



中华人民共和国国家标准

GB/T 21445.2—2008/ISO 13628-2:2000

石油天然气工业 海底生产系统 的设计和 操作 第2部分：用于海底和海上的挠性管系统

Petroleum and natural gas industries—Design and operation of subsea production systems—Part 2: Flexible pipe systems for subsea and marine applications

(ISO 13628-2:2000, IDT)

2008-02-13 发布

2008-08-01 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	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义、符号和缩略语	2
3.1 术语和定义	2
3.2 符号和缩略语	6
4 功能要求和建议	6
4.1 总则	6
4.2 总体要求	7
4.3 一般设计参数	7
4.4 内部流体参数	7
4.5 外部环境	8
4.6 系统要求和建议	9
5 设计要求和建议	11
5.1 荷载和荷载效应	11
5.2 管体设计方法	13
5.3 管体结构设计	14
5.4 系统设计要求	17
6 材料	20
6.1 材料要求	20
6.2 评定要求和建议	23
6.3 质量保证要求	28
7 制造要求	29
7.1 质量保证	29
7.2 骨架	30
7.3 聚合物挤压	31
7.4 承压和抗拉铠装层	31
7.5 抗磨和绝缘层	32
7.6 端部配件	32
7.7 特殊工艺	33
7.8 制造公差	34
7.9 修理	34
8 文件	35
8.1 总则	35
8.2 设计前提	35
8.3 设计荷载报告	35
8.4 设计报告	36
8.5 制造质量计划	36

8.6	制造规格书	36
8.7	完工文件	36
8.8	操作手册	37
9	工厂验收试验	37
9.1	总则	37
9.2	测径试验	37
9.3	静水压试验	38
9.4	电气联通和阻抗测试	38
9.5	排气系统试验	38
10	标记和包装	39
10.1	标记	39
10.2	包装	39
附录 A	(资料性附录) 购货指南	40
附录 B	(资料性附录) 抗弯加强器和弯曲限制器	46
	参考文献	50
表 1	内部流体参数	7
表 2	外部环境参数	8
表 3	出油管线参数	10
表 4	立管参数	10
表 5	荷载分类组合和荷载条件	11
表 6	挠性管层设计准则	13
表 7	端部配件的允许利用系数	16
表 8	系统有关的管设计要求	17
表 9	受挤压聚合物材料的性能要求	20
表 10	钢丝、金属条带材料和焊件的性能要求	22
表 11	挤制聚合物材料试验程序	24
表 12	金属材料(骨架条带、承压和抗拉铠装钢丝)及焊缝的评定试验要求	25
表 13	原材料质量控制最低要求	28
表 14	材料规格书要求	28
表 15	设计前提的文件要求	35
表 A.1	挠性管购货指南	40
表 B.1	弯曲限幅器购货指南	46

前 言

GB/T 21445《石油天然气工业 海底生产系统的设计和操作》分为九个部分：

- 第 1 部分：一般要求和推荐规程；
- 第 2 部分：用于海底和海上的挠性管系统；
- 第 3 部分：过出油管(TFL)系统；
- 第 4 部分：水下井口和采油树装置；
- 第 5 部分：水下控制管缆；
- 第 6 部分：海底生产控制系统；
- 第 7 部分：修井/完井立管系统；
- 第 8 部分：水下采油系统用遥控潜水器(ROV)接口设备；
- 第 9 部分：远程操作工具(ROT)干预系统。

本部分为 GB/T 21445 的第 2 部分，对应于 ISO 13628-2:2000《石油天然气工业 海底生产系统的设计和操作 第 2 部分：用于海底和海上的挠性管系统》(英文版)。

本部分等同采用 ISO 13628-2:2000《石油天然气工业 海底生产系统的设计和操作 第 2 部分：用于海底和海上的挠性管系统》(英文版)。

本部分等同翻译 ISO 13628-2:2000《石油天然气工业 海底生产系统的设计和操作 第 2 部分：用于海底和海上的挠性管系统》(英文版)。

为便于使用，本部分作了下列编辑性修改：

-----“ISO 13628 的本部分”改为“GB/T 21445 的本部分”；

-----删除国际标准的前言。

本部分的附录 A、附录 B 为资料性附录。

本部分由中国石油天然气集团公司提出。

本部分由石油工业标准化技术委员会海洋石油工程专业标准化技术委员会归口。

本部分起草单位：中海石油研究中心。

本部分主要起草人：付显华。

石油天然气工业 海底生产系统 的设计和 操作

第 2 部分：用于海底和海上的挠性管系统

1 范围

GB/T 21445 的本部分，规定了挠性管在设计、选材、制造、测试、标记和包装方面的最低要求和建
议，并详细说明在安全以及尺寸和功能上可互换挠性管方面的技术要求和建

议。本部分适用于由在两端带有端部配件的挠性管管段组成的非粘合挠性管总成。

本部分不仅适用于无硫的产品，也适用于含硫的产品，包括用于输出和注入。采出的流体包括油、
气、水和注入的化学药剂。本部分适用于作为流体管线、立管和跨接管线的静态和动态挠性管。

本部分不适用于粘合结构的挠性管，也不适用于挠性管的附属构件。

本部分不适用于作为节流和压井管线的挠性管。

注：附录 B 给出抗弯加强器和弯曲限制器的指导，API RP 17B[1]中给出其他方面的指导。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。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部分，然而，鼓励根据本部分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部分。

- SY/T 5323 节流和压井系统(API Spec 16C:1993, IDT)
- ISO 10423 石油天然气工业 钻井和生产设备 井口和采油树设备
- ISO 10474 钢和钢制品 检查文件
- ISO 13628-4 石油天然气工业 海底生产系统的设计和制造 第 4 部分：水下井口和采油树装置
- ANSI/NACE MR0175 油田设备用抵抗硫化物应力腐蚀裂纹金属材料
- ANSI/NACE TM0177 抵抗特殊环境金属的实验室测试
- API Std 1104 管线和有关装置的焊接
- ASME Section IX 锅炉和压力容器规则 第 9 部分：焊接和钎焊资格证书
- ASTM A 29 热锻和冷精轧碳素钢和合金钢棒材一般要求规范
- ASTM A 182 高温设备用锻制或轧制和合金钢管法兰、锻制管件和阀门及零件规范
- ASTM A 370 钢产品力学测试的标准测试方法及定义
- ASTM A 388 重型钢锻件的超声波检测方法
- ASTM A 480 扁平轧制耐热不锈钢厚板材、薄板材和带材通用要求
- ASTM A 668 一般工业用碳素钢和合金钢锻件规范
- ASTM A 751 钢制品化学分析的实验方法、操作和术语
- ASTM D 695 硬塑料的压缩特性试验方法
- ASTM D 789 聚酰胺相对粘度及湿度测定的试验方法
- ASTM D 1238 采用挤压塑性计测试热塑流率的试验方法
- ASTM D 1418 橡胶和橡胶胶乳术语
- ASTM D 4019 采用五氧化二磷库仑计再生测定塑料中湿度的试验方法

- ASTM D 5028 用热分析法测定挤压树脂硫化特性的试验方法
- ASTM E 10 金属材料布氏硬度的测试方法
- ASTM E 18 金属材料洛氏硬度和洛氏表面硬度的测试方法
- ASTM E 92 金属材料维氏硬度的测试方法
- ASTM E 94 射线检查的标准指南
- ASTM E 165 渗透检验试验方法
- ASTM E 384 材料显微硬度的试验方法
- ASTM E 428 超声波检验中使用的钢标准参考块的制作和管理的标准规程
- ASTM E 709 磁粉检验指南
- ASTM E 1356 用差示扫描量热法和差示热分析测量玻璃透过温度的测试方法
- DNV 火焰测试, DNV 分类注释 6.1 测试(火焰测试)
- EN 287-1 钢熔化焊焊工考试标准
- EN 288-3 金属材料焊接工业规范 第3部分:钢电弧焊焊接工艺测试
劳氏火焰测试 劳氏船级社, 火焰测试备忘录 ICE/Fire OSG 1000/499

3 术语、定义、符号和缩略语

下列术语、定义、符号和缩略语适用于 GB/T 21445 的本部分。

3.1 术语和定义

3.1.1

附属构件 ancillary component

用于控制挠性管性能的构件。

例如:抗弯加强器和浮体模块。

3.1.2

环形空间 annulus

内压套与外套之间的空间。

注:在环形空间通过的气体和液体一般可以自由运动和混合。

3.1.3

抗磨层 anti-wear layer

非金属层,或为挤压热塑套或胶带包装,用于使结构层之间的磨损最小。

3.1.4

钟形口 bellmouth

导管的一部分,呈钟形口并设计为防止挠性管的过度弯曲。

3.1.5

弯曲限幅器 bend limiter

用于限制挠性管弯曲的装置。

注:弯曲限幅器包括弯曲限制器、抗弯加强器和钟形口。

3.1.6

弯曲半径 bend radius

以管中心线为准测得的挠性管的曲率半径。

注:储存和操作的最小弯曲半径(MBR)的定义见 5.3.1.6 和 5.3.1.7。

3.1.7

弯曲限制器 bend restrictor

机械装置,其功能是机械阻止和限制局部曲率半径达到最小值。

3.1.8

抗弯加强器 bend stiffener

圆锥形附属构件,用于局部支撑管体以限制其弯曲应力和曲率达到可接受的水平。

注:如果挠性管穿过抗弯加强器,则抗弯加强器可附在端部配件上或支撑结构上。

3.1.9

抗弯刚度 bending stiffness

模拟刚性梁或管结构刚度的一种特性(弹性模量乘以二阶面积惯性矩),此外,它随温度和压力的变化可在很大范围内变化。

注:它经常被定量化为外加弯矩和管的合成弯曲半径的乘积。

3.1.10

破裂膜片 burst-disk

外护套中设计的薄弱部位,根据设计当环形空间的气体压力超出某一给定值时将破裂。

注:薄弱部位通过减小局部区域套层厚度来实现。

3.1.11

骨架 carcass

联锁的金属结构,可作为最内层用于防止内压护套或管体由于管体泄压、外部压力、抗拉铠装压力和机械挤压荷载引起的总体或部分破损。

注:它也可以在外部应用以保护管的外表面。

3.1.12

节流和压井管线 choke and kill line

位于节流管汇和防喷器之间的挠性管跨接管线。

3.1.13

连接器 connector

用于提供端部配件与邻近管线之间防漏结构连接的器件。

注:连接器包括螺栓结合法兰、夹具套和专用连接器。它们可以设计为潜水员协助的或无潜水员操作的装置,用于机械或液压设备。

3.1.14

设计方法确认报告 design methodology verification report

在最初的检查时,由独立确认机构准备的评价报告,对特殊的制造厂家的设计方法确认其适用性和适合程序。

注:设计方法确认报告可以包括对超出以前的限度或方法的变化提出临时的修正或改正。

3.1.15

设计压力 design pressure

最小或最大压力,包括操作压力,水击压力(包括关断压力),如果适用还应考虑真空条件和静水压头。

3.1.16

动态应用 dynamic application

应用状态为挠性管在正常操用期间受到循环变化荷载的作用和变形。

注:该管为特殊结构以抵抗大量循环的弯曲、拉伸和扭转。

3.1.17

端部配件 end fitting

实现挠性管管体和连接器之间过渡的机械装置。

注:不同的管层以传递挠性管和连接器间荷载的方式终止于端部配件之中。

3.1.18

挠性管 flexible pipe

管体和端部配件的组合。

注：管体由构成承压管道的分层材料组合而成。管的结构在经受大变形时不会出现弯曲应力的显著增加。通常管体为金属和聚合物层组成的复合结构。用于 GB/T 21445 本部分的术语“管”，一般系指挠性管。

3.1.19

鳞斑 fish-scaling

经常产生于抗拉铠装钢丝边缘在铠装板卷绕时由于变形或不正确的扭曲而与下层分离。

3.1.20

独立确认机构 independent verification agent

独立的社团或组织(由制造厂家选择的),可根据制造厂家提供的技术文献、分析、测试结果及其他信息来确认指定的方法和操作的合法性。

注：该机构也可以为与材料资质有关的度量和测试出具证明。

3.1.21

绝缘层 insulation layer

挠性管的附加层,用于提高其热绝缘性能。

注：该层通常位于外部抗拉铠装层及外护套之间。

3.1.22

中间护套 intermediate sheath

位于内压和外护套之间的挤压聚合物层。

注：该层既可用于光滑腔作为外部流体屏障,又可用作抗磨层。

3.1.23

内压护套 internal pressure sheath

保证内部流动完整性的聚合物层。

注：该层可由一系列分层组成。

3.1.24

跨接管线 jumper

用于水下或上部结构的静态或动态的短挠性管。

3.1.25

布设角度 lay angle

螺旋缠绕构件(例如铠装线)的轴线与挠性管纵向轴线平行线之间的夹角。

3.1.26

外护套 outer sheath

为聚合物层,用于保护管体不被海水及其他外部环境作用、腐蚀、磨损所穿透及机械损伤,以及保持在抗拉铠装成形后的定位。

3.1.27

并接 piggyback

其作用是用夹具使两根管子以规则间距固定在一起。

注：其中之一或两根管子都可以是挠性管。

3.1.28

承压铠装层 pressure armour layer

结构层,布设角度接近 90° ,以增加挠性管对内外压力及机械破坏荷载的抵抗能力。

注：该层在结构上支撑内压护套并且一般由联锁金属结构组成,它可以被扁平的金属螺旋层支撑。

3.1.29

质量 quality

满足规定的要求。

3.1.30

质量保证 quality assurance

保证材料、产品或服务满足规定的规划措施、系统措施和预防措施。

3.1.31

质量控制 quality control

通过检验、测试、检查确保材料、产品或服务符合规定的要求。

3.1.32

粗糙腔 rough bore

指挠性管以骨架作为最内层形成粗糙腔。

3.1.33

使用寿命 service life

挠性管满足全部操作要求的时间周期。

3.1.34

光滑腔 smooth bore

指挠性管以内压护套作为最内层。

3.1.35

S-N 曲线 S-N curves

显示循环次数与应力范围之间关系的曲线。

3.1.36

含硫运营 sour service

运营条件为在设计压力下 H_2S 含量超过 ANSI/NACE MR0175 规定的最小值。

3.1.37

静态应用 static application

在正常操作期间,挠性管不承受过大的周期变化荷载或变形。

3.1.38

低硫运营 sweet service

运营条件为在设计压力下 H_2S 含量不超过 ANSI/NACE MR0175 规定的最小值。

3.1.39

抗拉铠装层 tensile armour layer

由螺旋状的缠绕钢丝组成的结构层,典型的布设角度在 20° 至 55° 之间。

注:典型的抗拉铠装层是成对交互缠绕的,用于承受全部或部分拉伸荷载和内部压力。

3.1.40

第三方 third party

独立方,有资格认证、确认或批准有关的资料、成果、程序、测试或合格证书。

3.1.41

扭转平衡 torsional balance

管体特性,通过管中结构层的设计使管在轴向和压力荷载作用下不会产生过大的扭曲或扭转荷载。

3.1.42

抗拉强度 tensile strength

材料能够承受的最大拉伸应力;根据拉伸断裂试验的最大荷载和试件的原始断面积计算。

3.1.43

非粘合管 unbonded pipe

其结构由非粘合的独立聚合物层和金属层组成,允许层间的相对运动。

3.1.44

外观检查 visual examination

对设备或部件在材料和工作质量方面进行可见缺陷的检查。

3.1.45

屈服强度 yield strength

按常规,这是塑性变形开始时的工程应力。

注:该术语可由下述方式之一界定:规定的从线性应力-应变关系的偏离;或规定的总延伸;或不连续屈服状态期间测得的最大或最小工程应力。

3.2 符号和缩略语

- ASNT 美国无损检测学会(American Society of Nondestructive Testing)
- DNV 挪威船级社(Det Norske Veritas)
- DSC 差式扫描量热仪(differential scanning calorimetry)
- DP 动力定位(Dynamic Positioning)
- FAT 工厂验收试验(factory acceptance test)
- HAZ 热影响区(heat-affected zone)
- HIC 氢致裂纹(hydrogen-induced cracking)
- ID 内径(internal diameter)
- MBR 最小弯曲半径(minimum bend radius)
- NDE 无损检验(non-destructive examination)
- PA 聚酰胺(polyamide)
- PE 聚乙烯(polyethylene)
- PVC 聚氯乙烯(polyvinylchloride)
- PVDF 聚偏二氟乙烯(polyvinylidene fluoride)
- RAO 响应幅度因子(response amplitude operator)
- S-N 应力范围-循环次数(stress range-number of cycles)
- SSC 硫化物应力腐蚀裂纹(sulfide stress cracking)
- TAN 滴定酸数量(号码)(titrated acid number)
- TFL 过出油管(through flowline)
- UV 紫外线(ultraviolet)
- WPS 焊接工艺规格书(welding procedure specification)
- WPQR 焊接工艺评定记录(welding procedure qualification record)
 - σ_y 材料屈服强度(material yield strength)
 - σ_0 材料抗拉强度(material tensile strength)
 - σ_t 拉伸环向应力(tensile hoop stress)
 - σ_e 等效应力(冯·米赛斯或特雷斯卡)[equivalent stress(Von Mises or Tresca)]
 - n 表7中规定的允许利用系数(permissible utilization factor as specified in Table 7)
 - P_c 联合出现概率(按年计)[combined probability of occurrence(yearly)]

4 功能要求和建议

4.1 总则

4.1.1 买方应规定挠性管的功能要求。附录 A 中的购货指南给出一个功能要求详细说明的实例。

4.1.2 如果买方未对功能要求作出规定(这可能影响挠性管的设计、材料、制作和测试),则应由制造厂

家作出规定。

4.1.3 如果买方未作出要求,而且4.1.2不适用,制造厂家可以认为没有要求。

4.2 总体要求

4.2.1 挠性管

制造厂家应表明总体功能的最低要求如下:

- a) 应提供抗渗漏的挠性管;
- b) 应能承受本部分规定的全部设计荷载及荷载组合;
- c) 在规定的使用寿命期间内应能发挥其功能;
- d) 材料应能适应其所处的环境条件;
- e) 材料应符合GB/T 21445的本部分所规定的腐蚀控制要求。

4.2.2 端部配件

制造厂家应表明其端部配件,作为最低要求满足与挠性管相同的功能要求。如果有关联,下述内容也应说明:

- a) 端部配件应提供挠性管和支撑结构之间的结构联接;
- b) 端部配件应提供挠性管和弯曲限幅器之间的结构联接,后者包括弯曲限制器、抗弯加强器和钟形口,且这种联接使弯曲限幅器满足其功能要求。

4.3 一般设计参数

买方应明确规定所有项目的设计要求,包括在4.4.4.5、4.6及下面给出的要求:

- a) 公称内径;
- b) 挠性管的长度及公差,其中包括端部配件;
- c) 使用寿命。

4.4 内部流体参数

4.4.1 总则

买方应规定应用的内部流体参数。表1中所列的参数宜明确给出。对于表1中的内部流体参数,如果已知则应给出最小、正常、最大条件。在使用寿命内可以预见到的内部流体参数变化也宜给出。

表1 内部流体参数

参 数	注 释
内压	见4.4.2
温度	见4.4.3
流体组分	见4.4.4
工作界定	含硫或低硫运营[据4.4.4a)]
流体/流动说明	流体类型和流动状态
流动速率参数	流动速率,流体密度,黏度,最小入口压力和要求出口压力
热参数	流体热容

4.4.2 内压

应明确给出下述内压数据:

- a) 最大设计压力;
- b) 最小设计压力。

宜明确给出下述内压数据:

- 整个使用寿命内的操作压力或压力变化曲线;
- 主管部门和/或认证机构的工厂和现场测试压力要求。

4.4.3 温度

4.4.3.1 应明确规定下述温度：

- a) 最低设计温度；
- b) 最高设计温度。

整个使用寿命内的操作温度或温度变化曲线也宜明确规定。

4.4.3.2 最低和最高设计温度是挠性管使用寿命期间可能经受的最低和最高温度。这些设计温度可以根据以下考虑的最低限来确定：

- a) 操作温度；
- b) 非常态温度(循环的数目和范围)；
- c) 气体冷却效应(时间/温度曲线)；
- d) 流体热特性；
- e) 流动特性；
- f) 储存、运输和安装条件。

4.4.4 流体组分

买方应规定产出液(各单相的组成)、注入流体、连续和偶然的化学处理(配料、暴露时间、浓度和频率)。在内部流体组成的规格书中,宜确定下述内容：

- a) 确定工作条件的全部参数,包括 H₂S 和 CO₂ 的分压、水相的 pH 值、TAN(按 ASTM D 664[9] 或 ASTM D 974[14])和含水量(产出水,海水和游离水)；
- b) 气体,包括氧气、氢气、甲烷和氮气；
- c) 液体,包括油的组分和醇；
- d) 芳香族成分；
- e) 腐蚀剂,包括细菌、氯化物、有机酸和含硫化合物；
- f) 注入化学品,包括醇和缓蚀剂、防水化剂、防蜡剂、防锈剂；
- g) 固体,包括沙、沉淀物、附着物、水化物、蜡和生物膜。

4.5 外部环境

买方宜规定挠性管系统将面临的外部环境。表 2 中所列的参数宜予考虑。设计水深应为管段可能下放的最大水深。

表 2 外部环境参数

参 数	注 释
位置	安装位置的地理数据
水深	设计水深、沿管线路由变化及潮汐变化
海水数据	密度、pH 值、最低和最高温度
气温	储存、安装和运营期间的最低和最高值
土壤数据	种类、抗剪强度或内摩擦角、摩擦因数、海床冲刷、沙波及沿管线路由变化
海生物	最大值及沿管线路由变化
冰	最大冰堆积、或漂移冰山和大浮冰
日光暴露	运营和储存期间管体暴露的长度
流数据	作为水深的函数、方向和重现期、包括局部流的已知效应
波浪数据	与有效和最大波有关的数据、相应周期、波谱、分布函数和散射图,方向和重现期的函数
风数据	方向、水面以上高度和重现期的函数

4.6 系统要求和建议

4.6.1 最低系统要求和建议

4.6.1.1 总则

4.6.1.1.1 买方应规定系统的功能要求。买方应规定 4.6.1.2, 4.6.1.9 和 4.6.1.10 中提出的要求。宜予考虑本条款中确定的其他系统要求的技术说明。附录 A 可用作指导。

4.6.1.1.2 买方可规定如 8.1.2 中列出的文件, 这些文件由制造厂家提交。

4.6.1.2 应用定义

挠性管系统应规定其作用, 或是出油管、立管, 或是跨接管线。挠性管的应用应规定或是静态的或是动态的, 而且对于后者宜规定预期的荷载循环数目及其量值。

4.6.1.3 防腐

对挠性管的防腐要求宜予规定, 并注意以下内容:

- a) 端部配件的内部和外部防腐;
- b) 管体的阴极保护系统;
- c) 保护电压, 电源和电流。

4.6.1.4 热绝缘

买方可规定挠性管应满足的任何热损失或热保留要求。总传热系数应根据管的公称内径确定, 并且应区分管体本身及任何外部效应, 例如埋设管线上的覆土层。

4.6.1.5 排气

应提供排气系统以防止管的环形空间形成超压。买方可规定排气系统的要求, 考虑以下方面:

- a) 排气系统构成;
- b) 允许气体渗透速率;
- c) 排气系统的约束;
- d) 界面要求;
- e) 气体监测系统。

4.6.1.6 清管和过出油管要求

穿过挠性管用于清管、TFL、修井或其他作业的任何与工具有关的要求, 包括内径, 弯曲半径和端部配件过渡, 都宜由买方予以规定。

4.6.1.7 耐火性

管的耐火性设计要求宜按照劳氏船级社耐火试验或 DNV 耐火试验来规定。详细要求说明见 5.4.6.1。

4.6.1.8 衔接

宜规定挠性管的任何衔接要求, 包括并接管的详情及管的操作条件。

4.6.1.9 连接器

应规定挠性管两端连接器的要求。作为最低限度, 应包括连接器类型、焊接规格书、密封类型及尺寸。

4.6.1.10 界面确定

应规定最低限度如下所包括的详细情况:

- a) 规则、规范和标准, 包括法规改变的确切;
- b) 几何形状、尺寸和外加荷载数据;
- c) 买方提供的安装帮助和设备;
- d) 买方提供的牵引和连接工具及终端设备;
- e) 制造厂家的供应范围。

4.6.1.11 检验和状况监控

宜对制造厂家的设计提出要求,以便为挠性管的检验、监控和状态评估系统及程序提供必要条件。

4.6.1.12 安装要求

4.6.1.12.1 买方宜为提供安装服务规定实施要求,最低限度考虑以下几点:

- a) 对于由买方进行安装的情况,买方宜规定所有荷载限制,夹具/张紧装置荷载,船外滑道要求,安装公差和港口设施限制;
- b) 对于制造厂家进行安装的情况,买方宜规定所有季节或环境限制,浮体限制,安装公差,作业冲突引起的限制,湿式充填时间长度和安装范围(包括挖沟、埋设、测试、检验、调查和文件)。

4.6.1.12.2 买方宜规定挠性管在使用寿命期间内可回收性和再利用性的要求。

4.6.1.13 放热化学反应清管

买方宜规定利用放热化学反应清管时的有关参数,最低限度考虑以下几点:

- a) 流动速率;
- b) 压力变化;
- c) 最大热输出量;
- d) 化学成分。

4.6.2 出油管线参数

买方宜为制造厂家规定对第5章要求以外附加的用于设计和分析出油管线(或静态跨接管线)系统的任何要求。表3中所列参数宜予考虑。

表3 出油管线参数

参 数	详 细 情 况
出油管线路径	路由图,地形测绘,海床/土壤条件,障碍物,已安装设备和管线
导向器和支撑	建议的导向器几何形状,I形管,J形管和安装出油管线时通过的钟形口
防护要求	挖沟,抛石,防护垫和沿管线路由的防护要求程度(例如,来自拖网部件,落物和锚的冲击荷载防护)
坐底稳定性	允许位移
隆起屈曲	由制造厂家考虑的设计工况规格书
交叉要求	管的交叉(挠性管和刚性管),包括已安装管线和输气管道
管的附件	弯曲限制器,夹具等,以及连接方法
荷载工况	安装、正常操作和非正常操作的年概率定义,偶然荷载工况和年概率规格书

4.6.3 立管参数

买方应为制造厂家规定对第5章要求以外附加的用于立管(或动态跨接管线)系统的设计和 analyses 的任何要求。表4中所列参数宜予考虑。

表4 立管参数

参 数	详 细 情 况
立管形态	所有对形态要求的规格书,包括种类(懒S形,陡波形等),布置和组件形态选择或规定形态适用性的确定
连接系统	上部和下部连接种类,包括快速解脱系统和浮式解脱系统,连接角度和定位误差
管的附件	弯曲限制器,浮体等,以及连接方法

表 4 (续)

参 数	详 细 情 况
附属浮体数据	附属浮体数据如下： a) 浮体的数据、尺寸、吃水深度等； b) 静态浮体型值表； c) 一价(RAOs)和二阶运动； d) 浮体的运动状态数据； e) 浮体的运动参数； f) 系泊系统界面数据； g) 位置偏移
对相互影响的要求	可能的相互影响区域规格书,包括其他立管,系泊缆,平台腿柱,船的浮码头,油轮龙骨等,以及确定允许的相互影响/碰撞
荷载工况	确定用于安装,正常操作和非正常操作的年概率。偶然荷载工况和年概率规格书

5 设计要求和建议

5.1 荷载和荷载效应

5.1.1 总则

管的设计是根据买方提供的信息(参见附录 A),按照第 4 章的要求和建议做出的。全部有关信息应在设计前提(见 8.2)包括设计荷载工况中确定。设计荷载工况分析结果应包括在设计荷载报告中(见 8.3)。

5.1.2 荷载分类

5.1.2.1 如表 5 所列,荷载分类为下述功能、环境(外部)或偶然荷载,说明如下:

- 功能荷载是操作期间作用在管上的所有荷载,包括静水中作用在管上的全部荷载,但不包括风、浪、流荷载;
- 环境荷载是由外部环境参数引起的荷载;
- 偶然荷载是由偶然事件引起的荷载。

荷载分类及其子类型列于表 5 左侧。

5.1.2.2 设计荷载工况应以可用于分析功能、环境、偶然荷载对挠性管的作用的方式确定。用于表 5 所列荷载分析技术的指南见 ISO 10420[29]。

表 5 荷载分类组合和荷载条件

荷载条件	正常操作		非正常操作
	常规操作	极端操作	
功能荷载:			
a) 管及管内物和附件的质量和浮力引起的临时和永久荷载;	✓	✓	✓
b) 4.4.2 规定的内压;	最大操作压力	设计压力	设计压力
c) 压力及热膨胀和收缩荷载;	✓	✓	✓
d) 外部压力;	✓	✓	✓
e) 挖沟、埋设、抛石产生的外部土壤、岩石的作用力;	✓	✓	✓
f) 来自支撑和保护结构的静态反力和变形荷载;	✓	✓	✓

表 5 (续)

荷载条件	正常操作		非正常操作
	常规操作	极端操作	
g) 临时安装或回收荷载,包括施加的张力和挤压荷载,冲击荷载及导向装置引起的荷载;	✓	✓	✓
h) 残余安装荷载,在使用期间作为永久荷载保留在管结构中;	✓	✓	✓
i) 由压力和张力引起的扭转产生的荷载和位移;	✓	✓	✓
j) 试验压力,包括安装、调试和维修压力;	✓	✓	✓
k) 绑扎或夹固管体间的相互作用效应;	✓	✓	✓
l) 由刚性管或挠性管交叉或悬跨引起的荷载;	✓	✓	✓
m) 安装期间定位误差引起的荷载;	✓	✓	✓
n) 由检验和维修工具引起的荷载	✓	✓	✓
环境荷载: 表 2 中规定的所有环境参数直接或间接引起的荷载和运动	100 年条件	满足 $P_c \geq 10^{-2}$ 条件	生存条件
偶然荷载: 由下述偶然事件直接或间接引起的荷载和运动:	不适用	a	b
1) 落物;	不适用	a	b
2) 拖网部件冲撞;	不适用	a	b
3) 内部超压;	不适用	a	b
4) 部件损坏或意外的溢流;	不适用	a	b
5) 推进器失效;	不适用	a	b
6) 动力定位(DP)失效;	不适用	a	b
7) 锚链失效;	不适用	a	b
8) 转动器驱动系统失效	不适用	a	b
<p>a 如表 6 所示,对于上述功能、环境、偶然荷载的组合,如果年度出现的联合概率 P_c 大于或等于 10^{-2},则应进行分析。</p> <p>b 如表 6 所示,对于上述功能、环境、偶然荷载的组合,如果年度出现的联合概率 P_c 介于 10^{-2} 和 10^{-4} 之间,则应进行分析。</p>			

5.1.3 荷载组合和条件

5.1.3.1 挠性管设计应表明满足此处规定的荷载组合条件下的设计要求。全部荷载,包括 5.1.2.2 规定的荷载,只要作用在挠性管上就应进行评价。荷载在时间和空间上的变化,来自挠性管系统及其支撑以及环境和土壤条件的荷载效应,都应进行分析。

5.1.3.2 应分析的设计荷载条件是安装、正常操作(常规和极端的)、非正常操作和工厂验收试验。荷载组合应如表 5 注释和表 6 栏目标题所示来确定。对于年度出现概率小于 10^{-4} 的荷载组合可以忽略不计。FAT 荷载组合应由制造厂家根据 FAT 程序确定。

5.1.3.3 对于买方或制造厂家规定的任何临时条件,应进行设计校验。这些工作应按表 6 规定的设计荷载条件相同的设计准则进行。

表 6 挠性管层设计准则

项 目		设计荷载工况及组合					
		工作条件			安 装		FAT
		正常操作		非正常操作	功能和环境	功能、环境和偶然	
		常规操作	极端操作				
挠性管层	设计准则	功能和环境	功能、环境和偶然	功能、环境和偶然			
内压护套	蠕变	壁厚减少的最大允许值低于最小设计值,由于蠕变在支撑结构层中产生的间隙在所有荷载组合情况下应为 30%					
	应变	最大允许应变在静态应用中对于 PE 和 PA 为 7.7%,对于 PVDF 为 7.0%。在动态应用中对于 PVDF 为 3.5%。对于其他聚合物材料,允许应变应由制造厂家规定,并应以文件证明在该应变情况下材料满足设计要求					
内部骨架 ^a	应力和屈服荷载 ^b	0.67,对于 $D_{max} < 300$ m(984 ft); $\{[(D_{max} - 300)/600] \times 0.18 + 0.67\}$, 对于 300 m(984 ft) $< D_{max} < 900$ m(2 953 ft); 0.85,对于 $D_{max} > 900$ m(2 953 ft)					
抗拉铠装	应力 ^c	0.67	0.85	0.85	0.67	0.85	0.91
承压铠装	应力	0.55	0.85	0.85	0.67	0.85	0.91
^a 内部骨架可能承受的力学荷载应与抗拉和承压铠装的规定一样。 ^b D_{max} 为包括潮汐和波浪效应的最大水深。 ^c 抗拉和承压铠装的允许设计准则如 5.2.4 确定。							

5.1.3.4 不同荷载组合的同时出现应在制造厂家的设计前提中规定(见 8.2)。

特殊荷载的概率可由买方根据项目特殊条件规定。偶然的及与安装有关的事件的概率应由买方规定,见表 3 和表 4。在买方未规定概率时,制造厂家应在设计前提中提出用于单独事件的概率。

5.1.3.5 用于分析的设计荷载工况应由 5.1.2.2 和表 6 中规定的荷载条件得出。

5.1.4 设计荷载效应

5.1.4.1 在管体的设计中,制造厂家可考虑不同压力的效应。如果管体的设计内压计算包括外部静水压力,那么制造厂家应规定设计内压所依据的水深。此项内容也应在管体的标记中表明(见 10.1)。

5.1.4.2 水动力荷载效应应使用经过批准的且有文件记录的方法确定,这些方法考虑海水的运动学和不同环境现象的相互作用效应。分析方法的指南见 ISO 10420[29]。

5.1.4.3 对于疲劳分析,整个使用寿命期间管的荷载分布应依据含有全部荷载参数的办法确定。如果荷载分布结果可以证明是保守的,则简化方法是可以接受的。

5.1.4.4 任何偶然荷载或其组合都可能损坏挠性管或使其不适宜工作。包括偶然荷载(如锚链增加的偏移或推进器失效)的荷载工况且不违反表 6 规定的要求,就确定了偶然荷载安全范围的限度。某些偶然荷载(如火灾和爆炸)按表 6 要求可能不易分析。在这种情况下,可用试验办法确定此种偶然荷载的安全持续时间限度。

5.2 管体设计方法

5.2.1 开始及出现任何修改时,管体设计方法应经独立确认机构确定。提交审核设计方法的文件应至少包括下述内容:

- a) 理论基础说明,包括 8.4 确定的设计报告要求和管体设计参数的计算程序。
- b) 用于全部管层和组件的计算方法。
- c) 通过样品试验对于理论基础的校验。校验应包括所有管结构层的性能。对于简化的保守的校

