

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 24259—2023

代替 GB/T 24259—2009

## 石油天然气工业 管道输送系统

Petroleum and natural gas industries—  
Pipeline transportation systems

(ISO 13623:2017, MOD)

2023-09-07 发布

2024-01-01 实施



国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 目 次

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 前言 .....                                         | Ⅲ  |
| 1 范围 .....                                       | 1  |
| 2 规范性引用文件 .....                                  | 1  |
| 3 术语和定义 .....                                    | 3  |
| 4 符号 .....                                       | 4  |
| 5 总体要求 .....                                     | 5  |
| 6 管道系统设计 .....                                   | 6  |
| 7 管道及主要配管设备 .....                                | 7  |
| 8 站场和终端设计 .....                                  | 23 |
| 9 材料和涂层 .....                                    | 26 |
| 10 腐蚀管理 .....                                    | 31 |
| 11 施工 .....                                      | 36 |
| 12 试压 .....                                      | 42 |
| 13 预投产和投产 .....                                  | 45 |
| 14 运行、维护及废弃 .....                                | 46 |
| 附录 A (资料性) 本文件与 ISO 13623:2017 结构编号对照一览表 .....   | 56 |
| 附录 B (资料性) 本文件与 ISO 13623:2017 技术差异及其原因一览表 ..... | 57 |
| 附录 C (资料性) 记录和文件 .....                           | 59 |
| 附录 D (规范性) 陆上 D 类及 E 类流体管道公共安全补充要求 .....         | 60 |
| 附录 E (资料性) 管道路由选择过程 .....                        | 64 |
| 附录 F (资料性) 选线考虑因素示例 .....                        | 65 |
| 附录 G (规范性) 管道的安全评估 .....                         | 67 |
| 附录 H (资料性) 操作、维护与应急程序的内容 .....                   | 71 |
| 参考文献 .....                                       | 73 |



## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 24259—2009《石油天然气工业 管道输送系统》，与 GB/T 24259—2009 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了文件的适用范围(见第 1 章,2009 年版的第 1 章)；
- b) 删除了“设计强度”“组装件”“带压开孔”“铺管线路”“管道”规定的最小抗拉强度”的术语和定义(见 2009 年版的第 3 章)；
- c) 增加了“符号”一章(见第 4 章)；
- d) 更改了“流体的分类”，将二氧化碳更改为有毒流体(见 6.2,2009 年版的 5.2)；
- e) 更改了“水力分析”中的注，将其改为条文。(见 6.3,2009 年版的 5.3)；
- f) 删除了“当国家相关公众安全和环境保护法规的要求高于本标准要求时，应按照相关国家法规执行。当没有特殊要求时，应采用本标准关于公众安全及环境保护的要求。”(见 2009 年版的 5.6)；
- g) 增加了线路选线时应评估的因素(见 7.2.1.1)；
- h) 增加了规定最高设计温度和最低设计温度的要求(见 7.3.2.3)；
- i) 增加了采空载荷和冻土载荷(见 7.3.3.4)；
- j) 更改了由流体压力引起的最大环向应力和等效应力的计算公式(见 7.4.2.2,2009 年版的 6.4.2.2)；
- k) 增加了椭圆度或不圆度的计算公式与相关解释(见 7.4.2.5)；
- l) 增加了容许应变准则(见 7.4.2.6)；
- m) 增加了 SBD 管道和焊缝材料性能(见 7.4.2.7)；
- n) 增加了需要单独考虑冻胀区域的覆盖层的技术要求(见 7.8.2.1)；
- o) 删除了“焊接施工应采用按照 ISO 13847 审定的规程和资格考试合格的操作工。”(见 2009 年版的 6.14.2)；
- p) 增加了褶皱的技术要求(见 9.3.2)；
- q) 增加了“所有工艺浸湿部件(金属和非金属)应符合设计使用条件。”(见 9.3.5)；
- r) 更改了单层熔结环氧树脂(FBE)涂层技术要求(见 9.4.1.2,2009 年版的 8.4.1.2)；
- s) 增加了“海底应用的湿式保温应符合 ISO 12736 的要求。”(见 9.4.1.3)；
- t) 增加了“管道周边的杂散电流干扰源(如地铁、高压线等)”(见 10.4.1)；
- u) 更改了“焊缝检验”(见 11.4.2,2009 版的 10.4.2)；
- v) 增加了在引入输送流体之前对阀门进行最终测试的技术要求(见 13.4)；
- w) 增加了“应完成投产前应急演练。”(见 13.6)；
- x) 删除了“要按照下列目标建立和执行管理体系”(见 2009 年版的 13.1.1)；
- y) 更改了运行和维护计划(见 14.1.2,2009 年版的 13.1.2)；
- z) 增加了运行和维护程序(见 14.1.3)；
- aa) 增加了“管道沿线工程施工机械(钻探、打桩、定向钻、顶管、机械挖掘等)操作手”(见 14.1.7)；
- bb) 增加了“管道应按照 13.6 的要求充装”(见 14.2.5)；
- cc) 增加了“地球物理勘查石油地震找矿(放炮)情况”(见 14.3.2.2)；

dd) 增加了“消防系统情况”“防雷防静电系统情况”(见 14.3.5.8);

ee) 增加了“周边交通、村镇、厂区、树木、农作物等”(见 14.3.7.3);

ff) 增加了“导致流体蒸气点燃的压缩效应”(见 14.3.7.4);

gg) 增加了“地区等级的更改”(见 14.4.7);

hh) 增加了“现有管道所在地区等级”(见 D.7)。

本文件修改采用 ISO 13623:2017《石油天然气工业 管道输送系统》。

本文件与 ISO 13623:2017 相比,在结构上有较多调整,两个文件之间的结构编号变化对照一览表见附录 A。

本文件与 ISO 13623:2017 相比,存在较多技术差异,在所涉及的条款的外侧页边空白位置用垂直单线(|)进行了标示。这些技术差异及其原因一览表见附录 B。

本文件做了下列编辑性改动:

——增加了附录 A(资料性)“本文件与 ISO 13623:2017 结构编号对照一览表”;

——增加了附录 B(资料性)“本文件与 ISO 13623:2017 技术性差异及其原因一览表”;

——将 ISO 16708 替换为 GB/T 29167;

——更改了表格“陆上管道最小埋深”和“评估外腐蚀时要考虑的环境条件”的序号;

——更改了“全约束的管道所承受的轴向力(F)”和“CE 值”计算公式的序号。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)归口。

本文件起草单位:国家石油天然气管网集团有限公司科学技术研究总院分公司、长江大学、中国石油天然气管道工程有限公司、中国石油大学(北京)、中海油研究总院有限责任公司、陕西延长石油(集团)有限责任公司管道运输公司、中油国际管道有限公司、中石化石油工程设计有限公司、浙江浙能技术研究院有限公司、福州大学。

本文件主要起草人:苗青、闫锋、聂超飞、顾晓婷、张文伟、刘啸奔、支树洁、李其抚、王玉彬、彭世垚、刘峻峰、赵彬、朱坤峰、黄俊、李新林、袁运栋、梁海宁、李想、李大朋、滕霖、郝郁、孙士恩、周翔、魏子云、杨金威。

本文件于 2009 年首次发布,本次为第一次修订。

# 石油天然气工业 管道输送系统

## 1 范围

本文件规定了石油天然气工业中管道输送系统的设计、管道及主要配管设备、站场和终端设计、材料和涂层、腐蚀管理、施工、试压、预投产和投产、运行、维护及废弃等方面的要求。

本文件适用于所有新建、改建钢制金属管道系统。

本文件不适用于柔性管道或其他材料的管道,如玻璃纤维增强塑料等。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法(GB/T 229—2020,ISO 148-1:2016,MOD)

GB/T 755 旋转电机 定额和性能(GB/T 755—2019,IEC 60034-1:2017,IDT)

GB/T 3215 石油、石化和天然气工业用离心泵(GB/T 3215—2019,ISO 13709:2009,MOD)

GB 3836.14 爆炸性环境 第 14 部分:场所分类 爆炸性气体环境(GB 3836.14—2014,IEC 60079-10-1:2008,IDT)

GB/T 3836.15 爆炸性环境 第 15 部分:电气装置的设计、选型和安装(GB/T 3836.15—2017,IEC 60079-14:2007,MOD)

GB/T 9711—2017 石油天然气工业 管线输送系统用钢管(ISO 3183:2012,MOD)

注:GB/T 9711—2017 被引用的内容与 ISO 3183:2012 被引用的内容没有技术上的差异。

GB/T 18253 钢及钢产品 检验文件的类型(GB/T 18253—2018,ISO 10474:2013,IDT)

GB/T 20173 石油天然气工业 管道输送系统 管道阀门(GB/T 20173—2013,ISO 14313:2007,MOD)

GB/T 20972(所有部分) 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 [ISO 15156(所有部分)]

注:GB/T 20972.1—2007 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第 1 部分:选择抗裂纹材料的一般原则(ISO 15156-1:2001,IDT)

GB/T 20972.2—2008 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第 2 部分:抗开裂碳钢、低合金钢和铸铁(ISO 15156-2:2003,MOD)

GB/T 20972.3—2008 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第 3 部分:抗开裂耐蚀合金和其他合金(ISO 15156-3:2003,MOD)

GB/T 29168.1—2021 石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第 1 部分:感应加热弯管(ISO 15590-1:2009,MOD)

注:GB/T 29168.1—2021 被引用的内容与 ISO 15590-1:2009 被引用的内容没有技术上的差异。

GB/T 29168.2 石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第 2 部分:管件

(GB/T 29168.2—2012, ISO 15590-2:2003, MOD)

GB/T 29168.3 石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第3部分:法兰  
(GB/T 29168.3—2012, ISO 15590-3:2004, MOD)

GB/T 34391 石油、石化和天然气工业用往复泵(GB/T 34391—2017, ISO 13710:2004, IDT)

ISO 3977(所有部分) 燃气轮机 采购(Gas—Procurement)

注: GB/T 14099(所有部分) 燃气轮机 采购[ISO 3977(所有部分)]

ISO 10439(所有部分) 石油、石化和天然气工业 轴流式和离心式压缩机和膨胀机  
(Petroleum, petrochemical and natural gas industries—Axial and centrifugal compressors and expander-compressors)

ISO 12736 石油和天然气工业 管道、流线、设备和海底结构的湿绝热涂层(Petroleum and natural gas industries—Wet thermal insulation coatings for pipelines, flow lines, equipment and subsea structures)

ISO 13707 石油和天然气工业 往复式压缩机(Petroleum and natural gas industries—Reciprocating compressors)

ISO 13847 石油和天然气工业 管道输送系统 管道的焊接(Petroleum and natural gas industries—Pipeline transportation systems—Welding of pipelines)

ISO 14723 石油和天然气工业 管道输送系统 海底管道阀门(Petroleum and natural gas industries—Pipeline transportation systems—Subsea pipeline valves)

ISO 15589.1 石油、石化和天然气工业 输送管道系统的阴极防护 第1部分:陆上管线(Petroleum, petrochemical and natural gas industries—Cathodic protection of pipeline systems—Part 1: On-land pipelines)

ISO 15589.2 石油、石化和天然气工业 输送管道系统的阴极防护 第2部分:海上管线(Petroleum, petrochemical and natural gas industries—Cathodic protection of pipeline transportation systems—Part 2: Offshore pipelines)

ISO 15649 石油和天然气工业 配管(Petroleum and natural gas industries—Piping)

ISO 16440 石油天然气工业 管道输送系统 钢制管道的设计、施工与维护(Petroleum and natural gas industries—Pipeline transportation systems—Design, construction and maintenance of steel cased pipelines)

ISO 21809.1—2018 石油天然气工业 管道输送系统用埋地和水下管道的外涂层 第1部分:聚烯烃涂层(3层PE和3层PP)(Petroleum and natural gas industries—External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems—Part 1: Polyolefin coatings (3-layer PE and 3-layer PP))

ISO 21809.2—2014 石油天然气工业 管道输送系统用埋地和水下管道的外涂层 第2部分:单层熔接环氧涂层(Petroleum and natural gas industries—External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems—Part 2: Single layer fusion-bonded epoxy coatings)

ISO 21809.3—2016 石油天然气工业 管道输送系统用埋地和水下管道的外涂层 第3部分:现场接头涂层(Petroleum and natural gas industries—External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems—Part 3: Field joint coatings)

ISO 21809.4—2009 石油天然气工业 管道输送系统用埋地和水下管道的外涂层 第4部分:聚乙烯涂层(2层PE)(Petroleum and natural gas industries—External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems—Part 4: Polyethylene coatings (2-layer PE))

ISO 21809.5—2017 石油天然气工业 管道输送系统用埋地和水下管道的外涂层 第5部分:第5部分:外部混凝土涂层(Petroleum and natural gas industries—External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems—Part 5:External concrete coatings)

API Std 620 大型焊接低压储罐的设计与建造(Design and construction of large, welded, low-pressure storage tanks)

API Std 650 钢制焊接石油储罐(Welded tanks for oil storage)

ASME B16.5 管法兰和法兰管件(Pipe flanges and flanged fittings-NPS 1/2 through NPS 24)

ASME BPVC.Ⅷ.1 锅炉及压力容器规范 第八章压力容器建造规则 第1部分,压力容器建造规则[ASME Boiler and pressure vessel code, section Ⅷ, division 1, rules for construction of pressure vessels(BPVC)]

MSS SP-25 阀门、管件、法兰及活接头用标准标号系统(Standard marking system for valves, fittings, flanges, and unions)

MSS SP-44 钢制管道法兰(Steel pipeline flanges)

NFPA 30 易燃和可燃液体防火规范(Flammable and combustible liquids code)

NFPA 220 房屋结构类型标准(Standard on types of building construction)

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**投产** **commissioning**

与管道系统最初充装流体有关的活动。

#### 3.2

**设计寿命** **design life**

设计预计的有效使用年限。

#### 3.3

**设计压力** **design pressure**

按照本文件设计的管道系统承压部件的最大内压力。

#### 3.4

**流体** **fluid**

通过管道系统输送的介质。

#### 3.5

**在役管道** **in-service pipeline**

已经投产用于输送流体的管道。

#### 3.6

**地区等级** **location class**

按照以人口密度和人类活动为基础划分等级的地理区域。

#### 3.7

**维护** **maintenance**

为保持管道系统的正常运行而进行的检测、调查、试压、维修、更换、修复等有计划的活动。



3.8

**最大允许操作压力** maximum allowable operation pressure; MAOP

管道系统或其部件允许操作的最大压力。

注：根据试验期间达到的最大压力确定 MAOP。

3.9

**近海管道** offshore pipeline

铺设在高水位海域和河流入海口处的管道。

3.10

**陆上管道** pipeline on land

铺设在地上或埋地的管道。

注：陆上管道包括铺设在内陆水域下的管道。

3.11

**管道系统** pipeline system

用于输送、分配、汇合、分离、排放、计量、控制或缓冲流体的管子、管件、法兰、紧固件、垫片、阀门和其他组成件及支承件的集成。

注：管道系统也包括管道支承元件，但不包括结构框架和地基等支承结构。

3.12

**配管** piping

站场和终端内的管子、管件和部件。

注：配管不属于管道线路的一部分。

3.13

**主要配管** primary piping

输送或储存管道所输流体的配管。

3.14

**管道通行带** right-of-way

管道运营商有权按照与土地所有者所签订的协议而开展活动的土地通道。

3.15

**立管** riser

从海床延伸至近海设施管道终点的部分管道。

3.16

**辅助配管** secondary piping

用于输送管道和主要配管所输流体以外流体(如燃料气、水或润滑油等)的配管。

3.17

**规定的最小屈服强度** specified minimum yield strength; SMYS

材料依据规范或标准中要求的最小屈服强度。

3.18

**站场** station

用于增压、减压、储存、过滤、计量、加热、冷却或隔离所输流体的设施。

## 4 符号

下列符号适用于本文件。

- $A_i$  管道内部横截面积  
 $A_s$  管壁横截面积  
 $D$  规定直径(外径或内径)  
 $D_{\max}$  最大实测直径(外径或内径)  
 $D_{\min}$  最小实测直径(外径或内径)  
 $D_0$  公称外径  
 $E$  弹性模量  
 $f_{\text{eq}}$  等效设计系数  
 $f_h$  环向应力设计系数(对于陆上管道,见表2,对于近海管道,见表3)。  
 $f_t$  温度折减系数  
 $K$  安全系数  
 $O$  椭圆度或不圆度  
 $P_{\text{id}}$  设计压力  
 $P_{\text{od}}$  最小外部静水压力  
 $T_1$  安装温度  
 $T_2$  运行期间的最高或最低温度  
 $t_{\min}$  规定的最小壁厚  
 $\alpha$  线性热膨胀系数  
 $[\epsilon]$  管道容许应变  
 $\epsilon^{\text{crit}}$  管道极限应变  
 $\epsilon_d$  管道设计应变  
 $\nu$  泊松比  
 $\sigma_D$  设计强度  
 $\sigma_{\text{eq}}$  等效应力  
 $\sigma_h$  环向应力  
 $\sigma_{\text{hp}}$  由流体压力引起的环向应力  
 $\sigma_l$  轴向应力  
 $\sigma_y$  规定的最小屈服强度  
 $\tau$  剪切应力

## 5 总体要求

### 5.1 健康、安全与环境

本文件的目的是确保石油天然气工业管道系统的安全性,包括设计、材料、施工、试压、运行、维护及废弃等,并符合健康、安全和环保要求。

### 5.2 资质保证

与管道系统的设计、施工、测试、运行、维护和废弃相关的所有工作应由有资质的人员执行。

### 5.3 一致性

宜实施质量保证体系以保证所做工作符合本文件要求。

注：ISO/TS 29001 文件提供了与各类质量管理体系相关的行业指南。

#### 5.4 记录

应保存和维护管道系统在整个生命周期内的有关记录。记录及文件编制指南见附录 C。

### 6 管道系统设计

#### 6.1 系统确定

宜以文件形式记录管道系统范围、功能要求、适用的法规和标准规范等。

宜通过对系统的描述定义其范围，包括各种设施、总体位置以及与其他设施的划分和界限。

宜确定设计寿命和设计条件。在明确设计条件时，宜包含未来可预见的正常、极端和关闭（例如当管道系统被隔离时）运行条件，以及流量、压力、温度、流体组成及流体性质等方面的可能变化范围。

#### 6.2 流体的分类

根据公共安全潜在危害程度，应将流体按照表 1 进行分类。

表 1 根据公共安全潜在危害程度对流体的分类

| 类别  | 公共安全潜在危害程度                                                                                               |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A 类 | 水基不可燃流体                                                                                                  |
| B 类 | 在环境温度及标准气压下是液态的易燃和/或有毒流体，例如石油及石油产品                                                                       |
| C 类 | 在环境温度下及大气压力条件下是气态的无毒非易燃流体，例如氮气、氩气及空气                                                                     |
| D 类 | 无毒、单相的天然气                                                                                                |
| E 类 | 在环境温度及大气压力下是气体，并可以作为气体和/或液体，或超临界流体形式输送的易燃和/或有毒流体，例如氢气、二氧化碳、天然气（属于 D 类的除外）、乙烷、乙烯、液化石油气（如丙烷和丁烷）、液化天然气、氨和氯气 |

表 1 中未明确说明的气体或液体宜将其与潜在危险性相似的流体归为一类。如果分类仍不够明确，则该流体归到危害性较大的类别中。

#### 6.3 水力分析

为使管道系统能按 6.1 规定的设计条件安全输送流体，宜分析管道系统的水力状况，包括稳态和瞬态工况。识别和确定管道运行中的约束条件和要求，包括：

- 水击压力允许值；
- 水合物形成和结蜡引起堵塞的预防措施；
- 在较低操作温度下由于较高黏度引起的无法接受的压力损失的允许值；
- 在多相流体输送中控制液体段塞体积的措施；
- 控制流体内腐蚀、冲蚀速率和避免管道的不满流流态的措施。

#### 6.4 压力控制和超压保护

若管道系统中任一位置的操作压力超过最大允许操作压力，则应安装压力控制阀或自动关闭增压

设备,或执行相应的控制程序,防止操作压力超过正常稳态条件下的最大允许操作压力(MAOP)。

如有必要防止管道系统中任一位置的意外压力超过 7.3.2.2 中规定的极限值,则应设置泄压阀或气源点截断阀等超压保护设施。

## 6.5 运行和维护要求

应明确管道系统的运行及维护要求,并形成文档,以便在设计、编制运行规程和维护时使用。要求包括以下方面:

- 对管道、站场及所输送流体的识别;
- 系统控制原则,包括员工水平和检测仪表;
- 控制中心的位置及级别;
- 语音及数据通信;
- 腐蚀管理;
- 工况监视;
- 泄漏检测;
- 清管方法;
- 用于运行、维护及更换管道的通道、分段及隔离;
- 与上下游设施的接口;
- 紧急关闭;
- 减压放空和/或排放;
- 停输和再启动;
- 根据水力分析确定的要求。

## 6.6 公众安全与环境保护

D类和E类流体的陆上管道系统应至少符合附录D中有关公共安全的要求。

## 7 管道及主要配管设备

### 7.1 设计原则和要求

设计范围及细节应表明在设计寿命期限内符合本文件要求的完整性和适用性。

载荷及承载能力的代表值应根据工程经验选取。分析的方法可基于解析、数值、经验模型或综合采用上述方法。

如果考虑所有相关的极限和适用性极限状态,则可采用基于可靠性极限状态的设计原理。应评估载荷及抗载荷力不确定性的所有相关因素,并应有统计数据表征该不确定性。

基于可靠性的极限状态的设计方法不能替代表2和表3中对流体压力引起的最大允许环向应力的要求。

注1: 极限状态一般伴随结构失去完整性,例如破裂、断裂、疲劳或失稳等,而超出了适用性的极限状态会阻止管道按预定要求运行。

注2: GB/T 29167 提供了基于可靠性的极限状态设计指南。

表 2 陆上管道的环向应力设计系数<sup>a</sup>( $f_h$ )

| 位置                                                                                                                                                                                                              | 环向应力设计系数 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 一般路线 <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                               | 0.77     |
| 穿越和平行占用 <sup>c</sup> 次要道路                                                                                                                                                                                       | 0.77     |
| 穿越和平行占用 <sup>c</sup> 主要公路、铁路、运河、河流、防洪堤和湖泊                                                                                                                                                                       | 0.67     |
| 清管器收发筒及多管塞捕集器                                                                                                                                                                                                   | 0.67     |
| 主要配管                                                                                                                                                                                                            | 0.67     |
| 特殊结构(如预制组件以及桥上管道)                                                                                                                                                                                               | 0.67     |
| <sup>a</sup> 按附录 D 的要求设计的 D 类和 E 类管线应采用表 D.2 中的环向应力系数上述系数适用于水试压管道。当用空气试压时,可能有必要降低设计系数。<br><sup>b</sup> 对于在人类活动稀少和无永久人类居住地区(如荒漠及冻土地带)的输送 A 类、C 类和 D 类流体的管道,环向应力系数可以增大到 0.83。<br><sup>c</sup> 关于穿越和平行占用的描述,见 7.9。 |          |

表 3 近海管道的环向应力设计系数( $f_h$ )

| 位置                                               | 环向应力设计系数 |
|--------------------------------------------------|----------|
| 一般路线 <sup>a</sup>                                | 0.77     |
| 航道、指定的抛锚区域和海港入口                                  | 0.77     |
| 登陆点                                              | 0.67     |
| 清管器收发筒及管束式段塞流捕集器                                 | 0.67     |
| 立管和主要配管                                          | 0.67     |
| <sup>a</sup> 输送 A 类、C 类和 D 类流体的管道,环向应力可增大到 0.83。 |          |

## 7.2 线路选择

### 7.2.1 需要考虑的事项

#### 7.2.1.1 总体要求

线路选择应评估本文件要求的设计、施工、运行、维护及废弃等方面的内容。

为了最大程度地降低未来改线和出现各种限制的可能性,应评估城市和工业未来的发展。

选线时应评估的因素包括以下方面:

- 公众和在管道上及附近作业人员的安全;
- 文物保护;
- 环境保护;
- 其他财产和设施;
- 第三方活动;
- 岩土、腐蚀性和水文等条件;

- 线路上的主要穿越工程；
- 施工、运行和维护的要求；
- 国家和/或地方要求；
- 未来的勘测。

选线工作规划指南见附录 E。在考虑 7.2.1.1~7.2.1.7 提出的要求时,宜考查的因素见附录 F。

#### 7.2.1.2 公共安全

输送 B 类、C 类、D 类及 E 类流体的管道,宜避开建筑物聚集的地区或人类活动频繁的地区。

如果国家无相关公共安全要求,则应按照附录 G 的要求对下列管道进行安全评估:

- 多层建筑物居多、交通拥堵或繁忙地区和地下可能有众多其他设施地区用于输送 D 类流体的管道；
- 输送 E 类流体的管道。

#### 7.2.1.3 环境

环境影响评估至少应包含以下情况:

- 施工、维修和改造期间的临时工程；
- 管道的长期运行；
- 潜在的流体泄漏。

#### 7.2.1.4 其他设施

宜识别可能影响管道的沿线设施,并与当地政府主管部门及设施的管理者进行协商,以评估沿线设施对线路选择的影响。

#### 7.2.1.5 第三方活动

应识别沿线的第三方活动,并与当地政府主管部门及第三方进行协商,以评估沿线第三方活动对线路选择的影响。

#### 7.2.1.6 岩土、水文和气象条件

应明确对管道工程不利的岩土工程和水文条件,并确定减轻危害的措施。对于极地条件等特殊工况,有必要考查气象条件。

#### 7.2.1.7 施工、试压、运行和维护

线路应提供施工、试压、运行和维护(包括管道更换)所需的通道及作业施工带,还宜审查施工、运行和维护所必需设施的可用性。

#### 7.2.2 陆上管道的勘察

应开展线路和地质勘察,识别和探测相关地貌、地质、岩土、腐蚀性、地形及环境的特点,以及其他可能影响管道线路选择的设施(如其他管道、电缆和障碍物等)。

#### 7.2.3 近海管道的勘察

应对拟定路线开展线路和地质勘察,以识别和定位以下方面:

- 地质特征和自然灾害；

- 管道、电缆及井口装置；
- 障碍物，如沉船残骸、矿井及其他残骸；
- 岩土性质。

应搜集设计和施工计划所需的气象和海洋地理方面的数据。这类数据可能包括：

- a) 海洋测深；
- b) 海风；
- c) 海潮；
- d) 海浪；
- e) 海流；
- f) 大气条件；
- g) 水文条件(如温度、含氧量、pH 值、电阻率、生物活性、盐度等)；
- h) 海洋生物；
- i) 土壤沉积和侵蚀。

### 7.3 载荷

#### 7.3.1 通用要求

应在设计中识别并包括可能导致管道失效或管道故障的载荷。

在强度设计中，载荷应划分为：

- 功能性载荷；
- 环境载荷；
- 施工载荷；
- 偶然载荷。

#### 7.3.2 功能性载荷

##### 7.3.2.1 分类

使用中产生的载荷和其他来源的残余载荷应归类为功能性载荷。

注：以下三类均属于功能性载荷：

- 管道(包括部件和流体)的质量以及由于压力和温度产生的载荷；
- 预应力、残余安装应力、土壤覆盖层、外部静水压力、海洋生物、沉降和不均匀沉降、冻胀和融沉，以及由结冰引起的持续载荷；
- 由功能性载荷引起的支撑反作用力、由持续位移引起的载荷、支撑的转动或反输变化产生的作用力。

##### 7.3.2.2 设计压力

管道系统中任意一点的设计压力应不小于最大允许操作压力(MAOP)。流体静压头引起的压力应计入稳态压力。

瞬变条件下压力的频率和持续时间有限，且瞬变压力的超压值不大于 MAOP 的 10% 时，则瞬变压力允许超过 MAOP。

注：因水击、压力控制设备失效引起的压力以及超压保护设备启动过程中产生的累积压力均属于瞬时压力。如果关断不是一种常规操作行为，封闭静止流体加热产生的压力也属于瞬时压力。

##### 7.3.2.3 温度

确定温度载荷时，应包括正常操作和预计气体放空条件下的流体温度范围。应规定设计温度的最

高值和最低值。

### 7.3.3 环境载荷

#### 7.3.3.1 分类

由环境产生的载荷应归类为环境载荷,需要视为功能性载荷(见 7.3.2)或由于发生概率很低而作为偶然载荷(见 7.3.5)的情况除外。

注:海浪、海流、海潮、风、雪、冰、地震、交通、捕鱼及采矿等引起的载荷,设备振动及地面或海床上的结构引起的位移均属于环境载荷。

#### 7.3.3.2 水动力载荷

施工阶段的水动力载荷重现期宜根据计划施工工期、施工季节和与超出重现期相关的载荷所产生的后果确定。正常运行阶段的设计重现期宜为 100 年。

确定水动力载荷时,宜考虑极端风、浪和水流的量级和方向以及它们同时出现的概率。

应包含由于海洋生物或结冰而使暴露面积增大的影响。

对于跨越和 underwater 悬空管段,应包含由涡激振动引起的载荷。

#### 7.3.3.3 地震载荷

抗震设计时应包含以下因素:

- 断层位移的方向、错动量及加速度;
- 在设计条件下,管道适应位移的柔性;
- 操作条件下的力学性能;
- 发生断层位移时,由于土壤特性对埋地穿越管段产生的附加应力以及惯性效应对地上跨越管段产生的附加应力;
- 地震引起的各种效应(如土壤液化、滑坡等)。

#### 7.3.3.4 土壤载荷和冰载荷

设计沙层载荷时应包含以下效应:

- 沙丘移动;
- 沙层侵蚀。

设计冻土载荷时应包含以下效应:

- 差异性冻胀;
- 差异性融沉;
- 边坡热融滑移,包含顺坡滑移、空间滑移。

设计采空载荷时应包含以下效应:

- 连续地面移动变形;
- 非连续地面移动变形。

设计冰载荷时应包含以下效应:

- a) 在管道或支撑结构上的结冰;
- b) 冰层底部的冲刷;
- c) 浮冰;
- d) 冰融引起的冲击力;



- e) 冰膨胀引起的冲击力；
- f) 由于暴露面积增大而产生较高的水动力载荷；
- g) 可能产生的涡激振动效应。

#### 7.3.3.5 公路和铁路交通

应按照交通管理部门的规定确定最大车辆轮轴载荷和频率,并了解现有和预测的住宅、商业级工业的发展情况。

#### 7.3.3.6 捕鱼

应根据所采用的捕捞技术确定捕鱼活动产生的载荷及频率。

#### 7.3.3.7 采矿

应包含由于爆破而产生的地面震动引起的载荷。采矿活动引起的地层沉降产生的载荷应归类为功能性载荷。

#### 7.3.4 施工载荷

安装和调试所需载荷应归类为施工载荷。在适当的情况下,应包含施工船只及设备产生的动态效应。

注:安装包括运输、搬运、储存、安装及试压。压力灌浆产生的外部压力增长或由于放空和真空干燥产生的低于大气压的内压,同样会造成施工载荷的增大。铺管船的移动产生的动态效应对于近海管道也是需要加以考虑的施工载荷。

#### 7.3.5 偶然载荷

不在计划之列,但可能在意外条件下出现的施加在管道上的载荷应作为偶然载荷。当确定管道针对偶然载荷进行设计时,宜考虑该偶然载荷发生的概率及可能导致的后果。

注:偶然载荷包括由火灾、爆炸、突然减压、物体坠落、滑坡过程中的瞬变条件、第三方设备(如挖掘机或船舶的锚)、施工机械失去动力和相碰撞引起的载荷。

#### 7.3.6 组合载荷

计算等效应力或应变时(见 7.4.1.2),应评估可预测到同时发生的功能性载荷、环境载荷、施工载荷及偶然载荷的最不利组合。

如果运行原则是在极端环境下减少或停止作业,则应包含以下载荷的组合:

- 设计环境载荷加适当降低的功能性荷载;
- 设计功能性载荷和同时发生的最大环境载荷。

除非有依据预计它们会同时发生,否则没必要考虑偶然载荷间的组合或偶然载荷同极端环境载荷的组合。

### 7.4 强度要求

#### 7.4.1 应力计算

##### 7.4.1.1 由流体压力引起的环向应力

仅由流体压力引起的环向应力( $\sigma_{hp}$ ),应按照公式(1)进行计算:

$$\sigma_{hp} = (P_{id} - P_{od}) \times \frac{D_0}{2t_{min}} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- $\sigma_{hp}$ ——由流体压力引起的环向应力,单位为兆帕(MPa);
- $P_{id}$ ——设计压力,单位为兆帕(MPa);
- $P_{od}$ ——最小外部静水压力,单位为兆帕(MPa);
- $D_0$ ——公称外径,单位为毫米(mm);
- $t_{min}$ ——规定的最小壁厚,单位为毫米(mm)。

注：规定最小壁厚为公称壁厚减去制管标准规定的制管公差及腐蚀裕量。对于有衬层或衬里的管道(见 9.2.3),衬层或衬里的强度贡献一般不包括在内。

#### 7.4.1.2 其他应力

计算环向、轴向、剪切和等效应力时,应包含由所有相关功能、环境和施工荷载引起的应力。应按 7.3.5 的规定确定偶然载荷。应包含管道的所有部件和所有约束如支撑、导向结构及摩擦力等的作用。计算柔性时,还应包含管道附属设备的线性位移和角位移。

计算时应确定除直管以外的部件的柔性及应力集中系数。

柔性计算应基于公称尺寸及适当温度下的弹性模量。

等效应力( $\sigma_{eq}$ )应按公式(2) Von Mises 公式进行计算：

$$\sigma_{eq} = (\sigma_h^2 + \sigma_l^2 - \sigma_h\sigma_l + 3\tau^2)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

- $\sigma_{eq}$ ——等效应力,单位为兆帕(MPa);
- $\sigma_h$ ——环向应力,单位为兆帕(MPa);
- $\sigma_l$ ——轴向应力,单位为兆帕(MPa);
- $\tau$ ——剪切应力,单位为兆帕(MPa)。

可基于公称直径及壁厚计算等效应力,当径向应力不显著时可忽略不计。

#### 7.4.2 强度标准

##### 7.4.2.1 总体要求

管道应按照下列力学失效模式及变形设计：

- 屈服；
- 屈曲；
- 疲劳；
- 椭圆度。

##### 7.4.2.2 屈服

由流体压力引起的最大环向应力( $\sigma_{hp}$ ),应按照公式(3)确定：

$$\sigma_{hp} \leq f_h \times f_t \times \sigma_y \dots\dots\dots(3)$$

式中：

- $f_h$ ——环向应力设计系数,陆上管道按照表 2 的规定取值,近海管道按照表 3 的规定取值；
- $f_t$ ——温度折减系数(温度低于 50 °C 时,为 1.0)；
- $\sigma_y$ ——规定的最小屈服强度(SMYS),单位为兆帕(MPa)。

采用 L555 等级以上钢材的管道宜根据 GB/T 29167 或其他公认的规范和标准规定的基于可靠性的极限状态设计方法进行设计。如果未使用极限状态设计方法,应按照公式(4)进行计算:

$$\sigma_{hp} \leq f_h \times f_t \times \sigma_D \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

$\sigma_D$ ——设计强度,对于 L555 以上等级钢材,取 SMYS 或规定的最小抗拉强度(SMTS)除以 1.15 两者中较小者;

当温度高于 50 °C 时, $f_t$  应按照 9.1.7 的规定进行记录。

$f_t \times \sigma_D$ ——最高温度下的材料强度,在安装和试压阶段按环境温度确定  $f_t$ ,在运行时按设计温度确定  $f_t$ 。

等效应力( $\sigma_{eq}$ )应能按照公式(5)进行计算:

$$\sigma_{eq} \leq f_{eq} \times f_t \times \sigma_y \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

$f_{eq}$ ——等效设计系数,应按表 4 的规定取值。

如果管道设计使用 L555 及以上等级钢材制造,公式(5)中  $\sigma_y$  应采用  $\sigma_D$  替代。

表 4 等效设计系数( $f_{eq}$ )

| 组合载荷     | 等效设计系数 |
|----------|--------|
| 施工和环境    | 1.00   |
| 功能和环境    | 0.90   |
| 功能、环境和偶然 | 1.00   |

对于一些特殊工况,允许应变标准可代替等效应力标准,见 7.4.2.6。

#### 7.4.2.3 屈曲

应包含下列屈曲模式:

- 由外部压力、轴向拉伸或压缩、弯曲和扭转等作用引起的局部屈曲或上述载荷组合作用引起的局部屈曲;
- 屈曲扩展;
- 由较高操作温度和压力引起的轴向压缩作用导致受约束管子的屈曲。

注:有约束的屈曲对于未埋地管道表现为水平屈曲,对于埋沟或埋地管道则表现为垂直上拱。

#### 7.4.2.4 疲劳

对于在循环载荷下可能易于疲劳的管段和部件应开展疲劳分析,以便:

- 论证不会生成裂纹;
- 确定疲劳检查的要求。

疲劳分析应包括对施工和运行期间载荷循环的预测,并将载荷循环转换为名义应力或应变循环。

当确定抗疲劳强度时,应包含平均应力、内部工况、外部环境、塑性预应变及循环加载速率等的影响。

可基于具有代表性部件的抗疲劳特性(通常以 S-N 曲线形式提供,即应力幅度与失效循环次数的关系)或断裂力学的疲劳寿命评估抗疲劳强度。

安全系数的选择应包含抗疲劳预测结果的固有不准确性和疲劳损伤的检查方法。有必要监测引起

疲劳的参数变化,并相应地控制可能的疲劳损伤。

7.4.2.5 椭圆度

椭圆度或不圆度(O)(用%表示)采用给定的公式(6)进行确定:

$$O = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D} \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- D ——规定直径(外径或内径),单位为毫米(mm);
- D<sub>max</sub> ——最大实测直径(外径或内径),单位为毫米(mm);
- D<sub>min</sub> ——最小实测直径(外径或内径),单位为毫米(mm)。

应控制可能引起屈曲或妨碍清管作业的椭圆度或不圆度。

7.4.2.6 容许应变准则

容许应变准则适用于基于应变的设计(SBD),涉及轴向设计应变超过全局应变 0.5%的重要纵向管道载荷。基于应变的设计要求明确施加的管道变形(应变需求)以及管道和焊缝的材料特性。容许应变准则要求明确管道在拉伸和压缩时的极限状态。拉伸应变能力可根据管道几何参数、焊缝缺陷几何参数、管道性能参数、环焊缝性能参数、焊缝错边量和管道内压等输入参数进行预测。压缩应变能力受管道径厚比、应力应变特性(包括管道材料的各向异性)、管道几何缺陷、环焊缝和现场弯曲的影响。

容许应变应确保管道的预测应变能力超过应变需求,使基于应变设计的管道的安全性和可靠性与基于容许应力设计的常规管道相似。

只有当管道受变形或位移控制,或在超出容许应变前管道位移可能受几何约束限制时,才可使用容许应变准则。

允许的应变准则可应用于管道施工,以确定与卷筒法、J形管拉管法、立管的弯曲靴形法及相似的安装方法等相关的允许弯曲和校直量。

在运行的管道中,容许应变准则可用于下列情况:

- a) 由可预计的支撑、地面或海床非循环性位移(如沿管道的断层移动或不均匀沉降)等引起的管道变形;
- b) 管道在超出容许应变前对管道起支撑作用位置处的非循环变形,例如对于没有得到连续支撑但下垂受到海床限制的近海管道的情况;
- c) 循环功能性载荷造成塑性变形,即便塑性变形仅在管道第一次受到其“最坏情况”的功能载荷组合作用时发生,而在后续载荷的循环作用下,不再处于“最坏情况”。

容许应变准则应通过小尺寸和全尺寸试验来确定,以确保应变能力超过应变需求,并有裕量来解决能力和需求的不确定性。

管道应变设计的校核准则为管道设计应变(ε<sub>d</sub>)不应大于管道容许应变([ε]),应按照公式(7)进行校核。

$$\epsilon_d \leq [\epsilon] \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- ε<sub>d</sub> ——管道设计应变;
- [ε] ——管道容许应变。

设计应变的计算应采用实测的管材真应力应变曲线。当无实测的真应力应变曲线时,可采用公式(8)确定的 R-O 曲线进行估算。

$$\epsilon_d = \frac{\sigma}{E} + \alpha \frac{\sigma_0}{E} \left( \frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^n \dots\dots\dots(8)$$

式中：

- $\sigma$  ——应力,单位为兆帕(MPa);
- $E$  ——管材的弹性模量,单位为兆帕(MPa),可取  $2.1 \times 10^5$  MPa;
- $\sigma_0$  ——管材的屈服应力,单位为兆帕(MPa),当无实测数据时可按表 5 选取;
- $\alpha$  ——屈服偏移量,当无实测数据时可按表 5 选取;
- $n$  ——应变强化指数,当无实测数据时可按表 5 选取。

