

GB150和ASME VIII-1比较分析

叶剑锋

摘要 通过对GB150和ASME VIII-1在适用范围、许用应力和一些技术指标上的主要差别和相互对应关系进行了比较和分析,并阐述了自己的观点,旨在和有关人士共同探讨如何深入理解和准确运用两种不同的规范。

关键词 GB150 ASME VIII-1 比较分析

众所周知,目前国际上尚无统一的压力容器标准规范,但美国ASME锅炉、压力容器规范是在国际经济交往和涉外压力容器产品中具有国际性的标准规范。随着国外资金和技术进入国内相关行业,大型工程的国际化招投标司空见惯,因此,研习并实施ASME规范是与国际接轨并开拓国际市场的关键。GB150《钢制压力容器》是我国压力容器标准体系中最基本、运用最广泛的标准,其技术内容与ASME VIII-1相当,但在一些技术指标上有所不同,下面分别加以比较、分析。

1 适用的设计范围

首先,GB150和ASME VIII-1都是按规则设计的压力容器标准,但是适用的设计压力范围不同(见表1)。其次,ASME VIII-1的材料适用范围广,包含了铁基材料和非铁基材料,而GB150仅限于钢材。《铝制压力容器》、《钛制压力容器》是在GB150基础上发展起来的行业标准,对GB150的材料范围进行了拓展。

表1 主要压力容器标准的对应关系

我国主要压力容器标准	适用压力范围	ASME 规范	适用压力范围
(1)GB 150《钢制压力容器》 (2)JB4734《铝制压力容器》 (3)JB4745《钛制压力容器》	小于 35MPa	第VIII卷第一分册	小于 20MPa
JB4732《钢制压力容器-分析设计标准》	小于 100MPa	第VIII卷第二分册	小于 70MPa
《超高压容器》(制定中)	大于 100MPa	第VIII卷第三分册	大于 70MPa

收稿日期:2006-03-25

泄漏法兰接口更换金属垫圈重新紧固。清理均水管及布水孔,确保其畅通。被拆除的汽水挡板应进行复原,并将汽水挡板向后延伸300mm,尽量将均水管喷出的低温水向后引流。

(2)选择与数台锅炉产汽量相匹配的水处理设备,选择逆流式钠离子交换器,交换器直径按以下计算式确定: $D_n = \sqrt{4Q/\pi n v}$;式中:Q-每小时需处理的水量(取值是总产汽量的1.05~1.1倍), m^3/h ;n-同时工作的交换器台数; v -水的运行流速(滤速),取值15~30 m/h 。

另外使用单位在做好水处理工作的同时应尽量避免超负荷运行。

(3)加强对锅炉各受压、非受压部件的状况检查,

不得随意更改、变换锅炉各部件。

实践证明,该锅炉经采取上述技术整改措施后,运行至今未发现类似爆管现象。

参 考 文 献

- 1 《锅炉安全技术监察规程》中华人民共和国劳动部。
- 2 《锅炉定期检验规则》,国家质量技术监督检验检疫总局。
- 3 李之光 范柏樟著,《工业锅炉手册》。
- 4 李正华著,《工业锅炉检验》。

作者 傅宝建

江苏省特种设备安全监督检验研究院
南通分院通州所
江苏·通州 邮编 226300

2 失效准则和许用应力

GB150 和 ASME VIII-1 规范都是基于弹性失效准则,采用最大应力理论来建立强度条件,一次薄膜应力或最大直接应力不得超过许用应力。计算应力依据的理论是最大应力理论。采用的许用应力计入了安全系数,它比测定得到的性能值低是考虑到:(1)应力评估方法的复杂程度;(2)一定程度的应力集中及其类型;

表 2 许用应力比较

材 料	标 准	许用应力取下列各值中的最小值/MPa				
		$\sigma_f/3.0$	$\sigma_f/1.6$	$\sigma'_f/1.6$	$\sigma'_f/1.5$	$\sigma'_f/1.0$
碳钢、低合金钢	GB150	$\sigma_f/3.0$	$\sigma_f/1.6$	$\sigma'_f/1.6$	$\sigma'_f/1.5$	$\sigma'_f/1.0$
	ASME VIII-1	$S_T/3.5$	$S_T/1.5$	$S'_T/1.5$	$S'_R/1.5$	$S'_C/1.0$
高合金钢	GB150	$\sigma_f/3.0$	$\sigma_{0.2}/1.5$	$\sigma'_{0.2}/1.5$	$\sigma'_f/1.5$	$\sigma'_f/1.0$
	ASME VIII-1	$S_T/3.5$	$S_{0.2}/1.5$	$S'_{0.2}/1.5$	$S'_R/1.5$	$S'_C/1.0$

