

第十三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
石家庄巨力科技有限公司

编



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

第十三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 编
石家庄巨力科技有限公司

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

第十三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编. —合肥:合肥工业大学出版社,2014. 10

ISBN 978-7-5650-2001-8

I. ①第… II. ①合… III. ①波纹管—国际学术会议—文集 IV. ①TB703.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 233836 号

第十三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 编

责任编辑 孟宪余

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 总编室:0551-62903038
市场营销部:0551-62903198
网址 www.hfutpress.com.cn
E-mail hfutpress@163.com

版次 2014 年 10 月第 1 版
印次 2014 年 10 月第 1 次印刷
开本 889 毫米×1194 毫米 1/16
印张 25.5
字数 737 千字
印刷 合肥学苑印务有限公司
发行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-2001-8

定价:98.00 元

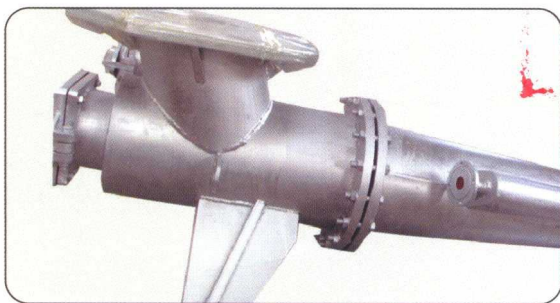
如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

集团公司简介

石家庄巨力科技集团有限公司是集研发、设计、生产、销售和服务于一体的、专业从事管道柔性连接整体解决方案的设计和制造企业；产品包括金属波纹补偿器、非金属补偿器、金属软管、高压胶管、送风装置、氧枪氧管及其伺服系统和阀门站系统、钢包整体浇注成套设备等系列产品，广泛用于国防、冶金、石油、化工、能源、电力、水泥、热力、煤矿、民用建筑及船舶等领域；销售市场和用户遍布全国，并远销到东南亚、中东和欧美等地区，深受国内外用户的信赖和好评。



产品展示



联系方式

地址：河北省石家庄新寨店工业园区明珠路8号

联系电话：0311-84757333、84757222

传真：0311-84752818、66175818

网址：www.julikeji.com

邮箱：juli885@126.com

邮编：051530



序

膨胀节是受热管道和设备等进行位移补偿的挠性元件。由于它具有补偿量大、安全可靠、无须维护、占地少、成本低等优点,已广泛应用于石化、化工、冶金、能源、热力、电力、交通、船舶、轻工、水利、建筑、航天航空、军工等领域,以及城乡居民生活,对国民经济建设和人民生活起着重要的作用。

我国从20世纪五六十年代开始自行研制和推广应用膨胀节。改革开放后,膨胀节行业迅速发展,膨胀节的理论研究、标准制订和设计、制造、检验水平都有了长足的进步,特别是大批民营企业的兴起,壮大了膨胀节行业,形成了大、中、小型膨胀节制造企业并存的局面,企业的科技创新和产品开发能力有了很大的提升。现在我国膨胀节行业已经能够制造各种形式、各种材质、各种规格的产品,不仅能满足国内各个领域对膨胀节的需求,而且还跻身于国际市场,这标志着我国膨胀节行业的技术水平已进入世界先进之列。

今年是中国机械工程学会压力容器分会膨胀节委员会成立30周年。30年来,膨胀节委员会在挂靠单位——合肥通用机械研究院和膨胀节行业广大企业的支持下,通过历届委员们的辛勤劳动,在开展学术交流和企业服务方面做了大量的工作,成绩突出,效果显著。从1984年到2012年共召开十二次全国膨胀节学术会议,交流论文500多篇,对推广先进技术,交流实践经验,探索技术发展方向,引领行业技术进步等都起到了很大的促进作用。今年10月召开的第十三届全国膨胀节学术会议,将又一次全面交流近年来我国膨胀节行业在各个方面所取得的技术成果,对提高我国膨胀节行业的技术水平意义重大,也是对我国膨胀节行业发展做出的新贡献!

热烈祝贺膨胀节委员会成立30周年!

衷心祝愿第十三届全国膨胀节学术会议圆满成功!

中国压力容器学会荣誉理事长: 

2014年10月



石家庄巨力科技集团有限公司



世界一流的、专业管道柔性连接整体解决方案的设计和制造企业

巨力科技集团以高起点高目标为创建原则，公司拥有全国最大的 3000T 大台面波纹管一次液压成型压力机和多台 1500T、1200T 压力试验机；公司自主研发的“大型波纹管自动成型机”获得国家科技部科研立项并被评为河北省科学技术成果；拥有65条先进的金属软管自动生产线；自动埋弧焊，氩弧焊和二保焊机58台；各种大型机加工设备一应俱全，例如：大型立式镗铣床、大型立式车床、龙门铣和退火炉等大型设备；氧枪和送风装置生产线工艺先进，设备一流。

主要生产设备 (Main Production Facilities)



主要检验检测设备 (Main Inspect & Test Equipments)



联系方式 (Contact)

