至少有一面为连续焊。

9.3 浮筒式内浮顶

9.3.1 内浮顶的浮力元件应满足气密性要求。

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 支柱上端应采用密封结构,下端应盲死或开设排液口。

9.4.4 与支柱相接触的罐底板处应设置厚度不小于5mm、直径不小于500mm的垫板,垫板周边与罐底板之间应采用连续角焊缝。

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 密封宜采用下列密封形式:

1 软泡沫密封;

2 充液管式密封；

3 机械式密封。

9.5.4 密封带的环向接头应粘结可靠、无渗漏，搭接宽度不应小于75mm。

9.6 自动通气阀

9.6.1 内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且密封良好。

9.6.2 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，下端开设应能排除积液的缺口。

9.6.3 在有相对摩擦运动的两零件中，至少应有一个零件采用摩擦时不产生火花的材料制作。

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设计液位以上的罐壁或固定顶上。当环向通气孔设置在固定顶上时，不应被积雪堵塞。通气孔应沿圆周均匀分布，最大间距应为10m，且不得少于4个。通气孔的总有效通气面积应满足下式要求：

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

式中：B——环向通气孔总有效通气面积(m^2)；

D——油罐内径(m)。

9.7.2 无密闭要求的固定顶中心最高位置应设置罐顶通气孔，有效通风面积不应小于300 cm^2 。

9.7.3 环向通气孔和罐顶通气孔上应设置防雨雪罩，并配备2目/寸或3目/寸的耐腐蚀钢丝网。

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 内浮顶油罐的固定顶及内浮顶上应至少各设一个内径不小于 600mm 的人孔。
- 9.10.2 罐壁上应至少设置一个低位人孔,并宜设置 1 个高位人孔,内径均不应小于 600mm。高位人孔应高于内浮顶最大支撑高度,并不应妨碍浮顶运行。低位人孔应位于内浮顶最小支撑高度以下,且方便人员进出。
- 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,可兼作检查孔。

10 附 件

10.1 一 般 规 定

10.1.1 罐体开孔附件及其与罐体连接的设计应符合本章的规定。

10.1.2 承受外部管道或设备较大附加荷载的开孔接管除应符合本章规定外,还应采取减小局部附加荷载的措施。与罐体相接的管线荷载不应超过本规范附录J规定的罐壁开口许用外荷载。

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应低于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,信号孔的设置应符合下列规定:

- 1 整块钢板制造的补强板应有一个信号孔;
- 2 拼接的补强板,每一拼接段上应有1个信号孔;
- 3 信号孔宜为M6~M10螺孔,宜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不应小于75mm,距罐壁纵焊缝或补强板外缘角焊缝不应小于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 开孔补强应按照等面积补强法进行设计,有效补强面积不应超出下列规定的范围:

1 沿罐壁纵向,不应超出开孔中心线上、下各 1 倍开孔直径;

2 沿接管轴线方向,不应超出罐壁表面内、外两侧各 4 倍的管壁厚度。

10.2.3 有效补强面积应乘以补强材料与罐壁材料许用应力之比,当比值大于 1.0 时应取 1.0,接管与罐壁标准屈服强度下限值之比小于 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。

10.2.4 两开孔之间的距离应符合下列规定:

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,且不应小于 150mm;

2 两开孔均无补强板时,角焊缝边缘之间的距离不应小于 75mm。

10.2.5 当任意两开孔之间的距离不能满足本规范第 10.2.4 条的要求时,应采用联合补强,并应符合下列规定:

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补强面积的总和。

10.2.6 罐壁开孔角焊缝外缘(当设有补强板时,为补强板角焊缝外缘)到罐壁纵环焊缝中心线的距离应符合下列规定:

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名义厚度的 2.5 倍,且不应小于 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, 且不应小于 250mm。

10.2.7 罐壁开孔到罐壁最下端的距离应符合下列规定:

1 罐壁板标准屈服强度下限值小于或等于 390MPa 时, 罐壁人孔应符合本规范第 10.3 节的规定; 罐壁开孔应符合本规范第 10.4 节的规定。

2 罐壁板标准屈服强度下限值大于 390MPa 时, 罐壁开孔角焊缝外缘(当设有补强板时, 为补强板角焊缝外缘)到罐壁最下端角焊缝边缘的距离不得小于壁板名义厚度的 2.5 倍, 且不得小于 75mm。

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

1 标准屈服强度下限值小于或等于 390MPa, 板厚大于 32mm 且接管公称直径大于 300mm;

2 标准屈服强度下限值大于 390MPa, 板厚大于 12mm 且接管公称直径大于 50mm;

3 板厚大于 25mm 的 16MnDR。

10.3 罐壁人孔

10.3.1 罐壁人孔(图 10.3.1)法兰盖、法兰及补强板尺寸宜符合表 10.3.1 的规定。

表 10.3.1 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_c	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
900	1073	1137	1980	2370	519

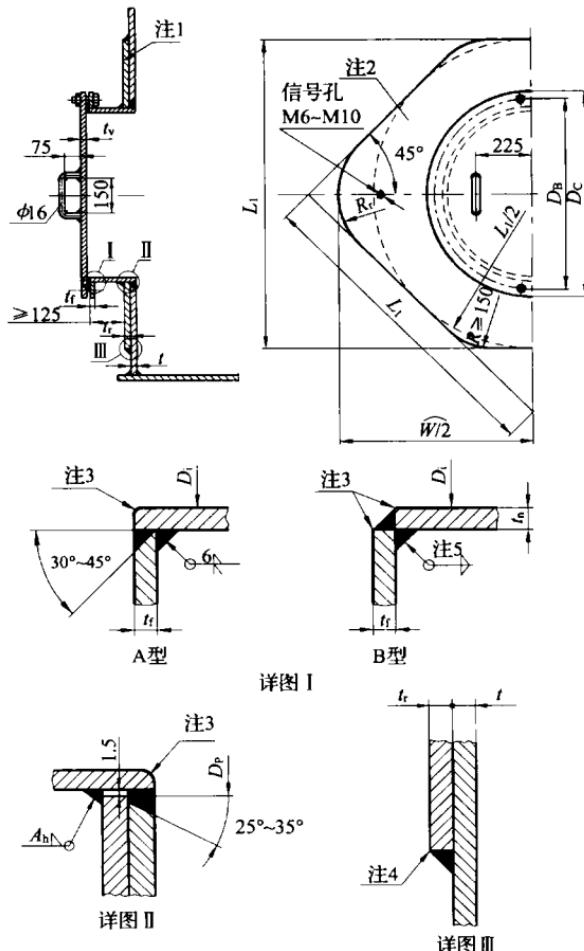


图 10.3.1 罐壁人孔

注: 1 补强板应与罐壁曲率一致;
 2 可采用圆形补强板;
 3 此处倒圆角;
 4 当 $B_h < t_f$ 时, 在不影响焊缝的情况下倒成圆角;
 5 焊角高度与较薄件厚度相等;
 6 法兰密封面最小宽度 20mm;
 7 焊缝形式及尺寸仅供参考。

10.3.2 罐壁人孔(图 10.3.1)法兰盖及法兰最小厚度宜符合表 10.3.2 的规定。

表 10.3.2 罐壁人孔法兰盖及法兰最小厚度

设计液位 高度 H_w (m)	人孔法兰盖最小厚度 t_v (mm)				法兰最小厚度 t_f (mm)			
	$D_i =$ 500	$D_i =$ 610	$D_i =$ 760	$D_i =$ 900	$D_i =$ 500	$D_i =$ 610	$D_i =$ 760	$D_i =$ 900
	6.5	8	10	12	14	6	7	10	12
8	9	11	13	15	6	8	11	13
9.5	10	12	14	16	7	9	12	14
12	11	13	15	17	8	10	13	16
13.5	12	14	16	18	9	11	14	18
16.5	13	15	18	20	10	12	15	19
20	15	16	19	22	11	13	16	21
23	16	18	21	24	13	15	18	24

注:1 当储液相对密度大于 1.0 时,设计液位高度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。

10.3.3 罐壁人孔(图 10.3.1)角焊缝尺寸、罐壁板开孔直径及接管厚度宜符合表 10.3.3 的规定。

表 10.3.3 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		$D_i = 500$	$D_i = 610$	$D_i = 760$	$D_i = 900$
5	5	5		5	5	5	5
6	6	6		6	6	6	6
8	6	6		6	8	8	8
9	6	7	当 $2A_h$ 小 于或等于	6	8	8	9
10	6	7		6	8	8	10
12	6	9	12mm 时， 为接管外径 加 12mm；	6	8	8	10
14	6	10		6	8	8	10
16	8	12		6	8	8	10
19	8	14	当 $2A_h$ 大 于 12mm 时， 最小值为接 管外径加	8	8	8	10
22	11	15		10	10	10	10
25	11	18		11	11	11	11
28	11	20		13	13	13	13
32	13	22	12mm，最大 值为接管外	16	16	16	16
36	14	25		17	17	17	17
38	14	27	径加 $2A_h$	19	19	19	19
40	16	27		19	19	19	19
42	16	27		22	22	22	22
45	16	27		22	22	25	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。

10.3.4 罐壁人孔紧固件的尺寸宜符合表 10.3.4 的规定。

表 10.3.4 罐壁人孔紧固件(mm)

人孔内径 D_i	螺栓			垫片		
	规格	数量(个)	孔径	内径	外径	厚度
500	M20	28	22	500	645	3
610	M20	28	22	610	746	3
760	M20	42	22	760	900	3
900	M20	42	22	900	1051	3

10.3.5 除底圈罐壁板与边缘板之间的T形接头焊缝高度外,罐壁人孔中心线到罐底板的最小高度应符合表10.3.5的规定。

表10.3.5 罐壁人孔中心线到罐底板的最小高度(mm)

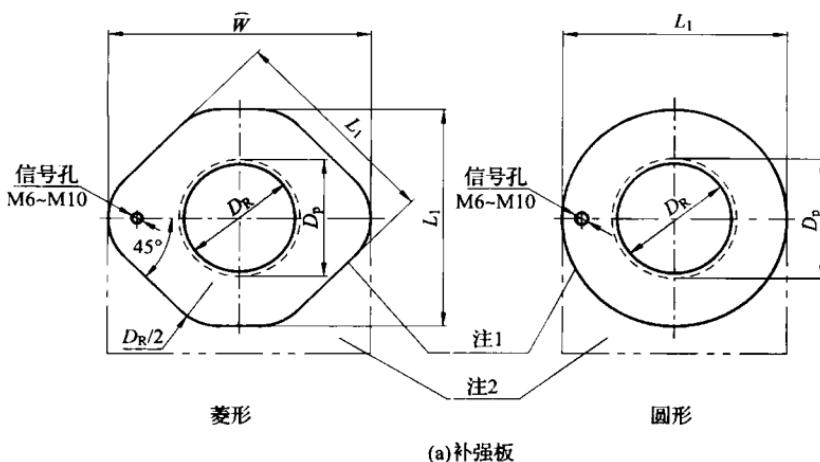
人孔内径 D_i	罐壁人孔中心线到罐底板的最小高度
500	760
610	760
760	915 ^①
900	1065 ^①

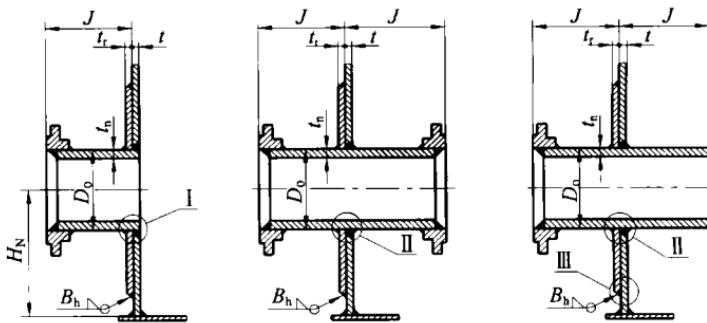
注:①尚应满足本规范第10.2.7条的要求。

10.3.6 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。

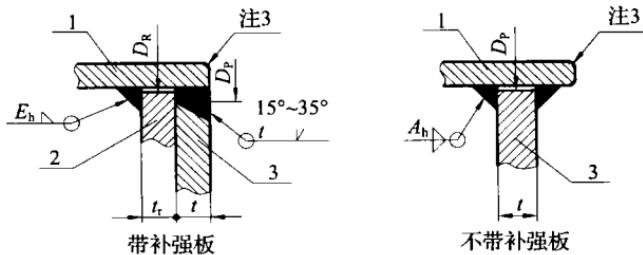
10.4 罐壁开孔接管

10.4.1 罐壁开孔接管(图10.4.1-1和图10.4.1-2)及补强板尺寸宜符合表10.4.1的规定。

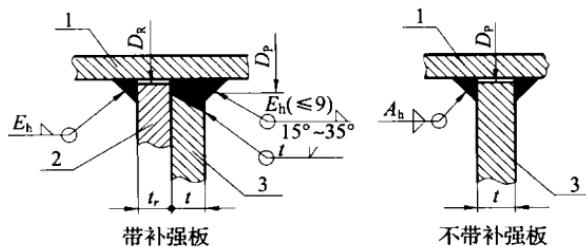




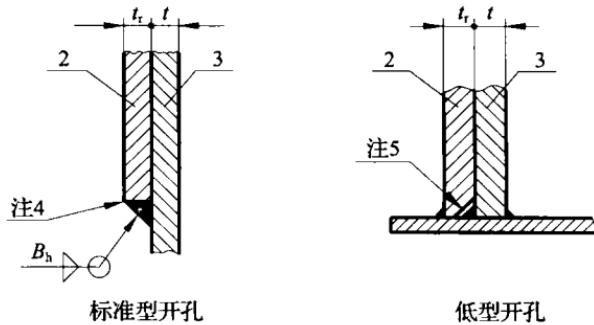
(b) 开孔接管图



详图 I



详图 II



详图III

(c) 焊接详图

图 10.4.1-1 公称直径不小于 80mm 的法兰连接罐壁开孔接管

1—接管；2—补强板；3—罐壁

注:1 补强板应与罐壁板曲率半径一致；

2 低型补强板；

3 此处倒圆角；

4 当 $B_h < t_r$ 时, 在不影响焊缝的情况下倒成圆角；

5 此处削边。

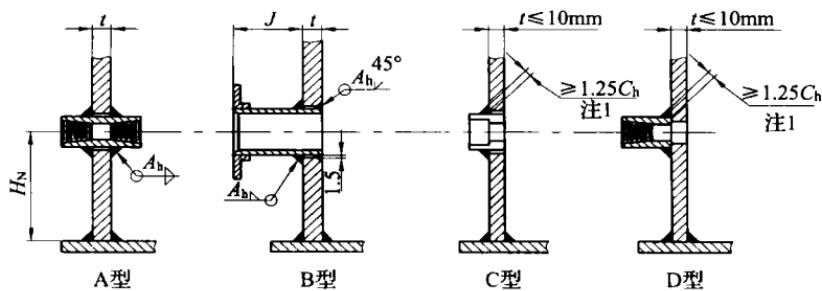


图 10.4.1-2 公称直径不大于 50mm 的罐壁开孔接管

注:1 C_h 取两相焊件厚度的较小值, 但不得大于 19mm；

2 焊缝形式及尺寸仅供参考。

表 10.4.1 罐壁开孔接管及补强板尺寸

连接类型	接管		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)							
	公称直径 DN								(见注 3)							
	(mm)	(")							标准型	低型						
法兰连接	40	—	—	—	5.0	接管外径加 3mm~ 4mm	见注 2	见注 2	150	150						
	50				5.5				180	90						
	80				7.5				200	133						
	100				8.5				230	153						
	150				11				280	200						
	200				12				330	240						
	250				12				380	293						
	300				12				430	343						
	350				12				460	375						
	400				12				510	425						
	450				12				560	475						
	500				12				610	528						
	600				12				710	628						
	700				见注 1				810	720						
	800				见注 1				910	823						
	900				见注 1				1020	923						
	1000				见注 1				1120	1025						
螺纹连接	20	3/4	35	—	38 (见注 2)	—	—	—	100	75						
	25	1	44		47 (见注 2)				130	75						
	40	1½	64		67 (见注 2)				150	75						
	50	2	76		79 (见注 2)				180	75						

注:1 接管厚度见本规范表 10.4.2;

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最低屈服强度小于或等于 390MPa 罐壁的数值。当罐壁标准最低屈服强度大于 390MPa 时, 不得采用低型罐壁开孔, 标准型罐壁开孔应符合本规范第 10.2.7 条的规定;

4 厚度尺寸不含厚度附加量。

10.4.2 罐壁开孔接管(图 10.4.1-1 和图 10.4.1-2)及焊缝尺寸宜符合表 10.4.2 的规定。

表 10.4.2 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~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	开口公称直径 20mm~50mm 的焊缝尺寸 A_h	焊脚 尺寸 E_h
5	12		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	有补强板 时, 开口接管 外径加 12mm 为最小值, 加 焊缝尺寸 E_h 的 2 倍为最 大值。无补 强板时, 见表 10.4.1 注 2	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 80mm~600mm, E_h 值不应大于 t_n (t_n 见本规范表 10.4.1);

2 厚度尺寸不含厚度附加量。

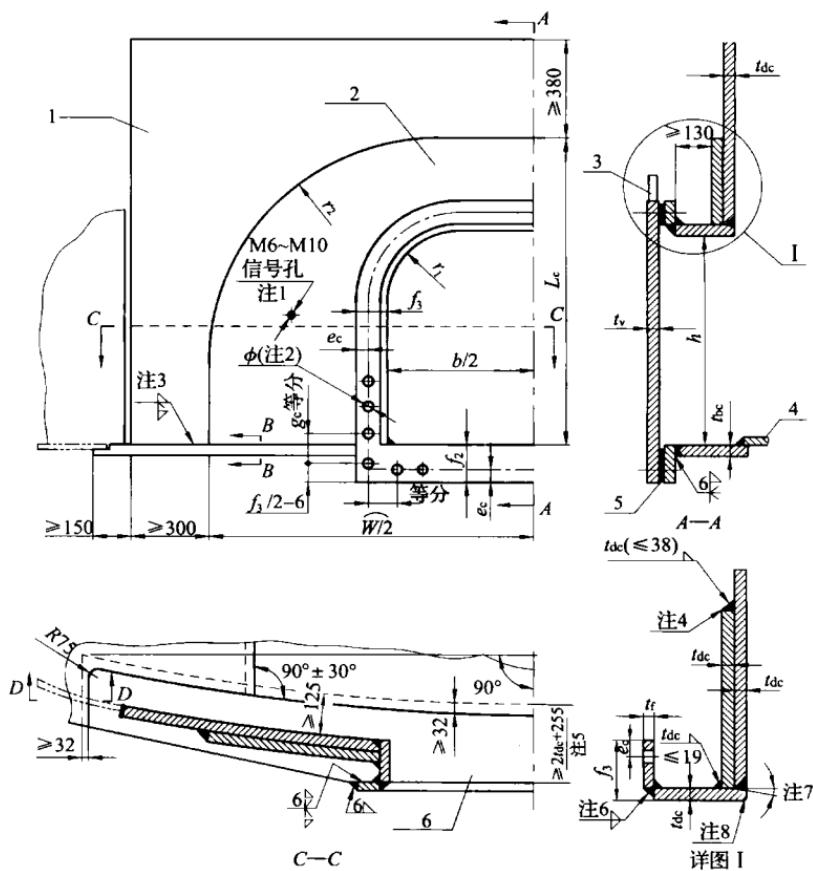
10.4.3 选用其他结构及尺寸的罐壁开孔接管应符合本规范第 10.1 节和第 10.2 节的规定。

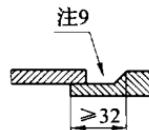
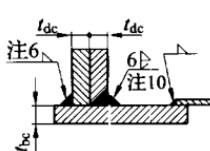
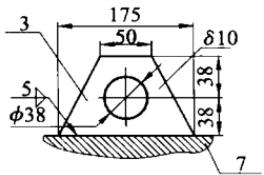
10.4.4 当开孔接管中心线不垂直于罐壁安装时, 补强板尺寸应加大, 加大量应等于罐壁上所开椭圆孔的长径与本规范表 10.4.2 中规定尺寸 D_p 之差, 且在铅垂面内倾角不应大于 15°。

10.5 齐平型清扫孔

10.5.1 当油罐采用清扫孔(图10.5.1)时,清扫孔法兰、法兰盖和加强底板的厚度宜符合表10.5.1-1的规定,清扫孔的结构尺寸宜符合表10.5.1-2的规定,清扫孔所在罐壁板及补强板尺寸宜符合表10.5.1-3的规定。

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。





吊耳详图

B--B

D--D

图 10.5.1 清扫孔

1—罐壁板;2—补强板;3—吊耳;4—罐底板;5—垫片;6—加强底板;7—法兰盖
注:1 信号孔位置应居中;

- 2 螺栓孔径应为螺栓直径加上 3mm;
- 3 焊角尺寸应符合本规范第 5.2.10 条的规定;
- 4 当焊脚尺寸小于 t_{dc} 时,此处应倒圆角;
- 5 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边缘板等宽;
- 6 焊脚尺寸应等于较薄板的厚度,最大不应超过 13mm;
- 7 接管上应开 10°坡口;
- 8 此处倒圆角;
- 9 此处为全焊透结构,罐壁处焊缝磨平;
- 10 此处为全焊透结构;
- 11 焊缝型式和尺寸仅供参考。

表 10.5.1-1 清扫孔法兰、法兰盖和加强底板的厚度(mm)

设计液位高度 H_w (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,设计液位高度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	开孔 上部 圆角 半径 r_1	罐壁 补强板	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 液位 高度 H_w (m)	开孔尺寸 $h \times b$ (高×宽)				底圈 壁板 厚度 t	设计液 位高度 H_w (m)	开孔尺寸 $h \times b$ (高×宽)					
		203×406		610×610				203×406		610×610			
		壁板 及补 强板高 度 L_c	补强 板高 度 t_{dc}	壁板 及补 强板高 度 L_c	补强 板高 度 t_{dc}			壁板 及补 强板高 度 L_c	补强 板高 度 t_{dc}	壁板 及补 强板高 度 L_c	补强 板高 度 t_{dc}		
5	22	5	356	6.5	870	16	6.7	16	356	17.5	865		
6.5	22	6.5	356	8	895	16	12.2	16	356	17.5	865		
8	22	8	356	9.5	908	16	22	16	356	17.5	890		
9.5	4.9	9.5	356	11	840	17.5	7.3	17.5	356	19	870		
9.5	7.9	9.5	356	11	870	17.5	13.4	17.5	356	19	870		
9.5	22	9.5	356	11	915	17.5	21.3	17.5	356	19	875		
11	5.2	11	356	12.5	850	19	7.9	19	356	20.5	875		
11	8.5	11	356	12.5	865	19	15.5	19	356	20.5	875		
11	22	11	356	12.5	910	19	21.3	19	356	20.5	875		
12.5	5.5	12.5	356	14.5	860	19	22	19	356	20.5	875		
12.5	9.5	12.5	356	14.5	865	20.5	8.8	20.5	356	22	875		
12.5	22	12.5	356	14.5	900	20.5	18.3	20.5	356	22	875		
14.5	5.8	14.5	356	16	865	20.5	21.3	20.5	356	22	875		
14.5	10.4	14.5	356	16	865	20.5	22	20.5	356	22	875		
14.5	22	14.5	356	16	895	22	9.8	22	356	24	875		

续表 10.5.1-3

底圈 壁板 厚度 <i>t</i>	设计 液位 高度 <i>H_w</i> (m)	开孔尺寸 <i>h</i> × <i>b</i> (高×宽)				底圈 壁板 厚度 <i>t</i>	设计液 位高度 <i>H_w</i> (m)	开孔尺寸 <i>h</i> × <i>b</i> (高×宽)					
		203×406		610×610				203×406		610×610			
		壁板 及补 强板高 度	补强 板高 度	壁板 及补 强板高 度	补强 板高 度			壁板 及补 强板高 度	补强 板高 度	壁板 及补 强板高 度	补强 板高 度		
		<i>t_{dc}</i>	<i>L_c</i>	<i>t_{dc}</i>	<i>L_c</i>			<i>t_{dc}</i>	<i>L_c</i>	<i>t_{dc}</i>	<i>L_c</i>		
22	21.3	22	356	24	875	30	17.7	30	356	32	890		
22	22	22	356	24	875	30	22	30	356	32	890		
24	11	24	356	25.5	885	32	19.5	32	356	33.5	890		
24	22	24	356	25.5	885	32	22	32	356	33.5	890		
25.5	12.5	25.5	356	27	885	33.5	22	33.5	356	35	890		
25.5	22	25.5	356	27	885	35	22	35	356	36.5	890		
27	14	27	356	28.5	885	36.5	22	36.5	356	38	895		
27	22	27	356	28.5	885	38	22	38	356	39.5	895		
28.5	15.9	28.5	356	30	890	41	22	41	356	43	895		
28.5	22	28.5	356	30	890	45	22	45	356	49	895		

注:1 当储液相对密度大于 1.0 时,设计液位高度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下列规定:

- 开孔高度不应大于 610mm;
- 开孔宽度不应大于 900mm;
- 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满足下式要求:

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

式中: 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)。

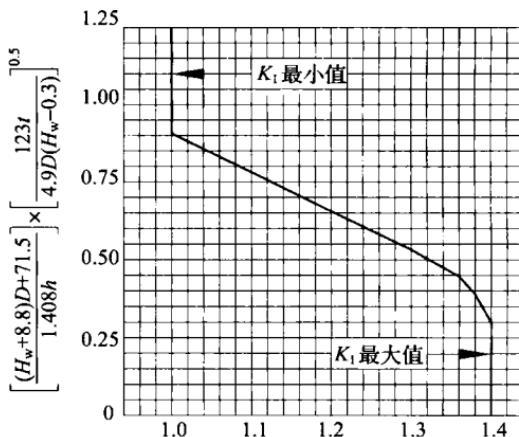


图 10.5.3 齐平型清扫孔补强面积系数 K_1

10.5.4 补强板及孔颈板厚度应与开孔处罐壁板厚度相同。

10.5.5 清扫孔加强底板的最小宽度应为 255mm 加上罐壁厚度和补强板厚度之和。

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)；

h ——清扫孔高度 (mm)；

b ——清扫孔宽度 (mm)；

H_w ——设计液位高度 (m)。

10.5.7 沿罐壁竖向有效补强范围不应大于 50% 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(图 10.6.2)尺寸宜符合表 10.6.1 的规定。

10.6.2 罐顶人孔(图 10.6.2)中心线应垂直于水平面。

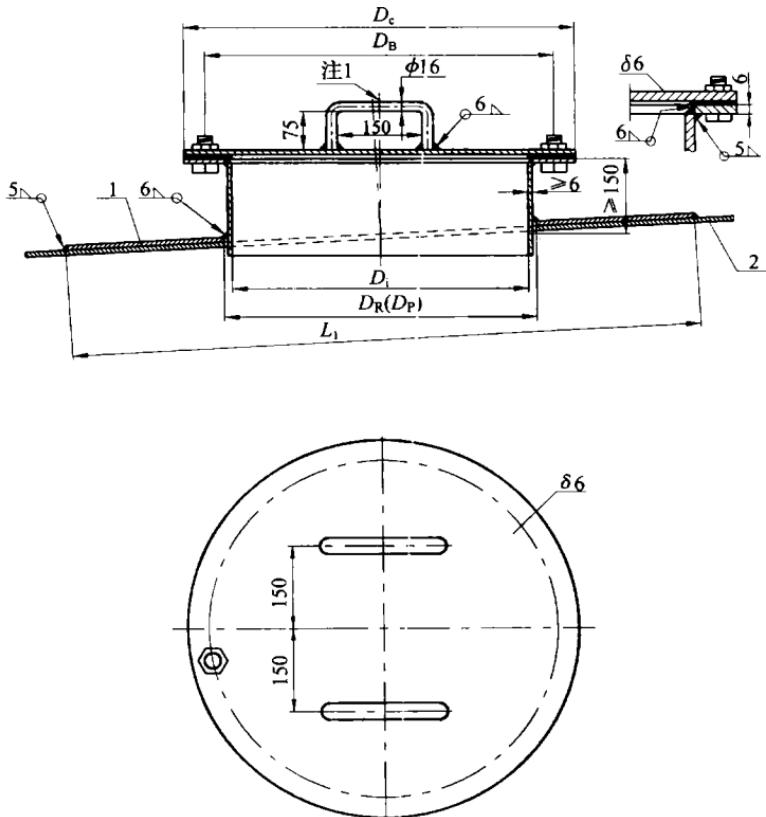


图 10.6.2 罐顶人孔

1—补强板;2—罐顶板

注:1 罐顶人孔中心线应垂直于水平面。

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

10.7 罐顶开孔接管

10.7.1 法兰连接罐顶开孔接管(图 10.7.1)宜符合表 10.7.1 的规定。

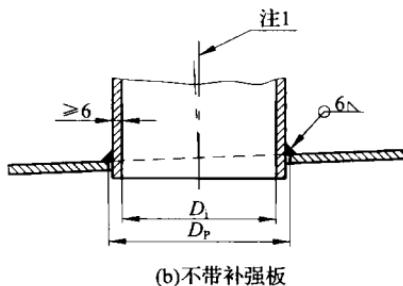
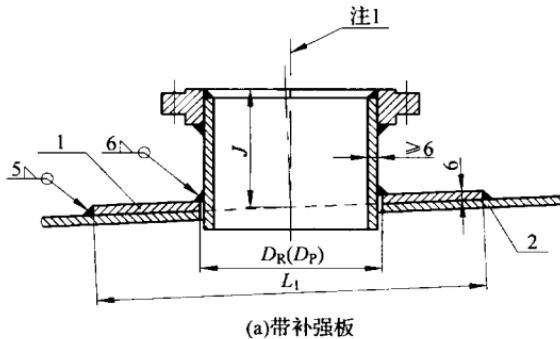


图 10.7.1 法兰连接罐顶开孔接管

1—补强板;2—罐顶板

注:1 接管中心线应垂直于水平面。

表 10.7.1 法兰连接罐顶开孔接管 (mm)

公称直径 <i>DN</i>	接管高度 <i>J</i>	顶板开孔 直径 <i>D_p</i>	补强板内径 <i>D_R</i>	补强板外径 <i>L₁</i>
40	150			125
50	150			175
80	150			225
100	150	接管外径加 3mm	接管外径加 3mm	275
150	150			380
200	150			450
250	200			550
300	200			650

10.7.2 螺纹连接罐顶开孔接管(图 10.7.2)宜符合表 10.7.2 的规定。

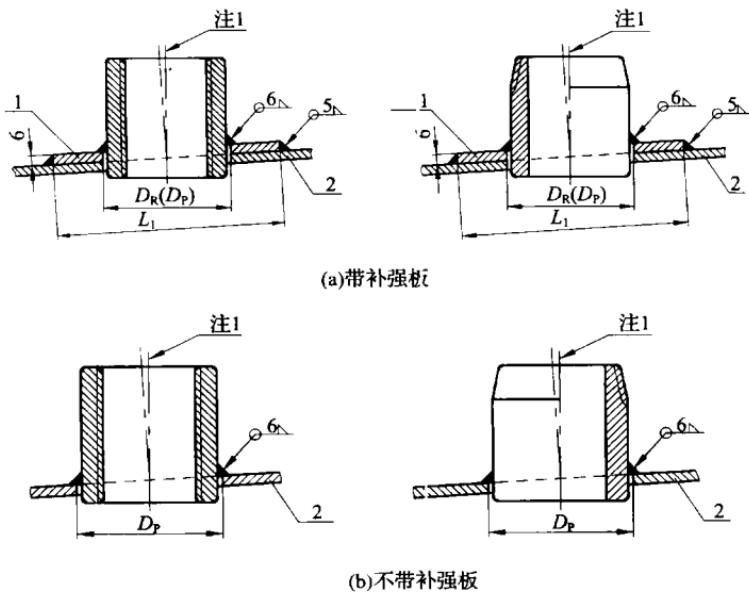


图 10.7.2 螺纹连接罐顶开孔接管

1—补强板; 2—罐顶板

注: 1 接管中心线应垂直于水平面。

表 10.7.2 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			100
25			115
40			125
50			175
80	接管外径加 3mm	接管外径加 3mm	225
100			275
150			380
200			450
250			550
300			600

