

第十五届全国膨胀节学术会议论文集

膨胀节技术进展

EXPANSION JOINT TECHNOLOGY PROGRESS

中国压力容器学会膨胀节委员会
合肥通用机械研究院有限公司
南京德邦金属装备工程股份有限公司

编



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

第十五届全国膨胀节学术会议论文集
合肥通用机械研究院有限公司
ISBN 978-7-293-04188-1

前 言

第十五届全国膨胀节学术会议论文集

膨胀节技术进展

Expansion joint technology progress

中国压力容器学会膨胀节委员会
合肥通用机械研究院有限公司
南京德邦金属装备工程股份有限公司

中国压力容器学会膨胀节委员会
合肥通用机械研究院有限公司 编
南京德邦金属装备工程股份有限公司

第一届, 1981

第二届, 1987

第三届, 1989年, 杭州市, 由原上海

第四届, 1993年, 西安市, 由西安社

第五届, 1996年, 北京市, 由首都航

第六届, 1999年, 青岛市, 由中船总

第七届, 2002年, 南京市, 由南京展

第八届, 2004年, 无锡市, 由无锡金

第九届, 2006年, 青岛市, 由合肥通用机械研究院承办

第十届, 2008年, 南京市, 由南京德邦金属装备工程股份有限公司承办

第十一届, 2010年, 南京市, 由南京德邦金属装备工程股份有限公司承办

第十二届, 2012年, 武汉市, 由武汉工程大学承办

第十三届, 2014年, 南京市, 由南京德邦金属装备工程股份有限公司承办

第十四届, 2016年, 南京市, 由南京德邦金属装备工程股份有限公司承办

第十五届, 2018年, 南京市, 由南京德邦金属装备工程股份有限公司承办



图书在版编目(CIP)数据

第十五届全国膨胀节学术会议论文集:膨胀节技术进展/合肥通用机械研究院有限公司编. —合肥:合肥工业大学出版社,2018.9
ISBN 978-7-5650-4189-1

I. ①第… II. ①蔡… III. ①波纹管—国际学术会议—文集 IV. ①TH703.2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 216055 号

Expansion joint technology progress



第十五届全国膨胀节学术会议论文集
膨胀节技术进展

合肥通用机械研究院有限公司 编

责任编辑 马成勋

出版 合肥工业大学出版社
地址 合肥市屯溪路 193 号
邮编 230009
电话 理工编辑部:0551-62903200
市场营销部:0551-62903198
网址 www.hfutpress.com.cn
E-mail hfutpress@163.com

版次 2018 年 9 月第 1 版
印次 2018 年 9 月第 1 次印刷
开本 889 毫米×1194 毫米 1/16
印张 27
字数 680 千字
印刷 合肥市广源印务有限公司
发行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-4189-1

定价:128.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

前 言

中国压力容器学会膨胀节委员会成立于1984年。三十四年来,膨胀节委员会不忘初心,坚持学术交流,促进企业发展和行业技术进步,坚持两年举办一次全国膨胀节学术交流会,致力于在膨胀节行业推广先进技术、交流实践经验、探讨发展方向、获取各种信息。在上级学会、挂靠单位——合肥通用机械研究院有限公司和膨胀节行业同仁的支持下,迄今为止膨胀节委员会已成功举办过十三届全国膨胀节学术会议,分别是:

- 第一届,1984年,沈阳市,由原沈阳弹性元件厂承办;
- 第二届,1987年,南昌市,由原江西石油化工机械厂承办;
- 第三届,1989年,杭州市,由原上海电力建设修建厂承办;
- 第四届,1993年,西安市,由西安航空发动机公司冲压焊接厂承办;
- 第五届,1996年,北京市,由首都航天机械公司波纹管厂承办;
- 第六届,1999年,青岛市,由中船总公司725研究所承办;
- 第七届,2002年,南京市,由南京晨光东螺波纹管有限公司承办;
- 第八届,2004年,无锡市,由无锡金波隔振科技有限公司承办;
- 第九届,2006年,黄山市,由合肥通用机械研究院承办;
- 第十届,2008年,秦皇岛市,由秦皇岛北方管业有限公司承办;
- 第十一届,2010年,泰安市,由山东恒通膨胀节制造有限公司承办;
- 第十二届,2012年,沈阳市,由沈阳仪表科学研究院承办;
- 第十三届,2014年,石家庄市,由石家庄巨力科技有限公司承办;
- 第十四届,2016年,秦皇岛市,由秦皇岛泰德管业科技有限公司承办;

本次会议是第十五届全国膨胀节学术会议,由南京德邦金属装备工程股份有限公司承办,在江苏省南京市召开!

第十五届全国膨胀节学术会议共收到应征论文 70 篇,根据学会工作程序,于 2018 年 7 月 8 日至 7 月 10 日在江苏省南京市召开了论文评审会。论文评审会得到南京德班金属装备工程股份有限公司的大力支持。通过会议评审,录用论文 66 篇,现编辑成册,供会议交流。

由于时间有限,本论文集难免存在错误与疏漏之处,敬请读者批评指正。

编者

2018 年 9 月

... 1984 年... 1987 年... 1989 年... 1993 年... 1996 年... 1999 年... 2002 年... 2004 年... 2008 年... 2010 年... 2012 年... 2014 年... 2016 年... 2018 年... 第十五届全国膨胀节学术会议论文集

