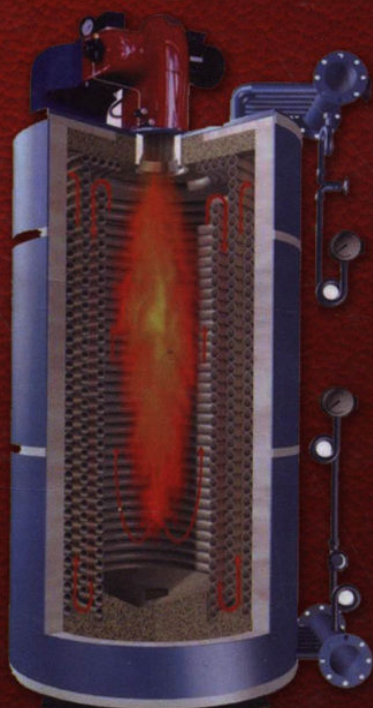


国家质检公益性行业科研专项项目（201210080）资助高水平专著

有机热载体炉积炭检测技术 及安全评价研究

彭小兰◎著
李丁 殷先华◎主审





彭小兰，毕业于中南大学，博士，现在湖南省特种设备检验检测研究院科技发展部任副部长，高级工程师。有从事电站锅炉一线检测八年的工作经验，曾参与国家重点基础研究发展计划973项目、国家科技支撑计划、国家自然科学基金项目数项，有着丰富的科研经验。工作后，作为项目负责人完成国家质检总局科技计划项目2项，参与国家质检公益性行业科研专项科研项目1项、国家自然科学基金项目1项，主持湖南省科技计划项目1项，先后在《系统工程理论与实践》《振动与冲击》《中南大学学报（自然科学版）》《中国安全科学学报》和《工业锅炉》等国内外权威期刊上发表学术论文三十余篇（其中1篇SCI论文，5篇EI论文，数篇CSCD论文），在锅炉检测科研项目研究方面有丰富的实践经验。

国家质检公益性行业科研专项项目（201210080）资助高水平专著

有机热载体炉积炭检测技术 及安全评价研究

彭小兰 著
李 丁 殷先华 主审



机械工业出版社

本书首先介绍了有机热载体炉运行机理和积炭层形成的原理,然后运用当今先进的超声导波技术对有机热载体炉的积炭层厚度进行检测,并通过事故树分析法、鱼刺法和系统工程理论等安全评价方法对有机热载体炉的安全进行综合评价,最后运用 FLUENT 对有机热载体炉进行流场模拟。

这是一本运用机械工程中的超声导波技术、能源与动力工程中的 FLUENT 流场模拟技术和安全工程专业中的安全评价方法三种学科方法进行交叉研究,并结合作者十年在特种设备检验检测工作的实践经验总结而成的一本学术型专著。

本书将有机热载体炉现场检验实践操作性和高深的超声导波学术理论相结合,可供有关有机热载体炉设计、使用、安装、检验检测的科研人员、工程技术人员、现场操作人员和管理人员等参阅,也可供高等院校机械工程、能源动力工程和安全工程等专业的师生参考学习。

图书在版编目 (CIP) 数据

有机热载体炉积炭检测技术及安全评价研究/彭小兰著. —北京:机械工业出版社, 2014. 9

ISBN 978-7-111-47303-9

I. ①有… II. ①彭… III. ①有机热载体炉-积炭-检测-研究
②有机热载体炉-安全评价-研究 IV. ①TK175

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 149875 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 沈红 责任编辑: 沈红

版式设计: 霍永明 责任校对: 佟瑞鑫

封面设计: 陈沛 责任印制: 乔宇

北京汇林印务有限公司印刷

2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 8.75 印张 · 159 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-47303-9