10.7.3 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(图 10.8.1)与罐壁开孔接管之间可采用焊接或法兰连接结构。

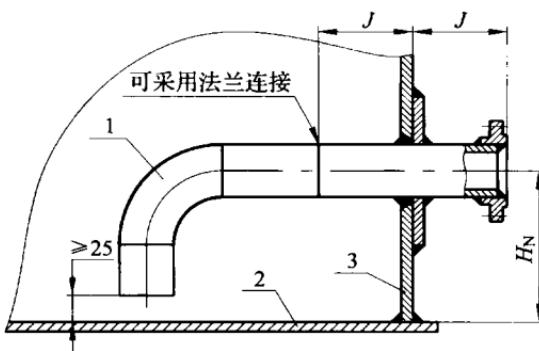


图 10.8.1 排水弯头

1—90°弯头；2—罐底；3—罐壁

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(图 10.9.1)的结构及尺寸宜符合表 10.9.1 的要求。

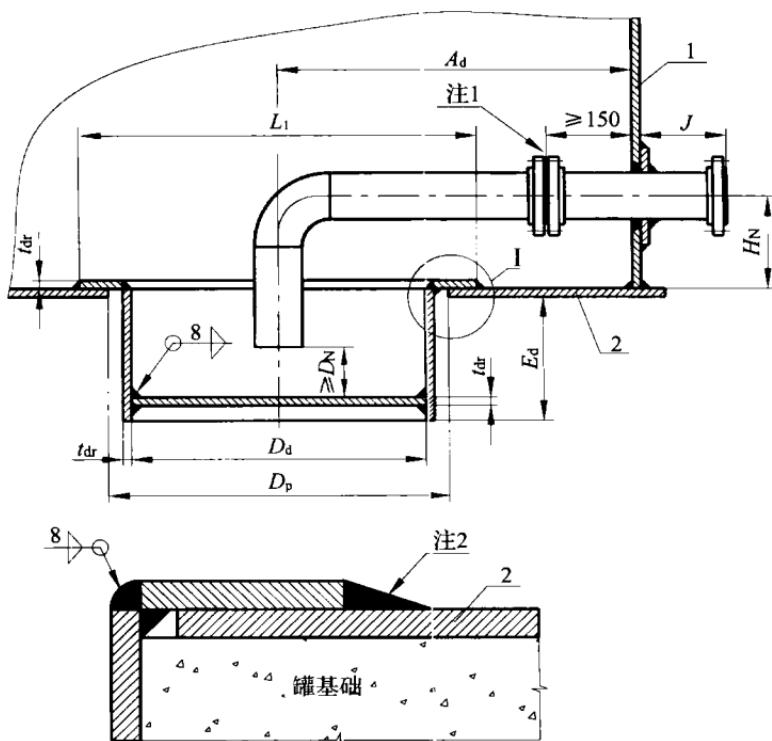


图 10.9.1 深型排水槽

1—罐壁板；2—罐底板

注:1 此处可采用焊接连接;

2 此处为不等边角焊缝。

表 10.9.1 深型排水槽 (mm)

接管 公称直径 <i>DN</i>	排水槽 直径 <i>D_d</i>	排水槽 深度 <i>E_d</i>	排水槽中心 至罐壁距离 <i>A_d</i>	排水槽钢板 最小厚度 <i>t_{dr}</i>	接管 最小壁厚 <i>t_n</i>	补强板 外径 <i>L₁</i>
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,还应满足本规范第 10.9.4 条的要求;

2 厚度尺寸不含厚度附加量。

10.9.2 对于有滑移可能的油罐宜采用浅型排水槽(图 10.9.2)。浅型排水槽应符合下列规定:

1 不包含厚度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。

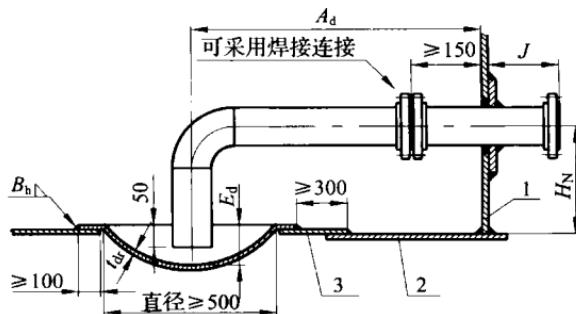


图 10.9.2 浅型排水槽

1—罐壁板;2—边缘板;3—中幅板

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,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规定:

- 1 盘梯的净宽度不应小于 650mm;
- 2 盘梯的升角宜为 45°,且最大升角不应超过 50°,同一罐区内盘梯升角宜相同;
- 3 踏步的宽度不应小于 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保持一致;
- 5 踏步应用格栅板或防滑板;
- 6 盘梯外侧必须设置栏杆,当盘梯内侧与罐壁的距离大于 150mm 时,内侧也必须设置栏杆;
- 7 盘梯栏杆上部扶手应与平台栏杆扶手对中连接;
- 8 沿栏杆扶手轴线测量,栏杆立柱的最大间距应为 2400mm;
- 9 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;
- 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 当顶部平台距地面的高度超过 10m 时,应设置中间休息平台。

10.10.3 平台及栏杆的设计应符合下列规定:

- 1 平台和走道的净宽度不应小于 650mm。
- 2 铺板应采用格栅板或防滑板。当采用防滑板时,应开设排水孔。

3 当平台、走道距地面高度小于 20m 时,铺板上表面至栏杆顶端的高度不应小于 1050mm;当平台、走道距地面高度不小于 20m 时,铺板上表面至栏杆顶端的高度不应小于 1200mm。

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 栏杆护腰间距不应大于 500mm。

7 栏杆立柱间距不应大于 2400mm。

8 平台及走道应能承受 5kN 的集中活荷载,栏杆上部任意点应能承受任意方向 1kN 的集中荷载。

10.10.4 当到固定顶上操作时,必须在固定顶上设置栏杆,通道上应设置防滑条或踏步板。

10.10.5 当抗风圈作为操作平台及走道使用时,在其周围必须设置栏杆。

10.11 吊挂支柱

10.11.1 固定顶油罐可设置吊挂支柱,宜设置在罐顶中心附近位置。

10.11.2 吊挂支柱宜按图 10.11.2 所示结构进行设计。

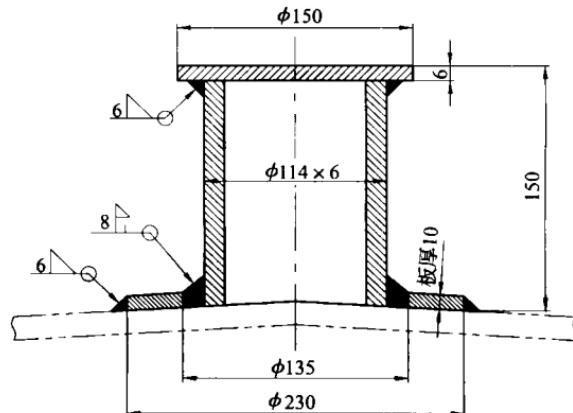


图 10.11.2 吊挂支柱

10.12 防雷、防静电接地及其他

10.12.1 油罐应按照国家现行有关标准规定设置防雷、防静电接地装置连接构件。

10.12.2 在罐壁下部宜设置沉降观测件。

10.12.3 在罐壁上易观察处应设置铭牌。

11 油罐抗风稳定计算及锚固设计

11.1 抗风稳定计算

11.1.1 设计荷载应按本规范附录 F 确定。

11.1.2 未锚固罐倾倒校核(图 11.1.2)计算,当油罐不发生倾倒时,应满足下列公式的要求:

$$0.6M_w + M_{pi} < M_{DL}/1.5 + M_{DLR} \quad (11.1.2-1)$$

$$M_w + M_{pi} < (M_{DL} + M_F)/2 + M_{DLR} \quad (11.1.2-2)$$

式中: M_w ——水平和垂直风压对罐壁罐底接合点的倾倒力矩($N \cdot m$);

M_{pi} ——设计内压对罐壁罐底接合点的倾倒力矩($N \cdot m$);

M_{DL} ——罐壁重量和罐顶支撑件重量(不包括罐顶板)对罐壁罐底接合点的反倾倒力矩($N \cdot m$);

M_{DLR} ——罐顶板及其上附件重量对罐壁罐底接合点的反倾倒力矩($N \cdot m$);

M_F ——储液重量对罐壁罐底接合点的反倾倒力矩($N \cdot m$)。

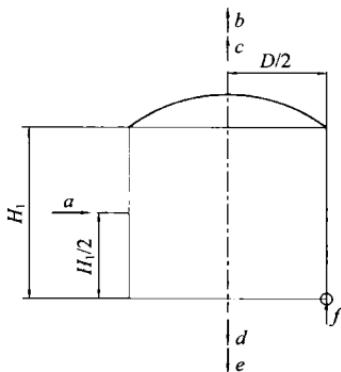


图 11.1.2 未锚固罐倾倒校核示意图

a—罐壁风荷载; b—风压上举荷载; c—内压上举荷载;

d—静荷载; e—有效储液重量; f—罐壁罐底接合点(力矩平衡点)

11.1.3 柱支撑锥顶油罐不发生倾倒时,应满足下式的要求:

$$M_{ws} + M_{pi} < M_{DL}/1.5 + M_{DLR} \quad (11.1.3)$$

式中: M_{ws} ——水平风压对罐壁罐底接合点的倾倒力矩(N·m);

M_{pi} ——设计内压对罐壁罐底接合点的倾倒力矩(N·m);

M_{DL} ——罐壁重量和罐顶支撑件重量(不包括罐顶板)对罐壁罐底接合点的反倾倒力矩(N·m);

M_{DLR} ——罐顶板及其上附件重量对罐壁罐底接合点的反倾倒力矩(N·m)。

11.1.4 储液重量对罐壁罐底接合点的反倾倒力矩应按下式计算:

$$M_F = \frac{w_L \pi D^2}{2} \quad (11.1.4-1)$$

$$w_L = 59 t_b \sqrt{R_{el} H_w} \quad (11.1.4-2)$$

式中: M_F ——储液重量对罐壁罐底接合点的反倾倒力矩(N·m);

w_L ——单位长度相对密度为0.7的储液重量(N/m),不应超过140.8 H_w D;

D ——油罐内径(m);

R_{el} ——罐底边缘板钢板标准屈服强度下限值(MPa);

t_b ——罐底边缘板的有效厚度(mm);

H_w ——设计液位高度(m)。

11.1.5 与底圈壁板连接的罐底边缘板的有效厚度 t_b 不应大于底圈壁板的有效厚度。伸入罐壁内侧的罐底边缘板最小宽度应为下式计算值与0.45m的较大值,且不应超过0.035D。

$$L_b = 0.0291 t_b \sqrt{\frac{R_{el}}{H_w}} \quad (11.1.5)$$

式中: L_b ——伸入罐壁内侧的罐底边缘板最小宽度(m);

t_b ——罐底边缘板的有效厚度(mm);

R_{el} ——罐底边缘板钢板标准屈服强度下限值(MPa);

H_w ——设计液位高度(m)。

11.1.6 当油罐进行抗滑移校核时,油罐罐体与罐基础的滑移摩

擦系数应取 0.4。

11.2 锚固设计

11.2.1 当油罐不能满足本规范第 11.1.2 条的规定或其他原因需要锚固时,应进行锚固设计。

11.2.2 锚固形式(图 11.2.2-1 和图 11.2.2-2)应满足锚固设计强度要求。

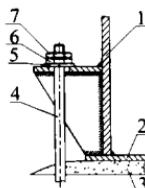
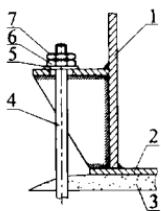


图 11.2.2-1 单锚固组件示意图

1—罐壁;2—罐底;3—罐基础;
4—锚固螺栓;5—垫圈;6—螺母;
7—固定螺母;8—锚固盖板上开长圆孔

图 11.2.2-2 连续支撑锚固组件示意图

1—罐壁;2—罐底;3—罐基础;
4—锚固螺栓;5—垫圈;6—螺母;

7—固定螺母;8—锚固盖板上开长圆孔

11.2.3 锚固螺栓的许用应力应符合表 11.2.3 的规定。单个锚固螺栓能承受的举升力应按下式计算:

$$F_b = \frac{U}{N} \quad (11.2.3)$$

式中: U —表 11.2.3 中所列举升力的最大值(N);

F_b —单个锚固螺栓应能承受的举升力(N);

N —锚固螺栓数量。

表 11.2.3 不同设计工况下的举升力及锚固螺栓许用应力

设计工况	举升力 $U(N)$	锚固螺栓 许用应力 (MPa)	锚固座处 罐壁板许用 应力(MPa)
设计压力	$[P_i - 0.08(t_h - C_2)] \times D^2 \times 785 - W_1$	$5/12 R_{elb_0}$	$2/3 R_{elsh}$
试验压力	$[P_t - 0.08(t_h - C_2)] \times D^2 \times 785 - W_1$	$5/9 R_{elb_0}$	$5/6 R_{elsh}$
破坏压力	$(1.5 P_f - 0.08 t_h) \times D^2 \times 785 - W_3$	R_{elb_0}	R_{elsh}
风荷载	$P_{WR} \times D^2 \times 785 + 4 \times M_{WS} / D - W_2$	$0.8 R_{elb_0}$	$5/6 R_{elsh}$
地震作用	$4 \times M_1 / D - W_2$	$0.8 R_{elb_0}$	$5/6 R_{elsh}$
设计压力 + 风荷载	$[0.4 P_i + P_{WR} - 0.08(t_h - C_2)] \times D^2 \times 785 + 4 M_{WS} / D - W_1$	$5/9 R_{elb_0}$	$5/6 R_{elsh}$
设计压力 + 地震作用	$[0.4 P_i - 0.08(t_h - C_2)] \times D^2 \times 785 + 4 M_1 / D - W_1$	$0.8 R_{elb_0}$	$5/6 R_{elsh}$
罐顶板与罐壁采用 弱连接结构时的 破坏压力荷载	$(3 \times P_f - 0.08 t_h) \times D^2 \times 785 - W_3$	R_{elb_0}	R_{elsh}

符号说明：

注: D ——油罐内径(m)； C_2 ——腐蚀裕量(mm)； t_h ——罐顶板名义厚度(mm)； P_i ——设计压力(kPa)； P_t ——试验压力(kPa), $P_t = 1.25 P_i$ ； P_f ——破坏压力(kPa)； P_{WS} ——作用于罐壁上的水平风荷载(kPa)； P_{WR} ——作用于罐顶部的举升风荷载(kPa)； M_1 ——地震引起的弯矩(N·m)； M_{WS} ——由 P_{WS} 引起的对罐壁罐底接合点的倾倒力矩(N·m)； M_{WR} ——由 P_{WR} 引起的对罐壁罐底接合点的倾倒力矩(N·m)； W_1 ——由罐壁有效厚度及除去罐顶板外由罐壁支撑的构件有效厚度确定的重量(N)； W_2 ——由罐壁有效厚度及包括罐顶板在内由罐壁支撑的构件有效厚度确定的重量(N)； W_3 ——由罐壁名义厚度及除去罐顶板外由罐壁支撑的构件名义厚度确定的重量(N)； R_{elb_0} ——锚固螺栓材料标准屈服强度下限值(MPa)； R_{elsh} ——底圈罐壁材料标准屈服强度下限值(MPa)。

当操作压力和设计压力之比大于 0.4 时, P_i 前面的系数 0.4 应相应提高。

11.2.4 锚固螺栓的最小规格应为 M24。锚固螺栓的腐蚀裕量不应小于 3mm。

11.2.5 锚固螺栓应通过与罐壁罐底焊为一体的锚固组件进行锚固, 并不应使罐壁产生过大的局部应力和变形。

11.2.6 油罐直径小于 15m 时, 锚固螺栓间距不应大于 2m; 油罐直径大于或等于 15m 时, 锚固螺栓间距不应大于 3m。

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

11.2.8 油罐设计温度大于 90℃ 时, 锚固时应考虑热膨胀影响。

12 预制、组装、焊接及检验

12.1 预制、组装及焊接

12.1.1 预制前应检查油罐材料的出厂质量证明书,无出厂质量证明书的材料应进行复验,检验合格后方可进行预制。

12.1.2 油罐用材料在运输、现场堆放及吊装时,应防止变形、损伤和锈蚀。

12.1.3 材料代用应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。

12.1.4 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的有关规定。

12.1.5 设计温度低于-20℃和标准屈服强度下限值大于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。

12.1.6 焊接前,应有合格的焊接工艺评定报告。焊接工艺评定应符合现行行业标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014的有关规定;当单道焊厚度大于19mm时,应对每种厚度的焊接接头单独进行评定。

12.1.7 除满足上述规定外,油罐的预制、组装及焊接还应满足设计文件及现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128的有关规定。

12.2 焊缝无损检测及试验

12.2.1 罐底焊缝的检测应符合下列规定:

1 钢材标准屈服强度下限值大于 390MPa 的罐底边缘板的对接焊缝,在根部焊道焊接完毕后应进行渗透检测;在最后一层焊接完毕后,应再次进行渗透检测或磁粉检测。

2 底板三层钢板重叠部分的搭接接头焊缝和对接罐底板的 T 字焊缝的根部焊道焊完后,在沿三个方向各 200mm 范围内应进行渗透检测;全部焊完后,应进行渗透检测或磁粉检测。

3 厚度大于或等于 10mm 的罐底边缘板,每条对接焊缝的外端 300mm 应进行射线检测;厚度小于 10mm 的罐底边缘板,每个焊工施焊的焊缝应按上述方法至少抽查一条。

4 所有罐底焊缝应采用真空箱法进行密封性试验,试验负压值不得低于 53kPa,无泄漏为合格。

12.2.2 底圈罐壁与罐底板 T 形接头的罐内角焊缝的检测应符合下列规定:

1 当罐底边缘板的厚度大于或等于 8mm,且底圈壁板的厚度大于或等于 16mm,或标准屈服强度下限值大于 390MPa 的任意厚度的壁板和底板,在罐内及罐外角焊缝焊完后,应对罐内角焊缝进行磁粉检测或渗透检测,在储罐充水试验后,应用同样方法进行复验;

2 底圈罐壁和罐底板采用标准屈服强度下限值大于 390MPa 钢板时,罐内角焊缝的初层焊道焊完后,还应进行渗透检测。

12.2.3 罐壁焊缝的检测应符合下列规定:

1 罐壁纵焊缝检测应符合下列规定:

1)底圈壁板厚度小于或等于 10mm 时,应从每条焊缝中任取 300mm 进行射线检测[图 12.2.3(a)];板厚大于 10mm 且小于 25mm 时,应从每条焊缝中任取 2 个 300mm 进行射线检测,其中一个位置应靠近底板[图 12.2.3(b)];板厚度大于或等于 25mm 时,每条焊缝应进行 100% 射线检测[图 12.2.3(c)]。

2) 其他各圈壁板,当板厚小于 25mm 时,每一焊工焊接的每种板厚(板厚差不大于 1mm 时可视为同等厚度)应在最初焊接的 3m 焊缝的任意部位取 300mm 进行射线检测。以后不考虑焊工人数,应对每种板厚在每 30m 焊缝及其尾数内的任意部位取 300mm 进行射线检测[图 12.2.3(b)];当板厚大于或等于 25mm 时,每条焊缝应 100% 射线检测[图 12.2.3(c)]。

2 罐壁环焊缝检测应符合下列规定:

每种板厚(以较薄的板厚为准)应在最初焊接的 3m 焊缝的任意部位取 300mm 进行射线检测,以后对于每种板厚应在每 60m 焊缝及其尾数内的任意部位取 300mm 进行射线检测[图 12.2.3]。

3 罐壁 T 字焊缝检测应符合下列规定:

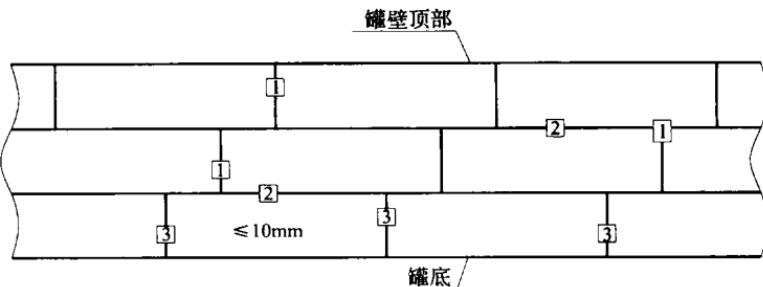
1) 当板厚(以 T 字焊缝较薄板厚为准)小于或等于 10mm 时,底圈壁板除应符合本条第 1 款第 1 项的规定外,25% 的 T 字缝应进行射线检测[图 12.2.3(a)];其他各圈壁板按本条第 1 款第 2 项中射线检测部位的 25% 应位于 T 字缝处;当板厚度大于 10mm 时,全部 T 字缝应进行射线检测。

2) 罐壁 T 字焊缝检测位置应包括纵向和环向焊缝各 300mm 的区域。

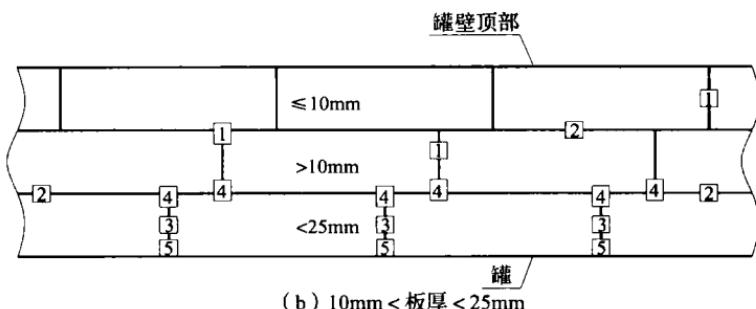
4 罐壁开孔接管焊缝检测应符合下列规定:

1) 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进行 100% 射线检测。

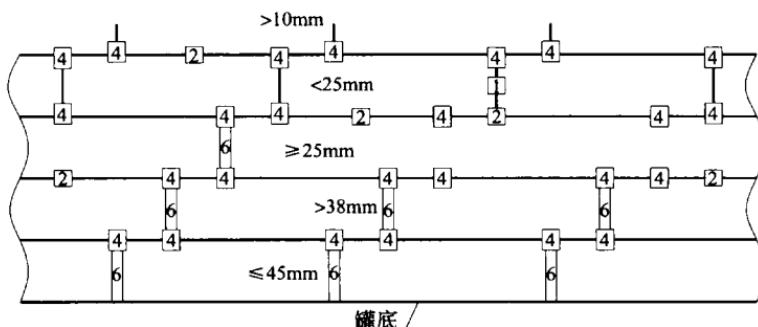
2) 标准屈服强度下限值大于 390MPa,或厚度大于 25mm 的罐壁板上的开孔焊缝及补强板焊缝,应在第一层焊完后进行渗透检测,并应在最后一层焊完(对有延迟裂纹趋向的钢材至少要经过 24 小时)后进行渗透或磁粉检测。有消除应力热处理要求时,最后一层渗透或磁粉检测应在热处理后、充水试验前进行。



(a) 厚度 $\leq 10\text{mm}$



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



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

图 12.2.3 罐壁焊缝射线检测的位置和数量

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($t < 25\text{mm}$);4—板厚大于 10mm 的所有T形接头上的射线检查点;5—最底层罐壁板厚度大于 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% 射线探测

3)开孔的补强板焊完后,应由信号孔通入100kPa~200kPa的压缩空气,检查焊缝的严密性,无泄漏为合格。

12.2.4 浮顶焊缝的检测应符合下列规定:

1 当浮顶底板、单盘板采用单面连续焊缝时,应采用真空箱法进行密封性试验,试验负压值不得低于53kPa,保持时间不应低于5s,以无泄漏为合格。

2 当浮顶底板采用双面连续焊缝时,应在上部焊缝焊完按本条第1款的要求检查合格后再焊接下部的连续焊缝;全部焊完后应采用煤油试漏法进行检测,以无渗漏为合格。

3 隔舱的环板及隔板焊缝应采用煤油试漏法进行检测。隔舱顶板的焊缝应采用真空箱法进行密封性试验或逐舱鼓入压力为785Pa的压缩空气进行严密性试验,稳压时间不得小于5min,均以无泄漏为合格。

4 单盘式浮顶的所有隔舱和双盘式浮顶具有密封结构的隔舱均应满足气密性要求。

5 当受结构限制不能采用真空箱法进行密封性试验时,可采用煤油试漏法检测。

12.2.5 当板厚大于12mm时,可采用衍射时差法超声检测。

12.2.6 焊缝无损检测的方法和合格标准应符合下列规定:

1 射线检测应按现行行业标准《承压设备无损检测 第2部分:射线检测》JB/T 4730.2的规定执行,检测技术等级不应低于AB级;采用钢板标准屈服强度下限值大于390MPa的壁板或厚度不小于25mm的碳素钢或厚度不小于16mm的低合金钢壁板的焊缝,合格等级应为Ⅱ级;其他合格等级应为Ⅲ级。

2 超声波检测应按现行行业标准《承压设备无损检测 第3部分:超声检测》JB/T 4730.3的规定执行,合格等级应为Ⅱ级。

3 磁粉检测和渗透检测部位不应有任何裂纹和白点,并应按现行行业标准《承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测》JB/T 4730.4和《承压设备无损检测 第5部分:渗透检测》

JB/T 4730.5 的规定进行缺陷等级评定, 合格等级应为Ⅱ级。

4 衍射时差法超声检测(TOFD)应按现行行业标准《承压设备无损检测 第10部分: 衍射时差法超声检测》JB/T 4730.10 的相关规定进行检测, 合格等级应为Ⅱ级。

12.3 几何形状及尺寸检查

12.3.1 罐体组装焊接后, 几何尺寸和形状应符合下列规定:

1 罐体高度允许偏差不应大于设计高度的 0.5%, 且不得大于 50mm;

2 罐壁垂直度允许偏差不应大于罐壁高度的 0.4%, 且不得大于 50mm;

3 在底圈壁板 1m 高处测量, 底圈壁板内表面任意点半径的允许偏差应符合表 12.3.1 的规定。

表 12.3.1 底圈罐壁内表面任意点半径的允许偏差

油罐内径 (m)	半径允许偏差 (mm)
$D \leq 12.5$	±13
$12.5 < D \leq 45$	±19
$45 < D \leq 76$	±25
$D > 76$	±32

12.3.2 罐底焊接后, 局部凹凸变形的深度不应大于变形长度的 2%, 且不应大于 50mm, 单面倾斜式罐底不应大于 40mm。

12.3.3 浮顶局部凹凸变形应符合下列规定:

1 隔舱顶板的局部凹凸变形应用直线样板测量, 不得大于 15mm;

2 单盘板的局部凹凸变形不应影响外观及浮顶排水;

3 浮顶外边缘板的垂直允许偏差不应大于 3mm。

12.3.4 浮顶外边缘板与底圈壁板之间的间隙在安装位置允许偏

差应为±15mm；在充水试验浮顶升降全过程中，浮顶在任何其他高度的允许偏差应为±50mm。检测罐壁与浮顶外侧板之间环形空间的距离至少应包括下列充水高度：

- 1 设计液位高度的 1/4；
- 2 设计液位高度的 1/2；
- 3 设计液位高度的 3/4；
- 4 设计液位高度。

12.3.5 内浮顶组装、焊接后的几何尺寸应符合下列规定：

- 1 内浮顶外边缘板的半径允许偏差应为±10mm；
- 2 内浮顶外边缘板焊接完毕后，其垂直偏差应为±3mm，用弧形样板测量其内弧，间隙不应大于8mm；
- 3 内浮顶外边缘板与底圈壁板之间的间隙在安装位置的允许偏差应为±10mm。

12.3.6 固定顶焊后几何尺寸应符合下列规定：

- 1 固定顶成型应美观，其局部凹凸变形应采用样板检查，间隙不应大于15mm；
- 2 柱支撑支柱的垂直度不应大于1‰，且不应大于10mm。

12.3.7 单层球面网壳罐顶组焊后的结合尺寸应符合设计文件要求，且在外压设计荷载作用下，网壳许用挠度为油罐内径的0.25%。

12.3.8 罐壁接管安装尺寸偏差应符合下列规定：

- 1 罐壁外表面到接管法兰面的距离允许偏差应为±5mm；
- 2 罐壁接管高度或罐顶接管的径向位置允许偏差应为±6mm；
- 3 在任意平面内，测量接管法兰直径上的倾斜度应符合下列规定：
 - 1) 接管公称直径大于300mm时，倾斜度允许偏差应为±0.5°；
 - 2) 接管公称直径小于或等于300mm时，倾斜度允许偏差应为±3mm。
- 4 法兰螺栓孔定位允许偏差应为±3mm。

12.3.9 罐壁人孔安装尺寸偏差应符合下列规定：

- 1 罐壁外表面到罐壁人孔法兰面的距离允许偏差应为±13mm；
- 2 罐壁人孔高度和角度位置允许偏差应为±13mm；
- 3 在任意平面内，罐壁人孔法兰直径上的倾斜度允许偏差应为±13mm。

12.4 充水试验

12.4.1 油罐安装完毕应进行充水试验，充水试验应检查下列内容：

- 1 罐底严密性；
- 2 罐壁强度及严密性；
- 3 固定顶的强度、稳定性及严密性；
- 4 浮顶及内浮顶的升降试验及严密性；
- 5 浮顶排水管的严密性；
- 6 基础的沉降观测。

12.4.2 油罐进行充水试验应符合下列规定：

- 1 充水试验应在永久性管道和油罐连接之前进行；
- 2 所有附件及其他与罐体焊接的构件应全部完工，且应检验合格；
- 3 与严密性试验有关的焊缝不应涂刷油漆。

12.4.3 充水试验高度应为设计液位高度。充水试验用水宜采用洁净的水，试验水温不应低于5℃。采用其他介质进行充水试验可能对油罐造成腐蚀时，应采取有效的防腐措施。

12.4.4 罐体焊缝防腐及油罐保温应在充水试验合格后进行。

12.5 固定顶试验

12.5.1 密闭常压油罐固定顶的焊缝应采用真空箱法密封性试验或气密性试验进行检测，气密性试验压力不应小于0.35kPa，且不得大于罐顶板单位面积的重量；非密闭常压油罐的固定顶应对焊

缝进行目视检查,可不做气密性试验。

12.5.2 微内压油罐试验应符合本规范第 A.5 节和第 A.6.6 条的规定。

12.5.3 油罐外压试验应符合本规范第 B.6 节的规定。

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 18kPa 的微内压油罐。
- A. 1. 2 当设计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,设计应符合本规范第 A. 2 节~第 A. 5 节的规定。
- A. 1. 3 当设计压力产生的举升力大于罐壁、罐顶及其所支撑构件的总重量,且小于或等于 18kPa 时,应进行锚固,设计应符合本规范第 A. 6 节的规定。
- A. 1. 4 当设计温度大于 90℃ 时,尚应符合本规范附录 C 的规定。
- A. 1. 5 当油罐在外压(真空)工况运行时,尚应符合本规范附录 B 的规定。

