



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116348704 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 27

(21) 申请号 202180072091.8

(22) 申请日 2021.09.22

(30) 优先权数据

17/030,729 2020.09.24 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.04.21

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2021/051565 2021.09.22

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/066777 EN 2022.03.31

(71) 申请人 圣三一海湾设备控股有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 K·S·弗朗西斯

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287

专利代理师 蒋林清

(51) Int.Cl.

F17D 5/04 (2006.01)

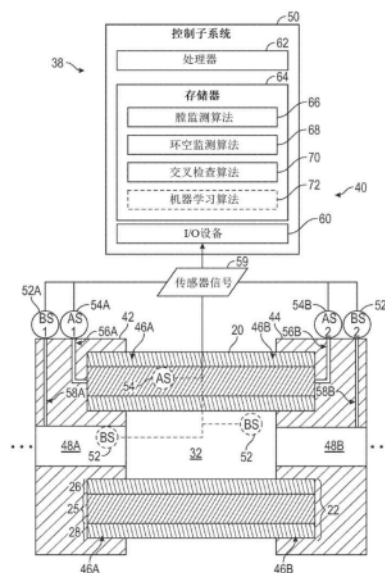
权利要求书6页 说明书22页 附图8页

(54) 发明名称

腔和环空监测管道缺口检测系统和方法

(57) 摘要

本发明公开了用于实施包括管段和监测设备的系统的技术。所述管段包括限定管腔和所述管段的管子环空内的流体导管的管子。所述监测设备包括：多个腔传感器，所述多个腔传感器流体地连接到所述管段的所述管腔；环空传感器，所述环空传感器流体地连接到限定在所述管段的所述管子环空内的所述流体导管；以及控制子系统。所述控制子系统至少部分地基于由所述腔传感器确定以指示存在于所述管段的所述管腔内的腔流体参数的第一传感器数据以及由所述环空传感器确定以指示存在于所述管段的所述管子环空内的环空流体参数的第二传感器数据来确定所述管段的所述管子中是否存在缺口。



1. 一种系统,其包括:

管段,其中所述管段包括限定管腔和所述管段的管子环空内的流体导管的管子;以及
监测设备,其中所述监测设备包括:

多个腔传感器,所述多个腔传感器流体地连接到所述管段的所述管腔;

环空传感器,所述环空传感器流体地连接到限定在所述管段的所述管子环空内的所述
流体导管;以及

控制子系统,所述控制子系统通信地耦接到所述多个腔传感器和所述环空传感器,其
中所述控制子系统被配置为:至少部分地基于由所述多个腔传感器确定以指示存在于所述
管段的所述管腔内的腔流体参数的第一传感器数据以及由所述环空传感器确定以指示存
在于所述管段的所述管子环空内的环空流体参数的第二传感器数据来确定所述管段的所
述管子中是否存在缺口。

2. 根据权利要求1所述的系统,其包括管道配件,其中:

所述管段的所述管子的一端固定并密封在所述管道配件的管腔中,使得所述管道配件
的装配腔流体地连接到所述管段的所述管腔;

所述管道配件包括通向所述管道配件的所述装配腔的腔监测端口;以及

所述多个腔传感器中的腔传感器流体地连接到所述管道配件上的所述腔监测端口。

3. 根据权利要求2所述的系统,其包括另一管道配件,其中:

所述管段的所述管子的另一端固定并密封在其他管道配件的另一管腔中,使得所述其
他管道配件的另一装配腔流体地连接到所述管段的所述管腔;

所述其他管道配件包括通向所述其他管道配件的其他装配腔的另一腔监测端口;以及

所述多个腔传感器中的另一腔传感器流体地连接到所述管道配件上的其他腔监测端
口。

4. 根据权利要求1所述的系统,其包括管道配件,其中:

所述管段的所述管子的一端固定并密封在所述管道配件的管腔中,使得所述管道配件
的装配腔流体地连接到所述管段的所述管腔;

所述管道配件包括环空排放口,所述环空排放口流体地连接到由所述管段的所述管子
环空限定的所述流体导管;以及

所述环空传感器流体地连接到所述管道配件上的所述环空排放口。

5. 根据权利要求4所述的系统,其包括:

另一管道配件;以及

另一环空传感器,其中:

所述管段的所述管子的另一端固定并密封在其他管道配件的另一管腔中,

使得所述其他管道配件的另一装配腔流体地连接到所述管段的所述管腔;

所述其他管道配件包括另一环空排放口,所述另一环空排放口流体地连接到限定在所
述管段的所述管子环空内的所述流体导管;以及

其他环空传感器流体地连接到所述管道配件上的其他环空排放口。

6. 根据权利要求1所述的系统,其中所述控制子系统被配置为:

至少基于由所述多个腔传感器确定的所述第一传感器数据来确定指示所述管段的所
述管子中是否可能存在缺口的腔监测完整性状态;

基于由所述环空传感器确定的所述第二传感器数据来确定指示所述管段的所述管子中是否可能存在缺口的环空监测完整性状态;以及

基于所述膛监测完整性状态和所述环空监测完整性状态来确定指示所述管段的所述管子中是否实际存在缺口的交叉检查完整性状态。

7. 根据权利要求6所述的系统,其中所述控制子系统被配置为至少部分地通过以下方式来确定所述膛监测完整性状态:

至少部分地基于由所述多个膛传感器确定的所述第一传感器数据来确定各自与所述多个膛传感器中的膛传感器相关联的多个膛压力分布;

确定预期由突然形成通过所述管段的所述管子的缺口产生的负压力波引起的缺口膛压力模式;

当在所述多个膛压力分布中检测到所述缺口膛压力模式时,确定所述膛监测完整性状态以指示所述管段的所述管子中可能存在缺口;以及

当在所述多个膛压力分布中未检测到所述缺口膛压力模式时,确定所述膛监测完整性状态以指示所述管段的所述管子中不可能存在缺口。

8. 根据权利要求7所述的系统,其中,当所述管段的所述管子中可能存在缺口时,所述控制子系统被配置为:至少部分地基于当在所述多个膛传感器中的不同膛传感器处检测到所述缺口膛压力模式时来确定所述缺口沿所述管段的可能位置。

9. 根据权利要求6所述的系统,其中所述控制子系统被配置为至少部分地通过以下方式来确定所述环空监测完整性状态:

