

团 体 标 准

T/CI 080—2022

管体缺陷智能套筒修复技术规范

Technical specification for intelligent sleeve repair of pipe defects

2022 - 09 - 29 发布

2022 - 09 - 29 实施

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 补强应具备的资料	5
5 补强前的施工准备	6
6 补强作业	7
7 质量控制	8
8 回填、清理现场	8
9 监测数据采集处理	8
10 监测报告	9
11 HSE 要求	9
12 竣工验收	10
13 维修信息	10
附录 A（规范性） 深度在 5m 以内（不加支撑）管沟最陡边坡的坡度	1
附录 B（规范性） 管体缺陷智能套筒修复补强信息记录表	2
参考文献	3

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。

本文件由中国国际科技促进会提出并归口。

本文件起草单位：广东华南智慧管道研究院，中国石油大学（北京），国家管网集团华南分公司，中科智宇（寿光）安全技术有限公司，国家管网集团东部原油储运有限公司，青岛理工大学。

本文件主要起草人：田中山，董绍华，杨文，徐晴晴，孙伟栋，李苗，陈思雅，张拥军，王葵。

全国团体标准信息平台

引 言

油气管道作为油气资源调度最高效经济的运输方式,近年来得到了空前的发展,随着国家管网公司的成立,我国油气管网建设运营能力更是得到不断提升,油气输送管网基本形成。随着管道服役时间的不断增加,油气管道建设运营期的各种焊接、腐蚀、材料等缺陷逐渐显现,为我国油气输送带来不安全因素。为此如何高效修复管道缺陷、提升管道缺陷处剩余强度、延长管道使用寿命成为管道修复行业需要关注的重点。管体缺陷智能套筒修复技术作为一种高效的管道修复技术,因其具有良好的适用性、安装操作简单快捷、修复范围灵活等优点,更适用于在管道修复中进行广泛使用,在恢复缺陷处承压强度的同时,可以对缺陷处修复后的应力应变进行长期实时监测,通过对应变监测数据的分析得出缺陷修复处的应力状态,确保管道缺陷修复作业的有效性,对于保障“碳达峰、碳中和”工作的顺利实施,具有重要意义。

为满足管道运输行业安全、高效运营的发展需要,提高管道修复技术的质量可靠性,中国石油大学(北京)和国家管网华南分公司针对管体缺陷智能套筒修复技术展开了一系列相关课题研究及工程实验研究,验证了管体缺陷智能套筒修复技术的有效性,修复后的管道缺陷处力学性能得到提升,满足了安全运营的需求。为推广管体缺陷智能套筒修复技术,提高管道缺陷处剩余强度,延长管道使用寿命,特制定本文件。

管体缺陷智能套筒修复技术规范

1 范围

本文件规定了国家管网华南分公司采用智能套筒修复技术对输油管道缺陷进行修复并监测修复效果的操作技术要求和注意事项。

本文件适用于国家管网华南分公司所属输油管道，由于管道腐蚀、沟槽、裂纹、凹陷、焊接缺陷（环焊缝除外）、褶皱、屈曲等非泄漏缺陷造成的管道缺陷智能套筒修复及监测。

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。

SY/T 6444 石油工程建设施工安全规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能套筒修复技术 epoxy injection technology for sleeve

主要用于各类钢质管道缺陷的承压强度的恢复。对于此类缺陷，采用钢制套筒安装在管道缺陷的外表面，与管道保持一定环缝间隙，环缝隙两端用胶封闭，再在此封闭空间内灌注环氧填胶，构成复合套管，对管道缺陷进行补强。智能套筒内壁预留应变计安装槽，用于后期应变计安装，实现对管体缺陷及环氧填充剂的应力监测。

3.2

套筒 sleeve

管体缺陷智能套筒修复技术中所用的套筒可以套在钢制管道上，管道和套筒之间注入环氧。套筒包括焊接式和法兰式两种。

3.3

环氧树脂 epoxy resin

修复注入用环氧树脂材料由基料和固化剂按一定比例混合而成。其中基料组分包括：环氧树脂、改性橡胶弹性体、环氧改性聚氨酯弹性体、经偶联剂处理过的无机填料、气相法二氧化硅。固化剂部分包括：改性脂环族胺类固化剂、聚酰胺类固化剂、改性脂肪族胺类固化剂。

