

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 12777—1999

---

## 金属波纹管膨胀节通用技术条件

General specification for metal bellows expansion joints

1999-06-11 发布

2000-03-01 实施

---

国家质量技术监督局 发布

# 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 引用标准 .....	1
3 定义 .....	1
4 分类 .....	6
5 要求 .....	7
6 试验方法 .....	11
7 检验规则 .....	12
8 标志 .....	14
9 包装、运输、贮存 .....	14
附录 A(标准的附录) 波纹管设计 .....	15
附录 B(提示的附录) 结构件设计 .....	29

## 前 言

本标准是对 GB/T 12777—1991《金属波纹管膨胀节通用技术条件》的全面修订。

本标准非等效采用了美国膨胀节制造商协会(EJMA)标准 1993 年第 6 版及其他国内、外现行标准的有关内容,并吸取了近年来国内膨胀节行业在波纹管膨胀节设计、制造方面的研究成果与实践经验。

与前版比较,本标准有下列重要技术内容的改变:

- a) 增加了膨胀节的型式分类和型号表示方法;
- b) 增加了加强 U 形波纹管和  $\Omega$  形波纹管的设计公式,修改了波纹管设计疲劳寿命安全系数要求;
- c) 修改了受压筒节的制造要求;
- d) 修改了管坯纵向焊缝及波纹管连接环向焊缝的探伤要求;
- e) 修改了压力试验的试验压力要求及疲劳试验的试验位移循环次数要求;
- f) 删除了刚度试验和失稳试验两个检验项目。

本标准自实施之日起代替 GB/T 12777—1991。

本标准的附录 A 是标准的附录;

本标准的附录 B 是提示的附录。

本标准由中国船舶工业总公司提出。

本标准由中国船舶工业总公司六〇一研究院归口。

本标准起草单位:中国船舶工业总公司第七研究院第七二五研究所。中国航天工业总公司晨光机器厂、中国石化北京设计院、中国船舶工业总公司中华造船厂参加起草。

本标准主要起草人:哈学基、段玫、常谦、党如战、姜雪桦、陈立苏、汪秀兰、孙镜明。

# 金属波纹管膨胀节通用技术条件

代替 GB/T 12777—1991

General specification for metal bellows expansion joints

## 1 范围

本标准规定了金属波纹管膨胀节(以下简称“膨胀节”)的定义、分类、要求、试验方法、检验规则、标志及包装、运输、贮存等。

本标准适用于安装在管道中其挠性元件为整体成形无加强 U 形、加强 U 形和  $\Omega$  形波纹管的圆形膨胀节的设计、制造和检验。压力容器用膨胀节的设计、制造和检验亦可参照使用。

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 150—1998 钢制压力容器

GB/T 985—1988 气焊、手工电弧焊及气体保护焊缝坡口的基本形式与尺寸

GB/T 1800.3—1998 极限与配合 基础 第 3 部分:标准公差和基本偏差数值表

GB/T 1801—1979 公差与配合 尺寸至 500 mm 孔、轴公差带与配合

GB/T 1802—1979 公差与配合 尺寸大于 500 至 3 150 mm 常用孔、轴公差带

GB/T 3280—1992 不锈钢冷轧钢板

GB/T 4237—1992 不锈钢热轧钢板

GB/T 8163—1987 输送流体用无缝钢管

GB/T 9711.1—1997 石油天然气工业输送钢管交货技术条件 第 1 部分:A 级钢管

GB/T 14976—1994 流体输送用不锈钢无缝钢管

GB/T 15010—1994 耐蚀合金冷轧薄板

GB 16749—1997 压力容器波形膨胀节

GB 50235—1997 工业金属管道工程施工及验收规范

CB 1330—1997 舰船用铁镍合金板材规范

JB 2536—1980 压力容器油漆、包装和运输

JB 4730—1994 压力容器无损检测

## 3 定义

本标准采用下列定义。

### 3.1 波纹管膨胀节 bellows expansion joints

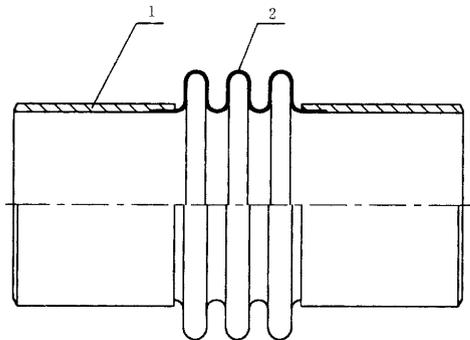
由一个或几个波纹管及结构件组成,用来吸收由于热胀冷缩等原因引起的管道和(或)设备尺寸变化的装置。

### 3.2 波纹管 bellows

膨胀节中由一个或多个波纹及端部直边段组成的挠性元件。

### 3.3 单式轴向型膨胀节 single axial expansion joint

由一个波纹管及结构件组成,主要用于吸收轴向位移而不能承受波纹管压力推力的膨胀节(见图 1)。

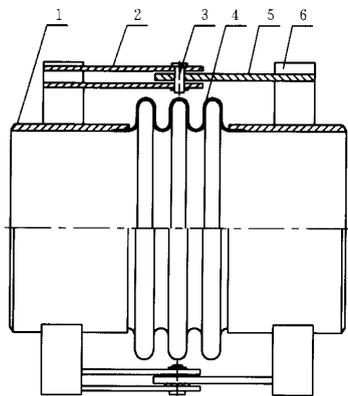


1—端管;2—波纹管

图 1 单式轴向型膨胀节

### 3.4 单式铰链型膨胀节 single hinged expansion joint

由一个波纹管及销轴、铰链板和立板等结构件组成,只能吸收一个平面内的角位移并能承受波纹管压力推力的膨胀节(见图 2)。

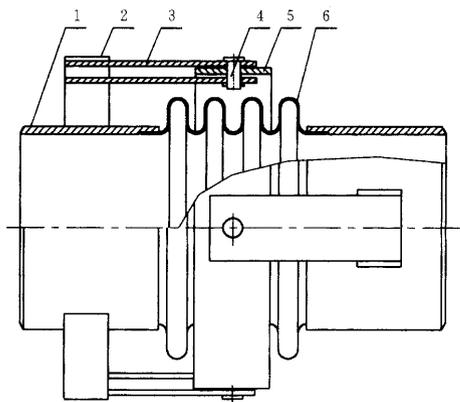


1—端管;2—副铰链板;3—销轴;4—波纹管;5—主铰链板;6—立板

图 2 单式铰链型膨胀节

### 3.5 单式万向铰链型膨胀节 single gimbal expansion joint

由一个波纹管及销轴、铰链板、万向环和立板等结构件组成,能吸收任一平面内的角位移并能承受波纹管压力推力的膨胀节(见图 3)。

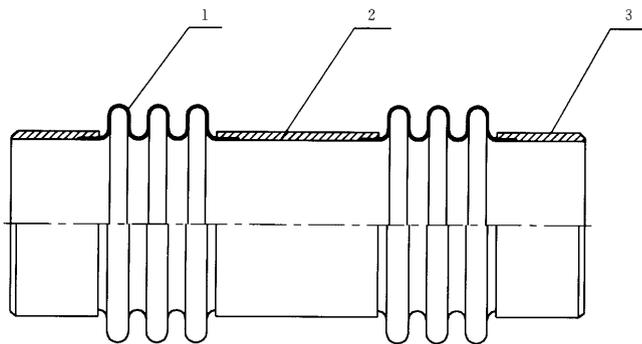


1—端管；2—立板；3—铰链板；4—销轴；5—万向环；6—波纹管

图 3 单式万向铰链型膨胀节

### 3.6 复式自由型膨胀节 double untied expansion joint

由中间管所连接的两个波纹管及结构件组成，主要用于吸收轴向与横向组合位移而不能承受波纹管压力推力的膨胀节(见图 4)。

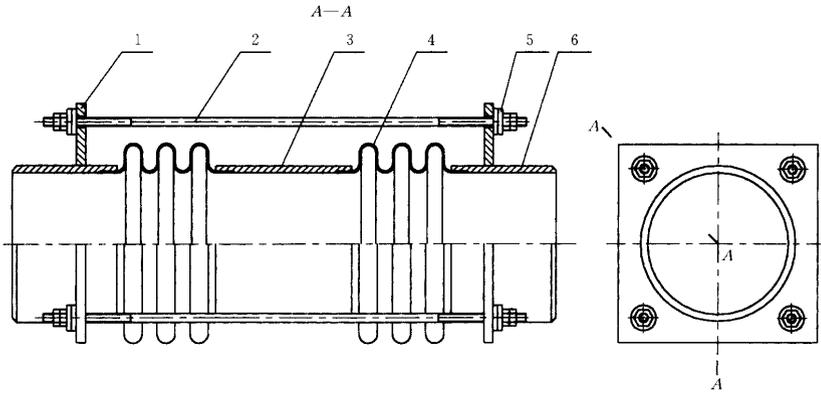


1—波纹管；2—中间管；3—端管

图 4 复式自由型膨胀节

### 3.7 复式拉杆型膨胀节 double tied expansion joint

由中间管所连接的两个波纹管及拉杆、端板和球面与锥面垫圈等结构件组成，能吸收任一平面内的横向位移并能承受波纹管压力推力的膨胀节(见图 5)。

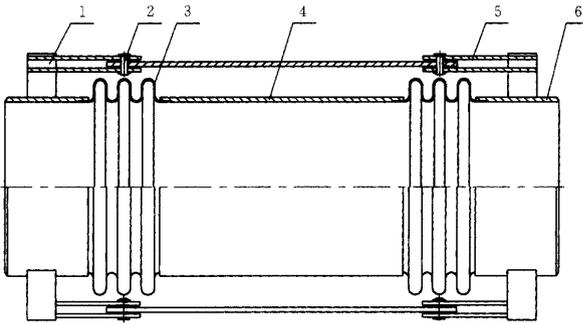


1—端板；2—拉杆；3—中间管；4—波纹管；5—球面垫圈；6—端管

图 5 复式拉杆型膨胀节

### 3.8 复式铰链型膨胀节 double hinged expansion joint

由中间管所连接的两个波纹管及销轴、铰链板和立板等结构件组成，只能吸收一个平面内的横向位移并能承受波纹管压力推力的膨胀节（见图 6）。

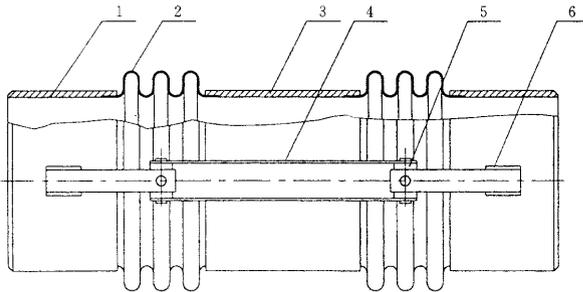


1—立板；2—销轴；3—波纹管；4—中间管；5—铰链板；6—端管

图 6 复式铰链型膨胀节

### 3.9 复式万向铰链型膨胀节 double gimbal expansion joint

由中间管所连接的两个波纹管及十字销轴、铰链板和立板等结构件组成，能吸收任一平面内的横向位移并能承受波纹管压力推力的膨胀节（见图 7）。

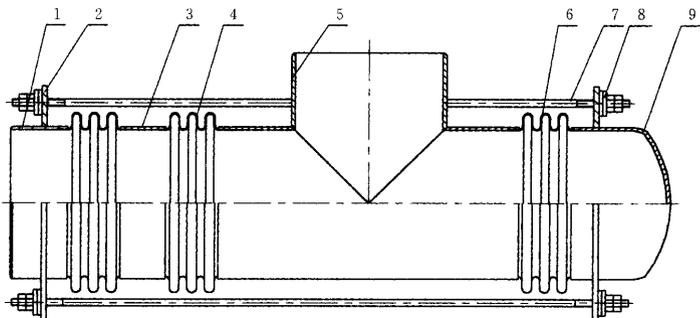


1—端管；2—波纹管；3—中间管；4—铰链板；5—十字销轴；6—立板

图 7 复式万向铰链型膨胀节

### 3.10 弯管压力平衡型膨胀节 bend pressure balanced expansion joint

由一个工作波纹管或中间管所连接的两个工作波纹管和一个平衡波纹管及弯头或三通、封头、拉杆、端板和球面垫圈等结构件组成,主要用于吸收轴向与横向组合位移并能平衡波纹管压力推力的膨胀节(见图8)。

