

指南编号/Guideline No.P-04(202211)



P-04

**不锈钢波纹软管和金属
波纹管膨胀节**

生效日期/Issued date:2022 年 11 月 15 日

©中国船级社 China Classification Society

前言

中国船级社（以下简称“本社”）产品检验指南规定了拟申请本社认可/检验的船舶入级产品、授权法定产品的适用技术要求及检验试验要求。

本指南并不限制用户采用其它试验方法和要求，但相关试验方法及要求应不低于本指南的要求。

本指南由本社编写和更新，通过网址 <http://www.ccs.org.cn> 发布，使用相关方对于本社指南如有意见可反馈至 mp@ccs.org.cn。

历史发布版本及发布时间：P-04(201510) 2015年10月20日

P-04(201705) 2017年05月09日

本版本主要修改内容：

- 1、波纹管定义根据 GB/T14525-2010 标准修订；
- 2、第2条增加《散装运输液化气船舶构造与设备规范》、IGC 规则、IGF 规则、《散装运输危险液体化学品船舶构造与设备规范》、IBC 规则。
- 3、4.1.（2）条根据专家组内反馈意见进行修订；
- 4、新版《产品检验指南》无总则篇章，修订 4.3 条；
- 5、根据专家组内反馈意见对 6.1（1）条进行修订；
- 6、根据《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第3篇第五章第 5.4.1 条增加 6.1（2）条要求；
- 7、根据专家组内反馈意见对 6.2.2 条进行修订；
- 8、7.2（1）⑧ 条，根据 DNV 规范进行补充要求；
- 9、7.2（2）⑧ 条根据《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第3篇第五章第 5.13.1.2 条增加相关试验要求。
- 10、7.3 条（5）②、（6）②和（10）部分试验要求根据 GB/T12777-2019 标准修订；（8）根据 DNV 规范进行补充要求；（11）根据《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第3篇第五章第 5.13.1.2 条增加相关试验要求。

目 录

1 适用范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	5
4 图纸资料.....	5
5 焊接工艺评定.....	6
6 设计技术要求.....	6
7 型式试验.....	6
8 单件/单批检验.....	13

不锈钢波纹管管和金属波纹管膨胀节

1 适用范围

1.1 本指南适用于船舶及其相关产品的结构中所使用的通用类不锈钢波纹管管和金属波纹管膨胀节。

1.2 其中通用类不锈钢波纹管管适用于：公称通径(DN)DN4(mm)-DN300(mm)，公称压力(PN)PN0.5(bar)-PN250(bar)。

2 规范性引用文件

2.1 本指南采用的认可和检验依据如下：

- (1) 中国船级社《钢质海船入级规范》
- (2) 中国船级社《材料与焊接规范》
- (3) 中国船级社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》
- (4) MSC.370(93)决议《国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则》(IGC 规则)
- (5) MSC.391(95)决议《使用气体或其它低闪点燃料船舶国际安全规则》(IGF 规则)
- (6) 中国船级社《散装运输危险液体化学品船舶构造与设备规范》
- (7) MSC.4(48)决议《国际散装运输危险化学品船舶构造和设备规则》(IBC 规则)
- (8) 中国船级社《船舶焊接检验指南》
- (9) ISO 10380:2012 (E) 管道工程—槽形金属软管和软管组件

3 术语和定义

3.1 波纹管：母线呈波纹状的管状壳体。一般分为螺旋波纹管、环形波纹管和加强型波纹管。

3.2 金属波纹管膨胀节：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。

3.3 设计压力：是最高许用的工作压力，应不小于安全阀或溢流阀的最高设定压力。

3.4 公称压力：产品技术文件中的给定值。

3.5 敏感类波纹管：是对灵敏度或刚度及位移后的残余变形量等指标有较高要求的波纹管。

3.6 通用类波纹管：是对工作适应温度、位移量及在压力和力作用下的密封性和稳定性指标有严格的要求的波纹管。

4 图纸资料

4.1 申请认可时，下列图纸资料应提交 CCS 批准：

- (1) 产品主要性能规格表（包括申请认可的全系列产品的公称通径、公称压力、设计压力、设计温度、设计疲劳寿命（适用时）、适用介质等）。
- (2) 产品图纸、膨胀节设计疲劳寿命等相关设计计算书
- (3) 主要零件材料理化性能一览表；
- (4) 型式试验大纲。

