



锅炉压力容器安全技术丛书

工业锅炉检验

李正华 江建华



劳动人事出版社

87
TK226
8

3

工业锅炉检验

李正华 江建华

B3720/16

劳动人事出版社

B373762

内 容 摘 要

《工业锅炉检验》是一本供培训中级锅炉检验技术人员使用的教材。本书从设计、制造、安装、运行、修理、改造等环节，叙述了有关检验的要求、方法和应注意的事项，以及常见事故的分析，内容比较全面，重点比较突出，实用性较强。

本书除可供锅炉检验技术人员使用外，也可供锅炉设计、制造、安装、改造、运行、维修的人员参考。

工 业 锅 炉 检 验

李正华、江建华著

劳动人事出版社出版

(北京市和平里中街12号)

新华书店北京发行所发行

一二〇一工厂印刷

787×1092 16开本 21印张 520千字

1987年2月北京第一版 1987年2月北京第一次印刷

印数：1—21,000

书号：15238·0186 定价：4.30元

8

前 言

劳动人事部锅炉压力容器安全监察局为了加强我国锅炉安全监察工作,培训锅炉检验技术力量,委托我们编写了这本《工业锅炉检验》。本书以从事锅炉检验技术工作人员为主要对象,也可供锅炉设计、制造、安装、改造、运行、维修的人员参考。

基于国内小型工业锅炉占绝大多数,安全状况又较差,是加强安全监察的重点,所以全书以小型工业锅炉为主要论述内容。

本书在1980年 州、1983年保定和1984年济南举办的三期全国锅炉检验技术班上作为主要教材试用后,收到了学员和各地有关部门的很多宝贵意见,这次正式出版时作了较大的修改和充实。

本书由大连市劳动局李正华工程师编写第二章、第三章、第四章、第六章、第七章;鞍山市锅炉检验研究所江建华工程师编写第一章、第八章;李正华和江建华一起编写了第五章和第九章。本书在写作过程中曾得到石宗扬、姬东铭、林志宏、段锡古、潘永茂、刘兆成,刘善棠等工程师的帮助,劳动人事部锅炉压力容器安全监察局高级工程师李毅、工程师佟振芳对初稿进行了复审,在此表示感谢。

《工业锅炉检验》可作为培训教材,但不宜作为规程引用。如书中有关内容与现行规程、标准不相符合,应以规程、标准为准。错漏之处,恳请指正,以便我们充实提高。

编 者

目 录

第一章 概 述

- 第一节 锅炉检验工作的重要性.....(1)
- 第二节 锅炉检验的范围.....(2)

第二章 锅炉设计审查

- 第一节 设计资料的审批.....(4)
- 第二节 强度计算审查.....(6)
- 第三节 卧式回火管锅炉管板强度问题.....(9)
- 第四节 填角焊缝分析.....(16)
- 第五节 锅炉设计中常见的问题.....(25)
- 第六节 分析几种锅炉结构的缺陷.....(29)
- 第七节 各种拉撑结构.....(37)
- 第八节 对锅炉房的要求.....(41)

第三章 锅炉制造质量的检验

- 第一节 锅炉制造厂应具备的条件.....(44)
- 第二节 检验程序及职责范围.....(53)
- 第三节 受压元件的材料.....(55)
- 第四节 受压元件制造技术和几何尺寸.....(62)
- 第五节 焊接质量.....(83)
- 第六节 制造工艺的监督.....(91)
- 第七节 锅炉质量的综合检查.....(95)

第四章 锅炉安装质量的监督和检验

- 第一节 安装质量检验总的要求.....(108)
- 第二节 安装工艺的监督检查.....(110)
- 第三节 胀接质量.....(120)
- 第四节 安全附件的安装检验.....(127)
- 第五节 汽水管道及阀门的安装要求.....(129)

第六节	砖墙砌筑技术要求	(133)
第七节	烘炉、煮炉和蒸汽密封试验	(137)
第八节	安全阀定压与排汽试验	(139)
第九节	锅炉安装中常见的问题	(142)

第五章 运行锅炉的内外部检验

第一节	内外部检验的重要性	(144)
第二节	内外部检验的程序	(145)
第三节	受压元件的腐蚀	(152)
第四节	受压元件的裂纹	(163)
第五节	锅炉其他缺陷	(169)
第六节	几种常见型式锅炉的损坏情况	(176)
第七节	安全附件常见的缺陷及原因	(194)
第八节	锅炉水质的监督	(200)
第九节	蒸汽锅炉的使用登记	(208)

