

ICS 47.020.30
U 55



中华人民共和国国家标准

GB/T 12522—2009
代替 GB/T 12522—1996

不锈钢波形膨胀节

Stainless steel bellows expansion joints

2009-03-09 发布

2009-11-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 分类和标记	2
5 要求	9
6 试验方法	11
7 检验规则	11
8 标志	12
9 包装、运输和贮存	13
附录 A (资料性附录) 波纹管设计计算	14
附录 B (资料性附录) 位移力和热胀量的计算	22

前 言

本标准对应于美国膨胀节制造商协会(EJMA)标准(Standards of the Expansion Joint Manufacturers Association)2003年第8版,与EJMA标准的一致性程度为非等效。

本标准代替GB/T 12522—1996《不锈钢波形膨胀节》。

本标准与GB/T 12522—1996相比,主要变化如下:

- 增加了JIS法兰连接尺寸的系列;
- 公称尺寸在原标准基础上扩大至DN3200;
- 增加了术语和定义、膨胀节工作温度;
- 增加了类型Ⅱ以及相关的要求;
- 增加了膨胀节波纹管材料牌号;
- 调整了疲劳试验的试验次数要求;
- 修改了GB/T 12522—1996附录A的部分设计公式。

本标准的附录A和附录B为资料性附录。

本标准由中国船舶工业集团公司提出。

本标准由全国船用机械标准化技术委员会管系附件分技术委员会(SAC/TC 137/SC 3)归口。

本标准起草单位:无锡金波隔振科技有限公司(无锡市波纹管厂)、中国船舶工业综合技术经济研究院。

本标准主要起草人:顾培坤、华乐、顾寅峰、徐耀明、何锐裕、罗发元、孙镜明。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB 12522—1990、GB/T 12522—1996。

不锈钢波形膨胀节

1 范围

本标准规定了法兰连接尺寸和密封面按 GB/T 569、ISO 7005-1(PN 系列)和 J 类法兰(JIS B 2220、JIS F 7805)的不锈钢波形膨胀节(以下简称膨胀节)的术语和定义、分类和标记、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等。

本标准适用于内燃机排气等管路的膨胀节的设计、制造和验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GB/T 191 包装储运图示标志(GB/T 191—2008,ISO 780:1997,MOD)
- GB/T 569 船用法兰 连接尺寸和密封面
- GB/T 699—1999 优质碳素结构钢
- GB/T 700—2006 碳素结构钢(ISO 630:1995,Structural steels—Plates,wide flats,bars,sections and profiles,NEQ)
- 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(eqv ISO 286-1:1988)
- GB/T 1800.4—1999 极限与配合 标准公差等级和孔、轴的极限偏差表(eqv ISO 286-2:1988)
- GB/T 3280—2007 不锈钢冷轧钢板和钢带
- GB/T 4237—2007 不锈钢热轧钢板和钢带
- GB/T 6388 运输包装收发货标志
- 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(eqv ISO 3183-1:1996)
- GB/T 12777—2008 金属波纹管膨胀节通用技术条件
- GB/T 14996—1994 高温合金冷轧薄板
- 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/T 3766 排气管钢法兰及垫片
- JB/T 4711—2003 压力容器涂敷与运输包装
- JB/T 4730.2—2005 承压设备无损检测 第2部分:射线检测
- ISO 7005-1 金属法兰 第1部分:钢法兰
- JIS B 2220 钢制管法兰
- JIS F 7805 船用排气管钢制法兰的基本尺寸

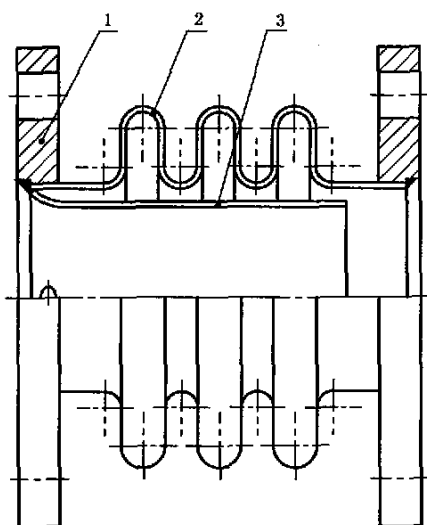
3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

单式膨胀节 single expansion joint

由一个波纹管 and 导管等结构件组成,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)。



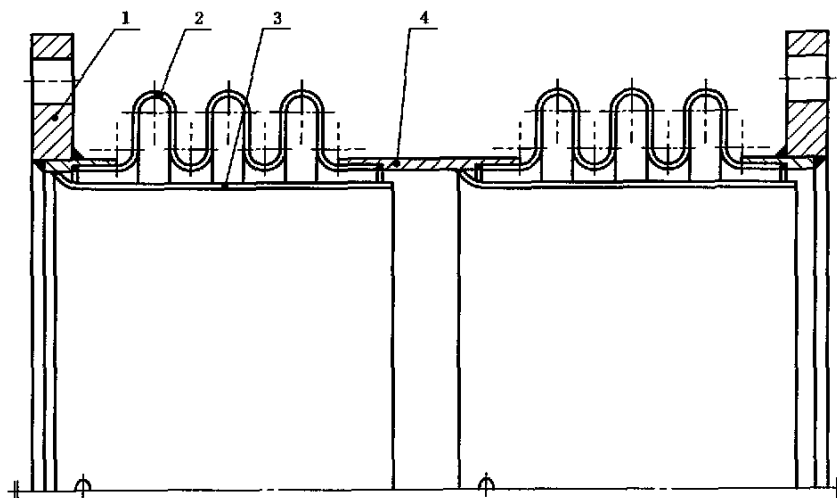
- 1——法兰；
- 2——波纹管；
- 3——导管。

图 1 单式膨胀节

3.2

复式膨胀节 double expansion joint

由中间接管所连接的两个波纹管、导管及结构件组成,主要用于吸收轴向位移和轴向、横向组合位移而不能承受波纹管压力推力的膨胀节(见图 2)。



- 1——法兰；
- 2——波纹管；
- 3——导管；
- 4——中间接管。

图 2 复式膨胀节

4 分类和标记

4.1 类型和型式

4.1.1 膨胀节按结构型式分为下列两类：

- a) I类——单式膨胀节；
- b) II类——复式膨胀节。

4.1.2 膨胀节按法兰型式分为下列五种型式：

- a) A型——连接法兰为 GB/T 569 的单式膨胀节；
- b) AS型——连接法兰为 ISO 7005-1 的单式膨胀节；
- c) AJ型——连接法兰为 JIS B 2220 和 JIS F 7805 的单式膨胀节；
- d) BS型——连接法兰为 ISO 7005-1 的单式或复式膨胀节；
- e) BJ型——连接法兰为 JIS F 7805 的复式膨胀节。

4.1.3 膨胀节型式和基本参数见表 1。

表 1 膨胀节型式和基本参数

类型	型式	设计压力 p / MPa	工作温度 t / °C	公称尺寸 DN	法兰连接标准
I	A	0.10	≤ 600	65~500	GB/T 569
	AS		≤ 550	65~1 000	ISO 7005-1
	AJ			65~500	JIS B 2220
					550~1 000
II	BS	0.05	≤ 350	1 200~3 200	ISO 7005-1
				1 000~3 200	
	BJ			1 100~2 600	JIS F 7805

