ICS 75.200
H 48

中华人民共和国国家标准

GB/T 35185—2017

石油天然气工业用复合材料增强管线钢管

Composite reinforced line pipe for the petroleum and natural gas industry

2017-12-29 发布　　2018-07-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　设计 …… 2
4.1　结构层应力分析 …… 2
4.2　设计压力计算 …… 3
4.3　最高运行压力 …… 3
4.4　最高设计温度 …… 3
4.5　自紧压力 …… 3
5　管材制造与现场连接 …… 3
5.1　管材制造 …… 3
5.2　材料 …… 4
5.3　管材现场连接 …… 5
6　技术要求 …… 5
6.1　外观 …… 5
6.2　规格尺寸 …… 6
6.3　性能要求 …… 6
7　试验方法 …… 7
7.1　外观 …… 7
7.2　尺寸 …… 7
7.3　短期静水压试验 …… 7
7.4　水压爆破强度试验 …… 7
8　检验规则 …… 7
8.1　检验分类 …… 7
8.2　出厂检验 …… 7
8.3　型式检验 …… 7
9　标志、包装、运输和贮存 …… 8
9.1　标志 …… 8
9.2　包装 …… 8
9.3　运输 …… 8
9.4　贮存 …… 8
10　使用和维护 …… 8
附录A（规范性附录）　利用示差扫描量热计确定玻璃化转变温度的试验方法 …… 9

附录 B（资料性附录） 复合材料增强管线钢管的典型规格尺寸、设计压力 …… 10
附录 C（资料性附录） 复合材料增强管线钢管的使用和维护 …… 12
参考文献 …… 13

前　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)归口。

本标准起草单位:中国石油集团石油管工程技术研究院、石油管材及装备材料服役行为与结构安全国家重点实验室、北京隆盛泰科石油管科技有限公司。

本标准主要起草人:戚东涛、张冬娜、马秋荣、张冠军、邵晓东、齐国权、杜伟、高建忠。

石油天然气工业用复合材料增强管线钢管

1 范围

本标准规定了石油天然气工业用复合材料增强管线钢管的设计、制造、技术要求、试验方法、检验规则、使用和维护、标志、包装、运输和贮存等要求。

本标准适用于天然气长输管道。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 1458 纤维缠绕增强塑料环形试样力学性能试验方法

GB/T 2577 玻璃纤维增强塑料树脂含量测试方法

GB/T 3854 增强塑料巴柯尔硬度试验方法

GB/T 3855 碳纤维增强塑料树脂含量试验方法

GB/T 9711 石油天然气工业 管线输送系统用钢管

GB 50251 输气管道工程设计规范

API SPEC 5L 管线钢管规范(Specification for line pipe)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

复合材料增强管线钢管 composite reinforced line pipe

通过在管线钢管外缠绕复合材料制成的管线管产品，其主要承载结构层包括两部分，即内层的钢管和外层的连续纤维增强复合材料。产品承受内压时环向载荷由钢管和复合材料层共同承担。

3.2

缠绕角度 winding angle

复合材料层中纤维缠绕方向与管材轴向的夹角。

3.3

自紧 auto-frettage

为了使内层钢管的应力超过屈服应力，产生塑性变形，在制造复合材料增强管线钢管时对管材的加压过程。

注：自紧的结果使复合材料增强管线钢管在零压力时，复合材料增强层具有拉应力。

3.4

自紧压力 auto-frettage pressure

为了分配内层钢管和外层复合材料增强层之间的应力而施加的压力。

3.5

外观检测　visual inspections

通过目测等方法检查材料和产品的可见缺陷。

3.6

底漆　primer

钢管表面起防锈等作用的涂料层。

3.7

制造工艺规范　manufacturing procedure specification；MPS

规定复合材料增强管线钢管材料性能、制备工艺等内容的技术文件，包括检测及评定结果。

4　设计

4.1　结构层应力分析

4.1.1　应力分析依据

复合材料增强管线钢管在载荷条件下，钢管和纤维增强复合材料的应力分布情况应使用分析程序根据各结构层的刚度（模量）进行分析。

注：复合材料的缠绕角接近 90°时，纤维只提供环向的强度。

4.1.2　分析方法及应力要求

4.1.2.1　应采用能用于材料非线性分析的软件（专用计算机程序或有限元分析程序），建立计算结构层力学性能的适当模型，对复合材料增强管线钢管在自紧压力、自紧后零压力、运行压力、设计压力和最小设计爆破压力下的应力进行分析。