第六章 锅炉修理的质量检验

第一节	概述	(213)
第二节	清灰和除垢	(214)
第三节	腐蚀和裂纹的修理	(216)
第四节	挖补的技术要求	(218)
第五节	变形突起部位的复位修理	(223)
第六节	管子修换的技术要求	(224)
第七节	立式锅炉受压元件的修理	(228)
第八节	卧式锅壳锅炉受压元件的修理	(233)
第九节	卧式快装锅炉受压元件的修理	(234)
第十节	水管锅炉受压元件的修理	(237)
第十一节	检验与验收	(240)

第七章 锅炉改造的监督检验

第一节	概述	(241)
第二节	锅炉改造时对水循环的要求	(243)
第三节	蒸汽锅炉改热水锅炉的安全检验	(253)
第四节	锅炉改造设计中影响经济效果的问题	(260)
第五节	锅炉改造设计中常见影响安全的问题	(264)

第八章 检验方法和工具

第一节	直观检查	(271)
第二节	量具检查	(272)
第三节	金属表面探伤检查	(276)
第四节	X射线探伤	(279)
第五节	超声波探伤	(286)
第六节	水压试验	(290)
第七节	复型检查	(293)

第九章 事故调查与分析

第一节	事故分类及报告	(295)
第二节	事故的调查	(296)
第三节	锅炉爆炸分析	(300)
第四节	高压造成锅炉钢材的损坏	(306)
第五节	锅炉爆炸时钢材的破坏形式	(318)
第六节	锅炉炉管损坏事故的分析	(323)

第一章 概 述

第一节 锅炉检验工作的重要性

一、锅炉设备的特点

锅炉是一种受热、承压、有可能发生爆炸危险的特种设备，广泛使用于国民经济各个生产部门和人民生活，它具有与一般机械设备所不同的特点。这些特点是：

1. 有爆炸危险且破坏力较大

锅炉是一种密闭的容器。其发生爆炸的原因很多，归纳起来不外乎两种情况：一种是锅内压力升高，超过允许工作压力，而安全附件失灵，未能及时报警和排汽降压，致使锅内压力继续升高，大于某一受压元件所能承受的极限压力时，发生爆炸；另一种是在正常工作压力的情况下，由于受压元件结构本身有缺陷，或使用后造成损坏，或钢材产生质变或疲劳失效，或运行失常使钢材强度降低，而不能承受原来允许的工作压力时，就可能突然破裂爆炸。锅炉爆炸的破坏力较大，不但炉体或构件飞出会造成破坏，而更大的破坏是，由于锅炉爆炸时，锅内压力骤降，高温饱和水靠自身的潜热汽化，体积成百倍地膨胀，形成冲击波，冲垮建筑物，造成严重的破坏和伤亡。

2. 工作条件恶劣而易损坏

由于锅炉本体在温度较高、承受一定压力的条件下运行，它的工作条件要比一般机械设备恶劣。如受热面内外广泛接触烟、火、灰、水、汽、水垢等，它们在一定的条件下对锅炉元件起腐蚀作用；锅炉受压元件上产生相应的应力，同时各元件由于工作温度差异、热胀冷缩程度不同而产生附加应力，随着负荷和燃烧的变化，这种应力也发生变化，一部分承受集中应力的受压元件疲劳损坏；依靠锅内流动循环的水汽冷却的受热面因缺水、结水垢或水循环破坏使传热发生障碍，都可能使高温区的受热面烧损、开裂；另外，飞灰造成磨损、渗漏引起腐蚀等等。以上情况说明，锅炉设备由于工作条件恶劣，要比一般机械设备易于损坏。

3. 使用广泛并要求连续运行

锅炉的用途十分广泛，与国民经济关系相当密切。它是火力发电厂的“心脏”，是化工、纺织、轻工行业中的关键性设备，同时在日常生活中的食品加工、医疗消毒、洗澡取暖等，也都离不开它。全国几十万台锅炉，几乎遍及城乡各地、各行各业。不仅如此，锅炉一般还要求连续运行，不同于一般设备可以随时停车检修，因为它的突然停炉会影响到一条生产线、一个工厂，甚至一个地区的生产和生活。