定价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

策划编辑电话: (010)88379778

社服务中心: (010)88361066

网络服务

销售一部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010)88379649

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

读者购书热线: (010)88379203

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

序

工科女性少，从事特种设备检验检测技术研究工作的女性更少，像彭小兰这样既能战斗在特种设备检验一线，又能出高技术水平专著的女性更是凤毛麟角。

一个偶然的机，2011年我们同班参加ASME检验师培训和考试，一个年轻的女博士，她的勤奋和专注使我对其有着深刻的印象。学习时，她偶然提起她申请了一个质检公益项目，我当初并未特别在意。没想到，一晃三年，彭小兰从中南大学博士毕业了，她承担的国家质检总局公益项目也要结项了。她在技术上的进步和她的博士论文也是这个项目的成果，以她博士论文为基础撰写的专著如今就要在机械工业出版社出版，今日电话邀请我为其题序，甚为高兴。真是岁月无痕，果实甸甸。

有机热载体炉在我国应用尽管不是特别广泛，但是其事故层出不穷，而且引发的火灾事故危害巨大。本专著运用理论分析、检测试验与数值模拟等方法，对有机热载体炉积炭层的检测技术及其安全问题进行了深入研究，其研究成果具有重要的理论指导意义与应用价值。本书的主要创新性成果如下：

(1) 基于有机热载体炉的特性及其使用介质的理化性质，发现了有机热载体炉在运行中，介质变质与操作不合理是其积炭的主要原因，提出了有机热载体炉积炭的形成机理。

(2) 研究了有机热载体炉积炭层厚度变化与超声导波截止频率、跃迁频率和群速度三个表征参数的关系，提出了利用超声导波的群速度与积炭层厚度变化的单调性规律来检测有机热载体炉积炭层厚度的新方法。

(3) 运用数值分析方法，对有机热载体炉积炭形成过程中的温度场、压力场和流速场变化规律进行了研究，证明了利用FLUENT进行有机热载体炉盘管内介质流场模拟的有效性。

(4) 运用一系列失效分析技术，对有机热载体炉积炭引发事故的成因与重要度进行了研究，找出了引起有机热载体炉积炭火灾的主要原因，提出了相应的安全管理模式与立法建议。

该专著结构合理、逻辑性强、结论可靠。反映了作者具有坚实宽广的理论基础和深厚扎实的专业知识，以及具有很强的独立科研与开展特种设备安全检验检

测的能力。

我国的特检事业正处在急剧的转型期，未来将面临着激烈的竞争，而且竞争也许是世界范围的。中国特检事业如何立于不败之地？这个时候，科技兴检就显得特别重要。未来的特检事业要迎接世界性的大风大浪，只有靠科技创新，舍此别无他途。邓小平说：科学技术是第一生产力。其实，科技也是特检事业的第一生产力。希望全国的特检人更多地涌现像彭小兰一样认真钻研特检科技的同志！这样，中国特检事业将大有希望。

中国特种设备检测研究院



2014-6

前言

从国家质量监督检验检疫总局近五年的特种设备事故情况通报可知，尽管每年的万台设备事故率有所下降，但是在锅炉台数有所减少的情况下锅炉事故例数仍高居不下。对事故通报原因进一步分析得知：中小锅炉中有机热载体炉的火灾事故一直处于高发。

为解决有机热载体炉积炭和火灾事故，本书依托质检公益性行业科研专项(201210080)“有机热载体炉安全评定及积炭在线检测关键技术研究”和质检总局科技计划类项目(2013QK212)“导热油炉基于 FLUENT 的流场数学建模和仿真研究”这两个国家质检总局项目，在系统而全面地检索及深入分析以前的学者已经取得系列研究成果的基础上，采取理论分析、试验模拟仿真与实际检测应用三者相结合的研究方法，针对有机热载体炉积炭检测、介质 FLUENT 流场分布和安全评价三方面进行了深入研究，并取得的主要创新性成果如下：

