

U55

**CB**

# 中华人民共和国船舶行业标准

CB1153-93

---

## 金属波形膨胀节

1993 08 27 发布

1994 03 01 实施

中国船舶工业总公司 发布

## 金属波形膨胀节

分类号:U55

代替 CB1153—86

## 1 主题内容与适用范围

本标准规定了法兰连接尺寸按 GB569、GB2501 的金属波形膨胀节(以下简称膨胀节)的产品分类,技术要求、试验方法、检验规则、标记、包装、运输和贮存。

本标准适用于海水、压载、消防和油、温度不大于 200℃ 的蒸汽等船舶管路系统,作为管路热胀冷缩和由于船体变形导致管路位移的补偿装置,亦可适用于风机、泵等管系的高频率低振幅的振动场合。

## 2 引用标准

GB191	包装储运图示标志
GB569	船用法兰连接尺寸和密封面
GB1804	公差与配合、未注公差尺寸的极限偏差
GB2501	船用法兰连接尺和密封面(四进位)
GB6388	运输包装收发货标志
GB/T12777	金属波纹管膨胀节通用技术条件
QJ1165	不锈钢薄板熔焊技术条件
JB2536	压力容器油漆、包装、运输

## 3 产品分类

## 3.1 膨胀节根据适用介质和连接法兰分下列四种形式:

A 型—法兰连接尺寸按 GB569,适用于海水介质;

AS 型—法兰连接尺寸按 GB2501,适用于海水介质;

B 型—法兰连接尺寸按 GB569,适用于油、淡水、蒸汽介质;

BS 型—法兰连接尺寸按 GB2501,适用于油、淡水、蒸汽介质。

## 3.2 膨胀节的基本参数按表 1。

表 1

类 型		公称压力 $P_N$ MPa	公称通径 $D_N$ mm
A; AS		0.4	300~500
		0.6、1.0、1.6	50~500
B; BS		0.6、1.0、1.6	50~500