基于锅炉设备的上述特点，保证锅炉设备安全运行是至关重要的。因此，必须有专门机构，按照国家公布的各种法规，对锅炉设备进行监督检查和技术检验。

二、锅炉检验的目的

对锅炉进行技术检验，是为了达到以下目的：

1. 及时发现并消除隐患，防患于未然

不少事故隐患，来之于新造的锅炉。如结构不合理，钢材选用不当，强度计算错误，制造质量低劣等等。这些都是将来在运行中酿成事故的重大隐患。对新制造的锅炉加强监督检查，就能把住第一关，防止质量不合格的锅炉出厂。另外，一般情况下，运行锅炉的缺陷，由产生，发展到发生爆炸，是要经历一段过程的。如受压元件扳边处的起槽、开裂，拉撑处的折断，铆缝和胀口的苛性脆化，各部分的腐蚀、变形等，都不是突然发生的。如果平常能加强监护，又能够有计划地定期对锅炉进行内外部检验，就能及时发现缺陷，掌握它的发展趋势，采取相应的措施，从而防止恶性事故的发生。

2. 弥补缺陷，延长锅炉使用寿命

对锅炉的轻微缺陷，如不及时发现和修复，就会加快损坏速度，缩短使用寿命。不少锅炉，由于没有进行定期检验，有了缺陷未能很快发现，得不到及时修理，结果只使用了十几年，有的甚至只使用了三、四年就被迫报废。如一台锅炉，开始只是后管板的胀管管端渗漏，用补胀的办法很快可以修复，但是由于没有及时检验和采取补修措施，致使后管板严重腐蚀，管孔带开裂，加剧损坏，最后不得不更换全部管子和后管板。

3. 实现连续安全运转，保证生产的正常进行

按照锅炉运行的情况，实行有计划的检验，及时消除事故隐患，就不至于造成被迫停炉的现象。这就保证了正常生产和人民日常生活的需要。

4. 堵塞漏洞，节约能源

锅炉耗用燃料所占的比重很大，每年全国锅炉所用的燃煤约占煤产量的百分之四十左右。而许多锅炉由于漏汽、漏水、漏烟、漏风，或受热面上积有大量水垢，排污率控制不当等，浪费了不少燃料，而且使锅炉达不到额定出力。加强锅炉检验，就可以及时堵塞这些漏洞，减少损失，提高出力。全国几十万台锅炉，如果都做到了这一点，节省的燃料是很可观的。

此外，对出口锅炉加强检验，保证质量，就能提高产品信誉和竞争能力；对进口锅炉进行检验，便于及时发现问题。

总之，锅炉检验工作十分重要。加强了锅炉检验工作，可以减少浪费，防止事故，保证安全，促进生产，因此是四化建设中不可缺少的一项重要工作。

第二节 锅炉检验的范围

一、什么是锅炉检验

锅炉检验是按照国家颁布的有关法规和技术标准，对锅炉结构的合理性，受压元件强度，制造和安装质量的优劣，内外部存在的缺陷以及安全附件的准确、可靠情况等进行全面检查，作出鉴定性的结论。

运行锅炉的定期检验，是锅炉检验的中心环节，但如果只进行这样的检验是不够的。事故虽然发生在运行之中，而隐患却可能来之于设计、制造、安装、改造等各个环节。结构不合理，制造质量低劣，安装上存在的问题以及改造不当等，都可能使锅炉在运行中发生事故。有的新锅炉使用还不到计划停炉检验日期，甚至刚投入运行就发生了爆炸，原因就是制造质量低劣。造成事故的原因是复杂的，一起事故往往是几个方面的原因促成的。为了防止事故的发生，必须抓住从设计审查开始到报废鉴定为止的全过程检验。

二、锅炉检验的范围

锅炉检验应包括下列范围：

1. 锅炉设计的审查：这项工作由劳动部门和主管部门进行。主要审查锅炉结构的合理性。按照设计参数的要求，审查其强度是否足够；经济指标能否达到；制造工艺能否满足；运行操作中是否会发生故障；检修是否方便，等等。这种审查，有的是全国统一组织进行的，有的是当地单独进行的。

2. 锅炉制造质量的检验：主要检查制造厂使用的材料是否符合要求；制造工艺是否合理；各项质量指标是否合格；各受压元件之间的连接尺寸是否符合图纸要求；并审查有关技术资料和产品合格证是否齐全可靠。这种检验除了制造厂正常的自行检查外，劳动部门锅炉监察机构要组织定期检查，或委派锅炉检验所驻厂监检。除了审查制造厂检验记录和技术文件外，还要对锅炉进行逐台复检或抽检。若对无损探伤记录发生怀疑时，可重新进行探伤检查。

