

锅炉压力容器检验论文汇编

刘景轩 万建庆 主编

石油工业出版社 Petroleum Industry Press

内 容 提 要

本书汇集了大庆油田有限责任公司锅炉压力容器检验研究中心 1998 年至 2000 年在锅炉压力容器检验方面的论文 45 篇, 是此研究中心近几年来锅炉压力容器检验工作的经验结晶。

本书适合于从事锅炉压力容器检验的工作人员使用, 可作为锅炉压力容器检验的指导用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉压力容器检验论文汇编/刘景轩, 万建庆主编.

北京: 石油工业出版社, 2001.6

ISBN 7-5021-3222-8

I. 锅…

II. ①刘… ②万…

III. ①锅炉-检验-文集 ②压力容器-检验-文集

IV. TK226-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 031729 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云红光印刷厂排版

石油工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

850 × 1168 毫米 32 开本 8 印张 200 千字 印 1—600

2001 年 6 月北京第 1 版 2001 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3222-8/TE·2442

定价 12.00 元

前 言

锅炉、压力容器在现代工业中应用广泛、不可或缺，由于它具有爆炸危险，所以一旦发生事故，不仅涉及到设备的损坏、环境的污染，而且还会造成人民生命财产的损失。其安全性一直是各级政府关注的重点问题。

自国务院颁布《锅炉压力容器安全监察暂行条例》后，各部委相继颁发了各种规程和标准，使我国锅炉压力容器的设计、制造、安装、使用、检验、修理和改造各环节，都逐步具备了相应的标准、规程，有效地扼制了事故的发生。大庆油田有限责任公司锅炉压力容器检验研究中心（原大庆石油管理局锅炉压力容器检验所）成立于20世纪80年代，位于北方油城，使我们有机会检验从20世纪60年代至90年代各时期生产的各种电厂、炼厂、油气采掘业的数以万计的锅炉、储罐、分离器、反应器等设备，得以发现、处理各种重大缺陷和事故。在本书中，我们重点针对检验这一关键环节，将我中心近几年在检验中发现的重大设备缺陷及对多起事故的调查、分析报告进行了整理、编辑，旨在使用户吸取教训，杜绝同类缺陷造成的损害再次发生，也使同业人员从我们遇到的问题中有所收益。此外，本书还介绍了有关检验单位发展和有关安全管理方面的相关内容。

检验是一种理论与实践相结合的过程，也是一门系统工程，它涉及面广，跨越学科多，因此书中错误、不当之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见，以便改正、提高。

编者

2001年4月

目 录

1998 年度锅炉压力容器检验论文汇编

注天然气用压缩机三级出口管线及其空冷器爆炸事故分析 孙 伟 刘景轩 卫景义 (2)	
正压式消防空气呼吸器气瓶爆炸原因分析 卫景义 孙 伟 (11)	
在役压力容器的动态检测技术与研究进展 戴 光 徐彦廷 李 伟 沈殿成 金传启 (21)	
利用UT 对一台奥氏体不锈钢制缓冲罐缺陷进行分析 卫景义 单洪翔 (28)	
液化石油气储罐的检验 张 伟 (32)	
BM-4 卧式内燃热水锅炉管板裂纹原因分析 金传启 (34)	
事故调查报告 吴万志 万建庆 李成山 (37)	
浅议压力容器检验报告质量的控制方法 高铁斌 (39)	
一起锅炉锅筒泄漏事故的分析 万建庆 党 凯 (43)	
大庆油田化工总厂甲醇厂 10×10^4 t/年甲醇 装置着火事故分析 贾立臣 (46)	
浅谈压力容器用安全阀选型存在的问题和建议 董树才 (50)	
关于电热锅炉存在的一些问题 万建庆 石 强 (55)	
从油田锅炉压力容器管理看统计工作的重要性 郑桂荣 (59)	
石油工业用火筒式加热炉火管烧坏原因分析 卫景义 孙 伟 肖永胜 (64)	
从一起炉膛爆炸事故看某锅炉厂生产的 SZS10-1.6-YQ 型锅炉结构改变必要性 吴万志 石 强 李成山 万建庆 (76)	

