

炼油化工企业 安全生产管理技术手册

徐宝成 焦桐祥 王彬 编著

(下册)



黑龙江科学技术出版社

炼油化工企业
安全生产管理技术手册
(下册)

徐宝成 焦桐祥 王彬 编著



黑龙江科学技术出版社

中国·哈尔滨

图书在版编目(CIP)数据

炼化化工企业安全生产管理技术手册/徐宝成,焦桐祥,王彬编著. —哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,2008.8

ISBN 978 - 7 - 5388 - 5849 - 5

I. 炼… II. ①徐…②焦…③王… III. 石油化学工业—工业企业—安全管理—技术手册
IV. ET687 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 121625 号

责任编辑 张坚石

炼化化工企业

LIANYOU HUAGONG QIYE

安全生产管理技术手册(上、下册)

ANQUAN SHENGCHAN GUANLI JISHU SHOUCHE

徐宝成 焦桐祥 王彬 编著

出 版 黑龙江科学技术出版社

(150090 哈尔滨市南岗区湘江路 77 号)

电话(0451)3642106 电传 3642143(发行部)

印 刷 哈尔滨太平洋彩色印刷有限公司

发 行 黑龙江科学技术出版社

开 本 850 × 1168 1/16

印 张 37.625

字 数 900 000

版 次 2008 年 10 月第 1 版 · 2008 年 10 月第 1 次印刷

●印 数 1 - 500

书 号 ISBN 978 - 7 - 5388 - 5849 - 5/TE · 96

定 价 138.00 元(上、下册)

目 录

第七章 锅炉、压力容器的安全管理	(357)
第一节 锅炉、压力容器安全基础知识	(357)
一、锅炉、压力容器基础知识	(357)
二、锅炉、压力容器强度设计	(363)
第二节 安全附件及仪表	(394)
一、安全阀	(394)
二、压力表	(403)
三、水位表	(405)
四、温度测量仪表	(408)
五、排污阀	(409)
六、锅炉、压力容器的其他安全装置	(411)
七、压力容器的安全泄放量	(417)
第三节 锅炉、压力容器常用钢材	(419)
一、受压元件选用钢材的特殊要求	(419)
二、受压元件钢材的选用	(419)
三、几种化学元素对钢材性能的影响	(421)
第四节 压力容器安全监督管理	(422)
一、压力容器制造质量控制	(422)
二、制造质量控制与检查	(431)
第五节 压力容器事故预防与处理	(439)
一、压力容器断裂及预防	(439)
二、承压部件的断裂形式	(442)
第六节 气瓶安全管理	(452)
一、气瓶的种类	(452)
二、钢质气瓶的结构	(453)
三、气瓶的漆色和标识	(455)
四、气瓶的充装及充装系数	(457)
五、气瓶使用管理	(461)
第八章 压力管道和阀门的安全管理技术	(463)
第一节 管道的分类与标准化	(463)
一、管道的分类	(463)
二、管道的标准化	(464)
第二节 管道的连接方式及主要连接件	(465)
一、管道的连接方式	(465)
二、连接管件	(466)

第三节 阀门的分类及型号	(469)
一、阀门种类	(469)
二、阀门产品型号	(469)
三、阀门产品型号、名称举例	(470)
第四节 配管安全技术	(471)
一、管道的腐蚀	(471)
二、管道(设备)的绝热	(472)
三、管道防腐涂层	(473)
四、管道的代号与涂色	(474)
第五节 压力管道的安全运行与管理	(475)
一、压力管道的安全运行	(475)
二、压力管道的安全管理	(475)
第九章 吊装与搬运作业的安全技术	(478)
第一节 常用起重绳索与吊具	(478)
一、绳索	(478)
二、吊具	(481)
第二节 常用起重机具的安全技术	(488)
一、起重与吊装的安全常识	(488)
二、起重机械的安全常识	(495)
第三节 桅杆、地锚、井架安全常识	(498)
一、桅杆	(498)
二、地锚与缆绳	(508)
第四节 大型起重机具的安全技术	(512)
一、起重机的主要组成部分	(512)
二、大型起重机介绍	(513)
三、使用起重机械的安全技术	(514)
第五节 井架与门架	(515)
一、井架与门架的构造	(515)
二、门架、井架的架设要求	(516)
三、门架、井架安全装置的作用	(516)
第十章 炼油化工安全生产危险性分析与安全预测	(517)
第一节 概述	(517)
第二节 安全检查表	(517)
一、安全检查表的作用、编制的步骤及依据	(517)
二、安全检查表的种类和内容	(518)
三、安全检查表的格式	(519)
第三节 预先危险性分析	(521)
一、预先危险性分析的适用范围	(521)
二、分析步骤	(521)

