

ASME

压力容器规范分析与应用

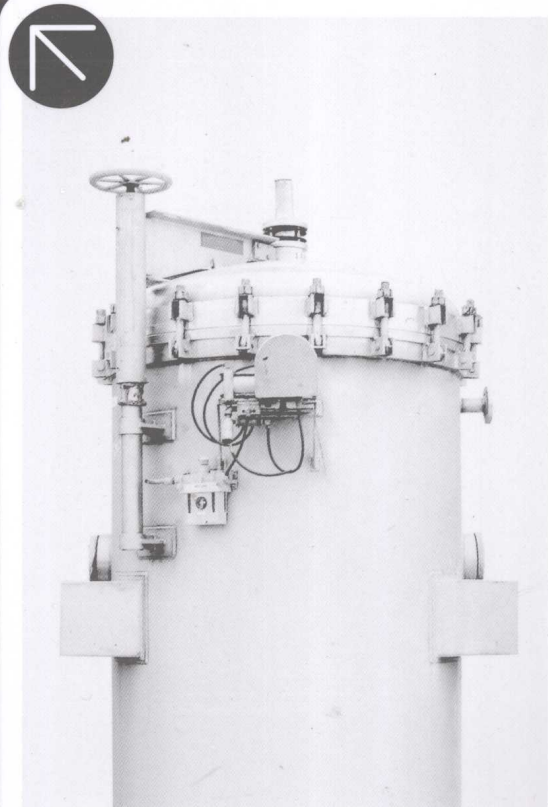
丁伯民 编著

VIII

1

2

3



化学工业出版社

ASME

压力容器规范分析与应用

丁伯民 编著

VIII

1

2

3



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是系统地分析美国《锅炉及压力容器规范》第Ⅷ卷1、2、3册的专著。由于美国“规范”编排方式的特殊性，同一主题前后穿插，有关内容相互关联，以致在查阅某一主题时颇费周折。为方便读者应用“规范”，本书根据国内使用习惯，把各主题列成专章介绍。本书着重于分析“规范”中有关规程的制定原理，并理清在应用中的主要思路，以帮助读者全面理解和使用“规范”。

本书可供从事压力容器设计、制造、检测、检验和安全监察人员、特别是“规范”取证单位以及与涉外项目有关的人员学习和使用“ASME Ⅷ-1”、“Ⅷ-2”和“Ⅷ-3”之用；也可作为上述人员和有关科技人员进一步理解美国压力容器规范和技术进修的参考材料。

图书在版编目 (CIP) 数据

ASME 压力容器规范分析与应用/丁伯民编著. —北京:
化学工业出版社, 2009. 2

ISBN 978-7-122-04214-9

I. A… II. 丁… III. 压力容器-规范 IV. TH49-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 184825 号

责任编辑: 辛 田

装帧设计: 尹琳琳

责任校对: 宋 玮

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张 17½ 字数 316 千字 2009 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

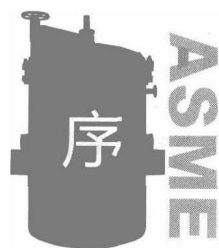
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究



美国机械工程师学会 (The American Society of Mechanical Engineers, 缩写为 ASME) 编制的《ASME 锅炉及压力容器规范》(ASME Boiler & Pressure Vessel Code) 是一本国际性规范, 又是美国国家标准。自 1914 年第 1 版问世以来, 经 25 次修订发展成当今《2007 ASME 锅炉及压力容器规范》(以下简称“规范”), 包含 12 卷 28 册。其中第 VIII 卷为《压力容器建造规则》, 包含三个分册 (VIII-1《建造规则》, VIII-2《另一规则》, VIII-3《高压容器建造规则》), 同时涉及第 II 卷《材料》(5 篇), 第 V 卷《无损检测》, 第 IX 卷《焊接和钎焊评定》, 篇幅浩瀚, 内容广泛, 和欧盟容器标准 EN 13445 一起, 组成了当今世界上两大压力容器规范。

《ASME 锅炉及压力容器规范》每三年改版一次, 目前最新版为 2007 年版。在三年中每年出版《增补》(Addenda), 对规范作补充和修改; 每半年出版《条款解释》(Interpretation), 对规范技术内容解释作书面解答。