1999 年度锅炉压力容器检验论文汇编

- 一起安全阀弹簧失效的分析…… 刘景轩 万建庆 孙 柏 (82)
- 400m³ 球罐支柱与球壳连接处角焊缝裂纹产生原因
及处理办法…… 卫景义 单洪祥 (89)
- 采油厂回收轻烃工作中存在的问题及改进办法…… 贾利臣 (94)
- 关于长春产 6t 炉四排管腐蚀问题的分析 …… 党 凯 (97)
- 计算机网络建设及应用 …… 鄢 霄 (101)
- 上集气管裂纹分析 …… 王亚臣 (108)
- 几种炉型存在的问题的分析 …… 万建庆 江日海 (114)
- 加氢反应器制造过程中的无损检测及堆焊层的超声
波探伤 …… 陈启胜 (119)
- 监造工作的体会 …… 孙 伟 (124)
- 石油工业用四合一加热炉火管裂纹产生原因及处理
办法 …… 刘景轩 单宏祥 卫景义 (127)
- 浅谈锅炉设备上压力表的正确使用 …… 董树才 (134)
- 浅谈声发射技术在化工装置的应用 …… 金传启 (138)
- 一起水管锅炉水冷壁管局部结垢爆管的原因
分析 …… 李成山 (143)
- 石油工业用火筒式加热炉常见事故浅析 …… 张 伟 (147)
- 一起热水锅炉氧腐蚀原因分析 …… 吴万志 (154)
- 锅炉的腐蚀状况及防治方法 …… 孙 柏 (158)
- 浅谈无损检测与压力容器安全的关系 …… 吕文超 (164)

2000 年度锅炉压力容器检验论文汇编

- 空气管道爆炸事故分析 …… 刘景轩 吴万志 (168)
- 油田在用加热炉存在的问题及对策 …… 单宏祥 贾立臣 (171)

污油处理厂 SZS10-13-Y 上锅筒裂纹事故分析	吴万志 李成山 (175)
注气站气井井口输送管线弯头断裂原因分析	张 伟 王亚臣 (182)
大庆油田化工总厂炼油厂蜡加氢装置浮头式	
换热器螺栓断裂原因初步分析	卫景义 高铁彬 (190)
对一起炉膛爆燃事故的分析	党 凯 (194)
锅炉阀门选用应注意的几个问题	董树才 李成山 (196)
大庆油田化工总厂炼油厂加氢精制车间 7 台	
反应器检验方案	卫景义 (199)
大庆油田化工总厂炼油厂加氢精制反应器检验方案	
说明	卫景义 (207)
R501 加氢反应器的无损检测	万建庆 (212)
油田在用压力管道检验方案	孙 柏 金传启 (223)
由几起乙炔爆炸事故引起的思考	
大庆油田有限责任公司	
锅炉压力容器检验研究中心容器室	(233)
锅炉安全管理信息系统的研究	
李成山 刘景轩 吴万志 党 凯	(237)

1998 年度锅炉压力容器 检验论文汇编

注天然气用压缩机三级出口管线 及其空冷器爆炸事故分析^①

孙 伟 刘景轩 卫景义

(大庆油田有限责任公司锅炉压力容器检验研究中心)

摘 要 由于压缩机三级气缸阀片渗漏,使三级气缸排气超温,引燃缸体内的积碳,致使润滑油蒸汽被点燃发生着火,造成压缩机三级出口管线内的天然气与空气发生燃烧,最终使压缩机三级出口管线和空冷器换热管发生爆震性爆炸。

主题词 气缸阀片渗漏 排气超温 积碳 空气进入
爆震性爆炸

某采油厂试验大队试验站注天然气用压缩机三级出口管线及其空冷器于1997年9月13日21时55分发生爆炸。本中心派人员参与事故善后处理,经认真勘察、检验与分析,对事故原因作出以下分析。