A. 2 通气装置

- A. 2. 1 在正常使用状态下,应设置适当的通气装置。
- 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 条的规定,且所设置的通气装置不能满足通气要求时,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压力 P_{max} ,且不应大于 80% 的计算破坏压力 P_f 。

A. 3 罐顶与罐壁的连接结构

- A. 3. 1 罐顶与罐壁连接部位的结构与尺寸应符合本规范图 7. 1. 5 的规定。
- A. 3. 2 当罐顶与罐壁连接处抗压环的有效面积已确定时,微内压油罐的最大设计压力应按下式计算:

$$P_i = \frac{AR_{el}^i \tan\theta}{200D^2} + \frac{0.00127D_{LR}}{D^2} \quad (A. 3. 2)$$

式中: P_i —— 微内压油罐的最大设计压力(kPa);

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

D —— 油罐内径(m);

D_{LR} —— 罐顶板及其上附件重量(N);

R_{el}^i —— 设计温度下抗压环材料标准屈服强度下限值(MPa);

θ —— 罐顶与罐壁连接处罐顶与水平面之间的夹角($^\circ$)。

A. 3. 3 罐壁底部不被抬起的最大设计压力应按下式计算:

$$P_{\max} = \frac{0.00127D_{LR}}{D^2} + \frac{0.000849D_{LS}}{D^2} - \frac{0.00153M_w}{D^3} \quad (A. 3. 3)$$

式中: P_{\max} —— 罐壁底部不被抬起的最大设计压力(kPa);

D_{LR} —— 罐顶板及其上附件重量(N);

D_{LS} —— 罐壁重量和罐顶支撑件(不包括罐顶板)重量(N);

M_w —— 风弯矩($\text{N} \cdot \text{m}$)。

A. 3. 4 罐顶与罐壁弱连接结构油罐应满足下式要求:

$$P_{\max} \leq 0.8P_f \quad (A. 3. 4)$$

A. 3. 5 计算破坏压力应按下式计算:

$$P_f = 1.6P_i - \frac{0.000746D_{LR}}{D^2} \quad (A. 3. 5)$$

式中: P_f —— 计算破坏压力(kPa);

D_{LR} —— 罐顶板及其上附件重量(N);

P_i —— 按式(A. 3. 2)计算的压力(kPa)。

A. 4 抗压环所需最小截面面积

A. 4. 1 抗压环需要的截面面积应按下式计算:

$$A_r = \frac{\left(P_i - \frac{0.00127D_{LR}}{D^2} \right) D^2 \times 10^3}{8[\sigma] \tan\theta} \quad (A. 4. 1)$$

式中: A_r ——在本规范图 7.1.5 规定范围内满足最大设计压力要求的抗压环最小截面积(mm^2);

$D_{t,R}$ ——罐顶板及其上附件重量(N);

$[\sigma]$ ——材料许用应力(MPa),应取设计温度下 1/1.6 材料标准屈服强度下限值。

A. 4.2 对于自支撑锥顶或自支撑拱顶,抗压环的截面面积不应小于按本规范第 7.3.3 条或本规范第 7.5.3 条要求确定的截面面积。

A. 5 试验与检查

A. 5.1 油罐全部焊接完毕并经无损检测合格后,罐内应充水到设计液位,液面上加压至设计压力,稳压 15min;然后降至 50% 的设计压力,检查所有焊缝,应无泄漏。

A. 5.2 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 设计压力不大于 18kPa 的锚固罐

A. 6.1 设计压力不大于 18kPa 的锚固罐,当按本规范式(6.3.2-1)、式(6.3.2-2)计算罐壁厚度,按本规范表 10.3.2 选取罐壁人孔各元件厚度,按本规范表 10.5.1-1 选取齐平型清扫孔各元件厚度时,式中和表中所采用的设计液位高度应计入气相空间设计压力折算成储存介质的当量液柱高度。

A. 6.2 抗压环截面面积应按本规范第 A.4 节的规定进行计算。在抗压环有效范围内,罐顶、罐壁及其他组合件自身的连接焊缝应为全焊透对接结构。

A. 6.3 锚固罐应为自支撑拱顶,顶板的计算厚度按下式确定,且不应小于本规范第 7.5.2 条规定的计算厚度。

$$t = \frac{P_i R_s}{2[\sigma] \phi} \quad (\text{A. 6. 3})$$

式中: t ——锚固罐顶板的计算厚度(mm);

P_i ——设计压力(kPa);

R_s ——光面球壳的曲率半径(m);

$[\sigma]^t$ ——顶板材料许用应力(MPa),取1/1.6设计温度下材料标准屈服强度下限值;

ϕ ——焊接接头系数,单面满角搭接焊取 $\phi=0.35$ 。

A. 6. 4 锚固设计应符合本规范第11.2节的规定。

A. 6. 5 抵抗举升力的重量不应小于下述规定的最大举升力:

1 对于1.5倍设计压力产生的举升力加设计风速在罐顶部位产生的举升力,抵抗举升力的重量应为空罐状态按有效厚度计算的重量;

2 对于1.25倍试验压力产生的举升力,抵抗举升力的重量应为空罐状态按名义厚度计算的重量;

3 对于液位为设计液位时1.5倍破坏压力产生的举升力,抵抗举升力的重量为罐壁罐顶重量、配重、环梁内壁到罐内壁之间的储液重量以及环梁与土壤之间的摩擦力。

A. 6. 6 锚固罐的试验与检查应符合下列规定:

1 充水到设计液位时,检查罐壁罐底的严密性以及锚固螺栓的松紧程度;

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,在常压下检查锚固螺栓的紧固性;

4 用空气充压至设计压力,检查锚固情况。

附录 B 外压油罐设计

B. 1 一般规定

B. 1. 1 本附录适用于设计真空外压大于 0.25kPa, 且不大于 6.9kPa 的固定顶油罐。

B. 1. 2 顶部加强圈提供的截面面积, 当设计真空外压不大于 0.25kPa 时, 应按本规范第 7.1.5 条的规定确定; 当设计真空外压大于 0.25kPa 时, 应按本附录的规定确定。

B. 2 固定顶

B. 2. 1 油罐罐顶的设计总外压应按下式计算:

$$P_r = \max\{D_L + L_r + 0.4P_e, D_L + P_e + 0.4L_r\} \quad (B. 2. 1)$$

式中: P_r ——罐顶设计总外压(kPa);

D_L ——固定顶固定荷载(kPa), 包括罐顶板及其上附件重量, 当有隔热层时, 尚应计入隔热层的重量;

P_e ——设计真空外压(kPa); 当操作压力与设计压力之比大于 0.4 时, 0.4 P_e 前面的系数应相应提高;

L_r ——固定顶活荷载(kPa), 指水平投影面上的固定顶活荷载, 不应小于 1.0kPa。

B. 2. 2 柱支撑锥顶设计应符合下列规定:

- 1 当顶板支撑在檩条上时, 可视为连续梁或薄膜;
- 2 应同时考虑膜应力和弯曲应力;
- 3 应考虑板和板连接时的焊接接头系数;
- 4 应设定支撑处为刚性节点;
- 5 应给定许用挠度值。

B. 2. 3 自支撑锥顶设计应符合下列规定:

1 顶板的计算厚度应按下式确定,但不应低于本规范第7.3.2条的规定:

$$t_c = \frac{83D}{\sin\theta} \sqrt{\frac{P_r}{1.72E}} \quad (B. 2. 3-1)$$

式中: t_c ——锥顶罐顶板的计算厚度(mm);

D ——油罐内径(m);

P_r ——罐顶设计总外压(kPa);

θ ——罐顶与罐壁连接处罐顶板与水平面之间的夹角($^\circ$);

E ——弹性模量(MPa)。

2 在外压作用下,自支撑锥顶罐抗拉环所需的截面积应按下式确定:

$$A_r = \frac{P_r D^2 \times 10^3}{8[\sigma] \tan\theta} \quad (B. 2. 3-2)$$

式中: A_r ——自支撑锥顶罐抗拉环所需的截面积(mm^2);

$[\sigma]$ ——抗拉环材料许用应力(MPa);应取1/1.6抗拉环所用材料标准屈服强度下限值,且不应低于140MPa;

θ ——罐顶与罐壁连接处罐顶板与水平面之间的夹角($^\circ$)。

3 在外压作用下,自支撑锥顶顶板有效长度应按下式确定:

$$X_c = 13.4 \sqrt{\frac{Dt_c}{\sin\theta}} \quad (B. 2. 3-3)$$

式中: X_c ——自支撑锥顶顶板的有效长度(mm),见图B.2.3;

t_c ——锥顶罐顶板的计算厚度(mm),见图B.2.3;

D ——油罐内径(m);

θ ——罐顶与罐壁连接处罐顶板与水平面之间的夹角($^\circ$)。

4 在外压作用下,自支撑锥顶罐顶部加强圈罐壁有效高度应按下式确定:

$$X_{st} = 13.4 \sqrt{Dt_{st}} \quad (B. 2. 3-4)$$

式中: X_{st} ——自支撑锥顶罐顶部加强圈罐壁有效高度(mm),见图B.2.3;

t_{st} ——顶圈罐壁板的名义厚度(mm),见图B.2.3;

D ——油罐内径(m)。

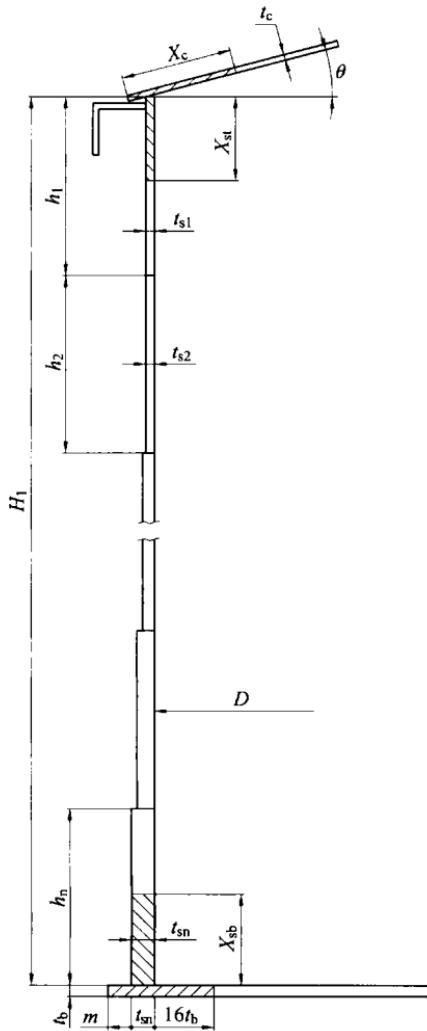


图 B. 2. 3 自支撑锥顶加强圈及截面积示意图

5 在外压作用下,自支撑锥顶罐底部加强圈罐壁有效高度应按下式确定:

$$X_{sb} = 13.4 \sqrt{Dt_{sn}} \quad (B. 2. 3-5)$$

式中： X_{sb} ——自支撑锥顶罐顶部加强圈罐壁有效高度(mm), 见图 B. 2. 3;

t_{sn} ——底圈罐壁板的名义厚度(mm), 见图 B. 2. 3;

D ——油罐内径(m)。

B. 2. 4 自支撑拱顶设计应符合下列规定：

1 顶板的计算厚度应按下式确定, 但不应低于本规范第 7. 5. 2 条的规定。

$$t_d = 141 R_s \sqrt{\frac{P_r}{E}} \quad (B. 2. 4-1)$$

式中： t_d ——自支撑拱顶罐顶板的计算厚度(mm);

P_r ——罐顶设计总外压(kPa);

R_s ——拱壳球面的半径(m);

E ——弹性模量(MPa)。

2 在外压作用下, 自支撑拱顶罐抗拉环所需的截面积应按下式确定, 但不应低于本规范第 7. 5. 3 条的规定。

$$A_r = \frac{300 P_r D R_s}{[\sigma]} \quad (B. 2. 4-2)$$

式中： A_r ——自支撑拱顶罐抗拉环所需的截面积(mm^2);

P_r ——罐顶设计总外压(kPa);

$[\sigma]$ ——抗拉环材料许用应力(MPa); 取 1/1. 6 抗拉环所用材料标准屈服强度下限值, 且不应低于 140MPa;

D ——油罐内径(m);

R_s ——拱壳球面的半径(m)。

3 在外压作用下, 自支撑拱顶顶板有效长度应按下式确定:

$$X_d = 19.0 \sqrt{R_s t_d} \quad (B. 2. 4-3)$$

式中： X_d ——自支撑拱顶顶板有效长度(mm), 见图 B. 2. 4;

t_d ——自支撑拱顶罐顶板的计算厚度(mm);

R_s ——拱壳球面的半径(m)。

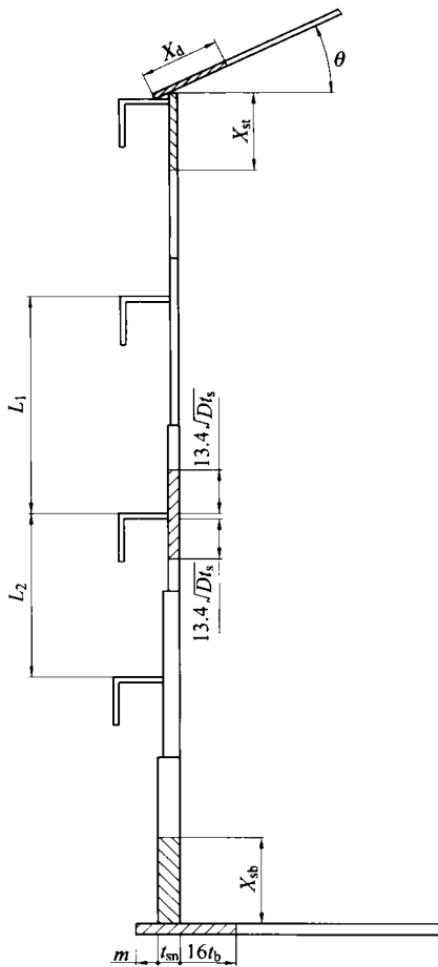


图 B. 2. 4 自支撑拱顶加强圈及截面积示意图

4 在外压作用下,自支撑拱顶罐顶部加强圈罐壁有效高度应按下式确定:

$$X_{st} = 13.4 \sqrt{Dt_{s1}} \quad (B. 2. 4-4)$$

式中: X_{st} —— 自支撑拱顶罐顶部加强圈罐壁有效高度 (mm), 见图 B. 2. 4;

t_{s1} ——顶圈罐壁板的名义厚度(mm),见图 B. 2. 3;

D ——油罐内径(m)。

5 在外压作用下,自支撑拱顶罐底部加强圈罐壁有效高度应按下式确定:

$$X_{sb} = 13.4 \sqrt{Dt_{sn}} \quad (B. 2. 4-5)$$

式中: X_{sb} ——自支撑拱顶罐底部加强圈罐壁有效高度(mm),见图 B. 2. 4;

t_{sn} ——底圈罐壁板的名义厚度(mm),见图 B. 2. 4;

D ——油罐内径(m)。

B. 3 罐壁加强圈

B. 3. 1 罐壁加强圈包括顶部加强圈、中间加强圈和底部加强圈(图 B. 2. 3 和图 B. 2. 4)。

B. 3. 2 稳定系数 ψ 取值应符合下列规定:

1 当 P_e 小于或等于 0.25kPa 时,稳定系数 ψ 应取 1.0。

2 当 P_e 大于 0.25kPa,且小于或等于 0.70kPa 时,稳定系数 ψ 应按下式计算:

$$\psi = \frac{P_e + 0.7}{0.95} \quad (B. 3. 2-1)$$

3 当 P_e 大于 0.70kPa 时,稳定系数 ψ 应按下式计算,且不应超过 2.5。

$$\psi = P_e + 0.48 \quad (B. 3. 2-2)$$

4 当仅有真空产生的外压荷载时,稳定系数 ψ 应取 3.0。

B. 3. 3 罐壁总当量高度应按下列公式计算:

$$H_{sE} = \sum H_{sei} \quad (B. 3. 3-1)$$

$$H_{sei} = h_{si} \left(\frac{t_{smin}}{t_{si}} \right)^{2.5} \quad (B. 3. 3-2)$$

式中: H_{sE} ——罐壁总当量高度(m);

H_{sei} ——第 i 圈罐壁板的当量高度(m);

$t_{s\min}$ ——核算区间最薄圈罐壁板的有效厚度(mm)；

t_{si} ——第 i 圈罐壁板的有效厚度(mm)；

h_{si} ——第 i 圈罐壁板的实际高度(m)。

B. 3. 4 最大允许的不加强罐壁当量高度应按下式计算：

$$H_{\text{safe}} = \frac{(t_{s\min})^{2.5} E}{15203 D^{1.5} P_s \psi} \quad (\text{B. 3. 4})$$

式中： H_{safe} ——最大允许不加强的罐壁当量高度(m)；

P_s ——罐壁设计总外压(kPa)，取 P_e 或 $W + 0.4 P_e$ 之较大值，当操作压力与设计压力之比大于 0.4 时， $0.4 P_e$ 前面的系数应相应提高；

$t_{s\min}$ ——核算区间最薄圈罐壁板的有效厚度(mm)；

D ——油罐内径(m)；

E ——弹性模量(MPa)；

ψ ——稳定系数。

B. 3. 5 中间加强圈的数量应按下式确定：

$$N_s = \text{INT} \left(\frac{H_{sE}}{H_{\text{safe}}} \right) \quad (\text{B. 3. 5})$$

式中： N_s ——中间加强圈的设置数量；

H_{sE} ——罐壁总当量高度(m)；

H_{safe} ——最大允许不加强的罐壁当量高度(m)。

B. 4 中间加强圈

B. 4. 1 罐壁失稳的理论波数应按下式进行计算：

$$N = \sqrt[4]{\frac{445 D^3}{t_{s\min} H_{sE}^2}} \quad (\text{B. 4. 1})$$

式中： N ——在均匀外压作用下，罐壁失稳的理论波数， $2 \leq N \leq 10$ ；

H_{sE} ——罐壁总当量高度(m)；

$t_{s\min}$ ——核算区间最薄圈罐壁板的有效厚度(mm)；

D ——油罐内径(m)。

B. 4. 2 作用于罐壁中间加强圈上的径向荷载应按下列公式进行计算：

$$Q = 1000 P_s L_s \quad (\text{B. 4. 2-1})$$

$$L_s = \frac{L_1 + L_2}{2} \quad (\text{B. 4. 2-2})$$

式中： Q ——作用于罐壁中间加强圈上的径向荷载(N/m)；

P_s ——罐壁设计总外压(kPa)；

L_1 ——中间加强圈上侧未加强罐壁高度(m)；

L_2 ——中间加强圈下侧未加强罐壁高度(m)。

B. 4. 3 中间加强圈所需的小惯性矩应按下式计算：

$$I_{\text{rm}} = \frac{37.5 Q D^3}{E (N^2 - 1)} \quad (\text{B. 4. 3})$$

式中： I_{rm} ——中间加强圈所需的小惯性矩(cm^4)；

Q ——作用于罐壁中间加强圈上的径向荷载(N/m)；

N ——在均匀外压作用下,罐壁失稳的理论波数；

D ——油罐内径(m)；

E ——弹性模量(MPa)。

B. 4. 4 中间加强圈所需的小截面积应按下式计算：

$$A_{\text{rm}} = \frac{Q D}{2 [\sigma]_{\text{m}}} - 26.84 t_s \sqrt{D t_s} \quad (\text{B. 4. 4})$$

式中： A_{rm} ——中间加强圈所需的小截面积(mm^2),且不应小于

$$\frac{Q D}{4 [\sigma]_{\text{m}}};$$

Q ——作用于罐壁中间加强圈上的径向荷载(N/m)；

D ——油罐内径(m)；

t_s ——中间加强圈安装位置罐壁板的名义厚度(mm)；

$[\sigma]_{\text{m}}$ ——中间加强圈材料的许用应力(MPa);取40%中间加强圈所用材料标准屈服强度下限值,且不应低于103MPa。

B. 4. 5 中间加强圈的截面尺寸应符合表 B. 4. 5 的规定。

表 B. 4. 5 中间加强圈最小截面尺寸

油罐直径(m)	最小截面尺寸
$D \leq 20$	$L 100 \times 63 \times 8$
$20 < D \leq 36$	$L 125 \times 80 \times 8$
$36 < D \leq 48$	$L 160 \times 100 \times 10$

B. 4. 6 中间加强圈应在核算区间内沿当量高度均匀分布。

B. 5 顶部加强圈和底部加强圈

B. 5. 1 顶部加强圈或底部加强圈所需的小惯性矩应按下列公式计算：

$$I_{tr} = \frac{37.5\nu D^3}{E(N^2 - 1)} \quad (B. 5. 1-1)$$

$$\nu = 250P_s H_1 \quad (B. 5. 1-2)$$

式中： I_{tr} ——顶部加强圈或底部加强圈所需的小惯性矩(cm^4)；

N ——在均匀外压作用下，罐壁失稳的理论波数， $2 \leq N \leq 10$ ；

P_s ——罐壁设计总外压(kPa)；

D ——油罐内径(m)；

H_1 ——罐壁总高度(m)；

E ——弹性模量(MPa)。

B. 5. 2 顶部加强圈所需的小截面积应按下列公式计算：

$$A_{ret} = \frac{\nu D}{2[\sigma]_r} - X_c t_c - X_{st} t_{s1} \quad (B. 5. 2-1)$$

$$A_{rdt} = \frac{\nu D}{2[\sigma]_r} - X_d t_d - X_{st} t_{s1} \quad (B. 5. 2-2)$$

式中： A_{ret} ——自支撑锥顶罐顶部加强圈所需的小截面积(mm^2)，且不应小于 $\frac{\nu D}{4[\sigma]_r}$ ， ν 见式(B. 5. 1-2)；

A_{rdt} ——自支撑拱顶罐顶部加强圈所需的小截面积

$$(\text{mm}^2), \text{且不应小于} \frac{\nu D}{4[\sigma]_r};$$

$[\sigma]_r$ ——顶部加强圈许用应力(MPa),应取1/1.6顶部加强圈所用材料标准屈服强度下限值,且不应低于140MPa;

X_d ——自支撑拱顶罐顶板有效长度(mm);

X_c ——自支撑锥顶罐顶板有效长度(mm);

t_d ——自支撑拱顶罐顶板的计算厚度(mm);

t_c ——自支撑锥顶罐顶板的计算厚度(mm);

t_{s1} ——顶圈罐壁板的名义厚度(mm);

X_{st} ——自支撑锥顶或自支撑拱顶罐顶部加强圈罐壁有效高度(mm);

D ——油罐内径(m)。

B. 5.3 底部加强圈所需的最小截面积应按下列公式计算:

$$A_{rcb} = \frac{\nu D}{2[\sigma]_b} - X_{sb} t_{sn} - t_b (m + t_{sn} + 16t_b) \quad (\text{B. 5. 3})$$

式中: A_{rcb} ——自支撑锥顶罐或自支撑拱顶罐底部加强圈所需的最小截面积(mm^2);

$[\sigma]_b$ ——底部加强圈许用应力(MPa),应取40%底部加强圈所用材料标准屈服强度下限值,且不应低于103MPa;

m ——罐底边缘板伸出罐外壁的径向宽度(mm);

t_b ——罐底边缘板的名义厚度(mm);

t_{sn} ——底圈罐壁板的名义厚度(mm);

X_{sb} ——自支撑锥顶罐或自支撑拱顶罐底部加强圈罐壁有效高度(mm);

D ——油罐内径(m)。

ν 见式(B. 5. 1-2)。

B. 6 外压试验

B. 6.1 当油罐充水试验完成后开始放水时,应进行罐顶外压

试验。试验时,应使罐顶部位气相空间的真空压力等于 $P_r - D_L$ 。

B. 6. 2 当油罐充水试验完成后放水接近结束时,可进行罐壁外压试验,试验时罐内真空压力应等于 P_e 。

附录 C 提高油罐设计温度的附加要求

C. 1 适用范围

C. 1. 1 本附录适用于设计温度大于 90℃, 且不大于 250℃的油罐。

C. 1. 2 本附录不适用于浮顶和内浮顶油罐。

C. 2 提高设计温度的影响和附加要求

C. 2. 1 当设计温度大于 90℃时, 应考虑以下因素对提高设计温度的影响:

- 1 罐壁与罐底、罐顶、梯子之间的温差, 罐顶与罐顶支撑之间的温差, 以及保温不连续处各部件之间的温差;
- 2 罐底的热膨胀;
- 3 降温时储液凝固产生的影响;
- 4 热应力的变化频率和幅度对油罐设计寿命的影响。

C. 2. 2 提高设计温度的附加要求应符合下列规定:

- 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 C. 2. 2 标准屈服强度下限值降低系数;
- 2 本规范第 7. 2 节构件的许用应力应乘以按表 C. 2. 2 确定的设计温度下材料的标准屈服强度下限值与 210MPa 的比值, 且比值不得大于 1;

表 C. 2. 2 标准屈服强度下限值降低系数

设计温度(℃)	标准屈服强度下限值(MPa)		
	<310	310~380	≥380
90	0.915	0.886	0.924
150	0.88	0.81	0.87
200	0.85	0.75	0.83
250	0.811	0.703	0.794

注: 中间温度的标准屈服强度降低系数可采用内插法计算。

3 有保温的锚固螺栓的许用应力应为常温下的许用应力乘以表 C. 2. 2 标准屈服强度下限值降低系数；

4 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；

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

6 应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 D 油罐抗震设计

D. 1 适用范围

- D. 1. 1 本附录规定了立式圆筒形钢制焊接油罐的抗震设计。
- D. 1. 2 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 $100m^3$ 的油罐抗震设计。
- D. 1. 3 本附录适用于抗震设防烈度为 6 度~9 度地区的油罐抗震设计。

D. 2 设计准则

- D. 2. 1 罐壁轴向压应力不应大于许用临界压应力。
- D. 2. 2 固定顶油罐和浮顶油罐的设计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液位高度时, 内浮顶外周边缘板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保证在地震状态下, 浮顶上下移动时不被卡住。
- D. 2. 5 当锚固系数 J 大于 1.54 时, 应设置锚固。

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、设计基本地震加速度值、设计地震分组、场地类别、油罐基本周期以及阻尼比确定, 并应按图 D. 3. 1 采用。水平地震影响系数最大值 α_{max} 应按表 D. 3. 1-1 采用。特征周期 T_g 应根据场地类别和设计地震分组按表 D. 3. 1-2 采用。抗震设防烈度及设计地震分组应符合现行国家标准《构筑物抗震设计规范》

GB 50191 的规定, 场地类别应按业主提供的书面资料确定。

表 D. 3. 1-1 地震影响系数最大值

设防烈度	6	7		8		9
设计基本地震加速度	0.05g	0.1g	0.15g	0.2g	0.3g	0.4g
α_{\max}	0.12	0.23	0.345	0.45	0.675	0.90

表 D. 3. 1-2 特征周期 T_g 值(s)

设计地震分组	场 地 类 别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

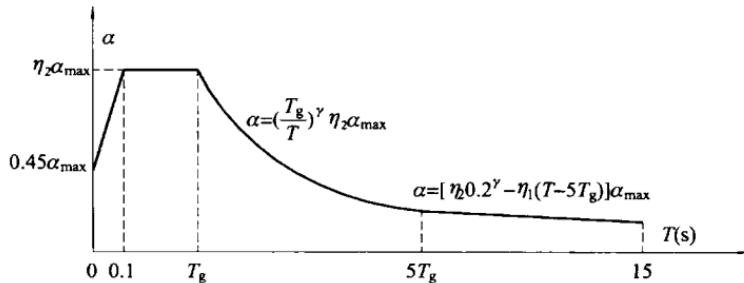


图 D. 3. 1 地震影响系数 α 曲线

α —水平地震影响系数; α_{\max} —水平地震影响系数最大值;

η_1 —直线下降段的下降斜率调整系数; γ —曲线下降段衰减指数;

T_g —特征周期; η_2 —阻尼调整系数; T —油罐自振周期

D. 3. 2 油罐地震影响系数 α 曲线(图 D. 3. 1)的阻尼调整和形状参数应符合下列规定:

1 曲线下降段的衰减指数应按下式确定:

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \quad (\text{D. 3. 2-1})$$

式中: γ —曲线下降段的衰减指数;

ζ —油罐的阻尼比, 应按实测取值, 当无实测值时, 应取

0.05；储液晃动时阻尼比应取0.005。

2 直线下降段的下降斜率调整系数计算应符合下列规定：

1) 当 $T(s)$ 小于或等于6.0s时,应按下式计算:

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \zeta}{4 + 32\zeta} \quad (D. 3. 2-2)$$

2) 当 $T(s)$ 大于6.0s时,应按下式计算:

$$\eta_1 = \frac{\eta_2 \cdot 0.2^\gamma - 0.03}{14} \quad (D. 3. 2-3)$$

式中: η_1 ——直线下降段的下降斜率调整系数, 小于0时, 应取0;

γ ——曲线下降段的衰减指数;

η_2 ——阻尼调整系数, 应按式(D. 3. 2-4)计算确定;

ζ ——油罐的阻尼比, 应按实测取值, 当无实测值时, 应取0.05; 储液晃动时阻尼比应取0.005。

3 阻尼调整系数应按下式确定:

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \quad (D. 3. 2-4)$$

式中: η_2 ——阻尼调整系数, 小于0.55时, 应取0.55;

ζ ——油罐的阻尼比, 应按实测取值, 当无实测值时, 应取0.05; 储液晃动时阻尼比应取0.005。

D. 3. 3 当水平地震影响系数的计算值小于 $0.05\eta_2\alpha_{max}$ 时, 应取 $0.05\eta_2\alpha_{max}$ 。

D. 3. 4 当计算罐壁底部水平地震剪力及弯矩时, T 采用罐液耦联振动基本周期 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. 5 油罐的罐液耦联振动基本周期应按下式计算:

$$T_c = K_c H_w \sqrt{\frac{R}{\delta_{\zeta}}} \quad (D. 3. 5)$$

式中: T_c ——罐液耦联振动基本周期(s);

R ——油罐内半径(m);

δ_{ζ} ——罐壁距底板1/3高度处的计算厚度(m);

H_w ——设计液位高度(m);

K_c ——耦联振动周期系数,根据 D/H_w 值由表 D. 3. 5 查取,中间值采用插入法计算。

表 D. 3. 5 耦联振动周期系数

$\frac{D}{H_w}$	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}
$\frac{D}{H_w}$	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. 6 储液晃动基本周期应按下式计算:

$$T_w = K_s \sqrt{D} \quad (\text{D. 3. 6})$$

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 由表 D. 3. 6 查取,中间值采用插入法计算;

D ——油罐内径(m)。

表 D. 3. 6 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. 7 罐壁底部水平地震剪力应按下列公式计算:

$$Q_0 = 10^{-6} C_z \alpha Y_1 mg \quad (\text{D. 3. 7-1})$$

$$m = m_1 F_r \quad (\text{D. 3. 7-2})$$

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 0.4;

α ——地震影响系数,根据 T 值、反应谱特征周期 T_g 及地震影响系数最大值 α_{\max} 应按本规范图 D. 3. 1 采用。

对于最大储存容量小于 10000m^3 的油罐, 可取 $\alpha =$

$$\eta_2 \alpha_{\max};$$

Y_1 ——罐体影响系数, 取 1.10;

g ——重力加速度, 取 9.81m/s^2 ;

m ——产生地震作用的储液等效质量(kg);

m_1 ——油罐储液总质量(kg);

F_r ——动液系数, 由 D/H_w 值应按表 D. 3. 7 选取, 中间值用插入法计算。

表 D. 3. 7 动液系数

D/H_w	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
F_r	0.869	0.848	0.826	0.804	0.782	0.760
D/H_w	1.2	1.33	1.5	2.0	2.5	3.0
F_r	0.738	0.710	0.663	0.542	0.450	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. 3.8 罐壁底部的地震弯矩应按下式计算:

$$M_1 = 0.45 Q_0 H_w \quad (\text{D. 3. 8})$$

式中: M_1 ——总水平地震作用在油罐底部所产生的地震弯矩($\text{MN} \cdot \text{m}$);