## 3.3 膨胀节的结构和基本尺寸

## 3.3.1 A型、B型膨胀节的结构和基本尺寸按图1、2和表2。

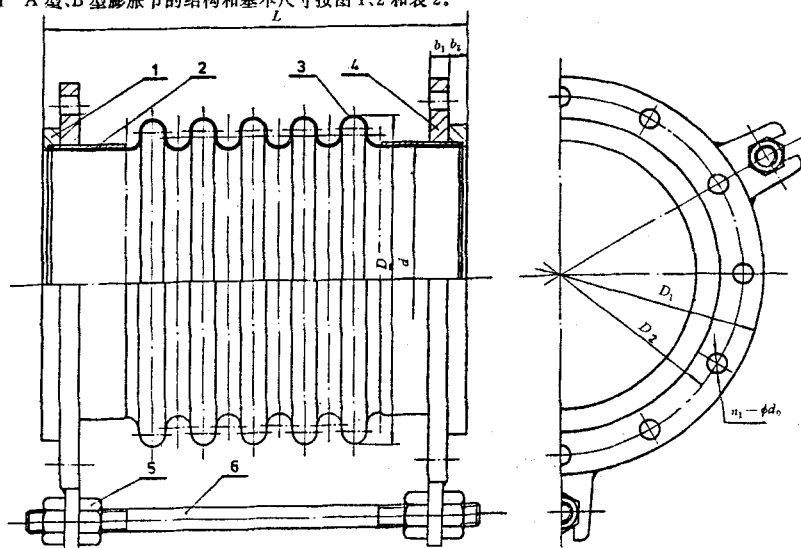


图1 A型、AS型

1—不锈钢环；2—护管；3—波纹管；4—法兰；5—螺母；6—定位螺杆

## 3.3.2 AS型、BS型膨胀节的结构和基本尺寸按图1、2和表3。

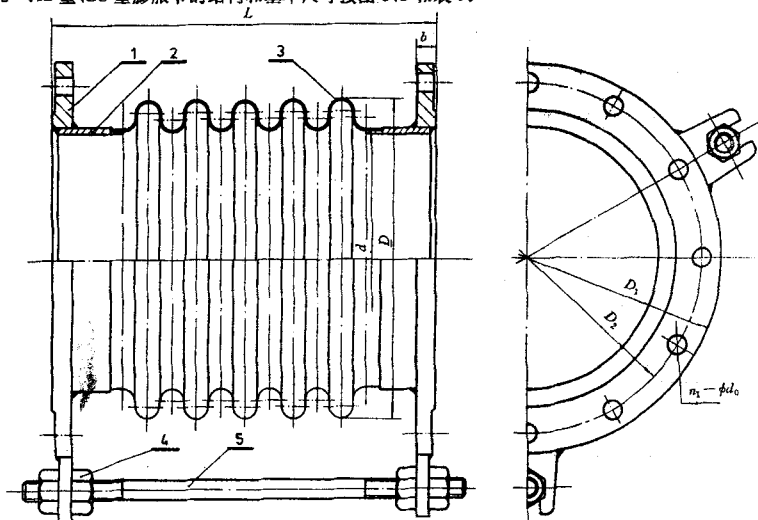


图2 B型、BS型

1—法兰；2—接管；3—波纹管；4—螺母；5—定位螺杆

表 2

公称 压力 PM MPa	公称 通径 DN mm	结 构 尺 寸						法 兰 尺 寸						重 量		理 论 特 性																
		波数 n	d	D	L mm		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	n <sub>1</sub>	d <sub>s</sub>	kg		总位移 mm		F cm <sup>2</sup>	刚度 N/mm													
					A 型	B 型								A 型	B 型	Δr	Δy		k <sub>x</sub>	k <sub>y</sub>												
			mm	mm			mm	mm																								
0.4	300	4	310	366	230	—	430	386	—	18	12	14	21	25.9	—	24	3	897	879	12003												
	350		377	433			480	436		20	13	16		31.2				1288	989	19391												
	400		426	482	240	—	530	486	22	14	18	38.1		1619				1061	26157													
	(450)		480	536			580	536	24	16	18	44.9		2027				1158	35734													
	500		530	584			250	635	591	26	16	20		53.9				2437	1383	51301												
0.6	50	6	60	88	160	180	135	103	15	13	9	6	15	3.6	3.8	12	4	43	386	521												
	65		76	108	180	190	155	123	12	10				10	4.4			4.5	66	625	862											
	80		90	122	190	200	170	138	14	13				10	10			5.0	5.0	88	685	1252										
	100		110	142			190	158			11	12					5.8	5.8	3	125	775	2003										
	125		135	181	210	225	215	183	14	11	12	12		7.8	7.8		6	196	725	1885												
	150		160	206			240	208						15	11		12	9.4	8.9	5	263	807	2815									
	(175)		189	235			270	238										14.5	13.3		353	905	4228									
	200		214	272	220	205	295	264	16	16	12	14		17	20.5		18.3	4	464	985	6953											
	250		260	316	230	240	210	430	386	19	18	20		13	16		21	27.9	25.9	24	3	651	1199	11888								
	300		310	366	480																	436	20	20	33.6	28.7	897	1318	18005			
	350		377	433	250	220	530	486	22	14	18	18		18	18		21	40.8	35.7	2	2	1288	1483	29086								
	400		426	482																		580	536	21	24	16	18	47.8	39.4	1619	1592	39235
	(450)		480	536																		635	591	26	18	20	56.7	44.4	2027	1737	53601	
500	530	584	230	285	248	16	17	12	17	14.0	12.2	2437	2074	76951																		
1.0	50	6	60	87	185	180	135	103	15	13	9	6	15	3.9	4.0	12	4	42	651	867												
	65		76	110	200	155	123	12	10	10				4.9	5.0			68	1039	1463												
	80		90	124										170	138			5.5	5.5	90	1145	2133										
	100		110	144	210	190	158	14	13	6.5	6.4	127		1302	3418																	
	125		135	171	235	215	183	14	11	12	7.9	7.6		3	184		1495	3645														
	150		160	196	240	208	9.7				8.6	249			1635		5396															
	(175)		189	225	230	285	248	16	17	12	17	14.0		12.2	2		337	1808	8071													

续表 2

公称压力 PM MPa	公称通径 DN mm	结构尺寸				法兰尺寸							重量		理论特性					
		波数 n	d	D	L mm		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	n <sub>1</sub>	d <sub>s</sub>	kg		总位移 mm		F	刚度 N/mm	
			mm	A型	B型	mm				mm	A型		B型	Δx	Δy	cm <sup>2</sup>	k <sub>x</sub>	k <sub>y</sub>		
1.0	200	214	269	305	260	310	273	17	17	12	12	17	20.6	18.8	24	6	458	2431	7536	
	250	260	316	315		330	336	20	20		14		28.6	24.9		5	651	2606	11489	
	300	310	366	335	270	435	391	21	24	14	16	21	37.9	30.6	24	4	897	2980	18094	
	350	377	434	350		485	441													26
	400	426	484	185	280	545	496	24	30	16	18	26	70.3	52.6	24	3	1626	3587	39250	
	(450)	480	538	250	290	600	551													32
	500	530	588			300	650	691	25	34	18	20		81.4	60.1	2	2454	4344	72136	
1.6	50	60	87	210	180	135	103	15	13	9	6	15	4.0	4.1	12	4	42	868	1156	
	65	76	108	235	200	170	132	18	16	12	8	17	7.0	6.9			66	1876	2585	
	80	90	124	250		185	147	19	17				10	8.4			8.1	90	1717	3200
	100	110	144		300	205	167			18	13	21		9.7		9.3	127	1953	5127	
	125	135	169	225		187	25	20	14				12	10.9		10.7	3	181	2648	6372
	150	160	194	320	255	217				21	22	15		14		26	14.0	12.7	246	2883
	(175)	189	223	340	230	300	256	20	14				12				18.4	17.1	2	333
	200	214	270	260	325	281	25	26	16	14	26	26	27.4	23.6		6	460	3464	10782	
	250	260	316		360	390							341	28		17	16	38.6	33.0	5
	300	310	366	370	445	396	18	26	17	16	26	26	49.1	39.2		4	897	4470	27142	
	350	377	433	390	270	495							447	26		32	18	60.4	46.0	24
	400	426	483	290	280	560	505	30	36	22	30	30	82.7	53.2		3	1622	5610	61584	
	(450)	480	537		610	555	38	40	26	20			98.1	82.1		2031	6241	85769		
500	530	587	300	665	610	42	44	28	22	120.1	100.3	2	2450	6827	113178					