一、事故经过

该机组是美国英格索兰公司产品,原设计介质为CO₂,四级压缩出口压力为20MPa,出口温度为163℃。从1990年至1995年注CO₂,1996年起开始注天然气。1997年9月13日10时,压缩机开始加载注气,注气压力为18.4~18.8MPa,配气间内注气温度为56℃,注气情况正常。当日14时25分,因压缩机三级气缸

^① 本文发表在《第三届全国锅炉压力容器安全技术学会论文集》,并获优秀论文奖。

超温和超压报警，压缩机自动卸载停机。14 时 35 分重新开机加载，15min 后压缩机三级缸再次超温和超压报警，又自动卸载停机。某厂维修人员检查发现压缩机三级缸的两个排气阀和四级缸的一个进气阀与一个排气阀都渗漏。经简单调校和气密试验，21 时 10 分启机加载，外部注气间进行了 1min 放空。当时三级缸排气压力为 5.8MPa，排气温度为 145℃，压缩机出口排气压力为 18.8MPa，排气温度为 148℃，注气瞬时总流量为 $1400\text{N}\cdot\text{m}^3/\text{h}$ ，检修人员认为正常即离开厂房，3min 后突然厂房内火光一闪，一声巨响发生了爆炸。留在距爆炸管线 5m 处在仪表盘前继续观察的操作工看到火光后，按下卸载按钮，从边门离开厂房。在厂房外人员跑去关闭室外紧急停机开关。

二、现场勘查

1) 三级出口管线爆炸成 9 块 (如图 1、图 2 所示)，爆管长度为 1070mm，材质为美国 ANAI B36.10—75 中的 A106B，管径为 2in，壁厚为 0.154in，其中一块飞出，嵌入高为 16m 的屋顶内。

2) 室外三级出口空冷器换热管爆炸两处 (如图 3、图 4 所

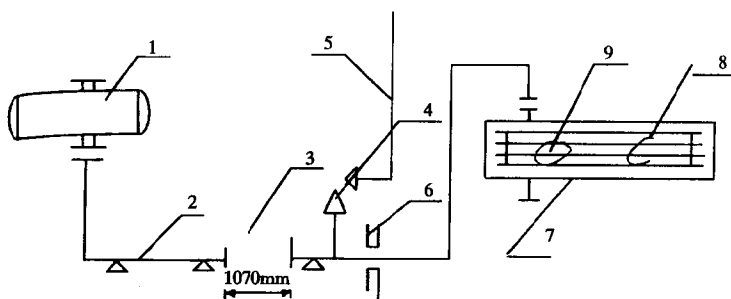


图 1 压缩机三级出口管线及其空冷器爆破位置

- 1—三级出口管线缓冲罐；2—三级出口管线；3—管线爆炸处；4—安全阀；
5—安全阀放空管线；6—厂房外墙；7—三级出口空冷器；
8—换热管爆口；9—换热管爆口