1) 统计分析了国内近十年有机热载体炉火灾事故及有机热载体炉积炭检测控制技术的相关论文，阐述了有机热载体炉火灾事故的主要形成原因，并指出有机热载体炉积炭层是导致有机热载体炉火灾的关键因素。

2) 根据有机热载体介质的物理化学性质和有机热载体炉系统的特殊性，分析了有机热载体积炭形成机理和有机热载体炉运行机理，并提出一种基于超声导波的积炭层厚度检测方法。

3) 设计组装了一套有机热载体炉积炭检测系统，试验研究了超声导波的截止频率、跃迁频率和群速度这三个表征参数与积炭层厚度变化的关系。结果表明：可用超声导波的群速度与积炭层厚度变化的单调性规律来检测积炭层的厚度，并通过空管中的群速度频散曲线的拟合试验进一步论证该检测方法的可行性。

4) 为识别积炭检测中超声导波的模态类别，故利用时频分析对炉管中多个模态进行比较分析，并结合时频分析的主要能量分布图与数值模拟的频散曲线中 $L(0, 2)$ 模态走势的拟合，推断出的主要波形模态为 $L(0, 2)$ 模态，通过时差法计算群速度和实验群速度的相对误差仅为 1.88% ~ 3.48%。

5) 通过模拟附着物超声导波积炭检测试验得到：信号为 5 周期，频率为 500kHz，峰峰值为 200mV，激励出的 $L(0, 2)$ 模态波的群速度检测盲区为探

头布置间距小于 350mm，有机热载体炉管中积炭层超声导波检测探头布置最佳检测距离为 40cm。从信号的信噪比、时域和频域特征验证了检测的最佳周期为 5 周期；可用环氧树脂添加碳氢化合物和模拟积炭层，并成功激励出了 L (0, 2) 模态。当探头间距 40cm，检测周期取 5 周期时，用试验论证了 L (0, 2) 模态在积炭管中的群速度较空管中的群速度减小 7.65%，进一步论证了可用空管和积炭管群速度的变化关系来检测有机热载体炉管道中的积炭层厚度。

6) 将人机工程学原理运用到有机热载体炉运行风险评价中，得出运行中人机环境指标的权重分别为：1.830、1.293、1.749，比较得出人和环境这两个指标比有机热载体炉设备本体的权重大 0.5 左右。这表明有机热载体炉运行风险需要更多关注人员素质和环境管理。然后通过国内外有机热载体炉火灾事故统计调查，运用鱼刺因果法定性地分析了事故原因，再结合事故树分析和事件树分析方法，找到引发火灾事故的基本因素、关键因素（如有机热载体泄漏）及其重要度和关键概率度。

7) 运用 FLUENT 在盘管式有机热载体炉的盘管不同流速和不同积炭层厚度情况下进行模拟研究并发现：当无积炭层时，盘管内有机热载体流速分布靠管壁两侧的有机热载体流速较慢，尤其是辐射管壁侧更为明显；有机热载体管内流速从管壁往管子中心呈现逐渐增大态势，而且在辐射段内因为有辐射热故紊流层比保温侧的区域更大；靠近辐射管壁，层流与紊流交界处，有机热载体介质流速接近最大。当入口流速为 1.0m/s 时，随着导热油流速的降低，有机热载体处于劣化变质状态，局部流动随着管径和流速的变化而呈现一定规律的变化，积炭层越薄越有利于流场的均匀和液膜温度不超温。

最后，在基于有机热载体炉积炭检测、安全评价和 FLUENT 流场模拟这三者综合构建的基础上，提出了有机热载体炉风险控制的管理模式和有机热载体炉安全立法的建议。

作者
2014.5

目 录

	序	
	前言	
第 1 章	绪论	1
	1.1 引言	1
	1.2 国内外研究现状	4
	1.3 研究内容	12
	1.4 研究方法及技术路线	13
第 2 章	有机热载体炉及运行机理分析	16
	2.1 有机热载体	16
	2.2 有机热载体积炭形成原理	20
	2.3 有机热载体炉	24
	2.4 有机热载体炉常见事故及其预防	29
	2.5 小结	30
第 3 章	超声导波在有机热载体炉积炭检测中的应用研究	32
	3.1 超声导波技术、积炭检测技术及其装置	32
	3.2 积炭检测方法研究	43
	3.3 积炭检测模态辨识研究	45
	3.4 模拟试验及其结果	49
	3.5 小结	56
第 4 章	基于 FLUENT 的有机热载体炉流场研究	57
	4.1 数学模型及模拟条件	57

