

团 体 标 准

T/CASEI XXX—XXXX

小口径钢质管道合于使用评价

Fitness for service assessment use of small diameter steel pipe

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国特种设备检验协会 发布

目 次

前 言.....	II
1 范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 通用要求.....	2
5 数据收集.....	3
6 缺陷表征及损伤模式识别.....	4
7 管道检测.....	6
8 合于使用评价.....	8
9 缺陷修复.....	11
10 记录与报告.....	13
附 录 A.....	14
参考文献.....	15

前 言

本文件按 GB/T 1.1—2020 给出的规则起草。
本文件由中国特种设备检验协会提出并归口。
本文件主要起草单位：略。
本文件主要起草人：略。

小口径钢质管道合于使用评价

1 范围

本文件规定了小口径钢质管道的通用要求、数据收集、缺陷表征及损伤模式识别、管道检测、合于使用评价、缺陷修复和记录与报告等技术内容。本文件提供的合于使用评价方法为小口径钢质管道的安全管理决策提供技术支持。

本文件适用于输送油、气介质，温度在 $-45^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，压力介于 $0.1\text{-}10\text{MPaG}$ 且公称直径不大于 50mm 的碳钢管道。其它材质、介质温度或介质压力，可参考使用。

本文件不适用于燃气聚乙烯（PE）等塑料管道。

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 19624 在用含缺陷压力容器安全评定

GB/T 30579 承压设备损伤模式识别

GB/T 35013 承压设备合于使用评价

GB/T 42595 承压设备修理基本要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

小径管 small diameter steel pipe

公称直径不大于 50mm 的管道。

3.2

体积型缺陷 volumetric type flaw

管体内外表面发生金属损失造成的缺陷。

[来源：SY/T 6477-2017，2.1]

3.3

裂纹缺陷 crack defect

一种根部尖锐的面型缺陷，主要参数有裂纹深度和长度，一般包括表面裂纹、埋藏裂纹和穿透裂纹。

[来源：SY/T 6477-2017，2.5]

3.4

缺陷表征 defect characterization

将实际缺陷按规则简化为一个简单几何形状的缺陷。

[来源：GB/T 19624-2019，3.1.5]

3.5

合于使用评价 fitness for service assessment

对含有缺陷或损伤的管道进行的一种评价，以确定在预期的工作条件下是否可以继续安全运行。

[来源：GB/T 30582-2014，3.2]

3.6

临时性修复 temporary repair

对管道缺陷损伤进行修复，以保持管道在一定期限内的安全使用性能。

[来源：GB/T 42595-2023，3.2]

3.7

永久性修复 permanent repair

对管道缺陷损伤进行修复，使其满足相应法规标准要求，并恢复到完好状态。

[来源：GB/T 42595-2023，3.3]

