

ICS 点击此处添加 ICS 号
点击此处添加中国标准文献分类号

CGAS

中国城市燃气协会标准

T/CGAS XXX-202X

城镇燃气钢质管道缺陷修复技术规程

Technology specification for defect repair of urban gas steel pipeline

(征求意见稿)

完成时间: 2026 年 6 月

在提交反馈意见时, 请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国城市燃气协会 发布

目 次

1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 基本要求.....	2
5 城镇燃气钢质管道缺陷分类及修复.....	2
5.1 缺陷分类.....	2
5.2 缺陷修复方法.....	2
5.3 缺陷修复基本要求.....	3
5.4 缺陷修复方法的选择.....	5
5.5 各类型缺陷适用修复方法.....	6
6 缺陷修复作业.....	8
6.1 缺陷修复作业流程.....	8
6.2 方案编制.....	9
6.3 材料准备.....	9
6.4 现场开挖及防腐层清理.....	9
6.5 缺陷复核及修复.....	9
6.6 防腐、检测及作业坑回填.....	9
6.7 资料归档.....	9
附录 A（规范性）B 型套筒修复方法.....	11
附录 B（规范性）纤维增强复合材料修复方法.....	15
附录 C（规范性）钢质环氧套筒修复方法.....	21

前 言

为了规范城镇燃气钢质管道缺陷修复的施工及验收，制定本标准。

本文件按照 GB/T 1.1 《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。

本文件的主要内容包括：范围、规范性引用文件、术语和定义、基本要求、城镇燃气钢质管道缺陷分类及修复、缺陷修复作业。本标准的附录A、附录B和附录C为规范性附录。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国城市燃气协会标准工作委员会归口。

本文件负责起草单位：

本文件参加起草单位：

本文件主要起草人：

本文件使用过程中如发现需要修改和补充之处，请将意见和资料反馈给中国城市燃气协会标准工作委员会秘书处或负责起草单位。

本文件为首次发布。

本文件版权为中国城市燃气协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国城市燃气协会书面许可，文件任何部分不得以任何形式和手段进行复制、发行、改编、翻译和汇编。如需申请版权许可，请联系中国城市燃气协会标准工作委员会秘书处。

联系地址：北京市西城区金融大街 27 号投资广场 B 座 6 层

邮政编码：100032

电话：010-66020179

电子邮箱：cgas@chinagas.org.cn

城镇燃气钢质管道缺陷修复技术规程

1 范围

本文件规定了城镇燃气钢质管道缺陷修复的基本要求、缺陷分类及修复、缺陷修复作业等内容。
本文件适用于在役城镇燃气输配钢质管道缺陷修复。
本文件不适用于管道抢修作业。

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标准;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本标准。

- GB/T 1450.1 纤维增强塑料层间剪切强度试验方法
- GB/T 2567 树脂浇铸体性能试验方法
- GB/T 3354 走向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法
- GB/T 3356 走向纤维增强聚合物基复合材料弯曲性能试验方法
- GB/T 7124 胶粘剂 拉伸剪切强度的测定(刚性材料对刚性材料)
- GB/T 7689.5 增强材料 机织物试验方法 第5部分:玻璃纤维拉伸断裂强力和断裂伸长的测定
- GB/T 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 12007.7 环氧树脂凝胶时间测定方法
- GB/T 14074 木材工业用胶粘剂及其树脂检验方法
- GB/T 22234 基于GHS的化学品标签规范
- GB/T 28055 钢质管道带压封堵技术规范
- GB/T 30582 基于风险的埋地钢质管道外损伤检验与评价
- GB/T 31032 钢质管道焊接及验收
- GB 50028 城镇燃气设计规范
- NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测
- NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分:渗透检测
- SY/T 0315 钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术规范
- SY/T 4109 石油天然气钢质管道无损检测
- SY/T 4113.3 管道防腐层性能试验方法 第3部分:阴极剥离测试
- SY/T 4113.4 管道防腐层性能试验方法 第4部分:拉伸剪切强度测试
- SY/T 5918 埋地钢质管道外防腐层保温层修复技术规范
- SY/T 6151 钢质管道金属损失缺陷评价方法
- SY/T 6477 含缺陷油气管道剩余强度评价方法
- SY/T 6996 钢质油气管道凹陷评价方法
- SY/T 7666 油气管道缺陷修复用B型套筒
- SY/T 7827 油气管道缺陷修复用环氧钢套筒
- HB 7736.3 复合材料预浸料物理性能试验方法第3部分:纤维面密度的测定
- ASTM D1210 使用 Hegman 型量规测定颜料载体系统分散细度的标准测试方法

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 基本要求

- 4.1 一种缺陷可能存在多种适用的修复方法，应结合客观条件及企业运行需求，以及管道缺陷的检验、检测报告，经缺陷管道服役适用性评价后，进行缺陷修复方案的确定。
- 4.2 管道修复前应按照修复方案对缺陷部位、缺陷基本信息确认后再进行修复。
- 4.3 缺陷修复过程中，如需在管道上进行焊接作业，应在焊接作业前进行焊接工艺评定，并按照通过焊接工艺评定的操作规程开展作业。
- 4.4 经修复后的缺陷管段，应确保其在设计压力工况下安全稳定运行。

5 城镇燃气钢质管道缺陷分类及修复

5.1 缺陷分类

5.1.1 城镇燃气钢质管道常见缺陷类型包括金属损失缺陷、凹坑变形缺陷、裂纹缺陷、焊缝缺陷、管材分层缺陷。

5.1.2 各类缺陷具有下列特征：

- a) 金属损失缺陷：管道本体出现局部或区域性厚度减薄、缺失的缺陷，可分为外部金属损失、内部金属损失、沟槽、电弧烧伤；
- b) 凹坑变形缺陷：管道本体出现改变管道原有几何形状的缺陷，可分为管道本体存在应力集中的凹坑、与焊缝相关的平滑凹坑、伴有金属损失的凹坑、伴有裂纹的凹坑、褶皱、屈曲；
- c) 裂纹缺陷：管道本体存在的细微缝隙或开裂的缺陷，可分为存在于焊缝、管体的单一裂纹、砂眼以及氢致裂纹；
- d) 焊缝缺陷：管道焊缝的外观质量、内部结构或力学性能不符合设计及规范要求的缺陷，可分为制管焊缝异常、环焊缝缺陷；
- e) 管材分层缺陷：管道金属基体内部出现沿厚度方向或长度方向的层状分离现象。

5.2 缺陷修复方法

5.2.1 城镇燃气钢质管道常用修复方法包括：打磨修复、堆焊修复、补板修复、B型套筒修复、钢质环氧套筒修复、纤维增强复合材料修复、机械夹具修复、换管修复。

5.2.2 各类缺陷修复方法可以实现下列目标：

- a) 打磨修复：使用专用工具去除缺陷金属，达到阻止缺陷继续发展、消除缺陷造成的管道应力集中的作用；
- b) 堆焊修复：利用电弧等热源将填充金属熔化并与管道本体金属熔合，达到恢复管道原有强度与结构完整性的作用；
- c) 补板修复：使用与管道本体匹配材质的补板焊接覆盖管道受损部位，起到恢复管道的结构强度与密封性的作用；