4.2	有机热载体炉盘管传热过程模拟结果分析·····	60
4.3	模拟结果及验证分析·····	66
4.4	小结·····	66
第5章	有机热载体炉安全评价研究 ·····	68
5.1	有机热载体炉人-机-环境综合评价·····	68
5.2	鱼刺图法在有机热载体炉安全评价中的应用研究·····	78
5.3	有机热载体炉火灾模糊事故树分析和事件树分析·····	83
5.4	小结·····	92
第6章	有机热载体炉安全法规完善建议 ·····	93
6.1	有机热载体炉安全法律法规体系·····	93
6.2	有机热载体炉安全技术规范标准及其比较·····	93
6.3	有机热载体炉法规体系立法探讨·····	96
6.4	有机热载体炉安全规范及标准设置探讨·····	98
第7章	结论及技术发展方向 ·····	100
7.1	研究结论·····	100
7.2	创新点·····	102
7.3	技术发展方向·····	102
	附录 ·····	104
	附录A YLL系列有机热载体炉安全操作规程·····	104
	附录B 有机热载体炉事故应急预案·····	112
	参考文献 ·····	121
	后记 ·····	128

第 1 章

绪 论

1.1 引言

有机热载体炉的火灾积炭检测、安全评价及 FLUENT 流场模拟是影响有机热载体炉安全的三个关键技术；是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006～2020 年）》（简称《规划纲要》）重点领域公共安全及其优先主题重大生产事故预警与救援提高早期发现与防范能力中的重点内容；也是《规划纲要》中开展适应特种设备安全检测监测需要的现代检测监测技术研究的重点内容。同时，加强积炭层厚度检测，使有机热载体炉节能运行，这也是《规划纲要》重点领域能源及其优先主题工业节能中的重要内容。

本书依托质检公益性行业科研专项（201210080）“有机热载体炉安全评定及积炭在线检测关键技术研究”和国家质量监督检验检疫总局科技计划类项目（2013QK212）“导热油炉基于 FLUENT 的流场数学建模和仿真研究”，项目的背景来源于湖南省两台有机热载体炉事故。事故 1：2009 年 6 月 10 日长沙望城菱格木业有机热载体炉管子积炭泄漏事故的泄漏盘管如图 1-1 所示（见湘特鉴[2009]第 5 号事故鉴定报告^[1]）。事故 2：继菱格木业事故之后，郴州有机热载体炉事故积炭管，如图 1-2 所示。



图 1-1 望城菱格木业有机热载体炉泄漏盘管



图 1-2 郴州有机热载体炉事故积炭管

本书的总体目标是运用安全评价和 FLUENT 流场分析这两种方法, 讨论有机热载体炉积炭厚度、流速等对有机热载体炉安全的影响, 探索出一种基于超声导波的有机热载体炉积炭层厚度在线检测技术, 研发一套有机热载体炉积炭层厚度检测的实验设备, 并搭建一套实验系统。

近几年来, 随着我国经济的发展, 有机热载体炉的使用越来越广泛, 数量越来越多。据调查^[2], 全国生产有机热载体炉厂近百家, 其中全国的 3/4 以上的有机热载体炉为液相炉, 故重点分析运行中的液相有机热载体炉事故。有机热载体炉的主要危险是火灾。有机热载体一旦从有机热载体炉供热系统泄漏, 由于自身温度很高, 又接触火焰或接近火焰, 就会被点燃或自燃, 进而造成火灾。另外, 有机热载体炉也会因有机热载体带水等原因, 而发生爆炸事故。