表中：①带括号尺寸尽量不选用；

②表列总位移为许用循环次数  $N_t=3000$  次时的计算值；

③ $\Delta x$ —轴向总位移(表中的  $\Delta x$  为  $\Delta y=0$  的值)；

④ $\Delta y$ —横向总位移(表中的  $\Delta y$  为  $\Delta x=0$  的值)；

⑤F—波纹管有效截面积；

⑥ $k_x$ —每个波的轴向刚度。

⑦ $k_y$ —每个波的横向刚度。

表 3

公称压力 PM MPa	公称 直径 DN mm	结 构 尺 寸				法 兰 尺 寸							重 量		理 论 特 性					
		波数 n	d	D	L mm		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	n <sub>1</sub>	d <sub>s</sub>	kg		总位移 mm		F	刚度 N/mm	
			mm	AS 型	BS 型	mm					mm		AS 型	BS 型	Δx	Δy	cm <sup>2</sup>	k <sub>x</sub>	k <sub>y</sub>	
0.4	300	4	310	366	240	440	395	24	16	12	22	35.3		24	3	897	879	12003		
	350		377	433		490	445									26	49.4	1288	989	19391
	400		426	482	250	540	495	28	18	16	58.6	1619	1061	26157						
	(450)		480	536		595	550	30	71.4	2027	1158	35734								
	500		530	584	260	645	600	32	20	20	81.8	2437	1383	51301						
0.6	50	6	60	88	160	180	140	110	16	16	10	14	4.6	3.8	12	4	43	386	521	
	65		76	108	180	190	160	130					5.7	4.9			66	625	862	
	80		90	122	190	200	190	150	18	18	8.3	5.9	88	685		1252				
	100		110	142			210	170			9.2	9.6	3	125		775	2003			
	125		134	181	220	225	240	200	20	20	12	18	13.1	11.3		6	196	725	1885	
	150		160	206			265	225					14.4	12.7		5	263	807	2815	
	(175)	189	235	295			255	17.3	16.4	353	903	4228								
	200	214	272	205	320	280	22	14	22	14	18	22.9	19.5	4	464	985	6953			
	250	260	316			375						335	24	24	29.1	24.7	3	651	1199	11888
	300	310	366	240	440	395	26	26	16	12	22	37.2	30.4	3	897	1318	18005			
	350	377	433			490						445	51.8	41.8	1288	1483	29086			
	400	426	482	250	540	495	28	28	18	16	22	61.3	49.0	2	1619	1592	39235			
	(450)	480	536			595	550	74.3				60.1	2027	1737	53601					
500	530	584	260	645	600	30	32	20	20	85.1	63.2	2437	2074	76951						
1.0	50	6	60	87	185	180	165	125	18	20	14	4	8.0	6.4	12	4	42	651	867	
	65		76	110	200	185	145	10.0					8.0	68			1039	1463		
	80		90	124		200	200	160	10.8	8.8	90	1145	2133							
	100		110	144	210	220	180	22	16	8	13.3	10.8	127	1302		3418				
	125		135	171	235	250	210				16.3	13.2	3	184		1495	3645			
	150		160	196	250	285	240	22	24	18	22	21.2	16.8	249		1635	5396			
	(175)		189	225			315					270	24	25.2		20.0	2	337	1808	8071

续表 3

公称压力 PM MPa	公称 口径 DN mm	结构尺寸						法兰尺寸						重量		理论特性				
		波数 n	d	D	L mm		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	n <sub>1</sub>	d <sub>s</sub>	kg		总位移 mm		F	刚度 N/mm	
			mm	AS型	BS型	mm			mm	AS型	BS型		AS型	BS型	Δx	Δy	cm <sup>2</sup>	k <sub>x</sub>	k <sub>y</sub>	
1.0	200	6	214	269	305	260	340	295	24	24	18	8	22	32.8	26.8	24	6	458	2431	7536
	250		260	316			395	350	26	28	20	12		39.7	31.7		5	651	2606	11489
	300		310	366	315	270	505	460				28	30	16	47.3		35.9	4	897	2980
	350		377	434					290	565	515				32		32	22	70.7	51.9
	400		426	484	335	290	615	565	35	35	26	88.1	68.9	1626	3567		39250			
	(450)		480	538								350	300	670	620		38	40	24	101.7
	500		530	588	350	300	670	620	38	40	24	20	127.5	97.7	2		2454	4344	72136	
1.6	50	6	60	87	185	180	165	125	18	20	14	4	18	8.1	6.6	12	4	42	868	1156
	65		76	108	200	185	145	20						16	10.3		8.3	4	66	1876
	80		90	124	210	200	200		160	22	16	11.3	9.2		90		1717	3200		
	100		110	144			220	180	22			16	13.8	11.3	8		16.9	13.7	3	181
	125		135	169	235	225	250	210		24	18		22.0	17.6			246	2883	9408	
	150		160	194	250		285	240	25			18	26.8	20.8	2		333	3181	14062	
	(175)		189	223		230	315	270		24	25		35.2	29.0	6		460	3464	10782	
	200		214	270	300	265	340	295	26	26	12	47.8	39.3	5	651		3909	17233		
	250		260	316	320	270	405	355	29	29		26	61.4	50.3	4		897	4470	27142	
	300		310	366	340	280	460	410	32	32	16	30	91.9	74.9	24		1288	5260	45858	
	350		377	433		290	520	470	36	35							24	113.8	94.7	3
	400		426	483	360	310	580	525	40	38	26	20	141.1	122.1	2		2031	6241	85769	
	(450)		480	537	370		640	585	46	42	28						185.1	167.9	2	2450
500	530	587	390	330	715	650	52	46	30	33	185.1	167.9	2	2450	6827	113178				

表中：①带括号尺寸尽量不选用；

②表列总位移为许用循环次数  $N_t=3000$  次时的计算值；

③ $\Delta x$ —轴向总位移(表中的  $\Delta x$  为  $\Delta y=0$  的值)；

④ $\Delta y$ —横向总位移(表中的  $\Delta y$  为  $\Delta x=0$  的值)；

⑤ $F$ —波纹管有效截面积；

⑥ $k_x$ —每个波的轴向刚度；

⑦ $k_y$ —每个波的横向刚度。

### 3.7 标记示例

公称压力为 0.6MPa, 公称口径为 200mm, 按 GB569 法兰连接尺寸和密封面适用于海水介质的金属波形膨胀节：

膨胀节 A6200 CB1153—93

公称压力为 1.6MPa,公称通径为 300mm,按 GB2501 法兰连接尺寸和密封面(四进位)适用于油、淡水、蒸汽介质的金属波形膨胀节:

膨胀节 BS16300 CB1153—93

#### 4 技术要求

##### 4.1 材料要求

##### 4.1.1 主要零件的材料按表 4。

表 4

零件名称	材 料		
	名称	牌 号	标 准 号
A、AS 型波纹管、钢环	不锈钢	00Cr17Ni14Mo2	GB4237—88
B、BS 型波纹管	不锈钢	0Cr18Ni11Ti	
法 兰、接 管	碳素钢	Q235—A	GB700—88
定 位 螺 杆			

注:1. A、AS 型膨胀节如有特殊要求,与生产厂协商波纹管材料可用 00Cr20Ni25Mo5。

2. 钢环材料允许用 Q235—A 代,但必需与波纹管组装焊后钢环外表面全部进行镀塑处理。

4.1.2 波纹管的材料需有生产厂的质量合格证书。根据需要按有关标准复验合格后方可使用。

4.2 波纹管的设计计算、膨胀节的位移、力和力矩及振动计算按附录 A(补充件)的规定。

4.3 膨胀节固定支架受力计算,固定支架与导向支架位置的确定可参考附录 B(参考件)的规定。

##### 4.4 波纹管

4.4.1 波纹管管坯用钢板卷制时,不应采用环焊缝。

4.4.2 波纹管管坯的纵焊缝以最少为原则,在管坯厚度小于等于 0.5mm 时,相邻焊缝的间距应大于 150mm;管坯厚度大于等于 0.8mm 时,相邻焊缝的间距应大于 250mm,其焊缝条数不多于 2 条。

4.4.3 板材的拼焊采用氩弧焊或等离子焊,大于 0.5mm 的板材拼焊对口错边量、焊缝的凹陷深度及余高应小于等于板厚的 10%。

4.4.4 根据使用要求,供需双方可协定是否对纵焊缝进行射线拍片及拍片检查的数量。波纹管管坯纵焊缝进行射线拍片检查时,应达到 QJ1165 中的 II 级要求。

4.4.5 波纹管管坯的套装间隙应小于等于单层壁厚。

4.4.6 波纹管各层纵焊缝的位置一般应沿圆周方向均匀错开,层间不得有水、油、污物等。

4.4.7 波纹管的波纹形状应均一,其表面允许有轻微的模式压痕,不得有明显的凹凸不平和单层壁厚负偏差的划痕。

4.4.8 波纹管的波高波距,波纹管总长的未注公差尺寸的极限偏差应符合 GB1804 中 JS18 级要求,两端法兰同轴度公差值小于等于 5mm,两端法兰平面应与主轴垂直,垂直度偏差为公称通径的 1%,且小于等于 3mm。

##### 4.5 膨胀节

4.5.1 A、B 型法兰连接尺寸按 GB569,AS、BS 型法兰连接尺寸按 GB2501。

4.5.2 A、AS 型膨胀节的波纹管与法兰连接采用不锈钢环套镀锌钢法兰,法兰在焊装前先行热浸锌。

B、BS 型膨胀节的波纹管与接管连接采用氩弧焊接,其余可采用普通电焊。

4.5.3 膨胀节各部位焊缝表面不得有裂纹、气孔、夹渣、飞溅物等缺陷。

4.5.4 膨胀节长度允许偏差为  $\pm 2.5$ mm,垂直度允差为 1%DN,且小于等于 3mm,同轴度允差为 5mm。



- 4.5.5 膨胀节的刚度按 GB/T12777 中 A3.3 条规定的公式计算作为给出值,制造厂应提供膨胀节初始理论刚度,若用户有要求,可提供膨胀节工作刚度。产品实测平均刚度值与计算值的偏差不得大于 $\pm 30\%$ 。
- 4.5.6 膨胀节应进行压力试验,试验压力按 GB/T12777 中 4.4.11 条规定。
- 4.5.7 制造厂应提供膨胀节许用疲劳寿命值,用户有要求及型式检验时应进行疲劳寿命试验,其值为膨胀节在公称压力和补偿量下的 2~5 倍许用循环次数,2 倍为合格产品、5 倍为优质产品。
- 4.5.8 型式检验时应进行膨胀节的稳定性试验。
- 4.5.8.1 平面稳定性:膨胀节在 1.25 倍工作压力下,波距与受压前波距之比不大于 1.15。
- 4.5.8.2 轴向稳定性:膨胀节在 1.25 倍工作压力下,受压前后膨胀节轴线最大侧向极限偏差量不大于膨胀节自由长度的 5%。
- 4.5.8.3 平面失稳压力应大于 1.5 倍设计压力,柱失稳压力应大于 2 倍设计压力。
- 4.5.9 定位螺栓为保证膨胀节在运输和安装过程中不产生变形之用。用定位螺栓固定的波纹管为自由状态,管路安装完毕后须用拧松螺母的方法拆除定位螺栓(绝对避免气割),恢复其伸缩性能。

