



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110486568 B

(45) 授权公告日 2021.10.22

(21) 申请号 201910767920.9

审查员 吕翔宇

(22) 申请日 2019.08.20

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110486568 A

(43) 申请公布日 2019.11.22

(73) 专利权人 北京安科管道工程科技有限公司

地址 102209 北京市昌平区未来科学城南
区蓬莱苑南街1号院7号楼911-2室

(72) 发明人 路民旭 杨阳 侯世颖 田骁
高荣钊

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105

代理人 王冉 张邦帅

(51) Int. Cl.

F16L 55/168 (2006.01)

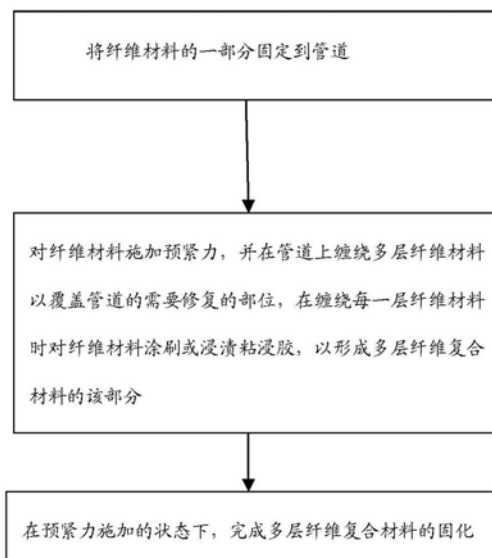
权利要求书4页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

预紧力修复、预紧力和夹具组合修复方法及
修复的管道

(57) 摘要

本发明涉及一种预紧力修复、预紧力和夹具组合修复方法及修复的管道。该方法包括以下步骤：(a) 将纤维材料的一部分固定到管道；(b) 对纤维材料施加预紧力，并在预紧力作用下在管道上缠绕多层纤维材料以覆盖管道的需要修复的部位，在缠绕每一层纤维材料时对纤维材料涂刷或浸渍粘浸胶，以形成多层纤维复合材料；(c) 在预紧力施加的状态下，完成多层纤维复合材料的固化；(d) 在该带预紧力的纤维复合材料修复部位之外安装夹具，并在夹具和管道之间形成的空隙内灌注可固化聚合物。其中，所述预紧力的大小设计成克服带压管道修复后内部压力下降或/和管道轴向拉伸造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道的脱粘。



1. 一种预紧力修复方法,该方法包括以下步骤:

(a) 将纤维材料的一部分固定到管道;

(b) 对纤维材料施加预紧力,并在预紧力作用下在管道上缠绕多层纤维材料以覆盖管道的需要修复的部位,在缠绕每一层纤维材料时对纤维材料涂刷或浸渍粘浸胶,以形成多层纤维复合材料;

(c) 在预紧力施加的状态下,完成多层纤维复合材料的固化,

其中,所述预紧力的大小设计成克服带压管道修复后内部压力下降或/和管道轴向拉伸造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道的脱粘,

所述预紧力 $F_{预}$ 选择为满足以下公式的 $F_{预1}$ 、 $F_{预2}$ 、 $F_{预3}$ 之一、 $F_{预1}$ 、 $F_{预2}$ 、 $F_{预3}$ 任意两者之和、或者三者之和,即: $F_{预} = \{F_{预1}, F_{预2}, F_{预3}, F_{预1}+F_{预2}, F_{预2}+F_{预3}, F_{预1}+F_{预3}, F_{预1}+F_{预2}+F_{预3}\}$

$$F_{预1} \geq \frac{P_{维修} \cdot D_{管道}}{2 \cdot t_{管道} \cdot E_{管道}} \cdot t_{单层纤维} \cdot b_{纤维幅宽} \cdot E_{纤维} \cdot f_{安全1}$$

$$F_{预2} \geq \frac{\mu_{管道} \cdot \sigma_{屈服}}{E_{管道}} \cdot t_{单层纤维} \cdot b_{纤维幅宽} \cdot E_{纤维} \cdot f_{安全2}$$

$$F_{预3} \geq \varepsilon_{抗拉} \cdot t_{单层纤维} \cdot b_{纤维幅宽} \cdot E_{纤维} \cdot f_{安全3}$$

其中, $F_{预1}$ 为克服带压管道修复后内部压力下降造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{预2}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸弹性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{预3}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸塑性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{预}$ 为施加在单层纤维材料的预紧力, $P_{维修}$ 为管道维修时的压力; $D_{管道}$ 为管道外径; $t_{管道}$ 为管道壁厚; $f_{安全1}$ 、 $f_{安全2}$ 、 $f_{安全3}$ 为安全系数,其大于0且小于等于100; $t_{单层纤维}$ 为单层纤维材料的理论厚度; $b_{纤维幅宽}$ 为纤维宽度; $E_{纤维}$ 为纤维的弹性模量; $E_{管道}$ 为管道材料的弹性模量; $\mu_{管道}$ 为管材的泊松比; $\sigma_{屈服}$ 为管材的屈服强度; $\varepsilon_{抗拉}$ 为管材轴向载荷为抗拉强度时引起的管道环向塑性应变。

2. 如权利要求1所述的方法,其中,步骤(a)包括用粘浸胶涂刷或浸渍纤维材料的该部分,将该部分固定到管道。

3. 如权利要求1所述的方法,其中, $f_{安全1}$ 、 $f_{安全2}$ 、 $f_{安全3}$ 为0.5。

4. 如权利要求1所述的方法,其中, $f_{安全1}$ 、 $f_{安全2}$ 、 $f_{安全3}$ 为1。

5. 如权利要求1所述的方法,其中,在步骤(a)中固定的纤维材料的该部分的长度选择为使得在步骤(b)中纤维材料相对管道不滑动。

6. 如权利要求5所述的方法,其中,所述部分的所述长度首先基于以下公开来计算:

$$L_{初始固定} \geq \frac{F_{预}}{b_{纤维幅宽} \cdot \tau_{界面剪切}}$$

当通过以上公式计算得出的结果小于等于 $\pi \cdot D_{管道}$ 时,即 $L_{初始固定} \leq \pi \cdot D_{管道}$ 时,那么将计算得出的结果作为在步骤(a)中粘贴的纤维材料的该部分的长度;

当通过以上公式计算得出的结果大于 $\pi \cdot D_{管道}$ 时,即 $L_{初始固定} > \pi \cdot D_{管道}$ 时,那么将通过以下公式计算得出的结果作为在步骤(a)中粘贴的纤维材料的该部分的长度:

$$L_{初始固定} \geq \frac{F_{预} - \pi \cdot D_{管道} \cdot b_{纤维幅宽} \cdot \tau_{界面剪切}}{b_{纤维幅宽} \cdot \tau_{层间剪切}} + \pi \cdot D_{管道}$$

其中, $\tau_{\text{界面剪切}}$ 为管道与纤维材料界面的结合剪切强度; $\tau_{\text{层间剪切}}$ 为相邻两层纤维材料层之间的结合剪切强度; $L_{\text{初始固定}}$ 为预紧力加载前, 纤维材料固定到管道的初始长度。

7. 如权利要求1所述的方法, 其中, 所述纤维材料是单向纤维材料, 在步骤(b)中:

(b1) 在预紧力作用下缠绕一层或多层环向纤维材料, 同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶, 接着铺设一层或多层轴向纤维材料, 同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶, 重复多次直到完成修复作业; 或者

(b2) 铺设一层或多层轴向纤维材料, 同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶, 接着在预紧力作用下缠绕一层或多层环向纤维材料, 同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶, 重复多次直到完成修复作业。

8. 如权利要求7所述的方法, 其中, 轴向纤维材料选择高弹性模量的纤维材料, 以保证轴向修复效果; 环向纤维材料选择低弹性模量和/或单层厚度低的纤维材料, 以降低为达修复效果所需的环向预紧力。

9. 如权利要求8所述的方法, 其中, 环向纤维材料是玻璃纤维。

10. 如权利要求1所述的方法, 其中, 所述纤维材料是双向纤维材料, 在步骤(b)中, 在预紧力下连续地缠绕多层双向纤维材料, 在缠绕每一层双向纤维材料时在双向纤维材料表面涂覆粘浸胶, 从而形成多层双向纤维复合材料。