根据《质检总局关于 2012 年全国特种设备安全状况的情况通报》^[3]可知, 2012 年全国特种设备安全状况如下: 根据 2012 年底的统计数据, 特种设备总台数达 821.67 万台, 比 2011 年^[4]上升 12.7%; 其中: 锅炉 63.53 万台, 压力容器 271.82 万台, 起重机械 190.94 万台, 电梯 245.33 万台, 场(厂)内专用机动车辆 48.29 万辆, 大型游乐设施 1.67 万台(套), 客运索道 845 条。具体各种特种设备数量分类比例如图 1-3 所示。

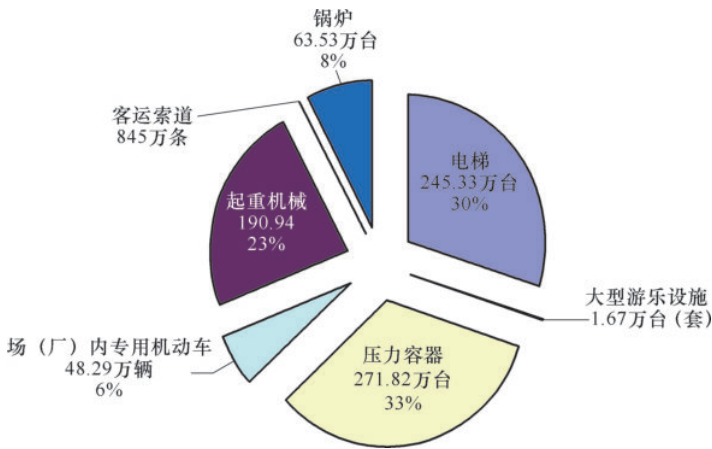


图 1-3 2012 年特种设备数量分类比例

2012 年全国特种设备事故共计 228 例, 死亡人数 292, 受伤人数 354, 与 2011 年相比^[3,4], 事故总例数减少 47 例, 下降 17.1%; 死亡人数减少 8 人, 下降 2.7%; 受伤人数增加 22 人, 上升 6.6%。2012 年 228 例事故中, 29 例压力容器锅炉事故, 26 例压力容器事故, 8 例压力管道事故, 26 例气瓶事故, 76 例起重机械事故, 42 例电梯事故, 17 例场(厂)内专用机动车辆事故, 2 例大型游乐设施事故, 2 例客运索道事故。2012 年万台设备死亡率为 0.517, 比 2011 年下

降13.11%，2008~2012年万台设备事故死亡人数趋势如图1-4所示。实现了国务院安委会下达的万台特种设备事故死亡率低于0.56的工作目标，事故总体呈稳中有降态势。近5年锅炉事故例数趋势如图1-5所示，2012年锅炉事故为28例，比上一年下降3.57%，锅炉事故整体也呈稳中有降态势。