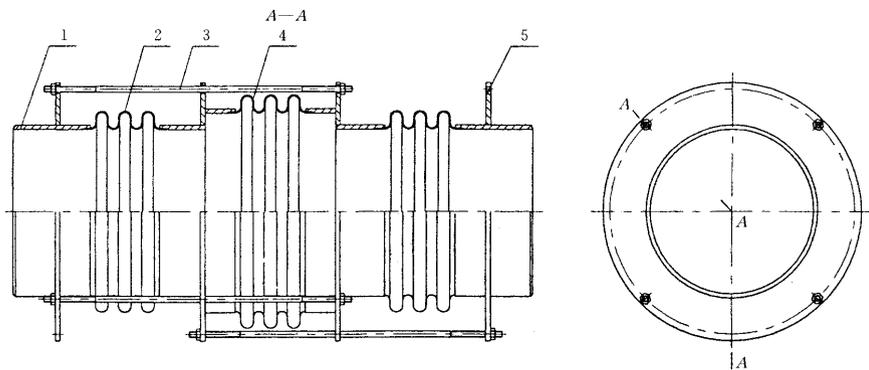


1—端管;2—端板;3—中间管;4—工作波纹管;5—三通;6—平衡波纹管;7—拉杆;8—球面垫圈;9—封头

图8 弯管压力平衡型膨胀节

### 3.11 直管压力平衡型膨胀节 straight pressure balanced expansion joint

由位于两端的两个工作波纹管 and 位于中间的一个平衡波纹管及拉杆和端板等结构件组成,主要用于吸收轴向位移并能平衡波纹管压力推力的膨胀节(见图9)。

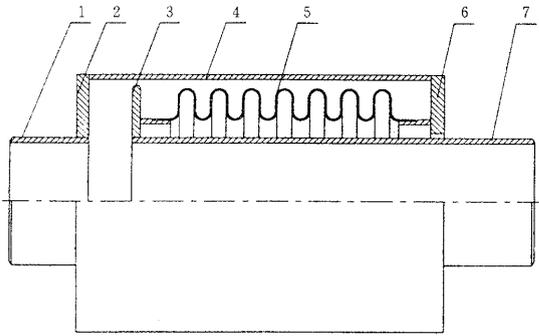


1—端管;2—工作波纹管;3—拉杆;4—平衡波纹管;5—端板

图9 直管压力平衡型膨胀节

### 3.12 外压单式轴向型膨胀节 externally pressurized single axial expansion joint

由承受外压的波纹管及外管和端环等结构件组成,只用于吸收轴向位移而不能承受波纹管压力推力的膨胀节(见图10)。



1—进口端管;2—进口端环;3—限位环;4—外管;5—波纹管;6—出口端环;7—出口端管

图 10 外压单式轴向型膨胀节

### 3.13 加强环 reinforcing rings

加强 U 形波纹管中用来增强波纹管耐压能力的圆形或圆环形截面部件。

### 3.14 均衡环 equalizing rings

加强 U 形波纹管中用来增强波谷和波侧壁耐内压能力并使各波纹压缩位移均匀的“T”形截面部件。

### 3.15 加强套环 reinforcing collars

波纹管中用来增强端部直边段耐内压能力的圆环形零件。

### 3.16 成形态 as-formed condition

波纹管成形后未经固溶或退火处理、有冷作硬化的状态。

### 3.17 热处理态 heat-treated condition

波纹管成形后经固溶或退火处理、无冷作硬化的状态。

## 4 分类

### 4.1 膨胀节型式分类

#### 4.1.1 膨胀节型式

膨胀节型式及代号在表 1 中给出。

表 1 膨胀节型式及代号

膨胀节型式	代 号
单式轴向型	DZ
单式铰链型	DJ
单式万向铰链型	DW
复式自由型	FZ
复式拉杆型	FL
复式铰链型	FJ
复式万向铰链型	FW
弯管压力平衡型	WP
直管压力平衡型	ZP
外压单式轴向型	WZ

#### 4.1.2 波纹管型式

膨胀节中波纹管型式及代号在表 2 中给出。

表 2 波纹管型式及代号

波纹管型式	代 号
无加强 U 形	U
加强 U 形	J
Ω 形	O

4.1.3 端部连接型式

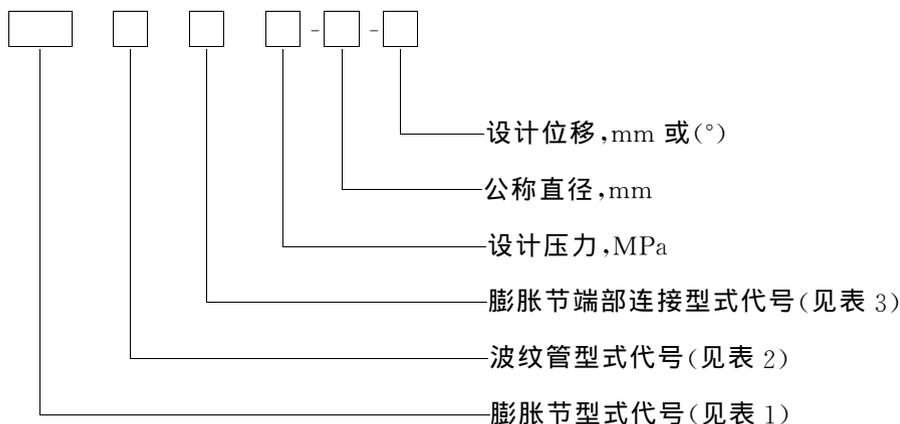
膨胀节端部与管道或设备连接型式及代号在表 3 中给出。

表 3 膨胀节端部连接型式及代号

膨胀节端部连接型式	代 号
焊接	H
法兰	F

4.2 膨胀节型号表示方法

4.2.1 膨胀节型号基本组成形式如下：



4.2.2 对于复式自由型膨胀节(代号 FZ)和弯管压力平衡型膨胀节(代号 WP),设计位移分别表示设计轴向位移和设计横向位移,设计轴向位移在前,设计横向位移在后,两个设计位移之间用“/”号连接。在承制方的产品样本中,前一个设计位移为单一设计轴向位移(设计横向位移为零时),后一个设计位移为单一设计横向位移(设计轴向位移为零时)。

4.2.3 对于膨胀节设计位移,在承制方产品样本中应明确说明波纹管的设计温度、设计疲劳寿命和材料等设计条件;订购方在规定膨胀节设计位移要求时,也应明确规定上述设计条件。

4.2.4 膨胀节型号表示示例如下：

a) 设计压力为 1.6 MPa,公称直径为 1 000 mm,设计轴向位移为 205 mm,端部连接为焊接型式,波纹管为无加强 U 形的外压单式轴向型膨胀节,其型号表示为:WZUH1.6-1 000-205。

b) 设计压力为 0.6 MPa,公称直径为 800 mm,设计轴向位移(设计横向位移为零时)为 35 mm,设计横向位移(设计轴向位移为零时)为 10 mm,端部连接为法兰型式,波纹管为 Ω 形的弯管压力平衡型膨胀节,在承制方的产品样本中其型号表示为:WPOF0.6-800-35/10。

5 要求

5.1 材料

5.1.1 波纹管

波纹管用材料应按工作介质、外部环境和温度等工作条件适当选用。常用波纹管材料在表 4 中给出。

表 4 常用波纹管材料

名称	牌 号	允许使用温度范围, C	标准号
奥氏体不锈钢	0Cr18Ni10Ti	-200~550	GB/T 4237 GB/T 3280
	0Cr17Ni12Mo2		
	0Cr18Ni9	-200~425	
	00Cr19Ni10		
	00Cr17Ni14Mo2		
耐蚀合金	NS111	-200~700	GB/T 15010
	FN-2		CB 1330

表 4 所列材料均应为固溶处理态。对于按 GB/T 4237 选用的奥氏体不锈钢板,其表面质量应符合 1 表面组别要求。对于按 GB/T 3280 选用的奥氏体不锈钢板,其表面加工应符合 No. 2D 或 No. 2B 表面加工等级要求。

### 5.1.2 受压筒节

膨胀节中端管、中间管、法兰接管等受压筒节用材料,一般应与安装膨胀节的管道中的管子材料相同或相近。

### 5.1.3 受力件

膨胀节中拉杆、铰链板、万向环、销轴及其连接附件等承受波纹管压力推力的受力件用材料应按其工作条件适当选用。

## 5.2 设计

### 5.2.1 波纹管

波纹管、加强环或均衡环、导流筒的设计及膨胀节自振频率的计算等应按附录 A(标准的附录)的规定。

### 5.2.2 结构件

焊接结构件的焊接接头宜按等强度原则进行设计。膨胀节中受压筒节、受力件等结构件的设计可按附录 B(提示的附录)的规定。

### 5.2.3 装运件、吊耳和护罩

5.2.3.1 膨胀节应设置装运件,使膨胀节在运输和安装期间保持正确的长度。

5.2.3.2 必要时,膨胀节应装设吊耳,每个吊耳都应设计成能承受膨胀节总重量。

5.2.3.3 必要时,膨胀节可以设置波纹管保护外罩,以防止运输、搬运、安装过程中波纹管遭受机械损伤及引弧和焊接飞溅所致损伤。

## 5.3 制造

### 5.3.1 波纹管

5.3.1.1 波纹管应采用液压、滚压或冲压等整体成形方法成形。

5.3.1.2 波纹管成形用的薄板卷制管坯只允许有全焊透的对接型纵向焊缝,不允许有环向焊缝。

5.3.1.3 管坯纵向焊缝条数在表 5 中给出,各相邻纵向焊缝间距不应小于 250 mm。

表 5 管坯纵向焊缝条数

管坯外径 mm 管坯长度 mm	管坯长度						
	≤250	>250~600	>600~ 1 200	>1 200~ 1 800	>1 800~ 2 400	>2 400~ 3 000	>3 000~ 4 000
≤1 000	1	≤2	≤3	≤4	≤5	≤6	≤8
>1 000	1	≤2	≤4	≤6	≤8	≤10	≤13

- 5.3.1.4 管坯纵向焊缝应采用自动氩弧焊或等离子焊方法施焊。
- 5.3.1.5 管坯纵向焊缝表面应无裂纹、气孔、咬边和对接错边,凹坑、下塌和余高均不应大于壁厚的10%。焊缝表面应呈银白色或金黄色,可呈浅蓝色。
- 5.3.1.6 波纹管成形之前应对管坯纵向焊缝进行着色渗透探伤或射线探伤。
- 5.3.1.6.1 着色渗透探伤法只适用于管坯壁厚不大于2 mm的单道焊缝。着色渗透探伤时不允许存在下列显示:
- 所有的裂纹等线状显示;
  - 四个或四个以上边距小于1.5 mm的成行密集圆形显示;
  - 任一150 mm焊缝长度内五个以上直径大于1/2管坯壁厚的随机散布圆形显示。
- 5.3.1.6.2 管坯壁厚小于2 mm时,射线探伤焊缝缺陷等级应为GB 16749—1997中附录B规定的合格级。管坯厚度不小于2 mm时,射线探伤焊缝缺陷等级应不低于JB 4730—1994中6.1规定的Ⅱ级。
- 5.3.1.7 多层波纹管各层管坯的套合间隙,对于公称直径不大于1 500 mm的波纹管,不应大于0.8 mm;对于公称直径大于1 500 mm的波纹管,不应大于1.5 mm。套合时各层管坯间纵向焊缝位置应沿圆周方向均匀错开。各层管坯间不应有水、油、泥土等污物。多层波纹管直边段端口应采用氩弧焊或滚焊封边,使端口各层熔为整体。
- 5.3.1.8 波纹管表面不允许有裂纹、焊接飞溅物及大于板厚下偏差的划痕和凹痕等缺陷。不大于板厚下偏差的划痕和凹痕应修磨使其圆滑过渡。
- 5.3.1.9 U形波纹管波高、波距、波纹长度的标准公差等级应为GB/T 1800.3—1998表1中IT18级,其上偏差为 $+\frac{IT18}{2}$ ,下偏差为 $-\frac{IT18}{2}$ 。
- 5.3.1.10 波纹管直边段外径的极限偏差等级,采用波纹管外套连接型式时应为GB/T 1801—1979表2和GB/T 1802—1979表2中的H12级;采用波纹管内插连接型式时应为GB/T 1801—1979表1和GB/T 1802—1979表1中的h12级。
- 5.3.1.11 U形波纹管波峰、波谷曲率半径的极限偏差应为±15%的名义曲率半径,波峰、波谷与波侧壁间应圆滑过渡。
- 5.3.1.12 Ω形波纹管波纹平均半径的极限偏差应为±15%的波纹名义平均半径,圆度公差应为15%的波纹名义平均半径。
- 5.3.1.13 波纹管两端面对波纹管轴线的垂直度公差应为1%的波纹管公称直径,且不大于3 mm。公称直径不大于200 mm的波纹管,波纹管两端面轴线对波纹管轴线的同轴度公差应为 $\phi 2$  mm;公称直径大于200 mm的波纹管,波纹管两端面轴线对波纹管轴线的同轴度公差应为1%的波纹管公称直径,且不大于 $\phi 5$  mm。
- 5.3.1.14 波纹管处于自由长度状态下,加强环或均衡环表面应光滑并与波纹管材料紧密贴合。
- 5.3.1.15 若要求对波纹管进行热处理,应按有关材料标准或图样规定的热处理制度进行,热处理后的波纹管应进行酸洗、钝化处理。
- 5.3.2 受压筒节
- 5.3.2.1 公称直径不大于350 mm的膨胀节,其受压筒节宜用无缝钢管制造。无缝钢管应符合GB/T 8163、GB/T 14976等标准的要求。
- 5.3.2.2 公称直径不小于400 mm的膨胀节,其受压筒节宜用钢板卷筒焊接制造,也可用符合GB/T 9711.1要求的钢管制造。卷制筒节应符合GB 50235—1997中4.3的要求。
- 5.3.2.3 受压筒节焊缝表面应无裂纹、气孔、弧坑和焊接飞溅物。
- 5.3.2.4 受压筒节纵向焊缝和环向焊缝一般应进行局部射线探伤。探伤长度不应小于各条焊缝长度的20%,且不小于250 mm,并应包含每一相交的焊缝。焊缝缺陷等级应不低于JB 4730—1994中6.1规定的Ⅲ级。