4.2 下列图纸资料应提交备查：

- (1) 主要工艺文件及产品自检规程；
- (2) 产品说明书、标识情况、出厂合格证（样本）。

4.3 其它需要提交的资料。

5 焊接工艺评定

5.1 采用焊接结构的不锈钢波纹软管和金属波纹管膨胀节，其焊接工艺应经 CCS 批准，焊接工艺评定按照 CCS 接受的标准进行。

6 设计技术要求

6.1 船用环境条件

- (1) 船用不锈钢波纹软管、金属波纹管膨胀节应根据其设计压力、设计温度、适用介质和使用场合等进行设计、制造，符合本指南规范性引用文件或本社接受标准的相关规定，以保证其能正常工作。
- (2) 产品如用于液化气体、化学品管路，其最小设计压力应不小于 1MPa（表压）。

6.2 材料

- (1) 波纹管用材料应按照工作介质、外部环境、工作压力和工作温度等工作条件选用。
- (2) 对于输送危险化学品、液化气体介质时，制造厂应保证产品材料的选用与工作介质相兼容，并有足够的证据表明所选用的材料满足使用的要求。
- (3) 如工厂将不锈钢作为原材料进行采购时，原材料的质量证明书中，应包括晶间腐蚀的试验内容；如质量证明书中没有不锈钢晶间腐蚀的试验内容，那么工厂应按照公认标准的组批原则，每批都进行不锈钢的晶间腐蚀试验。

7 型式试验

7.1 典型样品的选取：

认可时所选的典型样品应能覆盖制造厂的生产水平和加工、试验能力。每种系列的波纹管至少选取 3 个不同尺寸的代表性样件。可以考虑按照结构、用途、

设计压力和设计温度等参数进行选取。

7.2 试验项目

(1) 波纹软管型式试验项目应包括：

- ① 外观检查；
- ② 几何尺寸检查；
- ③ 焊缝无损检测；（如适用）
- ④ 不锈钢焊缝晶间腐蚀试验；
- ⑤ 耐压试验；
- ⑥ 气密试验；
- ⑦ 弯曲试验；
- ⑧ 爆破试验/低温爆破试验（适用于液化气体、化学品介质）；
- ⑨ 拉伸试验；

(2) 膨胀节型式试验项目如下：

- ① 外观检查；
- ② 几何尺寸检查；
- ③ 焊缝无损检测（如适用）；
- ④ 不锈钢焊缝晶间腐蚀试验；
- ⑤ 耐压试验；
- ⑥ 气密试验；
- ⑦ 疲劳试验；

- ⑧ 如产品用于液化气体、化学品介质，除上列试验项目外还应进行的试验，详见 7.3（11）条。

7.3 试验方法和技术要求应满足下列要求：

(1) 外观检验

- ① 产品的表面应无视觉可见的、明显能引起应力集中的、对强度、寿命有影响的尖锐压坑、压痕、划伤、裂纹等缺陷。轻微模具压痕除外。
- ② 产品的外观形状应无视觉可见的波距不均的缺陷。
- ③ 产品的表面应无视觉可见的锈斑、氧化皮。
- ④ 产品的表面应无视觉可见的大片水渍、颜色不均等缺陷。
- ⑤ 产品的表面应无视觉可见的裂纹、焊接飞溅物及大于板厚下偏差的划痕和凹坑等缺陷。不大于板厚下偏差的划痕和凹坑应修磨使其圆滑过渡。

(2) 几何尺寸检验

按照产品的设计图纸及 CCS 接受的标准检查主要产品的结构尺寸及加工精度。

(3) 焊缝无损检测（如适用）

按照 CCS 接受的标准进行。

(4) 不锈钢焊缝晶间腐蚀试验

可参照 CCS《材料与焊接规范》，第一篇，第二章，第七节的要求进行，或按照本社接受的标准进行。

(5) 耐压试验

- ① 不锈钢波纹软管：

试验按照 ISO 10380:2012(E) (5.3)条款要求进行。

② 金属波纹管膨胀节：

- (a) 原则上应进行水压试验，在不适用于水压试验的场合应进行气压试验，进行气压试验时须采取有效的安全措施。
- (b) 试验时试验装置应保证膨胀节两端固定和有效密封，波纹管处于直线状态。
- (c) 水压试验后应将水渍清理干净。当无法达到这一要求时，应控制试验用水的氯离子含量不超过 25mg/L。气压试验介质应为干燥洁净的压缩空气或惰性气体。
- (d) 内压膨胀节的水压试验按以下公式计算，取其中的较小值：