三、分析举例	(522)
第四节 危险和可操作性研究	(523)
一、危险和可操作性研究的作用	(523)
二、分析步骤	(523)
三、应用举例	(524)
第五节 故障类型和影响分析	(525)
一、故障类型和影响分析方法简述	(525)
二、分析步骤	(525)
第六节 事件树分析	(527)
一、分析原理	(527)
二、分析步骤	(527)
第七节 事故树分析	(528)
一、事故树分析的做法	(528)
二、事故树分析的步骤	(528)
三、事故树的符号及意义	(529)
四、编树举例	(530)
五、定性分析	(532)
第八节 化工安全预测	(536)
一、安全预测概述	(536)
二、利用回归法进行伤亡事故趋势预测	(538)
第九节 化工安全系统工程	(542)
一、系统与系统工程	(542)
二、安全与系统安全	(543)
三、炼油化工生产的“人-机-环境”系统	(545)
第十一章 职业危害及其预防	(547)
第一节 概 述	(547)
一、职业卫生	(547)
二、职业危害因素	(547)
三、职业病和法定职业病	(548)
第二节 职业危害和职业病	(552)
一、粉尘与尘肺	(552)
二、生产性毒物及职业中毒	(553)
第三节 物理性职业危害因素	(558)
一、噪声	(558)
二、振动及振动病	(558)
第四节 电磁辐射及其所致的职业病	(559)
一、非电离辐射	(559)
二、电离辐射	(560)
第五节 职业性致癌因素和职业癌	(561)

一、职业致癌物的分类·····	(561)
二、职业性传染病·····	(561)
三、其他职业病·····	(561)
四、与职业有关的疾病·····	(562)
第六节 女工的职业卫生问题·····	(563)
一、一般体力劳动中的女工职业卫生问题·····	(563)
二、职业性危害因素对月经的影响·····	(563)
三、职业性危害因素对生育功能的影响·····	(564)
第七节 职业危害监测与管理·····	(564)
一、作业场所的职业危害监测·····	(564)
二、职业卫生管理·····	(565)
第八节 职业危害治理及防护·····	(566)
一、生产过程危害因素控制与消除·····	(567)
二、物理因素控制与防护措施·····	(569)
第十二章 炼油化工生产专项管理安全技术·····	(580)
第一节 高处作业安全技术·····	(580)
一、高处和临边作业安全防护·····	(580)
二、临边作业安全技术及要求·····	(581)
第二节 洞口作业安全技术及要求·····	(584)
一、通道口·····	(585)
二、预留孔洞口·····	(585)
三、电梯井口·····	(586)
四、楼梯口·····	(586)
第三节 攀登作业安全技术及要求·····	(587)
一、梯子结构·····	(587)
二、移动式梯子·····	(587)
三、人字梯(折梯使用时)·····	(587)
四、固定式直爬梯·····	(587)
五、其他攀登工具·····	(588)
第四节 悬空作业安全技术及要求·····	(588)
一、构件吊装与管道安装悬空作业·····	(588)
二、钢筋绑扎悬空作业·····	(589)
三、混凝土浇筑悬空作业·····	(589)
四、支搭和拆卸模板悬空作业·····	(589)
五、门窗工程悬空作业·····	(589)
六、预应力张拉悬空作业·····	(589)
第五节 化学纤维生产防静电安全规程·····	(590)
一、化纤静电的危害·····	(590)
二、抗静电油剂和静电消除器的作用·····	(590)

三、机器零部件材料的选择·····	(591)
四、静电接地的要求·····	(591)
五、化纤静电危害的管理·····	(592)
第六节 聚烯烃料仓静电爆燃的预防 ·····	(592)
第七节 安全阀设置的管理规定 ·····	(593)
一、概述·····	(593)
二、设计选型及订货·····	(594)
三、设置和选用原则·····	(595)
四、安全阀安装运输要求·····	(596)
五、校验和维护·····	(596)
第八节 空分装置的安全运行管理 ·····	(597)
一、空分装置空气吸入口安全要求·····	(597)
二、排放液氧的安全要求·····	(598)
三、空分装置停车安全要求·····	(598)
第九节 炼油化工重点生产过程的防火措施 ·····	(599)
一、物料输送·····	(600)
二、粉碎和混合生产中的防火措施·····	(605)
三、加热过程的防火技术·····	(607)
四、蒸馏工艺中的消防安全 ·····	(613)
五、冷冻工艺的消防安全 ·····	(617)
六、干燥工艺的消防安全·····	(620)
第十节 防灾应急管理 ·····	(623)
一、安全应急管理规定·····	(623)
二、抗震减灾管理规定·····	(624)
三、防汛抗灾管理·····	(625)