图2 压缩机三级出口管线碎片

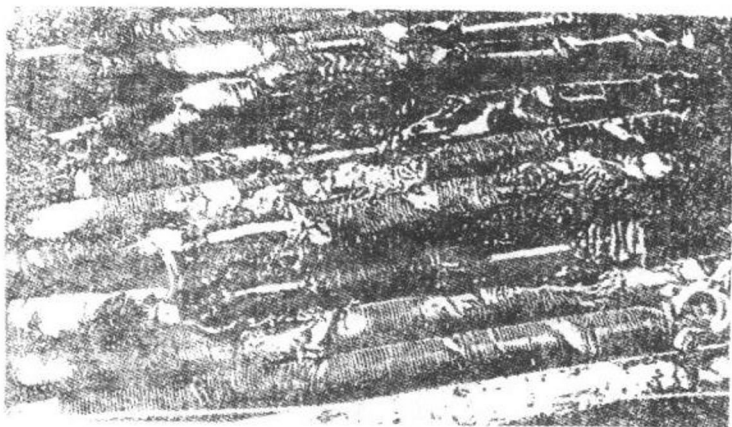


图3 空冷器换热管爆口处

示), 爆管数为 15 根, 其换热管直径为 16mm, 材质为 304L。空冷器换热管束爆口处有许多润滑油流出。



图4 空冷器换热管爆口处

3) 厂房框架的长×宽×高为 18.3m×15.2m×16m, 厂房内有 68 块玻璃破碎, 其最高处距地面 15m。

4) 距三级出口管线 450mm 处并与其并排放置的三级入口管线 ($\phi 11.56\text{mm}$) 被砸出深为 8.10mm、面积为 100mm×50mm 的凹坑。

5) 三级出口管线上安装的安全阀已经全部开启, 拆除后检查时发现该阀的活动阀塞被快速冲开后, 将活动阀塞上口冲压变形, 已不能回座, 造成直通。

6) 在压缩机检修时发现三级缸和四级缸的排气、进气阀都渗漏, 缸内有积碳现象。

三、爆破部位化验分析

1. 化学成分分析和机械性能试验

对压缩机三级出口管线未发生严重变形的部分进行化学成分分析和机械性能试验, 化验结果合格, 见表 1、表 2。

表 1 化学成分分析

化学元素	C	Si	Mn	P	S
分析结果, %	0.24	0.27	0.73	0.011	0.015
ANSI B36.10 中的要求, %	< 0.30	> 0.10	0.29 ~ 1.06	≤ 0.025	≤ 0.020
结 论	合格	合格	合格	合格	合格

表 2 机械性能试验

试 验 项 目	抗拉强度, N/mm ²	屈服强度, N/mm ²	延伸率, 85%
试验数据	524.2, 538.3	346.0, 358.9	36.6, 37.6
结 果	合 格	合 格	合 格

2. 金相分析

在三级出口管线未断裂部位取样进行组织分析, 见表 3。

表3 金 相 分 析

项目	夹杂物	组 织	晶粒度	魏氏组织	脱 碳
分析结果	明显夹杂物为硫化物, 级别为0.5级	铁素体和珠光体呈均匀分布, 带状组织明显, 级别为4级	晶粒度大小均匀, 级别为9级	不明显	未见明显脱碳现象

从上面分析结果来看, 三级出口管线未断裂部位金相组织正常。

3. 爆炸碎片检测

爆炸碎片检测和三级管线爆炸口处未破裂位置厚度及直径测定, 见表4、表5。

表4 爆炸碎片检测结果

碎片编号	碎片外形尺寸 mm × mm	碎片测厚值, mm			碎片质量 kg
		1	2	3	
1	920 × 70	2.95	3.04	3.07	1.41
2	485 × 50	2.88	3.22	3.34	0.65
3	420 × 65	3.17	3.29	3.41	0.56
4	310 × 50	4.08	4.15	4.17	0.40
5	210 × 70	3.40	4.39	4.17	0.33
6	85 × 55	4.39	4.38	4.25	0.25
7	75 × 50	3.50	3.95	3.96	0.10

表5 三管线爆口处未破裂位置检测数据

mm

编 号	外 径			内 径		
	1	2	3	1	2	3
1	63.54	63.04	63.06	55.48	55.80	55.80
2	60.40	60.52	60.64	51.40	51.32	51.72