目 录

1. 膨胀节行业的行政管理与企业自律 吴 虹(1)
2. 波纹管周向稳定性安全研究 钟玉平 段 玫 李张治(8)
3. 最新版 ASME 规范对膨胀节的规定介绍及分析 牛玉华(16)
4. EJMA 标准对膨胀节波纹管疲劳寿命修订过程介绍 牛玉华(22)
5. EJMA 标准中圆形波纹管工作刚度计算的分析与探讨 丁 泉 朱 杰(29)
6. GJB1996—XXXX《管道用金属波纹管膨胀节通用规范》修订内容简介 刘 岩 钟玉平(42)
7. 金属软管标准化现状分析与对策 陈正标(48)
8. ASME 标准关于冲击试验的要求及应用 潘兹兵 孙茜茜 金 崇(53)
9. 变压器储油柜用金属软管技术规范初探
..... 付 菁 李 凯 申洪超 吴文庆 张 晨 安经哲(58)
10. 跑道形金属软管强度计算初探 申洪超 宋红伟 许宾德 张昌东(63)
11. 波纹管液压成形工艺参数对波纹管减薄率的影响
..... 郭煜敬 金光耀 王志刚 卢志明 黄静峰 黄 康(71)
12. ASME U 钢印厚壁膨胀节的应力计算方法 王友刚 李海嵩 郭林轩(78)
13. 单层 316L 不锈钢波纹管液压胀形工艺参数的优化 崔 磊 刘 静 李兰云(90)
14. Ω 形膨胀节成形模拟与分析 李进楠 于洪杰 钱才富(97)
15. 多层波纹管性能的数值分析 王斌斌(106)
16. 金属挠性接管机械阻抗特性有限元分析 李双印 王斌斌 张小文 刘 岩(117)
17. 空气桥柔性节疲劳寿命分析及试验验证 宋林红 刘建峰 苑 博 李 敏 张秀华(124)
18. 特大型高炉煤气压差发电(TRT)系统透平机进出口管线柔性设计
..... 魏守亮 钱 玉 孟宪春 王春月(130)
19. 国际热核聚变实验堆装置地震波纹管膨胀节的设计和制造
..... 盛 亮 李正良 刘 辰 董桂萍 哈敏达 谢 月(137)
20. 旋转补偿器技术设计及选型分析探讨 蔺百锋(146)
21. 波纹管膨胀节轻量化设计 闫廷来 李世乾(153)
22. 拉伸位移下波纹管外压周向局部塑性的极限承压表征 李 杰 张小文 杨玉强 李张治(160)
23. S 形波纹管设计方法探讨 张小文(165)
24. 波纹管耐压爆破性能分析探讨 李世乾 闫廷来(172)
25. 带网套的金属软管爆破试验研究 陈运庆(178)
26. 织物膨胀节设计过程中的几个注意事项 秦海鹏 季玲玲 孔亚琼 潘兹兵(190)
27. 负压工况下弯管压力平衡型膨胀节的设计 宋志强 齐金祥(195)
28. 一种新型送风装置用膨胀节的设计实例 武敬锋(199)
29. ASME“U”标识波纹管膨胀节的设计、制造与验收 孙茜茜 牛玉华 周命生(204)
30. 低温冷箱系统膨胀节的应用与设计 王文刚(211)
31. 高压容器用膨胀节的波形选择与结构设计分析 周命生 孙茜茜 张志鹏(216)

32. 设弹吊的复式万向铰链型膨胀节结构优化设计 姚 蓉(220)
33. 浅谈膨胀节产品的发展趋势 杨玉强 侯天睿 李杰 闫保和 张道伟(223)
34. 磷石膏制硫酸铵装置中膨胀节的选型分析 唐 麒(229)
35. 1100kVGIL 用伸缩节设计选型介绍
..... 李洪伟 李 秋 苑 博 杨知我 张建宇 陈 曦 凤 桐 郭田阳(233)
36. 膨胀节设计选型对汽轮机出口管线安全使用的影响
..... 魏守亮 赵铁志 鲁 林 丁迎新 刘 锁 王庆捷 杨学武 黄 琳(238)
37. 金属波纹膨胀节在电厂乏汽节能改造中的应用 李水章 李长鸿(244)
38. 供热管网常用膨胀节类型的对比分析 杨 雷(251)
39. 降膜管用金属波纹管膨胀节国产化研究
..... 张文良 关长江 张秀华 杨志新 于翔麟 廖振宇(255)
40. 波纹管膨胀节抬高结构在工程中的应用 王 旭(260)
41. 压力容器用波形膨胀节的制造与检验 马 刚 金仲平(266)
42. 大型冷凝器膨胀节更新改造与质量控制 陈孙艺(270)
43. Inconel 718 钢带焊接及波纹管成型工艺 丁佩仕 翟明智 陈正标 陈为柱(278)
44. 碟簧力平衡波纹补偿器的工程应用及试验
..... 李 秋 孙志涛 孟多南 马志承 曲 斌 戴 洋(282)
45. 一种波纹补偿器位移监测系统 王嗣阳 蔺百锋 胡 毅 程娅慧 王召娟(287)
46. 膨胀节安全应用技术探析及智能制造展望 蔺百锋 胡 毅 王嗣阳 王召娟 程娅慧(296)
47. 浅谈氦检技术在膨胀节中应用 杨敬霞 胡 泊(302)
48. 长输供热管道附件节能技术研究 张玉佳 李世乾 闫保和 李 凯(307)
49. 波纹管专用 INCONEL 625LCF 合金介绍 邢 卓 郭海荣(315)
50. GIL 用波纹管补偿器产品的原材料性能比较 李晓旭 于振毅 程文琪(330)
51. 高压大直径膨胀节压力试验方法探讨 王春会 李瑞琴 付 强(336)
52. 核安全级膨胀节的出厂试验 丁小飞 孙 尧(340)
53. 核级金属波纹管焊接工艺评定研究 ... 关长江 苑 博 杨志新 张秀华 李 敏 付 博(347)
54. 自动 TIG 焊机在 GIS 膨胀节波纹管焊接接头中的应用 吴文东(352)
55. 304L 薄板纵缝自动 TIG 焊焊缝表面氧化瘤分析 吴文东(357)
56. 退火处理对 800H 焊接接头组织及力学性能的影响 刘建阳 王有龙 陈 勇(362)
57. 关于镁合金搅拌摩擦焊接头组织及性能研究
..... 马志承 邢 卓 孟多南 常 阳 李 民 任文远(367)
58. 2205 双相钢低温膨胀节中厚壁对接焊缝的工艺控制 冯志刚(372)
59. 核级 Inconel625 厚壁膨胀节焊接工艺研究 康华宁(376)
60. 厚壁波纹管纵焊缝组织中铁素体含量检测方法介绍及对比分析 张太付(380)
61. 爆炸焊接不锈钢复合板复层 σ 相及碳化物析出研究 吴小玲 黄 文 肖 浩(387)
62. 典型材料 S30408 和 S31603 应力腐蚀试验研究 盛水平 卢志明 陈海云(393)
63. 多层薄壁波纹管直壁皱褶产生原因分析及解决方案
..... 邢 卓 李 秋 孟多南 马志承 王 涌(399)
64. 蒸汽管道外压式波纹管膨胀节失效分析 周 强 杨子奇 张良杰(407)
65. 小机排汽管道的失效分析与改进 马靖明 梁 薇 程 勇(415)
66. 复杂工况条件下膨胀节的失效分析和改进措施 王伟兵 张爱琴 余东升 刘卫丽(422)