第七章 锅炉、压力容器的安全管理

第一节 锅炉、压力容器安全基础知识

一、锅炉、压力容器基础知识

1. 压力容器概述

在炼油化工企业,压力容器是生产的主要设备之一,同时也是炼油、冶金、能源、轻工、城建等许多部门广泛应用的一种机械。

压力容器在炼油化工生产中不但要承受各种压力(内压和外压),有时还处于高温、深冷、剧毒和强腐蚀的条件下工作,易于发生泄漏、着火、爆炸等事故。因此,加强压力容器的安全技术管理是实现石油化工生产安全的重要环节。我国劳动部于1990年5月9日颁发了《压力容器安全技术监察规程》,并于1991年元月1日正式执行。这是我国最新的一部关于压力容器的安全技术监察规程。它是根据国务院1982年2月6日颁布的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》制定的。

为了学习和应用查阅上的方便,现将1979年4月以来,国务院、原国家劳动总局、劳动人事部、化学工业部、石油工业部、机械工业部及中国石油化工颁发的有关常用压力容器的法规列于表7-1中。

(1) 压力容器及其分类

一般将最高工作压力 $P_w \geq 0.1 \text{ MPa}$ (1 kgf/cm^2) (不包括液体静压力)的容器称为压力容器。

压力容器可以作为一个独立的部件,如球形容器、液氨贮槽等;也可作为其他设备的外壳,为进行化学反应提供承压空间,如各类反应器、塔和分离器等。

压力容器的分类方法很多,按《压力容器安全技术监察规程》中的分类分为低压、中压、高压、超高压四个压力等级分类。

a. 低压(代号 L) $0.1 \text{ MPa} \leq P < 1.6 \text{ MPa}$

b. 中压(代号 M) $1.6 \text{ MPa} \leq P < 10 \text{ MPa}$

c. 高压(代号 H) $10 \text{ MPa} \leq P < 100 \text{ MPa}$

d. 超高压(代号 U) $P \geq 100 \text{ MPa}$

按压力容器在生产工艺过程中的作用原理来划分,分为反应压力容器、换热压力容器、分离压力容器、储存压力容器。

① 反应压力容器

(代号 R),主要是用于完成介质的物理、化学反应的压力容器。如反应器、反应釜、分解锅、分解塔、聚合釜、高压釜、超高压釜、合成塔、变换炉、蒸煮锅、蒸球、蒸压釜、煤气发生炉等。

② 换热压力容器

(代号 E),主要是用于完成介质的热量交换的压力容器。如管壳式余热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器、硫化锅、消毒锅、染色器、烘缸、磺化锅、蒸炒锅、预热锅、溶剂预热器、蒸

锅、蒸脱机、电热蒸汽发生器、煤气发生炉水夹套等。

③分离压力容器

(代号 S),主要是用于完成介质的流体压力平衡和气体净化分离等的压力容器。如:分离器、过滤器、集油器、缓冲器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔、汽提塔、分汽缸、除氧器。

④储存压力容器

(代号 C,其中球罐代号 B),主要是用于盛装生产用的原料气体、液体、液化气体等压力容器。如各种类型的储罐。

从压力容器的安全监督和管理的角度划分,将一般常用的压力容器划分为三类。

a. 一般的低压容器为第一类压力容器。

b. 下列情况之一者为第二类压力容器。

①中压容器

①易燃介质或毒性程度为中度危害介质的低压反应容器和储存容器。

②毒性程度为极度和高危害介质的低压反应容器和储存容器。

这里所谓易燃介质是指与空气混合的爆炸下限小于 10%,或爆炸上限和下限之差值大于等于 20% 的气体,如一甲胺、乙烷、乙烯、氯甲烷、环氧乙烷、环丙烷、氢、丁烷、三甲胺、丁二烯、丁烯、丙烷、丙烯、甲烷等。

介质毒性程度是参照 GB5044《职业性接触毒物危害程度分级》的规定。该规定分为四级,其最高容许浓度分别为

极度危害(Ⅰ级) $<0.1\text{mg}/\text{m}^3$;

高度危害(Ⅱ级) $0.1 \sim <1.0\text{mg}/\text{m}^3$;

中度危害(Ⅲ级) $1.0 \sim <10\text{mg}/\text{m}^3$;

轻度危害(Ⅳ级) $\geq 10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

例如:Ⅰ,Ⅱ级 氟、氢氰酸、光气、氟化氢、碳酰氟、氯等;Ⅲ级 二氧化硫、氨、一氧化碳、氯乙烯、甲醇、氧化乙烯、硫化乙烯、二硫化碳、乙炔、硫化氢等;Ⅳ级 氢氧化钠、四氟乙烯、丙酮等。

⑤. 低压管壳式余热锅炉。

⑥. 搪玻璃压力容器。

c. 下列情况之一者为第三类压力容器:

①毒性程度和高度危害的中压容器和 P, V 大于等于 $0.2\text{MPa}, \text{m}^3$ 的低压容器;(P 指设计压力, V 指压力容器的几何容积,即由设计尺寸计算并圆整,且不扣除内部附件体积的容积);

②易燃或毒性程度为中度危害介质且 P, V 大于等于 $0.5\text{MPa}, \text{m}^3$ 的中压反应容器和 P, V 大于等于 $10\text{MPa}, \text{m}^3$ 的中压储存容器;