从测定数值来看, 碎片厚度发生明显减薄, 管线爆口处未开裂位置发生明显胀粗。

4. 爆破碎片宏观断口分析

爆破碎片纵向断口为正反方向均成 45° 的剪切性撕裂断口 (如图 5 所示), 且碎片上分布着大量的纵向裂纹, 表明材料发生断裂, 呈塑性破坏特征。

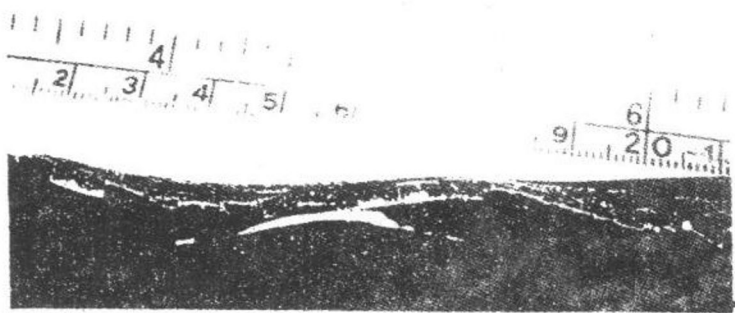


图 5 爆破碎片纵向断口

5. 外表面氧化状态分析

从外表面氧化状态来分析, 三级管线爆破碎片及其部分未爆破管线外表面有一层很薄的金属氧化层, 说明三级管线爆口处有短时过热过程。从爆破碎片及其部分未爆破管线内表面可以看到一层黑色碳化物。

四、爆炸原因分析

从三级出口管线未爆破位置取样进行材质分析结果来看, 三级出口管线所用材料符合要求; 从爆破碎片断口及其壁厚测定和爆口处未破裂管胀粗程度来看, 三级管线爆破为塑性破裂, 即破裂压力超出材料强度下的破坏。

从厂房内出现的火光和管材变色程度、爆破段管内黑色粉末碳化物来看, 爆炸属化学性爆炸。爆炸具有瞬时性和冲击性, 且破坏力大的特点, 破坏使安全泄放装置无效。

1. 爆炸原因

(1) 火源或温度

事故后检验发现压缩机三、四级缸进气、排气阀片漏气，使压缩气体在三级缸内重复压缩，造成三级缸排气超温。

(2) 可燃物、助燃物来源

检修人员离开厂房时，系统已加载注气，故系统内已有天然气存在，这部分的天然气为此次爆炸提供了可燃物。压缩机停机检修时，压缩机系统内有空气存在，压缩机加载后放空时间短，使压缩机系统内空气没有全部放出。由于压缩机三级排气阀泄漏，造成压缩机在吸气过程中，已被排出的压缩空气从排气系统经排气阀返回气缸内，致使压缩空气重复压缩。这部分空气也将成为此次爆炸的助燃物。

(3) 引燃过程

从爆破的空冷器换热管内可以看到有大量润滑油流出，说明三级出口管线内积油多。压缩机缸内有积碳，积碳在高温下会发生自燃。有实验表明，压缩机排气阀上生成的碳积物自燃是氧化放热反应，放热后产生的温度为 $154 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 。据资料记载，管内有润滑油存在时，油碳化生成碳黑、铁锈和润滑油混合物。在温度上升到 150°C 左右时，如有空气存在的情况下，润滑油蒸汽将被点燃而发生着火^[1]。

2. 燃烧爆炸过程

由于压缩机三级气缸阀片渗漏，使三级气缸排气超温，引燃缸体内的积碳，致使润滑油蒸汽被点燃发生着火，造成压缩机三级出口管线内的天然气与空气发生燃烧。随着燃烧的加速，由火焰面向未燃气体送出压缩波，使后来的火焰面由于压缩波的进入提高了压缩机三级出口管线内压力和温度的区域，从而加速了反应速度，发出更强的压缩波。这种波逐渐重合，发展成为冲击波。冲击波和接近火焰面的高温、高压未燃气体着火，随即使压缩机三级出口管线发生爆炸，并瞬间显示出很大的压力和过高的温度。之后，火焰面和冲击波成为一体发展成为爆震波，使空冷器换热管发生爆破^[2]。

3. 压力大小分析

按爆破失效准则, 根据福贝尔公式进行估算^[3], 在压缩机三级出口管线一切指标正常情况下, 如果发生爆破, 则最小爆破压力 p_b 为:

$$p_b = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s \left(2 - \frac{\sigma_s}{\sigma_b} \right) \ln K$$