膨胀节行业的行政管理与企业自律

吴虹

(中国特种设备检测研究院 北京 100029)

摘要:膨胀节作为重要的受压元件,二十余年来一直被纳入国家特种设备行政管理体系进行管理和控制。本文通过论述国家行政管理机构对膨胀节行业的监管历程及管理模式,以及目前膨胀节产品存在的失效问题和行业未来的发展需求,强化企业提高自律意识、增强创新能力的重要性。

关键词:膨胀节;特种设备;监管;自律;创新

Administrative Management and Enterprise Self-discipline of Expansion Joint Industry

WU Hong

(China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing 100029)

Abstract: As important pressure elements, expansion joints have been included in the national administrative management system of special equipments to be managed and controlled over twenty years and become scientific and normative. This article discusses the importance for enterprises to strengthen self-discipline consciousness and enhance innovation ability, by reviewing national administrative management organization's supervision history and management model on the expansion joint industry, failure problems existing in current expansion joint products and the industry development needs in the future.

Keywords: expansion joints, special equipment, supervision, self-discipline, innovation.

一、前言

膨胀节作为设备或系统中的受压元件,广泛应用于化工、石油、冶金、电力、核电、船舶、航天、航空等各个领域,起着承压补偿等重要作用。在我国,经过多年的行业发展和技术进步,尤其是被列入特种设备行政管理目录后,经过实施行业监管,膨胀节在产品性能、可靠性、安全性等方面都有很大程度的改善和提高,这也使得膨胀节的应用领域越来越广泛,作用越来越凸显,使用参数越来越高,范围也越来越宽。

膨胀节行业在发展中利用企业自身资源和行业交流平台,在膨胀节设计、制造、检验、安装、使用、维护、维修、标准等方面进行了规范和提高。通过参与国际标准化组织技术活动,走出国门参加国际展会,进一步与国际接轨,迈入了国际先进的产品制造行列。

任重道远,随着国民经济的发展,膨胀节作为承压设备及系统的重要组成部分,将面临针对不同行业的使用场合承受更加严格、严酷的要求,在接受政府的行政监管的同时,企业也将逐步承担着更大的主体

责任。

二、膨胀节行业的监管历程

1. 膨胀节制造单位的安全注册与管理

1996年劳动部第140号文《压力管道安全管理与监察规定》规定,压力管道用管子、管件、阀门、法兰、补偿器、安全保护装置等产品制造单位应向省级以上劳动行政部门或省级劳动行政部门授权的(市)级劳动行政部门申请安全注册。1999年国家劳动部锅炉压力容器安全监察局开始实施“压力管道元件”安全注册试点的型式试验与现场评审工作。

在这项工作开展之前,膨胀节行业处于无约束、无限制、无监管的状态。主要表现为:设计无资质、无标准依据,作业焊工无操作资质,焊接质量无检验措施,材料管理及使用失控,无损探伤及理化检验等缺少甚至没有手段。

随着膨胀节大量应用于压力管道,膨胀节质量事故频发,引起原劳动部锅炉压力容器安全监察局的重视,1999年开始从辽宁、江苏等省逐步延伸至全国对膨胀节生产企业实施“安全注册”试点工作。2000年执行国质技监局锅发[2000]07号《压力管道元件制造单位安全注册与管理办法》,继续对膨胀节行业实施安全注册的管理模式。

安全注册的管理模式,是通过对企业生产的产品分为A、B级,按照管理办法和标准进行投产前产品型式试验、现场评审合格后给予注册,下发《压力管道元件制造单位安全注册合格证书》,获取相应的制造资格,以此来对膨胀节产品的质量与安全控制。

2. 特种设备安全监察条例的发布实施

2003年3月11日中华人民共和国国务院令第373号公布了《特种设备安全监察条例》。依据国务院令 第549号《国务院关于修改〈特种设备安全监察条例〉的决定》,修订版于2009年1月24日公布,自2009年5月1日起施行。

条例对压力管道的定义是指利用一定的压力,用于输送气体或者液体的管状设备,其范围规定为最高工作压力大于或者等于0.1MPa(表压)的气体、液化气体、蒸汽介质或者可燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体介质,且公称直径大于25mm的管道。

在上述规定公称压力、公称直径范围内的膨胀节等压力管道元件需要接受安全监管。

特种设备安全监察条例的发布实施,进一步加强了对特种设备的安全监察与管理工作,膨胀节行业的监管力度也因此得到加强,企业、政府及职能部门的责任更加明确。

3. 特种设备安全技术规范的颁布实施—膨胀节制造进入许可证制

2006年国家质检总局针对“压力管道元件”批准颁布了一系列特种设备安全技术规范,包括有《压力管道元件制造许可规则》(TSG D2001—2006)、《压力管道元件型式试验规则》(TSG D7002—2006)、《特种设备制造、安装、改造、维修质量保证体系基本要求》(TSG Z0004—2007)等,开始对膨胀节制造企业实行A、B级制造许可的准入制度。

