

锅炉设计文件鉴定中有关问题及探讨

何争艳 刘丽红 杨生泉 刘荟琼

(湖南省特种设备检验检测研究院 湖南 长沙 410117)

摘要 本文主要通过送审资料、设计结构、计算等三个方面,依据TSG G0001-2012《锅炉安全技术监察规程》(简称《锅规》)、TSG G0002-2010《锅炉节能技术监督管理规程》(简称《节规》)、GB/T16507-2013《水管锅炉》、GB/T16508-2013《锅壳锅炉》等相关法规、标准要求,针对锅炉设计文件鉴定过程中发现的问题进行归纳与分析,例举出一些鉴定过程中发现具有代表性的问题,以避免该类问题再次发生,同时也为相关法规、标准的修订提供参考意见。

关键词 锅炉;设计文件鉴定;强度计算

0 引言

为保证锅炉安全、节能及环保要求,根据《中华人民共和国特种设备安全法》、《特种设备安全监察条例》、《锅炉安全技术监察规程》中均要求锅炉设计文件应当经国务院特种设备安全监察管理部门核准的检验检测机构鉴定后,方可用于制造。随着市场经济日益变化、环保要求不断提高以及《锅规》《节规》第一号修改单的实施。锅炉制造单位加快了对锅炉新产品研发及老产品优化,随着设计文件数量日渐增多,发现的问题也愈来愈多。以下例举一些近几年在锅炉设计文件鉴定过程中,发现具有代表性的问题与大家一起分析与探讨。

1 鉴定中发现问题及探讨

1.1 提供送审资料不全

TSG G1001-2004《锅炉设计文件鉴定管理规则》附件1“申请单位提供的锅炉设计文件”规定,申请单位送审应提交设计说明文件、设计图样、计算文件等三大类文件,但申请单位提供送审资料不全问题,具体如下:

(1) 锅炉设计文件鉴定申请书、锅炉设计文件节能申请书缺申请单位相关人员签名、未填写设计属性、未填写节能申请文件清单等。

(2) 缺主要支撑、吊挂件图、锅炉检查(修)门(孔)类、厂标人孔装置、手孔装置等相关图纸。

(3) 加盖设计文件鉴定专用章图纸、资料中缺批准人签字。

1.2 锅炉结构设计及设计图样中出现的问题

1.2.1 燃烧器选型

质检总局办公厅下发关于燃气锅炉风险警示的通告(2017年第2号)之前,未要求在锅炉出厂技术资料中注明燃烧器配置技术要求,制造单位往往根据本单位合作的燃烧器品牌配置燃烧器,在选型过程中只考虑燃烧器功率、背压是否与锅炉相匹配,忽视了燃烧器火焰长度与直径是否与锅炉相匹配的问题。自通告要求制造单位补充配置要求后,发现90%以上制造单位所配置燃烧器火焰直径大于燃烧室直径,不满足GB/T16508.6第4.4.1条规定燃烧器的火焰不能与锅炉燃烧室壁面或炉管直接接触的要求。因此在燃烧器选型时不能只考虑燃烧器功率和背压是否满足要求,燃烧器火

焰长度与直径是否与锅炉相匹配也是选型的重要参数之一。

1.2.2 封头扳边直段不满足要求

TSG G0001《锅规》表3-2中规定扳边元件直段长度按扳边元件内径予以确定,而96版《蒸规》却按扳边元件壁厚确定,设计人员在设计时忽视《锅规》此处已修改,仍沿用老版本要求,造成扳边直段长度不满足要求。

1.2.3 技术要求内容不全或采用标准过期

已作废的JB/T81-1994《凸面板式平焊钢制管法兰》、JB/T1616《管式空气预热器技术要求》、JB/T1615《锅炉油漆和包装技术条件》等标准还在应用,未及时更新。

图样上技术要求内容不全,本体图技术要求中建议包含TSG G0001《锅炉安全技术监察规程》、GB/T16507《水管锅炉》或GB/T16508《锅壳锅炉》、NB/T47013《承压设备无损检测》等有关锅炉设计、制造、检验等法规、标准要求。而总图技术要求中除上述标准要求外还应有TSG G0002《锅炉节能技术监督管理规程》、GB/T1576《工业锅炉水质》、GB/T13271《锅炉大气污染物排放标准》、GB50273《锅炉安装工程施工及验收规范》等相关锅炉节能、安装、使用、环保等要求。