3.4

缺陷修补填平胶 glue for repairing and leveling defects

在缺陷处涂抹缺陷修补填平胶可以缓解应力集中。主要包括：环氧树脂、硅灰石、活性稀释剂、增塑剂、胺固化剂。

3.5

缺陷 defect

管道超出可接受标准的不完整类型或量级。

3.6

修复压力 repair pressure

实施修复时缺陷处管道的操作压力。

3.7

凹陷 dent

管壁受外部挤压或碰撞产生径向位移而形成的局部塌陷,是由于管壁永久塑性变形而使管道横截面发生的形状改变。

3.8

应力 stress

作用于单位面积上的载荷或力。

4 补强应具备的资料

4.1 管道资料调查

4.1.1 原始资料

管道管径、壁厚及使用年限。

4.1.2 管道运行记录

管道输送介质、压力、温度等。

4.1.3 管道维修或改造资料

管道维修记录及竣工资料。

4.2 补强材料准备

4.2.1 通用要求

根据内检测结果,分析并确定管线补强点的数量,选择智能套筒管径,计算注入环氧树脂量等。

4.2.2 套筒壁厚计算

采用与缺陷管道材质一致或更高级别的钢材制造而成,采用高钢级材料作为智能套筒可以减少套筒壁厚,套筒壁厚可以按照下式进行计算:

$$t \geq \frac{pD}{2\sigma_s \phi} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

P ——管道设计压力, MPa;

D ——管道直径, mm;

σ_s ——套筒屈服应力, MPa;

ϕ ——地区等级系数 (0.8, 0.72, 0.6, 0.5, 0.4)。

4.2.3 套筒螺栓间距

对于窄面螺栓,连接螺栓间距的最大值 L_{max} 应不超过下式:

$$L_{max} = 2d_B + \frac{6\delta_f}{m+0.5} \dots\dots\dots (2)$$

对于宽面螺栓,连接螺栓间距的最大值 L_{max} 应不超过下式:

$$L_{max} = 3d_B + 2\delta_f \dots\dots\dots (3)$$

式中:

d_B ——螺栓公称直径, mm;

δ_f ——法兰有效厚度, mm;

m ——垫片系数。

4.3 补强资料

4.3.1 补强点描述

描述内容包括：

- a) 距离上、下游标志桩（环焊缝）距离，以及时钟方向；
- b) 缺陷类型：内外腐蚀缺陷、环焊缝缺陷、裂纹、凹陷、氢致开裂等；
- c) 管道泄漏情况；
- d) 缺陷尺寸：长、宽、深，以及剩余壁厚。

4.3.2 补强施工人员配置

至少配置以下人员：

- a) 电气工程师，
- b) 机械设备工程师，
- c) 安全环保工程师。

4.3.3 补强施工机具清单

至少配置以下工具：

- a) 现场埋地管道开挖、放坡施工机械；
- b) 管道外防腐处理工具：砂轮、砂纸、剪刀、钢丝刷、卷尺、刷子、聚乙烯冷缠带、尼龙辊等；
- c) 管道表面清洗工具：丙酮或乙醇；
- d) 环氧树脂施工工具：搅拌容器、搅拌器、注料泵、小型发电机、高压胶管；
- e) 安全防护用具：安全帽、安全带、灭火器、防护眼镜、橡胶手套、口罩等；
- f) 其他施工工具：电缆、温度计、湿度计、甲烷气体检测仪、超声波金属测厚仪等。

4.3.4 补强用材料

至少配置以下材料：

- a) 管道缺陷修复材料：套筒、环氧树脂、固化剂、密封胶、缺陷修补填平胶等；
- b) 管道缺陷应力监测装备：应变计、数据采集仪、数据传输仪、太阳能供电设备、锂电池、电缆等；
- c) 其他补强材料：电火花检漏仪等。

4.3.5 补强点现场情况

管道外防腐层类型、管道运输介质类型、管道运输工艺参数、现场天气状况、后果区敏感程度、交通情况等。

5 补强前的施工准备

5.1 检查内容

应检查以下几项内容：

- a) 检查管线补强开挖点，应留有足够的施工空间；
- b) 对于裸露的光缆，应采取有效的保护措施，防止施工时损失；
- c) 套筒完好无损，法兰连缝处配合紧密，套筒椭圆度不大于 1.5%；
- d) 环氧树脂及固化剂流动性好、无杂质、色泽均匀；
- e) 注入系统检查；
- f) 电机不应受潮，电气绝缘强度不小于 $2.5M\Omega$ （500V）；
- g) 注入泵各处紧固件是否牢固；
- h) 要将泵和高压胶管内的杂物吹扫干净；
- i) 泵进出口高压胶管连接时，管螺纹连接处应涂上密封胶后再连接；
- j) 弹性联轴器联结处无松动，保证能够平稳传递动力；
- k) 检查泵的旋转方向；
- l) 搅拌器完好。