## 5 试验方法

### 5.1 材料

波纹管所用的材料应按材质单验收,如有特殊要求时无损探伤检验。

### 5.2 外观

膨胀节外观检验在日光或人工照明下目测法检验。

### 5.3 尺寸检查

用精度符合规定极限偏差要求的通用量具。

### 5.4 焊接

膨胀节的焊缝一般用目测法检查,应符合 4.5.3 条要求,波纹管纵焊缝应按 QJ1165 中 2.2 条进行外观质量检验(可用 5 倍放大镜)。

### 5.5 压力试验

膨胀节的压力试验按 GB/T12777 中 5.6 条的规定。

### 5.6 刚度

膨胀节的刚度试验按 GB/T12777 中 5.8 条的规定。

### 5.7 疲劳寿命

膨胀节的疲劳寿命试验可在常温下进行,试验压力为公称压力,循环位移为表 2、3 中规定的轴向总位移,循环速率的选择应确保各波均匀变形,被试验的膨胀节的疲劳循环次数应不低于 4.5.7 条规定。

## 6 检验规则

6.1 检验工作由制造厂的质检部门组织实施。

### 6.2 出厂检验

6.2.1 出厂检验应在产品出厂前逐件进行。

6.2.2 检验项目应按表 5 的规定。

表 5

序号	检查项目	要求
1	外观检查	应符合 4.4.7、4.1.2
2	无损探伤检查	应符合 4.4.4、4.5.3
3	尺寸检查	应符合 4.4.2、4.4.3、4.4.5、4.4.8、4.5.4
4	压力试验	应符合 4.5.6

6.2.3 当检验中有一项或几项检验结果不合格时,在标准允许范围内进行返修后,对其不合格项目重新检验,复验不合格的产品不得出厂。

### 6.3 型式检验

6.3.1 膨胀节在试制过程中或国家质量监督机构提出进行型式检验的要求时,应进行型式检验。

6.3.2 型式检验的项目按表 6 的规定。

表 6

序号	检查项目	要 求
1	外观检查	应符合 4.4.7、4.1.2
2	无损探伤检查	应符合 4.4.4、4.5.3
3	尺寸检查	应符合 4.4.2、4.4.3、4.4.5、4.4.8、4.5.4
4	压力检查	应符合 4.5.6
5	疲劳试验	应符合 4.5.7
6	稳定性试验	应符合 4.5.8.1、4.5.8.2、4.5.8.3

6.3.3 型式试验的抽检数量不小于 2 组。

6.3.4 当型式检验中任一项不合格时,必须在审查设计、工艺等基础上,用双倍数量的产品进行复验,复验时有一件不合格,即认为型式检验不合格。

## 7 标志、包装、运输和贮存

7.1 应在膨胀节组件的法兰圆周面上打出制造厂标记和产品代号(本标准规定的型号和标准号)。

7.2 膨胀节应采取保护措施,以防运输、安装过程中的变形和损坏。

7.3 波纹管、不锈钢部件及法兰密封面不涂漆,其余部件外表面涂防锈底漆一层,银粉漆二层。

7.4 出厂的膨胀节必须附有质量合格证书和安装使用说明书,合格证书应包括下列内容:

- a. 产品名称和型式代号;
- b. 产品的外形尺寸;
- c. 产品的性能参数,或性能试验数据。

7.5 膨胀节包装和运输参照 JB2536 中的有关规定。

7.6 包装箱上应有产品名称、标记、重量、箱体尺寸、防潮等字样,或按 GB191、GB6388 中的有关规定。

7.7 包装成箱的产品,在雨雪不会直接淋袭的条件下,可用任何运输工具运输。

### 7.8 贮存

7.8.1 出厂前和安装前,膨胀节应贮存于无腐蚀性气体的干燥和干净的环境里,避免杂乱堆放和与其他物件混放。

7.8.2 包装成箱的产品应贮存在无腐蚀性气体的干燥和干净环境里。

## 附录 A

## 波纹管设计计算

(补充件)

## A1 本系列设计条件

A1.1 设计温度:设计基准温度为 200℃,使用温度为-20~400℃

A1.2 公称压力与公称通径见表 A1。

表 A1

公称压力 MPa	0.4	0.6	1.0	1.6
公称通径 mm	300~500	50~500		

A1.3 不同温度(波纹管壁温)下的允许使用压力见表 2。

表 A2

公称压力 MPa	温 度 ℃					
	150	200	250	300	350	400
	允许使用压力,MPa					
0.4	0.41	0.4	0.38	0.36	0.34	0.32
0.6	0.616	0.6	0.56	0.51	0.47	0.44
1.0	1.02	1.0	0.93	0.85	0.78	0.73
1.6	1.63	1.6	1.49	1.36	1.24	1.26

## A1.4 波纹管材料及其主要性能

波纹管材料采用 00Cr17Ni14Mo2、0Cr18Ni11Ti 等奥氏体不锈钢。其主要性能如下:

$$[\sigma]^{20} = 118 \text{MPa}$$

$$[\sigma]^{200} = 108 \text{MPa}$$

$$E_s^{20} = 195000 \text{MPa}$$

$$E_s^{200} = 184000 \text{MPa}$$

$$\sigma_b^{20} = 520 \text{MPa}$$

$$\sigma_b^{400} = 377 \text{MPa} (00\text{Cr}17\text{Ni}14\text{Mo}2)$$

$$\sigma_b^{400} = 426 \text{MPa} (0\text{Cr}18\text{Ni}11\text{Ti})$$

A1.5 疲劳寿命:破环循环次数范围  $N=1000 \sim 100000$  次;本系列取  $N_a=45000$  次,安全系数取 15,则许用循环次数  $[N]=3000$  次。

## A2 波纹管的设计计算

## A2.1 符号说明:

 $d$ ——波根外径,mm; $D$ ——波顶外径,mm; $D_m$ ——波纹管平均直径,mm;

$t$ ——一层材料的公称厚度,mm;

$t_c$ ——套箍厚度,mm;