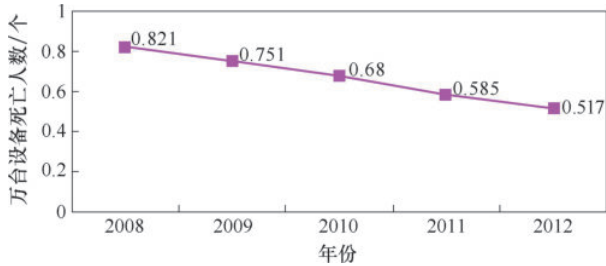


图 1-4 2008~2012 年万台设备事故死亡人数趋势图

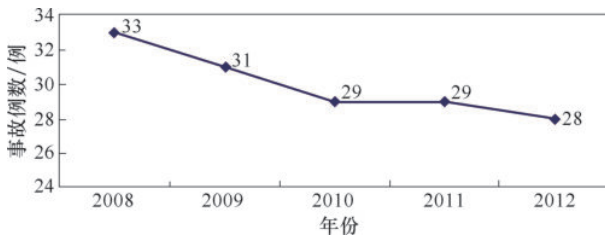


图 1-5 2008~2012 年锅炉事故例数趋势图

对比图1-4和图1-5可知，锅炉事故死亡下降比例只有特种设备事故死亡下降比例的27.24%，也就是比特种设备事故死亡下降比例小很多，这说明锅炉事故下降不明显，分析锅炉事故的主要原因，中小锅炉爆炸或有机热载体炉泄漏着火等比例一直高居不下。结合文献[1]中的近年来国内有机热载体炉事故案例汇总表可知：有机热载体炉事故少则数万元经济损失，大则1~3人死亡，1~15人重伤，所以有机热载体炉火灾事故原因的分析研究十分迫切。

由2012年统计数据^[3]进一步分析事故原因可知：228起特种设备事故中，按事故发生的阶段分类后发现：事故发生在使用阶段的179起，占78.5%；安装和拆除阶段的12起，占5.3%；维修和检验阶段的19起，占8.3%；充装和运输阶段的14起，占6.1%；其他阶段4起，占1.8%。由此可见，有机热载体炉在使用阶段也就是运行时，发生事故的现象较多。

统计数据^[3]显示：违规操作、违章运行是事故发生的主要原因。从技术层面上来看，特种设备事故集中度最高的原因为：锅炉事故是司炉工违章操作运行或操作不当及设备本体的缺陷和安全附件失效等引起的。其中，9起为小锅炉事

故（主要为有机热载体炉积炭泄漏火灾事故），5起为安全附件或保护装置失灵事故。

近几年来，人们发现有机热载体炉运行一段时间后，炉管内会因积炭而影响其管壁换热效率，导致受热面超温过热，严重时爆管形成火灾。统计数据及研究表明：有机热载体炉热效率降低是因为管壁积炭，有机热载体炉发生火灾的根本原因也是积炭^[5,6]，有机热载体炉积炭检测成为特种设备检验检测机构必须认真考虑并解决的问题。因此，作为特种设备检验检测机构，开发导热油炉积炭厚度检测设备和技術是一个很值得研究的课题。

1.2 国内外研究现状

1. 有机热载体炉火灾及积炭概述

20世纪30年代，美国道氏化学公司（DOW）首次生产出联苯-联苯醚的混合物，商品名为道生（Dowtherm A），获得专利并应用于加热系统，开创了世界上第一个合成型热载体的生产。其后欧美市场开发出一些类似的产品。50年代后得到迅速发展，其中美国孟山都（首诺）研制的氢化三联苯成为最畅销的产品。60年代后，日本推出了烷基联苯类系列产品；德国推出了苜基甲苯系列、二甲基联苯醚等；英国推出了聚乙烯醇合成热载体^[7]。

我国起步较晚，始于20世纪60年代，90年代后得到迅速发展。目前全球范围内合成油制造商主要集中在德国朗盛、美国陶氏、美国首诺、日本综研、南非萨索耳、法国道达尔六家化工公司。产品类型基本上为联苯-联苯醚、氢化三联苯、二苜基甲苯、二芳基烷、二甲苯基醚、一苜基甲苯类高温合成热载体。化学组成比较单一，是由一种或几种化合物组成。主要分子特征是分子结构中含有芳烃或环烷烃结构，而且大都是两环或三环的芳烃化合物。

美国20世纪50年代开始采用矿物型有机热载体，70年代加入添加剂使性能得到提高。我国始于70年代研制和生产。目前，国内、外生产厂家较多，品种也繁多。

随着有机热载体的广泛使用，有机热载体炉也应运而生，通过图1-4分析可知：以有机热载体炉为首的中小锅炉事故一直高发不断，通过详细查阅国内近十年有机热载体炉火灾事故相关技术文献，将火灾原因及预防措施汇总，见表1-1。