5.3.2.5 端管的焊接连接端对接型焊缝坡口面角度应为  $30^\circ \pm 2.5^\circ$ , 钝边尺寸为  $1 \sim 2$  mm。端管壁厚大于相接管子壁厚时, 应按 GB/T 985—1988 中第 4 章的要求削薄。

5.3.3 膨胀节总成

5.3.3.1 波纹管与受压筒节间的连接环向焊缝宜为全焊透波纹管壁厚的对接型焊缝, 波纹管与受压筒节的连接型式宜为内插型式或外套型式, 见图 11。

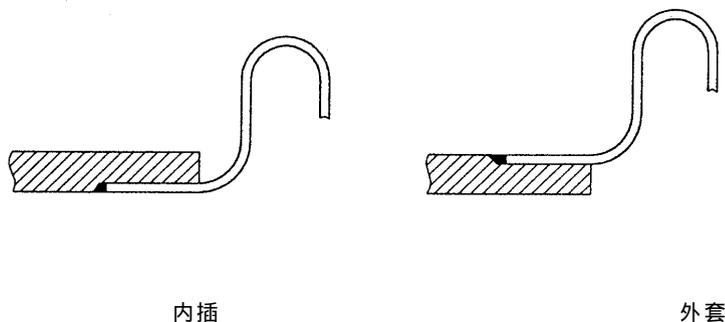


图 11 波纹管与受压筒节连接型式

5.3.3.2 波纹管连接环向焊缝应采用氩弧焊或等离子焊方法施焊。受压筒节的承插口和坡口面应切削加工。

5.3.3.3 波纹管连接环向焊缝表面应无裂纹、气孔、夹渣、焊接飞溅物、咬边和凹坑, 余高应不大于波纹管壁厚, 且不大于 1.5 mm。

5.3.3.4 波纹管连接环向焊缝应进行着色渗透探伤。焊缝缺陷应符合 5.3.1.6.1 规定。

5.3.3.5 波纹管处于自由长度状态下, 膨胀节外连接端面间尺寸的极限偏差在表 6 中给出。

表 6 膨胀节外连接端面间尺寸的极限偏差

mm

膨胀节外连接端面间尺寸	极限偏差
$\leq 900$	$\pm 3$
$> 900 \sim 3\ 600$	$\pm 6$
$> 3\ 600$	$\pm 9$

5.3.3.6 膨胀节两端面对膨胀节轴线的垂直度公差及两端面轴线对膨胀节轴线的同轴度公差应符合 5.3.1.13 规定。

5.3.3.7 不锈钢和耐蚀合金波纹管及所有不锈钢结构件表面不涂漆。所有碳钢结构件外表面应涂防锈底漆, 但距端管焊接坡口 50 mm 范围内不应涂漆。法兰密封面、销轴表面、球面垫圈与锥面垫圈配合面应涂防锈油脂。

5.4 性能

5.4.1 耐压性能

膨胀节应有符合要求的耐压性能。一般应进行水压试验, 在不适于水压试验的场合应进行须采取有效安全措施的气压试验。

5.4.1.1 内压膨胀节的水压试验压力应按公式(1)、公式(2)计算, 取其中的较小值:

$$p_t = 1.5 p_d [\sigma]_b / [\sigma]_b^t \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$p_t = 1.5 p_{sc} E_b / E_b^t \quad \dots\dots\dots (2)$$

内压膨胀节的气压试验压力应按公式(3)、公式(4)计算, 取其中的较小值:

$$p_t = 1.1 p_d [\sigma]_b / [\sigma]_b^t \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$p_t = 1.1 p_{sc} E_b / E_b^t \quad \dots\dots\dots (4)$$

公式(1)~(4)中:

$p_t$ ——试验压力,MPa;

$p_d$ ——设计压力,MPa;

$[\sigma]_b$ ——按 GB 150—1998 中表 4-1 及其他相关标准取值的试验温度下波纹管材料的许用应力,MPa;

$[\sigma]_b^t$ ——按 GB 150—1998 中表 4-1 及其他相关标准取值的设计温度下波纹管材料的许用应力,MPa;

$p_{sc}$ ——波纹管两端固支时柱失稳的极限设计内压,MPa;

$E_b$ ——按 GB 150—1998 中表 F5 及其他相关标准取值的试验温度下波纹管材料的弹性模量,MPa;

$E_b^t$ ——按 GB 150—1998 中表 F5 及其他相关标准取值的设计温度下波纹管材料的弹性模量,MPa。

5.4.1.2 外压膨胀节的水压试验压力按公式(1)计算,气压试验压力按公式(3)计算。

5.4.1.3 用于真空条件的膨胀节的压力试验可以用内压试验代替,试验压力应为 1.5 倍设计压差(压差值等于大气压值减真空度值)。

5.4.1.4 试验压力下膨胀节应无渗漏,结构件应无明显变形,波纹管应无失稳现象。

对于无加强 U 形波纹管,水压试验压力下的最大波距变化率大于 15%,对于加强 U 形波纹管和  $\Omega$  形波纹管水压试验压力下的最大波距变化率大于 20%,即认为波纹管已失稳。

## 5.4.2 致密性

膨胀节应有符合要求的致密性。

5.4.2.1 对于设计压力不大于 0.1 MPa 的膨胀节以及公称直径不小于 1 500 mm 且设计压力不大于 0.25 MPa 的膨胀节,允许用煤油渗漏试验代替压力试验来对波纹管连接环向焊缝检漏。煤油渗漏试验时波纹管连接环向焊缝应无渗油现象。

5.4.2.2 对于可燃流体介质、有毒流体介质、真空度高于 0.085 MPa 或对渗漏有特殊要求的膨胀节应进行气密性试验。气密性试验压力等于设计压力。气密性试验时膨胀节应无漏气现象。

## 5.4.3 疲劳性能

波纹管应有符合要求的疲劳性能。在规定试验位移循环次数的疲劳试验中波纹管应无穿透壁厚的裂纹。试验位移循环次数应为  $K_s^{4.3}$  倍设计疲劳寿命值。其中,  $K_s$  为应力系数。对于无加强 U 形波纹管,  $K_s$  值取 1.01 $C_t$  和 1.25 中的较大值;对于加强 U 形波纹管,  $K_s$  值取 1.25;对于  $\Omega$  形波纹管,  $K_s$  值取 1.33 $C_t$ 。  $C_t$  的定义和计算见附录 A(标准的附录)中 A1。

## 6 试验方法

### 6.1 外观检查

目视或用适当倍数的放大镜进行外观检查。结果应分别符合 5.3.1.5、5.3.1.8、5.3.2.3、5.3.3.3、5.3.3.7 的要求。

### 6.2 尺寸检查

用精度符合公差要求的量具进行线性尺寸偏差和形位偏差检查。结果应分别符合 5.3.1.9~5.3.1.13、5.3.2.2、5.3.3.5、5.3.3.6 的要求。

### 6.3 焊缝探伤

6.3.1 管坯纵向焊缝及波纹管连接环向焊缝的着色渗透探伤方法按 JB 4730—1994 中第 12 章规定。结果应分别符合 5.3.1.6.1 和 5.3.3.4 的要求。

6.3.2 管坯纵向焊缝及受压筒节焊缝的射线探伤方法按 JB 4730—1994 中第 5 章规定。结果应分别符合 5.3.1.6.2 和 5.3.2.4 的要求。

### 6.4 压力试验

6.4.1 试验装置应保证试验时膨胀节两端固定和有效密封,波纹管以其自由长度处于直线状态。

6.4.2 水压试验介质应为符合 GB 150—1998 中 10.9.4.1 要求的自来水,气压试验介质应为干燥洁

净的压缩空气。

6.4.3 试验时应缓慢升压,达到规定试验压力后保压至少 10 min。

6.4.4 试验压力下目视检查膨胀节,结果应符合 5.4.1.4 的要求。

### 6.5 煤油渗漏试验

将焊缝能够检查的一面清理干净,涂以白粉浆,晾干后在焊缝另一面涂以煤油,使表面得到足够的浸润,经至少半小时后检查白粉上是否有油渍。结果应符合 5.4.2.1 的要求。

### 6.6 气密性试验

气密性试验应在水压试验合格后进行,当压力试验采用气压试验方法时可不进行气密性试验。

6.6.1 试验装置应保证试验时膨胀节两端固定和有效密封,波纹管以其自由长度处于直线状态。

6.6.2 试验介质为干燥洁净的压缩空气。

6.6.3 试验时应缓慢升压,达到规定试验压力后保压至少 10 min。

6.6.4 可以用皂泡法对焊缝检漏,小直径膨胀节可以浸入水槽内检漏。结果应符合 5.4.2.2 的要求。

### 6.7 疲劳试验

6.7.1 试验应在专用的疲劳试验装置上进行,疲劳试验装置应保证能约束波纹管压力推力与位移反力,并能保证施加的试验轴向循环位移与波纹管轴线同轴。

6.7.2 试验波纹管应为所有其他型式检验项目合格的波纹管,其波数不少于三个。试验件中其他部件的结构可以根据试验装置设计以符合试验要求。

6.7.3 试验介质可为压缩空气、自来水或油等。

6.7.4 对于波纹管设计温度低于材料蠕变温度的膨胀节,试验温度为室温。

6.7.5 试验压力等于设计压力,试验过程中压力波动值不应大于试验压力的  $\pm 10\%$ 。

6.7.6 试验循环位移应是轴向循环位移,试验循环位移范围应等于设计轴向位移量或设计相当轴向位移量。试验位移循环速率应以使试验循环位移在各波纹中均匀分配所需时间确定,且应小于 30 周次/min。

6.7.7 疲劳试验结果应符合 5.4.3 的要求。

## 7 检验规则

### 7.1 检验分类

膨胀节产品检验分为型式检验和出厂检验两类。

### 7.2 型式检验

在下述情况之一时应进行型式检验:

- 产品定型、老产品转厂生产时;
- 产品停产超过一年后复产时;
- 正式生产后产品结构、材料或工艺有重大改变可能影响产品性能时;
- 合同中有规定时;
- 国家质量监督机构提出进行型式检验的要求时。

#### 7.2.1 检验项目

7.2.1.1 型式检验项目在表 7 中给出。

表 7 型式检验项目

序号	项目名称	要求的章条号	试验方法的章条号
1	外观检查	5.3.1.5;5.3.1.8;5.3.2.3;5.3.3.3;5.3.3.7	6.1
2	尺寸检查	5.3.1.9~5.3.1.13;5.3.2.2;5.3.3.5;5.3.3.6	6.2
3	焊缝探伤	5.3.1.6;5.3.2.4;5.3.3.4	6.3

表 7(完)

序号	项目名称	要求的章条号	试验方法的章条号
4	压力试验	5.4.1	6.4
	煤油渗漏试验	5.4.2.1	6.5
5	气密性试验	5.4.2.2	6.6
6	疲劳试验	5.4.3	6.7

7.2.1.2 型式检验时,所有膨胀节的管坯纵向焊缝都应进行 100% 的着色渗透探伤或射线探伤,所有膨胀节的波纹管连接环向焊缝都应进行 100% 的着色渗透探伤,水压试验时应测量波纹管的最大波距变化率。