Q_0 ——在水平地震作用下, 罐壁底部的水平剪力(MN);

H_w ——设计液位高度(m)。

D. 3.9 水平地震作用下, 罐内液面晃动波高应按下式计算:

$$h_v = 1.5 \bar{\eta} \alpha R \quad (\text{D. 3. 9})$$

式中: h_v ——液面晃动波高(m);

$\bar{\eta}$ ——罐型系数, 浮顶和内浮顶油罐应取 0.85, 固定顶油罐应取 1.0;

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} 应按图 D. 3. 1 确定;

R ——油罐内半径(m)。

D. 3. 10 导向用管与导向用套管上的盖板间的允许最小间隙应满足下式要求：

$$\Delta F > 2(\sqrt{R^2 + h_v^2} - R) \quad (\text{D. 3. 10})$$

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)。

D. 4 锚 固

D. 4. 1 锚固系数应按下列公式计算：

$$J = \frac{\mu M_1}{D^2 (F_w + F_L)} \quad (\text{D. 4. 1-1})$$

$$F_w = \frac{N_1}{\pi D} \quad (\text{D. 4. 1-2})$$

$$F_L = 99t_b \sqrt{R_{el} H_w \rho} \times 10^{-6} \quad (\text{D. 4. 1-3})$$

应使 $F_L < 201H_w D\rho$ 。

式中： μ ——弯矩调整系数，应按本规范第 D. 4. 2 条的规定选取；

F_L ——储液提供的罐底与罐壁接触处单位长度上的提离反抗拒力(MN/m)；

F_w ——罐壁罐顶自重通过罐壁作用在罐底单位长度上的提离反抗拒力(MN/m)；

N_1 ——罐壁与罐顶总重量(MN)；

t_b ——罐底边缘板的有效厚度(mm)；

R_{el} ——罐底边缘板的标准屈服强度下限值(MPa)；

H_w ——设计液位高度(m)；

D ——油罐内径(m)；

ρ ——储液相对密度。

D. 4. 2 当 $\frac{D}{H_w} \geq 1.33$ 时，弯矩调整系数应按表 D. 4. 2-1 选取；当

$\frac{D}{H_w} < 1.33$ 时, 弯矩调整系数应为按表 D. 4. 2-1 的取值乘以弯矩增大系数, 弯矩增大系数应按表 D. 4. 2-2 选取。

表 D. 4. 2-1 弯矩调整系数 μ

$\frac{D}{H_w}$	0.45	0.675	0.9
拱顶油罐	0.91	0.78	0.71
浮顶油罐	0.90	0.77	0.70

表 D. 4. 2-2 弯矩增大系数 f

$\frac{D}{H_w}$	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
f	1.184	1.157	1.133	1.107	1.083	1.059	1.032	1.008

D. 4. 3 锚固判别应符合下列规定:

- 当 J 小于或等于 0.785 时, 不产生举升力, 可无需锚固;
- 当 J 大于 0.785, 且小于或等于 1.54 时, 罐壁受拉侧已开始偏离, 可无需锚固;
- 当 J 大于 1.54 时, 举升力应按表 11.2.3 规定确定, 应进行锚固。

D. 4. 4 罐底边缘板距罐内壁的最小径向宽度应按下式计算, 且不应小于 0.45m。

$$L_m = \min \left\{ 0.01723 t_b \sqrt{\frac{R_{eL}}{H_w \rho}}, 0.35D \right\} \quad (D. 4. 4)$$

式中: L_m —— 厚度为 t_b 的罐底边缘板距罐内壁的最小径向宽度 (m);

t_b —— 罐底边缘板的有效厚度 (mm);

R_{eL} —— 罐底边缘板钢板标准屈服强度下限值 (MPa);

ρ —— 储液相对密度;

D —— 油罐内径 (m);

H_w —— 设计液位高度 (m)。

D. 5 抗震验算

D. 5. 1 底圈罐壁许用临界应力应按下式计算：

$$[\sigma_{cr}] = 0.22E \frac{t}{D} \quad (D. 5. 1)$$

式中： $[\sigma_{cr}]$ ——罐壁许用临界应力(MPa)；

E ——设计温度下底圈罐壁材料的弹性模量(MPa)；

t ——底圈罐壁有效厚度(m)；

D ——油罐内径(m)。

D. 5. 2 地震作用下底圈罐壁产生的最大轴向压应力的计算应符合下列规定：

1 当 J 小于或等于 0.785 或 J 大于 1.54 时, 应按下式计算：

$$\sigma_1 = \frac{C_v N_1}{A_1} + \frac{M_1}{Z_1} \quad (D. 5. 2-1)$$

2 当 J 大于 0.785, 且小于或等于 1.54 时, 应按下式计算：

$$\sigma_1 = \frac{C_v N_1}{A_1} + \frac{C_L M_1}{Z_1} \quad (D. 5. 2-2)$$

式中： σ_1 ——底圈罐壁最大轴向压应力(MPa)；

C_v ——竖向地震影响系数(7 度及 8 度地震区 $C_v = 1.0$; 9 度地震区 $C_v = 1.45$)；

A_1 ——按底圈壁板有效厚度计算的罐壁截面面积(m^2)；

C_L ——翘离影响系数, 取 $C_L = 1.4$ ；

Z_1 ——按底圈罐壁有效厚度计算的断面系数, $Z_1 = 0.785D^2 t$ (m^3)。

D. 5. 3 底圈罐壁最大轴向压应力应满足下式要求：

$$\sigma_1 \leq [\sigma_{cr}] \quad (D. 5. 3)$$

式中： σ_1 ——底圈罐壁最大轴向压应力(MPa)；

$[\sigma_{cr}]$ ——底圈罐壁许用临界应力(MPa)。

D. 5. 4 按本规范式(D. 3. 9)计算的液面晃动波高应满足本规范第 D. 2. 2 条或第 D. 2. 3 条的要求。

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重量, 基础的沉降不应影响油罐及连接管道的安全使用及计量。

E. 1. 3 油罐基础应进行防渗处理, 并应满足环境保护要求。

E. 2 地基

E. 2. 1 当罐址地基属于下列情况时, 应进行地基处理:

1 部分在山坡地上, 部分在回填土上;

2 淤泥、淤泥质土及其他不能满足承载力和变形要求的软弱土层;

3 未经处理的人工填土;

4 存在岩溶、土洞等不良地质现象;

5 邻近的构筑物对罐基础下的土层存在不利影响;

6 地震作用时可能产生液化的土层;

7 其他特殊性土层, 如湿陷性土、膨胀土、盐渍土等。

E. 2. 2 地基可按下列方法进行处理:

1 采用换填垫层法置换不符合要求的土层;

2 采用振冲桩或砂石桩法处理软弱地基;

3 采用强夯或强夯置换法处理软弱地基;

4 采用化学方法或注浆法处理软弱地基;

5 采用堆载预压或充水预压方法加固软弱地基;

6 采用桩基础处理深厚软弱地基或软硬不均地基。

E. 3 罐 基 础

E. 3.1 罐基础应符合下列规定：

- 1 基础顶部应采用沥青砂垫层,厚度不应小于 100mm;
- 2 当罐内储存介质温度高于 90℃时,与罐底接触的基础表面应采用满足隔热要求的材料;
- 3 罐基础应有适当的排水和罐底泄漏检查措施;
- 4 罐基础的设计应满足地基承载力及变形要求,罐基础的类型包括钢筋混凝土环梁基础、碎石环梁基础、外环梁式基础、护坡式无环梁砂石垫层基础、桩基础等。对于大型浮顶油罐以及建设用地受到限制的情况,宜采用钢筋混凝土环梁基础。

E. 3.2 钢筋混凝土环梁基础(图 E. 3.2)应符合下列规定：

- 1 环梁厚度不应小于 300mm;环梁直径应等于油罐的内径;环梁的埋置深度不宜小于 0.6m,并应考虑基础的冻胀性。
- 2 环梁应能承受温差、回填材料、罐体及储液自重、风荷载以及地震作用。
- 3 环梁环向受力钢筋的截面最小总配筋率不应小于 0.4%,且应按环梁的全截面面积计算;环梁每侧竖向钢筋的最小配筋率不应小于 0.15%。

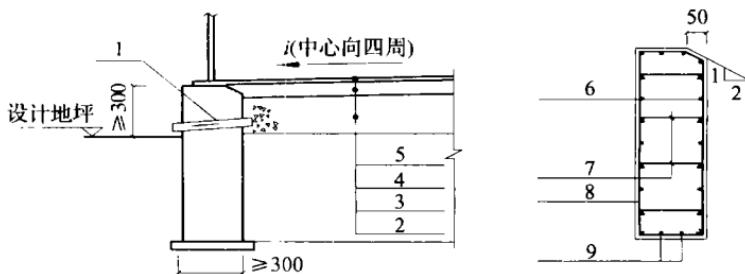


图 E. 3.2 钢筋混凝土环梁基础

1—漏管;2—填料层;3—砂石垫层;4—沥青砂垫层;5—罐底板;
6—环向钢筋;7—拉结钢筋;8—竖向钢筋;9—附加环向钢筋

E. 3.3 碎石环梁基础(图 E. 3.3)的外围凸台和护坡应有防冲刷措施。

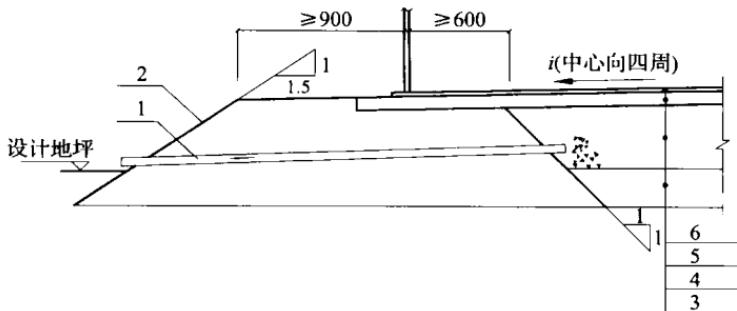


图 E. 3.3 碎石环梁基础

1—泄漏管；2—护坡；3—填料层；4—砂石垫层；5—沥青砂垫层；6—罐底板

E. 3.4 外环梁式基础(图 E. 3.4)的钢筋混凝土环梁配筋构造应符合本规范第 E. 3.2 条的规定。

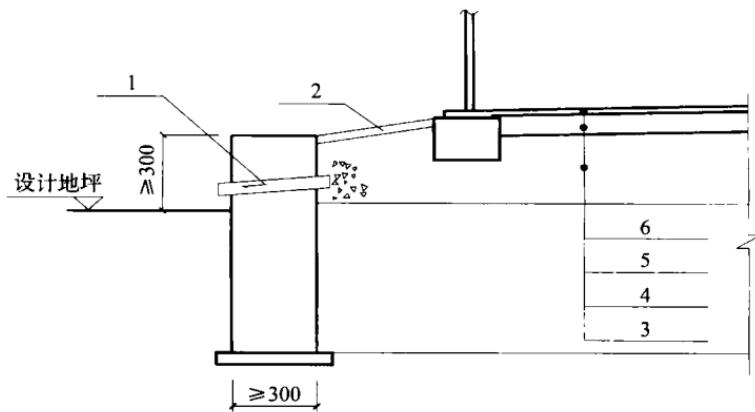


图 E. 3.4 外环梁式基础

1—泄漏管；2—护坡；3—填料层；4—砂石垫层；5—沥青砂垫层；6—罐底板

E. 3.5 护坡式无环梁砂石垫层基础应符合下列规定：

1 当地基能够满足承载力和变形要求时,可采用护坡式无环梁砂石垫层基础；

2 地表上影响罐基础稳定的表层土应除去,回填土应压实。

E. 3.6 当一般的复合地基处理方法难以满足承载力及变形要求时,可采用桩基础,桩顶与承台应有可靠的连接。

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,基础中心标高偏差不应大于±20mm。

E. 4.2 罐壁处基础顶面的水平度应以平均标高计算,且应符合下列规定:

1 钢筋混凝土环墙基础,任意10m弧长上不应超过±3mm,在整个圆周上不应超过±6mm;

2 碎石环梁基础和护坡式无环梁砂石垫层基础,任意3m弧长上不应超过±3mm,在整个圆周上不应超过±6mm。

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,对于一般地基,锥面坡度不应大于15%;对于软弱地基,锥面坡度不应大于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 油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(m)	任意直径方向最终沉降差许可值	罐内径 D(m)	任意直径方向最终沉降差许可值
$D \leq 22$	$0.007D$	$D \leq 22$	$0.015D$
$22 < D \leq 30$	$0.006D$	$22 < D \leq 40$	$0.010D$

续表 E. 4.5

外浮顶罐与内浮顶罐		固定顶罐	
罐内径 D (m)	任意直径方向最终沉降差许可值	罐内径 D (m)	任意直径方向最终沉降差许可值
$30 < D \leq 40$	0.005 D	$40 < D \leq 60$	0.008 D
$40 < D \leq 60$	0.004 D	—	—
$60 < D \leq 80$	0.0035 D	—	—
$D > 80$	0.0030 D	—	—

E. 4.6 基础沉降稳定后, 基础边缘上表面应高出设计地坪不小于 300mm。

E. 4.7 油罐基础应沿周边设置泄漏管, 沿环向间距不应大于 15m, 每台罐最少 4 个; 当油罐直径不大于 6m 时, 可设两个泄漏管; 钢管直径不宜小于 $DN50$, 且不宜大于 $DN70$ 。

附录 F 荷载组合

F. 0.1 荷载组合应符合表 F. 0.1 的规定。

表 F. 0.1 荷载组合表

序号	设计工况	荷载组合	备注
a	储液静压+内压	$D_L + F + P_i$	—
b	充水试验+气压试验	$D_L + P_i + H_t$	—
c	风压+内压	$D_L + W + 0.4 P_i$	—
d	风压+真空外压	$D_L + W + 0.4 P_e$	—
e	重力荷载+真空外压	$D_L + (L_r \text{ 或 } S_0) + 0.4 P_e \text{ 或 } D_L + P_e + 0.4 (L_r \text{ 或 } S_0)$	取较大值
f	地震作用	$D_L + F + E + 0.1 S_0 + 0.4 P_i$	—
g	内浮顶油罐浮顶荷载	$D_f + P_{fe} \text{ 或 } D_f + L_{f1} \text{ 或 } D_f + L_{f2}$	取较大值

注: 符号说明如下:

D_L ——固定荷载, 包括厚度附加量在内的罐体和附件重量。固定顶固定荷载为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;

P_e ——设计真空外压; 除设有环向通气孔的内浮顶罐 $P_e = 0$ 外, 设计真空外压不应小于 0.25 kPa ; 当 $P_e \geq 0.25 \text{ kPa}$ 时, 应按本规范附录 B 的规定进行设计;

P_i ——设计内压, 固定顶部位气相空间的压力;

H_t ——充水试验静液压, 充水至设计液面时的静液压;

D_f ——内浮顶固定荷载, 包括浮舱密封及浮顶上的所有附件重量;

L_{f1} ——内浮顶均布活荷载, 取 $L_{f1} = 0.6 \text{ kPa}$; 当内浮顶安装可靠的自动排液设施时, 可取 $L_{f1} = 0.24 \text{ kPa}$;

L_{f2} ——内浮顶集中荷载, 内浮顶上任何部位应能承受在 0.1 m^2 范围内不小于 2.2 kN 的集中活荷载;

续表 F. 0. 1

P_{fe}	——内浮顶设计外压,取 $P_{fe} = 0.24 \text{ kPa}$;
L_e	——固定顶活荷载(水平投影面上的活荷载),取值不应小于 1.0 kPa ;
E	——地震作用,见本规范附录 D;
S_0	——基本雪压,由现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 查取;
P_i	——气相空间的试验压力,非锚固罐 P_i 等于设计内压,锚固罐 P_i 为 1.25 倍设计内压;
F	——储存介质至设计液位高度时的静液压;
W	——设计风压,在圆柱状罐壁垂直投影面上 $W = 1.23\omega_0$;在锥顶和双曲面固定顶水平投影面上, $W = 2.06\omega_0$ 。

F. 0. 2 当操作压力和设计压力之比大于 0.4 时,本规范表 F. 0. 1 第 c 项中的 $0.4P_i$ 、第 d 项中的 $0.4P_e$ 、第 e 项中的 $0.4P_e$ 以及第 f 项中的 $0.4P_i$ 前面的系数 0.4 应相应提高。

F. 0. 3 对于特殊工况,当荷载范围已超出本规范表 F. 0. 1 所列 7 种组合时,应另行分析。

附录 G 罐壁厚度计算变设计点法

G. 1 一般规定

G. 1. 1 直径 D 大于 60m 的油罐罐壁厚度计算宜符合本附录的规定。

G. 1. 2 采用变设计点法进行罐壁厚度计算的油罐应满足下式要求：

$$\frac{(500Dt_1)^{0.5}}{H} \leq \frac{1000}{6} \quad (\text{G. 1. 2})$$

式中： H ——计算液位高度(m)；

t_1 ——底圈罐壁的有效厚度(mm)；

D ——油罐内径(m)。

G. 2 罐壁计算

G. 2. 1 应按本规范第 6. 3. 2 条中的公式分别计算设计条件和试水条件下底圈罐壁板计算厚度的初始值 t_{pd} 和 t_{pt} 。

G. 2. 2 应按下列公式分别计算设计条件和试水条件下底圈罐壁板计算厚度 t_{1d} 和 t_{1t} ：

$$t_{1d} = \left(1.06 - \frac{0.0696D}{H} \sqrt{\frac{H\rho}{[\sigma]_{d\varphi}}} \right) \left(\frac{4.9HD\rho}{[\sigma]_{d\varphi}} \right) \quad (\text{G. 2. 2-1})$$

$$t_{1t} = \left(1.06 - \frac{0.0696D}{H} \sqrt{\frac{H}{[\sigma]_{t\varphi}}} \right) \left(\frac{4.9HD}{[\sigma]_{t\varphi}} \right) \quad (\text{G. 2. 2-2})$$

式中： t_{1d} ——设计条件下的底圈罐壁板计算厚度(mm)；

t_{1t} ——试水条件下的底圈罐壁板计算厚度(mm)；

t_{pd} ——设计条件下的底圈罐壁板初始计算厚度(mm)；

t_{pt} ——试水条件下的底圈罐壁板初始计算厚度(mm)；

D ——油罐内径(m)；

H ——计算液位高度(m)；

ρ ——储液相对密度；
 $[\sigma]_d$ ——设计温度下钢板的许用应力(MPa)；
 $[\sigma]_t$ ——试水条件下钢板的许用应力,应取20℃时钢板的许用应力；
 φ ——焊接接头系数,底圈罐壁板应取0.85,其他各圈罐壁板应取0.9。

当 $t_{1d} > t_{pd}$ 时,取 $t_{1d} = t_{pd}$; 当 $t_{1t} > t_{pt}$ 时,取 $t_{1t} = t_{pt}$ 。

G. 2.3 第2圈罐壁厚度计算应符合下列规定:

1 当 $\frac{h_1}{(Rt_1)^{0.5}}$ 小于或等于 1.375 时,应按下式计算:

$$t_2 = t_1 \quad (G. 2. 3-1)$$

2 当 $\frac{h_1}{(Rt_1)^{0.5}}$ 大于或等于 2.625 时,应按下式计算:

$$t_2 = t_{2a} \quad (G. 2. 3-2)$$

3 当 $\frac{h_1}{(Rt_1)^{0.5}}$ 大于 1.375,且小于 2.625 时,应按下式计算:

$$t_2 = t_{2a} + (t_1 - t_{2a}) \left[2.1 - \frac{h_1}{1.25 (Rt_1)^{0.5}} \right] \quad (G. 2. 3-3)$$

式中: h_1 ——底圈罐壁板的高度(mm);

t_1 ——底圈罐壁板的有效厚度(mm);

R ——油罐内半径(mm);

t_2 ——第2圈罐壁板的计算厚度(mm);

t_{2a} ——第2圈罐壁板的厚度(mm),用于计算第2圈及上圈罐壁板的厚度。

G. 2.4 罐壁板厚度计算应按下列步骤进行:

1 在计算罐壁板厚度前,应先按本规范第6.3.2条中的公式确定该圈罐壁板厚度的初始值 t_u ,再按下列公式计算可变设计点距该圈罐壁底部的距离 x 。

$$x = \min(x_1, x_2, x_3) \quad (G. 2. 4-1)$$

$$x_1 = 0.61 \sqrt{Rt_u} + 320M \quad (G. 2. 4-2)$$

$$x_2 = 1000MH \quad (G. 2. 4-3)$$

$$x_3 = 1.22 \sqrt{Rt_u} \quad (G. 2. 4-4)$$

$$M = [K^{0.5}(K-1)]/(1+K^{1.5}) \quad (G. 2. 4-5)$$

$$K = \frac{t_L}{t_u} \quad (G. 2. 4-6)$$

式中: t_u ——该圈罐壁板的厚度初始值(mm);

R ——油罐内半径(mm);

H ——计算液位高度(m);

t_L ——该圈罐壁板下面一圈的罐壁板厚度(mm)。

2 应按下列公式计算该圈罐壁板厚度:

$$t_{dx} = \frac{4.9D\left(H - \frac{x}{1000}\right)\rho}{[\sigma]_d\varphi} \quad (G. 2. 4-7)$$

$$t_{ux} = \frac{4.9D\left(H - \frac{x}{1000}\right)}{[\sigma]_u\varphi} \quad (G. 2. 4-8)$$

式中: t_{dx} ——在设计条件下, 距该圈罐壁底部距离为 x 的罐壁板计算厚度(mm);

t_{ux} ——在试水条件下, 距该圈罐壁底部距离为 x 的罐壁板计算厚度(mm);

x ——可变设计点距该圈罐壁底部的距离(mm);

D ——油罐内径(m);

H ——计算液位高度(m);

ρ ——储液相对密度;

$[\sigma]_d$ ——设计温度下钢板的许用应力(MPa);

$[\sigma]_u$ ——试水条件下钢板的许用应力, 取 20℃时钢板的许用应力;

φ ——焊接接头系数, 底圈罐壁板取 0.85, 其他各圈罐壁板取 0.9。

3 应以计算值 t_x (t_{dx} 与 t_{ux}) 代替 t_u 重复步骤 1 与步骤 2, 直到连续两次的 t_x 差值很小为止, 迭代次数 3 次以上。

附录 H 带肋球壳拱顶计算

H. 1 一般规定

H. 1. 1 油罐拱顶带肋球壳的曲率半径不宜大于 40m, 且油罐直径不宜大于 40m。

H. 1. 2 肋条间距不应大于 1.5m。

H. 1. 3 肋条高厚比不宜大于 12。

H. 2 许用外荷载

H. 2. 1 带肋球壳的许用外荷载应按下式计算：

$$[P] = 0.0001E \left(\frac{t_m}{R_s}\right)^2 \left(\frac{t_h}{t_m}\right)^{0.5} \quad (\text{H. 2. 1})$$

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)。

H. 2. 2 带肋球壳(图 H. 2. 2)的折算厚度应按下列公式计算。

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

$$t_{1m}^3 = 12 \left[\frac{h_1 b_1}{L_{1s}} \left(\frac{h_1^2}{3} + \frac{h_1 t_h}{2} + \frac{t_h^2}{4} \right) + \frac{t_h^3}{12} - n_1 t_h e_1^2 \right] \quad (\text{H. 2. 2-2})$$

$$t_{2m}^3 = 12 \left[\frac{h_2 b_2}{L_{2s}} \left(\frac{h_2^2}{3} + \frac{h_2 t_h}{2} + \frac{t_h^2}{4} \right) + \frac{t_h^3}{12} - n_2 t_h e_2^2 \right] \quad (\text{H. 2. 2-3})$$

$$n_1 = 1 + \frac{h_1 b_1}{t_h L_{1s}} \quad (H. 2. 2-4)$$

$$n_2 = 1 + \frac{h_2 b_2}{t_h L_{2s}} \quad (H. 2. 2-5)$$

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)。

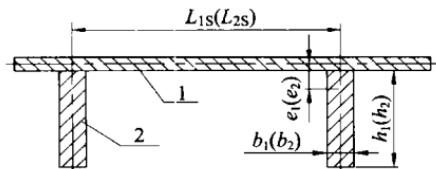


图 H. 2. 2 带肋球壳板

1—顶板; 2—肋条

H. 2. 3 带肋球壳的稳定性验算应满足下式要求:

$$P_L < [P] \quad (H. 2. 3)$$

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

$[P]$ ——带肋球壳的许用外荷载(kPa)。

H. 2. 4 罐顶与罐壁连接处的有效截面积应满足下式要求：

$$A \geq 4.6 D R_s \frac{P_L}{2.2} \quad (\text{H. 2. 4})$$

微内压油罐尚应满足本规范附录 A 式(A. 4. 1)的要求。

H. 3 带肋球壳的安装连接要求

H. 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。

H. 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。

H. 3. 3 经向肋与纬向肋之间的 T 形接头应采用双面满角焊。

H. 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。

H. 3. 5 肋条不得与包边角钢或罐壁相焊接。

附录 J 罐壁开口许用外荷载

J. 1 适用范围

J. 1. 1 直径大于 36m 的油罐罐壁开口承载计算应符合本附录的规定。

J. 1. 2 油罐罐壁开口承载也可采用有限元应力分析法来确定。

J. 2 管线荷载与变形

J. 2. 1 设计温度下弹性模量与热膨胀系数应符合表 J. 2. 1 的规定。

表 J. 2. 1 设计温度下弹性模量与热膨胀系数

设计温度 (℃)	弹性模量 ($\times 10^3$ MPa)	热膨胀系数 [$\times 10^{-6}$ mm/(mm · ℃)]
20	201	—
100	197	11.53
150	194	11.88
200	191	12.25
250	188	12.56

注:中间温度的热膨胀系数可采用内插法计算。

J. 2. 2 管线荷载与变形(图 J. 2. 2)应包括径向力、轴向力、纵向弯矩、径向弯矩、环向弯矩、转角和径向变形量。

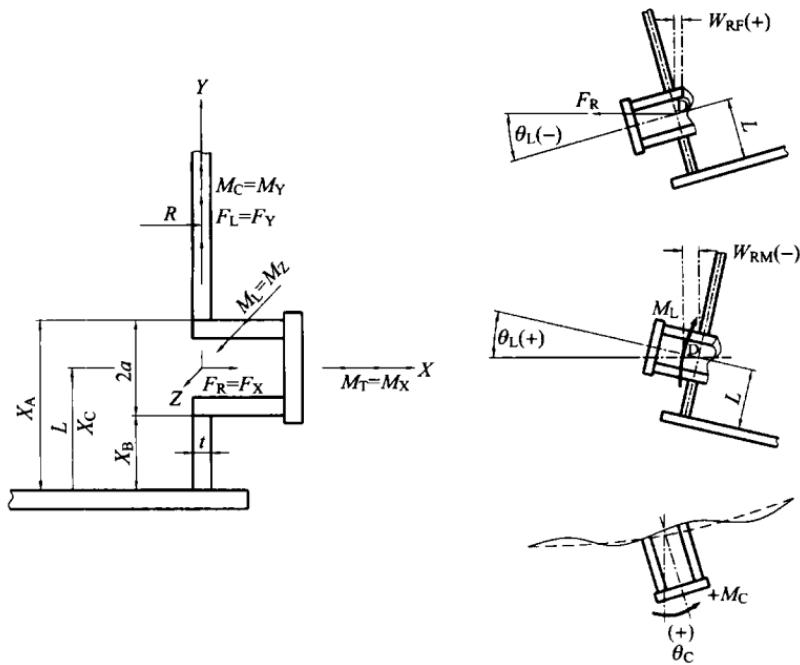


图 J. 2.2 管线荷载与变形

a —罐壁开口的接管外半径 (mm); L —罐壁开口中心线到罐底边缘板上表面的垂直距离 (mm); R —油罐内半径 (mm); t —底圈罐壁板厚度 (mm); $X_A=L+a$ (mm); $X_B=L-a$ (mm); $X_C=L$ (mm); F_R, F_X —罐壁开口处罐壁中性面上的径向力 (N); F_L, F_Y —罐壁开口处罐壁中性面上的轴向力 (N); M_L, M_Z —作用于罐壁中性面上的纵向弯矩 (N·mm); M_T, M_X —作用于罐壁中性面上的径向弯矩 (N·mm); M_C, M_Y —作用于罐壁中性面上的环向弯矩 (N·mm); θ_L —由纵向弯矩在罐壁开口接管处的水平面产生的罐壁转角 (rad); θ_C —由环向弯矩在罐壁开口接管处的水平面产生的罐壁转角 (rad); W_{RF} —罐壁开口处 F_R 产生的径向变形量 (mm); W_{RM} —罐壁开口处 M_L 产生的径向变形量 (mm)

J. 2.3 罐壁开口连接处与管线荷载 F_R, M_L, M_C 相关的罐壁刚度系数 K_C, K_L, K_R 应按照图 J. 2.3-1~图 J. 2.3-12 查取, 中间值可采用线性内插法计算。

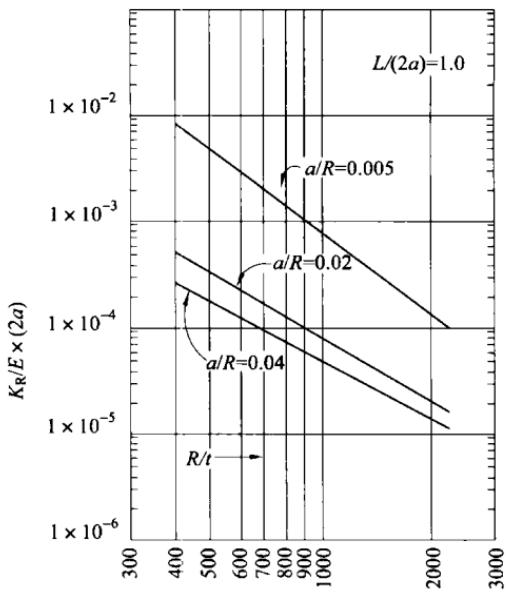


图 J. 2. 3-1 罐壁补强板的径向荷载刚度系数 [$L/(2a)=1.0$]

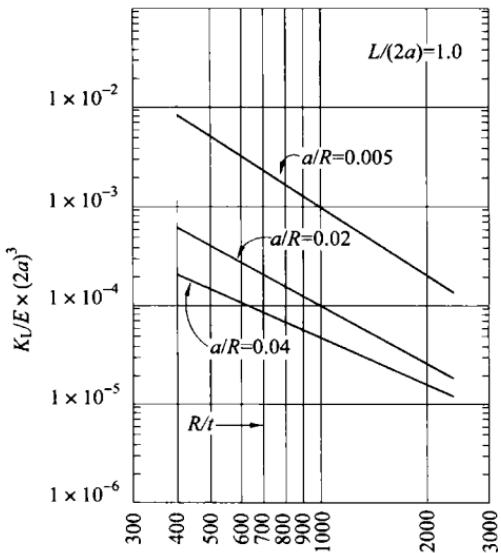


图 J. 2. 3-2 罐壁补强板的纵向弯矩刚度系数 [$L/(2a)=1.0$]