由表1-1可知，有机热载体炉事故原因有直接原因和间接原因两种。

直接原因包括由于间接原因导致有机热载体超温变质或管内流速降低等，而形成积炭，最终导致爆管泄漏，引发火灾事故。

表 1-1 近十年国内有机热载体炉火灾事故相关技术文献统计 (2000 ~ 2012 年)

作者	时间	火灾原因	预防措施	文献
江南	2001	① 油质不佳, 残炭超标形成积炭 ② 超温, 流速过低形成积炭 ③ 泄漏引起火灾 ④ 停电时引起火灾	① 化验导热油 ② 加强管理与检查	[8]
吴涓	2002	① 导热油质量问题 ② 循环泵扬程不够	① 化验导热油 ② 更换循环泵	[9]
胡洪, 余笑枫	2005	各辐射管流速分配不均匀导致有机热载体超温积炭	更改结构设计	[10]
史文彬	2005	① 膨胀器安装位置不符合要求 ② 热油泵流量、扬程等不符合要求 ③ 未考虑管网热膨胀量补偿 ④ 热试车过程和运行中按未升温曲线逐步升温	① 膨胀器的安装位置应符合规定 ② 热油泵流量、扬程等和锅炉容量匹配 ③ 考虑管网热膨胀量补偿 ④ 热试车过程和运行中按升温曲线逐步升温	[11]
张煜民	2005	① 安装时两台有机炉共用一根有机热载体循环管道 ② 导热油品质不合格而又未定期进行化验形成积炭	针对热载体在循环管路与膨胀槽之间流动的原因上进行分析并采取措施, 就能有效地解决膨胀槽超温的问题	[12]
李君平, 刘振南, 马言	2006	① 导热油变质 ② 法兰连接、焊接质量、密封存在问题导致泄漏 ③ 安全联锁保护及安全附件不齐、失灵	① 控制导热油温度和流速并定期化验 ② 检查保护装置 ③ 加强运行管理	[13]
张海田	2007	① 管子结构原因引发流速偏低从而导致管子过热泄漏 ② 导热油混用形成积炭 ③ 导热油闪点、酸值超标导致积炭	① 加强检验质量把关 ② 严禁混用 ③ 控制化验指标	[14]
常静, 李建业等	2007	蛇形管位置不当 (结构原因) 导致磨损爆管泄漏	蛇形管增加防磨片和防磨措施	[15]
张丽芬	2008	① 有机热载体变质形成积炭 ② 循环泵不配套 ③ 法兰连接、焊接质量、密封存在问题 ④ 溶解气体或水分分离出来, 造成超压和爆沸事故 ⑤ 安全附件不齐、失灵	① 控制焊接质量 ② 化验导热油 ③ 装过滤器 ④ 避免氧化 ⑤ 控制流速温度 ⑥ 停电保护	[16]

(续)

作者	时间	火灾原因	预防措施	文献
闫怀林, 郭兴平	2008	① 循环油泵阀门和循环油泵电动机的停止按钮不能同步操作导致倒流 ② 法兰失去密封	改油泵电动机阀门, 增设单向阀	[17]
刘景新, 赵斌, 赵静	2009	① 设计违规, 未见设计图样, 且无制造许可证 ② 有严重的焊接缺陷 ③ 操作人员无证, 不懂操作	① 设计严格按国家法规和标准 ② 按工艺文件焊接并检验 ③ 操作人员必须持证上岗	[18]
俞杨	2009	① 低位油槽储油不当 ② 操作不当	① 必须持证上岗 ② 加强管理	[19]
邓广新	2009	导热油变质引发流速偏低从而形成积炭	① 增大循环热油泵的流量 ② 定期化验有机热载体	[20]
丁宏辉, 聂敬鹏, 宝山	2010	① 导热油含有水分 ② 违规操作	① 定期化验导热油 ② 加强管理	[21]
宋杰书	2010	① 混入大量的水和空气 ② 对事故前期症状的认识不足	① 排除水分和挥发物 ② 记录各点上的压力表、温度表数据	[22]
张友健	2010	① 空气、水分的进入 ② 自动控制系统失效 ③ 未控制导热油的指标	① 化验有机热载体 ② 检查泄漏情况	[23]
王春敏	2012	① 循环泵失电连锁坏 ② 膨胀器安装不合理 ③ 循环泵功率偏小	有机热载体炉的系统结构应符合规程要求	[24]