4 通用要求

4.1 应建立小径管的管理台账，收集小径管基本信息、检验检测与评价及维修维护等相关数据，并及时录入到数字化管理系统中，实施动态闭环管理。台账模板见附录 A。

4.2 应根据输送介质、压力等级、相连设备重要性、服役环境、失效后果等因素划分小径管的风险等级，实施风险分级管理。

4.3 应对小径管进行定期检查及维护维修。

4.4 含缺陷管道评价人员应具备下列基本知识和能力：

- a) 管道工作原理与安全运行注意事项；
- b) 管道缺陷及力学基本知识；
- c) 无损检测基本知识，以及缺陷类型判定和尺寸测量能力。

4.5 从事管道缺陷修复的施工单位应具备相应的修复资质和能力；从事缺陷修复的人员应具有工艺、材料、焊接、检验、工程等专业知识、经验及相应资质要求。

4.6 应收集评价所需要的相关资料，充分考虑各种可能的载荷和失效模式，根据本文件规定对缺陷小径管进行评价，分析缺陷形成的原因，并给出评价结论和技术处理建议。

4.7 小径管的合于使用评价主要包括数据收集、缺陷表征及损伤模式识别、管道检测、合于使用评价、缺陷修复和记录与报告 6 个步骤，评价流程见图 1。

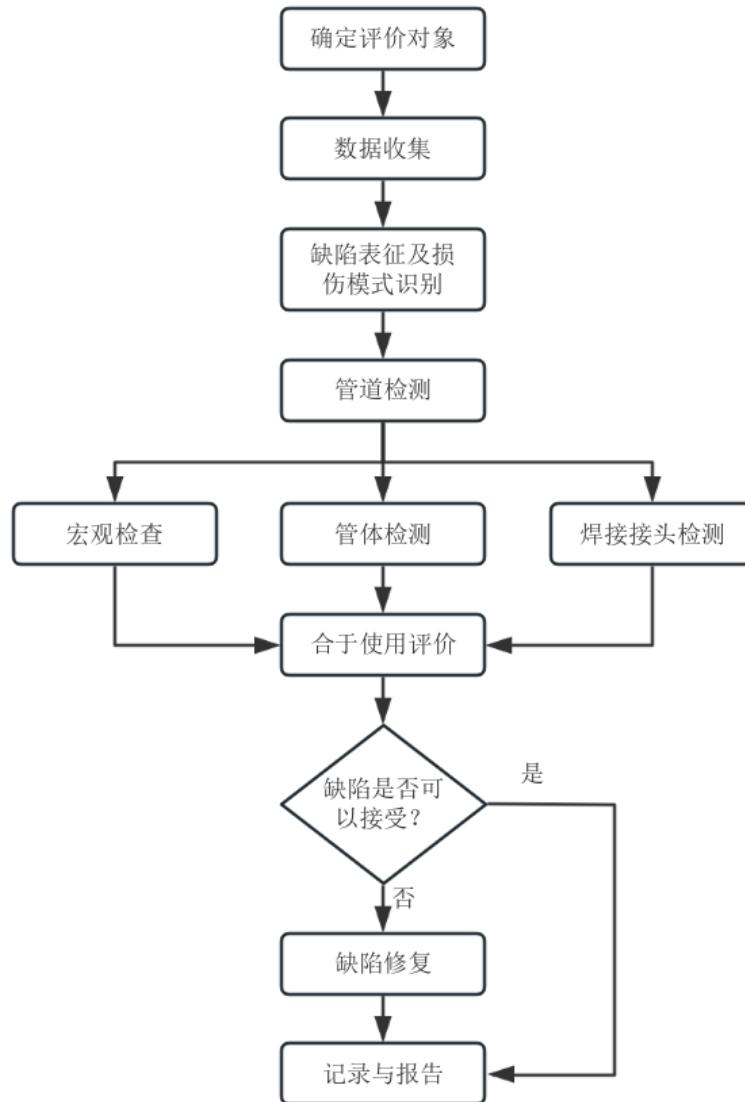


图 1 小径管合于使用评价流程

5 数据收集

5.1 应收集评价所需的相关数据，包括并不限于如下类型，具体如表 1 所示。

- a) 管道的材质、实际管径、壁厚数据；
- b) 管材及焊缝的强度、韧性等力学性能数据；
- c) 输送介质、设计压力、设计温度、工作压力、介质温度、外部载荷；
- d) 缺陷的位置、类型、尺寸及形貌；
- e) 运行环境及腐蚀防护情况；
- f) 管道运行工况、失效与维修记录等；
- g) 历次检测检验资料。

表 1 数据收集表

一级分类	二级分类	内容
小径管相关数据	尺寸	管径、壁厚
	材质	材质
	性能数据	小径管及焊缝的钢级、屈服强度、抗拉强度和韧性等性能数据
	运行数据	1.管道设计压力、工作压力； 2.设计壁厚、实际壁厚； 3.输送介质和介质温度； 4.失效与维修记录等
	环境信息	运行环境，如腐蚀防护、保温保冷数据
	检测数据	1.小径管的在线监测和巡检记录； 2.历次检测检验数据
缺陷相关数据	缺陷类型	缺陷为体积型缺陷或裂纹缺陷
	缺陷尺寸	1.体积型缺陷的深度、轴向长度和环向宽度； 2.轴向裂纹缺陷的深度和轴向长度； 3.环向裂纹缺陷的深度和环向宽度
	位置及形貌	1.缺陷的环向和轴向剖面轮廓图； 2.缺陷的环向钟点位置
	外部载荷和约束	1.与小径管连接的阀门、仪表等附属件； 2.小径管的支撑； 3.小径管因连接主管或设备的位移、滑动等受到的外部载荷； 4.其它对评价结果产生影响的外部载荷或约束

6 缺陷表征及损伤模式识别

6.1 缺陷表征

6.1.1 体积型缺陷的表征

6.1.1.1 对经检测查明的体积缺陷，根据其实际位置、形状和尺寸，应将其规则化为轴向长度 L 、环向宽度 β 、深度 d 的表面缺陷，如图 2 所示。

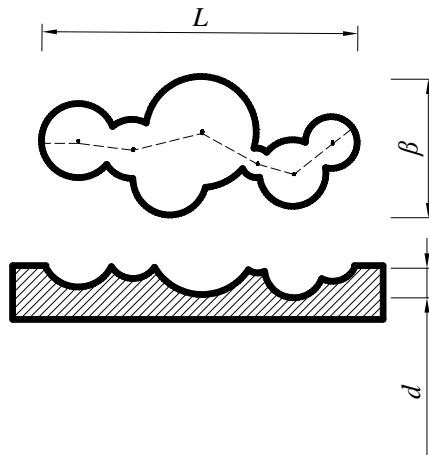


图2 体积型缺陷的规则化处理

图中：

L ——轴向长度，单位为毫米（mm）；

β ——环向宽度，单位为弧度（rad）；

d ——径向最大深度，单位为毫米（mm）。

6.1.1.2 考虑到缺陷基底处的加工硬化层影响，宜将机械划伤深度测量值增加 0.5mm 作为评价时的划痕深度。

6.1.1.3 当机械划伤和腐蚀重叠，应按照机械划伤进行评价，同时考虑缺陷腐蚀增长速率；当制造缺陷和腐蚀重叠，应按照腐蚀进行评价，缺陷增长速率应按照腐蚀缺陷的增长速率进行计算；当机械划伤和制造缺陷重叠，宜按照机械划伤进行评价。

6.1.1.4 当相邻缺陷之间的轴向和环向距离均小于 3 倍小径管壁厚时，应将缺陷合并作为一个缺陷进行评价。评价使用的缺陷深度为合并后的最大深度，缺陷长度为合并后的轴向长度，宽度为合并后的环向宽度（弧度），如图 3 所示。