核非关键层(例如抗磨层)的分析方法,如果该方法不影响其他层应力计算的可靠性,就是可以接受的。

- d) 有关应力集中系数的文件依据,这些应力集中系数用于钢材,包括位于端部配件接口及其内部、位于紧固附件,以及由于与刚性表面接触、制造公差以及荷载产生裂缝引起的应力集中。
- e) 制造和设计公差,制造产生的应力,焊接及其他影响结构性能的效应。
- f) 使用寿命分类研究方法的文件,5.3.4中给出有关要求。

5.2.2 独立确认机构应对设计方法进行审阅和评估以确定其适用范围。该独立确认机构应发出证明书和设计审核报告以说明该设计方法的范围和限制。制造厂家应将此证明书记入其设计报告(见8.4),设计方法审核报告应便于买方审阅。

5.2.3 设计方法应表明各层内的磨损、腐蚀、制造工艺、尺寸变化、蠕变和老化(由于力学、化学和热降解引起),除非管体设计文件表明不受这些效应影响。

5.2.4 应表明制造公差范围内的尺寸变化引起的应用值改变不超过表6规定值的3%。

5.2.5 所有金属层的厚度计算应包括使用寿命期间计算的磨损和均匀腐蚀的裕量。

5.2.6 如果管体的设计超过以前确认的设计范围,制造厂家应提供足够的样品试验证明此新设计的设计方法是正确的并应获得独立确认机构对设计方法修改或修订的确认报告。样品试验应表明那些超出以前确认范围的设计参数是适用的。对于宜进行的试验的指南及其程序的建议见ISO 10420[29]。

5.3 管体结构设计

5.3.1 设计准则

5.3.1.1 管体的各层应按表6规定的准则进行设计,并符合5.3.1给出的要求。

5.3.1.2 对于内压护套的应用,应在聚合物材料的最大允许蠕变和最大允许应变的基础上进行计算。并符合5.3.2.1的要求。

5.3.1.3 对于内部骨架的应用,应按5.3.1.4的规定进行计算,采取表6规定的三种水深范围。制造厂家应评估骨架及承压铠装的屈曲破坏模式,并通过计算确认各层满足设计要求。骨架的静水压溃计算允许考虑承压铠装层提供的支撑。用于此种计算的方法应记入文件。

5.3.1.4 承压和抗拉铠装层的利用系数应按下式计算:

$$\text{利用系数} = \text{应力} / \text{结构能力}$$

式中,应力为实际层中的计算应力。该应力应使用5.2.1规定的设计方法进行计算,并符合5.3.2给出的设计要求。计算值应包括动荷载并基于层中的平均应力。该平均应力应使用假设均匀分布于层中所有丝线的总层荷载进行计算。结构能力应是材料的屈服强度或0.9倍的材料抗拉强度(如果拉伸试验精确表明后一参数是唯一的)。用于设计的屈服或抗拉强度值应是文件提供数据的均值减去二倍标准偏差,或是提供者确认的最小值。

5.3.1.5 对于外护套的应用应基于最大允许应变的计算,并符合5.3.2.2给出的要求。

5.3.1.6 储存状态的MBR,应按计算结果取为满足表6所有要求的MBR。连锁层锁在一起时的弯曲半径应进行计算。储存状态MBR应至少为此值的1.1倍。

5.3.1.7 对于静态应用(所有荷载条件)的操作状态MBR,应至少是储存状态MBR的1.0倍。对于动态应用(所有荷载条件)的操作状态MBR,应至少是储存状态MBR的1.5倍,只有在非正常操作或偶然荷载出现的正常操作条件下该系数才可降低至1.25。

5.3.1.8 疲劳寿命的计算应按5.3.4进行。预期的疲劳寿命应至少10倍于使用寿命。腐蚀分析(按5.3.4进行)应表明在所有荷载组合条件下腐蚀引起的材料损失不会导致应用系数超过本条的准则。

5.3.1.9 基于可靠性设计可以作为可替换的设计方法。此时所有相关的基于可靠性设计的准则均予以考虑。但应提供证据表明其所获得的安全水平在可比较的设计情况下不低于GB/T 21445的本部分的安全水平。

5.3.2 管层的设计要求和建议

5.3.2.1 内压护套

5.3.2.1.1 作为最低限度,内压护套应对下述荷载工况进行分析:

- a) 最不利的内压、温度、操作状态 MBR 和聚合物条件的组合;
- b) 在环境温度和储存状态 MBR 条件下水压试验压力。

5.3.2.1.2 分析应包括有关的循环荷载效应,如迟滞现象、松弛、收缩、增塑剂损失、流体扩散和流体吸入聚合物填料。作为最低限度,应包括下述内容:

- a) 由于加固层内缝隙的堵塞引起的蠕变;
- b) 管内和管体的环形空间内流体的压力和温度;
- c) 骨架和铠装层的接触压力;
- d) 由管的弯曲、轴向拉伸和压缩、扭转和径向膨胀引起的应变。

5.3.2.1.3 用于计算内压护套壁厚的方法,应以文件记录的测试或现场经验证明其有效性,并且应符合下述最低要求:

- a) 用于壁厚计算的承压铠装钢丝之间的间距,当管在制造公差产生的适当允许值条件下弯曲至操作状态 MBR(或对水压试验至储存状态 MBR)时,应是最大间距;
- b) 分析应允许由于管弯曲至操作状态 MBR(或对水压试验至储存状态 MBR),厚度变化引起的应力集中,增塑降低效应,膨胀和老化对材料的影响,制造公差,聚合材料的蠕变性质,以及端部配件层的终端效应等而引起的聚合物层变薄。

5.3.2.1.4 制造厂家应通过分析表明,在最低材料力学性能、支撑层内最大间隙以及最大设计温度和压力条件下,不会因为聚合物进入邻近金属层间隙产生蠕变而出现失效。

5.3.2.1.5 对于动态应用,制造厂家应以有文件记录的测试记录表明,用于内压护套的材料不会因凹口灵敏度和形成应力集中的因素而产生初始裂纹。但这不适用于多重内压护套结构的可损失层。

5.3.2.2 外护套

外护套的设计应承受管的弯曲、轴向拉压、扭转、外部环向压力、安装、磨蚀和附属构件产生的局部荷载等效应。

5.3.2.3 中间护套

如果中间护套设计成能够防止环形空间流体泄漏到层外或防止海水的进入此层,则其设计应满足

5.3.2.1 的要求。对于动态应用,中间护套应能抵抗层间相对运动引起的磨损。由于弯曲引起的皱纹和裂纹宜予以避免。

5.3.2.4 内部骨架

内部骨架的设计应承受出现下述情况:

- a) 由规定最小内压,最大外压和最大椭圆度引起的压溃。外压应是作用于内压护套外部的全部外压或最大环形空间压力(如果此值超过外压)。
- b) 骨架条带的疲劳。
- c) 由于内锁螺旋线内弯曲应力产生的沿骨架条带的裂纹扩展;骨架的设计应保证这样的裂纹扩展不会发生。
- d) 由于热膨胀和收缩引起的荷载,和/或内压护套的膨胀隆起。
- e) 冲蚀和腐蚀。

5.3.2.5 承压铠装

承压铠装应设计成能抵抗规定的环向应力;该设计应进一步保证钢丝之间的间距在要求的限度之内并防止内锁失效。

5.3.2.6 抗拉铠装

5.3.2.6.1 抗拉铠装应按要求的轴向强度设计。设计应满足控制扭转性质、控制钢丝之间的间距和环向强度的所有要求,对于不包括承压铠装的设计尤其如此。

5.3.2.6.2 完整的管结构应设计成管的扭转平衡和压缩强度特性均满足功能要求。

5.3.2.7 附加层

5.3.2.7.1 热绝缘层应按 5.4.3 设计。

5.3.2.7.2 抗磨层的设计应满足 6.1.2.6 的要求并且不应起密封层作用。由于抗磨层的局部失效而在抗拉铠装中产生的附加应力后果应予以评估并记入文件作为一种偶然荷载工况。

5.3.2.7.3 附加的外部保护层,无论是聚合物还是金属,应根据买方规定的设计条件设计成能够防止外护套中出现的外部失效或磨损。

5.3.3 端部配件

5.3.3.1 端部配件应设计成所有管层的可靠终端,因此考虑所有相关因素(包括收缩、蠕变、老化和压力效应)之后,在管的整个使用寿命期间不会出现泄漏、结构变形或钢丝脱开及挤出层。端部配件的设计方法应形成文件并且应由记入文件的测试和分析所证明。设计方法应说明制造公差。设计应允许来自附在端部配件上的附属构件包括抗弯加强器的支撑荷载。

5.3.3.2 端部配件的设计应保证端部配件处内压护套和外护套的密封。端部配件的卷曲/密封机构设计应保证由使用寿命期间内的脱开力和每个端部配件密封环的安装而产生的组合应变不会在整个使用寿命内使护套失效。

5.3.3.3 在端部配件的设计中,骨架相对于端部配件的轴向运动应以机械方法加以限制。

5.3.3.4 在考虑所有实际上可能的荷载组合时,端部配件的承压部分应满足下述设计要求:

$$\sigma_t < n \cdot \sigma_y$$

$$\sigma_c < n \cdot \sigma_y$$

表 7 端部配件的允许利用系数

设计荷载工况及组合					
工作条件			安装		FAT
正常操作		非正常操作	功能和环境	功能、环境和偶然	
常规操作	极端操作				
功能和环境	功能、环境和偶然	功能、环境和偶然			
0.55	0.85	0.85	0.67	0.85	0.91

5.3.3.5 对于动态应用,疲劳寿命应按 5.3.4 计算。预期的疲劳寿命应至少 10 倍于使用寿命。

5.3.3.6 端部材料的选择应按第 6 章执行。

5.3.4 使用寿命分析

5.3.4.1 使用寿命——静态应用

5.3.4.1.1 静态应用挠性管的使用寿命分析应符合第 6 章的规定,且应以文件说明整个使用寿命期间管材的性质。在设计计算中,应采用整个使用寿命期间金属材料的最低强度和聚合物材料拉断时的最低延伸率。分析应至少包括下述内容:

- a) 操作环境下蠕变、尺寸变化(收缩、膨胀)、以及应变造成的失效;
- b) 钢构件的腐蚀与冲蚀。

5.3.4.1.2 如果静态管潜入水中,设计中应包括环形空间钢构件的腐蚀作用,而且应假定其与适当盐度的水和适当浸入速率的氧保持永久接触。确定盐度和氧浸入速率时可以假定存在多重外护套层和绝缘层。

5.3.4.1.3 在无硫状态下的使用寿命应按 5.3.1 要求以下述方式确定:

- a) 聚合物层性能的降低程度,超过此程度聚合物层不再适宜工作;其准则应由制造厂家规定。
- b) 承压和抗拉铠装的局部和均匀腐蚀达到横截面减少引起利用系数增加至 0.85 的程度,其评定基础应如 6.2.4.3.1 所述。

5.3.4.1.4 在含硫状态下的使用寿命应按 5.3.1 要求以下述方式确定：

- a) 使用寿命的评定符合 5.3.4.1.3 中在无硫状态下工作的规定；
- b) 符合 6.2.4.2 的规定。

5.3.4.2 使用寿命——动态应用

5.3.4.2.1 对于动态应用,应首先应用 5.3.4.1.1 中给出的使用寿命分析。另外,对承压和抗拉铠装层都应进行疲劳分析,其中应考虑动态应用中所有可能导致管内失效模式的机械和动力学效应。作为最低限度,应考虑磨损、疲劳、微振磨损、包括腐蚀在内的材料性能降低,以及润滑剂的消耗与作用降低所产生的效应。

5.3.4.2.2 在无硫状态下工作的动态应用应按 5.3.4.2.4 的规定予以评价。在含硫状态下工作的动态应用应按 5.3.4.2.5 的规定予以评价。

5.3.4.2.3 挠性管中应用的钢丝可能在疲劳情况下对低含量 H_2S 敏感,这种情况对于动态应用时出现有水存在的 H_2S 和交变应力组合效应状态也会发生,对此应按 6.2.4.5 c) 的规定予以评价。

5.3.4.2.4 无硫状态下应用的使用寿命应根据 5.3.1 的要求按下述方式确定：

- a) 在 5.3.4.1.3 规定下依据静态应用的评估。
- b) 基于 6.2.4.5 给出的数据依据承压和抗拉铠装使用寿命的评估。
- c) 此评价的基础应是立管环形空间的气体排出到大气中并且不透水。预期的环境条件应允许铠装由于 CO_2 和水而引起的腐蚀。在有关情况下宜包括氧通过排放系统的泄漏。环形空间充水时的使用寿命也应计算。

5.3.4.2.5 含硫状态下应用的寿命应根据 5.3.1 的要求按下述方式确定：

- a) 评价应基于 6.2.4.2.4 给出的数据根据 5.3.4.2.4 含硫量极少状态下的工作进行,包括对于干排出口环形空间和充海水环形空间的疲劳寿命评价；
- b) 应使用一个校验过的模型评价 H_2S 和 CO_2 的分压,环形空间内相关的 pH 水平,以及浸透环形空间环境所需时间。

5.3.4.3 疲劳分析

对于动态应用,荷载条件分析应表明承压和抗拉铠装层中的极端应力低于疲劳承受极限,否则应进行疲劳损伤计算。疲劳损伤计算应根据 Miner 方法使用设计 S-N 曲线进行,这些在适当的工作环境下对所用的钢丝材料已被证明是有效的。疲劳寿命分析还应确认在计算的交变应变下内压护套和外护套可保持完整性。

5.4 系统设计要求

5.4.1 总则

5.4.1.1 挠性管设计宜满足 4.6 中如表 8 所列规定的全部系统要求,以及 5.4.2 至 5.4.6 中规定的附加要求。设计应以文件满足买方或制造厂家规定的所有界面要求。

表 8 系统有关的管设计要求

一般要求	出油管线要求	立管要求
防腐	出油管路由	立管形态
热绝缘	导向和支撑	连接系统
气体排放	防护要求	管体附件
清管和 TFL 要求	坐底稳定性	浮筒数据
耐火性	隆起屈曲	相互影响要求
焊接	交叉要求	荷载工况
连接器	管体附件	

表 8 (续)

一般要求	出油管线要求	立管要求
界面确定	荷载工况	
检验和条件监控		
安装要求		
放热化学反应清除		

5.4.1.2 挖沟、埋设或抛石的效应应校核,内容为压力和温度产生的轴向延伸引起的隆起屈曲,隆起蠕变和终端承载能力的降低。由时间,温度和压力因素引起的管荷载导致管的抗弯刚度变化的效应也宜进行分析。

5.4.1.3 对于动态立管应用,其与系统其他构件的干扰或接触,包括立管、系泊锚缆、以及刚性表面如浮筒,在设计中应进行校验。

5.4.1.4 应以外护套材料的聚合物/钢材摩擦因数来设计系统,以便抵抗安装用张紧装置的压缩力,并设计管卡。

5.4.1.5 应以外护套的横向和纵向聚合物/土壤摩擦因数来设计系统以保持其在海床上的稳定性。

5.4.2 防腐

5.4.2.1 电化学腐蚀

如果电化学腐蚀会增加利用系数超过允许限度,选择材料时应考虑电化学腐蚀效应。如果电化学腐蚀可能发生,不同的金属之间应以绝缘物或涂层进行绝缘,或提供足够的腐蚀裕量。

5.4.2.2 表面处理

除非文件表明材料在规定环境下是抗腐蚀的,所有钢的外表面应特别处理并进行涂层,以针对第 4 章规定的所有环境条件施行防腐。

5.4.2.3 腐蚀裕量

5.4.2.3.1 应根据第 4 章规定的要求和位置、安装条件来评估需要的内部和外部腐蚀裕量。制造厂家应以文件说明该评估及其对管构件的效应。

5.4.2.3.2 骨架或端部配件界面处铠装层的腐蚀应不会引起任何密封隔离层或锁紧机构的破损。

5.4.2.3.3 可以优先应用抗腐蚀涂层或抗腐蚀合金,而不是提供腐蚀裕量。制造厂家应以文件记录方式表明所涂涂层或合金在规定应用和环境下的适配性。

5.4.2.4 阴极保护

5.4.2.4.1 阴极保护系统应根据 4.6.1.3 设计。设计中采用阴极通电连接到端部配件的构造形式,在抗拉铠装和端部配件之间应保证电流的连续性。阴极保护系统的设计方法应以文件记录。DNV RP B 401[28]可作为阴极保护系统设计指南。

5.4.2.4.2 制造厂家应确定外护套失效的表面面积以及在此外护套失效情况下将被阴极保护系统保护的铠装线表面面积,并用文件表明选择这些数值的依据。

5.4.3 热绝缘

5.4.3.1 选择作为热绝缘层的材料时,应保证其在整个使用寿命期间的热传导满足 4.6.1.4 的要求。

5.4.3.2 作为选择热绝缘材料的准则,其物理和力学性质由于管环形空间内的流动引起的变化应予以考虑;这些性质的变化应由实验结果验证并由制造厂家记入文件。

5.4.3.3 热绝缘系统的设计应假设外部保护阻挡层的绝缘材料暴露在空气和/或海水中的部分将会失效或降低品质。隔板或附加聚合物护套可用于限制管结构被水淹的体积。设计方法包括外护套失效假设应以文件方式记录。

5.4.3.4 储存、运输、装卸、安装和操作期间出现的各种条件应进行分析。分析应以文件形式表明绝缘层由于其自重挤压,冲击荷载或拉伸装置、滚筒、导辊和滚轴等引起的永久变形,而且引起的热传导系统改变不会超过规定的要求。