4.1.2.2　服役状态下内层钢管和外层复合材料的应力分布情况应考虑自紧压力或压力测试后在钢管和复合材料中产生的残余应力。

4.1.2.3　使用玻璃纤维增强的复合材料增强管线钢管，自紧压力下结构层应力分析结果应满足：复合材料的环向应力不应超过复合材料拉伸强度的 40%，钢的环向应力不应超过钢管规定最小抗拉强度。

4.1.2.4　使用玻璃纤维增强的复合材料增强管线钢管，运行压力及设计压力下结构层应力分析结果应满足：复合材料的环向应力不应超过复合材料拉伸强度的 30%，钢的环向应力及轴向应力不应超过钢管规定最小屈服强度的 72%。

4.1.2.5　使用芳纶纤维、碳纤维等增强的复合材料增强管线钢管，自紧、运行及设计压力下钢层的应力要求与 4.1.2.3 及 4.1.2.4 相同，增强层的应力要求应在复合材料长期性能、模型分析计算的基础上确定。

4.1.3　外部压力与其他载荷

外部压力和其他载荷由钢管承担，应根据钢管及焊缝的抗变形、轴向应力及热膨胀系数进行设计，复合材料层应保证在外部压力和其他载荷引起的形变下强度不下降。

4.1.4　钢管疲劳分析

当评价钢管的疲劳性能时，应基于钢管最大屈服强度进行应力分布分析。

注：钢管的疲劳分析时使用最大屈服强度偏于保守。在复合材料增强管线钢管结构层中，钢管的刚度越高，钢管承担的应力比例越高，所以采用最大屈服强度进行分析时，增加了钢管疲劳的应力范围。

4.2 设计压力计算

4.2.1 复合材料增强管线钢管直管部分的设计压力按式(1)计算：

$$P=\frac{2}{D}(R_t t_s F_s+\sigma t_c F_c) \quad \cdots\cdots(1)$$

式中：

P ——设计压力，单位为兆帕(MPa)；

D ——钢管外径，单位为毫米(mm)；

R_t——钢管最小屈服强度，单位为兆帕(MPa)；

F_s——钢管强度设计系数；

t_s ——钢管设计壁厚，单位为毫米(mm)；

σ ——最高设计温度下纤维增强复合材料环向拉伸强度，单位为兆帕(MPa)；

t_c ——纤维增强复合材料层的设计壁厚，单位为毫米(mm)；

F_c——复合材料层设计系数，为0.3。

其中钢管的最小屈服强度应按GB/T 9711、API Spec 5 L或其他标准的要求取值；钢管强度设计系数按照GB 50251的要求进行取值；最高设计温度下纤维增强复合材料环向拉伸强度应按GB/T 1458进行测试，测试试样与复合材料增强管线钢管中增强层的树脂/纤维体系、缠绕角度、铺层顺序、纤维张力相同。

4.2.2 式(1)适用于玻璃纤维复合材料增强管线钢管设计压力的计算，使用其他纤维材料时应满足本标准的相关设计原则。

4.3 最高运行压力

最高运行压力不应超过设计压力或最高测试压力的80%。

4.4 最高设计温度

最高设计温度根据复合材料的最高使用温度确定，应低于复合材料中树脂体系的最高使用温度20℃以上。树脂体系的最高使用温度由制造商提供，应根据树脂体系的玻璃化转变温度确定。

4.5 自紧压力

应对复合材料增强管线钢管进行自紧处理，自紧压力应高于设计压力，且不大于通过4.1.2进行计算的自紧压力上限。

5 管材制造与现场连接

5.1 管材制造

5.1.1 复合材料增强管线钢管的制造工艺规范(MPS)由制造商提供，应包括制造过程中制造方法、使用的材料及所有与纤维增强复合材料的原材料、制造流程、使用流程相关的信息。

5.1.2 下列主要参数应控制在制造工艺规范(MPS)中规定的允许范围内：

a) 纤维类型(厂家和牌号)；

b) 纤维表面处理及完成情况(厂家和牌号)；

c) 树脂(类型、厂家和牌号)；

d) 固化剂(厂家和牌号)；

e) 浸润方法；

f) 复合材料中的纤维含量；
g) 缠绕工艺(例如速度、张力、角度)；
h) 固化工艺(例如时间、温度、湿度)；
i) 钢管性能(例如屈服强度、厚度)；
j) 复合材料巴氏硬度；
k) 体积膨胀率；
l) 管道尺寸(金属管外径、长度)；
m) 底漆(厂家和牌号)；
n) 底漆固化工艺(如时间、温度、湿度)；
o) 纤维增强层厚度。