基于由所述环空传感器确定的所述第二传感器数据来确定存在于所述管段的所述管子环空内的流体压力、流体流速、流体成分、流体温度或它们的任何组合;以及

确定所述环空监测完整性状态,以指示在以下情形下所述管段的所述管子中可能存在缺口:

所述管段的所述管子环空内的所述流体压力超过上限流体压力阈值或下降到下限流体压力阈值以下;

所述管段的所述管子环空内的所述流体流速超过上限流体流速阈值或下降到下限流体流速阈值以下;

所述管段的所述管子环空内的所述流体成分包括大于膛流体量阈值的膛流体或大于环境流体量阈值的外部环境流体;

所述管段的所述管子环空内的所述流体温度匹配预期环境温度或预期膛流体温度;或者

它们的任何组合。

10. 根据权利要求9所述的系统,其中,当所述管段的所述管子中可能存在缺口时,所述控制子系统被配置为至少部分地通过以下方式来确定所述环空监测完整性状态:

当所述管段的所述管子环空内的所述流体压力超过所述上限流体压力阈值时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体流速超过所述上限流体流速阈值时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体成分包括大于所述膛流体量阈值的膛流体时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体温度匹配所述预期膛流体温度时或它们的任何组合,确定所述环空监测完整性状态以指示所述管段的内阻隔层中可能存在所述缺口;以及

当所述管段的所述管子环空内的所述流体压力下降到所述下限流体压力阈值以下时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体流速下降到所述下限流体流速阈值以下时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体成分包括大于所述环境流体量阈值的外部环境流体时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体温度匹配所述预期外部环境温度时或它们的任何组合,确定所述环空监测完整性状态以指示所述管段的外阻隔层中可能存在所述缺口。

11. 根据权利要求6所述的系统,其中所述控制子系统被配置为至少部分地通过以下方式来确定所述交叉检查完整性状态:

当所述膛监测完整性状态指示可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示可能存在缺口时,以及当所述膛监测完整性状态指示不可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示可能存在缺口时,确定所述交叉检查完整性状态以指示所述管段的所述管子中实际存在缺口;以及

当所述膛监测完整性状态指示不可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示不可能存在缺口时,以及当所述膛监测完整性状态指示可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示不可能存在缺口时,确定所述交叉检查完整性状态以指示所述管段的所述管子中实际不存在缺口。

12. 根据权利要求6所述的系统,其中所述控制子系统被配置为:

当所述膛监测完整性状态指示可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示不可能存在缺口时,调整用于确定所述膛监测完整性状态的缺口膛压力模式,以降低负压力波灵敏度;以及

当所述膛监测完整性状态指示不可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示可能存在缺口时,调整用于确定所述膛监测完整性状态的所述缺口膛压力模式,以提高负压力波灵敏度。

13. 一种操作部署在管道系统中的监测设备的方法,所述方法包括:

至少部分地基于由所述监测设备中的多个膛传感器确定以指示存在于管段的管膛内的一个或多个膛流体参数的第一传感器数据,使用所述监测设备中的控制子系统来确定指示部署在所述管道系统中的管段中是否可能存在缺口的膛监测完整性状态;

至少部分地基于由所述监测设备中的一个或多个环空传感器确定以指示存在于限定在所述管段的管子环空中的自由空间内的一个或多个环空流体参数的第二传感器数据,使用所述控制子系统来确定指示所述管段中是否可能存在缺口的环空监测完整性状态;以及

至少部分地通过相互交叉检查所述膛监测完整性状态和所述环空监测完整性状态,使用所述控制子系统来确定指示所述管段中是否实际存在缺口的交叉检查完整性状态。

14. 根据权利要求13所述的方法,其中确定所述膛监测完整性状态包括:

至少部分地基于由所述多个膛传感器确定的所述第一传感器数据来确定各自与所述多个膛传感器中的膛传感器相关联的多个膛压力分布;

确定预期指示所述管段中存在缺口的缺口膛压力模式;

响应于确定在所述多个膛压力分布中检测到所述缺口膛压力模式而确定所述膛监测完整性状态以指示所述管段中可能存在缺口;以及

响应于确定在所述多个膛压力分布中未检测到所述缺口膛压力模式而确定所述膛监

测完整性状态以指示所述管段中不可能存在缺口。

15. 根据权利要求13所述的方法, 其中确定所述环空监测完整性状态包括:

基于由所述一个或多个环空传感器确定的所述第二传感器数据来确定存在于所述管段的所述管子环空内的流体压力、流体流速、流体成分、流体温度或它们的任何组合; 以及

响应于以下情形而确定所述环空监测完整性状态以指示所述管段中可能存在缺口:

确定所述管段的所述管子环空内的所述流体压力超过上限流体压力阈值;

确定所述管段的所述管子环空内的所述流体压力下降到下限流体压力阈值以下;

确定所述管段的所述管子环空内的所述流体流速超过上限流体流速阈值;

确定所述管段的所述管子环空内的所述流体流速下降到下限流体流速阈值以下;

确定所述管段的所述管子环空内的所述流体成分包括大于腔流体量阈值的腔流体;

确定所述管段的所述管子环空内的所述流体成分包括大于环境流体量阈值的外部环境流体;

确定所述管段的所述管子环空内的所述流体温度匹配预期外部环境温度;

确定所述管段的所述管子环空内的所述流体温度匹配预期腔流体温度; 或者它们的任何组合。

16. 根据权利要求13所述的方法, 其中确定所述交叉检查完整性状态包括:

响应于确定所述腔监测完整性状态指示可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示可能存在缺口, 以及响应于确定所述腔监测完整性状态指示不可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示可能存在缺口, 而确定所述交叉检查完整性状态以指示所述管段中实际存在缺口; 以及

响应于确定所述腔监测完整性状态指示不可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示不可能存在缺口, 以及响应于确定所述腔监测完整性状态指示可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示不可能存在缺口, 而确定所述交叉检查完整性状态以指示所述管段中实际存在缺口。

17. 根据权利要求13所述的方法, 其包括

响应于确定所述腔监测完整性状态指示可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示不可能存在缺口, 而调整用于确定所述腔监测完整性状态的缺口腔压力模式, 以降低负压力波灵敏度; 以及