### 7.2.2 样品数量

型式检验时应在至少一件样品上进行。做过疲劳试验的膨胀节不能用于交货。

### 7.2.3 判定与复验规则

7.2.3.1 型式检验样品在压力试验或疲劳试验中,如果波纹管耐压性能或疲劳性能未达到本标准规定要求时,则判为不合格。

7.2.3.2 如果由于制造质量原因而使外观检查、尺寸检查、焊缝探伤、压力试验等项目未符合本标准规定要求时,允许进行返修,返修的样品只对不合格项目进行检验。

7.2.3.3 重新检验时即使有一项不合格即认为型式检验不合格。

## 7.3 出厂检验

### 7.3.1 检验项目

出厂检验项目在表 8 中给出。

表 8 出厂检验项目

序号	项目名称	要求的章条号	试验方法的章条号
1	外观检查	5.3.1.5;5.3.1.8;5.3.2.3;5.3.3.3;5.3.3.7	6.1
2	尺寸检查	5.3.1.9;5.3.2.2;5.3.3.5	6.2
3	焊缝探伤	5.3.1.6;5.3.2.4;5.3.3.4	6.3
4	压力试验	5.4.1	6.4
	煤油渗漏试验	5.4.2.1	6.5
5	气密性试验	5.4.2.2	6.6

### 7.3.2 抽样

7.3.2.1 膨胀节产品交货时应逐件进行出厂检验。

7.3.2.2 对于  $p_d > 1.6 \text{ MPa}$  ( $p_d$ ——设计压力)的气体介质膨胀节、 $p_d > 2.5 \text{ MPa}$  的液体介质膨胀节、可燃流体介质膨胀节、有毒流体介质膨胀节或有特定要求的膨胀节,应对管坯纵向焊缝外表面和可接近的内表面进行 100% 的着色渗透探伤或对此类焊缝进行 100% 的射线探伤;对于  $0.1 \text{ MPa} < p_d \leq 1.6 \text{ MPa}$  的气体介质膨胀节或  $0.1 \text{ MPa} < p_d \leq 2.5 \text{ MPa}$  的液体介质膨胀节,应对每项合同的同一牌号与厚度材料的此类焊缝进行至少 10% 抽样且不少于一条焊缝的着色渗透探伤或射线探伤。

7.3.2.3 对于  $p_d > 1.6 \text{ MPa}$  的气体介质膨胀节、 $p_d > 2.5 \text{ MPa}$  的液体介质膨胀节、可燃流体介质膨胀节、有毒流体介质膨胀节或有特定要求的膨胀节,应对波纹管连接环向焊缝进行 100% 的着色渗透探伤;对于  $0.1 \text{ MPa} < p_d \leq 1.6 \text{ MPa}$  的气体介质膨胀节或  $0.1 \text{ MPa} < p_d \leq 2.5 \text{ MPa}$  的液体介质膨胀节,应对每项合同的同一焊工施焊的此类焊缝进行至少 10% 抽样且不少于一条焊缝的着色渗透探伤。

7.3.2.4 对于  $p_d \leq 0.1 \text{ MPa}$  的非可燃流体介质或非有毒流体介质的膨胀节,所有种类的焊缝允许不

进行探伤。

### 7.3.3 判定与复验规则

7.3.3.1 出厂检验中有一项或几项检验结果不合格时,应在本标准允许范围内对缺陷进行返修。返修的膨胀节只对不合格项目进行重新检验。重新检验时即使有一项不合格的膨胀节即判为不合格品。

7.3.3.2 管坯纵向焊缝同一部位缺陷允许补焊一次。成形后的波纹管缺陷不允许补焊。波纹管连接环向焊缝同一部位缺陷允许补焊两次。受压筒节焊缝同一部位缺陷补焊次数不宜超过两次。

7.3.3.3 抽样探伤的焊缝,若发现有不允许的缺陷时,应相应进行至少 20% 抽样且不少于两条焊缝的探伤。若又发现有不允许的缺陷时,则应进行 100% 的探伤。

## 8 标志

### 8.1 铭牌

每个膨胀节都应装有永久固定、耐腐蚀的铭牌,铭牌上至少应注明下列内容:

- a) 膨胀节型式、型号;
- b) 出厂编号;
- c) 波纹管的设计温度和设计疲劳寿命;
- d) 外形尺寸、总重量;
- e) 制造厂名称;
- f) 出厂日期。

### 8.2 介质流向箭头

膨胀节装有导流筒时,应在膨胀节外表面标有醒目的永久性介质流向箭头。

### 8.3 装运件标志

膨胀节装运件应涂黄色油漆,以表示在膨胀节安装之后、系统压力试验之前必须拆除或松开。

## 9 包装、运输、贮存

### 9.1 包装、运输

膨胀节的包装与运输应参照 JB 2536—1980 中第 2 章的有关规定。

膨胀节交货时应提供“质量证明书”和推荐性的“安装说明书”等随带文件。“质量证明书”中至少应包括下述内容:

- a) 膨胀节的型式、型号和出厂编号;
- b) 波纹管的设计温度和设计疲劳寿命、波纹管和受压筒节等材料等;
- c) 膨胀节的外观检查、尺寸检查、焊缝探伤和压力试验等项出厂检验结论及检验员与制造厂的印章;
- d) 膨胀节生产所依据的标准。

### 9.2 贮存

膨胀节宜存放在清洁、干燥和无腐蚀性气氛的场地,最好在库房内存放。注意防止由于堆放、碰撞和跌落等原因造成波纹管机械损伤。装有导流筒的膨胀节竖直放置时,导流筒开口端应朝下。

附录 A  
(标准的附录)  
波纹管设计

## A1 符号

波纹管设计采用下列符号：

$A_c$ ——单个波纹的金属截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$$A_c = (0.571q + 2h)n\delta_m$$

$A_e$ ——波纹管有效面积,  $\text{mm}^2$ ;

$$A_e = \frac{\pi D_m^2}{4}$$

$A_f$ ——一个紧固件的金属截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$A_r$ ——一个加强件的金属截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$A_t$ —— $\Omega$ 形波纹管加强套环的金属总截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$B_1$ —— $\Omega$ 形波纹管  $\sigma_5$  的计算修正系数, 见图 A1;

$B_2$ —— $\Omega$ 形波纹管  $\sigma_6$  的计算修正系数, 见图 A1;

$B_3$ —— $\Omega$ 形波纹管  $f_{ii}$  的计算修正系数, 见图 A1;

$C_d$ ——U形波纹管  $\sigma_6$  的计算修正系数, 见图 A2;

$C_f$ ——U形波纹管  $\sigma_5$ 、 $f_{iu}$ 、 $f_{ir}$  的计算修正系数, 见图 A3;

$C_i$ ——单式膨胀节轴向和横向自振频率的计算系数;

$C_m$ ——材料强度系数;

$$C_m = 1.5, \text{用于热处理态波纹管};$$

$$C_m = 3.0, \text{用于成形态波纹管}$$

$C_p$ ——U形波纹管  $\sigma_4$  的计算修正系数, 见图 A4;

$C_r$ ——波高系数;

$$C_r = 0.3 - \left( \frac{100}{1\ 048\rho^{1.5} + 320} \right)^2$$

$C_t$ ——低于材料蠕变温度时波纹管疲劳寿命温度修正系数;

$$C_t = E_b/E_b^i$$

$C_w$ ——纵向焊缝有效系数, 下标 b、c、f、p 和 r 分别表示波纹管、加强套环、紧固件、管子和加强件材料; 其中, 当波纹管管坯纵向焊缝经 100% 着色渗透探伤或射线探伤合格且焊缝内、外表面都齐平时, 波纹管纵向焊缝有效系数 ( $C_{wb}$ ) 可以取为 1.0。

$C_z$ ——转换点系数;

$$C_z = \sqrt{\frac{4.72f_{iu}L_bq}{\sigma_{0.2}^i D_b A_c N}}$$

DN——膨胀节公称直径,  $\text{mm}$ ;

$D_b$ ——波纹管直边段内径,  $\text{mm}$ ;

$D_c$ ——波纹管直边段加强套环平均直径,  $\text{mm}$ ;

$$D_c = D_b + 2n\delta + \delta_c$$

$D_m$ ——波纹管平均直径,  $\text{mm}$ ;

$$D_m = D_b + h + n\delta, \text{适用于 U 形波纹管}$$

$D_e$ ——均衡环外径,mm;

$E^t$ ——按 GB 150—1998 中表 F5 及其他相关标准取值的设计温度下材料的弹性模量。下标 b、c、f、p 和 r 分别表示波纹管、加强套环、紧固件、管子和加强件材料,MPa;

$E$ ——按 GB 150—1998 中表 F5 及其他相关标准取值的室温下材料的弹性模量。下标 b、c、f、p 和 r 分别表示波纹管、加强套环、紧固件、管子和加强件材料,MPa;

$e$ ——计算单波总相当轴向位移,mm;

$[e]$ ——设计单波轴向位移,mm;

$e_x$ ——轴向位移“ $x$ ”引起的单波轴向位移,mm;

$e_y$ ——横向位移“ $y$ ”引起的单波最大相当轴向位移,mm;

$e_\theta$ ——角位移“ $\theta$ ”引起的单波相当轴向位移,mm;

$F_x$ ——轴向位移反力,N;

$F_y$ ——横向位移反力,N;

$F_p$ ——波纹管压力推力,N;

$f_i$ ——波纹管单波轴向弹性刚度,下标 u、r、t 分别表示无加强 U 形、加强 U 形和  $\Omega$  形波纹管, N/mm;

$f_n$ ——膨胀节自振频率,Hz;

$G$ ——设计温度下波纹管材料的剪切弹性模量,MPa;

$$G = \frac{E_b^t}{2(1 + \mu)}$$

$h$ ——波高,mm;

$K_t$ ——膨胀节整体扭转弹性刚度, N·m/(°);

$K_x$ ——膨胀节整体轴向弹性刚度, N/m;

$K_y$ ——膨胀节整体横向弹性刚度, N/m;

$K_\theta$ ——膨胀节整体弯曲刚度, N·m/(°);

$K_u$ —— $e_y$  的计算系数;

$$K_u = \frac{3L_u^2 - 3L_bL_u}{3L_u^2 - 6L_bL_u + 4L_b^2}$$

$k$ —— $\sigma_1$  和  $\sigma'_1$  的计算系数;

$$k = \frac{L_t}{1.5 \sqrt{D_b \delta}}, \text{ 且 } k \leq 1$$

$L_b$ ——波纹管的波纹长度,mm;

$$L_b = Nq$$

$L_c$ ——波纹管直边段加强套环长度,mm;

$L_d$ ——U 形波纹管单波展开长度,mm;

$$L_d = 0.571q + 2h$$

$L_f$ ——一个紧固件的有效长度,mm;

$L_l$ ——导流筒长度,mm;

$L_o$ —— $\Omega$  形波纹管波纹开口距离,mm;

$L_t$ ——波纹管直边段长度,mm;

$L_u$ ——复式膨胀节中两波纹管最外端间距离,mm;

$L_w$ —— $\Omega$  形波纹管两端连接环向焊缝间距离,mm;

$M_y$ ——膨胀节端部由横向位移引起的反力矩, N·m;

$M_\theta$ ——膨胀节端部由角位移引起的反力矩,  $N \cdot m$ ;

$N$ ——一个波纹管的波数;

$N_c$ ——波纹管平均疲劳寿命, 周次;

$[N_c]$ ——波纹管设计疲劳寿命, 周次;

$n$ ——厚度为“ $\delta$ ”的波纹管材料层数;

$n_f$ ——设计疲劳寿命安全系数,  $n_f \geq 10$ ;

$p$ ——压力, MPa;

$p_{sc}$ ——波纹管两端固支时柱失稳的极限设计内压, MPa;

$p'_{sc}$ ——波纹管端部支承条件变化时柱失稳的极限设计内压, MPa;

$p_{si}$ ——波纹管两端固支时平面内失稳的极限设计压力, MPa;

$q$ ——波距, U形波纹管中任意相邻波纹对应点间距离, mm;

$R$ ——波纹管所承受的内压作用力与加强件所承受的内压作用力之比。

在设计公式中具体化为  $R_1$  或  $R_2$ 。

$R_1 = \frac{A_c E_b^t}{A_r E_r^t}$ , 用于整体加强件;

$R_2 = \frac{A_c E_b^t}{D_m} \left( \frac{L_f}{A_f E_f^t} + \frac{D_m}{A_r E_r^t} \right)$ , 用于由紧固件连接的加强件;

$r$ —— $\Omega$ 形波纹管波纹平均半径, mm;

$r_c$ ——U形波纹管波峰内壁曲率半径, mm;

$r_o$ —— $\Omega$ 形波纹管开口外壁曲率半径, mm;

$r_r$ ——U形波纹管波谷外壁曲率半径, mm;

$T$ ——扭矩,  $N \cdot m$ ;

$u$ ——介质流速, m/s;

$V$ ——U形波纹管所有波纹间体积,  $mm^3$ ;

$x$ ——波纹管轴向压缩位移或轴向拉伸位移, mm;

$y$ ——膨胀节横向位移, mm;

$\delta$ ——波纹管一层材料的名义厚度, mm;

$\delta_c$ ——波纹管直边段加强套环厚度, mm;