注:表中相关符号按相应标准,下同。

(3)材料一定程度的不均匀性;(4)几何因素;(5)焊接接头中存在的缺陷。各国标准中规定的安全系数有所不同,主要依据的是经验、试验证据和理论评估,同时与其规定的材料标准、计算方法、制造要求和检验要求相适应。

GB150 和 ASME VIII-1 规范所使用的许用应力差别见表 2,分母即强度值所对应的安全系数。

表 3 焊接接头系数比较

名 称	接 头 型 式	无 损 检 测 程 度		
		100%检测	局部检测	无检测
GB150	双面焊或相当于双面焊全焊透的对接焊缝	1.0	0.85	
	单面焊对接焊缝(带金属垫板)	0.9	0.80	-
ASME VIII-1	双面焊或相当于双面焊全焊透的对接焊缝	1.0	0.75	0.70
	单面焊对接焊缝(带金属垫板)	0.9	0.80	0.65
	单面焊对接焊缝(不带金属垫板)	-	-	0.60
	双面满角焊塔接接头	-	-	0.55
	单面满角焊塔接接头(加塞焊)	-	-	0.50
	单面满角焊塔接接头(不加塞焊)	-	-	0.45

注:表中无损检测,我国对钢制压力容器以射线和超声检测为准;而 ASME VIII-1 规范以射线检测为准,确实无法进行射线检测时允许用超声检测代之。

3 焊接接头系数

在 ASME VIII-1 规范中焊接接头系数仅取决于该焊接接头型式和无损检测程度,而与任何其他接头的无损检测程度无关,即一台容器不同的接头可以使用不同的焊接接头系数,对 A、B、C、D4 类焊接接头都规定了焊接接头系数,同时允许采用降低焊接接头系数而免除无损检测要求。

而在我国 GB 150 中,焊接接头系数特指 A、B 类焊接接头,不允许采用降低焊接接头系数而免除无损检测要求,产品制造完成后必须对 A、B 类接头进行射线或超声检测。

4 强度计算

在压力容器设计时,主要考虑了两种失效理论:一是过量的弹性变形,包括基于弹性理论的弹性失稳;另

一个是由于过量的弹性变形和塑性失稳,即增量跨塌,设计时通常假定弹性失效。弹性失效是假定当材料已经达到弹性极限时发生的失效,超过这一极限将会发生过量变形或断裂破坏。对于金属材料,弹性极限是以拉伸强度、屈服强度和断裂强度 3 项来测定。测定弹性失效的 3 个通用理论是最大主应力理论、最大剪应力理论和变形能理论。GB150 和 ASME VIII-1 规范都应

用最大主应力理论用于压力容器的设计,但具体的计算公式却存在着差异。现将我国 GB150 和 ASME VIII-1 规范有关受内压时的设计计算公式作一比较,见表 4。

以圆筒形壳体计算式为例比较发现,GB150 仅需按环向应力进行计算,而 ASME VIII-1 还需计算纵向应力,这是由于 ASME VIII-1 对不同的焊接接头可以使用不同的焊接接头系数,并分别进行计算。由环向应力计算式比较发现,ASME VIII-1 是以拉美公式取 $K=1.5$

表 4 设计计算公式比较

比较项目	GB150	ASME VIII-1
圆筒形壳体	$\delta = PcDi / (2[\sigma]'\phi - Pc)$ 环向应力	$t = PD / (2SE - 1.2P)$, 环向应力 $t = PD / (4SE + 1.2P)$, 纵向应力
环形壳体	$\delta = PcDi / (4[\sigma]'\phi - Pc)$	$t = PR / (2SE - 0.2P)$
椭圆形封头	$\delta = PcDi / (2[\sigma]'\phi - 0.5Pc)$, 标准型 $\delta = K PcDi / (2[\sigma]'\phi - 0.5Pc)$, 非标准型	$t = PD / (2SE - 0.2P)$
碟形封头	$\delta = MPcRi / 2[\sigma]'\phi - 0.5Pc)$	$t = 0.885PL / (SE - 0.1P)$
半球形封头	$\delta = Q PcDi / (2[\sigma]'\phi - Pc)$	$t = PL / (2SE - 0.2P)$
锥段和锥形封头	$\delta = PcDc / [2[\sigma]'\phi - Pc] \cos\alpha$	$t = PD / [2 \cos\alpha (SE - 0.6P)]$

