

文章编号: 1000-8241(2013)10-1072-04

## 钢制焊接油罐设计规范中罐壁厚度的计算

吴龙平<sup>1</sup> 明斐卿<sup>2</sup> 付丽<sup>1</sup> 王云<sup>1</sup> 唐颖浩<sup>1</sup>

1. 中国石油天然气管道工程有限公司, 河北廊坊 065000;

2. 河北石油职业技术学院, 河北廊坊 065000

**摘要:**介绍了储罐标准规范 GB 50341、JIS B 8501、BS EN 14015 及 API 650 的罐壁厚度计算公式; 比较分析了 4 个标准规范在罐壁厚度计算公式、罐壁钢板许用应力、罐壁焊接接头系数方面的差异。通过比较分析发现,除了许用应力、焊接接头系数不同外,罐壁计算厚度的设计液位高度也不一样,对设计液位高度的不同理解是引起罐壁厚度差异的主要原因。分析结果表明:采用 GB 50341 与采用其他储罐标准规范中罐壁厚度计算公式确定的罐壁厚度是一致的。为使罐壁计算厚度与国际标准规范相同,给出了许用应力的确定原则,同时重新定义了设计液位高度。通过实例证明,许用应力的确定原则是合理可靠的。(表 6、参 4)

**关键词:**油罐; 许用应力; 罐壁厚度; 焊接接头系数

中图分类号: TE972

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2013.10.008

## Calculation of tank wall thickness in design codes of welded steel tanks for oil tank

Wu Longping<sup>1</sup>, Ming Feiqing<sup>2</sup>, Fu Li<sup>1</sup>, Wang Yun<sup>1</sup>, Tang Yinghao<sup>1</sup>

1.China Petroleum Pipeline Engineering Corporation, Langfang, Hebei, 065000; 2. Hebei Technical College of Petroleum Profession, Langfang, Hebei, 065000

**Abstract:** This paper introduces tank wall thickness calculation formulas in tank technical codes (GB 50341, JIS B 8501, BS EN 14015 and API 650), and comparatively analyzes the differences of the 4 codes in tank wall thickness calculation formulas, the allowable stress of tank wall steel sheet and tank wall welded joint efficiency. The comparison results show that besides the differences in allowable stress and welded joint coefficient, design liquid level height of tank wall calculation thickness is also different, and the main factor causing tank wall thickness variations is the different understandings for design liquid level height, and moreover, the tank wall thickness calculated using the relevant calculation formulas given in GB 50341 and other tank codes is consistent. In order to make the calculated tank wall thickness in line with the international standards and codes, allowable stress determination principles are given, and design liquid level height is re-defined in this paper. It is proved through field cases that the determination principles are reasonable and reliable. (6 Tables, 4 References)

**Key words:** oil tank, allowable stress, tank wall thickness, welded joint coefficient

随着我国石油化工工业的发展及国家原油战略储备库的实施,石油储罐的设计趋向于大型化,能够合理地设计、制造和使用大型储罐显得非常重要。在世界范围内,石油储罐设计的主要标准规范有 GB 50341、JIS B 8501、BS EN 14015 和 API 650<sup>[1-4]</sup>,4 个标准规范的罐壁厚度计算公式基本一致,不同的是焊接接头系数和许用应力取值不同。

在我国,直径小于或等于 60 m 的石油储罐罐壁厚度计算按照 GB 50341 进行,而直径大于 60 m 的石油储罐罐壁厚度计算一般按照 API 650 进行,也有少部分按照 JIS B 8501 进行。GB 50341 很少用于大型储罐罐壁的计算。因此,有必要对比分析 API 650、BS EN 14015、JIS B 8501 和 GB 50341 在罐壁厚度计算方面的异同。