管道容许应变应按公式(9)计算：

$$[\epsilon] = \frac{\epsilon^{crit}}{K} \dots\dots\dots(9)$$

式中：

- $\epsilon^{crit}$  ——管道极限应变,包括拉伸极限应变和压缩极限应变,拉伸极限应变应根据断裂力学分析和物理试验确定,并应分析缺欠、焊缝及热影响区性能、应变速率、初始应变、应变时效等因素的影响,压缩极限应变应根据分析法或试验法确定;
- $K$  ——安全系数,包括拉伸极限安全系数和压缩极限安全系数。

表 5 R-O 曲线参数

| 序号 | 钢级                | 管材的屈服应力 MPa | 屈服偏移量 | 应变强化指数 |
|----|-------------------|-------------|-------|--------|
| 1  | L245(B),L290(X42) | 350         | 2.004 | 17.72  |
| 2  | L360(X52)         | 389         | 1.699 | 14.14  |
| 3  | L390(X56)         | 417         | 1.519 | 17.79  |
| 4  | L415(X60)         | 437         | 1.403 | 15.85  |
| 5  | L450(X65)         | 459         | 1.288 | 19.90  |
| 6  | L485(X70)         | 470         | 1.234 | 14.58  |
| 7  | L555(X80)         | 530         | 0.981 | 20.12  |

7.4.2.7 SBD 管道和焊缝材料性能

纵向管道特性影响应变需求和应变能力。相关材料性能包括管道屈服强度、抗拉强度、均匀延伸率和屈服强度与抗拉强度比。纵向管道特性应包含应变时效引起的管道性能变化,包括使用寿命期间的自然老化或与涂层应用相关的加热机制等。

管道的可预测塑性变形是 SBD 的必要条件,要求管道在设计条件下保持韧性,并要求焊缝过度匹配,以避免焊缝中出现应变集中。

7.5 稳定性

管道设计应防止管道水平和垂直移动,或应具有灵活性,允许在本文件的强度要求范围内进行预计移动。

进行稳定性设计时宜考虑到的各种因素包括：

- 水动力及风力载荷；
- 管道弯曲处的轴向压力和分支连接处的侧向力；
- 由管道中的轴向压力载荷造成的侧向挠度；
- 由一般侵蚀或局部冲刷引起的裸露；
- 各种岩土条件,包括由地震活动、滑坡、冻胀、融沉以及地下水位变化引起的土壤不稳定性；
- 施工方法；
- 挖沟和/或回填技术。

注:提高陆上管道稳定性的措施有管道质量选择、锚固、控制回填材料、土壤覆盖层、土壤置换、排水以及为避免冻胀采取的保温措施等。提高海底管道稳定性的措施有加大管道质量、增加涂层质量、挖沟、埋设(包括自然埋填)、抛砾石或岩石、锚固以及安装沉排或马鞍形压块。

## 7.6 管道跨越

应按照 7.4.2 中的强度要求控制管道的跨度,应包含以下内容:

- 支撑条件；
- 与邻近跨越的相互影响；
- 由风、水流及风浪引起的振动；
- 管道的轴向力；
- 土壤沉积和侵蚀；
- 第三方活动可能造成的影响；
- 土壤特性。

## 7.7 试压

### 7.7.1 总体要求

管道安装完毕以后,在投入运行之前,应进行试压以验证其强度和严密性。组合件及碰死口管段可在安装之前预先试压,但在后续的施工及安装过程中应保证其完整性。在地形高差显著的地段,管道壁厚和/或钢材的等级应由试压要求确定。

### 7.7.2 试压介质

应使用水(包括加缓蚀剂的水)进行试压,但下列情况除外:

- 环境温度低；
- 水的品质和数量不满足需求；
- 排水问题无法解决；
- 不具备水试压条件；
- 水的污染是不可接受的。

必要时可使用空气或一种无毒气体进行试压。

注:运行的短管段或碰死口管段改线时不进行水试压。

### 7.7.3 压力等级和试压持续时间

确定强度和/或严密性试验持续时间时,应评估环境温度变化和检漏方法的影响。

应在温度和加压操作过程中的水击压力稳定后进行管道及主要配管的强度试验。系统中任一点压力至少为 MAOP 的 1.25 倍,最小持续时间为 1 h。

如适用,强度试验压力应乘以以下比率:

- 试压温度条件下的 $\sigma_y$ 除以设计温度条件下的 $\sigma_y$ ;
- 如有腐蚀裕量,用 $t_{\min}$ 加上腐蚀裕量除以 $t_{\min}$ 的数值。

在人类活动稀少和无永久人类居住地区输送 C 类和 D 类流体的管道,如果最大事故压力不超过 MAOP 的 1.05 倍,则其强度试验压力可降低至不小于 MAOP 的 1.20 倍。

强度试验成功后,应对管道进行严密性试验,要求系统中任一点的压力不低于 MAOP 的 1.1 倍,试压至少持续 8 h。

强度试验和严密性试验可结合起来,在上述规定的强度试验压力下试验 8 h,针对完全可进行目视检查的管道或主要配管,当严密性试验保持 2 h 后整个管道无泄漏,其试验时间可减少到 2 h。附录 D 中规定的输送 D 类和 E 类流体的管道应按 D.6 中的附加试验要求执行。

#### 7.7.4 验收标准

强度试验过程中由非泄漏原因造成的压力变化可以接受。

严密性试验过程中由环境温度或压力变化(如对于近海管道的潮汐变化)造成的压力上升或下降可以接受。

应对不符合上述要求的管道进行修理,并按照本文件中的有关要求重新试验。

### 7.8 其他活动

#### 7.8.1 第三方活动

确定管道的保护措施时,应包含下列因素:

- 管道损坏对公众安全及环境的影响;
- 第三方活动的干扰可能产生的影响;
- 国家在公共安全及环境保护方面的要求。

示例:影响陆上管道运行的第三方活动包括其他土地使用者、交通、耕作、排水设施安装、建筑施工及在公路、铁路、水道上进行的各种作业和军事训练。影响近海管道的第三方活动包括导向支架工程船的就位作业、船锚及锚链的移动、水中受阻的电缆和系缆管道、设施附近的物体下沉、靠近立管的移动船只、管道施工期间的海底捕鱼作业活动以及军事训练等。

如有必要,应制定明确的管道保护要求,并将其纳入 7.2.1.2。

示例:针对陆上管道采取的保护措施包括增加覆盖层、增加壁厚、标识及标记带、机械保护,控制管道线路通道或者同时采用上述多种措施;针对近海管道采取的保护措施包括挖沟或埋设、抛石、沉排护底或防护结构覆盖以及增设立管防护结构等。

对于陆上管道,宜在公路、铁路、河流及运河的穿越处及其他地方设置标记,以便该区域内的其他活动主体能够快速辨别管道的位置。对于陆上埋地管道,宜使用标志桩或标记带。

#### 7.8.2 管道覆盖层

##### 7.8.2.1 陆上管道

陆上埋地管道宜按照不小于表 6 中所列埋深敷设。埋深应从地面可能最低标高处测量,直至管道顶部(包括涂层及附件)。

表 6 陆上管道最小埋深

| 位置                                                                                                                                                               | 埋深 <sup>a</sup><br>m |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 人类活动有限或无人类活动的区域                                                                                                                                                  | 0.8                  |
| 农业或园艺业活动区 <sup>b</sup>                                                                                                                                           | 0.8                  |
| 运河、河流 <sup>c</sup>                                                                                                                                               | 1.2                  |
| 公路和铁路 <sup>d</sup>                                                                                                                                               | 1.2                  |
| 居民、工业及商业区                                                                                                                                                        | 1.2                  |
| 岩石地面 <sup>e</sup>                                                                                                                                                | 0.5                  |
| <sup>a</sup> 对冻胀区域的覆盖层采取特殊处理手段。<br><sup>b</sup> 最小埋深不应小于正常耕作深度。<br><sup>c</sup> 应从预计的最低河床面量起。<br><sup>d</sup> 应从排水沟的底部量起。<br><sup>e</sup> 管子顶部至少要低于岩石层表面 0.15 m。 |                      |

如果管道埋深小于表 6 中指定的埋深,则提供相同水平的保护方法作为替代方案。

设计可替代的保护方法时宜包含以下因素:

- 对该区域其他土地使用者造成影响;
- 土壤的稳定性及沉降;
- 管道的稳定性;
- 阴极保护;
- 管道的膨胀;
- 管道维修通道。

#### 7.8.2.2 近海管道

若存在影响管道完整性的外部损害,应将管道放置沟内、埋设或增加保护措施以减少与其他活动的相互干扰。制定减少或防止此类相互干扰的技术要求时,应咨询该区域的其他土地使用者。

近海管道的防护结构宜具有光滑流畅的轮廓,以最大限度降低锚索及捕鱼机具所造成的绊阻及损坏风险。此外,保证防护结构宜与管道系统之间留有充足的空间,以便于维修人员接近管道对其进行维护,同时允许管道膨胀和结构基础沉降。管道防护结构的设计宜与其阴极保护设计相匹配。

### 7.9 穿跨越与占用

#### 7.9.1 向主管部门咨询

应按照有关主管部门的规定确定管道设计荷载(包括频率、施工方法和穿越保护要求等)。

#### 7.9.2 道路

为确定环向应力设计系数,宜将公路分为主要道路和次要道路。

高速公路和干线道路宜归为主要道路,其他公共道路则归为次要道路。可通行重型车辆的小路宜归为次要道路。



表 2 中的环向应力设计系数及表 6 中的埋深为道路路权边界以内的管道的最低要求,若边界线不确定,可将主要道路距离硬路肩 10 m 和次要道路距离硬路肩 5 m 作为边界线。

在可行的情况下,与道路平行敷设的管道宜敷设在道路路权边界线之外。

### 7.9.3 铁路

表 2 中的环向应力设计系数及表 6 中的埋深作为最低要求,适用于铁路边界以外 5 m 处,如果该边界线还没有明确,则宜取距铁轨 10 m 以外。

与铁路并行敷设的管道,只要可行的话,宜敷设在铁路路权界线以外。

对于明挖法穿越铁路的管道,管顶距离铁轨顶部最小垂直距离宜为 1.4 m,用穿孔法或隧道法穿越时,该最小垂直距离宜为 1.8 m。

### 7.9.4 水路及登陆段

宜与水域及水路管理主管部门协商确定穿越运河、航道、河流、湖泊及登陆段管道的保护要求。

穿越防洪堤时,可附加设计措施以防洪、度汛和限制可能发生的不良后果。

确定保护要求时,应评估由船舶抛锚、冲刷及潮汐作用,土壤不均匀沉降或沉陷及未来作业(如挖泥、疏浚加深和拓宽河道或运河等)造成的管道损害。

### 7.9.5 现有管道或电缆穿越

新建管道不应与现有管道及电缆直接接触。在管道的设计寿命期限内,为防止两者相接触,宜安装沉排或其他永久性隔离措施。

穿越时宜保证新建管道与现有管道及电缆的交叉角尽可能地接近 90°。

### 7.9.6 管桥跨越

埋地穿越无法实现时,可考虑管桥跨越。

管桥应按结构设计标准设计,其间距能够避免车辆通行可能造成的损伤,并便于维修。应评估管道阴极保护与桥梁支撑结构阴极保护之间的相互干扰对管道的影响。

应制定限制公众进入管桥的措施。

### 7.9.7 套管穿越

宜尽可能地避免套管穿越。如果使用钢套管,则应符合 ISO 16440 的要求。

## 7.10 不利的地层及海床条件

应制定保护措施和监测要求,以减少不利地层及海床条件引发的管道损坏。

示例:不利地层及海床条件包括滑坡、侵蚀、沉陷、不均匀沉降、冻胀及融沉的地区、高地下水位的泥炭地区及沼泽地等。可能采用的保护性措施有增加管壁厚度、稳定土层、防止冲刷侵蚀、安装锚固件、采取负浮力保障措施等,以及监测措施。监测方法包括测量地层运动、管道位移或管道应力变化。

宜向当地主管部门、当地地质研究机构及采矿咨询公司等单位咨询总的地质条件、滑坡及沉降区域、隧洞开挖以及可能的不利地层条件。

## 7.11 管段隔离阀

管段隔离阀宜安装在管道的开始和末端,用于下列需求:

——操作和维修;

- 应急控制；
- 限制潜在的外溢量。

宜根据地形、操作及维修要求(包括压力泄放要求)、安保以及与有人居住建筑距离要求等布置阀门。

确定管段隔离阀的安装位置时,应确定阀的操作模式。

## 7.12 完整性监测

设计阶段应编制管道完整性监测的技术要求。

注:监测包括腐蚀监测、检测和泄漏检测。

## 7.13 清管设计

应确定清管要求并据此设计管道。管道宜按内检测器要求设计。

清管设计宜考虑下列内容:

- 永久性清管器收发筒安装位置或临时清管器收发筒接口的位置；
- 通道；
- 吊装设备；
- 清管器发送和接收操作时的隔断要求；
- 放空及排放要求(用于预投产充气敷设及运行中)；
- 清管方向；
- 允许的弯管最小曲率半径；
- 弯管与管件之间的距离；
- 允许的最大直径变化；
- 内径变化时的锥度要求；
- 支管连接设计与管线管材的匹配；
- 内部管件；
- 内涂层；
- 清管信号装置。

布置清管器收发筒的方向时,应评估进入道路及附近设施的安全问题。

## 7.14 预制部件

### 7.14.1 焊接的支线连接部件

钢管焊接式支线连接部件应按照公认的设计标准要求设计。连接部件中的环向应力不应超过所连接管子中的允许环向应力。

若机械式管件的设计符合或超过管道的设计压力,则可用于带压开孔的管道。

### 7.14.2 焊接预制的特殊部件

特殊部件应按照本文件和可靠的工程经验设计。当该部件的强度按照本文件要求不能计算和确定时,应按照 ASME BPVC.Ⅷ.1 中的要求确定其最大允许操作要求。

预制部件不同于普通制造的对接焊管件,其使用的材料和径向焊缝应按照本文件设计、施工和试验。不应使用桔瓣形堵头、桔瓣形大小头及鱼尾形封头。

平板盖应按照 ASME BPVC.Ⅷ.1 设计。

特殊部件应能承受管道系统强度试验的压力。现有管道系统上安装的部件在安装前应按照 7.7 进行试压。

#### 7.14.3 挤出式出口

挤出式出口应按照 GB/T 29168.2 设计。

#### 7.14.4 清管器收发筒

确定收发球筒的尺寸时,应评估预计的清管操作,包括可能的内检测。

应根据表 2 和表 3 中的环向应力设计系数设计永久性和临时性清管器收发筒,包括放空管、排流管及液体喷出支管、喷嘴加强圈、马鞍形支座等部件。盲板应符合 ASME BPVC.Ⅷ.1 的要求。

盲板设计应保证清管器收发筒受压时盲板不能打开。盲板设计包括与主管道阀门互锁的装置。

清管器收发筒应按照 7.7 进行试压。

#### 7.14.5 段塞流捕集器

##### 7.14.5.1 容器式段塞流捕集器

容器式段塞流捕集器应按照 ASME BPVC.Ⅷ.1 进行设计与制造。

##### 7.14.5.2 多管式段塞流捕集器

应按照表 2 和表 3 中的环向应力设计系数设计多管段塞流捕集器。

#### 7.14.6 组合件

组合件的环向设计系数应适用于整个总装配后的组合件,但管末端的大小头、弯管或弯头除外,并应包括距离最后部件以外各方向上延伸 5 倍管直径或 3m 中较短的管段。

#### 7.15 支座或锚固件与管道的连接

为防止或抑制过度振动,管道及设备应支撑牢固,并应锚固以防止作用在连接设备上的异常载荷。

应以固结的回填土支撑陆上管道的分支连接点或者使其柔性满足要求。

当需开挖固结的回填土以便将新建支线连接到现有陆上管道,则总管和支线均应设置固定墩以防止发生垂直和侧向移动。

为防止配管振动而要求安装的拉杆及阻尼装置应通过全包型构件与输送管连接。

所有管道附件设计均应最大限度地减小对管道造成的附加应力。附件的比例及焊接强度要求均应符合标准的结构做法。

不应将结构支撑、拉杆或锚固件直接焊接到设计工作压力等于或超过 50%SMYS 的管道上。应采用全包型的加强环支撑装置的构件。

当需要提供主动支撑时,如在锚固件处,附件应焊到全包型构件上面,不应焊接到管道上。管道与全包型构件的连接采用连续环向连接,不应采用断续焊接。

不焊接的管道支座设计宜便于被支撑管道的检查。

设计用于防止管道轴向移动锚固墩时,宜考虑管道的膨胀力与土壤间阻碍移动的摩擦力。

全包型构件的设计应包括输送管在功能性、环境、施工及偶然载荷下的组合应力。全包型构件可以夹持或用全包圆周焊缝连接到管子上。

全约束的管道所承受的轴向力( $F$ ),应按照公式(10)计算:

$$F = -P_{id} \times A_i (1 - 2\nu) - A_s \times E \times \alpha (T_2 - T_1) \dots\dots\dots(10)$$

式中：

- $P_{id}$ ——设计压力(如果充气敷设),单位为兆帕(MPa)
- $A_i$ ——管道内部横截面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ );
- $A_s$ ——管壁横截面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ );
- $E$ ——弹性模量,单位为兆帕(MPa);
- $\alpha$ ——线性热膨胀系数;
- $T_1$ ——安装温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );
- $T_2$ ——运行期间的最高或最低温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );
- $\nu$ ——泊松比。

确定管道轴向力时,应包含残余安装载荷。

## 7.16 近海立管

对近海装置有关键作用的近海立管,因暴露于环境载荷和与各种机械连接,设计中宜考虑下列因素:

- 海水飞溅区(载荷与腐蚀);
- 运行中降低的检测能力;
- 引发的移动;
- 立管空间布置引起疲劳的影响;
- 平台沉降的可能性;
- 为保护立管,把立管布置在支撑结构之中。

## 8 站场和终端设计

### 8.1 位置选择

选择陆上站场和终端位置时应评估下列因素:

- 地形;
- 土壤情况;
- 通道;
- 可利用的公共设施;
- 管道入口和出口的连接要求;
- 附近设施及其他活动引起的危害;
- 公共安全和环境保护;
- 预计的发展。

站场和终端的布置宜确保管道运营公司控制的邻近设施发生火灾时不受影响。

将管道系统的一部分布置在其他设施(陆地或近海)内时,宜作为该设施总图布置的一部分进行审查。审查时,宜考虑安全评估的结果,包括发生爆炸或火灾后员工住宿和逃生。

### 8.2 平面布置

站场和终端周围应为消防设备的自由移动提供空间、通道及防火间距,以便消防设备及其他紧急救援设备进出。

站场和终端的平面布置应最大限度减小火灾的蔓延及后果。

站内和终端内有可能聚集爆炸性气体混合物的区域应按照 GB 3836.14 加以分类并对区域内装置及设备提出相应的防爆要求。

罐区间距应按 NFPA 30 的规定。

管道及配管布置不应对人造成绊倒或碰头等伤害,并且不应妨碍对设备及配管进行检测和维修,还应包含设备更换通道的要求。

向大气排放流体的管线应延长到可以安全排放的位置。在近海装置生活区附近布置排放管线时,应更注意管线的安全问题。

### 8.3 安保

应控制进入站场和终端的通道。宜设置防护栏、有人值守的门或所有门应上锁。

站场和终端四周应设永久性告示,指明泵站或终端详情以及可与管道运行公司联系的电话号码。

管道系统的一部分,若设在其他装置内,则其安保要求应结合该装置的安保要求予以考虑。

### 8.4 安全

应设立识别危险的、划分等级的和高电压区域的标志。应限制进入该区域。

围栏不应阻碍人员逃往安全区域。当设置围护结构时,各安全门应是向外开的并且不用钥匙就能从里面打开。

主泵房和压缩机房的每一操作楼层、地下室,以及任何高空走道或平台应提供满足要求出口和通往安全位置的通道。

应提供适用的火焰和气体探测器及消防设施。对于陆上站场及终端,应通过与当地消防部门进行磋商确定设施的各项要求。

储罐、防火堤和防火墙应符合 NFPA 30 的要求。

在正常或非正常条件下(如垫片被吹出或填料密封损坏等),暴露在含有危险浓度的易燃或有毒液体、蒸汽或气体的环境中,为保护人员,应设置通风系统,还应配置能探测流体危险浓度的设备。

