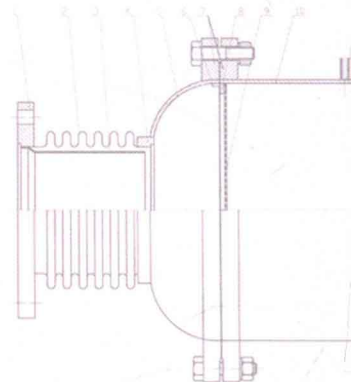
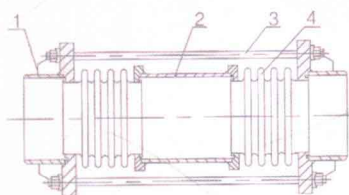


第十二届全国膨胀节学术会议论文集

膨胀节设计制造 应用技术进展

PENGZHANGJIE SHEJI ZHIZAO
YINGYONG JISHU JINZHAN

中国机械工程学会压力容器分会膨胀节委员会
编 合肥通用机械研究院
沈阳仪表科学研究所



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

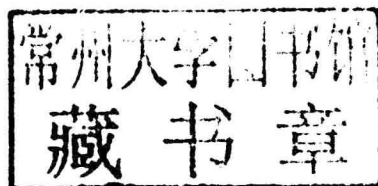
第十二届全国膨胀节学术会议论文集

膨胀节设计制造应用技术进展

中国机械工程学会压力容器分会膨胀节委员会

编 合肥通用机械研究院

沈阳仪表科学研究所



合肥工业大学出版社

内容简介

本书是近几年来有关膨胀节技术研究成果的集萃,内容涉及圆形、矩形,金属、非金属材料膨胀节的理论研究、技术发展动向、设计、制造、检验、失效分析和工程应用,充分反映我国在膨胀节技术研究中所取得的进展,具有很强的工程实用性。

本书适合从事膨胀节研究、设计、制造、使用、检验、安全监察的工程技术人员及高等院校相关专业教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

膨胀节设计制造应用技术进展/中国机械工程学会压力容器分会膨胀节委员会编. —合肥:合肥工业大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-5650-0894-8

I. ①膨… II. ①中… III. ①波纹补偿器—文集 IV. ①TH703.2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 199980 号

膨胀节设计制造应用技术进展

中国机械工程学会压力容器分会膨胀节委员会 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—2903038
市场营销部:0551—2903198
网址 www.hfutpress.com.cn
E-mail hfutpress@163.com

版次 2012 年 8 月第 1 版
印次 2012 年 8 月第 1 次印刷
开本 889 毫米×1194 毫米 1/16
印张 19.75 彩插 1 页
字数 612 千字
印刷 合肥学苑印务有限公司
发行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-0894-8

定价: 68.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

出版前言

波纹管膨胀节是受热管道和设备进行位移补偿的挠性元件。自1900年第一个波纹管膨胀节研制成功以后,波纹管膨胀节在美国等许多工业发达国家得到了迅速发展。其中美国膨胀节制造商协会(EJMA)于1958年制订的EJMA膨胀节标准,迄今已修改了10次,对膨胀节技术水平的提高起到了很大的推动作用。波纹管膨胀节现已广泛应用于能源、石油化工、电力、冶金、交通、轻工、医药、热力、军工等行业以及城乡居民生活,对国民经济建设和人民生活起着重要作用。

改革开放以来,我国膨胀节行业发展迅速,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的企业数量为世界之最,已成为膨胀节制造和使用的大国。膨胀节的设计、制造、检验水平和自主创新能力都有了长足的发展,具备了制造各种形式膨胀节的能力。波纹管材料有金属、非金属、黑色金属、有色金属等;承压设备与承压管道波纹管规格从DN50mm到DN12000mm;波纹管壁厚从0.5mm到70mm;成形方法为整体成形。一些大型膨胀节制造厂家已成为国内外的知名企业,标志着我国将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,使我国膨胀节行业技术水平跻身于世界先进之列。

由于膨胀节产品性能的特殊性(既要承压、还要有位移补偿能力)与结构上的特殊性(薄壁壳体结构),这就决定了膨胀节在设计、制造、检验、安装、使用过程中对安全运行的特殊要求。所以,膨胀节列为压力容器、压力管道的主要受压元件,对膨胀节制造企业的制造资质,国家实行行政许可制和产品制造由辖区特检院授权监检出厂。

中国机械工程学会压力容器分会膨胀节委员会成立于1984年。28年来,委员会坚持学术交流,促进企业发展,为我国膨胀节行业的技术进步作出了巨大贡献。委员会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、探讨发展方向,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!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,迄今,委员会已成功主办过11届全国膨胀节学术交流会议:

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器厂承办;

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。

本次会议是第十二届全国膨胀节学术交流会议,由沈阳仪表科学研究院承办,在辽宁省沈阳市召开!

