


膨胀节安全应用指南（上册）

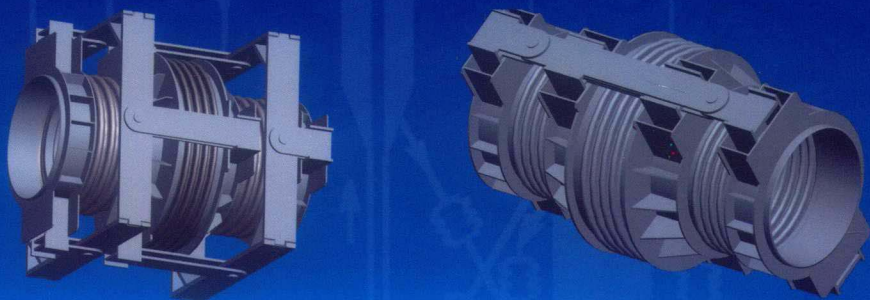
中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会 组编


段 玫 胡 毅 主编

广告

 七二五所双瑞特装

国内领先、国际一流的管道安全装备
研发、制造基地



 机械工业出版社
China Machine Press



膨胀节安全应用指南（上册）

中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会 组编

段 玫 胡 毅 主编



 **机械工业出版社**
China Machine Press

本书分为上下册,共4篇。上册包含第1篇,介绍圆形金属波纹管膨胀节的类型及功能、设计制造、选型应用及失效模式。下册包含第2~4篇,介绍填料密封膨胀节(补偿器)、非金属膨胀节及其他金属膨胀节的设计、选材、制造、质量控制、性能试验、选型和应用。

本书从膨胀节安全应用入手,对膨胀节选材、设计、制造及质量控制、性能试验、选型应用、安装使用等内容与安全应用的关系进行了分析,对各阶段易出现的问题给出了应对措施,可作为膨胀节从业人员、管系及设备设计人员及膨胀节用户的设计应用参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

膨胀节安全应用指南:全2册/段玫,胡毅主编;
中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会组编. —
北京:机械工业出版社,2017.10
ISBN 978-7-111-58059-1

I. ①膨… II. ①段…②胡…③中… III. ①波纹管
安全技术-指南 IV. ①TH703.2-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第231232号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:任智慧 王良 责任校对:李伟

北京宝昌彩色印刷有限公司印制

2017年10月第1版第1次印刷

170mm×242mm•27.75印张•4插页•440千字

标准书号:ISBN 978-7-111-58059-1

定价:180.00元(上、下册)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

年鉴网:<http://www.cmiy.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)68326643

封面无机械工业出版社专用防伪标均为盗版

膨胀节安全应用指南

编辑委员会

- 主任** 孙 鹤 南京晨光东螺波纹管有限公司董事长、
中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会
第五届理事会理事长
- 副主任** 刘玉彬 北京兴达波纹管有限公司董事长、
中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会
第六届理事会理事长
- 王国玉 中船重工集团第七二五研究所党委书记、
中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会
副理事长
- 刘 杰 沈阳晨光弗泰波纹管有限公司总经理助理、
中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会
副理事长
- 马力维 上海永鑫波纹管有限公司总工程师、
中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会
副理事长
- 陈广斌 秦皇岛市泰德管业科技有限公司董事长、
中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会
副理事长
- 何 正 中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会
秘书长

委 员 (按姓氏笔画排序)

- 王 军 北京兴达波纹管有限公司总经理
- 牛玉华 南京晨光东螺波纹管有限公司总工程师
- 吴 虹 中国特种设备检验研究院研究员
- 陈四平 秦皇岛市泰德管业科技有限公司副总经理
- 胡 毅 中国航天科工集团航天晨光股份有限公司研究院院长
- 钟玉平 洛阳双瑞特种装备有限公司副总经理
- 段 枚 中船重工集团第七二五研究所研究员
- 洪 亮 江苏贝特管件有限公司董事长
- 郭德军 大连益多管道有限公司董事长

膨胀节安全应用指南

撰稿人、审稿人

主 编 段 玫 胡 毅

撰 稿 人 (排名不分先后)