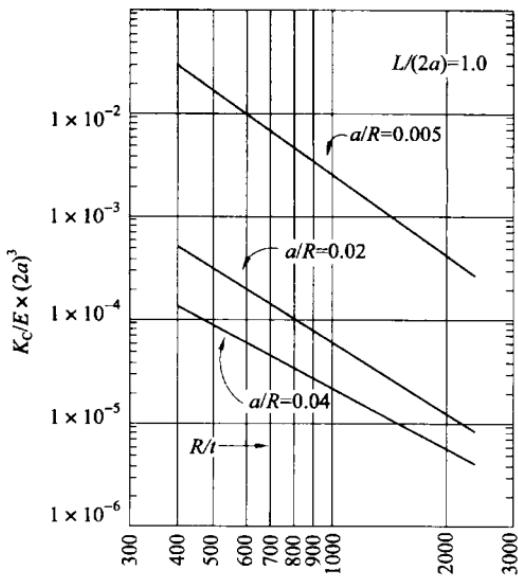


图 J. 2. 3-3 罐壁补强板的环向弯矩刚度系数 [$L/(2a) = 1.0$]

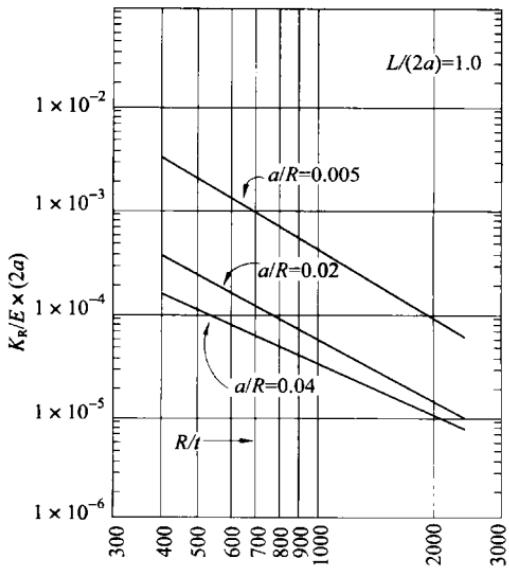


图 J. 2. 3-4 罐壁补强板的径向荷载刚度系数 [$L/(2a) = 1.5$]

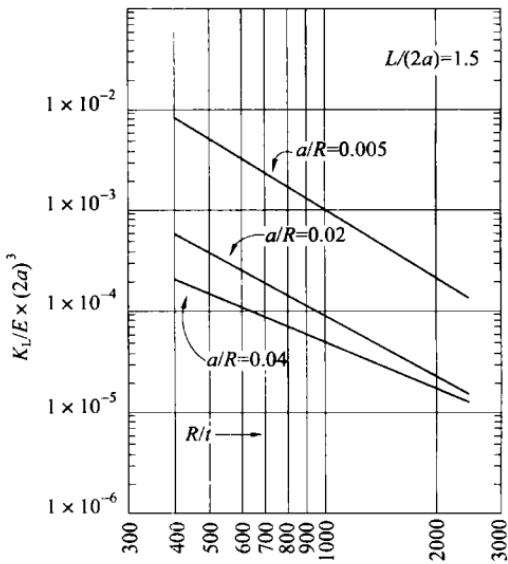


图 J. 2. 3-5 罐壁补强板的纵向弯矩刚度系数 [$L/(2a) = 1.5$]

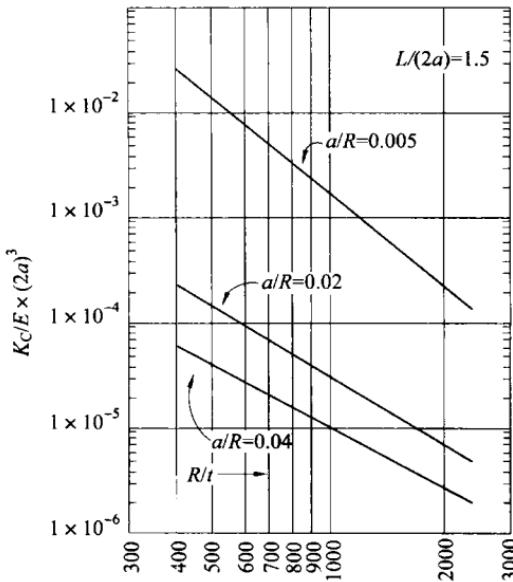


图 J. 2. 3-6 罐壁补强板的环向弯矩刚度系数 [$L/(2a) = 1.5$]

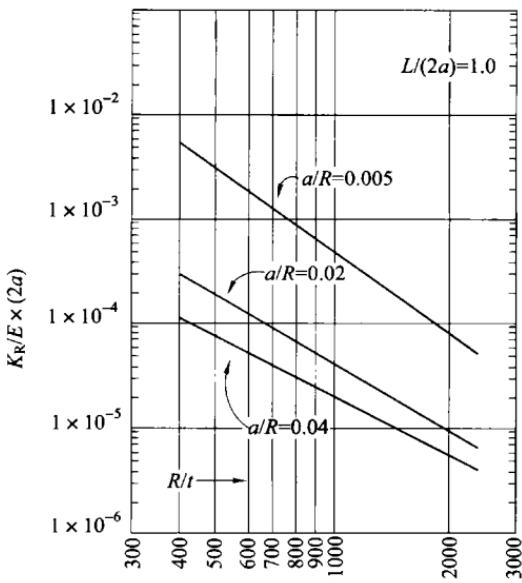


图 J. 2. 3-7 仪管颈补强板的径向荷载刚度系数 [$L/(2a) = 1.0$]

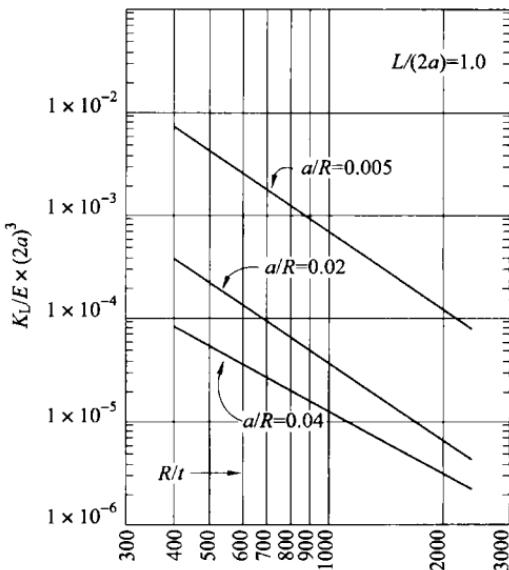


图 J. 2. 3-8 仪管颈补强板的纵向弯矩刚度系数 [$L/(2a) = 1.0$]

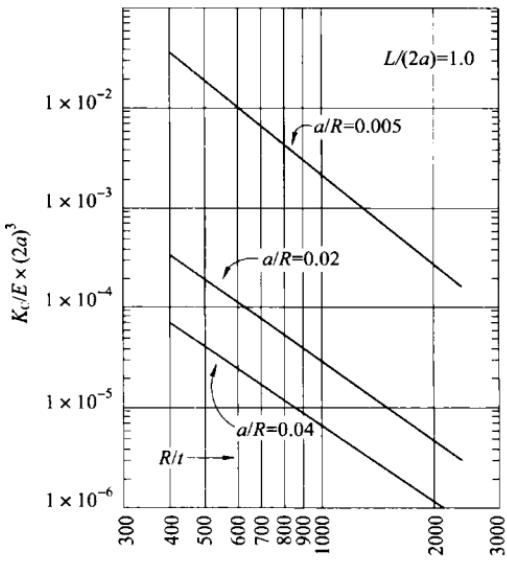


图 J. 2.3-9 仅管颈补强板的环向弯矩刚度系数 [$L/(2a) = 1.0$]

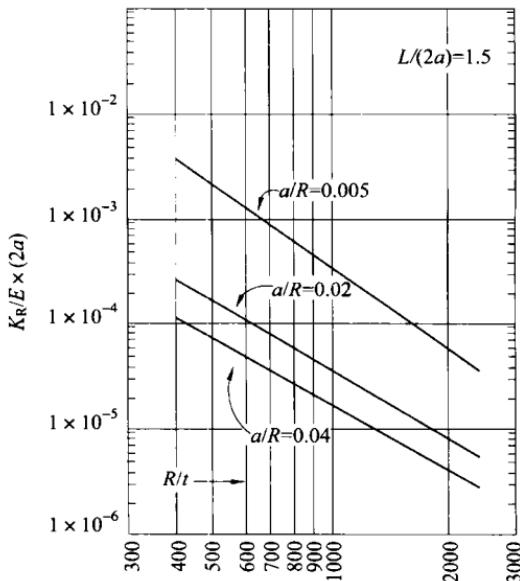


图 J. 2.3-10 仅管颈补强板的径向荷载刚度系数 [$L/(2a) = 1.5$]

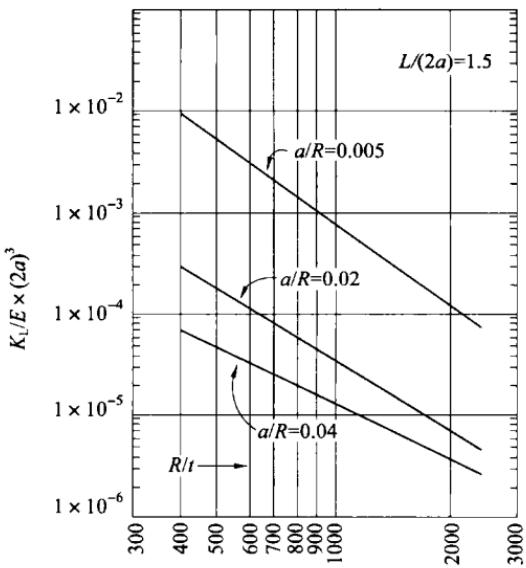


图 J. 2. 3-11 仅管颈补强板的纵向弯矩刚度系数 [$L/(2a)=1.5$]

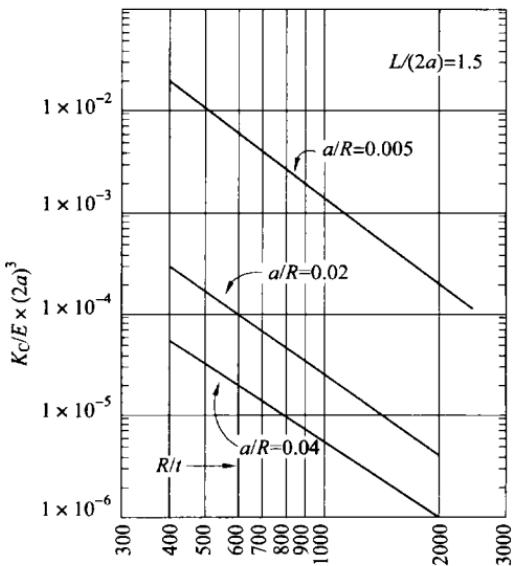


图 J. 2. 3-12 仅管颈补强板的环向弯矩刚度系数 [$L/(2a)=1.5$]

J. 3 罐壁位移与转角

J. 3. 1 在罐壁开口中心处,由储液静液压或热膨胀引起的罐壁无约束径向位移应按下列公式计算:

$$W_d = \frac{9.8 \times 10^{-6} \rho H_w R^2}{Et} \left[1 - e^{-\beta L} \cos(\beta L) - \frac{L}{H_w} \right] + \alpha_e \cdot R \cdot \Delta T \quad (J. 3. 1-1)$$

$$\beta = \frac{1.285}{(Rt)^{0.5}} \quad (J. 3. 1-2)$$

式中: W_d ——罐壁的无约束径向变形量(mm);

ρ ——储液相对密度;

H_w ——设计液位高度(mm);

R ——油罐内半径(mm);

E ——弹性模量,取 $E = 2.07 \times 10^5$ MPa;

t ——底圈罐壁板厚度(mm);

L ——罐壁开口中心线到罐底边缘板上表面的垂直距离(mm);

α_e ——罐壁材料的热膨胀系数[mm/(mm·°C)];

ΔT ——设计温度与安装温度之差(°C)。

J. 3. 2 在罐壁开口中心处,由储液静液压引起的罐壁无约束转角应按下列公式计算:

$$\theta_r = \frac{9.8 \times 10^{-6} \rho H_w R^2}{Et} \times \left\{ \frac{1}{H_w} - \beta e^{-\beta L} [\cos(\beta L) + \sin(\beta L)] \right\} \quad (J. 3. 2-1)$$

$$\beta = \frac{1.285}{(Rt)^{0.5}} \quad (J. 3. 2-2)$$

式中: θ_r ——由储液静液压产生的无约束罐壁转角(rad);

β ——特征系数(1/mm);

ρ ——储液相对密度;

H_w ——设计液位高度(mm);

R ——油罐内半径(mm)；

E ——弹性模量(MPa), 取 $E=2.07 \times 10^5$ MPa;

t ——底圈罐壁板厚度(mm)；

L ——罐壁开口中心线到罐底边缘板上表面的垂直距离(mm)；

α_e ——罐壁材料的热膨胀系数[mm/(mm·°C)]；

ΔT ——正常设计温度与安装温度之差(°C)。

J. 4 罐壁开口处荷载的确定

J. 4. 1 在罐壁开口接管处, 由外荷载产生的弹性变形应按下列公式计算。 F_R 、 M_L 与 M_C 应由罐壁刚度、罐壁径向位移、罐壁转角及管线连接的刚性与约束条件来计算确定。

$$W_R = \frac{F_R}{K_R} - L \tan\left(\frac{M_L}{K_L}\right) + W_d \quad (\text{J. 4. 1-1})$$

$$\theta_L = \frac{M_L}{K_L} - \tan^{-1}\left(\frac{F_R}{L K_R}\right) + \theta_r \quad (\text{J. 4. 1-2})$$

$$\theta_C = \frac{M_C}{K_C} \quad (\text{J. 4. 1-3})$$

式中: W_R ——罐壁开口处的总径向位移(mm)；

W_d ——罐壁的无约束径向变形量(mm)；

F_R ——罐壁开口处罐壁中性面上的径向力(N)；

M_L ——作用于罐壁中性面上的纵向弯矩(N·mm)；

M_C ——作用于罐壁中性面上的环向弯矩(N·mm)；

K_R ——径向推力荷载的刚度系数(N/mm), 由图 J. 2. 3-1~图 J. 2. 3-12 查取；

K_L ——纵向弯矩的刚度系数(N·mm/rad), 由图 J. 2. 3-1~图 J. 2. 3-12 查取；

K_C ——环向弯矩的刚度系数(N·mm/rad), 由图 J. 2. 3-1~图 J. 2. 3-12 查取；

θ_L ——由纵向弯矩在罐壁开口接管处的垂直平面产生的罐

壁转角(rad)；

θ_c ——由环向弯矩在罐壁开口接管处的水平面产生的罐壁转角(rad)；

θ_r ——由储液静液压产生的无约束罐壁转角(rad)；

L ——罐壁开口中心线到罐底边缘板上表面的垂直距离(mm)。

J. 5 罐壁开口的允许外荷载

J. 5. 1 诺模图的绘制应按下列步骤进行：

1 确定罐壁开口具体位置的无量纲 $\frac{X_A}{(Rt)^{0.5}}$ 、 $\frac{X_B}{(Rt)^{0.5}}$ 与 $\frac{X_C}{(Rt)^{0.5}}$ 。

2 建立横坐标、纵坐标系的坐标轴，根据图 J. 5. 1-1 与图 J. 5. 1-2 的规定标出刻度，由图 J. 5. 1-3 与图 J. 5. 1-4 可确定系数 Y_C 、 Y_F 与 Y_L 。

3 绘制图 J. 5. 1-1 的 2 条边界线与图 J. 5. 1-2 的 4 条边界线。边界线 b_1 与 b_2 在横坐标轴与纵坐标轴之间，且与坐标轴成 45° 夹角；边界线 c_1 、 c_2 、 c_3 与坐标轴成 45° 夹角，并通过横坐标正轴上的一点，该点是按照图 J. 5. 1-1 与图 J. 5. 1-2 的规定计算的所得值。

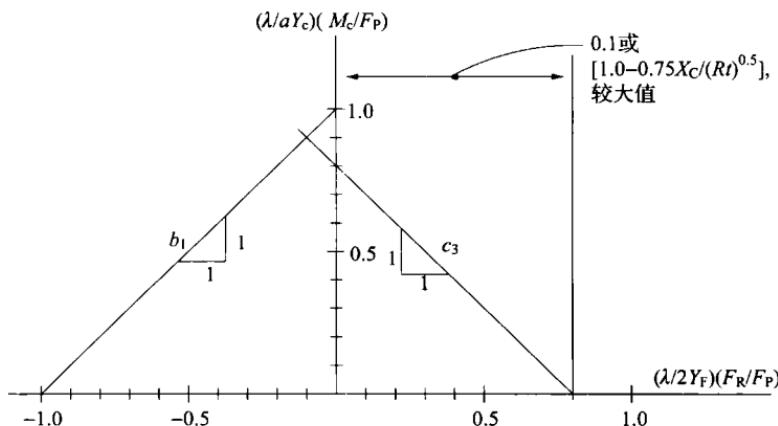


图 J. 5. 1-1 以 b_1 、 c_3 为边界条件的诺模图

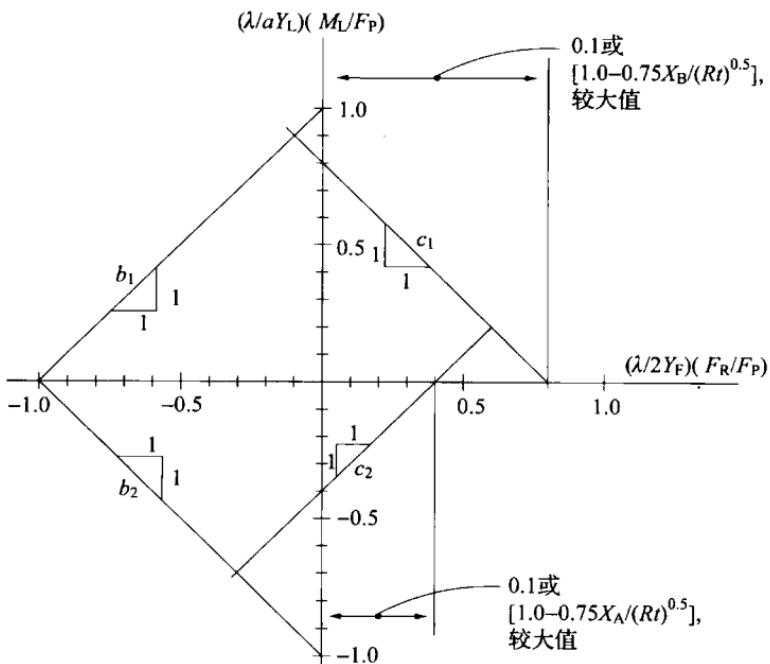


图 J. 5. 1-2 以 b_1, b_2, c_1, c_2 为边界条件的诺模图

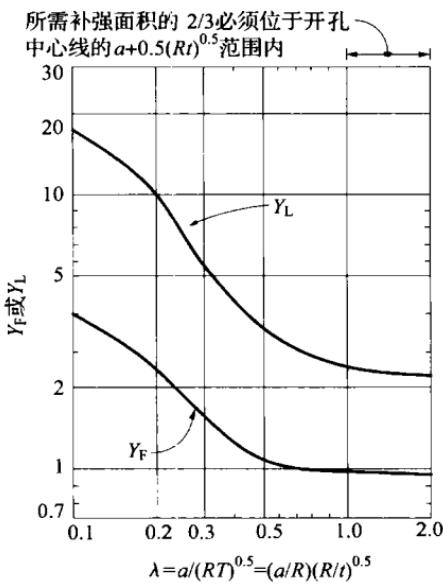


图 J. 5. 1-3 确定系数 Y_F 与 Y_L

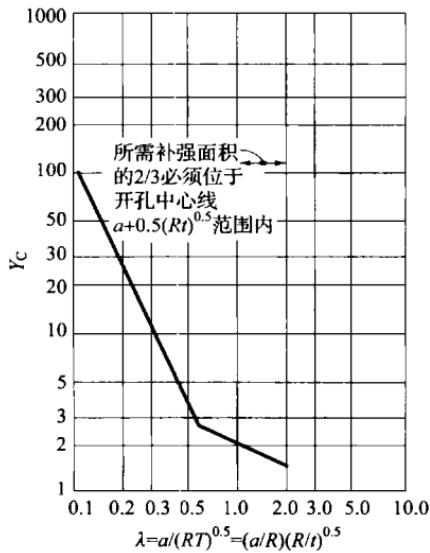


图 J. 5. 1-4 确定系数 Y_C

J. 5.2 允许外荷载的确定应按下列步骤进行：

- 1 由管线分析所得的 F_R 、 M_L 与 M_C 确定参数 $\frac{\lambda}{2Y_F} \left(\frac{F_R}{F_p} \right)$ 、
 $\frac{\lambda}{aY_L} \left(\frac{M_L}{F_p} \right)$ 与 $\frac{\lambda}{aY_C} \left(\frac{M_C}{F_p} \right)$ 的值。
- 2 在诺模图 J. 5.2-1 上绘制出 $\frac{\lambda}{2Y_F} \left(\frac{F_R}{F_p} \right)$ 与 $\frac{\lambda}{aY_C} \left(\frac{M_C}{F_p} \right)$ 的坐标点。
- 3 在诺模图 J. 5.2-2 上绘制出 $\frac{\lambda}{2Y_F} \left(\frac{F_R}{F_p} \right)$ 与 $\frac{\lambda}{aY_L} \left(\frac{M_L}{F_p} \right)$ 的坐标点。
- 4 当由本条第 2 款与第 3 款确定的两个点都位于按实际罐壁开口位置建立的诺模图边界内时, 作用于罐壁开口上的管线外荷载 F_R 、 M_L 与 M_C 是满足要求的。

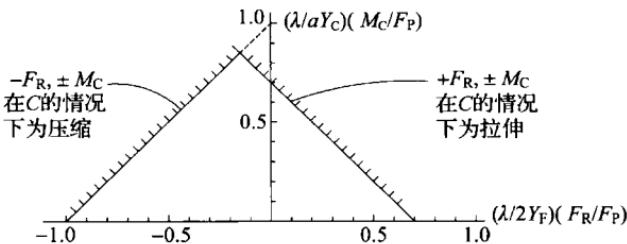


图 J. 5.2-1 由诺模图确定的允许荷载 F_R 与 M_C

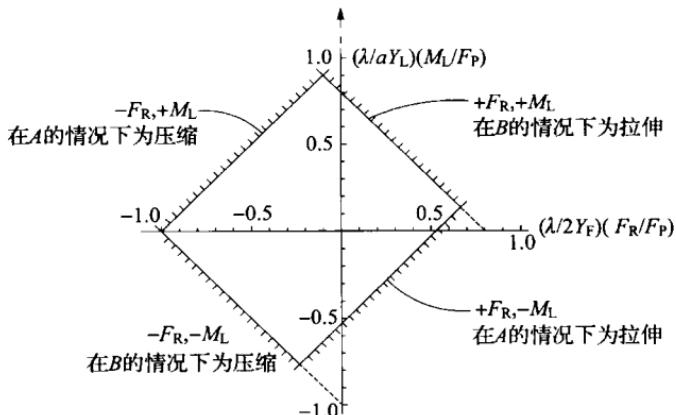


图 J. 5.2-2 由诺模图确定的允许荷载 F_R 与 M_L

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:

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:

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:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《建筑结构荷载规范》GB 50009

《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128

《构筑物抗震设计规范》GB 50191

《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205

《优质碳素结构钢》GB/T 699

《碳素结构钢》GB/T 700

《锅炉和压力容器用钢板》GB 713

《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985. 1

《埋弧焊的推荐坡口》GB/T 985. 2

《低合金高强度结构钢》GB/T 1591

《合金结构钢》GB/T 3077

《低压流体输送用焊接钢管》GB/T 3091

《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

《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479

《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163

《石油裂化用无缝钢管》GB 9948

《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189

《承压设备无损检测 第2部分:射线检测》JB/T 4730. 2

《承压设备无损检测 第3部分:超声检测》JB/T 4730. 3

《承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测》JB/T 4730. 4

《承压设备无损检测 第5部分:渗透检测》JB/T 4730. 5

《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008

《低温承压设备用低合金钢锻件》NB/T 47009
《承压设备无损检测 第10部分：衍射时差法超声检测》NB/T 47013.10
《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014
《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T 47018

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 50341-2014

条 文 说 明

制 订 说 明

《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB 50341—2014,经住房和城乡建设部2014年5月29日以第432号公告批准发布。

本规范是在《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB50341—2003(以下简称原规范)的基础上修订而成。上一版的主编单位是中国石油天然气管道工程有限公司,参编单位是中国石油天然气股份有限公司规划总院,主要起草人是王夫安、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。本次修订中,上一版主要起草人孙正国、王夫安、王更武、金维昂参与了修订或审查工作,发挥了重要作用。

本次修订的主要技术内容是:新增了第11章、附录B、附录F、附录G和附录J,规范的涵盖范围和技术内容有较大的扩充和修订。

本规范修订过程中,编制组进行了广泛的调查研究,召开了多次技术研讨和交流会,认真总结了国家石油储备库等工程建设和高强度钢板国产化工作的实践经验,同时参考了国外相关规范,广泛征求了有关单位的意见,并对反馈意见进行了分析、整理,修改了条文。

为了便于设计、施工、科研和学校等单位的有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》编制组按章、节、条顺序编写了本规范的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明,部分条文列出了可供进一步参考的文献,还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是,本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总 则	.....	(155)
2	术 语	.....	(156)
3	基本规定	.....	(157)
4	材 料	.....	(162)
4.1	一般规定	.....	(162)
4.2	钢板	.....	(164)
4.3	钢管	.....	(171)
4.4	锻件	.....	(174)
4.5	螺栓、螺母	.....	(175)
4.6	结构型钢	.....	(177)
4.7	焊接材料	.....	(177)
5	罐底设计	.....	(178)
5.1	罐底板尺寸	.....	(178)
5.2	罐底结构	.....	(181)
6	罐壁设计	.....	(184)
6.1	罐壁排板与连接	.....	(184)
6.2	罐壁包边角钢	.....	(184)
6.3	罐壁厚度	.....	(185)
6.4	抗风圈	.....	(190)
7	固定顶	.....	(192)
7.1	一般规定	.....	(192)
7.2	构件的许用应力	.....	(192)
7.5	自支撑式拱顶	.....	(192)
8	浮 顶	.....	(194)
8.1	一般规定	.....	(194)

8.2	浮顶的结构与连接	(194)
8.3	浮顶支柱	(194)
8.5	紧急排水装置	(195)
8.6	转动浮梯及轨道	(195)
9	内浮顶	(196)
9.1	一般规定	(196)
9.2	敞口隔舱式、单盘式和双盘式内浮顶	(196)
9.10	人孔和检查孔	(196)
10	附 件	(197)
10.3	罐壁人孔	(197)
10.4	罐壁开孔接管	(197)
10.10	盘梯、平台及栏杆	(197)
10.11	吊挂支柱	(198)
11	油罐抗风稳定计算及锚固设计	(199)
11.1	抗风稳定计算	(199)
12	预制、组装、焊接及检验	(200)
12.1	预制、组装及焊接	(200)
附录 A	微内压油罐	(201)
附录 B	外压油罐设计	(202)
附录 C	提高油罐设计温度的附加要求	(204)
附录 D	油罐抗震设计	(205)
附录 E	油罐对地基和基础的基本要求	(222)
附录 F	荷载组合	(223)
附录 G	罐壁厚度计算变设计点法	(224)
附录 H	带肋球壳拱顶计算	(230)

1 总 则

1.0.2 本次修订适用范围维持原规范规定,从以下三个方面进行了限定:

(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时,仍可执行本规范。

(2)工艺条件,储存介质为液态石油、石化产品及其他类似液体,不包括液化石油气(LPG)和液化天然气(LNG)等人工致冷介质。设计压力为常压或接近常压。

(3)油罐结构,包括油罐主体及其附件。附件指直接连接在油罐主体上的工艺附件,不包括消防、仪表等附属设施。

2 术 语

为便于更准确的理解和使用,本次修订取消了原规范的第2.2节符号,将符号放入正文公式中进行解释。

2.0.10、2.0.11 为了照顾习惯并与其它相关行业的定义(如现行国家标准《压力容器》GB 150)尽可能保持一致,以避免造成概念上的混乱,增加了设计厚度和名义厚度的定义。

2.0.14 加强圈的定义是针对本规范附录B外压油罐设计提出的。

3 基本规定

3.0.1 本次修订参照美国标准《焊接石油储罐》API 650—2007第11版(附件1、附件2、附件3)对油罐设计压力范围进行了调整。

目前,国际上常用的几个国家油罐规范规定设计压力如表1所示。

表1 几个国家油罐规范规定的设计压力

序号	规范名称	设计压力
1	美国标准《焊接石油储罐》API 650	正压:18kPa,负压:6.9kPa
2	日本标准《钢制焊接油罐结构》JIS B 8501	常压:36mm水柱
3	欧洲标准《在室温和高于室温下液体储存用现场建造的立式、圆柱形、平底、地上用焊接钢罐的设计和制造规范》BS EN 14015	常压油罐:正压0mbar,负压5mbar 低 压 油 罐:正压 25mbar, 负压 8.5mbar 高 压 油 罐:正压 60mbar, 负压 8.5mbar 较 高 压 油 罐:正压 500mbar, 负压 20mbar
4	原规范	正压:6kPa,负压:0.49kPa

根据我国油罐建设使用情况,为使规范能够涵盖各行业油罐建设的需求,对油罐设计压力修订如下:

对于固定顶常压油罐,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,负压不应大于0.25kPa。

对于微内压油罐,最大设计正压值提高到18kPa,最大设计负

压提高到 6.9kPa。

3.0.2 本条对油罐的最低设计温度作了规定。

本规范规定油罐储存非人工致冷介质,通常又露天放置,在无保温和无加热的情况下,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。美国标准《焊接石油储罐》API 650 和日本标准《钢制焊接油罐结构》JIS B 8501 取最低日平均温度加 8℃ 为油罐最低设计温度,欧洲规范《在室温和高于室温下液体储存用现场建造的立式、圆柱形、平底、地上用焊接钢罐的设计和制造规范》BS EN 14015 规定,当最低日平均温度大于或等于 10℃ 时,最低设计温度为最低日平均温度加 10℃,当最低日平均温度大于或等于 -25℃ 而小于 -10℃ 时,最低设计温度为最低日平均温度加 5℃,当最低日平均温度小于 -25℃ 时,最低设计温度即为最低日平均温度。本规范维持原规范的规定,取最低日平均温度加 13℃ 作为最低设计温度。几个国家油罐规范规定的最低设计温度见表 2。主要考虑因素如下:

(1)这一规定在国内已有多年的使用经验,证明是安全的,适当的。

(2)如果将最低设计温度降低,譬如定为最低日平均温度加 10℃,对于许多地区可能就需要使用低温钢板,势必引起建罐费用的增加;而国内多年使用经验证明,这样的规定是安全的,也是经济的。当然这样规定,少数地区最低设计温度仍然会在 -20℃ 以下,如西北和东北的某些地区,如要再降低最低设计温度界限,缺乏依据。但在这些地区建无加热无保温的大型油罐的可能性较小。

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。当建罐地区无记录时,可向距建罐地区最近的气象台站查询。当附近气象台站无此记录或资料不全时,可参考表 3。

表 2 几个国家油罐规范规定的最低设计温度

序号	规范名称	最低设计温度
1	美国标准《焊接石油储罐》 API 650	最低日平均温度加 8℃
2	日本标准《钢制焊接油罐结构》JIS B 8501	最低日平均温度加 8℃
3	欧洲标准《在室温和高于室温下液体储存用现场建造的立式、圆柱形、平底、地上用焊接钢罐的设计和制造规范》BS EN 14015	当最低日平均温度大于或等于 10℃ 时,最低设计温度为最低日平均温度加 10℃;当最低日平均温度大于或等于 -25℃ 而小于 -10℃ 时,最低设计温度为最低日平均温度加 5℃,当最低日平均温度小于 -25℃ 时,最低设计温度即为最低日平均温度
4	原规范	最低日平均温度加 13℃