5.2 准备内容

准备内容包括以下几项：

- a) 电气连接：连接发电机到变频器动力电缆，连接变频器到注入电机动力电缆；
- b) 连接注入泵进出口高压胶管；
- c) 秋冬季施工时，建议将注入料主料加热至 25℃，防风保温；
- d) 计算注入料主料用量，按 5kg 一份备用若干桶，要备相应的固化剂，保证补强用量并留有裕量，不用时应封装好，防止杂质与环氧树脂混合；
- e) 套筒内壁进行防锈处理。

6 补强作业

6.1 补强作业基本要求

- 6.1.1 管道缺陷修复要求在不影响管道正常运输的情况下，安全、可靠、快速完成管道缺陷的修复作业。
- 6.1.2 智慧套筒监测系统的主要步骤包括：
 - a) 钢制套筒及高精度传感器的安装；
 - b) 高强度环氧树脂充填剂的注入；
 - c) 数据采集、供电系统的安装。
- 6.1.3 通过对现场监测数据的分析，得出管道缺陷处承载所产生的环向应变及管道整体变形量，绘制应变曲线，实现对管道缺陷处修复效果的监测，并进行安全性判定。

6.2 现场开挖

- 6.2.1 依据现场数据确定管道缺陷薄弱处地理坐标进行开挖。
- 6.2.2 管沟开挖时管沟的深度一般挖至管底悬空 0.5m，管沟边坡坡度应根据土壤类别和管沟开挖深度确定。深度在 5m 以内（不加支撑）管沟最陡边坡可按附录 A 确定。
- 6.2.3 管沟开挖时，应将挖出的土石方堆放到防腐修复施工设备对面一侧的沟边，堆土应距沟边 0.5m 以外。耕作区开挖管沟时，应将表层耕作土与下层土分别堆放。
- 6.2.4 沙漠地区管道或深度超过 5m 的一般土壤地区的管道，管沟边坡可根据实际情况采取边坡适当放缓、加支撑或采取阶梯式开挖措施。
- 6.2.5 管道开挖时，应根据管道直径、壁厚、材质、输送介质等进行计算，确定最大允许悬空长度。

6.3 钢管表面处理

- 6.3.1 将补强处的钢管表面处理区域划分，采用机械或电加热的方法除去 PE 层和胶粘剂层，预留防腐补口宽度为 50mm，然后用钢丝轮打磨掉附着在钢管表面的环氧粉末，除锈等级必须要达到 St3 级，并尽量能够达到 Sa2.5 级。尤其要注意缺陷部位的处理要得当。
- 6.3.2 在钢管表面处理前后要用超声波金属测厚仪进行检测确认，记录腐蚀点的区域、剩余壁厚、径向点位置等。对缺陷数据进行安全评价。
- 6.3.3 将管线防腐层端口修出坡口，环向打磨平整。
- 6.3.4 用调配好的缺陷修补填平胶将外腐蚀点抹平。

6.4 监测系统安装

- 6.4.1 在管道缺陷所在截面 12 点、6 点方向安装应变计，用于对修复后管道的应力监测；在套筒内表面 3 点、9 点方向安装应变计，用于对环氧树脂充填剂强度的应力监测。
- 6.4.2 完成应变计安装后，对应变计进行电阻检测，确保应变计安装完好。
- 6.4.3 数据采集系统的硬件由传感器、数据采集仪和计算机（控制与分析器）组成。
- 6.4.4 通过抗干扰数据线缆连接传感器，将采集到的应力应变监测数据传送至数据采集仪，数据采集仪连接 GPRS 无线传输模块。整个采集传输系统采用太阳能供电，通过外置太阳能板，连接电源线至采集仪、无线模块等，完成监测采集传输系统的供电。