11. 如权利要求10所述的方法, 其中, 双向纤维材料设计为由两种弹性模量不同的环向纤维和轴向纤维编织而成, 轴向纤维选择高弹性模量的纤维, 以保证轴向修复效果, 环向纤维选择低弹性模量和/或单层厚度低的纤维, 以减小为达预紧修复效果所需的环向施工拉力值。

12. 如权利要求11所述的方法, 其中, 环向纤维是玻璃纤维。

13. 如权利要求2所述的方法, 其中, 在步骤(a)中使用的粘浸胶的固化速度比在步骤(b)中使用的粘浸胶的固化速度快。

14. 如权利要求1所述的方法, 其中, 管道的需要修复的部位包括管道的缺陷, 该缺陷位于管道本体、直焊缝、螺旋焊缝或环焊缝部位, 管道的缺陷包括体积型缺陷、平面型缺陷、弥散损伤型缺陷或几何型缺陷。

15. 如权利要求1所述的方法, 其中, 纤维材料选自芳纶纤维、聚乙烯纤维、碳纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维、硼纤维、凯夫拉纤维、碳化硅纤维、氧化铝纤维和陶瓷纤维及其它可以用于管道修复的纤维。

16. 一种预紧力和夹具组合修复方法, 该方法包括以下步骤:

(a) 将纤维材料的一部分固定到管道;

(b) 对纤维材料施加预紧力, 并预紧力作用下在管道上缠绕多层纤维材料以覆盖管道的需要修复的部位, 在缠绕每一层纤维材料时对纤维材料涂刷或浸渍粘浸胶, 以形成多层纤维复合材料; (c) 在该带预紧力的纤维复合材料修复部位之外安装夹具, 并在夹具和管道之间形成的空隙内灌注可固化聚合物,

其中, 所述预紧力的大小设计成克服带压管道修复后内部压力下降或/和管道轴向拉伸造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道的脱粘,

其中, 所述预紧力 $F_{\text{预}}$ 选择为满足以下公式 $F_{\text{预1}}$ 、 $F_{\text{预2}}$ 、 $F_{\text{预3}}$ 之一、 $F_{\text{预1}}$ 、 $F_{\text{预2}}$ 、 $F_{\text{预3}}$ 任意两者之和、或者三者之和, 即 $F_{\text{预}} = \{F_{\text{预1}}, F_{\text{预2}}, F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预2}}, F_{\text{预2}} + F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预2}} + F_{\text{预3}}\}$

$$F_{\text{预}1} \geq \frac{P_{\text{维修}} \cdot D_{\text{管道}}}{2 \cdot t_{\text{管道}} \cdot E_{\text{管道}}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全}1}$$

$$F_{\text{预}2} \geq \frac{\mu_{\text{管道}} \cdot \sigma_{\text{屈服}}}{E_{\text{管道}}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全}2}$$

$$F_{\text{预}3} \geq \varepsilon_{\text{抗拉}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全}3}$$

$$F_{\text{预}} = \{F_{\text{预}1}, F_{\text{预}2}, F_{\text{预}3}, F_{\text{预}1} + F_{\text{预}2}, F_{\text{预}2} + F_{\text{预}3}, F_{\text{预}1} + F_{\text{预}3}, F_{\text{预}1} + F_{\text{预}2} + F_{\text{预}3}\}$$

其中, $F_{\text{预}1}$ 为克服带压管道修复后内部压力下降造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预}2}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸弹性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预}3}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸塑性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力, $P_{\text{维修}}$ 为管道维修时的压力; $D_{\text{管道}}$ 为管道外径; $t_{\text{管道}}$ 为管道壁厚; $f_{\text{安全}1}$ 、 $f_{\text{安全}2}$ 、 $f_{\text{安全}3}$ 为安全系数, 其大于0且小于等于100; $t_{\text{单层纤维}}$ 为单层纤维材料的理论厚度; $b_{\text{纤维幅宽}}$ 为纤维宽度; $E_{\text{纤维}}$ 为纤维的弹性模量; $E_{\text{管道}}$ 为管道材料的弹性模量; $\mu_{\text{管道}}$ 为管材的泊松比; $\sigma_{\text{屈服}}$ 为管材的屈服强度; $\varepsilon_{\text{抗拉}}$ 为管材轴向载荷为抗拉强度时引起的管道环向塑性应变; $F_{\text{预}}$ 为施加在单层纤维材料的预紧力。

17. 如权利要求16所述的方法, 其中, 步骤(a) 包括用粘浸胶涂刷或浸渍纤维材料的该部分, 将该部分固定到管道。

18. 如权利要求16所述的方法, 其中, $f_{\text{安全}1}$ 、 $f_{\text{安全}2}$ 、 $f_{\text{安全}3}$ 为0.5。

19. 如权利要求16所述的方法, 其中, $f_{\text{安全}1}$ 、 $f_{\text{安全}2}$ 、 $f_{\text{安全}3}$ 为1。

20. 如权利要求16所述的方法, 其中, 在步骤(a) 中固定的纤维材料的该部分的长度选择为使得在步骤(b) 中纤维材料相对管道不滑动。

21. 如权利要求20所述的方法, 其中, 所述部分的所述长度首先基于以下公开来计算:

$$L_{\text{初始固定}} \geq \frac{F_{\text{预}}}{b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{界面剪切}}}$$

当通过以上公式计算得出的结果小于等于 $\pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时, 即 $L_{\text{初始固定}} \leq \pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时, 那么将计算得出的结果作为在步骤(a) 中粘贴的纤维材料的该部分的长度;

当通过以上公式计算得出的结果大于 $\pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时, 即 $L_{\text{初始固定}} > \pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时, 那么将通过以下公式计算得出的结果作为在步骤(a) 中粘贴的纤维材料的该部分的长度:

$$L_{\text{初始固定}} \geq \frac{F_{\text{预}} - \pi \cdot D_{\text{管道}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{界面剪切}}}{b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{层间剪切}}} + \pi \cdot D_{\text{管道}}$$

其中, $\tau_{\text{界面剪切}}$ 为管道与纤维材料界面的结合剪切强度; $\tau_{\text{层间剪切}}$ 为相邻两层纤维材料层之间的结合剪切强度; $L_{\text{初始固定}}$ 为预紧力加载前, 纤维材料固定到管道的初始长度。

22. 如权利要求16所述的方法, 其中, 所述纤维材料是单向纤维材料, 步骤(b) 包括:

(b1) 在预紧力作用下缠绕一层或多层环向纤维材料, 同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶, 接着铺设一层或多层轴向纤维材料, 同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶, 重复多次直到完成修复作业; 或者

(b2) 铺设一层或多层轴向纤维材料, 同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶, 接着在预紧力作用下缠绕一层或多层环向纤维材料, 同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶, 重复多次直到完成修复作业。

23. 如权利要求16所述的方法,其中,所述纤维材料是双向纤维材料,缠绕多层纤维材料包括在预紧力下连续地缠绕多层双向纤维材料,在缠绕每一层双向纤维材料时在双向纤维材料表面涂覆粘浸胶,从而形成多层双向纤维复合材料。

24. 如权利要求16所述的方法,其中,所述可固化聚合物是环氧树脂。

25. 一种修复的管道,所述管道包括需要修复的管道段以及围绕该需要修复的管道段缠绕多层的纤维材料,所述纤维材料被涂刷或浸渍有粘浸胶,以形成纤维复合材料,并且所述纤维复合材料在预紧力的状态下被施加到管道段,其中,该预紧力的大小设计成克服带压管道修复后内部压力下降或/和管道轴向拉伸造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道的脱粘,