$\delta_1$ ——导流筒厚度, mm;

$\delta_m$ ——波纹管成形后一层材料的厚度, mm;

$$\delta_m = \delta \sqrt{D_b/D_m}$$

$\delta_{min}$ ——推荐的导流筒最小厚度, mm;

$\delta_p$ ——与波纹管连接的管子的名义厚度, mm;

$\theta$ ——波纹管角位移, ( $^\circ$ );

$\mu$ ——材料的泊松比;

$\sigma_1$ ——压力引起的波纹管直边段周向薄膜应力, MPa;

$\sigma'_1$ ——压力引起的加强套环周向薄膜应力, MPa;

$\sigma_2$ ——压力引起的波纹管周向薄膜应力, MPa;

$\sigma'_2$ ——压力引起的加强件周向薄膜应力, MPa;

$\sigma_2''$ ——压力引起的紧固件薄膜应力, MPa;

$\sigma_3$ ——压力引起的波纹管子午向薄膜应力, MPa;

$\sigma_4$ ——压力引起的波纹管子午向弯曲应力, MPa;

$\sigma_5$ ——位移引起的波纹管子午向薄膜应力,MPa;

$\sigma_6$ ——位移引起的波纹管子午向弯曲应力,MPa;

$\sigma_{0.2}^t$ ——设计温度下成形态或热处理态波纹管材料的实测屈服强度,MPa;

$[\sigma]^t$ ——按 GB 150—1998 中表 4-1、表 4-3、表 4-5、表 4-7 及其他相关标准取值的设计温度下材料的许用应力,下标 b、c、f、p、r 分别表示波纹管、加强套环、紧固件、管子和加强件材料,MPa;

$\sigma_t$ ——子午向总应力范围,MPa;

$\tau_t$ ——扭转剪应力,MPa;

$\Phi$ ——扭转角,rad。

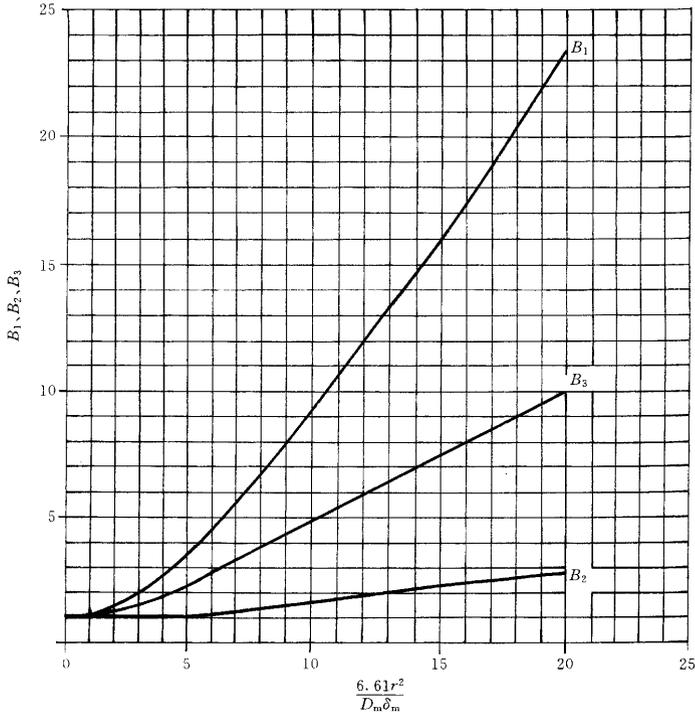


图 A1  $\Omega$  形波纹管的  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$

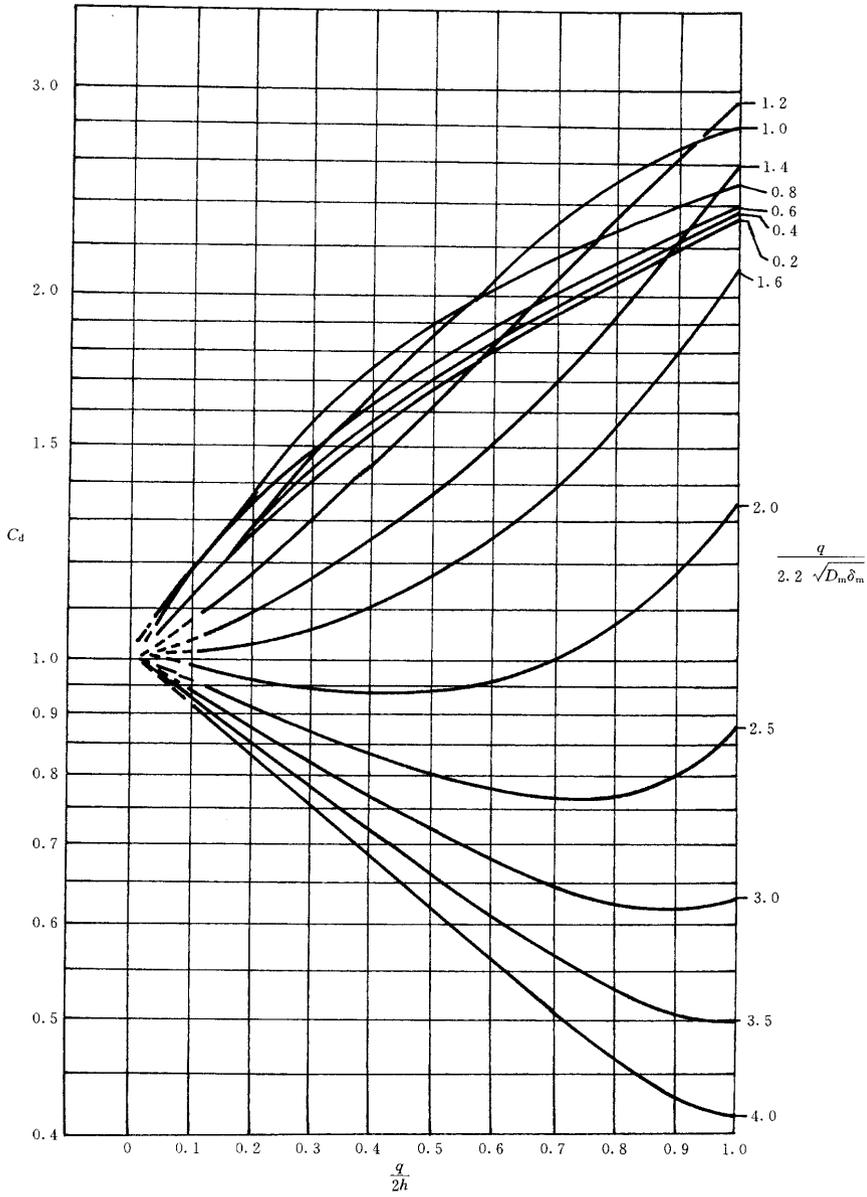


图 A2 U形波纹管的  $C_d$

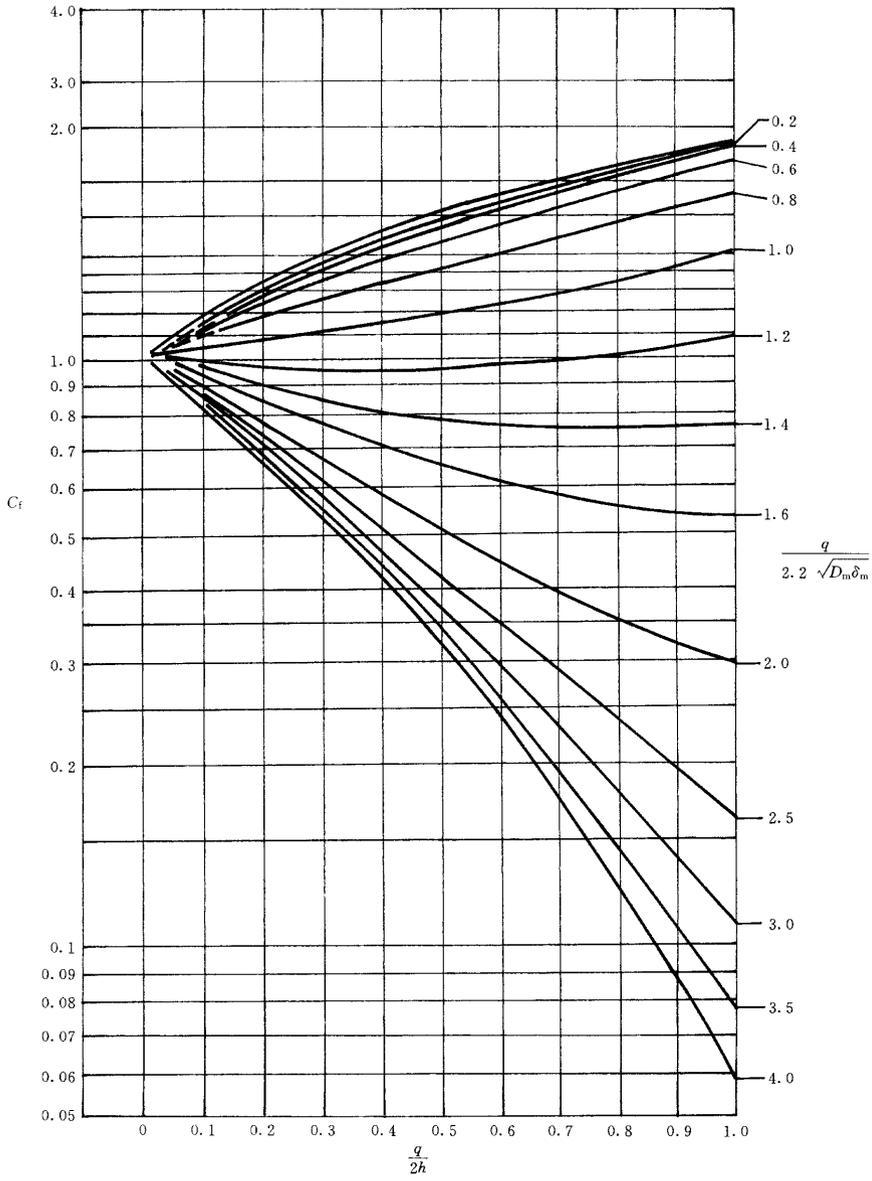


图 A3 U形波纹管的  $C_f$

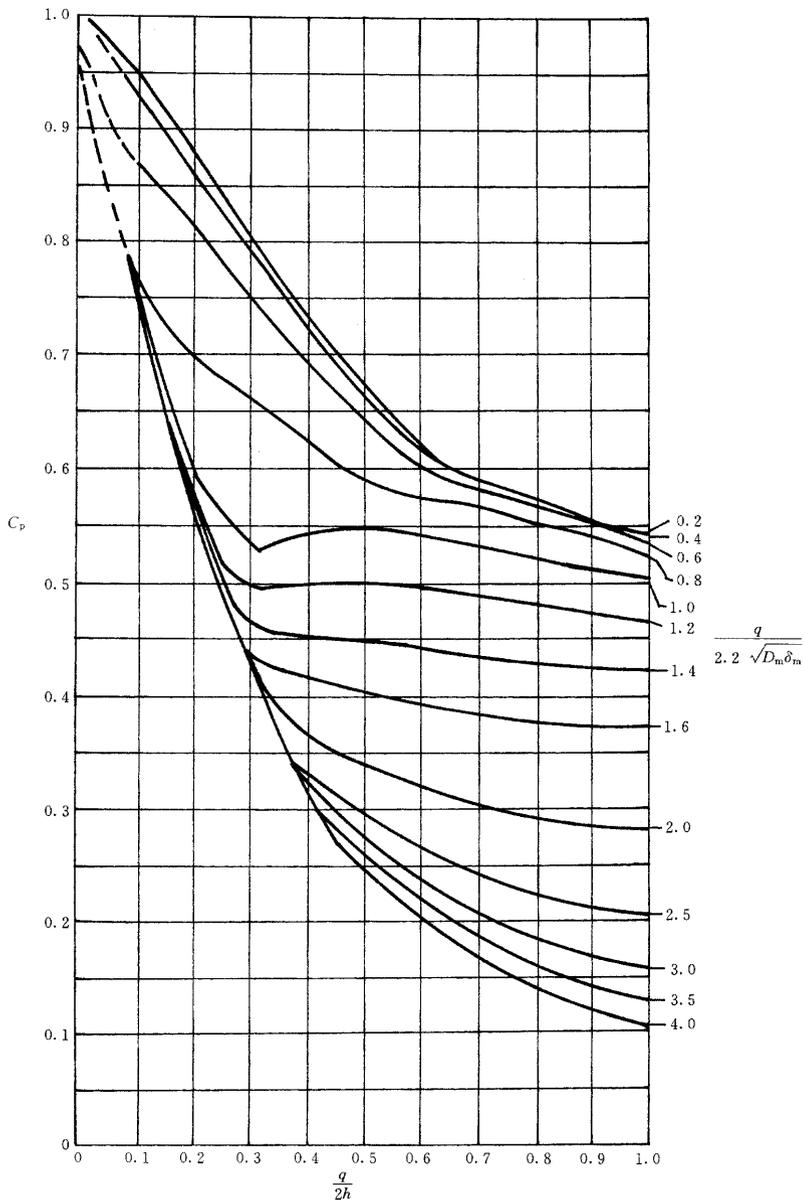


图 A4 U形波纹管的  $C_p$

A2 波纹管设计

A2.1 波纹尺寸

A2.1.1 U形波纹管的  $r_c, r_r$  宜按公式(A1)设计:

$$r_c = r_r \geq (4 + n)\delta \dots\dots\dots (A1)$$

A2.1.2  $\Omega$  形波纹管的  $L_0, r_0$  按公式(A2)、(A3)设计:

$$L_0 \leq r/2 \quad \dots\dots\dots (A2)$$

$$r_0 > 4n \delta \quad \dots\dots\dots (A3)$$

A2.2 波纹管设计温度

波纹管的设计温度应根据波纹管预计工作温度确定,并应低于波纹管材料的蠕变温度。

A2.3 无加强 U 形波纹管

无加强 U 形波纹管结构及零部件名称见图 A5。

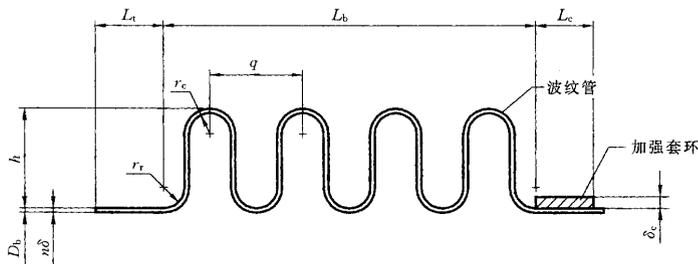


图 A5 无加强 U 形波纹管

A2.3.1 应力计算及其校核按公式(A4)~(A12):

$$\sigma_1 = \frac{p(D_b + n\delta)^2 L_t E_b k}{2[n\delta E_b L_t (D_b + n\delta) + \delta_c k E_c L_c D_c]} \leq C_{wb} [\sigma]_b \quad \dots\dots\dots (A4)$$

$$\sigma_1' = \frac{p D_c^2 L_t E_c k}{2[n\delta E_b L_t (D_b + n\delta) + \delta_c k E_c L_c D_c]} \leq C_{wc} [\sigma]_c \quad \dots\dots\dots (A5)$$

$$\sigma_2 = \frac{p D_m}{2n\delta_m (0.571 + 2h/q)} \leq C_{wb} [\sigma]_b \quad \dots\dots\dots (A6)$$

$$\sigma_3 = \frac{ph}{2n\delta_m} \quad \dots\dots\dots (A7)$$

$$\sigma_4 = \frac{ph^2 C_p}{2n\delta_m^2} \quad \dots\dots\dots (A8)$$

$$\sigma_3 + \sigma_4 \leq C_m [\sigma]_m \quad \dots\dots\dots (A9)$$

$$\sigma_5 = \frac{E_b \delta_m^2 e}{2h^3 C_f} \quad \dots\dots\dots (A10)$$

$$\sigma_6 = \frac{5E_b \delta_m e}{3h^2 C_d} \quad \dots\dots\dots (A11)$$

$$\sigma_t = 0.7(\sigma_3 + \sigma_4) + \sigma_5 + \sigma_6 \quad \dots\dots\dots (A12)$$

A2.3.2 疲劳寿命按公式(A13)、(A14)计算:

$$N_c = \left( \frac{12\ 820}{C_t \sigma_t - 370} \right)^{3.4} \quad \dots\dots\dots (A13)$$

$$[N_c] = N_c / n_f \quad \dots\dots\dots (A14)$$

公式(A13)、(A14)只适用于平均疲劳寿命( $N_c$ )在  $10^3 \sim 10^5$  之间的奥氏体不锈钢成形态波纹管。

A2.3.3 单波轴向弹性刚度按公式(A15)计算:

$$f_{iu} = \frac{1.7 D_m E_b \delta_m^3 n}{h^3 C_f} \quad \dots\dots\dots (A15)$$

A2.3.4 稳定性计算按如下:

a) 波纹管两端为固支时柱失稳的极限设计内压按公式(A16)或(A17)计算:

1) 当  $L_b/D_b \geq C_z$  时

$$p_{sc} = \frac{0.34\pi f_{iu}}{N^2 q} \dots\dots\dots (A16)$$

2) 当  $L_b/D_b < C_z$  时

$$p_{sc} = \frac{0.58A_c \sigma_{0.2}^t}{D_b q} \left( 1 - \frac{0.6L_b}{C_z D_b} \right) \dots\dots\dots (A17)$$

对于复式膨胀节,  $N$  为两个波纹管的波数总和。

当波纹管端部支承条件有变化时, 柱失稳的极限设计内压应相应变化, 具体如下:

波纹管两端分别为固支、铰支时, 柱失稳的极限设计内压按公式(A18)计算:

$$p'_{sc} = 0.5 p_{sc} \dots\dots\dots (A18)$$

波纹管两端均为铰支时, 柱失稳的极限设计内压按公式(A19)计算:

$$p'_{sc} = 0.25 p_{sc} \dots\dots\dots (A19)$$

波纹管两端分别为固支、横向导向时, 柱失稳的极限设计内压按公式(A20)计算:

$$p'_{sc} = 0.25 p_{sc} \dots\dots\dots (A20)$$

波纹管两端分别为固支、自由时, 柱失稳的极限设计内压按公式(A21)计算:

$$p'_{sc} = 0.06 p_{sc} \dots\dots\dots (A21)$$

b) 波纹管两端为固支时, 平面内失稳的极限设计压力按公式(A22)计算:

$$p_{si} = \frac{1.4n\delta_m^2 \sigma_{0.2}^t}{h^2 C_p} \dots\dots\dots (A22)$$

### A2.4 加强 U 形波纹管

加强 U 形波纹管结构及零部件名称见图 A6。

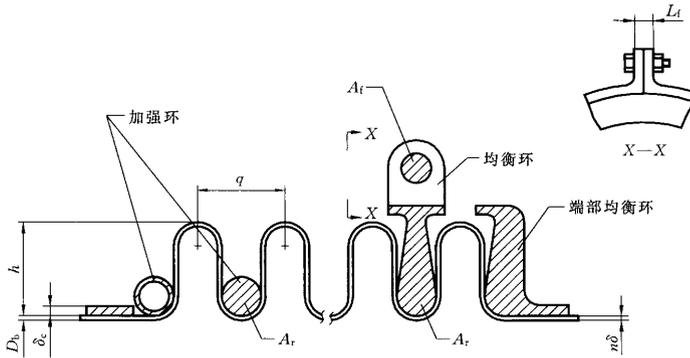


图 A6 加强 U 形波纹管

A2.4.1 应力计算及其校核按公式(A23)~(A33):

$$\sigma_1 = \frac{p(D_b + n\delta)^2 L_t E_b^t k}{2[n\delta E_b^t L_t (D_b + n\delta) + \delta_c k E_c^t L_c D_c]} \leq C_{wb} [\sigma]_b \dots\dots\dots (A23)$$

$$\sigma_1' = \frac{p D_c^2 L_t E_c^t k}{2[n\delta E_b^t L_t (D_b + n\delta) + \delta_c k E_c^t L_c D_c]} \leq C_{wc} [\sigma]_c \dots\dots\dots (A24)$$

$$\sigma_2 = \frac{p D_m q R}{2 A_c (R + 1)} \leq C_{wb} [\sigma]_b \dots\dots\dots (A25)$$

$$\sigma_2' = \frac{p D_m q}{2 A_r (R_1 + 1)} \leq C_{wr} [\sigma]_r \dots\dots\dots (A26)$$

$$\sigma_2'' = \frac{p D_m q}{2 A_i (R_2 + 1)} \leq [\sigma]_i \dots\dots\dots (A27)$$

$$\sigma_3 = \frac{0.85p(h - C_r q)}{2n\delta_m} \dots\dots\dots (A28)$$

$$\sigma_4 = \frac{0.85p(h - C_r q)^2 C_p}{2n\delta_m^2} \dots\dots\dots (A29)$$

$$\sigma_3 + \sigma_4 \leq C_m [\sigma]_b \dots\dots\dots (A30)$$

$$\sigma_5 = \frac{E_b \delta_m^2 e}{2(h - C_r q)^3 C_f} \dots\dots\dots (A31)$$

$$\sigma_6 = \frac{5E_b \delta_m e}{3(h - C_r q)^2 C_d} \dots\dots\dots (A32)$$

$$\sigma_t = 0.7(\sigma_3 + \sigma_4) + \sigma_5 + \sigma_6 \dots\dots\dots (A33)$$

A2.4.2 疲劳寿命按公式(A34)、(A35)计算：

$$N_c = \left( \frac{35\,720}{C_t \sigma_t - 290} \right)^{2.9} \dots\dots\dots (A34)$$

$$[N_c] = N_c / n_f \dots\dots\dots (A35)$$

公式(A34)、(A35)只适用于平均疲劳寿命( $N_c$ )在  $10^3 \sim 10^5$  之间的奥氏体不锈钢成型波纹管。

A2.4.3 单波轴向弹性刚度按公式(A36)计算：

$$f_{ir} = \frac{1.7D_m E_b \delta_m^3 n}{(h - C_r q)^3 C_f} \dots\dots\dots (A36)$$

A2.4.4 波纹管两端为固支时，柱失稳的极限设计内压按公式(A37)计算：

$$P_{sc} = \frac{0.3\pi f_{ir}}{N^2 q} \dots\dots\dots (A37)$$

对于复式膨胀节， $N$  为两个波纹管的波数总和。

当波纹管端部支承条件有变化时，柱失稳的极限设计内压  $p'_{sc}$  的计算与无加强 U 形波纹管相同。

A2.5  $\Omega$  形波纹管

$\Omega$  形波纹管结构及零部件名称见图 A7。

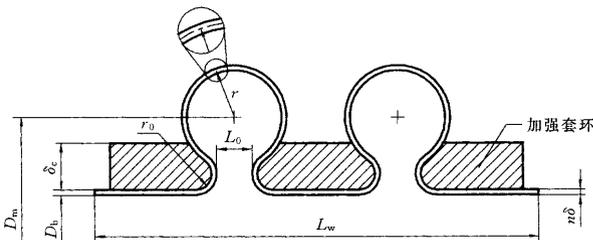


图 A7  $\Omega$  形波纹管

A2.5.1 应力计算及其校核按公式(A38)~(A44)：

$$\sigma_1 = \frac{p(D_b + n\delta)^2 L_w E_b^t}{2[n\delta L_w (D_b + n\delta) E_b^t + D_c E_c^t A_t]} \leq C_{wb} [\sigma]_b \dots\dots\dots (A38)$$

$$\sigma_1' = \frac{p D_c^2 L_w E_c^t}{2[n\delta L_w (D_b + n\delta) E_b^t + D_c E_c^t A_t]} \leq C_{wc} [\sigma]_c \dots\dots\dots (A39)$$

$$\sigma_2 = \frac{pr}{2n\delta_m} \leq C_{wb} [\sigma]_b \dots\dots\dots (A40)$$

$$\sigma_3 = \frac{pr(D_m - r)}{n\delta_m (D_m - 2r)} \leq [\sigma]_b \dots\dots\dots (A41)$$

$$\sigma_5 = \frac{E_b \delta_m^2 e B_1}{34.3r^3} \dots\dots\dots (A42)$$

$$\sigma_6 = \frac{E_b \delta_m e B_2}{5.72r^2} \dots\dots\dots (A43)$$

$$\sigma_t = 3\sigma_3 + \sigma_5 + \sigma_6 \dots\dots\dots (A44)$$

A2.5.2 疲劳寿命按公式(A45)、(A46)计算:

$$N_c = \left( \frac{15\ 860}{C_t \sigma_t - 290} \right)^{3.25} \dots\dots\dots (A45)$$

$$[N_c] = N_c / n_f \dots\dots\dots (A46)$$

公式(A45)、(A46)只适用于平均疲劳寿命( $N_c$ )在  $10^3 \sim 10^5$  之间的奥氏体不锈钢成形态波纹管。

A2.5.3 单波轴向弹性刚度按公式(A47)计算:

$$f_{it} = \frac{D_m E_b \delta_m^3 n B_3}{10.92r^3} \dots\dots\dots (A47)$$

A2.5.4 波纹管两端为固支时,柱失稳的极限设计内压按公式(A48)计算:

$$p_{sc} = \frac{0.15\pi f_{it}}{N^2 r} \dots\dots\dots (A48)$$

对于复式膨胀节,  $N$  为两个波纹管的波数总和。

当波纹管端部支承条件有变化时,柱失稳的极限设计内压的计算与无加强 U 形波纹管相同。

A2.6 外压周向稳定性

当膨胀节用于真空条件或承受外压时,除应进行应力和疲劳寿命核算外,还应对 U 形波纹管及其相连接的管子(见图 A8)进行外压周向稳定性校核。

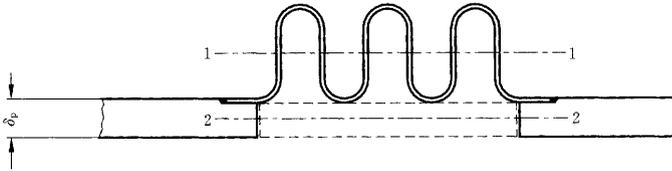


图 A8 截面形心轴

A2.6.1 波纹管截面对 1-1 轴的惯性矩按公式(A49)计算:

$$I_1 = Nn\delta \left[ \frac{(2h - q)^3}{48} + 0.4q(h - 0.2q)^2 \right] \dots\dots\dots (A49)$$