## 1 罐壁厚度的计算

### 1.1 计算公式

GB 50341、JIS B 8501 和 BS EN 14015 储罐标准规范均采用定点法计算罐壁厚度,以介质水为例,其计算公式分别为式(1)、式(2)和式(3);API 650 标准规范规定,当储罐直径大于 60 m 时,宜采用变设计点法进行罐壁厚度计算;当储罐直径小于或等于 60 m 时,宜采用定设计点法进行罐壁厚度计算,其计算公式为式(4)。

$$t = \frac{4.9 D(H-0.3)}{[\sigma]_t \phi} \quad (1)$$

式中: $t$  为储存水介质的罐壁计算厚度,mm; $H$  为设计液位高度,m; $D$  为储罐内径,m; $[\sigma]_t$  为试水条件下罐壁钢板的许用应力值,取 2/3 倍材料标准规定的屈服强度下限值,MPa; $\phi$  为焊接接头系数,取 0.9,当材料标准规定的屈服强度下限值大于 390 MPa 时,底圈壁板取 0.85。

$$t = \frac{D(H-0.3)}{0.2[\sigma]_t \phi} + C \quad (2)$$

式中: $[\sigma]_t$  为试水条件下罐壁钢板的许用应力值,取 0.6 倍材料标准规定的屈服强度下限值,MPa; $C$  为水压试验条件下的腐蚀裕量,mm; $\phi$  为焊接接头系数,第 1 圈取 0.85,其余取 1.0。

$$t = \frac{98 D(H-0.3)}{20[\sigma]_t} \quad (3)$$

式中: $[\sigma]_t$  为试水条件下罐壁钢板的许用应力值,取 0.75 倍材料标准规定的屈服强度下限值,但许用应力值不得大于 260,MPa。

$$t = \frac{4.9 D(H-0.3)}{[\sigma]_t} \quad (4)$$

式中: $[\sigma]_t$  为试水条件下罐壁钢板的许用应力值,取 0.75 倍标准规定的屈服强度下限值和 3/7 倍材料标准规定的抗拉强度值中的较小值,MPa。

由式(2)得:

$$t = \frac{4.9 D(H-0.3)}{[\sigma]_t \phi'} + CA \quad (5)$$

由式(3)得:

$$t = \frac{4.9 D(H-0.3)}{[\sigma]_t \phi} \quad (6)$$

由式(4)得:

$$t = \frac{4.9 D(H-0.3)}{[\sigma]_t \phi} \quad (7)$$

式(6)、式(7)中 $\phi$ 取 1.0,式(1)中 $\phi$ 按 GB 50341 选取,式(5)中 $\phi'$ 按 JIS B 8501 规定的数值乘以 0.98。从式(1)、式(5)、式(6)及式(7)中可以看出,公式基本相同,不同的是 JIS B 8501 增加了试水条件下的腐蚀裕量。

### 1.2 许用应力的确定

GB 50341、JIS B 8501 和 BS EN 14015 储罐标准规范按照材料屈服强度确定许用应力,API 650 标准规范确定许用应力时,则同时考虑材料屈服强度和抗拉强度(表 1)。

表 1 不同标准关于许用应力取值的规定

规范名称	许用应力
GB 50341	许用应力为 2/3 倍的钢板屈服强度
JIS B 8501	许用应力为 0.6 倍的钢板屈服强度
BS EN 14015	设计条件的许用应力为 2/3 倍的钢板屈服强度,水压试验条件下的许用应力取 0.75 倍的屈服强度,且两者都不大于 260 MPa
API 650	设计条件下的许用应力取 2/3 倍的屈服强度和 2/5 倍的抗拉强度中的较小值,水压试验条件下的许用应力取 3/4 倍的屈服强度和 3/7 倍的抗拉强度中的较小值

### 1.3 焊接接头系数的选取

GB 50341、JIS B 8501、BS EN 14015 和 API 650 对焊接接头系数做出了不同的规定(表 2)。

表 2 不同标准关于焊接接头系数的规定

规范名称	许用应力
GB 50341	焊接接头系数取 0.9,当标准规定的屈服强度下限值大于 390 MPa 时,底圈壁板取 0.85
JIS B 8501	经 A 级或 B 级检验的最下圈壁板的焊接接头系数取 0.85,经 A 级检验的最下圈以外的其他壁板的焊接接头系数取 0.85,经 B 级检验的最下圈以外的其它壁板的焊接接头系数取 1.0
BS EN 14015	1.0
API 650	1.0