4.2 结构和基本尺寸

4.2.1 A型膨胀节的结构和基本尺寸见图 3 和表 2。

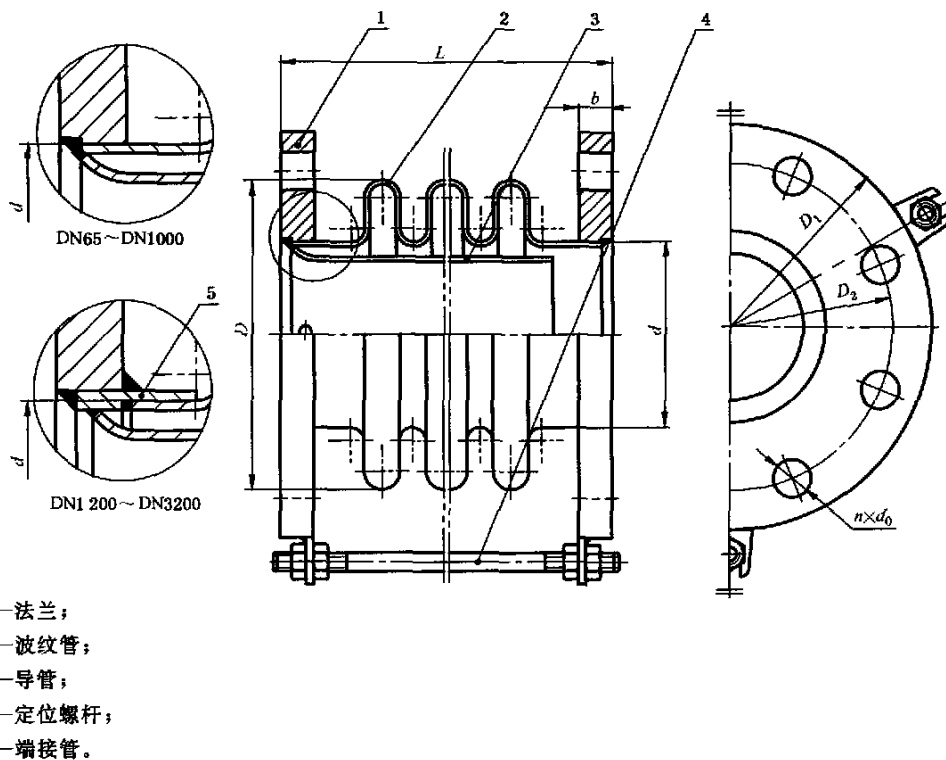


图 3 I类 A型、AS型、AJ型、BS型膨胀节

表 2 A 型膨胀节的基本尺寸

单位为毫米

类型	型式	设计压力/ MPa	公称尺寸 DN	结构尺寸			法兰尺寸					重量/ kg	理论特性																
				波数 N	d	D	L	D ₁	D ₂	b	孔数 n		d ₀	总位移		F/ cm ²	刚度/(N/mm)												
														Δx	Δy		K _x	K _y											
I	A	0.1	65	6	76	108	150	155	123	12	6	16	3.3	19.9	6.9	66.5	52.3	25.1											
				8			180						3.5	26.5	12.3		39.2	14.1											
			80	6	89	121	150	170	138				8	3.7	21.3	6.5	86.6	56.3	30.8										
				8			180							3.9	28.3	11.5		42.3	17.3										
			100	4	110	142	190	190	158					10	4.5	15.5	2.6	124.7	93.3	91.8									
				6			220								4.7	23.2	5.9		62.2	40.8									
			125	4	135	167	190	215	183						12	5.2	16.6	2.3	179.1	103.0	121.5								
				6			220									5.5	24.9	5.3		68.7	54.0								
			150	4	160	200	210	240	208							12	6.1	22.6	3.3	254.5	74.2	83.5							
				6			250										6.6	33.9	7.5		49.5	37.1							
			175	4	190	240	230	270	238								14	7.3	29.8	4.6	363.1	54.2	58.2						
				6			280											8.0	44.8	10.4		36.1	25.9						
			200	3	216	312	280	295	264									14	10.8	35.8	6.8	547.4	80.2	70.6					
				5			380												13.1	59.7	18.8		48.1	25.4					
			250	3	268	363	280	365	327										14	16.0	37.9	6.0	781.8	94.0	98.9				
				5			380													18.8	63.2	16.7		56.4	35.6				
			300	3	318	411	280	430	386											16	20.3	38.6	5.3	1 043.5	113.1	137.4			
				5			380														23.5	64.3	14.7		67.8	49.5			
			350	3	360	452	280	480	436												16	23.8	40.3	5.0	1 294.6	123.5	167.1		
				5			380															27.3	67.1	13.8		74.1	60.2		
			400	3	410	500	280	530	486													22	26.7	41.7	4.6	1 626.0	139.3	211.3	
				5			380																30.6	69.5	12.7		83.6	76.1	
			450	3	460	549	280	580	536														18	29.5	43.8	4.3	1 999.0	150.3	252.8
				5			380																	33.8	73.0	12.1		90.2	91.0
500	3	510	599	280	635	591	20	36.4	47.7	4.3	2 423.6	232.3												430.2					
	5			380				42.6	79.4	11.9		139.4												154.9					

注：表列总位移为许用循环次数[N]=5 000 次时的计算值。

Δx——轴向总位移(表中的 Δx 为 Δy=0 的值)。

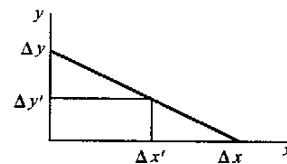
Δy——横向总位移(表中的 Δy 为 Δx=0 的值)。

F——波纹管有效截面积。

K_x——膨胀节的轴向刚度(每个波的轴向刚度除以波数)。

K_y——膨胀节的横向刚度(横向作用力除以横向位移值)。

Δx'、Δy'——膨胀节的实际位移量(可以由直角三角形法求得,见右图)。



4.2.2 AS型膨胀节的结构和基本尺寸见图3和表3。

表3 AS型膨胀节的基本尺寸

单位为毫米

类型	型式	设计压力/ MPa	公称尺寸 DN	结构尺寸			法兰尺寸					重量/ kg	理论特性					
				波数 N	d	D	L	D ₁	D ₂	b	孔数 n		d ₀	总位移		F/ cm ²	刚度/(N/mm)	
														Δx	Δy		K _x	K _y
I	AS	0.1	65	6	76	108	150	160	130	12	4	14	3.6	21.8	7.6	66.5	52.3	25.1
				8			180						3.8	29.1	13.5		39.2	14.1
			80	6	89	121	150	190	150	12	4	18	4.9	23.4	7.1	86.6	56.3	30.8
				8			180						5.1	31.1	12.7		42.3	17.3
			100	4	110	142	190	210	170	12	4	18	5.7	17.0	2.9	124.7	93.3	91.8
				6			220						6.0	25.5	6.5		62.2	40.8
			125	4	135	167	190	240	200	12	8	18	6.8	18.2	2.6	179.1	103	121.5
				6			220						7.2	27.4	5.8		68.7	54
			150	4	160	200	210	265	225	12	8	18	8.0	24.9	3.7	254.5	74.2	83.5
				6			250						8.5	37.3	8.3		49.5	37.1
			200	3	216	312	280	320	280	12	8	18	14.4	39.5	7.5	547.4	80.2	70.6
				5			380						16.8	65.9	20.8		48.1	25.4
			250	3	268	363	280	375	335	12	8	18	17.4	41.9	6.6	781.8	94	98.9
				5			380						20.2	69.8	18.4		56.4	35.6
			300	3	318	411	290	440	395	14	12	22	22.2	42.6	5.8	1 043.5	113.1	137.4
				5			390						25.3	71.0	16.2		67.8	49.5
			350	3	360	452	300	490	445	14	12	22	26.2	44.4	5.5	1 294.6	123.5	167.1
				5			400						29.7	74.0	15.2		74.1	60.2
			400	3	410	500	300	540	495	16	16	22	29.0	46.0	5.1	1 626.0	139.3	211.3
				5			400						32.9	76.7	14.0		83.6	76.1
			450	3	460	549	300	595	550	16	16	22	42.6	48.4	4.8	1 999.0	150.3	252.8
				5			400						46.9	80.6	13.3		90.2	91
			500	3	510	599	310	645	600	20	20	26	50.4	52.5	4.7	2 423.6	232.3	430.2
				5			410						56.5	87.4	13.1		139.4	154.9
			600	3	610	699	340	755	705	20	20	26	62.7	57.3	4.4	3 374.7	248.4	542.8
				5			440						70.0	95.5	12.1		149	195.4
			700	3	711	800	350	860	810	20	20	26	74.7	61.2	4.0	4 494.8	262.1	661
				5			450						83.1	102.0	11.2		157.3	238
			800	3	813	902	370	975	920	24	24	29.5	90.9	64.4	3.7	5 788.6	275.1	787.4
				5			470						100.5	107.3	10.4		165.1	283.4
			900	3	914	1 003	370	1 075	1 020	24	24	29.5	101.3	67.0	3.5	7 230.7	285.5	913
				5			470						112.0	111.7	9.7		171.3	328.7
1 000	3	1 016	1 114	390	1 175	1 120	28	28	29.5	112.3	77.7	4.0	8 924.9	250.9	810.4			
	5			520						126.5	129.5	11.1		150.5	291.7			

注:表列总位移为许用循环次数[N]=3 000次时的计算值。

Δx——轴向总位移(表中的Δx为Δy=0的值)。

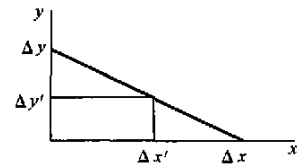
Δy——横向总位移(表中的Δy为Δx=0的值)。

F——波纹管有效截面积。

K_x——膨胀节的轴向刚度(每个波的轴向刚度除以波数)。

K_y——膨胀节的横向刚度(横向作用力除以横向位移值)。

Δx'、Δy'——膨胀节的实际位移量(可以由直角三角形求得,见右图)。



4.2.3 AJ型膨胀节的结构和基本尺寸见图3和表4。

表4 AJ型膨胀节的基本尺寸

单位为毫米

类型	型式	设计压力/ MPa	公称尺寸 DN	结构尺寸			法兰尺寸					重量/ kg	理论特性					
				波数 N	d	D	L	D ₁	D ₂	b	孔数 n		d ₀	总位移		F/ cm ²	刚度/(N/mm)	
														Δx	Δy		K _x	K _y
I	AJ	0.1	65	6	76	108	150	155	130	12	4	15	3.4	21.8	7.6	66.5	52.3	25.1
				8			180						3.6	29.1	13.5		39.2	14.1
			80	6	89	121	150	180	145				4.3	23.4	7.1	86.6	56.3	30.8
				8			180						4.5	31.1	12.7		42.3	17.3
			100	4	110	142	190	200	165				4.9	17.0	2.9	124.7	93.3	91.8
				6			220						5.2	25.5	6.5		62.2	40.8
			125	4	135	167	190	235	200				6.4	18.2	2.6	179.1	103.0	121.5
				6			220						6.8	27.4	5.8		68.7	54.0
			150	4	160	200	210	265	230				8.0	24.9	3.7	254.5	74.2	83.5
				6			250						8.4	37.3	8.3		49.5	37.1
			175	4	190	240	210	300	260				9.6	32.9	5.1	363.1	54.2	58.2
				6			260						10.2	49.4	11.5		36.1	25.9
			200	3	216	312	280	320	280				12.9	39.5	7.5	547.4	80.2	70.6
				5			380						15.2	65.9	20.8		48.1	25.4
			250	3	268	363	280	385	345				18.3	41.9	6.6	781.8	94.0	98.9
				5			380						21.0	69.8	18.4		56.4	35.6
			300	3	318	411	290	430	390				20.6	42.6	5.8	1043.5	113.1	137.4
				5			390						23.7	71.0	16.2		67.8	49.5
			350	3	360	452	300	480	435				24.2	44.4	5.5	1294.6	123.5	167.1
				5			400						27.7	74.0	15.2		74.1	60.2
			400	3	410	500	300	540	495	28.6	46.0	5.1	1626.0	139.3	211.3			
				5			400			32.5	76.7	14.0		83.6	76.1			
			450	3	460	549	300	605	555	34.8	48.4	4.8	1999.0	150.3	252.8			
				5			400			39.1	80.6	13.3		90.2	91.0			
			500	3	510	599	310	655	605	41.3	52.5	4.7	2423.6	232.3	430.2			
				5			410			47.5	87.4	13.1		139.4	154.9			
			550	3	560	649	320	660	620	38.3	55.0	4.5	2879.5	239.9	484.2			
				5			420			45.0	91.6	12.6		143.9	174.3			
			600	3	610	699	340	710	670	42.2	57.3	4.4	3374.7	248.4	542.8			
				5			440			49.5	95.5	12.1		149.0	195.4			
			650	3	660	749	340	760	720	45.5	59.3	4.2	3909.2	255.4	600.6			
				5			440			53.4	98.9	11.7		153.2	216.2			
			700	3	711	800	350	815	775	50.6	61.2	4.0	4494.8	262.1	661.0			
				5			450			59.0	102.0	11.2		157.3	238.0			
			750	3	762	851	360	865	825	53.7	62.8	3.9	5121.2	268.7	723.2			
				5			460			62.8	104.7	10.8		161.2	260.4			
			800	3	813	902	370	915	875	57.3	64.4	3.7	5788.6	275.1	787.4			
				5			470			66.9	107.3	10.4		165.1	283.4			
			850	3	864	953	370	965	925	60.4	65.7	3.6	6496.8	278.6	844.7			
				5			470			70.6	109.6	10.0		167.2	304.1			
900	3	914	1003	370	1025	980	72.4	67.0	3.5	7230.7	285.5	913.0						
	5			470			83.2	111.7	9.7		171.3	328.7						
950	3	964	1053	370	1075	1030	76.3	68.2	3.4	8003.9	292.7	984.8						
	5			470			87.6	113.6	9.4		175.6	354.5						
1000	3	1016	1114	390	1125	1080	81.4	77.7	4.0	8924.9	250.9	810.4						
	5			520			95.6	129.5	11.1		150.5	291.7						