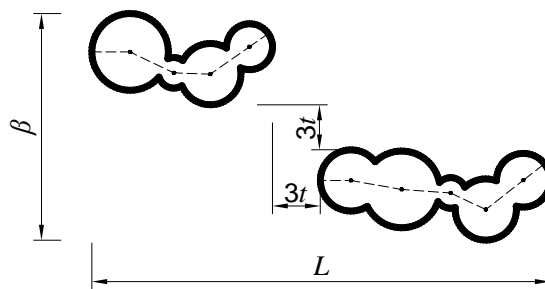


图3 体积型缺陷的合并处理

图中：

L ——轴向长度，单位为毫米（mm）；

β ——环向宽度，单位为弧度（rad）；

t ——小径管壁厚，单位为毫米（mm）。

6.1.2 裂纹型缺陷的表征

对经检测查明的裂纹或裂纹型缺陷，根据其实际位置、形状和尺寸，其规则化为外接矩形（轴向）或外接扇环（环向），如图4所示。

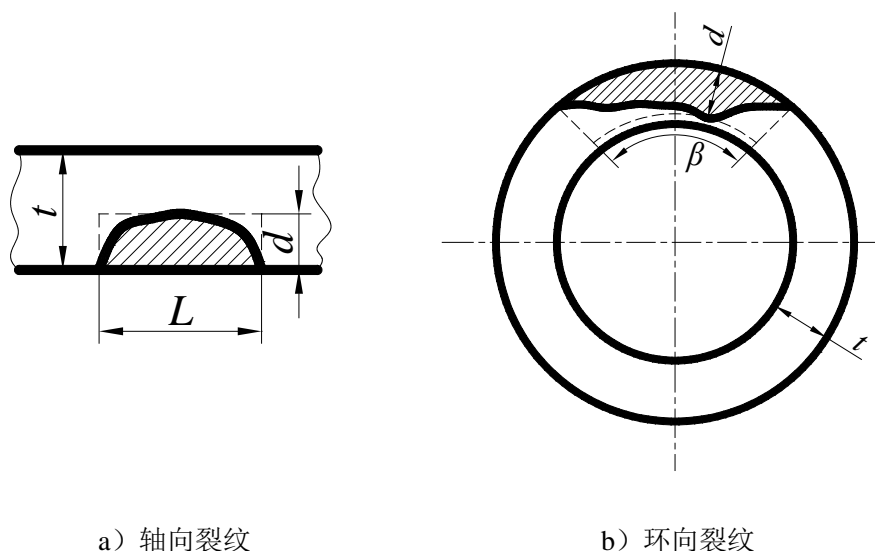


图4 裂纹缺陷的规则化处理

图中：

L ——轴向长度，单位为毫米（mm）；

β ——环向宽度，单位为弧度（rad）；

d ——径向最大深度，单位为毫米（mm）；

t ——小径管壁厚，单位为毫米（mm）。

6.2 损伤模式识别

6.2.1 应在收集小径管材质、壁厚及焊接方式等基础信息和服役环境资料的基础上，分析并识别管道可能存在的损伤失效模式，制定有针对性的检测策略及方案，并按计划实施。

6.2.2 损伤模式识别的流程包括基本数据确定、损伤模式初步筛查、损伤模式详细筛查、基于损伤形态及失效形态的主要损伤模式确认、基于同类设备损伤和失效案例的主要损伤模式确认。

6.2.3 损伤失效模式识别，宜参考 GB/T 30579 实施。常见的损伤模式包括大气腐蚀、冷却水腐蚀、氯化物应力腐蚀开裂和机械划伤等。

7 管道检测

7.1 检测方法

7.1.1 宏观检查

7.1.1.1 宏观检查采用目视方法进行，必要时利用其他辅助仪器设备或测量工具。

7.1.1.2 检查内容一般应包括以下内容：管道防腐层、保温层或保冷层是否破损，是否有腐蚀或介质泄露痕迹；管道结构是否存在倾斜或变形；管体或焊缝是否存在腐蚀、开裂等。

7.1.2 管体检测

7.1.2.1 小径管的本体缺陷检测，可结合管道结构尺寸和缺陷位置，采用目视检测、渗透检测、磁粉检测、超声测厚、超声波 B 扫描腐蚀检测、射线检测、管道外漏磁检测等方法实施。具体应按照 NB/T 47013 执行。

7.1.2.2 对生产和安全有重要影响的小径管应实施壁厚减薄监测。

7.1.2.3 目视检测用于识别管道外表面缺陷及变形检测；渗透检测用于识别管道外表面开口缺陷检测；磁粉检测用于识别管道外表面或近表面处缺陷检测。

7.1.2.4 射线检测用于检测管道埋藏或内壁缺陷。

7.1.2.5 管道外漏磁检测用于对管道内、外壁金属损失缺陷进行快速扫描检测，检测需满足如下要求：

- a) 应配置编码器等专用传感器精确定位缺陷位置，缺陷轴向定位误差小于或等于 $\pm 5\text{mm}$ ；
- b) 周向阵列传感器间距应不大于 8mm ；
- c) 扫查速度宜不大于 1m/s ；
- d) 检测时管壁应磁化到饱和磁感应强度 80% 以上；
- e) 检测精度应小于或等于 $\pm 10\%$ 壁厚。

7.1.2.6 超声波 B 扫描腐蚀检测用于管道内壁腐蚀的快速扫描检测，检测应满足下列要求：

- a) 采用压电式双晶干耦合超声波探头，无需施加耦合剂；
- b) 扫描速度小于或等于 100mm/s ；
- c) 轴向扫描精度小于或等于 5mm ；
- d) 设备透涂层能力大于或等于 1mm ；
- e) 检测精度不大于 $\pm 0.01\text{mm}$ 。