地址：河北省石家庄新寨店工业园区明珠路8号
联系电话：0311-84757333、84757222
传真：0311-84752818、66175818

网址：www.julikeji.com
邮箱：juli885@126.com
邮编：051530

目 录

1. 三十年工作回顾与建议	蔡善祥 卢志明 钱 逸 李永生(1)
2. 最新版美国、欧盟、日本压力容器用膨胀节标准的介绍及对比	牛玉华(6)
3. 最新版压力管道用膨胀节国际标准的介绍及对比	牛玉华(14)
4. 国内外波纹管膨胀节标准制造检验要求比较分析	段 玫 钟玉平 李双印(21)
5. 压力管道补偿器产品质量现状分析及质量提升建议	李延夫 刘 凯 于振毅 孙 礼 刘殿东 李明兴 杜 健 李晓旭(28)
6. 炼铁烧结烟气及高炉煤气管道用金属波纹管膨胀节腐蚀失效分析与防护对策	 朱惠红 方明宇 陈静伟 任士士(34)
7. EJMA 第 9 版(含 2011 增补)无加强型波纹管环向膜应力公式的进一步推导和修订	 刘 永 陈立苏(39)
8. 波纹管膨胀节计算机辅助绘图软件开发	刘西斌 朱惠红 方明宇 郭 朝(44)
9. 波纹管风险评价方法的研究	於孝春 曹文晖 于 颖 李永生(48)
10. 换热器用波纹管膨胀节的应力分析和强度评定	卢志明 蔡善祥 朱沈瑾 石来民(54)
11. 苯乙烯膨胀节吹扫盘管的有限元分析	张爱琴(59)
12. 波纹管成形过程数值模拟研究	李双印(64)
13. Ω 形波纹管小圆弧半径对应力的影响	李 扬 牛玉华 陈云飞(68)
14. 大口径高压膨胀节的波形选择	梁 薇 王文刚 於松波 周海龙(74)
15. 1000MW 机组小机排汽管道的分析与讨论	周海龙 王文刚 梁 薇 谢 月 於松波(79)
16. 大口径多层加强 U 形波纹管应力强度有限元数值分析	李 亮 牛玉华(86)
17. 超大型波纹管膨胀节应力分析与强度计算	孙 贺 钱才富 王友刚 王焕庆(93)
18. 万向铰链型膨胀节应力分析及其评定	周 强(101)
19. 波纹膨胀节新增优化设计软件包的开发	于 颖 李永生 於孝春(107)
20. 新型旋转补偿器设计原理	金 南 胡 毅 董桂萍(112)
21. 热网用外压波纹补偿器端部间隙漏热分析	宋丰懿 李依靠(117)
22. 中高压橡胶膨胀节的结构优化设计	尚丽娟(122)
23. 直管压力平衡复式拉杆型补偿器	方明宇 朱惠红 陈静伟 郭 朝(125)
24. 包覆技术在煤气主管波纹补偿器上的应用	方明宇 陈静伟 任士士 郭 朝 张红娜(129)
25. 金属波纹管膨胀节在高炉送风支管上的应用	黄 山 方明宇(133)
26. 大直径空心万向环结构的优化设计	杨玉强(137)
27. 单层波纹管振动特性仿真分析	郑大远 张爱琴 刘 岩(142)

28. Ω 形直管压力平衡型膨胀节刚度计算 张小文(145)
29. 直埋热水供热管道不同敷设方式浅析 张玉佳 张国华(150)
30. 城市供热系统热补偿问题探讨 黄先扬(155)
31. AutoPIPE 在小汽机排汽管道设计中的应用 马力维 严英博(161)
32. 耐蚀合金材料波纹管蠕变温度探讨 周命生(168)
33. 某高温易燃气体管线的应力分析及膨胀节设计 张 颖 牛玉华 李 亮(173)
34. 某风机出气管线的应力分析 姚 蓉(179)
35. 两种 Ω 形波纹管膨胀节的分析讨论 於松波 王文刚 梁 薇 谢 月(186)
36. 直埋内压复式波纹膨胀节的结构改进 李 娜 寿叶锋 任怀平 蔡善祥(191)
37. DN30 增压管路用金属波纹管的两种设计方法对比分析
..... 宋林红 黄乃宁 张文良 张秀华 钱 江(194)
38. 波纹膨胀节端板设计过程中遇到的筋板问题浅析 李洪伟 杨知我 李 秋 孙中华(199)
39. 矩形金属波纹管的设计制造工艺探讨 王会东 丁艳萍 李 秋 徐丹辉(204)
40. 弯管式压力平衡膨胀节的选型计算与分析 何锐裕 顾寅峰(208)
41. 负压工况下单式铰链型膨胀节的设计 宋志强 陈四平(214)
42. 高压金属软管设计及爆破试验 陈运庆(219)
43. 波纹管液压成形原理及工艺方法 钱言景 陈为柱(228)
44. 加氢反应器膨胀节的制造 刘行周 危立涛 李 栋 孙明明 乔 莉(234)
45. 双层加强型锆制波纹管膨胀节的设计和制造 ... 王友刚 刘行周 危立涛 王翰涛 焦玉清(238)
46. 压力容器用 Cr—Mo 钢锯齿形膨胀节 乔 莉 朱蒙蒙 李 栋 王翰涛 刘行周(243)
47. 乙二醇加氢反应器膨胀节设计与制造 高利霞 赵孟欢 蔡善祥 潘国斌 沈小斌(248)
48. 聚甲醛装置用锆制波纹管膨胀节设计与制造
..... 高利霞 李 娜 孙 尧 沈小斌 寿叶锋 任怀平 蔡善祥(253)
49. 金属波纹管相关焊接工艺评定的研究和探讨 陈文学(260)
50. 盐浴渗铝对 AZ31 镁合金 TIG 焊焊接接头性能的影响 陈正文 方明宇 陈静伟(266)
51. 套筒补偿器涂(镀)层性能对比分析 李 凯 王 宁(271)
52. 核安全级波纹膨胀节的波纹管成形工艺评定研究 陈立苏 彭 玮 哈敏达 王有龙(279)
53. 大直径金属软管制造要点及注意事项 齐金祥(283)
54. 膨胀节的选材、腐蚀和失效分析 张荣克(287)
55. 换热器三波膨胀节超差的适用分析及对策 陈孙艺(297)
56. 空冷岛真空系统用膨胀节失效分析及改进 孟 延 刘 永(306)
57. 冶金行业用金属波纹膨胀节失效原因及防护措施 陈静伟 任士士 张红娜(312)
58. 煤气管道系统用波纹管膨胀节腐蚀案例分析 朱惠红 方明宇 陈静伟(315)
59. 特大型高炉热风主管波纹膨胀节失效分析 魏守亮 孟宪春 王春月(319)
60. 金属软管在硫黄输送管线上泄漏原因分析 吴 虹(325)