被波纹管取代的管子部分截面对 2-2 轴的惯性矩按公式(A50)计算:

$$I_2 = \frac{L_b \delta_p^3}{12} \dots\dots\dots (A50)$$

A2.6.2 当  $I_1 < I_2$  时,将波纹管视为长度为  $L_b$ 、外径为  $D_m$ 、厚度为  $\sqrt[3]{12 I_1 / L_b}$  的当量圆筒进行外压周向稳定性校核。

当  $I_1 \geq I_2$  时,将波纹管视为管子的一部分,作为连续管子进行外压周向稳定性校核。

外压管子周向稳定性核算方法按 GB 150—1998 中 6.2.1 规定。

A2.7 波纹管扭转

一个无加强 U 形和加强 U 形波纹管绕轴线扭转时产生的扭转剪应力和扭转角分别按公式(A51)、(A52)计算:

$$\tau_t = \frac{2\ 000T}{\pi n \delta D_b^2} \leq 0.25[\sigma]_b \dots\dots\dots (A51)$$

$$\Phi = \frac{4\ 000TL_d N}{\pi n \delta G D_b^3} \dots\dots\dots (A52)$$

## A3 膨胀节位移及其作用力计算

## A3.1 单波位移

A3.1.1 轴向位移“ $x$ ”引起的单波轴向位移按公式(A53)、(A54)计算:

a) 单式膨胀节:

$$e_x = \frac{x}{N} \quad \dots\dots\dots (A53)$$

b) 复式膨胀节:

$$e_x = \frac{x}{2N} \quad \dots\dots\dots (A54)$$

A3.1.2 横向位移“ $y$ ”引起的单波最大相当轴向位移按公式(A55)、(A56)计算:

a) 单式膨胀节:

$$e_y = \frac{3D_m y}{N(L_b \pm x)} \quad \dots\dots\dots (A55)$$

b) 复式膨胀节:

$$e_y = \frac{K_u D_m y}{2N(L_u - L_b \pm x/2)} \quad \dots\dots\dots (A56)$$

公式(A55)和公式(A56)中,当轴向位移“ $x$ ”为拉伸时取“+”号,当轴向位移“ $x$ ”为压缩时取“-”号。

A3.1.3 角位移“ $\theta$ ”引起的单波相当轴向位移按公式(A57)计算:

$$e_\theta = \frac{\pi \theta D_m}{360N} \quad \dots\dots\dots (A57)$$

A3.1.4 当膨胀节同时承受几种位移时,其单波总相当轴向位移按公式(A58)计算:

$$e = e_x + e_y + e_\theta \leq [e] \quad \dots\dots\dots (A58)$$

式中,当横向位移与角位移在同一平面时, $e_y$ 和 $e_\theta$ 为代数和;当横向位移与角位移不在同一平面时, $e_y$ 和 $e_\theta$ 应先求矢量和再与 $e_x$ 相加。

当计算带均衡环的波纹管的 $e_y$ 、 $e_\theta$ 时,应该用 $D_r$ 代替 $D_m$ 。

## A3.2 膨胀节整体弹性刚度

A3.2.1 膨胀节整体轴向弹性刚度按公式(A59)、(A60)计算:

a) 单式膨胀节:

$$K_x = \frac{f_i}{N} \quad \dots\dots\dots (A59)$$

b) 复式膨胀节:

$$K_x = \frac{f_i}{2N} \quad \dots\dots\dots (A60)$$

A3.2.2 膨胀节整体横向弹性刚度按公式(A61)、(A62)计算:

a) 单式膨胀节:

$$K_y = \frac{1.5D_m^2 f_i}{N(L_b \pm x/2)^2} \quad \dots\dots\dots (A61)$$

b) 复式膨胀节:

$$K_y = \frac{K_u D_m^2 f_i}{4NL_u(L_u - L_b \pm x/2)} \quad \dots\dots\dots (A62)$$

式中轴向位移“ $x$ ”的“+”、“-”号定义与公式(A55)、(A56)中的定义相同。

A3.2.3 膨胀节整体弯曲弹性刚度按公式(A63)计算:

$$K_{\theta} = \frac{\pi D_m^2 f_i}{1.44 \times 10^6 N} \dots\dots\dots (A63)$$

A3.2.4 膨胀节整体扭转弹性刚度按公式(A64)计算:

$$K_t = \frac{\pi^2 G n \delta D_b^3}{7.2 \times 10^5 N L_d} \dots\dots\dots (A64)$$

A3.3 膨胀节压力推力、位移反力和位移反力矩

A3.3.1 波纹管压力推力按公式(A65)计算:

$$F_p = A_e p \dots\dots\dots (A65)$$

A3.3.2 膨胀节位移反力按公式(A66)、(A67)计算:

a) 轴向位移反力:

$$F_x = K_x x \dots\dots\dots (A66)$$

b) 横向位移反力:

$$F_y = K_y y \dots\dots\dots (A67)$$

A3.3.3 膨胀节位移反力矩按公式(A68)、(A69)、(A70)计算:

a) 横向位移反力矩:

$$M_y = \frac{f_i D_m e_y}{4\ 000} \dots\dots\dots (A68)$$

b) 角位移反力矩:

$$M_{\theta} = \theta K_{\theta} \dots\dots\dots (A69)$$

c) 扭转反力矩:

$$T = \frac{180 \Phi K_t}{\pi} \dots\dots\dots (A70)$$

A4 膨胀节自振频率计算

A4.1 自振频率的范围

膨胀节可用于高频低幅振动系统。为了避免膨胀节与系统发生共振,膨胀节的自振频率应小于系统频率或至少大于1.5倍的系统频率。

A4.2 自振频率计算

A4.2.1 U形波纹管所有波纹间体积按公式(A71)计算:

$$V = \frac{\pi}{4} (D_m^2 - D_b^2) L_b - \frac{\pi}{2} N n \delta_m D_m (2h + 0.571q) \dots\dots\dots (A71)$$

A4.2.2 单式膨胀节轴向振动自振频率  $f_n$  按公式(A72)计算:

$$f_n = C_i \sqrt{K_x/W} \dots\dots\dots (A72)$$

式中:  $W$ ——包括加强件的波纹管重量,介质为液体时  $W$  还应包括只在波纹间的液体重量,kg;

$C_i$ ——对于前五阶振型,  $C_i$  的取值见表 A1。

表 A1  $C_i$  值

波数	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
1	14.22	—	—	—	—
2	15.30	28.48	37.17	—	—
3	15.69	30.25	42.64	52.29	58.25
4	15.69	30.73	44.73	56.96	66.94
5	15.78	31.06	45.70	59.22	71.12

表 A1(完)

波数	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
6	15.78	31.22	46.18	60.34	73.38
7	15.78	31.38	46.50	61.14	74.99
8	15.78	31.38	46.82	61.47	75.79
9	15.78	31.38	46.82	61.95	76.43
$\geq 10$	15.78	31.54	46.98	62.12	76.91

A4.2.3 单式膨胀节横向振动自振频率  $f_n$  按公式(A73)计算:

$$f_n = C_i(D_m/L_b) \sqrt{K_x/W} \dots\dots\dots(A73)$$

式中:  $W$ ——包括加强件的波纹管重量,介质为液体时  $W$  还应包括一个直径为  $D_m$ 、长度为  $L_b$  的液柱重量,kg;

$C_i$ ——对于前五阶振型,  $C_i$  的取值见表 A2。

表 A2  $C_i$  值

$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
39.91	109.74	214.01	355.61	531.00

A4.2.4 复式膨胀节轴向振动自振频率  $f_n$  按公式(A74)计算:

$$f_n = 7.13 \sqrt{2K_x/W} \dots\dots\dots(A74)$$

式中:  $W$ ——包括加强件的一个波纹管加中间管的重量,介质为液体时  $W$  还应包括一个波纹管的只在波纹间的液体重量,kg;

A4.2.5 复式膨胀节中间管两端同相横向振动自振频率  $f_n$  按公式(A75)计算:

$$f_n = 8.73(D_m/L_b) \sqrt{2K_x/W} \dots\dots\dots(A75)$$

式中:  $W$ ——同公式(A74)中的  $W$ 。

A4.2.6 复式膨胀节中间管两端异相横向振动自振频率  $f_n$  按公式(A76)计算:

$$f_n = 15.10(D_m/L_b) \sqrt{2K_x/W} \dots\dots\dots(A76)$$

式中:  $W$ ——同公式(A74)中的  $W$ 。

## A5 导流筒设计

### A5.1 导流筒设置

当有下述之一要求时应设置导流筒:

a) 要求保持摩擦损失最小及流动平稳时。

b) 流速达到下列值时:

气体:  $DN \leq 150 \text{ mm}, u > 0.05 \text{ DN m/s}$ ;

$DN > 150 \text{ mm}, u > 8 \text{ m/s}$ ;

液体:  $DN \leq 150 \text{ mm}, u > 0.02 \text{ DN m/s}$ ;

$DN > 150 \text{ mm}, u > 3 \text{ m/s}$ 。

当距膨胀节 10 倍管子直径范围内由于阀门、三通、弯头等发生湍流时,在采用上述判定之前,应将实际流速乘以 4。

c) 存在磨蚀可能时。

d) 介质温度高,需降低波纹管金属温度时。

## A5.2 导流筒厚度

A5.2.1 当导流筒长度  $L_1 \leq 460$  mm 且介质流速  $u \leq 30$  m/s 时,推荐的导流筒最小厚度  $\delta_{\min}$  见表 A3。

表 A3 导流筒最小厚度

mm

DN	50~80	100~250	300~600	700~1 200	1 300~1 800	>1 800
$\delta_{\min}$	0.6	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5

表中的  $\delta_{\min}$  指的是用不锈钢材料制造的导流筒应选取的最小厚度值,当导流筒材料为碳钢时,应在  $\delta_{\min}$  上再加腐蚀裕量。

A5.2.2 当  $L_1 > 460$  mm 时,  $\delta_1 \geq \delta_{\min} \sqrt{L_1/460}$ ;

当  $u > 30$  m/s 时,  $\delta_1 \geq \delta_{\min} \sqrt{u/30}$ ;

当  $L_1 > 460$  mm 且  $u > 30$  m/s 时,  $\delta_1 \geq \delta_{\min} \sqrt{L_1/460} \cdot \sqrt{u/30}$ 。

A5.2.3 当距膨胀节逆介质流动方向 10 倍管子直径范围内由于阀门、三通、弯头等发生湍流时,在采用上述判定之前,应将实际流速乘以 4。

## A5.3 排液孔

当介质为液体或蒸汽且向上流动时,导流筒应设排液孔。

## 附录 B

(提示的附录)

## 结构件设计

## B1 符号

$A$ ——拉杆有效截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$B$ ——十字销轴长度, mm;

$b$ ——矩形截面板宽度, mm;

$D$ ——端环外径, mm;

$D_w$ ——万向环平均直径, mm;

$d$ ——端管外径, mm;

$F$ ——总轴向力,包括波纹管压力推力及其他轴向作用力, N;

$h_1$ ——十字销轴宽度, mm;

$h_2$ ——十字销轴厚度, mm;

$I$ ——截面惯性矩,下标表示所对应的轴,  $\text{mm}^4$ ;

$p$ ——压力, MPa;

$r$ ——销轴半径, mm;

$S$ ——截面静矩,下标表示所对应的轴,  $\text{mm}^3$ ;

$\delta$ ——矩形截面板厚度, mm;

$\sigma$ ——正应力, MPa;

$[\sigma]$ ——按 GB 150—1998 中表 4-1、表 4-3、表 4-5、表 4-7 及其他相关标准取值的室温下材料的许用应力, MPa;