- d) B型套筒修复: 将钢质套筒安装在缺陷部位并焊接固定, 阻止缺陷扩展, 起到恢复管道的结构强度与密封性的作用;
- e) 钢质环氧套筒修复: 将钢质套筒安装在缺陷部位并在套筒与管道间隙填充环氧树脂, 阻止缺陷扩展, 使套筒与管道紧密贴合, 起到提升管道缺陷部位的结构强度与承载能力的作用;
- f) 纤维增强复合材料修复: 将浸渍树脂的纤维增强复合材料缠绕粘贴在缺陷部位, 阻止缺陷扩展, 起到通过复合材料增强层承受内压与外载, 同时实现管道缺陷部位的密封、防腐, 并恢复其承载能力的作用;
- g) 机械夹具修复: 采用焊接式机械夹具夹持含缺陷管段, 配合密封件实现缺陷部位密封封堵, 抑制缺陷进一步扩展, 恢复管道整体结构完整性与承压运行能力;
- h) 换管修复: 将含缺陷管段更换为新管段, 适用于所有缺陷类型的修复。

5.3 缺陷修复基本要求

5.3.1 打磨修复

5.3.1.1 打磨修复适用于电阻焊焊缝除外的焊接缺陷、深度小于0.4倍管道壁厚的浅裂纹、金属损失等缺陷, 不适用于修复凹陷管材分层。

5.3.1.2 打磨前, 应对缺陷区域进行清理, 并测量缺陷的纵向长度和剩余壁厚。

5.3.1.3 打磨深度、打磨纵向长度应符合下列要求:

(a) 打磨深度不超过管道公称壁厚的10%, 则打磨纵向长度不受限制。

(b) 打磨深度超过管道公称壁厚的10%, 若满足以下两个条件之一, 则打磨深度的最大值可以达到管道公称壁厚的40%:

a) 打磨纵向长度不超过按公式(1)计算的纵向可接受长度:

$$L_a = 1.12 \sqrt{Dt \left[\left(\frac{d/t}{1.1d/t - 0.11} \right)^2 - 1 \right]} \dots \dots \dots (1)$$

式中:

L_a —— 打磨区域的纵向可接受长度, 单位为毫米 (mm);

D —— 管道外径, 单位为毫米 (mm);

d —— 打磨区域最大测量深度, 单位为毫米 (mm);

t —— 管道公称壁厚, 单位为毫米 (mm)。

b) 管道最大运行压力 (MOP) 不大于按 GB/T 30582 计算的管道失效压力与设计系数的乘积, 见公式 (2):

$$MOP \leq F \times P_F \dots \dots \dots (2)$$

式中:

MOP —— 管道最大运行压力, 单位为兆帕 (MPa);

P_F —— 含体积缺陷管道的失效压力, 单位为兆帕 (MPa);

F —— 管道的设计系数, 根据 GB 50028 确定。

5.3.1.4 宜使用角向磨光机和翼片砂轮进行打磨, 打磨角度不宜大于 45° 。

5.3.1.5 对于沟槽和裂纹的打磨修复, 应按 NB/T 47013.4、NB/T 47013.5 或 SY/T 4109 的要求对打磨后的表面进行渗透检测或磁粉检测, 以确认缺陷已完全消除。

5.3.1.6 如果打磨修复后打磨区域的深度和纵向长度在 5.3.1.3 规定的限制范围内不能完全消除缺陷, 则应继续采用其他方法进行修复。

5.3.2 堆焊修复

5.3.2.1 堆焊修复适用于管道外表面金属损失缺陷的修复,不适用于修复凹坑变形、焊缝缺陷和内部金属损失缺陷。

5.3.2.2 L415/X60 及以上钢级的管材,不宜采用堆焊的方法进行缺陷修复。

5.3.2.3 采用堆焊进行缺陷修复时,应同时满足以下要求:

- a) 管道缺陷处的最小剩余壁厚不小于 4.8mm;
- b) 缺陷长度不大于管道外径的 1/2;
- c) 缺陷不位于凹陷或电阻焊焊缝上;
- d) 堆焊修复的焊接长度不小于 50mm(平行于焊接方向);
- e) 堆焊修复完成后的管体最终厚度不小于待修复管道的公称壁厚。

5.3.3 补板修复

5.3.3.1 补板修复不适用于修复焊接缺陷、高应力管线上的缺陷,对于 L415/X60 以上钢级的管道缺陷,不宜采用补板的方法进行缺陷修复,进行修复作业的管道宜停气泄压后再进行补板修复。

5.3.3.2 采用补板进行缺陷修复时,应同时满足以下要求:

- a) 补板的形状为圆形或椭圆形,补板应完全覆盖缺陷,且补板安装的位置应保证缺陷位于补板中心,补板边界距离缺陷边界不小于 50mm,补板应贴合管壁且补板与管壁之间的间隙不大于 5mm,补板边界角焊缝和管道原有环焊缝的距离不小于管道外径,且不小于 150mm;
- b) 补板的厚度不小于待修复管道的公称壁厚,补板的材料等级宜与待修复管道的材料等级相同;
- c) 补板施工的管道公称壁厚不小于 4.8mm。

5.3.4 B 型套筒修复

5.3.4.1 B 型套筒修复适用于管道公称壁厚不小于 4.8mm 的城镇燃气钢质管道。

5.3.4.2 B 型套筒钢级一般宜与待修复管道的钢级相同或相近,具体可根据实际情况确定。

5.3.4.3 B 型套筒长度不小于 150mm,套筒应完全覆盖缺陷,且被修复缺陷边缘距套筒最近端角焊缝的距离不小于 50mm。

5.3.5 钢质环氧套筒修复

5.3.5.1 钢质环氧套筒不适用于修复褶皱、屈曲、深度大于等于 0.4 倍管道壁厚的深裂纹、砂眼、氢致裂纹。

5.3.5.2 钢质环氧套筒的安装应满足以下要求:

- a) 环氧填料在管道运行温度范围内不发生劣化;
- b) 钢质护板的厚度和材料等级应使其具有不低于待修复管道设计压力的承压能力;
- c) 钢质护板长度不小于 150mm,钢质护板范围应大于缺陷范围,且钢质护板边界距离缺陷边界不小于 50mm;
- d) 安装时,管体温度高于露点温度 3℃ 以上且施工环境温度不高于 60℃,环境相对湿度不高于 85%;
- e) 钢质护板与管道圆周方向的间隙保持一致;
- f) 环氧填料和端面密封胶应按产品说明书提供的工艺条件进行配制,并在其有效工作时间内使用完毕。

5.3.6 纤维增强复合材料修复

5.3.6.1 纤维增强复合材料不适用于褶皱、屈曲、深度大于等于0.4倍管道壁厚的深裂纹、砂眼、氢致裂纹、环焊缝缺陷。

5.3.6.2 纤维增强复合材料包括高强度填料、绝缘层和纤维层(碳纤维、玻璃纤维、凯夫拉纤维等)。

5.3.6.3 纤维层具有以下特性：

- 碳纤维的弹性模量与钢接近,有利于修复层与钢质管道之间的协同变形,使应力均匀分布,修复效果良好,但碳纤维具有导电性,修复时应采取绝缘措施;
- 玻璃纤维价格低廉,但其弹性模量比钢小约一个数量级,修复时只有当钢质管道发生较大塑性变形后,才能将载荷传递到修复层,且抗老化性相对较差;
- 凯夫拉纤维具有密度低、强度高、韧性好、耐高温、良好的电绝缘性等特点,适用于不规则管件的缺陷修复。

5.3.7 机械夹具修复

5.3.7.1 机械夹具应具有弹性密封结构,可承受泄漏的压力。采用机械夹具修复时,应同时满足以下要求:

- 机械夹具长度应覆盖缺陷外缘且机械夹具末端距离缺陷外侧边界不小于50mm;
- 机械夹具的承压能力不低于待修复管道的设计压力。

5.3.8 换管修复

5.3.8.1 换管修复可选择采用停输换管或不停输换管,不停输换管一般是通过带压封堵的方式实现,带压封堵作业应符合GB/T 28055的要求。

5.3.8.2 替换管段的承压能力不低于待修复管道的设计压力。

5.4 缺陷修复方法的选择

5.4.1 对于城镇燃气钢质管道缺陷修复方法的选择,应对各类修复方法的有效性、便捷性、安全性、技术可行性及经济性进行综合评估后作出选择,常见缺陷类型及对应修复方法的选择见表1。