第十二届全国膨胀节学术会议共收到应征论文53篇,根据学会工作程序,于2012年7月18日至20日在河北省秦皇岛市召开了论文评审会,由秦皇岛北方管业有限公司承办。通过会议评审,录用论文52篇,现编辑成册,供会议交流。

由于时间限制,本文集难免有错误与疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2012年9月

目 录

1. 膨胀节常用国际标准和最新研究方向介绍	牛玉华(1)
2. 国外波纹管膨胀节标准介绍	段 玫 哈学基(8)
3. 波纹管膨胀节在水利水电行业的应用与展望	鲍 乐(12)
4. 数值模拟技术在波纹管设计中的应用	何正炎 卢志明 丁 益(23)
5. 膨胀节行业设计工作现状与建议	蔡善祥(31)
6. 最新 EJMA 标准的修订内容介绍及分析	牛玉华 刘 永(36)
7. ASME Code Case 2587 与 2593-1 及其形成过程介绍	王文刚 牛玉华 刘 永(43)
8. 按照 SVTI 704 规范进行 GIS 用膨胀节产品质量管理综述	刘红禹 杨知我 王 涛 丁艳萍 张 军(51)
9. ASME“U”钢印波纹膨胀节的设计验证	陈立苏 撒 砾 魏晓汉(54)
10. 金属波纹管设计、制造和试验相关问题的分析与探讨	黄乃宁 宋林红 丰艳春 李 敏 张秀华(60)
11. 膨胀节样本额定位移的计算、标记和应用	哈学基 段 玫 钟玉平 张道伟(70)
12. 波纹管失稳的机理及计算方法	郭 平(76)
13. 金属波纹管疲劳寿命研究介绍	陈友恒 段 玫(82)
14. 复合型波纹管的寿命分析评估	赵 巍 杨知我 宋林红 丁艳萍 戴 洋(88)
15. 两种膨胀节万向环的等质量承载能力比较	张焕冬 戴凌汉 钱才富 王焕庆 王友刚(94)
16. 外压轴向型补偿器加筋环板有限元应力分析	周 强 李永生(99)
17. 基于单式波纹膨胀节单波当量轴向位移计算方法的分析	孙 礼 李延夫(104)
18. 应用 TRIZ 理论进行波纹管液压成形密封性能的研究	宋林红 黄乃宁 张文良 关长江 张秀华(113)

19. 高炉鼓风机站风机出口管线曲管压力平衡膨胀节变形超标、固定支座失效分析
..... 魏守亮 王庆捷 刘 鹏 鲁 林 郭翔凌(119)
20. 换热器膨胀节试压开裂的原因分析及对策 陈孙艺(125)
21. 制造过程中波纹管波峰开裂失效分析 刘 杰 韩杨扬(130)
22. 导流筒损坏案例分析 马力维(136)
23. 基于形变马氏体测试奥氏体不锈钢波纹管性能实验研究
..... 陈海云 盛水平 邢 路(139)
24. 低温气体管道用膨胀节失效分析 刘 杰 韩杨扬(144)
25. 波纹管内压侧壁鼓胀研究 李 杰 段 玫(151)
26. 某油气管线角向膨胀节失效分析 周命生 范 辉(155)
27. 炼铁管道系统用金属波纹膨胀节腐蚀失效分析与防护
..... 罗仕发 石映飞 黄宏伟 钱 玉 王春月(159)
28. 旋转补偿器的结构及其计算机辅助设计 何锐裕 华 乐(171)
29. 材料延伸率对波纹管成形率的影响 高利霞 沈小斌 蔡善祥(176)
30. 高炉煤气余压发电(TRT)系统配管设计及振动问题的探讨
..... 罗仕发 钱 玉 黄宏伟 石映飞(183)
31. 高炉热风管线补偿器选型及其应力分析计算 李水章 刘鸿林(190)
32. 从失效案例对厚壁膨胀节热处理的探讨 任怀平 李 娜 蔡善祥(196)
33. 在役热风炉热风管道膨胀节失效分析及修复措施
..... 魏守亮 丁迎新 刘 锁 李 宁 马才政(201)
34. 关于火力发电厂干排渣系统非金属膨胀节结构设计的比较 宋志强(207)
35. 发动机排气系统补偿器的设计与制造
..... 张大林 张文良 吴俊林 王宝杰(212)
36. 超大口径波纹管型式检验方案与实践 徐 韦 陆 鸣(218)
37. 船用柴油机波纹管膨胀节波形设计的体会 张雨鑫(222)
38. 机械成形方法制造加强 U 形波纹管的工艺探讨
..... 李 秋 杨知我 丁艳萍 李洪伟 戴 洋(228)
39. 直管压力平衡单向铰链波纹补偿器 贾建平 吴 宏(233)
40. 金属软管的设计和选型计算 华 乐 何锐裕(237)
41. 运动场合用金属波纹软管的设计
..... 魏守亮 赵铁志 鲁 林 王庆捷 刘 鹏(243)
42. 550kV 组合电器用直管压力平衡型波纹补偿器
..... 李松禹 丁艳萍 聂 爽 李洪伟 陈 曦(250)

