UDC
P

中华人民共和国行业标准 HG

HG/T 20696－1999

玻璃钢化工设备设计规定

Specification of FRP Equipment Design for Chemical Industry

1999－12－10 发布　　2000－04－01 实施

国家石油和化学工业局 发布

国家石油和化学工业局文件

国石化政发(1999)517号

关于批准《不锈钢人、手孔分类与技术条件》等25项化工行业标准的通知

中国化工勘察设计协会：

你协会报批的《不锈钢人、手孔分类与技术条件》等25项化工行业标准草案，业经我局批准，现予发布。标准名称、编号为：

强制性标准

标准编号	标准名称
HG 21594－1999	不锈钢人、手孔分类与技术条件（代替HGJ 503－86）
HG 21595－1999	常压不锈钢人孔（代替 HGJ 504－86）
HG 21596－1999	回转盖不锈钢人孔（代替 HGJ 505－86）
HG 21597－1999	回转拱盖快开不锈钢人孔（代替HGJ 506－86）
HG 21598－1999	水平吊盖不锈钢人孔（代替 HGJ 507－86）
HG 21599－1999	垂直吊盖不锈钢人孔（代替 HGJ 508－86）
HG 21600－1999	椭圆快开不锈钢人孔（代替 HGJ 509－86）
HG 21601－1999	常压快开不锈钢手孔（代替 HGJ 510－86）
HG 21602－1999	平盖不锈钢手孔（代替 HGJ 511－86）

HG 21603－1999	回转盖快开不锈钢手孔(代替 HGJ 512－86)
HG 21604－1999	旋柄快开不锈钢手孔(代替 HGJ 513－86)

推荐性标准

HG/T 20579.1－1999	工艺装置模型设计规定(代替 CD 43A1－86)
HG/T 20579.2－1999	工艺装置管道模型质量验收标准
HG/T 20579.3－1999	模型设计成品包装运输技术规定
HG/T 20661－1999	硫酸沸腾炉砌筑技术条件
HG/T 20662－1999	化工粉体物料机械输送设计技术规定
HG/T 20663－1999	化工粉粒产品计量、包装及码垛系统设计规定
HG/T 20664－1999	化工企业供电设计技术规定(代替 CD 90A5－85)
HG/T 20665－1999	化工建、构筑物抗震设防分类标准
HG/T 22814－1999	化工矿山井巷工程设计规范
HG/T 20666－1999	化工企业腐蚀环境电力设计规程(代替 CD 90A6－85)
HG/T 20646－1999	化工装置管道材料设计规定
HG/T 21629－1999	管架标准图(代替 HGJ 524－91)
HG/T 20696－1999	玻璃钢化工设备设计规定

以上标准自 2000 年 4 月 1 日起实施，被代替的标准同时废止。

国家石油和化学工业局

一九九九年十二月十日

中国化工勘察设计协会

中化勘设协字〔2000〕023 号

关于委托编辑出版发行化工行业标准的通知

全国化工工程建设标准编辑中心：

国家石油和化学工业局关于批准《不锈钢人、手孔分类与技术条件》等 25 项化工行业标准的通知〔国石化政发(1999)517 号〕中批准我协会组织编制的 25 项化工行业标准(批件另附)。经研究，此 25 项化工行业标准委托你中心负责编辑出版发行工作。

附件：关于批准《不锈钢人、手孔分类与技术条件》等 25 项化工行业标准的通知。

中国化工勘察设计协会

二〇〇〇年一月三十一日

中华人民共和国行业标准

玻璃钢化工设备设计规定

Specification of FRP Equipment Design for Chemical Industry

HG/T 20696－1999

主编单位:中国五环化学工程公司
批准部门:国家石油和化学工业局
实施日期:二〇〇〇年四月一日

全国化工工程建设标准编辑中心
(原化工部工程建设标准编辑中心)
2000 北 京

前　言

根据原化工部建设协调司的计划安排，由全国化工设备设计技术中心站组织，中国五环化学工程公司编制的《玻璃钢化工设备设计规定》(HG/T 20696－1999)，经多次征求意见，在参照国外有关标准的基础上，经国家石油和化学工业局批准为化工行业设计标准，供设计部门使用。

本规定对玻璃钢化工设备的适用范围、材料要求、结构设计、设计计算、检验要求等内容均作了具体规定，另有附录及编制说明。

本规定的附录是本规定的参考件。

本规定由中国五环化学工程公司编制，编制人：王荣贵、薛建设、黄耕、杨振奎、姚佩贤。

本规定中不完善之处将在今后实践中进一步修订补充，具体问题可与全国化工设备设计技术中心站联系。

目　　次

1　总　论 …… (1)
1.1　概述 …… (1)
1.2　适用范围 …… (1)
1.3　不适用范围 …… (1)
1.4　设计压力 …… (2)
1.5　设计温度 …… (2)
1.6　引用标准 …… (2)
1.7　定义 …… (3)
1.8　载荷 …… (4)
1.9　厚度 …… (4)
1.10　安全系数 …… (5)
1.11　压力试验 …… (6)
2　材　料 …… (7)
2.1　原材料要求 …… (7)
2.2　玻璃纤维及织物 …… (7)
2.3　热固性树脂 …… (8)
2.4　不饱和聚酯树脂常用的固化剂 …… (10)
2.5　玻璃钢制品的力学性能 …… (11)
3　结　构 …… (13)
3.1　玻璃钢壳壁结构 …… (13)
3.2　支座设计 …… (13)
3.3　玻璃钢储罐连接 …… (19)
3.4　开孔补强 …… (22)
3.5　加强圈的设计 …… (23)
3.6　罐底转角设计 …… (24)
3.7　接管结构设计 …… (24)
3.8　人孔结构设计 …… (29)

3.9 不可拆卸的连接 …… (30)
3.10 可拆卸的连接 …… (32)
4 计 算 …… (34)
4.1 内压圆筒 …… (34)
4.2 内压球壳 …… (34)
4.3 内压封头 …… (35)
4.4 内压锥形壳体 …… (36)
4.5 开孔补强 …… (39)
4.6 外压圆筒和球壳设计 …… (41)
4.7 外压圆筒加强圈设计 …… (44)
4.8 外压碟形封头设计 …… (47)
4.9 外压锥形封头设计 …… (48)
4.10 法兰计算 …… (48)
4.11 平封头及螺栓连接 …… (49)
4.12 平封头、盖或盲法兰上开孔计算 …… (52)
4.13 卧式容器设计 …… (52)
4.14 立式储罐设计 …… (54)
5 检验要求 …… (62)
5.1 外观要求 …… (62)
5.2 厚度检查 …… (62)
5.3 树脂固化度检查 …… (63)
5.4 树脂含量检查 …… (63)
5.5 制品机械性能检查 …… (63)
5.6 制品尺寸检查 …… (64)
5.7 盛水试验 …… (64)
5.8 水压试验 …… (64)
附录 A 耐腐蚀不饱和聚酯树脂的耐腐蚀性能 …… (66)
条文说明 …… (71)

1 总　论

1.1 概　述

本设计规定所叙述的玻璃钢化工设备(或称玻璃纤维增强塑料化工设备)系指以热固性树脂为基体材料,玻璃纤维为增强材料复合而成的整体耐腐蚀玻璃钢化工设备。

1.2 适用范围

本设计规定适用于机械缠绕成型工艺制作的非移动的整体耐腐蚀玻璃钢化工设备。

1.3 不适用范围

直接火焰加热的设备;

盛装极度危害介质的设备*;

传导热的设备(如带夹套的反应釜等);

专用化工设备(如槽车、电除尘器等)。

---

* 极度危害的介质分类应按 HG 20660－1991《压力容器中化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类》标准规定。

1.4 设计压力

本设计规定设计压力不大于 0.6MPa，外压设计压力不大于 0.1MPa。

真空设备按外压容器设计，其设计压力为 0.1MPa。

1.5 设计温度

本设计规定设计温度范围一般为：

通用型不饱和聚酯玻璃钢	−40～+60℃
双酚 A 型不饱和聚酯玻璃钢	−40～+100℃
乙烯基酯不饱和聚酯玻璃钢	−40～+120℃
环氧玻璃钢	−40～+90℃

各种类型、不同牌号树脂的耐蚀性及耐温性均不同，设计时应根据腐蚀介质的种类及使用条件，选择相应的树脂、辅料及玻璃纤维，制定合理的施工工艺，制作耐腐蚀玻璃钢化工设备。

耐腐蚀玻璃钢化工设备在易燃、易爆的条件下使用时，应慎重、合理地选择相应的树脂配方及工艺，并应制作小样试件，检验有关指标，合格后才可正式制作。

1.6 引用标准

JC 277	《无碱无捻玻璃纤维纱》
JC 278	《中碱无捻玻璃纤维纱》
JC 281	《无碱无捻玻璃纤维布》
JC 286	《玻璃纤维制品代号命名方法总则》
GB 1446	《纤维增强塑料性能试验方法总则》

GB 1447　《玻璃纤维增强塑料拉伸性能试验方法》
GB 1448　《玻璃纤维增强塑料压缩性能试验方法》
GB 1449　《玻璃纤维增强塑料弯曲性能试验方法》
GB 1450.1　《玻璃纤维增强塑料层间剪切强度试验》
GB 1450.2　《玻璃纤维增强塑料冲压式剪切强度试验方法》
GB 1451　《玻璃纤维增强塑料简支梁式冲击韧性试验方法》
GB 1458　《纤维缠绕玻璃钢环形试样拉伸试验方法》
GB 1461　《纤维缠绕玻璃钢环形试样剪切试验方法》
GB 2576　《纤维增强塑料树脂不可溶分含量试验方法》
GB 2577　《玻璃钢树脂含量试验方法》
GB 3854　《纤维增强塑料巴氏(巴柯尔)硬度试验方法》
GB 3857　《玻璃纤维增强热固性塑料耐化学药品性能试验方法》
GB 6058　《纤维缠绕压力容器制备和内压试验方法》
GB 8237　《玻璃纤维增强塑料(玻璃钢)用液体不饱和聚酯树脂》
GB 13657　《双酚－A 型环氧树脂》

1.7 定　义

1.7.1 压力

除注明者外,压力系指表压力。

1.7.2 最大工作压力

最大工作压力系指在正常操作情况下,容器顶部可能出现的最高压力。

1.7.3 设计压力

设计压力系指在相应设计温度下用以确定受压元件厚度的压力,其值不得小于最大工作压力。对盛装液体的容器,其各个部位的

设计压力为最大工作压力和该部位液柱静压力之和。

外压容器应取不小于在正常工作过程中任何时间内可能产生的最大内外压力差，且不大于0.1MPa。

真空设备按外压容器设计，其设计压力为0.1MPa。

1.7.4 玻璃钢温度

玻璃钢温度系指容器受压元件沿截面厚度的平均温度。

在任何情况下，玻璃钢元件的表面温度不得超过玻璃钢材料的允许使用温度。

1.7.5 设计温度

设计温度系指玻璃钢设备在正常操作情况和在相应设计压力下设定的受压元件的玻璃钢温度，其值不得低于玻璃钢元件可能达到的最高温度。

容器的设计温度是指玻璃钢壳壁的设计温度。

1.8 载 荷

设计时应考虑以下载荷：

1.8.1 设计内压力或设计外压力。

1.8.2 工作条件下液体静压头压力。

1.8.3 设备在液压试验时液体静压头压力。

1.8.4 风载荷、地震载荷和顶部载荷(包括雪载荷、人载荷、顶盖、保温材料)。

1.8.5 支座、支脚或其它部件引起的反作用力和局部应力。

1.8.6 容器运输或吊装时承受的载荷。

1.9 厚 度

1.9.1 计算厚度 δ

计算厚度系指按各公式计算得到的厚度。

1.9.2 厚度附加量

考虑制造中产生的厚度不均匀度及设备吊装、运输等刚度的要求。

当计算厚度小于 5mm 时，厚度附加量为 3mm；当计算厚度大于或等于 5mm 小于 10mm 时，厚度附加量为 2mm；当计算厚度大于或等于 10mm 小于 15mm 时，厚度附加量为 1mm；当计算厚度大于或等于 15mm 时，不需要厚度附加量。

1.9.3 设计厚度 δ_D

设计厚度系指计算厚度、厚度附加量及内层和外层之和。

1.9.4 名义厚度

名义厚度系指设计厚度向上圆整至某整数的厚度，即是图样上注明的厚度。

1.9.5 有效厚度

有效厚度系指名义厚度减去内层和外层厚度。

1.10 安全系数

1.10.1 机械缠绕玻璃钢设备的安全系数取 $n \geqslant 10$。

1.10.2 材料许用应变值

对于玻璃钢储罐应限制罐壁的应变值，其材料许用应变值$[\epsilon] \leqslant 0.1\%$。

1.10.3 稳定安全系数

对于受外压的圆筒，其稳定安全系数 $m \geqslant 5$；对于受外压的凸形封头，其稳定安全系数 $m \geqslant 15$。

1.11 压力试验

1.11.1 设备制成后应以1.5倍设计压力进行水压试验，对仅受液体静压力的设备只进行盛水试漏。

1.11.2 外压容器和真空容器以内压进行压力试验，试验压力 P_T 按下式(1－1)确定。

$$P_T = \begin{cases} 1.5P \quad \text{MPa} \\ P + 0.1 \quad \text{MPa} \end{cases} \tag{1-1}$$

取两者中较大值，P 为设计压力。

2 材　　料

2.1 原材料要求

选用原材料时应考虑腐蚀介质的组成及浓度、使用压力、使用温度等工艺条件，以及外界环境因素和现场施工条件等诸因素。同时，各项技术指标应符合有关标准或规定。验收时应具有质量合格证或相应的检验指标资料，必要时应予复验或抽验。

2.2 玻璃纤维及织物

2.2.1 耐腐蚀玻璃钢制品所采用的玻璃纤维为无碱纤维、中碱纤维。玻璃纤维物理机械性能应符合表 2.2.1 的规定，玻璃纤维织物的技术指标应符合有关标准。

表 2.2.1 玻璃纤维的物理机械性能

项　目	指　标
密度(g/cm^3)	2.40～2.70
比热(kJ/kg·K)	0.8
导热系数(W/m·K)	1
线膨胀系数($[℃]^{-1}$)	4.80×10^{-6}
拉伸强度(MPa)	$(1.08\sim1.67)\times10^{3}$
弹性模量(MPa)	$(0.30\sim0.70)\times10^{5}$
伸长率(%)	3～5

2.2.2 凡直接与腐蚀介质接触的耐蚀富树脂层应选用中碱玻璃纤维表面毡和短切玻璃纤维毡，其技术指标应符合表 2.2.2 的规定。

表 2.2.2 玻璃纤维表面毡的物理机械性能

项目	单位	指标					
		SH－30	SH－40	SH－50	SH－60	CR－30	CR－50
单丝直径	μm	9～13	9～13	9～13	9～13	9～13	9～13
单重	g/m^2	30±5	40±5	50±5	60±5	30±5	50±5
抗拉强度	N/50mm	≥15	≥20	≥25	≥30	≥10	≥20
有机物含量	%	6～12	6～12	6～12	6～12	6～12	6～12
含水率	%	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.9	≤0.9
浸透时间（两层）	s	≤16	≤25	≤30	≤35	≤10	≤17

注：型号：SH－30、SH－40、SH－50、SH－60，幅宽均为 630±10、1030±10；卷径均为 420±20、500±50(mm)。适用于手糊法。

型号：CR－30、CR－50，幅宽均为 50～1000；卷径均为 420±20、500±50(mm)。适用于缠绕法。

2.3 热固性树脂

2.3.1 本规定适用的热固性树脂是指不饱和聚酯树脂及环氧树脂。

2.3.2 不饱和聚酯树脂的技术指标应符合 GB 8237《玻璃纤维增强塑料(玻璃钢)用液体不饱和聚酯树脂》标准，常用的不饱和聚酯树脂主要性能见表 2.3.2－1。

环氧树脂的技术指标应符合 GB 13657《双酚－A 型环氧树脂》标准，常用的双酚－A 型环氧树脂技术指标见表 2.3.2－2。

表 2.3.2－1　常用不饱和聚酯树脂的主要性能

树脂牌号		技术指标			性能	用途
		酸值	粘度	凝胶时间		
通用型	307	40～50	50～180 (Pa·s)	4.5～10min	耐水、刚性	适用于一般要求
	3193	＜40		聚合时间 50～80s	韧性	良好的耐冲击、耐水性及优良的电性能
耐热型	199	21～29	0.6(Pa·s) (25℃)	11～21min	耐热、刚性	耐热性好
*耐化学腐蚀型	323、197 (双酚 A 类)	9～17	0.4～1.05 (Pa·s) (25℃)	15～25min	耐化学介质	耐腐蚀性好
	3301 (双酚 A 类)	13～23	0.27～0.57 (Pa·s)	6～12min	耐化学介质	耐腐蚀性好
	3201、3202、YX 型 (乙烯基酯类)	＜5	0.4～0.9 (Pa·s)	≤120min	耐化学介质 韧性	耐腐蚀性好，耐热性好，韧性好
	W2－1 (乙烯基酯类)	＜25	0.09～0.30 (Pa·s) (25℃)	60min	耐化学介质 耐热	耐腐蚀性好，耐热性最好
	MFE－2 (乙烯基酯类)	＜30	0.1～0.55 (Pa·s) (25℃)	15～48min	耐化学介质 耐热	耐腐蚀性好，耐热性好
耐燃型	7901 (反应型)	＜20		4.5～10min	自熄性	自熄性好
	302 (反应型)	20～28		17min	自熄性	自熄性好

* 耐化学腐蚀型树脂国外相应牌号有 DERAKANE(Dow 公司)，Atlac(DSM 公司)。

表 2.3.2－2　常用双酚－A 型环氧树脂技术指标

序号	型号 / 等级 / 检验项目	EP 01441－310 (618)			EP 01451－310 (6101)			EP 01551－310 (634)		
		优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品
1	外观	无明显的机械杂质								
2	环氧当量 g/Eq	184～194	184～200	184～210	210～230	210～240	210～250	230～270	230～280	230～290
3	粘度 (25℃) Pa·s	11～14	7～20	6～26	—			—		
4	软化点,℃	—			12～20			21～27		
5	色度,号≤	1	3	5	1	4	8	1	4	8
6	无机氯含量,ppm ≤	50	180	300	50	180	300	50	100	300
7	易皂化氯含量,% ≤	0.10	0.30	0.70	0.10	0.30	0.50	0.10	0.30	0.50
8	挥发分 (110℃, 3h),% ≤	0.2	1.0	1.8	0.3	0.6	1.0	0.3	0.6	1.0

注:摘自 GB 13657－92。

2.4　不饱和聚酯树脂常用的固化剂

不饱和聚酯树酯的固化需加入引发剂和促进剂,常用的引发剂

和促进剂分别见表2.4－1、表2.4－2。

表2.4－1　常用引发剂的种类及特点

种　　类	组　　成	用量（重量比%）	固化条件	备注
1#引发剂（催化剂糊B）	过氧化苯甲酰的糊状分散液	2～3	100～140℃ 1～10min	
2#引发剂（催化剂糊H）	过氧化环已酮的糊状分散液	4	冷固化	
3#引发剂（催化剂糊M）	过氧化甲乙酮溶液	2	冷固化	常用