5.4.2 除表1给出的缺陷修复方法外,若存在更具有效性、便捷性的修复方法,应确认其安全性及修复效果不低于本标准推荐的修复方法,方可采用。

表1 城镇燃气钢质管道常见缺陷类型及对应修复方法

缺陷类型			修复方法选择							
			备选1	备选2	备选3	备选4	备选5	备选6	备选7	备选8
金属损失	外部金属损失	缺陷深度 $< 0.8t$	复合材料	堆焊 ^a	补板 ^a	环氧套筒	机械夹具	B型套筒 ^a	换管	/
		缺陷深度 $\geq 0.8t$	复合材料	补板 ^a	环氧套筒	B型套筒 ^a	机械夹具	换管	/	/
	内部金属损失		复合材料	补板 ^{a, c}	环氧套筒	机械夹具	B型套筒 ^a	换管	/	/
	沟槽		打磨 ^b	复合材料 ^{c, d}	堆焊 ^{c, d}	补板 ^{c, d}	环氧套筒 ^{c, d}	机械夹具	B型套筒 ^a	换管
	电弧烧伤		打磨 ^b	复合材料 ^{c, d}	堆焊 ^{c, d}	环氧套筒 ^{c, d}	机械夹具	B型套筒 ^a	换管	/
凹坑变形	管道本体存在应力集中的凹	凹坑深度 $< 6\%D$	打磨 ^a	复合材料 ^{c, d}	环氧套筒 ^{c, d}	机械夹具	B型套筒 ^a	换管	/	/
		凹坑深度 $\geq 6\%D$	复合材料 ^{c, d}	环氧套筒 ^{c, d}	机械夹具	B型套筒 ^a	换管	/	/	/

	坑								
	与焊缝相关的平滑凹坑	复合材料 ^{a、d}	环氧套筒 ^{c、d}	机械夹具	B型套筒 ^e	换管	/	/	/
	伴有金属损失的凹坑、伴有裂纹的凹坑	打磨 ^a	复合材料 ^{c、d}	环氧套筒 ^{c、d}	机械夹具	B型套筒 ^e	换管	/	/
	褶皱、屈曲	机械夹具	B型套筒 ^e	换管	/	/	/	/	/
裂纹	裂纹深度 $<0.4t$	打磨 ^b	堆焊 ^{b、d、e}	复合材料 ^{c、d}	环氧套筒 ^{c、d}	机械夹具	B型套筒 ^e	换管	/
	裂纹深度 $\geq 0.4t$	机械夹具	B型套筒 ^e	换管	/	/	/	/	/
	砂眼、氢致裂纹	机械夹具	B型套筒 ^e	换管	/	/	/	/	/
焊缝缺陷	制管焊缝异常	打磨 ^b	堆焊 ^{b、d、e}	复合材料	环氧套筒 ^{c、d}	机械夹具	B型套筒 ^e	换管	/
	环焊缝缺陷	打磨 ^f	堆焊 ^{f、g}	机械夹具	环氧套筒 ^{c、d}	B型套筒 ^e	换管	/	/
	管材分层	复合材料	环氧套筒	机械夹具	B型套筒	换管	/	/	/
注1: t 为无缺陷处管道壁厚,单位为毫米(mm); 注2: D 为管道外径,单位为毫米(mm)。 注3: “/”为没有备选方法。 注4: 表中钢质环氧套筒简称为环氧套筒,纤维增强复合材料简称为复合材料。 注5: 表中给出的备选1、备选2...是选择的优先顺序。									
^a 应确保内部缺陷或腐蚀不会继续发展。 ^b 若缺陷最大允许打磨量限制的范围内能完全消除,则可单独进行深度小于 $0.4t$ 的打磨。 ^c 缺陷打磨清理检测合格后,可修复深度小于 $0.8t$ 的缺陷。 ^d 修复前,宜打磨清理缺陷部位且检测合格。 ^e 打磨区域的深度和长度满足限制要求且凹坑的深度可接受。 ^f 损伤材料已通过打磨去除并通过检验且焊缝内部无缺陷,可修复深度小于 $0.1t$ 的缺陷。 ^g 当缺陷所处管道公称壁厚小于 4.8mm 时,该修复技术在常规条件下不推荐,但非禁止项,在特定条件下可以适用。									

5.5 各类型缺陷适用修复方法

5.5.1 金属损失缺陷修复

5.5.1.1 腐蚀深度 $<0.8t$ 的外部金属损失缺陷的修复

管道外部金属损失深度小于 $0.8t$,可采用纤维增强复合材料、堆焊、补板、钢质环氧套筒、机械夹具、B型套筒、换管修复中的任意一种技术进行修复。

5.5.1.2 腐蚀深度 $\geq 0.8t$ 的外部金属损失缺陷的修复

管道外部金属损失深度大于等于 $0.8t$,可采用纤维增强复合材料、补板、B型套筒、机械夹具、换管修复中的任意一种技术进行修复。

5.5.1.3 内部金属损失的修复

管道存在内部金属损失时,且内部金属损失不会继续发展超出临界值发生泄漏,可采用纤维增强复合材料、补板、钢质环氧套筒、机械夹具、B型套筒、换管修复中的任意一种技术进行修复;若内部金属损失可能继续发展,可采用机械夹具、B型套筒、换管修复中的任意一种技术进行修复。

5.5.1.4 沟槽的修复

管道存在沟槽时，如果缺陷金属的去除量满足5.3.1.3要求，且管道没有发生严重变形，可采用打磨、纤维增强复合材料修复，否则应采用堆焊、补板、钢质环氧套筒、机械夹具、B型套筒、换管中的任意一种技术进行修复。

5.5.1.5 电弧烧伤的修复

管道存在电弧烧伤时，如果缺陷金属的去除量满足5.3.1.3要求，可采用打磨、纤维增强复合材料修复，否则应采用堆焊、钢质环氧套筒、机械夹具、B型套筒、换管中的任意一种技术进行修复。

5.5.2 凹坑变形的修复

5.5.2.1 在修复凹坑前，应对凹坑尺寸进行测量，并采用无损检测的方法对凹坑处可能存在的其他缺陷进行检测，并按照 SY/T 6996 对凹坑进行服役适用性评价，根据评价结果确定修复方法。

5.5.2.2 若凹坑影响到清管作业，应采用换管的方法进行修复。

5.5.2.3 深度小于 $6\%D$ 凹坑的修复应符合以下要求：

- a) 当管体凹坑深度小于 $6\%D$ 时，且不存在应力集中的平滑凹坑，检测未发现 NB/T 47013 或 SY/T 4109 规定的超标缺陷，则不需修复；
- b) 当凹坑存在应力集中时，可采用打磨、纤维增强复合材料、钢质环氧套筒、机械夹具、B型套筒、换管中的任意一种技术进行修复。

注：凹陷位置管壁曲率急剧改变，最尖锐部分的曲率半径在任意方向上小于5倍壁厚的凹陷，该凹陷存在应力集中。

5.5.2.4 深度大于等于 $6\%D$ 凹坑的修复应符合以下要求：

- a) 当管体凹坑深度大于等于 $6\%D$ 时，且不含有应力集中的平滑凹坑，检测未发现 NB/T 47013 或 SY/T 4109 规定的超标缺陷，可根据管道应力状态决定是否进行修复；
- b) 若决定需进行修复，或凹坑存在应力集中，可采用纤维增强复合材料、钢质环氧套筒、机械夹具、B型套筒、换管中的任意一种技术进行修复。