间接原因包括设计结构、产品质量、安装质量、有机热载体与循环泵不匹配、焊接和安全附件质量等引发管子或法兰等泄漏、渗漏, 同时由于疏于管理和司炉工缺少运行操作知识及技能等原因, 导致泄漏事故引发火灾。

从表 1-1 可以看出, 有机热载体炉火灾事故的原因通常不止一个, 既有结构设计、有机热载体质量、循环泵匹配性、焊接质量等技术上的原因, 又有未进行有机热载体化验、未按升温曲线操作或不懂操作知识等管理上的原因, 最终导致形成积炭。而积炭如果不能及时检测出来, 往往会导致火灾事故的发生。因此特种设备检测机构如何检测出积炭层厚度对于火灾的预防尤为关键。

2. 积炭厚度检测及控制技术进展

监测和控制有机热载体炉炉管积炭是保证有机热载体炉安全运行的重要手段, 除了尽力减少间接原因导致的受热面积炭外, 还要加强对积炭的检测及控制。查阅近十年 (2000 ~ 2012 年) 国内有机热载体炉积炭和有关厚度检测及控

制技术方面的相关论文，统计分析结果见表1-2。

表 1-2 有机热载体炉积炭和有关厚度检测及控制技术国内进展情况

作者	日期	论文 专利	积炭原因与机理	检测及控制方法	备 注	文献
李峰, 杨道明	2001	论文	① 有机热载体流速 偏低 ② 有机热载体控制 温度过高	—	—	[25]
赵钦新	2004	论文	① 导热油氧气暴露 太多 ② 导热油操作温度 偏高 ③ 膨胀油箱工作温 度偏高	① 监测热载体 中固体颗粒浓度 ② 在线监测 壁温	只有建议, 无具 体测量方法、设备	[26]
胡洪, 余笑枫	2005	论文	管壁超温, 管内停 滞的有机热载体因超 温加速氧化分解、质 量性能变差从而结焦	理论计算雷诺 数, 改设计、改 结构	停留在设计改造	[10]
牛卫飞, 王泽军, 黄长河	2007	论文	盘管长期处于高温 炉膛中, 其外表面积 垢严重, 且这些积垢 往往烧结在盘管上, 导致管内有机热载体 过热从而形成积炭	将声发射传感器 合理固定在锅炉盘 管上, 能够对盘管 缺陷和分布进行动 态的整体的探测	必须停炉排空有 机热载体且不能检 测积炭层厚度	[27]
顾伟莉, 王汉青, 寇广孝	2007	论文	有机热载体流速、 黏度和炉管管径大小 是形成积炭的三因素	以雷诺数作为控 制指标, 来防止有 机热载体过热和 结焦	停留在理论分 析上	[28]
Hui dong Gao, Joseph L. Rose	2009	论文	冰层形成机理	用电磁超声传感 器 EMAT 的剪切波 检测	局限机翼冰层 检测	[29]
朱宇龙, 赵辉, 青俊	2010	论文	有机热载体在高温 下发生裂解、聚合等 化学反应的结果	有机热载体热稳 定性热重差热分析 评定、炉管壁温红 外成像测量技术和 管壁结焦流动传热 数学模型构建	只有模型, 无具 体测量方法、设备	[4]