通过对膨胀节制造企业开展产品型式试验,对工厂的资源条件、管理体系建立实施、产品制造质量等进行现场评审,全部合格后颁发“特种设备制造许可证书”,制造企业以此方式获取相应的制造资格。

制造许可证书的有效期为4年。获得《特种设备制造许可证》的制造单位,在证书有效期内,必须在其制造的许可证范围内的膨胀节上使用TS许可标志和许可证号。

膨胀节制造许可范围按照产品的品种、许可级别和代表产品的范围确定。金属波纹膨胀节A级,(1)公称压力大于或者等于4.0MPa,且公称直径大于或等于500mm的金属波纹膨胀节;(2)公称压力大于或者等于2.5MPa,且公称直径大于或等于1000mm的金属波纹膨胀节。其他金属波纹膨胀节、其他结构型式补偿器、金属软管为B级。

4. 中华人民共和国特种设备安全法的公布实施

2013年6月29日,中华人民共和国第十二届全国人民代表大会常务委员会第3次会议审议通过了

《中华人民共和国特种设备安全法》，2013年6月29日中华人民共和国主席令第4号予以公布，2014年1月1日开始施行。

特种设备安全法包括生产、经营、使用、检验、检测、监督管理、事故应急救援与调查处理、法律责任等。突出了特种设备生产、经营、使用单位的安全主体责任，明确规定了在生产环节，生产企业对特种设备的质量负责；在经营环节，销售和出租的特种设备必须符合安全要求，出租人负有对特种设备使用安全管理和维护保养的义务；在事故多发的使用环节，使用单位对特种设备使用安全负责，并负有对特种设备的报废义务，以及发生事故造成损害的依法承担赔偿责任。

膨胀节作为特种设备，也因此明确了制造企业的主体责任、安全负责以及所应承担的法律责任。

5. 膨胀节制造过程中的监督检验

按照《质检总局办公厅关于暂缓实施〈压力管道元件制造监督检验规则〉的通知》（质检办特函〔2013〕583号）要求，《压力管道元件制造监督检验规则》（TSG D7001—2013）暂缓实施。埋弧焊钢管与聚乙烯管应按《压力管道元件制造监督检验规则（埋弧焊钢管与聚乙烯管）》（TSG D7001—2005）的规定继续实施制造过程监督检验。

目前压力管道用补偿器制造的监督检验仍然按照要求暂停实施。压力容器用的膨胀节按照TSG21—2016《固定式压力容器安全技术监察规程》实施监督检验。

6. 改革促使国家层面的行政管理逐步简化，地方政府及企业主体责任逐步增强。

2014年国家质检总局114号文《国家质量监督检验检疫总局关于修订〈特种设备目录〉的公告》发布。

新目录对压力管道进行了重新规定。压力管道是指利用一定的压力，用于输送气体或者液体的管状设备，其范围规定为最高工作压力大于或者等于0.1MPa（表压），介质为气体、液化气体、蒸汽或者可燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体，且公称直径大于或者等于50mm的管道。公称直径小于150mm，且其最高工作压力小于1.6MPa（表压）的输送无毒、不可燃、无腐蚀性气体的管道和设备本体所属管道除外。其中，石油天然气管道的安全监督管理还应按照《安全生产法》《石油天然气管道保护法》等法律法规实施。这种规定的变化，使得不在规定压力和直径范围内的膨胀节不再需要接受监管。

新目录重新规定了继续实施监管的补偿器种类有金属波纹膨胀节、旋转补偿器、非金属膨胀节。取消了原目录对套筒补偿器、金属软管、金属波纹管、特种型式金属膨胀节等产品生产企业获取特种设备制造许可的要求。

2015年国家质检总局办公厅675号文《质检总局办公厅关于压力管道气瓶安全监察工作有关问题的通知》规定，金属波纹膨胀节为A(1)(2)、B级；旋转补偿器为B级；非金属波纹膨胀节为B级，典型产品包括：织物补偿器、聚四氟乙烯波纹膨胀节、特种膨胀节。明确了对压力管道元件换证型式试验的要求，规定压力管道元件制造企业换证时，原则上应重新进行型式试验；如果换证企业已按现行安全技术规范、标准规定完成了相关产品的型式试验，并且相关产品的参数、结构、工艺没有发生变化，按照安全技术规范规定需要监督检验；已经实施了制造过程监督检验的，换证时可免做型式试验。

目前，国家的改革、行政管理机构的调整，对特种设备的监管工作将更加趋于科学、合理、有效。国家市场监督管理总局将重塑我国市场监管格局，加强对市场的综合监管，加强从生产到流通到消费的全过程监管。从过去直接干预经济、配置资源，转向加强市场监管、规范市场秩序、营造公平竞争的市场环境。坚守质量安全底线，加强市场监管执法力度，为竞争公平有序、企业优胜劣汰创造良好市场环境。围绕“质量提升行动年”，强化企业主体责任，改革完善质量标准体系，提高产品供给质量。目前，有关膨胀节的新一周期特种设备安全技术规范制修订工作正在进行。

三、膨胀节的质量与安全隐患仍不可忽视

我国膨胀节制造起源于20世纪80年代。经过近三十多年的发展，技术有很大进步，质量有很大提

高,种类不断增加,应用领域也越来越广,并在特种设备领域占有举足轻重的地位。尤其是国家质检部门将膨胀节纳入系统监管后,行业技术进步,质量水平突飞猛进。膨胀节的设计、制造、检验、安装等环节像主体管道或设备一样受到监管,具备可追溯性。尤其是在制造环节中,材料控制、焊接、热处理、机械加工等关键工序的控制,设计资质、工人的职业资格等都有法可依,有章可循。