5.5.2.5 与焊缝相关的凹坑的修复应符合以下要求：

- a) 与焊缝相关的凹坑，可采用纤维增强复合材料、钢质环氧套筒、机械夹具、B型套筒、换管中的任意一种技术进行修复；
- b) 若制管焊缝存在超标缺陷，可采用纤维增强复合材料、钢质环氧套筒、机械夹具、B型套筒、换管中的任意一种技术进行修复；
- c) 环焊缝存在超标缺陷，可采用钢质环氧套筒、机械夹具、B型套筒、换管中的任意一种技术进行修复。

5.5.2.6 伴有金属损失、伴有裂纹的凹坑的修复

存在伴有金属损失的凹坑、伴有裂纹的凹坑，如果金属损失缺陷、裂纹缺陷金属的去除量满足5.3.1.3要求，且管道没有发生严重变形，可采用打磨修复，如果去除量不满足要求，可采用纤维增强复合材料、钢质环氧套筒、机械夹具、B型套筒、换管中的任意一种技术进行修复。

5.5.2.7 管体褶皱、屈曲的修复

管体存在褶皱、屈曲缺陷时，可采用机械夹具、B型套筒、换管中的任意一种技术进行修复。

5.5.3 裂纹的修复

5.5.3.1 在修复裂纹前，应采用无损检测的方法对裂纹进行检测。确定裂纹长度和裂纹深度。

5.5.3.2 深度小于 $0.4t$ 裂纹的修复

裂纹最大深度小于 $0.4t$ 的浅裂纹，如果缺陷金属的去除量满足5.3.1.3要求，且管道没有发生严重变形，可采用打磨、堆焊、纤维增强复合材料、钢质环氧套筒、机械夹具（需焊接）、B型套筒或换管中的任意一种技术进行修复。若采用堆焊、纤维增强复合材料、钢质环氧套筒、机械夹具（需焊接）、B型套筒修复缺陷时，应保证修复前裂纹已通过打磨完全消除。

5.5.3.3 深度大于等于 $0.4t$ 裂纹的修复

裂纹最大深度大于或等于 $0.4t$ 的深裂纹，可采用机械夹具（需焊接）、B型套筒、换管中的任意一种技术进行修复；当裂纹最大深度大于或等于 $0.8t$ 时，应采用换管修复。

5.5.3.4 管体砂眼、氢致裂纹的修复

管体存在砂眼、氢致裂纹缺陷时，可采用机械夹具（需焊接）、B型套筒或换管中的任意一种技术进行修复。

5.5.4 焊缝缺陷的修复

5.5.4.1 制管焊缝缺陷的修复

当制管焊缝存在缺陷时，如果缺陷金属的去除量满足5.3.1.3要求，可采用打磨修复，否则应采用堆焊、纤维增强复合材料、钢质环氧套筒、机械夹具（需焊接）、B型套筒或换管中的一种进行修复。

5.5.4.2 环焊缝缺陷的修复

若环焊缝缺陷深度小于等于 $0.1t$ 的表面缺陷且焊缝内部无缺陷（气孔、夹渣、未焊透等），可采用打磨、堆焊的方式进行修复；若缺陷深度大于 $0.1t$ 的表面金属损失或存在内部缺陷，则应采用机械夹具、B型套筒、换管中的一种进行修复。

5.5.5 管材分层的修复

管材存在分层时，应采用纤维增强复合材料、钢质环氧套筒、机械夹具、B型套筒、换管中的任意一种方式进行修复，若环氧套筒、机械夹具、B型套筒长度不能覆盖管材，应采用纤维增强复合材料、换管中的任意一种方式进行修复。

6 缺陷修复作业

6.1 缺陷修复作业流程

管道缺陷修复作业流程如图1所示。

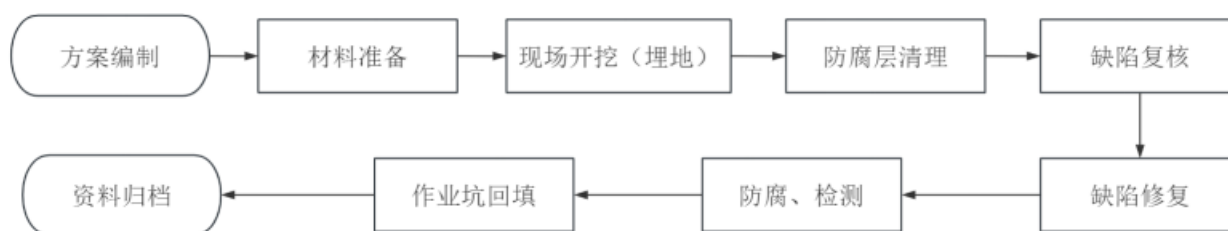


图1 管道缺陷修复作业流程

6.2 方案编制

缺陷修复方案应至少包含工程概况、修复方法选择及依据、施工组织设计、关键施工工艺及质量控制要求、安全保障措施。

6.3 材料准备

6.3.1 施工单位应提交生产厂家出具的材料质量检验证明文件、合格证等技术资料。

6.3.2 修复材料的外包装应有明显的标识，并注明生产厂家名称、厂址、产品名称、型号、批号、生产日期、保存期、保存条件等。

6.4 作业坑开挖及防腐层清理

作业坑开挖及防腐层清理应符合以下要求：

a) 作业坑开挖应采用人工的方式进行开挖。待修复缺陷管道轴向方向开挖的管道长度应超出缺陷至少 500mm，管道开挖宽度应超出管道两侧各 650mm，管道下方开挖深度应大于 500mm。

b) 对壁厚减薄大于或等于 50%的缺陷，无论缺陷尺寸、面积大小均采用局部开挖方式，开挖长度超出两侧各 1m~2m，满足管体修复所需作业空间即可。

c) 对于连续长距离缺陷的修复，应采用分段开挖或支撑的方式。

d) 缺陷管段完全暴露后，应将修复区域四周 100mm 范围及周向缠绕的外防腐层及表面污物清理干净。

6.5 缺陷复核及修复

6.5.1 缺陷管段开挖且防腐层清理完成后，应开展缺陷复核工作。采用与管道材质、缺陷类型适配的专业检测设备对缺陷的尺寸、形状及位置进行精准复测。将复测数据与前期检测记录对比，核查缺陷是否发生扩展，若有此类情况，需重新评估修复方案；同时，排查前期未识别的次生缺陷，确保缺陷信息准确完整，为后续修复作业提供可靠依据，防止因缺陷判定偏差影响修复效果。

6.5.2 缺陷修复应按照编制的修复方案执行，其中 B 型套筒修复应按附录 A 进行施工作业，纤维增强复合材料修复应按附录 B 进行施工作业、钢质环氧套筒修复应按附录 C 进行施工作业。

6.6 防腐、检测及作业坑回填

6.6.1 缺陷修复完成后，应按照 SY/T 5918 对修复点进行防腐处理。

6.6.2 采用堆焊、补板、机械夹具、B 型套筒修复方式，焊接完成后应进行相应的无损检测，检测合格要求应执行 SY/T 4109 的规定。

6.6.3 修复完成后，应按照 SY/T 5918 进行作业坑回填及地貌恢复。

6.7 资料归档

修复施工完成后应提供竣工资料，包括但不限于以下资料：

- a) 缺陷与修复记录，包括照片、录像及文字资料，记录缺陷部位、类型、尺寸及修复方案；
- b) 质量检查及工程验收记录；
- c) 修复材料原始产品合格证，施工中的检验报告等；
- d) 开工申请报告；
- e) 施工总结；
- f) 防腐层的修复及检测记录；
- g) 合同中约定的其他资料。