表2.4－2　常用促进剂的种类及特点

种　　类	组　　成	用量（重量比%）	适用条件
1#促进剂（促进剂D）	二甲基苯胺（淡黄透明液体）	1～4	与1#引发剂配合使用，快速冷固化
2#促进剂（促进剂E）	含8%～10%萘酸钴的苯乙烯溶液（紫兰色液体）	1～2.5	与2#、3#引发剂配合使用，冷固化

注：严禁同时加入引发剂和促进剂，以免引起爆炸。

2.5　玻璃钢制品的力学性能

2.5.1　缠绕玻璃钢制品的力学性能数值可参见表2.5.1。

2.5.2　玻璃钢制品成型在制作零部件及接管连接附件时可采用手糊法工艺。

手糊玻璃钢板的最低力学性能保证值应符合表2.5.2规定。

手糊玻璃钢板的表面硬度用GB 3854《纤维增强塑料巴氏硬度

试验方法》做试验时，必须达到规定巴氏硬度最小值的90%。

表 2.5.1 缠绕玻璃钢制品的力学性能数值

项　　目	数　值
比重	1.8～2.0
泊桑系数	～0.3
巴氏硬度	≥40
断裂伸长率(%)	≥0.8
环向拉伸强度(MPa)	120～180
轴向拉伸强度(MPa)	45～60
环向弯曲强度(MPa)	≥250
抗压强度(MPa)	118～245
环向弹性模量(MPa)	$1.41\sim2.45\times10^4$
轴向弹性模量(MPa)	$1.09\sim1.27\times10^4$
剪切模量(MPa)	0.69×10^4

注：上述数据仅供参考。

表 2.5.2 手糊玻璃钢板的最低力学性能保证值

板厚(mm)	拉伸强度 (MPa)	弯曲强度 (MPa)	弯曲弹性模量 (MPa)
3.5～5.0	≥63	≥110	$\geq4.8\times10^3$
5.1～6.5	≥84	≥130	$\geq5.5\times10^3$
6.6～10	≥95	≥140	$\geq6.2\times10^3$
>10	≥110	≥150	$\geq6.86\times10^3$

注：此板是指包括耐腐蚀层(1.2～2.5mm)和增强层的玻璃钢板。

试验条件：温度20℃、湿度65%。

3 结　　构

3.1 玻璃钢壳壁结构

3.1.1 玻璃钢化工容器适用于耐腐蚀介质，其壳壁由三层组成：

内层：由富树脂层及中间层组成。富树脂层常用玻璃纤维表面毡，树脂含量应大于90%，厚度约0.5mm。中间层常用短切玻璃纤维毡，树脂含量为70%～80%，厚度约2mm。

结构层：即增强层，采用无捻玻璃纤维粗纱，玻璃织物（或短切纤维毡）增强，承受载荷和保护内层，它的厚度按载荷条件计算确定。树脂含量为35±5%。

外层：主要是保护外壁不受外界机械损伤和防紫外线作用，采用玻璃纤维表面毡增强，有时也可采用0.1～0.2mm薄玻璃带增强，厚度约1.5mm，树脂含量应大于90%。

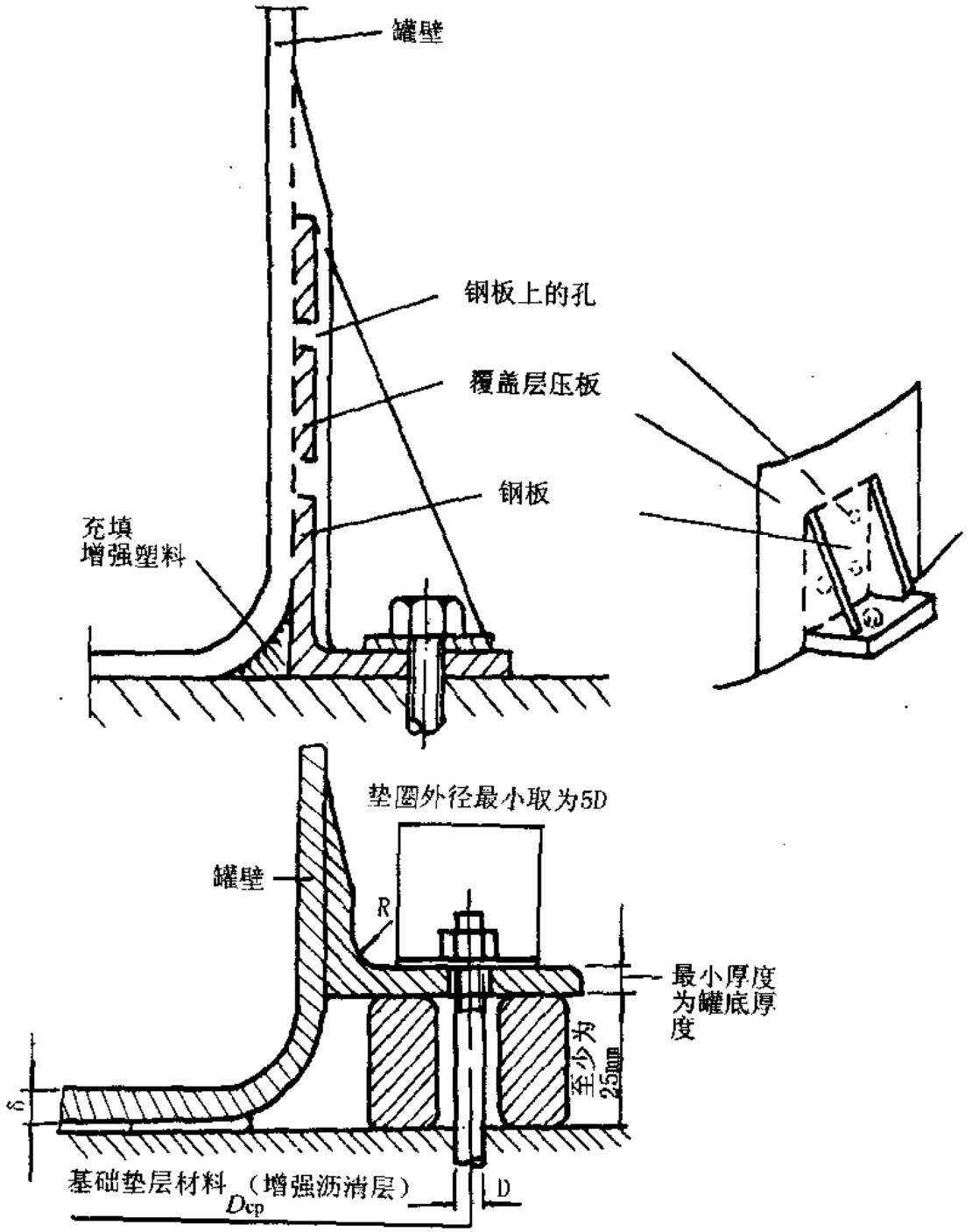
3.2 支座设计

3.2.1 平底立式储罐的锚固

安装在室外使用的储罐及遭受风载、地震或动载荷的各类平底储罐，其底部锚固方式见图3.2.1。

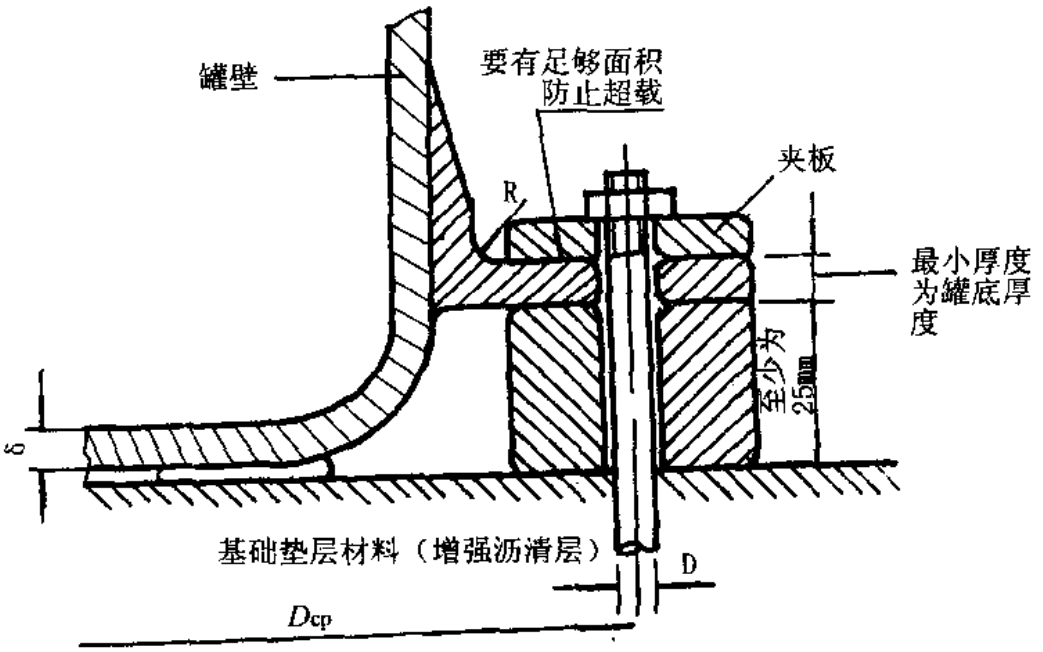
储罐的基础垫层材料可采用沥青、砂铺层，铺层厚度为25～30mm。

按图3.2.1所示锚固形式设计选用螺栓时应考虑以下因素：



(a)螺栓锚固

图 3.2.1　平底储罐的典型锚固形式(突缘或圈座)



(b)压紧锚固

图 3.2.1 （续）

(1)静水压、内压；

(2)风的倾覆力；

(3)地震力，但不与(2)同时考虑；

(4)储罐筒体、罐顶及附件重量；

(5)试验压力。

锚固螺栓尺寸及数量的确定：

每一个螺栓最大总拉力 Q，N

$$Q=\frac{0.4M}{D_{cp}\cdot n}+\frac{F}{n}-\frac{G\cdot g}{n} \qquad (3-1)$$

应力为：

$$\sigma_{栓}=\frac{Q}{100f}\leqslant[\sigma] \tag{3-2}$$

式中 M——总的倾覆力矩，N·m；取地震弯矩计算值；

D_{cp}——螺栓分布圆直径，cm；

F——升举力，N

$$F=P\cdot\frac{\pi D_i^2}{4}$$

P——罐顶内压，MPa；

D_i——储罐内径，mm；

n——螺栓个数，个数应为 4 的倍数，且其沿弧长间距不得超过 1500mm；

G——储罐的最小质量，kg；

f——每个螺栓的截面积，mm^2

$$f=\frac{\pi d^2}{4}\qquad mm^2$$

g——重力加速度，$9.81m/s^2$；

d——螺栓的根径，mm；

$[\sigma]$——螺栓材料的许用应力，MPa。可按 GB 150《钢制压力容器》中选取。

$\sigma_{拉}$——螺栓计算应力，MPa。

3.2.2 碟形底立式储罐悬挂式支座

当储罐通过建筑物的楼板或者通过具有环状托架或牛腿的结构支承时，其支座型式见图 3.2.2。这种支承方式支承部位应当加强。同时，为了避免过大的弯曲载荷，应使支承构件与罐壁的距离尽可能小。

3.2.3 碟形底立式储罐支承式支座，底部支承的支承式支座见图 3.2.3，环状托架或支脚的支承面积应足够大，以保证支座和环托架

之间的层板不产生过大的压缩载荷，同时，应校核倾覆力矩及确定相应地脚螺栓。

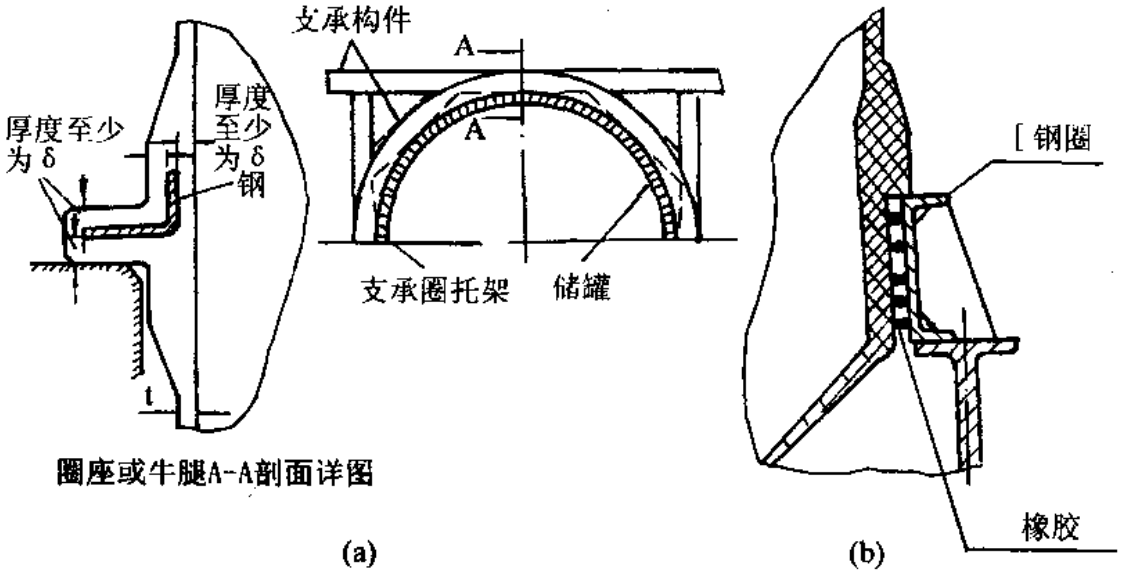


图 3.2.2　悬挂式支座

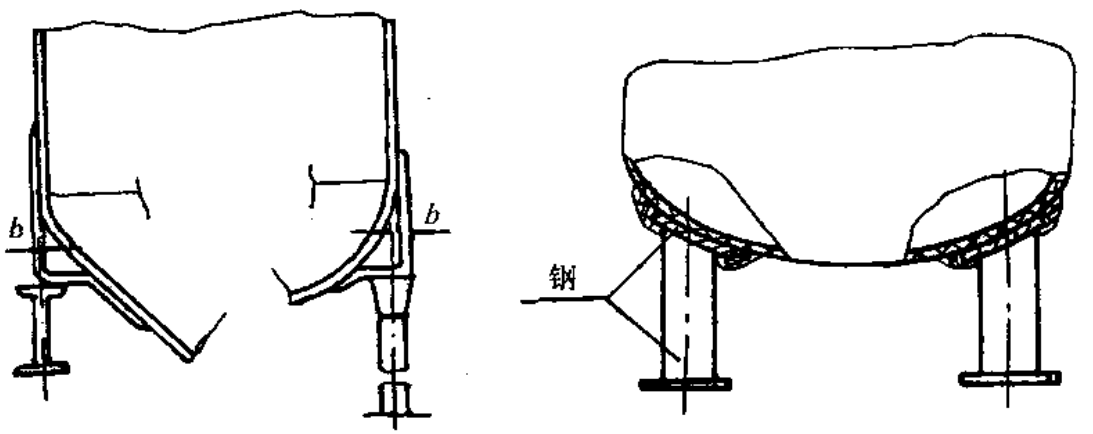


图 3.2.3　支承式支座

注：为减少壳体由支座集中载荷所产生的局部弯曲应力，b 值应尽量小。

3.2.4　碟形底立式储罐裙式支座

裙式支座的型式见图 3.2.4，裙式支座上开孔需补强，以保证储罐的稳定，图中裙式支座需经计算确定其铺层结构，另外，裙式支座与罐体的胶结长度也需由计算确定。

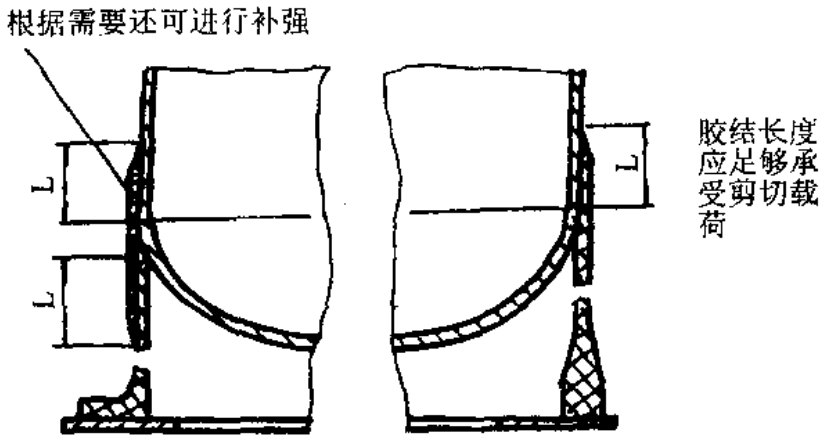


图 3.2.4　裙式支座

3.2.5　碟形底立式储罐碟形封头支座

碟形底立式储罐碟形封头支座见图 3.2.5，支承在钢制碟形封头内，可承载较重的玻璃钢设备。

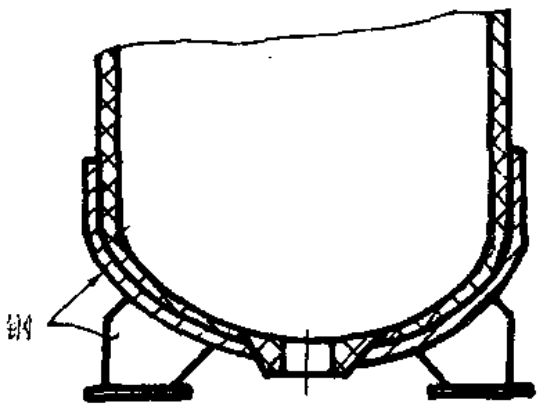


图 3.2.5　碟形封头支座

3.2.6　卧式玻璃钢设备支座

卧式玻璃钢设备支座多采用鞍式支座。鞍式支座由钢板制成。鞍座是由垫板、腹板、肋板和底板构成。垫板的作用是改善壳体局部受力情况。通过垫板鞍座接受储罐载荷，钢制鞍座垫板处需衬橡胶