$t_p$ ——成形减薄后的一层材料的壁厚,mm;

$$t_p = t \cdot (d/D_m)^{0.5}$$

$C_0$ ——钢板负公差,mm;

$t_{pp}$ ——考虑成形减薄后和钢板负公差的有效壁厚,mm;

$$t_{pp} = t_p - C_0$$

$q$ ——波距,mm;

$h$ ——波高,mm;

$$h = (D-d)/2$$

$L_1$ ——直边段长度,mm;

$k$ ——系数 当  $k \geq 1$  时,取  $k=1$ ;

$$k = L_1 / 1.5(d \cdot t)^{0.5}$$

$\sigma$ ——应力,MPa。上角标表示温度,下角标  $Z$  表示直边段的应力,  $C$  表示套箍的应力,数字表示波纹管应力的序号;

$\sigma_R$ ——波纹管总应力范围,MPa;

$[\sigma]$ ——材料许用总应力,MPa;

$E$ ——材料弹性模数,MPa。上角标表示温度,下角标  $b, c$  分别表示波纹管、套箍的弹性模量;

$Z$ ——波纹管材料的层数;

$n$ ——一组波纹管的波数;

$N_s$ ——循环次数;

$[N]$ ——许用循环次数;

$e$ ——每波的补偿量,mm;

$\Delta_{\text{额定}}$ ——额定轴向总位移,mm;

$\varphi_{\text{额定}}$ ——额定偏转角,°;

$y_{\text{额定}}$ ——额定横向位移,mm;

$a$ ——材料线膨胀系数,mm/mm°C;

$\Delta t$ ——安装温度与工作温度差。本系列中  $\Delta t = (200-20)^\circ\text{C} = 180^\circ\text{C}$ ;

$P$ ——设计压力,MPa;

$P_s$ ——不失稳的设计压力,MPa;

$C_p$ ——系数;

$C_t$ ——系数;

$C_d$ ——系数;

$K_1$ ——一个波的刚度,N/mm;

$K$ ——膨胀节总刚度,N/mm;

$$K = K_1/n$$

$K_p$ ——系数,

$$K_p = 0.3 - [1 / (10.4864 \cdot P^{1.5} + 3.2)]^2$$

$L$ ——一个膨胀节的有效长度,mm。

## A2.2 应力计算及其评定标准(不带加强环)

### A2.2.1 应力计算

由内压引起的波纹管直边段的圆周方向薄膜应力按公式(A1)计算:

$$\sigma_s = p \cdot d \cdot E_b \cdot k / [2(t_c + E_c + Z \cdot t \cdot E_b)] \dots\dots\dots (A1)$$

采用套箍时,  $k=1$ 。

由内压引起的套箍的圆周方向薄膜应力按公式(A2)计算:

$$\sigma_c = p \cdot d \cdot E_c / [2(t_c \cdot E_c + Z \cdot t \cdot E_b)] \dots\dots\dots (A2)$$

由内压引起的波形部分的圆周方向薄膜应力按公式(A3)计算:

$$\sigma_1 = p \cdot D_m [1/0.571 + 2 \cdot h/q] / (2 \cdot Z \cdot t_{pp}) \dots\dots\dots (A3)$$

由内压引起的波形部分的经向薄膜应力按公式(A4)计算:

$$\sigma_2 = p \cdot h / (2 \cdot Z \cdot t_{pp}) \dots\dots\dots (A4)$$

由内压引起的波形部分的经向薄膜应力按公式(A5)计算:

$$\sigma_3 = p \cdot h^2 \cdot C_p / (2 \cdot Z \cdot t_{pp}^2) \dots\dots\dots (A5)$$

由位移引起的波形部分的经向弯曲应力按公式(A6)计算:

$$\sigma_4 = E_b \cdot \delta^2 \cdot c / (2 \cdot h^3 \cdot C_l) \dots\dots\dots (A6)$$

由位移引起的波形部分的经向弯曲应力按公式(A7)计算:

$$\sigma_5 = 5E_b \cdot \delta \cdot c / (3 \cdot h^2 \cdot C_d) \dots\dots\dots (A7)$$

#### A2.2.2 应力评定标准

$$\sigma_r, \sigma_c, \sigma_1, \sigma_2 \leq [\sigma]^t$$

$$\sigma_3 \leq 2 \cdot 2[\sigma]^t$$

$\sigma_4$  和  $\sigma_5$  具体数值根据疲劳寿命的要求确定。

### A3 波纹管尺寸的确定

#### A3.1 波高和波距

本系列波高的选取应满足:  $D/d = 1.55 \sim 1.10$

直径较大时取较小值,根据接管管径的标准尺寸确定  $d$  后,就可以确定  $D$ ,则波高为:

$$h = (D-d)/2, \text{一般 } q/h = 0.9 \sim 1.3.$$

#### A3.2 最小壁厚的确定

由  $\sigma_1 = [\sigma]^t, \sigma_2 = [\sigma]^t, \sigma_3 = 2 \cdot 2[\sigma]^t$  分别求得  $t_{pp1}, t_{pp2}, t_{pp3}$ , 取其中最大的为  $t_{pp}$ , 则最小壁厚  $t'$  为:

$$t' = t_{pp} \cdot (D_m/d)^{0.5}$$

实际壁厚还要圆整为标准规格的公称厚度  $t$ , 再计算  $t_p, t_{pp}$ , 用以计算补偿量及校核实际的应力水平

$$t_p = t \cdot (d/D_m)^{0.5}$$

$$t_{pp} = t_p - C_0$$

### A4 疲劳寿命和最大补偿量的确定

#### A4.1 疲劳寿命

A4.1.1 奥氏体不锈钢波纹管(不带加强环)疲劳寿命按公式(A8)计算:

$$N_s = \left( \frac{12820 \cdot T_I}{\sigma_R - 370} \right)^{2.4} \dots\dots\dots (A8)$$