5.1.3 在制造工艺规范(MPS)中应明确指出连续纤维缠绕的具体方法。

5.1.4 缠绕过程中对连续纤维张力的控制应能保证复合材料增强层均匀地铺设在管线钢管外。

5.1.5 缠绕速度应满足相应缠绕形式下缠绕张力的需求，并保证纤维被树脂充分浸润。

5.1.6 在制造工艺规范(MPS)中应明确指出复合材料的固化工艺，如固化温度、固化时间等，并按附录A的要求对复合材料的玻璃化转变温度进行测定。

5.1.7 在制造工艺规范(MPS)中应明确指出复合材料的树脂含量，采用玻璃纤维复合材料时树脂含量应为30%±5%，应按GB/T 2577的规定检验；采用芳纶、碳纤维复合材料时树脂含量由供需双方依据设计原则协商决定，应按GB/T 3855的规定检验。

5.1.8 在制造工艺规范(MPS)中应明确指出复合材料增强层的巴氏硬度，应按GB/T 3854的规定检验，采用玻璃纤维复合材料的巴氏硬度不应低于40，采用芳纶、碳纤维复合材料的巴氏硬度由供需双方依据设计原则协商决定。

5.2 材料

5.2.1 总则

使用材料的性能和技术指标应符合相应的国家标准或行业标准，应提供质量证书或检测报告，并且可以追溯至单根管道和施工记录。

5.2.2 钢管

根据设计要求，选择合适壁厚及强度的钢管。钢管的制造、检验和试验应满足GB/T 9711、API SPEC 5 L或其他标准要求。

5.2.3 纤维增强复合材料

5.2.3.1 纤维

复合材料中的纤维应满足以下要求：
a) 复合材料增强层的纤维材料类型可以是玻璃纤维、芳纶纤维或碳纤维；
b) 纤维材料应符合相应的国家标准或行业标准的规定，并有质量证书；
c) 可通过纤维表面处理提高纤维与树脂基体之间的粘结力；
d) 纤维的强度应能满足树脂浸润所需的最低强度。

5.2.3.2 树脂

树脂体系应能适应预期的服役环境。树脂种类包括环氧树脂、不饱和聚酯等，管材制造商应提供树脂制造商推荐的固化剂和促进剂。表1给出了环氧树脂和不饱和聚酯树脂推荐的最高使用温度。

表 1　推荐的最高使用温度

树脂类型	最高温度 ℃
环氧树脂	110
不饱和聚酯	70
注：表中所列树脂只是通用的化合物，它们的热性能、力学性能及化学稳定性会随树脂及固化剂明显变化。	

5.3　管材现场连接

5.3.1　复合材料增强管线钢管管材的连接包括内层钢管的焊接及连接处复合材料的缠绕，连接结构的设计应保证接头强度不低于复合材料增强管线钢管管体的强度。

5.3.2　复合材料增强管线钢管与钢管或其他钢元件的连接设计应保证过渡连接的强度不低于复合材料增强管线钢管管体的强度。

5.3.3　连接结构设计时应考虑强度和应变的同步性、使用寿命及增强层对钢管的防腐蚀性。当复合材料增强管线钢管与全钢管道及钢元件连接时，还需考虑复合材料增强层额外缠绕的长度。

5.3.4　复合材料增强管线钢管应在钢管两端留下足够的无复合材料段，以防止内层钢管焊接时的高温影响附近复合材料的性能。

5.3.5　复合材料增强管线钢管应先将钢管部分进行电弧焊接，焊接完成经检验合格后再对焊缝部分进行复合材料的缠绕。

5.3.6　在管道正常运行过程中，当轴向拉伸应力超过钢管最小屈服强度的 40％时，应对环焊缝进行严格的工程评估。评估内容包括焊接步骤、接头形状、管道碳当量、管壁厚、管外径、焊接材料的组成、填充金属尺寸、焊接位置、预热温度、层间温度、焊后热处理方式、保护气体成分、保护气体流速、焊接类型和焊接技术等。