③高压、中压管壳式余热锅炉;

④高压容器。

上述的一般常用压力容器不包括下列容器:

一是核能装置中的压力容器、交通工具上的附属压力容器、军事装备用的压力容器、消防用的压力容器、科学研究试验装置用的压力容器、医疗用载人的压力容器、真空下工作的压力容器;

二是各类气体槽(罐)车和气瓶;

三是非金属材料制造的压力容器;

- 四是无壳体的套管换热器、冷却排管等；
- 五是烟道式余热锅炉和砌(装)在设备内的管式水冷却件；
- 六是正常运行最高工作压力小于 0.1 MPa,但在使用中短时(如进、出物料时)承压的压力容器(如常压发酵罐,硫酸、硝酸、盐酸储罐、水泥罐车及类似的设备等)；
- 七是机器上非独立的承压部件(如压缩机、发电机、泵、柴油机的承压壳或气缸,但不含造纸、纺织机械的烘缸、压缩机的辅助压力容器和移动式空气压缩机储缸等)；
- 八是电力行业专用的封闭式电气设备的电容压力容器(封闭电器)；
- 九是超高压容器。

表 7-1 常用压力容器法规一览表

颁布部门	名 称	颁布日期	实施日期
国务院劳动人事部	锅炉压力容器安全监察暂行条例	1982.2.6	1982.7.1
劳动人事部	《锅炉压力容器安全监察暂行条例》实施细则	1982.8.7	1982.8.7
国家劳动总局	锅炉压力容器无损检测人员资格考核规则	1982.7.16	1983.1.1
国家劳动总局	锅炉压力容器焊工考试细则	1980.9.13	1982.1.1
国家劳动总局	锅炉压力容器事故报告办法	1981.3.16	1981.3.16
国家劳动总局	压力容器安全监察规程	1981.5.14	1982.4.1
国家劳动总局	气瓶安全监察规程	1979.4.25	1980.1.1
国家劳动总局	溶解乙炔气瓶安全监察规程	1981.6.4	1981.6.4
化学工业部石油工业部	液化石油气汽车槽车安全管理规定	1981.2.13	1981.8.1
化学工业部	液化气体铁路槽车安全管理规定	1982.3.29	1982.5.1
机械工业部	钢制石油化工压力容器设计规定	1982.7.9	1983.3.1
中国石油化工总公司	压力容器维护检修规程(试行)	1985.5.1	1985.12.1
中国石油化工总公司	工业管道维护检修规程(试行)	1985.5.1	1985.12.1
中国石油化工总公司	工业管道技术管理制度(试行)	1985.5.1	1985.12.1
劳动人事部	压力容器安全技术监察规程	1990.5.9	1991.1.1

2. 压力容器的基本结构

压力容器一般由筒体、封头、法兰、密封元件、开孔与接管、安全附件及支座等部分组成。对于贮存容器,外壳即是容器;而反应器、换热器、分离器等,还需装入工艺所需的内构件才能构成完整的容器。

(1) 筒体

筒体是贮存或完成化学反应所需的压力空间。常见的筒体外形有圆形和球形两种。

①球形容器 它的本体是一个球壳。球壳一般由上下两块圆弧形板(俗称南、北极板)和多块球面板(俗称瓜皮)对接双面焊接而成。大型球罐的球面板数量更多,它不但有纵向焊接而且还有横向焊接(俗称赤道带、南温带、北温带)。参见图 7-1。

球形压力容器大多数是中、低压容器,直径都比较大。因为只有采用大型结构才能充分发挥球形容器的优越性。从承压壳体的受力情况看,球形是最适宜的形状。因为在内压力作用下,球形壳体的应力是圆筒形壳体的一半。如果容器的直径、制造材料和工作压力相同,则球形壳体所需要的承压壁厚只为圆筒容器的一半。从壳体的表面积看,球形壳体的相对表面积(表面积与容器容积之比)要比圆筒形壳体小 10%~30%,因而使用的板材也少。制造同样容积的压容器,球形容器要比圆筒形容器节省制造材料 30%~40%。