5.4.4 排气

5.4.4.1 排气系统应按 4.6.1.5 及以下的考虑进行设计：

- a) 散逸构件应能安全开启；
- b) 如果位于封闭空间内，应保证管外不会形成不可控制的压力；
- c) 所有暴露在流体和海水穿过环境中的部分应是抗化学作用的。

5.4.4.2 排气系统应满足下述设计要求：

- a) 安全阀设计应保证其在环形空间压力达到 50% 的文件规定破裂膜片设计失效压力之前打开。应以文件表明，在外护套破裂（当护套壁厚处于最小公差且管弯曲至操作状态 MBR 时）之前安全阀就打开（或破裂膜片就失效）。
- b) 在系统降压期间，应保证环形空间内的最大排气系统压力不会导致内压护套破损或局部变形。
- c) 对于立管应用的情况，破裂膜片不可作为排气系统的一部分。
- d) 气体安全阀用作水下管排气系统的一部分时，应不允许海水进入。
- e) 如果应用气体安全阀，则每一端部配件至少应安装两个安全阀。
- f) 安全阀的设计应适合规定的海生物条件。

5.4.4.3 除非 4.6.1.5 另有规定，否则将通过端部配件排气。

5.4.4.4 管体的所有层都应设计成允许渗出的气体排放。

5.4.5 清管和 TFL 操作

5.4.5.1 挠性管的设计应满足 4.6.1.6 规定的清管、TFL、修井和其他操作要求。尺寸公差，包括椭圆度的选择应满足规定的要求。ISO 13628-3[30] 可选作 TFL 的指南。

5.4.5.2 管设计中选择最内层（骨架或内压护套）时，应与规定的要求一致，制造厂家应有文件记录的测试。

5.4.5.3 管的设计应使最内层和端部配件之间具有光滑的界面。腐蚀引起的壁厚变化不应影响清管作业。端部配件的设计应保证清管作业期间腐蚀引起的壁厚变化不会引起内部骨架或内压护套的失效。

5.4.6 耐火性

5.4.6.1 如同测试所测量的，挠性管的耐火性系指管和/或端部配件在没有压力降低情况下能够暴露于火焰中的时间。耐火绝缘物可用于挠性管管体的端部配件以减缓由于变热造成的性能降低。然而不能将管体作为防火材料。挠性管暴露于火焰中以后，除非详细检测表明其可以继续工作，否则应认为不适合继续工作。

5.4.6.2 买方规定耐火性要求时应考虑下述内容：

- a) 火焰温度，火源及周围材料；
- b) 需要熄灭火焰或冷却管结构；
- c) 灭火方法；
- d) 灭火所需时间；
- e) 传输介质；
- f) 挠性管中与聚合物材料接触的已加热的钢材；
- g) 弃管装置及其防护火焰的能力；
- h) 管的功能；
- i) 传输介质泄漏时的闪点；
- j) 降压时间。

5.4.6.3 如果根据 4.6.1.7 对耐火性的要求，除非管设计在以前已经测试并记入文件，否则应按劳氏火焰测试、DNV 火焰测试或 SY/T 5323—2004 (API Spec 16C) 进行测试。

6 材料

6.1 材料要求

6.1.1 总则

6.1.1.1 此处规定的要求适用于聚合物材料包括添加物;扁平、圆型或成型钢丝型材;供应商提供给制造厂家的成品或半成品端部配件构件。本条款不包括用于结构层的复合材料。

6.1.1.2 制造厂家应具备测试文件记录表明所选供特殊应用的材料在整个使用寿命期间安装和操作条件下满足第4章规定的功能要求。记入文件的测试记录应与6.2的要求一致。如果缺少适当的评定记录,制造厂家应根据6.2进行专项应用测试。

6.1.1.3 所有材料,包括抗磨层、胶带、润滑剂和其他用于挠性管的制造辅助材料,应以文件证明在设计温度条件下与海水及渗出的气体和液体兼容。这种兼容性可以局限于确定这些材料的分解产生的副产品不会损坏管的功能层(如内压护套)。制造厂家应以文件表明管的制造过程中所用的全部润滑剂和防腐涂层与所有其他结构或管中压力密封材料是兼容的。

6.1.2 聚合物材料

6.1.2.1 总则

制造厂家应使用表9所规定的基于测试的设计标准文件来确定用于内压护套、抗磨层/胶带、中间护套,外护套及绝缘层的各个聚合物材料的预检定范围和暴露条件的组合。

表9 受挤压聚合物材料的性能要求

特 性	测 试	内压护套	中间护套/抗磨层	外护套	绝缘层
机械/物理性质	抗蠕变	✓	✓	✓	✓
	屈服强度	✓	✓	✓	
	抗拉强度/延伸率	✓	✓	✓	✓
	应力松弛性质	✓			
	弹性模量	✓	✓	✓	
	硬度			✓	
	抗压强度			✓	✓
	抗静水压力				✓
	冲击强度			✓	
	抗磨蚀			✓	
	密度	✓	✓	✓	✓
	疲劳	✓	✓	✓	
缺口敏感性	✓				
热性质	导热系数	✓	✓	✓	✓
	热膨胀系数	✓	✓	✓	✓
	软化点	✓	✓	✓	✓
	热容	✓	✓	✓	✓
	脆性(或玻璃转变)温度	✓		✓	
渗透特性	流体渗透率	✓	✓	✓	✓
	抗起泡	✓			

表 9 (续)

特 性	测 试	内压护套	中间护套/抗磨层	外护套	绝缘层
兼容性和老化	流体兼容性	✓	✓	✓	✓
	老化测试	✓	✓	✓	
	环境应力裂纹	✓	✓	✓	
	抗风化			✓	
	吸水性	✓		✓	✓
注 1: 对绝缘层规定的性能要求适用于聚合物和非聚合物。 注 2: 测试程序列于表 11。 注 3: 对于制造辅助材料没有性能要求。					

6.1.2.2 内压护套

6.1.2.2.1 制造厂家应以文件表明表 9 所规定的,包括设计值在内的一定温度和压力范围的用于内压护套材料的力学、热学、流动兼容性和渗透性质。

6.1.2.2.2 制造厂家应以有文件记录的方法预测整个规定使用寿命期间聚合物的性质。制造厂家应保证方法的有效性以便买方审阅测试和评估记录时可以由该方法得到保守的结果。

6.1.2.2.3 如果输送的液体含有气体,则聚合物应以测试方法表明从最大压力和温度条件下泄压时不会引起起泡和品质降低。关于老化和膨胀对穿透性的影响应予以分析。制造厂家应以 6.1.2.2.2 规定的测试结果来规定评价聚合物工作性能(脆变、蠕变、收缩、塑性变形等)的准则。

6.1.2.2.4 如果内压护套由多层构成,除非有文件记录的测试表明材料在规定的寿命期间和规定的工作条件下满足设计要求,否则在多层结构中不应使用不同的材料。

6.1.2.3 中间护套

制造厂家应按表 9 的规定用文件表明中间护套材料的性能。

6.1.2.4 外护套

6.1.2.4.1 制造厂家应按表 9 的规定用文件表明外护套材料的性能。

6.1.2.4.2 制造厂家应施行有文件记录的评价以证实外护套与所有渗透流体、辅助构件和 4.5 规定的全部外部环境条件的兼容性。

6.1.2.5 绝缘层

6.1.2.5.1 制造厂家应以文件表明表 9 规定的绝缘层材料性能。层的导热系数应对于干燥条件和适用的淹没(海水)条件以及设计和操作温度、压力条件用文件给出。

注:“干燥条件”指在国际标准大气压的空气中的测试。

应分析在规定的使用寿命期间,由于压力、温度、环形空间环境和海水(如果适用的话)引起的热性能降低。

绝缘材料中的任何蠕变应不会引起热绝缘性能降低到管的总体热绝缘性能低于设计要求。

6.1.2.5.2 制造厂家应以文件形式并经测试证实绝缘材料的抗压强度足够抵抗 5.4.3 给出的在设计要求范围内的所有可预见的压缩荷载,并且不论环形空间是否淹没情况都是如此。

6.1.2.5.3 ASTM C 335[3]可用于测试绝缘层的全部热传导性质。

6.1.2.6 抗磨层

制造厂家应以文件形式表明表 9 中规定的抗磨层材料性质。对于动态应用,制造厂家应具备文件记录的测试表明在规定的使用寿命期间抗磨层能够执行其功能,防止邻近钢材和/或挤出聚合物层之间的磨损。

6.1.3 金属材料

6.1.3.1 总则

金属材料的选择应注意在管的规定使用寿命期间内管层所处环境可能造成的腐蚀破坏。对于含硫

状态的应用材料应按 6.2.4.2 的规定进行测试。

6.1.3.2 骨架

6.1.3.2.1 制造厂家应以文件形式表明表 10 所规定的骨架的性能和特性。对于规定用途,制造厂家应按表列各项特性评价所选骨架材料的适用性,并且方便买方根据文件记录的测试连同验收标准进行审查以证实应用材料的适用性。

表 10 钢丝、金属条带材料和焊件的性能要求

性能/特性	参 数	骨 架	承压铠装	抗拉铠装
合金性能	化学成分	✓	✓	✓
	显微结构	✓	✓	✓
材料性能	屈服强度	✓	✓	✓
	抗拉强度	✓	✓	✓
	延伸率	✓	✓	✓
	硬度	✓	✓	✓
	抗疲劳	✓	✓	✓
	抗冲蚀	✓		
材料特性	抗 SSC 和 HIC		✓	✓
	抗腐蚀	✓	✓	✓
	阴极保护条件下抗裂纹			✓
	抗化学作用	✓	✓	✓
注:测试程序在表 12 中规定。				

6.1.3.2.2 如果骨架接触到通过管子的工具(包括清管器、TFL 和修井设备),则所有预期的磨损速率应通过计算或实验确定。对于预期经受高磨损或高腐蚀速率的管的附加牺牲阳极材料也应包括在内。附加材料的数量应根据磨损速率数据分析和预期的发生速率来确定。

6.1.3.2.3 如果输送的流体含有夹带的固体,制造厂家宜对管的使用寿命期间规定的流体速度和含量计算磨蚀和磨蚀/腐蚀速率,并宜以文件形式表明计算的磨损速率不会引起骨架失效。

6.1.3.2.4 骨架材料的选择应考虑安装条件,特别是管临时充海水的情况。

6.1.3.3 承压和抗拉铠装

6.1.3.3.1 制造厂家应以文件形式表明表 10 及 6.1.3.2.1 的要求所规定的承压和抗拉铠装性能和特性。

6.1.3.3.2 对于规定的应用,制造厂家应以文件形式表明承压和抗拉铠装所用碳钢材料对腐蚀(均匀和点蚀)或裂纹(SSC, HIC, 氢脆和微振磨损)的敏感性;制造厂家还应以记入文件的测试记录表明用于特殊用途的材料和焊件的适用性。

6.1.4 端部配件

6.1.4.1 金属材料

6.1.4.1.1 用于主要承压部分的端部配件金属材料应根据 ASTM A 668, ASTM A 29 或 ASTM A 182, Grade F 51(duplex steel)进行锻造或加工。用于含硫环境的金属材料应符合 ANSI/NACE MR 0175 的规定。

6.1.4.1.2 制造厂家应以文件表明用于所有主要端部配件构件的金属材料的化学成分、制造方法、热处理以及抗拉性、硬度和夏比冲击性能。其化学成分的选择宜保证构件在全部制造工艺(包括焊接和焊件热处理)之后满足规定的性能要求。

6.1.4.1.3 端部配件应是抗腐蚀的,其方式或通过材料选择或通过适当的涂层及阴极保护的组合而实现。用于端部配件内表面的材料应以文件方式表明其能够抵抗输送所夹带固体物质流体引起的冲蚀。

6.1.4.1.4 对于需要用焊接覆盖的地方,所有暴露于输送流体介质的表面都应以试验文件表明其抗腐蚀性。内压及外压护套的密封圈和管体的密封层表面都应是抗腐蚀的。

6.1.4.2 环氧树脂材料

6.1.4.2.1 用于嵌入抗拉铠装的环氧树脂填料应以文件方式表明端部配件能够承受制造和规定使用寿命期间可能经受的温度。应考虑在封闭空间(如下层防火绝缘和抗弯加强器)内的端部配件所承受的最高温度。

6.1.4.2.2 制造厂家应以文件表明该环氧树脂在温度介于 20°C (68°F) 和 25°C (77°F) 之间,以及设计最低、最高温度时的抗压强度。该环氧树脂的玻璃化转变温度、流动兼容性和老化特性应记入文件。用于试验的环氧树脂应按供货商的规格书进行混合和固化。

6.2 评定要求和建议

6.2.1 总则

6.2.1.1 试验要求和建议

6.2.1.1.1 挠性管所有材料的物理、力学、化学和操作特性应由制造厂家经过有文件记录的评定程序确定。该程序基于由文件表明挠性管规定使用寿命期间材料用途合理性的试验结果和分析;且该程序应确认每一材料是适宜的。作为最低要求,该评定程序应包括本条款规定的试验。进行材料评定试验时,宜考虑生产挠性管所采用全部工艺(及其变动)可能削弱设计要求的性能和特性。

6.2.1.1.2 试验宜规定按与设计条件可比的额定条件进行。试验温度宜分别比额定最高和最低温度至少高或低 10°C (50°F)。试验压力宜分别比额定最高和最低压力至少高或低 3.5 MPa (508 psi)。设计条件宜不高于额定条件。

6.2.1.2 试验数据

试验数据应在提交买方以后的 20 年或整个使用寿命期间,选择年限长的情况,以文件形式保存。

6.2.1.3 适用性

6.2.1.3.1 只有与评定试验所用材料的所有规定化学性质和工艺历程(热处理和冷变形)相同的材料,才应被视为合格。

6.2.1.3.2 有文件记录的操作经验可用于验证某些环境条件(不高于操作经验所述条件)下的长期性能。对于金属成分的环境严格控制应依据温度、应力、接触压力、腐蚀环境、pH 值、氯含量、注入化学药剂、H₂S 和 CO₂ 浓度,以及其他制造厂家或买方认为有害的条件来确定。对于聚合物所考虑的环境因素应包括温度、应力、应变、压力、水的富集、芳香族、醇类、H₂S 和 CO₂、紫外线暴露、含硫条件(较低 pH 或较高 TAN),以及其他制造厂或买方认为有害的条件。

6.2.1.4 试验方法

试验方法应符合此处的规定。如果试验方法没有规定,制造厂家可采用自己的方法和/或准则或采用原材料供货者提供的方法等。在这种情况下,方法和/或准则应形成文件而且其结果与规定的材料用途有关。文件规定的施行情况应由独立确认机构审核。

6.2.2 聚合物材料

6.2.2.1 用于评定试验的试样

用于评定试验的试样应取自挤制材料。对于热塑性材料,不能使用塑模试件。对于含增塑剂的聚合物部位,试验应确定增塑材料和脱塑材料的性能。

6.2.2.2 聚合物护套、绝缘层和抗磨层材料

在评定程序中,制造厂家应试验并用文件记录表 9 规定的聚合物护套、绝缘层和抗磨层材料的性能。应使用表 11 所列试验程序,如果没有可用的程序,制造厂家应以文件表明将要使用的程序。

6.2.2.3 PVC(聚氯乙烯)作为绝缘材料

如果 PVC 用作绝缘材料,应在等于或高于最高设计温度条件下进行至少 30 d 周期的热稳定性试验。

表 11 挤制聚合物材料试验程序

特 性	试 验	试验程序	注 释
力学/物理性能	抗蠕变	ASTM D 2990[22]	取决于温度和压力 或 ASTM D 2583[21] 在最低设计温度 或 ASTM D 1044[15] 或 ASTM D 1242[16] 或 ASTM D 1505[17] 仅为动态应用
	屈服强度	ASTM D 638[7]	
	抗拉强度/延伸率	ASTM D 638[7]	
	应力松弛性质	ASTM E 328[24]	
	弹性模量	ASTM D 638[7]	
	硬度	ASTM D 2240[20]	
	抗压强度	ASTM D 695	
	抗静水压		
	冲击强度	ASTM D 256[4]	
	抗磨蚀	ASTM D 4060[23]	
	密度	ASTM D 792[13]	
	疲劳	ASTM D 671[10]	
缺口敏感性	ASTM D 256[4]		
热性能	导热系数	ASTM C 177[2]	方法 A 或玻璃化转变温度 (ASTM E 1356)
	热膨胀系数	ASTM E 831[25]	
	热扭曲温度	ASTM D 648[8]	
	软化点	ASTM D 1525[18]	
	热容	ASTM E 1269[26]	
	脆性温度	ASTM D 746[11]	
渗透特性	流体渗透性	6.2.3.1	最低要求是对 CH ₄ 、CO ₂ 、 H ₂ S 和甲醇,在设计温度和 压力条件下(如果存在) 在设计条件下
	抗起泡	6.2.3.2	
兼容性和老化	流体兼容性	6.2.3.3	方法 C,仅对聚乙烯紫外线 稳定剂效应 仅对绝缘材料
	老化试验	6.2.3.4	
	环境应力裂纹	ASTM D 1639[19]	
	抗风化		
	吸水性	ASTM D 370[5]	
注 1: 试验程序用于聚合物护套材料和绝缘层材料(聚合物和非聚合物)。			
注 2: 试验要求在表 9 中规定。			

6.2.3 聚合物试验程序

6.2.3.1 流体渗透性

6.2.3.1.1 对于流体渗透性试验,应至少满足下述条件:

- a) 试样:试样应取自挤制聚合物护套;
- b) 厚度:最小为 1 mm(0.039 in);
- c) 直径:最小为 70 mm(2.756 in);
- d) 温度:宜取足够多的试件以允许线性内插;
- e) 压力:宜取足够多的试件以允许线性内插。