附 录 A
(规范性)
B 型套筒修复方法

A.1 设计及制造

B 型套筒的设计、制造应符合 SY/T 7666 标准要求。

A.2 安装前准备

A.2.1 B 型套筒安装前应进行分层检测及坡口渗透检测。

A.2.2 B 型套筒安装前应进行焊接工艺调整并进行确认。套筒中心位置与缺陷保持一致。

A.3 修复施工作业程序

B 型套筒修复补工作业程序见图 A.1。

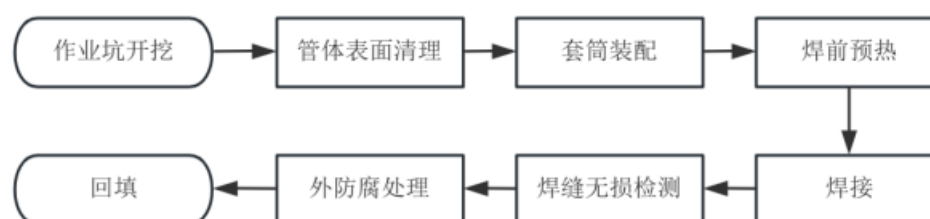


图 A.1 B 型套筒修复施工作业程序

A.4 施工流程

A.4.1 作业坑开挖

作业坑开挖应按照 6.4 要求执行。

A.4.2 管体表面清理

B 型套筒焊接前,应对套筒覆盖区域以及套筒覆盖区域外 100mm 范围内的管道进行清理至露出金属光泽,必要时,宜通过打磨以符合焊接要求。

A.4.3 套筒装配

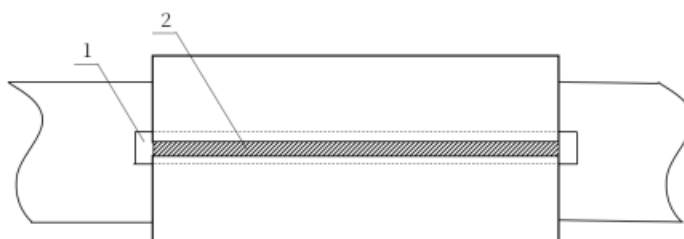
A.4.3.1 B 型套筒装配尺寸应符合以下要求:

- a) 套筒内表面与待修复钢管表面之间的间隙为不大于 5mm;
- b) 两片套筒的轴向错位应不大于 2mm;

c) 两片套筒周向钝边间距为4mm~7mm。

A. 4.3.2 侧焊缝垫片安装

套筒侧焊缝焊接前宜在其底部安装垫片，垫片材质宜与B型套筒材质相似或较低碳当量的低碳钢材料，垫片的长度宜比套筒侧焊缝长80mm~100mm，垫片的宽度宜大于焊缝的根部间隙且宜覆盖整个间隙宽度。



标引序号说明：

1—垫片；

2—侧焊缝。

图 A.2 套筒垫片及侧焊缝位置

A. 4.3.3 其他安装要求

宜使用专用工具进行装配，不应强力组对安装。

A. 4.4 焊前预热

B型套筒焊接前，对焊接工艺规程规定需要焊前预热的施工，宜采用感应加热方式进行预热，预热宜符合以下要求：

- a) 预热温度宜符合焊接工艺规程的要求；
- b) 感应加热宜持续进行热补偿以确保焊接预热温度的稳定；
- c) 当焊接作业中断时，再次焊接前宜重新加热到所要求的预热温度。

A. 4.5 焊接

A. 4.5.1 焊接前宜使用超声波测厚仪测量焊接位置管道的剩余壁厚，最小剩余壁厚不宜小于6.4mm。如果不能准确确定剩余壁厚，则不宜进行焊接。

A. 4.5.2 焊接之前，应调节管道内介质的流速，管道内气体流速不宜大于10 m/s。

A. 4.5.3 焊接之前，应调节管道内介质的压力，修复压力 p 应按照公式 (A.1) 计算。

$$p = \frac{2F\sigma_p(T_p - c)}{D} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- p —— 修复压力，单位为兆帕 (MPa) ；
- c —— 熔池深度，单位为毫米 (mm)，按表 A.1 取值；
- D —— 管道外径，单位为毫米 (mm) ；

F ——管道强度设计系数，参照GB 50028进行取值；

T_p ——管道壁厚，单位为毫米（mm）；

σ_p ——管材屈服强度，单位为兆帕（MPa）。

表 A.1 焊接受热熔池深度

焊条直径 d /mm	<2.0	2.5	3.2	4.0
焊接受热熔池深度 c /mm	1.4	1.6	2.0	2.8

A.4.5.4 焊接作业环境宜符合以下要求：

- 环境相对湿度不宜高于90%；温度低于-5℃以及在雨雪、风沙等天气条件下，应采取有效的防护措施后再施焊；
- 应利用开挖、搭建平台等手段为焊接创造足够的作业空间；
- 应对可能存在的可燃气体进行浓度检测，可燃气体浓度宜低于其爆炸下限的10%。

A.4.5.5 套筒与管体之间的间隙及焊接作业应执行焊接工艺规程，定时监控环境温度、湿度、风速，焊接预热、层间温度，焊接电流、电压等参数，焊后进行保温缓冷。

A.4.6 焊接工艺

管道在役焊接前，应根据管道材料、运行参数以及焊接材料等信息制定焊接工艺规程，并按照GB/T 31032要求进行焊接工艺评定。

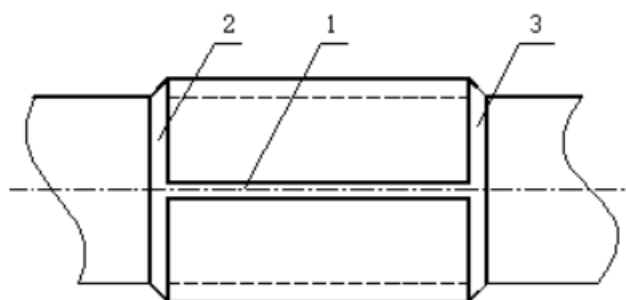
A.4.7 焊材

宜采用低氢焊材焊接，宜遵循特定的焊材制造商的储存和操作建议进行储存和操作，以确保其低氢水平。

A.4.8 焊接顺序

A.4.8.1 B型套筒的侧焊缝及角焊缝的顺序应按照SY/T 7666执行，焊接位置如图A.3所示，焊接顺序如下：

- 同时焊接两条侧焊缝；
- 侧焊缝焊接完成后再焊接一端角焊缝；
- 一端角焊缝焊接完成后再焊接另一端角焊缝。



标引序号说明：

1——两条侧焊缝；

2——角焊缝；

3——另一端角焊缝。

图 A.3 套筒侧焊缝及角焊缝的焊接位置

A.4.8.2 侧焊缝及角焊缝的焊接具体要求应按照SY/T 7666执行。

A.4.9 焊缝无损检测

焊缝应进行100%的外观检查，外观不应存在有害的焊瘤、凹陷等；焊缝表面不得存在裂纹、未熔合、气孔、夹渣、引弧痕及夹具焊点等缺陷。套筒侧焊缝和环向角焊缝缓慢冷却后、焊接结束24h后、焊接结束48h后，分别进行磁粉/渗透、超声、相控阵超声检测。相控阵超声检测应按照SY/T 4109制作角焊缝模拟试块并进行工艺验证。