A4.1.2 波纹管总应力范围按公式(A9)计算:

$$\sigma_R = 0.7(\sigma_2 + \sigma_3) + (\sigma_1 + \sigma_5) \dots\dots\dots (A9)$$

A4.1.3 波纹管温度修正系数按公式(A10)计算:

$$T_I = (\sigma_b^{20} + \sigma_b') / 2 / \sigma_b^{20} \dots\dots\dots (A10)$$

波纹管材料采用  $0Cr18Ni11Ti, 00Cr17Ni14Mo2$  等奥氏体不锈钢, 在  $400^\circ\text{C}$  时, 则

$$T_I = (520 + 426) / 2 / 520 = 0.90.$$

#### A4.2 最大补偿量

将  $T_I$  值和  $N$  值代入公式(A8)可求得在  $N = 45000$  次时的许用总应力  $[\sigma_R] = 866.6$  (不带加强环)。

将  $[\sigma_R]$  值代入(A9)求得  $e$ :

$$e = [866.6 - 0.7(\sigma_2 + \sigma_3)] \cdot h^2 / [E_b^{20} \cdot t_p(5/3/C_d + t_p/2/h/C_f)]$$

A4.3 波纹管的额定位移按公式(A11)计算:

$$\Delta_{\text{额}} = n \cdot e \quad \text{..... (A11)}$$

A5 理论刚度(不带加强环)

A5.1 一个波的理论刚度按公式(A12)计算:

$$K_1 = 1.7D_m \cdot E_b \cdot t_p^3 \cdot Z/h^3/C_f \quad \text{..... (A12)}$$

A5.2 膨胀节总刚度按公式(A13)计算:

$$K = K_1/n \quad \text{..... (A13)}$$

A6 稳定计算

A6.1 不失稳时的工作压力

A6.1.1 面失稳按公式(A14)校核:

$$P_s \leq \frac{5.6Ztp^2}{h^2 \cdot C_p} \cdot [\sigma]^t \quad \text{..... (A14)}$$

A6.1.2 柱失稳按公式(A15)校核:

$$P_s \leq 0.3\pi K_1 / (n^2 \cdot q) \quad \text{..... (A15)}$$

A6.2 设计压力下不失稳的最多波数按公式(A16)计算:

$$n = 0.3\pi k_1 / \sqrt{p - q} \quad \text{..... (A16)}$$

A7 膨胀节的位移、力和力矩

A7.1 符号说明

X——X(轴)的位移,mm;

Y——Y向位移,mm;

Z——Z向位移,mm;

$\Phi$ ——偏转角,(°);

y——横向位移,mm;

$$y = \sqrt{Y^2 + Z^2}$$

$\Delta x$ ——轴向总位移,mm;

$\Delta y$ ——横向位移产生的当量轴向位移,mm;

$\Delta \phi$ ——角偏转产生的当量轴向位移,mm;

$\Delta$ ——总位移,mm;

$\Delta_{\text{额}}$ ——某规格中规定的总位移,mm;

$K_w$ ——工作刚度,N/mm。膨胀节产生轴向变形所需的力,当位移较少时,在弹性区域,其作用力与变形为线性关系,但在额定位移时,往往进入塑性区域,这时的作用力与变形为非线性关系,比理论的要小,即这时的工作刚度比理论的要小,因此在要求较高场合,此值应由制造厂的产品试验中确定;

$F_x$ ——轴向位移所产生的力,N;

$F_y$ ——横向挠曲所产生的剪力,N;

M——作用于波纹管两端的力矩,N·m;下角标 y'、 $\Phi$  分别表示横向挠曲和角偏转;

L——一个膨胀节的有效长度,mm。

A7.2 膨胀节的位移

单式普通型膨胀节

$$\Delta x = X$$

$$\Delta y = 3 \cdot D_m \cdot y / (1-X)$$

或  $\Delta \varphi = (\Phi \cdot D_m / 2) \cdot (\pi / 180)$

合成位移

$$\Delta = \Delta x + \Delta y + \Delta \varphi$$

位移范围

$$\Delta \leq \Delta_{\text{规定}} \text{ 或者 } \Phi \leq \Phi_{\text{规定}}; y \leq y_{\text{规定}}$$

### A7.3 膨胀节的力和力矩

A7.3.1 轴向位移所产生的力公式(A17)计算:

$$F_x = K_w \cdot \Delta x \dots\dots\dots (A17)$$

A7.3.2 横向挠曲所产生的剪力公式(A18)计算:

$$F_y = K_w \cdot D_m \cdot \Delta y / 2 \dots\dots\dots (A18)$$

A7.3.3 横向位移力矩公式(A19)计算:

$$M_y = K_w \cdot D_m \cdot \Delta y / 4 \dots\dots\dots (A19)$$

A7.3.4 角位移力矩按公式(A20)计算:

$$M_\varphi = K_w \cdot D_m \cdot \Delta \varphi / 4 \dots\dots\dots (A20)$$

## A8 振动计算

本系列膨胀节可用于高频率低振幅的振动场合,但要使膨胀节的固有频率低于管系的振动频率或者至少比管系频率高50%。

A8.1 单式膨胀节轴向振动频率按公式(A21)计算:

$$f = C \cdot \sqrt{K/W} \dots\dots\dots (A21)$$

式中:  $f$ ——固有频率, Hz

$K$ ——膨胀节总刚度, N/mm;

$W$ ——膨胀节的重量, kg(对于液体介质,包括波之间的液体重量);