板。鞍座的包角 $\theta \geqslant 120°$，见图 3.2.6。

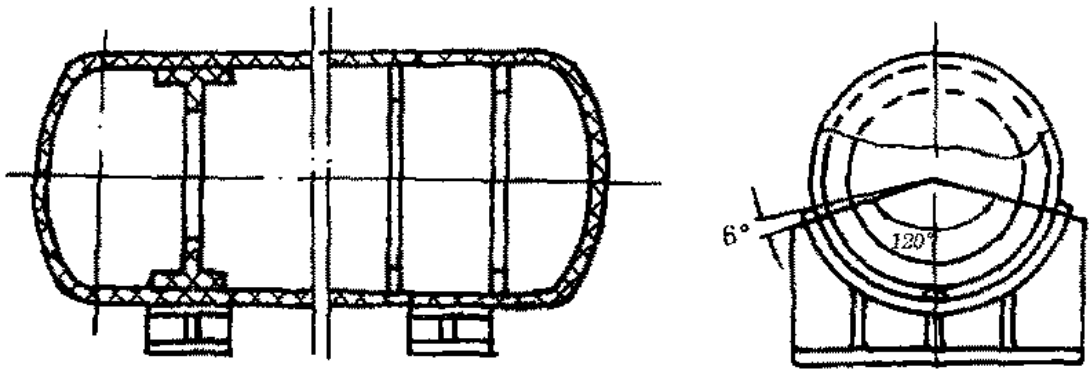
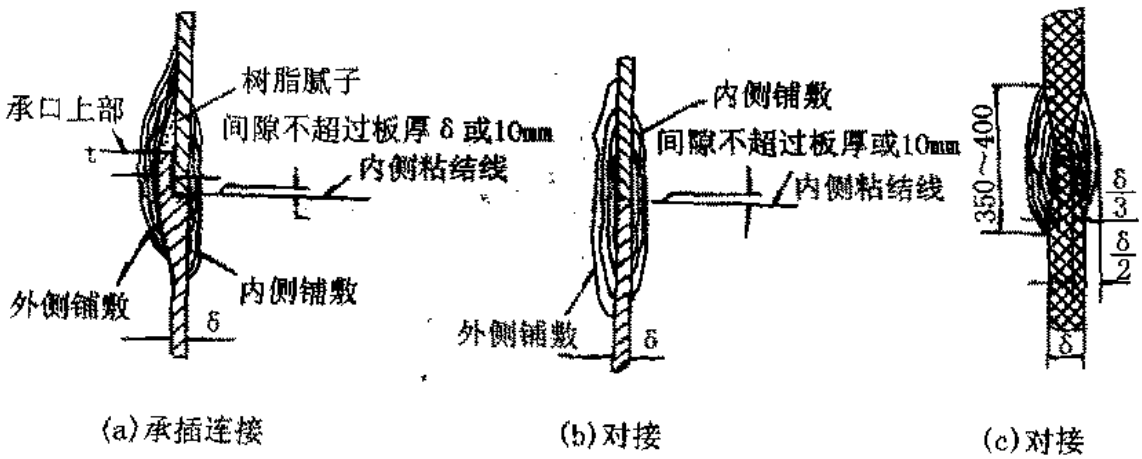


图 3.2.6　卧式支座

3.3　玻璃钢储罐连接

3.3.1　玻璃钢储罐的封头与筒体间以及筒体间的连接形式，可采用承插连接或对接连接。见图 3.3.1。



(a)承插连接　　(b)对接　　(c)对接

图 3.3.1　连接形式

3.3.2 现场组装大型储罐的封头与筒体间，筒体间的环向连接，或者半圆筒体间的纵向连接，采用耐蚀螺栓连接，螺栓间距一般为200～250mm，其结构分别见图3.3.2－1～图3.3.2－3。

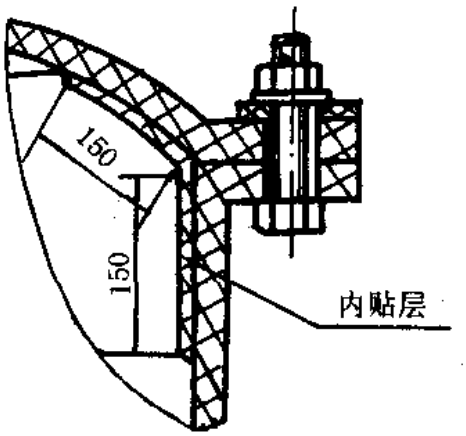


图3.3.2－1 封头与筒体间连接

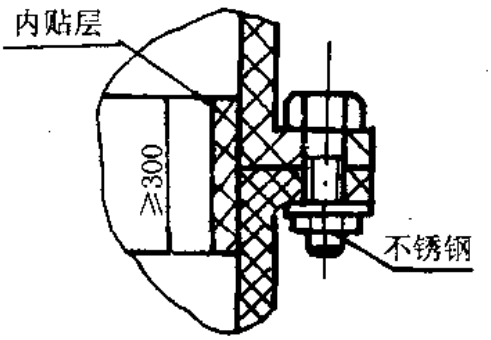


图3.3.2－2 筒体间连接

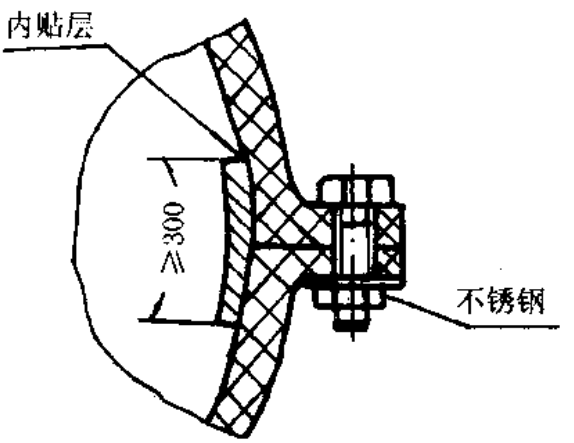


图3.3.2－3 半圆筒体间连接

3.3.3 连接厚度的确定

当连接储罐直壳环向部分，或封头与壳体连接采用粘接铺设时，则结构连接接头包覆层的厚度按下式计算。

$$\delta = \frac{(P + \gamma g H) D_i}{2000[\sigma]} \quad \text{mm} \tag{3-3}$$

式中 $[\sigma]$——连接用玻璃钢的许用应力，MPa

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{n} \tag{3-4}$$

σ_B——玻璃钢材料在设计温度下环向的抗拉强度，MPa；

P——设计压力，MPa；

H——由液面顶点到接头的距离，cm；

D_i——壳体内径，m；

g——重力加速度，9.81m/s^2；

γ——储液密度，kg/m^3，如 $\gamma < 1000$kg/m^3，取 $\gamma = 1000$ kg/m^3；

n——安全系数。

选用的接头包覆层厚度应不小于计算壁厚，且不小于 5mm。

3.3.4 连接宽度的确定

储罐底部连接接头铺敷的最小宽度见表 3.3.4。

表 3.3.4 接头铺敷的最小宽度

$H \times D_i$(m^2)	5.5	9	13	16	20	24
A(mm)	105	105	130	155	180	205
$H \times D_i$(m^2)	27	31	35	39	42	46
A(mm)	229	254	279	305	330	356

表中 H——由液面顶点至接头的距离，m；

D_i——储罐内径，m；

A——包覆层的最小宽度。

3.3.5 可拆卸连接采用法兰螺栓连接，对有压力的容器，采用高颈法兰螺栓连接，连接的结构可按图 3.3.5。

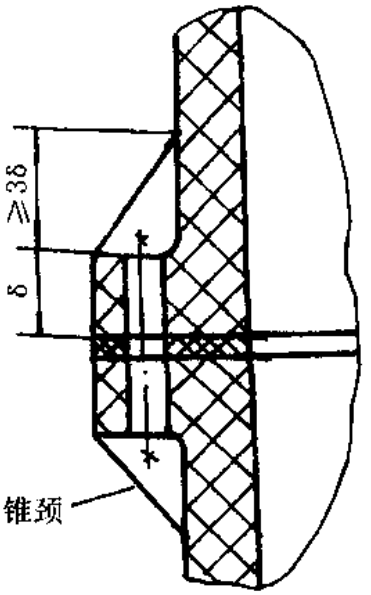
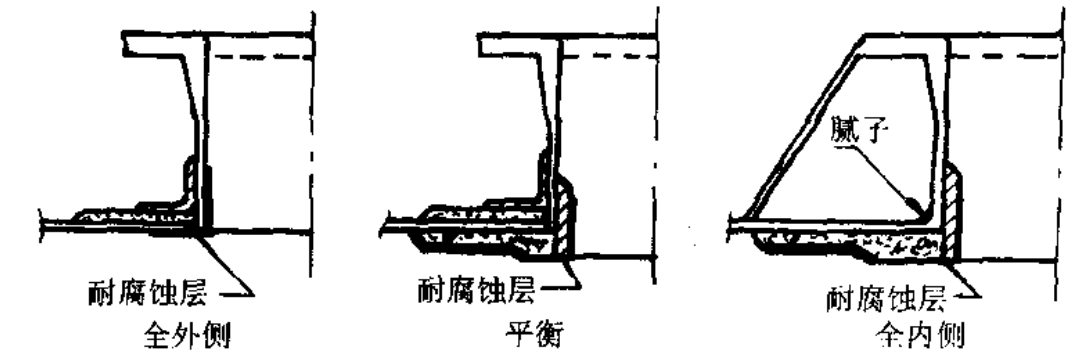


图 3.3.5 螺栓连接

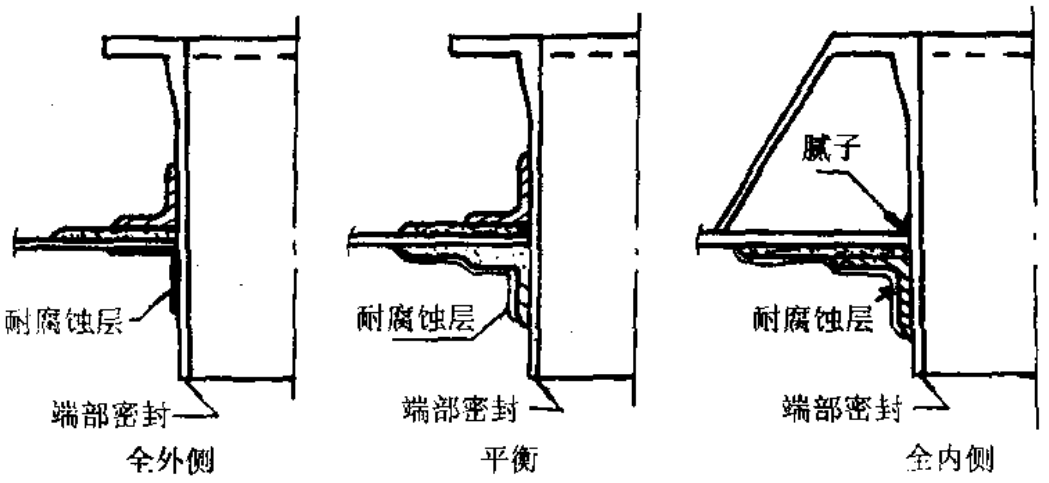
3.4 开孔补强

3.4.1 受压容器的开孔补强结构按 4.5 节计算。

3.4.2 当容器壳体或封头在承受静液压力 P 的某一区域上开孔时，应在以孔为中心的环形区域内补强，补强方式见图 3.4.2。



(a)平接型接管



(b)插入型接管

图 3.4.2　接管装配和开孔补强结构

(a)平接型接管;(b)插入型接管(其中全内侧型仅用于接管与整体锥形角撑板联接)

3.5　加强圈的设计

容器受外压时或为保证强度与刚度,须设置加强圈,截面形式可按 4.7.2 条 6 款要求。

3.6 罐底转角设计

罐底转角设计参见 4.14.17 节。

3.7 接管结构设计

3.7.1 接管采用玻璃钢管与法兰整体接触模塑成型的结构。

3.7.2 法兰的尺寸:法兰连接尺寸应符合 HG 管法兰标准。法兰的厚度由计算确定。

3.7.3 法兰颈部的高度大于 4 倍的法兰设计厚度,法兰颈部的厚度在圆角上部至少大于 0.5 倍法兰厚度,颈部应有均匀的锥度,圆角的曲率半径在法兰根部最小应取 10mm 以上。其结构尺寸见图 3.7.3。

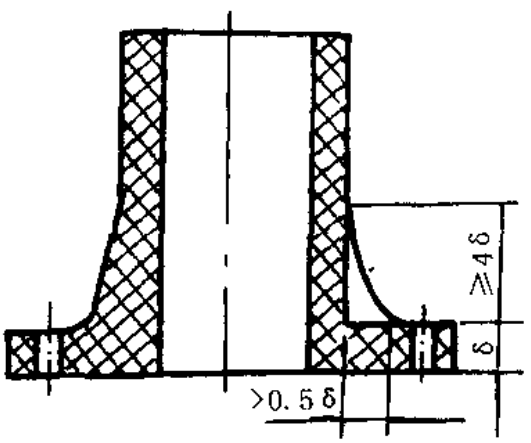


图 3.7.3 法兰结构尺寸

3.7.4 接管管口法兰至罐体的距离应不小于 100mm,且此距离不得小于接管装配时粘接所需的最小长度,见表 3.7.4。

表 3.7.4　剪切粘接长度　　(mm)

铺敷层厚度	6.4	8	9.5	11	13	14	16	17.5	19	22	25.4
h_s	76	76	76	90	100	114	127	140	152	178	203

注：h_s——总粘接长度($h_0 + h_i$)，见图 4.5.3，当内铺敷层仅用于防腐蚀层时，总粘接长度必须设置在外部铺敷层上。

3.7.5　DN≤100mm 的接管在管口处需设置支撑板，板式支撑板结构见图 3.7.5－1，圆锥形支撑板结构见图 3.7.5－2。

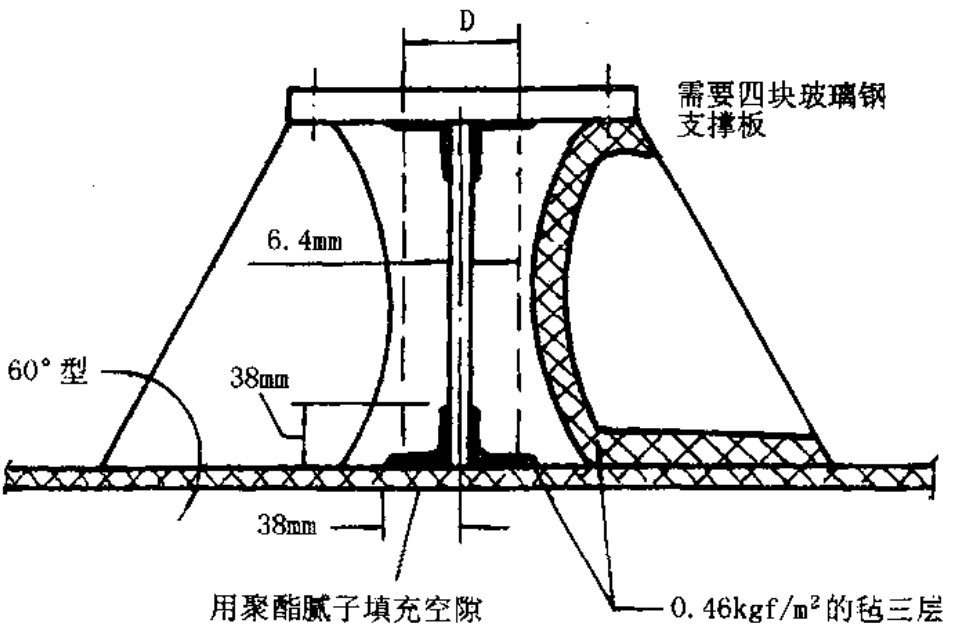


图 3.7.5－1　板式支撑板

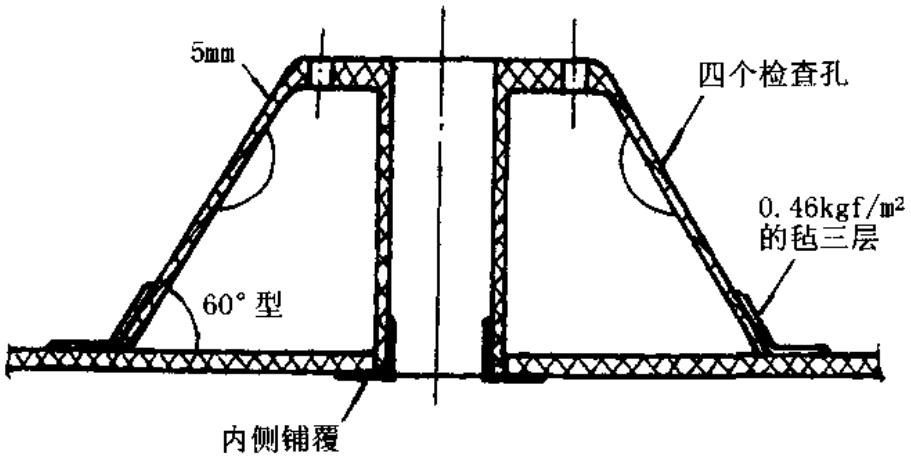


图 3.7.5－2　圆锥形支撑板

3.7.6　埋入式的螺栓连接的开孔结构见图 3.7.6，钢螺母埋入玻璃钢本体内。螺母尺寸大小应根据计算确定。

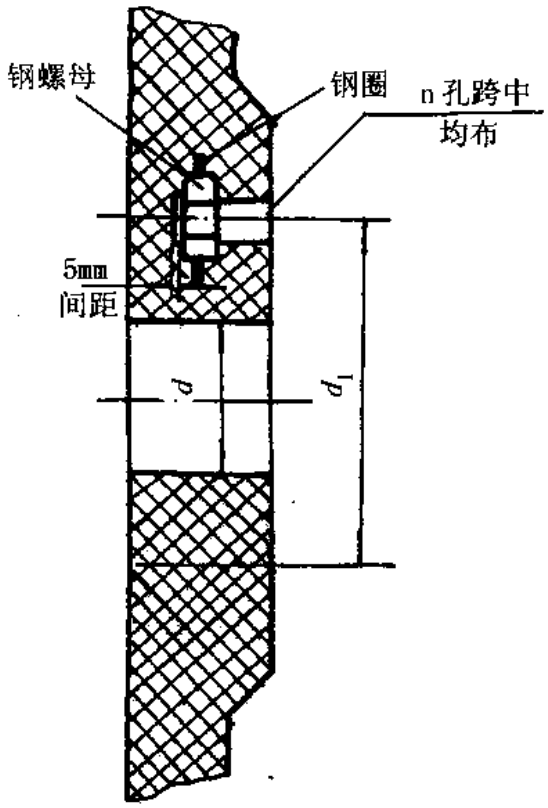


图 3.7.6　埋入式螺栓结构

3.7.7 进液管结构型式如图 3.7.7－1 所示，对于易腐蚀、磨损及易堵塞的液料，为了清洗和检修方便，可采用图 3.7.7－1(b)结构型式。对于易燃又不导电的液体，进液管插入液体中，管端成 45°～60°，一般进液管插入深度为筒体高度的 2/3，为了防止液体的虹吸现象，可在上部开 ϕ5 小孔，见图 3.7.7－2，或上部敞开结构，见图 3.7.7－3。