3. 锅炉安装质量的检验：主要是检查新锅炉各部件的安装质量和锅炉改造后的安装质量是否符合规定；胀管质量是否合格，有无胀管记录；各受压元件相互间的几何位置是否符合设计要求；锅筒内部装置及安全附件是否齐全和准确；炉墙砌筑是否合格等。这种检验主要是由安装单位和使用单位共同检验和验收。在安装完毕投入运行前，劳动部门所属的检验所要进行总体安装质量检验，对安装质量作出检验结论。

4. 运行锅炉的检验：即锅炉运行中或按计划停炉进行的内外部检验。分为定期和不定期检验两种。由当地劳动部门安排锅炉检验所或企业负责检验。主要检验锅炉运行后本体内外部的各种缺陷和安全附件的可靠性，提出锅炉继续运行、降压使用、修理或报废更新意见。

5. 锅炉修理质量的检验：对锅炉本体进行大修前，劳动部门要审查修理方案的合理性，其中包括工艺、强度、使用材料、验收条件等。修后由锅炉检验所检查其修理质量。

6. 锅炉改造的检验：对更动受压元件的锅炉改造，劳动部门要对改造方案及改后能否符合《蒸汽锅炉安全监察规程》和《热水锅炉安全监察规程》的要求进行审查，然后由检验所检验。

7. 锅炉报废鉴定：对要报废的锅炉，可由锅炉检验所从锅炉材质性能的降低到受压元件的损坏程度进行全面检验，确定其是否应当报废。

总之，凡是能影响锅炉安全运行的项目，都是检验的范围。如锅炉房是否符合要求；制造和安装单位的电焊工和探伤工是否经过考核合格；锅炉水质是否符合要求；司炉工是否经过培训和考试发证；安全附件是否定期校验等，也都在锅炉监察和检查范围之内。

第二章 锅炉设计审查

第一节 设计资料的审批

为了使锅炉结构符合安全可靠的要求,首先就要从设计上予以保证。前些年,由于锅炉结构不合理而发生了许多爆炸事故和设备事故,其原因就是这些锅炉由非专业制造厂或使用单位擅自设计。设计出的锅炉本身就存在许多严重的不合理因素。也有的虽然安全性问题不大,但是热效率低,达不到性能指标要求。有些专业制造厂设计的锅炉也有许多问题。因此,加强锅炉设计审查,防止新锅炉出厂就带有先天性缺陷,是锅炉安全监察和检验工作的首要任务之一。

根据国务院1982年颁布的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》规定,全国性的锅炉定型设计,须经国务院主管部门和劳动人事部锅炉压力容器安全监察局审查批准;非全国性的锅炉定型设计,须经省、自治区、直辖市主管部门和劳动局(厅)锅炉压力容器安全监察处审查批准。

一、锅炉设计的审查范围

1. 锅炉本体受压部分(包括拉撑等);
2. 锅炉范围内管道。按介质流动方向,自给水管路调节阀前的截止阀起,到主汽阀止;排污管路到排污阀止;
3. 安全附件、仪表;
4. 锅炉本体烟道;
5. 平台、步道、扶梯。

二、制造单位送审资料

1. 锅炉总图;
2. 主要受压部件图(包括锅炉范围内管道总图);
3. 受压元件强度计算书(包括安全阀口径核算);
4. 锅炉设计说明书;
5. 其它与锅炉安全有关的设计资料。

各类资料应由有关人员签字。

对于锅炉热效率问题,虽然不是锅炉安全监察机构的主审任务,但是在审查时也应加以注意。热效率低的锅炉设计不应被通过。

三、审批程序

1. 机械系统全国性的定型设计。制造单位(或联合设计的主要负责单位)应提出书面申请,并将规定所需的全部资料报机械工业部和劳动人事部锅炉压力容器安全监察局。机械工业部或其所委托的单位负责召开设计审查会。机械工业部审批后,在设计总图标题栏的上方加审批标记或字样,由劳动人事部锅炉压力容器安全监察局复核,并在总图标题栏的上方加审

批标记。制造单位(或联合设计组织)需要修改设计时,应将修改部分报机械工业部及劳动人事部锅炉压力容器安全监察局审批。

2. 非机械系统的全国性锅炉定型设计,参照机械系统的作法进行。审查会应有机械工业部的代表参加。

3. 非全国性的锅炉定型设计。锅炉设计单位是制造单位时,制造单位应将书面申请和所要求的全部资料报省级以上主管部门和省、市、自治区锅炉压力容器安全监察机构审批;设计单位不是制造单位时,应由承制单位先行审核,然后由承制单位和设计单位分别将书面申请和设计资料报设计单位的省级主管部门和承制单位所在省、市、自治区锅炉压力容器安全监察机构审批,并在总图标题栏上方加审批标记。审批标记格式如图2-1。制造单位(或设计单位)修改设计后,将修改部分分别送交省级以上主管部门及省、市、自治区锅炉压力容器安全监察处审查。