7.1.2.7 对于外部金属损失缺陷，可采用卡尺、直尺、卷尺、超声测厚仪、激光扫描仪及其他测量仪器（如点蚀测量规）等无损检测方法测量缺陷的长度、宽度及深度尺寸。对于内部金属损失缺陷，可采用超声测厚、射线确定缺陷的长度、宽度及深度尺寸。对于多个相邻缺陷，应按 6.1.1.4 给出的细则判定属同一金属损失规则化后的缺陷长度、宽度及深度尺寸。

7.1.3 焊接接头检测

7.1.3.1 小径管直管对接焊缝缺陷检测，可采用磁粉、渗透、射线、超声或相控阵超声等方法实施。

7.1.3.2 小径管与支管座之间角焊缝检测，可采用渗透、磁粉、焊缝表面裂纹场梯度成像检测等方法实施。支管座与母管之间角焊缝，可采用渗透、磁粉、焊缝表面裂纹场梯度成像检测、阵列涡流、相控阵超声等方法实施检测。具体应按照 NB/T 47013 和 GB/T 34362 执行。

7.1.3.3 场梯度成像检测可用于小径管与支管座角焊缝、支管座与母管角焊缝的表面裂纹、内部横向裂纹的检测，检测过程需满足下列要求：

- a) 检测时，应对厚度超过 3mm 的焊缝表面涂层进行清理，扫查速度宜不大于 10mm/s ；
- b) 现场具备检测工装安装条件的，宜使用检测工装；不具备安装条件的，可选择手动分区检测；
- c) 焊缝内部横向裂纹应采用可增强电流渗透深度的饱和磁化装置等强化工装；
- d) 若识别到检测缺陷信号，应先观察缺陷信号位置对应的提离信息及工件表面信息，排除凹坑或凸起等伪缺陷信号。

7.1.3.4 阵列涡流检测可用于支管座与母管角焊缝缺陷筛查。发现缺陷信号后，宜通过其他无损检测方法定性或定量。检测过程需满足下列要求：

T/CASEI XXX—XXXX

- a) 扫查时宜采用专用笔试涡流探头；
- b) 探头在扫查时应能保证同角焊缝的接触面实现柔性接触；
- c) 探头与角焊缝的提离值宜不大于 5mm，如有焊瘤、高突出物等影响探头移动过程中的提离波动，应打磨处理；
- d) 探头在角焊缝表面移动的速度宜匀速，且不大于 5mm/s。

7.1.3.5 相控阵超声检测可用于支管座与母管之间角焊缝缺陷的定性和定量检测。检测过程需满足下列要求：

- a) 系统校准与实际检测间的温度差应控制在 $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内；
- b) 探头移动区内应清除焊接飞溅、铁屑、油漆及其他杂质，扫查面应平整并有利于探头的移动和耦合；
- c) 探头宜采用自聚焦横波相控阵探头，探头可加装用以辅助声束偏转的楔块或延迟块。楔块形状应与被检工件曲率相匹配；
- d) 扫查数据以图像形式显示，可用 S 扫描、B 扫描、C 扫描、D 扫描及 P 扫描等显示形式。

7.1.3.6 采用场梯度成像检测、阵列涡流检测或相控阵超声实施检测时，应配置专用传感器探头及检测工艺，经标准试块测试校准的检测设备。

7.2 检测结果处理

7.2.1 应保留各项检测原始记录或信号。

7.2.2 应根据小径管检测结果，编制形成检测报告，及时录入到管理台账中。

7.2.3 应对含缺陷的小径管实施合于使用评价，根据评价结果及时实施维修维护。

8 合于使用评价

8.1 本文件适用于下列条件：

- a) 直管段、弯头、环焊缝缺陷；
- b) 内腐蚀或外腐蚀；
- c) 小径管表面不含机械划伤等可能导致材质硬化随后续压力波动萌生裂纹的缺陷。如有机械划伤缺陷，应将机械划伤打磨清除；
- d) 内压是小径管承受的主要载荷。

8.2 本文件不适用于下列条件：

- a) 小径管机械表面损失或电弧灼伤未能打磨光滑；
- b) 小径管材质是脆性的；
- c) 金属损失缺陷深度大于公称壁厚 80%或缺陷处小径管剩余壁厚小于 2mm。

8.3 若小径管体积型缺陷的最大深度小于或等于设计壁厚的 10%或腐蚀裕量，可免于评价，缺陷可接受。

8.4 纯内压载荷

8.4.1 含体积型缺陷小径管的失效压力 P_{LS} ，应按公式（1）~公式（3）进行计算。

$$P_{LS} = P_0 \left(\frac{1-d}{1-\frac{d}{tQ}} \right) \left(1 + \frac{\beta}{2\pi} \right)^{-0.02} \dots\dots\dots (1)$$

$$P_0 = 0.9\sigma_u \frac{2t}{D} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q = \sqrt{1 + 0.75 \left(\frac{L}{\sqrt{Dt}} \right)^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