整个行业在普遍发展的基础上,形成了用户、生产企业、高等院校、科研院所、检测机构、行政监察机构等为一线完整链条,不仅具有了较强的研究、设计、制造、创新能力,而且在安装使用、检验试验、监督管理等方面具备了较为完善的质量保障。膨胀节(补偿器)也发展到了波纹、套筒、旋转、球形、织物、聚四氟、橡胶等多种形式及材料的诸多种类,在各领域中发挥着重要作用。

但是纵观整个膨胀节行业,企业发展仍然参差不齐。制造企业区域分布广泛,实力派企业技术全面并引领行业的进步与发展,作坊式的企业也仍然存在。无论在研发、设计、制造、检验、试验、售后、分析、标准等方面,还是在人员、场地、设备、管理等方面都差异明显。

随着市场经济的发展,产品市场竞争日趋激烈,各种因素导致的质量下降、事故频发极大地影响着整个膨胀节行业的公信力。

统计分析膨胀节失效案例,前期多以表面质量、尺寸超差、焊接、耐压问题等问题形式出现,现阶段低价中标偷工减料、介质腐蚀、使用不当、缺乏试验验证、执行法规标准不力等问题凸显。

由于很多企业缺乏自主设计和创新能力,膨胀节行业照搬照抄的现象非常突出。每当遇到客户不同或特殊的需求时,不能从深层面理会用户的使用条件,制造出的产品存在隐患,一旦爆发,不仅给用户造成很大的损失,同时也给社会带来极坏的影响。

例如,某供热系统用补偿器在现场使用时多次出现破裂,造成当地居民连续几年内在冬季停止供暖,多次处理效果不佳,直接影响民生问题,举报信发到国务院,引起各级政府的高度关注。

在事故处理过程中,通过对库存备用产品进行抽样检测,查出膨胀节制造厂有不可推卸的责任,补偿器的结构型式、波纹管材料的化学成分、波纹管的层数、补偿器的耐压性能、稳定性、疲劳寿命等均不满足需方唱标文件中技术规范的要求。需方唱标文件中产品图纸标注的结构型式为直埋型外压式补偿器,要求有外罩及用于防止波纹管腐蚀的密封结构。企业供货的产品从外观来看貌似直埋型外压式补偿器,实际结构型式全部都是内压式补偿器,波纹管外部虽有外罩但无密封结构,导致地下水进入补偿器中直接与波纹管外部接触,在含有氯离子的水作用下波纹管产生了应力腐蚀后发生破裂。解剖被抽检的多种规格样品,波纹管层数均比波纹管设计报告和质量检验合格证明书选取和描述的少一至二层,会导致耐压性能下降;而且每层材料各不相同,有 SUS316+SUS304 混合使用的,也有全部都是 SUS304 的;与需方唱标文件中技术规范要求全部为 SUS316L 材料不符,这也导致了抗防腐性能下降。实际测量被抽检的样品刚度,多数样品的实测刚度比波纹管设计报告的计算刚度小很多,说明层数少,部分材料壁厚小于标准要求。对被抽检的样品进行性能试验,一半样品发生耐压失稳现象;全部样品疲劳寿命试验在未达到 2 倍的设计疲劳寿命时出现泄漏;耐压和疲劳性能均不符合标准要求。对被抽检的样品进行稳定性试验,一半样品出现失稳现象,这就使得膨胀节在使用时受压力和位移情况下,易产生失稳,使得应力加大。这些试验结果结合起来再次验证了上述问题引发的后果。



图1 某供热系统用补偿器

不理解或无视国家法规标准,企业的质量体系虚设,企业标准不符合要求,新产品缺乏试验验证等也

是膨胀节行业存在的普遍问题。

例如,某高温高压蒸汽管线用球形补偿器,在管线运行过程中出现了爆裂。不仅整条管线停止给下游企业生产供热数月,而且导致二十多米处的高铁线路停运数小时,给铁路部门和旅客造成经济和精神损失,万幸的是没有人员伤亡。

该补偿器的使用温度和压力已经超出了行业标准规定的适用范围,企业标准过于简单,缺少相关技术条件,缺少必要的技术评审,不满足使用要求。补偿器服役的蒸汽管道属于 GC1 级,现有的产品标准仅适用于 GC2、GC3 级压力管道。按照《压力管道技术监察规程工业管道》规定,需经第三方机构进行型式试验及技术评审,评审结果经行政机关批准后方可使用。由于缺乏研究,更没进行型式试验或者技术鉴定,产品结构设计存在的严重缺陷导致补偿器存在安全问题。对完整样品和损坏样品进行检测,补偿器本体上没有铭牌标志,尺寸与图纸不符,焊缝存在裂纹、气孔、夹渣、未焊满、未熔合等缺陷。缺少设计文件及工艺文件,产品图纸与实际产品不一致。质量记录不齐全,缺少焊接工艺评定、施焊记录、焊工资质、探伤报告、消除应力的热处理报告等质量文件。



图2 某高温高压蒸汽管线用补偿器

四、企业自律、勇于创新方能谋求发展

1. 膨胀节企业应提高法律意识、增强自律意识

国家实施监管的原因是特种设备一旦出了问题往往是人命关天的。膨胀节作为主要受压元件,一旦破坏造成质量事故也是人命关天的,企业也要因此付出法律甚至刑事责任。疫苗事件应引以为戒,这是一面镜子,政府监管不可能是无缝的,企业自律出现问题最终结果是企业的灭顶之灾,企业家的牢狱之灾。