5.3.7　接头和钢管过渡应制定详细的工艺规范，包括材料性能、连接工艺、现场安装及检验要求。

6　技术要求

6.1　外观

复合材料增强管线钢管的外观检测要求见表 2，表中的最大允许缺陷尺寸适用于修复后及静水压测试后的外观检测。

表 2　复合材料增强管线钢管的外观检测要求

缺陷	说明	最大允许缺陷尺寸
空隙	在增强层内或层间的空气泡，通常是球形	直径 3.2 mm，4 处/650 mm^2 直径 1.6 mm，10 处/650 mm^2
气泡	层表的凸起圆泡，类似于皮肤的水泡	直径 3.2 mm，1 处/930 mm^2 相距不小于 50 mm
过多热量烧毁区域	热分解引起的表面变形或变色	不准许
缺口[a]	复合材料层边缘剥落的碎片，包括纤维断裂	直径 1.6 mm 或 6.4 mm 长，1.6 mm 深

表 2（续）

缺陷	说明	最大允许缺陷尺寸
裂缝	层合板结构破裂或脱粘	不准许
裂纹	层合板结构表面小的裂缝	25 mm 长、0.4 mm 深，5 处/930 cm^2
分层	层合板结构中层分离	不准许
干斑	纤维未完全被树脂浸润的表面区域	不准许
裸露边缘	增强基体的多层结构暴露在环境中，通常是由于层合板结构的塑形或切割造成的	不准许
鱼眼结构[a]	层合板结构中包含的与复合材料不同的颗粒（不是灰尘黑点）	直径 3.2 mm，未穿层， 应完全被树脂包裹
外来夹杂物[a]	与周围材料未混合的小球状物，多为透明或半透明材料	直径 3.2 mm
小突起	层合板结构表面小的、尖的锥形凸起	不限，应被树脂完全填充或浸润
凹陷[a]	层合板表面小的火山口结构	直径 3.2 mm，1.6 mm 深；无纤维露出
多孔性	可目测发现的大量小凹坑，近似尺寸 0.25 mm	不能完全穿透表面，少于 15 处/650 mm^2；无纤维露出
刮伤[a]	因处理不当造成的浅痕、凹槽、沟、道等	不超过 15.2 cm 长；无纤维露出
皱纹和皱褶	增强层每圈之间线性或突然变化，形状不规格处或聚酯膜的重叠	不准许
带间缝隙 （长丝缠绕）	连续缠绕纤维带之间的距离，本应相邻	不准许
带宽重叠 （长丝缠绕）	一个纤维带的边缘在之前纤维带之上，也本应是相邻的	2 股
带中裂缝 （长丝缠绕）	纤维带中单根纤维之间的区域	不准许
脱股 （长丝缠绕）	由于纤维断裂或纤维供给不足导致的一股或多股纤维没有缠绕在管道上	＜2%股
允许缺陷的总和	最多在任意 930 cm^2 中 最多在 0.84 m^2 中	5 处 30 处
非结构层的最大修复比例	最大接受修复以达到通过外观的面积	整个管道表面积的 3%
[a] 指缺陷的总和。		

6.2 规格尺寸

复合材料增强管线钢管的典型规格尺寸、设计压力参见附录 B。

6.3 性能要求

复合材料增强管线钢管的性能要求见表 3。

表 3　复合材料增强管线钢管的性能要求

项目	指标	试验方法
短期静水压强度	管体或管端不应有渗漏、滴漏或明显的变形	7.3
水压爆破强度	不应小于 2.0 倍的设计压力	7.4

7　试验方法

7.1　外观

用目测的方法进行检验。

7.2　尺寸

7.2.1　钢管表面复合材料层的厚度沿管子长轴方向等间距测量 3 次，然后将管道旋转 3 次，每次旋转 90°，每次旋转后再等间距测 3 次，厚度以测量的最小值为准。测量厚度可以使用机械式、超声式及能保证真实厚度误差在±2%以内的其他测量设备。