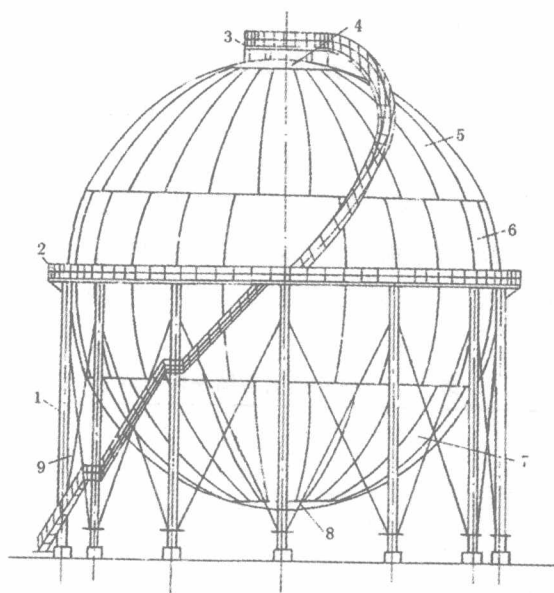


图 7-1 球罐示意图

1. 支柱 2. 中部平台 3. 顶部操作平台 4. 北极板 5. 北温带 6. 赤道带 8. 南极板 9. 拉杆

球形容器的制造比较困难。它不便安装内件,也不利于内部介质的流动,所以不宜作反应器和换热器,而被广泛用作贮存容器。

②圆筒形容器 圆筒形容器是由一个圆筒体和两端的封头组成的,是使用得最为普遍的一种压力容器。虽然它是受力状况不如球体,但比其他形状(如方形)容器要好得多。圆筒体是一个平滑的曲面,没有由于形状突变而产生较大的附加应力。圆筒形容器比球形容器易制造,内部空间又适宜于装设工艺装置,并有利于相互作用的工作介质的相对流动,因而被广泛用作反应、换热和分离器。

对于圆筒形容器的筒体,一般薄壁的除直径较小者常采用无缝钢管外,都是用钢板卷圆后焊接而成;厚壁的则有单层的(包括整体锻造和卷焊)和多层组合的(图 7-2)。

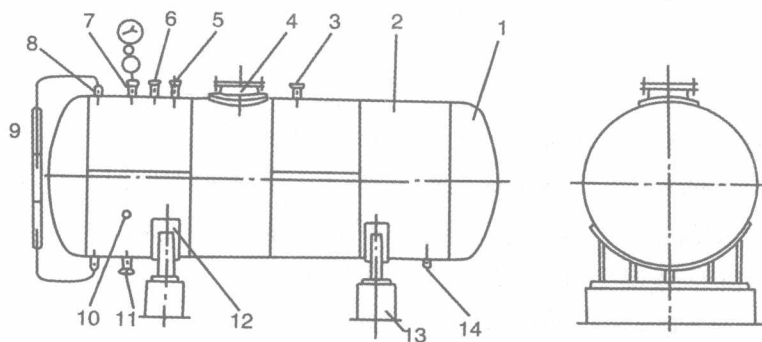


图 7-2 卧式圆筒形贮罐示意图

1. 封头 2. 筒体 3. 气相接管 4. 人孔 5. 液相回流接管 6. 安全阀接管 7. 压力表接管
8. 液面计接管 9. 液面计 10. 温度计插孔 11. 液相接管 12. 鞍式支座 13. 基础 14. 排污接管

(2) 封头

封头是圆筒形容器的主要承压部件。它作为容器的封闭端,与圆筒体组成一个完整的压力容器。通常人们把与圆筒体焊接成一体的容器的端部结构称为封头,而把与筒体由螺栓、法兰等连接的可拆结构称为端盖。

封头的形式较多,以它的纵部曲线来分,有半球形、碟形、椭圆形、无折边球形等。参见图 7-3。在压力作用下,封头壳壁上的应力大小和分布都与它的形式有关。如何正确选用封头的型式与尺寸参数,也是压力容器中一个与安全有关的问题。除了上述四种凸型封头外,还有平板封头和锥形封头。平板封头只是在一些中、低压容器的人孔或手孔中用作盖板。锥形封头也只用于某些特殊用途的场合。如当容器内的介质含有颗粒状或粉末状的物料,或者是黏稠的液体时,为了便于汇集并卸放物料,容器的底部采用锥形封头。有时为了使气体在容器内均匀分布或者要稳定地改变流体的流速,也常采用锥形封头。

① 半球形封头

半球形封头实际上就是个半球体。它的高度等于它的半径。半球形封头整体压制成形比较困难,直径较大(公称直径 $D_g > 2.5\text{m}$)的一般都是由几块大小相同的梯形球瓣板和顶部中心的一块圆形球面板(球冠)组焊而成。半球形封头也和球形容器一样,作为一种承压的简单壳体,它是最理想的形式。因为在直径和承受压力相等的条件下,它所需的厚度最小。当然为了便于与筒体焊接,实际上常取与筒体相同厚度。半球形封头常用在压力较高、直径较大的压力容器上。

② 碟形封头

碟形封头又称带折边球形封头。它由几何形状不同的三部分组成:一是球面体(球冠),半径为 R_c ,是中心部分;二是圆筒体(俗称直边),是与筒体边接的部分;三是过渡圆弧(俗称折边),曲率半径为 r ,连接球面体与圆筒体。过渡圆弧部分的作用是使球面体与圆筒体圆滑过渡,以减小连接处及其附近由于形状突变而产生的局部应力。碟形封头高度的大小取决于它的过渡圆弧曲率半径的比值,即 r/R_c 。 r 越小或 R_c 越大,则封头高度越小,加工制造就比较容易,反之,则封头高度越大,加工越困难,但其局部应力也越小。常用压力容器碟形封头的球面半径与圆筒内径相等, r/R_c 在 0.1~0.15 之间。