$$P_t = 1.5 p_d (\sigma)_b / (\sigma)_{bt} \quad \text{-----(1)}$$

$$P_t = 1.5 p_{sc} (E)_b / (E)_{bt} \quad \text{-----(2)}$$

内压膨胀节的气压试验按以下公式计算，取其中的较小值：

$$P_t = 1.1 p_d (\sigma)_b / (\sigma)_{bt} \quad \text{-----(3)}$$

$$P_t = 1.1 p_{sc} (E)_b / (E)_{bt} \quad \text{-----(4)}$$

P_t : 试验压力 MPa

p_d : 设计压力 MPa

$(\sigma)_b$: 试验温度下波纹管材料的许用应力。MPa

$(\sigma)_{bt}$: 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压力。MPa

$(E)_b$: 试验温度下波纹管材料本指南的弹性模量，MPa

$(E)_{bt}$: 设计温度下波纹管材料的弹性模量，MPa

- (e) 外压膨胀节的水压试验按照公式 (1) 计算, 气压试验按照公式 (3) 计算
- (f) 耐压试验应用两个量程相同, 并经检定合格的压力表。压力表的量程为试验压力的 2 倍左右, 但不应低于 1.5 倍和高于 3 倍的试验压力。压力表的精度等级不应低于 1.6 级。试验时应缓慢升压, 达到规定的试验压力后保压时间至少 10min。膨胀节应无泄漏、结构件应无明显变形, 波纹处应无失稳现象。对于无加强的 U 形波纹管, 试验压力下的波距与加压前的波距相比最大变化率大于 15%, 即认为产品已失稳; 对于有加强 U 形波纹管和 Ω 形波纹管, 试验压力下的波距与加压前的波距相比最大变化率大于 20%, 即认为产品已失稳。
- (g) 当波纹管公称通径大于等于 1500mm 且公称压力小于等于 0.25MPa 时, 可用喷气-皂泡试验或煤油渗漏试验代替压力试验。喷气试验压力不低于 0.8MPa; 煤油涂浸时间不小于 30min。
- (h) 用于真空条件的膨胀节的压力试验可以用内压试验代替, 试验压力为 1.5 倍设计压差(压差等于大气压值减真空度值), 或者采用抽真空试验来检测。

(6) 气密试验

① 不锈钢波纹管:

试验按照 ISO 10380:2012(E) (5.2) 条款要求进行。

② 金属波纹管膨胀节:

- (a) 气密试验应在耐压性能试验合格后进行, 试验时试验装置应保证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。
- (b) 气密性试验可与气压试验同时进行。
- (c) 试验介质为干燥洁净的压缩空气或惰性气体。

- (d) 气密试验压力等于设计压力。
- (e) 试验时应缓慢升压，达到规定的试验压力后保压时间至少 10min. 膨胀节应无泄漏。
- (f) 可以用皂泡和水槽来进行检漏。

(7) 弯曲试验

试验按照 ISO 10380:2012(E) 5.7 中规定进行试验。

(8) 爆破试验

- ① 软管的试件长度应不小于 500mm 或 3 倍的公称通径 (DN)，选大者。
- ② 试验介质为洁净的自来水或液压油
- ③ 将试样平直放置，一端安装带有排气阀的堵头，另一端和泵的出口管连接将水或液压油注入管内，排尽空气，关闭排气阀。
- ④ 缓慢增加压力至 4 倍的设计压力后，至少保持 1 分钟，在此期间波纹管应无泄漏出现。然后继续加压直至软管破坏，记录试样的破坏压力和破坏情况；但经现场验船师同意，允许不将试验持续至软管破坏。

如用于液化气体、化学品介质，应进行低温爆破试验：

- ① 该试验适用于液化气体、化学品介质；
- ② 每一尺寸规格产品须进行试验。

低温爆破试验要求具体如下：

- ① 在正常环境温度和从零到至少 2 倍于规定的最大工作压力下，进行 200 次压力循环。
- ② 经压力循环试验后，应最低设计温度下度，按 5 倍最大设计压力进行爆破原型试验，在此压力下保压 1 分钟然后释放；