6.5 套筒安装

6.5.1 缺陷修补填平胶达到表干状态时，将套筒安装在钢管外，连接法兰螺栓，同时确保缺陷薄弱处位于套筒中间。

6.5.2 用调整螺栓调整套筒环型缝隙，用千分尺检查，误差不大于 3.0mm。

6.5.3 用压缩空气或电吹风机将套筒环型缝隙内的杂物吹扫干净。

6.6 套筒端口密封

6.6.1 将快干密封胶注入到环型端口边缘，用缺陷修补填平胶刀磨平，待干 5~10 分钟。

6.6.2 干后检查端口密封情况。

6.7 开泵注入

6.7.1 连接套筒注入入口和高压胶管，打开注入阀门。

6.7.2 将环氧树脂和固化剂混合搅拌，混合比例按环氧树脂生产厂家使用要求严格配比。同时一次配料不应超过 5kg，防止环氧树脂交联爆聚，在注入时要不停搅拌。

6.7.3 环氧树脂和固化剂混合均匀后，将吸料口胶管插入混料桶内，启动泵电机，将环氧树脂注入到套筒缝隙内。

6.7.4 根据环氧树脂注入速度，计时准备下一桶环氧树脂，保证注入过程的连续性。

6.7.5 观察排气口，当排气口全部都有环氧树脂流出时，立即停泵，待环氧树脂利用自身重力排空并填充缝隙，3 分钟后启动电机，要保证排空口有一定的流出量（ $\geq 0.1\text{kg}$ ），停止泵电机，关闭注入阀门，注入完毕。

6.7.6 拆开连接管路。

6.8 外防腐

6.8.1 将调配好的无溶剂液态环氧树脂涂料在套筒和剥离防腐层的钢管上涂 2 遍，第 1 遍表干后可涂第 2 遍。

6.8.2 将 150-200mm 宽聚乙烯冷缠带在三层 PE 与环氧树脂搭接处进行封闭，聚乙烯冷缠带中心线正好覆盖在搭接处，要保证聚乙烯冷缠带同时粘接三层 PE 与环氧树脂，然后用尼龙辊压实将气泡赶出。电火花检漏仪 2500V 检测无漏点。

7 质量控制

7.1 修复质量

管道外防腐层修复时，应按照国家现行工程建设质量控制标准的有关管理规定进行质检，对不符合规定的应立即停止作业。上道工序质检合格，方可进行下道工序的施工。

7.2 质量验收

修复后的管道外防腐层质量验收，应符合现行行业标准的有关规定；没有现行行业标准的，应符合其企业技术标准的确定。

7.3 隐蔽工程

防腐层修复时涉及到的隐蔽工程（如交叉、并行的管道、电缆、阴极保护系统的汇流点、阳极装置、测试桩接线等）在覆土回填之前，应通知业主进行中间验收后方可进入下一道施工工序。

8 回填、清理现场

当补强施工完成，并确认开挖管段无漏点后，采用细沙或素土进行分层夯实回填，并对现场进行清理恢复地形原貌，保证管线的埋深达到设计要求。

9 监测数据采集处理

9.1 远程监测预警平台

远程监测预警平台，包括GPRS无线接收模块、计算机两部分。GPRS接受模块通过光纤连接计算机，用以接受现场模块发出的监测信息，下载至计算机的监测数据通过调用程序进行数据降噪，并对比预警区间阈值。

9.2 监测数据分析处理

数据处理的内容和步骤包括四个方面：

- a) 数据的整理和换算，
- b) 数据的统计分析，
- c) 数据的误差分析，
- d) 数据的表达。

10 监测报告

10.1 通用要求

管道缺陷修复智慧套筒应力应变监测结果的评价，应包括缺陷修复处管道及环氧树脂充填剂的应力应变监测值。

10.2 监测报告内容组成

监测报告应包含以下内容：

- a) 管道缺陷修复工程名称、地点，施工单位，基础、结构型式，修复要求，监测目的，监测依据，监测数量，监测日期；
- b) 地质条件描述；
- c) 管道缺陷智慧套筒修复过程描述；
- d) 监测位置和相关施工记录；
- e) 监测方法，监测仪器设备，监测过程叙述；
- f) 受监测管道及环氧树脂充填剂的监测数据，实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；
- g) 与监测内容相应的监测结论；
- h) 监测机构和监测人员。

10.3 缺陷修复处管道安全评价

通过对智慧套筒监测管道数据的分析，需得出以下主要结论：

- a) 管道薄弱修复处承受的应力是否在安全范围内；
- b) 环氧树脂及套筒传递应力是否在安全范围内；
- c) 管道薄弱修复处应力变化趋势；
- d) 管道是否受到额外附加力作用；
- e) 管道是否安全；
- f) 是否需要后续重点监测。

11 HSE 要求

11.1 一般要求

管体缺陷智能套筒修复作业应遵循国家和行业有关健康、安全与环境的法律、法规及相关规定。作业前应开展风险识别、评价，制定风险削减措施和必要的应急预案。

11.2 安全防护

采用智能套筒修复管体缺陷的全作业过程中，应具备安全、可靠的技术防护措施：

- a) 开工前，施工单位在工程作业开展前对所有员工开展 HSE 教育，并对作业现场环境进行安全交底，确保所有施工人员充分理解并严格遵守安全操作规程，严格按照经审批的施工方案进行施工组织；