可能引起人员伤害的热配管或冷配管应适当隔热或加以防护。

### 8.5 环境

废水及排放物的处理排放应符合国家和当地的环境要求。

### 8.6 建筑

泵房和压气机房,如其中设备或配管尺寸外径大于 60 mm,或者除家用目的外的输送 D 类及 E 类流体的设备,应使用按 NFPA 220 所定义的耐火、不可燃或阻燃的材料进行建造。

### 8.7 设备

泵、压缩机、原动机以及它们的辅助设备、附件、控制及支撑系统,均应适合 6.1 中系统定义中规定的用途。泵、压缩机及其原动机设计操作条件范围应限制在 6.4 中确定由控制设备所限定的管道系统的约束条件之内。

除电感应(异步)或同步电机外,原动机应配备有自动控制设备,能在原动机或被驱动设备的转速超过制造厂所规定的最大安全转速之前关闭机组。

装置及设备应符合 8.2 中规定的区域划分的要求。

除了上述的功能性要求外,泵、压缩机、燃气轮机和电动机应满足 ISO 3977(所有部分)、ISO 10439

(所有部分)、ISO 13707、GB/T 3215、GB/T 34391 或 GB/T 755 中适用的要求。

## 8.8 配管

### 8.8.1 主要配管

主要配管应按照第 7 章的要求进行设计。

配管的设计中应分析振动设备引起的振动、由往复泵或压缩机引起的流体振荡以及流动诱发的振荡。

应保护配管免遭真空外压及超压损坏。压力控制及超压保护等均应符合 6.4 的要求。

注：配管可能处于超压或真空状态，其产生原因是关阀或停泵期间流动的突然变化产生的水击、过高的静水压力、流体膨胀、在错误的条件下与高压力源连接，或者在停输或放空期间形成的真空等原因。

### 8.8.2 辅助配管

#### 8.8.2.1 燃料气配管

站内的燃料气配管应符合 ISO 15649 的要求。

燃气管线应在建筑和居民区外面设置总切断阀。

燃气系统应配备压力限制设备，以防止燃气压力超出系统正常操作压力的 25%。最大燃气压力不应超过设计压力的 10%。

当原动力或连接的设备正在进行维修时，应制定燃料总管的放空或吹扫措施，以防止燃料气进入燃烧室。

#### 8.8.2.2 压缩空气配管

站内压缩空气配管应符合 ISO 15649 的要求。

压缩空气罐或储气瓶应按 ASME BPVC.Ⅷ.1 的要求制造和装配。

#### 8.8.2.3 润滑油和液压油配管

所有站内润滑油及液压配管应符合 ISO 15649 的要求。

#### 8.8.2.4 放空及排水管线

放空及排水管线的尺寸应与泄压阀的容量相匹配。

## 8.9 紧急停车系统

每座泵站或压气站应配备快速、就地和/或远程操作且可关闭所有原动机的紧急停车系统。还宜考虑把站场和管道隔离开以及需要时可以泄压或放空。

紧急停车系统的操作还应允许关闭任何不用于应急目的且危害现场安全的燃烧天然气设备。

保护人身安全以及保护设备功能所必需的用电，应设计不间断供电电源。

## 8.10 电气

站内电气设备接线应符合 GB/T3836.15 的要求，在紧急情况下需要继续运行的电气装置应保障其所在区域在紧急情况下的用电条件。

## 8.11 储存和工作罐

为储存和接运流体的罐应按下列标准设计和制造：

- 蒸汽压力小于 3.5 kPa [0.035 bar(g)]的流体应按照 API STD 650 设计和制造；
  - 蒸汽压力大于 3.5 kPa [0.035 bar(g)]、但不大于 100 kPa [1 bar(g)]的流体应按照 API STD 620 设计和制造；
  - 蒸汽压力大于 100 kPa [1 bar(g)]的管式储存器应按照本文件设计和制造；
  - 其他适用于蒸汽压力大于 100 kPa [1 bar(g)]的非管式储存器的标准。
- 应根据计划和技术要求设计和建造基础,技术要求应包含土壤条件、储罐类型、用途以及大概位置。

#### 8.12 加热站和冷却站

当管道系统运行时,流体需要加热或冷却的位置宜安装温度指示器和控制器。

为了保证停输后的安全流动条件,加热站可能需要考虑停输后站内管线、泵体、放水管线及仪表管线的伴热。

#### 8.13 计量站和压力控制站

流量计和粗、细过滤器应按同一内压设计,并应满足本文件试压要求。

所有部件均应支撑良好,防止对连接配管系统施加过度的载荷。

设计和安装应留有便于维护和检修用的通道并最大限度地减少对站内操作的干扰。对站内操作的干扰应包含流动液体的回流、振动或脉动。

过滤网孔或过滤材料空隙应能防止外来有害物质侵入设备及静电荷聚集。

#### 8.14 监视和通信系统

按照第 6 章规定进行系统设计应确定并包括下列技术要求:监测压力、温度、流量及被输流体的物理特性;监视泵、压缩机、阀位、计量表及罐液位的信息以及监视动力供应故障、电机线圈及旋转机械轴承的高温、过度振动、低吸入压力、高输送压力、密封泄漏、异常温度等报警条件的相关信息;探测火灾及危险大气环境。

监视控制与数据采集系统(SCADA)可用于控制设备。

管道系统操作要求及安全和环境保护要求,应作为确定监视及通信部件冗余量和备用电源需求的基础。

#### 8.15 用于陆上供气系统的压气站

有关压气站的其他特殊功能要求,见 EN 12583。

### 9 材料和涂层

#### 9.1 管道和主要配管的一般材料要求

##### 9.1.1 选择

用于管道和主要配管的材料应:

- 具有满足 7.4 设计要求的力学性能,如强度及韧性;
- 具有满足第 10 章腐蚀控制要求的性能;
- 适用于预定的加工制造和/或施工方法。

注:有关辅助配管的材料要求,见 ISO 15649。

### 9.1.2 酸性介质中使用的材料

酸性介质中材料的技术条件应满足 GB/T 20972(所有部分)的要求。

### 9.1.3 要求的一致性

对管道系统内所有承压部件的要求应一致。

示例：对管道系统内所有承压部件的要求包括确保化学成分的可焊性和防止脆性断裂的韧性。

### 9.1.4 化学成分

用于焊接且没有产品标准的铁碳素钢材料,其最大的碳当量(CE)为:

——规定最小屈服强度不大于 360 MPa 等级的钢为 0.45;

——规定最小屈服强度大于 360 MPa 等级的钢为 0.48。

用于焊接且有产品标准的铁素体钢,其碳当量不超过上述数值或取上述数值和产品标准中规定值两者中的较小者。

材料采购者可考虑采用较高碳当量值的材料或者要求对可接受的最大 CE 值进一步加以限制。

应按公式(11)计算 CE 值:

$$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15 \quad \dots\dots\dots(11)$$

其中元素的符号表示相应元素的质量分数百分比。

注：公式(11)的格式不符合 ISO 标准格式,但其在行业中的历史源远流长,人们已经破例接受了它。

对于输送 A 类流体的管道和主要配管,其化学成分未知时,应按公式(12)计算 CE 值。

$$CE = C + Mn/6 + 0.04 \quad \dots\dots\dots(12)$$

### 9.1.5 脆性断裂韧性

材料的选择和应用应防止脆性断裂。

公称直径大于 DN 150 并且材质是铁素体/奥氏体、马氏体不锈钢或碳素钢的用于输送 C 类、D 类及 E 类流体管道和主要配管的材料,其全尺寸夏比 V 型缺口试件的最小夏比冲击功应满足:

——规定的最小屈服强度不大于 360 MPa 的材料,平均 27 J,单个试件 20 J;

——规定的最小屈服强度大于 360 MPa 的材料,平均 40 J,单个试件 30 J。

输送 A 类及 B 类流体管道和主要配管的材料,以及输送 C 类、D 类及 E 类流体的管道系统中公称直径不大于 DN 150 的部件使用的材料,防止其发生脆性断裂的技术要求应根据设计条件确定。

注：阻止韧性断裂扩展需要更高的冲击功(见 9.1.6)。

全尺寸夏比 V 型缺口试验应按 GB/T 229 执行,也可采用 GB/T 9711—2017 规定的带锥度的试件。当要试验的管件厚度不满足制作全尺寸夏比 V 型缺口试样的条件时,可采用缩尺的试件试验,最小冲击功按试件厚度比例减小。

试验温度不应高于材料在承压状态下可能经受的最低温度。对于气体或气/液管道和主要配管、近海立管及大厚度管件应评估更低的试验温度。

母体金属、焊接部件的焊缝金属和热影响区金属均应符合防止脆性断裂的要求,通过采用经鉴定的焊接工艺保证达到规定的耐脆性断裂性能。



### 9.1.6 剪切断裂韧性

输送 C 类、D 类及 E 类流体的管线用管的母体金属应具有阻止剪切断裂扩展的能力。流体在突然减压情况下的相变行为应加以确定,并应验证在各种相态下所要求的剪切止裂性能。

注: GB/T 9711—2017 中的附录 H 提供了确定阻止剪切裂纹扩展所要求断裂韧性的指南。

夏比 V 型缺口试验应按照 9.1.5 要求进行,试验温度应为管道在空气、海水或地下运行过程中可能出现的最低温度。

如果材料性能实际上达不到阻止断裂所要求的韧性,可采用由套管或厚壁管组成的机械止裂器。应按照断裂扩展的后果确定止裂器沿管道的安装位置及最小间距。

### 9.1.7 高温工况

材料在 50 °C 以上的最高工作温度下的机械性能宜记录在案,除非相关产品标准或补充证明文件中有规定。

### 9.1.8 成型及热处理后的性能

对于经热处理、热或冷加工成型或影响材料性能的其他加工过程的材料,应用文件形式证明在最终状态下的材料性质符合规定的要求。如果为焊接部件,该类证明文件包括母材,焊缝金属及热影响区的性质。

### 9.1.9 生产质量鉴定程序

宜根据以前加工该材料的经验,考虑生产质量鉴定程序和生产前材料试验的要求。管道运营商应安排专业技术人员驻厂监造。

### 9.1.10 标记

材料和部件应按照适用的产品标准的要求予以标记,如无规定,则可按 MSS SP-25 的要求执行。

冲压标记制作的方式应确保最大限度地减小应力集中,且应设置在不对材料或部件产生损伤的位置。

### 9.1.11 检验文件

所有材料在供应时应附有 GB/T 18253 所述的检验文件,该文件可以追溯到管道组件。对于承压部件用材料,应至少提供 GB/T 18253 所述的 5.1 型的检验证明。

### 9.1.12 规范

所有管线用管、配管部件和涂层材料应按照相关标准及本文件的要求制造和使用。

对于未纳入相关产品标准中的本文件要求,应进行规定并补充至产品标准中。

如果没有相关的产品标准可用,则应编制材料的详细技术要求,包括性能、尺寸及制造、试验、检验、认证及形成文档等要求。

### 9.1.13 部件的重新使用

部件允许重新使用,如果:

- 原始制造的规范符合本文件要求;
- 检验文件符合 9.1.11 的要求;

——经过检测、清理和本文件允许的修理之后,经检验证明部件是可靠和无缺陷的。

原始制造技术规范未知的管线用管,如果经过检验和试验后被证明其满足 GB/T 9711—2017 的适用部分的要求,则可以作为 L245 级管线用管使用。此类材料的使用应限于在规定的低于最小屈服强度 30% 应力水平下运行的管道。

注:管道运营商需在工程规范中表明同意重新使用该材料。

#### 9.1.14 记录

按照 14.1.8 的要求,在运行期间,应收集并保存关于供求双方同意偏差的说明,如计算书和图纸的设计、记录资料、试验与检验结果及合格证。

### 9.2 管线用管

#### 9.2.1 碳钢管

C-Mn 钢制成的管线用管应符合 GB/T 9711—2017 的要求。

#### 9.2.2 不锈钢及非铁金属管线用管

不锈钢及非铁金属管线用管可为焊接管或无缝管。

#### 9.2.3 不锈钢或非金属内衬的碳钢管

碳钢管线用管应符合 GB/T 9711—2017 的要求。

设计及内腐蚀评估应说明,不锈钢或非铁金属衬里与外层碳钢管应使用冶金方法结合(敷融)或用机械方法压接(衬里)。管道和焊缝处内衬的最小厚度不宜小于 3 mm。

如有必要,应审查并规定比 GB/T 9711—2017 中更接近的焊管管端公差要求。

### 9.3 管道以外的部件

#### 9.3.1 法兰

法兰连接应符合 GB/T 29168.3、ASME B16.5、MSS SP-44 或其他公认规范的要求。允许专用法兰设计。宜符合 ASME BPVC.Ⅷ.1 的相关要求。

当法兰尺寸和钻孔与 GB/T 29168.3 规定有偏差时,应说明其符合 GB/T 29168.3 的设计要求。

法兰内径应与相连管道内径吻合,以便于对准焊接。

垫片材料不应被管道系统中的流体损坏,并应能承受使用中的压力和温度。使用温度高于 120 °C 时,应采用阻燃材料。

螺栓材料应与操作条件、环境条件及管线材料相匹配。螺栓或双头螺栓应伸出螺母。

#### 9.3.2 弯管

弯管可由管子用冷弯曲、热弯曲或感应弯曲的方法制造。不应采用斜接弯管。

热弯管或冷弯管的要求如下:

——管材应为全镇静钢;

——弯管管体的椭圆度不应超过 2.5%;

——弯管管端公差应符合连接管子管端的公差;

——不应有褶皱,但是,若符合 GB/T 29168.1—2021 中 10.5 的要求,弯管内壁上的“起伏”可接受;

——弯管的所有部位应符合相邻管道规定的最小管壁厚度的要求;

——弯管应符合 9.2 规定的有关管道力学性能的要求。

感应弯管应满足 GB/T 29168.1—2021 的要求。

弯管的试验及检验应在交货条件下进行。

### 9.3.3 管件

管件应符合 GB/T 29168.2 要求。

管件应采用全镇静钢制造,应采用公认的作法以保证预计的热处理效果及切口韧性。

### 9.3.4 阀门

球阀、止回阀、闸阀及旋塞阀应符合 GB/T 20173 的要求。海底应用的阀门应符合 ISO 14723 的要求。

### 9.3.5 预制的绝缘接头

预制的绝缘接头在安装到管道上之前,应采用 MAOP 的 1.5 倍压力进行试验,并进行电气试验验证绝缘性。所有工艺浸湿部件(金属和非金属)应符合设计使用条件。

### 9.3.6 其他部件

对无产品标准的部件设计应符合 ASME BPVC.Ⅷ.1 规定的要求。焊接制造和焊接连接至管道的所有其他部件应符合 ISO 13847 的要求。

## 9.4 涂层

### 9.4.1 外涂层

#### 9.4.1.1 混凝土配重层

混凝土配重层应符合 ISO 21809.5 的要求。

#### 9.4.1.2 防腐和绝热保温涂层

工厂预制的涂层应符合 10.5 及如下要求:

- 三层聚烯烃涂层符合 ISO 21809.1;
- 单层熔结环氧树脂(FBE)涂层符合 ISO 21809.2;
- 两层聚烯烃符合 ISO 21809.4。

#### 9.4.1.3 绝热保温涂层

绝热保温涂层应符合公认标准或规范,包括如下要求:

- 涂层及增强材料(如相关)的类型;
- 各层厚度及总厚度;
- 组成及/或基材;
- 力学性能;
- 温度限制;
- 表面处理要求;
- 黏结要求;
- 材料、施工及固化要求,包括关于健康、安全及环境方面的要求;

- 涂层系统及人员评定试验要求(如相关)；
- 试验和检测要求；
- 有关的修补步骤。

海底应用的湿式保温应符合 ISO 12736 的要求。

#### 9.4.2 内涂层/衬里

内涂层一般宜符合公认标准或技术规范,包括如下要求:

- 涂层及增强材料(如相关)的类型；
- 各层厚度及总厚度；
- 组成及/或基材；
- 力学性能；
- 温度限制；
- 表面处理要求；
- 黏结要求；
- 材料、施工及固化要求,包括关于健康、安全及环境方面的要求；
- 涂层系统及人员评定试验要求(如相关)；
- 试验和检测要求；
- 有关的修补步骤。

减阻涂层最小厚度宜为 40  $\mu\text{m}$ 。

## 10 腐蚀管理

### 10.1 总体要求

应对管道系统的内外腐蚀进行管理,以防在设计寿命期内腐蚀导致不可接受的管道失效或丧失运行能力的风险。腐蚀管理包括以下内容:

- 识别并评估潜在的腐蚀危险源；
- 管材选择,考虑内外腐蚀性评估结果；
- 识别必要的腐蚀减缓措施；
- 确定腐蚀监测和检测要求；
- 复核腐蚀监测和检测结果；
- 根据经验和设计条件与管道环境变化要求,定期改进腐蚀管理要求。

内外腐蚀性的评估应以文件形式说明。对于已选择材料,应确保在设计寿命内将腐蚀控制在设计范围内。

评估应基于有关运行维护经验和实验室试验结果。

任何腐蚀裕量均应包含管道设计寿命期内预计的腐蚀类型及速率。

在评估中还应包括管道材料在运输、储存、施工、试验、管道保存、投产及运行事故条件下可能的内外腐蚀。

### 10.2 内腐蚀评估

应针对所有设计条件(见 6.1)确定可能的管道腐蚀损失或管道材料劣化。

应根据管道运行期间预计的流体流速、压力和温度条件评估形成游离水的可能性。

应识别可能引起或影响内腐蚀的流体组分,并确定在其预计浓度、压力及温度下的潜在腐蚀性。

示例:可能引起或影响内腐蚀的流体组分包括二氧化碳、硫化氢、元素硫、汞、氧气、水、溶解盐(氯化物、碳酸氢盐、羧化物等)、固体沉积物(与管道清洁度有关)、微生物污染、上游活动中注入的化学添加剂和来自上游工艺事故的污染物。

应说明的潜在类型腐蚀包括下列几种:

- 整体材料损失和劣化;
- 局部腐蚀,如沉积物下的点腐蚀和晶面腐蚀或缝隙腐蚀;
- 微生物引起的腐蚀;
- 应力开裂;
- 氢致开裂或台阶式开裂;
- 应力诱发氢致开裂;
- 冲蚀及冲刷腐蚀;
- 疲劳腐蚀;
- 双金属/电偶腐蚀,包括选择性焊缝腐蚀。

### 10.3 内腐蚀减缓措施

#### 10.3.1 方法

内腐蚀减缓方法包括:

- 改进设计/操作条件;
- 采用耐腐蚀材料;
- 采用化学添加剂;
- 采用内涂层或内衬;
- 定期进行机械清管;
- 消除双金属电偶对。

宜考虑所选腐蚀减缓方法与下游操作的相容性。

#### 10.3.2 设计条件的修订

管道系统上游流体处理设施及管道系统运行程序,可能需要审查,以便查找机会消除腐蚀性评估中识别出的腐蚀成分或条件。

#### 10.3.3 化学添加剂

在选择化学添加剂时考虑的因素宜包括:

- 在整个管道系统水湿润区的有效性;
- 流体流速变化;
- 多相系统中的相分布特性;
- 沉积物及垢的影响;
- 与流体规范的一致性;
- 与其他添加剂的相容性;
- 与管道部件材料的相容性,特别是与非金属材料的相容性;
- 化学处理过程中的人员安全性;
- 排放时对环境的影响;

——与管道下游操作的相容性。

#### 10.3.4 内涂层或内衬

确定非完整内涂层/内衬保护(如针孔或其他缺陷)不会导致不可接受的腐蚀时,可采用内涂层或内衬减轻内腐蚀。

在选择内涂层或内衬时宜考虑的因素包括:

- 现场接头的内涂层;
- 施工方法;
- 修补方法的可用性;
- 操作条件;
- 流体对内涂层/内衬的长期作用;
- 耐压力变化的性能;
- 内涂层上温度梯度的影响;
- 适应清管作业。

#### 10.3.5 清管

宜确定周期性机械清管要求。考虑的因素宜包括:

- a) 清除积聚的固体和腐蚀液体以助于减轻积液区腐蚀;
- b) 增强化学添加剂的有效性。

选择机械式清管设备,宜考虑:

- a) 清除有保护作用的腐蚀产物或化学添加剂的可能后果;
- b) 机械清管损伤内涂层或内衬的可能后果;
- c) 管道材料(如不锈钢管)和机械清管器材料接触可能发生的不良后果。