表 3 国内最低日平均温度低于 -20℃ 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 (℃)
	北纬	东经	
黑龙江			
爱辉	50°15'	127°27'	-36.1
伊春	47°43'	128°54'	-37.0
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

续表 3

地名	气象台站位置		最低日平均温度 (℃)
	北纬	东经	
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			
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
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°0'	-25.9
呼和浩特	40°49'	111°41'	-21.6
赤峰	42°16'	118°58'	-24.7

3.0.3 本条为强制性条文,必须严格执行。要求处于抗震设防地区的油罐必须进行抗震设计。

3.0.6 本次修订对设计荷载按设计工况进行了组合,并编制了本规范附录 F。

为便于相关专业与油罐设计人员更准确地理解油罐几个容量的概念,增加了油罐容量与液位的内容。

4 材 料

4.1 一般规定

4.1.1 本条规定了油罐用钢材(钢板、锻件、钢管、螺栓、螺母及焊接材料)和结构型钢的选用原则。本条维持原规范的规定,依据是本规范第1章“总则”。

4.1.2 目前我国冶金企业的冶炼设备已基本上淘汰了平炉,故本条取消了原规范中“平炉”冶炼,修订为“油罐所用钢材应采用氧气转炉或电炉冶炼”。同时参照现行国家标准《压力容器 第2部分:材料》GB 150.2的相关技术要求,增加了“对于标准屈服强度下限值大于390MPa的低合金钢钢板,以及设计温度低于-20℃的低温钢板和低温钢锻件,还应当采用炉外精炼工艺”的规定。

本规范中“标准屈服强度下限值小于或等于390MPa的低合金钢钢板”和“标准屈服强度下限值大于390MPa的低合金钢钢板”是维持原规范分别对“低合金强度钢钢板”和“低合金高强度钢钢板”的界定范围。该界定范围可与现行国家标准《压力容器 第2部分:材料》GB 150.2—2011中将“标准抗拉强度下限值大于或者等于540MPa的低合金钢钢板”界定为低合金高强度钢钢板相对应。

本条新增对低合金高强度钢钢板(标准屈服强度下限值大于390MPa的低合金钢钢板)以及设计温度低于-20℃的低温钢板和低温钢锻件“还应当采用炉外精炼工艺”的规定,是考虑到上述两类钢板和锻件因技术要求及应用场合不同,而对其冶炼方法提出了更高要求。

所谓的“炉外精炼”也可称为“二次炼钢”或钢包精炼。炉外精炼的生产流程[高炉炼铁→铁水预处理(KR脱硫)→电炉或转炉炼钢→炉外精炼→连铸或铸锭]代替了传统的生产流程(高炉炼铁

→电炉或转炉炼钢→铸锭),并将传统的炼钢工艺分为两步:电炉或转炉初炼:在氧化性气氛下进行炉料的熔化、脱磷、脱碳和主合金化;钢包精炼:在真空、惰性气体或可控气氛下进行脱氧、脱硫、去除夹杂物、微调成分等。炉外精炼具有以下冶金作用:一是使钢水温度和成分均匀化,保证钢材质量均匀;二是微调成分使成品钢的化学成分控制在很窄的范围之内;三是降低钢水中硫、磷杂质含量以及氢、氮、氧等气体含量,改变钢中夹杂物形态、组成和去除有害元素,提高钢水的纯净度。

4.1.5 本条为新增条款。本条内容主要是在取消了原规范表4.2.5的基础上,为预防碳素钢和低合金钢钢制焊接油罐发生脆性破坏,参照现行国家标准《压力容器 第2部分:材料》GB 150.2—2011中第3.8条的有关规定,对碳素钢和低合金钢钢材(钢板、钢管、锻件)及其焊接接头规定了冲击试验最低冲击功的要求。对钢材标准中冲击功指标高于本条表4.1.5规定的钢材,还应符合相应钢材标准的规定。如对钢板的冲击试验要求还应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《锅炉和压力容器用钢板》GB 713、《低温压力容器用低合金钢钢板》GB 3531和《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189的规定;对锻件的冲击试验要求还应分别符合现行行业标准《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008和《低温承压设备用低合金钢锻件》NB/T 47009的规定;对钢管的冲击试验要求还应符合本章相关条文的规定。对于上述钢材的焊接接头冲击试验用样的制作要求可参照现行行业标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014的有关规定。

原规范表4.2.5《低温夏比(V形缺口)冲击试验最低冲击功规定值》中的内容是参照《钢制压力容器》GB 150—1998中附录C编制的,现已由现行国家标准《压力容器 第2部分:材料》GB 150.2—2011中第3.8条表1所代替,故将其移至本条以对选用钢材及其焊接接头的冲击试验最低冲击功要求进行了一般性规定。

4.1.6 原规范中第4.1.6条规定的不同温度下钢材的弹性模

量是按《钢制压力容器》GB 150—1998 中附录 F(提示附录)表 F5 的规定选取的,现行国家标准《压力容器 第 2 部分:材料》GB 150.2—2011 附录 B(资料性附录)表 B.13 已将其修订(见表 4),其修订值与美国标准《焊接石油储罐》API 650 中表 P-1 规定的数值很接近,故本条表 4.1.6“钢材的弹性模量”采用了现行国家标准《压力容器 第 2 部分:材料》GB 150.2—2011 规定的碳素钢和碳锰钢设计温度下的弹性模量值(见表 4)。

表 4 钢材的弹性模量

标 准	钢 类	在下列温度(℃)下的弹性模量 ($\times 10^3$ MPa)					
		-20	20	100	150	200	250
原规范	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
GB 150—1998	碳素钢($C \leq 0.30\%$)	194	192	191	189	186	183
	碳素钢($C > 0.30\%$)、 碳锰钢	208	206	203	200	196	190
GB 150.2—2011	碳素钢、碳锰钢	205 ^①	201	197	194	191	188
美国标准《焊接石 油储罐》API 650	碳素钢、碳锰钢	—	203	199 ^②	195	191	188 ^③

注:①在 -40°C 下的弹性模量;

②在 90°C 下的弹性模量;

③在 260°C 下的弹性模量。

4.2 钢 板

4.2.1 本条规定了油罐用钢板的标准及使用范围,本条中表 4.2.1 对油罐用钢板的钢号、标准、许用温度及许用最大厚度进行了具体规定。

因现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB 713—2008 是在国家标准《锅炉用钢板》GB 713—1997 和《压力容器用钢板》GB 6654(2003 年报批稿)基础上制订的新标准,从而代替了国家

标准《锅炉用钢板》GB 713—1997 和《压力容器用钢板》GB 6654—1996。故本条表 4.2.1 中引用的压力容器用钢板标准取消了《压力容器用钢板》GB 6654—1996, 采用了现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB 713。

原规范表 4.2.1 中油罐用碳素钢和低合金钢钢板列有 12 个钢号。根据美国标准《焊接石油储罐》API 650 中第 4.1.1.2 款关于油罐用钢不允许使用沸腾钢或半镇静钢的有关规定, 同时考虑到钢板的应用业绩、许用应力、供应情况及性能要求等因素, 取消了 Q235-A. F、Q235-A、07MnNiCrMoVDR、Q345-B 和 Q345-C 等 5 个钢号。按现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700—2006 的规定, 将 Q235-B 及 Q235-C 钢号分别改名为 Q235B 和 Q235C; 按现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB 713—2008 的规定, 将 20R、16MnR 和 15MnNbR 等 3 个钢号分别改名为 Q245R、Q345R 和 Q370R。本次修订后本章共列有 Q235B、Q235C、Q245R、Q345R、Q370R、16MnDR 和 12MnNiVR 等 7 个钢号。

钢板的“许用温度”应包括许用温度的上限温度和下限温度, 本条表 4.2.1 中的许用温度为许用温度的下限值。现行国家标准《压力容器 第 2 部分: 材料》GB 150.2—2011 中已明确规定 Q245R、Q345R、Q370R 和 12MnNiVR 等钢号的使用温度下限为 -20°C , 因此本条将上述 4 个钢号的许用温度均由 “ $>-20^{\circ}\text{C}$ ” 修订为 “ $\geq -20^{\circ}\text{C}$ ”。同时也将 16MnDR 钢板的许用温度由 “ $>-40^{\circ}\text{C}$ ” 修订为 “ $\geq -40^{\circ}\text{C}$ ”。此外, 考虑到 Q235B 和 Q235C 钢板的许用温度已有多年的工程使用经验, 故仍维持原规范中的规定。

原规范中钢板的“许用最大厚度”2003 版是参照国家标准《钢制压力容器》GB 150—1998 第 10 章“制造、检验与验收”及附录 C (标准的附录) 的规定: 对于碳素钢厚度大于 32mm (如焊前预热 100°C 以上时, 厚度大于 38mm)、16MnR 厚度大于 30mm (如焊前预热 100°C 以上时, 厚度大于 34mm) 以及钢板厚度大于 16mm 的

碳素钢和低合金钢制低温压力容器或受压元件应进行焊后热处理,故在原规范表 4.2.1 中将 20R、16MnR、15MnNbR 及 12MnNiVR 钢板的许用最大厚度规定为 34mm,而将 16MnDR 钢板许用最大厚度规定为 16mm。本条依据现行国家标准《压力容器 第 4 部分:制造、检验和验收》GB 150.4—2011 中表 5“需进行焊后热处理的焊接接头厚度”的规定:焊接接头厚度大于 32mm(若焊前预热 100℃以上时,焊接接头厚度大于 38mm)的 Q245R、Q345R、Q370R 和 12MnNiVR 钢制压力容器以及焊接接头厚度大于 25mm 的 16MnDR 钢制低温压力容器应进行焊后热处理,并与本规范第 4.2.2 条表 4.2.2“钢板许用应力值”中规定的钢板厚度统一,将本条表 4.2.1 中 Q245R、Q345R 和 Q370R 钢板许用最大厚度均由 34mm 修订为 36mm。

参照美国标准《焊接石油储罐》API 650 中关于 A516 Gr. 70 和 A662 Gr. C 钢板的许用最大板厚均为 40mm(1.5in.)的有关规定,考虑到 A516 Gr. 70 和 A662 Gr. C 与 16MnDR 钢板的强度指标及冲击试验温度(−40℃或−50℃)相当,且 16MnDR 钢板的冲击功指标还高于上述两个钢号,故将 16MnDR 钢板许用最大厚度由 16mm 修订为 36mm,以解决在我国寒冷地区建造 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 原油储罐的需求。

考虑到现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700—2006 中规定 Q235B 和 Q235C 钢板的冲击试样为纵向取样且对其未规定超声检测要求,故将原规范中规定的 Q235B 和 Q235C 钢板许用温度下限为 0℃时的许用最大厚度 24mm 和 30mm 分别修订为 20mm 和 24mm。

目前采用 12MnNiVR 钢板大量建造 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 双盘式浮顶原油储罐的最大罐壁板(底圈罐壁板)厚度为 32mm, $12.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 双盘式浮顶原油储罐的最厚罐壁板(底圈罐壁板)厚度为 37mm, $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 双盘式浮顶原油储罐的最厚罐壁板(底圈罐壁板)厚度为 40mm;国外同类钢板 SPV490 在国内建造 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 双盘式浮

顶原油储罐的最厚罐壁板(底圈罐壁板)厚度为42mm,在国外建造 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 双盘式浮顶原油储罐的最厚罐壁板(底圈罐壁板)厚度为45mm,且已安全运行多年。而我国在已完成的 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 储罐设计技术研究成果中底圈罐壁板厚度为45mm的12MnNiVR已达到国产化技术要求,同时考虑到现场焊接质量的保证等因素,故将12MnNiVR钢板许用最大厚度定为45mm。

本条对原规范表4.2.1中的钢号、钢板标准及使用范围进行了修订,其中现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700—2006中规定的Q235系列钢号的钢板标准应按现行国家标准《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274—2007的规定,故在标准栏中取消了GB/T 700。因取消了Q235-A.F钢号,从而取消了原规范表4.2.1中注1,同时因Q370R的许用最低温度为 -20°C ,如降低至 -25°C 不太合适,故取消了原规范表4.2.1中注2,同时取消了表中备注栏。

4.2.3 本条是将原规范第4.2.2条拆分为两条,而成为新增条款。本条规定了表4.2.2中未列入的钢板的许用应力值的选取原则。

原规范第4.2.2条中仅规定了碳素钢和低合金钢钢板的许用应力值“应取设计温度下 $2/3$ 倍标准规定的最低屈服强度”,且钢板设计温度下的屈服强度下限值均按国家标准《钢制压力容器》GB 150—1998附录F(提示的附录)“钢材高温性能”选取,而碳素钢和低合金钢的钢管、锻件及螺栓钢号的许用应力值则均参照国家标准《钢制压力容器》GB 150—1998第4章“材料”中相应钢号的规定进行选取。因此,钢板许用应力的选取是本规范征求意见时反映最为突出的问题,经送审稿研讨会中专家反复讨论后确定钢板许用应力的选取原则如下:

(1) 鉴于多年来原油储罐工程应用实践经验,对于符合本规范要求的碳素钢和标准屈服强度下限值小于或等于390MPa的低合金钢钢板的许用应力值取设计温度下 $2/3$ 标准屈服强度下限值是合适的。

(2) 考虑到标准屈服强度下限值大于 390MPa 的低合金钢钢板因屈强比较高(如 12MnNiVR 钢板标准屈服强度下限值 490MPa 与抗拉强度下限值 610MPa 之比为 0.803, 实际钢板的屈强比可达到 0.90, 少数钢板的数值可能更高), 影响原油储罐的使用安全性, 故对符合本规范要求的标准屈服强度下限值大于 390MPa 的低合金钢钢板的许用应力值, 取设计温度下 60% 的标准屈服强度下限值。

(3) 对符合本规范要求的碳素钢和低合金钢钢板在设计温度下的屈服强度下限值参照美国标准《焊接石油储罐》API 650 中有关屈服强度降低系数的规定进行计算(详见表 5)。由表 5 采用线性内插法求得的 100℃ 及 250℃ 下屈服强度降低系数见表 6。

表 5 API 650 规定的设计温度下屈服强度降低系数

设计温度 (℃)	屈服强度下限值(MPa)		
	<310	310~380	≥380
94	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。

表 6 本规范规定的设计温度下屈服强度降低系数

设计温度 (℃)	屈服强度下限值(MPa)		
	<310	310~380	≥380
100	0.91	0.869	0.912
150	0.88	0.81	0.87
200	0.85	0.75	0.83
250	0.811	0.703	0.794

注: 中间温度的屈服强度降低系数可采用内插法计算。

另外, 值得提出的是, 现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 规定, Q235 系列钢板的屈服强度采用的是上屈服强度 R_{eH} (试样

发生屈服而首次下降前的最高应力),而不是下屈服强度 R_{eL} (在屈服期间不计初始瞬时效应时的最低应力)。通常金属材料的上屈服强度 R_{eH} 应高于下屈服强度 R_{eL} ,参照现行国家标准《压力容器 第 2 部分:材料》GB 150.2—2011 附录 D(规范性附录)对 Q235 系列钢板的使用规定,Q235 系列钢板的上屈服强度 R_{eH} 比下屈服强度 R_{eL} 高 10MPa。因此,本条表 4.2.2 中对 Q235B 和 Q235C 钢板不同厚度下的室温屈服强度均采用了下屈服强度 R_{eL} ,且比现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 规定的上屈服强度 R_{eH} 相应降低了 10MPa。

本条表 4.2.2 中的钢号及其许用应力值按上述进行了修订。原规范表 4.2.2 中 20R 和 16MnR 钢板的使用状态因按《压力容器用钢板》GB 6654—1996 印刷错误而写成热轧、正火、控轧式正火,现按现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB 713—2008 的规定将 Q245R 及 Q345R 钢板的使用状态修订为热轧、控轧或正火。此外,根据现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700—2006 的规定将 Q235 系列钢板的标准抗拉强度下限值由 375MPa 修订为 370MPa。同时为使钢板厚度与表 4.2.1 相协调,将 Q235B 和 Q235C 钢板的许用厚度由 24mm 和 30mm 分别修订为 20mm 和 24mm。

4.2.4 本条维持原规范的规定,仅将“且不得大于 45mm”修改为“且钢板名义厚度不得大于 45mm”。本条制订的依据是参照美国标准《焊接石油储罐》API 650 中第 4.2.1.4 款的相关规定。

4.2.5 原规范第 4.2.4 条规定“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”的条文是按《钢制压力容器》GB 150—1998 的相关要求编制的,而现行国家标准《压力容器 第 2 部分:材料》GB 150.2—2011 中规定:用于壳体的厚度大于 36mm 的 Q245R、Q345R 应在正火状态下使用。为此,修改了原规范中第 4.2.4 条的规定。

本条依据现行国家标准 GB 150.2—2011 中表 4“钢板的使用温度下限”的规定,将原规范中第 4.2.4 条修订为:设计温度低

于-10度,厚度大于20mm的Q245R钢板和厚度大于30mm的Q345R钢板应在正火状态下使用。

4.2.6 原规范中第4.2.5条是参照《钢制压力容器》GB 150—1998的有关规定编制的。依据现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB 713和《压力容器 第2部分:材料》GB 150.2的有关规定对其进行如下修订:

(1)按现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB 713的规定,Q245R及Q345R钢板应进行0℃下冲击试验,并根据需方要求,经供需双方协议可进行-20℃冲击试验代替0℃冲击试验,其冲击功值与0℃冲击试验的合格指标相同。为此,取消原规范中第4.2.5条第1款的规定(设计温度低于0℃,厚度大于25mm的20R),并对第2款进行了修改,取消了第2款中15MnNbR(Q370R)钢号。

(2)Q370R(15MnNbR)作为使用温度下限为-20℃的压力容器用钢,在现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB 713中已规定了每批进行-20℃夏比V型缺口冲击试验,如降低该钢的许用温度下限不合适,故取消了原规范第4.2.5条中“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型缺口冲击试验。冲击试验温度不应高于最低设计温度,并横向取样”的内容。

(3)根据本规范第4.1.6条的条文说明,删除了原规范第4.2.5条中表4.2.5“低温夏比(V型缺口)冲击试验最低冲击功规定值”。

(4)取消了“调质状态供货的钢板,应逐张取样进行拉伸和夏比V型缺口冲击试验”的内容,并将其原文修订后新增为第4.2.7条。

4.2.7 本条是将原规范第4.2.5条拆分为两条(如上所述)而成为新增条款。本条规定了调质状态供货的钢板应逐张取样进行拉伸和夏比V型缺口-20℃冲击试验,其中冲击试样的取样部位和方向应符合现行国家标准《压力容器用调质高强度钢板》

GB 19189 的规定。所谓的“逐张热处理张”钢板,即是每张热处理后的钢板被切割成数张时仍按 1 张考虑。

4.2.8 原规范第 4.2.6 条中规定的钢板超声检测的技术要求是参照《钢制压力容器》GB 150—1998 的有关规定编制的。本条依据现行国家标准《压力容器 第 2 部分:材料》GB 150.2 及《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189 的有关规定对钢板超声检测的技术要求进行了修订。

本条中“调质状态供货的钢板,质量等级应为 I 级”的要求,是依据现行国家标准《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189—2011 中第 6.6 条“钢板应逐张进行超声检测,检测方法按 JB/T 4730.3 或 GB/T 2970 执行,合格级别为 I 级”的规定修订的。由于《钢制压力容器》GB 150—1998 编制时国家标准《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189—2003 还未发布,故《钢制压力容器》GB 150—1998 规定:调质状态供货的钢板,质量等级应不低于 II 级。实际上,我国近年来油罐建造工程中,对调质状态供货的 12MnNiVR 钢板均要求按国家标准《承压设备无损检测 第 3 部分:超声检测》JB 4730.3 进行超声检测,其合格级别为 I 级。

4.3 钢 管

4.3.1 本条规定了罐壁开孔用无缝钢管的标准及使用范围,本条中表 4.3.1 对罐壁开孔用无缝钢管的钢号、标准、许用温度及许用壁厚进行了具体规定。为便于钢管的采购,表 4.3.1 中增加了现行国家标准《石油裂化用无缝钢管》GB 9948 中规定的 10 和 20 钢号的钢管,同时根据现行国家标准《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163 的规定,增加了 Q345C 和 Q345D 两个钢号。本规范中罐壁开孔用碳素钢和低合金钢无缝钢管共列有 10、20、Q345C、Q345D 和 16Mn 等 5 个钢号。

原规范表 4.3.1 中 20G 钢号在现行国家标准《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479—2000 代替《化肥设备用高压无缝钢管》

GB 6479—1986 时用 20 钢替代了该钢号,故将本条表 4.3.1 中 20G 钢管修订为现行国家标准《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479—2000 规定的正火状态使用的 20 钢管。此外,为与表 4.3.2 中现行国家标准《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479—2000 规定的 16Mn 钢管许用应力的壁厚范围“≤16mm”统一,将表 4.3.1 中 16Mn 钢管的许用壁厚由“≤20mm”修订为“≤16mm”。

4.3.2 本条规定了罐壁开孔用无缝钢管的许用应力值应按表 4.3.2 选取的要求。原规范表 4.3.2 中无缝钢管的许用应力值选取是按《钢制压力容器》GB 150—1998 第 3 章“总论”中的有关规定进行取值。《钢制压力容器》GB 150—1998 第 3 章“总论”中规定:碳素钢和低合金钢钢管及锻件的许用应力值是按标准规定的室温抗拉强度下限值 $\sigma_b/3.0$ 、标准规定的室温最低屈服强度 $\sigma_s/1.6$ 和设计温度下屈服强度 $\sigma_s^t/1.6$ 三者中的最小值确定的。而现行国家标准《压力容器 第 1 部分:通用要求》GB 150.1 依据现行行业标准《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R0004 固定式压力的规定降低了确定钢材许用应力的安全系数(n_b 由 3.0 降至 2.7, n_s 由 1.6 降至 1.5),即碳素钢和低合金钢钢管及锻件的许用应力值按标准规定的室温抗拉强度下限值 $R_m/2.7$ 、标准规定的室温最低下屈服强度 $R_{el}/1.5$ 和设计温度下最低下屈服强度 $R_{el}^t/1.5$ 三者中的最小值进行确定(详见表 7)。

表 7 GB 150 规定钢材(螺栓材料除外)许用应力的取值

材 料	标 准	许用应力 取下列各值中的最小值(MPa)
碳素钢、低合金钢 钢管及锻件	《钢制压力容器》GB 150—1998 《压力容器 第 1 部分: 通用要求》GB 150.1—2011	$\sigma_b/3.0, \sigma_s/1.6, \sigma_s^t/1.6$ $R_m/2.7, R_{el}/1.5, R_{el}^t/1.5$

注: σ_b 、 R_m ——材料标准抗拉强度下限值(MPa);

σ_s 、 R_{el} ——材料标准室温屈服强度(MPa);

σ_s^t 、 R_{el}^t ——材料在设计温度下的屈服强度(MPa)。

经广泛征求意见后以及多次讨论,本次修订后的表 4.3.2 中

碳素钢和低合金钢钢管的许用应力值根据现行国家标准《压力容器 第1部分：通用要求》GB 150.1—2011的规定进行取值，各钢号设计温度下的许用应力值参照现行国家标准《压力容器 第2部分：材料》GB 150.2—2011的规定选取。因16Mn的抗拉强度下限值(490MPa)比Q345C和Q345D的标准抗拉强度下限值(470MPa)高20MPa，故在表4.3.2中增加了Q345C和Q345D钢管的许用应力值。

考虑到本次修订降低了各钢号无缝钢管的安全系数，提高了许用应力值，故本条根据现行国家标准《压力容器 第2部分：材料》GB 150.2—2011的有关规定对表4.3.1中不同标准规定的各钢号钢管的许用温度进行了修订；同时新增了第4.3.3条和第4.3.4条，分别对相关钢号的S、P含量进行了限制，以及增加了按表4.3.1中许用温度下限逐批取样进行夏比V型缺口冲击试验和合格指标的规定。

4.3.3 本条为新增条款。本条依据现行国家标准《压力容器 第2部分：材料》GB 150.2的有关规定制订。

4.3.4 本条为新增条款。本条参照现行国家标准《压力容器 第2部分：材料》GB 150.2—2011的有关规定，规定了罐壁开口用外径不小于70mm，且壁厚不小于10mm的碳素钢和低合金钢钢管，应按表4.3.1中许用温度下限逐批取样进行夏比V型缺口冲击试验及合格指标的要求。

至于现行国家标准《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163—2008中规定的10和20钢管，因其许用壁厚小于或等于10mm可免做冲击试验，其中Q345C和Q345D钢管应按该标准的规定分别进行0℃和-20℃冲击试验，其合格指标应符合该标准的规定。

4.3.5 将原规范中第4.3.5条拆分为两条。本条规定了罐顶开孔接管用钢管应符合现行国家标准《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163规定的技术要求。

4.3.6 本条规定了油罐梯子、平台等钢结构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 3091 规定的技术要求。

4.4 锻件

4.4.1 本条规定了罐壁开孔用锻件的标准及使用范围,本条表 4.4.1 中对罐壁开孔用锻件的钢号、标准、热处理状态及许用温度进行了具体规定。

本条表 4.4.1 维持了原规范的规定,共列入了 20、16Mn 和 16MnD 等 3 个锻件用钢钢号。各钢号的许用温度下限参照现行国家标准《压力容器 第 2 部分:材料》GB 150.2 的规定进行了修订。

根据全国锅炉压力容器标准化技术委员会的要求,将压力容器用锻件标准名称由压力容器扩大到承压设备(包括锅炉、压力容器和压力管道),且按行业规定,将原标准由机械行业(JB)变更为能源行业(NB,由国家能源局发布),故本次修订将本条表 4.4.1 中所引用的锻件标准由现行行业标准《承压设备用碳素钢及合金钢锻件》NB/T 47008—2010 及《低温承压设备用低合金钢锻件》NB/T 47009—2010 分别代替了《压力容器用碳素钢和低合金钢锻件》JB 4726—2000 和《低温压力容器用碳素钢和低合金钢锻件》JB 4727—2000。

4.4.2 本条规定了锻件的许用应力按表 4.4.2 选取的要求。表 4.4.2 中锻件公称厚度按现行行业标准《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008—2010 和《低温承压设备用低合金钢锻件》NB/T 47009—2010 的规定,将 16Mn 和 16MnD 锻件的公称厚度分为 $\leq 100\text{mm}$ 、 $100\text{mm} \sim 200\text{mm}$ 及 $200\text{mm} \sim 300\text{mm}$ 三个公称厚度范围(详见表 8),因此本条表 4.4.2 中 16Mn 和 16MnD 锻件的许用应力值按表 8 规定的公称厚度进行了编制。各钢号的许用应力值如前所述(见第 4.3.2 条的条文说明),参照现行国家标准《压力容器 第 2 部分:材料》GB 150.2 的规定进行取值。

表 8 新旧版本标准规定的 16Mn 和 16MnD 锻件力学性能比较

标准号	钢号	公称厚度 (mm)	热处理 状态	拉伸试验			冲击试验		
				R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	试验 温度(℃)	KV_2 (J)	
JB 4726--2000	16Mn	≤ 300	N, N+T	450~600	≥ 275	≥ 20	0	≥ 31	
NB/T 47008—2010		≤ 100	N	480~630	≥ 305	≥ 20	0	≥ 34	
		100~200	N+T	470~620	≥ 295	≥ 20			
		200~300	Q+T	450~600	≥ 275	≥ 20			
JB 4727—2000	16MnD	≤ 300	Q+T	450~600	≥ 275	≥ 20	-40	≥ 27	
NB/T 47009—2010		≤ 100	Q+T	480~630	≥ 305	≥ 20	-45	≥ 47	
		100~200		470~620	≥ 95	≥ 20	-40		
		200~300		450~600	≥ 275	≥ 20			

4.4.3 本条为新增条款。考虑到本次修订降低了各钢号锻件的安全系数,提高了其许用应力值,故本条规定了设计温度低于0℃的20钢和16Mn钢锻件应进行-20℃冲击试验的要求。至于20钢和16Mn钢锻件-20℃冲击试验的合格指标,可按现行行业标准《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008的规定:根据需方要求,20钢和16Mn钢锻件可进行-20℃冲击试验代替0℃冲击试验,其冲击功与0℃冲击试验的合格指标相同,并在合同中注明。

4.5 螺栓、螺母

4.5.1 本条规定了螺栓、螺母组合用钢的使用范围,本条表4.5.1中对螺栓钢号、螺母钢号、钢材标准、使用状态及螺栓和螺母组合的使用温度进行了具体规定。考虑到调质状态使用的螺母用钢的硬度应稍低于组合使用的螺栓用钢的硬度,故规定了调质状态使用的螺母用钢的回火温度应高于组合使用的螺栓用钢的回火温度的要求。

通常螺栓用钢、螺母用钢各自的许用温度不能真正代替螺栓与螺母组合用钢的许用温度,因此本次修订将原规范第4.5.1条规定的“螺栓、螺母用钢的使用范围”修改为“螺栓、螺母组合用钢

的使用范围”。本条表 4.5.1 中螺栓用钢共列入 20、35、30CrMoA 和 35CrMoA 等 4 个钢号,螺母用钢共列入了 10、15、20、25、45、40Mn、30CrMoA 和 35CrMoA 等 8 个钢号,比原规范增加了 10、15、45 和 40Mn 等 4 个钢号作为螺母用钢。

参照现行国家标准《压力容器 第 2 部分:材料》GB 150.2 的有关规定,对本条表 4.5.1 中螺栓、螺母组合用钢的许用温度进行了重新规定。考虑到原油储罐工程对钢材许用温度下限的要求,将 30CrMoA 和 35CrMoA 螺栓与相同钢号螺母组合的许用温度均由“>-100℃”分别提高为“≥-70℃”和“≥-50℃”。

4.5.2 本条规定了螺栓的许用应力按表 4.5.2 选取的要求。表 4.5.2 中各钢号螺栓的许用应力值仍维持原规范的取值。

原规范中螺栓的许用应力值是参照《钢制压力容器》GB 150—1998 第 3 章“总论”的规定进行取值的,因现行国家标准《压力容器 第 1 部分:通用要求》GB 150.1—2011 中关于确定碳素钢和低合金钢螺栓许用应力值的安全系数与《钢制压力容器》GB 150—1998 第 3 章“总论”的规定无变化(见表 9),经广泛征求意见及讨论后,本次修订的碳素钢和低合金钢螺栓许用应力值仍沿用原规范进行取值。

表 9 GB 150—1998 及 GB 150.1—2011 规定螺栓材料许用应力的取值

材料	螺栓直径 (mm)	热处理状态	许用应力(MPa)
			取下列各值中的最小值
碳素钢	≤M22	热轧、正火	$\frac{R_{el}^t}{2.7}$
	M24~M48		$\frac{R_{el}^t}{2.5}$
低合金钢	≤M22	调质	$\frac{R_{el}^t (R_{P_{0.2}}^t)}{3.5}$
	M24~M48		$\frac{R_{el}^t (R_{P_{0.2}}^t)}{3.0}$
	≥M52		$\frac{R_{el}^t (R_{P_{0.2}}^t)}{2.7}$

注: R_m —材料标准抗拉强度下限值(MPa);

$R_{el}^t (R_{P_{0.2}}^t)$ —材料在设计温度下的屈服强度(或 0.2% 塑性延伸强度)(MPa)。

4.6 结构型钢

4.6.2 本条维持原规范的规定。参照现行行业标准《钢制焊接常压容器》NB/T 47003.1 对碳素钢沸腾钢板 Q235A. F 的最低使用温度为 0℃ 的有关规定,仅将原条文“当建罐地区的最低日平均温度低于 -20℃ 时,主要承重构件不得采用沸腾钢”中的“-20℃”修订为“0℃”。