61. 乙烯裂解炉燃烧器金属软管腐蚀的研究	曹宝璋 曹 泽(330)
62. 集中供热蒸汽管道补偿器安装及检验中的常见问题分析	吴本华(333)
63. 一起罕见的波纹管膨胀节爆裂事故与启示	盛水平 邢 路 杜 清 陈海云(338)
64. 环管反应器波纹管破裂原因及解决措施	范茂宸(341)
65. 外压波纹管失效分析	王召娟 胡 毅 胡 晓(344)
66. 金属波纹管膨胀节的研究文献综述	孙胜仁 戴凌汉 钱才富 王友刚 王焕庆(350)
67. 压力管道元件(金属波纹管膨胀节、补偿器、金属软管)取、换证过程中企业存在的主要问题及建议	刘 波 彭 玮 陈立苏 刘卫正(357)
68. 膨胀节的 PED 认证过程	谢 月 王文刚 孙 斌 於松波 周海龙(368)
69. 橡胶膨胀节在化工装置中的应用	唐 麒(374)
70. 复合式直管压力平衡型波纹管膨胀节在 TRT 进口管道的应用	张振花 陈四平(380)
71. 压力管道用套筒补偿器的结构和质量控制	彭 玮 陈立苏(384)
72. 波纹膨胀节疲劳测试和计算说明	方明宇 朱惠红(390)
73. 膨胀节用高性能不锈钢的特性	孙长庆(395)

三十年工作回顾与建议

——庆祝压力容器分会膨胀节专业委员会成立三十周年

蔡善祥¹ 卢志明² 钱逸² 李永生³

(1. 合肥通用机械研究院, 合肥 230031; 2. 浙江工业大学机械工程学院, 杭州 310032;
3. 南京工业大学机械工程学院, 南京 210009)

摘要: 本文回顾压力容器分会膨胀节专业委员会成立三十周年以来, 为膨胀节行业发展与技术进步所做的工作和贡献; 展望未来, 任重道远, 并对今后工作提出建议。

关键词: 膨胀节专业委员会; 回顾与展望; 技术发展; 技术进步; 技术服务

30 Years Retrospect and Prospect

——Celebrate the 30 anniversary of the founding of pressure vessel branch expansion joint professional committee

Cai Shanxiang¹ Lu Zhiming² Qian Yi² Li Yongsheng³

(1. Hefei General Machinery Research Institute, Hefei 230031;
2. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology Institute. Hangzhou 310032;
3. College of Mechanical Engineering, Nanjing University of Technology Institute. Nanjing 210009)

Abstract: This paper reviews pressure vessel branch expansion joint establishment of professional committee of the 30th anniversary, for the expansion joint industry development and technical progress of work and contribution; Looking forward to the future, a long way, and puts forward Suggestions for future work.

Keywords: Expansion joint professional committee, review and outlook, technology development, technical progress and technical services.

三十年, 弹指一挥间。1984年6月, 压力容器分会膨胀节工作组在沈阳成立。1987年5月在南昌召开的第二届全国膨胀节学术会议期间, 经压力容器分会理事会批准改名为膨胀节专业委员会(以下简称膨胀节委员会)。今天, 在这金秋菊香桂浓时节, 膨胀节行业各位领导、各位专家、各位同仁在美丽的石家庄召开第十三届全国膨胀节学术会议暨六届一次委员会与庆祝压力容器分会膨胀节委员会成立三十周年庆祝大会。大家相约故旧、结交新友、交流信息、分享成果, 意义特殊。

三十年来, 膨胀节委员会在压力容器分会的领导下, 在挂靠单位——合肥通用机械研究院和膨胀节行业各企业的支持下, 积极开展学会各项活动, 经历了推广应用、探索和进取三个发展阶段, 膨胀节委员会凝聚力和影响力显著提升, 坚持学术为本, 推动行业技术进步, 做好为行业服务工作, 迈出了可喜的一步; 加强与企业合作, 走可持续发展道路, 取得了阶段性进展。膨胀节委员会在前进征途中完成所担负的