6.2.3.1.2 对于流体渗透性试验程序,可以在试件的一侧加压,当流动状态达到稳定时在另一侧测量

流体的流动。作为替代方案,试验可在两侧施加相同的绝对压力(用分压作为驱动力)。

6.2.3.2 抗起泡

6.2.3.2.1 抗起泡试验应反映设计要求,特别是关于流体条件,压力,温度,降压次数,以及降压速率。作为最低限度,应使用下述条件:

- a) 流体混合:试验程序文件所规定环境条件下的气体成分;
- b) 浸泡时间:足够长以达到饱和;
- c) 试验周期:采用预期的降压次数,如果不知道次数则至少施行 20 个循环;
- d) 降压速率:采用预期的降压速率,如果不知道速率则至少取 7.0 MPa/min(1 015 psi/min);
- e) 厚度:以内压护套壁厚作为最小值;
- f) 温度:预期的降压温度;
- g) 压力:至少为最高设计压力;
- h) 程序:每次降压之后,将试样放大 20 倍进行检验,以评价起泡、膨胀和裂缝。

6.2.3.2.2 验收标准应为没有观察到起泡形成或裂缝。

6.2.3.3 流体兼容性

6.2.3.3.1 制造厂家应以文件方式评价聚合物所处于其中的所有环境因素,并对聚合物可能造成不利影响的那些环境因素进行试验。验收标准应由第三方审核。

6.2.3.3.2 流动兼容性试验应按制造厂家或材料供货者的程序文件进行。用挤压试件进行的试验室试验可用于确定总体不兼容性。试验应基于设计的温度、压力和应变条件。作为最低限度,抗拉强度、破裂时的延伸率、目视外观、以及流体吸收(质量增加)和解除吸收(质量减少)应在试验中测量/评价。

6.2.3.4 老化试验

6.2.3.4.1 制造厂家应以文件形式给出挠性管中使用的各聚合物的老化预测模型。模型必须基于试验和经验,并且应预测聚合物在已经试验鉴别的有关环境和荷载条件影响下的老化或失效。

作为最低限度,PE(聚乙烯)的老化模型应考虑温度,PA(聚酰胺)-11 的老化模型应考虑温度、含水率和 pH 值。对于 PVDF(聚偏二氟乙烯)材料的老化评价应包括温度、化学环境和力学荷载效应。

对于脱塑、流体吸收和尺寸变化宜予以特别注意。对于蠕变、循环应变和松弛应研究老化的和未老化的样品。老化模型可包括不同暴露条件下基于时间分段或温度/压力操作循环的累积失效概念。

老化可根据规定力学性能或物理化学特性的变化来确定,其中包括材料的增塑剂含量的降低。

6.2.3.4.2 用于抗老化试验的流体宜能代表规定的内部流体。工作中承受拉伸或压缩荷载的材料宜直接受到类似的应力进行试验。

6.2.4 金属材料

6.2.4.1 总则

对于骨架、承压和抗拉铠装层材料的评定试验要求,应按表 12 的规定。

表 12 金属材料(骨架条带、承压和抗拉铠装钢丝)及焊缝的评定试验要求

试 验	试 验 程 序	注 释
化学成分	ASTM A 751	
屈服强度/延伸率	ASTM A 370	
抗拉强度/延伸率	ASTM A 370	
硬度	ASTM E 92	仅用于含硫条件(仅对铠装钢丝)
SSC 和 HIC	6.2.4.2	对于规定环境(仅对铠装钢丝)
抗腐蚀	6.2.4.3	对于规定环境(仅对铠装钢丝)

表 12 (续)

试 验	试 验 程 序	注 释
抗磨蚀	6.2.4.4	仅用于骨架
抗疲劳	6.2.4.5	仅用于动态应用的承压和抗拉铠装
氢脆	6.2.4.6	仅用于 $\sigma_y > 700$ MPa (101 526 psi) 和/或 $\sigma_n > 900$ MPa (130 534 psi) 的铠装钢丝, 和所处于阴极保护的情况
耐化学性		对规定环境

6.2.4.2 SSC 和 HIC 试验

6.2.4.2.1 对于含硫工作条件下的静态应用, 钢丝的 HIC 和 SSC 临界值应按 6.2.4.2.2 和制造厂家记入文件的准则确定。

6.2.4.2.2 为了确定钢丝材料抵抗 HIC 和 HCC 的性能, 钢丝应按 ANSI/NACE TM0177(SCC) 的规定, 在 3.5 至 3.8 之间的一个恒量 pH 值条件下进行试验。出现 SSC 的临界水平应由加载的多组拉伸试件确定, 以增加将要给出失效/不失效的试验结果的应力水平。抗拉铠装线应承受张力荷载试验。承压铠装线宜经受环形试验以适用于直径小于 152.4 mm (6 in) 管的实际情况, 否则宜使用 4 点弯曲试验。

6.2.4.2.3 制造厂家应通过分析或试验(持续 720 h)来另外表明在钢丝材料实际工作条件下的 SSC 特性。实际工作条件包括环境压力和温度条件下环形空间、水基溶液(最低限度 3% NaCl)中 H_2S 、 CO_2 和 CH_4 的等效分压。如果制造厂家不具备计算环形空间条件的校验模型, 则应使用管子孔径分压。承受至少 90% 实际屈服应力荷载的试件应在操作条件下进行试验。这些试验结果可与 6.2.4.3 和 6.2.4.4 的结果相结合以对静态应用定出最低预期寿命。 CH_4 可用一种惰性气体替代。

6.2.4.2.4 对于动态应用, 承压铠装和抗拉铠装材料应经过 6.2.4.5 中对特殊应用所规定的评定试验。S-N 数据应明确地定义设计条件下材料的疲劳极限(如果存在的话), 并且对于 6.2.4.5 规定的条件提供文件数据或形成文件。

6.2.4.2.5 产品焊接应归入钢丝评定范围进行含硫环境下应用的评定。

6.2.4.3 抗腐蚀

6.2.4.3.1 对于静态应用, 钢丝宜经过下述试验和评价, 或提供等效的证明文件:

- a) 暴露于充气和脱气海水中(最低限度 3% NaCl), 无阴极保护电位;
- b) 暴露于根据等效输送流体分压预测的环形空间环境中, 无海水存在。

6.2.4.3.2 腐蚀速率宜根据试验测量。总腐蚀速率和点蚀的出现宜记入文件, 并用于评定预期平均工作条件下的最低使用寿命和最可能的使用寿命(假定安装期间管的环形空间充满海水)。

6.2.4.3.3 对于动态应用, 钢丝应经过 6.2.4.3.1b) 确定的试验。使用寿命期间的腐蚀宜在假设管的环形空间未充满水的情况下进行评估。

6.2.4.4 抗磨蚀

制造厂家应提供含试验数据的文件或含基于试验的分析数据的文件, 以表明在规定的使用寿命期间最内层具有足够的抗磨蚀能力满足 6.1.3.2.3 给出的设计要求。ISO 10420[29] 中给出的要求可作为磨蚀试验的指南。

6.2.4.5 抗疲劳

对于动态应用, 钢丝应经过下述试验和评价, 或提供等效的证明文件。关于疲劳试验及解释的推荐作法见 ISO 10420[29]。S-N 数据应是满足下述条件的文件数据或所形成的文件:

- a) 在大气压力下暴露于空气中, 温度介于 12°C 至 23°C (53.6°F 至 73.4°F) 钢丝是卷状并且除油的, 并根据制造厂家的规格书进行试验;
- b) 在大气压力下暴露于海水中(最低限度 3% NaCl), 温度介于 12°C 至 23°C (53.6°F 至 73.4°F)

钢丝是卷状并且除油的,并根据制造厂家的规格书进行试验;

- c) 对于有关的输送流体暴露于预期的环形空间环境,钢丝是卷状并且除油的,并根据制造厂家的规格书进行试验。

6.2.4.6 氢脆

抗拉铠装应经过试验确认阴极带电产生的氢气不会引起氢脆。进行试验时钢丝试件应除油且浸入海水中(最低限度 3% NaCl),并且施加最高的应用阴极负电位。钢丝所受应力应至少为工作中预期的最高应用水平。阴极带电至少为 150 h。应进行试验后的检验以确认钢丝试件未出现起泡或裂纹。

6.2.5 端部配件

6.2.5.1 金属材料

6.2.5.1.1 用于端部配件构件金属材料的评定的试件应符合 6.2.5.1.2 和 6.2.5.1.3 的要求。评定程序应对主要端部配件的金属材料的下述性能和特性进行试验并形成文件:

- a) 化学成分,符合 ASTM A 751 的要求;
- b) 拉伸性能,符合 ASTM A 370 的要求;
- c) 夏比冲击,符合 6.2.5.1.4 和 6.2.5.1.5 的要求;
- d) 硬度,符合 6.2.5.1.6 的要求;
- e) 抗 SSC 和 HIC,符合 6.1.4.1.1 的要求;
- f) 如果规定使用双相不锈钢端部配件,它们宜符合 ASTM G 48[27],方法 A 进行抗点蚀试验。

6.2.5.1.2 锻件的力学性能应由代表实际物件的试件确定,其中包括来自相同熔炼炉次和相同热处理批次并具有相同煅烧比。取试件的位置应代表量最大的厚度,并且取自距外表面四分之一壁厚处。

6.2.5.1.3 如果不同尺寸的端部配件构件属于同一类型,只要所有尺寸构件的强度要求一样,则仅对最大尺寸构件进行试验就足够了。

6.2.5.1.4 对于碳钢或低合金钢锻件,应按照 ASTM A 370 的要求进行夏比 V 型缺口冲击试验。只要有可能,就应使用与 ASTM A 370 的实际尺寸相同的夏比 V 型缺口试件。缺口应垂直于表面。试验温度应为 -20°C (-4°F) 或最低设计温度[如果低于 -20°C (-4°F)]。能量值应依据制造厂家的规格书确定,其中应规定最小的单一能量值和三次值的最小平均值。样本尺寸应为: $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ ($0.394\text{ in}\times 0.394\text{ in}$), $10\text{ mm}\times 7.5\text{ mm}$ ($0.394\text{ in}\times 0.295\text{ in}$) 或 $10\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ ($0.394\text{ in}\times 0.197\text{ in}$)。

6.2.5.1.5 只有当材料厚度大于 6 mm (0.236 in) 及最低设计温度低于 0°C (32°F),或买方有规定的情况下才需要进行冲击试验。

6.2.5.1.6 碳钢锻件和抗腐蚀搭接焊缝的硬度试验应按 ASTM E 10, ASTM E 18 或 ASTM E 92 的要求进行,试验结果应与制造厂家的规格书一致,其中心须区别含硫及无硫应用之间的各种情况。对于含硫工作条件,硬度值应与 ANSI/NACE MR 0175 的要求一致。

6.2.5.2 环氧树脂材料

用于试验的环氧树脂试件应在与注入端部配件时同样的温度和湿度条件下进行成模和固化。对于固化的环氧树脂评定试验要求如下:

- a) 抗压强度(符合 ASTM D 695 的要求)或抗剪强度(见 6.2.5.3),由制造厂家依据设计方法中对压缩或剪切的关联性进行选择;
- b) 玻璃转化温度,符合 ASTM E 1356 的要求;
- c) 流体兼容性,符合 6.2.3.3 的要求;
- d) 老化试验,符合 6.2.3.4 的要求;
- e) 固化程序,DSC 测量符合 ASTM D 5028 的要求。

6.2.5.3 抗剪强度试验

6.2.5.3.1 制造厂家应具有文件记录的程序用以评价环氧树脂材料的抗剪强度。用于抗剪强度试验的环氧树脂试件应在与注入端部配件时同样的温度和湿度条件下进行成模和固化。

6.2.5.3.2 应确定固化环氧树脂材料的抗剪强度与温度之间的关系。对此 API 17B[1]可作为指南。

6.3 质量保证要求

6.3.1 总则

6.3.1.1 用于挠性管的所有材料应按照记入文件的材料规格书进行采购。规格书应包括可测量的物理、力学、化学和运行特性,包括公差。

6.3.1.2 向制造厂家供货的所有供货者应具备质量保证体系的证明文件。

6.3.1.3 作为最低要求,材料应按照 ISO 10474,3.1B 的要求进行评定。材料应在供货者或制造厂家的工作场地按表 13 的要求进行试验。试验结果应记入材料试验证书。

表 13 原材料质量控制最低要求

材 料	试 验	频 次	注 释
聚合物	成分	每批一次	测量所有添加物的质量分数,包括增塑剂和 UV 稳定剂
	黏性	每批一次	护套材料(仅 PA-11)。ASTM D 789 程序
	提取性	每批一次	仅用于增塑材料
	杂质	每批一次	护套材料
	密度	每批一次	仅用于内压护套材料,不能评价的加入添加剂的塑料除外
	熔化流动指数	每批一次	护套材料,符合 ASTM D 1238 程序
钢丝	化学成分	每炉一次	所有金属
	拉伸试验	每批二次	所有钢丝
	弯曲试验	每批二次	所有钢丝
	硬度试验	每批二次	仅对于含硫条件工作的所有钢丝,每批的头、尾
	尺寸	每批二次	ASTM A 480 程序
端部配件	化学成分	每炉一次	主要部分的材料
	拉伸试验	每炉二次	主要部分的材料
	夏比 V 型缺口	每炉一组	主要部分的材料。按 6.2.5.1.4 和 6.2.5.1.5
	硬度试验	每炉一次	主要部分的材料。按 6.2.5.1.6
	射线检验	一次	仅焊接的颈部
环氧树脂	压缩试验		参见 7.6.4.2
注 1: 一批指来自同一炉的钢丝绕圈(一个或多个),经过相同的成形工艺并应用相同的热处理方式。如果运交制造厂家时用中间焊缝连接绕圈断面,则在往管上缠绕时应将中间焊缝从线圈中除去。 注 2: 每炉指每热处理批次。 注 3: 仅需要测量黏性或熔化流动指数,而不需要两者都测量。			

6.3.1.4 试验结果应与制造厂家的规格书一致并且可供买方审阅。

6.3.1.5 对于内压护套,聚合物材料应是 100%纯净的并且不含有重磨过或其他以前加工过的材料。

6.3.1.6 对钢丝和成型条带表面条件的要求和准则应由制造厂家确定并形成文件。作为最低要求,金属材料应具有抛光表面并无裂纹和明显斑点。

6.3.2 文件要求

6.3.2.1 制造厂家编写的聚合物和金属材料规格书,应至少包括表 14 给出的要求。

表 14 材料规格书要求

要 求	金属材料	聚合物材料
材料成分要求,含公差	√	
分类基础聚合物(ASTM D 1418)		√

表 14 (续)

要 求	金属材料	聚合物材料
物理和化学性能要求	√	√
允许熔化和加工方法	√	
热处理程序	√	
储存和老化控制要求	√	√
NDE 要求	√	√
验收和/或拒收标准	√	√
证书和记录要求	√	√
标记、包装、装卸和可追溯性的要求	√	√

6.3.2.2 端部配件环氧树脂材料规格书应至少包括商标、树脂和硬化剂的等级和颜色、混合比、活化寿命、成型温度,以及固化温度和时间。

6.3.3 储存

6.3.3.1 制造厂家的质量计划应表明原材料的装卸、储存和控制程序,其应反映制造的每一阶段材料清洁度、干燥度、纯度和可追溯性的重要性。

6.3.3.2 所有未加工的聚合物材料应整体包装在具有抗湿衬垫(仅为吸湿材料)的密封容器内,并用真空装置直接将污染物吸入机械贮水槽/干燥器以防止污染物进入。对于损坏的包装应进行评价以确定材料是否受到污染。污染的材料应舍弃。

6.3.4 可追溯性

材料应是可追溯的并适当标记以易于识别。对于聚合物材料、聚合物的类型和供货者名称以及目的地应标明。主要端部配件金属构件的标记应保证基材的可追溯性。

7 制造要求

7.1 质量保证

7.1.1 总则

7.1.1.1 制造工作应按制造厂家编写的规格书进行,其内容应符合本条款的要求。特殊工艺,包括焊接、热处理和涂敷,应按 7.7 执行。制造厂家应保存特殊工艺的评定文件以供买方或共同认可的第三方审阅。

7.1.1.2 NDE 应按下述适用标准执行:ASTM E 709(磁粉检验),ASTM E 165(渗透检验),ASTM A 388 和 ASTM E 428(超声波检验),以及 ASTM E 94(射线检验)。

7.1.1.3 制管材料的质量控制要求应按 6.3 的规定。

7.1.2 文件

7.1.2.1 所有改变或影响材料性能的加工,包括挤压、焊接及金属的塑性变形,应以文件形式记入制造厂家的规格书。规格书应包括适用范围、关键工艺参数的限度、检验和试验方法以及验收/拒收标准的叙述。规格书应由制造厂家选定的工程设计和制造人员批准,应作为控制文件并且易于为加工机械的操作者应用。

7.1.2.2 制造厂家的规格书文件应易于买方的审阅并应至少包括下述内容:

- a) 对于成套的挠性管,即所有层及其子层、润滑材料、条带、端部配件和任何其他构成最终产品的整体部分,应逐层和逐步地描述制造程序,包括质量控制和 NDE;对于特殊工艺的程序应经过文件证明其适用性。
- b) 文件应包括与规格书有关的参考文献及所有用于挠性管制造的材料原始数据,包括用于制