A.4.10 防腐和回填

已完成焊接及无损检测的B型套筒修复点，应按照SY/T 5918的规定进行防腐和回填处理。

附录 B
(规范性)
纤维增强复合材料修复方法

B.1 纤维增强复合材料

纤维增强复合材料由高强度纤维布、缺陷填平树脂、层间胶粘剂组成。

B.2 主要技术指标

B.2.1 层间胶粘剂、缺陷填平树脂技术指标

填平树脂、层间胶粘剂主要技术指标见表B.1。

表 B.1 修复用层间胶粘剂与缺陷填平树脂性能指标

检测项目		测试标准	技术指标
层间胶粘剂	适用时间 (25°C)	GB/T 12007.7	20min~30min
	凝胶时间 (25°C)	GB/T 12007.7	50min~120min
	A/B 组分混合后黏度 (25°C)	GB/T 22234	≤ 4Pa·s
	拉伸强度	GB/T 2567	≥ 30MPa
	拉伸模量	GB/T 2567	≥ 500MPa
	弯曲模量	GB/T 2567	≥ 1MPa
	弯曲强度	GB/T 2567	≥ 40MPa
	耐冲击强度	SY/T 0315	≥ 3J
	附着力	SY/T 0315	≤ 2 级
固化时间 (25°C)	GB/T 14074	0.8h~2h	
缺陷填平树脂	填料细度	ASTM D1210	≤ 100μm
	抗压强度	GB/T 2567	≥ 60MPa
	与专用树脂附着力	GB/T 2567	≥ 8MPa

B.2.2 高强度纤维布性能技术指标

常用高强度纤维布包含碳纤维复合材料、玻璃纤维复合材料、芳纶纤维复合材料。碳纤维复合材料技术指标见表B.2，玻璃纤维复合材料技术指标见表B.3，芳纶纤维复合材料技术指标见表B.4。

表 B.2 碳纤维复合材料技术指标

类别	检测项目	测试标准	技术指标
----	------	------	------

碳纤维复合材料	布面密度	HB 7736.3	$\geq 200\text{g/m}^2$
	单层拉伸强度	GB/T 3354	$\geq 900\text{MPa}$
	单层拉伸模量	GB/T 3354	$\geq 50\text{GPa}$
	断裂伸长率	GB/T 3354	$\geq 1.4\%$
	与钢粘接拉伸强度	SY/T 4113.4	$\geq 8\text{MPa}$
	与钢附着着力	SY/T 0315	≤ 2 级
	耐冲击强度	SY/T 0315	$\geq 10\text{J}$
	阴极剥离 (65°C, 28d)	SY/T 4113.3	$\leq 20\text{mm}$
	修复厚度	实测	$\geq 0.3\text{mm}$

表 B.3 玻璃纤维复合材料技术指标

材料类型	检测项目	测试标准	技术指标
单向玻璃纤维丝	拉伸断裂强力	GB/T 7689.5	$\geq 2800\text{N}$
玻璃纤维复合材料	拉伸强度	GB/T 3354	$\geq 42.1\text{MPa}$
玻璃纤维复合材料	拉伸弹性模量	GB/T 3354	$\geq 192\text{GPa}$
玻璃纤维复合材料	断裂伸长率	GB/T 3354	$\geq 1.6\%$
玻璃纤维复合材料	弯曲强度	GB/T 3356	$\geq 62\text{MPa}$
玻璃纤维复合材料	拉伸剪切强度 (复合材料对钢)	GB/T 7124	$\geq 8.0\text{MPa}$
玻璃纤维复合材料	层间剪切强度	GB/T 1450.1	$\geq 24.5\text{MPa}$

表 B.4 芳纶纤维复合材料技术指标

材料类型	检测项目	测试标准	技术指标
单向凯夫拉纤维丝	拉伸断裂强力	GB/T 7689.5	$\geq 6000\text{N}$
芳纶纤维复合材料	拉伸强度	GB/T 3354	$\geq 483\text{MPa}$
芳纶纤维复合材料	拉伸弹性模量	GB/T 3354	$\geq 27.4\text{GPa}$
芳纶纤维复合材料	断裂伸长率	GB/T 3354	$\geq 1.9\%$
芳纶纤维复合材料	弯曲强度 (环向)	GB/T 3356	$\geq 265\text{MPa}$
芳纶纤维复合材料	拉伸剪切强度 (复合材料对钢)	GB/T 7124	$\geq 7.95\text{MPa}$
芳纶纤维复合材料	层间剪切强度	GB/T 1450.1	$\geq 29.9\text{MPa}$

B.3 修复方案制定

B.3.1 修复层厚度确定

B.3.1.1 应根据纤维增强复合材料的力学性能、管道力学性能、管道尺寸、管道压力、缺陷尺寸综合修复厚度，使修复位置达到无缺陷管道的强度水平。

B.3.1.2 当管道为服役状态，且未发生屈服时，采用内压引起的周向应力计算，修复层厚度应按公式 (B.1) 计算。

$$t_{repair} = \frac{D}{2\sigma_s} \left(\frac{E_s}{E_c} \right) \cdot (p - p_s) \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

t_{repair} ——修复层厚度，单位为毫米 (mm)；

D ——管道外径，单位为毫米 (mm)；

σ_s ——管道的最小屈服强度，单位为兆帕 (MPa)；

E_s ——管道材料的拉伸模量，单位为兆帕 (MPa)；

E_c ——复合材料的周向拉伸模量，见复合材料规格书及相关证明材料，单位为兆帕 (MPa)；

p ——管道的设计压力，单位为兆帕 (MPa)；

p_s ——含缺陷管道的最大允许工作压力，单位为兆帕 (MPa)，根据 SY/T 6477 或 SY/T 6151 进行计算。

B.3.1.3 当管道为停输状态时，即修复时管道内压为零，修复层厚度应按公式 (B.2) 计算。

$$t_{repair} = \frac{1}{\varepsilon_c E_c} \left(\frac{pD}{2} - \sigma_s t_s \right) \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

t_s ——管道缺陷处的最小剩余壁厚，单位为毫米 (mm)；

ε_c ——复合材料环向容许应变，按照公式 (B.3) 计算；

$$\varepsilon_c = 0.25 f_T - \Delta T (\alpha_s - \alpha_c) \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

f_T ——温度损耗因子，见表 B.5。

ΔT ——服役后与安装时的温差，单位为摄氏度 (°C)；

α_s ——管道的热膨胀系数，单位为每摄氏度 (°C⁻¹)；

α_c ——复合材料的环向热膨胀系数，见复合材料规格书及相关证明材料，单位为每摄氏度 (°C⁻¹)。

表 B.5 温度损耗因子

温度 (°C)	温度损耗因子 f_T
$T_d = T_m$	0.7
$T_d = T_m - 20$	0.75
$T_d = T_m - 40$	0.85
$T_d = T_m - 50$	0.9
$T_d = T_m - 60$	1

注： T_d 为修复层的设计温度， T_m 为修复层的温度上限。

B.3.2 修复层数的确定

B.3.2.1 修复层数 n 按公式 (B.4) 计算。

$$n = \frac{t_{\text{repair}}}{t_{\text{layer}}} \dots\dots\dots (\text{B. 4})$$

式中:

n ——修复层数;

t_{repair} ——修复层厚度, 单位为毫米 (mm);

t_{layer} ——管道原始壁厚, 单位为毫米 (mm)。

B. 3. 2. 2 计算出的缠绕层数 n 应四舍五入取整数。

B. 3. 3 修复层沿管道方向的轴向长度确定

B. 3. 3. 1 当管道含有缺陷时, 由于管壁的减薄, 缺陷部位承受的应力会有所增加。并且管道缺陷会干扰周围材质的受力情况, 形成一定尺寸的影响区域。因此, 修复层的沿管道方向轴向长度应大于该影响区域尺寸, 才能达到修复的目的。修复层的沿管道方向轴向长度 L 按公式 (B. 5) 计算。

$$L = 2L_{\text{over}} + L_{\text{defect}} + 2L_{\text{taper}} \dots\dots\dots (\text{B. 5})$$