注:同表3。

4.2.4 I类 BS型膨胀节的结构和基本尺寸见图3和表5。

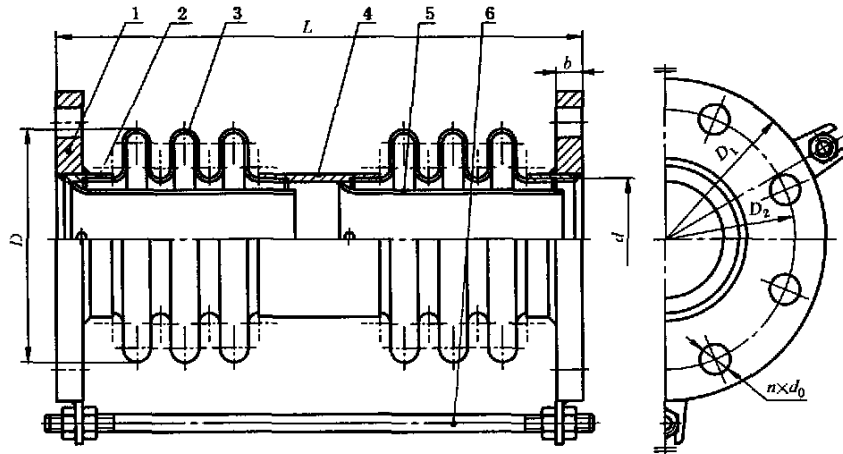
表5 I类 BS型膨胀节的基本尺寸

单位为毫米

类型	型式	设计压力/ MPa	公称尺寸 DN	结构尺寸			法兰尺寸					重量/ kg	理论特性					
				波数 N	d	D	L	D ₁	D ₂	b	孔数 n		d ₀	总位移		F/ cm ²	刚度/(N/mm)	
														Δx	Δy		K _x	K _y
I	BS	0.05	1 200	3	1 219	1 317	400	1 375	1 320	20	32	163.2	82.5	3.6	12 647.8	303.8	1 168.3	
				5			530						184.9	137.5		9.9	182.3	420.6
			1 400	3	1 412	1 510	400	1 575	1 520	36	36	193.2	82.7	3.1	16 787.5	329.2	1 458.3	
				5			530						218.3	137.8		8.6	197.5	525.0
			1 600	3	1 612	1 742	450	1 790	1 730	40	29.5	275.5	86.2	3.3	22 088.0	404.3	1 738.6	
				5			600						311.2	143.6		9.3	242.6	625.9
			1 800	3	1 812	1 942	470	1 990	1 930	24	44	314.5	85.2	3.0	27 670.7	442.4	2 129.2	
				5			620						354.6	142.0		8.2	265.4	766.5
			2 000	3	2 012	2 142	470	2 190	2 130	48	348.0	84.1	2.6	33 881.6	481.7	2 565.4		
				5			620					392.4	140.1		7.3	289.0	923.5	
			2 200	3	2 216	2 376	520	2 405	2 340	52	444.7	133.6	4.7	41 403.3	308.3	1 474.6		
			2 400	3	2 416	2 576	520	2 605	2 540	56	32.5	523.8	133	4.3	48 930.5	327.8	1 704.5	
			2 600	3	2 616	2 776	520	2 805	2 740	60	566.1	132.1	3.9	57 086.1	347.9	1 954.3		
			2 800	3	2 820	2 980	520	3 030	2 960	28	64	648.5	131.1	3.6	66 052.1	369	2 229.6	
			3 000	3	3 020	3 180	520	3 230	3 160	68	32.5	693.3	130	3.4	75 476.9	390.1	2 519.4	
			3 200	3	3 220	3 380	520	3 430	3 360	72	738.2	128.8	3.1	85 530.1	411.5	2 829.2		

注:同表3。

4.2.5 II类 BS型膨胀节的结构和基本尺寸见图4和表6。



- 1—法兰;
- 2—端接管;
- 3—波纹管;
- 4—中接管;
- 5—导管;
- 6—定位螺杆。

图4 II类 BS型、BJ型膨胀节

表 6 II类 BS 型膨胀节的基本尺寸

单位为毫米

类型	型式	设计压力/MPa	公称尺寸/DN	结构尺寸					法兰尺寸				重量/kg	理论特性									
				波数 N	d	D	L	D ₁	D ₂	b	孔数 n	d ₀		总位移		横向位移当量系数		F/cm ²	刚度/(N/mm)				
														Δx	Δy	a	b		K _x	K _y			
II	BS	0.05	1 000	3+3	1 016	1 126	710	1 175	1 120	20	28	179.9	184.9	40.7	0.220	0.000 319	9 008.9	133.59	140.26				
			1 200	3+3	1 219	1 329	710	1 375	1 320				32	211.9	196.4	36.3	0.185	0.000 268	12 747.6	146.44	182.90		
			1 400	3+3	1 412	1 522	710	1 575	1 520				36	249.2	199.1	32.0	0.161	0.000 233	16 902.5	159.20	228.97		
			1 600	3+3	1 612	1 742	770	1 790	1 730				40	359.7	179.6	26.7	0.149	0.000 198	22 088.0	404.32	594.78		
			1 800	3+3	1 812	1 942	770	1 990	1 930	24	44		29.5	402.7	177.7	23.6	0.133	0.000 177	27 670.7	442.41	728.43		
			2 000	3+3	2 012	2 142	770	2 190	2 130					48	445.8	175.4	21.1	0.120	0.000 160	33 881.6	481.71	877.64	
			2 200	3+3	2 216	2 376	860	2 405	2 340					52	563.8	267.1	31.5	0.118	0.000 140	41 403.3	308.29	536.23	
			2 400	3+3	2 416	2 576	860	2 605	2 540					56	653.4	266.0	28.9	0.108	0.000 129	48 930.5	327.78	619.81	
			2 600	3+3	2 616	2 776	860	2 805	2 740	28	60			32.5	706.2	264.3	26.5	0.100	0.000 120	57 086.1	347.94	710.65	
			2 800	3+3	2 820	2 980	860	3 030	2 960						64	799.3	262.2	24.5	0.093	0.000 111	66 052.1	369.03	810.75
			3 000	3+3	3 020	3 180	860	3 230	3 160						68	854.7	260.0	22.7	0.087	0.000 104	75 476.9	390.11	916.16
			3 200	3+3	3 220	3 380	860	3 430	3 360						72	910.0	257.6	21.1	0.082	0.000 098	85 530.1	411.51	1 028.78

注:表中的轴向位移 X、横向位移 Y 值为单独使用时的最大补偿量,如果同时都有,宜按下式计算:

$$Y_2 = (X - X_2) \times (a - b \times X_2)$$
 式中:
 Y₂、X₂——实际的补偿量。
 例如:某 DN1200 的 X=196.4, Y=36.3, 已知 X₂=90, 求 Y₂。
 查表得: a=0.185, b=0.000 268

$$Y_2 = (X - X_2) \times (a - b \times X_2)$$

$$= (196.4 - 90) \times (0.185 - 0.000 268 \times 90)$$

$$= 106.4 \times 0.160 9$$

$$= 17.12$$
 即:当 X₂=90, Y₂≤17.12 时,满足要求。
 当 X₂=0, Y₂=(196.4-0)(0.185-0)=36.3, 与表中的 Y 值相同。
 当 Y 向位移和 Z 向位移同时存在时,按下式求出它们的矢量和 Y₁:

$$Y_1 = \sqrt{Y^2 + Z^2}$$
 Y₁≤Y₂; 满足要求。

4.2.6 II类 BJ 型膨胀节的结构和基本尺寸见图 4 和表 7。

表 7 II类 BJ 型膨胀节的基本尺寸

单位为毫米

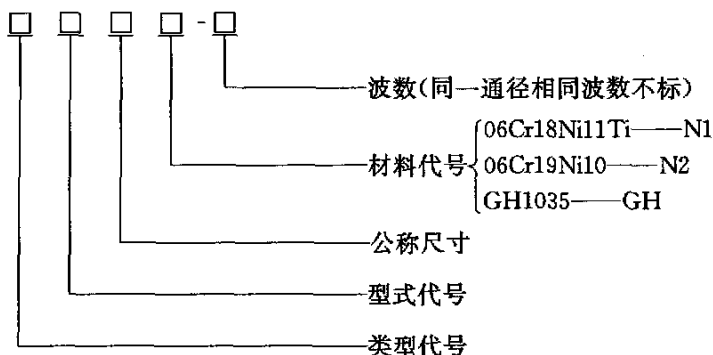
类型	型式	设计压力/MPa	公称尺寸/DN	结构尺寸					法兰尺寸				重量/kg	理论特性									
				波数 N	d	D	L	D ₁	D ₂	b	孔数 n	d ₀		总位移		横向位移当量系数		F/cm ²	刚度/(N/mm)				
														Δx	Δy	a	b		K _x	K _y			
II	BJ	0.05	1 100	3+3	1 118	1 228	710	1 225	1 180	18	24	162.5	191.0	38.4	0.201	0.000 291	10 806.5	139.94	160.93				
			1 200	3+3	1 219	1 329	710	1 325	1 280				24	176.2	196.4	36.3	0.185	0.000 268	12 747.6	146.44	182.90		
			1 300	3+3	1 312	1 422	710	1 425	1 380				28	28	193.1	198.2	34.2	0.172	0.000 250	14 676.7	152.54	204.44	
			1 400	3+3	1 412	1 522	710	1 525	1 480						24	214.4	199.1	32.0	0.161	0.000 233	16 902.5	159.20	228.97
			1 500	3+3	1 524	1 634	710	1 645	1 590	20	32		27	236.9	199.5	29.8	0.149	0.000 216	19 581.9	165.02	255.46		
			1 600	3+3	1 612	1 742	770	1 745	1 690					28	28	297.8	179.6	26.7	0.149	0.000 198	22 088.0	404.32	594.78
			1 700	3+3	1 712	1 842	770	1 845	1 790							24	316.0	178.7	25.1	0.140	0.000 187	24 800.8	423.19
			1 800	3+3	1 812	1 942	770	1 950	1 895					24	48	338.2	177.7	23.6	0.133	0.000 177	27 670.7	442.41	728.43
			1 900	3+3	1 912	2 042	770	2 050	1 995	36	36					356.6	176.6	22.3	0.126	0.000 168	30 697.6	461.93	801.09
			2 000	3+3	2 012	2 142	770	2 150	2 095							40	40	374.3	175.4	21.1	0.120	0.000 160	33 881.6
			2 100	3+3	2 116	2 276	860	2 250	2 195	24	24							448.5	267.4	33.0	0.123	0.000 147	37 875.3
			2 200	3+3	2 216	2 376	860	2 350	2 295					32	32	494.0	267.1	31.5	0.118	0.000 140	41 403.3	308.29	536.23
			2 300	3+3	2 316	2 476	860	2 450	2 395							48	48	516.2	266.6	30.1	0.113	0.000 135	45 088.4
			2 400	3+3	2 416	2 576	860	2 550	2 495					24	24			538.3	266.0	28.9	0.108	0.000 129	48 930.5
			2 500	3+3	2 516	2 676	860	2 650	2 595	36	36					558.7	265.2	27.7	0.104	0.000 124	52 929.8	337.79	664.32
			2 600	3+3	2 616	2 776	860	2 750	2 695							48	48	580.9	264.3	26.5	0.100	0.000 120	57 086.1

注:同表 6。

4.3 产品标记

4.3.1 型号表示方法

膨胀节的型号表示方法如下：



4.3.2 标记示例

示例 1：

公称尺寸为 DN350,按 GB/T 569 的法兰连接尺寸和密封面,波纹管、导管材料为 06Cr19Ni10,波数为 3 的单体膨胀节标记为：

膨胀节 IA350N2-3

示例 2：

公称尺寸为 DN2000,按 JIS F 7805 的法兰连接尺寸和密封面,波纹管、导管材料为 06Cr18Ni11Ti 的复式膨胀节标记为：

膨胀节 IIBJ2 000N1

5 要求

5.1 材料

膨胀节主要零件材料见表 8。

表 8 膨胀节主要零件的材料

零件名称	材 料		
	名 称	牌 号	标 准 号
波纹管、导管	不锈钢	06Cr18Ni11Ti	GB/T 3280—2007
		06Cr19Ni10	GB/T 4237—2007
	高温合金	GH1035	GB/T 14996—1994
中间接管、端接管	优质碳素结构钢	25	GB/T 699—1999
定位螺杆	碳素结构钢	Q235A	GB/T 700—2006

不锈钢、高温合金材料应为固熔态;当排气管工作温度在 550℃~600℃时,波纹管 and 导管材料宜选用 GH1035。

5.2 波纹管

5.2.1 波纹管设计计算参见附录 A,位移力和热胀量的计算参见附录 B。

5.2.2 管坯用薄板卷制时只允许有全焊透的对接型纵向焊缝,不应有环焊缝。

5.2.3 管坯的纵向焊缝条数见表 9,各相邻纵向焊缝间距不应小于 250 mm。

5.2.4 管坯的拼接应采用自动氩弧焊或等离子焊。大于 0.5 mm 的板材拼焊对口错边量、焊缝的凹陷深度及余高应不大于板厚的 10%,焊缝表面应呈银白色或金黄色,可呈浅蓝色。

5.2.5 波纹管成形之前,可对管坯纵焊缝进行射线探伤检查,射线检验合格等级应为 GB 16749—1997 中附录 B 规定的合格级。

表 9 管坯纵向焊缝条数

管坯外径	焊缝条数	管坯外径	焊缝条数
≤200	1	>1 800~2 400	≤3
>200~600	≤2	>2 400~3 000	≤10
>600~1 200	≤4	>3 000~4 000	≤13
>1 200~1 800	≤6	—	—

5.2.6 多层波纹管管坯的套合间隙应不大于 0.8 mm。

5.2.7 多层波纹管各层纵焊缝的位置一般应沿圆周方向错开,各层管坯间不应有水、油、污物等,多层波纹管直边段端口应采用氩弧焊或滚焊封边。

5.2.8 波纹管的波峰、波谷曲率半径的极限偏差为±15%的公称半径,波峰、波谷与侧壁间应圆滑过渡,波纹表面允许有轻微的模式压痕,不应有裂纹、焊接飞溅物及凹凸不平和大于单层壁厚负偏差的划痕。

5.2.9 波纹管的波高、波距、波纹管总长的公差等级应为 GB/T 1800.3—1998 表 1 中 IT18 级,其上、下偏差为±IT18/2。

5.2.10 波纹管直边段外径的极限偏差等级,采用波纹管内置连接型式时,应为 GB/T 1800.4—1999 中表 22 的 h12 级。

5.3 膨胀节组件

5.3.1 A 型膨胀节的法兰连接尺寸按 GB/T 569;AS 型、BS 型膨胀节的法兰连接尺寸按 ISO 7005-1;AJ 型膨胀节的法兰连接尺寸 DN65~DN500 按 JIS B 2220、DN550~DN1000 按 JIS F 7805;BJ 型膨胀节的法兰连接尺寸按 JIS F 7805。并应符合 CB/T 3766 的规定。

5.3.2 单式膨胀节组件的波纹管与法兰、端接管连接应采用氩弧焊焊接,端接管与法兰连接可采用普通电焊;复式膨胀节组件的波纹管与中接管、端接管连接应采用氩弧焊焊接,端接管与法兰连接可采用普通电焊。

5.3.3 中接管、端接管宜用符合 GB 50235—1997 中 4.3 要求的钢板卷筒制造,也可用符合 GB/T 9711.1—1997 中要求的钢管制造。

5.3.4 波纹管、导管等不锈钢部件及法兰密封面不应涂漆。所有碳钢结构件外表面应涂防锈底漆一道,银粉漆两道。

5.3.5 膨胀节组件各部位焊缝表面不应有裂纹、气孔、夹渣、飞溅物等缺陷。

5.3.6 膨胀节组件长度公差为±5 mm,垂直度公差为 1%膨胀节内径,且不应大于 3 mm,同轴度公差为 1%膨胀节内径,且不应大于 $\phi 5$ 。

5.3.7 膨胀节的刚度按表 2~表 7 中规定的计算值作为制造厂提供膨胀节初始理论刚度值,若用户有要求时,应提供膨胀节轴向实测工作刚度,产品实测平均刚度值与计算值的偏差不应大于±30%。

5.3.8 DN65~DN1000 膨胀节应在 0.15 MPa 水压下或在 0.11 MPa 气压下,持压 10 min 不发生渗漏,且波纹管应无失稳现象;DN1100~DN3200 膨胀节可不进行压力试验,允许用煤油渗漏试验进行致密性检验。煤油渗漏试验时,焊缝应无渗漏现象。

5.3.9 膨胀节在设计压力和轴向总位移量下,经大于 2 倍的许用疲劳寿命次数工作,在规定的试验循环次数内应无泄漏,且波纹管应无穿透壁厚的裂纹。

5.3.10 安装膨胀节时,应使介质流向与产品标记的流向一致。

5.3.11 用定位螺杆固定的波纹管为自由状态长度。管路安装完毕后,系统压力试验前应用拧松螺母的方法拆除定位螺杆,恢复其伸缩性能,并应避免气割。

5.3.12 表 2~表 7 中安装长度(L)为自由长度,为了减少位移推力和增加稳定性,宜进行预变形,其值为不应大于实际位移量的 50%。

6 试验方法

6.1 材料

检查膨胀节所用材料的材质报告。结果应符合 5.1 的要求。

6.2 外观

在日光或人工照明下使用常规量具或目测检验膨胀节外观。结果应符合 5.2.2~5.2.4、5.2.8、5.3.4、5.3.5 和 5.3.10 的要求。

6.3 尺寸

用精度符合规定极限偏差要求的通用量具检查膨胀节的尺寸。结果应符合 4.2.1~4.2.6、5.2.4、5.2.6、5.2.8~5.2.10、5.3.1、5.3.6 的要求。

