

CHENGYALEI TEZHONG SHEBEI
ANQUAN JIENENG JIANYAN YU FENXI

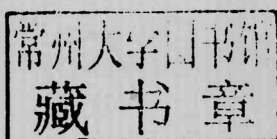
承压类特种设备 安全节能检验与分析

主 编 王晓桥

西北大学出版社

承压类特种设备安全节能检验与分析

主 编 王晓桥
副主编 王泉生 夏锋社
 刘晓东 淡 勇



西北大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

承压类特种设备安全节能检验与分析/王晓桥主编
—西安: 西北大学出版社, 2017. 11
ISBN 978 - 7 - 5604 - 3798 - 9

I. ①承… II. ①王… III. ①压力容器—安全技术—文集 ②压力容器—节能—文集 ③压力容器安全—检验—文集 IV. ①TH490. 8 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 278323 号

承压类特种设备安全节能检验与分析

作 者: 王晓桥 主编
出版发行: 西北大学出版社
地 址: 西安市太白北路 229 号
邮 编: 710069
电 话: 029-88303059
经 销: 全国新华书店
印 装: 西安华新彩印有限责任公司
开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16
印 张: 23
字 数: 517 千字
版 次: 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978 - 7 - 5604 - 3798 - 9
定 价: 52.00 元



王晓桥所长(右三)主持召开所长办公扩大会,专题研究本所改革与发展规划



国家质量监督检验检疫总局科技司武津生司长视察我所科研工作



技术人员(右1)参加全国检验检测技术研讨会取得好成绩



与四川特检院进行水晶釜检验比对



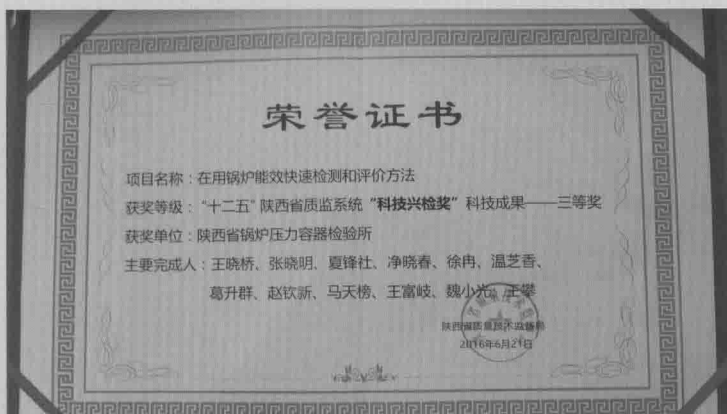
2009 年以来主持、参与制修订的标准



2009 年以来主编、参编的技术著作



2015 年一项科研项目通过国家质量监督检验检疫总局的集中验收



一项科研成果获省质监系统科技兴检三等奖



建立西安交通大学本科生校外实习基地



建立西安交通大学研究生联合培养基地

序

特种设备涉及生产、生活的方方面面,不但是工业生产的基础设备,还是民生保障的重要设备和设施。承压类特种设备的运行和使用,直接关系到人民群众的生命、健康和财产安全,在国家安全生产和公共安全中占有重要位置,而锅炉这一高耗能特种设备则是实现节能环保目标、促进低碳经济发展的主力。

陕西省特种设备检验检测研究院承担着我省大型化、高参数、高风险承压类特种设备安全性能检验与锅炉能效检测工作。多年来,他们坚持安全发展理念,求真务实,锐意进取,为维护特种设备安全做出了贡献;坚持问题导向和检验服务需求,勇于探索,努力钻研,检验检测能力稳步提升。这里,他们在之前出版论文集的基础上,将 2009 年以来发表的承压类特种设备检验检测技术和科研方面的论文整理出版,既保证了工作技术总结的连续性,也可进一步促进检验检测人员相互交流,提高承压类特种设备检验检测水平。

我们相信,以事业单位机构改革为契机,他们一定能够奋力拼搏、砥砺前行,在省局党组织的领导下,紧紧围绕全省经济社会发展大局,为社会提供更加优质便捷的特种设备检验检测服务,在特种设备检验检测事业追赶超越新征程上做出新的贡献!