式中: σ_s ——压缩机三级出口管材的屈服强度, 取 358.9N/mm^2 ;

σ_b ——压缩机三级出口管材的抗拉强度, 取 538.3N/mm^2 ;

K ——管线外径与内径之比, 取 1.178。

经计算得: $p_b = 88.4\text{MPa}$ 。

按弹性失效准则, 利用中径公式进行计算, 最小爆破压力 p_b 为:

$$p_b = 2\sigma_b \left(\frac{K-1}{K+1} \right)$$

式中: σ_b ——压缩机三级出口管材的抗拉强度, 取 538.3N/mm^2 ;

K ——管线外径与内径之比, 取 1.178。

经计算得: $p_b = 87.9\text{MPa}$ 。

从以上计算可知, 按福贝尔公式和利用中径公式计算结果近似。若使压缩机三级出口管线爆破, 那么爆破压力最小为 87.9MPa , 压缩系统无法提供这样大的压力, 故管线内只有发生化学反应, 才能提供这样大的压力。

4. 安全阀损坏情况

从现场勘察发现, 三级出口管线上安装的安全阀已经全部开启。拆除后检查时发现该阀的活动阀塞被快速冲开后, 将活动阀塞上口冲压变形, 已不能回座, 造成直通。这说明爆炸瞬间产生的冲击波强度很大, 安全阀开启瞬间无法把压力泄去。

五、结论

由于压缩机三级气缸阀片渗漏, 使三级气缸排气超温, 引燃

缸体内的积碳，使润滑油蒸汽被点燃发生着火，造成压缩机三级出口管线内的天然气与空气发生燃烧，最终使压缩机三级出口管线发生爆震性爆炸。

空冷器换热管发生爆破是由压缩机三级出口管线发生爆炸所产生的爆震波所致。

六、措施

1) 严格按检修规程清洗和排放管线、洗涤罐内润滑油，并严格按启停机程序操作。起机时必须排空系统内空气，同时防止来气压力过低——以防止压缩系统内出现负压。

2) 确保压缩机阀片检修质量，使阀片渗漏控制在规定范围内，防止压缩机阀片渗漏，使排气超温。

3) 控制润滑油的粘度和使用量及压缩机各级出口温度，防止压缩机气缸积碳。

参 考 文 献

- [1] [日] 北川彻三著．爆炸事故的分析．北京：化学工业出版社，1984
- [2] 叶忠贵等著．石油化工安全技术．北京：石油工业出版社，1987
- [3] 钱逸等著．压力容器安全技术基础．北京：中国劳动出版社，1990

正压式消防空气呼吸器气瓶爆炸原因分析^①

卫景义 孙 伟

(大庆油田有限责任公司锅炉压力容器检验研究中心)

摘 要 正压式空气呼吸的气瓶瓶体所用材料不耐氢损伤, 又因制造时内防腐质量不符合要求, 且气瓶瓶内有水滴存在, 发生氢致低应力脆性开裂, 造成气瓶爆炸。

Abstract It indicates the positive pressure type air respirator gas cylinder material cannot tolerate hydrogen damage and during manufacturing the anti - corrosion quality not meet the requirement and the gas cylinder in - side having some water drops to produce hydrogen and makes lower stress brittle cracks and leads to cylinder explosion.

关键词 瓶体所用材料不耐氢损伤 40SiMnNiCrMoV
氢致低应力脆性开裂 气瓶爆炸

一、事故经过

某消防队车库内随车放置的一套正压式消防空气呼吸器的气瓶(以下简称气瓶), 于1997年2月24日晚零时10分左右在车库内发生爆炸。气瓶瓶体爆裂成四块, 爆炸造成车体及车内放置的一台抽烟机部分损坏, 未造成人员伤亡。

① 本文发表在《中国锅炉压力容器安全》, 1989年第3期。