响应于确定所述腔监测完整性状态指示不可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示可能存在缺口, 而调整用于确定所述腔监测完整性状态的缺口腔压力模式, 以提高负压力波灵敏度。

18. 根据权利要求17所述的方法, 其中:

调整所述缺口腔压力模式以降低负压力波灵敏度包括: 排除导致指示缺口可能存在的所述腔监测完整性状态的腔压力模式; 以及

调整所述缺口腔压力模式以提高负压力波灵敏度包括:

确定由所述第二传感器数据指示的所述一个或多个环空流体参数中的环空流体参数最初指示所述管段中可能存在缺口的时间;

确定在所述环空流体参数最初指示所述管段中可能存在缺口的时间附近的时间段内的腔压力分布; 以及

基于在所述膛压力分布期间出现的膛压力模式来设置所述缺口膛压力模式。

19. 一种监测设备, 其包括:

多个膛传感器, 其中所述多个膛传感器被配置为流体地连接到管段的管膛, 以使所述多个膛传感器能够确定指示存在于所述管段的所述管膛内的流体压力的第一传感器数据;

一个或多个环空传感器, 其中所述一个或多个环空传感器被配置为流体地连接到限定在所述管段的管子环空内的自由空间, 以使所述一个或多个环空传感器能够确定指示存在于所述管段的所述管子环空内的流体压力、流体温度、流体流速、流体成分或它们的任何组合的第二传感器数据; 以及

控制子系统, 所述控制子系统被配置为通信地耦接到所述多个膛传感器和所述一个或多个环空传感器, 并且被配置为:

基于指示存在于所述管段的所述管膛内的流体压力的所述第一传感器数据来确定指示所述管段中是否可能存在缺口的膛监测完整性状态;

基于指示存在于所述管段的所述管子环空内的所述流体压力、所述流体温度、所述流体流速、所述流体成分或它们的任何组合的所述第二传感器数据来确定指示所述管段中是否可能存在缺口的环空监测完整性状态; 以及

基于所述膛监测完整性状态和所述环空监测完整性状态来确定指示所述管段中是否实际存在缺口的交叉检查完整性状态。

20. 根据权利要求19所述的监测设备, 其中所述控制子系统被配置为:

至少部分地通过以下方式确定所述膛监测完整性状态:

至少部分地基于指示存在于所述管段的所述管膛内的流体压力的所述第一传感器数据来确定各自与所述多个膛传感器中的膛传感器相关联的多个膛压力分布;

确定预期指示所述管段中存在缺口的缺口膛压力模式;

当在所述多个膛压力分布中检测到所述缺口膛压力模式时, 确定所述膛监测完整性状态以指示所述管段中可能存在缺口; 以及

当在所述多个膛压力分布中未检测到所述缺口膛压力模式时, 确定所述膛监测完整性状态以指示所述管段中不可能存在缺口;

至少部分地通过以下方式确定所述环空监测完整性状态:

当所述管段的所述管子环空内的所述流体压力超过上限流体压力阈值时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体压力下降到下限流体压力阈值以下时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体流速超过上限流体流速阈值时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体流速下降到下限流体流速阈值以下时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体成分包括大于膛流体量阈值的膛流体时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体成分包括大于环境流体量阈值的外部环境流体时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体温度匹配预期环境温度时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体温度匹配预期膛流体温度时或它们的任何组合, 确定所述环空监测完整性状态以指示所述管段中可能存在缺口; 以及

当所述管段的所述管子环空内的所述流体压力未超过所述上限流体压力阈值时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体压力未下降到所述下限流体压力阈值以下时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体流速未超过所述上限流体流速阈值时、当所述管段的所

述管子环空内的所述流体流速未下降到所述下限流体流速阈值以下时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体成分不包括大于所述腔流体量阈值的腔流体时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体成分不包括大于所述环境流体量阈值的外部环境流体时、当所述管段的所述管子环空内的所述流体温度不匹配预期环境温度时、以及当所述管段的所述管子环空内的所述流体温度不匹配预期腔流体温度时,确定所述环空监测完整性状态以指示所述管段中不可能存在缺口;以及

至少部分地通过以下方式确定所述交叉检查完整性状态:

当所述腔监测完整性状态指示不可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示可能存在缺口时,确定所述交叉检查完整性状态以指示所述管段中实际存在缺口;以及

当所述腔监测完整性状态指示可能存在缺口并且所述环空监测完整性状态指示不可能存在缺口时,确定所述交叉检查完整性状态以指示所述管段中实际存在缺口。

21. 一种系统,其包括:

管段,其中所述管段包括限定管腔和所述管段的管子环空内的流体导管的管子;以及
监测设备,其中所述监测设备包括:

用于在所述管段的所述管腔中感测第一传感器数据的装置;

用于在所述管段的所述管子环空中感测第二传感器数据的装置;以及

用于至少部分地基于所述第一传感器数据和所述第二传感器数据来确定所述管段的所述管子中是否存在缺口的装置。

膛和环空监测管道缺口检测系统和方法

[0001] 背景

[0002] 本公开整体涉及管道系统,并且更特别地,涉及可以部署在管道系统中以便于检测管道系统中是否存在缺口(例如,泄漏或无意中打开)的监测设备。

[0003] 管道系统常用于将流体(诸如液体和/或气体)从流体源输送(例如,运送)到流体目的地。例如,管道系统可以用于输送一种或多种烃,诸如原油、石油、天然气或它们的任何组合。附加地或另选地,管道系统可以用于输送一种或多种其他类型的流体,诸如采出水、饮用水、淡水、压裂液、返排液、二氧化碳或它们的任何组合。

[0004] 为了便于输送流体,除了管道(例如,中线和/或端部)配件之外,管道系统还可以包括一个或多个管段,这些管段用于将管段连接到另一管道部件(诸如另一管道配件)、另一管段、流体源和/或流体目的地。通常,管段包括限定(例如,包封)管膛的管子,该管膛提供通过该管段的主要流体运送(例如,流动)路径。更具体地,管段的管子可以被实现为便于将在其管膛内运送的流体与该管段外部的环境条件隔离(例如,绝缘),例如,以降低所运送(例如,膛)流体流失到该外部环境条件和/或该外部环境条件污染所运送的流体(例如,清洁和/或饮用水)的可能性。