陕西省质量技术监督局局长



2017 年 9 月

前 言

特种设备是指对人身和财产安全有较大危险性的锅炉、压力容器(含气瓶)、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、场(厂)内专用机动车辆等,其中,锅炉、压力容器(含气瓶)、压力管道属于承压类特种设备,在国民经济和社会发展中占有重要地位。

承压类特种设备具有高压、高温、易燃、易爆、有毒、强腐蚀等特点,一旦发生爆炸或者泄漏事故,往往会导致并发火灾、中毒等灾难,造成人员伤亡、财产损失、环境污染等严重后果,甚至影响社会稳定。因此,承压类特种设备安全是国家安全生产和公共安全的重要组成部分。锅炉是重要的能源转换设备,也是煤炭等能源消费大户,属于高耗能特种设备,具有较大的节能空间,因此,推动锅炉节能降耗,对实现节能减排目标,促进低碳经济发展,具有重要意义。

近年来,我国特种设备数量保持中高速增长,承压类特种设备向大型化、高参数、高风险、长周期运行方向发展,承压类特种设备安全与节能的监管难度不断加大,检验检测、节能监测要求不断提高。认真总结、分析承压类特种设备安全与节能检验实践中出现的问题,对提升承压类特种设备检验检测水平、保证检验检测质量、促进设备安全运行和节能降耗,具有积极作用。

本论文集收录了2009年以来陕西省特种设备检验检测研究院广大技术人员在锅炉、压力容器、压力管道安全与节能检验实践、科学研究中,对所发现问题的认识、技术分析和总结方面的论文,其中绝大部分是在相关技术刊物上公开发表过的论文,一部分是在相关学术会议上交流过的论文。本论文集收录时均在该论文末注明发表信息,且个别论文作者本人略有修改。

本论文集分为四部分:第一部分为锅炉部分,第二部分为压力容器部分,第三部分为压力管道部分,第四部分为综合部分。

在本论文集的编辑过程中,陕西省质量技术监督局乔军局长在百忙中为本书作序并给予指导;温芝香等同志做了大量的文字、图表的编辑、校对工作,在此一并致谢。

本论文集旨在与同行进行交流探讨。由于编者水平有限,且涉及的技术领域广,疏漏或不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2017年9月

目 录

第一部分 锅 炉 类

某热电联产锅炉受热面结焦机理分析及防止对策	刘社社, 葛升群	3
一起循环流化床锅炉屏式再热器爆管原因分析	王 瑜, 夏锋社	8
关于开展工业锅炉节能监管工作的思路	葛升群, 张晓明	16
浅析锅炉压力容器在夏季水压试验中外壁结露机理及预防措施	王富岐, 支泽林	21
燃煤工业锅炉热工测试结果分析及节能建议	净晓春, 魏小光	24
在用燃油气锅炉热效率计算与评价	温芝香, 葛升群, 张晓明	27
循环流化床锅炉水冷壁磨损机理分析及对策	王 勇, 夏锋社, 韩 剑	32
两台 DZL2.8-1.0/95/70-A II 型燃煤热水锅炉爆管原因分析及改进对策	徐拥军, 刘社社, 郑朋刚	38
正平衡法燃油气锅炉热效率测试不确定度分析	王晓桥, 温芝香	42
工业锅炉能效测试结果评价	温芝香, 王晓桥, 汪 军, 梁鑫亮	46
新建 150 t/h 循环流化床锅炉高温过热器管开裂原因分析	王 瑜, 马天榜, 申麦茹, 刘 洋	50
电站锅炉运行中 12Cr1MoV 组织结构变化研究	支泽林, 付 涛, 郭光远	57
陕西省锅炉能效测试结果分析	张晓明, 刘晓东	62
工业锅炉系统节能“瓶颈”的辨识及研究	徐 冉, 魏小光, 温芝香	68
对 TSG G0003—2010《工业锅炉能效测试与评价规则》中气体未完全燃烧热损失 计算的改进建议	张晓明, 净晓春, 魏小光	72
锅炉散热损失快速测试和计算方法研究	张晓明, 徐 冉	77
重复回火对 P91 钢焊缝组织及性能的影响	王泉生, 王 瑜, 张晓明, 党文静	81
采用固定燃料特性法对锅炉排烟热损失的研究	净晓春, 寇 威, 张晓明	85
锅炉散热损失简化计算方法与 ASME PTC 4 标准中的计算方法比对分析	徐 冉, 张晓明, 谭金锋, 韩 剑	90
火力发电厂锅炉尾部烟道低温腐蚀的危害与预防措施	温芝香, 支泽林	96
某 480 t/h 锅炉水冷壁变形原因分析	温芝香	99
重复回火对 P91 钢焊接热影响区高温力学性能的影响	王泉生, 张晓明, 王 瑜, 党文静	104