- b) 现场施工人员必须按照有关规定正确佩戴安全帽、防护眼镜、手套、工作鞋等劳保用品；
- c) 施工现场必须按照消防要求配置消防设施和消防器具，各项作业许可证办理齐全，现场配备救护设施，并建立可靠的联络措施，保持消防通道畅通；
- d) 开挖作业坑时，应根据土质情况决定边坡坡度，必要时，应采取防塌方措施；
- e) 施工现场应设置明显的安全警示标志，作业坑边应设置临边防护；
- f) 施工期间应避免管输介质出现剧烈的压力波动，严禁施工期间进行清管、内涂或内检测作业，有条件的应停输或降压运行；
- g) 施工现场环境有影响施工人员健康的粉尘、噪声、有害气体时，应采取有效的防护措施；
- h) 环氧树脂复合材料及其配套材料应采取安全措施保证安全，远离火种，保持现场良好通风环境；
- i) 其他未提及内容按 SY/T 6444 的相关要求执行。

11.3 环境保护

应清理和妥善处理施工过程中产生的废弃物，包括清除的旧防腐层、泄漏的管道介质等。对施工造成的土地植被等原始地貌、地表破坏，应按设计要求予以恢复。

12 竣工验收

12.1 验收申请

施工单位按合同要求对修复完的管道提出验收申请。由业主组织有关单位对工程进行验收。

12.2 施工单位提供竣工资料

12.2.1 修复位置平面图：比例按甲方提供的原图要求，一般不宜小于 1/50000，平面图上应标明修复的位置、桩号区间、新增的地下隐蔽物等。

12.2.2 修复段的纵断面图：横向比例不小于 1/10000，纵向比例视修复段高度确定。纵断面图上标明管段的桩号、埋深、防腐层类型等级、补强位置、新增地下隐蔽物等。纵断面图采用厘米坐标纸制作。

12.2.3 管道腐蚀补强记录资料：记录腐蚀部位、面积、坑深及补强情况。

12.2.4 各段防腐修复的施工记录：修复区间应标明桩号和非整数桩号的米数。

12.2.5 涉及到隐蔽工程验收记录。

12.2.6 防腐材料原始产品合格证、施工中的化验单等。

12.2.7 施工总结。

12.3 符合率资料

施工方配合甲方提供开挖修复时验证管道外防腐检测、内检测数据的符合率资料。

12.4 质检报告

工程监理单位向业主提供现场质检报告。

12.5 防腐质量检测

修复段全部回填压实后测量该段防腐层状况和阴极保护状况，防腐层地面检测应没有漏点，阴极保护电位达到保护要求。

13 维修信息

13.1 信息录入

将关于维修的所有信息写入管道地理信息系统（GIS）中。电子文档格式按word、excel格式给出。

13.2 信息格式

修复补强信息记录表见附录B。

附录 A

(规范性)

深度在 5m 以内（不加支撑）管沟最陡边坡的坡度

具体内容见表 A.1。

表 A.1 深度在 5m 以内（不加支撑）管沟最陡边坡的坡度

土壤类别	最陡边坡坡度		
	坡顶无载荷	坡顶有静载荷	坡顶有动载荷
中密的沙土	1: 1.00	1: 1.25	1: 1.50
中密的碎石类土（填充物为砂土）	1: 0.75	1: 1.00	1: 1.25
硬塑的轻亚粘土	1: 0.67	1: 0.75	1: 1.00
中密的碎石类土（填充物为粘性土）	1: 0.50	1: 0.67	1: 0.75
硬塑的亚粘土	1: 0.33	1: 0.50	1: 0.67
老黄土	1: 0.10	1: 0.25	1: 0.33
软土（经井点降水）	1: 1.00	— — — —	— — — —

参 考 文 献

- [1] GB/T 27699-2011 钢质管道内检测技术规范
 - [2] SY/T 0413-2016 埋地钢制管道聚乙烯防腐层技术标准
 - [3] SY/T 0315-2013 钢制管道熔结环氧粉末外涂层技术标准
 - [4] SY/T 5918-2017 埋地钢质管道外防腐层修复技术规范
 - [5] SY/T 6186—2020 石油天然气管道安全规范
 - [6] ASME B31.G 2012年 腐蚀管道剩余强度测定手册
 - [7] DNV RP-F 101 2007 管道剩余强度评价标准
 - [8] Q/SY JS0055—2015 钢制管道缺陷安全评价标准
-