$[\sigma]^t$ ——按 GB 150—1998 中表 4-1、表 4-3、表 4-5、表 4-7 及其他相关标准取值的设计温度下材料的许用应力, MPa;

$\tau$ ——剪应力, MPa。

**B2 受压筒节**

受内、外压筒节的设计按 GB 150—1998 中第 5 章、第 6 章。

**B3 端环**

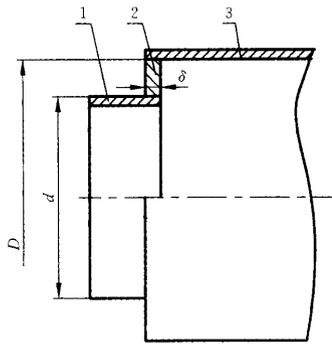
外压单式轴向型膨胀节中端环(见图 B1)的设计按公式(B1)计算:

$$\sigma = \frac{\alpha p D^2}{4\delta^2} \leq [\sigma]^t \quad \dots\dots\dots (B1)$$

式中:  $\alpha$ ——端环外周界应力计算系数,见表 B1。

表 B1 端环外周界应力计算系数

$d/D$	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
$\alpha$	0.017	0.072	0.151	0.250	0.361



1—进口端管;2—端环;3—外管

图 B1 端环

**B4 立板**

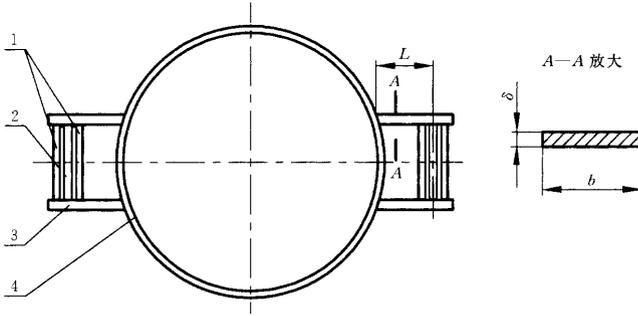
单式铰链型、单式万向铰链型、复式铰链型、复式万向铰链型膨胀节中立板的设计按下述。

a) 无马鞍板的立板(见图 B2)的设计按公式(B2)、(B3)计算:

$$\tau = \frac{0.375F}{\delta b} \leq 0.577[\sigma]^t \quad \dots\dots\dots (B2)$$

$$\sigma = \frac{1.5FL}{\delta b^2} \leq [\sigma]^t \quad \dots\dots\dots (B3)$$

式中:  $L$ ——立板上主铰链板中心线到端管外壁的距离,mm。



1—副铰链板；2—主铰链板；3—立板；4—端管

图 B2 无马鞍板的立板

b) 有马鞍板的立板(见图 B3)的设计按公式(B2)、(B4)计算：

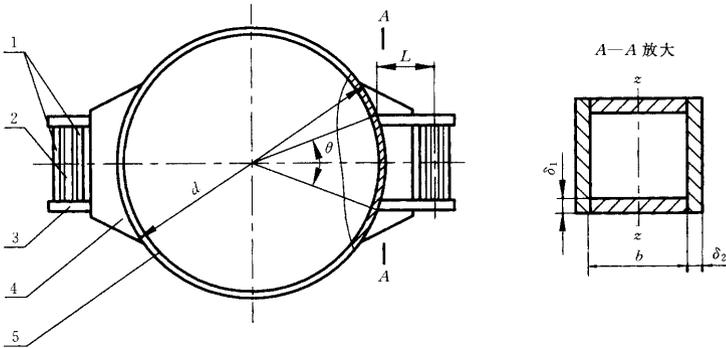
$$\sigma = \frac{FL(b + 2\delta_2)}{4I_z} \leq [\sigma] \dots\dots\dots (B4)$$

式中： $\delta_2$ ——马鞍板厚度，mm；

$$I_z = \frac{\theta d(b + 2\delta_2)^3 - (\theta d - 4\delta_1)b^3}{24}, \text{mm}^4;$$

$\delta_1$ ——立板厚度，mm；

$\theta$ ——两立板对端管圆心的夹角，rad。



1—副铰链板；2—主铰链板；3—立板；4—马鞍板；5—端管

图 B3 有马鞍板的立板

**B5 铰链板**

单式铰链型、单式万向铰链型、复式铰链型、复式万向铰链型膨胀节中铰链板(见图 B4)的设计按公式(B5)、(B6)、(B7)计算：

$$\text{拉伸应力 } \sigma = \frac{F}{a(b - 2r)\delta} \leq [\sigma] \dots\dots\dots (B5)$$

$$\text{挤压应力 } \sigma_{jy} = \frac{F}{2ar\delta} \leq 1.7[\sigma] \dots\dots\dots (B6)$$

$$\text{剪豁应力 } \tau = \frac{F}{2a(L - r)\delta} \leq 0.577[\sigma] \dots\dots\dots (B7)$$

当  $L \geq 4r$  时，可不考虑剪豁应力。

式中： $a$ ——铰链板数量。对于单式铰链型、复式铰链型膨胀节其主铰链板  $a=2$ ，副铰链板  $a=4$ ；对于单式万向铰链型、复式万向铰链型膨胀节， $a=4$ 。

$L$ ——铰链板孔中心到铰链板边缘的距离,mm。

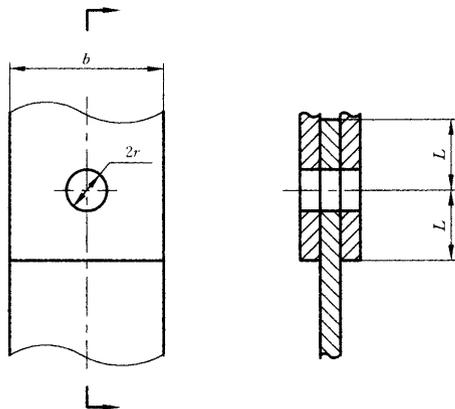


图 B4 铰链板

**B6 销轴**

a) 单式铰链型、单式万向铰链型、复式铰链型、复式万向铰链型膨胀节中销轴的设计按公式(B8)计算:

$$\tau = \frac{F}{4\pi r^2} \leq 0.577[\sigma] \quad \dots\dots\dots (B8)$$

b) 复式万向铰链型膨胀节中十字销轴(见图 B5)的设计按公式(B9)、(B10)、(B11)计算:

弯曲应力  $\sigma = \frac{3FBh_2}{4h_1(h_2^3 - 8r^3)} \leq [\sigma] \quad \dots\dots\dots (B9)$

挤压应力  $\sigma_{jy} = \frac{F}{4rh_1} \leq 1.7[\sigma] \quad \dots\dots\dots (B10)$

剪豁应力  $\tau = \frac{F}{2h_1(h_2 - 2r)} \leq 0.577[\sigma] \quad \dots\dots\dots (B11)$

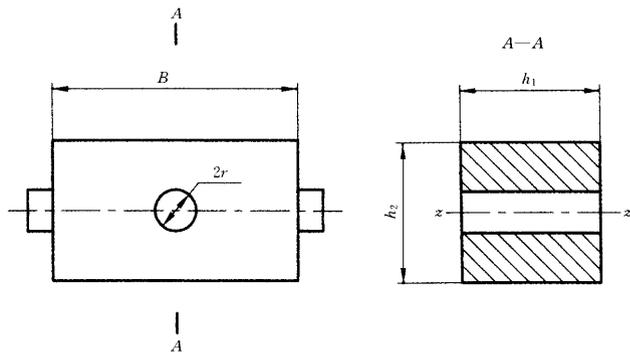


图 B5 十字销轴

**B7 万向环**

单式万向铰链型膨胀节中万向环(见图 B6)的设计按公式(B12)、(B13)计算:

$$\sigma = \frac{0.75FD_w}{\delta b^2} \leq [\sigma] \quad \dots\dots\dots (B12)$$

$$\tau = \frac{0.156(b + 0.6\delta)FD_w}{\delta^2 b^2} \leq 0.577[\sigma] \quad \dots\dots\dots (B13)$$

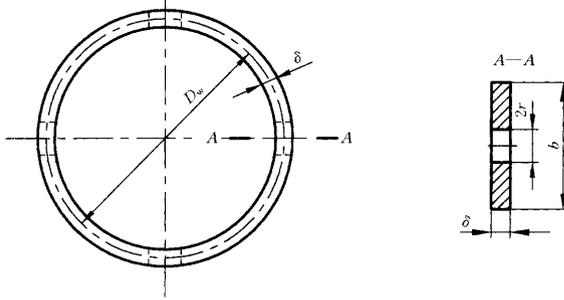


图 B6 万向环

**B8 拉杆**

复式拉杆型、弯管压力平衡型和直管压力平衡型膨胀节中拉杆的设计按公式(B14)计算：

$$\sigma = \frac{F}{aA} \leq [\sigma] \quad \dots\dots\dots (B14)$$

式中：a——拉杆数量。

拉杆直径的选取除应满足公式(B14)要求外，还应符合表 B2 的要求。

表 B2 拉杆最小直径

mm

膨胀节公称直径 拉杆长度	≤150	≤300	≤600	≤1 200	>1 200
≤600	16	20	24	30	30
≤1 200	20	20	24	30	36
≤2 400	24	30	30	36	36
>2 400	30	30	36	36	40

**B9 端板**

复式拉杆型、弯管压力平衡型膨胀节中端板的设计按下述。

a) 无筋板的端板(见图 B7)的设计按公式(B15)、(B16)计算：

$$\sigma = \frac{12FL}{\pi d \delta^2} \leq [\sigma]^t \quad \dots\dots\dots (B15)$$

$$\tau = \frac{3F}{\pi d \delta} \leq 0.577[\sigma]^t \quad \dots\dots\dots (B16)$$

式中：L——端板上拉杆孔中心到端管外壁的距离，mm。

b) 有筋板的端板(见图 B8)的设计按公式(B17)、(B18)计算：

$$\sigma = \frac{FLy_{\max}}{4I_z} \leq [\sigma]^t \quad \dots\dots\dots (B17)$$

$$\tau = \frac{FS_z}{8I_z \delta_1} \leq 0.577[\sigma]^t \quad \dots\dots\dots (B18)$$

式中： $L$ ——端板上拉杆孔中心到端管外壁的距离，mm；

$$y_{\max} = \frac{b}{2} + y, \text{mm};$$

$$y = \frac{d\theta\delta_2(b + \delta_2)}{2(4\delta_1b + d\theta\delta_2)}, \text{mm};$$

$$I_z = I_1 + 2y^2\delta_1b + I_2 + (b - 2y + \delta_2)^2\delta_2d\theta/8, \text{mm}^4;$$

$$I_1 = \frac{\delta_1b^3}{6}, \text{mm}^4;$$

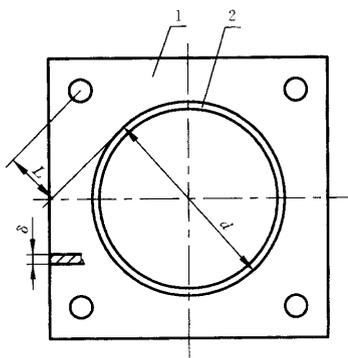
$$I_2 = \frac{d\theta\delta_2^3}{24}, \text{mm}^4;$$

$$S_z = \delta_1y_{\max}^2, \text{mm}^3;$$

$\delta_1$ ——筋板厚度，mm；

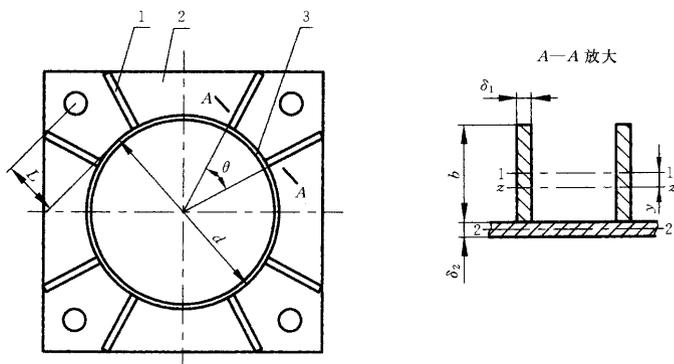
$\delta_2$ ——端板厚度， $\delta_2$  不小于拉杆半径，mm；

$\theta$ ——筋板间夹角，rad。



1—端板；2—端管

图 B7 无筋板的端板



1—筋板；2—端板；3—端管

图 B8 有筋板的端板

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
金属波纹管膨胀节通用技术条件

GB/T 12777—1999

\*

中国标准出版社出版  
北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

电 话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
版权专有 不得翻印

\*

开本 880×1230 1/16 印张 2½ 字数 69 千字

1999年10月第一版 1999年10月第一次印刷

印数 1—2 000

\*

书号: 155066·1-16181 定价 18.00 元

\*

标 目 387—41



GB/T 12777-1999