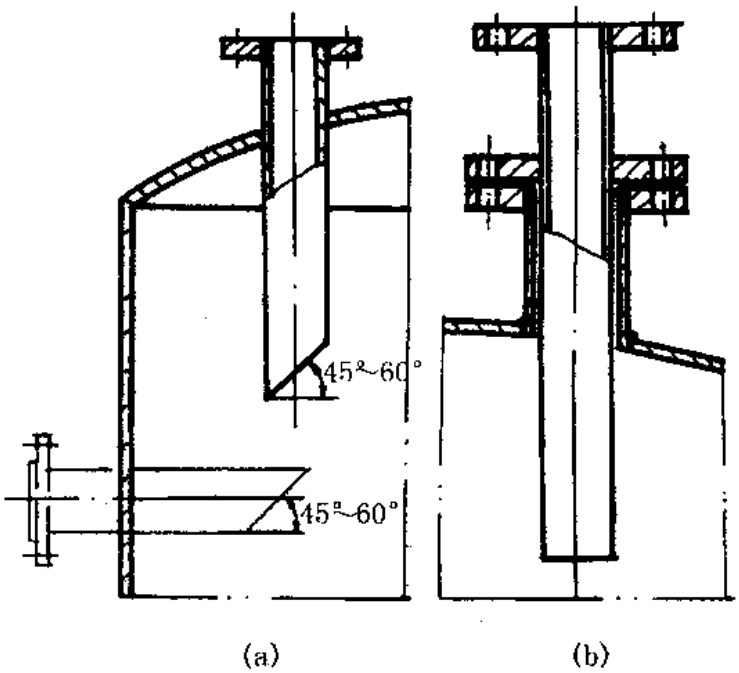


图 3.7.7－1 进液管插入罐内

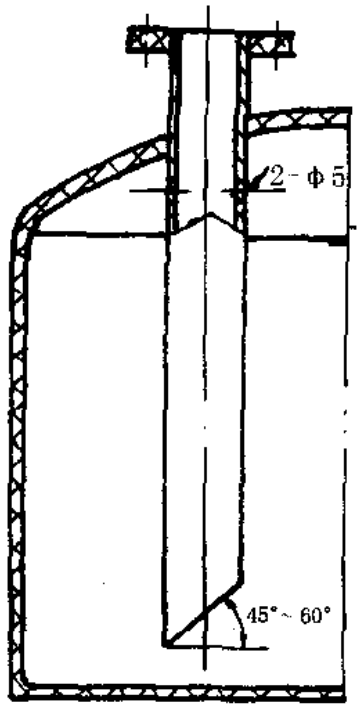


图 3.7.7-2 进液管插入液体中

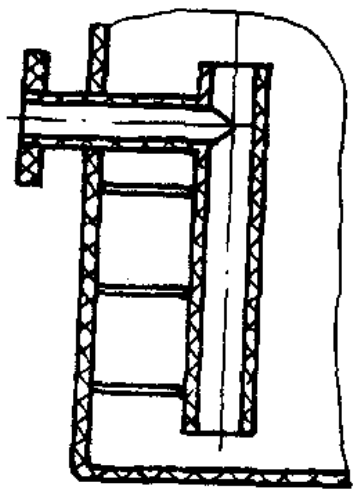


图 3.7.7-3 进液管插入液体中（管上部敞开）

3.7.8 对于易燃储液，必须考虑消除静电措施，进液管应沿罐壁敷设并插入液体，见图 3.7.8。

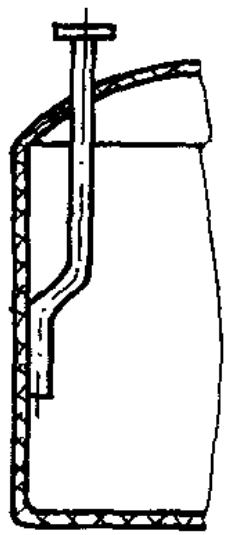


图 3.7.8 进液管沿罐壁敷设

3.7.9 储罐出液口结构见图 3.7.9。

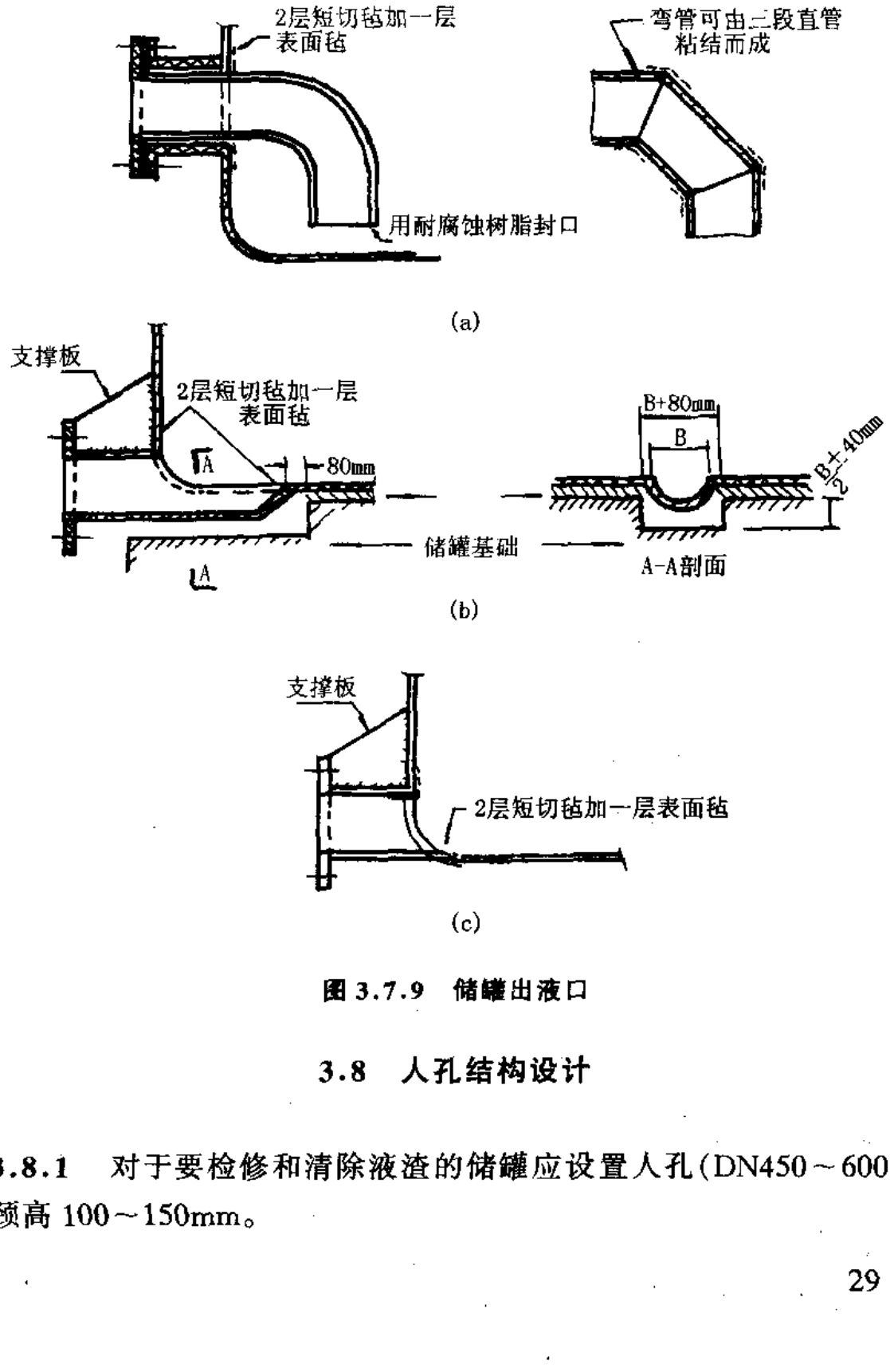


图 3.7.9 储罐出液口

3.8 人孔结构设计

3.8.1 对于要检修和清除液渣的储罐应设置人孔(DN450～600)，颈高 100～150mm。

3.8.2 高度超过 1.8m 的储罐，为便于安装和维修，可设置两个人孔，一个在顶部，一个在侧面，开孔处应采取等强度补强措施。

3.8.3 封头和筒体的人孔结构要求见图 3.8.3。

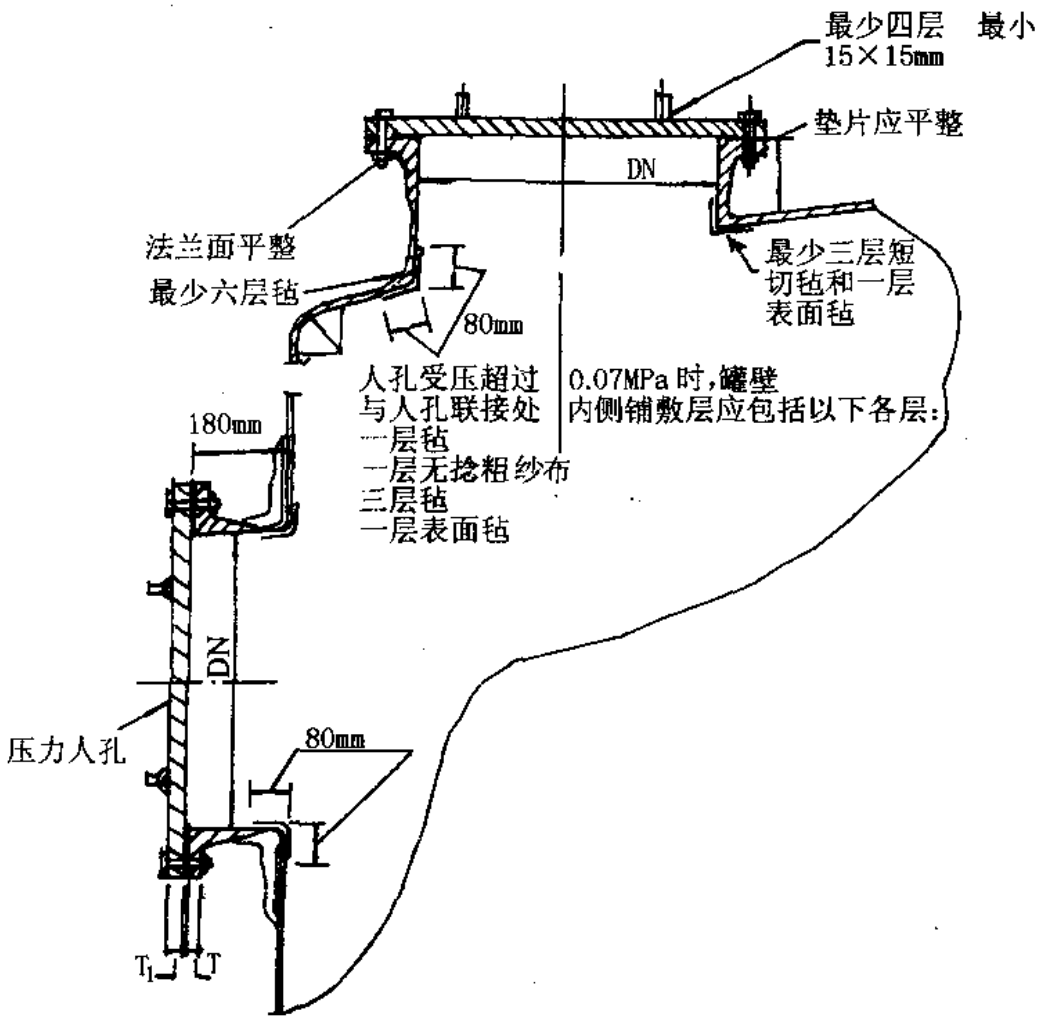


图 3.8.3 封头和筒体的人孔

3.9 不可拆卸的连接

3.9.1 包缠对接适用于直管、弯管、三通或异径管之间的固定连接。

包缠的厚度应不小于管子的壁厚，包缠长度应满足轴向荷载引起的剪切强度要求，可用式(3－5)计算，其结构见图 3.9.1。

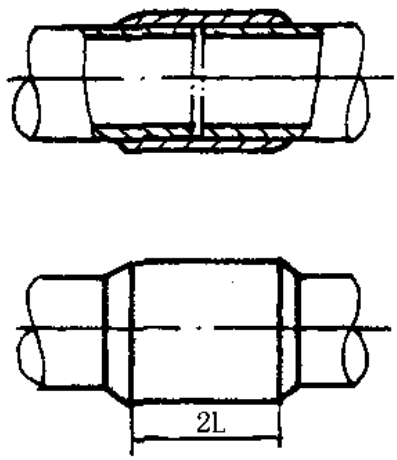


图 3.9.1　包缠对接

$$2L \geqslant \frac{nPd}{2\tau_B} \quad \text{mm} \tag{3-5}$$

式中　P——管子的内压，MPa；

d——管子的内径，mm；

τ_B——粘接层的剪切强度，一般取 49MPa；

n——安全系数；

$2L$——粘接长度，mm。

3.9.2　粘接方式可分为套管粘接、承插粘接、管箍粘接，其结构见图 3.9.2。

套管粘接：其套管通常采用缠绕法制成，其长度可按式(3－5)进行计算。

承插粘接：将管子插入已预制好的承插口，然后通过承口上的钻孔灌入掺有固化剂的树脂，常温或加温固化即完成。

管箍粘接：与套管粘接相似，管箍通常是模压制品，两侧带有斜

面，连接时将管端加工成与管箍相同的斜面，然后粘接。

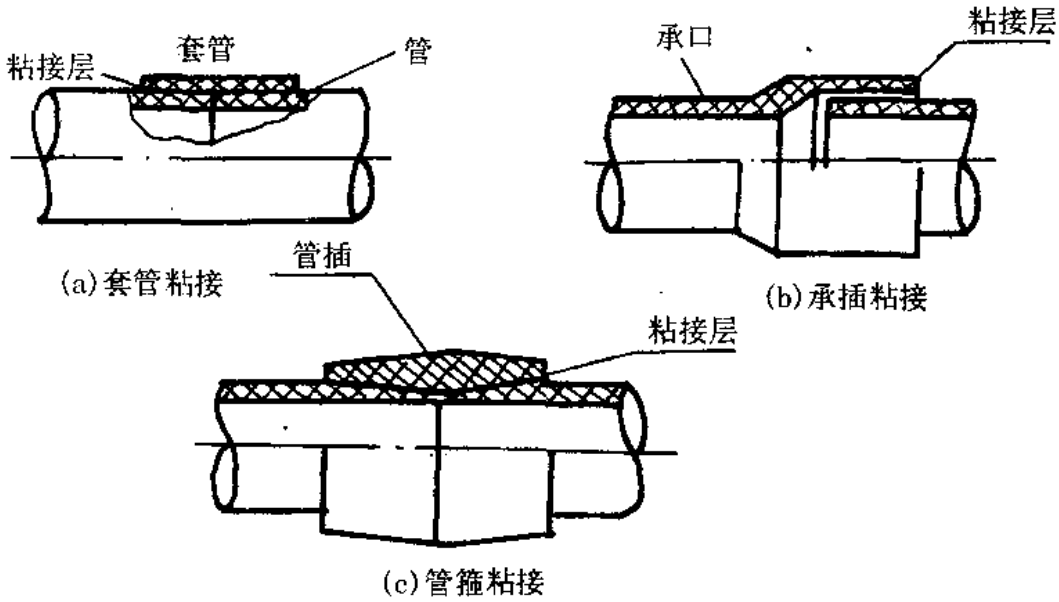


图 3.9.2　粘接方式

3.10　可拆卸的连接

3.10.1　采用法兰连接，其型式有三种。

1　任意式法兰：法兰通常采用模压成型，再将法兰与玻璃钢管进行粘接，如图 3.10.1(a)、(b)所示。

2　整体法兰：法兰与管子整体成型，要求法兰厚度大于管壁厚度，并在法兰颈部圆滑过渡，如图 3.10.1(c)所示。

3　松套法兰：钢制法兰松套在模压成型的法兰凸缘上，见图 3.10.1(d)所示。

3.10.2　模压法兰与管子粘接长度 L 按粘接层抗剪强度计算，见式(3－5)。

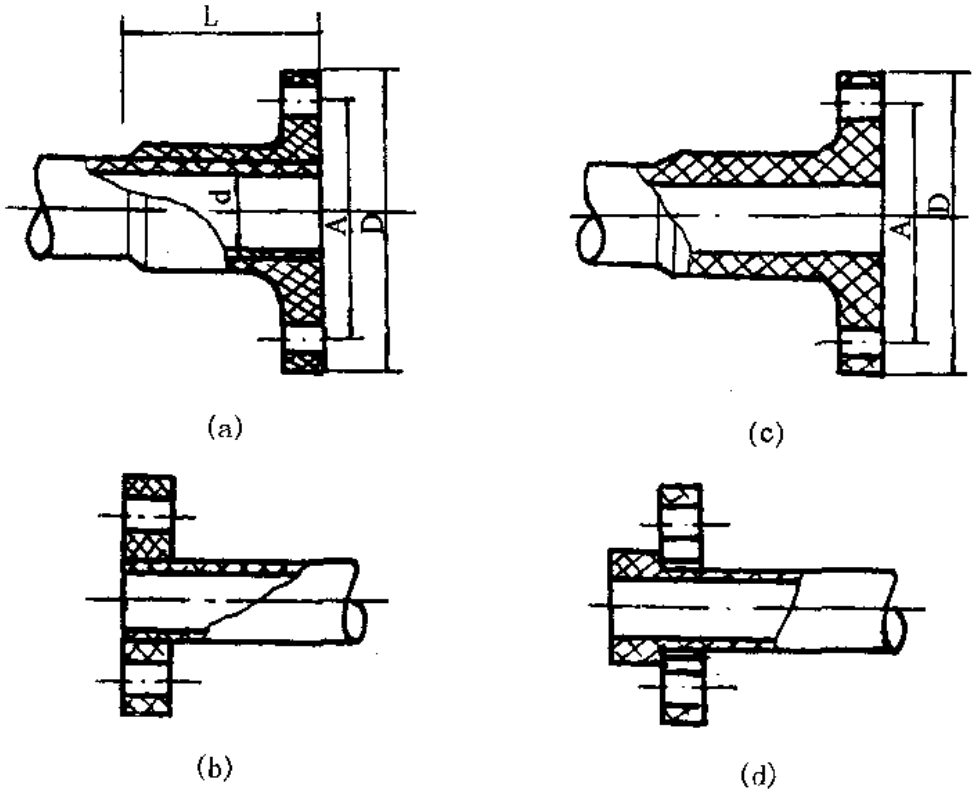


图 3.10.1　法兰型式

4 计　　算

本节以下各式算得的各种壁厚系指承受强度的结构层的厚度。

4.1 内压圆筒

4.1.1 符号说明

P——设计压力，MPa；

D_i——圆筒内径，mm；

σ_b——圆筒材料在设计温度下环向拉伸强度，MPa；

n——安全系数；

δ——圆筒的计算厚度，mm。

4.1.2 内压圆筒计算壁厚

$$\delta = \frac{nPD_i}{2\sigma_b} \quad \text{mm} \tag{4-1}$$

4.2 内压球壳

4.2.1 符号说明

P——设计压力，MPa；

D_i——球壳内直径，mm；

σ_b——球壳材料在设计温度下环向拉伸强度，MPa；

n——安全系数；

δ——球壳的计算厚度，mm。

4.2.2 内压球壳壁厚计算

$$\delta = \frac{nPD_i}{4\sigma_b} \quad \text{mm} \tag{4-2}$$

4.3 内压封头

4.3.1 符号说明

P——设计压力，MPa；

D_i——凸形封头内直径，mm；

σ_b——凸形封头在设计温度下环向拉伸强度，MPa；

h_i——凸形封头曲面深度，mm；

n——安全系数；

δ——凸形封头厚度，mm。

4.3.2 采用凸形封头时应尽量采用椭圆形封头、半球形封头和碟形封头。

4.3.3 椭圆形封头的壁厚计算

$$\delta = \frac{nPD_iK}{2\sigma_b} \quad \text{mm} \tag{4-3}$$

式中 K——椭圆封头的形状系数，其值为

$$K = \frac{1}{6}\left[2 + \left(\frac{D_i}{2h_i}\right)^2\right]$$

目前储罐采用$\frac{D_i}{2h_i} \approx 2$的标准椭圆形封头。

4.3.4 碟形封头的壁厚计算(凹面受内压)