### 10.4 外腐蚀评估

10.4.1 应根据管道运行温度(见 6.1)及沿线外部条件(见 7.2)确定发生外腐蚀的可能性。表 7 给出了在评估外腐蚀发生可能性时应包含的典型环境条件。

表 7 评估外腐蚀时要考虑的环境条件

| 近海管道                   | 陆上管道                   |
|------------------------|------------------------|
| 大气条件(海洋)               | 大气条件(海洋/工业/乡村)         |
| 空气/水界面(飞溅区)            | 海水(潮汐区、海岸)             |
| 海水                     | 淡水或半咸水                 |
| 海床或埋在海床里               | 沼泽及泥炭地                 |
| 在管束内或管套内               | 河流穿越                   |
| 岩石堆/混凝土沉排              | 干土壤或湿土壤                |
| J形管/沉箱内部               | 隧道、套管或沉箱内部             |
| 管道周边的杂散电流干扰源(如地铁、高压线等) | 管道周边的杂散电流干扰源(如地铁、高压线等) |

10.4.2 外腐蚀评估时宜考虑的环境参数包括:

- a) 大气温度；
- b) 环境的电阻率、盐度及氧含量；
- c) 细菌活性；
- d) 水流；
- e) 埋设程度；
- f) 潜在的植物根系成长危害；
- g) 碳氢化合物及其他污染物对土壤的潜在污染。

10.4.3 腐蚀测量评估除考虑管道安装时的腐蚀性外,还宜考虑环境的长期腐蚀性。陆上管道,应评估管道穿越区内的土地使用变更计划,该变更会改变环境条件并继而改变土壤腐蚀性,如对以往干扰或低腐蚀性土壤的灌溉。

10.4.4 应评估环境 pH 值及可能的杂散电流和交变电流源对陆上管道的影响。

10.4.5 外腐蚀损坏类型应包括:

- 整体金属损失和劣化；
- 局部腐蚀,如沉积物下的点腐蚀或缝隙腐蚀；
- 微生物引起的腐蚀；
- 应力腐蚀开裂,如碳酸盐/碳酸氢盐侵蚀。

## 10.5 外腐蚀减缓措施

### 10.5.1 保护要求

金属管道宜采用外涂层,埋地或水下金属管道应施加阴极保护。对于可能发生严重腐蚀的场合,宜考虑腐蚀裕量并采用耐久外涂层或耐腐蚀合金包覆。

示例:近海管道立管的飞溅区是严重腐蚀区域。

### 10.5.2 外涂层

在选择外涂层时考虑涂层是否能够提供要求的保护以及在施工和运行中可能发生的危害。

评估外涂层的有效性时应包括的参数:

- 涂层的电阻率；
- 湿气的渗透率与其温度的关系；
- 涂层与基体金属之间的黏结力；
- 对涂层与附加保护层、保温层或环境之间的抗剪切力；
- 对阴极剥离的敏感性；
- 耐老化性、耐脆裂及开裂性；
- 涂层修补的要求；
- 可能对管道材料造成的不良影响；
- 可能的温度循环；
- 耐运输、搬运、储存、安装及运行过程损伤的性能。

管线用管的外防腐层宜在工厂涂装,现场接头及其他特殊接头应现场施涂。

现场接头应采用涂层相容的涂层系统进行保护。涂层宜能满足或超过管道涂层规范要求,并能在预期现场条件下按要求施涂。

绝热管道宜包括防护涂层。

J形管道应有外涂层。在选择涂层时,宜评估J形管内安装过程中可能出现的涂层损坏。

### 10.5.3 阴极保护

陆上管道和近海管道应分别按照 ISO 15589.1 和 ISO 15589.2 设计、制造、安装和运行阴极保护系统。

## 10.6 监测程序和方法

### 10.6.1 监测要求

应根据预测的腐蚀机理和腐蚀速率(见 10.2 和 10.4)、选定的腐蚀缓解方法(见 10.3 和 10.5)以及安全和环境因素,确定腐蚀监控程序的要求。

要求对整个管道整个长度上内部或外部腐蚀或其他缺陷进行监测时,宜考虑采用内检测器。通过分析连续的金属损失检测结果可确定腐蚀劣化速率或腐蚀劣化趋势。

投产后宜尽快进行一次检测,并将其结果作为将来检测结果分析的基线。

### 10.6.2 内腐蚀监测

#### 10.6.2.1 技术选择

内腐蚀监测技术的选择应包含:

- 预计的腐蚀形式;
- 潜在的水分析出、冲刷等(流动特性);
- 预计的腐蚀速率(见 10.2);
- 要求的检测精度;
- 现有管内、外检测方法;
- 影响清管器或检测器通过的管内障碍物。

注:可能的检测技术包括安装监测设施(如腐蚀性试件)以显示管道腐蚀,或者定期分析流体成分以监测其腐蚀性等。

#### 10.6.2.2 局部腐蚀监测的测试点位置

腐蚀监测的测试点宜沿管道或相关设施设置,并选择最有可能获得管道中代表性的腐蚀特征处。

### 10.6.3 外部情况监测

可接近的管段宜定期通过外观检测评估管道系统状况,如可能,要进行外涂层评估。埋地或水下管道在暴露时应进行检测。

很可能出现严重腐蚀的地方,应定期进行更详细、更密集的外观检查。

应确定陆上管道涂层定期检查要求,需考虑选用的涂层、预计的涂层裂化、土壤类型、观测保护电位及保护电流需求及已知金属损失等。

注:适用检查方法,参考 ISO 15589.1。

### 10.6.4 阴极保护监测

应按照 ISO 15589.1 和 ISO 15589.2 进行定期检验以对阴极保护进行监测。

## 10.7 监测及检测结果评估

应评估所有监测及检测活动结果,以便:



- 审查腐蚀管理是否满足要求；
- 识别可能的改进措施；
- 指出进一步详细评估管道状况的要求；
- 指出改进腐蚀管理要求的必要性。

## 10.8 腐蚀性管理文件

按照 10.1~10.6 中的腐蚀管理要求编制文件,其内容应对下述事项进行说明:

- 腐蚀威胁及有关失效可能性的评估；
- 材料及腐蚀减缓方法的选择；
- 检查及腐蚀监测技术的选择及检测频率；
- 与选择的腐蚀管理方法有关的废弃要求。

## 11 施工

### 11.1 总体要求

#### 11.1.1 施工计划

施工开始之前应编制施工计划,以助于控制施工作业。该计划应与作业的复杂性和危险性相适应,应至少包括下列内容:

- 施工工程描述；
- 健康、安全及环境保护计划；
- 质量计划。

施工工程描述宜包括方法、施工所需人员、设备及作业规程。

注:特殊的施工工程(如隧道、近海管道登岸段、管桥及水平定向钻孔等)可能需要补充的管道安装程序。

健康、安全和环境保护计划宜说明保护公众和施工人员健康、安全和环境保护等方面的要求和措施。该计划还宜包含有关法律和适用标准的要求、危险识别与要求的控制措施以及应急程序等。

#### 11.1.2 其他设施附近的施工

在开始施工前,应识别所有可能会受到管道系统施工影响的设施。

宜制定施工期间保护已识别设施的必要临时保护方法及安全措施。在确定临时保护方法和安全措施时,宜与该设施的业主或运营商磋商。

注:其他设施包括已有的道路及铁路、水道、人行道、管道、电缆及建筑物等。

#### 11.1.3 工厂、设备及海洋施工船

施工之前和施工过程中均应对主要施工工厂、设备及海洋施工船进行检查,以便根据工程实践确定其是否适合于预期的施工作业。

#### 11.1.4 材料运输与搬运

材料的搬运、储存、运输和安装应防止或最大限度地减少对管道、配件、部件和涂层的损坏。可能需要制定运输及搬运程序。该程序宜规定需使用机械及堆放要求。

注:API RP 5LW 及 API RP 5L1 提供了关于管道用管的工作指南。

应检查材料是否存在不符合规范要求的损坏或缺陷。除非损坏和/或缺陷已被去除或修复,否则不

应安装该材料。

## 11.2 陆上管线的准备

### 11.2.1 现场检查

批准进入线路之后、施工开始之前,应检查管道作业施工带沿线的当前情况。检查结果应说明可能会受施工影响的项目状况,并记录所有相关方共同审定的一致意见。

### 11.2.2 勘查和标记

施工之前,应把管道路线、作业施工带、地下结构以及架空结构勘查清楚,做好标记,并保持该标记在施工期间完好无损。

### 11.2.3 作业施工带的准备

为保证公众安全和防止牲畜侵入,必要时,应沿作业施工带设置适当的栅栏。施工规范应明确在作业施工带内要遵守的限制条件及预防措施。

注:限制条件或预防措施包括:保护特定的树木、处理树枝和树根、分离表土、排水、防止冲刷及侵蚀等。

### 11.2.4 喷砂清理

喷砂清理作业应遵守有关法规及环境保护限制条件,并应由有资质的人员施工。

## 11.3 近海路线的准备

### 11.3.1 勘查

除了 7.2.3 勘查要求外,施工前宜沿着计划的路线进行勘查,以查明对管道或施工作业潜在的危害。

### 11.3.2 海床准备

应对海床勘查数据进行评估,必要时对海床进行平整,以满足 7.4.2 中的强度要求。

## 11.4 焊接和连接

### 11.4.1 焊接标准

管道和主配管焊接应按照 ISO 13847 进行。辅助配管焊接应按照 ISO 15649 进行。

### 11.4.2 焊缝检验

管道和主要配管中的焊缝应按照 ISO 13847 进行,但 12.5 规定的对死口焊缝除外。应在试压之前进行焊缝检测。

所有焊缝应目视检查并且通过射线或超声检验。

射线或超声检验应检查整个圆周长度上的焊缝。检查方法应适合接头形状、壁厚和管径。

辅助配管中的焊缝应按照适用标准进行检测。

焊缝应符合焊接标准的规定,不符合规定的焊缝应被拆除,或在允许的情况下,进行修复并重新检测。

### 11.4.3 非焊接连接

采用其他技术连接管道,应按照批准的程序进行。

## 11.5 涂层

### 11.5.1 现场补口的涂层

现场补口的涂层应满足 ISO 21809.3 的要求。

### 11.5.2 涂层检查

在安装管道时应对涂层进行目视检查,以确定其符合规定的标准和适用程序。

管道即将下沟或离开铺管船之前,应采用检漏仪检验整个涂层表面,检漏电压应适用于该涂层。应对缺陷进行标注并在管道最终就位之前予以修复。发现涂层损坏或剥离时,应去除涂层、重涂和重新检查。

应在安装前采用检漏仪对接接头、特殊部件及穿越管段的涂层进行检查。

## 11.6 陆上管道的安装

### 11.6.1 布管

布管作业应按照程序进行。程序应明确规定施工通道的限制尺寸,以及为了最大程度地降低对当地公共用地干扰的措施,并且还包括通道横穿作业施工带的措施。

### 11.6.2 现场弯管

为使管道对接或吻合现场地形条件,管道可能要在现场进行冷弯处理。现场弯管应采用弯管机。弯管机对管子截面的支撑应能防止屈曲或管壁皱折并保持涂层的完整性。

弯管最小半径不宜小于:

- 对于外径小于 200 mm 的管道,为 20D;
- 对于外径 200 mm~400 mm 的管道,为 30D;
- 对于外径大于 400 mm 的管道,为 40D。

现场弯管半径可小于上述要求,但应保证弯管之后管道的椭圆度不大于且壁厚不小于设计允许值,且材料性质应满足规定的管线用管的韧性要求。

弯管应无屈曲、裂纹或其他明显的机械损伤。

当弯管直径 300 mm 以上且管道直径与壁厚的比值大于 70:1 时,应采用内芯。

进行试弯,确认满足本条要求。

弯管弯曲部位两环焊缝之间的间距不宜小于 1 m。纵向焊缝宜位于接近现场弯管中心轴线位置。

### 11.6.3 管沟开挖

挖沟深度应能够保证管道覆盖层厚度符合 7.8.2.1 的要求。

应评估沟边坡度,以确定是否需要支撑或减小坡度,以保证安全作业条件。宜制定侵蚀减缓措施以防止管沟不稳定并对环境造成损害。

沟底应平整,不应有会损伤管道或涂层的尖锐物体。否则,应铺设衬垫材料或机械方法保护管道。任何衬垫材料或机械保护措施均不应起隔断阴极保护电流通向管子表面的屏蔽作用。

如果在管沟内进行焊接施工,管沟应加宽和加深,以保障安全工作条件。

在施工人员进入管沟之前,应采取一系列安全措施,以确保管沟内的环境安全且不易燃。在现有地下结构附近挖沟时,应采取措施以避免对地下结构造成损坏。应保证与任何埋地管道与其他结构的最外边缘之间至少 0.3 m 的净空间距,否则应采取专门的措施以保护管道及地下结构。

#### 11.6.4 下管

下管之前,应对管沟进行清理,保证不存在可能会损害涂层的物体且沟底坡度平缓,保证管道有均匀支撑。

将管道下放至管沟中的设备或方法不应损坏管道或其涂层。起吊和下管步骤应确保不会造成超过 7.4.2 中规定的强度要求。

#### 11.6.5 回填

为了避免涂层受损,下管之后宜尽快回填。

在回填前,水淹管沟宜用泵抽干或把水排净。当无法把水排尽而水淹管道又需要回填时,应保证液化的土壤不会使管道移动。

应选择回填材料或防护措施以防止管道或其涂层受损。

在作业期间被断开的现场排水管、排水沟及其他排水系统宜重新恢复。

管道在公路、人行道、路肩、河岸及类似区域下方通过时,所选回填材料和施工方法应确保设施的稳定性和完整性。当存在可能引起冲蚀的地形土壤及水条件时,应采取保护措施防止滑坡或冲溃。

#### 11.6.6 碰死口

碰死口程序应包括控制管道应力在 7.4.2 中允许强度要求之内的措施。该程序应包括管道的结构形状、计划对接后的移动,以及碰死口作业时的温度与未来运行温度之间的温差。

#### 11.6.7 地貌恢复

受施工影响的作业面宽度及其他地区的地貌予以恢复,地貌恢复应遵照有关法律及与当地政府主管部门及土地所有者事先达成的协议要求进行。

#### 11.6.8 穿越

所有穿越均应按照 7.2.1 和 11.1.2 的要求进行施工。

当采用大开挖方法穿越水道时,应评估水道底部的地质状况、河堤变化、水流速、冲刷以及特殊的季节性等问题。开挖作业时应防止水漫淹附近的土地。

管道安装期间应采取预防措施避免冲击、扭曲管道或者其他可能引起管道应力或应变超出设计水平的情况发生。

水平定向钻穿越施工规程应说明这种穿越的独特要求:

- 定向钻流体的控制和处置;
- 耐磨防腐涂层的选择;
- 监测钻孔剖面、导向和牵引力的仪表。

#### 11.6.9 标记

管道位置标记应按 7.8.1 的规定设置。

## 11.7 近海管道的安装

### 11.7.1 海上作业

#### 11.7.1.1 抛锚及保持定位

定位系统应具有冗余或备用,以确保其他船舶或设施不会因其部分故障而受到威胁。

施工船若采用锚泊定位,宜按照预定的抛锚方向图执行。抛锚方向宜在水深图中标示缩尺比,并注明下列适当的资料:

- 每个锚和每条锚链触地点;
- 现有管道及装置的位置;
- 锚链与管道之间的垂直距离;
- 计划的管道线路及铺管走廊;
- 在施工期内的临时性作业;
- 附近其他船只的抛锚特性;
- 施工船的位置;
- 禁止抛锚区;
- 沉船及其他潜在的障碍物。

为防止对设施的损害,应确定锚具和锚缆与固定结构、海底装置或其他管道之间的最小间距。

所有锚如需越过海底装置或管道时,宜先放置在抛锚船甲板上,运送至抛锚点下锚。施工船的抛锚绞车宜设置锚链长度及负荷指示器。

#### 11.7.1.2 应急程序

开始施工前,应编制应急程序。该程序宜包括下列内容:

- 施工现场废弃;
- 管道屈曲(充水或空管);
- 涂层损坏;
- 弃管与管道回收作业。

#### 11.7.1.3 通知

近海管道施工前,应将正式通告给将在管道施工和拖管过程中被穿越的现有管道与电缆的运营商。还应将正式通告给有关单位,如海事管理单位、渔民及海洋作业者。

### 11.7.2 勘察及定位系统

水平表面定位(无论是卫星定位还是陆基定位)都应构成定位施工船舶、管道位置和本地定位系统参考点的基础。定位系统的精度应满足要求,以使管道敷设位置在设计文件规定的公差范围内。在人口稠密地区和要求精确定位时,可能要求定位系统的精度比管道定位精度更高。

当管道包含海岸穿越管段时,近海应用的定位系统应和陆上探测系统相互校正。

### 11.7.3 铺管

宜明确管道长度且进行排列以适应铺设驳船工作站的间距,使得管道长度变化不影响铺管作业。

铺管系统和张力系统均应能在敷设管道时,使其不超过 7.4.2 中的强度要求,并且设计应保证防止损伤涂层和阳极。

宜用摄像监视铺管架上的关键支撑点。

在铺管时宜采用屈曲探测器检测管道直径的缩小量。该探测器应能分辨出直径大于或等于 5% 的变化。

宜装设仪器监测和记录各项需要参数,以确认没有超出 7.4.2 中规定的允许强度要求。

用拖管法安装就位时(无论是海底拖、离地拖或海面拖管)均可能需要监视船和/或护卫船,以防止其他船只对托运中的管段干扰。

在 J 型铺管船以及卷筒式铺管船法的施工计划中,应说明与此类方法相关的特定应力水平和张力要求。

#### 11.7.4 登陆段

底拖法、定向钻或其他方法安装登岸管段时,不应造成管道设计应力或应变超过 7.4.2 中的强度要求或损坏涂层或阳极。

#### 11.7.5 挖沟

选用的挖沟深度和沟的纵断面宜保证挖沟作业过程中管道应力不会超过 7.4.2 的强度要求。在挖沟过程中,宜对管道承受的载荷进行监测。如果管道上浮,则应包含强加的额外载荷。宜对巨砾、碎石及过大跨度进行监测。选用的挖沟方法及设备应防止管道、涂层及阳极受损,同时宜适用于土壤条件。

先铺设后挖沟法和边挖沟边铺管法中采用的挖沟设备应配有监测仪表,用于监测和记录必要的参数,以确认应力没有超出强度要求。

注:公认的挖沟方法包括喷射、犁耕、岩石或硬土的机械切割和疏浚。

#### 11.7.6 回填

回填材料应在受控的状态下填入,防止管道及管道涂层受损,并保证符合规定的坡度、覆盖层及纵断面的要求。选择的回填土纵断面应确保最大限度地减少其对渔业和其他第三方的干扰。

#### 11.7.7 穿越其他管道及电缆

穿越工程施工前,应调查被穿越的管道或电缆的位置、方位及其状态。

若规定预先安装支座,则在安装支座之前,应准确确定已有管道、电缆及穿越地点的位置。安装的支座宜组成平滑的穿越纵断面,以减少外力(如抛锚及捕鱼)对结构的损伤。

水平面定位系统应辅以海底定位系统。因要求的间隙很小,宜对穿越安装加以监测,以确认结构均在正确的位置。

#### 11.7.8 悬空段

应检查管道是否存在悬空段,必要时应对悬空段进行处理,以满足 7.4.2 的强度要求限制。应确定冲刷的可能性和支座或进口材料的稳定性。

#### 11.7.9 碰死口

碰死口施工程序应包括控制管道应力在 7.4.2 中允许强度要求之内的措施。

#### 11.8 清扫及测径

施工后,应用清管器或类似装置对管段进行清洗,以清除污垢、施工碎屑和其他物质。

试压之前,检验椭圆度及检查管内是否有障碍物,测径清管器应能通过各管段。测径板直径不应小

于管道最小标称内径的 95%，测径板与管壁之间的间隙不宜小于 7 mm。

### 11.9 竣工勘查

施工完毕，应进行竣工勘查以记录管道、穿跨越、附件、悬空段及附属设备的准确位置。

### 11.10 施工记录

工程竣工后，应提供可复制和检索形式的永久性记录，该记录可确定管道系统的位置和说明，应包括以下内容：

- 竣工勘查结果；
- 焊接文件；
- 施工图、各种技术规范；
- 施工程序。

## 12 试压

### 12.1 总体要求

试压应满足 7.7 的要求。

分段试压的段数宜减少到最小。选择试压段时应评估：

- 人员与公众的安全，以及保护环境及其他设备；
- 施工顺序；
- 地形和通道；
- 试压用水的来源及排放。

若试压介质在试压过程中发生热膨胀，则应采取泄压措施。

试压过程中，应将不宜进行试压的设备与管道隔离。

阀门不宜作为试压中的管端盲板，除非该阀门的压力等级能够承受试压过程中阀门两端的压力差。所有管道封堵端工具的强度应能够承受试验压力。

临时性的试压用管汇、清管器收发筒及与试压管段连接的其他试验部件均应设计制造成能耐管道的设计压力。

单独部件及工厂制作的预制件，如收发球筒、管汇、计量橇座、截断阀组件、穿跨越管（河流、公路或铁路）、立管及死口管段可按照本文件提出的措施预先试压，其试验压力不低于管道强度试验压力。