($K = D_o / D_i$) 时对薄壁公式进行修正, GB150-89 标准释义中用“根据经验加以修正, 加上系数 0.6”来加以解释, 容易让人误解。

$[\sigma] / P = 1 / (K - 1)$ 薄壁公式, $1 < K \leq 1.2$

$[\sigma] / P = 1 / (K - 1) + 0.6$ ASME VIII-1 环向应力计算式, $1 < K \leq 1.5$

$[\sigma] / P = (K + 1) / 2(K - 1)$ GB150 环向应力计算式(平均半径的中径公式), $1 < K \leq 1.5$

$[\sigma] / P = (K^2 + 1) / (K^2 - 1)$ 拉美公式, $K > 1$

显然, $K = 1.5$ 时, GB150 环向应力计算值($\sigma_m = 2.5P$)比 ASME VIII-1 环向应力计算值($\sigma_m = 2.6P$)小 3.85%。

5 开孔和开孔补强

我国 GB150 规定壳体上的开孔应为圆形、椭圆形或长圆形, 当在壳体上开椭圆形或长圆形孔时, 孔的长径与短径之比应不大于 2.0, 而 ASME VIII-1 则允许孔的长径与短径之比大于 2.0, 但应增强短径方向的补强以避免扭转力矩产生的过度变形, 且形状不仅限于圆形、椭圆形和长圆形, 但其所有转角应具有适当的半径。同时两者在开孔尺寸的限制上存在着差异, 见表 5。

与 ASME VIII-1 不同, GB150 对补强圈的使用提出以下规定: (1) 钢材的标准抗拉强度下限值 $\sigma_b \leq 540$ MPa; (2) 补强圈厚度小于或等于 $1.5\delta_n$; (3) 壳体名义厚

度 $\delta_n \leq 38$ mm。

GB150 和 ASME VIII-1 均采用等面积补强法进行开孔补强的计算, 但两者在补强有效范围和面积的计算上存在着差异, 见表 6。ASME VIII-1 对补强所考虑的各平面视其和壳体轴线的夹角而引入应力校正系数 F, 以及各个不同平面的不同的应力水平, 合情合理; 而 GB150 未引入应力校正系数, 意即各个不同平面的应力水平相当且等于 1, 简单但显得保守。此外, 在不需补强的最大开孔直径的规定也不相同, ASME VIII-1 从接管直径和壳体壁厚两个因素提出限制条件; 而 GB150 则从设计压力、接管直径、管间距、接管壁厚等因素提出限制条件。ASME VIII-1 明确规定, 凡符合 UG-37 规定要求补强的任何开孔均可位于焊接接头上; 而 GB150 未作明确规定。

6 无损检测(见表 7)

总的来说, GB150 的无损检测要求比 ASME VIII-1 更为严格, 这是与当前国内的材料供应、制造检验水平相适应的。

7 焊后热处理

关于是否需要焊后热处理, GB150 和 ASME VIII-1 的要求基本一致, 分别从材质、厚度、焊前预热状况、冷

表 5 开孔尺寸的限制比较

对比项	GB150	ASME VIII-1
圆筒上开孔	$D_i \leq 1500$ mm 时, 开孔最大直径 $d \leq D_i / 2$, 且 $d \leq 520$ mm	$D_i \leq 1520$ mm 时, 开孔最大直径 $d \leq D_i / 2$, 且 $d \leq 508$ mm
	$D_i > 1500$ mm 时, 开孔最大直径 $d \leq D_i / 3$, 且 $d \leq 1000$ mm	$D_i > 1520$ mm 时, 开孔最大直径 $d \leq D_i / 3$, 且 $d \leq 1000$ mm
凸形封头开孔	$d \leq D_i / 2$	$d \leq D_i / 2$
锥壳开孔	$d \leq D_i / 3$	$d \leq D_i / 2$
大开孔	应力分析方法	按 Appendix 1-7 进行补强

表 6 补强面积的计算公式比较

对比项	GB150	ASME VIII-1
所需补强面积	$A = d \times \delta + 2 \times \delta \times \delta_n (1 - fr)$	$A = d \times t \times F + 2 \times t \times t_n (1 - fr)$
有效补强范围	$B = \max(2d, d + 2 \times \delta_n + 2 \times \delta_n)$	$B = \max(2d, d + 2 \times t_n + 2 \times t)$
有效外侧高度	$h1 = \min(\text{实际外伸高度}, \text{SQRT}(d \times \delta_n))$	$h1 = \min(2 \times t, 2.5 \times t_n + t)$
有效内侧高度	$h2 = \min(\text{实际内伸高度}, \text{SQRT}(d \times \delta_n))$	$h2 = \min(\text{实际内伸高度}, 2 \times t, 2.5 \times t_n)$