碟形封头由三部分组成。以 R_i 为半径的球面部分($R_i = 0.9D_i$),以及曲面深为 h_i 的圆筒部分,以 r_i 为半径的过渡区,$r_i \geqslant 0.1D_i$,且不得小于3倍壁厚。

4.3.5 碟形封头壁厚计算

$$\delta = \frac{nMPD_i}{2\sigma_b} \quad \text{mm} \tag{4-4}$$

式中 M——碟形封头形状系数。

$M = \frac{1}{4}\left(3 + \sqrt{\frac{R_i}{r_i}}\right)$,其值见表4-1。

表4-1 形状系数 M 值

R_i/r_i	1.0	1.25	1.50	1.75	2.0	2.25	2.50	2.75
M	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17
R_i/r_i	3.0	3.25	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
M	1.18	1.20	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36
R_i/r_i	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.1
M	1.39	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54

4.3.6 当凸形封头折边段为加强时,加强部分应扩大到球形部分,至少为 $2\sqrt{D_o\delta}$ 的宽度,再逐渐减少。

4.3.7 受内压(凹面受压)球形封头壁厚计算按式(4-2)。

4.4 内压锥形壳体

4.4.1 符号说明

σ_n——锥形壳体材料在设计温度下弯曲强度，MPa；

D_{is}——确定环向应力用的基准内径，mm；

r——大端折边过渡段转角半径，mm；

σ_b——锥形壳体材料在设计温度下环向拉伸强度，MPa；

α——锥形壳体半顶角，[°]；

n——安全系数；

D_o——锥形壳体大端外直径，mm；

δ——锥形壳体计算厚度，mm；

δ_r——锥形壳体折边段厚度，mm；

x——过渡段两端加强宽度(见图 4.4.2)，mm。

4.4.2 锥形壳体壁厚计算

适用大端的比例为 $\delta/D_o \geqslant 0.005$ 的锥形壳体。

锥形壳体的壁厚计算按 4.4.2 条 1 款和 4.4.2 条 2 款；折边段的计算按 4.4.2 条 3 款和 4.4.2 条 4 款，其中应以较大壁厚值为准。

在折边段，纵向和周向上要求的弯曲强度必须得到保证。

1 周向应力下锥形壳体所需要的壁厚 δ

$$\delta = \frac{nD_{is}P}{2\sigma_b} \times \frac{1}{\cos\alpha} \quad \text{mm} \qquad (4-5)$$

2 纵向应力下锥形壳体所需要的壁厚 δ

$$\delta = \frac{nD_{is}P}{4\sigma_b} \times \frac{1}{\cos\alpha} \quad \text{mm} \qquad (4-6)$$

3 周向应力下锥形壳体大端折边段所需的壁厚 δ_r

$$\delta_r = \frac{nD_oPC_1}{2\sigma_n} \quad \text{mm} \tag{4-7}$$

4 纵向应力下锥形壳体大端折边段所需的壁厚 δ_r

$$\delta_r = \frac{nD_oPC_1}{4\sigma_n} \quad \text{mm} \tag{4-8}$$

式中 C_1——形状系数，可依据折边段与所连接筒体形成的夹角 α 及折边处半径与计算直径之比 r/D_o，从表 4.4.2 中查取。

5 锥形壳体应具有 $r/D_o \geqslant 0.1$ 折边段。

6 如果锥形壳体折边段得到补强，其补强层在折边段两边的宽度应为 $x \geqslant \sqrt{D_o\delta}$，并为均匀过渡见图 4.4.2。

表 4.4.2 锥体折边段筒体计算的形状系数 C_1 和计算系数 $\frac{1}{\cos\alpha}$

α \ r/D_o / C_1	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	$1/\cos\alpha$
10°	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.015
20°	2.1	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.064
30°	2.9	2.8	2.6	2.3	2.0	1.7	1.155
45°	4.2	4.0	3.7	3.1	2.6	2.1	1.414
60°	5.4	5.1	4.7	3.9	3.1	2.4	2.000

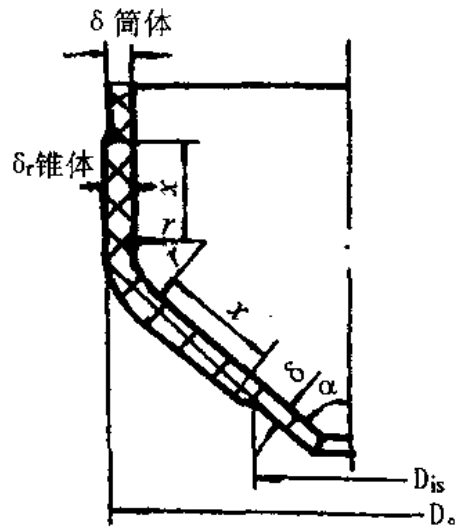


图 4.4.2　锥形壳体的结构形式

4.5　开孔补强

4.5.1　符号说明

d——开孔直径，mm；

B——补强圈外径，mm；

h_i——纵向或横向内部连接长度，mm；

h_o——纵向或横向外部连接长度，mm；

h_s——总连接长度，$h_s = h_i + h_o$，mm；

δ_i——内部贴合层厚度（$\delta_i = \delta_W - \delta_o$），mm；

δ_o——外部贴合层厚度，mm；

δ_r——补强圈厚度，mm；

δ_w——总贴合厚度，mm；

δ_n——接管厚度，mm；

δ——容器计算壁厚，mm；

r——圆角的曲率半径，mm；

P——设计内压力，MPa；

σ_b——补强圈材料在设计温度下的环向拉伸强度，MPa；

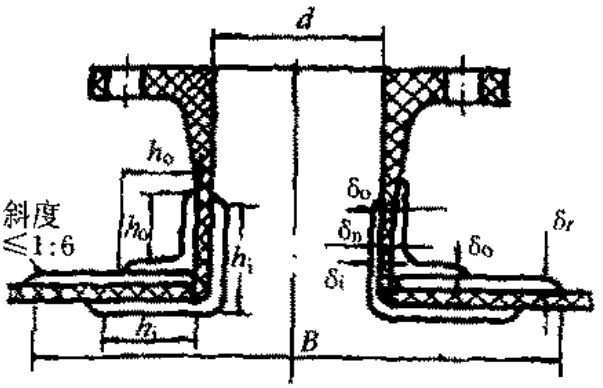
D_i——容器的内直径，mm；

n——安全系数；

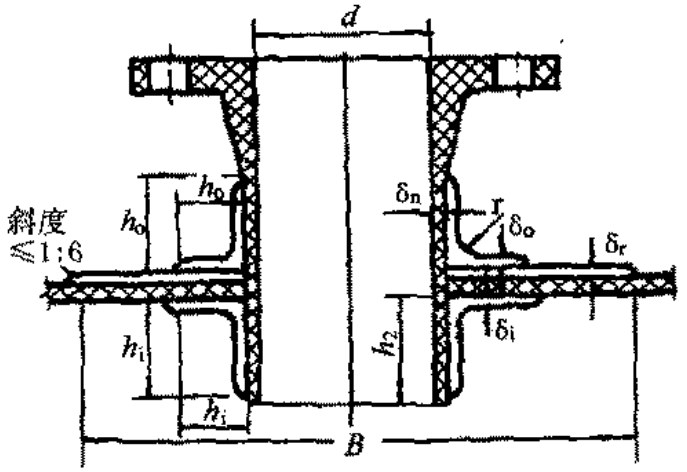
K——常数，当容器上开孔直径大于或等于 150mm 时，$K=1$；小于 150mm 时，$K=\dfrac{d}{B-d}$

4.5.2 玻璃钢容器所有开孔处均应铺设衬垫作补强用。

4.5.3 采用圆形开孔时，，开孔处的补强见图 4.5.3。



(a) 平接型接管



(b) 插入型接管

图 4.5.3 开孔处的补强

4.5.4 补强部位尺寸

1　补强圈外径 B

开孔处补强圈外径 B，对于公称直径小于 150mm 的接管，规定为接管外径加上 150mm；对于公称直径大于或等于 150mm 的接管，规定为接管内径的 2 倍以上。

2　补强圈厚度

圆筒形壳体(或碟形封头)上开孔补强圈的厚度由式(4－9)确定。

$$\delta_r = \frac{nPD_iK}{2\sigma_b} \quad \text{mm} \tag{4-9}$$

3　总连接长度 h_s

表 4.5.4 列出了对于储罐壁厚的补强总的连接长度 h_s

表 4.5.4　玻璃钢器壁补强总的连接长度 h_s

容器壁厚 mm	4.8	6.4	8.0	9.6	11.2	12.8	14.4	16.0	17.6	19.2
总连接长度 $^*h_S$ mm	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300

注：内部和覆盖涂层仅作为耐蚀层时，内部连接长度为零。

4　在封头转角区域及壳体与壳体或壳体与封头连接区域 152mm 范围内，应尽量避免开孔。

4.6　外压圆筒和球壳设计

4.6.1　符号说明

B——系数，可由图 4.6.2 求得；

D_o——圆筒或球壳外径，mm；

L——外压圆筒体的计算长度，见图 4.7.1，mm；

D_i——圆筒或球壳内径，mm；

δ_e——圆筒或球壳的有效厚度，mm；

P_c——圆筒或球壳受外压开始失稳时的临界压力，MPa；

$[P]$——圆筒或球壳许用外压，MPa；

E——玻璃钢材料的轴向弹性模数，MPa；

P_o——设计外压，MPa；

m——稳定安全系数，对受外压的圆筒，$m \geqslant 5$；对受外压凸形封头 $m \geqslant 15$。

4.6.2 外压圆筒

外压圆筒所需的有效厚度可按图 4.6.2 进行计算，步骤如下：

(1)假设 δ_e；

(2)确定外压筒体计算长度 L，定出 L/D_o 和 D_o/δ_e；

(3)在图 4.6.2 的左方找到 L/D_o 的值，过此值沿水平方向向右移与 D_o/δ_e 线相交(遇中间值可用内插法)，过此点垂直向上或向下移动与材料线相交(遇中间值可用内插法)，再过此交点水平方向右移，在图的右方得到系数 B 值；

(4)用式(4－10)计算出开始失稳时临界压力 P_c。

$$P_c = \frac{B}{D_o/\delta_e} \quad \text{MPa} \tag{4-10}$$

(5)并满足 $[P] = \frac{P_c}{m} \geqslant P_o$ (4－11)

4.6.3 外压球壳

外压球壳所需的有效厚度可按图 4.6.2 进行计算，计算步骤同 4.6.2，不同的是用球壳线代替 D_o/δ_e，并以 $D_i/100\delta_e$ 代替 L/D_o。

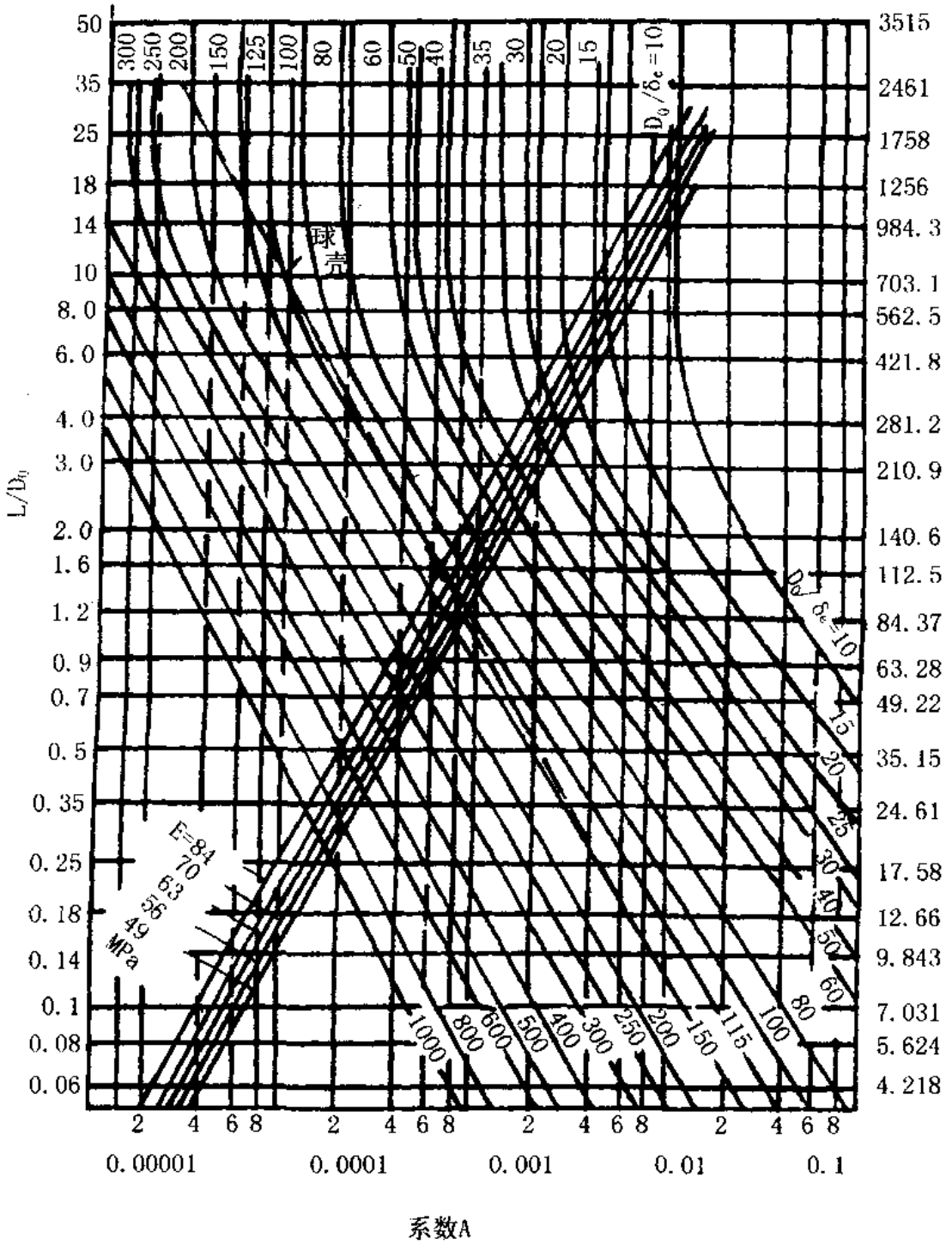


图 4.6.2　圆筒体的外压计算图表

4.7 外压圆筒加强圈设计

4.7.1 符号说明

R_o——加强圈的外半径，mm；

I——加强圈与壳体组合段应具有的惯性矩；

I_s——壳体起加强作用的有效段与加强圈的组合截面对通过与壳体轴线平行的该截面形心轴的惯性矩，mm^4。I_s 值的计算可计入在加强圈中心线两侧有效宽度各为 $0.55\sqrt{D_o/\delta_e}$ 的壳体。若加强圈中心线两侧壳体有效宽度与相邻加强圈的壳体有效宽度相重叠，则该壳体的有效宽度中相重叠部分每侧按一半计算。