6.4 焊接

膨胀节的焊缝用目测法检查。结果应符合 5.2.4、5.2.7 的要求。

6.5 无损探伤

对波纹管管坯纵向焊缝进行射线检查按 JB/T 4730.2—2005 或 GB 16749—1997 中附录 B 规定的方法进行。结果应符合 5.2.5 的要求。

6.6 刚度

膨胀节的轴向刚度测定,在常温、常压下将试件垂直放置测力机上进行。分 5 级递增(每级压缩位移量为轴向总补偿量的 1/5),共测三遍,取其各级额定位移量下的最大作用力的平均值。结果应符合 5.3.7 要求。

6.7 耐压

膨胀节按 GB/T 12777—2008 中 6.5 规定的方法进行耐压试验。结果应符合 5.3.8 的要求。

6.8 煤油渗漏

将焊缝能够检查到一面清理干净,涂以白粉干浆,晾干后在焊缝另一面涂以煤油,使表面完全浸润,经至少 30 min 后检查白粉上是否有油渍。结果应符合 5.3.8 的要求。

6.9 疲劳

6.9.1 膨胀节的疲劳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。

6.9.2 膨胀节的疲劳试验可在常温下进行,试验介质为自来水(氯化物含量不超过 250 mg/L)或压缩空气,试验压力为设计压力,试验过程中压力波动值不应大于 10%,位移量为表 2~表 7 中规定的轴向总位移;循环频率的选择应确保各波均匀变形(一般不大于 30 次/min)。结果应符合 5.3.9 的要求。

7 检验规则

7.1 检验分类

膨胀节的检验分型式检验和出厂检验。

7.2 型式检验

7.2.1 检验时机

膨胀节有下列情况之一时,应进行型式检验:

- a) 产品定型、老产品转厂生产;
- b) 产品停产超过 1a 后复产;
- c) 正式生产后产品结构、材料或工艺有重大改变足以影响产品性能;
- d) 合同中有规定;
- e) 质量监督机构提出要求。

7.2.2 检验项目和顺序

膨胀节的型式检验项目和顺序见表 10。

表 10 膨胀节的检验项目和顺序

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	要求的章条号	试验方法的章条号
1	材料	●	●	5.1	6.1
2	外观	●	●	5.2.2~5.2.4、5.2.8、5.3.4、5.3.5、5.3.10	6.2
3	尺寸	●	●	4.2.1~4.2.6、5.2.4、5.2.6、5.2.8~5.2.10、5.3.1、5.3.6	6.3
4	焊接	●	●	5.2.4、5.2.7	6.4
5	无损探伤	●	○	5.2.5	6.5
6	刚度	●	○	5.3.7	6.6
7	耐压	●	●	5.3.8	6.7
8	煤油渗漏	●	●	5.3.8	6.8
9	疲劳	●	—	5.3.9	6.9

注：●为必检项目；○为协商检验项目；—为不检项目。

7.2.3 检验样品数量

膨胀节的型式检验样品为一件。

7.2.4 判定规则

膨胀节样品全部检验项目符合要求，判膨胀节型式检验合格。样品在耐压试验或疲劳性能试验中，如果波纹管耐压性能或疲劳性能不符合要求，则判膨胀节型式检验不合格。若其他检验项目不符合要求，允许返修后复验，返修的样品只对不合格项目进行检验。若复验符合要求，仍判膨胀节型式检验合格，若复验仍有不符合要求的项目，则判膨胀节型式检验不合格。

7.3 出厂检验

7.3.1 检验项目

膨胀节的出厂检验项目和顺序见表 10。

7.3.2 检验样品数量

表 10 中第 1~4、7、8 项膨胀节的出厂检验为逐个产品检验。表 10 中第 5、6 项检验的产品数量由订购方和承制方协商确定。

7.3.3 判定规则

7.3.3.1 膨胀节样品全部检验项目符合要求，判该膨胀节出厂检验合格。样品在耐压试验、疲劳性能和刚度试验中，如果波纹管耐压性能、疲劳性能或刚度不符合要求，则判膨胀节出厂检验不合格。

7.3.3.2 若其他检验项目不符合要求，允许返修后复验，返修的样品只对不合格项目进行检验。若复验符合要求，仍判膨胀节出厂检验合格，若复验仍有不符合要求的项目，则判膨胀节出厂检验不合格。

8 标志

8.1 每个膨胀节都应装有永久固定、耐腐蚀的铭牌，单式膨胀节宜固定在膨胀节组件中法兰圆周面上；复式膨胀节宜固定在中间接管上。铭牌应注明：制造厂名、产品名称、型号、标准号、产品编号、出厂日期等。膨胀节应标有介质流向箭头。

8.2 膨胀节固定螺杆应涂黄色油漆。

8.3 膨胀节的包装标志应符合 GB/T 191、GB/T 6388 的要求。

9 包装、运输和贮存

9.1 膨胀节应对波纹管采取保护措施,定位螺杆固定牢固。

9.2 包装时膨胀节法兰密封面应采取加保护罩等保护措施,用木制包装箱包装。

9.3 包装箱内应有产品合格证、安装使用说明书和装箱清单。装箱清单应说明下列内容:

- a) 产品名称;
- b) 型号;
- c) 产品规格;
- d) 设计压力;
- e) 每箱数量;
- f) 产品合格证;
- g) 合格证书号码。

9.4 膨胀节的包装和运输应符合 JB/T 4711—2003 的要求。

9.5 出厂前和安装前,膨胀节应贮存在无腐蚀性气体和干燥的环境里,避免杂乱堆放造成波纹管机械损伤。装有导管的膨胀节竖直放置时,导管开口端应朝下。

附录 A
(资料性附录)
波纹管设计计算

A.1 符号

波纹管设计采用下列符号：

A_{cu} ——单个波纹的金属横截面积的数值，单位为平方毫米(mm^2)，按公式(A.1)计算；

$$A_{cu} = n\delta_m(0.571q + 2h) \quad \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

A_y ——波纹管有效面积的数值，单位为平方毫米(mm^2)，按公式(A.2)计算；

$$A_y = \frac{\pi D_m^2}{4} \quad \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

C_c ——直边段端接管弯曲应力的计算系数，按公式(A.3)计算；

$$C_c = -0.2431 + 0.0168n_g + 0.3024n_g^2 \quad \dots\dots\dots (\text{A.3})$$

C_d ——波纹管 σ_6 的计算修正系数，见表A.1；

C_f ——波纹管 σ_5 、 f_{i0} 、 f_r 的计算修正系数，见表A.2；

C_m ——低于蠕变温度的材料强度系数，按公式(A.4)和公式(A.5)计算；

$$C_m = 1.5, \text{用于热处理态波纹管} \quad \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

$$C_m = 1.5Y_{sm}, \text{用于成型态波纹管}(1.5 \leq C_m \leq 3.0) \quad \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

C_p ——波纹管 σ_4 的计算修正系数，见表A.3；

C_w ——纵向焊接接头有效系数，下标b和c分别表示波纹管、端接管材料；本标准中，波纹管管坯纵向焊接接头经100%渗透检测或射线检测合格且焊接接头内外表面都齐平， $C_{wb} = 1.0$ ；

C_θ ——由初始角位移引起的柱失稳压力降低系数，按公式(A.6)和公式(A.7)计算；

$$C_\theta = 1 - 1.822\gamma + 1.348\gamma^2 - 0.529\gamma^3 \quad (\text{无横向位移}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

$$C_\theta = 1 \quad (\text{同时发生横向位移}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.7})$$

D_b ——波纹管直边段内径的数值，单位为毫米(mm)；

D_c ——波纹管直边段端接管平均直径的数值，单位为毫米(mm)，按公式(A.8)计算；

$$D_c = D_b + 2r\delta + \delta_c \quad \dots\dots\dots (\text{A.8})$$

D_i ——圆环截面内径的数值，单位为毫米(mm)；

D_m ——波纹管平均直径的数值，单位为毫米(mm)，按公式(A.9)计算；

$$D_m = D_b + h + r\delta \quad (\text{对于“U”形截面}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.9})$$

D_o ——圆环截面外径的数值，单位为毫米(mm)；

E ——室温下的弹性模量的数值。下标b、c、s分别表示波纹管、端接管、导管的材料，单位为兆帕(MPa)；

E' ——设计温度下的弹性模量的数值。下标b、c、s分别表示波纹管、端接管、导管的材料，单位为兆帕(MPa)；

e ——计算单波总当量轴向位移的数值，单位为毫米(mm)；

$[e]$ ——由 $[N_c]$ 得到的设计单波额定轴向位移的数值，单位为毫米(mm)；

e_c ——单波当量轴向压缩位移的数值，单位为毫米(mm)；

- e_c ——单波当量轴向拉伸位移的数值,单位为毫米(mm);
- $[e_c]$ ——由 $[e]$ 得到的单波额定当量轴向压缩位移的数值,单位为毫米(mm);
- $[e_e]$ ——由 $[e]$ 得到的单波额定当量轴向拉伸位移的数值,单位为毫米(mm);
- e_{cmax} ——允许最大单波当量轴向压缩位移的数值,单位为毫米(mm);
- e_{emax} ——允许最大单波当量轴向拉伸位移的数值,单位为毫米(mm);
- e_x ——轴向位移“ x ”引起的单波轴向位移,单位为毫米(mm);
- e_y ——横向位移“ y ”引起的单波最大相当轴向位移的数值,单位为毫米(mm);
- e_θ ——角位移“ θ ”引起的单波相当轴向位移的数值,单位为毫米(mm);
- F_g ——每个直边段端接管筋板的轴向力的数值,单位为牛顿(N),按公式(A. 10)计算;

$$F_g = \frac{1}{n_g} [0.25\pi(D_m^2 - D_b^2)p + e_c f_i] \quad \dots\dots\dots (A. 10)$$