P_{LS} ——含缺陷小径管失效压力的数值，单位为兆帕（MPa）；

P_0 ——无缺陷时的小径管失效压力的数值，单位为兆帕（MPa）；

t ——小径管公称壁厚的数值，单位为毫米（mm）；

D ——小径管外径的数值，单位为毫米（mm）；

d ——缺陷深度的数值（当缺陷为腐蚀缺陷时，缺陷深度为当前深度加上下一周期腐蚀裕量），单位为毫米（mm）；

β ——缺陷宽度的数值，单位为弧度（rad）；

L ——缺陷长度的数值，单位为毫米（mm）；

σ_u ——抗拉强度，单位为兆帕（MPa）；

Q ——鼓胀系数，无量纲。

8.4.2 含裂纹型缺陷小径管的失效压力，应按照下列公式（4）□公式（5）进行计算。

8.4.2.1 当裂纹型缺陷为轴向时：

$$P_Z = P_0 \left(1.1352 - 0.5842 \frac{d}{t} \right) \left(0.3623 \times \exp \left(\frac{-L}{0.9089\sqrt{Dt}} \right) + 0.5916 \right) \dots\dots\dots (4)$$

8.4.2.2 当裂纹型缺陷为环向时：

$$P_H = P_0 \left(0.9079 - 0.4583 \frac{d}{t} \right) \left(0.4206 \times \exp \left(\frac{-\beta}{0.2346\pi} \right) + 0.8205 \right) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

P_Z ——含轴向裂纹缺陷小径管失效压力的数值，单位为兆帕（MPa）；

P_H ——含环向裂纹缺陷小径管失效压力的数值，单位为兆帕（MPa）；

P_0 ——无缺陷时的小径管失效压力的数值，单位为兆帕（MPa）；

d ——裂纹深度的数值，单位为毫米（mm）；

t ——小径管公称壁厚的数值，单位为毫米（mm）；

L ——轴向裂纹的轴向长度的数值，单位为毫米（mm）；

D ——小径管外径的数值，单位为毫米（mm）；

β ——环向裂纹的环向宽度的数值，单位为弧度（rad）。

8.4.3 评价判据

8.4.3.1 体积型缺陷的可接受判据应满足下列要求：

a) 当 $d/t \leq 0.8$ 且 $t > 2\text{mm}$ 时，若含缺陷小径管的失效压力除以安全系数大于小径管的设计压力时，小径管不会发生失效泄漏，缺陷可接受；否则，缺陷是不可接受的；

b) 当 $d/t > 0.8$ 或 $t \leq 2\text{mm}$ 时，无论失效压力多大，都认为缺陷是不可接受的。

8.4.3.2 裂纹型缺陷的可接受判据应满足下列要求：

a) 当 $d/t \leq 0.5$ 时, 若含缺陷小径管的失效压力除以安全系数大于小径管的设计压力时, 小径管不会发生失效泄漏, 缺陷是安全或可接受的; 否则, 缺陷是不可接受的;

b) 当 $d/t > 0.5$ 时, 无论失效压力多大, 都认为缺陷是不可接受的。

8.4.3.3 对小径管进行合于使用评价时, 应结合失效后果并按表 2 选取安全系数。

表 2 安全系数取值

失效后果	轻微	较大	重大
安全系数	1.25	1.5	2

8.5 纯弯矩载荷

8.5.1 含体积型缺陷小径管的塑性极限弯矩 M_{LS} , 应按照下列公式 (6) □公式 (9) 进行计算。

$$M_{LS} = m_{LS} \times M_{L0} \dots\dots\dots (6)$$

$$m_{LS} = \begin{cases} \cos\left(\frac{c\pi b}{2}\right) - \frac{c \sin(\pi b)}{2}, & c < \frac{1-b}{b} \\ 1.1(1-c) \sin\left[\frac{\pi(1-bc)}{2(1-c)}\right] + \frac{c \sin(\pi b)}{2}, & c \geq \frac{1-b}{b} \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

$$b = \frac{\beta}{2\pi}, c = \frac{d}{t} \dots\dots\dots (8)$$

$$M_{L0} = 4\sigma_u \frac{R_0^3 - R_i^3}{3} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

M_{LS} ——含缺陷小径管在纯弯矩下的塑性极限弯矩的数值, 单位为千牛·米 (kN·m);

m_{LS} ——无量纲的含缺陷小径管在纯弯矩下的塑性极限弯矩;

M_{L0} ——完好小径管在纯弯矩下的塑性极限弯矩的数值, 单位为千牛·米 (kN·m);

R_0 ——小径管外半径的数值, 单位为毫米 (mm);

R_i ——小径管内半径的数值, 单位为毫米 (mm)。

8.5.2 含环向裂纹型缺陷小径管的塑性极限弯矩 M_H , 应按照下列公式 (10) 进行计算。

$$M_H = M_{L0} \left(0.4098 - 0.3168 \frac{d}{t}\right) \left(1.1918 \times \exp\left(\frac{-\beta}{0.1714\pi}\right) + 2.1731\right) \dots (10)$$

式中:

M_H ——含环向裂纹小径管在纯弯矩下塑性极限弯矩, 单位为千牛·米 (kN·m);

M_{L0} ——完好小径管在纯弯矩下的塑性极限弯矩的数值, 单位为千牛·米 (kN·m);

d ——裂纹深度的数值, 单位为毫米 (mm);

t ——小径管公称壁厚的数值, 单位为毫米 (mm);