上册 陈立苏 李延夫 徐小龙 吴 虹 钟玉平

张爱琴 张道伟 姜雪桦

下册 藺百锋 洪 亮 王友刚 朱少华 马力维

陈四平 黄玉兵 刘 杰 吴建伏

主 审 李建国 李永生 吴 虹


序言

膨胀节是管道、设备系统中用于位移补偿、减振的挠性元件，由于其具有补偿能力强、结构紧凑、占地少、安全可靠等优点，广泛应用于炼油、化工、城镇供热、电力、冶金、船舶、核电、航空航天等领域，为管道与设备的安全运行提供了保障。随着国民经济的快速发展，膨胀节的应用领域日益广泛，因其不当选型、设计与安装等原因引发的失效事故时有发生，对管系与设备的安全运行造成了一定的影响。

中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会（以下简称膨胀节分会）十分关注膨胀节的安全应用，为了提高全国膨胀节的安全应用水平，组织膨胀节分会专家撰写了《膨胀节安全应用指南》，分别对圆形金属波纹管膨胀节和其他类型的膨胀节的安全应用从选材、设计、制造、质量控制与选型应用等方面提出要求。该书凝聚了膨胀节行业相关专家的智慧 and 心血，体现了较高的研究、应用水平。

该书分上、下两册。上册对圆形金属波纹管膨胀节从波纹管选材、波纹管膨胀节设计、制造及质量控制、性能试验、选型应用、安装使用、失效案例及解决方案、波纹管膨胀节制造许可流程及相关问题等方面，全面阐述了圆形金属波纹管膨胀节在各阶段易出现的问题及相应的解决方案。下册包括填料密封膨胀节、非金属膨胀节和其他类型膨胀节，书中对各种类型膨胀节的产品特点及应用领域、结构设计、选型应用及布置方法、质量控制、安装使用注意事项、失效案例及解决方案等方面进行了详细的阐述。

《膨胀节安全应用指南》总结了近年来我国在膨胀节安全应用方面的经验教训，深入浅出地阐明了膨胀节在设计、制造、安装和使用过程中易出现的问题及解决方法，具有较强的实用性，不仅可以作为膨胀节设计、制造、管理人员的参考书，还可以作为相关系统设计人员、用户选用膨胀节的参考资料。相信该书的出版将对我国膨胀节的安全应用、为膨胀节的进一步推广使用起到重要的推动和促进作用。



2017年9月6日

前言

膨胀节（补偿器）的发展史可以上溯到百年以前的1885年，法国人勒瓦尔（Levavssewr）和威兹曼（Witzenmann）在巴黎附近吕埃尔（Ruevl）地区德戎歇尔（Jonchere）工厂试制成功了“互相连和压连接的金属管”，世界第一次出现了柔性金属管。此后三十年间各种缠绕式金属软管得到发展。这种柔性金属管不是补偿器所用的波纹管，但金属材料经特殊加工和几何形状变化可以成为柔性管的理论与实践为波纹管的诞生奠定了基础。1952年采用不锈钢材料制作的单层和双层波纹管获得成功，开始应用于管道补偿，波纹管及补偿器的发展步入通途。1955年美国膨胀节制造商协会（EJMA）成立。1958年该协会技术委员会制订了第一个EJMA标准。

我国膨胀节研制始于20世纪50年代，几乎与日本同时起步。应用研究最早的是仪表行业，50年代将波纹管（Bellows）称为膜盒作为敏感元件或弹性密封元件用在仪器仪表、特殊阀门和压力调节器上。50年代末60年代初，为满足我国航天事业发展的需要，国防部五院一分院等单位研制成功了管道用膨胀节。70年代末80年代初，随着国家工业现代化建设的迅速发展，改革开放政策的不断深入，许多重大引进项目工程中的现代化柔性管道系统工程强烈冲击着我国传统的管道系统工程设计，各行业领域有代表性的设计院加速了现代化柔性管道系统工程设计的技术进步。与此相适应，我国膨胀节行业开始了迅猛发展。在理论研究、应用技术、结构形式、工业生产能力等方面，我国波纹补偿器主要骨干企业已经完全具备了与国外知名企业竞争的