[0005] 在任何情况下,至少在一些情况下,部署在管道系统中的管段的管子可能被损坏,从而损害其结构完整性。例如,穿过管段管子的缺口(例如,孔或无意中打开)可能导致过量(例如,不期望的)流体从管段直接流出到该管段外部的环境条件和/或从该外部环境条件直接流入该管段。换句话讲,至少在一些情况下,在其中部署的管段具有缺口时操作管道系统可能会影响(例如,降低)该管道系统的操作效率和/或操作可靠性,例如,由于缺口导致所运送的流体流失到外部环境条件和/或被其污染。

发明内容

[0006] 提供该发明内容是为了介绍下文的具体实施方式中进一步描述的一系列概念。本发明内容不旨在识别所要求保护的主题的关键特征或必要特征,也不旨在用作限制所要求保护的主题的范围的辅助手段。

[0007] 在一个实施例中,系统包括管段和监测设备。管段包括限定管膛和该管段的管子环空内的流体导管的管子。监测设备包括:膛传感器,该膛传感器流体地连接到管段的管膛;环空传感器,该环空传感器流体地连接到限定在该管段的管子环空内的流体导管;以及控制子系统,该控制子系统通信地耦接到该膛传感器和该环空传感器。控制子系统至少部分地基于由膛传感器确定以指示存在于管段的管膛内的膛流体参数的第一传感器数据以及由环空传感器确定以指示存在于该管段的管子环空内的环空流体参数的第二传感器数据来确定该管段的管子中是否存在缺口。

[0008] 在另一实施例中,操作部署在管道系统中的监测设备的方法包括:至少部分地基于由该监测设备中的多个膛传感器确定以指示存在于管段的管膛内的一个或多个膛流体参数的第一传感器数据,使用该监测设备中的控制子系统来确定指示部署在该管道系统中的该管段中是否可能存在缺口的膛监测完整性状态。另外,该方法包括:至少部分地基于由

该监测设备中的一个或多个环空传感器确定以指示存在于限定在管段的管子环空中的自由空间内的一个或多个环空流体参数的第二传感器数据,使用控制子系统来确定指示该管段中是否可能存在缺口的环空监测完整性状态。此外,该方法包括:至少部分地通过相互交叉检查膛监测完整性状态和环空监测完整性状态,使用控制子系统来确定指示管段中是否实际存在缺口的交叉检查完整性状态。

[0009] 在另一实施例中,监测设备包括膛传感器、一个或多个环空传感器、以及通信地耦接到该膛传感器和该一个或多个环空传感器的控制子系统。膛传感器将流体地连接到管段的管膛,以使多个膛传感器能够确定指示存在于该管段的管膛内的流体压力的第一传感器数据。一个或多个环空传感器将流体地连接到限定在管段的管子环空内的自由空间,以使该一个或多个环空传感器能够确定指示存在于该管段的管子环空内的流体压力、流体温度、流体流速、流体成分或它们的任何组合的第二传感器数据。控制子系统基于指示存在于管段的管膛内的流体压力的第一传感器数据来确定指示该管段中是否可能存在缺口的膛监测完整性状态,基于指示存在于该管段的管子环空内的流体压力、流体温度、流体流速、流体成分或它们的任何组合的第二传感器数据来确定指示该管段中是否可能存在缺口的环空监测完整性状态,并基于该膛监测完整性状态和该环空监测完整性状态来确定指示该管段中是否实际存在缺口的交叉检查完整性状态。

附图说明

[0010] 图1是根据本公开的实施例的包括管段和管道配件的管道系统的示例的框图。

[0011] 图2是根据本公开的实施例的图1的管段的示例的侧视图,该管段包括由其管子限定的管膛以及在其管子的环空内实现的流体导管。

[0012] 图3是根据本公开的实施例的图2的管段的一部分的示例,其中螺旋形流体导管在其管子的环空内实现。

[0013] 图4是根据本公开的实施例的管道系统的一部分的横截面图和监测设备的示例。

[0014] 图5是根据本公开的实施例的膛监测过程的示例的流程图。

[0015] 图6是根据本公开的实施例的用于确定缺口沿管段的可能位置的过程的示例的流程图。

[0016] 图7是根据本公开的实施例的环空监测过程的示例的流程图。

[0017] 图8是根据本公开的实施例的交叉检查过程的示例的流程图。

[0018] 图9是根据本公开的实施例的用于自适应地调整膛监测算法中使用的缺口膛压力模式的过程的示例的流程图。

[0019] 图10是根据本公开的实施例的用于在监测设备中实现虚拟传感器的过程的示例的流程图。

具体实施方式

[0020] 本公开的一个或多个具体实施例将参考附图在下文进行描述。如本文所用,术语“耦接”或“耦接到”可以指示建立直接或间接的连接,且因此不限于任一种,除非本身明确提及。术语“集合”可以指一个或多个项目。在可能的情况下,在附图中使用相似或相同的附图标记来标识共同或相同的特征。附图不一定按比例绘制。特别地,为了清楚的目的,某些

特征和/或附图的某些视图可能被放大地示出。

[0021] 本公开整体涉及管道系统,该管道系统可以被实现和/或操作为将流体(诸如液体和/或气体)从流体源输送(例如,运送)到流体目的地。通常,管道系统可以包括管道配件(诸如中线管道配件和/或管道端部配件),以及一个或多个管段。更具体地,管段通常可以固定并密封在一个或多个管道配件中,以便于将该管段流体地联接到另一管道部件(诸如另一管段)、另一管道配件、流体源和/或流体目的地。仅作为例示性的非限制性的示例,管道系统可以包括:固定到第一管段以便于将该第一管段流体地联接到流体源的第一管道端部配件,固定在该第一管段和第二管段之间以便于将该第一管段流体地联接到该第二管段的中线管道配件,以及固定到该第二管段以便于将该第二管段流体地联接到流体目的地的第二管道端部配件。

[0022] 在任何情况下,管段通常包括限定(例如,包封)管膛的管子,该管膛提供通过管段的主要流体运送(例如,流动)路径。更具体地,管段的管子可以被实现为便于将该管段外部的环境条件与其管膛内的条件以及因此流过其中的流体进行隔离。特别地,管段的管子可以主要被实现为阻止流体直接在该管段的管膛与其外部环境条件之间流动,例如,除了提供热、压力和/或电隔离(例如,绝缘)之外。