### 1.4 不同标准罐壁厚度计算值的比较

根据储罐标准规范 GB 50341、JIS B 8501、BS EN 14015 和 API 650 规定的许用应力、焊接接头系数计算的罐壁厚度值(表 3,以国内常见的  $10 \times 10^4 \text{ m}^3$  储罐为例)可知,除按 JIS B 8501 确定的第 1 圈罐壁厚度较厚外,按照 GB 50341、JIS B 8501、API 650 及 BS EN 14015 计算确定的罐壁厚度大体相当。因此,

GB 50341 在确定罐壁厚度方面是合理的,其在大型储罐罐壁厚度计算方面不被国内认可的原因,是由于将国际标准的计算液位与 GB 50341 规定的计算液位等同造成的。

表3 不同标准罐壁厚度的计算值

圈数	板宽	材质	mm							
			GB 50341		JIS B 8501	BS EN 14015		API 650		
			试水	设计	试水(设计)	试水	设计	试水	设计	
1	2 980	08MnNiVR	30.32	28.97	32.85	30.0	27.40	29.83	29.15	
2	2 480	08MnNiVR	25.40	24.43	24.77	26.34	24.18	26.62	26.09	
3	2 480	08MnNiVR	22.16	21.44	21.46	22.68	20.95	21.34	21.14	
4	2 480	08MnNiVR	18.93	18.46	18.17	19.01	17.73	18.08	18.03	
5	2 480	08MnNiVR	15.69	15.47	14.85	15.35	14.51	14.46	14.63	
6	2 480	08MnNiVR	12.45	12.49	11.54	11.68	11.28	10.92	11.29	
7	2 480	Q345R	13.10	13.06	11.28	8.08	8.98	10.30	10.62	
8	2 480	Q235B	12.46	11.96	9.20	6.44	7.35	7.46	7.53	
9	2 480	Q235B	5.71	6.03	2.30	1.02	2.01	1.331	2.20	

注: JIS B 8501 规定,在试水和设计条件下的许用应力值为同一个值。

JIS B 8501、API 650 及 BS EN 14015 规定计算液位即设计液位,而 GB 50341 规定计算液位即罐壁高度(包括包边角钢)。因此,GB 50341 在大型储罐罐壁厚度计算方面与国际标准规范等同。国际标准规范为了防止脆断的产生,限定了高强钢的屈强比,降低了高强钢钢板的许用应力;而我国规范通过提高计算液位隐含了很高的屈强比,在屈强比规定方面与国际标准规范不一致。在  $5 \times 10^4 \text{ m}^3$  及以下储罐方面,所采用的材料都为低强钢,与国际标准规范规定材料屈强比一致,与国际标准规范确定的当量许用应力值相当。

考虑目前 GB 50341 在大型储罐罐壁厚度应用方面的现状,同时考虑按 GB 50341 与国际标准规范在计算液位方面的不同会引起设计者的误解,认为很有必要修改计算液位,以便与国际标准规范规定相一致。以此为基础,需要对罐壁厚度的焊接接头系数及许用应力取法进行修改。但因焊接接头系数的取值与制造、焊接、施工、无损检测等相关,比较复杂,因此所用焊接接头系数按照 GB 50341 选取。

## 2 许用应力的确定原则

目前,大型储罐用高强钢主要为 SPV490 及 12MnNiVR。日本是第一个使用高强钢的国家,使用经验丰富。因此,高强钢的许用应力可按 JIS B 8501

确定,即高强度钢板的许用应力值,应取设计温度下 0.6 倍标准规定的屈服强度下限值。鉴于安全的考虑,可根据 BS EN 14015 来限制高强度钢板的当量许用应力,即对于底圈壁板,当许用应力值乘以 0.85 大于 260 时,应取 260;对于其他各圈壁板,当许用应力值乘以 0.9 大于 260 时,应取 260。