其中,所述预紧力选择为满足以下公式 $F_{预1}$ 、 $F_{预2}$ 、 $F_{预3}$ 之一、 $F_{预1}$ 、 $F_{预2}$ 、 $F_{预3}$ 任意两者之和、或者三者之和

$$\text{即: } F_{预} = \{F_{预1}, F_{预2}, F_{预3}, F_{预1}+F_{预2}, F_{预2}+F_{预3}, F_{预1}+F_{预3}, F_{预1}+F_{预2}+F_{预3}\}$$

$$F_{预1} \geq \frac{P_{维修} \cdot D_{管道}}{2 \cdot t_{管道} \cdot E_{管道}} \cdot t_{单层纤维} \cdot b_{纤维幅宽} \cdot E_{纤维} \cdot f_{安全1}$$

$$F_{预2} \geq \frac{\mu_{管道} \cdot \sigma_{屈服}}{E_{管道}} \cdot t_{单层纤维} \cdot b_{纤维幅宽} \cdot E_{纤维} \cdot f_{安全2}$$

$$F_{预3} \geq \varepsilon_{抗拉} \cdot t_{单层纤维} \cdot b_{纤维幅宽} \cdot E_{纤维} \cdot f_{安全3}$$

$$F_{预} = \{F_{预1}, F_{预2}, F_{预3}, F_{预1}+F_{预2}, F_{预2}+F_{预3}, F_{预1}+F_{预3}, F_{预1}+F_{预2}+F_{预3}\}$$

其中, $F_{预1}$ 为克服带压管道修复后内部压力下降造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{预2}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸弹性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{预3}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸塑性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{预}$ 为施加在单层纤维材料的预紧力; $P_{维修}$ 为管道维修时的压力; $D_{管道}$ 为管道外径; $t_{管道}$ 为管道壁厚; $f_{安全1}$ 、 $f_{安全2}$ 、 $f_{安全3}$ 为安全系数,其大于0且小于等于100; $t_{单层纤维}$ 为单层纤维材料的理论厚度; $b_{纤维幅宽}$ 为纤维宽度; $E_{纤维}$ 为纤维的弹性模量; $E_{管道}$ 为管道材料的弹性模量; $\mu_{管道}$ 为管材的泊松比; $\sigma_{屈服}$ 为管材的屈服强度; $\varepsilon_{抗拉}$ 为管材轴向载荷为抗拉强度时引起的管道环向塑性应变。

26. 如权利要求25所述的修复的管道,其中, $f_{安全1}$ 、 $f_{安全2}$ 、 $f_{安全3}$ 为0.5。

27. 如权利要求25所述的修复的管道,其中, $f_{安全1}$ 、 $f_{安全2}$ 、 $f_{安全3}$ 为1。

28. 如权利要求25所述的修复的管道,其中,所述纤维材料是单向纤维材料,在需要修复的管道段上交替缠绕有一层或多层环向纤维和轴向纤维。

29. 如权利要求25所述的修复的管道,其中,所述纤维材料是双向纤维材料,在需要修复的管道段上连续地缠绕有多层双向纤维材料。

30. 如权利要求25所述的修复的管道,其中,所述修复的管道还包括夹具,所述夹具围绕该纤维复合材料安装,在夹具与该涂覆有纤维复合材料的管道段之间形成有空隙;以及灌注在所述空隙内的可固化聚合物。

31. 如权利要求30所述的修复的管道,其中,该夹具由多个部分组成,在该夹具上设有一个或多个灌注孔及一个或多个排气孔。

预紧力修复、预紧力和夹具组合修复方法及修复的管道

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用预紧力修复管道的方法、预紧力和夹具组合修复管道的方法及修复的管道。

背景技术

[0002] 管道运输是国民经济五大运输产业之一,仅目前我国油气长输管道就达5万余公里。这些管道在长期服役过程中,由于受到地层压力、土壤腐蚀、电偶腐蚀、外力损伤等作用,造成管道爆裂、泄漏等事故发生频繁,影响管道的正常输送作业。因此,需要在不停止输送的情况下进行修复补强增强的技术。

[0003] 另外,还有可能出现因生产需要提高安全运行压力和因地区类别变化需要提高安全系数等情况。在此类情况下,整个管道系统中对因生产需要提高安全运行压力和因地区类别变化需要提高安全系数的部分管道及辅助设施,必须对其进行增强以适应提高运行压力和安全系数等的需要。

[0004] 国外有关于套管内注环氧修补管道技术的报道,对于管体具有腐蚀缺陷的管道,英国天然气公司曾报导采用内注环氧树脂的修补方法进行修补。内注环氧树脂管壳,是由上下两片壳体环抱损坏区域连接而成,与管道形成环形空间,将环形空间两端密封后注入高强的环氧树脂浆而成。

[0005] 但是上述套管注环氧的补强技术对管道轴向受力的增强效果不好,例如当管道环焊缝存在裂纹和存在环向尺寸较大的腐蚀缺陷时,管道轴向承载能力往往大大减弱,这时需要轴向补强,则该种方法就不能满足。

[0006] 近年来有一些关地使用碳纤维复合材料进行金属管道外损伤缺陷补强的报道。北京安科管道工程科技有限公司的专利CN1853847报道了用碳纤维复合材料对焊缝缺陷修复补强的方法,另外中国专利CN1616546《含缺陷管道修复补强的碳纤维复合材料和方法》公开了一种用于管道修复补强的材料和管道修复补强的方法,该材料包括多层用一定组成的粘浸胶浸渍或涂布的碳纤维复合材料,可以达到良好的修复补强效果。使用该技术既可以进行金属管道的修复补强,同时也可以达到提高运行压力和允许能力的目的。但当腐蚀面积和深度都较大时,这种方法对于提高管道抗弯曲能力的提高具有一定局限性,而套管注环氧的技术对于提高管道抗弯曲能力则有一定优势。另外,对于某些特征管件,例如管道的固定墩,由于结构几何特性限制,单用碳纤维补强则难以达到增强效果。

[0007] 在一般情况也即内压情况下,管道的环向应力是轴向应力的2倍,因此,一般对于管道的修复以限制管道环向变形为主,轴向修复为辅,并且修复仅以抵抗内压失效设计,轴向修复强度仅为环向修复强度的一半。但在复杂地质条件或其他外部应力存在的情况下,管道轴向应力很大,环焊缝缺陷及其他周向缺陷对管道的安全威胁很高,而目前的修复设计仅以抵抗内压失效设计,对轴向修复设计不足,不能很好的分担管道轴向应力,不能对环焊缝缺陷和周向缺陷起到充分的保护作用。

[0008] 另外,现行管道复合材料补强,管道往往处于带压运行,即在运行压力下实施修

复,复合材料补强层在管内运行压力状态下缠绕固化后,当运行压力发生较大幅度降低或者波动,亦或者管道发生较大轴向拉伸变形,此时管道将发生较大的径向收缩或波动,易造成补强层与管道的界面剪切强度降低,这将造成补强层对管道轴向修复效果降低,易发生补强层对管道的脱粘,进而使得补强层失去轴向补强效果。

[0009] 因此,本专利主张对环焊缝缺陷及其他周向缺陷的轴向修复按恢复管道轴向承载力至完好管道水平进行设计,并避免修复层与管道界面的剪切强度因为内压大幅降低波动而降低的影响,提出了一种利用对纤维复合材料施加预紧力来修复管道的方法。

发明内容

[0010] 本发明提供了一种用纤维复合材料对管道缺陷进行修复的方法,通过对纤维复合材料施加预紧力,能够有效的分担管道轴向载荷,恢复管道轴向承载力至完好管道水平;即使在管道发生变形时,仍能和管道保持有效的粘接,提供有效的保护;在管道运行压力发生变化时,能够适应管道的压力变化造成的管道的径向收缩或膨胀,保证和管道的粘接力。

[0011] 一方面,本发明提供了一种预紧力修复方法,该方法包括以下步骤:

[0012] (a) 将纤维材料的一部分固定到管道;

[0013] (b) 对纤维材料施加预紧力,并在预紧力作用下在管道上缠绕多层纤维材料以覆盖管道的需要修复的部位,在缠绕每一层纤维材料时对纤维材料涂刷或浸渍粘浸胶,以形成多层纤维复合材料;

[0014] (c) 在预紧力施加的状态下,完成多层纤维复合材料的固化,

[0015] 其中,所述预紧力的大小设计成克服带压管道修复后内部压力下降或/和管道轴向拉伸造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道的脱粘。