《ASME 锅炉及压力容器规范》涉及压力容器材料选用、结构要求、元件强(刚)度计算、制造、检验、检测, 又因其编排方法的特殊性, 国内读者不易阅读, 难以全面、完整应用。

鉴于《ASME 锅炉及压力容器规范》是当今国际上重要的压力容器规范, 具有广泛性及权威性, 对立足于国际压力容器制造业具有关键的作用, 因此, 充分理解及掌握应用《ASME 锅炉及压力容器规范》是我国压力容器设计、制造、检验及教育界人士的当务之急。

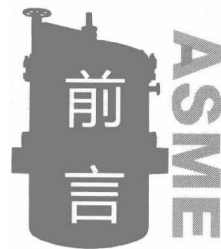
丁伯民教授长期从事压力容器的教学工作, 对我国的压力容器规范编制也极为关心, 多次提出宝贵建议。丁伯民先生对各国压力容器规范较为熟悉, 长期从事压力容器学习班、培训班的讲授, 经常发表各种评论文章。由于其治学严谨, 知识面广, 他的见解颇得业界认可。近年来丁伯民先生参加《ASME 锅炉及压力容器规范》中第 VIII 卷三册设计部分的翻译工作, 因而对此规范更有进一步的理解。

早在 1995 年, 丁伯民先生即曾编写了《美国压力容器规范分析——ASME VIII-1 和 VIII-2》一书。本书是丁伯民先生在《ASME 锅炉及压力容器规范》的近

十多年进展后，结合自己近期心得、理解的又一本介绍《ASME 锅炉及压力容器规范》的著作。

本人相信本书对读者理解和应用 ASME 压力容器规范必有一定影响，预祝其发挥积极重要的作用。

洪德晓



笔者在 1995 年出版了一本《美国压力容器规范分析——ASME VIII-1 和 VIII-2》，至今已过了十余年，规范的第 VIII 卷已由二册增加至三册，且“VIII-1”在这几年中作了较多的补充和修改，2007 年版的“VIII-2”则完全改写，同时，对 ASME 压力容器建造规范的认识也略有提高或改正，所以着手编写本书。

对本书有以下几点说明。

(1) 原书篇幅较多，本书省略了对原书中部分内容的详细推导，尽可能采用讲清思路后再列出结论的方式撰写，以方便于读者应用“规范”。在某些问题上（例如管壳式换热器，“VIII-2”的外压元件和开孔补强设计等），为省略篇幅，在讲清思路后甚至连“规范”所列结论性公式和符号说明也不是全部列出，读者在需要时可根据思路对照规范查阅。

(2) 由于 2007 年版的“VIII-2”完全改写，在设计部分分为按规则设计和按分析设计两部分，前者 and “VIII-1”基本相同，都用解析解公式表示，后者则主要采用数值解（有限元或实验应力分析）；对于应力分类及其评定的有关内容，原仅用于“VIII-2”，但这几版的“VIII-1”也逐步引入，现版“VIII-2”（指 2007 年版，在此前的 VIII-2 则称为原 VIII-2）的按规则设计和按分析设计部分都包括了这一思想，为集中、统一，都列在第二篇中讨论。本书对“VIII-1”、“VIII-2”共同的内容通过对照，以“VIII-1”为主都放在第一篇各章的前面进行讨论，并在各有关章的后面逐一指出“VIII-2”和“VIII-1”的主要区别。

(3) “VIII-3”属于高压容器建造规则，实际上都指压力较高的高压容器及超高压容器的某些特殊要求。而在“VIII-1”和“VIII-2”中已包括了各种类型一般高压容器建造的规定，鉴于比较关心“VIII-3”的仅是少数设计人员，所以本书仅在第三篇中以少量篇幅简要地介绍“VIII-3”的特点及其特殊考虑。