某些企业管理者由于缺乏必要的专业知识,以权代法,不重视合同规定,以口头协议代替书面文件。缺乏法律知识,对国家法律法规不能准确掌握,甚至无视国家法律法规要求,出现问题后查无设计文件,查无质量记录,查无人员资质证明等,使得企业经营者离违法、犯法甚至受法律制裁只有一步之遥。企业经营者一定要依法管理企业,比如膨胀节的几个国家或行业标准都是推荐性标准,但如果企业在文件或合同中宣称按照某标准执行,一旦出现质量争议时就等同于强制标准。

未来膨胀节行业健康发展之路应是以企业自律为主,以政府监管为辅。这种方式并不意味着政府退出监管,而是政府会利用市场、法律之手进行监管。市场的威力是巨大的,在信息社会里,企业的失策会导致灭顶之灾。

2. 膨胀节企业应提高质量意识,健全质量保证体系,并行之有效

质量是企业的生命线,要速度更要重质量。按照国家的法律法规及标准要求,建立起完善的质量保证体系,将责任落实到部门,落实到人,严格把控好各个质量控制点。

3. 膨胀节企业应提高技术水平与创新能力,加强技术积累

面临市场的各种商机和挑战,应有战略思想和坚实的技术基础。首先应提高设备水平,跟随中国制造 2025,实现智能化制造,提高膨胀节的制造质量。其次要提高企业技术创新能力。研究国内外不同行业的应用需求,实现更多的数据积累,满足不同的要求,赢得更多的国际、国内市场份额。

膨胀节高温失效问题频发,常温试验不能完全替代高温试验,必要时企业要会同检验试验机构一起

进行特殊工况的试验研究,积累并使用数据,以适应高温下的使用要求。

经调查 70% 以上的膨胀节破坏源自腐蚀。企业要开展膨胀节的防腐选材、防腐设计、腐蚀检查、腐蚀分析等;否则,企业签订合同将是一份灾难。比如,在北方地区,冬天的除雪剂就是膨胀节的天敌,系统中介质超标也是很正常的事。没有预防措施,吃亏的一定是企业。应针对不同的腐蚀类型进行研究,以采取合理有效的预防措施。

膨胀节在管系中承受的应力,会引起直接破坏或应力腐蚀破坏等,尤其是管道处于高温高压状态时,管系设计不合理,膨胀节难以独善其身。通过应力计算分析,合理有效使用膨胀节。

研究膨胀节使用中的在线监测、安全评估、剩余寿命估计等技术,减少故障出现概率,避免事故发生,保障系统安全可靠运行。

4. 膨胀节企业应重视知识产权,提高企业的核心竞争力

我国知识产权的发明创造目前已经进入繁荣发展时期,商标有效注册量连续 16 年居世界第一,发明专利申请量连续 7 年居世界第一。随着我国经济进入高质量发展阶段,膨胀节企业的品牌意识、知识产权意识也应逐步加强。

企业只有提高创新能力,打造特有的品牌,强化专利的支撑,才能增强企业核心竞争力,才能提高膨胀节行业的整体素质,才能助推膨胀节行业的发展和质量变革。

5. 膨胀节企业应积极参加行业活动,感知行业的技术进步与发展脉搏

发挥膨胀节行业学会、协会的作用,提高技术及管理水平。通过企业技术联盟,加强合作,取长补短,合理有效利用资源,快速提高整体水平。通过膨胀节标准的协同进步,提高国家标准、行业标准、团体标准、企业标准的整体水平。通过数据资源共享,提高行业的整体技术水平,树立国际地位,协同走向国际市场。

五、结束语

膨胀节行业现在还处于发展时期,随着特种设备安全监察制度体系越来越完善和产品质量越来越高,国家会逐步减少对其监管的内容,随之而来的是逐步增强企业的主体责任,强化企业自律,由市场认可决定企业的生死存亡。未来属于依法治理者,属于有技术积累,有技术创新,有人才优势,有特色产品者。

产品的质量、适用性、可靠性、安全性是企业与用户共同追求的目标。这些目标不是通过单一的制造所能保证的,而是需要通过对产品的研究、设计、制造、安装、使用、管理等进行全过程控制才能保障的。新技术的应用、新材料的出现、新应用领域的拓展,使得膨胀节行业在引入新的发展契机的同时,出现了许多需要解决的共性问题。同时中国制造 2025、大数据平台建设、互联网+技术应用,也使得膨胀节行业面临着与传统行为的挑战,企业面临着技术和装备的提高升级。

在新形势、新目标下,企业不仅需要用创新的建设、管理和发展自身,也需要用创新的理念有效利用社会资源,快速实现膨胀节行业跨越式的发展。

中国特种设备检测研究院作为国家市场监督管理总局直属的特种设备检验检测机构,在特种设备管理、技术、人才、装备、经验、标准、信息等方面具有综合优势,不仅与国内外的企业、认证机构、政府部门等交流密切、信息畅通,而且拥有国内领先的检验、试验、分析、技术等公共服务平台,在特种设备事故处理、安全评定、寿命评估、风险分析等方面也有深入的研究和积累。我们希望能发挥好第三方公共服务平台的作用,既为政府监管提供技术支撑,也为企业进步提供优质服务,助推膨胀节行业快速向前发展。

参考文献

- [1] 中华人民共和国主席令第 4 号.《中华人民共和国特种设备安全法》.北京,2013.
- [2] 中华人民共和国国务院令第 549 号.《特种设备安全监察条例》.北京,2009.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.《压力管道元件制造许可规则》(TSG D2001—

2006). 北京:中国计量出版社,2006.

[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.《压力管道元件型式试验规则》(TSG D7002—2006). 北京:中国计量出版社,2006.

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.《特种设备制造、安装、改造、维修质量保证体系基本要求》(TSG Z0004—2007). 北京:中国计量出版社,2007.

[6] 段玫,胡毅. 膨胀节的安全应用指南[A]. 中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会[C]. 北京:机械工业出版社,2017.

作者简介

吴虹,教授级高工,锅炉/压力容器/压力管道评审员,通信地址:北京市朝阳区和平街西苑2号楼,电子邮箱:zj_wuhong@126.com.