[0016] 有利地,步骤(a)包括用粘浸胶涂刷或浸渍纤维材料的该部分,将该部分固定到管道。

[0017] 有利地,所述预紧力 $F_{\text{预}}$ 选择为 $F_{\text{预1}}$ 、 $F_{\text{预2}}$ 、 $F_{\text{预3}}$ 之一、 $F_{\text{预1}}$ 、 $F_{\text{预2}}$ 、 $F_{\text{预3}}$ 任意两者之和、或者三者之和,

[0018] 即: $F_{\text{预}} = \{F_{\text{预1}}, F_{\text{预2}}, F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预2}}, F_{\text{预2}} + F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预2}} + F_{\text{预3}}\}$

[0019]
$$F_{\text{预1}} \geq \frac{P_{\text{维修}} \cdot D_{\text{管道}}}{2 \cdot t_{\text{管道}} \cdot E_{\text{管道}}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全1}}$$

[0020]
$$F_{\text{预2}} \geq \frac{\mu_{\text{管道}} \cdot \sigma_{\text{屈服}}}{E_{\text{管道}}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全2}}$$

[0021]
$$F_{\text{预3}} \geq \varepsilon_{\text{抗拉}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全3}}$$

[0022] 其中, $P_{\text{维修}}$ 为管道维修时的压力; $D_{\text{管道}}$ 为管道外径; $t_{\text{管道}}$ 为管道壁厚; $f_{\text{安全1}}$ 、 $f_{\text{安全2}}$ 、 $f_{\text{安全3}}$ 为安全系数,其大于0且小于等于100; $t_{\text{单层纤维}}$ 为单层纤维材料的理论厚度; $b_{\text{纤维幅宽}}$ 为纤维宽度; $E_{\text{纤维}}$ 为纤维的弹性模量; $E_{\text{管道}}$ 为管道材料的弹性模量; $\mu_{\text{管道}}$ 为管材的泊松比; $\sigma_{\text{屈服}}$ 为管材的屈服强度; $\varepsilon_{\text{抗拉}}$ 为管材轴向载荷为抗拉强度时引起的管道环向塑性应变; $F_{\text{预1}}$ 为克服带压管道修复后内部压力下降造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预2}}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸弹性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预3}}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸塑性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预}}$ 为施加在单层纤维材料的预紧力。

[0023] 有利地,在步骤(a)中固定的纤维材料的该部分的长度选择为使得在步骤(b)中纤维材料相对管道不滑动。

[0024] 有利地,所述部分的所述长度首先基于以下公开来计算:

$$[0025] \quad L_{\text{初始固定}} \geq \frac{F_{\text{预}}}{b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{界面剪切}}}$$

[0026] 当通过以上公式计算得出的结果小于等于 $\pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,即 $L_{\text{初始固定}} \leq \pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,那么将计算得出的结果作为在步骤(a)中粘贴的纤维材料的该部分的长度;

[0027] 当通过以上公式计算得出的结果大于 $\pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,即 $L_{\text{初始固定}} > \pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,那么将通过以下公式计算得出的结果作为在步骤(a)中粘贴的纤维材料的该部分的长度:

$$[0028] \quad L_{\text{初始固定}} \geq \frac{F_{\text{预}} - \pi \cdot D_{\text{管道}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{界面剪切}}}{b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{层间剪切}}} + \pi \cdot D_{\text{管道}}$$

[0029] 其中, $\tau_{\text{界面剪切}}$ 为管道与纤维材料界面的结合剪切强度; $\tau_{\text{层间剪切}}$ 为相邻两层纤维材料层之间的结合剪切强度; $L_{\text{初始固定}}$ 为预紧力加载前,纤维材料固定到管道的初始长度。

[0030] 有利地,所述纤维材料是单向纤维材料,在步骤(b)中:

[0031] (b1)在预紧力作用下缠绕一层或多层环向纤维材料,同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶,接着铺设一层或多层轴向纤维材料,同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶,重复多次直到完成修复作业;或者

[0032] (b2)铺设一层或多层轴向纤维材料,同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶,接着在预紧力作用下缠绕一层或多层环向纤维材料,同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶,重复多次直到完成修复作业。

[0033] 有利地,轴向纤维材料选择高弹性模量的纤维材料,以保证轴向修复效果;环向纤维材料选择低弹性模量和/或单层厚度低的纤维材料,以减小为达预紧修复效果所需的环向施工拉力值。

[0034] 有利地,环向纤维材料是玻璃纤维。

[0035] 有利地,所述纤维材料是双向纤维材料,在步骤(b)中,在预紧力下连续地缠绕多层双向纤维材料,在缠绕每一层双向纤维材料时在双向纤维材料表面涂覆粘浸胶,从而形成多层双向纤维复合材料。

[0036] 有利地,双向纤维材料设计为由两种弹性模量不同的环向纤维和轴向纤维编织而成,轴向纤维选择高弹性模量的纤维,以保证轴向修复效果,环向纤维选择低弹性模量和/或单层厚度低的纤维,以减小为达预紧修复效果所需的环向施工拉力值。

[0037] 有利地,环向纤维是玻璃纤维。

[0038] 有利地,在步骤(a)中使用的粘浸胶的固化速度比在步骤(b)中使用的粘浸胶的固化速度快。

[0039] 有利地,管道的需要修复的部位包括管道的缺陷,其缺陷可以位于管道本体、直焊缝、螺旋焊缝或环焊缝等部位,管道的缺陷包括体积型缺陷、平面型缺陷、弥散损伤型缺陷或几何型缺陷。

[0040] 有利地,纤维材料选自芳纶纤维、聚乙烯纤维、碳纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维、硼纤维、凯夫拉纤维、碳化硅纤维、氧化铝纤维和陶瓷纤维及其它可以用于管道修复的纤维。

[0041] 另一方面,本发明提供了一种预紧力和夹具组合修复方法,该方法包括以下步骤:

[0042] (a) 将纤维材料的一部分固定到管道;

[0043] (b) 对纤维材料施加预紧力,并预紧力作用下在管道上缠绕多层纤维材料以覆盖管道的需要修复的部位,在缠绕每一层纤维材料时对纤维材料涂刷或浸渍粘浸胶,以形成多层纤维复合材料;(c) 在该带预紧力的纤维复合材料外安装夹具,并在夹具和管道之间形成的空隙内灌注可固化聚合物,

[0044] 其中,所述预紧力的大小设计成克服带压管道修复后内部压力下降或/和管道轴向拉伸造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道的脱粘。

[0045] 有利地,步骤(a)包括用粘浸胶涂刷或浸渍纤维材料的该部分,将该部分固定到管道。

[0046] 有利地,所述预紧力 $F_{\text{预}}$ 满足以下公式选择为 $F_{\text{预1}}$ 、 $F_{\text{预2}}$ 、 $F_{\text{预3}}$ 之一、 $F_{\text{预1}}$ 、 $F_{\text{预2}}$ 、 $F_{\text{预3}}$ 任意两者之和、或者三者之和,

[0047] 即 $F_{\text{预}} = \{F_{\text{预1}}, F_{\text{预2}}, F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预2}}, F_{\text{预2}} + F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预2}} + F_{\text{预3}}\}$

[0048]
$$F_{\text{预1}} \geq \frac{P_{\text{维修}} \cdot D_{\text{管道}}}{2 \cdot t_{\text{管道}} \cdot E_{\text{管道}}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全1}}$$

[0049]
$$F_{\text{预2}} \geq \frac{\mu_{\text{管道}} \cdot \sigma_{\text{屈服}}}{E_{\text{管道}}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全2}}$$

[0050]
$$F_{\text{预3}} \geq \epsilon_{\text{抗拉}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全3}}$$