- F_s ——波纹管变形率的数值,单位为百分比(%),按公式(A. 11)计算;

$$F_s = \sqrt{\left[\ln\left(1 + \frac{2h}{D_b}\right)\right]^2 + \ln\left[1 + \frac{n\delta_m}{2r_m}\right]} \quad \dots\dots\dots (A. 11)$$

- F_e ——膨胀节位移推力的数值,单位为牛顿(N);
- F_p ——膨胀节压力推力的数值,单位为牛顿(N);
- f_i ——波纹管单波轴向弹性刚度的数值,单位为牛顿每毫米(N/mm);
- G ——设计温度下波纹管材料的剪切弹性模量的数值,单位为兆帕(MPa),按公式(A. 12)计算;

$$G = \frac{E_b^t}{2(1 + \mu)} \quad \dots\dots\dots (A. 12)$$

- h ——波高的数值,单位为毫米(mm);
- K_2 ——平面失稳系数,按公式(A. 13)计算;

$$K_2 = \frac{\sigma_2}{p} \quad \dots\dots\dots (A. 13)$$

- K_4 ——平面失稳系数,按公式(A. 14)计算;

$$K_4 = \frac{h^2 C_p}{2n\delta_m^2} \quad \dots\dots\dots (A. 14)$$

- K_f ——成形方法系数,对于滚压成型或胀压成型 K_f 为 1,对于液压成型 K_f 为 0.6;
- K_r ——周向应力系数,取下列算式中较大值且不小于 1,按公式(A. 15)和公式(A. 16)计算;

$$K_r = \frac{2(q + e_x) + e_\theta/\psi + e_y}{2q}, \text{在设计压力 } p \text{ 时, } e_x \text{ 和 } e_y \text{ 处于拉伸状态} \quad \dots\dots (A. 15)$$

$$K_r = \frac{2(q - e_x) + e_\theta/\psi + e_y}{2q}, \text{在设计压力 } p \text{ 时, } e_x \text{ 和 } e_y \text{ 处于压缩状态} \quad \dots\dots (A. 16)$$

- K_s ——直边段端接管截面形状系数,对于矩形截面 K_s 为 1.5,对于圆形截面 K_s 为 1.7,对于圆环形截面 K_s 按公式(A. 17)计算;

$$K_s = \frac{1.7(D_o^4 - D_i^3 D_o)}{D_o^4 - D_i^4} \quad \dots\dots\dots (A. 17)$$

- K_t ——膨胀节整体扭转弹性刚度的数值,单位为牛顿米每度 $[N \cdot m/(\circ)]$;
- K_u —— e_y 的计算系数,按公式(A. 18)计算;

$$K_u = \frac{3L_u^2 - 3L_b L_u}{3L_u^2 - 6L_b L_u + 4L_b^2} \quad \dots\dots\dots (A. 18)$$

- K_x ——膨胀节整体轴向弹性刚度的数值,单位为牛顿每毫米(N/mm);

K_y ——膨胀节整体横向弹性刚度的数值,单位为牛顿每毫米(N/mm);

K_0 ——膨胀节整体弯曲刚度的数值,单位为牛顿米每度[N·m/(°)];

k —— σ_1 、 σ_1' 的计算系数,按公式(A.19)计算;

$$k = \frac{L_t}{1.5\sqrt{D_b\delta}} \quad \text{且 } k \leq 1 \quad \dots\dots\dots (\text{A.19})$$

L_b ——波纹管的波纹长度的数值,单位为毫米(mm),按公式(A.20)计算;

$$L_b = Nq \quad \dots\dots\dots (\text{A.20})$$

L_c ——波纹管直边段端接管的长度的数值,单位为毫米(mm);

L_d ——波纹管单波展开长度的数值,单位为毫米(mm),按公式(A.21)计算;

$$L_d = 0.571q + 2h \quad \dots\dots\dots (\text{A.21})$$

L_t ——波纹管的直边段长度的数值,单位为毫米(mm);

L_u ——复式膨胀节中两波纹管最外端间距离的数值,单位为毫米(mm);

M_y ——膨胀节端部由横向位移引起的反力矩的数值,单位为牛顿米(N·m);

M_0 ——膨胀节端部由角位移引起的反力矩的数值,单位为牛顿米(N·m);

N ——一个波纹管的波数的数值;

$[N_c]$ ——波纹管设计疲劳寿命的数值,周次;

n ——厚度为“ δ ”波纹管材料层数的数值;

n_f ——设计疲劳寿命安全系数, $n_f \geq 10$;

n_g ——每个直边段端接管等间距筋板数量的数值;

p ——设计压力的数值,单位为兆帕(MPa);

p_{sc} ——波纹管两端固支时柱失稳的极限设计内压的数值,单位为兆帕(MPa);

p'_{sc} ——波纹管端部支撑条件变化时柱失稳的极限设计内压的数值,单位为兆帕(MPa);

p_{si} ——波纹管两端固支时平面失稳的极限设计压力的数值,单位为兆帕(MPa);

q ——波距的数值,单位为毫米(mm);

r_c ——波纹管波峰内壁曲率半径的数值,单位为毫米(mm);

r_m ——波纹管波谷平均曲率半径的数值,单位为毫米(mm);

r_r ——波纹管波谷外壁曲率半径的数值,单位为毫米(mm);

t ——介质温度的数值,单位为摄氏度(°C);

u ——介质流速的数值,单位为米每秒(m/s);

V ——波纹管所有波纹间体积的数值,单位为立方毫米(mm³);

W_z ——复式膨胀节中间管质量的数值,单位为牛顿(N);

x ——波纹管轴向压缩位移或轴向拉伸位移的数值,单位为毫米(mm);

y ——波纹管横向位移的数值,单位为毫米(mm);

Y_{sm} ——屈服强度系数,对于奥氏体不锈钢 Y_{sm} 按公式(A.22)计算,对于其他材料 Y_{sm} 按公式(A.23)计算;

$$Y_{sm} = 1 + 9.94 \times 10^{-2} (K_f F_s) - 7.59 \times 10^{-4} (K_f F_s)^2 - 2.4 \times 10^{-6} (K_f F_s)^3 + 2.21 \times 10^{-8} (K_f F_s)^4 \quad \dots\dots\dots (\text{A.22})$$

$$Y_{sm} = 1 \quad \dots\dots\dots (\text{A.23})$$

Z_c ——直边段端接管截面对横向中性轴的抗弯截面模量的数值,单位为三次方毫米(mm³);

α ——平面失稳应力相互作用系数,按公式(A.24)计算;

$$\alpha = 1 + 2\eta^2 + \sqrt{1 - 2\eta^2 + 4\eta^4} \dots\dots\dots (A. 24)$$

γ ——初始角位移与最终角位移之比,按公式(A. 25)计算;

$$\gamma = \frac{0.0175D_m\theta}{0.0175D_m\theta + 0.3L_b} \dots\dots\dots (A. 25)$$

η ——平面失稳应力比,按公式(A. 26)计算;

$$\eta = \frac{K_4}{3K_2} \dots\dots\dots (A. 26)$$

δ ——波纹管一层材料的名义厚度的数值,单位为毫米(mm);

δ_c ——直边段端接管材料的名义厚度的数值,单位为毫米(mm);

δ_1 ——导管厚度的数值,单位为毫米(mm);

δ_m ——波纹管成形后一层材料的名义厚度的数值,单位为毫米(mm),按公式(A. 27)计算;

$$\delta_m = \delta \sqrt{\frac{D_b}{D_m}} \dots\dots\dots (A. 27)$$

δ_p ——与波纹管连接的管子的名义厚度的数值,单位为毫米(mm);

θ ——波纹管角位移的数值,单位为度(°);

ψ ——角位移的压力影响系数,按公式(A. 28)、公式(A. 29)计算;

$$\text{当 } C_\theta < 1 \text{ 时, } \psi = \frac{e_\theta C_\theta}{e_\theta C_\theta + 0.15q^\theta} \dots\dots\dots (A. 28)$$

$$\text{当 } C_\theta = 1 \text{ 时, } \psi = 1 \dots\dots\dots (A. 29)$$

θ_z ——复式膨胀节相对水平面的角度的数值,单位为度(°);

μ ——材料的泊松比;

σ_1 ——压力引起的波纹管直边段周向薄膜应力的数值,单位为兆帕(MPa);

σ'_1 ——压力引起的端接管周向薄膜应力的数值,单位为兆帕(MPa);

σ''_1 ——压力引起的端接管周向弯曲应力的数值,单位为兆帕(MPa);

σ_2 ——压力引起的波纹管周向薄膜应力的数值,单位为兆帕(MPa);

σ'_2 ——压力引起的波纹管加强件周向薄膜应力的数值,单位为兆帕(MPa);

σ''_2 ——压力引起的波纹管紧固件薄膜应力的数值,单位为兆帕(MPa);

σ_3 ——压力引起的波纹管子午向薄膜应力的数值,单位为兆帕(MPa);

σ_4 ——压力引起的波纹管子午向弯曲应力的数值,单位为兆帕(MPa);

σ_5 ——位移引起的波纹管子午向薄膜应力的数值,单位为兆帕(MPa);

σ_6 ——位移引起的波纹管子午向弯曲应力的数值,单位为兆帕(MPa);

$\sigma_{0.2y}$ ——成形态或热处理态的波纹管材料在设计温度下的屈服强度的数值,单位为兆帕(MPa),按公式(A. 30)计算;

$$\sigma_{0.2y} = \frac{0.67C_m\sigma_{0.2m}\sigma_{0.2}^t}{\sigma_{0.2}} \dots\dots\dots (A. 30)$$

$\sigma_{0.2}$ ——室温下的波纹管材料的屈服强度的数值,单位为兆帕(MPa);