Investigation on Security of Bellows Circumferential Stability



Keywords: Bellows; Circumferential instability; Design and evaluation

摘要: 膨胀节在工业生产中应用广泛,其安全性至关重要。本文研究了膨胀节周向稳定性安全问题,通过理论分析和试验验证,探讨了影响周向稳定性的因素,并提出了相应的预防措施。研究结果表明,合理的结构设计可以有效提高膨胀节的周向稳定性,确保其在长期运行中的安全可靠。

波纹管周向稳定性安全研究

钟玉平 段 玫 李张治

(洛阳双瑞特种装备有限公司 河南 洛阳 471000)

摘 要:系统地阐述了波纹管周向稳定性的问题来源和设计及评定方法。首先将波纹管三种失稳形式进行对比,指出了波纹管周向失稳的特征和危害性。分析现行标准中针对波纹管外压周向稳定性校核所采用模型的不足,提出了使用环梁模型来校核波纹管外压周向稳定性。在总结国内外工作的基础上,给出拉伸位移引起波纹管周向应力定性的设计,并结合评定准则限制波纹管外压压力。最终试验结果表明,该方法可以较为可靠地防止波纹管外压周向失稳。

关键词:波纹管;周向失稳;设计与评定

Investigation on Security of Bellows Circumferential Stability

ZHONG Yu-pin DUAN Mei LI Zhang-zhi

(Luoyang Sunrui Special Equipment Co., Ltd., Luoyang 471000, China)

Abstract: The origin, design and evaluation of bellows circumferential stability are systematically clarified. At first, the three bellows instability modes are compared, which indicates the characteristic and harmfulness of circumferential buckling. Analyze the shortcomings of mechanic model used in bellows circumferential stability under external pressure in current standard. And the ring beam model is proposed to check the circumferential stability. On the basic of domestic and foreign research results, a design formula for bellows circumferential stress due to tensile displacement is given. And outer pressure could be limited combined with certain evaluation rule. Final test results show that checking bellows as this method could prevent circumferential instability under external pressure effectively.

Keywords: Bellows; Circumferential instability; Design and evaluation

0 引 言

随着工业技术日趋完善,市场竞争越发激烈,对企业发展提出了更高的要求:从国家战略层面来看,装备制造产业持续升级,推动企业自身苦练内功,打造高端国产装备;从社会层面来看,企业不仅能产生经济效益,还要打造可靠的产品质量,树立良好的企业形象,产生显著的社会效益;从行业层面来说,满足建设单位对于设备安全运行的需求是企业发展的基础。因此如何改进波纹管膨胀节的设计和制造技术成为制造商孜孜不倦的追求。

在长期的工程应用案例中发现,完全符合标准要求的波纹管设计方案最终出现了周向失稳的现象。

波纹管的周向失稳是一种性质恶劣的失效形式,但是其有效的设计控制方法却没有在设计标准中得到很好的体现。设计上的任何疏漏都可能导致设备的安全隐患,使企业在竞争中处于不利地位。故本文针对波纹管的周向失稳问题及其设计评定方法展开研究。

1 波纹管周向失稳

在波纹管的主要失效模式有失稳、腐蚀泄露、疲劳破坏、振动破坏等。其中失稳是一种失效性质相对恶劣的失效形式,其危害在于大大降低波纹管的补偿能力和承压能力。因此,波纹管的稳定性问题很早就引起了重视,对波纹管失稳的研究也在一直不断的发展中。

最常见的两种失稳是柱失稳(柱屈曲)和平面失稳(平面屈曲),国内外对这两种失稳问题的研究也比较充分,针对该问题,现在已经形成较为可靠的判据,并纳入了设计标准。在这两种失稳形式之外,还有一种多次发生、失效性质极为恶劣的失稳形式——周向失稳(表 1)。

周向失稳是指在临界压力下,波纹管材料产生突然的扭曲,波纹迅速发生严重皱折,波峰塌陷或者波谷外鼓。波纹管周向失稳一般在外压下发生。

表 1 部分周向失稳案例

| 时间 | 问题来源 | 工况 | 失效形式 |
|--------|-----------|---------|---------|
| 1987 年 | 某热力工程用膨胀节 | 外压+拉伸位移 | 周向失稳 |
| 2007 年 | 某炼化厂用膨胀节 | 外压+拉伸位移 | 波谷外鼓 |
| 2014 年 | 某化工厂用膨胀节 | 外压+拉伸位移 | 波峰塌陷并破裂 |

波纹管周向失稳(图 1)的危害程度极为严重,会在达到失稳临界压力内极短的时间内(根据试验观测,约在 5 秒左右)产生波纹皱折,立即失去承载能力。在这种条件下,实际工程应用中将没有任何检修和更换的空间,继续承载极易引起泄漏,危及人身安全,造成巨大的经济损失和不良的社会影响。