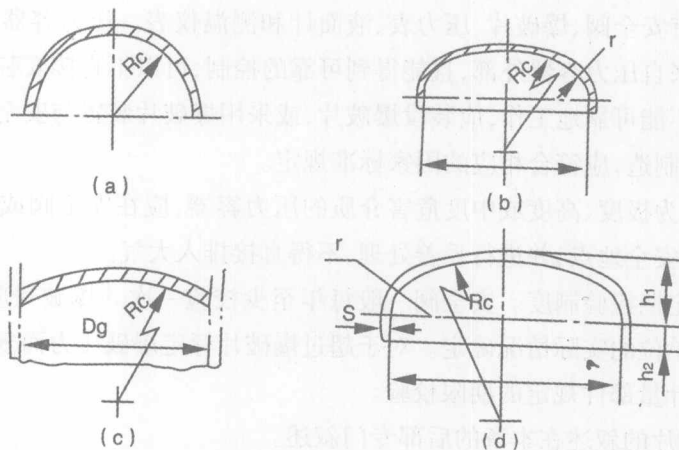


图 7-3 凸形封头

(a) 半球形封头 (b) 碟形封头 (c) 无折边球形封头 (d) 椭圆形封头

③椭圆形封头

椭圆形封头是个半椭圆体。它的纵剖面是条半椭圆曲线。曲线的曲率半径连续变化,没有形状突变处,因而封头的应力分布较均匀,受力状况比碟形封头好。

椭圆形封头的最大应力值取决于它的长短轴之比(即 R_c/r)。我国规定的标准椭圆形封头, $R_c/r=2.0$,一般不超过 2.5。其比值过大,虽然壳壁应力较小,壁厚薄,但制造困难,并会在封头的赤道处产生很大的环向压缩应力,其值可为封头顶部应力的几倍,可能造成局部塌瘪。

椭圆形封头在压力容器中被广泛采用。

(3) 法兰

法兰是容器的封头与筒体及开孔、管口与管道连接的重要部件它通过螺栓和垫片的连接与密封,保持系统的密封性。

①开孔与接管

为了适应各种工艺和安全检查的需要,每台压力容器上都有许多开孔和接管,如手孔、人孔、视镜、进出料管等。这些零部件和容器壳体都要承受压力的作用,故亦称为受压元件。

压力容器内径大于等于 1 000mm 的,应至少开设一个人孔;内径大于等于 500mm、小于 1 000mm 的,应开设一个人孔或两个手孔;内径大于 300mm、小于 500mm 的,至少应开设两个手孔。若压力容器上没有可拆封头或其他能够开关的盖子等能起到人孔或手孔作用的,可不设人孔和手孔。若压力容器上设置螺纹塞检查孔,可不再设置手孔,螺纹管塞的公称直径应不小于 50mm。螺纹管塞检查孔是带有标准锥管螺纹的管座并配装封闭塞或帽盖。

检查孔的开设位置应合理、恰当,便于清理内部。手孔或螺纹管塞检查孔应分别设在两端的封头上或封头附近的筒体上。

球形压力容器的人孔应设在极带上。

②安全附件

每台压力容器都是根据生产工艺的需要而设计的。它只能在允许的压力和温度等条件,否则容器就可能产生塑性变形或破裂。为确保安全生产,每台容器都要根据生产工艺条件及介质的特性和容器的压力来源等因素,安装必要的安全附件。

常用的安全附件有安全阀、爆破片、压力表、液面计和测温仪表。压力容器上均应装设安全阀或爆破片。若压力源来自压力容器外部,且能得到可靠的控制,可以不直接安装在压力容器上。

若安装安全阀后不能可靠地工作,应装设爆破片,或采用爆破片装置与安全阀组合共同结构。

安全附件的设计、制造,应符合相应的国家标准规定。

对易燃、毒性程度为极度、高度或中度危害介质的压力容器,应在安全阀或爆破片排出口装设导管,将排放介质引至安全地点,并进行妥善处理,不得直接排入大气。

安全附件应实行定期检验制度。安全阀一般每年至少校验一次。爆破片应定期更换,更换期限由使用单位根据本单位的实际情况确定。对于超过爆破片标定爆破压力而未爆破的应更换。压力表和测温仪表应按计量部件规定的期限校验。

关于安全阀、爆破片的叙述在本章的后部专门叙述。

二、锅炉、压力容器强度设计

1. 强度设计概述

(1) 锅炉压力容器的失效

构件失去预定的工作能力,叫构件失效;因强度不足引起的失效,叫强度失效。构件破坏或破裂、断裂是典型的强度失效。

因刚度不足或稳定性不足,会造成构件过量弹性变形或失稳坍塌,导致刚度失效或失稳失效。

锅炉压力容器的失效主要是强度失效,包括静载强度不足引起的静载强度失效及交变载荷长期反复作用引起的疲劳强度失效。承受外压的锅炉压力容器部件及元件,既可能产生强度失效,也可能产生失稳失效。