(4) 为帮助读者理解规范的总体情况，所以在本书第 1 章绪论中主要写了 ASME 规范的主要特点和阅读规范的注意点。

(5) 新“VIII-2”（2007）系第一次公布，难免在个别处存在疏忽，尚需通过实践予以磨合。在可疑之处，笔者从个人理解出发予以说明。

在本书撰写过程中，承伍德工程咨询（上海）有限公司朱红松先生为笔者提

供部分资料，并对初稿提出宝贵意见，特此表示感谢。

由于编者受知识面所限，且缺少容器生产过程的实践经验，故本书比较偏重于设计及其原理分析。读者如发现书中有对规范理解不妥甚至曲解之处，衷心希望不吝指正。

丁伯民



第 1 章 绪论 1

参考文献 11

第一篇 ASME VIII-1 和 VIII-2 的按规则设计部分分析

第 2 章 材料、安全系数和防脆断措施 14

2.1 受压件和非受压件的材料 14

2.2 安全系数和材料许用应力的确定 15

2.3 防止脆性断裂的总体思路、措施及其相关规定的制定依据 17

 2.3.1 防止脆性断裂的历史沿革 17

 2.3.2 ASME VIII-1 的防脆断措施分析 19

2.4 VIII-2 在材料、安全系数和防脆断措施方面的主要区别 26

 2.4.1 确定许用应力的安全系数和许用材料 26

 2.4.2 防止脆性断裂的措施 26

参考文献 29

第 3 章 焊接接头和焊接接头系数 30

3.1 焊接接头的分类 30

 3.1.1 分类的目的 30

 3.1.2 分类的基本出发点 30

 3.1.3 焊接接头分类 31

 3.1.4 焊接接头类型 34

3.2 焊接接头系数 36

 3.2.1 焊接接头的使用限制 36

 3.2.2 焊接接头的无损检测要求和相应的标志 36

3.2.3	焊接接头系数的选用	37
3.2.4	确定焊接接头系数的实例分析	39
3.2.5	角接接头的结构类型和强度校核	41
3.3	焊接接头的有关问题	42
3.3.1	焊接接头处及其附近的开孔	42
3.3.2	焊接接头在容器上的布置	43
3.4	Ⅷ-2 在焊接接头类别和类型、焊接接头的使用、无损检测 以及焊接接头系数上的主要区别	44
	参考文献	50

第 4 章 容器设计中的有关问题 51

4.1	失效准则	51
4.2	强度理论	52
4.3	载荷	52
4.4	设计 (操作、许用) 温度和设计 (操作、最大许用工作) 压力	52
4.5	独立容器和组合容器	53
4.6	厚度	54
4.7	压力试验	54
4.7.1	液压试验	55
4.7.2	气压试验	57
4.7.3	试验温度	57
4.8	Ⅷ-2 在所用强度理论、载荷和压力试验上的主要区别	58

第 5 章 内压圆筒和封头设计 62

5.1	内压圆筒和球壳设计	62
5.2	内压封头设计	64
5.2.1	椭圆形封头设计	65
5.2.2	碟形封头设计	68
5.2.3	锥形封头设计	70
5.2.4	平封头设计	73
5.3	ASME Ⅷ-2 在内压圆筒和封头设计中的主要区别	75
5.3.1	圆筒、球壳和锥壳	75
5.3.2	碟形和椭圆形封头设计	79

5.3.3 平封头设计	80
参考文献	80

第 6 章 真空容器和外压元件设计 81

6.1 外压圆筒的周向稳定性设计	82
6.1.1 外压圆筒的周向稳定性设计	83
6.1.2 外压圆筒上的加强圈设计	88
6.2 外压封头设计	91
6.2.1 球形封头设计	91
6.2.2 椭圆形封头设计	92
6.2.3 碟形封头设计	92
6.2.4 锥形封头设计	92
6.3 圆筒的许用轴向压缩应力	96
6.4 半管式夹套容器设计	97
6.4.1 半管式夹套容器设计的主要思路	97
6.4.2 设计方法、步骤和应予注意之点	98
6.5 ASME VIII-2 在外压元件和半管式夹套设计中的主要区别	99
6.5.1 ASME VIII-2 (2007) 对外压元件设计的修改	99
6.5.2 设计中的有关问题	100
6.5.3 圆筒在外压及其他载荷作用下的设计	102
6.5.4 锥壳在外压及其他载荷下的设计	105
6.5.5 ASME VIII-2 (2007) 对半管式夹套设计的修改	107
参考文献	107

第 7 章 开孔接管及其补强设计 108

7.1 开孔补强的理论基础	108
7.1.1 孔边的应力增强	108
7.1.2 开孔对容器承载材料的削弱	109
7.1.3 接管和器壁构成不连续结构所引起附加的边缘应力	110
7.2 ASME VIII-1 的补强设计方法	111
7.2.1 补强设计准则	111
7.2.2 开孔形状、开孔相对于元件尺寸的限制	111
7.2.3 补强的有效范围	112
7.2.4 不需补强的最大开孔直径	112