能力。1994年以补偿器企业为主吸收相关高等院校和设计研究院所有关专家组建了中国石油化工设备工业协会膨胀节专业委员会，并成立了专家小组，汇集了我国膨胀节基础理论、应用技术开发的专家，为推动我国膨胀节行业发展做出了贡献。

波纹管膨胀节由于具有良好的柔性、灵活的补偿方式、紧凑的结构得到日益广泛的应用。随着使用年限的增加和工作条件的日趋苛刻，波纹管膨胀节在使用过程中时有失效发生，使用户心存疑虑。为了避免使用波纹管膨胀节，甚至采用四五十年前的 Π 形补偿方式，不仅造成管系流阻增加、占地面积增加，还使得管系变形应力大幅增加，尤其是在管系的弯头处，局部应力很高，存在开裂的风险，增加了系统不安全因素。事实上当波纹管选材合理、强度裕量适中、质量控制全面、安装使用符合要求时，波纹管膨胀节的使用寿命甚至能与管系寿命相当。但波纹管毕竟是薄壁管件，不仅承受系统的压力，还要承受很高的位移应力，对其选材、设计、制造、质量控制等方面均提出较高的要求。如波纹管选材不当可能会引起腐蚀失效；在波纹管设计方面，由于对标准规定理解不够准确，或波纹管过大（过小）与设计公式简化模型有一定差异等原因，将使波纹管承压能力不足，产生过变形、失稳等现象，导致波纹管失效；在制造过程中当质量控制不平时，成品波纹管波形参数与设计值有较大差异，会导致波纹管实际工作能力与设计能力的不符，产生过变形、失稳等引起的失效。

本书从波纹管膨胀节安全应用入手，对波纹管选材、设计、制造

及质量控制、性能试验、选型应用、安装使用等内容与安全应用的关系进行了分析，对各阶段易出现的问题给出了应对措施，可作为膨胀节从业人员、管系及设备设计人员及膨胀节用户的设计应用参考资料。希望本书的出版，有助于我国膨胀节的安全应用，使膨胀节进一步在工业与民用建设项目中发挥更好的作用。

本书由中船重工第七二五研究所洛阳双瑞特种装备有限公司段玫研究员和航天晨光股份有限公司胡毅研究员担任主编，段玫研究员负责上册的统稿工作，胡毅研究员负责下册的统稿工作。本书上册共分10章，其中第1章、第2章、第3章、第4章、第6章、第7章由中船重工第七二五研究所洛阳双瑞特种装备有限公司段玫研究员撰写，第5章、第8章由南京晨光东螺波纹管有限公司陈立苏高级工程师撰写，第9章由国家仪器仪表元器件质量监督检验中心李延夫教授级高级工程师和中国石化工程建设有限公司徐小龙高级工程师撰写，第10章由中国特种设备检测研究院吴虹研究员撰写，附录由中国石化工程建设有限公司徐小龙高级工程师撰写。中船重工第七二五研究所洛阳双瑞特种装备有限公司钟玉平研究员参与第1章、第2章、第3章、第4章、第6章的撰写，中船重工第七二五研究所洛阳双瑞特种装备有限公司张爱琴研究员参与第1章、第2章的撰写，南京晨光东螺波纹管有限公司陈立苏高级工程师、中船重工第七二五研究所洛阳双瑞特种装备有限公司张道伟高级工程师参与第2章的撰写，中船重工第七二五研究所洛阳双瑞特种装备有限公司姜雪桦研究员参与第

6章、第7章的撰写。本书上册由中国石化工程建设有限公司李建国高级工程师、南京工业大学李永生教授主审。

本书的编写得到了中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会专家组的支持和帮助，在此表示诚挚的谢意！