-
43. 金属软管全焊透结构的优化与比较 陈文学 陈四平(256)
44. 电厂电泵给水泵汽轮机管道改造及柔性设计 孟 延(261)
45. 膨胀节温度场模拟与隔热层设计探讨
..... 李世乾 闫廷来 张小文 杨玉强(268)
46. 基于 ANSYS 的膨胀节接管撑板组件结构优化初探 李 亮 刘化斌(275)
47. 力平衡波纹管补偿器两侧法兰螺栓孔同轴度组对装置及装配方法
..... 王福新 孟繁荣 杜玉玲 王记兵 刘佳宁(282)
48. 特高压(1100kV)GIS 用膨胀节产品质量控制
..... 刘红禹 丰艳春 丁艳萍 王艳云 张军(285)
49. 外压直管压力平衡型膨胀节焊缝检验与控制 齐金祥 陈四平(290)
50. Inconel625 多层异种钢复合波纹管与 A516 Gr. 60 接管的焊接工艺
..... 陈文学 陈四平(297)
51. 低合金高强度钢埋弧焊工艺要点 朱洪明(301)
52. 珠光体耐热钢采用奥氏体焊材焊接与应用 朱洪明(305)

膨胀节常用国际标准和最新研究方向介绍

牛玉华

(南京晨光东螺波纹管有限公司,江苏 南京 211153)

摘 要:膨胀节迄今已有一百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膨胀节标准按压力容器用膨胀节标准和压力管道用膨胀节标准两大类分别进行介绍;并对国际上一致公认的用于安全可靠管道及容器安装中选择和采用金属波纹管膨胀节的技术手册(EJMA 标准)的最新变化及研究方向进行介绍。

关键词:膨胀节;金属波纹管;标准;压力容器;压力管道

Introduction of the Commonly Used International Standards and the Newest Researches of Expansion Joints

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. In many country issued the standards about the design, fabrication, inspection and test. This paper introduces the commonly used international standards of expansion joints for pressure vessels and pressure piping use respectively; and introduces the newest changes and researches of expansion joints in EJMA.

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

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工程公司于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。与此同时,诸多科学家对波纹管进行研究,并取得多项研究成果。其中应用最广泛并成为各国膨胀节标准的基础的研究成果是Anderson的NAA-SR-4527《波纹管应力分析》,Anderson根据梁的理论和图表引入的修正系数提供了各种方程式,建立起了简化方程与壳体行为的关系,采用分析设计的理论,将波纹管的应力分析简化成非常适合工程应用的工程近似法。1955年,一批在使用、设计和制造膨胀节方面富有经验的公司发起成立了美国膨胀节制造商协会(EJMA),1958年由Anderson和Winborne整理完善,Broyles编著而成的第1版EJMA标准发布。该标准中的波纹管计算公式大多来源于Anderson的NAA-SR-4527《波纹管应力分析》。由于受当时应用经验所限,第1版标准比较简单,而且只涉及轴向位移的应用。在随后的几十年大量的研究成果和试验结果被汇集起来后,EJMA标准已经包含了更详细的设计数据,最新版本已是2008年第9版(A2011),2013年将出版第10版。

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相应分为两大类。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,下面将针对两大不同体系分别介绍。

2 国际上常用的现行压力容器用膨胀节标准介绍

2.1 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 2010 版 2011 增补。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 Appendix BB(后几经修改,1992 年 12 月 31 日 ASME 出版了 1992 版的修改版,正式将 Appendix BB 的内容移到 Appendix 26 中,从此该规定成为强制性规定)。ASME 第Ⅷ卷第 1 篇强制性附录 26《波纹膨胀节》对压力容器用无加强 U 形、加强 U 形和 Ω 形膨胀节的设计、制造、检验和试验进行了详细规定。附录 26 的主要计算公式来源于 EJMA 标准,但也有如下主要不同点:

(1) 附录 26 在计算非加强“U”形波纹管的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 要相对保守一些。

(2) 附录 26 提供的非加强“U”形波纹管的平面失稳极限设计压力设计公式比 EJMA 标准的公式要保守。

(3) 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 规范Ⅷ-1 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纹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 规范Ⅷ-2 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,无需再另外考虑安全系数。

ASME 第Ⅷ卷第 1 篇强制性附录 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、检验和试验进行了详细规定,附录 5 没有论述循环载荷情况。

2.2 欧盟压力容器标准对压力容器用膨胀节的规定

欧盟的压力容器法规标准体系是由欧盟指令和欧洲协调标准 EN 两层结构组成,欧洲标准化组织(CEN)负责起草制定与欧盟指令配套的协调标准。其中 EN13445 是压力容器方面的通用主体标准,由总则 EN13445.1、材料 EN13445.2、设计 EN13445.3、制造 EN13445.4、检测和试验 EN13445.5、铸铁压力容器和压力容器部件设计和生产要求 EN13445.6、合格评定程序使用指南 EN13445.7 等 7 部分组成,最新版本为 2009 版。其中设计 EN13445.3 的第 14 章节《波纹管膨胀节》规定了压力容器用无加强 U 形(含波峰或波谷处环焊的 U 形膨胀节)、加强 U 形和 Ω 形膨胀节的设计、制造、检验和试验的技术要求。该标准中关于膨胀节的应力计算部分与最新版的 ASME 第Ⅷ卷第 1 篇强制性附录 26 中的内容基本一致,但欧洲标准化组织(CEN)根据自己研究的经验也增加了一些规定。主要内容如下:

(1) 对波纹管直边无加强部分的长度作了限定。

(2) 明确了适用的材料为铁基材料、奥氏体不锈钢、镍铬铁、镍铁铬合金,并根据欧洲材料标准规定,标准的适用温度范围:奥氏体不锈钢、镍铬铁、镍铁铬合金的设计温度低于 500℃,铁基材料的设计温度

低于 380℃。

(3) 根据欧盟的成形方法提供了三种成形应变的计算公式(含波峰或波谷处环焊的 U 形膨胀节),并针对不同材料给出了允许的最大应变的判断式;对于成形态波纹管材料在设计温度时的等效屈服强度的计算采用了冷作硬化系数的概念,并分别按奥氏体不锈钢和非奥氏体不锈钢提供了相应的计算公式。

(4) 根据欧盟的材料标准,规定了波纹管公称壁厚允许的公差值;规定了波纹管波高的制造公差范围;根据波纹管不同的成形方法、层数、口径,规定了波纹管的无损检测要求。

(5) 与 ASME 规范 VIII-1 附录 26 类似,欧洲标准化组织 CEN 根据疲劳试验数据基于 ASME 规范 VIII-2 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)得出相应的疲劳寿命计算公式,公式适用于奥氏体不锈钢、镍铬铁、镍铁铬合金,按标准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,无需再另外考虑安全系数。同时该标准还提供了铁基材料疲劳寿命的预测计算公式。

2.3 日本压力容器标准对压力容器用膨胀节的规定

日本压力容器法规标准体系是由高压气体保安法、省令告示、JIS B3270 压力容器标准体系三层结构构成。JIS B3270 压力容器标准体系的最大特征是等级分类:第 1 种压力容器(设计压力小于 100MPa)和 ASME 第 VIII 卷第 2 篇相对应;第 2 种压力容器(设计压力小于 30MPa)和 ASME 第 VIII 卷第 1 篇相对应;第 3 种压力容器(设计压力小于 1MPa)是与日本劳动安全卫生法中的《压力容器构造规范》的第 2 种相对应。日本压力容器法规标准体系中 JIS B8277《压力容器的膨胀节》对压力容器用无加强 U 形、加强 U 形和 Ω 形膨胀节的设计、制造、检验和试验进行了详细规定,除此之外,该标准还包含了与 ASME 第 VIII 卷第 1 篇强制性附录 5《兼有外内侧或仅有外侧翻边的膨胀节》相对应地内容,对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、检验和试验进行了详细规定,最新版为 2008 版。JIS B8277《压力容器的膨胀节》根据本国的经验,针对波纹管与筒节的各种形式的连接下对波纹管直边无加强部分的长度、波纹管直边加强部分的长度、连接部位筒节过渡段的尺寸按内压和外压两种情况作了详细限定。除此之外,JIS B8277《压力容器的膨胀节》中的其他有关应力计算和疲劳寿命计算的内容与 2004 版 ASME 第 VIII 卷第 1 篇的相应内容一致。

3 国际上常用的现行压力管道用膨胀节标准介绍

3.1 美国压力管道标准对压力管道用膨胀节的规定

美国联邦法规和各州法规所引用的压力管道标准主要有美国国家标准化组织(ANSI)、美国机械工程师协会(ASME)、美国石油协会(API)、美国腐蚀工程师协会(NACE)等组织颁布的标准。在此标准体系中,以 ASME、API 压力管道为主。ASME B31.3 是被全球普遍接受的工艺管道规范,也是 ISO 工艺管道标准的基础标准。该标准是压力管道领域内用途最广泛、体系最完整的基础标准,也代表了该领域内压力管道的要求。

1988 年,ASME B31.3 委员会把包含有金属波纹管膨胀节要求的附录 X 加入到了“化工厂与炼油厂管道规范”中,在其后的几年内附录 X 经历了多次重大修订。ASME B31.3 附录 X《金属波纹管膨胀节》规定了波纹管式膨胀节的设计、制造、安装要求和需考虑的事项。作为对 EJMA 标准的补充,该标准的设计要求依赖并与 EJMA 保持一致,现最新版本为 2010 版。ASME B31.3 附录 X 与 EJMA 标准的主要差别是疲劳寿命计算,具体如下:

(1) 对于非成形态无加强波纹管的疲劳寿命的确定,ASME B31.3 规范委员会采用了 EJMA 的波纹管疲劳试验基本数据,并对基本数据进行分析,将其中一些认为有可能失真的数据去除,再为这些比较可靠的数据绘制最佳拟合疲劳曲线,将该最佳拟合疲劳曲线向下调至疲劳数据点下界,最后应用 ASME 规范 VIII-2 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(用循环次数系数 2.6 控制低于 40000 周次,应力系数 1.25 控制高于 40000 周次)。

(2) 对于非成形态加强型波纹管的疲劳寿命曲线,ASME B31.3 规范委员会采用了特殊的处理方法,

不采用加强型波纹管的疲劳试验数据的最佳拟合疲劳曲线,而是将无加强型波纹管的疲劳试验数据的最佳拟合疲劳曲线用于加强型波纹管,然后用一个应力系数将无加强型波纹管的疲劳试验数据的最佳拟合疲劳曲线移位,直到它以加强型波纹管的疲劳试验数据为下界,最后把最小安全系数加到该曲线上绘制设计疲劳曲线(用循环次数系数 2.6 控制低于 40000 周次,应力系数 1.25 控制高于 40000 周次),表示成形态奥氏体不锈钢加强型波纹管的疲劳试验数据、下界疲劳曲线及最后所得到的设计疲劳曲线。

(3)由于 EJMA 标准中用于建立疲劳曲线的所有疲劳数据都来自成形(不经热处理)的奥氏体不锈钢波形膨胀节的试验。但由于规范并不禁止使用其他合金材料,在工程建造中如 Inconel625 等其他合金材料是相当普遍的。由于这些特殊合金的波形膨胀节疲劳数据不足,ASME B31.3 附录 X 参考 ASME 第Ⅷ卷第 2 篇的附录 6 规定了建立其他合金材料疲劳曲线的规则。

3.2 ISO15348 介绍

ISO15348《管道工程·金属波纹管膨胀节总则》是国际标准化组织 ISO/TC5 金属管及管件技术委员会——柔性金属软管和膨胀节分会 SC11 编制的标准。该标准为金属膨胀节的基础标准,规定了金属波纹管膨胀节的设计、制造、控制和型式试验的术语和总则,2002 年 4 月 1 日发布第 1 版。该标准分 12 个章节及 A~G 共 7 个规范性附录,主要内容为:

- (1)标准规定了膨胀节的术语和定义、根据膨胀节吸收位移的特点将膨胀节分为四大类型。
- (2)对膨胀节的选材及膨胀节的尺寸和公差进行了原则性的规定。
- (3)对膨胀节的设计、制造、检验和试验进行了原则性的规定。
- (4)对膨胀节的型式试验的方法、试验项目、试验数量和参数进行了原则性的规定。
- (5)对每个膨胀节的标志内容进行了最低要求的规定。

3.3 欧盟压力管道标准对压力管道用膨胀节的规定

3.3.1 EN13480—3 附录 C 介绍

欧盟于 2002 年正式颁布了压力管道标准 EN13480《金属工业管道》。该标准满足欧盟的承压设备指令 97/23/EC 的基本要求。欧盟成员国的内部章程规定了 EN13480 可原封不动地作为欧盟各国的压力管道国家标准,目前最新版为 2002 版 A1:2005。EN13480《金属工业管道》分 7 个独立的部分,EN13480—1:总则、EN13480—2:材料、EN13480—3:设计和计算、EN13480—4:制造和安装、EN13480—5:检验和试验、EN13480—6:埋地管的补充要求、CEN/TR EN13480—7:一致性评估程序使用指南。其中 EN13480—3 中 6.5 柔性管道元件部分规定了膨胀节的设计和设置按附录 C 执行。EN13480—3 附录 C《膨胀节》为资料性附录,其主要内容如下:

- (1)按 ISO15348 标准规定根据膨胀节吸收位移的特点将膨胀节分为四大类型。
- (2)对膨胀节的设置及相应的固定支架、导向支架的设置原则进行了规定;对带膨胀节管系的分析和计算时各类膨胀节的建模特点进行了原则性的规定;对冷紧的概念进行了描述。
- (3)标准专门提供了带吸收轴向位移无约束膨胀节直管段导向支架最大允许间距的推荐值的计算公式,分别考虑了两端铰支、一端铰支一端导向、两端导向三种端部约束的情况。
- (4)波纹管的计算按 EN13445.3 的第 14 章节的有关规定执行,由于 EN13445.3 的第 14 章节只涉及单式波纹管膨胀节的计算,EN13480—3 附录 C 补充了复式波纹管膨胀节的位移、力和力矩的计算。

3.3.2 EN14917 介绍

EN14917《压力应用金属波纹膨胀节》是由欧洲标准化组织 CEN 下属的英国标准协会 BSI 编制的标准,该标准同样满足欧盟的承压设备指令 97/23/EC 的基本要求,该标准已在欧盟成员国得到广泛的应用。该标准规定了压力应用下(即最大许用压力大于 0.5bar)无加强 U 形(带环焊的 U 形膨胀节)、加强 U 形和 Ω 形金属波纹管膨胀节的设计、制造和安装。该标准是一个独立的金属膨胀节标准,它既可用于压力管道用膨胀节,也可适用于压力容器膨胀节。由 10 个章节和 A~J10 个附录及附录 ZA《本标准与欧盟承压设备指令 97/23/EC 的基本要求的相互关系》构成,最新版为 2009 版。主要内容如下:

- (1)根据 ISO15348 标准规定,按膨胀节吸收位移的特点将膨胀节分为四大类型。

(2) 波纹管的基础计算公式来自 1998 第 7 版 EJMA。

(3) 标准引用了 EN13480-3 附录 C 中一些欧盟的研究成果,在此基础上又增加了一些不同的内容,如疲劳寿命计算公式、波纹管工作刚度的计算、 Ω 形金属波纹管套箍有效长度和面积计算、内衬筒的计算(此部分内容被 EJMA2011A 引用)等。

(4) 将膨胀节的部件按重要性分成 A、B、C、D 四类,并对所有永久连接焊缝进行分类,按不同分类提出不同的要求。在附录 A 中按欧盟承压设备指令 97/23/EC 的基本要求分别按压力容器用膨胀节、压力管道用膨胀节将膨胀节进行分类。

(5) 对膨胀节在压力管道和压力容器系统中的应用及带膨胀节的管道系统的计算方法进行了介绍。

(6) 提供了建立新的设计疲劳曲线的程序等。

3.4 日本压力管道标准对压力管道用膨胀节的规定

JIS B2352-2005《波纹管膨胀节》是由日本配管技术研究协会(JSPE)和日本规格协会(JSA)共同参照国际标准 ISO15348 标准的框架、根据日本的国情编制而成,经日本工业标准协会审议后用于取代 JIS B2352-1994《波纹管膨胀节》。该标准分 13 个章节、附录 A~D4 个规范的附录和附录 1~5 共 5 个资料性附录。该标准仅规定了无加强 U 形、加强 U 形金属波纹管膨胀节的设计、制造和安装要求。主要内容如下:

(1) 按 ISO15348 标准规定,根据膨胀节吸收位移的特点将膨胀节分为四大类型。

(2) 资料性附录 2 提供了两种无加强 U 形、加强 U 形金属波纹管的强度计算方法:第一种方法引用 ASME B31.3 附录 X 的相关内容,提供了与之相同的波纹管强度和疲劳寿命计算公式。第二种方法为 Kellogg 公式。

(3) 资料性附录 3 提供了波纹管膨胀节设置规定,与 EJMA 的规定基本相同。

4 现阶段膨胀节研究方向介绍

4.1 美国膨胀节协会及其标准介绍

EJMA 标准为用于安全可靠管道及容器安装中选择和采用金属波纹管膨胀节的技术手册,包含了膨胀节的使用介绍以及用户在设计膨胀节产品时的详细技术信息,是一部商业协会文件,不是制造标准或质量保证文件。要确定对产品进行无损检测的形式以及质量保证试验的程度需应用其他的一些标准。EJMA 成员目前共 14 家,意大利 2 家、法国 1 家、德国 1 家、英国 1 家、中国 1 家、美国 8 家。EJMA 协会会员应指派一名会员代表以及一名技术委员会代表,每年代表要参加两次行政会议和两次技术委员会会议,这是会员的基本义务。行政会议和技术会议分别在上半年 4 月份和下半年 10 月在同一周内举行。技术委员会负责修订标准,在每次技术会议上,技术委员会委员将讨论有关提案,并对已完成的提案进行表决,通过表决的提案将列入 EJMA 标准的修订、增补或换版中。

4.2 EJMA 标准最新修改介绍

EJMA 标准 2008 年发布了第 9 版。第 9 版从排版到内容作了较大的调整和修订。2009 年 7 月出版了 2009 勘误,修订了几个公式上的错误;2010 年 12 月出版了 2010 勘误,有两个对波纹管设计有影响的修改;2011 年 8 月出版了 2011 增补,2011 增补有较大的修改和补充。2012 年 EJMA 出版中文版,EJMA 标准将同时拥有中英文版本,中文版和英文版的 EJMA 标准的销售已授权我国的 ASME 协作网做代理。

4.2.1 EJMA-2009 标准勘误中修订的主要内容介绍

EJMA-2009 标准勘误中有三个公式的修订涉及波纹管的设计计算,主要内容为:

(1) 万能式膨胀节具有一端角位移时,计算横向力的修正系数 K_{uv} 定义的修订。

(2) 三铰链管系角位移的计算公式的修订。

(3) 矩形波纹管轴向刚度的理论值计算公式的修订。

4.2.2 EJMA 标准 2010 勘误中修订的主要内容介绍

EJMA 标准 2010 勘误中也有三个部分的内容修订值得关注,主要内容为:

- (1)波高系数 C_r 的修订。
- (2)表 I1 系数 C_p 修订。
- (3)附录 J 中例 9 内容的修订。

4.2.3 EJMA—2011 增补中修订和增加的主要内容介绍

EJMA—2011 标准增补中修订和增加的主要内容:

- (1)基于初始角位移的柱状失稳压力降低系数 C_0 的修改。
- (2) Ω 形波纹管的设计公式修改。
- (3)波纹管形状公差定义。
- (4)增加了承力结构件力和力矩的计算。
- (5)内衬筒计算的修改。
- (6)波纹管设计计算公式的其他补充。

4.2.4 EJMA 技术委员会正在研究的项目介绍

EJMA 技术委员会针对实际遇到的问题,正在着手多个问题的研究,主要研究项目如下:

- (1)多层波纹管的强度、刚度、疲劳寿命的研究,目前已有初步的研究成果,但未形成最终结果。
- (2)退火态波纹管、常用特殊合金材料如 Inconel625、Incoloy800、Incoloy825 等疲劳曲线的建立试验和研究。该项工作通过 EJMA 技术委员会成员的共同努力,已基本形成结论,研究成果将在 2013 年的第 10 版中发布。
- (3)加强型波纹管强度、刚度、疲劳寿命计算的另一种方法研究,目前已有初步的研究成果,但未形成最终结果。
- (4)工作刚度计算的研究,目前已有初步的研究成果,但还存在争议,需要进一步研究。
- (5)波纹管成形方式对 t_p 计算公式的影响研究,正在研究过程中。
- (6)负压下 Ω 波纹管的稳定性计算研究,目前已有初步的研究成果,但还需要 EJMA 技术委员会成员讨论后确定。
- (7)公制版本 EJMA 标准出版形式的研究等,正在进行中。

5 结 论

膨胀节的标准也在不断地更新和发展,常规的膨胀节计算趋于成熟。但随着世界经济的发展,新的领域的开发,膨胀节向大口径、耐高温、耐高压、耐腐蚀等方向发展,也相应带来许多问题,需要对波纹管进一步研究。从以上各国标准介绍可以看到,EJMA 标准是各国标准编制的基础;也可以看到,目前包含较多本国自己研究的膨胀节成果的国际标准主要是美国和欧盟标准。目前,EJMA 协会与 ASME B31.3 技术委员会、ASME 锅炉与压力容器协会、欧洲标准化组织(CEN)相互之间保持着密切联系,共享研究成果,未来各国标准将出现趋同趋势。

参考文献

- [1] Standards of the Expansion Joint Manufacturers Association[S], 9th 2008(A2011).
- [2] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII Rules for Construction. Division1[S], 2010ED/A2011.
- [3] ASME Code B31.3. Process Piping[S]. 2010ED.
- [4] BS EN13445—3:2009—07 Unfired pressure vessels—Part 3: Design[S].
- [5] EN 13480—3:2002 Metallic industrial piping—Design and calculation[S].
- [6] BS EN 14917:2009 Metal bellows expansion joints for pressure applications[S].

- [7] ISO 15348:2002 Pipework—Metal bellows expansion joints—General[S].
- [8] JIS B 8277:2008 Expansion Joint for Pressure Vessels[S].
- [9] JIS B2352:2005 Bellows type expansion joints[S].
- [10] C. Becht IV, Process Piping. The complete guide to ASME B31.3[M]. ASME Press. 2005.

作者简介

牛玉华,(1966—),女,工程硕士,研究员级高级工程师,总工程师。长期在南京晨光东螺波纹管有限公司从事波纹膨胀节及压力管道的设计、研究工作。通讯地址:南京晨光东螺波纹管有限公司,邮编:211153。联系方式:电话:025—52826503 手机:13851934980

Email:niuyh@aerosun-tola.com

国外波纹管膨胀节标准介绍

段 玫 哈学基

(洛阳双瑞特种装备有限公司, 河南 洛阳 471000)

摘 要: 本文对收集到的 8 个国外标准中涉及圆形波纹管膨胀节的设计、制造、检验验收、性能试验及选型应用部分的内容加以介绍, 并对各标准中有特色的内容进行了简单的分析。

关键词: 标准; 波纹管; 设计; 制造; 试验

Introduction to the Progress of Foreign Standard of Bellow Expansion Joints

Duan Mei Ha Xueji

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

Abstract: In this work, some contents in the 8 foreign standards that involved with design, manufacturing, inspection and acceptance, performance test and type selection and application of round bellow expansion joints have been introduced, and brief analysis is undertaken for the unique contents in these standards.