[0023] 为了便于改善流体隔离,在一些情况下,管段的管子可以用多个管子层来实现。例如,管段的管子可以包括内阻隔(例如,内衬)层和外阻隔(例如,屏蔽件和/或护套)层,它们各自被实施为延伸(例如,跨越)管段的长度。特别地,内阻隔层和外阻隔层可以各自被实现为连续的固体材料(诸如塑料)层,其沿管段的长度延伸,尽管至少在一些情况下,流体仍可逐渐渗透通过内阻隔层和/或外阻隔层。

[0024] 在一些情况下,管段的管子可以附加地包括一个或多个中间层,该中间层被实现在其内阻隔层和其外阻隔层之间,并且因此在该管段的管子环空中。特别地,为了便于提高其抗拉强度和/或其环向强度,在一些情况下,管段管子的中间层可以包括一层或多层增强(例如,压力铠装和/或拉伸铠装)层,每一层具有一个或多个固体(例如,增强)条,该固体条用与用于实现该管段管子的内阻隔层和/或外阻隔层的材料相比具有更高抗拉强度和/或更高线性弹性模数(例如,刚度)的材料来实现。例如,增强层中的固体条可以使用金属(诸如钢)来实现,而管段管子的内阻隔层和外阻隔层使用塑料(诸如高密度聚乙烯(HDPE))来实现。

[0025] 另外,在一些实施例中,管段的管子中的中间层可以被实现为限定该管段的管子环空内的自由空间(例如,间隙和/或流体导管),例如,以便于提高管段管子的柔性。仅作为例示性的非限制性的示例,中间(例如,增强)层可以至少部分地通过将固体条螺旋包裹在管段管子的内阻隔层周围来在管段管子中实现,使得相邻固体条包裹之间留下自由空间。然后,可以在中间层上实现另一(例如,中间或外阻隔)层以覆盖间隙,从而在管段管子的环空内限定螺旋形间隙。

[0026] 然而,在一些情况下,管段的管子可能被损坏,使得其完整性并且因此其在管段的管膛与该管段外部的环境条件之间提供隔离(例如,绝缘)的能力受到影响(例如,减少)。例如,穿过管段管子的缺口(例如,孔或无意中打开)可能导致过量(例如,不期望的)流体从管段直接流出到该管段外部的环境条件和/或从该外部环境条件直接流入该管段。换句话讲,至少在一些情况下,在其中部署的管段具有缺口时操作管道系统可能会影响(例如,降低)

该管道系统的操作效率和/或操作可靠性,例如,由于缺口导致所运送的流体流失到外部环境条件和/或被其污染。另外,在一些情况下,管段可能在管道的操作期间因此在管段的初始安装之后被损坏。

[0027] 因此,为了便于提高管道操作效率和/或管道操作可靠性,本公开提供了用于在管道系统中实现和/或操作监测设备以便于检测部署在该管道系统中的管段中是否存在缺口(例如,在该管道系统的操作期间)的技术。如下文将更详细地描述,为了便于确定管段中是否存在缺口,监测设备通常可以包括控制子系统,该控制子系统被实现和/或操作为运行(例如,进行和/或执行)膛监测算法(例如,过程)和环空监测算法(例如,过程)。特别地,可以执行膛监测算法以便于基于存在于管段的管膛内的一个或多个流体参数(诸如流体压力和/或流体流速)来确定该管段中是否可能存在缺口,同时可以执行环空监测算法以便于基于存在于该管段的管子中的一个或多个流体参数(诸如流体压力、流体流速、流体温度和/或流体成分)来确定该管段中是否可能存在缺口。

[0028] 因此,为了实现环空监测算法的性能,监测设备通常可以包括一个或多个环空传感器,每个环空传感器被实现为流体地连接到用管段的管子环空限定的自由空间并确定指示存在于该管段的该管子环空中的—个或多个流体参数的传感器数据。由于管段的管子被固定并密封在管道配件中,在一些实施例中,管道配件可以包括环空排放口,该环空排放口被实现为流体地连接到该管段的管子环空,并且环空传感器可以流体地连接到管道配件上的环空排放口,例如,直接地或经由一个或多个外部流体导管,诸如软管。然而,在一些实施例中,监测设备中的一个或多个环空传感器可以附加地或另选地直接布置在限定在管段的管子环空内的自由空间内。

[0029] 在任何情况下,为了实现膛监测算法的性能,监测设备通常可以包括多个膛传感器,每个膛传感器被实现为流体地连接到管段的管膛并确定指示存在于该管段的该管膛内的一个或多个流体参数的传感器数据。由于管段的管膛流体地连接到管道配件的装配膛,在一些实施例中,该管道配件可以包括膛监测口,该膛监测口被实现为流体地连接到该装配膛,并且膛传感器可以流体地连接到该膛监测口,例如,直接地或经由一个或多个外部流体导管,诸如软管。然而,在一些实施例中,监测设备中的一个或多个膛传感器可以附加地或另选地直接布置在管段的管膛内和/或直接布置在管道配件的装配膛内。

[0030] 尽管监测设备包括膛传感器和一个或多个环空传感器,但在一些实施例中,可以选择性地关闭该膛传感器或该一个或多个环空传感器,例如,以节省电力。为了能够选择性地关闭膛传感器或一个或多个环空传感器,在一些实施例中,控制子系统可以执行机器学习算法(例如,过程),以学习由膛传感器所确定的传感器数据指示的一个或多个膛流体参数与由一个或多个环空传感器所确定的传感器数据指示的一个或多个环空流体参数之间的一个或多个预期关系。在运行足够长的持续时间之后,膛传感器或一个或多个环空传感器可以被关闭,并且控制子系统可以至少部分地通过基于流体参数和与打开的传感器相关联的另一流体参数之间的学习到的预期关系确定与关闭的传感器相关联的流体参数来实现虚拟传感器代替该关闭的传感器。

[0031] 在任何情况下,膛监测算法通常可以以突然形成通过管段的管子的缺口会产生负压力波为前提,该负压力波从该管段的管膛内的缺口传播离开。然而,至少在一些情况下,指示膛流体压力的传感器数据可能包括例如可能无意中被解释为压力降的噪声。因此,在