为保证第 1、2 圈罐壁应力平滑,可根据 API 650 变设计点法确定罐壁厚度计算方法,即当油罐直径小于或等于 60 m 时,宜采用定设计点法;当油罐直径大于 60 m 时,宜采用变设计点法。因为 API 650 变设计点法是唯一考虑应力平滑过渡且受国际认可的大型储罐罐壁厚度计算方法,国际工程项目 90% 以上的大型储罐在罐壁厚度计算都采用 API 650 变设计点法。

根据上述方法确定  $10 \times 10^4 \text{ m}^3$  储罐的许用应力、当量许用应力和罐壁计算厚度(表 4~表 6)。

由表 6 可知,第 1 圈罐壁厚度为 31.09 mm,比按 JIS B 8501 计算的 32.85 mm 要小,比按 BS EN 14015 计算的 30 mm、API 650 计算的 29.83 mm 要大;第 2 圈罐壁厚度为 26.6 mm,比按 JIS B 8501 计算的 24.77 mm 要大,与按 BS EN 14015、API 650 计算的罐壁厚度相当;而其他各圈罐壁厚度与按 JIS B 8501、BS EN 14015、API 650 计算的罐壁厚度相当。因此,根据 JIS B 8501、BS EN 14015 及 API 650 确定的许用应力原则是合理、可行的。

表 4 不同标准确定的许用应力值

MPa

圈数	板宽/mm	材质	GB 50341		JIS B 8501	BS EN 14015		API 650	
			试水	设计	试水(设计)	试水	设计	试水	设计
1	2 980	08MnNiVR	294	281	294	260	260	261	244
2	2 480	08MnNiVR	294	281	294	260	260	261	244
3	2 480	08MnNiVR	294	281	294	260	260	261	244
4	2 480	08MnNiVR	294	281	294	260	260	261	244
5	2 480	08MnNiVR	294	281	294	260	260	261	244
6	2 480	08MnNiVR	294	281	294	260	260	261	244
7	2 480	Q345R	230	220	207	258	230	219	204
8	2 480	Q235B	157	157	141	176	157	161	150
9	2 480	Q235B	157	157	141	176	157	161	150

表 5 不同标准确定的当量许用应力值

MPa

圈数	板宽	材质	GB 50341		JIS B 8501	BS EN 14015		API 650	
			试水	设计	试水(设计)	试水	设计	试水	设计
1	2 980	08MnNiVR	250	239	294	260	260	261	244
2	2 480	08MnNiVR	260	253	294	260	260	261	244
3	2 480	08MnNiVR	260	253	294	260	260	261	244
4	2 480	08MnNiVR	260	253	294	260	260	261	244
5	2 480	08MnNiVR	260	253	294	260	260	261	244
6	2 480	08MnNiVR	260	253	294	260	260	261	244
7	2 480	Q345R	207	198	207	258	230	219	204
8	2 480	Q235B	141	141	141	176	157	161	150
9	2 480	Q235B	141	141	141	176	157	161	150

表 6 不同标准确定的罐壁厚度值

mm

圈数	板宽	材质	GB 50341		JIS B 8501	BS EN 14015		API 650	
			试水	设计	试水(设计)	试水	设计	试水	设计
1	2 980	08MnNiVR	31.09	29.71	32.85	30.0	27.40	29.83	29.15
2	2 480	08MnNiVR	26.60	25.52	24.77	26.34	24.18	26.62	26.09
3	2 480	08MnNiVR	21.45	20.45	21.46	22.68	20.95	21.34	21.14
4	2 480	08MnNiVR	18.14	17.44	18.17	19.01	17.73	18.08	18.03
5	2 480	08MnNiVR	14.51	14.15	14.85	15.35	14.51	14.46	14.63
6	2 480	08MnNiVR	10.95	10.93	11.54	11.68	11.28	10.92	11.29
7	2 480	Q345R	10.30	10.62	11.28	8.08	8.98	10.30	10.62
8	2 480	Q235B	8.02	8.06	9.20	6.44	7.35	7.46	7.53
9	2 480	Q235B	1.28	2.12	2.30	1.02	2.01	1.331	2.20

(下转第 1079 页)

(2)SY/T 4109—2006 与 API 1104—2005 标准相比,当焊接接头要求 II 级为合格时,其质量要求要高于 API 1104—2005。Q/SY GJX 0112—2007 中 II 级质量要求要稍松于 SY/T 4109—2006,与 API 1104—2005 合格等级要求较接近。