29MW 水管蒸汽锅炉频繁爆管原因分析及改进建议

..... 王 勇,马天榜,申麦茹,刘 洋 108

反平衡法燃煤工业锅炉热效率测试不确定度分析 温芝香 117

P91 管接头重复回火后的显微硬度与力学性能

..... 王 超,党文静,王伟博,崔 征,王 瑜 124

回火次数对 P91 焊管接头力学性能的影响

..... 王 超,党文静,鲁 路,王 瑜,崔 征,王伟博 130

第二部分 容器类

液化气体汽车罐车防波板装置开裂原因 张永红,乌永祥 141

高压容器筒体结构的最优化设计 夏锋社,朱 哲,淡 勇 145

对液化石油气储存设备残渣有关问题浅析 支泽林 150

高压医用氧舱燃烧爆炸事故分析及控制 王 建,徐拥军 154

进口压力容器采用拼接补强圈的启示 程宇群 157

天然气缓冲罐裂纹分析及改进 王泉生,程宇群,刘社社 160

天然气车用气瓶安装监督检验的体会 陆 伟 164

医用氧舱接地和导静电装置的检验 徐拥军,程宇群 167

压力容器氢腐蚀原因分析及预防 刘社社,葛升群 171

里氏硬度计在压力容器定期检验中的应用 刘晓东 175

压力容器热处理变形原因分析及预防措施 刘社社 179

不锈钢封头开裂分析及对策 支泽林,王富岐 184

一起高压除氧器爆炸事故原因分析 王 建 188

超高压水晶釜内腔表面裂纹在役涡流检测

..... 王泉生,高少锋,卢建明,刘 凯,李福元 192

某化工厂不锈钢管式换热器换热管失效原因分析 王 瑜,夏锋社 198

三甘醇吸收塔塔盘支撑圈角焊缝开裂原因分析 支泽林,梁鑫亮,乌永祥 203

地下 CNG 储气井疲劳寿命监测系统的研发

..... 王晓桥,温芝香,王泉生,夏锋社,栾建雄 209

超高压水晶釜超声波检测试验 寇 威,郑朋刚,净晓春 216

一起压力容器水压试验爆破事故的调查和分析 净晓春,寇 威,张永刚 222

换热器错管泄漏原因分析 申麦茹 225

第三部分 管道类

在役油气输送管道体积型缺陷安全评定方法 夏锋社,淡 勇,陈 聪 233

长输油气管道焊缝无损检测标准分析 王景人,王晓桥,夏锋社 238

PE 管热熔焊接缺陷及质量控制要点	孙亚云, 申麦茹	244
埋弧焊钢管制造监检若干问题讨论	夏锋社	250

第四部分 综合类

焊缝应力腐蚀裂纹的原因分析及控制措施	王 建	257
焊缝结晶裂纹的危害及控制措施	王 建	262
晶间腐蚀的危害及原因分析	王 建	266
特种设备全生命周期风险辨识与数据库的开发	于亚男, 罗 云, 王景人, 王泉生	271
汽轮机缸体裂纹原因分析及预防措施	刘社社	277
我国公共安全标准化的现状及其运行分析	张红涛, 罗 云, 王晓桥, 葛升群	281
安全生产标准化运行机制建模及优化研究	黄玥诚, 罗 云, 王晓桥, 夏锋社, 许 铭, 张红涛	288
特种设备安全监管宏观指标增速可接受水平研究	冯 杰, 罗 云, 曾 珠, 高继轩, 黄强华, 傅如闻, 王晓桥, 史 凯	298
NDT 检验中典型缺陷案例	刘 洋	305
铅锌冶炼厂周边土壤铅源的铅同位素示踪		
.....	于 凯, 李旭祥, 支泽林, 王海波, 郑刘孙	309
铅锌冶炼厂周边土壤重金属的空间分布特征研究	余娟娟, 赵世君, 杨 柳, 支泽林, 李旭祥	315
承压类特种设备典型事故现实风险分级评价方法研究	罗 云, 徐丽丽, 崔 文, 黄强华, 罗志群, 葛升群, 夏锋社	322
基于“战略—系统”思维的特种设备监管模式及体系研究	罗 云, 崔 钢, 何 义, 王晓桥, 葛升群, 夏锋社, 黄玥诚	332
碳钢/镍基复合管生产工艺及焊缝超声波检测	高 杰, 夏鹏举, 侯军才, 张 伟, 李 政	345
ZK60 镁合金薄板光纤激光焊接工艺	高 杰, 侯军才, 夏鹏举, 童 婷, 石 玟	352
附录: 陕西省特种设备检验检测研究院简介		358