按省级主管部门和劳动部门审查批准的锅炉设计图纸生产的锅炉,在其他省不再进行设计结构审查。

×××劳动局	24	45
锅炉设计审查批准专用章		
×劳锅审字第××号	11	
××××年××月××日		
70	1	

图2-1 锅炉设计审批标记

四、审查的重点

锅炉压力容器安全监察机构审查锅炉设计的重点是锅炉安全问题。审查的依据为现行的锅炉安全监察规程、有关的国家标准、部标准(或专业标准)。没有相应规定的,制造单位应提供设计依据。

在审查设计时,重点要注意以下几点:

1. 锅炉各受压元件连接处的焊缝及胀口形式、尺寸和位置。连接形式不合理就会因为应力集中系数太大或交变应力的作用而使连接处损坏,发生事故。
2. 锅炉受压元件选用的材质要符合要求。
3. 锅炉受压元件必须保证强度要求,锅筒和炉胆等主要受压元件的最小壁厚不得小于规定值。
4. 锅炉各受压元件要有良好的热胀冷缩性能,防止受压元件连接的刚性结构。
5. 锅炉的水循环,尤其是有水冷壁管系统的锅炉,必须保证水循环可靠,同时,要使锅筒上两组水位表的水位保持一致。
6. 火管锅炉的最低安全水位要高于最高火界100毫米;对于直径小于、等于1500毫米的卧式回火管锅炉的最低安全水位,应高于最高火界75毫米;水管锅炉锅筒的最低安全水位应能保证对水管可靠地供水;并且要使锅筒内有适当的蒸汽空间。
7. 为了便于锅炉检修和清扫,要设计合理的人孔、检查孔、手孔。其位置、数量和尺寸应符合要求。
8. 进水管和排污管的位置要合理。进水管应避免集中给水和向汽空间进水。排污管要能将锅筒底部的泥垢排除。
9. 燃油锅炉、煤粉锅炉和燃气锅炉的点火装置要安全好用;应设有当风机电源跳闸时,自动切断燃料供应的连锁装置;要有灵敏可靠的防爆门,防爆门的位置、尺寸应合

适。

10. 主要受压元件的几何尺寸公差, 焊缝坡口及胀管、热处理等技术要求应合理。
11. 根据《蒸汽锅炉安全监察规程》的要求, 审查烟道及烟道挡板、安全附件和平台、扶梯结构。
12. 炉排和炉膛热强度要恰当; 炉拱形状和燃料种类要适应。
13. 受热面的布置要合理; 辐射受热面和对流受热面的比例要适当; 设置非沸腾式省煤器时, 要有旁通烟道, 或再循环管装置。
14. 烟气流速不宜过大, 烟气流速大于15米/秒, 管道容易磨损; 烟气流速小于5米/秒时, 传热效果差, 并且容易堵塞烟道, 均应重新布置烟道。
15. 机械化燃烧的锅炉, 要尽量避免存在受热面烟道不被烟气冲刷的死区和难以清扫的积灰部位; 排渣装置要求严密, 防止漏风, 并且要安全、耐用。
16. 鼓风、引风装置配置要合理, 各风室要密闭, 均匀布风, 并能良好地调节风量。
17. 要选择好正确的水处理方法和可靠的水处理措施。
18. 要配备性能良好的防尘装置。

第二节 强度计算审查

许多新制造的锅炉在设计资料中, 强度计算常常存在问题, 以致锅炉设计允许工作压力超过锅炉实际能够承受的强度。有的甚至不做强度计算, 仅仅用水压试验的办法来确定工作压力, 从而带来了很大的隐患。

一、强度计算至少应满足的条件

1. 选用的计算公式要符合要求。水管锅炉按机械工业部和劳动人事部颁布的 JB2194-77《水管锅炉受压元件强度计算标准》进行计算; 火管锅炉按1961年《火管锅炉受压元件强度计算暂行规定》计算, 待新的《锅壳式锅炉受压元件强度计算标准》(报批稿)被正式批准颁布执行时, 按新标准计算。但是目前亦可参考这一报批稿进行强度计算。