由于作者水平有限，书中不当之处敬请同行专家和广大读者不吝赐教。

中国石油和石油化工设备工业协会膨胀节分会

2017年3月

目录 CONTENTS

序言

前言

上册

第1篇 圆形金属波纹管膨胀节

第1章 综述	2
1.1 金属波纹管膨胀节的作用	2
1.2 金属波纹管膨胀节的特点	3
1.3 金属波纹管膨胀节的安全应用	3
第2章 波纹管的选材	7
2.1 波纹管选材的基本要求	7
2.2 波纹管常用材料	7
2.3 常用波纹管材料性能	8
2.4 不同工况条件波纹管选材建议	13
参考文献	19
第3章 膨胀节的类型及功能	21
3.1 膨胀节的分类	21
3.2 非约束型膨胀节及其功能	21
3.3 约束型膨胀节及其功能	23
第4章 波纹管膨胀节的设计	30
4.1 概述	30
4.2 国内外波纹管膨胀节设计标准简介	31
4.3 波纹管膨胀节设计条件的确定	33
4.4 符号	35
4.5 波纹管设计的限制条件	43
4.6 无加强U形波纹管的设计	46
4.7 加强U形波纹管的设计	55

4.8	Ω 形波纹管的设计	62
4.9	波纹管疲劳寿命、位移量与安全应用	66
4.10	波纹管高温疲劳设计方法简介	74
4.11	膨胀节的设计	76
4.12	膨胀节受力结构件的设计	77
	参考文献	78
第 5 章	波纹管膨胀节的制造及质量控制	80
5.1	概述	80
5.2	波纹管成形方法	80
5.3	波纹管加工的质量控制	85
5.4	膨胀节总成的质量控制	87
第 6 章	波纹管膨胀节的性能试验	89
6.1	总述	89
6.2	出厂压力试验	89
6.3	疲劳试验	91
6.4	稳定性试验	92
6.5	刚度试验	94
第 7 章	膨胀节的选型应用	96
7.1	概述	96
7.2	无约束型膨胀节的应用	99
7.3	约束型膨胀节的应用	102
7.4	典型独立膨胀管段膨胀节的选用、布置和受力 计算	103
第 8 章	膨胀节安装使用注意事项	124
8.1	安装	124
8.2	安装完毕后系统试压前的检查	125
8.3	系统试压期间及试压完毕的检查	125
8.4	安装、清洗、试压等注意事项	126
8.5	使用期间的定期检查	126
8.6	使用期间波纹管膨胀节损坏的处置	127
第 9 章	波纹管膨胀节失效案例	128
9.1	几种常见的失效模式	128

9.2	城市管网用波纹管膨胀节失效案例·····	132
9.3	石化领域用波纹管膨胀节失效案例·····	143
9.4	冶金领域用波纹管膨胀节失效案例·····	156
9.5	其他领域用波纹管膨胀节失效案例·····	170
9.6	生产环节的波纹管膨胀节失效案例·····	181
	参考文献·····	188
第10章	波纹管膨胀节制造许可流程及相关工作·····	190
10.1	压力管道元件(波纹管膨胀节)制造许可工作·····	190
10.2	压力管道元件(波纹管膨胀节)制造许可办理流程及 工作内容·····	194
10.3	压力管道元件(波纹管膨胀节)制造许可资源条件 要求·····	201
10.4	压力管道元件(波纹管膨胀节)制造许可质量保证 体系要求·····	203
10.5	压力管道元件(波纹管膨胀节)制造许可产品质量 安全检查要求·····	212

附 录

附录	常用金属材料数据·····	216
-----------	----------------------	------------

下 册

第2篇 填料密封膨胀节(补偿器)

第11章	旋转补偿器·····	221
11.1	概述·····	221
11.2	旋转补偿器的设计·····	223
11.3	选型应用及布置方法·····	228
11.4	制造及质量控制·····	234
11.5	安装使用注意事项·····	237
11.6	失效案例及解决方案·····	238
第12章	套筒补偿器·····	241
12.1	概述·····	241

12.2	套筒补偿器的设计	246
12.3	选型应用及布置方法	251
12.4	制造及质量控制	254
12.5	安装使用注意事项	255
第13章	球形补偿器	257
13.1	概述	257
13.2	球形补偿器的设计	263
13.3	选型应用及布置方法	266
13.4	制造及质量控制	272
13.5	安装使用注意事项	275
	参考文献	276