● 第一部分

锅炉类

代誌一頁 ●

美 學 附

第 一 卷

某热电联产锅炉受热面结焦机理分析及防止对策

刘社社, 葛升群

(陕西省锅炉压力容器检验所, 陕西西安 710048)

摘 要:本文在理论、煤质、运行和检验等分析的基础上, 找出了某电站锅炉受热面结焦的原因, 提出了防止结焦的有效对策。

关键词:锅炉; 受热面; 结焦

陕西省某热电厂4号热电联产锅炉, 型号为WGZ 220-540/9.8-13, 于2003年10月正式投产使用至今, 累计运行约36000 h。该锅炉为自然循环、四角对冲切圆燃烧方式的Ⅱ型锅炉, 最大连续蒸发量为220 t/h、汽包额定蒸汽压力为10.92 MPa、过热器出口额定蒸汽压力为9.80 MPa、额定蒸汽温度为540 ℃、给水温度为215 ℃、给水压力为15 MPa。

该锅炉在定期宏观检验检查时发现受热面存在不同程度的结焦, 尤其是燃烧器上部水冷壁管、高温过热器及屏式过热器结焦、积灰最为严重。各受热面结焦情况如图1所示。

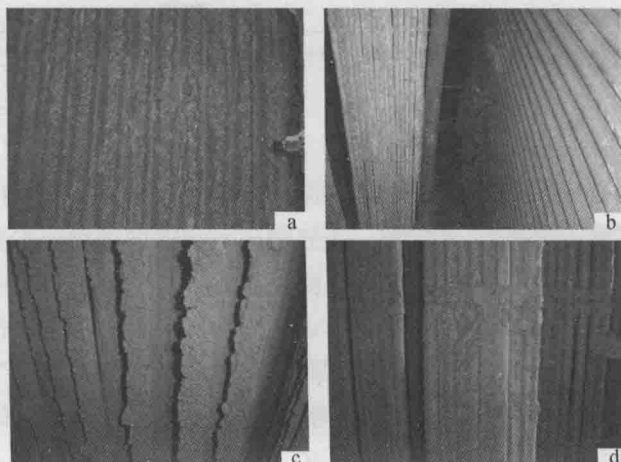


图1 各受热面结焦情况

- a. 燃烧器附近均匀结焦; b. 燃烧器上部约3 m的后墙水冷壁局部区域结焦;
c. 高温过热器结焦; d. 屏式过热器结焦、积灰

本文针对该锅炉受热面的结焦情况, 从结焦产生的机理、锅炉运行等多方面分析了结焦产生的原因, 提出了防止受热面结焦的有效措施。

1 结焦机理

1.1 灰渣的组成及性质

在煤的形成过程中带入了大量元素,除碳氢化合物可燃成分外,还含有硅、铝、铁、钙、硫、镁、钠、钾、钛等所组成的各种形式的矿物质和复杂化合物^[1]。这些矿物质的主要成分是SiO₂、Al₂O₃、Fe₃O₄、CaO,还含有少量的MgO、K₂O、TiO₂等氧化物。根据煤质的不同,煤粉燃烧后形成的灰渣中含有不同含量的各种物质。灰渣中各种氧化物按其含量多少,大致次序如下:SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、CaO等。灰渣的主要组成及性质见表1。由表1可以看出,灰渣的组成物有很多种,其中Fe₂O₃、Fe₃O₄、FeO等熔点都在1600℃以下,而灰渣的主要组成物SiO₂、Al₂O₃、CaO等氧化物的熔点都在2000℃以上,通常情况下都不会熔融而结焦。因此,结焦是在一定条件下灰渣中的氧化物形成的低熔点渣。

表1 灰渣的组成及性质^[1]

元素	氧化物	熔点/℃	化学性质
Si	SiO ₂	1715	酸性
Al	Al ₂ O ₃	2043	酸性
Ca	CaO	2521	碱性
Mg	MgO	2799	碱性
Fe	Fe ₂ O ₃	1566	碱性
	Fe ₃ O ₄	1576	碱性
	FeO	1030	碱性
	FeS	1195	碱性
	FeS ₂	1172	碱性
Na	Na ₂ O	1277(升华)	碱性
K	K ₂ O	349(分解)	碱性
Ti	TiO ₂	1838	酸性