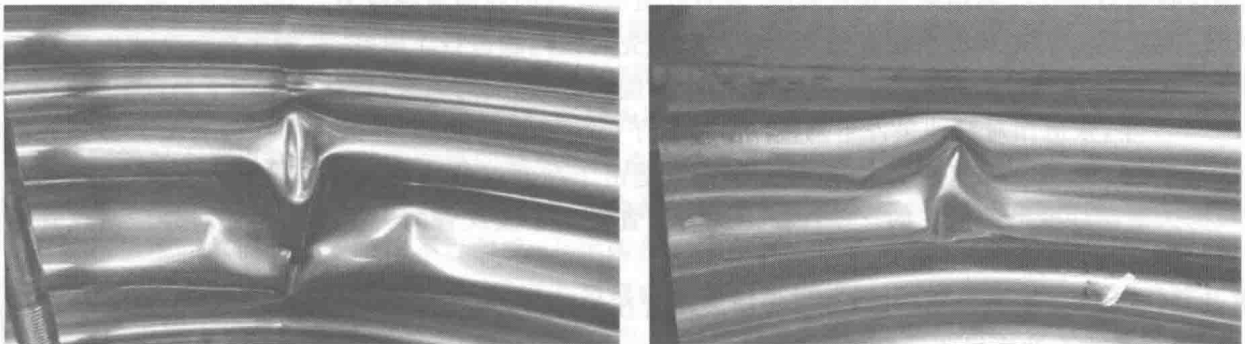


图 1 波纹管周向失稳

三种失稳形式的对比情况见表 2 所列。

表 2 三种失稳形式对比

| 失稳形式 | 失稳特征 | 是否影响即时承载能力 | 是否引起泄漏 | 危害程度 | 有无判据 |
|------|-----------------|------------|---------|------|-------|
| 柱失稳 | 波纹管中心线偏移,类似压杆失稳 | 立即丧失承载能力 | 可能引起泄露 | 严重 | 有成熟判据 |
| 平面失稳 | 波纹平面的偏移或偏转 | 一般影响较小 | 一般不引起泄露 | 一般 | 有成熟判据 |
| 周向失稳 | 材料扭曲,波峰塌陷或波谷外鼓 | 立即丧失承载能力 | 易引起泄露 | 极为严重 | 尚无判据 |

2 标准现状

遗憾的是,各相关标准中关于波纹管外压周向失稳问题的解释和评定还不是很理想。EJMA 标准中没有提及失稳的机理、特征和危害,仅给出了一个校核方法。该方法将波纹管视为一个与波纹管等长度的圆筒,该筒体具有的厚度应使其惯性矩等于单个波纹管单元的惯性矩 I_{1-1} ,用外压圆筒的外压周向失稳的校核方法进行校核。欧盟标准(EN 13445-3)及 ASME VIII-1 等主流标准采用了同样的方法。但是在实际应用中发现,依照该方法计算得出的外压周向失稳临界压力远大于波纹管的实际失效压力,因此该方法并无实际意义。EJMA 标准中也承认该方法可能趋于保守,如果制造商能够证明有更好的办法可以解决这个问题,标准应该得到修正。

理论上来说,使用等效圆筒模型进行波纹管的外压周向失稳校核,无论是将波纹管等效成圆筒,还是依照圆筒的外压周向失稳进行计算,并无原则上的不妥。例如在计算压力引起的周向薄膜应力 S_2 时,所采用的就是该模型。试验、数值方法和多年的工程应用均证明该方法是可靠的。而之所以对波纹管周向失稳问题不适用,其症结在于外压圆筒模型本身天然的局限性。该模型的外压周向稳定性校核只考虑到压力对环壳周向稳定性的影响,不能计及位移因素的作用。正如表 1 中列举的失效案例,波纹管外压周向失稳均是在拉伸位移下产生,可以推测拉伸位移对波纹管的外压周向稳定性具有不可忽略的影响。因此,认为以 EJMA 标准为代表的标准,在位移对于波纹管周向稳定性的影响上考虑是不充分的。

标准在该方面的缺失,导致一些设计方案虽然完全符合标准要求,但最终却出现了外压周向失稳的问题。因此,有理由对波纹管的周向稳定性问题开展研究,以期对标准缺失予以补足。

3 国内外研究现状

事实上,国内外学者已经注意到了这个问题。

2000 年,C. Becht 定性提出,拉伸位移会引起波谷有向外扩张的趋势,波峰有向内收缩的趋势,而压缩位移恰好相反。其结果就是在波峰、波谷处造成较高的周向薄膜应力。

国内在这方面也开展了相应的工作。段攻率先对该问题进行了研究,并多次在公开或内部发表的文章中指出,拉伸位移过大,过量的变形协调产生高应力,引起周向屈服,在外压作用下易产生周向失稳。

2004 年,张道伟对拉伸条件下的波纹管进行了外压稳定性试验,并通过非线性有限元静力分析对失稳机理进行了研究。结果表明,波纹管侧壁鼓胀是由于在波纹侧壁的两端形成了塑性铰,波纹侧壁局部区域的大量塑性变形而产生的。塑性铰出现的位置决定了波纹管的失稳形态。还对外压波纹管的失稳判据进行了初步的探讨。

2007 年,张玉田通过实验,研究了多层波纹管在外压拉伸共同作用下的变形情况。试验结果为周向失稳,表现形式为波峰塌陷。在实验研究的基础上,利用有限元软件,得到了失稳波纹管的变形及应力分布情况。试验研究及有限元分析计算表明,受外压的波纹管其波峰径向收缩量过大以及较大的周向压应力共同作用将导致薄壁波纹管发生周向失稳,拉伸位移是产生周向失稳的主要原因,并提出了防止受外压的薄壁波纹管周向失稳的预防措施。

2011 年,张小文在大直径波纹管外压承压性能研究中,对不同直径下波纹管实测失稳压力与设计压力的比较、分析,得出了波纹管在外压条件下直径对承压能力的影响规律,探讨了相关设计标准中外压校核方法存在的不足,并提出了修改建议,引入极限外压设计压力 P_c 和加工硬化对周向薄膜应力 S_2 的影响系数 C_n 的概念,并用 C_n 修正周向薄膜应力 S_2 ,为实际设计、生产和全面研究大直径波纹管的外压稳定性提供了一些参考和理论指导。

2012 年,李杰针对波谷外鼓问题,探讨了内压下的周向屈服评价方法,通过回归到周向强度校核公式,得到了确保一定安全裕度情况下不同波根直径所对应的周向强度校核修正系数。针对侧壁鼓胀问题,从两端固支直梁模型出发,基于“载荷分层分配”假定,得到了多层结构鼓胀量计算公式,并结合已有的试验数据,确定了在一定安全裕度下的侧壁鼓胀评价方法,得到了侧壁鼓胀极限设计内压表达式。