### 12.2 安全

试压过程中，除参加试压的人员外，不应在试压管道系统及其附近工作。

试压期间，应设置警示牌，并对管道路线进行适当的巡检，以防止无关人员接近管道。

如进行气压试验，则在制定安全要求时，应评估管道中所储存能量的危险性。

当泄放试压介质降低压力时，应保证公众、施工人员、附近设施的安全并满足环境保护要求。若试压介质采用空气或气体，应在控制减压状态下泄放。

### 12.3 程序

#### 12.3.1 书面程序

试压开始之前，应编制书面的强度和严密性试验程序，内容应包括 7.7 的要求及下列各项：

- 试压段的纵断面及长度,并注明试压管段两端规定的试验压力(纵断面宜标出管子等级及壁厚);
- 安全措施;
- 对连续监测的要求(见 12.6 和 12.7);
- 试压用水的来源、组分及其排放;
- 设备要求;
- 加压和持续时间;
- 试验结果的评估;
- 泄漏检查。

### 12.3.2 通信

试压过程中,有人值守点之间宜保证通信联络畅通。

### 12.3.3 水质

试压及冲洗用水宜保持清洁,且无危害管材或内涂层的悬浮物或溶解物质,或可能在管内形成沉淀物。宜分析水样,并采取适当的预防措施去除有害物质或进行缓蚀。应按照 10.2 考虑内腐蚀的控制,按照 10.6.2 进行内腐蚀监测。

### 12.3.4 缓蚀剂与添加剂

若试压用水分析或程序表明有必要使用缓蚀剂和添加剂,如缓蚀剂、除氧剂、杀菌剂和染色剂,则应评估它们的相互作用以及其排放对环境的影响。还宜评估到添加剂对整个管道系统材料的影响。

### 12.3.5 注水速度

向管内注水速率应加以控制。可使用清管器或清管球使空气与水有明确的交界面,并最大程度地减少空气夹带量。静水压试验开始之前宜对所有可能截留空气的位置(如阀腔及旁路管线)进行密封,并在注水过程中打开放气管。

当管道穿越陡峭地形时,宜采取措施防止清管器或清管球运行超过管内充水段的前端,以防止在充水段的末端产生安全问题。宜使用清管器跟踪系统和使用背压控制清管器速度。

### 12.3.6 空气含量

若空气含量影响静水压试验的准确性,则应确定空气含量,并在评估试验结果的过程中予以考虑。

注:通过绘制压力容积图直至两者出现明确的线性关系的方式对空气含量进行评估。

### 12.3.7 温度稳定

在管内注水之后和开始水压试验之前预留的时间,宜使注入管子内的水温随环境温度趋于稳定。

### 12.3.8 温度效应与关联性

应制定显示温度变化对试验压力影响的关联性数据,以便用于评估温度变化对初始试验压力和最终试验压力的影响。

### 12.3.9 泄漏检测

应编制泄漏检测和定位程序,并将其作为静水压试验程序的一部分。



#### 12.4 验收标准

试压应符合 7.7 的要求。

#### 12.5 试验后的对死口连接

连接后未进行强度试验的对死口焊缝应按照 11.4.2 进行检测。

安装后未进行试压的非焊接对死口接头,则应在开始运行之前,在可能达到的最大压力(但不超过 MAOP)条件下进行严密性试验。

#### 12.6 试压设备

静水压试验设备宜包括下列内容:

- 静压测试仪或其他同等精度的设备;
- 压力表;
- 体积测量设备;
- 温度测量设备;
- 压力和温度记录设备。

应提供能证明仪表精度的有效标定证书。

#### 12.7 试验文件和记录

在管道系统寿命期限内,试验记录应妥善保存,并应包括下列内容:

- 试压程序;
- 在整个试验期内每半个小时间隔的压力与体积变化;
- 海水、地下温度及大气温度,如条件允许,每隔 1 h 记录气象条件 1 次;
- 压力记录图表;
- 试验仪表校准数据;
- 管道系统操作员姓名;
- 试验负责人的姓名;
- 试压公司名称;
- 试验日期及时间;
- 试验现场最小及最大试验压力;
- 试验介质;
- 试验持续时间;
- 试验验收签字;
- 被测设施和试验设备的描述;
- 对压力记录图表上的任何不连续点(包括试压失败)的解释与处置;
- 如试压管段的高差超过 30 m,则应附有管段整个长度上的所有测试点的标高的纵断面图。

#### 12.8 试压用流体的排放

应最大限度地减少试压用流体的排放对公众及环境的影响。

#### 12.9 试压后的保护

除非已按照 10.2 中要求采取了措施,否则试压用流体在试压后不应留在管道或配管内。

若用水作为试验介质,则在寒冷地区,应采取措施防止试验用水结冰。

## 13 预投产和投产

### 13.1 总体要求

预投产和投产均应编制书面规程。规程应包含流体性质、与其他连接设施隔离管道系统任何部分的要求,以及已建成管道系统向管道运行管理者的移交要求。

制定预投产及投产规程,应确保所使用的工具及通过管内的流体,不会有任何与流体或管道系统部件材料的不相容物进入管道系统内。

### 13.2 清扫规程

13.2.1 除 11.8 要求范围外,应评估管道及其部件需要清扫和测量的必要性。

可能需要额外清扫以便清除下列物质:

- 试压残留物及轧钢锈皮;
- 会影响智能清管器结果解释的金属颗粒;
- 试压水缓蚀剂残留的化学物质;
- 试压用水产生的有机物;
- 施工设备,例如对死口用的隔离球。

13.2.2 为保证管道适用智能清管系统,管道清扫规程应评估以下内容:

- a) 保护管道部件免遭清扫工具或清扫液体的损害;
- b) 清除可能会污染流体的颗粒物;
- c) 清除可能影响智能清管作业的金属颗粒。

### 13.3 干燥规程

应根据满足管输流体质量标准规定的干燥程度要求选择干燥方法。

干燥程度的判据应是确定水露点温度。干燥程序应评估以下因素:

- 与输送流体质量规范的符合性;
- 干燥流体和设备对阀门密封材料、管道内涂层和其他部件的影响;
- 由于游离水和干燥剂引起的联合腐蚀效应,特别是  $H_2S$  和  $CO_2$  的潜在腐蚀效应;
- 去除阀腔、支管配管及其他的系统盲管中的可能残留的水和干燥剂;
- 投产过程中水化物形成的影响。

示例:干燥方法包括用干燥流体或凝胶抽汲、空气或氮气吹扫、真空干燥或用管输液体本身干燥等。

### 13.4 设备与系统的功能试验

作为投产工作的一部分,所有管道系统监测和控制系统全部应经过功能性检测合格,特别是安全系统(如清管器与收发球筒之间内部联锁、压力及流量监测系统,以及管道紧急停输系统)的功能试验,以确保它们能正确运行。还宜在引入输送流体之前对阀门进行最终测试,以确保阀门正确运行。

### 13.5 文件和记录

应保存的预投产记录包括:

- 清洁和干燥程序;

- 清洁和干燥结果；
- 管道系统监测和控制设备功能测试记录。

### 13.6 投产规程及充装管输流体

通入管输流体之前,应编制书面投产规程,并要求:

- 系统宜机械完工并能良好运转;
- 所有功能试验宜完成并合格;
- 所有必要的安全系统应操作良好;
- 应备齐各种操作规程;
- 已建立通信系统;
- 正式将完整的管道系统向负责管道运行管理者交工;
- 应完成投产前应急演练。

管道充装流体时,应控制充装速率,流体压力不应超过允许的极限。

注:针对某些流体,充装速率至关重要,以防止爆炸、气体分层、不稳定的多尘环境等。

对输送液体的管道,应维持背压以防充装时发生水力阻塞。

在充装过程中,应周期性地地进行泄漏检测。

## 14 运行、维护及废弃

### 14.1 管理

#### 14.1.1 目标和基本要求

应制定并实施管理制度,确保管道系统安全可靠运行。

注:API STD 1160,ASME B31.8S和EN 16348给出了完整性管理的指导原则。

管理制度应包括以下内容:

- 明确负责管理管道系统运行和维护以及关键活动的人员;
- 合适的组织;
- 包含各种操作和维护程序的书面计划;
- 包括管道系统故障和其他突发事件的书面应急计划;
- 书面持证上岗制度;
- 控制设计工况变化的书面计划。

管理体系还应规定培训、与第三方的联络和记录保存的要求。

管道系统的运行、维护、改造和废弃应按计划进行。

管理体系应经常不断地随着实践需要、经营条件变化及管道环境要求而进行审查修改。

#### 14.1.2 运行和维护计划

运行和维护计划应包括以下内容:

- 正常运行和维护程序;
- 人员通信要求;
- 发布涵盖非常规操作和维护程序的计划。

#### 14.1.3 运行和维护程序

运行和维护程序应明确以下内容:

- 每个人员的职责和任务；
- 必要的安全预防措施；
- 与其他管道系统和装置的接口；
- 适用规程和指南的有关信息和参考文件。

与其他管道系统和装置的接口处理程序,宜与其运营商协商制定。

注:关于运行与维护规程所需的内容指南见附录 H。

#### 14.1.4 突发事件和应急响应计划

突发事件和应急响应计划应确定出为解救意外事故、紧急状态所需人员及设备,以及应急人员的培训工作。

应通过事件和紧急情况的桌面和现场模拟,定期测试计划的有效性。应急响应模拟应与受突发事件影响的与应急有关的人员或机构协作进行。

宜针对突发事件及紧急故障的原因加以分析,并采取必要的措施尽量避免再次发生。

注:关于应急程序的内容指南宜参考附录 H。

#### 14.1.5 持证上岗制度

持证上岗制度应明确岗位工作范围、授权颁发上岗证的人员的职责以及规定负责必要安全措施的人员的职责。

持证上岗制度宜规定下列工作要求:

- 许可证颁发和使用方面的培训和说明;
- 审查持证上岗制度的有效性;
- 向控制管道系统的人员提供系统工作活动信息和所有相关的安全要求;
- 出示许可证;
- 在停输时控制管道系统的运行;
- 交接班。

工作许可证宜包含以下内容:

- a) 确定工作范围、性质、地点和时间安排;
- b) 指出危害并确定必要的安全措施;
- c) 说明管道系统恢复运行的要求;
- d) 说明执行该项工作的授权范围。

#### 14.1.6 培训

相关人员培训应包括以下内容:

- 熟悉管道系统、管输流体相关的潜在危险以及运行和维护程序;
- 工作许可证的使用;
- 防护设备和消防设备的使用;
- 急救措施;
- 对突发事件和紧急情况的响应应对。

#### 14.1.7 联络

宜与相关的组织和个人建立并保持联系,如:

- 消防、警察、海事管理单位和其他应急救援服务单位;

- 监管和法定管理部门；
- 公共设施经营单位；
- 与本管道相连接的管道、被穿越的管道或在本管道附近运行管道的运营商；
- 管道沿线工程施工机械(如钻探、打桩、定向钻、顶管、机械挖掘等)操作手；
- 居住在管道系统附近的居民；
- 管道穿越土地的所有人和占用人；
- 其活动可能影响或受管道系统影响的第三方。

宜将管道线路走向图报告给主管部门或“开挖专线”组织。

注：“开挖专线”组织专门收集地下设施信息，在接到在该地区建设施工的通知后，宜提醒施工方地下存在设施。地方法律有权强调在开工之前要求取得地下公共设施埋设的信息资料。

#### 14.1.8 记录

应编制和保存运行与维护活动的记录，以便：

- 证明管道系统是按照运行与维护计划进行操作的；
- 审查运行与维护计划的有效性时，提供必要的信息；
- 为确定管道系统的完整性而提供必要信息。

注：有关保留各项记录的做法指南宜参考附录 C。

### 14.2 操作

#### 14.2.1 流体参数的监控

管道系统的操作程序宜规定设计允许的操作条件范围，以及控制腐蚀的操作要求和限制条件。宜监测流体参数，以确定管道系统是否按要求运行。

多种油品管道系统的操作程序宜包括对批次到达的检测、切割和预测的要求。

多相管道系统的操作规程中宜包括控制管道段塞及控制段塞捕集器中的自由体积的要求。

应调查和报告与运行计划的偏差，并采取措施将偏离值降到最小。

#### 14.2.2 站场和终端

站场和终端操作程序宜包括设备启动和停运的要求，以及设备、控制、报警和保护装置的定期测试要求。

#### 14.2.3 清管

清管作业程序宜包括下列要求：

- 确认管道内清管器通过的地方无任何障碍物或缩口；
- 清管器运行速度的控制；
- 清管器收发筒的安全隔离；
- 发生清管器卡堵事故时的应急措施。

#### 14.2.4 停运

若管道系统长期不运行，则宜考虑管道停运。应按照 14.3.7 排空管内流体。

除废弃管道外，埋地或水下的停运管道应予以维护，并进行阴极保护。

### 14.2.5 重新运行

在重新运行前,应确定退役管道系统的条件并确认其完整性。

管道应按照 13.6 的要求充装。

## 14.3 维护

### 14.3.1 维护计划

应编制和执行维护计划,以监测管道系统的状况,并提供评估其完整性所需的信息。确定状态监测要求时应评估的因素包括:

- 管道系统设计;
- 竣工条件;
- 早期各种检测的结果;
- 预测的管道系统状况恶化;
- 不利的现场条件;
- 检查时间间隔;
- 相关法规和法定机构的要求。

注:管道状况可能的恶化包括大面积腐蚀和孔蚀,管壁几何尺寸变化(如椭圆度、折皱、压坑、凿槽等),开裂(如应力腐蚀和疲劳开裂),管道位置变动,支撑或覆盖层变化,以及加重层重量损失等。

应评估不良结果(如缺陷、损坏和设备故障),并在必要时采取纠正措施,以保持管道应有的完整性。

维护大纲应覆盖到整个管道系统,包括消防和其他安全设备、进入通道、房屋、保安设施(如围墙、围栏及大门)、管道标识、管道的部件、管中输送流体以及警告牌等,重点宜放在管道保护及管道安全设备方面。

### 14.3.2 线路检查

#### 14.3.2.1 总体要求

应定期对管道线路(包括陆上管道通行带)进行巡查/勘测,对于已发现可能影响管道系统安全和运行的因素,应记录并加以监控。

#### 14.3.2.2 陆上管道

管道通行带宜加以维护,以保证有必要的通道可接近管道和其附属设施。管道标识应加以维护,保证该标识能清楚地指示管道的线路;在管道扩建地区,如有必要,宜增加新的标识。

巡查宜确定以下内容:

- 管道侵蚀情况;
- 地上管道及暴露管段的机械损伤及泄漏点;
- 第三方活动情况;
- 用地变更情况;
- 火灾;
- 采矿/采煤作业;
- 地球物理勘查石油地震找矿(放炮)情况;
- 地层运动;
- 土壤侵蚀;

——水域穿跨越工程情况,如覆盖物厚度、碎石堆积、洪水或暴风雪损坏等情况。

14.3.2.3 中对近海管道的检查要求亦适用于陆上管道穿越大河及河口三角洲地带的管段。

#### 14.3.2.3 近海管道

管道和附近海床的勘查宜查明:

- 管道的机械损伤,包括泄漏;
- 管道移动的证据;
- 海洋生物生长范围;
- 附近海床的情况,包括有无外来物体;
- 任何自由悬空段的范围;
- 埋设的或受保护管段沿线管段,其覆盖层、加重层损失范围;
- 海岸被冲刷范围或物质沉积范围;
- 管道附件的稳固度,包括阳极以及重叠管道上管夹的稳固度。

#### 14.3.3 力学状况监测

##### 14.3.3.1 腐蚀

维护计划应包括按照第 10 章制定的关于腐蚀管理监测的要求。

宜定期对缓蚀剂的质量及性质进行验证,以确保其持续有效。

##### 14.3.3.2 不利地层条件和振动

应按照 7.10 的规定,在含不利地层条件的区域进行监测。

应制定程序,以保护爆破或任何其他可能影响管道系统完整性的地面振动活动附近的所有管道和相关设施。此类程序应说明对管道系统的最大允许影响。

##### 14.3.4 泄漏检测及勘查

宜定期检查和测试泄漏检测系统的性能,以确认是否符合 6.5 的要求。应保存警报和泄漏的记录,以协助性能评审。若有条件,应进行泄漏调查。选用的勘查类型应能测出可能发生的潜在泄漏危险。

##### 14.3.5 设施、设备和部件的监控

###### 14.3.5.1 地上管道、配管和跨越

宜检查地上管道、配管和支撑的腐蚀情况、机械完整性、稳定性及混凝土裂化情况。

宜对限制第三方接近地面管道和配管的障碍物加以维护。

###### 14.3.5.2 阀门

宜定期检查、移动和/或测试阀门,以确保其能运行良好。当需要完全打开阀门时,宜计算通过每个阀门的允许压力降。

遥控操作的阀门和执行机构宜远距离进行试操作,以保证整个系统能正确发挥其功能。

阀门执行机构附属的压力容器应周期地进行检验,并经耐压试验合格。

#### 14.3.5.3 保护装置

应对保护装置(包括执行机构、附属仪表及控制系统)进行定期检查和测试。检查及测试范围包括:

- 运行状况;
- 检验其正确安装和保护功能;
- 正确设置和驱动;
- 泄漏检查。

示例:保护装置包括压力控制及超压保护、紧急停输隔断、快速通/断机械连接、储罐液面控制等。

宜定期对各种紧急截断阀(包括执行机构和配套控制系统)进行检查和测试,以确保整个系统正确运行且阀门密封泄漏速率在允许范围内。

应特别注意储罐液位控制器及装在压力储存容器上的泄压阀。

#### 14.3.5.4 清管器收发筒及过滤器

装有快开盲板以及其他控制系统的清管器收发筒和过滤器应进行维护,特别注意连锁关闭机构,该机构应定期进行试验。

对于临时或移动式清管器收发筒,宜在使用前检查设备在运输或安装过程中有无机械损害痕迹。

#### 14.3.5.5 仪器仪表

对管道系统安全运行重要的仪表、各种运动系统及数据采集、显示与存储系统皆应考查、测试、维护并标定合格。

维护程序宜包括出于维护或其他目的对仪表的临时解除或超驰控制。

#### 14.3.5.6 立管

应对近海装置上的立管进行定期检查,特别注意“飞溅区”内的管段。检查宜包括:

- 立管的状况,包括有无壁厚变薄的情况,特别是在立管管夹和立管导向板下面的部位;
- 防冲击保护设施、消防设施、防护涂层、金属内衬及贴附在管道上阳极的状况;
- 立管法兰或管箍的状况;
- 附件或管夹的排列及配套支撑结构的状况;
- 立管位置的变化;
- 海洋生物的生长范围;
- 封闭J形管或充气浮筒内的防腐蚀措施。

#### 14.3.5.7 管套或套管中的管道

对处于套管中管段的检查应包括:

- 管道和套管的状况;
- 管道与套管间的电气隔离;
- 进入或来自承压套管系统的泄漏。

#### 14.3.5.8 储存容器和储罐

对储存容器及储罐(常压或增压储罐)的检查应包括:

- 基础的稳定性;
- 储罐底板、罐体、灌顶及各种密封的状况;



- 放空及安全阀设备；
- 防火墙及储罐防火堤的状况；
- 排放管线的状况和阻塞情况；
- 消防系统情况；
- 防雷防静电系统情况。

#### 14.3.5.9 极地条件下的管道

极地条件下的管道系统检查应包括：

- 按照 7.10 要求规定的监视要求；
  - 在冬季冰裂期期间及之后进行检查和监视，以便对冻胀情况和潮水的冲刷进行监测；
  - 定期检查和监督暴露在风致振动下的管道和配管，特别是环焊缝和螺纹接头。
- 程序应满足暴露于大雪中的结构对于除雪的要求。

#### 14.3.6 管道和配管缺陷和损坏

##### 14.3.6.1 初始措施

若已含缺陷或已损坏，管道压力应保持或低于首次报告缺陷或损坏时的压力。  
应由合格人员进行初步评估，如发现任何不安全情况，应立即采取适当措施。

##### 14.3.6.2 缺陷的检查、检测和评估

因有突然失效的可能性，在准备检测受损和受压管道时应采取必要的安全保障措施。宜考虑将管道工作压力降低到常压（如潜水员对水下管道进行检查时），或降低到不会导致管道破裂的应力水平。