责任,是历届膨胀节委员会全体委员团结一致,共同奋斗的结果,是膨胀节行业各企业及其领导与同志们大力支持的结果。

1 三十年工作回顾

1.1 坚持学术为本,结合生产实际和未来发展形势,积极开展学术交流,推动膨胀节行业技术进步
学术交流是学会的基本任务,也是学会工作的重点和服务行业的重要手段。

遵照 1987 年 5 月第二届全国膨胀节学术会议暨膨胀节委员会一届一次会议决定,每两年举办一次全国膨胀节学术会议。第二届膨胀节委员会自 1993 年 10 月在西安换届之日起,秘书处根据膨胀节委员会承诺,坚持学术交流,促进企业发展,时隔两年举办一次全国膨胀节学术会议。三十年来,共组织召开全国膨胀节学术会议十三次,全国膨胀节推广应用学习班两期、膨胀节标准宣贯学习班一期。学术会议宣读论文 483 篇,参会人数 1260 人(见表 1《膨胀节委员会举办全国膨胀节学术会议、推广应用、标准宣贯学习班一览表》)。这些会议影响大、效果好、内容新,对膨胀节技术发展与技术进步起了很大的推动作用。为我国膨胀节行业的技术进步做出了贡献。主要表现在:

(1)通过学术交流,对当前我国膨胀节行业的科研、设计、材料、制造、使用和标准化水平及国外膨胀节技术发展新动向有了深入的了解。

(2)膨胀节学术会议坚持以企业为主体,强调企业参与,坚持与企业共同承办,交流的专题面向企业、面向生产,有力地推动“产、学、研”的结合和科技成果的工程应用。每届学术会议都有企业争当承办单位。

(3)坚持每两年举办一次全国膨胀节学术会议,且每次学术会议都编辑出版论文集,得到膨胀节行业专家、学者、企业负责人和广大工程技术人员的积极响应,从而提高了学术交流水平和我会在膨胀节行业中的学术地位,也有力地指导了工程实践中技术问题的解决。例如,关于膨胀节失效原因分析与防止对策及建议的学术交流,对石化、冶金行业膨胀节工程应用具有实际的指导作用。

(4)海峡两岸企业同台学术交流。国内企业在市场经济中,既是市场竞争者,也是同台学术交流的合作者。在市场竞争中相互提高,在学术交流中相互学习。

(5)参会论文有如下特点:

- ① 论文数量逐届增加,论文质量不断提高,得到膨胀节行业积极响应和关注;
- ② 论文作者青年人多,反映膨胀节行业人才辈出;
- ③ 撰写论文的单位多,反映膨胀节行业欣欣向荣;
- ④ 论文内容新颖,反映膨胀节行业创新精神。

三十年来,膨胀节委员会坚持学术交流,促进企业发展,坚持两年举办一次全国膨胀节学术交流会,是一个推广先进技术、交流实践经验、探讨技术发展方向,引领行业技术进步、获取各种信息的最佳平台,受到膨胀节行业的极大欢迎和支持!

1.2 提高论文水平和质量,坚持论文专家评审,抓好论文集编辑出版工作

论文集是无声的学术交流,是学术会议的继续和延伸。从 1999 年 10 月第六届全国膨胀节学术会议开始,做到每次学术交流会都编辑出版全国膨胀节学术会议论文集。为确保学术会议论文的水平 and 质量,坚持论文专家评审,录用的论文列入论文集。到目前已出版下列文献资料:

- (1)出版全国膨胀节学术会议论文集 8 期(第六届至第十三届),见表 1;
- (2)出版两期全国膨胀节推广应用学习班授课讲义,见表 1;
- (3)出版一期膨胀节标准宣贯学习班授课讲义汇编(上、下册),见表 1;
- (4)出版膨胀节论文译文集(第一部),1990 年 10 月;
- (5)出版全国膨胀节行业名录和产品要览(第一版),2003 年 10 月;
- (6)出版膨胀节论文译文集(第二部),2004 年 10 月;
- (7)压力容器分会膨胀节指导性技术文件:《波纹管制造、检查与验收》(参考件),1987 年 3 月。

表 1 膨胀节委员会举办全国膨胀节学术会议、推广应用、标准宣贯学习班一览表

(1984 年 6 月—2014 年 10 月)