4.7 焊接材料

4.7.2 本条为新增条款。考虑到用于焊接罐壁板和罐壁开孔锻件、接管的焊接材料的技术要求、试验方法、检验规则以及质量管理等除应符合相应标准的规定外,还应符合现行行业标准《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T 47018 的规定,故本条将原规范第 4.7.2 条拆分为两条而新增加了本条。

根据大型原油储罐焊接方法的需要,本规范引用的焊接材料标准在原规范的基础上增加了现行国家标准《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045、《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493、《气体保护电弧焊用碳素钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110 和现行行业标准《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T 47018.1~47018.4 等标准。

4.7.3 本条规定了当设计温度低于 -20℃ 时,罐底边缘板、罐壁板和罐壁开孔锻件、接管的焊接应选用高韧性焊接材料的要求。删除了原规范第 4.7.2 条中规定的应选用“与母材成分和性能相同或相近的高韧性焊接材”的文字。

至于钢材的焊接材料选用,可根据设计需要,由设计人员凭经验或参照现行行业标准《压力容器焊接规程》NB/T 47015 等相关资料进行选用。

5 罐底设计

5.1 罐底板尺寸

5.1.2 各国规范关于罐底环形边缘板的最小厚度规定见表 10~表 12。

表 10 美国标准《焊接石油储罐》API 650 规定的环形边缘板的最小厚度

底圈罐壁板厚度 (mm)	底圈罐壁板的应力 (MPa)			
	≤190	≤210	≤220	≤250
$t \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 40$	8	11	14	17
$40 < t \leq 45$	9	13	16	19

注:1 当设计液位高度与储液相对密度的乘积大于 23m 时,环形边缘板的厚度应根据弹性分析来确定;

2 底圈罐壁板厚度为设计条件下的有效厚度和试水条件下的名义厚度。

表 11 日本标准《钢制焊接油罐结构》JIS B 8501

规定的环形边缘板的最小厚度

底圈罐壁板厚度 (mm)	环形边缘板最小厚度 (mm)
$15 < t \leq 20$	12
$20 < t \leq 25$	15
$25 < t \leq 30$	18
$t > 30$	21

表 12 原规范规定的环形边缘板的最小厚度

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

欧洲标准《在室温和高于室温下液体储存用现场建造的立式、圆柱形、平底、地上用焊接钢罐的设计和制造规范》BS EN 14015 规定, 直径大于 12.5m 油罐的环形边缘板最小厚度应为下列两者的较大值:

- (1) $\geq 3.0 + 1/3$ 底圈罐壁板厚度(mm), 不包括腐蚀裕量;
- (2) ≥ 6 mm, 不包括腐蚀裕量。

譬如, 底圈罐壁板厚度为 19mm, 则罐底环形边缘板厚度为 10mm, 不包括腐蚀裕量; 底圈罐壁板厚度为 25mm, 则罐底环形边缘板厚度为 12mm, 不包括腐蚀裕量; 底圈罐壁板厚度为 32mm, 则罐底环形边缘板厚度为 14mm, 不包括腐蚀裕量; 底圈罐壁板厚度为 45mm, 则罐底环形边缘板厚度为 18mm, 不包括腐蚀裕量。

随着我国国家石油储备库的建设, 目前 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 及以上容量的大型油罐已大量建成。与此同时, 国内进行了大量的有限元应力计算分析, 并进行了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。另外, 根据这几年的油罐大修检测, 该部位腐蚀较严重, 增加厚度能提高油罐的寿命和安全性。故本次修订根据底圈罐壁板标准屈服强度下限值的范围, 修订了罐底环形边缘板厚度,

见表 13。

表 13 环形边缘板最小名义厚度 (mm)

底圈罐壁板名义厚度	环形边缘板厚度 (mm)	
	底圈罐壁板标准屈服强度下限值 (MPa)	
	≤390	>390
≤6	6	—
7~10	7	—
11~20	9	—
21~25	11	12
26~30	12	16
31~34	14	18
35~39	16	20
≥40		21

5.1.3 罐底环形边缘板沿径向的宽度, 各国油罐规范规定不完全相同。

API 650 规定按下式计算:

$$\frac{215t_b}{\sqrt{HG}} \quad (1)$$

式中: t_b —— 罐底环形边缘板厚度 (mm);

H —— 设计液位 (m);

G —— 储液相对密度。

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

JIS B 8501 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。

$$L_m = \frac{280t_b}{\sqrt{H}} \quad (2)$$

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)。

BS EN 14015 规定,罐壁内侧的边缘板宽度不得小于按下式算出的 l_a 值,且 l_a 不得小于 500mm。

$$\frac{240e_a}{\sqrt{H}} \quad (3)$$

式中: e_a ——边缘板厚度(mm);

H ——设计液位(m)。

并规定边缘板的径向宽度伸出罐壁外侧至少为 50mm,但不得大于 100mm。

可以看出,JIS B 8501、API 650 与 BS EN 14015 的规定基本一致。

本规范采用 API 650 的计算公式和规定。同时根据 BS EN 14015 的规定,对底圈罐壁外表面至边缘板外缘的径向距离,原文为“不应小于 50mm”,现修订为“不应小于 50mm,且不宜大于 100mm”。

加宽边缘板可使罐底板的整体性得到加强,增强罐底板抵抗不均匀沉降的能力,因此对抗震设防的油罐和采用环梁基础的油罐宜适当加大环形边缘板的径向尺寸。

5.2 罐底结构

5.2.1 关于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大小确定是否设置环形边缘板。

JIS B 8501 规定油罐直径超过 30m 或最下圈罐壁板厚度超过 15mm,或采用高强度钢时,应设置环形边缘板。

BS EN 14015 规定直径大于 12.5m 的油罐应设置环形边缘板。

原规范规定油罐内径大于或等于 12.5m 时,罐底宜设环形边缘板。

本规范维持原规范的规定,油罐内径大于或等于 12.5m 时,

罐底宜设环形边缘板。

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一部位发生的,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,尺寸过大造成接头刚性过大,接头处所受的应力会加大。

API 650 规定:

罐底环形边缘板的名义厚度不大于 13mm 时,最下圈罐壁与罐底板之间的连接焊缝尺寸不应大于 13mm,不应小于两相连接钢板中较薄钢板的名义厚度,且不应小于表 14 中的数值。

表 14 底圈罐壁板名义厚度和角焊缝最小尺寸

底圈罐壁板名义厚度 (mm)	角焊缝最小尺寸 (mm)
5	5
5~20	6
20~32	8
32~45	10

罐底环形边缘板厚度大于 13mm 时,最下圈罐壁与罐底板之间的连接焊缝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,不应小于环形边缘板的厚度,且不应大于底圈罐壁板厚度。

JIS B 8501 规定:

(1)边缘板厚度小于或等于 13mm 时,底圈壁板与底板(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 EN 14015 规定:最下圈罐壁板与边缘板的连接焊缝尺寸应等于边缘板的厚度。

原规范规定: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 倍~1.35 倍的边缘板厚度。当边缘板厚度大于 13mm 时,罐壁内侧可开设坡口。

应力分析和应力测试也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。

综合考虑,本次修订对原规范罐壁内侧尺寸作了适当修改,规定如下: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;罐壁内侧的焊缝沿径向的尺寸宜取 1.0 倍~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

6.1.1 目前已建油罐罐壁板长度很容易错开相邻两圈罐壁板的距离,因此相邻两圈罐壁板的纵向接头相互错开,最小距离修订为300mm。

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,适用于较厚板。坡口形式分单面Y形、单面U型、双面Y型和双面U型。环焊缝分不开坡口和开单面Y型及双面Y型坡口。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,以增加罐壁的稳定性。

6.2.2 各国规范关于包边角钢规格的规定如下:

表 15 API 650 规定的固定顶油罐罐壁包边角钢的最小尺寸

油罐内径 D (m)	包边角钢尺寸(mm)
$D \leq 11$	L 50×5
$11 < D \leq 18$	L 50×6
$D > 18$	L 75×10

表 16 API 650 规定的浮顶油罐罐壁包边角钢的最小尺寸

最上圈罐壁板名义厚度(mm)	包边角钢尺寸(mm)
5	L 65×6
>5	L 75×6

表 17 JIS B 8501 规定的固定顶油罐罐壁包边角钢的最小尺寸

油罐内径 D (m)	包边角钢尺寸(mm)
$D \leq 10$	L 65×6
$10 < D \leq 18$	L 65×8
$18 < D \leq 60$	L 75×9
$D > 60$	L 90×10

表 18 JIS B 8501 规定的浮顶油罐罐壁包边角钢的最小尺寸

最上圈罐壁板名义厚度(mm)	包边角钢尺寸(mm)
4.5	L 65×6
> 4.5	L 75×6

表 19 原规范规定的固定顶油罐罐壁包边角钢的最小尺寸

油罐内径 D (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 20 原规范规定的浮顶油罐罐壁包边角钢的最小尺寸

最上圈罐壁板名义厚度(mm)	包边角钢尺寸(mm)
5	L 65×6
> 5	L 75×6

而 BS EN 14015 仅规定角钢的最小规格为 L 60×5, 其他未作规定。

根据国内使用经验, 本次修订维持原规范的规定。

6.3 罐壁厚度

6.3.1 目前国内大量设计建造的 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 及以上大型油罐的罐壁厚度计算均采用美国标准 API 650 中的变设计点法。为方便设计, 编制组进行了大量油罐分析计算, 对应力测试数

据进行了分析；根据我国使用的油罐材料，参照 API 650 编制了变设计点法，并规定：罐壁厚度的计算，当油罐直径 $D \leq 60\text{m}$ 时，宜采用定设计点法；当油罐直径 $D > 60\text{m}$ 时，宜采用变设计点法。

6.3.2 本条规定了罐壁厚度定设计点法的计算公式。

(1) API 650 中的定设计点法：罐壁所需的最小厚度应是以下两式计算的较大值：

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA \quad (4)$$

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t} \quad (5)$$

式中： t_d ——设计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 ——油罐直径(m)；

H ——设计液位高度(m)；指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，或业主指定的高度(该高度受内浮顶和地震液面晃动波高的限制)；

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) JIS B 8501 中的定设计点法：

$$t = \frac{D(H - 0.3)\rho}{0.2fm} + C \quad (6)$$

式中： t ——罐壁板所需的最小厚度(mm)；

D ——油罐内径(m)；

H ——从计算的壁板下端到液面的高度，液面高度为最高使用高度(m)；

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 B 8501 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 级检验的最下圈壁板取 0.85;经 A 级检验的最下圈以外的其他壁板取 0.85;经 B 级检验的最下圈以外的其他壁板取 1.0;未进行射线探伤检或超声探伤检验的壁板,包括腐蚀裕量在内最大名义厚度不超过 12mm,且为低碳钢时,取 0.7。

C ——腐蚀裕量 (mm)。

(3) BS EN 14015 中规定:罐壁所需的最小厚度应是以下两式计算的较大值:

$$e_c = \frac{D}{2S} [98W(H_c - 0.3) + p] + c \quad (7)$$

$$e_t = \frac{D}{2S_t} [98W_t(H_c - 0.3) + p_t] \quad (8)$$

式中: e_c ——设计条件下的罐壁厚度 (mm);

e_t ——试验条件下的罐壁厚度 (mm);

D ——油罐内径 (m);

H_c ——从计算壁板下端到液面的高度,液面高度为限定高度 (m);

p ——设计压力 (mbar);

p_t ——试验压力 (mbar);

S ——许用设计压力 (MPa);

S_t ——许用试验压力 (MPa);

W ——设计条件下的最大密度 (kg/l);

W_t ——试验条件下的最大密度 (kg/l);

c ——腐蚀裕量 (mm)。

当相邻两圈罐壁选用不同屈服强度与抗拉强度的材料时,同时满足式(9)时,相邻的上圈罐壁应按式(10)、式(11)进行罐壁厚

度计算。

$$\frac{H_u - 0.3}{S_u} \geq \frac{H_L - 0.3}{S_L - 0.3} \quad (9)$$

式中: H_L ——从计算的下圈壁板下端到液面的高度(mm);

H_u ——从计算的上圈壁板下端到液面的高度(mm);

S_L ——上圈壁板的许用设计应力(MPa);

S_u ——下圈壁板的许用设计应力(MPa)。

$$e_c = \frac{D}{2S} (98WH_c + p) + c \quad (10)$$

$$e_t = \frac{D}{2S_t} (98W_t H_c + p_t) \quad (11)$$

(4) 原规范中的定设计点法:

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)\rho}{[\sigma]_d \varphi} \quad (12)$$

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{[\sigma]_t \varphi} \quad (13)$$

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(MPa);

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, 底圈罐壁取 $\varphi = 0.85$ 。

(5) 分析比较。

定设计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 表示油罐直径, API 650 定义为油罐底圈罐壁板中心线直径,JIS B 8501 无明确规定, BS EN 14015、原规范均为油罐内径,对计算结果影响不大;

H 表示计算液位高度,各规范取法有所不同,对计算结果影响较大,本次修订对该部分进行了修改;

ρ (或 γ)表示储液比重或储液相对密度,物理概念虽不同,但不影响计算结果;

φ 表示焊缝系数(焊接接头系数),各规范取值有所不同,对计算结果影响较大,本次修订对该部分进行了修改;

$[\sigma]$ 表示许用应力,各规范取法不尽相同,对计算结果影响较大,本次修订对该部分进行了修改。

(6)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,国内油罐施工采用现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128 进行检验和验收,其探伤要求与 API 650 和 JIS B 8501 中 B 级基本相同。考虑到底圈壁板受力复杂,本规范规定:底圈罐壁取 0.85,其余各圈取 0.9。

6.3.4 各国油罐规范罐壁板最小厚度的规定见表 21~表 24。

表 21 API 650 规定的罐壁板最小名义厚度

油罐公称直径(m)	罐壁板最小名义厚度(mm)
$D < 15$	5
$15 \leq D < 36$	6
$36 \leq D \leq 60$	8
$D > 60$	10

表 22 JIS B 8501 规定的罐壁板最小名义厚度

油罐内径(m)	罐壁板最小名义厚度(mm)
$D \leq 16$	4.5
$16 < D \leq 35$	6
$35 < D \leq 60$	8
$60 \leq D \leq 75$	10
$D > 75$	12

表 23 BS EN 14015 规定的罐壁板最小名义厚度

油罐直径(m)	罐壁板最小名义厚度(mm)
$D < 15$	5
$15 \leq D < 36$	6
$36 \leq D \leq 60$	8
$D > 60$	10

表 24 原规范规定的罐壁板最小公称厚度

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

本次修订参照已建油罐的实际情况,增加了 $D > 75$ m 的规定。

6.4 抗风圈

6.4.2 与 API 650、JIS B 8501 和 BS EN 14015 等油罐规范相比,原规范中的抗风圈截面模量计算公式为 $W_z = 0.083D^2 H_1 \omega_k$, 抗风圈截面模量计算值过大。考虑到国内工程的实际情况,本次修订将 $W_z = 0.083D^2 H_1 \omega_k$ 中 ω_k 替换为 ω_0 , 即 $W_z = 0.083D^2 H_1 \omega_0$ 。即使如此,抗风圈截面模量计算值与 API 650、JIS B 8501 和 BS EN 14015 等油罐规范的抗风圈截面模量相比,还是略显保守。

6.4.3 根据审查会专家意见,中间抗风圈维持原规范的方法,当中间抗风圈数量超过5道时,应按本条规定的方法设置。关于中间抗风圈的最小截面尺寸,说明如下:

(1)中间抗风圈的截面尺寸达到一定程度后,相应直径的筒体已经能够起到支撑作用,如再增大截面尺寸已无实质性作用。

潘家华在《圆柱形金属油罐设计》一书中指出,根据中国科学院力学研究所的理论推导表明,当加强圈的惯性矩接近 $100\sqrt{Rt} \cdot t^3$ 时,加强圈已倾向于刚性支撑的作用,若再加大其惯性矩,对提高罐壁的临界压力已不起作用了。因此,关于中间抗风圈的截面模量,国内外的观点是一致的。

(2)在API 650关于抗风圈截面模量的计算中指出:当油罐直径大于60m时,供需双方协商一致后,可按 $D=60\text{m}$ 计算抗风圈截面模量。而本规范在确定中间抗风圈截面模量时,未提及这种处理方法。近些年来,油罐已明显向大型化发展,直径已远超过60m。所以本规范在中间抗风圈最小截面尺寸(本规范表6.4.3)中增加了一个档次,规定: $D>60\text{m}$ 时,最小截面尺寸为 $L 200 \times 200 \times 14$ 。

6.4.5 与原规范相比,表6.4.5-1中风压高度变化系数按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012进行了修改。

7 固 定 顶

7.1 一 般 规 定

7.1.2 本次修订对设计荷载按设计工况进行了组合,本规范附录F中有两种工况下的荷载与本章有关: $D_L + W + 0.4P_e, \max\{D_L + (L_r \text{ 或 } S) + 0.4P_e, D_L + P_e + 0.4(L_r \text{ 或 } S)\}$ 。

7.1.3 罐顶板的最小名义厚度,API 650 规定为 5mm, JIS B 8501 规定为 4.5mm,本次修订将原规范中的规定“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”修订为“罐顶板及其支撑构件的名义厚度不应小于 5mm。”

7.1.5 罐顶与罐壁的连接结构以及有效截面面积参照 API 650 中的规定重新进行了修改。

7.1.6 罐顶与罐壁采用弱连接结构,为事故状态下的安全泄放措施。在内压产生的举升力将抬起并尚未抬起罐底的临界状态、抗压环材料达到屈服强度 220MPa 时,理论上弱连接处会发生塑性失稳而有效泄压,起到保护罐体的作用。当抗压环材料实际屈服强度不为 220MPa 时,会有一点误差。构成弱连接结构的条件,参照 API 650 的规定编制。

7.2 构件的许用应力

本节参照 JIS B 8501 的规定编制。设计人员也可按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定进行计算。

7.5 自支撑式拱顶

7.5.1~7.5.3 参照 API 650 的规定编制。在外荷载作用下,自支撑式拱顶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。

7.5.4 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 H。考虑到球壳的稳定性,带肋球壳的曲率半径不宜大于 40m,且油罐直径不宜大于 40m。

7.5.5 近二十年来,我国已有近千台油罐的固定顶采用了网壳结构,积累了许多经验。现行行业标准《空间网格结构技术规程》JGJ 7 总结了建筑行业在空间网格结构方面的成功经验,有利于我们借鉴,但用于油罐的单层网壳顶盖结构与建筑物上的结构有显著区别。罐壁属于薄壁圆筒,抗外压能力较弱,如果罐顶抗外压能力超过罐壁,一旦罐内真空致使外压超过限度,罐壁端部可能被拉裂。从边环梁网架相应失效的断面计算公式可知其安全系数在 1.65 左右,当外压超出边环梁的承载能力时,就可能发生断裂,使网壳本体失效。

8 浮顶

8.1 一般规定

8.1.1 本章仅对单盘式浮顶和双盘式浮顶及其附件的设计进行了规定,不适用于其他形式的浮顶设计。

8.1.6 确定单盘安装高度时,只有按储液实际密度计算才能保证单盘与储液之间不存在油气空间。

8.1.7、8.1.8 单盘式浮顶和双盘式浮顶结构不同,设计考虑的因素不同,因此将这两种浮顶的设计条件单独给出。对于双盘式浮顶的要求,与原规范的要求有较大区别。

8.2 浮顶的结构与连接

8.2.3 由于在现场使用中对浮顶隔舱气密性试验存在较大分歧,给施工管理造成很多不便。本次修订基于在保证浮顶安全的前提下尽量减少焊接工程量的原则,对双盘式浮顶,规定仅对密封隔舱进行气密性试验。从浮顶的抗沉性考虑,要求单盘浮顶所有隔舱应为密封隔舱,双盘式浮顶密封隔舱数量应按浮顶设计条件确定,但至少最外圈隔舱应为密封隔舱;其余隔舱除顶板与隔板、顶板与环板的连接焊缝外均要求至少有一面为连续焊,以防止漏油时串舱。

8.3 浮顶支柱

8.3.2 为满足施工和检修需要,浮顶外边缘底部距罐底上表面的垂直距离不宜小于1.8m;为防止浮顶支柱失稳,规定支柱的长细比不应大于150。

8.5 紧急排水装置

8.5.1 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。暴雨来临,浮顶排水管来不及排除浮顶上的积水时,可通过紧急排水装置把高出允许液面的积水直接导入油罐内部。该装置虽有使雨水与储液相混之虞,但可使浮顶免遭沉没(浮顶浮于储液面时)或丧失稳定(浮顶支撑于立柱上时)。十多年前,我国发生的2万m³和3万m³油罐浮顶沉没事故均发生在暴雨时。双盘式浮顶刚性大,对于有暴雨的地区应安装紧急排水装置;单盘式浮顶的单盘变形较大,设计者可根据情况设置,安装高度与位置应根据单盘计算挠度确定。

8.5.2 水封和防止储液倒流的功能是紧急排水装置安全与否的必要条件。

8.5.3 从安全考虑,积水液面应低于外边缘板高度,而紧急排水装置的进水口高度应低于积水液面。安装高度与安装位置、浮顶结构及尺寸、允许积水量以及储液密度相关,需经计算确定。

8.6 转动浮梯及轨道

8.6.1、8.6.2 为便于人员行走,本次修订对转动浮梯通道净宽度进行了规定,规定不应小于650mm,转动浮梯的最大仰角修改为不宜大于55°。

9 内 浮 顶

9.1 一 般 规 定

9.1.1 API 650 中共列了 7 种内浮顶的形式,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。

9.1.2 本规范对于罐内是否设内梯不作规定。API 650 规定可设置。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。

9.2 敞口隔舱式、单盘式和双盘式内浮顶

9.2.5 对于双盘式浮顶有更严格的规定:双盘式浮顶密封隔舱数量应按内浮顶设计条件确定,至少应包括最外圈隔舱,且每个隔舱均应满足气密性要求。

9.10 人孔和检查孔

9.10.2 推荐增加高位人孔,以方便进入浮顶上检修。国内一般采用此方式代替内梯。

10 附 件

10.3 罐壁人孔

10.3.1 参照 API 650 的规定,增加了 DN900 规格的罐壁人孔。

10.4 罐壁开孔接管

10.4.2 参照 API 650 的规定,重新对图 10.4.2-1 法兰连接罐壁开孔接管进行了修改。

10.10 盘梯、平台及栏杆

10.10.1 本条第 6 款为强制性条款,必须严格执行。为了保证人员行走的安全,盘梯外侧必须设置栏杆,当盘梯内侧与罐壁的距离大于 150mm 时,内侧也必须设置栏杆。

10.10.3 本条第 3 款为强制性条款,必须严格执行。目的是保障上罐人员的安全,减少人身伤害。根据现行国家标准《固定式钢梯及平台安全要求 第 3 部分:工业防护栏杆钢平台》GB 4053.3—2009 中的规定:当平台、通道及作业场所距地面高度小于 2m 时,栏杆高度不应低于 900mm;在距地面高度大于或等于 2m 并小于 20m 的平台、通道及作业场所的栏杆高度不应低于 1050mm;在距地面高度不小于 20m 的平台、通道及作业场所的栏杆高度不应低于 1200mm,本条对铺板至栏杆顶部的高度进行了重新规定。

10.10.4 本条为强制性条文,必须严格执行。为了保证人员行走的安全,当需要到固定顶上操作时,必须在固定顶上设置栏杆,通道上设置防滑条或踏步板。

10.10.5 本条为强制性条文,必须严格执行。为了保证在抗风圈

上人员行走的安全,在抗风圈周围必须设置栏杆。

10.11 吊挂支柱

10.11.1、10.11.2 根据施工及检修的安全需要,增加了吊挂支柱。

11 油罐抗风稳定计算及锚固设计

11.1 抗风稳定计算

11.1.2 本条中的公式是参照 API 650 中的相关内容编制的。当建罐的地区已定, M_w 已不可能再改变。如不能满足时, 可降低设计内压 P_i 。降低呼吸阀的开启压力, 加大呼吸阀的尺寸和数量, 均可使 P_i 值下降, 从而使 M_{pi} 值下降。

11.1.4 式(11.1.4-1)中, 用油罐内径 D 代替能提供反倾倒力矩环状储液的环状中心线直径, 略偏安全。

12 预制、组装、焊接及检验

与原规范相比,本章变化较大。从设计角度补充了预制、组装、焊接、检验、检测、试验等方面的内容,提出了要求。

12.1 预制、组装及焊接

12.1.6 焊缝的强度和质量是保障油罐安全的关键,焊接工艺评定报告是保证焊缝强度和质量的重要措施,一旦焊缝强度和质量得不到保证,整个油罐将会遭到破坏,造成灾难性损失。因此,施工单位应在具有合格的焊接工艺评定报告后方可进行储罐焊接作业。

附录 A 微内压油罐

A. 1 一般规定

A. 1. 1 根据这几年反馈的意见,原规范规定的设计压力不大于 6kPa 已不能满足生产的需求,故本次修订参照 API 650 的规定将设计压力范围扩大到了 18kPa。

A. 2 通气装置

A. 2. 1、A. 2. 2 对于未锚固微内压罐,在正常使用条件下应设置的通气装置为呼吸阀。呼吸阀的规格和数量应使排气时的最高内压 P_i 小于按本规范式(A. 3. 2)与式(A. 3. 3)计算的压力较小者。

当未设置紧急排气装置且在火警状态下,呼吸阀用于紧急排气且按本规范式(A. 3. 2)计算出的压力不超过 $0.8P_i$ 时,可不另设紧急排气装置。当不能满足要求超压时,则应设置紧急排气装置。

A. 3 罐顶与罐壁的连接结构

A. 3. 2~A. 3. 5 参照 API 650,对原规范的原有条款和计算公式进行了调整和修改。

A. 4 抗压环所需最小截面面积

A. 4. 1、A. 4. 2 参照 API 650 中的相关内容编制,对抗压环截面面积公式进行了修正。

A. 6 设计压力不大于 18kPa 的锚固罐

A. 6. 1~A. 6. 6 本节为新增内容,参照 API 650 附录 F 和美国标准《大型焊接低压储罐设计与建造》API 620 中的相关规定进行了编制,并适当修改。

附录 B 外压油罐设计

本附录为新增内容,参照 API 650 附录 V 编制,并根据国内使用情况作了适当修改。

B. 1 一般规定

B. 1. 1、B. 1. 2 API 650 规定:当罐内负压超过 0.25kPa 时,应视为外压罐。关于固定顶罐风压的稳定计算,也仅考虑国内的最大负压 0.24kPa。国产呼吸阀的开启负压力为 0.295kPa,当采用国产呼吸阀时,该固定顶罐已属于外压罐,需要进行外压核算。

B. 2 固定顶

B. 2. 1 API 650 附录 V 的固定顶设计总外压表达式为

$$P_r = \max\{D_L + (L_r \text{ 或 } S) + 0.4P_e, D_L + P_e + 0.4(L_r \text{ 或 } S)\} \quad (14)$$

由于现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012 表 E. 5 中列出的 50 年一遇最大雪压均未超过 1.0kPa,且除极个别地区外,均远小于 1.0kPa。所以本附录表达式中取消了雪荷载项。

B. 2. 3 API 650 附录 V 规定的抗拉环所需截面面积 $A_r = \frac{125P_r D^2}{f \tan \theta}$,将分子分母同乘以 1000,则转换成 $A_r = \frac{125P_r D^2 \times 10^3}{1000 \times f \tan \theta} = \frac{P_r D^2 \times 10^3}{8f \tan \theta}$ 。因此,本附录计算公式和 API 650 附录 V 是一致的。

B. 6 外压试验

API 650 附录 V 规定:当无指定要求时,无需进行外压试验。

本规范规定,当油罐充水试验完成后开始放水时,应进行罐顶外压试验。试验时,应使罐顶部位气相空间的真空压力等于 $P_r - D_L$ 。当油罐充水试验完成后放水接近结束时,可进行罐壁外压试验,试验时罐内真空压力应等于 P_e 。

附录 C 提高油罐设计温度的附加要求

C.1 适用范围

C.1.1 API 650 附录 M 规定, 适用温度为大于 93℃, 小于或等于 260℃。本规范规定, 适用温度为大于 90℃, 且不大于 250℃, 略有不同。

C.1.2 考虑到国内浮顶和内浮顶油罐所采用的密封材料很难满足 90℃以上温度, 而高温储存常为渣油类, 很少会用到浮顶和内浮顶油罐。因此本规范规定, 浮顶油罐和内浮顶油罐不适用于本附录。

C.2 提高设计温度的影响和附加要求

C.2.1 原规范附录 B 的依据是其对应年代的 API 650 附录 M, 应考虑的影响前后并无变化。

C.2.2 附加要求的主要内容和 API 650 附录 M 的要求一致。常温与设计温度下弹性模量之比, 也采用 API 650 附录 M 的规定。

附录 D 油罐抗震设计

本附录在原规范附录 D 的基础上进行了局部调整和补充。根据现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的规定,油罐属于乙类建筑,地震作用应符合本地区抗震设防烈度的要求。

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表现。当局部变形超过一定限度时,就会引发焊缝开裂,从而导致油品外泄。一旦着火,就会酿成灾难性事故。因此,本规范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,事后也难以修复,只能将出现象足的这圈罐壁板替换成较厚的钢板,而且还可能涉及罐底边缘板。如果在油罐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。

采用本油罐抗震设计方法,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情况符合得较好。

D. 2 设计准则

D. 2. 1 在地震力作用下,油罐破坏形态主要表现为罐壁下部出现象足。因此,抗震设计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。采用合理的构造能避免这类问题的发生。

D. 2. 5 本条是新增内容,原规范中没有锚固方面的内容,本规范参照 API 650 附录 E 的规定补充了这一内容。

D. 3 地震作用

D. 3. 1、D. 3. 4 盛装储液的油罐,在地震力作用下会发生两种震动:

- 1 储液和油罐耦联振动,基本周期在 0.1s~0.5s 的范围内;
- 2 储液晃动,基本周期在 3s~14s 的范围内。

弹性反应谱理论是现阶段抗震设计的最基本理论,本规范所采用的设计反应谱(即地震影响系数曲线)是根据油罐的特点,在现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的基础上,对原规范地震影响系数 α 曲线进行了修改。

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 $\eta_2\alpha_{\max}$,然后保持此值到 T_g ;在中频段(由 T_g 到 $T=5T_g$)主要决定于地震动最大速度,此段按 $\left(\frac{T_g}{T}\right)^{\gamma}\eta_2\alpha_{\max}$ 衰减直到 $T=5T_g$;在低频段(由 $T=5T_g$ 到 15s),决定于地震最大位移。此段反应谱按 $[\eta_2 0.2^{\gamma} - \eta_1 (T - 5T_g)]\alpha_{\max}$ 规律衰减。

本条所采用的反应谱是按阻尼比 $\zeta=0.05$ 来确定的,其周期小于 $5T_g$ 的曲线与现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191—2012 中采用的相应阻尼比的反应谱曲线相一致。至于大于 $5T_g$ 的长周期分量的反应谱曲线,在原规范基础上进行了

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：

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

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

$\sqrt{1 + 0.345 \frac{\rho_L \cdot R \cdot \rho_w}{\rho_w \cdot \delta_{1/3} \cdot \rho}}$ 为充液影响系数。

对于储罐当 $\frac{R}{\delta_{1/3}} \geq 1000$ 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 、G 和 K' 值代入, 则可将式 (15) 简化为：