$\sigma_{0.2}^t$ ——设计温度下的波纹管材料的屈服强度的数值,单位为兆帕(MPa);

$\sigma_{0.2m}$ ——波纹管材料质保书中的屈服强度的数值,单位为兆帕(MPa);

$[\sigma]^t$ ——设计温度下材料的许用应力的数值,下标 b、c、f、p、r 分别表示波纹管、端接管、紧固件、管子和加强件材料,单位为兆帕(MPa);

σ_t ——子午向总应力范围的数值,单位为兆帕(MPa);

τ_t ——扭转剪应力的数值,单位为兆帕(MPa);

Φ ——扭转角的数值,单位为弧度(rad);

ϕ ——设计压力与临界柱失稳压力之比,无加强 U 形波纹管按公式(A. 31)计算。

$$\phi = \frac{\rho q N^2}{0.764 \pi f_{iu}} \dots\dots\dots (A. 31)$$

表 A. 1 σ_6 的计算修正系数 C_d

$\frac{2r_m}{h}$	$\frac{1.82r_m}{\sqrt{D_m \delta_m}}$												
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.05	1.061	1.066	1.105	1.079	1.057	1.037	1.016	1.006	0.992	0.980	0.970	0.965	0.955
0.10	1.128	1.137	1.195	1.171	1.128	1.080	1.039	1.015	0.984	0.960	0.945	0.930	0.910
0.15	1.198	1.209	1.277	1.271	1.208	1.130	1.067	1.025	0.974	0.935	0.910	0.890	0.870
0.20	1.269	1.282	1.352	1.374	1.294	1.185	1.099	1.037	0.966	0.915	0.885	0.860	0.830
0.25	1.340	1.354	1.424	1.476	1.384	1.246	1.135	1.052	0.958	0.895	0.855	0.825	0.790
0.30	1.411	1.426	1.492	1.575	1.476	1.311	1.175	1.070	0.952	0.875	0.825	0.790	0.755
0.35	1.480	1.496	1.559	1.667	1.571	1.381	1.220	1.091	0.947	0.840	0.800	0.760	0.720
0.40	1.547	1.565	1.626	1.753	1.667	1.457	1.269	1.116	0.945	0.833	0.775	0.730	0.685
0.45	1.614	1.633	1.691	1.832	1.766	1.539	1.324	1.145	0.946	0.825	0.750	0.700	0.655
0.50	1.679	1.700	1.757	1.905	1.866	1.628	1.385	1.181	0.950	0.815	0.730	0.670	0.625
0.55	1.743	1.766	1.822	1.973	1.969	1.725	1.452	1.223	0.958	0.800	0.710	0.645	0.595
0.60	1.807	1.832	1.886	2.037	2.075	1.830	1.529	1.273	0.970	0.790	0.688	0.620	0.567
0.65	1.872	1.897	1.950	2.099	2.182	1.943	1.614	1.333	0.988	0.785	0.670	0.597	0.538
0.70	1.937	1.963	2.014	2.160	2.291	2.066	1.710	1.402	1.011	0.780	0.657	0.575	0.510
0.75	2.003	2.029	2.077	2.221	2.399	2.197	1.819	1.484	1.042	0.780	0.642	0.555	0.489
0.80	2.070	2.096	2.141	2.283	2.505	2.336	1.941	1.578	1.081	0.785	0.635	0.538	0.470
0.85	2.138	2.164	2.206	2.345	2.603	2.483	2.080	1.688	1.130	0.795	0.628	0.522	0.452
0.90	2.206	2.234	2.273	2.407	2.690	2.634	2.236	1.813	1.191	0.815	0.625	0.510	0.438
0.95	2.274	2.305	2.344	2.467	2.758	2.789	2.412	1.957	1.267	0.845	0.630	0.502	0.428
1.00	2.341	2.378	2.422	2.521	2.800	2.943	2.611	2.121	1.359	0.890	0.640	0.500	0.420

表 A. 2 σ_5 、 f_{iu} 、 f_{ir} 的计算修正系数 C_r

$\frac{2r_m}{h}$	$\frac{1.82r_m}{\sqrt{D_m \delta_m}}$												
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.05	1.116	1.094	1.092	1.066	1.026	1.002	0.983	0.972	0.948	0.930	0.920	0.900	0.900
0.10	1.211	1.174	1.163	1.122	1.052	1.000	0.962	0.937	0.892	0.867	0.850	0.830	0.820
0.15	1.297	1.248	1.225	1.171	1.077	0.995	0.938	0.899	0.836	0.800	0.780	0.750	0.735
0.20	1.376	1.319	1.281	1.217	1.100	0.989	0.915	0.860	0.782	0.730	0.705	0.680	0.655
0.25	1.451	1.386	1.336	1.260	1.124	0.983	0.892	0.821	0.730	0.665	0.640	0.610	0.590
0.30	1.524	1.452	1.392	1.300	1.147	0.979	0.870	0.784	0.681	0.610	0.580	0.550	0.525

表 A.2 (续)

$\frac{2r_m}{h}$	$\frac{1.82r_m}{\sqrt{D_m\delta_m}}$												
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.35	1.597	1.517	1.449	1.340	1.171	0.975	0.851	0.750	0.636	0.560	0.525	0.495	0.470
0.40	1.669	1.582	1.508	1.380	1.195	0.975	0.834	0.719	0.595	0.510	0.470	0.445	0.420
0.45	1.740	1.646	1.568	1.422	1.220	0.976	0.820	0.691	0.557	0.470	0.425	0.395	0.370
0.50	1.812	1.710	1.630	1.465	1.246	0.980	0.809	0.667	0.523	0.430	0.380	0.350	0.325
0.55	1.882	1.775	1.692	1.511	1.271	0.987	0.799	0.646	0.492	0.392	0.342	0.303	0.285
0.60	1.952	1.841	1.753	1.560	1.298	0.996	0.792	0.627	0.464	0.360	0.300	0.270	0.252
0.65	2.020	1.908	1.813	1.611	1.325	1.008	0.787	0.611	0.439	0.330	0.271	0.233	0.213
0.70	2.087	1.975	1.871	1.665	1.353	1.022	0.783	0.598	0.416	0.300	0.242	0.200	0.182
0.75	2.153	2.045	1.929	1.721	1.382	1.038	0.780	0.586	0.394	0.275	0.212	0.174	0.152
0.80	2.217	2.116	1.987	1.779	1.415	1.056	0.779	0.576	0.373	0.253	0.188	0.150	0.130
0.85	2.282	2.189	2.049	1.838	1.451	1.076	0.780	0.569	0.354	0.230	0.167	0.130	0.109
0.90	2.349	2.265	2.119	1.896	1.492	1.099	0.781	0.563	0.336	0.206	0.146	0.112	0.090
0.95	2.421	2.345	2.201	1.951	1.541	1.125	0.785	0.560	0.319	0.188	0.130	0.092	0.074
1.00	2.501	2.430	2.305	2.002	1.600	1.154	0.792	0.561	0.303	0.170	0.115	0.081	0.061

表 A.3 σ_4 的计算修正系数 C_p

$\frac{2r_m}{h}$	$\frac{1.82r_m}{\sqrt{D_m\delta_m}}$												
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.00	1.000	0.999	0.961	0.949	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950
0.05	0.976	0.962	0.910	0.842	0.841	0.841	0.840	0.841	0.841	0.840	0.840	0.840	0.840
0.10	0.946	0.926	0.870	0.770	0.744	0.744	0.744	0.731	0.731	0.732	0.732	0.732	0.732
0.15	0.912	0.890	0.836	0.722	0.657	0.657	0.651	0.632	0.632	0.630	0.630	0.630	0.630
0.20	0.876	0.854	0.806	0.691	0.592	0.579	0.564	0.549	0.549	0.550	0.550	0.550	0.550
0.25	0.840	0.819	0.777	0.669	0.559	0.518	0.495	0.481	0.481	0.480	0.480	0.480	0.480
0.30	0.803	0.784	0.750	0.653	0.536	0.501	0.462	0.432	0.421	0.421	0.421	0.421	0.421
0.35	0.767	0.751	0.722	0.640	0.541	0.502	0.460	0.426	0.388	0.367	0.367	0.367	0.367
0.40	0.733	0.720	0.696	0.627	0.548	0.503	0.458	0.420	0.369	0.332	0.328	0.322	0.312
0.45	0.702	0.691	0.670	0.615	0.551	0.503	0.455	0.414	0.354	0.315	0.299	0.287	0.275
0.50	0.674	0.665	0.646	0.602	0.551	0.503	0.453	0.408	0.342	0.300	0.275	0.262	0.248
0.55	0.649	0.642	0.624	0.590	0.550	0.502	0.450	0.403	0.332	0.285	0.258	0.241	0.225
0.60	0.627	0.622	0.605	0.579	0.547	0.500	0.447	0.398	0.323	0.272	0.242	0.222	0.205
0.65	0.610	0.606	0.590	0.570	0.544	0.497	0.444	0.394	0.316	0.260	0.228	0.208	0.190
0.70	0.596	0.593	0.580	0.563	0.540	0.494	0.442	0.391	0.309	0.251	0.215	0.194	0.176
0.75	0.585	0.583	0.573	0.559	0.536	0.491	0.439	0.388	0.304	0.242	0.203	0.182	0.163
0.80	0.577	0.576	0.569	0.557	0.531	0.488	0.437	0.385	0.299	0.236	0.195	0.171	0.152
0.85	0.571	0.571	0.566	0.556	0.526	0.485	0.435	0.384	0.296	0.230	0.188	0.161	0.142
0.90	0.566	0.566	0.563	0.554	0.521	0.482	0.433	0.382	0.294	0.224	0.180	0.152	0.134
0.95	0.560	0.560	0.556	0.547	0.515	0.479	0.432	0.381	0.293	0.219	0.175	0.146	0.126
1.00	0.552	0.550	0.540	0.529	0.510	0.476	0.431	0.380	0.292	0.215	0.171	0.140	0.119