序号	阶段	会议名称	会议时间	会议地址	会议主办单位	会议承(协)办单位	论文数量(篇)		参会人数	会议出版刊物
							应征论文	录用论文		
1	推广应用阶段	第一届全国膨胀节学术会议	1984 年 6 月	沈阳	压力容器分会 膨胀节委员会	原沈阳弹性元件厂	17	10	44	1984 年 6 月 25 日至 28 日成立膨胀节工作组
2		第一次全国膨胀节推广应用学习班	1985 年 8 月	南京		原南京晨光机器厂(协)	—	—	53	第一次全国膨胀节推广应用学习班授课讲义
3		第二届全国膨胀节学术会议	1987 年 5 月	南昌		原江西石油化工机器厂	20	20	60	1987 年 5 月改为第一届膨胀节专业委员会
4		第三届全国膨胀节学术会议	1989 年 11 月	杭州		原上海电力建设修造厂	17	17	58	—
5		第二次全国膨胀节推广应用学习班	1990 年 12 月	无锡		—	—	—	60	第二次全国膨胀节推广应用学习班授课讲义
6	探索应用阶段	第四届全国膨胀节学术会议	1993 年 10 月	西安		西航公司冲压焊接厂	30	30	85	—
7		第一次全国膨胀节标准宣贯学习班	1995 年 4 月	上海		原上海电力建设修造厂(协) 原上海宏展膨胀节厂(协)	—	—	80	第一次全国膨胀节标准宣贯学习班授课讲义汇编(上下册)
8		第五届全国膨胀节学术会议	1996 年 7 月	北京		首都航天机械公司波纹管厂	40	40	82	—
9	进取应用阶段	第六届全国膨胀节学术会议	1999 年 10 月	青岛		中船总公司七二五研究所	33	33	75	第六届全国膨胀节学术会议论文集(压力容器增刊)
10		第七届全国膨胀节学术会议	2002 年 10 月	南京		南京晨光东螺波纹管有限公司	39	39	79	第七届全国膨胀节学术会议论文集(压力容器增刊)
11		第八届全国膨胀节学术会议	2004 年 10 月	无锡		无锡金波隔振科技有限公司	34	32	94	第八届全国膨胀节学术会议论文集(压力容器增刊)
12		第九届全国膨胀节学术会议	2006 年 11 月	黄山		合肥通用机械研究院	39	38	51	第九届全国膨胀节学术会议论文集(压力容器增刊)
13		第十届全国膨胀节学术会议	2008 年 9 月	北戴河		秦皇岛北方管业有限公司	49	47	92	第十届全国膨胀节学术会议论文集(压力容器增刊)
14		第十一届全国膨胀节学术会议	2010 年 10 月	泰安		山东恒通膨胀节制造有限公司	56	52	118	第十一届全国膨胀节学术会议论文集(压力容器增刊)
15		第十二届全国膨胀节学术会议	2012 年 9 月	沈阳		沈阳仪表科学研究院	54	52	103	第十二届全国膨胀节学术会议论文集(合肥工业大学出版社)
16		第十三届全国膨胀节学术会议	2014 年 10 月	石家庄		石家庄巨力科技有限公司	78	73	126	第十三届全国膨胀节学术会议论文集(合肥工业大学出版社)
17	合计						508	483	1260	

1.3 围绕企业的需求,发挥膨胀节委员会跨行业优势,做好为企业(含用户)服务的各项工作,为企业多做实事

(1)根据企业的需求积极开展技术培训工作

先后组织全国膨胀节推广应用学习班两期,膨胀节标准宣贯学习班一期,聘请膨胀节行业专家、教授22人次,授课时间约168小时,介绍膨胀节基本知识、发展概况、产品标准、工程应用以及设计、制造、检查验收、选型与失效分析等内容,从实践到理论帮助企业 and 广大工程技术人员了解膨胀节(补偿器)性能,推广在工程中应用,受到膨胀节行业的欢迎和好评。

(2)根据企业的需求做好技术服务工作

根据企业的需求和约请,先后多次为企业组织膨胀节(补偿器)产品鉴定会、质量事故分析会、产品设计评审会、项目招标会、新产品论证会、技术研讨会等。由于派出的专家来自本行业各单位,专业水平高、服务意识强、工作认真,结论公正合理,受到政府职能部门、企业与用户的欢迎和好评。

(3)根据企业的需求开展调研,做好技术研讨咨询工作

随着膨胀节(补偿器)应用范围的不断扩大,管系的多元化与介质的复杂化,带来膨胀节失效案例增加,影响工艺操作系统安全运行。因此,根据企业的需求列入膨胀节委员会工作计划。例如,2007年9月以容学秘字〔2007〕第017号文《关于征询膨胀节行业当前迫切需要解决的主要技术问题的通知》发给各位委员及各有关单位。通过这次调研,秘书处收到各位委员及各有关单位回复意见,经汇总分为七大类55条意见,分发各位委员及各有关单位,着重交流技术创新成果和探讨攻克目前膨胀节行业存在的一些关键技术难题。膨胀节委员会通过实际工作,对膨胀节行业的发展和技术进步起到很好帮助和推动作用。

1.4 加强膨胀节委员会及秘书处自身建设

遵照中国机械工程学会章程,膨胀节委员会按照“民主办会,和谐共进,遇事协商,向上请示,严格自律,规范办事”,发挥膨胀节委员会全体委员及秘书处成员的积极性。

膨胀节委员会全体委员来自各行业各个单位,为了膨胀节行业发展走到一起。因此,加强秘书处的自身建设,做好组织协调工作是保证学会工作顺利实施的关键。膨胀节委员会不仅历届秘书处成员是兼职工作,而且全体历届正、副主任委员,正、副秘书长及全体委员也都是兼职工作,但大家都有很高的工作热情和奉献精神,为膨胀节行业的发展献计献策、努力工作。正如第六届膨胀节委员会委员、上海永鑫波纹管有限公司马立维总工程师在给秘书处邮件中写到的那样,“我们一定会动员有关人员,积极撰写膨胀节论文;一定会继续大力支持、配合学会工作,为我国膨胀节事业的发展,尽我公司和我本人的微薄之力!”