2. 选用合理的钢材, 按规定选用许用应力、安全系数、减弱系数、形状系数和附加厚度等。

3. 强度计算验算结果要正确。

二、在强度计算中常见的问题

1. 计算公式选错。比较常见的是火管锅炉的锅壳计算公式和水管锅炉的筒体计算搞混了。如卧式水火管快装锅炉的锅壳, 由于直接受辐射热, 温度高, 热应力也高, 应按火管锅炉强度计算规定进行计算, 选用合理的许用应力。但很多却按水管锅炉的计算公式计算, 结果就不正确。

2. 强度计算书是照别单位的强度计算书抄袭的, 和本单位的锅炉的实际情况不符。如原来是使用16Mn作为锅炉用材, 现在用的是15g, 材料不同, 许用应力当然也就不同, 仍沿用原计算书上的许用应力值, 就产生错误; 又如原来锅炉受压元件的直径或管孔尺寸和现在的也不同, 如果仍采用原计算书中的数据, 结果也会造成很大的误差。

3. 受压元件强度计算的项目不齐全。在设计中经常漏算的受压元件有: 锅筒的管孔孔桥减弱系数、人孔补强、管板的平板部分或管孔区域、拉撑管、立式锅炉的炉胆顶、冲天管

以及人孔盖、手孔盖。此外，集箱、集箱端板以及集箱三通处的强度，也经常遗漏计算。这就造成了允许使用压力的不可靠。

4. 改造的锅炉常常不作强度计算，或者仅仅对增加的受压元件作一简单计算，而对被改造的受压元件常常不作复核，留下了不安全隐患。如有的单位将兰开夏锅炉改为卧式水火管快装式锅炉，在锅壳上开管孔，加装了水冷壁管，本来应该对锅壳重新按孔桥减弱系数进行核算，但是没有作这项核算，以致强度不够。

5. 对计算压力的概念不清，所以在确定设计计算压力和最高允许压力的基准上存在问题。很多单位的锅炉设计压力仅仅是锅炉的出口压力，或者是锅筒压力，这是不正确的。正确的概念应该是：

(1) 水管锅炉

锅筒筒体内介质的计算压力 p 取为锅炉出口额定压力与最大流量时锅筒至锅炉出口之间压降之和。若无过热器装置， p 即为锅炉出口压力；如果锅炉安全阀开启后蒸汽压力超过工作压力1.08倍时，则计算压力时应加上超出之值；若锅筒受液柱静压力超过按上述方法所得计算压力的3%，则在计算压力中还应加上此液柱静压力。

以上确定计算压力 p 有三种意思。一种意思是，当有过热器时，过热器集箱的出口压力是锅炉额定出口压力，而锅筒内的压力由于蒸汽流经过热器有一压降，所以锅筒压力要大于锅炉出口压力，计算锅筒压力时，当然要包括这一压降值。如果没有过热器，就不存在这一问题了；第二种意思是，因为根据《蒸汽锅炉安全监察规程》的规定，安全阀的总排汽能力，可以允许所有安全阀开启后，锅炉内的蒸汽压力上升幅度不超过安全阀允许的较高开启压力的3%，并不得使锅炉内蒸汽压力超过设计压力的1.1倍。对于工作压力大于39公斤力/厘米²的中压以上锅炉，若安全阀开启压力超过工作压力1.08倍，但在允许范围内，此超出值就要作为计算压力的一部分；第三种意思是由于水管锅炉有一定高度，一定高度的水柱具有一定静压，一般取10米高度为1公斤力/厘米²，所以下锅筒所受之压，除了汽压以外，还有水柱静压。此静压超过工作压力3%的话，计算压力就要予以包括。如，锅炉原设计工作压力 $p=13$ 公斤力/厘米²，上下锅筒中心间的垂直距离为5米，则水柱静压为0.5公斤力/厘米²，此值已超过 $13 \times 3\% = 0.39$ 公斤力/厘米²，所以下锅筒的设计计算压力应为：

$$p = 13 + 0.5 = 13.5 \text{ 公斤力/厘米}^2 \text{ (表压)}$$

(2) 火管锅炉

根据《锅壳式锅炉受压元件强度计算标准》(报批稿)的规定：“元件设计计算时所用的设计压力 p 取为元件的正常运行最大压力(锅炉出口额定压力加上最大流量时该元件至锅炉出口之间的压力降)再加上安全阀较低级开启压力的升高值。”

对于没有过热器的锅炉，设计压力：

$$p = p_{\text{运}} + \Delta p_{\text{安}}$$

$p_{\text{运}}$ ——正常运行最大压力。无过热器时，取为锅炉出口额定蒸汽压力；

$\Delta p_{\text{安}}$ ——安全阀较低级开启压力升高值，当 $p_{\text{运}} < 13$ 公斤力/厘米²时， $\Delta p_{\text{安}} = 0.2$ 公斤力/厘米²。