一些实施例中,执行膛监测算法的控制子系统可以基于在由一个或多个膛传感器确定的传感器数据中是否检测到指示缺口的膛压力模式(例如,在过滤该传感器数据以移除其中噪声的至少一部分之后)来确定管段中是否可能存在缺口,而不仅仅是寻找压力降。

[0032] 在一些实施例中,可以预先确定在膛监测算法中使用的缺口膛压力模式。然而,如下文将更详细地描述,在一些实施例中,可以例如经由由控制子系统执行的机器学习算法来自适应地(例如,动态地)调整缺口膛压力模式。事实上,在一些实施例中,可以在膛监测算法的不同执行周期期间使用不同的缺口膛压力模式。

[0033] 当管段中可能存在缺口时,为了便于改善(例如,修补和/或修复)缺口,监测设备中的控制子系统可以附加地执行膛监测算法,以确定该缺口沿管段的可能位置。特别地,由膛监测算法提供的缺口位置确定可以以压力波通过管段的管膛的传播速度以已知的方式随着通过管膛的流体流速而变化为前提。例如,压力波可以以大于声速的膛流体流速的速度向下游传播(例如,随着流体流动)。另一方面,压力波可以以小于声速的膛流体流速的速度向上游传播(例如,逆着流体流动)。

[0034] 因此,为了便于确定由管段中的缺口产生的负压力波传播到监测设备中的膛传感器的速度,该监测设备中的控制子系统可以确定该管段的管膛内的膛流体的流速,例如,基于由另一膛传感器确定的传感器数据和/或膛流体泵的操作状态。为了便于确定缺口的可能位置,控制子系统可以附加地确定在不同膛传感器处检测到缺口膛压力模式时之间的时间差。以这种方式,控制子系统然后可以基于时间差和下游传播速度和/或上游传播速度来确定缺口相对于膛传感器的可能位置。

[0035] 然而,由于以在管段中突然形成缺口会产生负压力波为前提,膛监测算法通常可以提供单个瞬态机会来检测缺口的存在。此外,在一些情况下,膛监测算法可能会无意中错过管段中的缺口,例如,由于缺口膛压力模式被不恰当地设置以考虑实际噪声。此外,在一些情况下,膛监测算法可能会在缺口实际不存在的情况下无意中检测到管段中的缺口,例如,由于缺口膛压力模式被不恰当地设置以考虑实际噪声。

[0036] 因此,为了便于提高缺口检测准确性,除了膛监测算法之外,监测设备中的控制子系统可以执行环空监测算法(例如,过程)。通常,环空监测算法可以以管段的内阻隔层和外阻隔层被实现为提供流体隔离和流体以可预测的速率(例如,其能够至少部分地基于模型、经验测试、该管段外部的环境条件、输入(例如,供应)到该管段的流体参数、管段管子的实现参数(诸如材料和/或厚度)或它们的任何组合来预测)逐渐渗透通过该内阻隔层和/或该外阻隔层为前提。因此,当管段的管膛被加压以产生流体流时,在一些实施例中,执行环空监测算法的控制子系统可以在由环空传感器确定的传感数据指示该管段的管子环空内的流体压力超过上限压力阈值和/或该管段的该管子环空内的流体流速超过上限流速阈值时确定该管段的内阻隔层中可能存在缺口。另一方面,由于管段外部的环境条件通常处于较低压力,控制子系统可以在由环空传感器确定的传感器数据指示该管段的管子环空内的流体压力下降到下限压力阈值以下和/或该管段的管子环空内的流体速度下降到下限流速阈值以下时确定该管段的外阻隔层中可能存在缺口。

[0037] 另外,在一些实施例中,当由环空传感器确定的传感器数据指示管段的管子环空内的外部环境流体的量超过环境流体量阈值(例如,该阈值至少部分地基于外部环境流体在其中不存在缺口时通过该外阻隔层的预期渗透速率来设定)时,执行环空监测算法的控

制子系统可以确定该管段的外阻隔层中可能存在缺口。类似地,在一些实施例中,当由环空传感器确定的传感器数据指示管段的管子环空内的腔流体的量超过腔流体量阈值(例如,该阈值至少部分地基于腔流体在其中不存在缺口时通过该内阻隔层的预期渗透速率来设定)时,执行环空监测算法的控制子系统可以确定该管段的内阻隔层中可能存在缺口。此外,在一些实施例中,当由环空传感器确定的传感器数据指示管段的管子环空内的流体温度匹配预期腔流体温度(例如,在被设置为便于考虑测量(例如,传感器)误差的误差阈值内)时,执行环空监测算法的控制子系统可以确定该管段的内阻隔层中可能存在缺口。类似地,在一些实施例中,当由环空传感器确定的传感器数据指示管段的管子环空内的流体温度匹配外部环境条件的预期温度(例如,在被设置为便于考虑测量(例如,传感器)误差的误差阈值内)时,执行环空监测算法的控制子系统可以确定该管段的外阻隔层中可能存在缺口。

[0038] 在任何情况下,为了便于提高缺口检测准确性,监测设备中的控制子系统然后可以执行交叉检查算法(例如,过程)以交叉检查(例如,交叉关联)由腔监测算法确定的完整性状态和由环空监测算法确定的完整性状态,并确定交叉检查完整性状态。例如,当腔监测完整性状态和环空监测完整性状态均指示管段中不可能存在缺口时,控制子系统可以确定交叉检查完整性状态,以指示该管段中不存在缺口。类似地,当腔监测完整性状态和环空监测完整性状态均指示管段中可能存在缺口时,控制子系统可以确定交叉检查完整性状态,以指示该管段中存在缺口。

[0039] 然而,至少在一些情况下,通过执行腔监测算法来确定的完整性状态和通过执行环空监测算法来确定的完整性状态可能不同。在此类实例中,监测设备中的控制子系统通常可以服从环空监测完整性状态,例如,由于环空监测算法通常分析针对更持久的变化的环空流体参数,因此通常提供与相应腔监测算法相比更大的缺口检测窗口。换句话讲,当腔监测完整性状态指示管段中可能存在缺口,但相应环空监测完整性状态指示该管段中不可能存在缺口时,控制子系统可以确定交叉检查完整性状态,以指示管段中实际不存在缺口。换句话讲,在此类实例中,控制子系统可以确定腔监测算法的执行导致了误报,因此,其中部署管段的管道系统可以继续主动地使腔流体流过管段。