2 工作建议

2.1 行业简况

三十年来,膨胀节行业在改革开放中发展,特别是大批民营企业的兴起,壮大了膨胀节行业,形成了大、中、小膨胀节制造企业并存的局面。可以说,目前我国从事膨胀节制造企业的数量和膨胀节行业从业人数均为世界之最,已成为膨胀节制造和使用的大国。膨胀节设计、制造、检验水平和自主创新能力都有长足的发展,具备设计、制造各种型式、结构膨胀节的能力。波纹管材料有金属(黑色金属、有色金属)、非金属材料等;承压设备与管道金属波纹管规格从DN50mm到DN12000mm;波纹管壁厚从0.5mm到50mm,均能整体成型。一些大型膨胀节制造企业已经成为国内外的知名企业,标志着我国从膨胀节制造大国走向膨胀节制造强国。在膨胀节的理论研究、设计计算、试验技术、制造工艺、标准规范、事故分析和安全使用等方面开展了大量工作,取得了显著成绩,使我国膨胀节行业的技术水平跻身世界先进之列。

产品质量是百年大计,产品质量是企业的生命。为确保产品质量,提高安全性,2001年1月以后,国家对波纹管膨胀节制造企业实行制造许可证管理;对波纹管膨胀节产品质量,出厂实行驻厂监督检验;在用产品实行定期检验。

2.2 工作建议

波形管膨胀节在我国是一个新型行业,也是一个蓬勃发展的行业。是国务院颁布的《特种设备安全监察条例》(以下简称条例)明确规定的特种设备。在膨胀节行业发展的同时应该指出,就总体而言,我国膨胀节行业还较年轻,设计、制造水平还处在发展阶段。在党的十八大精神指引下,以科学发展观为指导,紧跟国家战略目标,结合企业的需要,积极开展学会的各项活动,做好服务政府、服务社会、服务行业、服务企业和科技工作者的工作,更好地提升膨胀节委员会的影响力、凝聚力,为膨胀节行业的发展和技术进步作出贡献。

(1)坚持学术为本,抓住行业热点,紧扣企业需求,活跃学术交流气氛。力争学术交流、成果展示、技术市场信息发布于一体,增强学术活动的吸引力。

(2)站在学科前沿,立足行业科技创新,加强与国外同行的技术交流,抓好学术会议的主题报告,促进膨胀节行业技术进步,增强学术活动的影响力。

(3)坚持服务行业、服务企业作为膨胀节委员会的主要任务。学术会议坚持与企业共同承办,增强学术活动的活力和生命力。

(4)传播科技信息,坚持科技与经济相结合。积极搭建为经济建设服务平台,推动科研成果向生产力转化,增强学术活动的凝聚力。

(5)改革在深化,结合国家机构改革和职能转变,关注国家出台的相关政策和措施,抓住机遇,彰显学会优势,创造条件,拓宽活动空间,提升学会活动的竞争力。

回顾三十年,膨胀节委员会用浓重的笔墨书写了为膨胀节行业发展与技术进步所做的贡献;展望未来,机遇与挑战洒满征途,在国家深化改革和经济转轨过程中,在压力容器分会领导下,在挂靠单位——合肥通用机械研究院和膨胀节行业各企业的支持下,新一届膨胀节委员会(第六届)在市场经济中,开拓进取,求实创新,坚持做好五个服务,努力提高五种能力,实现学会工作持续深入发展,为我国膨胀节行业的发展与技术进步做出新的贡献!膨胀节行业的明天一定会更加美好!

作者简介

蔡善祥(1945.4—),男,教授级高工,长期从事压力容器、压力管道、膨胀节等工程设计、设备设计、检验及试验研究工作。联系电话:0551—65335459。

最新版美国、欧盟、日本压力容器用 膨胀节标准的介绍及对比

牛玉华

(南京晨光东螺波纹管有限公司, 江苏南京 211153)

摘 要:膨胀节迄今已有 100 多年设计制造的历史,其设计研究也趋于成熟,许多国家对膨胀节的设计、制造、验收形成了相应标准规范。本文对目前国际上常用的最新版的美国、欧盟、日本压力容器用膨胀节标准进行介绍并进行相应分析。

关键词:膨胀节;金属波纹管;标准;压力容器

Introduction and Analysis of the Newest American, EU and Japan Standards of Expansion Joints for Pressure Vessels

Niu Yuhua

(Aerosun-Tola Expansion Joint Co. Ltd, Jiangsu Nanjing 211153)

Abstract: The expansion joints had been manufactured more than one hundred years, the design and research are more and more accurate. Many countries issued the standards about the design, fabrication, inspection and test. This paper introduces and analysis the commonly used newest American, EU, Japan standards of expansion joints for pressure vessels.