Keywords: Standard; Bellow; Design; Manufacture; Test

1 前 言

现将近年来收集到的国外标准中涉及圆形波纹管膨胀节的设计、制造、检验验收、性能试验及选型应用部分的内容加以分析介绍, 以期对国内波纹管膨胀节的发展有所帮助。涉及标准有:

EJMA-2008(以下简称 EJMA)、ASME-2010 附录 26(以下简称 ASME 附录 26)、ASME B31.3-2010 附录 X(以下简称 ASME B31.3)、BS6129-1981(以下简称 BS6129)、ISO15348-2002(以下简称 ISO15348)、ГОСТ27036-86(以下简称 ГОСТ27036)、ГОСТ28697-92(以下简称 ГОСТ28697)等标准。

上述标准中, EJMA 涵盖了波纹管膨胀节的设计、制造、检验、性能试验及膨胀节的选型与应用的内容, 最为全面。在波纹管膨胀节的设计中, 对波纹管单波位移量的计算, 膨胀节作用于管道、支架或设备上的力和力矩给出了详细的计算方法和算例; 在波纹管的设计中, 给出了压力载荷和位移载荷引起的应力的计算方法和评定依据。在波纹管的制造和质量保证规定中, 给出了 7 种波纹管成形方法和波纹管膨胀节制造质量控制规程。在波纹管膨胀节的检测和试验中, 对多种无损检测方法 & 波纹管膨胀节的试验方法及要求给出了具体规定; 尤其是关于波纹管疲劳试验和高温疲劳试验对试验件波形参数、试验条件给出了具体要求。EJMA 标准还对膨胀节的选型与应用、安装波纹管膨胀节管系的安全建议、装运与安装提出了具体的要求。

ASME 附录 26 的内容涉及波纹管的设计、波纹管膨胀节的制造及检验、出厂压力试验等。该标准关于波纹管的设计基本与 EJMA 相同, 仅压力应力的评定和波纹管寿命的计算有所不同。在膨胀节的制造中, 仅对焊接接头提出了要求。在检测和出厂试验中, 对波纹管表面和渗透探伤及出厂压力试验提出要求。

ASME B31.3 关于波纹管的设计完全遵循 EJMA 的要求,但在 X302.1.3 疲劳分析中,对不是奥氏体成形态的波纹管(超出 EJMA 疲劳曲线界定的范围),给出了疲劳寿命的预计方法。BS6129 对波纹管的选材、膨胀节的安装应用注意事项给出了详细的规定。

ISO15348 为管道工程用波纹管膨胀节通用规范。该标准主要对圆形波纹管膨胀节设计、制造、控制和型式试验要求进行了规定。其中对形式试验给出了较为明确的要求。

ГОСТ27036 为一产品标准,除对多种结构形式补偿器的主要参数和尺寸给出了具体的规定,还对补偿器的减振特性、疲劳性能、密封性能及安全性提出了具体要求。

ГОСТ28697 是试验方法标准,对轴向型、铰链型、柔性杆型补偿器的各种性能试验方法和评定标准给出了明确要求。

2 国外标准介绍

2.1 波纹管膨胀节设计

2.1.1 波纹管设计

在上述标准中,涉及波纹管设计的仅有 EJMA 和 ASME 附录 26。二者的主要差别见表 1。由表 1 可以看出,ASME 附录 26 设计公式基本与 EJMA 相同。EJMA 在波纹管柱稳定性和平面稳定性的设计中均考虑了变形对波纹管稳定性的影响,关于波纹管稳定性的评定考虑的因素更全面;ASME 附录 26 关于波纹管许用循环次数考虑的影响因素更多。

表 1 EJMA 与 ASME 附录 26 关于波纹管设计的主要差别

序号	内容	EJMA	ASME 附录 26
1	材料强度系数	$C_m = 1.5$ (热处理态), $C_m = 1.5Y_{sm}$ (成形态), $1 \leq C_m \leq 2$	$C_m = 1.5$ (热处理态), $C_m = 3.0$ (成形态)
2	波纹管周向压力应力	S_2	S_{21}, S_{2E}
3	波形尺寸	无	$r_i \geq 3t, w \leq D_b/3$
4	疲劳设计	无加强 U 形平均疲劳寿命 $N_c = \left(\frac{12820}{\sigma_t - 370} \right)^{3.4}$	无加强 U 形许用循环次数, $N_{alw} = \left[\frac{K_o}{K_g \frac{E_o}{E_b} S_t - S_o} \right]^2$ $K_g \frac{E_o}{E_b} S_t \geq 480 \text{ MPa}$ 时, $K_o = 35850, S_o = 264$; $K_g \frac{E_o}{E_b} S_t < 480 \text{ MPa}$ 时, $K_o = 46200, S_o = 211$; $K_g \frac{E_o}{E_b} S_t < 257.2 \text{ MPa}$, $N_{alw} = 10^6$ 次
5	柱稳定性	$p_{sc} = \frac{0.34\pi f_{iu} C_\theta}{N^2 q}$	$p_{sc} = \frac{0.34\pi k_b}{Nq}$
6	平面内稳定性	$p_{si} = \frac{1.3A_c S_y}{K_r D_m q \sqrt{\alpha}}$	$p_{si} = \frac{(\pi - 2) A S_y}{D_m q \sqrt{\alpha}}$
7	轴向位移对 e_y, F_y, M_y 的影响	$\pm x$, 拉伸为+, 压缩为-	$+x$
8	最大单波位移量	与几何尺寸相关	/