L——圆筒计算长度见图 4.7.1，mm；

L_s——在与壳体轴线相平行的方向，从加强圈中心线到相邻两侧加强圈中心线距离之和的一半，若与凸形封头相邻，在该长度中还应计入封头曲面深度的 1/3mm。

A_s——加强圈的截面积，mm^2。

4.7.2 加强圈的计算

1 选定加强圈的距离 L_s、材料及截面尺寸，并计算它的横截面积 A_s 和壳体有效段与加强圈组合截面的惯性矩 I_s。

2 按式(4－12)计算 B 值：

$$B=\frac{P_oD_o}{\delta_e+\dfrac{A_s}{L_s}} \quad \text{MPa} \tag{4-12}$$

3 用计算图 4.6.2 在图的右方划到按式(4－12)计算出的 B 值，过此点沿水平方向移动与材料线相交，并从该交点垂直移动至图的底部，读出 A 值。

4 用式(4－13)计算加强圈与圆筒组合段所需的惯性矩 I。

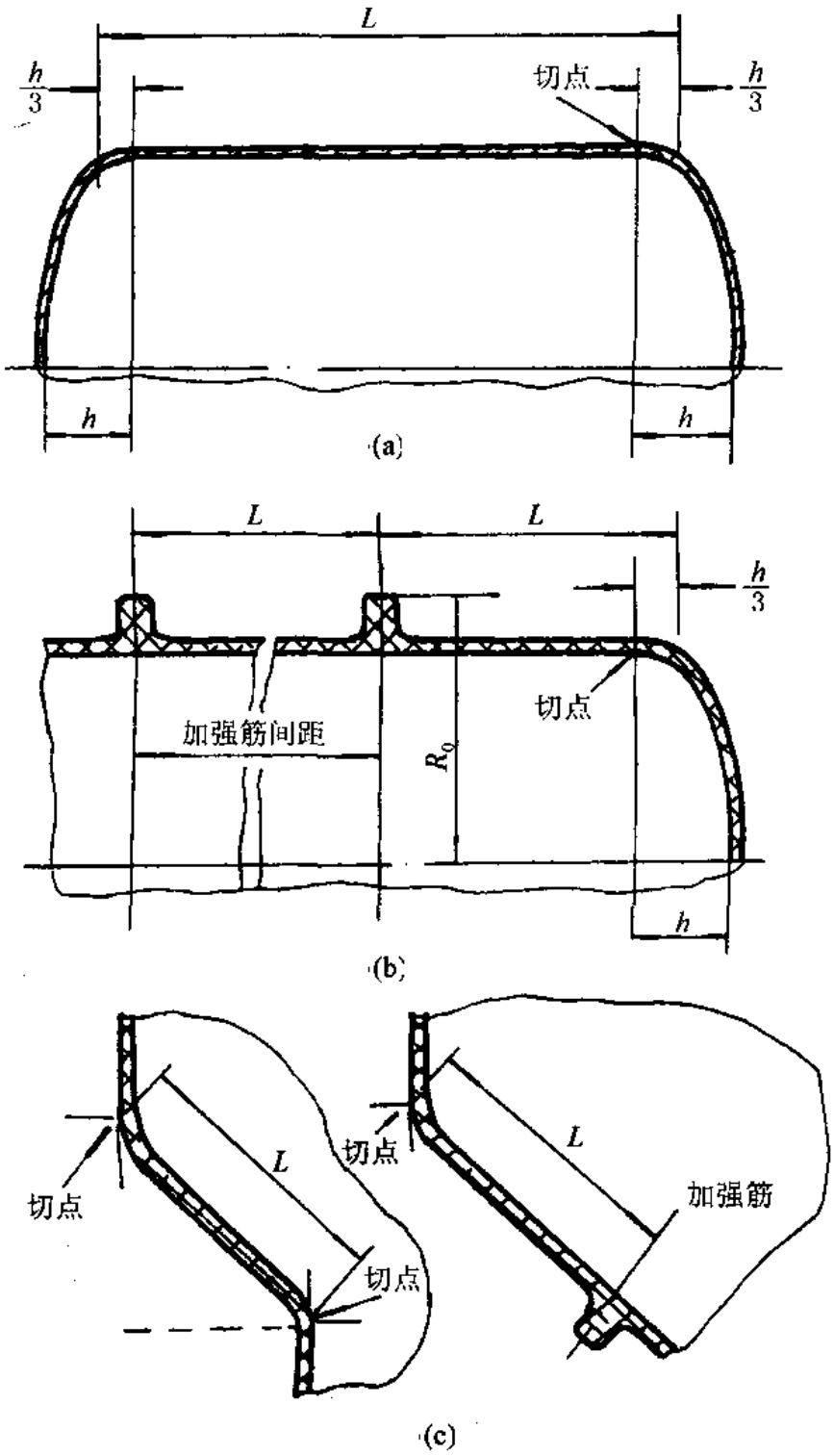


图 4.7.1　外压筒体的计算长度

(a)无加强圈筒体;(b)有加强圈筒体;(c)圆锥部分

$$I=\frac{D_o^2 L_s\left(\delta_e+\frac{A_s}{L_s}\right)A}{10.9} \qquad (4-13)$$

5 若 I 大于 I_s，须选用有较大惯性矩的加强圈，重复上述步骤的计算，直到 I_s 大于或等于 I 为止。

6 加强圈截面形式

加强圈截面可以为矩形、圆形、半圆形、三角形以及角钢断面，见图 4.7.2－1，被包覆材料可用玻璃纤维木材、泡沫塑料、扁钢等包覆，最小厚度不小于 0.6mm。

图 4.7.2－2 为半圆形截面加强圈，表 4.7.2 为半圆形加强圈的尺寸和惯性矩。

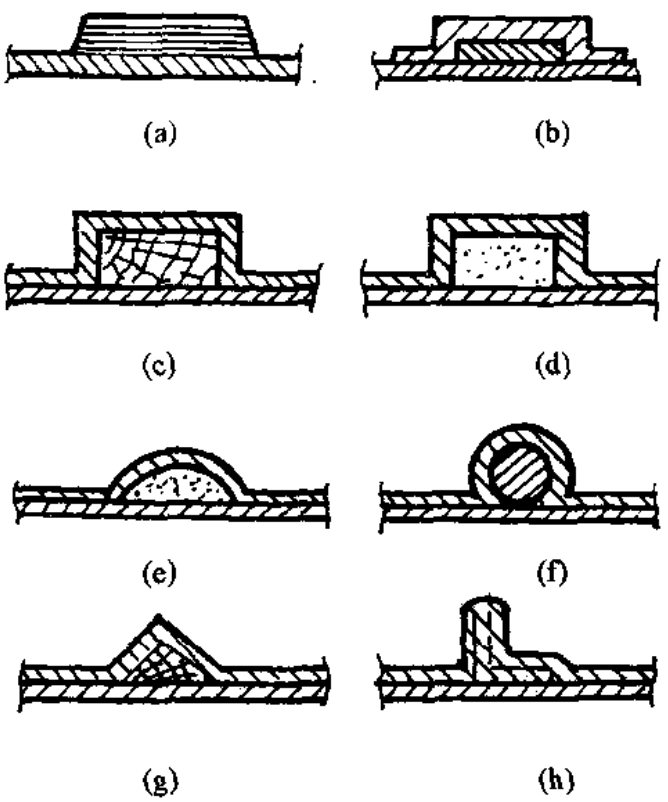


图 4.7.2－1 加强圈截面

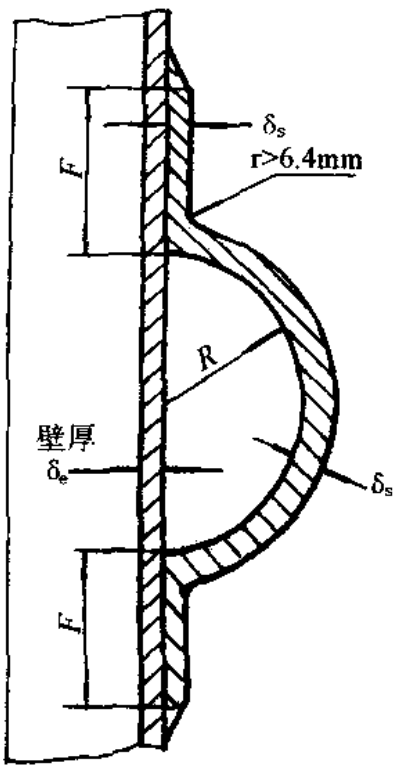


图 4.7.2－2 半圆形加强圈

$F=R$，加强圈由毡和玻璃布交替铺敷而成

表 4.7.2　半圆形加强圈的尺寸和惯性矩

半径 R (mm)	加强圈厚度 δ_s (mm)	储罐壁厚度 δ_e(mm)/惯性矩(cm^4)			
50.8	6.4	6.4/83.25	7.9/83.25	9.5/104.06	
50.8	7.9	6.4/83.25	7.9/104.06	9.5/124.87	
76.2	7.9	6.4/291.36	7.9/312.17	9.5/332.99	11.1/374.61
76.2	9.5	6.4/332.99	7.9/374.61	9.5/395.42	11.1/416.23
101.6	9.5	9.5/915.71	11.1/957.33	12.7/1040.58	19.1/1248.69
101.6	11.1	9.5/957.33	12.7/1082.2	15.9/1290.32	19.1/1415.19
101.6	12.7	9.5/1123.82	12.7/1248.69	15.9/1415.19	19.1/1540.06
127.0	9.5	12.7/1873.04	15.9/2081.16	19.1/2247.65	
127.0	12.7	12.7/2372.52	15.9/2539.01	19.1/2788.75	
127.0	15.9	12.7/2788.75	15.9/2996.87	19.1/3246.61	
152.4	9.5	12.7/3204.98	15.9/3496.34	19.1/3787.71	25.4/4328.81
152.4	12.7	12.7/4037.44	15.9/4287.18	19.1/4661.79	25.4/5327.76
152.4	15.9	12.7/4786.66	15.9/5119.65	19.1/5452.63	25.4/6243.47

4.8　外压碟形封头设计

4.8.1　符号说明

R_o——碟形封头球面部分的外半径，mm；

δ_e——碟形封头的有效厚度，mm；

E——操作温度下材料的轴向弹性模数，MPa；

μ——玻璃钢材料的波桑系数，取 $\mu=0.33$；

m——稳定安全系数 $m\geqslant 15$；

$[P]$——许用外压，MPa。

4.8.2 外压碟形封头临界载荷按式(4－14)计算。

$$[P]=\frac{2E\delta_e^2}{R_o^2 m\sqrt{3(1-\mu^2)}} \quad \text{MPa} \qquad (4-14)$$

4.8.3 式(4－14)同样适用于球形封头，其中符号除 R_o 为半球形封头的外半径外，其它符号意义与碟形封头相同。

4.9 外压锥形封头设计

4.9.1 当半锥角 $\alpha\leqslant 22°30'$ 时，锥体厚度可按承受外压的圆筒体进行计算。此时圆筒长度，当无加强圈时，等于锥体的轴向长度；当设加强圈时，等于加强圈之间的轴向间距；该圆筒外直径，当无加强圈时，等于锥体大端外直径；当有加强圈时，等于加强圈之间大截面处的直径。

4.9.2 当半锥角 $22°30'<\alpha\leqslant 60°$ 时，锥体壁厚可按承受外压的圆筒进行计算，此时圆筒的外直径等于锥体的最大外直径(垂直于锥体轴线方向量得)。该圆筒的长度，当无加强圈时，等于锥体截面的最大内径；当有加强圈时，取加强圈中心线的锥体母线长度或加强圈间锥体截面的最大内径，取两者中的较小值。

4.9.3 当半锥角 $\alpha>60°$ 时，锥体厚度可按圆形平盖厚度确定。

4.10 法兰计算

4.10.1 法兰计算可按 GB 150 中宽面螺栓紧固法兰进行计算。但

其许用应力须满足以下 4.10.2 和 4.10.3 条的要求。

4.10.2 在法兰计算中对厚度 10mm 以上的法兰，弯曲强度取 137MPa。

4.10.3 法兰安全系数取 $n=8$。

4.11 平封头及螺栓连接

4.11.1 符号说明

K——系数，取决于封头、盖或法兰连接方式，见图 4.11.1。

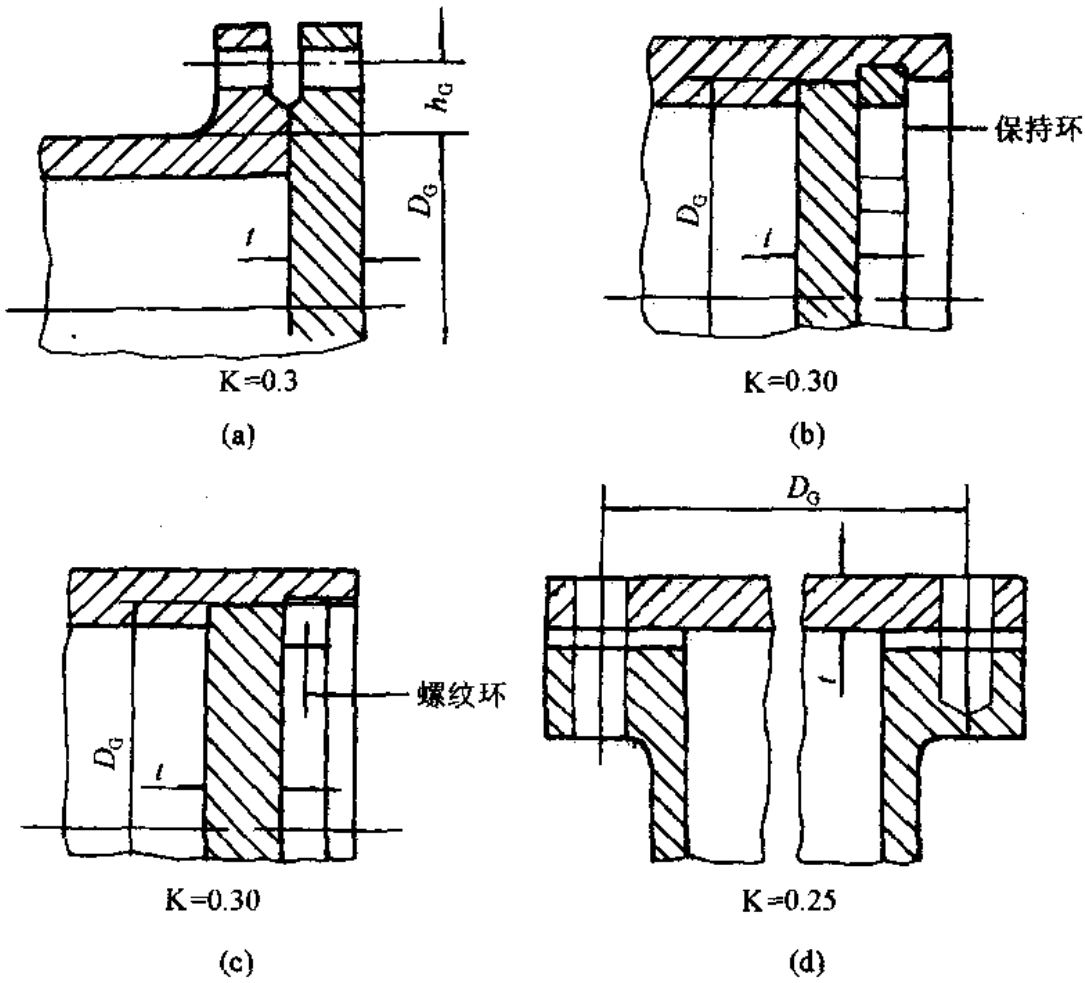


图 4.11.1 平封头连接形式

D_G——图 4.11.1 所示的直径，mm；

h_G——垫片力矩臂，等于由螺栓孔中心至垫片槽中心距，mm；

$[\sigma]$——平封头材料许用应力，MPa；

P——设计压力，MPa；

t——平封头、盖的最小要求厚度，mm；

W——总的螺栓载荷，N；

W_{m1}——操作条件下所需的螺栓载荷，N；

W_{m2}——预紧状态下所需的螺栓载荷，N；

m——垫片系数，参见 GB 150 标准；

y——垫片比压，参见 GB 150 标准；

A_b——实际的螺栓总面积，mm^2；

A_m——所需的螺栓总面积，mm^2；

A_{m1}——操作所需螺栓总面积，mm^2；

A_{m2}——预紧所需螺栓总面积，mm^2；

$[\sigma]_b$——常温下螺栓材料许用应力，MPa，可按 GB 150 选用。

4.11.2 螺栓载荷计算

操作条件下所需的螺栓载荷

$$W_{m1} = 0.785 D_G^2 P + 2\pi b D_G m P \quad \text{N} \qquad (4-15)$$

预紧状态下所需的螺栓载荷

$$W_{m2} = 3.14 b D_G y \quad \text{N} \qquad (4-16)$$

4.11.3 螺栓面积计算

操作状态下所需螺栓截面积

$$A_{m1}=\frac{W_{m1}}{[\sigma]_b} \quad mm^2 \tag{4-17}$$

预紧状态下所需螺栓截面积

$$A_{m2}=\frac{W_{m2}}{[\sigma]_b} \quad mm^2 \tag{4-18}$$

所需螺栓总面积 A_m 取 A_{m1} 与 A_{m2} 中的大值。且实际螺栓总面积 A_b 应不小于所需的螺栓总面积 A_m。

4.11.4 螺栓设计载荷计算

操作状态下 $W=W_{m1}$ N

预紧状态下 $W=\frac{A_m+A_b}{2}[\sigma]$ N

} 取两者中较大值 (4-19)

4.11.5 最小厚度计算

平的、无支撑的圆形平封头、盖的最小厚度按式(4-20)计算。

$$t=D_G\sqrt{KP/[\sigma]} \quad mm \tag{4-20}$$

当平封头、盖与螺栓的连接结构引起边缘力矩时(见图4.11.1),其厚度按下式(4-21)计算。

$$t=D_G\sqrt{K\cdot P/[\sigma]+1.9Wh_G/[\sigma]\cdot D_G^3} \quad mm \tag{4-21}$$

4.12 平封头、盖或盲法兰上开孔计算

4.12.1 符号说明

B——开孔直径，mm；

t——平封头、盖或盲法兰的最小计算厚度，mm；

A——补强的总截面积，mm^2。

4.12.2 平封头、盖或盲法兰当满足下述要求时，可不另行补强。

1 当平封头、盖或盲法兰的名义厚度在 10mm 或小于 10mm 时，不补强的接管尺寸为 DN60。

2 当平封头、盖或盲法兰的名义厚度在大于 10mm 时，不补强的接管尺寸为 DN50。

4.12.3 平封头、盖上开孔直径不超过平封头直径 D_G 的 1/2 时，其补强的总截面积应不小于下式(4－22)求出的数值。

$$A = 0.5B \cdot t \qquad mm^2 \tag{4-22}$$

4.12.4 平封头上开孔直径超过平封头直径 D_G 的 1/2 时，应按 GB 150 第九章螺栓法兰连接的要求进行设计。

4.12.5 如不采用 4.12.4 节方法计算，平封头的厚度可按下列办法增加，以获得开孔所需的补强。

1 将式(4－20)中 K 改为 $2K$。

2 将式(4－21)中根号内的量乘以 2。

4.13 卧式容器设计

4.13.1 适用于对称布置的双支座、三支座支承的卧式容器的设计，卧式容器的支座结构可采用贯通型(图 4.13.1a)、鞍型(图 4.13.1b)、吊索型(图 4.13.1c)。

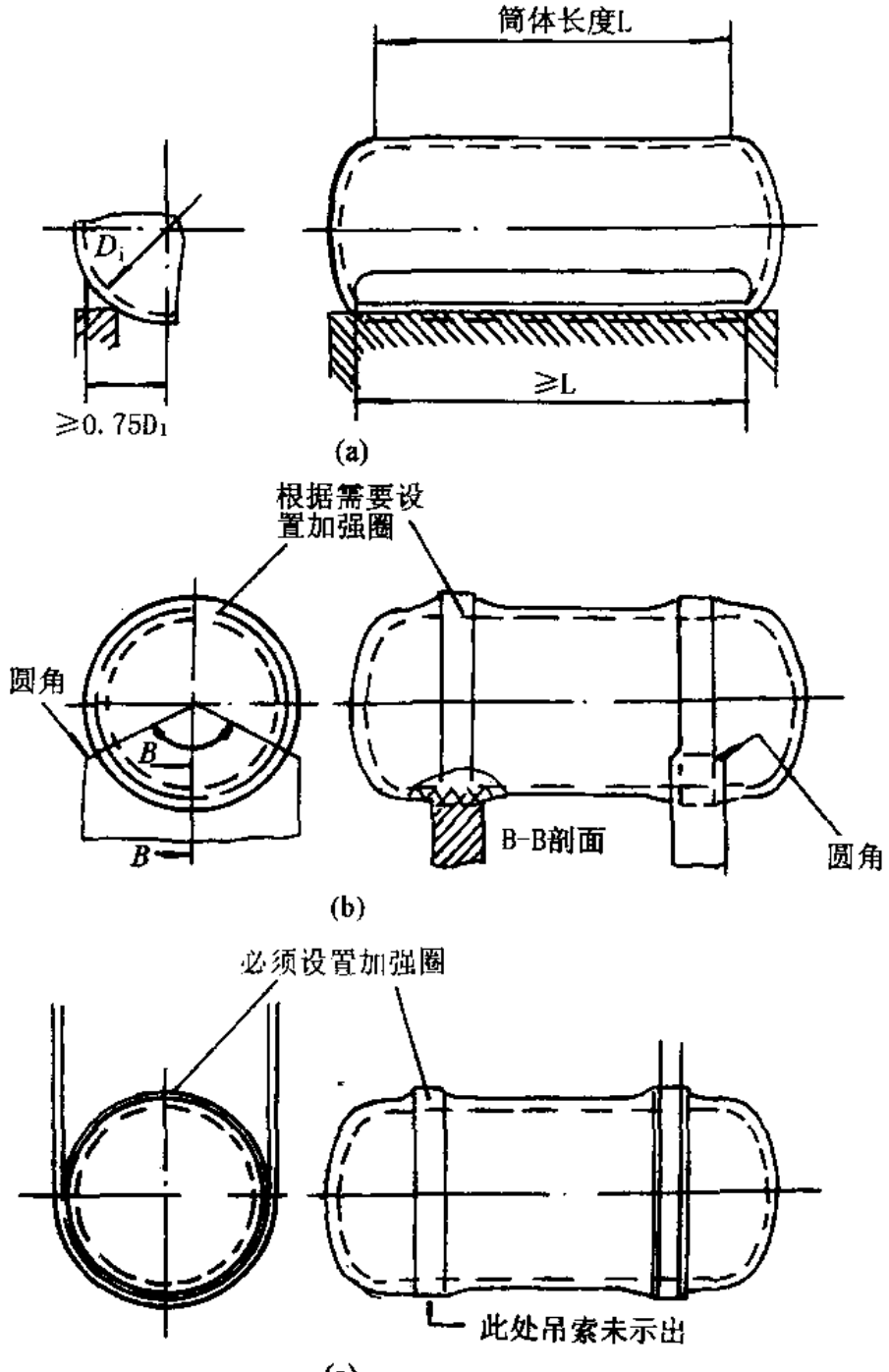


图 4.13.1　卧式储罐的典形支座

(a)贯通型;(b)鞍型;(c)吊索型

4.13.2 鞍式双支座支承的卧式容器和鞍式三支座支承的卧式容器的计算可参照 HG 20582 及有关标准规定。

4.14 立式储罐设计

4.14.1 符号说明

D_i——储罐内直径，m；

H——罐体计算点至最高液位的高度，m；

σ_b——玻璃钢圆筒材料在设计温度下环向拉伸极限强度，MPa；

δ——罐体壁的最小计算厚度，mm；

E——玻璃钢材料的轴向弹性模量，MPa；

n——安全系数；

γ——储液密度，kg/m^3，当 $\gamma < 1000kg/m^3$ 时，取 $\gamma = 1000kg/m^3$；

$[\varepsilon]$——材料许用应变值，按 1.10.2 条取值；

P——罐内操作负压，Pa；

P_o——储罐设计外压，Pa；

$[P_c]$——许用临界压力，Pa；

K_1——风压系数。对建筑地区为接近海面、海岛、海岸、湖岸及沙漠地区时，取 $K_1 = 1.38$；对田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的中、小城镇和大城市郊区时，取 $K_1 = 1.0$；对有密集建筑的大城市区时，取 $K_1 = 0.71$；

q_o——10m 高度处的基本风压值 N/m^2；

K_2——对于安装呼吸阀的储罐，考虑到阀打开后的动作滞后的系数，取 $K_2 = 1.2$；对不安装呼吸阀的储罐，取 $K_2 = 1$。

4.14.5 罐壁厚度计算

$$\delta = 0.0049 \frac{\gamma(H-0.3)D_i n}{\sigma_b \varphi} \quad \text{mm} \qquad (4-23)$$