β ——环向裂纹环向长度的数值, 单位为弧度 (rad)。

8.5.3 评价判据

8.5.3.1 体积型缺陷的可接受判据应满足下列要求:

a) 当 $d/t \leq 0.8$ 且 $t > 2\text{mm}$ 时, 若含缺陷小径管的塑性极限弯矩除以安全系数大于小径管承受的最大弯矩时, 小径管不会发生失效, 缺陷可接受; 否则, 缺陷不可接受;

b) 当 $d/t > 0.8$ 或 $t \leq 2\text{mm}$ 时, 缺陷不可接受。

8.5.3.2 环向裂纹型缺陷的可接受判据应满足下列要求：

- a) 当 $d/t \leq 0.4$ 时，由极限弯矩公式计算出来的含缺陷小径管的塑性极限弯矩除以安全系数大于小径管承受的最大弯矩时，小径管不会发生失效，缺陷可接受；否则，缺陷不可接受；
- b) 当 $d/t > 0.4$ 时，缺陷不可接受。

8.5.3.3 对小径管进行合于使用评价时，应结合失效后果并按表 2 选取安全系数。

8.6 复合载荷

8.6.1 本方法可适用于同时承受内压和弯矩载荷的含缺陷小径管合于使用评价。其它含疲劳或振动载荷工况的含缺陷小径管合于使用评价，应结合现场实际工况，准确测量疲劳参数及振动载荷参数后，采用有限元等数值模拟或其它专项评价方法。

8.6.2 含体积型缺陷小径管的合于使用评价应按照公式（11）进行评价。

$$\left(\frac{P}{0.8P_{LS}}\right)^2 + \left(\frac{M}{0.9M_{LS}}\right)^2 \leq 1 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- P ——小径管承受内压的数值，单位为兆帕（MPa）；
- P_{LS} ——小径管在纯内压下失效压力的数值，单位为兆帕（MPa）；
- M ——小径管承受的弯矩的数值，单位为千牛·米（kN·m）；
- M_{LS} ——小径管在纯弯矩下的塑性极限弯矩的数值，单位为千牛·米（kN·m）。

8.6.3 含环向裂纹型缺陷小径管的合于使用评价应按照公式（12）进行评价。

$$\left(\frac{P}{0.75P_H}\right)^2 + \left(\frac{M}{0.8M_H}\right)^2 \leq 1 \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- P ——小径管承受内压的数值，单位为兆帕（MPa）；
- P_H ——小径管在纯内压下失效压力的数值，单位为兆帕（MPa）；
- M ——小径管承受弯矩的数值，单位为千牛·米（kN·m）；
- M_H ——小径管在纯弯矩下的塑性极限弯矩的数值，单位为千牛·米（kN·m）。

8.6.4 评价判据

8.6.4.1 体积型缺陷的可接受判据应满足下列要求：

- a) 当 $d/t \leq 0.8$ 且 $t > 2\text{mm}$ 时，若含体积型缺陷小径管承受的设计压力和弯矩乘以安全系数后，满足评价公式（11），小径管不会发生失效，缺陷是可接受的；否则，缺陷不可接受的；
- b) 当 $d/t > 0.8$ 或 $t \leq 2\text{mm}$ 时，则缺陷不可接受。

8.6.4.2 环向裂纹型缺陷的可接受判据应满足下列要求：

- a) 当 $d/t \leq 0.4$ 时，若含环向裂纹型缺陷小径管承受的设计压力和弯矩乘以安全系数后，满足评价公式（12），小径管不会发生失效，则缺陷可接受；否则，缺陷不可接受；
- b) 当 $d/t > 0.4$ 时，则缺陷不可接受。

7.6.4.3 对小径管进行合于使用评价时，应结合失效后果并按表 2 选取安全系数。

9 缺陷修复

9.1 应依据检测和合于使用评价结果制定修复计划。修复计划一般包括立即修复、限期修复和监控使用。按照风险高低安排修复顺序，高风险的缺陷应优先修复。

9.2 小径管修复应明确修复的目的（临时性修复或永久性修复），对修复过程进行跟踪检查，并对修复效果进行确认。

9.3 缺陷修复所用材料应具有产品合格证等相关质量证明文件，有许可要求的材料，应由取得相应许可的生产单位制造。

9.4 修复作业前应进行风险分析，制定风险削减及防护措施，编制相关修复方案和必要的应急预案，审批通过后方可实施，相关要求应按 GB/T 42595 执行。

9.5 可采用的缺陷典型修复方法见表 3。一种缺陷可能存在多种适用的修复方法，应结合缺陷数据、现场工况、企业运行情况和安全管理需求，选择最合适的修复方法。

表 3 缺陷典型修复方法

缺陷类型	打磨	金属修补剂 修复	焊接 修复	复合材料 补强	螺栓紧固 夹具	堵漏夹具	换管
1 泄漏	否	否	否	否	临时	临时	永久
2 腐蚀							
2a) 外腐蚀 ($d \leq 0.8t$)	永久	临时	永久	临时	临时	否	永久
2b) 外腐蚀 ($d > 0.8t$)	否	否	永久	临时	临时	否	永久
2c) 内腐蚀或缺陷	否	否	永久	临时	临时	否	永久
3 机械划伤或其他管体金属损失	永久	临时	永久	临时	临时	否	永久
4 焊接缺陷	永久	否	永久	否	临时	否	永久
5 电弧灼伤	永久	否	永久	临时	临时	否	永久
6 裂纹							
6a) 浅裂纹 ($d \leq 0.4t$)	永久	否	永久	临时	临时	否	永久
6b) 深裂纹 ($d > 0.4t$)	否	否	永久	临时	临时	否	永久
7 凹陷	否	否	永久	临时	临时	否	永久