- ③ 对原型试验后的产品进行常温下 1.5 倍的最大设计压力的液压试验，产品应无裂纹及泄漏。

(9) 拉伸试验

- ① 软管的试件长度应不小于 500mm 或 3 倍的公称通径 (DN)，选大者。
- ② 选择一标定长度样品，并缓慢加压至 1.5 倍设计压力，保载不小于 1 分钟。然后缓慢卸压。待完全卸压后，测量样品长度，永久性伸长量不应超过试验前样品长度的 1%。

(10) 疲劳试验

设计温度低于材料蠕变温度的波纹管疲劳试验方法：

- 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，并能保证施加的轴向循环位移与波纹管轴线同轴。波纹管的初始状态以其自由长度处于直线状态。
- ② 试验波纹管应为所有其他型式试验项目合格的波纹管，波数不少于三个。试件中其他部件的结构可根据试验装置设计，以符合试验要求。
- ③ 试验介质可为自来水、压缩空气、惰性气体或油等。
- ④ 试验温度为室温，试验用压力表应符合上述 (5) ②(f) 条要求。
- ⑤ 试验压力等于设计压力，试验时压力波动值不大于试验压力的 $\pm 10\%$ 。
- ⑥ 试验循环位移应为轴向位移，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。试验循环位移宜按对称轴向位移进行。试验循环速率应以使位移在各波纹中均匀分配所需时间确定，且应小于 25mm/s。
- ⑦ 试验循环次数：圆形波纹管循环次数应大于设计疲劳寿命的 2 倍，矩形波纹管循环次数应大于设计疲劳寿命。波纹管在规定

的试验循环次数内应无泄漏。试验介质为水时，波纹管应无漏水现象；试验介质为气体时，皂泡检查波纹管表面应无漏气现象。

设计温度处于材料蠕变温度范围内的波纹管疲劳试验方法：

- ① 试验按照 GB/T12777-2019 附录 D 的要求进行。
 - ② 试验循环次数：圆形波纹管试验循环次数应大于计算平均失效循环次数。波纹管在规定的试验循环次数内应无泄漏。
- (11) 如产品用于液化气体、化学品介质，除上列试验项目外，应对每一尺寸规格进行以下项目试验：
- ① 未经预先压缩的波纹管元件应经受不小于 5 倍设计压力的压力试验而不破裂，试验持续时间应不少于 5 min；
 - ② 对于带有所有附件如法兰、拉杆和铰接件等的原型膨胀接头，应在最低设计温度和制造厂推荐的最大位移条件下，使其经受 2 倍设计压力的压力试验而不产生永久变形；
 - ③ 对完整的膨胀接头应进行循环试验（热运动），在压力、温度、轴向运动、旋转运动和横向运动等条件下，完整的膨胀接头应能承受至少为与实际使用中所遇到的同样多的循环次数。当这些试验与在营运温度下的试验一样严格时，则允许在室温下进行试验；和
 - ④ 对完整的膨胀接头应在无内压的情况下进行循环疲劳试验（船体变形），即用模拟相当于补偿管段的波纹管运动的方式，在不高于 5 Hz（循环次数/秒）的频率下，至少进行 2,000,000 次循环。但只有当由于管路的布置实际上会经受船体变形载荷作用时，才要求进行这种试验。

8 单件/单批检验

8.1 签发船用产品证书的检验应在制造业已完成规定的检验/试验并合格已达到可交付状态下进行。

8.2 对获得 CCS 型式认可的制造厂的产品单件/单批检验

- (1) 检验项目应按照已在认可时获得批准的检验计划（质量控制计划中相关内容）进行，试验项目为：
 - ① 外观尺寸检查；
 - ② 耐压试验；
 - ③ 气密试验。
- (2) 上述试验由制造厂按照工厂的检验规程（内控标准）独立完成，并出据完整的试验报告提交验船师审核。
- (3) 并且验船师应按照每批/每规格产品的 1~3%，最少 1 件。随机选取该批产品中的部分产品进行上述检验和试验项目的复验，并在制造厂进行试验时现场见证。
- (4) 每次申请单件/单批检验时应同时提交该批产品的《主要零部件原材料质量证明文件》由 CCS 验船师进行审核。