应制定管道缺陷和损坏评估程序。

原始制造和施工规范允许的缺陷和损坏可会留在管道中，无需采取进一步措施。

对于其他缺陷，宜进行进一步评估，以确定其可接受性或降低压力、修理或其他纠正措施的要求。

评估可包括以下方面的审查：

- 检验和测量数据，包括缺陷的方位和与其他特征（如焊缝或热影响区）的距离；
- 原始设计和制造规范的细节；
- 实际管材力学和化学性质；
- 可能的失效模式；
- 可能的缺陷扩展；
- 操作和环境参数，包括对清管作业的影响；
- 失效的后果；
- 在可能的情况下，对缺陷进行监测。

#### 14.3.7 管道和配管的维修和改进

##### 14.3.7.1 通用要求

维修程序应包括维修技术的选用和维修的执行。维修应恢复缺陷或损坏位置的预期完整性。

注：缺陷和损坏可分为多个类别，包括：管壁缺陷[如裂纹（包括因应力腐蚀和疲劳引起的裂纹）、凿痕、凹痕、腐蚀、焊接缺陷、分层]；管道涂层缺陷（如失去缠绕带或混凝土涂层）；失去支撑（如管道悬空段）；管道移动（如隆起屈曲、冻胀和滑坡，也可能导致屈曲、凹陷或开裂）。

#### 14.3.7.2 隔断

选择管道隔断方法时宜评估下列内容：

- 管输流体相关危险；
- 要求的管道系统的可用性；
- 作业活动的持续时间；
- 隔离系统需要的冗余；
- 对管材可能产生的影响；
- 相互连接的放空管、排水管、仪表管道和“死水段”的隔离。

示例：可能的隔离技术包括可拆卸短管、带孔盲板、阀门、管道冻结或冻结堵塞、管线堵塞、高摩擦力清管器、惰性流体段塞。

#### 14.3.7.3 放空和火炬点燃

计划放空或点燃火炬时宜评估的危险和约束条件有：

- 排放气体的窒息效应；
- 杂散电流、静电或其他潜在点火源点燃；
- 噪声水平限值；
- 对飞行器移动的危害，尤其是海上设施和码头附近的直升机；
- 水合物的形成；
- 阀门冻结；
- 对钢管的脆性断裂效应；
- 周边交通、村镇、厂区、树木、农作物等。

#### 14.3.7.4 排液作业

可用泵抽出管道中的液体，或用水或惰性气体推动清管器将液体排除。计划排放时宜评估的危险和约束条件包括如下内容：

- 惰性气体的窒息效应；
- 接收液体设施的超压保护；
- 阀腔及“死水段”的液体放空；
- 流体及被污染水的处置；
- 用气体置换液体时的浮力效应；
- 导致流体蒸气点燃的压缩效应；
- 在增压条件下的流体的可燃性；
- 由惰性气体推动的卡住清管器由于能量的积聚而发生事故性前冲。

#### 14.3.7.5 吹扫

准备吹扫时宜评估的危险和约束条件包括：

- 吹扫气体的窒息效应；
- 最大程度地减少释放到环境中的易燃或有毒流体；
- 重新引入流体时的燃烧、产品污染或腐蚀条件。

#### 14.3.7.6 冷切割或钻孔

冷切割或钻孔程序应规定防止突然泄放或点燃流体的要求以及防止其他不安全的情况。

在适当的情况下,应隔离正在工作的管道或管段,通过通风、燃烧或排放和吹扫进行减压。  
准备断开电气连接的管道时,宜事先在断开处连接一条临时的导线跨接线。

#### 14.3.7.7 动火作业

运行的管道上进行动火作业前宜考虑下列事项:

- 可能发生的物理和化学反应,包括流体或残留物的燃烧;
- 管材的类型、性质及质量状况,以及在动火作业位置处的管壁厚度;
- 管道及焊缝可能的腐蚀。

开始焊接前,应批准焊接程序,并检查焊工资格的有效性。

宜监测通过管道的流体压力、温度和流量,并将其保持在批准的焊接工艺规定的限值内。

焊接过程中和之后,应检查所有焊缝。

通入流体之前,宜对套筒、支座、加强圈或其他附属管件的焊缝试漏。

### 14.4 设计条件的变更

#### 14.4.1 变更控制

变更控制计划应规定以下文件化程序的要求,以处理设计条件的变更。

对设计条件进行变更(如提高 MAOP 或改变流体)之前,应证明修改后的管道系统满足本文件的要求。应更新本文件要求的文件,以反映修订后的设计条件。

#### 14.4.2 操作压力

提高 MAOP 可能需要附加的水压试验、检查、阴极保护的附加检测及其他措施,以符合本文件的要求。当增大操作压力时,宜以可控方式提高压力,以便有时间监测管道系统。

如果管道压力额定值减低,且随后无法重新使用,则应保持严格的数据和支持计算,以记录新的操作条件。

#### 14.4.3 用途改变

改变管道用途(包括改变管输流体)之前,应确认管道设计及完整性适用于所建议的新用途。在执行改变一种用途之前,应仔细审查管道竣工图、操作与维护数据。审查的数据宜包括如下内容。

- 原始管道设计、施工、检验及试验数据。应特别注意所使用的焊接规程、其他连接方法、内外涂层以及管道、阀门和其他材料数据。
- 所有可利用的运行和维护记录,包括腐蚀控制实践、检查、更新、管道事故和维修记录。

#### 14.4.4 新建穿越工程和开发工程

当管道穿越新建公路、铁路或其他管道时,应确认满足 7.4 的强度要求。应研究新建穿越工程对已有阴极保护系统的影响。

还应评估在管道系统附近的新开发工程可能造成的影响。

#### 14.4.5 在役管道和配管的移位

当计划在役管道的移位时,宜先进行下列评估和准备工作:

- 评估施加在管道上的载荷,以确认能够移动管道而不会发生应力超限的情况;
- 确认所设想的管道数据及其目前的状况;

——编制各种程序,该程序应确定管道在移动时的运行工况、应急措施以及工作人员、公众及环境的安全保护措施。

#### 14.4.6 改造管道和配管的试压

所有预制组件(包括短节)宜按照 7.7 的规定或在安装之前进行试压。

管道系统中所有承压部件的机械接头(如已经脱开连接或已经受到扰动),则至少应进行泄漏检测。所有接头在试验中不应有泄漏迹象。

现场试压的介质,按其风险大小优先次序如下所示:

- a) 水;
- b) 流体(若为液体);
- c) 惰性气体,例如氮气[示踪元素(如条件允许)];
- d) 流体(若为气体)。

改造工程中包含采用对死口焊接的管道,如果未经试压,应按 12.5 进行检验。

#### 14.4.7 地区等级的更改

若通行带监测表明陆上管道周围的人口密度增加,则宜根据 D.7 审查地区等级。

#### 14.5 延长寿命周期

若计划运行一条管道初始设计寿命到期后的管道,则在原始设计寿命到期之前,宜对管道的设计、运行条件和历史进行工程调查,以确定管道的状况和继续安全运行的限制条件。

工程勘查宜包括提出下列证明条件:

- a) 验证结构完整性,以确认管道能继续经受最大允许操作条件下的流体;
- b) 如果管道被腐蚀和/或侵蚀,则应给出缺损的形状、金属损失速率及剩余的最小壁厚;
- c) 如果管道经受过疲劳负荷,则宜给出疲劳循环的幅度和频率;
- d) 按照附录 G 完成安全评估,并确定拟用减轻危害的方法;
- e) 审查安全和运行计划、运行和维护、应急响应及安全环保程序的适宜性。

审查完成后,在设计寿命到期之前,宜解决工程勘查中发现的所有问题,并相应地修改管道记录。

管道宜在规定和批准的条件和限制条件下运行。

#### 14.6 管道的废弃

应按照 14.2.4 的规定,将要废弃的管道系统停运,并且与管道系统中尚保留运行的其他部分断开连接。

废弃的管段应在对公众和环境安全的状态下存放。

## 附 录 A

(资料性)

## 本文件与 ISO 13623:2017 结构编号对照一览表

表 A.1 给出了本文件与 ISO 13623:2017 结构编号对照一览表。

表 A.1 本文件与 ISO 13623:2017 结构编号对照

| 本文件结构编号 | ISO 13623:2017 结构编号 |
|---------|---------------------|
| 3       | 3.1                 |
| 4       | 3.2                 |
| 5       | 4                   |
| 6       | 5                   |
| 7       | 6                   |
| 8       | 7                   |
| 9       | 8                   |
| 10      | 9                   |
| 11      | 10                  |
| 12      | 11                  |
| 13      | 12                  |
| 14      | 13                  |
| 附录 A    | —                   |
| 附录 B    | —                   |
| 附录 C    | 附录 A                |
| 附录 D    | 附录 B                |
| 附录 E    | 附录 C                |
| 附录 F    | 附录 D                |
| 附录 G    | 附录 E                |
| 附录 H    | 附录 F                |

注：表中的章条以外的本文件其他章条编号与 ISO 13623:2017 其他章条编号均相同且内容相对应。

## 附录 B

(资料性)

## 本文件与 ISO 13623:2017 技术差异及其原因一览表

表 B.1 给出了本文件与 ISO 13623:2017 的技术差异及其原因一览表。

表 B.1 本文件与 ISO 13623:2017 技术差异及原因

| 本文件的<br>结构编号                       | 技术差异                                                                                                                 | 原因                                             |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1                                  | 在“范围”中删除了图 1 本文件适用的管道系统范围                                                                                            | 文中已有使用范围的文字描述,表达重复                             |
| 6.3                                | 更改了“水力分析”中的注释,将注释改为条文                                                                                                | 增加可操作性,便于本文件的应用                                |
| 7.3.3.4                            | 在“环境载荷”中增加了“冻土载荷和采空载荷”                                                                                               | 根据我国国情补充西气东输、中俄东线等重大国家管道工程相关载荷,增加可操作性,便于本文件的应用 |
| 7.4.2.6                            | 在“强度要求”中增加“容许应变准则”                                                                                                   | 增加可操作性,便于本文件的应用                                |
| 7.14.2                             | 用规范性引用的 GB/T 29168.2 替换了 ISO 15590-2                                                                                 | 以适应我国技术条件                                      |
| 8.2                                | 用规范性引用的 GB 3836.14 替换了 IEC 60079-10-1                                                                                | 以适应我国技术条件                                      |
| 8.7                                | 用规范性引用的 GB/T 34391 替换了 ISO 13710<br>用规范性引用的 GB/T 755 替换了 IEC 60034-1                                                 | 以适应我国技术条件                                      |
| 8.10                               | 用规范性引用的 GB/T 3836.15 替换了 IEC 60079-14                                                                                | 以适应我国技术条件                                      |
| 9.1.2                              | 用规范性引用的 GB/T 20972.1 替换了 ISO 15156-1<br>用规范性引用的 GB/T 20972.2 替换了 ISO 15156-2<br>用规范性引用的 GB/T 20972.3 替换了 ISO 15156-3 | 以适应我国技术条件                                      |
| 9.1.5                              | 用规范性引用的 GB/T 229 替换了 ISO 148-1                                                                                       | 以适应我国技术条件                                      |
| 9.1.5、9.1.6、<br>9.1.13、9.2.1、9.2.3 | 用规范性引用的 GB/T 9711—2017 替换了 ISO 3183:2012                                                                             | 以适应我国技术条件                                      |
| 9.1.11                             | 用规范性引用的 GB/T 18253 替换了 ISO 10474                                                                                     | 以适应我国技术条件                                      |
| 9.3.1                              | 用规范性引用的 GB/T 29168.3 替换了 ISO 15590-3                                                                                 | 以适应我国技术条件                                      |
| 9.3.2                              | 用规范性引用的 GB/T 29168.1—2021 替换了 ISO 15590-1:2009                                                                       | 以适应我国技术条件                                      |
| 9.3.4                              | 用规范性引用的 GB/T 20173 替换了 ISO 14313                                                                                     | 以适应我国技术条件                                      |

表 B.1 本文件与 ISO 13623:2017 技术差异及原因 (续)

| 本文件的<br>结构编号 | 技术差异                                          | 原因                               |
|--------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|
| 9.4.1.2      | 在“防腐和绝热保温涂层”中删除了“多层熔结环氧树脂(FBE)涂层”             | 文中并未给出“多层熔结环氧树脂(FBE)涂层”应该符合的标准规范 |
| 10.4.1       | 在“评估外腐蚀时要考虑的环境条件”中增加了“管道周边的杂散电流干扰源(如地铁、高压线等)” | 根据我国国情补充,便于本文件的应用                |
| 13.6         | 在“投产规程及充装管输流体”中增加了“应完成投产前应急演练”                | 增加可操作性,便于本文件的应用                  |
| 14.1.7       | 在“联络”中增加了“管道沿线工程施工机械(钻探、打桩、定向钻、顶管、机械挖掘等)操作手”  | 增加可操作性,便于本文件的应用                  |
| 14.3.2.2     | 在“陆上管道”中增加了“地球物理勘查石油地震找矿(放炮)情况”               | 根据我国国情补充,便于本文件的应用                |
| 14.3.5.8     | 在“储存容器和储罐”中增加了“消防系统情况”与“防雷防静电系统情况”            | 增加可操作性,便于本文件的应用                  |
| 14.3.7.3     | 在“放空和火炬点燃”中增加了“周边交通、村镇、厂区、树木、农作物等”            | 根据我国国情补充,便于本文件的应用                |

## 附录 C

(资料性)

## 记录 and 文件

记录 and 文件宜包括以下内容。

## a) 设计及施工详图：

- 设计依据 and 计算结果；
- 通用材料规格书及合格证书；
- 检验 and 试验证明及报告；
- 有关授权及批准管道经营的文件；
- 有关土地拥有权的详细资料；
- 勘查 and 路线文件(包括其他运行管道的位置)；
- 竣工路线定线图、特殊穿越详图、详细管道工程 and 仪表图；
- 管道系统运行参数(如压力 and 温度)。

## b) 操作记录：

- 运行及维修详细记录；
- 检验报告,例如:声频/视频记录 and 阴极保护等检验报告；
- 事故记录；
- 修理及改造记录；
- 管道用途变更；
- 人员培训及资格考试记录。

## c) 废弃管线记录：

- 废弃的陆上管道的详细资料包括线路图、管道尺寸、埋没深度以及管道对地表表征性物体的相对位置；
- 废弃近海管道的详细信息,包括显示管道路线的航海图。



## 附录 D

(规范性)

## 陆上 D 类及 E 类流体管道公共安全补充要求

## D.1 目标

本附录提供了陆上管道 D 类和 E 类流体的最大环向应力和压力试验的具体补充要求。本附录适用于没有具体公共安全保护要求的位置的管道。

## D.2 地区等级

管道地区应按照表 D.1 中的人口密度和人员集中程度划分等级。

沿线第三方活动造成的管线损坏是导致管道失效的重要因素。以人类活动为基础确定管道地区等级,可提供一种评估路线受损程度及其对公共安全的影响的方法。

表 D.1 地区分级

| 地区分级 | 描述                                                                                                                                           |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 级  | 不经常有人类活动,无永久性住房的地区,一级地区是指不通行的区域,如沙漠、荒凉的冻土地区                                                                                                  |
| 2 级  | 人口密度 50 人/km <sup>2</sup> 以下地区,二级地区是指诸如荒凉地、放牧地、农田及其他人口稀少地区                                                                                   |
| 3 级  | 人口密度 $\geq 50$ 人/km <sup>2</sup> 但 $< 250$ 人/km <sup>2</sup> 的地区,有住房、有旅馆和办公楼,但经常不会超过 50 人集结在一起,偶尔有工业厂房。三级地区是指人口密度在二级与四级之间,例如,城镇边缘地区及大牧场和乡村地产 |
| 4 级  | 人口密度 $\geq 250$ 人/km <sup>2</sup> 的地区,但普遍为五级地区的情况除外。四级地区为市郊居民住房地区、住宅区、工业区及其他不符合五级地区人口密度要求的区域                                                 |
| 5 级  | 位于大多数是高层建筑(4 层及以上)、交通繁忙或交通密度很大且有数种其他地下设施的地区                                                                                                  |

## D.3 人口密度

人口密度用每平方千米中的人数表示,其数值应通过沿管道线路划定若干个以管道为中心线的带状区域来确定,每个带状区域的宽度按以下规则确定:

——对输送 D 类流体的管道为 400 m;

——对输送 E 类流体的管道,需考虑流体泄漏可能对公众产生的危害程度,但不应小于 400 m。

注:只要能根据划定的带状区域获得管道沿线人口密度的代表性数值,且确保该区域宽度的二分之一大于流体泄漏的影响距离,则能不遵守上述两条规则。

用于确定人口密度的上述带状区域的长度为 1.5 km。对区域中具有多个住宅单元的建筑,其中每个住宅单元应分别计为一座供人居住的独立建筑物。为准确反映管道沿线人口密度的变化,应使划定的每个带状区域在折算为 1.5 km 长度后包含的供人居住的建筑物最多。为此,某些带状区域的长度可小于 1.5 km。

人口密度测算应基于直接清点居民人数或对常住住户的调查,并应包括经常有人聚集的场所,如学校、公共会堂、医院和工业区。

住宅和其他房屋的位置与数量应根据现有的大比例尺平面布局图和/或航拍测量确定,必要时还需进行现场调研。若能获取人口普查统计数据,可根据该数据确定住宅的入住情况。

在确定人口密度时,应确认并考虑未来发展规划可能导致的人口密度和人类活动水平的增长。

#### D.4 人群聚集

在2级、3级地区内的教堂、学校、多户住宅单元、医院及开展集体活动的娱乐区等场所存在人员聚集区域,应针对该区域附近发生管道事故可能造成的后果增加安全措施。

若2级、3级地区的管道靠近公众集会中心或人口聚集区域,如教堂、学校、多户住宅单元、医院及开展集体活动的娱乐区等场所,且该场所是经常使用的,则管道应遵循与4级地区管道相同的补充要求。

注: D.4 中提及的人口聚集区域是指户外或建筑物内至少有20人聚集的区域。

#### D.5 最大环向应力

按照7.4.2.2确定最大允许环向应力时,使用的环向应力设计系数应采用表D.2中的系数代替表1中的设计系数。

表 D.2 环向应力设计系数( $f_h$ )

| 流体类别                                      | D类   | E类   | D类和E类 |      |      |      |
|-------------------------------------------|------|------|-------|------|------|------|
|                                           |      |      | 2     | 3    | 4    | 5    |
| 地区等级                                      | 1    | 1    | 2     | 3    | 4    | 5    |
| 一般线路                                      | 0.83 | 0.77 | 0.77  | 0.67 | 0.55 | 0.45 |
| 穿越及平行敷设 <sup>a</sup> 次要道路                 | 0.77 | 0.77 | 0.77  | 0.67 | 0.55 | 0.45 |
| 穿越及平行敷设 <sup>a</sup> 主要公路、铁路、运河、河流、防洪堤和湖泊 | 0.67 | 0.67 | 0.67  | 0.67 | 0.55 | 0.45 |
| 清管器收发筒及多段管塞捕集器                            | 0.67 | 0.67 | 0.67  | 0.67 | 0.55 | 0.45 |
| 主要配管                                      | 0.67 | 0.67 | 0.67  | 0.67 | 0.55 | 0.45 |
| 特殊结构(如组合件以及桥上管道)                          | 0.67 | 0.67 | 0.67  | 0.67 | 0.55 | 0.45 |
| <sup>a</sup> 关于穿跨越和占用的描述,见7.9。            |      |      |       |      |      |      |

#### D.6 试压要求

对于4级和5级地区的管道,强度试验期间管道的最小压力应从1.25 MAOP增加到1.40 MAOP。

#### D.7 现有管道所在地区等级

应监测输送D类和E类流体的管道附近的人口密度。如果出现人口增长,可放宽人口密度的设计限值,如表D.3所示。表D.3显示了已运行管道各等级地区的可接受人口密度。D.4中规定的人群高度集中的建筑仍然适用。

表 D.3 现有管道所在地区等级

| 地区等级 | 人口密度/描述                                       |
|------|-----------------------------------------------|
| 1 级  | <25 人/km <sup>2</sup>                         |
| 2 级  | [25~100]人/km <sup>2</sup>                     |
| 3 级  | (100~350]人/km <sup>2</sup>                    |
| 4 级  | >350 人/km <sup>2</sup> , 不包括 5 级地区            |
| 5 级  | 位于大多数是多层建筑(4 层及以上)、交通繁忙或交通密度很大且可能有数种其他地下设施的地区 |