[0051] 其中, $P_{\text{维修}}$ 为管道维修时的压力; $D_{\text{管道}}$ 为管道外径; $t_{\text{管道}}$ 为管道壁厚; $f_{\text{安全1}}$ 、 $f_{\text{安全2}}$ 、 $f_{\text{安全3}}$ 为安全系数,其大于0且小于等于100; $t_{\text{单层纤维}}$ 为单层纤维材料的理论厚度; $b_{\text{纤维幅宽}}$ 为纤维宽度; $E_{\text{纤维}}$ 为纤维的弹性模量; $E_{\text{管道}}$ 为管道材料的弹性模量; $\mu_{\text{管道}}$ 为管材的泊松比; $\sigma_{\text{屈服}}$ 为管材的屈服强度; $\epsilon_{\text{抗拉}}$ 为管材轴向载荷为抗拉强度时引起的管道环向塑性应变; $F_{\text{预1}}$ 为克服带压管道修复后内部压力下降造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预2}}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸弹性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预3}}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸塑性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预}}$ 为施加在单层纤维材料的预紧力。

[0052] 有利地,在步骤(a)中固定的纤维材料的该部分的长度选择为使得在步骤(b)中纤维材料相对管道不滑动。

[0053] 有利地,所述部分的所述长度首先基于以下公开来计算:

[0054]
$$L_{\text{初始固定}} \geq \frac{F_{\text{预}}}{b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{界面剪切}}}$$

[0055] 当通过以上公式计算得出的结果小于等于 $\pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,即 $L_{\text{初始固定}} \leq \pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,那么将计算得出的结果作为在步骤(a)中粘贴的纤维材料的该部分的长度;

[0056] 当通过以上公式计算得出的结果大于 $\pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,即 $L_{\text{初始固定}} > \pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,那么将通过以下公式计算得出的结果作为在步骤(a)中粘贴的纤维材料的该部分的长度:

[0057]
$$L_{\text{初始固定}} \geq \frac{F_{\text{预}} - \pi \cdot D_{\text{管道}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{界面剪切}}}{b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{层间剪切}}} + \pi \cdot D_{\text{管道}}$$

[0058] 其中, $\tau_{\text{界面剪切}}$ 为管道与纤维材料界面的结合剪切强度; $\tau_{\text{层间剪切}}$ 为相邻两层纤维材料

层之间的结合剪切强度; $L_{\text{初始固定}}$ 为预紧力加载前,纤维材料固定到管道的初始长度。

[0059] 有利地,所述纤维材料是单向纤维材料,步骤(b)包括:

[0060] (b1)在预紧力作用下缠绕一层或多层环向纤维材料,同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶,接着铺设轴向纤维材料,同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶,重复多次直到完成修复作业;或者

[0061] (b2)铺设轴向纤维材料,同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶,接着在预紧力作用下缠绕一层或多层环向纤维材料,同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶,重复多次直到完成修复作业。

[0062] 有利地,所述纤维材料是双向纤维材料,缠绕多层纤维材料包括在预紧力下连续地缠绕多层双向纤维材料,在缠绕每一层双向纤维材料时在双向纤维材料表面涂覆粘浸胶,从而形成多层双向纤维复合材料。

[0063] 又一方面,本发明提供了一种修复的管道,所述管道包括需要增厚的管道段或带有缺陷的管道段以及围绕该需要增厚的管道段或带有缺陷的管道段缠绕多层的纤维材料,所述纤维材料被涂刷或浸渍有粘浸胶,以形成纤维复合材料,并且所述纤维复合材料在预紧力的状态下被施加到管道段,其中,该预紧力的大小设计成克服带压管道修复后内部压力下降或/和管道轴向拉伸造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道的脱粘。

[0064] 有利地,所述预紧力 $F_{\text{预}}$ 满足以下公式选择为 $F_{\text{预1}}$ 、 $F_{\text{预2}}$ 、 $F_{\text{预3}}$ 之一、 $F_{\text{预1}}$ 、 $F_{\text{预2}}$ 、 $F_{\text{预3}}$ 任意两者之和、或者三者之和,

[0065] 即: $F_{\text{预}} = \{F_{\text{预1}}, F_{\text{预2}}, F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预2}}, F_{\text{预2}} + F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预2}} + F_{\text{预3}}\}$

[0066]
$$F_{\text{预1}} \geq \frac{P_{\text{维修}} \cdot D_{\text{管道}}}{2 \cdot t_{\text{管道}} \cdot E_{\text{管道}}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全1}}$$

[0067]
$$F_{\text{预2}} \geq \frac{\mu_{\text{管道}} \cdot \sigma_{\text{屈服}}}{E_{\text{管道}}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全2}}$$

[0068]
$$F_{\text{预3}} \geq \varepsilon_{\text{抗拉}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全3}}$$

[0069] 其中, $P_{\text{维修}}$ 为管道维修时的压力; $D_{\text{管道}}$ 为管道外径; $t_{\text{管道}}$ 为管道壁厚; $f_{\text{安全1}}$ 、 $f_{\text{安全2}}$ 、 $f_{\text{安全3}}$ 为安全系数,其大于0且小于等于100; $t_{\text{单层纤维}}$ 为单层纤维材料的理论厚度; $b_{\text{纤维幅宽}}$ 为纤维宽度; $E_{\text{纤维}}$ 为纤维的弹性模量; $E_{\text{管道}}$ 为管道材料的弹性模量; $\mu_{\text{管道}}$ 为管材的泊松比; $\sigma_{\text{屈服}}$ 为管材的屈服强度; $\varepsilon_{\text{抗拉}}$ 为管材轴向载荷为抗拉强度时引起的管道环向塑性应变; $F_{\text{预1}}$ 为克服带压管道修复后内部压力下降造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预2}}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸弹性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预3}}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸塑性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预}}$ 为施加在单层纤维材料的预紧力。

[0070] 有利地,所述纤维材料是单向纤维材料,在带有缺陷的管道段上交替缠绕有一层或多层环向纤维和轴向纤维。

[0071] 有利地,所述纤维材料是双向纤维材料,在带有缺陷的管道段上连续地缠绕有多层双向纤维材料。

[0072] 有利地,所述修复的管道还包括夹具,所述夹具围绕该纤维复合材料安装,在夹具与该涂覆有纤维复合材料的管道段之间形成有空隙;以及灌注在所述空隙内的可固化聚合物。

[0073] 有利地,该夹具由多个部分组成,在该夹具上设有一个或多个灌注孔及一个或多个排气孔。

附图说明

[0074] 在下面结合附图详细描述的本发明的优选实施方式中,本发明的优点和目的可以得到更好地理解。为了在附图中更好地显示各部件的关系,附图并非按比例绘制。

[0075] 图1示出根据本发明的用纤维复合材料对管道的缺陷进行修复的方法的流程图。

[0076] 图2示出根据本发明的用预紧力和夹具组合修复管道的方法的流程图。

[0077] 图3示出根据本发明的管道及其缺陷示意图。

[0078] 图4示出根据本发明的修复的管道的分解图。

[0079] 图5示出根据本发明的修复的管道的示意图。

具体实施方式

[0080] 将参照附图详细描述根据本发明的各个实施例。这里,需要注意的是,在附图中,将相同的附图标记赋予基本上具有相同或类似结构和功能的组成部分,并且将省略关于它们的重复描述。术语“依次包括A、B、C等”仅指示所包括的部件A、B、C等的排列顺序,并不排除在A和B之间和/或B和C之间包括其它部件的可能性。

[0081] 本说明书的附图为示意图,辅助说明本发明的构思,示意性地表示各部分的形状及其相互关系。

[0082] 下面,参照图1,详细描述根据本发明的方法的优选实施方式。

[0083] 如图1所示,本发明的用纤维复合材料对管道的需要修复的部位进行修复的方法包括以下步骤:(a)将纤维材料的一部分固定到管道;(b)对纤维材料施加预紧力,并在预紧力作用下在管道上缠绕多层纤维材料以覆盖管道的需要修复的部位,在缠绕每一层纤维材料时对纤维材料涂刷或浸渍粘浸胶,以形成多层纤维复合材料;(c)在预紧力施加的状态下,完成多层纤维复合材料的固化。管道的需要修复的部位包括管道的缺陷,该缺陷位于管道本体、直焊缝、螺旋焊缝或环焊缝等部位,管道的缺陷包括体积型缺陷、平面型缺陷、弥散损伤型缺陷或几何型缺陷。纤维材料选自芳纶纤维、聚乙烯纤维、碳纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维、硼纤维、凯夫拉纤维、碳化硅纤维、氧化铝纤维和陶瓷纤维。不同的纤维的弹性模量不同,这导致在现场施加预紧力不同。纤维的弹性模量越小,对单层纤维施加预紧力越小,那么在现场更易施加预紧力。以碳纤维、玻璃纤维、凯夫拉纤维和玄武岩纤维为例,四者的弹性模量如下表所示:

[0084]	纤维类型	碳纤维	玻璃纤 维	凯夫拉纤 维	玄武岩纤 维
	纤维方向弹性模量 (GPa)	213	85	112	100

[0085] 由此可见,玻璃纤维的弹性模量最小,那么对单层玻璃纤维施加预紧力最小,在现

场更便于实施。因此,优选地采用玻璃纤维作为纤维复合材料。

[0086] 上述预紧力的大小设计成克服带压管道修复后内部压力下降或/和管道轴向拉伸造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道的脱粘。具体地,预紧力 $F_{\text{预}}$ 选择为 $F_{\text{预1}}$ 、 $F_{\text{预2}}$ 、 $F_{\text{预3}}$ 之一、 $F_{\text{预1}}$ 、 $F_{\text{预2}}$ 、 $F_{\text{预3}}$ 任意两者之和、或者三者之和,

[0087] 即: $F_{\text{预}} = \{F_{\text{预1}}, F_{\text{预2}}, F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预2}}, F_{\text{预2}} + F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预3}}, F_{\text{预1}} + F_{\text{预2}} + F_{\text{预3}}\}$

[0088] $F_{\text{预1}} \geq \frac{P_{\text{维修}} \cdot D_{\text{管道}}}{2 \cdot t_{\text{管道}} \cdot E_{\text{管道}}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全1}}$

[0089] $F_{\text{预2}} \geq \frac{\mu_{\text{管道}} \cdot \sigma_{\text{屈服}}}{E_{\text{管道}}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全2}}$

[0090] $F_{\text{预3}} \geq \varepsilon_{\text{抗拉}} \cdot t_{\text{单层纤维}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot E_{\text{纤维}} \cdot f_{\text{安全3}}$

[0091] 其中, $P_{\text{维修}}$ 为管道维修时的压力; $D_{\text{管道}}$ 为管道外径; $t_{\text{管道}}$ 为管道壁厚; $f_{\text{安全1}}$ 、 $f_{\text{安全2}}$ 、 $f_{\text{安全3}}$ 为安全系数,其大于0且小于等于100,优选地大于0小于等于50,更优选地大于0小于等于2.5,当安全系数为0.5时,表示管内压力变化下降到维修时压力的一半,当安全系数为1时,表示管内压力从维修时的压力下降到0; $t_{\text{单层纤维}}$ 为单层纤维材料的理论厚度; $b_{\text{纤维幅宽}}$ 为纤维宽度; $E_{\text{纤维}}$ 为纤维的弹性模量; $E_{\text{管道}}$ 为管道材料的弹性模量; $\mu_{\text{管道}}$ 为管材的泊松比; $\sigma_{\text{屈服}}$ 为管材的屈服强度; $\varepsilon_{\text{抗拉}}$ 为管材轴向载荷为抗拉强度时引起的管道环向塑性应变; $F_{\text{预1}}$ 为克服带压管道修复后内部压力下降造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预2}}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸弹性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预3}}$ 为克服带压管道修复后管道轴向拉伸塑性应变造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道脱粘的预紧力; $F_{\text{预}}$ 为施加在单层纤维材料的预紧力。

[0092] 在步骤(a)中,优选地用粘浸胶涂刷或浸渍纤维材料的该部分,然后将该部分固定到管道。应明白,其它固定方式也是可能的,只要能够将纤维材料的一部分固定到管道,以便施加预紧力即可。

[0093] 在步骤(a)中粘贴的纤维材料的该部分的长度基于预紧力确定,以确保在步骤(b)的缠绕期间保证纤维材料相对于管道不打滑。

[0094] 该长度可以评经验来确定,另外,优选地是,该长度可以通过以下公开来计算:

[0095] $L_{\text{初始固定}} \geq \frac{F_{\text{预}}}{b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{界面剪切}}}$

[0096] 当通过以上公式计算得出的结果小于等于 $\pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,即 $L_{\text{初始固定}} \leq \pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,那么将计算得出的结果作为在步骤(a)中粘贴的纤维材料的该部分的长度;

[0097] 当通过以上公式计算得出的结果大于 $\pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,即 $L_{\text{初始固定}} > \pi \cdot D_{\text{管道}}$ 时,那么将通过以下公式计算得出的结果作为在步骤(a)中粘贴的纤维材料的该部分的长度:

[0098] $L_{\text{初始固定}} \geq \frac{F_{\text{预}} - \pi \cdot D_{\text{管道}} \cdot b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{界面剪切}}}{b_{\text{纤维幅宽}} \cdot \tau_{\text{层间剪切}}} + \pi \cdot D_{\text{管道}}$

[0099] 其中, $\tau_{\text{界面剪切}}$ 为管道与纤维材料界面的结合剪切强度; $\tau_{\text{层间剪切}}$ 为相邻两层纤维材料之间的结合剪切强度; $L_{\text{初始固定}}$ 为预紧力加载前,纤维材料固定到管道的初始长度。

[0100] 在步骤(a)中的粘浸胶可以是快速粘浸胶,以实现纤维材料与管道的快速粘贴。粘浸胶用于渗浸纤维材料、纤维材料与金属材料如管体之间、纤维材料之间的粘结。在步骤

(a)中使用的粘浸胶和在步骤(b)中使用的粘浸胶不同,有利地,在步骤(a)中使用的粘浸胶固化速度比在步骤(b)中使用的粘浸胶固化速度快。粘浸胶可分为冬用和夏用两种。冬用和夏用配方略有不同,通常可通过调整固化促进剂的用量来实现。当使用环境温度降低时,可适当加大固化促进剂的用量。本领域普通技术人员根据本领域的常识,或通过简单试验即可知道在某一使用温度下应该如何调节固化促进剂的用量。

[0101] 用于涂刷或浸渍纤维材料的粘浸胶可以是环氧类或不饱和聚酯类胶。环氧类胶按类别可分为单组分环氧胶粘剂、双组分环氧胶粘剂和多组分环氧胶粘剂;主要包括纯环氧树脂胶粘剂和改性环氧树脂胶粘剂。改性环氧树脂胶例如有酚醛-环氧树脂胶粘剂、尼龙-环氧树脂胶粘剂、丁腈-环氧树脂胶粘剂、丙烯酸-环氧树脂胶粘剂、聚硫-环氧树脂胶粘剂和聚氨酯-环氧树脂胶粘剂等。

[0102] 优选地,粘浸胶由甲乙两组分组成,甲乙两组分的配比为(3-4):1,其中甲组分包括:

[0103] (A):68%-84%(重量)的液态环氧树脂;

[0104] (B):10%-15%(重量)的丙烯酸酯液体橡胶;

[0105] (C):5%-15%(重量)的气相二氧化硅;和

[0106] (D):1%-2%(重量)的颜料;

[0107] 乙组分包括:

[0108] (E):70%-90%(重量)的改性胺类环氧固化剂;和

[0109] (F):10%-30%(重量)的环氧固化促进剂2,4,6-三(二甲氨基)-甲基苯酚。

[0110] 甲组分(A)的环氧树脂是双酚A型环氧树脂或乙烯基改性环氧树脂;乙组分(E)的固化剂是改性脂肪族胺。

[0111] 粘浸胶可按下述方法制备:将配套树脂的甲乙组分分别混合和储存,使用前按规定比例准确称量后放入容器内,用搅拌器拌合均匀。一次配胶量应以可在使用时间内用完为宜。

[0112] 本发明的方法还包括在步骤(a)之前,对焊缝和焊缝周围进行表面清理,并在清理后的表面涂布修补胶层和/或底胶层,所述修补胶层和所述底胶层是由环氧类胶涂布而成的。

[0113] 本发明所用的修补胶用于管道外损伤缺陷的填平修补,底胶层的使用有助于纤维复合材料与管体间的粘结。类似于粘浸胶,修补胶可分为冬用和夏用两种。对于修补胶和底胶层的配方,本领域技术人员是熟知的,因此不再赘述。