从以上可以看出，水管锅炉和火管锅炉对于设计压力的确定方法有所区别。但是，运行压力与设计压力之间不一定是等值，而是有所下降。

6. 对安全系数的理解错误

有些同志认为安全系数就是锅炉允许工作压力至爆破压力之间的倍数。这是不确切的。

安全系数包含一定的安全裕度，是保证受压元件安全的系数。由于受压元件所用的钢材的屈服限或抗拉强度不能用来确定受压元件强度，要以“许用应力”来进行受压元件的强度设计，而“许用应力”是用安全系数除以材料的强度值而得到的。

在安全系数里，包含着各方面对元件强度的影响。大致有以下因素：

- (1) 强度分析方法和计算公式的近似和准确程度；
- (2) 钢材的质量变化；
- (3) 施工质量——包括制造和安装质量的影响；
- (4) 构件截面尺寸的负偏差；
- (5) 超载；
- (6) 工作条件和维修保养程度；
- (7) 残余应力和应力集中；
- (8) 检查手段的可靠程度。

根据JB 2194-77《水管锅炉受压元件强度计算标准》，以下因素在计算公式中没有列入，而是纳入安全系数考虑的范围中去了。

(1) 安全阀动作时的压力升高值。最大动作压力达额定工作压力的1.08倍，即安全系数中考虑了超载8%的工作压力。

(2) 强度计算中允许忽略不计的水柱静压力。即低于计算压力3%的水柱静压力也被考虑于安全系数之中。

(3) 外载引起的少量附加应力，正常运行时出现的热应力，锅炉出口温度的偏差以及材料性能的偏差等。

基于以上情况，安全系数已经不是受压元件的实际安全裕度。例如，一台锅炉允许工作压力为8公斤力/厘米²，抗拉强度安全系数为2.5，不能认为锅炉爆破压力 $p_b = 8 \times 2.5 = 20$ 公斤力/厘米²。

真正的安全裕度是：

若许用应力 $[\sigma]$ 按屈服限的安全系数 $n_s = 1.5$ 确定，爆破压力所具有的安全裕度为：

$$\frac{p_b}{p} = \frac{\sigma_b}{\sigma_s}$$

式中： p_b ——爆破压力；

p ——允许工作压力；

σ_b ——抗拉强度；

σ_s ——屈服限。

例如16Mng制作的锅筒，距爆破压力的裕度 p_b/p ，在室温时为1.65，在400℃时为2.28。

若许用应力 $[\sigma]$ 按抗拉强度的安全系数 $n_b = 2.5$ 确定

$$\frac{p_b}{p} = 1.67$$

7. 许用应力选用不当

在安全系数确定后，影响许用应力的因素是材料强度性能和壁温。有些设计中许用应力

选用不当的原因有以下几方面:

(1) 将锅炉设计压力(表压力)作为绝对压力来计算。以绝对压力来确定的饱和温度就要比实际温度低,根据这一温度来选用许用应力就比实际要小。

(2) 计算壁温选择不当。有的锅壳锅炉按水管锅炉标准选择壁温;有的受压元件置于炉膛内,未绝热,但却按绝热的来考虑,或按设置于烟道内的情况来考虑,这样按壁温选用的许用应力就不准了。

8. 封头的形状选择不当。凸形封头有半球形、椭圆形和扁圆形。一般扁圆形封头由于其曲面是由两个共轭圆组成,强度条件不够好,现已不再设计制造。因而强度计算标准中只有半球形和椭圆形封头计算公式,没有考虑扁圆形封头计算公式。但是有个别设计仍沿用扁圆形的封头,此时采用强度计算标准中的计算公式来计算封头壁厚,当然就不正确了。

9. 锅壳和封头的附加壁厚选用不够

不少设计单位确定锅壳和封头的附加壁厚时,仅按 JB 2194-77《水管锅炉受压元件强度计算标准》表2-2和表5-2选取。实际上表内所提供的附加壁厚是考虑工艺附加量。当壁厚 $S \leq 20$ 毫米时,还要加1毫米附加壁厚,用以考虑钢板负偏差和腐蚀减薄。