1.2.4 热水锅炉未设置定压装置

《锅规》10.4条规定,在热水系统的最高处以及容易集气的位置应当装设集气装置,并且有可靠的定压措施和循环水的膨胀装置。而提供的管道仪表图或系统图中未设置定压措施和循环水膨胀装置。定压方式可采用:膨胀水箱定压、自来水定压、泵定压、氮气定压、蒸汽定压等;循环水的膨胀装置可采用:低温热水采暖系统,常用开口膨胀水箱;而大型高温热水采暖系统,常用有压的闭式膨胀水箱或其他释放膨胀水的方式。设计人员在设计时应选择可靠的定压措施和循环水膨胀装置,以保证系统安全、稳定运行。

1.3. 计算资料中出现的问题

1.3.1 受压元件强度计算中的问题

(1) 计算壁温取用

计算水管锅炉锅筒筒体厚度时,个别制造单位将锅筒筒体同一受压元件根据其受热情况不同,分区按炉膛部分和对流部分进行计算,如炉膛部位不绝热按GB/T16507.4表2选取附加壁温 $\Delta t=90^{\circ}\text{C}$,对流部分按烟温选取 $600<\text{烟}$

温 $<900^{\circ}\text{C}$ ， $\Delta t=50^{\circ}\text{C}$ 分别进行计算，分区进行计算大多因为最小孔桥减弱系数在对流部分，如对流部分按炉膛部位选择附加壁温取 90°C 进行计算，则壁厚不满足要求。原 GB/T9222-2008《水管锅炉受压元件强度计算》中计算壁温取受压元件内外壁算术平均值的最大值，并未对同一受压元件是否可以分区计算进行说明，但在 GB/T16507.1 第 6.5.2 条中对计算壁温做出了明确解释，强度设计时锅炉受压元件计算壁温取值原则如下：a) 取金属壁温最高部位的温度；b) 各部件在工作状态下的金属温度不同时，可分别设定其计算温度；c) 受压元件的计算温度通过以下方法确定 1) 由传热公式或经验公式计算；2) 取同类型锅炉的测量值；3) 根据受压元件内部工质温度和外部条件确定。d) 计算工况不考虑锅炉出口过热蒸汽温度、再热蒸汽温度以及给水温度的允许范围偏差。综上所述，计算同一受压元件时应选取金属温度最高部位的温度进行计算，不应将同一受压元件按金属温度不同分区进行计算。

(2) 补强计算问题

补强高度 h_1 、 h_2 取值有误。制造单位计算人孔补强或主汽管补强分不清有效补强高度 h_1 、 h_2 ，理解不全，生搬硬套公式。《锅壳锅炉》中， h_1 代表加强管接头的有效补强高度，为受力段； h_2 代表加强圈的有效加强高度，为非受力段；人孔补强与主汽管补强受力段与非受力段位置刚好相反，从而导致取值有误。另外《水管锅炉》、《锅壳锅炉》标准 h_1 、 h_2 符号也不同，《锅壳锅炉》中为 h_1 、 h_2 ，《水管锅炉》为 h 、 h_1 ，容易被制造单位忽视，因此制造单位应加强图纸校对审核工作。

(3) 拱形管板计算问题

拱形管板凸形部分壁厚计算当量内径代入错误，厚度计算与校核几何参数代入当量内径均不同。图 1 (a) 所示，拱形管板由平直部分和凸形部分组成，平直部分受力情况与由拉撑的平板完全相同，故按烟管管束以内平板计算来确定平直部分厚度，而其凸形部分由不同椭圆线 ab 构成，图中 a_0 - a - b 线 (a_0a 为直线， ab 为椭圆线) 为各椭圆线中最大的椭圆线，由于 a_0 - a - b 线的支点为 a_0 与 b ，相当于图 1 (b) 所示完整椭圆形封头的椭圆线，故计算时用最大的椭圆线构成假想椭圆形封头计算， D_i 用当量内径 D_{ed} 代入，即 $D_i=2\sqrt{a'b}$ ，但计算有关拱形管板几何参数时，则 D_i 按实