Keywords: Expansion joints; Metallic Bellows; Standard; Pressure vessel

1 概 述

1885 年,海因里希·威茨曼在完成令世人关注的金属软管发明后在德国普福尔茨海姆成立了金属软管和膨胀节公司,现发展为著名的 Witzenmann 集团。美国 Badger 工程公司 1900 年的马萨诸塞州坎布里奇工厂设计制造出第一个波纹管膨胀节,标志着波纹管膨胀节工业化生产和应用的开始。

膨胀节按其应用领域可分为压力容器用膨胀节和压力管道用膨胀节,因此其相应的标准体系也分为两大类。目前,国际上常用的现行膨胀节标准有美国标准、欧盟标准和日本标准,本文对国际上常用的现行压力容器用膨胀节标准进行介绍及分析。

2 美国压力容器标准对压力容器用膨胀节的规定

美国联邦法规和各州法规所引用的标准主要是美国国家标准 ANSI、美国机械工程师协会 ASME、美国石油协会 API 和美国材料协会 ASTM 标准。对于锅炉与压力容器主要执行 ASME 第Ⅷ卷《压力容器建造规则》,分第 1 篇《压力容器建造规则》、第 2 篇《压力容器建造另一规则》、第 3 篇《高压容器建造规则》,最新版本为 2013 版。1986 年 ASME 第Ⅷ卷第 1 篇采纳了 Anderson 提供的设计方法(也是 EJMA 标准采纳的设计方法),并按 ASME 规范的设计标准体系制定了非强制性附录 BB(后几经修改,1992 年 12 月 31 日 ASME 出版了 92 版的修改版,正式将附录 BB 的内容移到附录 26 中,从此该规定成为强制性规定)。

ASME 第Ⅷ卷第 1 篇附录 26《波纹膨胀节》经过多次修订,最新版为 2013 版。最新版本对附录 26 压力容器用无加强 U 形的、加强 U 形的和 Ω 形的,承受内压或外压以及循环位移的单层或多层(总壁厚不大于 5mm)的波纹管膨胀节的设计、制造、检验和试验进行了详细规定。ASME 第Ⅷ卷第 2 篇的 4.19《波纹管膨胀节设计规则》也作了同样的规定,虽然描述方法有所不同,但所采用的公式和计算方法与附录 26 完全相同。

ASME 第Ⅷ卷第 1 篇附录 5《兼有外内侧或仅有外侧翻边的膨胀节》规定了作为换热器或其他压力容器整体一部分的兼有外内侧或仅有外侧翻边的膨胀节的设计、制造、检验和试验,附录 5 没有论述循环载荷情况。

ASME 第Ⅷ卷第 1 篇附录 26 的主要计算公式来源于 EJMA 标准,历年来的修订也基本上是基于 EJMA 标准的修订,2013 版的附录 26 参照 EJMA 标准第 9 版 2011 增补的内容作了一些修改,附录 26 与 EJMA 标准的计算公式对比,主要不同点和修改内容介绍如下:

2.1 ASME 附录 26 与 EJMA 标准相比计算公式的不同之处

2.1.1 稳定性计算公式的不同之处

如表 1 所示,附录 26 提供的无加强 U 形波纹管的平面失稳极限设计压力设计公式与 EJMA 标准公式相似。对于压力容器用膨胀节,在大多数情况下,无角位移和横向位移且单波当量轴向位移较小,此时 K_r 的影响可忽略。文献 7 对 EJMA 标准中的 S_y 进行了推导并与 ASME 附录 26 中的 S_y^* 进行了对比,对于退火态波纹管,EJMA 标准中的 S_y 值要比 ASME 附录 26 中的 S_y^* 值大将近 1.5 倍。从表 1 中的公式对比也可以推断出按附录 26 的公式计算出的退火态无加强 U 形波纹管的平面失稳极限设计压力值要比 EJMA 标准计算出的结果要保守一些。

表 1 无加强 U 形波纹管的平面失稳极限设计压力设计公式对比

ASME 第Ⅷ卷第 1 篇附录 26/2013 版	EJMA 标准/第 9 版(A2011)
$P_{st} = (\pi - 2) \frac{AS_y^*}{D_m q \sqrt{\alpha}}$ $\alpha = 1 + 2\delta^2 + \sqrt{1 - 2\delta^2 + 4\delta^4}$ $\delta = \frac{1}{3} \frac{S_1}{S_{2l}}$ 成形态波纹管 $S_y^* = 2.3S_y$; 退火态波纹管 $S_y^* = 0.75S_y$	$P_{st} = \frac{1.3A_c S_y}{K_r D_m q \sqrt{\alpha}}$ $K_r = \text{周向应力系数} = \text{取下列两个中较大的,并且不小于 } 1.0:$ $K_r = \frac{2(q + e_x) + \frac{e_\theta}{K_\theta} + e_y}{2q} \quad (\text{在压力 } P \text{ 存在的条件下,当 } e_x \text{ 和 } e_y \text{ 为轴向拉伸时})$ $K_r = \frac{2(q - e_x) + \frac{e_\theta}{K_\theta} + e_y}{2q} \quad (\text{在压力 } P \text{ 存在的条件下,当 } e_x \text{ 和 } e_y \text{ 为轴向压缩时})$ $S_y = \frac{0.67C_m S_{ym} S_{yh}}{S_{ye}}$ $\alpha = 1 + 2\delta^2 + (1 - 2\delta^2 + 4\delta^4)^{0.5}$ $\delta = \frac{K_4}{3K_2}$