1.2 结焦形成过程

煤粉燃烧后形成的灰渣中含有不同熔点的各种物质,熔点低的物质容易发生软化甚至熔融,熔融的微粒在相互接触时会聚集长大以减小表面积,进而降低表面能,使得表面能处于最低以保持热力学稳定状态。当这些微粒随烟气流动到受热面附近时,由于此处温度较低,便会凝结成固态微粒,大部分微粒会随着烟气排出,少量微粒附着在受热面管,长期聚集形成焦渣。结焦发生后,由于结焦面粗糙,灰渣与焦渣黏附力增大,同时结焦阻碍了热量向受热面传递的过程,因此,炉膛温度升高,灰渣更容易黏结于受热面,进而加剧了结焦过程的发展。

锅炉热效率测试方法有正平衡法和反平衡法,实际测试中应同时采用正平衡法和反平

衡法,取其平均值作为锅炉的热效率。本文主要研究反平衡法锅炉热效率的计算。

2 结焦原因分析

2.1 煤质分析

该锅炉设计的煤种为陕西黄陵煤,校核煤种采用陕西彬铜混合煤(1:1),实际使用陕西铜川混煤。现将设计煤种、校核煤种和实际使用煤种的特性列于表2。由表2可以看出,实际使用的煤种灰分值比设计煤种高出约71%,低位发热值比设计煤种低出约30%。由于实际使用的煤种的灰分比设计煤种高,而发热值比设计煤种低,导致锅炉按正常运行达不到蒸发量的要求,这就意味着必须通过加大煤粉燃料的投入,才能使锅炉的热负荷满足蒸发量及参数的要求。这样一来,一方面直接导致锅炉受热面管子的积灰增加、磨损加剧。在相同的热负荷下,投入的高灰分值煤粉量比低灰分值煤粉量大,煤粉燃烧后形成的低熔点灰渣的比例增大,从而加大了低熔点灰渣在受热面结焦的概率。另一方面,由于燃料消耗量的加大,有可能使得炉膛温度升高,低熔点熔融的灰渣很容易在受热面处冷凝从而形成结焦。

表2 设计煤种、校核煤种和实际使用煤种的特性

项目	符号	单位	设计煤种	校核煤种	实际使用煤种
收到基灰分	A_{ar}	%	20.86	26.87	35.66
收到基低位发热值	$Q_{net,ar}$	MJ/kg	23.78	19.89	16.60

2.2 运行分析

查阅锅炉的设计资料得知:锅炉100%负荷运行时,排烟温度为141.8℃、一二级减温水用量为6.29 t/h。经查阅锅炉的实际运行情况发现,排烟温度一般在180℃左右,最高可达到近200℃;一二级减温水用量多数情况下大于20 t/h,最多可达到29 t/h。在该锅炉定期检验时对高温过热器管(材料为12Cr1MoV)迎火面进行金相分析发现,组织为铁素体和碳化物;根据DL/T 773—2001《火电厂用12Cr1MoV钢球化评级标准》对该组织进行球化评级,球化级别达到4级(图2)。同时对该管进行机械性能测试,抗拉强度 $\sigma_b=475$ MPa,其抗拉强度正好处于GB 5310—

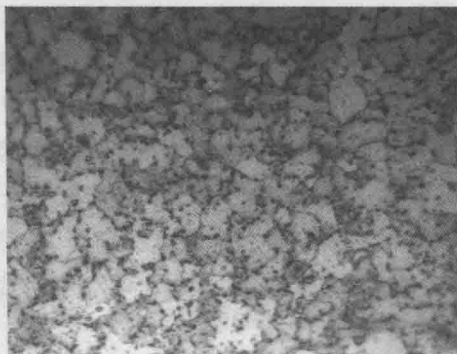


图2 高温过热器金相组织(400×)

1995《高压锅炉用无缝钢管》所要求的该材料抗拉强度的下限(GB 5310—1995规定12Cr1MoV钢管纵向抗拉强度为470~640 MPa)。由以上设计、运行和检验情况可以说明,该锅炉长期处于高温运行状态,尤其是燃烧器上部、屏式过热器以及高温过热器区域的温度更高,这有可能是燃烧器角度调节不妥,炉膛火焰中心抬高造成的,最终导致了这些区域的