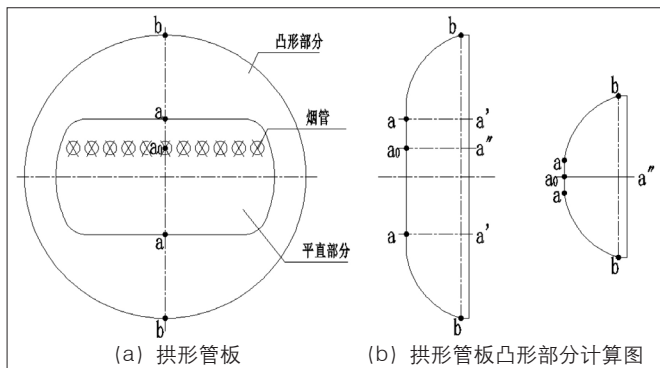


图 1 拱形管板示意图

际的椭圆线考虑，式中 D_i 用当量内径 D'_{ed} 取 $D_i=2\sqrt{a'b}$ 而不是 $2\sqrt{a''b}$ 。

1.3.2 热力计算

(1) 计算依据 (标准) 的选取

热力计算选用方法 (标准) 为锅炉设计文件节能审查项目表中 B 类项目，而计算中经常发现缺少计算依据、选取计算依据与锅炉结构不符、数据不合理等问题。

(2) 冷凝锅炉计算

冷凝锅炉未计算冷凝率、燃油锅炉热效率数据不合理、冷凝率取值过高等现象。应根据锅炉结构合理选择计算方法及冷凝率以保证热力计算的准确性。

1.3.3 有机热载体锅炉流速计算

最高液膜温度和最小限制流速计算中仅计算辐射段流速，未计算对流受热面流速。GB/T17410《有机热载体》5.2.6 条要求为防止液相炉中热载体过热与积碳，辐射受热面炉管内热载体流速应不低于 2.0m/s ，对流受热面炉管内热载体的流速应不低于 1.5m/s 。故辐射、对流受热面流速应分别计算；

2 标准执行中发现问题及探讨

GB/T16508《锅壳锅炉》和 GB/T16507《水管锅炉》标准中在同一受压元件中存在差别，列举下列问题希望有关标准修订时能予以参考。

2.1 封头开孔系数问题

GB/T16507《水管锅炉》与 GB/T16508《锅壳锅炉》标准中在计算椭圆形或球形封头时，计算方法、数据均相等，但使用范围取值时却不同。GB/T16507.4 中 10.3.4 条椭圆和球形封头计算公式开孔条件： $d/D_i \leq 0.6$ ，而 GB/T16508.3 8.3.3 条 $d/D_i \leq 0.7$ 。举例： $\phi 159 \times 6$ 集箱两端如选用椭圆形封头开 102×88 椭圆手孔，用 GB/T16507《水管锅炉》计算 $d/D_i=102/147=0.69$ 不满足 $d/D_i \leq 0.6$ 的要求，而用 GB/T16508《锅壳锅炉》计算 $d/D_i=102/147=0.69$ 满足 $d/D_i \leq 0.7$ 的要求。标准数据的不统一，造成制造单位成本增加，同一规格集箱用在水管锅炉上只能外协加工热旋压封头替代椭圆形封头，而用在锅壳锅炉时却可采用椭圆封头。还有一些直径较小的锅筒，人孔开孔直径 d/D_i 也超过上述要求，以下实验结果表明此限制条件可适当放宽。

图 2 所示为上海锅炉厂对 d/D_i 较大的椭圆形封头的应力实测结果。

封头内径 $D_i=600\text{mm}$ 开孔直径 $d=380$ 内高度 $h_i=170\text{mm}$ ，

厚度 $\delta=40\text{mm}$ ，有效厚度 $\delta_e=35\text{mm}$ 。

$$\frac{h_i}{D_i} = \frac{170}{600} = 0.283 > 0.2$$

$$\frac{d}{D_i} = \frac{380}{600} = 0.633 < 0.6$$

该封头的工作压力为 5.2MPa ，则当量应力 (沿壁厚平均应力) 为

$$\sigma_d = \frac{PD_i}{4(1-\frac{d}{D_i})\delta_e} \frac{D_i}{2h_i}$$

$$= \frac{5.2 \times 600}{4 \times (1-\frac{380}{600}) \times 35} \frac{600}{2 \times 170} = 107\text{MPa}$$

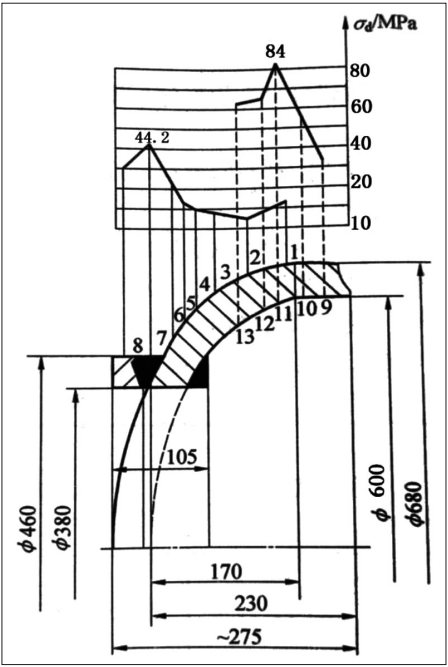


图 2 凸形封头应力分布

由实测应力可见，人孔附近、与筒壳相连的直段附近有明显二次应力，但最大应力小于上述计算当量应力，表明用 $d/D_i \leq 0.6$ 条件来限制其应用范围还是有较大裕度。