10. 集箱计算中应注意的事项

(1) 当集箱上开有较大的孔—— $\frac{d_n}{D_n} \geq 0.8$ 时 (d_n ——集箱上焊接管接头或管子的内直径; D_n ——集箱的内直径),应按 JB 2194-77第八章对箱进行强度校核。当 $K < 0.4$,但同时 $\frac{d_n}{D_n} > 0.8$ 时,往往容易疏忽,以为不必进行加强计算,此时虽然满足了不必进行加强计算的条件,但尚应按焊制三通对集箱强度进行校核。当三通区域内存在孔桥时,在计算 φ 时,尚应将三通区域内的最小孔桥减弱系数 $\varphi_{\min}$ 考虑进去。

(2) 在进行开孔加强计算时,当 $0.4 < K \leq 0.6$ 时,还应对加强面积的分布(补强的密集性)进行校核,应满足“加强需要面积的三分之二分布在离孔边四分之一孔径的范围内”这一要求。因为在孔边缘处应力很大,随着与孔边的距离增大而迅速衰减。

11. 炉胆和炉胆顶计算中考虑不周

立式弯水管和大横水管锅炉的炉胆计算长度,除了炉胆的圆筒部分长度外,尚应加上与炉胆圆筒部分相连的下脚圈和炉胆顶直段部分长度。

对于无冲天管锅炉凸面受压的炉胆顶,在确定许用应力时应取修正系数 $\eta = 0.75$,因为炉胆顶是承受外压。若炉胆顶上开有管孔时,尚应计算开孔减弱系数。

第三节 卧式回火管锅炉管板强度问题

卧式水火管快装锅炉是目前我国普遍使用的一种卧式回火管锅炉。根据其结构特点,前后管板的强度计算应遵照原劳动部1961年颁布的《火管锅炉受压元件强度计算暂行规定》进行。但是,实际上,在对管板部分进行的强度计算中,存在一些错误。

一、平板部分假想圆三支点的确定不正确

卧式快装锅炉前后管板上部非管孔区,当采用角板拉撑加强时,管板的壁厚计算应遵照《暂行规定》第三十条的规定进行:

$$S \geq \sqrt{\frac{pd^2}{K}} \cdot \sqrt{\frac{36}{\sigma_s}}$$

式中: S ——壁厚, 毫米;
 d ——三支点或二支点确定的最大假想圆直径, 毫米;
 σ_B ——材料常温抗拉强度, 公斤力/毫米²;
 K ——系数;
 p ——许可工作压力, 公斤力/厘米²。

假想圆支点的确定

管板平板区假想圆位置如图2—2所示。

1. 管板板边处的支点线; 取用下列二点中最接近管板板边的一点: (1) 在管板平板上距管板板边内壁为2.5倍管板厚度的一点; (2) 管板平板上的圆弧起点。

2. 角板拉撑处取角板拉撑中心线。

3. 拉撑或拉撑管的中心。

在锅炉设计中, 三支点中第一、第二两点一般取得比较正确, 问题在于第三点, 即在烟管处的支点取法, 差异较大。目前发现的有以下几种:

1. 将一般焊接管当作拉撑管, 作为支点;

2. 在管子外缘50毫米处作为支点;

3. 在管子与管板焊接或胀接的边缘处作为支点。

为什么支撑点要通过拉撑管中心呢? 如果把支撑点取在拉撑管的边缘, 这样正好把支点落在拉撑管与管板焊接处的角焊缝上的一个“点”上。此点的弯矩完全由焊缝来承担。由于角焊缝的抗弯能力较差, 容易使烟管处的支点失去支承作用。把支撑点移到拉撑管中心, 使支点处的弯矩由与管板连接处的拉撑管和焊缝共同来承担, 改善了此处的应力状态, 并且也和强度分析的条件相一致。

二、四根烟管间面积的取法

管板管孔区允许工作压力的计算按《暂行规定》要求, 其中要用下面的计算公式:

1. 管子胀接在管板上时

$$p \leq \frac{q\pi d}{A}$$

式中: p ——许可工作压力, 公斤力/厘米²;

q ——胀接时每毫米周长允许承受的负荷, 公斤力/毫米²;

d ——管孔直径, 毫米;

A ——相邻四根管子间的管板面积, 厘米² (见图2—3)。

2. 管子焊接在管板上时

$$p \leq \frac{R_{cp} d_1 \varphi}{A}$$

式中: R_{cp} ——焊缝允许剪应力, 公斤力/毫米²;

φ ——焊缝效率;

d_1 ——填角焊缝焊肉计算截面积, 毫米²。

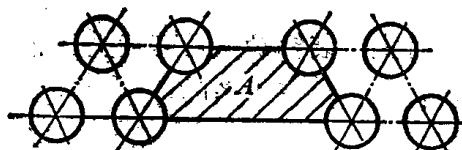


图2—3 四根烟管间管板面积