2.1.2 强度计算公式的不同之处

附录 26 在计算无加强 U 形波纹管由压力引起的波纹管环向薄膜应力时,考虑了直边段的影响,分端波处环向薄膜应力 $S_{2,E}$ 和中间波处环向薄膜应力 $S_{2,I}$ 分别进行计算,由公式可以看出端波处的 $S_{2,E}$ 要明显大于中间波处的 $S_{2,I}$,而 EJMA 标准则只提供了中间波处的环向薄膜应力 S_2 的计算公式,因此附录 26 对无加强 U 形波纹管由压力引起的波纹管环向薄膜应力的评判要相对保守一些。

2.1.3 疲劳寿命计算公式的不同之处

EJMA 标准疲劳寿命公式仅适用于奥氏体不锈钢,计算的疲劳寿命为平均疲劳寿命。ASME 第Ⅷ卷第 1 篇附录 26 中的膨胀节设计疲劳曲线是 ASME 委员会在根据 EJMA 提供的疲劳试验数据,再加上来自 Takezono 的一组补充疲劳试验数据而绘制的,该组补充疲劳试验数据由许多压力容器用热处理态的单波波纹管膨胀节的疲劳试验结果构成,附录 26 根据这些疲劳数据基于 ASME 第Ⅷ卷第 2 篇附录 6 《实验应力分析》应用最小安全系数绘制设计疲劳曲线(循环次数系数为 3 及应力系数为 1.25)并得出相应的疲劳寿命计算公式,公式适用于奥氏体不锈钢、UNS N066XX、UNS N04400。按附录 26 提供的疲劳寿命计算公式计算出的疲劳寿命可以认为是预测的膨胀节实际疲劳寿命,无须再另外考虑安全系数。

2.2 2013 版 ASME 附录 26 参照 EJMA 标准第 9 版(2011 增补)修改的计算公式

2.2.1 U 形波纹管计算公式修改的部分内容

2013 版 ASME 附录 26 按照 EJMA 标准第 9 版(2011 增补)修改了材料强度系数的定义,增加了 U 形波纹管成型应变 ϵ_f 的计算公式,与 EJMA 标准相比,ASME 还提供了由内径为 D_m 的筒体 50%向外,50%向内加工的波纹管成型应变 ϵ_f 的计算公式。

表 2 U 形波纹管计算公式修改的部分内容

版本 名称	2010 版 ASME 附录 26	2013 版 ASME 附录 26	EJMA 标准第 9 版 2011 增补
U 形波纹管 $S_3 + S_4$ 的应 力评定标准 的修改	$S_3 + S_4 \leq K_f S$ $K_f = 3.0$ 成型态 = 1.5 退火态	$S_3 + S_4 \leq K_m S$ $K_m = 1.5 Y_m$ 成型态 = 1.5 退火态 $Y_m = 1 + 9.94(K_f \epsilon_f) - 7.59(K_f \epsilon_f)^2$ $- 2.4(K_f \epsilon_f)^3 + 2.21(K_f \epsilon_f)^4$ (奥氏体不锈钢) $Y_m = 1 + 6.8(K_f \epsilon_f) - 9.11(K_f \epsilon_f)^2$ $+ 9.73(K_f \epsilon_f)^3 - 6.43(K_f \epsilon_f)^4$ (镍合金) $Y_m = 1$ (其他材料) 如果 $Y_m < 1.0$, 则 $Y_m = 1.0$ 如果 $Y_m > 2.0$, 则 $Y_m = 2.0$	$S_3 + S_4 \leq C_m S_{ab}$ (低于蠕变温度范围) $S_3 + (S_4 / 1.25) \leq S_{ab}$ (在蠕变温度范围内) $C_m = 1.5 Y_m$ 成型态 = 1.5 退火态 $Y_m = 1 + 9.94 \times 10^{-2}(K_f \epsilon_f) - 7.59$ $\times 10^{-4}(K_f \epsilon_f)^2 - 2.4 \times 10^{-6}(K_f \epsilon_f)^3$ $+ 2.21 \times 10^{-8}(K_f \epsilon_f)^4$ (奥氏体不锈钢) $Y_m = 1 + 6.8 \times 10^{-2}(K_f \epsilon_f) - 9.11$ $\times 10^{-4}(K_f \epsilon_f)^2 + 9.73 \times 10^{-6}(K_f \epsilon_f)^3$ $- 6.43 \times 10^{-8}(K_f \epsilon_f)^4$ (镍合金) $Y_m = 1$ (其他材料)
U 形波纹管 成型应变 ϵ_f 的计算公式		$\epsilon_f = \sqrt{\left[\ln\left(1 + \frac{2w}{D_b}\right)\right]^2 + \left[\ln\left(1 + \frac{nt_p}{2r_m}\right)\right]^2}$ 用于由内径为 D_b 的筒体 100%向外加工的 波纹管 $\epsilon_f = \sqrt{\left[\ln\left(1 + \frac{w}{D_b}\right)\right]^2 + \left[\ln\left(1 + \frac{nt_p}{2r_m}\right)\right]^2}$ 用于由内径为 D_m 的筒体 50%向外,50%向 内加工的波纹管	$\epsilon_f = 100 \sqrt{\left[\ln\left(1 + \frac{2w}{D_b}\right)\right]^2 + \left[\ln\left(1 + \frac{nt_p}{2r_m}\right)\right]^2}$ 用于由内径为 D_b 的筒体加工的波纹管