7.2.2　除了测量点，目测偏离设计厚度的区域需要大量测量数据以记录厚度变化。

7.3　短期静水压试验

用可以进行连续均匀增压的设备加压至设计压力的 1.25 倍，保压 1 h。

7.4　水压爆破强度试验

加压至设计压力 1.25 倍后匀速增加压力至爆破，加压速度不大于 1.0 MPa/min。

8　检验规则

8.1　检验分类

复合材料增强管线钢管的检验分为出厂检验和型式检验。

8.2　出厂检验

8.2.1　检验项目

产品需经质检部门检验合格后方准许出厂，并附产品合格证。复合材料增强管线钢管的出厂检验项目为：

a)　外观(见 6.1，7.1)；

b)　尺寸(见 6.2，7.2)；

c)　短期静水压试验(见 6.3，7.3)。

8.2.2　检验频次

对每支复合材料增强管线钢管进行 8.2.1 中检验项目的检测。

8.3　型式检验

8.3.1　检验项目

型式检验项目为第 7 章规定的全部检验项目。

8.3.2 进行型式检验的条件

有以下情况之一时，应进行型式检验：

a) 新产品鉴定；

b) 材料、结构、工艺有明显改变可能影响产品性能时；

c) 连续一年以上停产后恢复生产时；

d) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；

e) 国家行政部门或购方有要求时。

8.3.3 组批

同一原料、配方及工艺连续生产的同一规格复合材料增强管线钢管 200 支为一批，不足 200 支时以一检验批计。

8.3.4 抽样与判定

检验时随机抽取 1 件进行，结果合格为检验合格；当出现不合格项时，应加倍抽样对不合格项进行检验，再出现不合格项时，视为型式检验不合格。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

每根复合管都应有标志，并且在正常的贮存、气候老化和安装使用后的整个寿命周期内，标记字迹保持清晰可辨。标志应至少包括以下内容：

——制造商和商标；

——产品名称、设计压力(MPa)、钢管钢级、钢管外径(mm)、钢管壁厚(mm)与增强层壁厚(mm)；

——产品批号；

——生产日期(年月)；

——本标准编号。

9.2 包装

包装所用的包装材料及捆扎方法由购方与制造商协商确定。

9.3 运输

复合材料增强管线钢管在运输及装卸过程中，不得划伤、抛摔、剧烈撞击、曝晒、油污和化学品污染。

9.4 贮存

复合材料增强管线钢管应按规格分类堆放，远离热源，防止暴晒，室外堆放应有遮盖物。堆放时高度不应超过 1.5 m，堆放时层与层之间用垫木隔开。

10 使用和维护

复合材料增强管线钢管使用和维护的相关要求参见附录 C。

附 录 A
（规范性附录）
利用示差扫描量热计确定玻璃化转变温度的试验方法

A.1 范围

本试验旨在确定复合材料增强管线钢管增强层的玻璃化转变温度，该试样是从具有代表性的产品上获取的，并且符合统计规律的有效值。

A.2 定义

玻璃化转变温度（T_g）的定义是 DSC 曲线（热流量—温度）上偏移温度的中点。

A.3 设备

示差扫描量热计（DSC）：DSC 设备应按照 DSC 制造商要求的频率或每 6 个月进行一次校准。

A.4 试样

试样的尺寸受 DSC 设备样品容器的限制，所有的试样应磨成碎片或粉末状，以便称量和与容器均匀接触。

A.5 步骤

A.5.1 最大加热速度为 40 ℃/min；
A.5.2 从室温开始扫描，扫描的温度上限要比玻璃化转变温度高出 30 ℃，但不得超过 250 ℃。
A.5.3 确定 T_g 值。

A.6 报告

报告应包括以下各项：
a） 试样的完整鉴别标志，包括材料、制造商名称和批号；
b） 管子尺寸，包括内层钢管的钢级、尺寸及增强层厚度；
c） DSC 温度扫描的加热速率；
d） 玻璃化转变温度 T_g；
e） 试验日期、试验室名称和试验人员。

附 录 B
（资料性附录）
复合材料增强管线钢管的典型规格尺寸、设计压力

复合材料增强管线钢管的典型规格尺寸、设计压力见表 B.1 和表 B.2。表 B.1 推荐的典型规格尺寸为采用复合材料增强实现钢管设计压力达到更高等级的产品，表 B.2 推荐的典型规格尺寸为采用复合材料增强实现减少钢管壁厚但设计压力不变的产品。使用的增强材料为玻璃纤维复合材料，其拉伸强度不低于 1 000 MPa，树脂含量为 30%±5%。复合材料增强管线钢管也可采用其他规格尺寸、设计压力，但应满足 4.1 及 4.2 的设计要求。