[0114] 当纤维材料是包括环向纤维和轴向纤维的单向纤维材料,在步骤(b)中,交替缠绕环向纤维和轴向纤维。也就是说,在预紧力作用下缠绕环向纤维材料,同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶,接着铺设轴向纤维材料,同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶,重复多次直到完成修复作业;或者铺设轴向纤维材料,同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶,接着在预紧力作用下缠绕环向纤维材料,同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶,重复多次直到完成修复作业。

[0115] 有利地,轴向纤维材料选择高弹性模量的纤维材料,以保证轴向修复效果;环向纤维材料选择低弹性模量和/或单层厚度低的纤维材料,以减小为达预紧修复效果所需的环向施工拉力值。

[0116] 修复时对环向纤维复合材料施加预紧力的同时缠绕,在预紧力作用下,环向纤维复合材料将产生拉伸变形,通过控制预紧力的大小,可以控制复合材料的变形量。具体地,对环向纤维复合材料的变形量的控制应满足:1)当管道内压从服役压力降低时,管道发生径向变形,管径变小,预紧力造成复合材料的变形量应大于管道压力变化造成的管径变形;2)当管道受到轴向应力时,轴向可能发生屈服,预紧力造成复合材料的变形量应能在管道在屈服点时仍保证复合材料和管道外壁的粘接。

[0117] 对轴向纤维复合材料的厚度和轴向长度的控制应满足:轴向长度应保证管道和复合材料的粘接力能够足够承担管道的轴向载荷,厚度应保证限制管道缺陷处的变形。

[0118] 当纤维材料是双向纤维材料时,缠绕多层纤维材料包括在预紧力下连续地缠绕多层双向纤维材料,在缠绕每一层双向纤维材料时在双向纤维材料表面涂覆粘浸胶,从而形成多层双向纤维复合材料。

[0119] 需要明白的是,本发明通过对管道的轴向修复按照恢复管道轴向承载力至完好管道水平进行设计,而不是常规的按环向修复层数的一半来设计轴向修复。这使得管道缺陷处的轴向修复,尤其是环焊缝缺陷及其他周向缺陷,不单单恢复至正常内压承载水平,还使其轴向承载力恢复至完好管道水平,这样更适用于复杂地质条件或其他轴向外部应力存在的情况,因为地质变化等易对管道造成额外的很大的轴向应力。

[0120] 同时,带预紧力的纤维复合材料对管道的修复技术,通过修复期间及固化后始终保持复合材料带有一定预紧力,预紧力按等效于管内压力由零升高至运行压力时由于管体膨胀造成的外部复合材料修复层拉伸变形的力计算,这样便可以使运行压力修复达到在零内压修复的效果,从而避免修复层与管道界面的剪切强度因为内压大幅降低波动而降低的影响。

[0121] 图2示出用预紧力和夹具组合修复管道的方法,包括以下步骤:

[0122] (a) 将纤维材料的一部分固定到管道;

[0123] (b) 对纤维材料施加预紧力,并预紧力作用下在管道上缠绕多层纤维材料以覆盖管道的需要修复的部位,在缠绕每一层纤维材料时对纤维材料涂刷或浸渍粘浸胶,以形成多层纤维复合材料;

[0124] (c) 在该带预紧力的纤维复合材料外安装夹具,并在夹具和管道之间形成的空隙内灌注可固化聚合物,

[0125] 其中,预紧力的大小设计成克服带压管道修复后内部压力下降或/和管道轴向拉伸造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道的脱粘。

[0126] 步骤(a)包括用粘浸胶涂刷或浸渍纤维材料的该部分,将该部分固定到管道。

[0127] 在夹具和管道之间形成的空隙内灌注可固化聚合物包括:

[0128] (1) 根据管道的形状和大小制作夹具,该夹具由多个部分组成,在该夹具上设有一个或多个灌注孔及一个或多个排气孔;

[0129] (2) 将所述夹具的各部分套在需要修复的管道之外;

[0130] (3) 将所述夹具的各部分之间以焊接或螺栓连接的形式连接;

[0131] (4) 将所述夹具的端部与需要修复的管道之间以焊接或用密封材料密封的方式,或二者任意结合的方式紧密连接;

[0132] (5) 通过在所述夹具上预留的灌注孔,向夹具与需要修复的管道之间形成的空隙

中灌注可固化聚合物;以及

[0133] (6)使所灌注的聚合物固化。

[0134] 密封材料包括具有良好密封性能的橡胶、硅胶、可固化树脂、胶泥、加强钢筋或石棉绳,或其中至少两种材料的任意组合。优选地,密封材料是环氧树脂。

[0135] 灌注孔和排气孔处于相对或接近于相对的位置。

[0136] 可固化聚合物选自液体橡胶、纤维素衍生物、乙烯聚合物或其共聚物、饱和或不饱和聚酯、聚丙烯酸酯、聚醚、聚砜、氨基塑料、环氧树脂、酚醛树脂、聚酰亚胺树脂、氨基树脂、不饱和聚酯树脂或上述任一物质的改性物。

[0137] 可固化聚合物的弹性模量大于0.1Gpa、优选地大于1GPa、更优选地大于2GPa,抗压强度大于10MPa、优选地大于20MPa、更优选地大于50MPa。

[0138] 接着,参考图3至图5来描述根据本发明的修复的管道的示意图。

[0139] 该修复的管道包括带有缺陷2的管道段1以及围绕该带有缺陷的管道段缠绕多层的纤维复合材料3,所述纤维复合材料被涂刷或浸渍有粘浸胶,并且所述纤维复合材料被施加预紧力,其中,该预紧力的大小设计成克服带压管道修复后内部压力下降或/和管道轴向拉伸造成管道径向收缩而引起纤维复合材料层与管道的脱粘。

[0140] 纤维材料可以是单向纤维材料,在预紧力作用下缠绕一层或多层环向纤维材料,同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶,接着铺设一层或多层轴向纤维材料,同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶,重复多次直到完成修复作业;或者铺设一层或多层轴向纤维材料,同时在该轴向纤维材料表面涂覆粘浸胶,接着在预紧力作用下缠绕一层或多层环向纤维材料,同时在该环向纤维材料表面涂覆粘浸胶,重复多次直到完成修复作业。

[0141] 纤维材料也可以是双向纤维材料,在带有缺陷的管道段上连续地缠绕有双向纤维材料,以形成双向纤维复合材料。

[0142] 所述修复的管道还包括夹具,该夹具由两部分组成,即第一半夹具4和第二半夹具5。应明白,夹具也可以由多于两个的部分组成,只要能够实现本发明的目的即可。夹具根据管道的形状和大小制作,所述夹具的形状与管道相似,但其尺寸大于所述管道,以在夹具和管道之间形成空间,从而灌注可固化聚合物。该夹具上设有一个或多个灌注孔6及一个或多个排气孔7。在夹具安装到纤维复合材料外之后,在夹具与管道之间涂覆密封材料8。

[0143] 本发明的修复的管道的轴向承载力可以恢复至完好管道水平,更适用于复杂地质条件或其他轴向外部应力存在的情况,因为地质变化等易对管道造成额外的很大的轴向应力。同时,修复的管道通过带预紧力的纤维复合材料,可以使运行压力修复达到在零内压修复的效果,从而避免修复层与管道界面的剪切强度因为内压大幅降低波动而降低的影响。

[0144] 以上说明仅仅是对本发明的解释,使得本领域普通技术人员能完整地实施本方案,但并不是对本发明的限制。上述披露的各技术特征并不限于已披露的与其它特征的组合,本领域技术人员还可根据发明目的进行各技术特征之间的其它组合,以实现本发明之目的为准。