$C$ ——常数。C值见表A3,  $C_1$ 用于固有频率,  $C_2$ 用于一次谐波,其余类推。

表 A3

波数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10以上
$C_1$	15.31	15.31	14.31	15.69	15.69	15.79	15.79	15.79	15.79	15.79
$C_2$	—	28.49	30.26	30.74	31.06	31.22	31.38	31.38	31.38	31.38
$C_3$	—	37.18	43.65	44.73	45.71	46.19	46.51	46.83	46.84	47.00
$C_4$	—	—	52.30	56.79	59.23	60.35	61.48	61.16	61.96	62.12
$C_5$	—	—	58.26	66.95	71.14	73.39	75.00	75.93	76.44	76.93

A8.2 单式膨胀节横向振动频率按公式(A22)计算:

$$f = C \cdot D_m \cdot (K/W)^{0.5} / (n \cdot q) \dots\dots\dots (A22)$$

式中:  $q$ ——波距

$n$ ——波数;

$C$ ——常数, C值见表A4,  $C_1$ 用于固有频率,  $C_2$ 用于一次谐波,其余类推。

表 A4

$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
39.91	109.44	214.05	355.67	531.09



## 附录 B

## 固定支架受力计算及导向支架位置的确定

(参考件)

在独立膨胀段内,一般不设置两个以上膨胀节及其它补偿元件,以免因变形不均降低膨胀节使用寿命。当安装两个以上膨胀节时应设置中间固定点(见图 B1)。

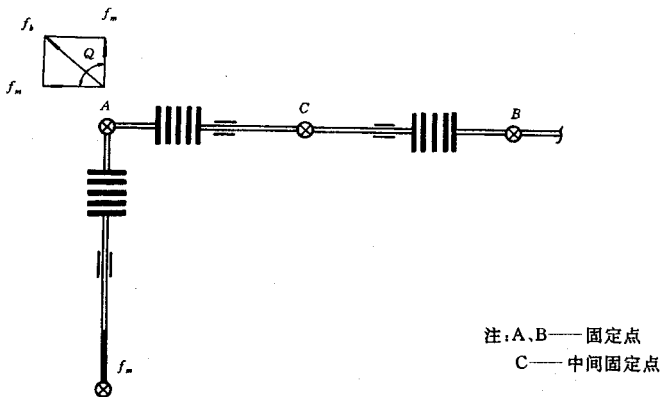


图 B1

B1 位移力的计算(作用在固定支架轴线上的载荷)见公式(B1)(B2)和图 B1。

$$f_m = f_\Delta + f_p \quad \text{..... (B1)}$$

$$f_\Delta = \frac{k \cdot \Delta L}{n}$$

$$f_p = F \cdot p$$

$$f_b = 2f_m \cos \frac{Q}{2} \quad \text{..... (B2)}$$

式中,  $f_m$ ——作用在固定支架上轴向推力, N;

$f_s$ ——作用在位于管系拐弯处的支架上的两向力的合力, N;

$f_\Delta$ ——位移产生的反力, N;

$f_p$ ——内压产生的反力, N;

$n$ ——波数;

$\Delta L$ ——管道膨胀量, mm;

$k$ ——每个波的刚度, N/mm;

$F$ ——波纹管有效截面积,  $\text{cm}^2$ ;

$p$ ——工作压力,  $\text{N}/\text{cm}^2$ 。

B2 固定支架与导向支架位置的确定。

对于轴向补偿的情况,膨胀节应靠近固定支架,固定支架和导向支架位置和确定当管道直径小于等于 300mm 时可按图 B2 规定和公式(B3)计算。

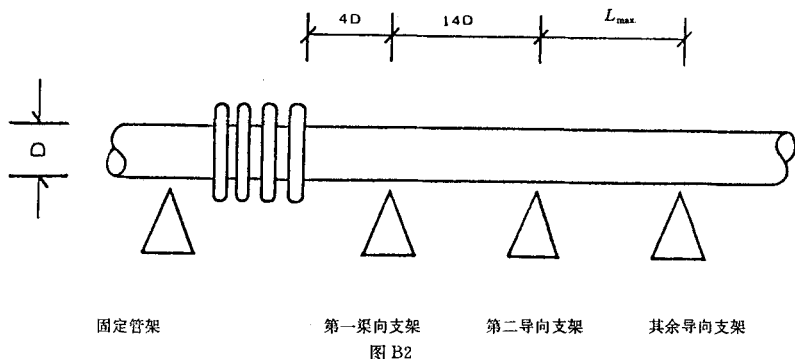


图 B2

注:1.  $D$ ——管道公称通径;

2.  $D$  大于等于 350mm 时第二导向支架距应由 14D 减小为  $8\sqrt{D}$ 。

$$L_{\max} = 1.572 \sqrt{\frac{E \cdot J}{P(F \pm K_n) \cdot X}} \dots\dots\dots (B3)$$

式中:

$L_{\max}$ ——最大导向距离, m;

$E$ ——管子弹性模数, Pa;

$J$ ——管子的惯性矩,  $m^4$ ;

$P$ ——设计压力, Pa;

$F$ ——波纹管有效截面积  $m^2$ ;

$K_n$ ——膨胀节轴向刚度, N/cm;

$X$ ——膨胀节轴向总补偿量, cm(受压缩采用“-”号, 受拉伸采用“+”号)

附加说明:

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提出。

本标准由中国船舶工业总公司 603 所归口。

本标准由中华造船厂负责起草。由杨名金属波纹管厂、求新造船厂、中国船舶工业总公司 603 所参加起草。

本标准主要起草人: 孙镜明、毛淑雅。