表 7 无损检测比较

项 目	GB 150	ASME VIII-1
焊缝透照比例分类	①100%射线或超声检测 ②局部射线或超声检测,探伤比例 50%(铁素体钢制低温压力容器) ③局部射线或超声检测,探伤比例 20%	①100%射线检测 ②抽样射线检测,每 15.2m 焊缝作一处抽样检测,一处抽样射线底片最小长度为 150mm
评定标准	依 JB4730-2005 标准评定 ①100%射线检测,不低于 II 级为合格 ②局部射线检测,不低于 III 级为合格 ③100%超声检测, I 级为合格 ④局部超声检测,不低于 II 级为合格	ASME 规范不划分 I、II、III 级片,100%射线检测和抽样射线检测对气孔、夹渣和圆形显示的控制有所不同,总体评片标准比我国的要低
需 100%射线(超声)检测情形	①厚度大于 30mm 的碳素钢、16MnR; ②板厚度大于 25mm 的 15MnV、20MnV、20MnMo 和奥氏体不锈钢; ③标准抗拉强度大于 540MPa 的钢材; ④钢板厚度大于 16mm 的 12CrMo、15CrMo、15CrMoR;其它任意厚度的 CrMo 低合金钢; ⑤进行气压试验的容器; ⑥图样说明盛装毒性为极度或高度危害介质的容器; ⑦图样规定须 100%检测的容器; ⑧多层包扎压力容器内筒的 A 类焊接接头; ⑨热套压力容器各单层圆筒的 A 类焊接接头。	①内容物为致死物时,筒体及封头的对接接头; ②本体的对接接头板厚超过 1-1/2"(38mm);或超过 UCS-57, UNF-57, UHA-33, UCL-35 及 UCL-36 所额外规定之最小板厚者;或于 UHT-57, ULW-51, ULW-52(d), ULW-54, 及 ULT-57 所额外规定之状况者; ③设备为无火蒸气锅炉且设计压力大于 50psi(0.35MPa)时,筒体及封头的对接接头; ④进行气压试验的容器; ⑤焊接接头系数为 1 的对接接头。

成形或中温成形的厚度、纤维伸长率、应力腐蚀状况及盛装介质的危害程度来确定是否需要焊后热处理,仅具体的参数有所不同,在此不再详述。

8 压力试验

水压试验作为设备制造的最后一道工序,除了对设备的强度进行检验外,还将对焊缝的致密性或密封结构的严密性能进行检验。按第一强度理论,当容器的最大主应力达到屈服点即为失效,而内表面的实际应力与第四强度理论的计算值接近, $K=1.5$ 时, $\sigma_{(IV)}=3.12P$, 是表 4 中 GB150 环向应力计算值 ($\sigma_m=2.5P$) 的 1.25 倍, 是 ASME VIII-1 环向应力计算值 ($\sigma_m=2.6P$) 的 1.2 倍。液压试验时,壳体内表面金属纤维的应力值为:

$$GB150: \sigma_{max}=1.25 \times 1.25 \sigma_m=1.56 \sigma_m$$

$$ASME VIII-1: \sigma_{max}=1.3 \times 1.2 \sigma_m=1.56 \sigma_m$$

显然,两者的应力值完全相同。表 8 给出了我国标准与 ASME VIII-1 对压力试验压力的比较。

关于 S/S₁ 值, ASME VIII-1 认为, 法兰螺栓材料的

安全系数远大于其它受压元件材料的安全系数, 故其取值为按最大主应力进行设计的筒体、封头、接管等元件而不必包含螺栓等紧固件; GB 150 则明确规定, 容器各元件(筒体、封头、接管、法兰及紧固件等)所用材料不同时, 应取各元件材料比值之最小值。

通过对以上 8 方面的比较分析, 可以得出以下结论:

(1) ASME VIII-1 在安全系数、水压试验的取值上要高于 GB 150; 而 GB 150 无损检测、热处理、开孔补强方面的要求上严于 ASME VIII-1。长期实践证明, 这些都是与本国的材料供应、制造检验水平相适应的结果, 在安全性能上两者是相当的。

(2) 作为两个独立、完整的标准体系, 设计中可以相互参考、借鉴, 但不应简单地对比、套用, 要注重对标准的全面准确的理解和运用。例如既不能把 GB 150 的许用应力用于 ASME VIII-1 设计的计算, 也不能以 ASME VIII-1 公式求得的水压试验值用于以 GB 150 设计的容器的试压。

表 8 压力试验压力比较

标 准	液 压 试 验	气 压 试 验	气 密 试 验
GB 150	1.25P _σ /[σ]	1.15P _σ /[σ]	极度、高度危害介质
ASME VIII-1	1.3PS ₁	1.1PS ₁	——

参 考 文 献

- 1 ASME BPV CODE SECTION VIII, DIVISION 1, 2004 EDITION.
- 2 GB150-1998《钢制压力容器》.
- 3 GB150-89《钢制压力容器》标准释义.

作者 叶剑锋

台朔重工(宁波)有限公司
浙江·宁波 邮编 315807