表 B.1 典型复合材料增强管线钢管的规格尺寸、设计压力

内层钢管钢级	内层钢管外径 D mm	内层钢管壁厚 t_s mm	复合材料层壁厚 t_c mm	复合材料增强管线钢管设计压力 MPa	设计压力等同同尺寸钢管钢级水平[a]
X65	1 016	18.4	4.7	14.5	X80
			10.7	18.0	X100
	1 219	18.4	4.7	12.0	X80
			10.6	15.0	X100
		22.0	5.6	14.5	X80
			12.7	18.0	X100
	1 422	21.4	5.4	12.0	X80
			12.4	15.0	X100
X70	1 016	18.4	9.1	18.0	X100
	1 219	18.4	9.1	15.0	X100
		22.0	11.0	18.0	X100
	1 422	21.4	10.6	15.0	X100
X80	1 016	18.4	6.0	18.0	X100
			12.2	21.5	X120
	1 219	18.4	6.0	15.0	X100
			12.2	18.0	X120
		22.0	7.2	18.0	X100
			14.6	21.5	X120
	1 422	21.4	7.0	15.0	X100
			14.2	18.0	X120

[a] 指复合材料增强管线钢管与高钢级管线钢管设计压力相同。

表 B.2　典型复合材料增强管线钢管的规格尺寸、设计压力

内层钢管外径 D mm	内层钢管钢级	设计压力 MPa	内层钢管壁厚 t_s mm	复合材料层厚 t_c mm
1 422	X70	13.3	27.0	0[a]
			22.0	5.8
			20.6	7.5
	X80	15.1	27.0	0
			22.0	6.7
			20.6	8.5
1 219	X70	15.4	27.0	0
			22.0	5.8
			20.6	7.5
	X80	17.6	27.0	0
			22.0	6.7
			20.6	8.5
1 016	X70	18.5	27.0	0
			22.0	5.8
			20.6	7.5
	X80	21.1	27.0	0
			22.0	6.7
			20.6	8.5

[a] 复合材料层厚为 0 mm 时即为管线钢管。

附 录 C
（资料性附录）
复合材料增强管线钢管的使用和维护

C.1 复合材料增强管线钢管应按照 GB/T 21448 进行阴极保护，当增强层为碳纤维复合材料时，应采取防止复合材料增强管线钢管产生电化学腐蚀的措施，如在钢管与增强层之间及增强层外增加绝缘层。

C.2 在需要时应对测试用引线做特别规定，但在任何情况下都不准许对纤维增强复合材料层打孔。

C.3 复合材料增强管线钢管不应带压开孔。

C.4 非结构层缺陷可进行修复，修复方法包括恢复最小厚度、纤维含量、外保护层防护能力等。结构层缺陷（如结构纤维断裂或损坏）不应修复，出现结构层缺陷的管材不准许使用，纤维增强复合材料的缺陷评估及修复见表 C.1。

C.5 除了通过工程评估确定为可接受的缺陷外，钢管外表面、内表面或内外同时发生腐蚀的总和缺陷深度不应超过公称壁厚的 10%。工程评估包括设计、服役历史、加载情况、预期服役环境、缺陷的形变及生长、缺陷形状及尺寸、失效模式和材料性能。

注：公称壁厚为内层钢管的厚度，不是复合材料增强管线钢管的整体壁厚。

C.6 应考虑维护时除去部分复合材料对复合材料增强管线钢管短时或永久强度下降的影响。

表 C.1 纤维增强复合材料的损坏程度鉴定及维修指导

损坏程度	特征	矫正措施
轻微 刮痕 轻微表面磨损 金属划痕	深度＜0.1 mm 没有纤维露出 树脂表面完整	不需修复
中等 更深的刮痕 表面磨损 轻微设备损伤	0.1 mm＜深度＜0.5 mm 复合材料发白 树脂表面受损	表面需要修复 热补丁式修复
严重 凹沟 凹陷 重型设备损伤	深度＞0.5 mm 玻璃纤维露出 复合材料层结构强度受损	环向切除并在切除位置重新缠绕满足设计要求的复合材料

参 考 文 献

[1] GB/T 21448 埋地钢质管道阴极保护技术规范

[2] GB/T 24160 车用压缩天然气钢质内胆环向缠绕气瓶

[3] GB/T 29165.1—2012 石油天然气工业 玻璃纤维增强塑料管 第1部分:词汇符号应用及材料

[4] SY/T 6770.1 非金属管材质量验收规范 第1部分:高压玻璃纤维管线管

[5] CSA Z662—2011 石油和天然气管道系统

[6] Zimmerman T, Stephen G, Glover A. Composite Reinforced Line Pipe (CRLP) for Onshore Gas Pipelines [C]. International Pipeline Conference. 2002:467-473.