7.2.5	开孔和焊接接头的相遇或相邻	112
7.2.6	开孔补强计算	113
7.2.7	圆筒和锥壳上的大开孔补强	117
7.2.8	补强件及其焊缝的强度校核	118
7.2.9	接管颈部的厚度	118
7.3	ASME VIII-2 的补强设计方法	118
7.3.1	总的思路	118
7.3.2	补强计算的步骤简述	121
	参考文献	122

第 8 章 法兰及其相关元件的设计 123

8.1	密封计算	124
8.2	法兰计算	125
8.2.1	法兰应力计算	125
8.2.2	法兰力矩计算	127
8.2.3	法兰设计的应力和刚度校核	129
8.3	用螺栓连接的凸形封头	131
8.3.1	类型 (a) 的设计	132
8.3.2	类型 (b) 的设计	132
8.3.3	类型 (c) 的设计	133
8.3.4	类型 (d) 的设计	135
8.4	反向法兰和中心开有大圆孔的整体平盖	137
8.4.1	反向法兰	137
8.4.2	中心开有大圆孔的整体平盖	139
8.4.3	中心开有大圆孔平盖和反向法兰的相互联系	143
8.5	卡箍连接件的设计	144
8.5.1	卡箍连接螺栓的受载分析和设计	144
8.5.2	卡箍和高颈的受载分析	147
8.5.3	高颈和卡箍的应力分析和校核条件	149
8.6	ASME VIII-2 在法兰及其相关元件设计上的主要区别	151
8.6.1	法兰设计	151
8.6.2	用螺栓连接的凸形封头设计	152
8.6.3	反向法兰设计	152
8.6.4	卡箍连接件设计	152

参考文献	152
------------	-----

第 9 章 非圆形截面容器 153

9.1 非圆形截面容器的结构和载荷分析	153
9.1.1 焊接结构和设计中的考虑	153
9.1.2 开孔和对开孔后引起削弱的考虑	154
9.1.3 载荷	154
9.2 非圆形截面容器设计原理分析	154
9.2.1 容器两端封头对侧板的加强作用	155
9.2.2 设置加强件的有关问题	156
9.2.3 应力校核条件	159
9.2.4 焊接接头系数 E 和孔带削弱系数 e	159
9.3 内压非圆形截面容器设计公式举例分析	160
9.3.1 无加强件、无拉撑件、无过渡圆弧的对称矩形截面 容器	160
9.3.2 无拉撑件、无过渡圆弧、设有加强件的对称矩形截面 容器	162
9.4 受外压（真空）的非圆形截面容器	164
9.4.1 侧板和封头的稳定性校核	164
9.4.2 非圆形截面容器的柱状稳定性校核	167

第 10 章 管壳式换热器和膨胀节 169

10.1 管壳式换热器管板设计的基本原理	169
10.2 各类换热器管板对开孔削弱的共有考虑	170
10.3 U形管式换热器管板的设计	171
10.3.1 结构类型	171
10.3.2 影响各类管板结构的因素分析	171
10.3.3 设计规程分析	173
10.4 固定管板式换热器管板的设计	175
10.4.1 结构类型	175
10.4.2 影响各类管板结构的因素分析	175
10.4.3 设计规程分析	176
10.4.4 计及邻近管板处筒体不同材料和厚度的结构和 设计	180

10.5	浮动管板式换热器管板的设计	181
10.5.1	结构类型	181
10.5.2	影响各类管板结构的因素分析	182
10.5.3	设计规程分析	183
10.6	管子对管板连接的焊缝设计	186
10.7	膨胀节	188
10.7.1	强度、刚度要求和许用循环次数计算	188
10.7.2	轴向位移计算	190
10.7.3	轴向刚度计算	191
10.7.4	膨胀节的压力试验	191
	参考文献	191