[0040] 然而,为了便于提高后续的缺口检测准确性,在一些实施例中,可以自适应地(例如,动态地)调整腔监测算法。特别地,在一些此类实施例中,可以自适应地调整在腔监测算法中使用的缺口腔压力模式,例如,以排除先前导致误报的缺口腔压力模式。事实上,如上所述,在一些此类实施例中,可以通过执行机器学习算法(例如,使用监测设备中的控制子系统)来自适应地调整腔监测算法中使用的缺口腔压力模式。

[0041] 此外,在一些实施例中,当腔监测完整性状态指示管段中不可能存在缺口,但相应环空监测完整性状态指示该管段可能存在缺口时,执行交叉检查算法的控制系统可以确定交叉检查完整性状态,以指示该管段中实际存在缺口。然而,与腔监测算法相比,环空监测算法提供的缺口位置检测的准确性通常受限。因此,为了便于确定缺口的可能位置,可以自适应地调整腔监测算法中使用的缺口腔压力模式,以使该腔监测算法能够检测缺口,例如,至少部分地通过经由控制子系统执行机器学习算法。

[0042] 特别地,当腔监测算法无意中错过了管段中的缺口时,在一些实施例中,可以至少部分地通过识别一个或多个环空流体参数最初指示管段中可能存在缺口的时间来自适应

地调整该腔监测算法中使用的缺口腔压力模式。基于一个或多个环空流体参数最初指示管段中可能存在缺口的时间,然后可以确定在该时间附近的时间段期间出现的一个或多个腔流体参数的分布。然后可以至少部分地基于在一个或多个腔流体参数分布中出现的一个或多个腔压力模式来设置要在腔监测算法的后续执行周期中使用的缺口腔压力模式。

[0043] 在任何情况下,监测设备中的控制子系统然后可以向用户(诸如操作员或服务技术人员)指示(例如,呈现)交叉检查完整性状态,例如,至少部分地通过指示电子显示器显示图形用户界面(GUI),该图形用户界面提供交叉检查完整性状态的可视化表示。特别地,控制子系统可以指示部署在管道系统中的管段中是否实际存在缺口。另外,当管段中存在缺口时,控制子系统可以指示缺口沿着管段和/或管段的可能包括缺口的管子层的可能位置。在任何情况下,以这种方式,本公开提供了用于在管道系统中实现和/或操作监测设备以便于提高缺口检测准确性的技术,这至少在一些情况下可以便于提高管道系统的操作效率和/或操作可靠性。

[0044] 为了帮助说明,管道系统10的示例在图1中示出。如在所描绘的示例中,管道系统10可以联接在腔流体源12与腔流体目的地14之间。仅作为例示性的非限制性的示例,腔流体源12可以为生产井并且腔流体目的地14可以为流体储存罐。在其他情况下,腔流体源12可以为第一(例如,租赁设施)储存罐并且腔流体目的地14可以为第二(例如,精炼厂)储存罐。

[0045] 在任何情况下,管道系统10通常可以被实现和/或操作为便于将流体(诸如气体和/或液体)从腔流体源12输送(例如,运送)到腔流体目的地14。事实上,在一些实施例中,管道系统10可以用于许多应用,包括但不限于陆上和海上油和气应用。例如,在此类实施例中,管道系统10可用于输送一种或多种烃,诸如原油、石油、天然气或它们的任何组合。附加地或另选地,管道系统10可以用于输送一种或多种其他类型的流体,诸如采出水、淡水、压裂液、返排液、二氧化碳或它们的任何组合。

[0046] 为了便于使流体流向腔流体目的地14,在一些实施例中,腔流体源12可以包括一个或多个腔流体泵16,该一个或多个腔流体泵被实现和/或操作为将流体从该腔流体源12注入(例如,泵送和/或供给)到管道系统10的腔。然而,应当理解,所描绘的示例仅旨在为例示性的而非限制性的。特别地,在其他实施例中,一个或多个腔流体泵16可以不在腔流体源12处实现,例如,当通过管道系统10的腔的流体流是由重力产生时。附加地或另选地,在其他实施例中,一个或多个腔流体泵16可以在管道系统10中和/或腔流体目的地14处实现。

[0047] 为了便于将流体从腔流体源12输送到腔流体目的地14,如所描绘的示例中,管道系统10可以包括一个或多个管道配件(例如,连接器)18和一个或多个管段20。例如,所描绘的管道系统10包括第一管段20A、第二管段20B和第N管段20N。另外,所描绘的管道系统10包括:将腔流体源12联接到第一管段20A的第一管道(例如,端)配件18A、将该第一管段20A联接到第二管段20B的第二管道(例如,中线)配件18B、以及将第N管段20N联接到腔流体目的地14的第N管道(例如,端)配件18N。

[0048] 然而,应当再次理解,所描绘的示例仅旨在为例示性的而非限制性的。特别地,在其他实施例中,管道系统10可以包括少于三个(例如,两个或一个)管段20或多于三个(例如,四个、五个或更多个)管段20。附加地或另选地,在其他实施例中,管道系统10可以包括少于四个(例如,三个或两个)管道配件18或多于四个(例如,五个、六个或更多个)管道配件

18。

[0049] 在任何情况下,如上所述,管段20通常包括可以用于运送(例如,转移和/或输送)水、气、油和/或任何其他合适类型的流体的管子。管段20的管子可以由任何合适类型的材料制成,诸如塑料、金属和/或复合(例如,纤维增强复合)材料。事实上,如下文将更详细地描述,在一些实施例中,管段20的管子可以使用多个不同的管子层来实现。例如,管段20的管子可以包括第一高密度聚乙烯(例如,内腐蚀保护)层、在该第一高密度聚乙烯层外部的一个或多个增强层(例如,钢带),以及在该一个或多个增强层外部的第二高密度聚乙烯(例如,外腐蚀保护)层。