另《水管锅炉》中热旋压管制缩口封头只适用于 $P_r \leq 2.5\text{MPa}$ 的锅炉， $> 2.5\text{MPa}$ 热旋压管制缩口封集箱封头在计算时也应满足 $d/D_i \leq 0.6$ 的要求。

2.2 GB/T8163 管子许用应力计算问题

GB/T16507.2 和 GB/T16508.2 表 3 钢管适用范围中有材料牌号为 10、20 材料标准为 GB/T8163 的材料，而表 4 常用钢管的许用应力表中确无该材料许用应力可查。该材料是否能使用？如果使用许用应力查 GB/T150 是否可行？

2.3 水位表非径向开孔问题

GB/T16507《水管锅炉》与 GB/T16508《锅壳锅炉》标准中，对非径向开孔都有要求，尤其《锅壳锅炉》中明确了孔排中开孔若为非径向开孔，要求非径向孔孔轴与径向夹角 α 不应大于 45° ，但并未对形成孔排不构成孔桥的单孔作出要求。就在水位表开孔方向上造成争议，如水位表水平布置时见图 3 a) 所示，汽连通管非径向开孔夹角 α 大于 45° 不满足《锅壳锅炉》标准要求；如水位表不水平布置见图 3 b) 所示，汽连通管采用径向开孔，汽连通管中凝结水是否能满足《锅规》要求能自动流向水位表？笔者认为水位表水平布置能更好防止假水位的出现，但标准中对非径向开孔不构成孔桥特殊要求未作出明确说明，建议《锅壳锅炉》标准在修订时能注明不构成孔桥的单孔，非径向开孔不受其开孔角度限制的要求。

2.4 总则中设计厚度、名义厚度定义不合理

在 GB/T16507.1 中 第 3.1.16、17 和 GB/T16508 中 第 3.11、12 条对设计厚度定义为计算厚度与腐蚀裕量即 $\delta_{dc} = \delta_t + C_1$ ，名义厚度定义为设计厚度加上钢板厚度负偏

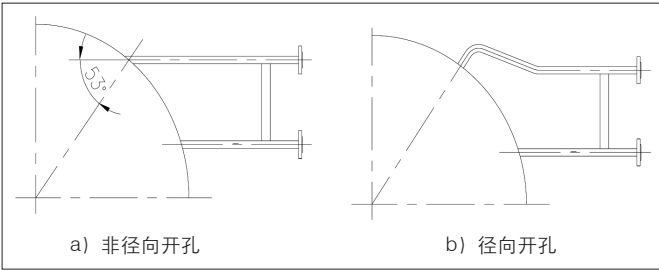


图 3 水位表开孔位置示意图

差和制造减薄量后，向上圆整至钢材标准规格的厚度，即 $\delta = \delta_{dc} + c_2 + c_3$ 。而 GB/T16507.4 第 9 条中对设计厚度公式为： $\delta_{dc} = \delta_t + C$ ，名义厚度定义为 $\delta \geq \delta_{dc}$ 。总则中设计厚度与名义厚度定义前后不统一，笔者认为总则中的定义应进行修改，将设计厚度定义为计算厚度与腐蚀裕量、钢板厚度负偏差和制造减薄量之和；而名义厚度改为设计厚度向上圆整至钢材标准规格的厚度，更为适宜。

3 结语

本文主要从送审资料、锅炉结构设计及设计图样、计算资料、标准执行中发现的问题等几个方面例举在锅炉设计文件鉴定过程中发现一些具有代表性的问题，这些问题不仅影响了图纸审查工作的顺利进行，也给锅炉设计单位带来很多不便，对此希望：

(1) 锅炉制造单位加强对设计人员相关法规、标准的培训，确保锅炉设计文件安全、环保、节能均能满足现行法规及标准要求。

(2) 针对设计文件鉴定提出的意见定期组织设计人员召开质量分析会议，加强设计文件质量考核，防止同类问题再次发生。

(3) 建议标准归口单位广泛收集标准使用单位、高等院校和科研院所的意见，使标准更加完善、更具有操作性。

参考文献：

[1] 李之光, 李柏生, 等. 新型锅壳锅炉原理与设计 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 318 ~ 324.
[2] 刘文铁, 等. 锅炉受压元件强度计算分析与设计 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2015: 177 ~ 178.

作者简介：何争艳，1983 年出生，女，本科，主要从事锅炉设计文件鉴定工作。