造各层的材料,以及诸如润滑材料、防腐涂层材料、抗磨条带和非金属条带。

- c) 制造厂家应以文件记录在制造过程中可监控的与质量有关的所有最终产品参数;应包括这些参数规定的范围及正常值。

7.1.2.3 制造厂家在管的使用寿命期间保存与管的制造有关的所有文件数据(包括制造记录、证书、检验和 FAT 文件)。

7.1.3 工艺程序控制

制造过程中的所有主要步骤应经过检验。制造厂家的质量计划应规定检验控制点、检验方法及验收标准。所有检验结果应进行记录。制造厂家应记录管的制造期间检验出的每一不符合项。在适用条件下,应至少对下述加工过程进行工艺程序控制:

- a) 骨架:制备并缠绕扁平钢条带,焊接分段扁平钢条带,初步加工,冷成型骨架,联锁骨架的卷绕,挤压前的预热和干燥;
- b) 聚合物层:颗粒干燥,聚合物的挤压和冷却,以及护套管的卷绕;
- c) 承压铠装:扁材或联锁线的制备,管的装料,抗压加强卷绕,型材和扁平线段焊接,以及线圈卷绕;
- d) 抗拉铠装:扁材或联锁线的制备,管的装料,铠装线的卷绕,铠装线的焊接,条带的应用,以及线圈卷绕。

7.1.4 制造期间的处理

7.1.4.1 制造厂家对于制造、包装和储存期间中间和最终产品的处理应形成有文件记录的程序。该程序应包括管在卷筒和转盘上缠绕和打开缠绕时以及端部配件装配时控制管的磨蚀、机械损坏、扭曲、弯曲和挤压方面的要求。

7.1.4.2 所有卷筒和转盘应满足下述条件:由其引发的管内损坏处于装卸程序规定的限度之内。

7.1.4.3 履带张紧器导向装置和其他装卸、储存设备对聚合物挤压部分的损坏,应不超过 7.8 中规定的厚度降低允许限度。在 7.3.2.1.1 中给出的对于装卸设备引起的聚合物层缺陷(包括所有刻痕、压痕及其他形成应力集中的因素)的要求应予以满足。

7.1.4.4 制造厂家在将扁平或成型钢丝从供货者提交的滚筒上重绕至制造厂家的滚筒或线圈架上时,应使用有文件记录的程序。

7.1.4.5 制造厂家的程序应包括对成形用具和滚轴的检验和重新磨光恢复。

7.2 骨架

7.2.1 总则

7.2.1.1 在每一生产过程的开始和结束时,应确定骨架断面符合有文件记录的验收标准。在成形的骨架层中,应避免出现锋利边缘。

7.2.1.2 对于分段制造的骨架各层,分段的连接程序应有文件记录。制造厂家宜保证骨架与挠性管结合时仅用最少的连接焊接。

7.2.2 检验和验收标准

7.2.2.1 成形的骨架和铠装层的外表面应经外观检查各种缺陷,包括凹痕、裂纹、擦痕、削片、划伤、腐蚀、结垢、变色区(污迹、焦痕、生锈等,但焊缝除外)、扭曲或弯曲的条带或线型材以及显著的蚀洞。骨架外型应另加是否联结不足的检验。铠装层应另加对于边缘处钢丝、鳞斑以及钢丝的扭曲的检验。对缺陷的验收标准应由制造厂家形成文件。不能验收的缺陷应包括腐蚀、钢丝剥离、裂纹、联结不足和扭曲。

7.2.2.2 在生产过程开始时应对外径和椭圆度进行测量并对联结进行校验。在此之后,对这些参数应按制造厂家规定的时间间隔进行控制(测量或校验),使之合格。全部结果应予以记录并应与制造厂家的规格书一致,这些还应符合 7.8 中给出的要求。

7.2.2.3 对于未在工作筒上制造的骨架分段,对其内径(ID)应至少每 10 m (32.8 ft)进行一次测量和记录,其公差应在 7.8 规定的范围之内。对于在内压护套的外部或外护套的外部成形的骨架,如果不可

能测量其内径,则可测量其外径。

7.3 聚合物挤压

7.3.1 总则

7.3.1.1 热塑性材料应按照制造厂家记入文件的程序进行挤压。每次挤压应使用有效的调整板进行控制,该调整板对所有依据材料和产品尺寸而产生的基本变化进行调整。制造厂家应使用记入文件的记录表明,在聚合物材料和壁厚方向受到挤压时在相关层中不会产生有害的褶皱。

7.3.1.2 制造厂家宜保证挤压仅发生在底层外表面并且符合制造厂家的挤压程序。

7.3.1.3 在挤压期间,应对下述工艺参数进行监控和记录,并且应符合制造厂家的规格书要求:

- a) 原材料湿度控制设备的温度和压力(或露点);
- b) 挤压机螺旋进料速率(或螺旋每分钟转数);
- c) 挤压机柱体温度;
- d) 挤压机柱体压力;
- e) 挤压机十字头温度;
- f) 挤压机十字头压力;
- g) 输送速率;
- h) 冷却水温度。

7.3.1.4 制造厂家应以测试保证在挤压工艺开始之前吸水材料的含水量是在供货者规定的允许限度之内。如果使用 PA-11,含水量应按 ASTM D 789 或 ASTM D 4019 的程序进行测试,并且应符合制造厂家的规格书的要求。

7.3.1.5 以排气为目的的对中间层穿孔所用的任何程序和工具应不会造成底层的缺陷(见 7.2.2.1)。穿孔时宜使用加热的工具以熔化方式进行。

7.3.2 检验和验收标准

7.3.2.1 外观检查

7.3.2.1.1 制造厂家的规格书应以文件形式按类别(单独或成组)、尺寸、材料厚度方向的位置、缺陷之间的距离和数目来提供验收标准。对聚合物层外表面应进行外观检查以识别缺陷,其中包括表面缺陷、气泡、夹杂物(黑色斑点)、变色、表面不规则性、焊缝挤出、模具擦痕、模具流出物、缺口和压痕。任何缺陷应在制造厂家规定的验收标准范围之内。

7.3.2.1.2 任何缺陷的最大尺寸或缺陷的组合应保证层的剩余厚度至少等于最小设计厚度。

7.3.2.2 尺寸测量

对于挤压层的厚度和直径测量,在最初的 50 m(164 ft)范围应至少每 10 m(32.8 ft)记录一次。随后,厚度和直径的测量和记录应按制造厂家确定并可接受的间隔进行。测量应在冷却过程之后进行。

7.3.2.3 试验要求

7.3.2.3.1 对于金属层上的挤压,受挤压的内压护套应经过连续高压火花试验或等效试验以检查探测 1 mm(0.039 in)或更小的孔。表面缺陷探测器应在聚合物层材料和厚度方向受到挤压之前进行校准,探测器应装备音响警报。

7.3.2.3.2 对于内压和外护套层的每一次挤压,应在开始和结束时从挤压部分各取至少 3 个试样进行抗拉强度和延伸率试验(例如按照表 11 列出的程序)。试样在试验之前应在大气温度下储存至少 6 h。所有试验结果应进行记录并符合制造厂家的规格书。

7.4 承压和抗拉铠装层

7.4.1 总则

7.4.1.1 制造厂家应以文件形式记录承压铠装和抗拉铠装往管上缠绕的程序,程序应保证扁平、圆形或成型钢丝的放置满足设计要求。程序应包括对于缠绕前钢丝条件及完成层条件的要求,使完成层和底层或上层满足制造厂家规格书的要求。

7.4.1.2 程序应规定所有将受到监控和记录的参数和允许公差,监控和记录的间隔由制造厂家规定并且是可接受的。记录值应符合制造厂家的规格书的要求。作为最低限度,直径和螺距(或布设角度)应进行测量。

7.4.1.3 所有焊缝沿管长方向按照制造厂家的规格书进行交错排列,为此应规定焊缝之间的最小间距。

7.4.2 检验和验收标准

7.4.2.1 承压和抗拉铠装层应按 7.2.2.1 要求进行外观检查。

7.4.2.2 对于最初的 50 m(164 ft)范围,对外径应至少每 10 m(32.8 ft)测量和记录一次,随后的间隔由制造厂家规定并且是可接受的。结果应在 7.8 规定的公差范围之内。

7.5 抗磨和绝缘层

7.5.1 总则

制造厂家应保证抗磨层、用于辅助制造的带状层和绝缘层符合有文件记录的程序的要求。程序应包括对于钢带使用和挤压成型条带重叠的控制和监测要求,并且应对缺陷的验收标准形成文件。

7.5.2 检验和验收标准

7.5.2.1 抗磨和绝缘层外表面应在整个长度上对缺陷进行外观检查,包括失效、扭曲、褶皱和连锁不足(对于成型的绝缘条带)。检验出来的缺陷应符合制造厂家规格书的要求。条带的连锁不足是不能接受的。

7.5.2.2 对于最初的 50 m(164 ft)范围,对外径应至少每 10 m(32.8 ft)测量和记录一次,随后的间隔由制造厂家规定并且是可接受的。结果应在 7.8 规定的公差范围之内。

7.6 端部配件

7.6.1 总则

端部配件的制造、机加工、安装和检验中的所有作业应按照制造厂家的规格书执行,这些应满足下面规定的要求。

7.6.2 装配

7.6.2.1 在端部配件装配到管子上之前,所有暴露的表面应经过清洁、干燥和外观检查,并确认符合制造厂家规格书的要求。

7.6.2.2 对内压护套的一部分(该处装配在端部配件密封环下部)进行的任何机加工应不致产生缺口或降低护套厚度至最小设计厚度以下。对此区域应规定不圆度、壁厚变化和表面粗糙度的验收标准。

7.6.2.3 为保证焊接操作过程中防止环氧树脂或聚合物层过热,应建立控制要点并形成文件。

7.6.2.4 在环氧树脂混合之前,用于填充作业的所有设备都应经过校验保证其功能正常。应按供货者的规格书进行环氧树脂混合和固化。实施填充的方法应不会产生空隙。端部配件中的排气孔应不被环氧树脂堵塞。

7.6.3 检验和验收标准

7.6.3.1 如果端部配件的装配要经过外观检查、尺寸控制和构件认定,则支撑点也应包括在内。所有检验结果应有文件记录。

7.6.3.2 对构件需要施加特殊的张紧力或扭矩时,应使用适当的、校准过的设备进行验证以便获得该特殊值。

7.6.3.3 制造厂家应使用经过评定且记入文件的程序验证足够的环氧树脂注入到端部配件中,以便使端部配件中不存在影响其功能特性的空隙。注入的环氧树脂体积宜通过测量其质量进行校核。

7.6.4 NDE 和试验要求

7.6.4.1 对于主要的端部配件的最低 NDE(无损检测)要求应如下所述,并且全部结果应符合制造厂家规格书的要求:

- a) 全部表面:100%外观检查;

- b) 碳钢和低合金钢表面:100%磁粉检验,或100%渗透检验(如果几何形状不适宜进行磁粉检验);
- c) 焊缝重叠表面:100%渗透检验;
- d) 端部配件实体:100%超声波检验;
- e) 环状对焊焊缝:100%射线检验。

7.6.4.2 环氧树脂注入工作完成时,应至少从用于该端部配件的同一混合物中取三个试样。根据 ASTM D 695 进行的抗压强度试验结果应在制造厂家对固化环氧树脂规定的范围之内。

7.6.5 连接器

所有端部配件的连接器和构件应符合 ISO 10423、ISO 13628-4 或买方的规定,并满足 4.6.1.9 的要求。

7.7 特殊工艺

7.7.1 焊接

7.7.1.1 认证

7.7.1.1.1 所有焊接作业应由合格焊工按照制造厂家批准的程序施行。WPS、WPQR 和焊工资质应记入文件并可被买方审核。焊接工艺的合格条件应经过核查和批准,并且焊工资质记录应由有资格核查和批准所使用标准规范的第三方审核。对于施行自动焊接工艺或仅用于辅助制造的焊接,第三方对焊工资质的核查可由 ASNT 评定的二级(Level II)检查员代替。焊工和焊接工艺应按照 API Std 1104、ASME Section IX、EN 287-1、EN 288-3 或等效标准进行评定。程序应包括验收/拒收标准。

7.7.1.1.2 作为最低限度,对于用于低硫运营情况的扁平、圆形和成型钢丝的评定试验应包括外观检查、磁粉检验、双拉力试验和双面或侧导向弯曲试验。焊缝抗拉强度试验结果应至少为制造厂家为设计规定的最小合格焊缝抗拉值。最小抗拉值应包括在 WPS 中。导向弯曲试验用圆筒的直径大小应使焊缝区承受足够的机械应力以表明焊缝质量。对于含硫运营情况,除上述试验以外,应另外进行宏观组织和硬度的测量。宏观组织试件应进行抛光、冲蚀并至少放大 10 倍进行检验。硬度试验应使用同样的试件进行。每一次试验应至少在熔合或搭接线、HAZ(热影响区)、HAZ 边缘和未受影响的母材处进行。硬度试验应给出 HV5 或 HV10(见 ASTM E 92)或 HV 500(见 ASTM E 384)。全部试验结果应符合制造厂家规格书的要求。

7.7.1.1.3 制造厂家应具有记录焊条的储存、搬运和干燥程序的文件。

7.7.1.2 金属层

7.7.1.2.1 无论何时焊机的配置发生变化,应至少进行两次试焊以便检验该配置。试件应经过生产中所用的全部热处理。试件焊缝应至少进行以下试验:

- a) 抗拉强度;
- b) 硬度(含硫运营情况);
- c) 弯曲;
- d) 染色渗透或磁粉;
- e) 如 7.7.1.2.3 中规定的外观检查。

7.7.1.2.2 弯曲试验以后,对非磁性合金应进行渗透检验,对磁性钢应进行磁粉检验。对位于弯曲外表面的焊缝 HAZ,可用放大 5 倍的外观检查代替磁粉检验。硬度试验应在具有最大冷变形的区域进行。对于骨架条带的焊缝,只需要进行外观检查。全部试验结果应记入文件并在制造厂家规格书的范围之内。

7.7.1.2.3 生产焊缝应沿全部条带宽度上具有光滑表面并显示出全部焊透。在该条带上应无弧坑、边缘冲蚀或烧焦。焊缝厚度应至少为板厚,至多超过表面 1 mm(0.039 in)。焊缝沿条带应形状一致并在焊趾处无咬边。制造厂家应保证骨架的连接焊缝表面光滑以防止挤压覆盖层造成的失效。

7.7.1.2.4 用于连接骨架和铠装层钢丝及条带的对接焊缝,以及骨架接合焊缝应满足以下检验要求:

- a) 骨架条带:100%外观检查;
- b) 骨架接合:100%外观检查;
- c) 钢丝:100%外观检查和磁粉检验。

7.7.1.2.5 钢材经过机械成型工具前应进行100%外观检查。焊缝外表面经过成型工具之后也应检查裂纹。裂纹是不允许的。

7.7.1.2.6 成型钢丝的对接焊应使用自动或半自动热压焊接设备进行。

7.7.1.3 聚合物层

7.7.1.3.1 对7.9中所允许的聚合物层的修理焊接,应按照制造厂家的合格程序进行,且该程序应适于买方审核。焊接工艺应包括验收/拒收标准。

7.7.1.3.2 聚合物焊接的修理应经过检验以证实层壁厚和表面条件符合制造厂家规格书的要求。

7.7.1.4 端部配件

所有环状对接或搭接焊缝应按照合格的和记入文件的程序进行。检验和试验要求应符合7.6.4.1中的规定。

7.7.2 热处理

钢丝和冷加工的或锻造的构件,为满足强度、可成形性、NACE适应性要求所进行的热处理应按照制造厂家规格书进行。热处理程序和图表应由制造厂家或分包商保存以便买方审核。

7.7.3 涂层

7.7.3.1 为减少因内、外或环形空间环境引起的腐蚀而用于端部配件构件的涂层,应遵守制造厂家记入文件的程序(其中应包括验收标准)。

7.7.3.2 对用于端部配件上金属涂层的检验合格程序应至少规定如下内容:

- a) 镀液成分;
- b) 热处理的温度和时间控制;
- c) 涂层硬度试验;
- d) 涂层附着力试验;
- e) 涂层表面截面分析的光学显微镜或推荐的类似方法;
- f) 涂层厚度测量;
- g) 证实涂层对腐蚀剂(例如海水和CO₂)阻抗的试验;
- h) 检查涂层表面缺陷的程序。

7.8 制造公差

7.8.1 制造厂家应以文件形式给出用于挠性管各层的公差。这些公差在设计过程中应进行核对以证明是可接受的,其中单独各层和管的功能要求不受规定公差范围内有关变化的影响。作为最低限度,对于下列参数应规定公差:

- a) 骨架:外径;
- b) 聚合物护套:厚度和外径;
- c) 承压和抗拉铠装:外径和螺距(或布设角度)。

7.8.2 挠性管长度的公差应符合规定的要求。

7.8.3 对于没有承压铠装的管,制造厂家应表明抗拉铠装钢丝之间的间隙满足设计要求的控制。

7.8.4 当尺寸标准是基于制造上的考虑而不是设计上的考虑时,制造厂家应以文件形式表明所用标准满足设计要求。

7.9 修理

7.9.1 制造厂家应具有文件形式的合格修理程序,并且这些程序可用于买方的审核。制造厂家应将附加试验和/或计算记入文件中表明挠性管的修理不会损害结构或管的长期要求。

7.9.2 内压护套应不允许修理;如果发现不能接受的缺陷,应将整个层除去。除去过程应经过买方审

查。如果最终厚度符合规定层公差并且保证达到正常表面,则内压护套可通过机械方法去除表面不均匀度或局部超出厚度。

7.9.3 中部或外部聚合物中较小的缺陷是允许的。聚合物粘接应按 7.7.1.3 中的规定来实施。修理应按合格的程序进行。应允许买方检验实施的全部修理工作。

7.9.4 铠装金属的焊接缺陷应进行修理,方法是切除焊缝和热影响区并按照规定程序重新焊接。如果应用合格的修理程序并且外观检查证实焊缝修理是可接受的,则骨架条带焊缝的修理允许在成型之前进行。对修理焊缝的检验应按 7.7.1 中的规定进行。