9.6 在实施缺陷修复前，应按照合于使用评价结果，采取降低小径管运行压力等安全保障措施。

9.7 由运行环境因素如振动、疲劳、应力腐蚀等原因引起的小径管裂纹，完成修复后应采取消除裂纹致因。

9.8 修复压力不应超过合于使用评价确定的安全工作压力。涉及在役焊接时，修复压力不应超过按照相关标准核算的允许在役施焊压力。

9.9 缺陷修复前应采取目视、超声测厚或其他无损检测方法对缺陷进行定位，复核缺陷信息并记录。当测量结果和检测结果偏差较大时，应根据确认后的缺陷信息调整修复方案。

9.10 腐蚀缺陷修复前，应对小径管外腐蚀区域的腐蚀产物进行清理。

9.11 采用临时补强方法完成缺陷修复后，应及时采用永久修复方法替换。

9.12 采用焊接修复时，应制定并执行焊接工艺规程。

9.13 缺陷修复完成后，应及时恢复小径管的防腐、保温或保冷措施。

9.14 修复完成后，应进行施工质量验收，并对修复工作的修复方案、记录和报告等竣工资料纳入设

备管理档案，并形成验收文件。

10 记录与报告

10.1 记录

10.1.1 缺陷的检测、评价和修复等工作都应有完整的记录，并纳入完整性管理记录与文档管理中。

10.2 报告

10.2.1 小径管的合于使用评价工作完成后，应及时出具评价报告，并给出明确的结论及技术处理建议。

10.2.2 小径管的合于使用评价报告至少应包括下列内容：

- a) 概况；
- b) 数据收集；
- c) 失效模式识别；
- d) 检测结果；
- e) 合于使用评价；
- f) 评价结论和技术建议。

附录 A
(资料性)

小径管台账

A.1 按照如下表格的参数要求，编制工艺小径管台账。

表 A.1 小径管台账

名称	编号	级别	管径	材质	起点	止点	设计条件		操作条件		介质	敷设方式	投用时间	小径管检测方法	缺陷信息	修复方法	修复时间	修复效果 排查结果
							压力	温度	压力	温度								

参考文献

- [1] BS 7910 Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures
- [2] ASME B31G Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines
- [3] ASME B31.3 Process Piping Guide

《小口径钢质管道合于使用评价》
编制说明

标准编制工作组
2024年10月14日

《小口径钢质管道合于使用评价》编制说明

(征求意见稿)

1 工作简况

1.1 任务来源

本标准是经中国特检协会压力管道检验工作委员会、团标工委会长输管道与公用管道工作组批准而制定的，标准名称为“小口径钢质管道合于使用评价”，项目编号为“2024003”。项目计划2024年底完成，标准为新制定。

1.2 编制单位、主要起草人员及分工

本标准起草单位主要包括：略。

本标准主要起草人包括：略。

1.3 工作过程

2023年9月，在本标准获批立项后，标准主要起草单位对国内外相关法规标准进行调研分析，对小口径钢质管道失效案例和数值模拟及试验数据进行分析。2024年1月，召开标准启动会，详细讨论了标准的内容和工作计划安排，结合调研结果和前期科研基础，提出了标准的整体框架、编制原则和技术路线。2024年6月和8月分别召开标准文件讨论会，对标准草案中的管道监测/检测技术要求、含缺陷管道适用性评价技术要求和管道修复技术要求等主要内容进行详细讨论。2024年10月，形成征求意见稿。

2 国家标准编制原则和确定国家标准主要内容的论据

2.1 编制原则

1) 标准的编写格式按国家标准 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》的规定和要求进行编写；

2) 本标准以横向科研成果为基础，进行综合凝练，以保证标准的先进水平；

3) 以横向科研成果为基础，充分考虑工程应用的结果，以保证标准的适用性；

4) 为检验人员和企业安全管理的提供技术支撑；

5) 满足标准的科学性、先进性、有效性原则，规范小口径钢质管道的合于使用评价。

2.2 标准主要内容说明

本标准给出了小口径钢质管道的合于使用评价方法，共 10 个章节和 1 个附录组成，包括：范围、规范性引用文件、术语和定义、通用要求、数据收集、缺陷表征及损伤模式识别、管道检测、合于使用评价、缺陷修复、记录与报告、附录 A 小径管台账。

1) 确定本标准的适用范围

本文件适用于输送油、气介质，温度在 $-45^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，压力介于 0.1-10MPaG 且公称直径不大于 50mm 的碳钢管道。其它材质、介质温度或介质压力，可参考使用。

2) 总体要求

应建立小径管的管理台账，收集小径管基本信息、检验检测与评价及维修维护等相关数据，并及时录入到数字化管理系统中，实施动态闭环管理。应根据输送介质、压力等级、相连设备重要性、服役环境、失效后果等因素划分小径管的风险等级，实施风险分级管理。

3) 数据收集

应收集评价所需的相关数据，包括并不限于如下类型：

- a) 管道的材质、实际管径、壁厚数据；
- b) 管材及焊缝的强度、韧性等力学性能数据；
- c) 输送介质、设计压力、设计温度、工作压力、介质温度、外部载荷；
- d) 缺陷的位置、类型、尺寸及形貌；
- e) 运行环境及腐蚀防护情况；
- f) 管道运行工况、失效与维修记录等；
- g) 历次检测检验资料。