4.14.6 按罐体的刚度计算壁厚

$$\delta = 0.0049 \frac{\gamma H D_i}{[\epsilon] \cdot E} \quad \text{mm} \qquad (4-24)$$

4.14.7 储罐罐壁设计外压力计算

$$P_o = 2.25 K_1 \cdot q_o + K_2 \cdot P \qquad \text{Pa} \qquad (4-25)$$

4.14.8 罐壁的许用临界压力$[P_c]$计算。

$$[P_c] = 16000 \left(\frac{D_i}{H_e}\right)\left(\frac{\delta_1}{D_i}\right)^{2.5} \qquad \text{Pa} \qquad (4-26)$$

式中 H_e——罐壁筒体的当量高度，m；

$$H_e = \Sigma H_{ei}$$

$$H_{ei} = h_i \left(\frac{\delta_1}{\delta_{ei}}\right)^{2.5}$$

H_{ei}——第 i 圈罐壁板的当量高度，m；

h_i——第 i 圈罐壁板的实际高度，m；

δ_{ei}——第 i 圈罐壁板的有效厚度，mm；

δ_1——最薄层罐壁板的有效厚度，mm。

4.14.9 罐壁的稳定校核应满足下式的要求：

$$[P_c] > P_o \qquad (4-27)$$

4.14.10 当罐壁的许用临界压力不能满足式(4－27)的要求时，罐壁筒体上应设置加强圈。加强圈的数量应按式(4－28)计算。

$$n = INT(P_o/[P_c]) \tag{4-28}$$

式中 n——加强圈的数量；

INT——向上圆整的运算符。

4.14.11 需设置加强圈的罐壁，沿高度方向被分成($n+1$)段，每一段罐壁的高度应按下式计算：

$$L_e = H_e/(n+1) \quad \text{m} \tag{4-29}$$

式中 L_e——设置加强圈后，每段筒体的当量高度，m；

4.14.12 当加强圈位于最薄的罐壁上时，加强圈至包边玻璃钢角型圈的实际距离等于式(4－29)的计算值。

4.14.13 当加强圈不在最薄的罐壁板上时，加强圈至包边角型玻璃钢圈的实际距离应进行换算。

4.14.14 加强圈采用玻璃钢角型圈时，最小的截面尺寸应符合表4.14.14的规定。

表 4.14.14 加强圈最小截面尺寸 (mm)

储罐内直径 D_i	$A \times B \times S$
$D_i \leqslant 2000$	L100×63×8
$2000 < D_i \leqslant 3200$	L125×80×8

注：也可采用截面模数相同的其它截面形式加强圈。

4.14.15 抗震设计

1 水平地震载荷计算

$$F_{K1} = C_z \alpha_{max} mg \quad N \qquad (4-30)$$

式中 F_{K1}——储罐的水平地震力，N；

C_z——综合影响系数，对于常压立式储罐 $C_z = 0.4$；

α_{max}——地震影响系数的最大值见表 4.14.15－1，根据实测和计算，一般立式储罐自振周期均小于 0.2s

表 4.14.15－1 地震影响系数 α 的最大值

基本烈度	7	8	9
α_{max}	0.23	0.45	0.90

m——储罐总质量，kg；

$$m = F_r m' \quad kg;$$

m'——为储罐内储液质量，kg；

F_r——动液系数，见表 4.14.15－2

表 4.14.15－2 动液系数 F_r

H/R	≤0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
F_r	0.21	0.27	0.32	0.37	0.40	0.42	0.45	0.47

注：中间值用内插法。H—储罐罐底面到罐液面的高度，m；R—自罐底往上数第一圈罐的内半径，m。

g——重力加速度，$g = 9.81 m/s^2$；

2 地震弯矩计算

$$M_z = F_{K1}\frac{H}{2} \quad \text{N·m} \tag{4-31}$$

3 第一圈底部的最大压应力 σ_1

$$\sigma_1 = \left(\frac{N_1 g}{A_1} + \frac{M_z}{Z_1}\right) \times 10^{-6} \quad \text{MPa} \tag{4-32}$$

式中 N_1——第一圈罐壁底部的垂直载荷，包括罐体质量(按罐体质量的 80% 计算)和保温层质量，kg；

A_1——第一圈罐壁的截面积，$A_1 = \pi D_1 \delta_e$ m^2；

Z_1——第一圈罐壁的抗弯截面系数，$Z_1 = 0.785 D_1^2 \delta_e$ m^3；

D_1——第一圈罐壁的平均直径，m；

δ_e——第一圈罐壁的有效壁厚，m。

4 第一圈罐壁的许用临界压力 $[\sigma_r]$

$$[\sigma_r] = 3.88 \times 10^4 \left(\frac{\delta_e}{R}\right)^{1.25} \cdot \left(\frac{H_c}{R_1}\right)^{0.5} \quad \text{MPa} \tag{4-33}$$

式中 R_1——第一圈罐壁的平均半径，$R_1 = 0.5 D_1$，近似值 $R_1 \doteq R$，m；

H_c——基础顶面到罐顶面的高度，m。

5 罐壁的稳定验算

应符合下式要求：

$$\sigma_1 \leqslant [\sigma_r] \tag{4-34}$$

4.14.16 罐顶设计

玻璃钢立式储罐顶型式分为锥顶、拱顶和平盖。

1 罐顶设计压力的确定

(1)设计内压采用 1.2 倍呼吸阀的开启压力减去罐顶单位面积重量。

(2)顶盖设计外压应包括以下部分载荷:

a. 罐顶结构自重:当罐顶有隔热层时,应计入隔热层的重量;

b. 附加荷载:在水平投影面积上取不小于 1200Pa(当雪荷载超过 600Pa 时尚应加上所超过的荷载)。

2 自支承拱顶

拱顶的球面曲率半径 R_n 宜取储罐内直径的 0.8 至 1.2 倍,见图 4.14.16－1。

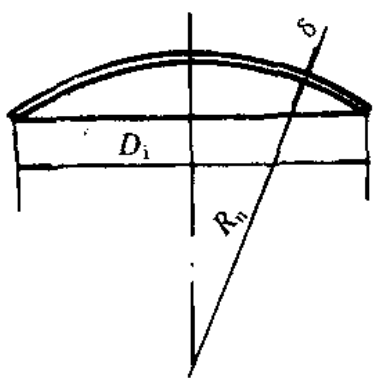


图 4.14.16－1 拱顶盖几何尺寸

拱顶计算厚度按下式计算,但不得小于表 4.14.16－1 规定。

$$\delta = 4R_n\sqrt{\frac{P_o}{E}} \quad \text{mm} \tag{4-35}$$

式中 P_o——罐顶设计外压,Pa;

δ——顶板计算厚度,mm;

R_n——球壳曲率半径，m；

E——拱顶玻璃钢材料的弹性模量，MPa。

表 4.14.16－1　立式储罐封头的最小有效厚度

储罐公称直径 DN(m)	0.6～1.8	>1.8～3.5	>3.5
最小有效厚度(mm)	4.8	6.4	9.6

拱顶的稳定性验算应满足下式

$$P_o \leqslant [P_c] \tag{4-36}$$

式中　$[P_c]$——拱顶的许用临界压力，Pa。

$$[P_c] = 0.1E\left(\frac{\delta_e}{R_n}\right)^2 \quad \text{Pa} \tag{4-37}$$

式中　δ_e——拱顶有效厚度，mm。

当$[P_c] > P_o$时，则认为安全；若不满足，则应加厚。

3　自支承锥顶

锥顶计算厚度按下式计算，但不得小于表 4.14.16－2 规定。

$$\delta = \frac{D_i\sqrt{P_o}}{187.9\sin\theta} \quad \text{mm} \tag{4-38}$$

式中　δ——锥顶的计算厚度，mm；

D_i——储罐内径，m；

P_o——罐顶设计外压，按 4.14.16 条 1 款确定，Pa；

θ——锥顶圆锥母线与其水平投影线夹角，度。

4.14.17 罐底底板设计

平底储罐底部转角半径 r 应不小于 40mm，最大为 150mm。圆角区域最小厚度 $\delta_b = \delta_1 + \delta_0$（式中 δ_1 为壳壁名义厚度，δ_0 为底部厚度）。转角半径区域的加强应当递减，使其相切于平底，且不超出罐底切线之外。

平底储罐底板的厚度应不小于表 4.14.17 中列出的最小厚度。

表 4.14.17 平底储槽底板最小厚度 (mm)

储罐直径 D_i	底板最小厚度 δ_0
$600 \leqslant D_i < 1800$	5
$1800 \leqslant D_i < 3700$	7
$D_i \geqslant 3700$	10

筒体上局部加强其详细尺寸见图 4.14.17。

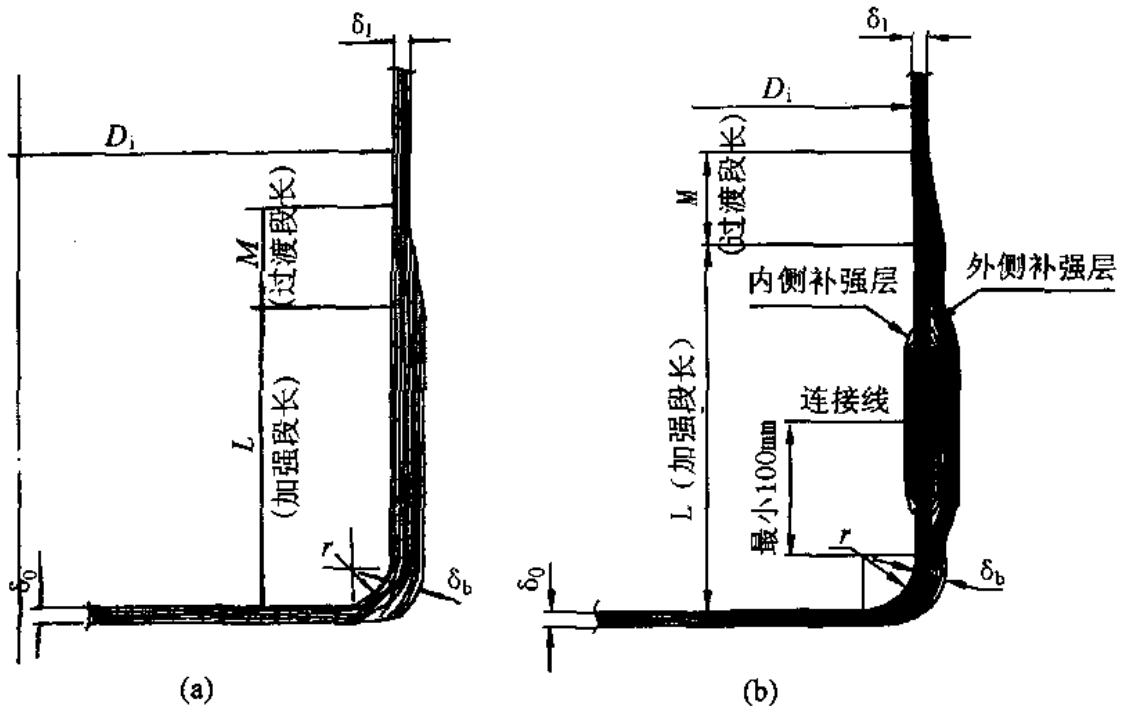


图 4.14.17 平底储罐底板

(a)——底与壳体为整体(单面补强)，(b)——底与壳体为连接(双面补强)

5 检验要求

5.1 外观要求

5.1.1 外表面应平整光滑，色泽均匀无泛白，纤维必须充分浸透树脂，无夹杂物，无纤维外露。不允许有层间分层、脱层、树脂瘤等。

5.1.2 富树脂层表面应无破损，表面光洁，无泛白、脱层和夹杂物，纤维不得外露，不得有直径大于3mm、深或高大于0.5mm以上的凸凹；对于受压容器，允许气泡的最大直径为4mm；1平方米范围内，直径不大于4mm的气泡数不得超过3处，否则应划破修补；裂纹深度不得大于0.2mm。对于一般设备，允许气泡的最大直径为5mm，且1平方米范围内直径不大于5mm的气泡数不得超过3处，否则应划破修补。

5.1.3 强度层要求层间胶接良好，不允许有任何夹杂物和树脂结节等，无泛白。凸出高度或凹陷深度部分厚度不得大于强度层厚度的20%；裂纹深度不得大于设计厚度的20%，当设计厚度大于10mm时，其裂纹深度不得超过2mm。对于受压容器，裂纹深度不得大于1mm，长度不得大于30mm。

5.1.4 对于已发现的缺陷，允许进行修补，同一部位的修补次数不得超过两次。

5.2 厚度检查

5.2.1 厚度检查：最薄处壁厚不得小于总厚度的80%，且不小于设

计厚度。

5.3 树脂固化度检查

5.3.1 外表面选取不同部位的 10 点(每平方米至少有 3 个测点)进行硬度检查,按 GB 3854《纤维增强塑料巴氏(巴柯尔)硬度试验方法》规定进行,其值应大于 36。

5.3.2 如有必要,按 GB 2576《纤维增强塑料树脂不可溶分含量试验方法》的规定进行,试样不少于 3 个,树脂固化度不应低于 85%。

5.4 树脂含量检查

树脂含量检查按 GB 2576《纤维增强塑料树脂不可溶分含量试验方法》的规定进行。试样每组为 3 件,纤维缠绕成型其树脂含量:内层(富树脂层)≥90%;中间层 70% ~80%;增强层为 35% ±5%;外层≥90%。

5.5 制品机械性能检查

5.5.1 壳壁材料的整体强度应达到设计要求,试件从容器本体上切取,或从制品同步工艺的样板或样管上切取。手糊成型部件的测定方法:抗拉强度按 GB 1447《玻璃纤维增强塑料拉伸性能试验方法》,弯曲强度按 GB 1449《玻璃纤维增强塑料弯曲性能试验方法》。缠绕成型的测定方法:环向抗拉强度和弹性模量的测定按 GB 1458《纤维缠绕增强塑料环形试样拉伸试验方法》,轴向抗拉强度按 GB 5349《纤维增强热固性塑料管轴向拉伸性能试验方法》,弯曲强度按 GB 1449《玻璃纤维增强塑料弯曲性能试验方法》,压缩强度按 GB 1448《玻璃纤维增强塑料压缩性能试验方法》。

5.6 制品尺寸检查

5.6.1 对圆筒制品，内径允差为±1%，但最大不超过50mm，圆筒内表面的圆度公差为圆筒内径的±1%；对椭圆形制品，长短轴公差为±1%；容器总长(高)度允差(上下封头顶头间的距离)为±0.5%。

5.6.2 容器管法兰端面与接管轴线的垂直度不应大于表5.6.2-1的规定。

接管的标准方位(法兰接管的轴线对容器径向或轴基准的位置)的位置度偏差不应大于表5.6.2-2的规定。

表5.6.2-1 (mm)

管法兰公称直径 DN	≤100	≤250	≤500	≤1000	≤1800	≤2500	≤3500	≤4000
垂直度	1.5	2.5	3.5	4.5	6	8	10	13

表5.6.2-2 (mm)

管法兰公称直径 DN	0～300	300～1000	1000～2000	>2000
位置度偏差	ϕ6	ϕ9	ϕ15	ϕ20

5.7 盛水试验

玻璃钢容器制造完后，应进行常温盛水试验，试验时间为48小时，要求无渗漏，无冒汗，无明显变形等。

5.8 水压试验

5.8.1 受压容器应进行水压试验，水压试验压力为1.5倍的设计压

力，保压 3 分钟后降至设计压力，保压时间不得小于 20 分钟，以无渗漏及无明显变形为合格。

5.8.2 压力容器工艺评定用模型容器的内压试验及应变测定按 GB 6058《纤维缠绕压力容器制备和内压试验方法》进行，试验报告按 GB 1446《纤维增强塑料性能试验方法总则》的规定。

附录 A　耐腐蚀不饱和聚酯树脂的耐腐蚀性能

表 A－1　MFE 型乙烯基酯树脂的耐腐蚀性

化学介质	浓度（%）	建议使用温度（℃）	化学介质	浓度（%）	建议使用温度（℃）
醋酸	≤25	80	硝酸	5	65
乙醇	5～30	65		20	50
甲醇	10	65	氢氧化钠	10～25	80
氨水	≤20	65		50	90
氢氧化铵	5	80	次氯酸钠	5－15	80
铬酸	≤20	60	硫酸钠		90
氢氧化钙		80	硫酸	≤70	80
四氯化碳		65		70～75	45
柠檬酸		90	尿素	≤50	65
硫酸铜		90	二氧化氯		85
甲醛		65	海水		100
盐酸	≤20	90	双氧水	≤30	65
	20～36	70	次氯酸	10	80
氢氟酸	10	65		20	65