7.9.5 对表面防护涂层失效的修理程序应供买方审核。

7.9.6 对接焊缝应满足 7.7.1.4 中给出的要求。除非买方规定不进行修理焊接,否则修理焊接应符合 ISO 10423,PSL 2-3 有关承压情况下修理焊接部件的要求。

7.9.7 用于除去有缺损层的工具应保证缺损不会传至下面的层。当除去挤出的护套时,应特别注意不要让刀具接触到下面的铠装。

8 文件

8.1 总则

8.1.1 对于材料和制造的文件要求应符合 GB/T 21445 本部分有关条款的规定。

8.1.2 制造厂家应为买方提供下述有效文件并宜在规定时间内为买方提供:

- a) 设计前提:管的设计开始前提供;
- b) 设计荷载报告:制造开始前提供;
- c) 设计报告:制造开始前提供;
- d) 制造质量计划:制造开始前提供;
- e) 制造规格书:制造开始前提供;
- f) 完工文件:随管提供;
- g) 操作手册:交货前提供。

8.2 设计前提

设计前提应包含表 15 中规定的参数。如果制造厂家根据假设自定了表 15 中的某些参数,则在设计前提中应提出哪些值是假设的。

表 15 设计前提的文件要求

参 数	注 释
内部流体参数	所有相关的内部流体参数,至少包括表 1 中规定的要求参数
外部环境	所有相关的外部环境参数,至少包括表 2 中规定的要求参数
系统描述	所有相关的系统参数,至少包括 4.6 规定的要求参数
使用寿命	如果有关,则包括维修和更换计划
设计荷载工况定义	在制造、储存、运输、测试、安装、操作和修补期间对于挠性管系统所有可能的荷载工况应予以说明。应建立用于校验挠性管系统每一部件的矩阵表明并确保其满足第 5 章中的要求
确定偶然事件	应规定所有偶然事件及其与其他荷载(功能和环境)的组合。荷载工况应包括在荷载工况矩阵中
设计准则	应对管的每一层和构件规定安全储备和结构性能要求,并确保符合第 5 章中的要求
分析参数	应包括水动力系数、结构参数(例如阻尼模型)、水力波模型和海床参数(例如摩擦因数)

8.3 设计荷载报告

设计荷载报告应包括设计前提中规定的荷载工况分析结果。应对每一设计荷载工况记录应力和应

变及计算结果。设计荷载报告可编入设计报告中。

8.4 设计报告

8.4.1 设计报告应包括每一管构件的详细说明(包括图纸)。该说明应包括管的逐层说明,含材料、钢丝横断面、布设角度、直径、厚度和钢丝数量等。

8.4.2 除非材料规格书是单独发出的,否则设计报告应包括材料规格书和有关数据。材料数据应包括屈服或拉伸强度和动态应用的疲劳参数(S-N 曲线斜率、截距和疲劳承受极限),并且鉴别出可能对材料产生不利影响的流体组成。

8.4.3 应以文件表明每一构件具有承受设计荷载报告中列出的设计荷载和应力的足够结构性能,并且具有设计前提中规定的安全储备。

8.4.4 设计报告应规定挠性管的下述性能:

- a) 直径(内径和外径);
- b) 每米质量[在空气中(中空及充海水状态),和在海水中(中空及充海水状态)];
- c) 设计压力;
- d) 设计温度;
- e) 设计水深;
- f) MBR(储存及操作状态);
- g) 轴向刚度(作为压力和温度的函数,分为抗拉和抗压两种刚度);
- h) 抗弯刚度(作为拉力、压力和温度的函数);
- i) 抗扭刚度(作为扭转方向、拉力、压力和温度的函数)。

8.4.5 如果买方做出规定,设计报告中应确定挠性管的下述性质:

- a) 许用拉力(作为弯曲半径的函数);
- b) 许用轴向压缩;
- c) 许用挤压(径向);
- d) 许用扭转(如果适用,作为相关参数的函数);
- e) 引起轴向和径向膨胀的压力和温度;
- f) 引起扭转的压力和拉力。

8.4.6 设计报告中应包括独立确认机构对设计方法原理(见 5.2.2)出具的证明文件。

8.5 制造质量计划

制造质量计划应规定所有质量控制程序,包括检验点和测试程序。制造质量计划可包括在制造规格书中。

8.6 制造规格书

制造规格书应说明制造过程中的每一步骤,包括焊接、热处理、NDE 的类型范围和验收标准、FAT 程序、制造方法和允许的修理程序。规格书应确保挠性管符合设计要求。

8.7 完工文件

完工文件至少应包括下述内容:

- a) 定货单参考号;
- b) 设备说明;
- c) 有关的设计规格书和图纸;
- d) 材料的合格证书;
- e) 尺寸控制测量,包括连续过程的统计参数;
- f) FAT 结果;
- g) 制造期间识别出的全部不符合项,以及实施的修理;
- h) WPS 及合格证书;

- i) 焊工资质记录;
- j) 焊缝图;
- k) NDE 操作者资质及 NDE 记录;
- l) 热处理记录。

8.8 操作手册

8.8.1 对系统应准备操作手册,并应说明按制造厂家或买方规定的全部维修任务和限制,以及紧急程序,包括用于在安装船甲板上的修理程序。手册应至少包括下述内容:

- a) 逐层说明(材料规格书、厚度、布设角度、钢丝数量等);
- b) 直径(内径和外径);
- c) 每米长度质量(空气中的中空和充海水状态,以及海水中的中空和充海水状态);
- d) 最低和最高设计压力,以及测试压力(在设计压力为绝对值或压差时规定);
- e) 最低和最高设计温度;
- f) 设计水深;
- g) 安装要求;
- h) 界面要求;
- i) 修理程序;
- j) 装卸、储存、卷绕/打开程序;
- k) 排气系统说明及渗透速率;
- l) 泄压速率(用于气体);
- m) 内部流体成分的限制(包括 H₂S 和 CO₂)和缓蚀剂;
- n) 清管和 TFL 性能;
- o) 许用荷载;
- p) 管中海水存在或含缓蚀剂海水的最大持续时间,及对缓蚀剂的要求;
- q) 关于完工文件的参考资料。

8.8.2 如果买方需要单独的安装手册,则应予以提供,且其中应以文件形式提出安装程序。

9 工厂验收试验

9.1 总则

9.1.1 挠性管应经过工厂验收试验,包括应用条件下的测径、静水压、电气联通、电阻和排气系统试验,以证明管是按照 GB/T 21445 的本部分要求制造的。制造厂家应适时通知买方,以令其可以选择时间亲临现场观看全部测试工作。

9.1.2 应对所有的管进行静水压试验。应对施行阴极保护的管进行电气联通和阻抗测试。测径和阻抗测试只对粗糙腔结构进行。应对具有排气阀的管或安装在端部配件内的管段进行排气系统试验。

9.1.3 制造厂家的规格书应规定安装完端部配件(包括环氧树脂处理)与开始 FAT 之间的最短时间间隔。FAT 程序应适应这一最短时间间隔。

9.1.4 应向买方提交一份含每个 FAT 的报告。在试验报告中应包含试验设备的有效性和当时校准的证明文件。所有记录压力的设备应每三个月至少用呆荷重校正器校准一次。

9.1.5 如果试验未能满足验收标准,应调查失败原因并向买方提交报告。报告中应包括建议的改正措施。买方既可以拒绝接收管也可以要求重新试验。

9.2 测径试验

9.2.1 程序

9.2.1.1 测径试验应在静水压试验之前进行。测径清管器设备应具有能够探测任何不允许障碍的圆盘。

9.2.1.2 测径清管器设备的最小直径至少为标准内径的95%或比内径小10 mm(0.394 in)[对于内径小于200 mm(7.874 in)的管]。测径清管器设备的圆盘厚度应介于5 mm(0.197 in)和10 mm(0.394 in)之间。

9.2.2 验收标准

测径清管器的盘应通过所有的管孔。在此过程中允许出现刻痕和擦痕,但不允许有凹痕。

9.3 静水压试验

9.3.1 程序

9.3.1.1 静水压试验压力应为设计压力的1.5倍。除非另有规定,否则用于试验的液体应为经100 μm滤器过滤的且氯含量低于50 mg/kg的饮用水。如果要求保护内部骨架材料,应控制使用化学品。不过可以添加适当的染料以利于探查泄漏。

9.3.1.2 根据制造厂家的程序,封闭在管内的空气应除去。

9.3.1.3 压力应逐渐增加,速率不得高于制造厂家程序,且达到不高于110%标准试验压力的程序,并稳压至少2 h以提供稳定作用。必要时,压力应循环达到这一压力直至达到稳定。在超过1 h的期间内压降小于1%时将认为是稳定的。然后压力应增加至标准试验压力和110%标准试验压力之间的压力。

9.3.1.4 试验的计时应在设备和压力监测仪表与压力源隔离时就开始进行。

9.3.1.5 静水试验压力应稳压不少于24 h。试验期间,压力和温度(环境和内部)应至少每30 min记录一次。减压应按制造厂家试验程序规定的速率进行。

9.3.1.6 减压以后,端部配件区域应经外观检查以判断管和端部配件是否存在永久变形或失效的迹象。

9.3.1.7 如果清管器用于填充或清空管,则应检验清管器皮碗是否失效和磨损。失效和过度的磨损应记录并报告买方。在进行流体试验以后,如果残余的流体试验用水可能结冰,则宜用清管器除水。

9.3.2 验收标准

无论何种原因引起的压力损失,包括外部温度波动,在24 h期间的开始时刻应不超过压力的4%。在试验期间管或端部配件环形空间排气孔应没有可观察到的泄漏。在端部配件区域应没有可观察到的永久变形或失效。

9.4 电气联调和阻抗测试

9.4.1 程序

9.4.1.1 电气联调和阻抗测试应在静水压试验以后进行。但是如果买方有规定,在静水压试验以前也宜进行此项试验。

9.4.1.2 电气联调试验应在两个端部配件之间进行。阻抗测试应在端部配件与骨架之间进行。电气联调和电阻的测量应进行记录。

9.4.2 验收校准

内部骨架和端部配件之间的电阻应大于1 kΩ。端部配件之间的电阻按管长度计应小于10 Ω/km。

9.5 排气系统试验

9.5.1 程序

9.5.1.1 本试验应表明用于释放管的环形空间所集结压力的排气系统(包括阀门)功能正常。本试验应在静水压试验之后进行。

9.5.1.2 应将空气或氮气以排气系统的设计压力泵入一个端部配件。应在另一个端部配件处检验气体释放并单独试验该端部配件的所有阀门。随后此程序应从管的另一端重复。

9.5.1.3 本程序对于很长的管可能不适用。此时可采用能被证明满足同样总体要求的替代程序。所用程序应以文件形式记入制造厂家编写的规格书中。

9.5.2 验收标准

应确保所有阀门能释放气体。能够排气的入口压力应小于50%的文件规定破裂膜片失效压力。

10 标记和包装

10.1 标记

挠性管两端的端部配件应进行标记并且在管的规定使用寿命期间内永远是可辨认的。标记的最低要求如下：

- a) GB/T 21445.2；
- b) 管的序列号；
- c) 制造厂家的名称或标记；
- d) 制造日期。

此外,下述标记也可使用：

- a) 安装和测量期间供参考的沿长度规则间隔的环形标记；
- b) 利于评估扭曲的立管上的纵向条带。

10.2 包装

10.2.1 挠性管应按制造厂家编写的规格书进行包装。如果以缠绕或转盘方式储存,则管的弯曲半径不得小于储存状态 MBR。端部配件和连接器用加厚包装加以保护。管的两端应密封。制造厂家的规格书应包括安装在管上的整体构件(包括抗弯加强器)的储备和包装程序。储存盲板,绳索,卸扣和其他需要的装卸设备应在包装程序中确定。制造厂家编写的规格书应包括用于管安装的控制缠绕反张力和卷绕密集度的程序。

10.2.2 包装应预见到挠性管在户外储存时遇到的环境事件并起保护作用。宜使用保护性覆盖物。挠性管和端部配件不宜伸出输送卷筒的边缘,以避免磨蚀性失效。

10.2.3 如果管打开卷缠安装并自由充水,则船上的端部配件应开启排气口。

附录 A
(资料性附录)
购 货 指 南

- A.1 本附录的表 A.1 给出包括购货指南的表格实例。
 A.2 对于每一长度的挠性管,宜完成一个分开的表格。
 A.3 对于买方未规定的表 A.1 中参数的各个数值,制造厂家宜在设计前提中规定。

表 A.1 挠性管购货指南

一般数据	客户:	客户参考资料:	
	项目:	地址:	
	询问日期:	要求回答日期:	
	买方技术联系人:	电话: 传真:	
一般设计参数	内径/m		
	要求长度/m		
	要求长度公差(±)/m		
	最大轴向荷载/kN		
	最大有效拉力/kN		
	要求扭力平衡/[°/m]		
	要求抗压强度/kN		
	管结构要求(MBR,抗弯刚度等)		
	空气中空管质量要求/(kg/m)		
	外部保护要求(外部骨架等)		
使用寿命/年			
设计荷载工况概率(1年,100年等)			
——安装			
——正常操作			
——非正常操作			
正常和非正常荷载工况说明,包括偶然荷载,以及设计用荷载组合定义:			
内部流体参数	流体描述(油、气、水等)		
	流动状态描述(单相,段塞流等)		
	流动方向		
	压力:		
	——设计压力/MPa		
	——操作压力/MPa		
	——真空条件/MPa		
——内部压力差/MPa			
温度:			
——最低设计温度/°C			
——最高设计温度/°C			
——操作入口温度/°C			
——温度扰动和温度循环/°C			

表 A.1 (续)

内部流体参数	<p>使用说明:</p> <ul style="list-style-type: none"> ——描述(低硫/含硫) ——ANSI/NACE MR 0175 是否适用(是/否) ——H₂S 分压/MPa ——CO₂ 分压/MPa ——水相 pH 值 ——TAN(以 KOH 表示)/(mg/g) 	
	<p>流体组成数据:</p> <ul style="list-style-type: none"> ——NaCl 含量(水中质量分数)/% ——氯含量/10^{-6} ——气-油比/(m³/m³) ——含水量(质量分数)/% ——含醇(是/否) ——芳香族成分(是/否) ——腐蚀剂(是/否) ——缓蚀剂(结垢、石蜡等)(是/否) ——固体,沉淀等(是/否) ——注入化学品(是/否) <p>注: 如果可能,附上使用寿命期间所有流体组成数据及其预期的变化的详细情况。 同样,附上流体组成中每一芳香族成分,腐蚀剂,缓蚀剂,醇类,固体或注入化学品的详细情况。</p>	
	<p>流动速率和热计算:</p> <ul style="list-style-type: none"> ——流动速率/(m³/d) ——流体密度/(kg/m³) ——黏度/(Pa·s) ——最低入口压力/(MPa) ——要求出口压力/(MPa) ——流体热容/[kJ/(kg·°C)] 	
外部环境 (静荷载)	<p>水深:</p> <ul style="list-style-type: none"> ——设计水深/m ——最小潮位变化/m ——最大潮位变化/m <p>注: 附上挠性管线路由水深变化的详细情况。</p>	
	<p>海水数据:</p> <ul style="list-style-type: none"> ——密度 ——pH 值 ——温度: <ul style="list-style-type: none"> ——表层最低/°C ——表层最高/°C ——海床最低/°C ——海床最高/°C 	
	<p>气温:</p> <ul style="list-style-type: none"> ——最低温度/°C ——最高温度/°C ——储存/运输/安装温度/°C ——最低/最高 	

表 A.1 (续)

外部环境 (静荷载)	<p>土壤数据:</p> <ul style="list-style-type: none"> — 土壤描述(黏土,砂等) ——土壤抗剪强度/kPa ——内摩擦角/(°) 横向摩擦因数 ——纵向摩擦因数 ——海床冲刷/沙波产生(是/否) <p>注: 如果可能,附上海床剖面。</p>	
	<p>考虑海生物(是/否)</p> <p>注: 如果考虑,附上详细情况。</p>	
	<p>考虑冰的效应(是/否)</p> <p>注: 如果是,附上详细情况。</p>	
	<p>暴露于阳光中(是/否)</p>	
	<p>附上流数据(是/否)</p> <p>注: 附上的流数据宜为水深、方向和重现期的函数。</p>	
动荷载	<p>附上波浪数据(是/否)</p> <p>注: 附上的波浪数据包括有效波、最大波、相应周期,散射函数,扩散图,并且为方向和重现期的函数。对于不规则海况宜规定海浪谱数据。</p>	
	<p>附上风数据(是/否)</p> <p>注: 附上的风数据宜包括 3 s、1 min、10 min 和 1 h 最大风速,作为方向、水平面以上高度和重现期的函数。</p>	
总体系统要求	<p>系统描述(出油管、立管、跨接管线、海底、上甲板等)</p>	
	<p>应用确定(静态/动态)</p>	
	<p>管腔描述(粗糙腔/光滑腔)</p>	
	<p>防腐要求:</p> <ul style="list-style-type: none"> — 需要防腐(是/否) —— 需要阴极保护系统(是/否) —— 需要电气联接(是/否) —— 端部配件需要涂层(是/否) —— 外涂层描述 —— 内涂层描述 <p>注: 如果可能,宜规定允许电阻、保护电位、电流源和电流。</p>	
	<p>热绝缘:</p> <ul style="list-style-type: none"> —— 要求热绝缘(是/否) —— 要求出口温度/°C —— 要求绝缘 U 值/[W/(m²·K)] <p>注: 绝缘 U 值宜基于管内径并且仅用于管。给出可能产生外部因素(如土壤)的裕量。</p>	
	<p>排气:</p> <ul style="list-style-type: none"> —— 排气要求(是/否) —— 系统构件(阀,破裂膜片等) —— 允许渗透速率/[L/(m·d)] —— 排气位置限制(是/否) —— 气体监控系统(是/否) 	