## D.8 地区等级变更后的 MAOP 要求

如果管道沿线人口增长超过表 D.3 中的人口密度限值,则应改变管段的地区等级,并根据新的地区等级确定该管段的 MAOP。宜使用表 D.2 和 D.6 确定新的 MAOP。

如果管段已改为 2 级、3 级和 4 级地区,则 MAOP 可根据表 D.4 确定,前提是满足以下要求:

- 管道在现行(或更高)MAOP 条件下运行至少 5 年;
- 定期进行管道内检查、腐蚀和阴极保护监测;
- 无疲劳、SCC 或其他开裂机制的情况或历史;
- 根据施工、运行和维护历史进行的工程评估发现,管道适合在新类别地区使用;
- 根据 D.9 采取第三方损坏缓解措施。

基于表 D.4 的评估不应用于增加当前 MAOP 或更改设计条件:新 MAOP 不应大于当前 MAOP 或原始设计压力。

表 D.4 2 级、3 级或 4 级地区管道地区等级变更为后的 MAOP<sup>a</sup> 要求

| 流体类别                                                                                                                   | D 类                                                                         | E 类                                                                         | D 类和 E 类                                                                    |                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 人口密度 <sup>b</sup> /<br>(人/km <sup>2</sup> )                                                                            | <100                                                                        | <100                                                                        | [100 - 350]                                                                 | >350                                                                        |
| 一般路线                                                                                                                   | $\text{Min} \left\{ 0,83\text{SMYS}, \frac{P_{\text{test}}}{1,25} \right\}$ | $\text{Min} \left\{ 0,77\text{SMYS}, \frac{P_{\text{test}}}{1,25} \right\}$ | $\text{Min} \left\{ 0,77\text{SMYS}, \frac{P_{\text{test}}}{1,25} \right\}$ | $\text{Min} \left\{ 0,67\text{SMYS}, \frac{P_{\text{test}}}{1,25} \right\}$ |
| 穿越和平行<br>占用 <sup>c</sup> 次要道路                                                                                          | $\text{Min} \left\{ 0,77\text{SMYS}, \frac{P_{\text{test}}}{1,25} \right\}$ | $\text{Min} \left\{ 0,77\text{SMYS}, \frac{P_{\text{test}}}{1,25} \right\}$ | $\text{Min} \left\{ 0,77\text{SMYS}, \frac{P_{\text{test}}}{1,25} \right\}$ |                                                                             |
| 穿越和平行占用 <sup>c</sup> 主要公路、铁路、运河、河流、防洪堤和湖泊清管器收发筒及多管塞捕集器站场和终端的主要配管特殊结构(如组合件以及桥上管道)                                       | $\text{Min} \left\{ 0,67\text{SMYS}, \frac{P_{\text{test}}}{1,25} \right\}$ | $\text{Min} \left\{ 0,67\text{SMYS}, \frac{P_{\text{test}}}{1,25} \right\}$ | $\text{Min} \left\{ 0,67\text{SMYS}, \frac{P_{\text{test}}}{1,25} \right\}$ |                                                                             |
| <sup>a</sup> MAOP 也受原始设计压力和当前 MAOP 的限制。<br><sup>b</sup> 沿 1 500 m 的宽度(见表 D.6)进行评估。<br><sup>c</sup> 关于穿越和平行占用的描述,见 7.9。 |                                                                             |                                                                             |                                                                             |                                                                             |

表 D.5 显示了评估表 D.4 中使用的人口密度时应采用的宽度,而不是 400m。该公式是针对天然气确定的,它是从破裂点(随后点燃)到表中所示的热阈值点的距离的两倍。其他液体应作为具体评估的对象或遵循 D.3。

表 D.5 评估 MAOP 的人口密度所用宽度(用于测定 MAOP)-D 类流体

| 新的地区等级                                                        | 宽度/m                              | 热量阈值/(kW/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 2 级                                                           | $Min \{0,42D_0 \sqrt{MOP}, 200\}$ | 15.8                      |
| 3 级                                                           | $Min \{0,42D_0 \sqrt{MOP}, 200\}$ | 15.8                      |
| 4 级                                                           | $Min \{0,50D_0 \sqrt{MOP}, 200\}$ | 11.0                      |
| MOP 最大工作压力,单位为磅力/平方英寸(psi)。<br>D <sub>0</sub> 标称外径,单位为英寸(in)。 |                                   |                           |

#### D.9 第三方损坏减缓

如果地区等级发生变更的管段将在表 D.4 允许的 MAOP 下运行,应采取减缓第三方损坏的额外措施。表 D.6 给出了可能的减缓程度。

表 D.6 地区等级变更后的第三方损坏减缓程度

| 新的地区等级 | 第三方损坏减缓程度 |
|--------|-----------|
| 2 级    | —         |
| 3 级    | 40%       |
| 4 级    | 65%       |

达到表 D.6 所示的防护等级。可从表 D.7 中选择减缓措施。可以综合采用不同的减缓机制,在这种情况下,综合削减率如下:

$$\text{综合削减率} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \text{第 } i \text{ 个削减率})$$

表 D.7 可接受的第三方减缓措施

| 减缓措施                 | 失效频率削减率 |
|----------------------|---------|
| 覆土为 1.5 m            | 20%     |
| 覆土为 2.0 m            | 40%     |
| 覆土为 3.0 m            | 80%     |
| 钢筋混凝土护栏或钢套管          | 85%     |
| 地下胶带                 | 40%     |
| 增加通行带标记,通行带标记间距≤25 m | 25%     |
| 通行带每月巡查两次            | 20%     |

**附 录 E**  
**(资料性)**  
**管道路由选择过程**

**E.1 地理界限**

管道选线地理界限宜明确管道的起点及终点,即拟定要通过的中间点。这些点宜标记在适当比例包含通过地区的平面图上,以便将来进行选线程序时一并考虑。

**E.2 限制条件**

宜确定感兴趣区域内现有和计划的路由选择限制(见 7.2.1),以便帮助选择可比选的其他线路。确定的限制应绘制在适当比例的地图上,该图需全面展示出已知的信息资料和复杂地形情况,然后可选择潜在的有价值的管道通道以供进一步开展选线工作。

**E.3 路由走廊的优选**

在考虑到所有会显著影响管道系统安装和运行的技术、环境及安全相关的诸多因素的基础上,宜优选路由走廊。宜注意最短的走廊未必是最适宜的。

**E.4 详细布线**

从选定的路由走廊中采纳一条暂定线路宜经过案头研究、咨询及现场勘察,使用所有从公共范畴内所能收集到的信息之后决定。

在选择最终的线路之前,宜进行土地及环境测量,围绕预选线路的测量范围和测量精度宜能够确定所有影响管道安装及运行的恶劣条件。恶劣条件还宜进一步经过向所有受影响的第三方咨询得到证实,如可行宜沿线步行勘查。

宜分析研究沿线第三方的活动及其相关的管道安全问题。

宜将大量的记录、地图及自然测量成果绘成一套对管道设计、施工及安全可靠的运行有用的数据。选择的线路宜记录在恰当比例的定线图上。所有关键点,如目标点、穿越点、弯管起点和弯管终点的坐标皆宜标出。轮廓线宜隔一定间隔标出,以能满足线路设计需要为准特别是在安装和运行阶段,并宜考虑到绘制线路垂直剖面图的需要。

附 录 F  
(资料性)  
选线考虑因素示例

表 F.1 给出了选线考虑因素示例。

表 F.1 选线考虑因素

| 考虑因素  | 陆上管道                                                                                                   | 近海管道                                                                                                                                         |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 安全    | 见附录 G                                                                                                  | 见附录 G<br>人员膳宿                                                                                                                                |
| 环境    | 环境敏感地区：<br>——景观美化地区；<br>——重要文物地区；<br>——命名的风景区；<br>——有价值保护区；<br>——自然资源，如集水源区、水库及森林；<br>——含水层和饮用水源       | 环境敏感地区：<br>——特殊科学意义区域；<br>——重要自然保护区；<br>——重要海洋文物地区；<br>——海洋公园                                                                                |
| 设施    | 各种管道<br>地下和地上公共设施<br>隧道                                                                                | 各种管道<br>电缆、缆绳、缆索海底结构及井装置、海岸护岸工程                                                                                                              |
| 第三方活动 | 土地使用<br>矿井道作业<br>采矿作业<br>军事区                                                                           | 航运航道<br>抛锚<br>游览业<br>渔业<br>勘探开发及生产<br>开挖及抛石<br>军事演习<br>平台卸货<br>船只靠岸                                                                          |
| 环境条件  | 工程地质条件：<br>——起伏地形，岩石露头及洼地；<br>——活动的断层及裂隙；<br>——软地层和浸透水的地层；<br>——土壤腐蚀性；<br>——岩石及硬地层；<br>——浸洪区；<br>——地震区 | 工程地质条件：<br>——起伏地形，露头岩石及洼地；<br>——地震区；<br>——高坡降；<br>——不稳定的海床；<br>——软沉积物及沉积物的迁移；<br>——接近海表面出现的天然气；<br>——海岸被侵蚀；<br>——海滩移动；<br>——近底强海流；<br>——水文条件 |

表 F.1 选线考虑因素 (续)

| 考虑因素    | 陆上管道                                            | 近海管道                                                                              |
|---------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 施工安装及运行 | 通道<br>工作面宽度<br>动力供应<br>试压用水来源及排放<br>穿跨越<br>后勤保障 | 最大可靠岸的水深<br>最小允许铺管半径<br>站台给养船<br>贴靠平台及地下井口装置<br>对死口管段<br>靠岸及登陆段安装技术<br>穿越<br>后勤保障 |

**附 录 G**  
**(规范性)**  
**管道的安全评估**

### G.1 通则

本附录提供 7.2.1.2.中要求的管道安全评估的计划、执行和形成文件方面的指南。

本附录主要是关于评估管中流体漏失对公众安全的影响。本附录中阐述的原理也可用于其他方面的安全评估。

### G.2 通用要求

安全评估应按照一定的步骤顺序进行。图 G.1 给出了可供遵循的步骤。

安全性评估应能显示管道是按照本文件的安全要求设计、施工及操作的。

评估的详细程度和所应用分析技术的水平,应适用于评估对象。

在管道的使用寿命内,当管道界限范围、管道环境或其他情况有变化,若该变化随时可能使以前的安全评估结论失效时,应进行进一步的安全评估。

安全性评估应由具有必要的专门技术及安全经验的专家负责进行。



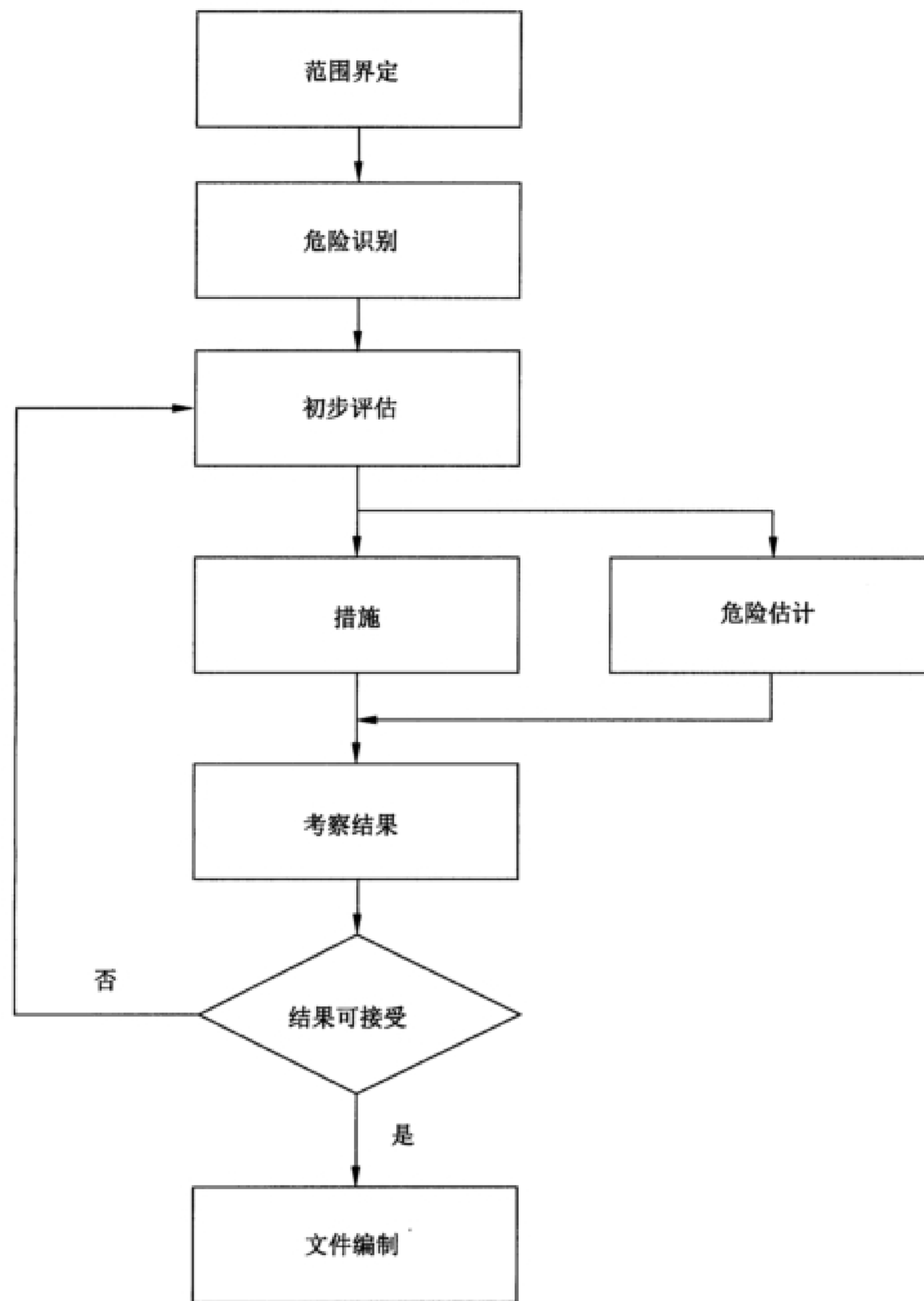


图 G.1 安全性评估

### G.3 界定范围

评估范围宜明确并形成文件作为编制安全性计划的基础。评估范围至少包括以下内容：

- 需要评估的理由和具体对象；
- 要评估管道的界定；
- 环境的界定，即管道附近居民及活动情况；
- 鉴别消除或减轻对公众安全不良影响因素的可行措施及效果；
- 评估中的主要限制条件及假设的描述；
- 鉴别要求的输出数据。

### G.4 危险识别和初步评估

宜识别由流体损失造成的危险区域，以及危害的根源，可包括下列内容：

- 设计、施工或操作失误；
- 材料或零件损坏；
- 由于腐蚀或冲蚀导致材料劣化和壁厚损失；

- 第三方活动；
- 自然灾害。

对危害的识别方法可包括安全检查表法、历史事故回顾、头脑风暴法，以及危险与可操作性(HAZOP)分析。

对确认为严重危害的，宜在估算的可能性和可能后果的基础上进行初步评估。

对于明确的危害对象，初步安全评估应选择下列行动之一：

- 灾害发生的可能性或后果不显著时，可缩减评估；
- 消除危害或将危害降至可容忍水平的建议措施；
- 风险评估。

## G.5 危害性评估

### G.5.1 通则

危险性估算宜针对特定危险事件得出对公众安全影响程度的度量。估算可定性或定量表示，并由发生频率、后果、风险或者为完成安全分析目标的上述数据的适当组合来确定。

当表达估算结果时，宜对所采用的所有术语进行清晰的解释。估算结果的精度水平宜与所采用的信息和分析方法的准确度保持一致。

在危险识别阶段，宜对被识别的相关危险对公众安全的影响进行检测，并确定降低这种影响的已识别减缓措施的利益。

### G.5.2 频率分析

被认定的每个危害事件的流体损失的可能性宜用下列方法估算：

- 使用相关的历史数据；
- 采用事故和影响分析技术来综合得出事故频率；
- 判断。

### G.5.3 后果分析

估算流体损失可能发生的后果时宜评估以下因素。

- 流体的性质，即易燃性、毒性、化学反应性等。
- 管道设计。
- 埋地或地上敷设的地貌。
- 环境条件。
- 漏孔和裂口尺寸。
- 限制内容物流失的减轻措施，如泄漏检测以及隔离阀的使用。
- 流体流失的模型。
- 流体扩散和可能的点火源。
- 流体流失之后可能的事故后果可能包括：
  - 伴随流体释放的压力波；
  - 点火后的燃烧/或爆炸；
  - 毒性效应或引起的窒息。
- 暴露的程度和估算的影响。

#### G.5.4 风险计算

风险由已鉴别的危害发生频率和后果确定。

风险宜以对个人和公众均适用的术语来确定,并可以定性或定量的方式表达。宜说明计算风险的完全性和精确度,并且宜对其中的不确定性或假设条件的影响进行试验。

#### G.6 结果审查

危险识别的结果、初步评估及风险计算应与安全性要求相比较,以显示其一致性。

#### G.7 文件编制

编制管道安全评估书宜至少包括下列内容:

- 目录;
- 摘要;
- 目标及范围;
- 安全要求;
- 限制条件、假设条件和假定的理由;
- 系统描述;
- 分析方法;
- 危害鉴别的结果;
- 有假设条件模型的描述和验证;
- 数据及其来源;
- 对公众安全的影响;
- 敏感性及不确定性;
- 结果讨论;
- 结论;
- 参考文献。

## 附录 H

(资料性)

### 操作、维护与应急程序的内容

#### H.1 操作规程

操作规程可包括下列详细内容：

- 组织机构及人员；
- 管道系统,包括加压站、终端、罐区、平台及其他装置；
- 可输送的流体；
- 管道系统操作工况,包括各种操作极限及允许偏离极限值的范围；
- 控制功能及通信；
- 管道监控系统及泄漏检测方法；
- 海洋操作规程(如适用)；
- 日程表及调度规程；
- 各种清管规程及调度规程；
- 有关所编制的文件的参考资料,如持证上岗制度、制造厂资料、图纸、地图等；
- 与第三方的协调；
- 标明管道系统的界限及在整个管道系统中的产权范围及经营范围的图纸；
- 放空及火炬点燃规程；
- 有关法规或法定管理机构的要求。

#### H.2 维护规程

维护规程可包括下列详细内容：

- 指明负责人员的组织体系；
- 管道系统,包括加压站、终端、罐区、平台及其他装置；
- 管道系统每一单体的维护日程表,检查与维护规范以及说明书；
- 有关手册及编制的文件的参考资料,例如制造厂资料,以及持证上岗制度等；
- 有关的图纸及线路地图；
- 仓库及备件的组织；
- 某些修理或改造作业可能要求编制的专门程序。

#### H.3 应急规程

应急规程可包括下列详细内容：

- 所有应参与偶然事故或应急处理的人员的职责,宜制定组织体系图工参考；
- 管道系统,包括加压站、终端、罐区、平台及其他装置；
- 输送流体(包括流体外泄带来的危险性的详细叙述)以及正常操作条件；
- 与控制中心联系的通信设施的位置及详图；
- 发生突发事件或应急状态应通知到的(救援)公司和/或合同救援人员,有关第三方以及各法定的团体；

- 应急设备及专家服务的位置；
- 对本单位人员或第三方人员撤离的安排，特别注意潜水员的安全撤离，因为他们有可能正封闭在减压仓内进行减压；
- 在紧急事件中，保持管道安全的措施，以及限制丧失密封性产生的危险后果或者降低丧失密封性风险的措施；
- 对于那些连接各种装置的管道系统，当其他装置发生紧急事故时，应编制紧急切断停输规程；
- 放空及火炬点燃规程。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 29167 石油天然气工业 管道输送系统 基于可靠性的极限状态方法
  - [2] ISO/TS 29001 石油、石化和天然气工业 部门专用质量管理体系 产品和服务机构的要求
  - [3] API RP 5L1 线路管铁路运输用推荐实施规程
  - [4] API RP 5LW 驳船和船舶上管线运输的推荐实施规程
  - [5] API STD 1160 危险液体管道完整性管理规范
  - [6] ASME B31.8S 气体管道完整性管理系统
  - [7] EN 12583 气体基础设施 压缩机站 功能要求
  - [8] EN 16348 燃气基础设施 燃气传输基础设施的安全管理系统(SMS)及燃气输送管道的管道完整性管理系统(PIMS)功能要求
-