式中:

L ——修复层的沿管道方向轴向长度, 单位为毫米 (mm);

L_{over} ——从管道缺陷区域边缘算起, 纤维增强复合材料沿管道轴向向外延伸的长度, 不小于100mm, 单位为毫米 (mm);

L_{defect} ——缺陷的轴向长度, 单位为毫米 (mm);

L_{taper} ——修复层边界斜坡长度, 单位为毫米 (mm)。

从管道缺陷区域边缘算起, 纤维增强复合材料沿管道轴向向外延伸的轴向长度按公式(B. 6) 计算, 且不小于100mm。

$$L_{\text{over}} = 2.5 \sqrt{\frac{Dt}{2}} \dots\dots\dots (\text{B. 6})$$

式中:

D ——管道外径, 单位为毫米 (mm);

t ——管道壁厚, 单位为毫米 (mm)。

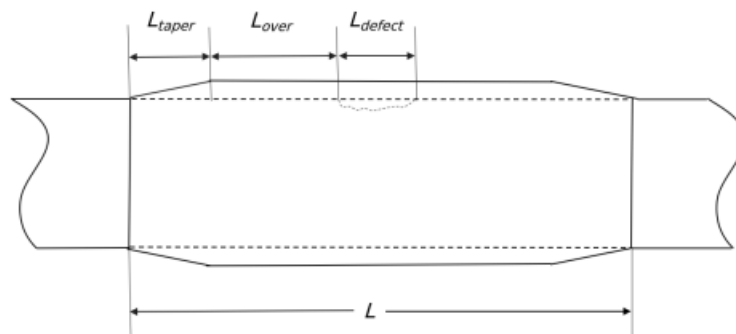


图 B. 1 纤维增强复合材料各位置修复层沿管道方向轴向长度示意图

B. 3. 4 施工现场环境调查

B. 3. 4. 1 在进行纤维增强复合材料修复施工作业前, 应对现场环境湿度进行检测。若现场环境相对湿度小于85%, 可以直接施工; 若现场环境相对湿度大于等于85%时, 需要对管体采取干燥措施或者对环境进行改善处理或不建议施工。

B.3.4.2 在进行纤维增强复合材料修复施工作业前,当现场环境温度在5℃~60℃范围内,可以使用填料及胶粘剂等产品直接施工。当现场环境温度低于5℃时,应采用加热固化技术,确保胶粘剂固化性能。

B.4 纤维增强复合材料修复施工作业程序

纤维增强复合材料修复施工作业程序见图B.1。

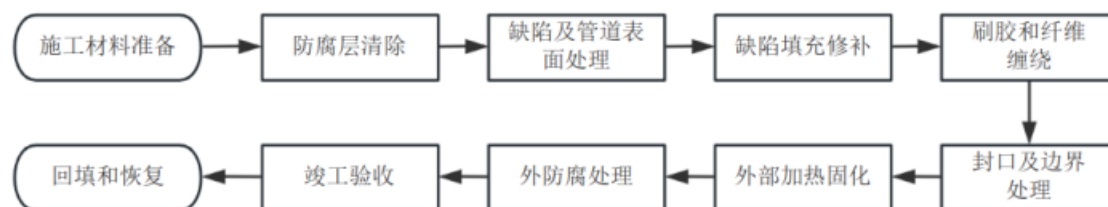


图 B.2 修复施工作业程序

B.5 施工流程

B.5.1 施工材料准备

B.5.1.1 采用纤维增强复合材料修复管道缺陷,所用材料包括管道表面化学清洗液、缺陷填充材料、层间胶粘剂以及高强度纤维布等材料。

B.5.1.2 高强度纤维布、填平树脂、层间胶粘剂等主要原料应具有完整的商品标志和质量合格证。

B.5.1.3 高强度纤维布应根据现场管道规格和缺陷尺寸情况,在缺陷修复施工前在室内加工成不同规格的宽度,缺陷填充材料和层间胶粘剂按单组分分装,在现场施工时按相应的产品说明书要求使用。

B.5.2 防腐层清除

在现场开挖复查工作完成后,应沿管道方向轴向长度 L 范围内及沿轴向两侧 100mm 范围内的钢管表面防腐层进行清除,直至钢管金属表面裸露。

B.5.3 缺陷及管道表面处理

B.5.3.1 被修复表面应无油、无水,应完全去除缺陷部位的污物和氧化皮等杂质,露出钢管本体。并利用直尺、超声波测厚仪查对缺陷长度、宽度及壁厚,并照相存档。

B.5.3.2 在管道表面处理过程中,应符合下列要求:

- 表面处理应在修复之前的4小时内完成,以避免管体表面再氧化的发生;
- 在风沙较大和环境相对湿度大于85%时,如没有可靠的防护措施不宜进行管道表面处理;
- 表面处理质量应达到GB/T 8923.1中规定的St3级;
- 表面处理完成后,应采用丙酮或无水酒精对缺陷及管道表面进行清理,直至无明显污物。

B.5.4 缺陷填充修补

在钢管表面缺陷修补过程中应符合下列要求:

- 将调配好的填充材料搅拌均匀,根据实际气温决定用量并控制使用时间;
- 将填充材料涂刷于钢管表面缺陷部位,修补后缺陷部位应表面平整;
- 对于存在余高的焊缝部位,应使用填充材料进行填充,以使焊缝附近表面平滑过渡,避免由于

焊缝过高而引起的复合修复层空鼓。

B.5.5 刷胶及纤维缠绕

待填平树脂表面初步硬化后,开始涂敷层间胶粘剂,刷胶和高强度纤维布缠绕应按照以下步骤进行:

- a) 高强度纤维布裁剪应按设计要求的尺寸及层数裁剪。为防止片材在保管、运输过程中损坏、片材的裁切数量应以当天的用量为准;
- b) 采用的高强度纤维布为单向布,纤维布在主要受力方向(环向)应采用搭接连接,搭接长度不应小于 100mm;
- c) 将环氧树脂粘浸胶的主剂与固化剂按规定比例调配并搅拌均匀。单次配胶量应以在可使用时间内用完为准,宜小于 2.5kg;
- d) 粘贴纤维布前应将调配好的胶粘树脂均匀涂抹于待粘的部位,存在搭接的部位应适当多涂刷;
- e) 纤维布粘帖缠绕过程中,在纤维布和树脂之间不应残留有空气,为此,可用专用工具沿纤维方向在纤维片上反复滚压多次,对焊缝的拱起部位要向相反的方向滚压,以去除气泡,使胶粘剂充分渗透碳纤维布。缠绕过程中确认没有空鼓现象出现。

B.5.6 封口及边界处理

在纤维布包覆扎紧后,应将修复层边界部位利用挤出的胶粘剂和剩余胶粘剂用橡胶抹刀抹成斜坡,防止污水等腐蚀性介质以修复层层与层之间的缝隙为通道进入修复层内部,造成修复层吸水、分层、脱粘等现象发生。待胶粘剂表面固化后,用热缩型胶带对端头部位进行补口。

B.5.7 外部加热固化

当现场温度低于 5℃时,宜采用自控温伴热电缆加热固化,工作温度控制在 60℃左右,固化2h~4h。修复层固化期间,应符合下列要求:

- a) 宜采用塑料薄膜遮挡以防止风沙或雨水等侵袭;
- b) 应确保温度在60℃左右;
- c) 应记录固化开始和停止时间。

B.5.8 外防腐处理

根据现场情况,采用聚乙烯胶粘带或其他防腐措施对修复层进行防护,新防腐层与原防腐层的搭接宽度不应小于100mm,缠绕时胶粘带边缝应平行,不得扭曲折皱。缠绕过程中,层间搭接宽度不应小于25mm。

B.5.9 竣工验收

纤维修复层的实际粘结面积不应少于设计面积,位置偏差不大于10mm,总有效粘结面积不应低于95%。可采用小锤轻轻敲击或用手压纤维片材表面的方法检查纤维修复层与钢管之间的粘结质量。

B.5.10 回填及恢复

修复施工完成后,对于埋地管道,回填时间取决于环境温度以及管道内部输送介质温度,只要达到修复层表面初步硬化即可按照SY/T 5918的规定进行防腐和回填处理。

附 录 C
(规范性)
钢质环氧套筒修复方法

C.1 设计及制造

钢质环氧套筒的设计及制造应满足 SY/T 7827 要求。

C.2 施工环境要求

C.2.1 温度要求

钢质环氧套筒适用和操作的温度范围见表C.1。若环境温度低于操作温度下限，应对灌注料主剂采取加热措施，加热温度不宜超过60℃。

表 C.1 温度范围

项目	数值
适用温度	-40℃~80℃
操作温度	10℃~45℃

C.2.2 湿度要求

在进行钢质环氧套筒修复施工作业前，应对现场环境湿度进行检测，若现场环境相对湿度小于 85%，可以直接施工；若现场环境相对湿度大于等于 85%时，需要对管体采取干燥措施或者对环境进行改善处理或不建议施工。

C.3 钢质环氧套筒施工作业程序

钢质环氧套筒修复施工作业流程见图 C.1。

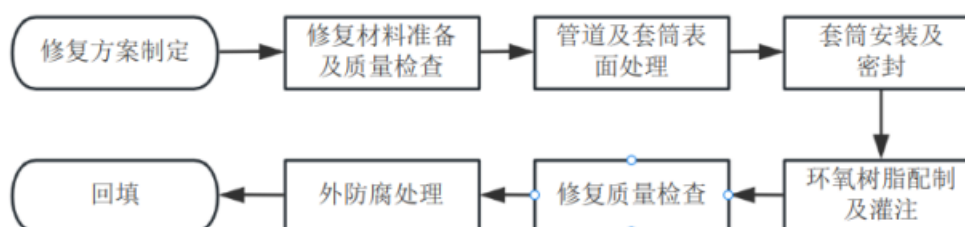


图 C.1 钢质环氧套筒修复施工作业流程

C.4 施工流程

C.4.1 修复方案制定

结合缺陷管道的实际状况,根据缺陷信息及缺陷评价结果以及钢质环氧套筒供应商提供的产品检验报告、使用说明,制定钢质环氧套筒修复方案。钢质环氧套筒与缺陷处管道的剩余壁厚之和的承压能力应等于或大于原壁厚管道的承压能力。

C.4.2 修复材料准备及质量检查

C.4.2.1 根据制定的修复方案和厂家提供的钢质环氧套筒说明书,钢质环氧套筒修复用材料检查项目和参数:

- a) 套筒材质;
- b) 套筒设计壁厚;
- c) 套筒设计长度;
- d) 与管表间隙;
- e) 连接方式(侧法兰连接或焊接连接);
- f) 最大工作压力;
- g) 填充料压缩弹性模量;
- h) 填充料邵氏硬度;
- i) 填充料对钢剪切强度;
- j) 填充料抗冲击强度;
- k) 填充料固化收缩率;
- l) 填充料固化时间等。

C.4.2.2 修复材料准备好之后应对其质量进行核查。

C.4.3 管道及套筒表面处理

C.4.3.1 修复之前,应将管道完全暴露并清理防腐层至金属裸露,以使所有的缺陷特征都显现出来。清除后的表面应无明显的旧涂层残留,清除过程中不应损伤管体金属。

C.4.3.2 清除钢管表面现有防腐层,长度应超出待修复缺陷两侧各150mm。

C.4.3.3 表面处理质量应达到GB/T 8923.1规定的St3级,并且应在管体表面和套筒内表面制造锚纹。

C.4.3.4 钢质环氧套筒安装前,应擦拭待修复部位,表面应清洁、干燥,无污物。

C.4.3.5 管道表面处理,修复应在4小时内进行,若超出规定时间,应重新进行表面处理。

C.4.4 套筒安装及密封

C.4.4.1 使用水平尺沿管道轴向测量管道修复区域最高点,并进行标记。

C.4.4.2 安装钢质套筒之前应确认管道表面无冷凝水产生,施工环境应符合C.2要求。

C.4.4.3 钢质套筒轴向中心应与缺陷中心对齐,注入口位于管道的最低端,排气口位于管道的最高端。

C.4.4.4 将钢质套筒固定在管道后,通过定位螺栓调整套筒与管表之间的间隙,钢质套筒各位置与管道的间隙应保持一致。

C.4.4.5 拧紧套筒两侧连接法兰的紧固螺栓,在紧固螺栓过程中,不宜将单个螺栓一步拧到位,需两侧交叉逐步拧紧,即一侧从左到右,另一侧从右到左,并逐一检查螺栓应拧紧至设计扭矩。

C.4.4.6 根据环境温度及使用说明书确定端部密封胶的配比,利用密封胶密封套筒端面和密封斜面并形成密封环空,密封完成后应静置直至密封胶完全固化。钢质套筒端密封安装的同时可安装灌注管路,质量检查方法为在密封胶全部固化后宜采用真空表和空泵检查真空密封度,10min内保压(-0.08~-0.07)MPa为合格。

C.4.5 环氧树脂配制及灌注

C.4.5.1 对灌注料A组分进行预搅拌后与灌注料B组分进行混合并搅拌均匀，确保无分层、沉底。关注料配制过程应留参比样本，放置在工作环境中，用以监测关注料的凝固状况。

C.4.5.2 将灌注料倒入罐料桶的同时开启真空系统。灌注过程应在30min内完成。

C.4.5.3 当灌注料进入真空管路长度大于等于1m时，应关闭真空系统，打开每个注胶检查孔，确保所有检查孔均有灌注胶溢出后，等待灌注料初固。

C.4.5.4 灌注料初固30min后，将真空系统和罐料桶的连接管路拆除，使用密封胶对拆除部位进行修补。

C.4.5.5 切除定位螺栓和排气螺栓，使螺栓与钢质环氧套筒表面平齐。

C.4.6 修复质量检查

C.4.6.1 空鼓率检查

宜采用小锤敲击修复层表面的方法对空腔检测，通过发出的声音，判断是否含有空腔，并测量空腔所占套筒内表面的面积 S_k ，空腔面积百分数应小于15%。如不合格，则应重新修复。

空腔百分数按公式（C.1）计算：

$$S = \frac{S_j - S_k}{S_j} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

S ——空腔面积百分数（%）；

S_j ——套筒内表面面积，单位为平方毫米（ mm^2 ）；

S_k ——空腔所占套筒内表面的面积，单位为平方毫米（ mm^2 ）；

空腔百分数应小于15%。如不合格，则应采取重新修复措施。

C.4.6.2 环氧填充材料固化情况检查

完成灌注料灌注24h后，使用邵氏硬度计检查接入口和注入口的灌注料固化硬度，邵氏硬度大于80即为合格。

C.4.7 防腐及回填

对于已完成修复的管道，应按照SY/T 5918的规定进行防腐和回填处理。

参 考 文 献

- [1] GB/T 36701-2018 埋地钢质管道管体缺陷修复指南
 - [2] SY/T 6649-2018 油气管道管体缺陷修复技术规范
-