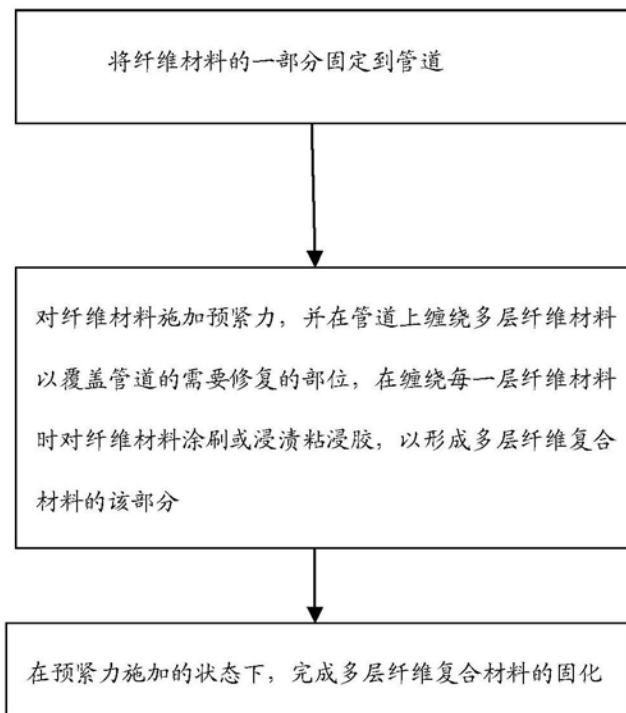


图1

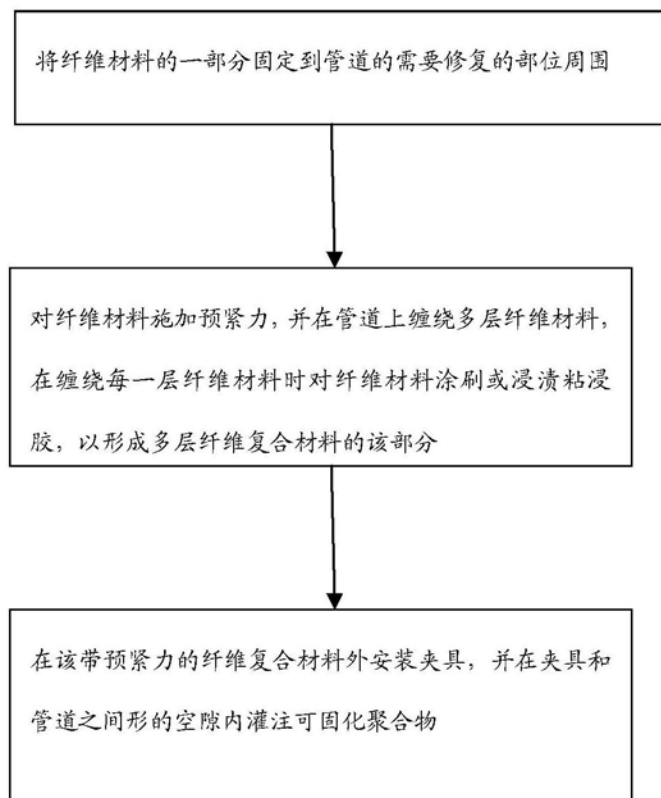


图2

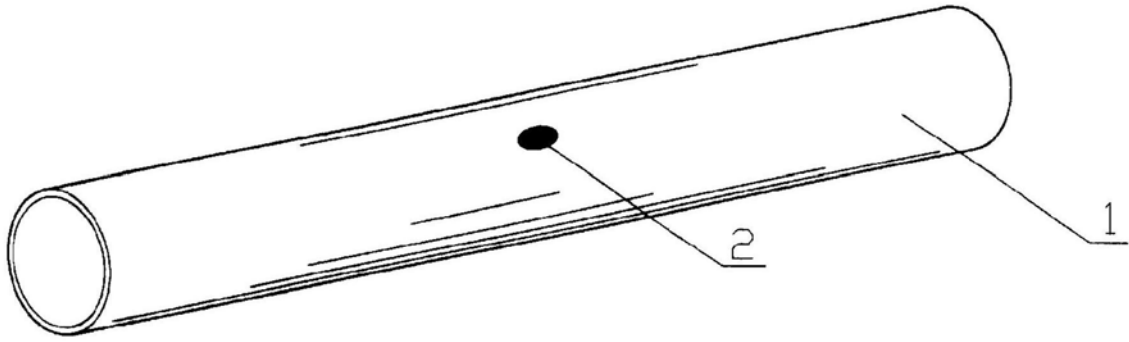


图3

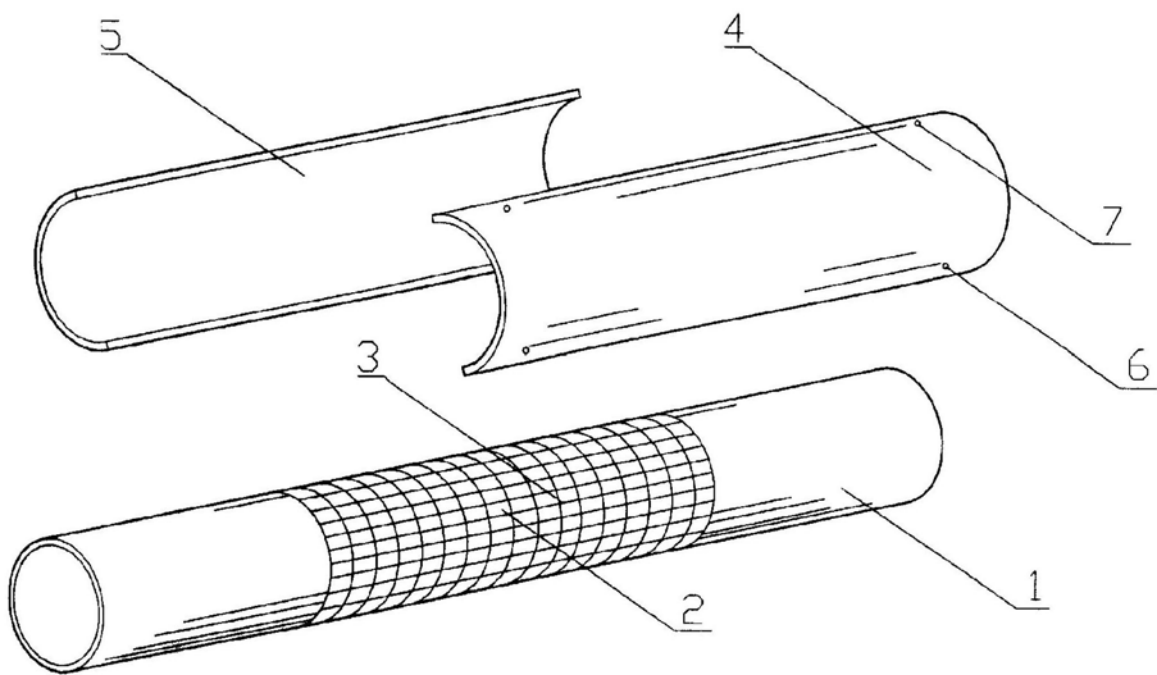


图4

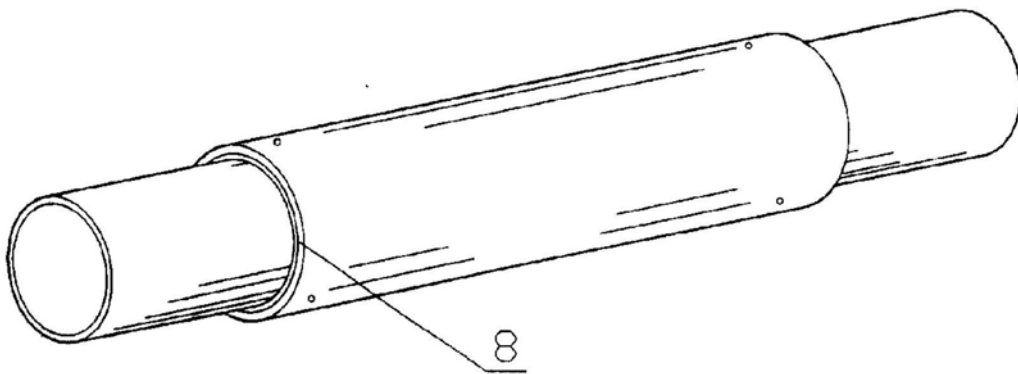


图5