表 A.1 (续)

总体系统要求	耐火性要求(是/否, Lloyds/DNV/API Spec 16C)	
	清管、TFL, 修井等要求(是/否)	
	并接要求(是/否) 注: 如果是则附上详细情况。	
	限制承压和抗拉铠装焊缝位置(是/否)	
	连接器: ——下连接器类型(法兰、管子等) ——上连接器类型(法兰、管子等) 注: 附焊接规格书、密封类型和尺寸, 以及构件的供应和安装责任。	
	界面确定/规格书(参见 4.6.1.10)	
	放热化学反应清洗要求(是/否)	
	检验/条件监控要求(是/否) 如果是, 给出要求的详细情况:	
出油管参数	附上出油管路由描述(是/否) 导向和支撑(I形管, J形管等)	
	防护要求: ——防止偶然荷载冲击(是/否) ——挖沟(是/否) ——抛石 ——防护垫(是/否) ——其他(是/否), 注: 附规定防护系统的详细情况, 包括总布置图、可能的偶然事件(拖网船、落物、锚等), 和设计冲击荷载。	
	校核坐底稳定性(是/否)	
	校核隆起屈曲(是/否) ——要求最小土壤覆盖厚度/m ——允许弯曲半径/m ——附荷载工况(是/否)	
	交叉要求(是/否)	
需要的管附属装置(弯曲限制器, 夹具等) 注: 宜附上各项图纸。		
立管参数	立管形态(懒S形, 陡波形等) 注: 宜附上立管配置描述和总布置图的所有相关详细情况。	
	立管上部连接描述(平台, 油轮等)	
	立管下部连接描述(海床、浮体等)	
	需要的管附属装置(抗弯加强器、浮体等) 注: 附各项图纸。	

表 A.1 (续)

<p>立管参数</p>	<p>附船体运动数据(是/否) 注: 附上的船体运动数据宜按下述有关荷载条件规定: —— 船体各方面的静态和动态偏移; 船体数据、尺寸、吃水深度等; —— 船体一阶和二阶运动,按升沉、纵荡、横荡、首摇、横摇、纵摇各项; —— 船体运动相位数据和规格书; —— 运动参考点; —— 系泊系统设计,包括缆绳性能和锚位; 定位误差。 所附数据宜包括一个总布置图,表明船首方向、正北向、立管平面图及系泊缆绳</p>	
	<p>需要检验干扰/碰撞(是/否) 注: 附上所有可能的干扰区的详细情况,包括其他立管、系泊缆绳、平台腿柱、浮体、浮筒、油轮侧倾等,并规定允许的干扰/碰撞。</p>	
<p>附加要求</p>	<p>除 GB/T 21445 本部分以外的材料要求(是/否) 如果是,规定详细情况:</p>	
	<p>除 GB/T 21445 本部分以外的制造要求(是/否) 如果是,规定详细情况:</p>	
	<p>规定不允许实施修理的焊缝(见 7.9.6):</p>	
	<p>除 GB/T 21445 本部分以外的 FAT 要求(是/否) 如果是,规定详细情况:</p>	
	<p>除 GB/T 21445 本部分以外的标记要求(是/否) 如果是,规定详细情况:</p>	
	<p>需要原型试验(是/否) 如果是,规定详细情况:</p>	
	<p>附加的国家机关/政府规定(是/否) 如果是,规定详细情况:</p>	
	<p>买方检验要求(是/否) 如果是,规定详细情况:</p>	

表 A.1 (续)

附加要求	除 GB/T 21445 本部分以外的附加一般要求(是/否) 如果是,规定详细情况:	
交货,安装 和维护要求	交货要求:	
	装运,包装和储存要求:	
	文件要求: 注:如果需要个别的安装手册则买方宜予以规定。	
	安装要求: ——方法 ——浮体 ——总则 注:对于相关之处,买方宜规定对于季节、环境、浮体限制、由于冲突活动引起的限制,以及安装范围(包括挖沟、埋设、试验、检验、调查和文件)的任何要求。	
	安装设计准则: ——装置弯曲半径/m ——张紧装置破坏荷载/kN	
	安装/起吊设备要求: 安装时应用运输卷筒(是/否); 交付时管内流体(清空/充水); 海水淹没要求(是/否,暴露时间); 注:对于有关之处,买方宜规定详细情况,如张紧装置长度、张紧装置垫块形状、传动带数量、运输滚筒直径、滑道角度及表面形状等。	
	安装试验要求:	
	附加安装船舶运动和偏移(是/否) 注:附加的详细情况一般宜反映上述浮体运动数据要求中对数据的要求(立管参数)。	
	维护要求(是/否) 如果是,规定详细情况:	

附录 B
(资料性附录)
抗弯加强器和弯曲限制器

B.1 总则

本附录给出挠性管应用中采用的非整体抗弯加强器和弯曲限制器在设计、材料选择、制造、试验和标记方面的指南。本指南的范围如第 1 章的规定。对于本附录未给出的特殊指南,宜参考对挠性管所规定的要求。本附录不包括钟形口。对钟形口的指南见 ISO 10420[29]。

B.2 功能要求

- B.2.1** 弯曲限幅器的制造厂家宜表明弯曲限幅器满足 4.2.1 中对挠性管规定的功能要求(如果适用)。
- B.2.2** 抗弯加强器一般仅用于动态应用,弯曲限制器一般仅用于静态应用。
- B.2.3** 弯曲限幅器的制造厂家宜通过与买方和/或挠性管的制造厂家协商来确定弯曲限幅器的设计。表 B.1 的购货指南可用于规定设计要求。
- B.2.4** 抗弯加强器的设计荷载宜根据有效张力及角度对平均值的偏离来确定。宜参见第 5 章对挠性管规定的荷载工况,对足够数目的张力与角度组合进行分析以覆盖所有可能的荷载工况。而弯曲限制器的设计荷载宜根据弯矩、剪力以及可能出现的冲击荷载来确定。
- B.2.5** 弯曲限幅器的设计者宜规定所有必要的安装器具。

表 B.1 弯曲限幅器购货指南

参 数	弯曲限制器	抗弯加强器	数值/详情
一般信息:			
--- 客户	✓	✓	
— 位置	✓	✓	
— 项目	✓	✓	
— 日期	✓	✓	
挠性管数据:			
--- 外径及公差/m	✓	✓	
— 结构性能及由于温度、压力及其他效应引起的变化	✓	✓	
— 储存和操作 MBR/m	✓	✓	
--- 外护套材料	✓		
端部配件/支撑结构尺寸和公差	✓	✓	
界面要求(终端装置,防腐系统,静态偏移角度等)	✓	✓	
设计限度/要求:			
--- 弯曲限幅器最大长度/m	✓	✓	
— 弯曲限幅器外径/m	✓	✓	
— 支撑点最大弯矩/(kN·m)	✓	✓	
--- 几何限制(是/否)	✓	✓	
— 最大接触压力/MPa	✓		
内部流体温度(最高内部设计条件)/°C	✓	✓	

表 B.1 (续)

参 数	弯曲限制器	抗弯加强器	数值/详情
外部环境数据:			
— 介质(空气或海水)	✓	✓	
— 水深/m	✓	✓	
— 最低/最高设计温度/°C	✓	✓	
— 暴露于阳光(是/否)	✓	✓	
荷载工况:			
— 设计	✓	✓	
— 疲劳	✓	✓	
— 冲击(偶然)	✓		
使用寿命	✓	✓	

B.3 设计推荐作法

B.3.1 弯曲限幅器的设计方法宜形成文件并经过试验或有限元分析校验。设计方法宜由第三方审核。

B.3.2 设计方法宜说明磨损(磨蚀)、腐蚀、制造工艺、收缩、蠕变和老化(由于力学、化学和热降解作用)的效应,除非已有文件表明设计不受这些效应的影响。设计方法还宜说明非线性材料性能的效应,特别是抗弯加强器材料的非线性弹性模量。

B.3.3 对于抗弯加强器,设计方法宜考虑如下失效形式:

- a) 与金属构件任意界面的剥离或破裂;
- b) 弹性体材料的破裂或裂纹;
- c) 长期材料性能(老化);
- d) 疲劳;
- e) 端部配件或支撑法兰安装失效。

B.3.4 弯曲限制器的设计方法宜考虑 B.3.3c)和 e)中给出的失效形式。设计宜保证沿弯曲限制器长度传递的弯矩和剪力不会损坏位于弯曲限制器两端的管子。

B.3.5 弯曲限幅器的设计宜满足 B.2 中给出的功能要求而且无永久变形或力学性能的降低。作为最低限度,弯曲限幅器制造厂家宜表明其设计在所有可能的温度和挠性管弯曲刚度的组合条件下满足规定要求。宜以文件形式表明抗弯加强器端部成椭圆形时,其性能不受影响。

B.3.6 弯曲限幅器制造厂家宜表明,对于所有可能的荷载工况组合,弯曲限幅器的设计满足 5.3.1.6 和 5.3.1.7 中对 MBR 的要求以及表 7 中的设计要求(允许利用系数)。

B.3.7 弯曲限幅器的设计宜与所有挠性管和端部配件的有关尺寸兼容。设计宜满足挠性管制造厂家或买方规定的任何弯曲限幅器内径的公差。

B.3.8 宜以文件形式表明弯曲限幅器所有构件的公差不会导致应力或应变的增加超过规定的允许值。

B.3.9 如果弯曲限幅器是附在支撑结构上,如端部配件,则设计弯曲限幅器时宜使荷载安全地传递到支撑结构上。弯曲限幅器可根据需要在远离端部配件的位置直接夹固到管子上;在这种情况下夹固系统的设计宜保证管子不会受到损坏。弯曲限幅器的设计保证其在轴向受到限制。

B.3.10 对于动态应用,宜进行疲劳寿命计算或疲劳试验。预期的疲劳寿命宜至少 10 倍于规定的使用寿命。

B.4 材料和制造

B.4.1 弯曲限幅器的主要构件一般用聚合物材料制造(对于抗弯加强器为弹性体材料),并满足 B.3 中规定的性能要求。聚合物材料可被加强。

B.4.2 对于规定的设计温度范围,对聚合物材料性质的要求宜至少包括下述几点:

- a) 抗拉强度,见 ASTM D 2240[20];
- b) 断裂时的延伸率,见 ASTM D 638[7];
- c) 扯裂强度,见 ASTM D 790[12];
- d) 弹性模量,见 ASTM D 790[12];
- e) 应力-应变曲线,见 ASTM D 624[6];
- f) 硬度,见 ASTM D 792[13]或 ASTM D 1505[17];
- g) 冲击强度,见 ASTM D 638[7];
- h) 热扭曲温度,见 ASTM D 256[4];
- i) 密度,见 ASTM D 648[8]。

B.4.3 弯曲限幅器的所有材料在规定的使用寿命期间宜适用于规定的设计温度并宜能够抵抗海水、化学品和紫外线辐射的作用,达到可以应用的条件。

B.4.4 针对可应用的地方,弯曲限幅器的制造厂家宜对吸水、水解作用、蠕变和温度对用于弯曲限幅器主要部分的弹性体材料的效应进行试验并记入文件,并证实该材料对于规定应用的适用性。

B.4.5 所有金属构件在规定使用寿命期间都宜防腐,可以通过材料选择、合适的涂层、阴极保护系统或其组合达到目的。

B.4.6 弯曲限幅器制造厂家的规格书宜规定弯曲限幅器制造中所有步骤的工艺控制要求。弯曲限幅器制造厂家的质量计划宜规定检验目标、检验方法和验收标准。所有检验结果宜进行记录。弯曲限幅器制造厂家宜记录制造过程中每一不符合项。

B.4.7 抗弯加强器的制造程序宜保证弹性体材料联接到内部金属构件上。宜论证在使用寿命期间联接满足操作要求。

B.4.8 弯曲限幅器制造中应用的注入工艺宜在结构中不留下可能影响其功能的空隙。

B.4.9 注入材料试件宜在生产过程按规定间隔提取并至少进行抗拉强度和硬度试验。试验结果宜记入弯曲限幅器制造厂家的规格书。

B.4.10 弯曲限幅器的所有构件宜进行外观检查。宜进行足够的尺寸测量并进行记录以保证弯曲限幅器的尺寸在弯曲限幅器制造厂家规定的公差范围之内。

B.4.11 弯曲限制器可进行 FAT(工厂验收试验),至少审核无荷载和最大荷载条件下的 MBR(最小弯曲半径)。所有试验结果宜与弯曲限幅器制造厂家的规格书相对应,在此情况下,满足 B.3 中给出的设计要求。对于抗弯加强器一般不进行 FAT,因为在没有挠性管情况下难以施加真实的荷载。

B.5 文件

B.5.1 弯曲限幅器制造厂家宜在规定时间向买方提供下述文件:

- a) 设计报告:制造前;
- b) 制造质量计划:制造前;
- c) 完工文件:随管提交。

B.5.2 设计报告宜提供足够文件以证实本附录的要求已得到遵守。另外,设计报告宜包括所有荷载工况的分析结果、弯曲限幅器的详细说明(包括图纸)和材料规格书文件。

B.5.3 制造质量计划宜规定所有质量控制程序,包括需要控制制造活动的检验目标和试验程序。

B.5.4 完工文件宜包括图纸、设计数据、尺寸检验报告、材料证明文件以及任何不符合项报告和决定。

B.6 标记和包装

B.6.1 弯曲限幅器宜进行标记使其在规定使用寿命期间是可辨认的。标记宜至少包括弯曲限幅器制造厂家名称和买方名称,序列号,制造日期和操作状态 MBR;作为可供选择的方案,如果空间有限,标记可简单地标出可追溯到该资料的独特序列号。

B.6.2 弯曲限幅器的包装宜保证其在安装前运输和储存的所有阶段的安全。

参 考 文 献

- [1] API RP 17B 挠性管推荐作法.
- [2] ASTM C 177 用护热板法测定稳态热传递特性的试验方法.
- [3] ASTM C 335 水平管绝缘稳态热传递特性的试验方法.
- [4] ASTM D 256 电绝缘材料的抗碰撞试验方法.
- [5] ASTM D 570 塑料吸水性的试验方法.
- [6] ASTM D 624 常规硫化橡胶和热塑性合成橡胶扯裂强度的试验方法.
- [7] ASTM D 638 塑料拉伸性能的试验方法.
- [8] ASTM D 648 边缘位置弯曲荷载作用下塑料挠曲温度的试验方法.
- [9] ASTM D 664 用电势滴定法测定石油产品的酸值的试验方法.
- [10] ASTM D 671 采用等幅力振动方法测试塑料挠性疲劳强度的试验方法.
- [11] ASTM D 746 冲击作用下塑料和合成橡胶脆性温度的试验方法.
- [12] ASTM D 790 增强型和非增强型塑料及电绝缘材料的扭转试验方法.
- [13] ASTM D 792 采用置换法测定塑料的密度和比重(相对密度)的试验方法.
- [14] ASTM D 974 用颜色指示剂滴定法测定酸碱值的试验方法.
- [15] ASTM D 1044 透明塑料表面耐磨性的试验方法.
- [16] ASTM D 1242 塑性材料耐磨性的试验方法.
- [17] ASTM D 1505 用密度梯度法测定塑料密度的试验方法.
- [18] ASTM D 1525 塑料维卡软化温度的试验方法.
- [19] ASTM D 1693 乙烯塑料的环境应力破裂的试验方法.
- [20] ASTM D 2240 橡胶特性的试验方法——硬度计测硬度.
- [21] ASTM D 2583 用巴氏压痕器硬度计测量硬质塑料的压痕硬度的试验方法.
- [22] ASTM D 2990 塑料的拉伸、压缩、弯曲蠕变和蠕变破裂的试验方法.
- [23] ASTM D 4060 用固定磨蚀试验机测定有机涂层抗磨性的试验方法.
- [24] ASTM E 328 材料和结构应力松弛的试验方法.
- [25] ASTM E 831 用热力学分析测量固体材料线性热膨胀的试验方法.
- [26] ASTM E 1269 用差示扫描量热法确定比热容的试验方法.
- [27] ASTM G 48 用氯化铁溶液测定不锈钢和相关合金耐麻点和裂隙腐蚀性的试验方法.
- [28] DNV RP B401 阴极保护设计.
- [29] ISO 10420:1994 石油天然气工业——海上立管用挠性管系统.
- [30] ISO 13628-3 石油天然气工业——海底生产系统的设计和操作——第3部分:过出油管(TFL)系统.

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
石 油 天 然 气 工 业 海 底 生 产 系 统
的 设 计 和 操 作
第 2 部 分：用 于 海 底 和 海 上 的 挠 性 管 系 统
GB/T 21445.2—2008/ISO 13628-2:2000

*

中 国 标 准 出 版 社 出 版 发 行
北 京 复 兴 门 外 三 里 河 北 街 16 号
邮 政 编 码：100045
网 址 www.spc.net.cn
电 话：68523946 68517548
中 国 标 准 出 版 社 秦 皇 岛 印 刷 厂 印 刷
各 地 新 华 书 店 经 销

*

开 本 880×1230 1/16 印 张 3.5 字 数 101 千 字
2008 年 5 月 第 一 版 2008 年 5 月 第 一 次 印 刷

*

书 号：155066·1-31190 定 价 36.00 元

如 有 印 装 差 错 由 本 社 发 行 中 心 调 换
版 权 专 有 侵 权 必 究
举 报 电 话：(010)68533533