第 11 章	对多层容器有关问题的简单介绍	192
	参考文献	195

第 12 章	制造、检验和试验中有关问题的分析	196
12.1	冷、热加工成形	196
12.1.1	壳体在成形后允许的局部减薄区	196
12.1.2	冷成形后的热处理	196
12.1.3	对接焊缝的布置、错边及余高	197
12.1.4	圆筒、锥壳和球壳在成形后的允许偏差	199
12.1.5	成型封头的允差	201
12.2	无损检测要求	202
12.3	压力试验	202
12.4	ASME VIII-2 在制造、检验和试验规定中的主要区别	202
12.4.1	圆筒和壳体上的局部减薄区	202
12.4.2	冷成形后的热处理	203
12.4.3	对接焊缝的布置、错边及余高	203
12.4.4	圆筒、锥壳和球壳以及成型封头在成形后的允许 偏差	203
12.4.5	无损检测要求	204
12.4.6	压力试验	204
	参考文献	204

第二篇 ASME VIII-2 按分析设计部分分析

第 13 章	新版 ASME VIII-2 按应力分析设计部分的改写背景	206
13.1	压力容器设计方法进展	206
13.2	应力分析设计方法的由来及其总体思想	207
13.3	ASME VIII-2 的改写背景	208
13.4	按规则设计和按分析设计的关系	210
	参考文献	211
第 14 章	应力分类及其评定	212
14.1	应力分类的力学基础	212
14.1.1	计算应力的方法	212
14.1.2	不连续应力分析	213
14.2	和应力分类相关的术语	215
14.3	应力分类的基本出发点	216
14.4	应力分类	218
14.4.1	容器元件的应力分类	218
14.4.2	接管颈部中应力分类的补充要求	220
14.5	当量应力的限制条件及其分析	224
14.5.1	当量应力的推导	224
14.5.2	当量应力的限制条件	225
14.5.3	对应力强度限制条件的分析	227
14.5.4	安定性分析原理 (对二次应力 Q 的限制)	228
14.5.5	疲劳分析原理 [对 $P_m(P_L) + P_b + Q$ 和 $P_m(P_L) + P_b + Q + F$ 当量应力范围的限制]	229
14.5.6	对热应力棘轮作用的限制原理简述	229
	参考文献	231
第 15 章	按应力分析设计	232
15.1	防止塑性垮塌	233
15.1.1	弹性应力分析方法	234
15.1.2	极限载荷分析方法	236

15.1.3 弹-塑性应力分析方法	238
15.2 防止局部失效	238
15.3 防止由失稳引起的垮塌	240
参考文献	241

第 16 章 低循环疲劳设计 242

16.1 疲劳分析的筛分	243
16.1.1 以可比较设备的经验为基础的筛分准则	244
16.1.2 筛分方法 A	244
16.1.3 筛分方法 B	245
16.2 基于光滑试杆试验的疲劳设计曲线	246
16.2.1 疲劳设计曲线的安全系数	247
16.2.2 平均应力对疲劳设计曲线影响的调整	247
16.2.3 对温度影响的考虑	248
16.2.4 当量应力幅及其求取	248
16.3 焊接连接件的疲劳分析和用弹性应力分析方法确定当量 结构应力范围	249
16.4 应力集中系数、疲劳强度减弱系数和开孔接管的应力 指数	250
16.5 螺栓的疲劳分析	253
16.6 疲劳评定的积累损伤	254
16.7 棘轮现象的评定	254
参考文献	256

第三篇 ASME VIII-3 分析

第 17 章 高压容器的特点及其引起的特殊考虑 258

17.1 由于厚壁所引起的考虑	258
17.1.1 采用塑性失效准则	258
17.1.2 塑性自增强设计	259
17.2 由于采用高强度钢的考虑	260
17.2.1 关于材料的冲击试验	260
17.2.2 引入“未爆先漏 (Leak before burst)”的失效准则	261
17.3 其他有关问题	263
参考文献	263

绪 论

ASME 规范是由美国机械工程师学会颁布的行业标准，只有在地方政府的安全监督部门以法律形式认可情况下，才能成为法定的控制产品质量的技术法规。

由于体系、内容安排的差别，ASME 锅炉及压力容器规范和国内相关内容的标准相比，存在明显的差异。如按照国内的使用和阅读习惯，根据某一类容器或元件，选用相应内容的标准，并视所涉及的内容查找各有关标准所列的材料、设计或制造部分，就可基本上获得标准对该容器或元件的相关规定；而 ASME 规范有所不同，对于不太熟悉 ASME 规范体系的人员，如按照和查找国内标准同样的思路来对待 ASME 规范，则可能会对某一具体问题得不到全面符合规范的正确解答。此处所介绍的内容，旨在指出 ASME 规范的主要特点并提醒用户在使用规范时应予以注意之处。