(3)基于 ECA 方法确定的焊缝缺陷容限尺寸远大于标准方法中限定的缺陷尺寸。Q/SY GJX 0112—2007 标准中限定的缺陷容限尺寸要比西三线 0.8 系数段基于 ECA 方法计算的缺陷容限尺寸严格的多,因此认为对于西三线 0.8 系数段采用西二线的检测标准,能够满足工程实际需要。

#### 参考文献:

- [1] 向波, 谌贵宇, 向熠星, 等. 西三线一级地区设计系数的选择[J]. 天然气与石油, 2011, 29(5): 1-5.
- [2] 李鹤林, 吉玲康, 田伟. 西气东输一、二线管道工程的几项重大技术进步[J]. 天然气工业, 2010, 30(4): 129.
- [3] Robin Gordon. 管线用工程临界分析(ECA)方法的进展[C]//2006 年石油天然气管道工程技术及微合金化钢国际研讨会. 巴西: 巴西矿冶公司, 2006.
- [4] 张彦华, 李红克. 管道焊接缺陷合于使用评定技术进展[J]. 焊

管, 2003, 26(2): 11-15.

- [5] Budden P J, Sharpies J K, Dowling A R. The R6 procedure: recent developments and comparison with alternative approaches[J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2000, 77: 895-903.
- [6] 盘锦北方无损检测公司. SY/T 4109—2005 石油天然气钢质管道无损检测[S]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
- [7] API 1104—2005 Welding of pipelines and related facilities[S]. 2005.
- [8] CSA Z662—2002 Oil and gas pipeline systems[S]. 2002.

(收稿日期: 2012-11-22; 责任编辑: 潘红丽)

**作者简介:** 张振永, 高级工程师, 1971 年生, 1995 年毕业于石油大学(华东)焊接设备及材料专业, 现主要从事油气长输管道工程设计工作。

电话: 13292615649; Email: cppe\_zhangzy@cnpc.com.cn

Zhang Zhenyong, senior engineer, born in 1971, graduated from China Petroleum University (Huadong), welding equipment and material sciences, in 1995, engaged in the design of long-distance oil and gas pipeline projects.

Tel: 13292615649, Email: cppe\_zhangzy@cnpc.com.cn

(上接第 1075 页)

### 3 结论

(1)GB 50341 在大型储罐罐壁厚度计算方面与 JIS B 8501、BS EN 14015 及 API 650 基本相同, 计算结果也是合理可靠的。

(2)在近 10 年的大型储罐罐壁厚度设计中, 很少使用 GB 50341 的主要原因是由于对计算液位的理解有误造成的, 而非标准规范本身不合理。

(3)在国际标准规范中, 限制高强钢的屈强比, 有利于防止脆断的产生。而在国标 GB 50341 中, 按照高强钢屈服强度确定的许用应力明显偏高, 为此参照国际标准引入了最大许用应力上限的规定, 通过计算比较可知, 高强钢的许用应力确定原则是合理的。

#### 参考文献:

- [1] 中国石油天然气集团公司. GB 50341—2003 立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.

[2] JIS B 8501—1995 钢制焊接油罐的结构[S]. Tokyo: JISC, 1997.

[3] BS EN 14015—2004 Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, aboveground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above[S]. Brussels: CEN, 2005.

[4] API 650—2012 Welded tanks for oil storage[S]. Washington DC: API Publishing Services, 2011.

(收稿日期: 2012-11-29; 编辑: 杜娟)

**作者简介:** 吴龙平, 高级工程师, 1979 年生, 2005 年硕士毕业于中国石油大学(华东)化工过程机械专业, 现主要从事大型储罐的设计工作。

电话: 13473165296; Email: wulongping@cnpc.com.cn

Wu Longping, MS.D, senior engineer, born in 1979, graduated from China Petroleum University (Huadong), chemical process machinery, in 2005, engaged in the design of large storage tanks.

Tel: 13473165296, Email: wulongping@cnpc.com.cn