第3篇 非金属膨胀节

第14章	织物膨胀节	279
14.1	概述	279
14.2	设计	284
14.3	选型应用	288
14.4	制造及质量控制	289
14.5	安装使用注意事项	291
14.6	失效案例及解决方案	296
第15章	橡胶膨胀节	301
15.1	概述	301
15.2	设计	308
15.3	选型应用	313
15.4	制造及质量控制	313
15.5	性能试验	317
15.6	安装使用注意事项	320
15.7	失效案例及解决方案	322
第16章	聚四氟乙烯膨胀节	325
16.1	概述	325
16.2	设计	328
16.3	选型应用及布置方法	328
16.4	制造及质量控制	328

16.5	安装使用注意事项	330
16.6	失效案例	331

第4篇 其他金属膨胀节

第17章	精密金属波纹管	335
17.1	概述	335
17.2	精密金属波纹管的分类	335
17.3	精密金属波纹管的设计	339
17.4	制造及质量控制	341
17.5	性能试验	347
17.6	选型应用	349
17.7	运输、安装及使用	349
第18章	矩形金属波纹管膨胀节	350
18.1	概述	350
18.2	设计	352
18.3	选型应用及布置方法	363
18.4	制造及质量控制	368
18.5	安装使用注意事项	370
18.6	失效案例	370
第19章	厚壁波纹管膨胀节	373
19.1	概述	373
19.2	厚壁波纹管膨胀节的设计	376
19.3	选用 GB16749 标准的膨胀节应注意的事项	389
19.4	制造的技术要求	390
19.5	压力试验和致密性试验	396
19.6	安装使用注意事项	397
19.7	使用过程中出现的问题	398
	参考文献	400

附录

附录A	压力管道元件（补偿器）检验要求	402
附录B	膨胀节采购信息单	408

第 1 篇

圆形金属波纹管膨胀节

第1章 综述

1.1 金属波纹管膨胀节的作用

按照 GB/T12777 的术语和定义，波纹管膨胀节由一个或几个波纹管及构件组成，用来吸收由于热胀冷缩等原因引起的管道和（或）设备尺寸变化的装置。由于金属管道有圆形的，也有矩形的，故膨胀节也有圆形和矩形之分。本书上册主要讨论圆形波纹管膨胀节。

金属管道在输送有温度变化的介质或承受环境温度变化时，都会产生一定量的热胀冷缩，由此引起管道尺寸的变化。当管道受固定支架（或设备）约束，不能释放其尺寸变化时，将会在管道中产生较高的温度应力或引起管道失稳。对于油、气储罐等大型容器，在与管道接口位置，如若不对地震、地基下沉等位移进行补偿，将会在容器与管道的接口处产生很高的应力，引起罐壁和相连阀门的变形，甚至接口撕裂，引发重大事故。大多数设备运行时都会产生振动，当输送介质的管道与设备连接时，设备的振动不可避免传递到管系中，使得管系产生较高的高频交变应力，影响管系的安全运行。无论是热位移还是机械振动，若不对其进行补偿，消除其引起的管道、设备尺寸变化，将会在管道中产生较高的应力，尤其是在管道的弯头、三通、与设备接口等部位，易产生应力集中；除此之外，约束热应力和机械振动还会在设备基础和固定支架上产生很大的作用力，给系统的安全运行带来隐患。

为了解决管道（设备）的热膨胀、大型容器地基下沉及设备振动等导致的管系高应力问题，降低作用于设备和固定支架上的力，人类发明了金属波纹管膨胀节（以下简称膨胀节）。膨胀节是以波纹管为挠性元件，辅以受力结构件组成的。

膨胀节的作用可以归纳为以下 6 个方面：

1) 补偿热位移。吸收管道因温度变化而产生的伸长或缩短位移，保证两固定支架之间的距离不变并释放其温度应力，保证管道的安全运行。

2) 减振、降噪。设备产生振动时，安装在设备与管道之间的膨胀节相当于密闭的弹簧，隔离设备振动向管道的传递，并降低结构振动噪声。