(1) ASME 压力容器规范是压力容器的建造规则

ASME 锅炉及压力容器规范在各卷、册的前言中都明确提及：由 ASME 锅炉及压力容器标准委员会 (ASME/BPVSC) 所制定的是压力容器建造过程中控制压力整体安全的规则；“建造”一词是包括材料、设计、制造、检验、试验、认证和泄压在内的一个含义广泛的术语。

和我国同类的容器标准相比，其所包括的内容，显然已涵盖了涉及压力容器建造的几乎所有方面，是偏向于所谓封闭式的规范。例如，ASME II 卷包括了锅炉压力容器所用的板、管、锻、铸的钢材和非铁金属、焊接材料，ASME V 卷包括了锅炉压力容器的无损检测，ASME VIII 包括了各种各类压力容器、管壳式换热器的建造，ASME IX 卷包括了锅炉压力容器的焊接和钎焊评定等。关系到各种各类压力容器、管壳式换热器建造、整体安全性的几乎所有方面，基本上都可以由 ASME 各有关卷解决。

就以压力容器而言，我国容器标准 GB 150《钢制压力容器》仅包括钢制容器，未涉及非铁金属制容器，所以相应地还有与之配套的铝制焊接容器、钛制焊

接容器、铜制压力容器、镍及镍合金制压力容器等标准；GB 150《钢制压力容器》实际上也仅涉及压力容器的各有关元件，未涉及换热器、膨胀节和各具体的压力容器，所以相应地还有与之配套的管壳式换热器、压力容器波形膨胀节、钢制焊接常压容器、钢制球形储罐、钢制塔式容器、钢制卧式容器等。虽然在GB 150中也列有制造、检验与验收的有关规定，但实际上还需要钢制压力容器焊接工艺评定、钢制压力容器焊接规程、承压设备无损检测等配套标准才具有可操作性。至于在材料方面，更需要和有关的板材、管材、棒材、锻件、铸件等，以及优质碳素结构钢、碳素结构钢、合金结构钢等标准配合。在设计方法（理念）方面，ASME VIII仅按VIII-1、VIII-2、VIII-3即压力容器建造规则、压力容器建造另一规则、高压容器建造另一规则划分，并未像我国容器标准JB 4732那样，明确为钢制压力容器——分析设计标准。

(2) 规范规定了强制性要求、特殊禁用规定以及非强制性指南

ASME 规范的表达十分严谨，总体上前后相互呼应。凡强制性要求必须不折不扣地执行，凡特殊禁用规定必须不折不扣地禁止，而凡既未强制要求又无禁用规定者，则可由用户根据规范的总体思想、基本原理和个人的认识（即由知识渊博、娴熟于规范应用的设计师所作的技术评价或判断）自己选定。当然，规范还提供了非强制性指南以供参考。规范没有特别提及的方面，不宜认为其是被禁用的。委员会所制定的规则，不能理解为对任何一种专利或特定设计的批准、推荐或认可，也不能理解为以任何形式限制制造厂自行选择符合规范规则的任何设计方法或任何结构形式。

例如，VIII-1中，对于容器上焊接接头的结构形式和无损检测要求、焊后热处理要求，在UW-2中明确规定：当容器用作储存致死物质时，所有对接接头应经全部射线照相；用碳钢或低合金钢制造的这类容器应进行焊后热处理；所有A类接头应为表UW-12的（1）型（即采用双面焊或能达到从内外面熔敷焊缝金属同等质量的其他方法焊接的对接接头），所有B类和C类接头应为表UW-12的（1）型或（2）型（即单面对接焊接接头，采用垫板且焊后不除去的接头）。这些都是必须不折不扣执行的，否则难以确保容器整体的安全。而对不属于按规范规定需要对材料或焊缝金属进行冲击试验的容器、不属于设计压力超过345kPa的非直接火蒸汽锅炉、不属于直接受火的压力容器等情况的容器，规范并未规定其焊接接头类型和无损检测要求，完全可以由设计人员根据所用场合，由设计原理的判断和经济因素等确定接头类型和无损检测要求。

又如，规范具体规定了不属于各册的各类容器，但同时又说明，符合某册相应要求的任何压力容器，都可以打某册相应标志的钢印（即对VIII-1、VIII-2、VIII-3