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

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：

$$T_c = K_c H_w \left(\frac{R}{\delta_{1/3}} \right)^{1/2} \quad (23)$$

根据式(19)、式(20)及式(22), 用有限元计算 T_c , 结果见表 25。

表 25 罐液耦联振动基本周期 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 $\frac{1}{3}H$ 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		1.1	0.2525
20000	15.85	20.25	16	14	12	11	9	8	8	8	8		1.1	0.3227
30000	19.35	23.00	23	21	18	15	13	11	9	8	8		1.5	0.3561
50000	19.35	30.00	32	28	23	20	18	14	11	10	10		2.0	0.3870

注: * $\frac{1}{3}H$ 处恰是上下两圈壁板交界处, 故取该两圈壁厚的平均值。

用式(23)计算的结果和其他方法计算的结果对照见表 26。

表 26 T_c 计算结果对照表

公称容量 (m ³)	本规范计算 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%

坂井公式如下：

$$T = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{W}{\pi g E \delta_{1/3}}} \quad (24)$$

式中： $\lambda = 0.067 \left(\frac{H_w}{D} \right)^2 - 0.3 \left(\frac{H_w}{D} \right) + 0.46$ ，其中 D 为油罐直

径， H_w 为设计最高液位；

W ——液体总重；

$\delta_{1/3}$ ——1/3 罐高处壁厚；

E ——弹性模量。

D. 3. 6 式(D. 3. 6) $T_w = K_s \sqrt{D}$ ，是由 Housner 根据油罐底部固定的条件导出的近似解。式中 K_s 值由下式求得：

$$K_s = \frac{2\pi}{\sqrt{3.67g \tanh\left(\frac{3.67}{D/H_w}\right)}} \quad (25)$$

将 $g = 9.81 \text{m/s}^2$ 代入，则：

$$K_s = \frac{1.047}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3.67}{D/H_w}\right)}} \quad (26)$$

根据式(25)可得出表 27。

表 27 油罐模型晃动周期 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 $T_s = K_s D^{1/2}$ 计算值 (s)模型	误差 (%)
50000m ³ 钢罐	3750 × 1210	1029	无	2.43	3.87	9.4	2.31	5
			有	2.30	—	—	2.31	—
3000m ³ 钢罐	2750 × 2380	2023	无	1.785	2.45	4.4	1.71	4
			有	1.739	—	—	1.71	—
塑料 模型罐	400 × 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 $5m \times 5m$ 大型三向振动台上的 $3000m^3$ 及 $50000m^3$ 油罐模型振动试验和天津大学海船系小型塑料模型油罐振动试验结果表明: 虽然油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. 6)计算的结果非常近似, 详见表 27。

D. 3. 7 油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。国内外规范对油罐地震作用均按地震反应谱理论计算。具体方法有:

(1) 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) JIS B 8501 认为, 罐液耦联振动(产生脉冲压力)的基本周期在 $0.1s \sim 0.5s$, 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 $3s \sim 13s$, 是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 $5000m^3$ 的大型油罐, 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:

$$S = \sqrt{\sum_{j=1}^n S_j^2} \quad (27)$$

式(27)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,本规范采用式(D. 3. 7-1)。

式(D. 3. 7-1)中各项系数的确定原则分析如下:

1) 地震影响系数 α 。

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。对于自由搁置的油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 $5m \times 5m$ 的振动台上进行了 $50000m^3$ 和 $3000m^3$ 两个油罐模型振动试验,分别输入 ElCentro 地震波,人工模拟地震波和正弦共振三波。试验综合反映了罐壁多波变形、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 $\beta=2$),因此本规范用刚性壁动液压力作为基准应该乘以 2。因为油罐耦联振动周期为 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 $5T_g$ 短周期部分不再进行阻尼修正。

2) 罐体影响系数 Y_1 。

引入 Y_1 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 倍~10 倍,即动力系数比储液动力系数 $\beta=2$ 大 3 倍~4 倍,使罐体惯性力影响为 4×0.025 ,即可达到动液压力的 10% 左右,故取 Y_1 为 1.10。

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60%~100%的刚性壁动液压力。所以式(D.3.7-1)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

$$C_z = \frac{1}{Y\beta} = \frac{1}{1.1 \times 2.25} = 0.4, \text{ 本规范取 } C_z \text{ 为 } 0.4。$$

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,该方法考虑到油罐及其储液的两种反应形式:罐壁和罐顶加上一部分储液与罐壁一起作一致的运动,通常称为脉冲压力;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 $(\frac{D}{H_w})$ 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:

当充液高度 H_w 和半径的比值小于 $1.5 \left(\frac{D}{H_w} > 1.33 \right)$ 时:

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

当充液高度 H_w 与半径的比值大于 $1.5 \left(\frac{D}{H_w} < 1.33 \right)$ 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:

$$F_r = 1 - 0.218 \frac{D}{H_w} \quad (29)$$

D.3.8 由式(D.3.7-1)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。API 650 采用 Hous-

ner 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。油罐的脉冲动液压力重心对于国内大部分储罐在 $\frac{D}{H_w} < 1$ 时接近于 $0.375 H_w$, JIS B 8501 中将该重心提高到 $0.42 H_w$ 至 $0.46 H_w$ 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, 重心位置距底部为 $0.44 H_w$ 。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, 本规范采用了 $0.45 H_w$ 作为总水平地震作用的合力点高度。

D. 3. 9 Housner 根据理想流体的条件导出了晃动波高 h_v 的公式, 经 Clough 修正后为 $h_v = \alpha_1 R$, 后来美技术情报司 TID7024 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)。

日本标准《钢制焊接油罐结构》JIS B 8501 中规定液面晃动波高为:

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

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

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 。

编制原规范时, 采用势流理论并考虑流体黏性影响后导出液面晃动波高 h_v 为

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

当采用反应谱理论计算波高时, α_1 由加速度反应谱查出。

由于本规范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 28。

表 28 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表明, 随不同土壤而异的阻尼修正系数为 1.7~2.3。

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:

$$h_v = 1.79 \times 0.837 R \alpha_1 = 1.5 R \alpha_1 \quad (34)$$

本次修订将罐内液面晃动波高公式修改为 $h_v = 1.5 \eta \alpha R$, 增加了罐型系数 η 。本规范在计算液面晃动波高时, 对于浮顶油罐, 取 $\bar{\eta} = 0.85$, 对于固定顶油罐, 取 $\eta = 1.0$ 。

现行行业标准《常压立式储罐抗震鉴定技术标准》SY 4064—93在条文说明中指出:“试验结果证明, 在长周期晃动时, 浮顶随液面晃动, 储液的晃动波高在有浮顶时约为无浮顶时的 50%”。所以对有浮顶的油罐, 在计算液面晃动波高时, 取系数 $\eta = 0.85$ 是有试验支持的。当不考虑罐型系数时, 本规范的液面晃动波高计算值和按 API 650 附录 E 计算的重要性为 1 的油罐液面晃动波高值基本一致。

D. 4 锚 固

D. 4. 1 锚固系数的确定, 基本上采用 API 650 附录 E 的规定, 在公式表达形式上进行了修改, 为等效采用。按 API 650 附录 E, $J =$

$\frac{M_{rw}}{D^2[W_i(1-0.4A_v)+W_a]}$, 式中所用符号与本规范式(D.4.1-1)对比: M_{rw} 相当于 M_i , $W_i = F_w$, $W_a = F_L$ 。API 650 附录 E 规定, 垂直地震加速度 $A_v = 0.14S_{DS}$, $0.4A_v = 0.4 \times 0.14S_{DS} = 0.056S_{DS}$, S_{DS} 一般情况下都小于 1.0, 所以 W_i 近似等于 $W_i(1-0.4A_v)$, 而 W_i 又远小于 W_a , $D^2(W_i+W_a)$ 的计算值比 $D^2[W_i(1-0.4A_v)+W_a]$ 的计算值略大, 可近似认为相等; 但 API 650 附录 E 中的 M_{rw} 并不等于 M_i 。所以锚固系数 J 的确定需引入一个不等于 1.0 的系数 μ , $\mu = \frac{M_{rw}}{M_i}$, 即 $J = \frac{\mu M_i}{D^2(F_w + F_L)}$ 。

D.4.2 当 $\frac{D}{H} \geq 1.33$ 时:

本规范地震弯矩表达式为:

$$M_1 = 0.45Q_0H \quad (35)$$

API 650 附录 E 罐壁底部地震弯矩表达式为:

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i(W_iX_i + W_sX_s + W_rX_r)]^2 + [A_c(W_cX_c)]^2} \quad (36)$$

式中: A_i —— 设计脉冲反应谱加速度系数;

W_i —— 参与耦联振动储液的有效重量(N);

X_i —— 参与耦联振动储液水平地震力作用点到罐底上表面距离(m);

W_s —— 罐壁总重(N);

X_s —— 罐壁质量中心至罐底上表面的距离(m);

W_r —— 固定顶油罐的罐顶总重(N);

X_r —— 罐顶质量中心至罐底上表面的距离(m);

A_c —— 设计对流反应谱加速度系数;

W_c —— 储液晃动部分的有效重量(N);

X_c —— 储液晃动部分水平地震力作用点至罐底上表面的距离(m)。

下面对式(35)和式(36)进行分析比较。

(1) 水平地震力的主体, 在式(35)中为 $\frac{Q_0}{Y_1} = C_c \alpha m g$, 在式(36)

中为 $A_i W_i$ 。 $A_i W_i$ 相当于 $C_i \alpha mg$, m 为产生水平地震力储液的等效质量, mg 和 W_i 有相同的含义和相同的确定方法, 但在数值上, $C_i \alpha mg$ 和 $A_i W_i$ 并不相等。

按 API 650 附录 E,

$$A_i = S_{DS} \frac{1}{R_{wi}} \quad (37)$$

$$S_{DS} = Q F_a S_s \quad (38)$$

式中: S_{DS} —— 震动周期为 0.2s 时的设计谱加速度系数;

R_{wi} —— 脉冲地震力折减系数, 按 API 650 附录 E 表 E-4, $R_{wi} = 3.5$;

Q —— 调节系数, 按 API 650 附录 E, 美国以外地区取 $Q = 1.0$;

S_s —— 按 API 650 附录 E. 4. 4, $S_s = 2.5 S_p$; $S_p = 0.2$ 时, $S_s = 0.5$; $S_p = 0.3$ 时, $S_s = 0.75$; $S_p = 0.4$ 时, $S_s = 1.0$;

F_a —— 场地系数, 按 API 650 附录 E. 4. 5 规定, 当场地不确定时, 按 D 类地区考虑: 查 API 650 附录表 E-1: $S_s = 0.5$ 时, $F_a = 1.4$; $S_s = 0.75$ 时, $F_a = 1.2$; $S_s = 1.0$ 时, $F_a = 1.1$ 。

$S_p = 0.2$, $S_p = 0.3$, $S_p = 0.4$ 和设计基本地震加速度 $0.2g$, $0.3g$, $0.4g$ 有相同的含义。

所以,

$$S_s = 0.5 \text{ 时}, S_{DS} = 1 \times 1.4 \times 0.5 = 0.7, A_i = \frac{0.7}{3.5} = 0.2;$$

$$S_s = 0.75 \text{ 时}, S_{DS} = 1 \times 1.2 \times 0.75 = 0.9, A_i = \frac{0.9}{3.5} = 0.257;$$

$$S_s = 1.0 \text{ 时}, S_{DS} = 1 \times 1.1 \times 1.0 = 1.1, A_i = \frac{1.1}{3.5} = 0.314.$$

按本规范:

设计基本地震加速度 (S_p) = 0.2 时, $C_i \alpha mg = 0.4 \times 0.45 \times mg = 0.18mg$, $\frac{0.18mg}{0.2W_i} = 0.9$;

设计基本地震加速度 (S_p) = 0.3 时, $C_z \alpha mg = 0.4 \times 0.675 \times mg = 0.27mg$, $\frac{0.27mg}{0.257W_i} = 1.05$;

设计基本地震加速度 (S_p) = 0.4 时, $C_z \alpha mg = 0.4 \times 0.9 \times mg = 0.36mg$, $\frac{0.36mg}{0.3W_i} = 1.2$ 。

(2) 对于式(36), 由于 A_c 的计算值远小于 A_i , 其根号下后一项提供的地震弯矩, 经计算不会超过按式(36)计算值的 4%; 根号内前一项中的 $W, X_s + W, X_i$ 提供的地震弯矩, 对于拱顶油罐不会超过按式(36)计算值的 4%; 对于浮顶油罐不会超过按式(36)计算值的 3%。即按式(36)计算的地震弯矩, 不会超过 $A_i W_i$ 提供弯矩的 1.04×1.04 倍或 1.04×1.03 倍。

(3) 在式(35)中, 力臂值为 $0.45H$; 在式(36)中, 当 $\frac{D}{H} \geq 1.33$ 时, $X_i = 0.375H$, $\frac{0.45}{0.375} = 1.20$ 。

(4) 在式(35)中, $Q_0 = C_z \alpha Y_1 mg$, 即 $Q_0 = 1.1 C_z \alpha mg$, 系数 1.1 是考虑罐壁和罐顶的自重为 10% 的 mg 。

考虑按式(35)和按式(36)计算的差异后, $\frac{D}{H} \geq 1.33$ 时:

当 $\alpha_{max} = 0.45$ ($S_p = 0.2$) 时,

对于拱顶油罐, $M_1 = \frac{M_{rw} \times 0.9 \times 1.1 \times 1.2}{1.04 \times 1.04}, \mu = 0.91$;

对于浮顶油罐, $M_1 = \frac{M_{rw} \times 0.9 \times 1.1 \times 1.2}{1.04 \times 1.03}, \mu = 0.90$ 。

当 $\alpha_{max} = 0.675$ ($S_p = 0.3$) 时,

对于拱顶油罐, $M_1 = \frac{M_{rw} \times 1.05 \times 1.1 \times 1.2}{1.04 \times 1.04}, \mu = 0.78$;

对于浮顶油罐, $M_1 = \frac{M_{rw} \times 1.05 \times 1.1 \times 1.2}{1.04 \times 1.03}, \mu = 0.77$ 。

当 $\alpha_{max} = 0.9$ ($S_p = 0.4$) 时,

对于拱顶油罐, $M_1 = \frac{M_{rw} \times 1.16 \times 1.1 \times 1.2}{1.04 \times 1.04}, \mu = 0.71$

对于浮顶油罐, $M_1 = \frac{M_{rw} \times 1.16 \times 1.1 \times 1.2}{1.04 \times 1.03}, \mu = 0.70$ 。

由此, 可得出本规范表 D. 4. 2-1 中的弯矩调整系数 μ 。

当 $\frac{D}{H} < 1.33$ 时:

前面已分析过, 当 $\frac{D}{H} \geq 1.33$ 时, 按 API 650 附录 E, $A_i W_i X_i$ 中的

$X_i = 0.375H$; 当 $\frac{D}{H} < 1.33$ 时, $A_i W_i X_i$ 中的 X_i 随 $\frac{D}{H}$ 减小而增大, X_i 增

大, 弯矩相应增大, 按 API 650 附录 E, $X_i = (0.5 - 0.094 \frac{D}{H})H$ 。

当 $\frac{D}{H} = 0.6$ 时, $X_i = (0.5 - 0.094 \times 0.6)H = 0.444H, f =$

$\frac{0.444H}{0.375H} = 1.184$;

当 $\frac{D}{H} = 0.7$ 时, $X_i = (0.5 - 0.094 \times 0.7)H = 0.434H, f =$

$\frac{0.434H}{0.375H} = 1.157$;

当 $\frac{D}{H} = 0.8$ 时, $X_i = (0.5 - 0.094 \times 0.8)H = 0.425H, f =$

$\frac{0.425H}{0.375H} = 1.133$;

当 $\frac{D}{H} = 0.9$ 时, $X_i = (0.5 - 0.094 \times 0.9)H = 0.415H, f =$

$\frac{0.415H}{0.375H} = 1.107$;

当 $\frac{D}{H} = 1.0$ 时, $X_i = (0.5 - 0.094 \times 1.0)H = 0.406H, f =$

$\frac{0.406H}{0.375H} = 1.083$;

当 $\frac{D}{H} = 1.1$ 时, $X_i = (0.5 - 0.094 \times 1.1)H = 0.397H$, $f =$

$$\frac{0.397H}{0.375H} = 1.059;$$

当 $\frac{D}{H} = 1.2$ 时, $X_i = (0.5 - 0.094 \times 1.2)H = 0.387H$, $f =$

$$\frac{0.387H}{0.375H} = 1.032;$$

当 $\frac{D}{H} = 1.3$ 时, $X_i = (0.5 - 0.094 \times 1.3)H = 0.378H$, $f =$

$$\frac{0.378H}{0.375H} = 1.008.$$

f 为表 D. 4. 2-2 中的弯矩增大系数。

D. 5 抗震验算

D. 5. 1 在原规范中, $[\sigma_{cr}] = 0.15E \frac{t}{D}$, 本次修订将公式修改为

$[\sigma_{cr}] = 0.22E \frac{t}{D}$, 0.22 是 0.15 的 1.47 倍。而在日本标准《钢制

焊接油罐结构》JIS B 8501 规范中, 抗震计算取 $[\sigma_{cr}] = \frac{0.5}{1.5}E \frac{t}{D} =$

$0.33E \frac{t}{D}$ 。在 API 650 附录 E 中, 取 $[\sigma_{cr}] = 0.41E \frac{t}{D}$ 。在现行

行业标准《常压立式储罐抗震鉴定技术要求》SY 4046—93 中,

取 $[\sigma_{cr}] = 0.186E \frac{t}{D}$, 是本规范取值的 0.85 倍; 在 JIS B 8501

中, $[\sigma_{cr}]$ 的取值是本规范取值的 1.5 倍; API 650 附录 E 的 $[\sigma_{cr}]$

取值是本规范取值的 1.86 倍。多年来, 按 JIS B 8501 进行抗震

计算, 在工程中未出现过任何问题。近年来, 对于国外工程按 API 650 附录 E 进行过大量的抗震计算也未出现过问题。因

此, 本规范取 $[\sigma_{cr}] = 0.22E \frac{t}{D}$ 是安全的, 与 JIS B 8501、API 650

附录 E 比较, 尚偏保守。

D. 5. 2 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, 故乘以垂直地震影响系数 C_v , 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, 使油罐一侧产生压应力, 应为固定罐的弯曲应力, 但油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的比值。

按式(D. 4. 1-1), $J = \frac{\mu M_1}{D^2(F_w + F_L)}$, $(F_w + F_L)$ 为沿罐壁底部单位长度上的提离抵抗力 (MN/m)。采用 API 650 附录 E 锚固系数表达式后, 地震弯矩为 μM_1 , 所以沿罐壁底部单位长度上的提离抵抗力为 $\frac{\mu M_1}{\frac{\pi}{4} D^2}$ (MN/m)。当 $\frac{\mu M_1}{0.785 D^2 (F_w + F_L)} = 1$ 时, 即

$J = 0.785$ 时, 与罐壁底部相连的底板处于临界状态, 但尚未离开罐基础; 当 $J \leq 0.785$ 时, 底板未翘离; 当 $J \geq 1.54$ 时, 已锚固, 所以在本规范式(D. 5. 2-1)中不存在翘离系数 C_L ; 当 $0.785 < J < 1.54$ 时, 底板边缘已翘离, 存在翘离系数 C_L 。式(D. 5. 2-2)与原规范附录 D 的表达式完全一致。

附录 E 油罐对地基和基础的基本要求

E. 1 一般要求

E. 1. 3 本次修订增加了对油罐基础进行防渗处理的要求,设计中选择的防渗做法应满足环境保护要求。

E. 2 地基

根据国内目前常用的地基处理方法,对原规范中的部分内容进行了修改。

E. 3 罐基础

根据国内目前常用的油罐基础类型和表达方式,对原规范的部分内容和插图进行了修改。

E. 4 罐基础基本尺寸要求

E. 4. 2 对于罐壁处基础顶面的水平度要求,本次修订是以平均标高进行计算,具体数值结合了 API 650 的有关规定,并与现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128 对基础顶面水平度的控制水平保持一致。

E. 4. 5 本次修订增加了油罐内径大于或等于 80m 的基础径向沉降许可值。

附录 F 荷载组合

本附录为新增内容,参照 API 650 附录 R 内容和本规范第 5.2.1 条的荷载内容两部分编制而成。

F. 0.1 根据国内实际情况,将其表 F. 0.1 中第(g)项修改为内浮顶油罐荷载。表中的符号说明内容,来自 API 650 中的第 5.2.1 条,但其中雪压 S_0 指基本雪压。

附录 G 罐壁厚度计算变设计点法

G. 2 罐壁计算

G. 2. 1~G. 2. 4 本附录参照 API 650 第 5. 6. 4 条和附录 K 编制而成。API 650 中第 5. 6. 4. 7 条规定的上圈罐壁最小厚度计算公式为式(39)、(40), 考虑到变设计点法与本规范定设计点法的统一性原则, 将式(39)、式(40)修订为本附录式(G. 2. 4-7)、式(G. 2. 4-8); 不同之处是 $[\sigma]_d$ 、 $[\sigma]_t$ 分别代替 API650 中的 S_d 、 S_t , ρ 代替 G , 增加了焊接接头系数, 计算液位高度代替设计液位高度。同时, 在罐壁厚度计算公式中取消设计条件下的腐蚀裕量, 而在确定设计条件下的最终计算厚度时加上腐蚀裕量。

$$t_{dx} = \frac{4.9D\left(H - \frac{x}{1000}\right)G}{S_d} + CA \quad (39)$$

$$t_{tx} = \frac{4.9D\left(H - \frac{x}{1000}\right)}{S_t} \quad (40)$$

式中: t_{dx} ——在设计条件下, 距该圈罐壁底部距离为 x 的罐壁板计算厚度(mm);

t_{tx} ——在试水条件下, 距该圈罐壁底部距离为 x 的罐壁板计算厚度(mm);

x ——可变设计点距该圈罐壁底部的距离(mm);

D ——油罐内径(m);

H ——设计液位高度(m);

G ——储液相对密度;

CA ——腐蚀裕量(mm);

S_d ——设计温度下钢板的许用应力(MPa);

S_t ——试水条件下钢板的许用应力(MPa)。

算例：

(1)设计数据：油罐内径 D 等于 80.0m, 计算液位高度 H 等于 20.2m, 储液相对密度 ρ 等于 0.88, 厚度附加量 C 等于 1.0mm, 设计温度为 60°C, 其他设计数据应按表 29 取值。

表 29 油罐设计参数表

圈数	板宽 (m)	计算高度 (m)	腐蚀裕量 (mm)	材料	试水条件下 许用应力 (MPa)	设计条件下 许用应力 (MPa)
1	2.42	20.2	1.0	12MnNiVR	294	281
2	2.42	17.78	1.0	12MnNiVR	294	281
3	2.42	15.36	1.0	12MnNiVR	294	281

(2)罐壁厚度计算：

1)底圈罐壁板厚度(t_1)：

设计条件：

$$t_{pd} = \frac{4.9D(H - 0.3)\rho}{[\sigma]_{d\varphi}} = \frac{4.9 \times 80 \times (20.2 - 0.3) \times 0.88}{281 \times 0.85} = 28.74(\text{mm});$$

$$\begin{aligned} t_{1d} &= \left(1.06 - \frac{0.0696D}{H} \sqrt{\frac{H\rho}{[\sigma]_{d\varphi}}} \right) \left(\frac{4.9H\rho D}{[\sigma]_{d\varphi}} \right) \\ &= \left(1.06 - \frac{0.0696 \times 80}{20.2} \sqrt{\frac{20.2 \times 0.88}{281 \times 0.85}} \right) \\ &\quad \left(\frac{4.9 \times 20.2 \times 0.88 \times 80}{281 \times 0.85} \right) \\ &= 28.73(\text{mm}) \end{aligned}$$

所以设计条件下底圈罐壁板的厚度 $t_{1d} = 28.73 + 1.0 = 29.73(\text{mm})$ 。

试水条件：

$$\begin{aligned} t_{pi} &= \frac{4.9D(H - 0.3)}{[\sigma]_{d\varphi}} = \frac{4.9 \times 80 \times (20.2 - 0.3)}{294 \times 0.85} \\ &= 31.22(\text{mm}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{1t} &= \left(1.06 - \frac{0.0696D}{H} \sqrt{\frac{H}{[\sigma]_t \varphi}} \right) \left(\frac{4.9HD}{[\sigma]_t \varphi} \right) \\
 &= \left(1.06 - \frac{0.0696 \times 80}{20.2} \sqrt{\frac{20.2}{294 \times 0.85}} \right) \left(\frac{4.9 \times 20.2 \times 80}{294 \times 0.85} \right) \\
 &= 31.10 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

所以试水条件下底圈罐壁板的厚度 $t_{1t} = 31.10 \text{ mm}$ 。

故取底圈罐壁板名义厚度 $t_{1use} = 32 \text{ (mm)}$ 。

2) 第 2 圈罐壁板厚度 (t_2) :

设计条件:

$$t_1 = 32 - 1 = 31 \text{ (mm)}.$$

$$\text{因为 } \frac{h_1}{(Rt_1)^{0.5}} = \frac{2420}{[40000 \times 31]^{0.5}} = 2.17;$$

所以

$$\begin{aligned}
 t_{2d} &= t_{2a} + (t_1 - t_{2a}) \left[2.1 - \frac{h_1}{1.25(Rt_1)^{0.5}} \right] \\
 &= 22.67 + (31 - 22.67) \times \left[2.1 - \frac{2420}{1.25 \times [40000 \times 31]^{0.5}} \right] \\
 &= 25.68 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

所以设计条件下第 2 圈罐壁板厚度 $t_{2d} = 25.68 + 1.0 = 26.68 \text{ (mm)}$ 。

t_{2a} 值的确定按下列步骤进行:

$$\begin{aligned}
 t_u &= \frac{4.9D(H-0.3)\rho}{[\sigma]_d \varphi} = \frac{4.9 \times 80 \times (17.78 - 0.3) \times 0.88}{281 \times 0.9} \\
 &= 23.84 \text{ (mm)};
 \end{aligned}$$

$$t_L = 31 \text{ mm};$$

$$K = \frac{t_L}{t_u};$$

$$M = \frac{K^{0.5}(K-1)}{1+K^{1.5}};$$

$$x_1 = 0.61 \sqrt{Rt_u} + 320MH;$$

$$x_2 = 1000MH;$$

$$x_3 = 1.22 \sqrt{Rt_u};$$

$$x = \min \{x_1, x_2, x_3\}.$$

3 次试算结果见表 30。

表 30 试算结果一

次	t_u	K	M	x_1	x_2	x_3	x	t_{2d}
1	23.84	1.300	0.138	1380.2	2451.4	1191.4	1191.4	22.63
2	22.63	1.370	0.166	1526.8	2957.8	1160.6	1160.6	22.67
3	22.67	1.368	0.165	1521.6	2939.8	1161.7	1161.7	22.67

试水条件：

$$\text{因为 } \frac{h_1}{(Rt_1)^{0.5}} = \frac{2420}{[40000 \times 32]^{0.5}} = 2.14;$$

所以

$$\begin{aligned} t_2 &= t_{2a} + (t_1 - t_{2a}) \left[2.1 - \frac{h_1}{1.25 (Rt_1)^{0.5}} \right] \\ &= 24.55 + (31 - 22.67) \times \left[2.1 - \frac{2420}{1.25 \times [40000 \times 32]^{0.5}} \right] \\ &= 27.45 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

所以试水条件下第 2 圈罐壁板的厚度 $t_{2t} = 27.45 \text{ mm}$ 。

t_{2a} 值的确定按下列步骤进行：

$$\begin{aligned} t_u &= \frac{4.9 D (H - 0.3)}{[\sigma]_{t_1} \varphi} = \frac{4.9 \times 80 \times (17.78 - 0.3)}{294 \times 0.9} \\ &= 25.90 \text{ (mm)}; \end{aligned}$$

$$t_1 = 32 \text{ mm};$$

$$K = \frac{t_1}{t_u};$$

$$M = \frac{K^{0.5} (K - 1)}{1 + K^{1.5}};$$

$$x_1 = 0.61 \sqrt{Rt_u} + 320MH;$$

$$x_2 = 1000MH;$$

$$x_3 = 1.22 \sqrt{Rt_u};$$

$$x = \min \{x_1, x_2, x_3\}.$$

3 次试算结果见表 31。

表 31 试算结果二

次	t_u	K	M	x_1	x_2	x_3	x	t_{2t}
1	25.90	1.236	0.110	1248.9	1962.6	1241.7	1241.7	24.50
2	24.50	1.306	0.140	1402.3	2495.0	1207.8	1207.8	24.55
3	24.55	1.303	0.139	1396.6	2475.2	1209.0	1209.0	24.55

故取第 2 圈罐壁板名义厚度 $t_{2use} = 28\text{mm}$ 。

3) 第 3 圈罐壁板厚度 (t_3) :

设计条件:

$$t_u = \frac{4.9D(H-0.3)\rho}{[\sigma]_{d\varphi}} = \frac{4.9 \times 80 \times (15.36-0.3) \times 0.88}{281 \times 0.9} \\ = 20.54(\text{mm});$$

$$t_L = 25.68\text{mm};$$

$$K = \frac{t_L}{t_u};$$

$$M = \frac{K^{0.5}(K-1)}{1+K^{1.5}};$$

$$x_1 = 0.61 \sqrt{Rt_u} + 320MH;$$

$$x_2 = 1000MH;$$

$$x_3 = 1.22 \sqrt{Rt_u};$$

$$x = \min \{x_1, x_2, x_3\}.$$

3 次试算结果见表 32。

表 32 试算结果三

次	t_u	K	M	x_1	x_2	x_3	x	t_{3d}
1	20.54	1.250	0.117	1126.1	1791.2	1105.9	1105.9	19.44
2	19.44	1.321	0.146	1257.5	2248.7	1075.9	1075.9	19.48
3	19.48	1.318	0.145	1252.5	2231.2	1077.0	1077.0	19.48

所以设计条件下第 3 圈罐壁板的厚度 $t_{3d} = 19.48 + 1.0 = 20.48(\text{mm})$ 。

试水条件：

$$t_u = \frac{4.9D(H-0.3)}{[\sigma], \varphi}$$

$$= \frac{4.9 \times 80 \times (15.36 - 0.3)}{294 \times 0.9} = 22.31(\text{mm});$$

$$t_L = 27.45\text{mm};$$

$$K = \frac{t_L}{t_u};$$

$$M = \frac{K^{0.5}(K-1)}{1+K^{1.5}};$$

$$x_1 = 0.61 \sqrt{Rt_u} + 320MH;$$

$$x_2 = 1000MH;$$

$$x_3 = 1.22 \sqrt{Rt_u};$$

$$x = \min \{x_1, x_2, x_3\}.$$

3 次试算结果见表 33。

表 33 试算结果四

次	t_u	K	M	x_1	x_2	x_3	x	t_{3t}
1	22.31	1.230	0.108	1107.0	1658.4	1152.5	1107.0	21.12
2	21.12	1.300	0.138	1237.5	2495.0	1121.2	1121.2	21.09
3	21.09	1.301	0.138	1239.9	2475.2	1120.7	1120.7	21.10

所以试水条件下第 3 圈罐壁板厚度 $t_{3t} = 21.10\text{mm}$ 。

故取第 3 圈罐壁板名义厚度 $t_{3use} = 22\text{mm}$ 。

附录 H 带肋球壳拱顶计算

H. 1 一般规定

H. 1.1 对于更大直径的拱顶宜采用单层球面网壳结构, 详见本规范第 7.5 节的条文说明。

H. 2 许用外荷载

H. 2.1 带肋球壳拱顶用于钢制油罐始于 20 世纪 60 年代, 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。

S/N:1580242·492



9 158024 249200 >



统一书号：1580242·492

定 价：47.00 元