A.2 波纹管设计

A.2.1 波纹管尺寸

波纹管的 r_c 、 r_r 宜按公式(A.32)设计:

$$r_c = r_r \geq 3\delta \quad \dots\dots\dots (A.32)$$

A.2.2 波纹管设计温度

波纹管设计温度应根据波纹管预计工作温度确定。

A.2.3 波纹管

波纹管结构示意图见图 A.1。

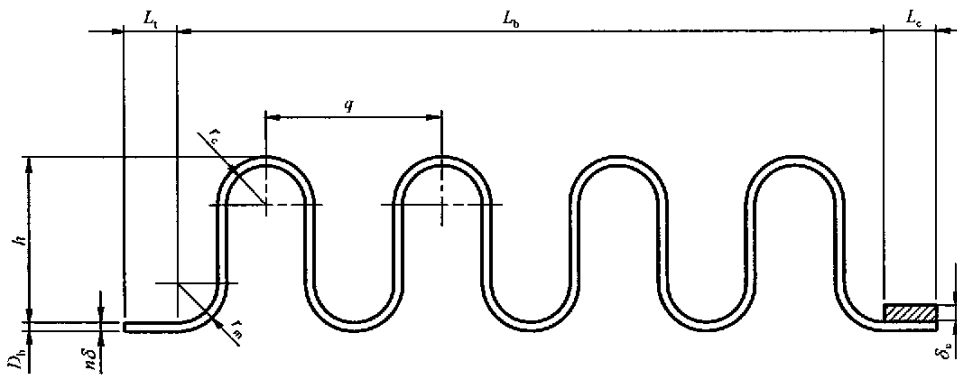


图 A.1 波纹管示意图

压力应力按公式(A.33)~公式(A.39)计算及其校核。

$$\sigma_1 = \frac{p(D_b + n\delta)^2 L_1 E_b^t k}{2[n\delta E_b^t L_1 (D_b + n\delta) + \delta_c k E_c^t L_c D_c]} \leq C_{wb} [\sigma]_b^t \quad \dots\dots\dots (A.33)$$

$$\sigma'_1 = \frac{p D_c^2 L_1 E_c^t k}{2[n\delta E_b^t L_1 (D_b + n\delta) + \delta_c k E_c^t L_c D_c]} \leq C_{wc} [\sigma]_c^t \quad \dots\dots\dots (A.34)$$

$$\sigma_2 = \frac{K_r q p D_m}{2A_c} \leq C_{wb} [\sigma]_b^t \quad \dots\dots\dots (A.35)$$

$$\sigma_3 = \frac{ph}{2n\delta_m} \quad \dots\dots\dots (A.36)$$

$$\sigma_4 = \frac{ph^2 C_p}{2n\delta_m^2} \quad \dots\dots\dots (A.37)$$

$$\sigma_3 + \sigma_4 \leq C_m [\sigma]_b^t \quad (\text{蠕变温度以下}) \quad \dots\dots\dots (A.38)$$

$$\sigma_3 + \frac{\sigma_4}{1.25} \leq [\sigma]_b^t \quad (\text{蠕变温度范围内}) \quad \dots\dots\dots (A.39)$$

疲劳寿命按公式(A.40)~公式(A.43)计算。

$$[N_c] = \left(\frac{12\,820}{\sigma_t - 370} \right)^{3.4} / n_f \quad \dots\dots\dots (A.40)$$

$$\sigma_t = 0.7(\sigma_3 + \sigma_4) + \sigma_5 + \sigma_6 \quad \dots\dots\dots (A.41)$$

$$\sigma_5 = \frac{E_b \delta_m^2 e}{2h^3 C_f} \quad \dots\dots\dots (A.42)$$

$$\sigma_6 = \frac{5E_b \delta_m e}{3h^2 C_d} \quad \dots\dots\dots (A.43)$$

$[N_c] = 3\,000 \sim 5\,000$ 周次。

单波轴向弹性刚度按公式(A.44)计算。

$$f_{iu} = \frac{1.7D_m E_b^3 \delta_m^3 n}{h^3 C_t} \dots\dots\dots (A.44)$$

A.2.4 稳定性计算

稳定性计算如下：

- a) 波纹管两端为固支时，柱失稳的极限设计内压按公式(A.45)计算；

$$p_{sc} = \frac{0.34\pi f_{iu} C_q}{N^2 q} \dots\dots\dots (A.45)$$

对于复式膨胀节，计算 p_{sc} 时， N 为两个波纹管波数总和；

- b) 波纹管两端为固支时，平面失稳的极限设计压力按公式(A.46)计算。

$$p_{si} = \frac{1.3A_c \sigma_{0.2y}}{K_r D_m q \sqrt{a}} \dots\dots\dots (A.46)$$

附录 B
(资料性附录)
位移力和热胀量的计算

B.1 符号

本附录的符号参见附录 A 中 A.1。

B.2 单波位移

a) 单式膨胀节单波位移按下列公式计算：

轴向位移“ x ”引起单波轴向位移按公式(B.1)计算；

$$e_x = \frac{x}{N} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

横向位移“ y ”引起单波最大相当轴向位移按公式(B.2)计算；

$$e_y = \frac{3D_m y}{N(L_b \pm x)} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

当轴向位移“ x ”为拉伸时取“+”号,当轴向位移“ x ”为压缩时取“-”号,本标准取“-”。角位移“ θ ”引起单波相当轴向位移按公式(B.3)计算。

$$e_\theta = \frac{\pi\theta D_m}{360N} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

b) 复式膨胀节单波位移按下列公式计算：

轴向位移“ x ”引起单波轴向位移按公式(B.4)计算；

$$e_x = \frac{x}{2N} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

横向位移“ y ”引起单波最大相当轴向位移按公式(B.5)计算；

$$e_y = \frac{K_u D_m y}{2N(L_u - L_b \pm x/2)} \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

轴向位移符号的定义见公式(B.2)。

角位移“ θ ”引起单波相当轴向位移按公式(B.6)计算；

$$e_\theta = \frac{\pi\theta D_m}{720N} \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

当吸收横向位移的复式膨胀节装有导管时,应考虑中间管转角对导管与管子内径间隙的影响;中间管转角按(B.7)式计算。

$$\theta_z = \frac{3(L_u - L_b)y}{3L_u^2 - 6L_b L_u + 4L_b^2} \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

单波总相当轴向位移的计算及校核按下列公式计算。

由几何形状确定的单波最大允许压缩位移和拉伸位移按公式(B.8)和公式(B.9)计算；

$$e_{cmax} = 0.5q - n\delta \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

$$e_{emax} = 0.5q \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

单波相当轴向总位移按公式(B.10)和公式(B.11)；

$$e_c = e_y + e_\theta + |e_x| \text{ 或 } e_c = \frac{e_\theta}{\Psi} + |e_x| \text{ 中的较大值} \leq [e_c] \quad \dots\dots\dots (B.10)$$

$$e_e = e_y + e_\theta - |e_x| \text{ 或 } e_e = \frac{e_\theta}{\Psi} - |e_x| \text{ 中的较大值} \leq [e_e] \quad \dots\dots\dots (B.11)$$

设定“ x ”为压缩位移,当“ x ”为拉伸位移时,应改变上式中 e_x 的正负号;假定“ y ”和“ θ ”发生在同一平面内,当“ y ”和“ θ ”不在同一平面内时,须求其矢量和,然后与“ e_x ”计算,以确定其最大值。

单波额定压缩位移和拉伸位移按公式(B.12)计算;

$$[e_c] \text{ 或 } [e_e] \text{ 中的较大值} \leq [e] \quad ([N_c] \geq 3000) \dots\dots\dots (\text{B.12})$$

B.3 膨胀节整体弹性刚度及推力

a) 单式膨胀节整体弹性刚度按下列公式计算:

轴向弹性刚度按公式(B.13)计算;

$$K_x = \frac{f_i}{N} \dots\dots\dots (\text{B.13})$$

横向弹性刚度按公式(B.14)计算;

$$K_y = \frac{1.5D_m^2 f_i}{N(L_b \pm x)^2} \dots\dots\dots (\text{B.14})$$

轴向位移符号的定义见公式(B.2)。

b) 复式膨胀节整体弹性刚度按下列公式计算:

轴向弹性刚度按公式(B.15)计算;

$$K_x = \frac{f_i}{2N} \dots\dots\dots (\text{B.15})$$

横向弹性刚度按公式(B.16)计算;

$$K_y = \frac{K_u D_m^2 f_i}{4N(L_u \pm x)(L_u - L_b \pm x/2)} \dots\dots\dots (\text{B.16})$$

轴向位移符号的定义见公式(B.2)。

B.4 膨胀节位移推力(弹性力)

a) 膨胀节轴向位移推力按公式(B.17)计算;

$$F_e = K_x X \dots\dots\dots (\text{B.17})$$

b) 膨胀节横向位移推力按公式(B.18)~公式(B.21)计算。

$$F_e = K_y Y_1 \quad (\text{横向位移合力}) \dots\dots\dots (\text{B.18})$$

$$\text{其中 } Y_1 = \sqrt{Y^2 + Z^2} \dots\dots\dots (\text{B.19})$$

$$\text{或 } F_{ey} = K_y Y \quad (Y \text{ 向位移力}) \dots\dots\dots (\text{B.20})$$

$$F_{ez} = K_y Z \quad (Z \text{ 向位移力}) \dots\dots\dots (\text{B.21})$$

B.5 膨胀节压力推力

膨胀节压力推力按公式(B.22)计算。

$$F_p = pA_{cu} \dots\dots\dots (\text{B.22})$$

B.6 膨胀节总推力

膨胀节总推力(不包括重力、摩擦力)按公式(B.23)计算。

$$F = F_e + F_p \dots\dots\dots (\text{B.23})$$