(2) 强度设计的任务

绝大多数锅炉压力容器设计时仍采用常规强度设计的方法。常规强度设计的主要任务,是限制锅炉压力容器受压元件中的一次应力,避免锅炉压力容器的静载强度失效。同时也避免外压元件的失稳失效,防范疲劳失效及其他失效。

具体来说,锅炉压力容器常规强度设计的任务是:

第一,根据受压元件的载荷和工作条件,选用合适的材料;

第二,基于对受压元件一次应力的限制,通过计算确定受压元件的壁厚;

第三,根据结构各处等强度的原则,进行结构强度设计,包括焊缝布置及焊接接头结构设计,开孔布置及接管结构设计,筒体与封头、管板、法兰连接结构设计,支承结构设计等。

第四,对设备制造质量及运行条件作出必要的规定。

强度设计通常也叫强度计算,因计算条件与目的不同,强度计算分为设计计算与校核计算两种。

设计计算是在已知材料、元件外形尺寸、元件工作温度及载荷的情况下,决定元件壁厚;校核计算是在已知材料、元件外形尺寸、元件壁厚及使用温度的情况下,核算元件所能承受的压力载荷。两种计算在本质上没有什么不同。

(3) 强度理论及强度条件

强度理论也叫失效判据,是研究构件在不同应力状态下产生强度失效的共同原因的理论。材料力学介绍过四种强度理论,锅炉压力容器强度设计中经常涉及的,是第一、第三及第四强度理论。

强度条件是依据一定的强度理论建立的强度设计准则或失效控制条件,强度条件通常表达为

$$S_i \leq [\sigma]$$

式中 S_i 为依据一定的强度理论得出的当量应力或应力强度;下角标 i 表示相应的强度理论,如 S_1 表示依据第一强度理论得出的当量应力,余类推; $[\sigma]$ 为材料的许用应力。

① 第一强度理论

第一强度理论也叫最大拉应力强度理论。该理论认为,无论材料处于什么应力状态,只要发生脆性断裂,其共同原因都是由于构件内的最大拉应力 σ_1 达到了极限值。相应的强度条件式为

$$S_1 = \sigma_1 \leq [\sigma]$$

锅炉压力容器通常都由塑性材料制成,一般不会发生脆性断裂,故不适合用第一强度理论进行失效控制。但第一强度理论是出现最早的强度理论,由于历史原因和使用习惯,美国、日本等国在

对锅炉进行常规强度设计时,仍采用第一强度理论。我国及世界上多数国家对压力容器进行常规强度设计时,均采用第一强度理论。

②第三强度理论

第三强度理论也叫最大剪应力强度理论。该理论认为,无论材料处于什么应力状态,只要发生屈服失效,其共同原因都是由于构件内的最大剪应力 $\tau_{\max}$ 达到了极限值。相应的强度条件式为

$$S_3 = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma]$$

第三强度理论适用于塑性材料,与实验结果比较吻合。我国及世界上除美、日之外的多数国家,在对锅炉进行强度设计时,均采用第三强度理论。

③第四强度理论

第四强度理论也叫歪形能强度理论。该理论认为,无论材料处于什么应力状态,只要发生屈服失效,其共同原因都是因为构件内的歪形能(形状变形比能)达到了极限值。相应的强度条件式为

$$S_4 = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma]$$

与第三强度理论相似,第四强度理论适用于塑性材料,与实验结果吻合较好。但由于计算较为复杂,概念不够直观,所以在锅炉压力容器强度设计中使用较少。

(4)强度控制原则

在锅炉压力容器常规强度设计中,为避免材料屈服失效,在控制应力及载荷水平时,通常有下列两种控制原则:

①弹性失效准则

弹性失效准则也常称做极限应力法,它认为构件上应力最大点的当量应力达到材料的屈服点时,整个构件即丧失正常工作能力(失效)。这种一点处失效即是构件失效的观点,是大多数结构强度设计所采用的观点。

②塑性失效准则

塑性失效准则也常称做极限载荷法。它认为,当应力沿截面分布不均匀时,一点的当量应力达到屈服点,整个结构并不失效,只有当整个截面上各点的当量应力均达到屈服点时,结构才算失效。

对于拉伸杆件和承压薄壁圆筒来说,由于结构内的应力沿壁厚均布,一点失效与整个截面失效基本相同,对其采用弹性失效准则与塑性失效准则并无不同结果。但对于承压厚壁圆筒与承压平板,由于沿壁厚存在应力分布,对其采用不同的强度控制原则将会导致不同的结果,很明显,采用弹性失效准则偏于安全与保守。但不论采用何种强度控制原则,都要取用安全系数,给出必要的安全裕度,所以采用不同的强度控制原则也可以得出大体相近的结果。