4) 缺陷表征及损伤模式识别

对体积型和裂纹型缺陷进行表征，并考虑机械划伤和腐蚀重叠的影响。应在收集小径管材质、壁厚及焊接方式等基础信息和服役环境资料的基础上，分析并识别管道可能存在的损伤失效模式，制定有针对性的检测策略及方案，并按计划实施。损伤模式识别的流程包括基本数据确定、损伤模式初步筛查、损伤模式详细筛查、基于损伤形态及失效形态的主要损伤模式确认、基于同类设备损伤和失效案例的主要损伤模式确认。

5) 管道检测

从宏观检测、管体检测、焊接接头检测三个方面对小径管进行检测，并对检测结果进行处理。根据小径管检测结果，编制形成检测报告，及时录入到管理台账中。

6) 合于使用评价

本章规定了含体积型缺陷和裂纹型缺陷的小径管在纯内压载荷、纯弯矩载荷以及复合载荷下的合于使用评价公式，并制定相应的评价判据和安全系数。

7) 缺陷修复

应依据检测和合于使用评价结果制定修复计划。修复计划一般包括立即修复、限期修复和监控使用。按照风险高低安排修复顺序，高风险的缺陷应优先修复。小径管修复应明确修复的目的（临时性修复或永久性修复），对修复过程进行跟踪检查，并对修复效果进行确认。

8) 记录与报告

缺陷的检测、评价和修复等工作都应有完整的记录，并纳入完整性管理记录与文档管理中。小径管的合于使用评价工作完成后，应及时出具评价报告，并给出明确的结论及技术处理建议。

3 主要试验（或验证）情况分析

针对小口径钢质管道的合于使用评价还基本处于技术空白阶段。为确保标准的科学性，保障管道安全运行，本标准在编制前和编制过程中开展大量的调研、模拟和试验验证工作，具体如下：

(1) 对国内外石油天然气场站、炼化和核电等领域的 100 多份文章和报告以及大鹏公司含缺陷小径管道分析报告进行整理，从缺陷表征、失效分析和处理对策等方面详细整理出 39 项失效案例，并形成失效案例库。

(2) 利用有限元数值模拟软件，针对含外腐蚀和外表面裂纹缺陷的小径管开展了数值模拟，分析不同缺陷类型对小径管道承压能力的影响，找出缺陷的不同尺寸对小径管道承压能力影响的重要程度，为后续缺陷评价方法的建立提供数据支撑。

(3) 同时，为研究含缺陷管道的承压能力、损伤过程和机理，并验证有限元分析模型的准确性，本标准以 DN20、DN25、DN40 和 DN50 管道为试验对象，选择常用的 A333-6 和 A106-B 材质的管道，在试验管道上加工小径管道常发生的腐蚀、裂纹和焊缝缺陷，

并进行共计 46 组水压爆破、疲劳和复合载荷试验，上述试验测试成果形成了本标准的核心技术部分。

4 综述报告及预期经济效果

小径管作为国家能源供给重要基础设施组成部分，确保其安全运行意义十分重要。通过该标准的制定、持续应用及进一步修订，将为提高企业设备设施完整性管理水平，推动对该类管道检测、评价及缺陷修复管理工作更加规范化和标准化，保障油气储运设施安全生产起到重要的促进作用，因此经济效益十分显著。同时，也可有效提升集团在油气设备设施完整性管理方面的技术话语权。

5 标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

6 与国际、国外同类标准水平的对比情况

经搜索相关文献，未发现国际上相关企业、协会或机构对小径管道开展专项缺陷评价和修复技术研究。

现行国际国内管道缺陷评价及修复标准，如 API 579、DNV RP-F101、BS7910、SY/T6151、SY/T6477 的评价对象都是针对长输油气管道，研究成果均是基于大尺寸管径爆破试验数据。目前国内外缺乏专项的小径管检测评价和修复技术标准规范。

2019 年中国石油天然气股份有限公司炼化分公司编制了《炼化装置小径管道管理导则（暂行版）》，主要聚焦小径管道设计选型、日常维护以及新建或更换小径管道时制造安装和入厂检验要求，是目前行业内唯一与小径管道有关的指导性文件。该文件只原则提出应定期开展小径管道评价、评估、补强或换管工作，但对评价标准、评估方法、修复方法和修复可靠性验证等均无具体描述。

作为新制定的技术标准，标准成果是在充分进行失效案例文献及现场技术调研的基础上，有效结合了国家和行业类似标准要求以及为编制本标准所开展的有限元模拟分析和试验测试结果，填充本领域内的空白，有效保证了本标准处于国内领先水平和国际先

进水平。

7 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

目前，国内常用的管道评价标准如 GB/T 19624、GB/T 30582 等都主要应用于大直径管道的安全评价，并不完全适用于小径管，本标准为现行管道安全评价标准的补充。

8 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

9 贯彻标准的要求和措施建议

本标准为管道缺陷管理和防控措施提供了理论依据，可有效用于指导现场安全生产实践。为了贯彻执行该标准，应落实相关工作。

1、进行标准的宣贯

本标准正式发布以后，对相关油气储运设施的管道管理人员进行该标准的解读讲解，推动该标准在日常工作中的实际应用。

2、标准执行情况的核实

在年度管道完整性管理检查工作中，建议对标准的执行情况进行检查核实，保证标准得到实际的应用，使企业针对小径管的评价能力得到提升。

3、标准执行情况的意见反馈

由于该标准为首次制定，建议在本标准实施以后，定期收集各应用单位的意见反馈，对标准的实施应用和后续的修订提供意见和依据。

11 废止现行有关标准的建议

无。

12 其他应予说明的事项

无。

《小口径钢质管道合于使用评价》

标准编制工作组