注：以上为浇铸体试件测试数据。

表 A－2　W2－1 乙烯基酯树脂的耐腐蚀性

化学介质	浓度（%）	建议使用温度≤(℃)	化学介质	浓度（%）	建议使用温度≤(℃)
铬酸	20	65	甲苯	100	49
柠檬酸		100		20～37	82
硫酸铜		120	氢氟酸	10	65
环己酮		65		20	38
乙二醇		90	次氯酸	10	82
甲醛		65		20	65
甲酸	10	80	双氧水	≤30	65
汽油	80	65	磷酸		100
氢氧化钠	10	65	二氧化氯		85
	25	82	醋酸	50	40
	50	90	湿氯气		65
次氯酸钠	5～15	82	氟硅酸	10	20
硫酸钠		100	硝酸	5	80
硫酸	≤50	99	盐酸	37	80
	50～70	80	海水		100
	50	49			

注：以上为浇铸体试件测试数据。

表 A－3　YX 系列乙烯基酯树脂的耐腐蚀性

化学介质		浓度(%)	使用温度(℃)	
			YX－2/YX－931	YX－1
酸性介质	硫酸	25	＜100	＜100
		70	80	80
		75	室温	45
	盐酸	＜20	80	110
		37	60	80
	磷酸	所有	＜100	＜100
	亚磷酸	70	室温	室温
	硝酸	5	60	80
		20	45	60
		40	不耐	室温
	发烟硝酸		80	80
	甲酸	10	80	80
		98	不耐	室温
	醋酸	＜25	＜100	＜100
		50	80	80
		75	60	60
	冰醋酸	100	不耐	室温
	氢溴酸	＜25	80	80
		48	60	60
		62	室温	室温
	氢氟酸	10	60	60
		20	室温	室温
	高氯酸	10	60	60
		30	室温	室温
	水杨酸	100	60	
	苯磺酸	65	不耐	室温
氧化性介质	次氯酸钠	＜18	80	80
	过氧化氢	30	60	60
	次氯酸钙	所有	70	80
	次氯酸(湿)	饱和	80	80
	纸浆漂白粉	100	80	90
	氯水	饱和	80	＜100
	过氧化钠	饱和	＜100	＜100

续表 A－3

化学介质		浓度(%)	使用温度(℃)	
			YX－2/YX－931	YX－1
碱性介质	氢氧化钠	＜10	65/80	65
		25	80	80
		50	＜100	＜100
	碳酸钠	＜35	80	80
	氢氧化钾	＜25	60/80	60
		45	80	80
	醋酸钠	所有	＜100	＜100
	氨水	液气	不耐	不耐
		气	室温	室温
溶剂	二甲苯	100	室温	45
	乙醇	95	室温	室温
	丁醇	所有	45	45
	乙二醇		＜100	＜100
	乙二醇	40	室温	室温
	甲乙酮	100	不耐	室温
	苯酚	5		45
		88	不耐	室温
	尿素	50	60	60
	航空汽油	100	80	80
	煤油	100	80	80
	天然酸性油	100	＜100	120
气相介质	燃料油烟道气		160	200
	H_2S(气)		80	170
	CO_2(气)		＜100	170
	CO(气)		＜100	200
	Br_2(气)		室温	室温
	HCl(气)		＜100	170
	HF(气)		80	80
电镀液类	锌电解液		60	60
	镀铂液		80	80
	镍电镀液		80	80

表 A－4　双酚 A 耐酸不饱和树脂化学品试验结果(室温)

介质	浓度(%)	评定	介质	浓度(%)	评定
硫酸	≤70	耐	丙酮		不耐
硝酸	≤40	耐	汽油		耐
盐酸	≤30	耐	氨水	25	尚耐
醋酸	50	耐	硝酸镍		耐
氢氟酸	≤40	耐	硫酸锰	电解液	耐
氢氧化钠	5	耐	尿素	饱和	耐
氯化钠	饱和	耐	苯		尚耐
硫酸铜	电解液	耐	水		耐
硫酸铵	饱和	耐	二氧化氯		耐

表 A－5　双酚 A 耐酸不饱和树脂浇铸体在 80℃下的耐蚀性

介质	浓度(%)	评定	介质	浓度(%)	评定
盐酸	30	耐	氢氧化钠	35	尚耐
硝酸	35	耐	乙醇		尚耐
硫酸	50	耐	氨水	20	耐
醋酸	20	耐	苯		尚耐
氢氧化钠	5	尚耐	硫酸铜	电解液	耐

玻璃钢化工设备设计规定

HG/T 20696－1999

条 文 说 明

玻璃钢化工设备具有良好的耐腐蚀性能、承载能力及制作方便等特点，国内已获广泛应用，国外许多先进国家均已制定了有关标准规范。国内近几年引进大量机械缠绕法装备制作纤维缠绕玻璃钢化工设备，并有了很大的发展和应用，制品质量有了很大的提高。为进一步满足石油化工等设计部门要求，本规定是在原 CD130A19－85《手糊法玻璃钢设备设计技术条件》基础上，参照国外有关标准、规范和资料编制而成，现将条文说明如下。

1 总 论

1.1 本规定适用于以热固性树脂为基体材料，玻璃纤维为增强材料复合而成的整体玻璃钢化工设备。当设计者采用其它类纤维材料作增强材料时，也可参照本规定。

1.2 手糊法施工工艺制作在国内目前虽仍有应用，但随着国内大量机械缠绕法制作玻璃钢化工设备及管道技术的引进，已逐步取代手糊法工艺，因此本规定适用于以缠绕法为主，结合喷射法、模压法（主要用于压制法兰等零部件）的玻璃钢设备设计。本规定不适用于盛装极度危害介质的设备。手糊法在本规定中仅用于制作零部件及接管连接附件之用。

1.4 设计压力主要是按国内目前实际使用压力而定。对手糊法成型工艺的容器，按玻璃钢储罐标准 HG 21504.1～HG 21504.2 规定负压为－500Pa，正压为 2000Pa。机械缠绕法工艺成型的玻璃钢化工设备目前大部分使用压力为 0.6MPa。对于生产有压力的玻璃钢设备制造厂，应经有关部门批准认可后，方可生产玻璃钢化工压力容器。

1.5 设计温度与使用的树脂种类、固化条件有关。根据国内的实际情况，目前环氧玻璃钢 $t \leqslant 90℃$，通用型不饱和聚酯玻璃钢 $t \leqslant 60℃$，双酚 A 型 $t \leqslant 110℃$，乙烯基酯 $t \leqslant 120℃$。

玻璃钢材料的低温性能好，冲击强度随温度下降而上升，根据目前已使用在－40℃条件下的玻璃钢化工储罐，仍能正常运行，本规定按使用情况制定温度下限为－40℃。

玻璃钢在易燃、易爆的条件下使用时，应选用相应的自熄性树脂，考核玻璃钢的阻燃性采用氧指数值（即 OI 值）。建材部门要求大于 26，对化工设备在某些重要场合时，应大于 30。国内自熄性树脂有反应型阻燃树脂（这类树脂阻燃作用是靠燃烧时在表面形成难燃气体层）及添加型树脂，（受热后能分解 HCl 或偏磷酸，聚合成为阻燃屏蔽）。应该指出，氧指数值提高后，阻燃性能虽好，但力学性能有所下降，施工可易性差。

1.7 定义中各项名称基本参照 GB 150 标准有关说明。

1.8 考虑的载荷参照 GB 150 及有关圆筒形钢制焊接储罐设计规范。

1.9 设备设计厚度附加量是根据实际生产中由于局部厚度不均匀而附加的量。

1.10 安全系数的选择是一个很复杂的问题，它与载荷条件、成型条件、设计条件、材料分散等因素有关。目前国内部分资料中安全系数取 8～16。美国 ASTM D3299 标准，取最小的设计安全系数约为 5.8，最大的约为 12.4；英国 BS 4994 中安全系数 K 由如下几个部分

组成：

$$K = 3 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$$

式中 3——基本安全系数；

K_1——生产工艺影响系数，手糊法取 1.5；机械缠绕取 1.5；喷射法取 1.5；

K_2——长期环境影响系数(与强度损失有关)，长期工作时玻璃钢的强度损失不得超过 50%，当强度损失为 20%，K_2 取 1.2；当强度损失为 50%时，K_2 取 1.5。

K_3——温度影响系数，取决于树脂的热变形温度及工作温度，K_3 取 1～1.25；

K_4——交变载荷影响系数，K_4 取 1～2；

K_5——固化过程影响系数，经后固化时，K_5 取 1.1，未经后固化时，K_5 取 1.3，设计温度≥45℃时，K_5 取 1.5。

总的安全系数 K 不得小于 8。

日本 FRP 协会及 FRPS C001《手糊玻璃钢耐蚀设备产品标准》也采用上述方法，且 K 不小于 10。瑞典《塑料容器规范》也采用上述方法。

本标准考虑到国内制造现状，机械缠绕取 $n \geq 10$。目前玻璃钢容器设计基本上参照金属容器的等代设计法为主。

由于玻璃钢没有明显的屈服强度，故玻璃钢容器壁厚可根据拉伸强度及合理的安全系数来进行计算。

关于玻璃钢材料许用应变值的规定，是按照许用应变设计准则的要求。玻璃钢化工容器的失效形式主要是腐蚀渗透和力学破坏。腐蚀渗透破坏主要表现为介质对材料的扩散渗透引起界面脱粘，造成材料鼓泡、分层等破坏，材料一旦存在微裂纹，这样的过程会加剧。

力学破坏主要是低应力疲劳破坏和环境应力开裂，对于耐腐蚀玻璃钢容器应避免微裂纹产生，以防止介质的渗入破坏是十分重要的。因此，对耐腐蚀玻璃钢储罐应按限制罐壁应变的条件进行设计是合理的，即按许用应变设计准则进行设计，许用应变设计准则的一般形式为 $\varepsilon_{max} \leqslant [\varepsilon]$。

式中 ε_{max}——设计载荷下设备的最大应变，%。

$[\varepsilon]$——设计条件下材料的最大允许应变，%。

在美国 ASTM D3299 标准中，许用应变 $[\varepsilon] = 0.1\%$。英国 BS4994 标准中，$[\varepsilon] = 0.1 \sim 0.2\%$。法国 NF 标准中，当树脂的断裂应变 $\varepsilon \leqslant 0.2\%$ 时，$[\varepsilon] = 0.1\%$；而当 $\varepsilon \geqslant 2\%$ 时，$[\varepsilon] = 0.2\%$。国内对一般腐蚀条件时，$[\varepsilon] = 0.15\%$，对于比较严重的腐蚀条件时，$[\varepsilon] = 0.1\%$ 或 0.05%。本规定 $[\varepsilon]$ 取 0.1。

2 材 料

2.2 玻璃纤维生产中，因其拉丝工艺和纺织加工的需要，一般要用浸润剂进行处理。玻璃纤维浸润剂一般分为纺织型和增强型，由于纺织型浸润剂用得最多的是蜡基类，以这种浸润剂处理的玻璃纤维及织物与树脂的浸润性能极差，因此在制作玻璃钢之前必须进行脱蜡处理。采用增强型浸润剂处理的玻璃纤维表面被复层，既能与玻璃纤维粘接，又能很好地与树脂粘接，因此增强型浸润剂处理过的玻璃纤维及其织物最适合于制造玻璃钢制品，特别是用于缠绕成型的玻璃纤维，必须选用硅烷系列的增强型浸润剂。

一般认为，中碱纤维及其织物适用于酸性介质，无碱纤维及其织物适用于碱性介质。但这两种纤维及其织物均不能适用于氢氟酸介质，此时的耐腐蚀层增强材料应选用有机纤维或涤纶布。

耐腐蚀玻璃钢不同于以强度为主的玻璃钢，其最大特点是采用耐腐蚀复合结构，耐腐蚀内层应由表面毡、短切毡及耐腐蚀树脂所组成。过去国内大部分玻璃钢化工设备没有采用耐腐蚀内层，这是引起耐腐蚀玻璃钢设备渗漏和寿命不长的主要原因。

近几年来，国内陆续引进了国外表面毡和短切毡生产技术和成套装置。基本上解决了国内耐腐蚀玻璃钢耐腐蚀层选用短切毡和表面毡的原料问题。

2.3 耐腐蚀玻璃钢化工设备中目前应用最多的树脂是环氧树脂和不饱和聚酯树脂，所以本标准中列入这两种树脂。

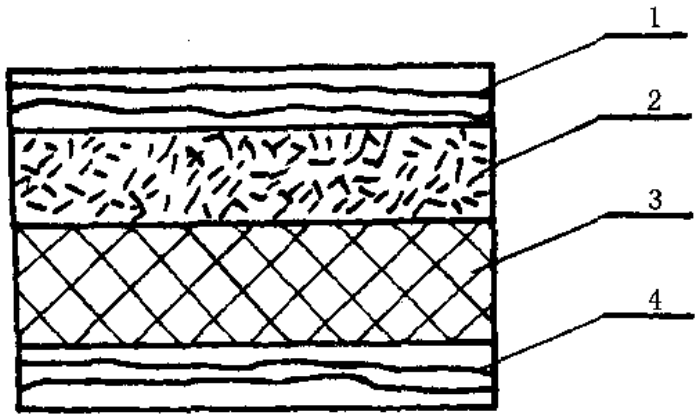
不饱和聚酯树脂施工性能好，使用范围广，是最具有代表性的一种树脂，在耐腐蚀方面应主要选用乙烯基酯树脂、双酚 A 型不饱和聚酯（国外以 DERAKANE411；470 为代表），国内也以 MFE 型、W_2 型、YX 型乙烯基酯树脂为主。

由于本标准是设计规定，故只对玻璃钢主要原料（树脂和玻璃纤维）提出技术指标要求，对玻璃钢辅助材料仅列出不饱和聚酯树脂常用固化剂。

2.5 玻璃钢制品的力学性能影响因素太多，很难用确定的数值来表达。同种材料的玻璃钢制品会因施工工艺、成型方法、操作人员经验、固化条件、现场环境等因素的不同，其力学性能相差甚大。表中所列数值是玻璃钢力学性能最低保证值。美、英、日等国家有关玻璃钢标准中都列有最低力学性能保证值，现列出供设计人员参考使用。通过许多数据调查及有关资料介绍，实际产品的玻璃钢力学性能值均大于表中值。

3 结 构

3.1 玻璃钢容器壁厚由三层组成:即内层(包括富树脂层、中间层)、结构层、外层。其结构如下图所示。



容器壳壁结构示意图

1——富树脂层;2——中间层;3——结构层;4——外层

3.2 本规定所列的玻璃钢容器几种典型的支座结构主要取自国外标准,其中有英国 BS 4994《增强塑料容器和储罐设计和结构》、瑞典和其他国外工程公司的规定及结构。

3.3 玻璃钢容器的连接主要参照国外标准,其中有美国ASTM D3299《玻璃纤维缠绕增强热固性树脂耐化学性储罐标准规格》及日本等标准,此结构已用于实际生产。

3.4 开孔补强的结构参照 ASTM D3299 及日本 FRPS C001《手糊法玻璃钢耐蚀设备产品标准》。

3.6 罐底转角结构设计参照 ASTM D3299 等标准。

3.7 接管的结构设计参照 ASTM D3299 及其他国家标准。管法兰

按HG管法兰标准，其他外形尺寸（如圆角尺寸）参照日本FRPS C001等标准。

接管装配时所需的剪切粘接长度 h_s 参照美国ASTM D3299标准及其他国家标准，国内不少厂家生产的产品也采用此数值。

玻璃钢接管加撑结构参照英国BS 4994、美国ASTM D3299及日本FRPS C001等标准。

进液排液管结构是参照国内外产品中常用结构。

3.8 人孔结构设计参照美国ASTM D3299标准，法兰采用带颈法兰，以增加强度与刚度。

3.9 不可拆卸连接是参照日本FRPS C001等标准，玻璃钢的剪切性能在《玻璃钢结构设计基础》中推荐一般取49MPa。

3.10 可拆卸连接参照日本FRPS C001及瑞典《塑料容器规范》。

4 计 算

4.1 本规定内压圆筒计算方法，采用中径公式计算，BS 4944、ASME对离心法和接触法制成圆筒形壳体的壁厚也采用此公式。国内目前采用中径公式计算壳体壁厚虽为保守、陈旧，但有一定的使用经验。

4.3 内压凸形封头的强度设计参照瑞典《塑料容器规范》及英国BS4994进行编制。

4.4 内压锥形封头的强度计算参照德国AD规范编制。

4.5 容器开孔补强的计算参照日本FRPS C001等国外标准编制。

4.10 法兰强度计算参照GB 150中宽面法兰进行计算。对多层贴合板件的抗弯强度与许多条件有关，如无可靠数据，可按日本FRPS C001推荐数据为147MPa，国内不少厂家实测，数据为261～

236MPa。其法兰安全系数按日本 FRPS C001 推荐 n≥8。

4.11 平封头及螺栓连接按 ASME 第 X 篇进行编制。

4.12 平封头、盖和盲法兰上开孔计算按 ASME 第 X 篇进行编制。

4.13 卧式容器结构参照 BS 4944 标准。

4.14 立式储罐的设计参照 SH 3046《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》等有关焊接储罐标准，同时还参照美国ASTM D3299 规范。

5 检验要求

玻璃钢化工设备产品试验和质量检验方法国内尚未有统一的标准，本节主要参照国内几家主要制造玻璃钢厂的专业标准提出。

5.1～5.4 主要参照国内有关企业标准及 CD 130A19－85 等有关标准条文制定。

5.5 参照有关国家标准及《玻璃钢性能测试及产品检验》等有关资料制定。

5.6 参照中国有色总公司 ZSWJ－QG－03 规程中有关条文制定。

5.7 参照 CD 130A19－85 规定中有关条文制定。

5.8 参照 ASME 中有关条文制定。

参 考 文 献

〔1〕 CD 130A19－85《手糊法玻璃钢设备设计技术条件》,化工部设备设计技术中心站、化工部工程建设标准编辑中心

〔2〕 ZSWJ－QG－03《玻璃钢防腐蚀工程施工操作规程》,中国有色总公司第五建设公司

〔3〕《玻璃钢成型工艺》,中国建筑工业出版社

〔4〕《玻璃钢结构设计基础》,中国建筑工业出版社

〔5〕《玻璃钢性能测试及产品检验》,中国建筑工业出版社

〔6〕《玻璃钢原材料》,中国建筑工业出版社

〔7〕 德国 AD 压力容器规范,1988.5

〔8〕 ASTM D3299《玻璃纤维缠绕增强热固性树脂耐化学性储罐标准规格》

〔9〕 美国机械工程师学会 ASME Ⅹ,1989

〔10〕 日本 FRPS C001－85《手糊法玻璃钢耐蚀设备产品标准》

〔11〕 Swedish Plastic Vessel Code,1983

〔12〕 British Standard Specification for Design and Construction if Vessels and tanks in reinforced plastics,BS 4994－87

〔13〕《GENERAL SPECIFICATION FOR FRP》,Krebs Co

〔14〕《HAND LAY－UP REINFORCED THERMOSET.PLASTIC(RTP) TANKS AND EQUIPMENT》,DUPONT Co

〔15〕《纤维增强塑料(玻璃钢)标准汇篇》,中国标准出版社

〔16〕《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》,中国石油化工总公司

〔17〕 GB 150《钢制压力容器》,中国标准出版社