我国锅炉强度控制采用塑性失效准则,一般压力容器强度控制采用弹性失效准则。

(5)安全系数

由材料力学已知,材料的许用应力 $[\sigma]$,由材料的强度性能指标 σ_b, σ_s 除以相应的安全系数 n_b, n_s 得出。当材料在高温下工作时,还需考虑材料高温强度性能指标——持久强度 σ_D ,蠕变极限 σ_n ,并除以相应的安全系数 n_D 及 n_n 。由于上述材料性能指标是随温度变化的,温度为 t 的强度性能指标分别表示为 $\sigma_b^t, \sigma_s^t, \sigma_D^t, \sigma_n^t$ 。而常温下的强度性能指标表示为 σ_b 及 σ_s 。

强度条件中的 $[\sigma]$,取用下列四值中的最小值:

$$\frac{\sigma_b}{n_b}; \quad \frac{\sigma_s^t}{n_s}; \quad \frac{\sigma_D^t}{n_D}; \quad \frac{\sigma_n^t}{n_n}$$

安全系数是反映构件安全裕度的系数。选定安全系数的基本原则是:保证安全的前提下尽量经济。不同国家、不同机械设备、不同材质,所用安全系数不同。安全系数一般由国家有关部门确定,并体现在强度设计法规中。我国锅炉压力容器强度设计采用的安全系数如表 7-2 所示。

(6)强度计算标准

锅炉压力容器的强度设计计算必须依照国家颁布的标准规范进行。锅炉压力容器强度设计计算标准既是技术性的,也是法律性的,必须强制执行。我国锅炉压力容器常规强度设计标准主要有以下三项:

第一项,GB/TH 16508 - 1996《锅壳锅炉受压元件强度计算》;

第二项,GB 9222 - 1988《水管锅炉受压元件强度计算》;

第三项,GB 150 - 1998《钢制压力容器》。

表 7-2 锅炉压力容器决定许用应力的安全系数

构件类别	对常温下抗拉强度 σ_b 的安全系数 n_b	对常温或工作温度 下屈服点 $\sigma_s(\sigma_s^t)$ 的安全系数 n_s	对工作温度下持久强度 的安全系数 n_D	对工作温度下蠕变 极限的安全系数 n_D
锅壳锅炉部件	2.7	1.5		
水管锅炉部件	2.7	1.5	1.5	
碳素钢、低合金钢压力容器	3.0	1.6	1.5	1.0
高合金钢压力容器	3.0	1.5	1.5	1.0

2. 压力容器对钢材性能的要求

(1)钢材在使用温度下的强度性能

①温度对钢材机械性能的影响

钢材的机械性能,通常用常温短时拉伸试验得出的抗拉强度 σ_b 、屈服点 σ_s 、伸长率 δ_5 、断面收缩率 ψ 中及常温冲击吸收功 A_{KV} 表示。其中抗拉强度 σ_b 和屈服点 σ_s 表示钢材的承载能力或抵抗外力破坏的能力;伸长率 δ_5 及断面收缩率 ψ 表示钢材塑性变形的能力或承受塑性加工的能力;常温冲击吸收功 A_{KV} 表示钢材在常温下承受冲击的能力,反映钢材的韧性或抵抗脆性破坏的能力,习惯上称为冲击韧性。

温度对钢材的机械性能有显著的影响。钢材的机械性能随温度的变化而发生显著变化。图 7-4 所示为碳钢的机械性能随温度变化的情况。在 50 ~ 100℃ 时,碳钢的抗拉强度有所下降;在 200 ~ 300℃ 时却有所提高并出现峰值,峰值对应的温度为 250℃ 左右;之后即随温度继续升高而急剧下降。与此相应,碳钢的塑性在 250℃ 前后的趋势是先下降而后明显上升。碳钢这种在 200 ~ 250℃ 时抗拉强度上升而塑性下降的现象叫“蓝脆性”,因为在这个温度下,碳钢通常呈蓝色。过了蓝脆区,碳钢的抗拉强度随温度上升而减小,塑性则随温度的上升而增加。

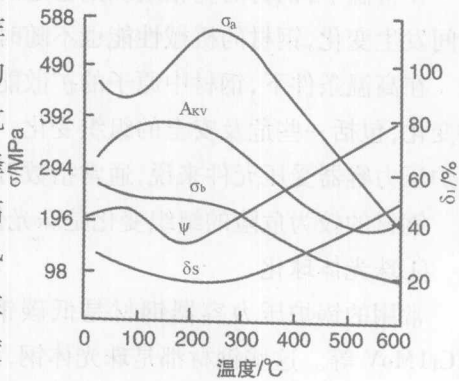


图 7-4 温度对低碳钢机械性能的影响