[0050] 另外,如在所描绘的示例中,管道系统10中的一个或多个(例如,第二和/或第N)管段20可以是弯曲的。为了便于在管段20中实现弯曲,在一些实施例中,管段20可以是柔性的,例如,使得管段20能够缠绕在卷轴上和/或成卷(例如,在输送期间和/或在部署管段20之前)。换句话讲,在一些实施例中,管道系统10中的一个或多个管段20可以是柔性管,诸如粘合柔性管、非粘合柔性管、柔性复合管(FCP)、热塑性复合管(TCP)或增强热塑性塑料管(RTP)。事实上,至少在一些情况下,增加管段20的柔性可以便于提高管道系统10的部署效率,例如,通过取消弯曲(例如,弯头)管道配件18和/或使管段20输送到管道系统10、部署在管道10中,或两者都使用更紧的卷轴。

[0051] 为了便于提高管道柔性,在一些实施例中,管段20的限定(例如,包封)其管腔的管子可以附加地限定在其环空中没有固体材料的自由空间(例如,一个或多个间隙)。事实上,在一些实施例中,管段20的管子环空中的自由空间可以延伸(例如,跨越)管段20的长度,并且因此限定(例如,包封)管子的环空中的与管腔分开的一个或多个流体导管。换句话讲,在此类实施例中,流体可以经由其管腔、限定在其管子环空内的流体导管或两者流过管段20。

[0052] 为了帮助说明,包括具有在其环空25中实现的流体导管(例如,自由空间)24的管子22的管段20的示例在图2中示出。如所描绘,管段管子22使用多个管子层来实现,该多个管子层包括内阻隔(例如,衬里)层26和外阻隔(例如,屏蔽件和/或护套)层28。在一些实施例中,管段管子22的内阻隔层26和/或外阻隔层28可以使用复合材料和/或塑料(诸如高密度聚乙烯(HDPE)和/或耐热聚乙烯(PE-RT))来实现。尽管描绘了多个特定层,但应当理解,本公开所述的技术可以广泛应用于包括两层或更多层的复合管体结构,例如,与经受硫化的橡胶或塑料单层软管。在任何情况下,如所描绘,内阻隔层26的内表面30限定(例如,包封)流体可以流过的管腔32,例如,以便于将流体从腔流体源12输送到腔流体目的地14。

[0053] 另外,如所描绘,管段20的管子环空25在其内阻隔层26与其外阻隔层28之间实现。如下文将更详细描述,管段20的管子环空25可以包括一个或多个中间层。此外,如所描绘,沿着管段20的长度延伸的流体导管24被限定(例如,包封)在管子环空25中。如上所述,管子环空25中的流体导管24可以不含固体材料。因此,包括限定在其中的一个或多个流体导管24的管段管子22可以包括较少的固体材料,并且因此对弯曲施加较小的阻力,例如,与固体管段管子22和/或不包括限定在其环空25中的流体导管24的管段管子22相比。此外,为了进一步提高管道柔性,在一些实施例中,管段20的管子22中的一层或多层可以与管子22中的一层或多层其他层不粘合,并且因此管段20可以为非粘合管。

[0054] 然而,应当理解,所描绘的示例仅旨在为例示性的而非限制性的。特别地,在其他实施例中,管段20可以包括少于两个(例如,一个)或多于两个(例如,三个、四个或更多个)

限定在其管子环空25中流体导管24。附加地或另选地,在其他实施例中,限定在管段20的管子环空25中的流体导管24可以不平行于管段20的管膛32延伸,例如,使得流体导管24相对于管膛32的纵向范围倾斜。

[0055] 为了帮助说明,包括内阻隔层26和包含在其管段管子22的环空25中的中间层34的管段20的一部分36的示例在图3中示出。在一些实施例中,管段管子22的一个或多个中间层34可以至少部分地使用复合材料和/或金属来实现,诸如碳钢、不锈钢、双相不锈钢、超级双相不锈钢,或它们的任何组合。换句话讲,至少在一些此类实施例中,管段管子22的中间层34可以使用导电性来实现,这至少在一些情况下可以经由中间层34实现电(例如,控制和/或传感器)信号的通信。

[0056] 在任何情况下,如所描绘,中间层34被螺旋地布置(例如,缠绕和/或包裹)在内阻隔层26上,使得在相邻缠绕之间留下自由空间以限定流体导管24。换句话讲,在一些实施例中,中间层34可以至少部分地通过以相对于管膛32的纵向范围的非零铺设角(例如,五十四度)围绕内阻隔层26缠绕金属(例如,钢)条来实现。在任何情况下,如所描绘,所产生的流体导管24沿着管段20螺旋地延伸,例如,使得流体导管24相对于管膛32的轴向范围倾斜五十四度。

[0057] 在一些实施例中,外阻隔层28可以直接布置在所描绘的中间层34之上,并且因此覆盖和/或限定(例如,包封)所描绘的流体导管24。然而,在其他实施例中,管段管子22的管子环空25可以包括多个(例如,两个、三个、四个或更多个)中间层34。换句话讲,在此类实施例中,一个或多个其他中间层34可以布置在所描绘的中间层34上。事实上,在一些此类实施例中,一个或多个其他中间层34也可以各自螺旋地布置,使得在相邻的缠绕之间留下间隙,以在管段管子22中实现一个或多个相应流体导管24。

[0058] 例如,第一其他中间层34可以使用与所描绘的中间层34相同的非零铺设角来螺旋地布置在所描绘的中间层34上,以覆盖(例如,限定和/或包封)所描绘的流体导管24并且在第一其他中间层34中实现另一流体导管24。此外,第二其他中间层34可以使用另一非零铺设角来螺旋地布置在第一其他中间层34上,该非零铺设角是所描绘的中间层34的非零铺设角的倒数,以在该第二其他中间层34中实现另一流体导管24。此外,第三其他中间层34可以使用与第二其他中间层34相同的非零铺设角来螺旋地布置在第二其他中间层34上,以覆盖第二其他中间层34中的其他流体导管24并且在第三其他中间层34中实现另一流体导管24。在一些实施例中,外阻隔层28可以布置在第三其他中间层34上,并且因此覆盖(例如,限定和/或包封)第三其他中间层34中的其他流体导管24。

[0059] 虽然用多个管子层来实现,在一些情况下,管段20的管子可能被损坏,使得其完整性并且因此其在该管段20的管膛32与该管段20外部的环境条件之间提供隔离(例如,绝缘)的能力受到影响(例如,减少)。例如,管段管子22中的缺口(例如,孔或无意中打开)可能导致过量(例如,不期望的)流体从管段20直接流出到该管段20外部的环境条件和/或从该外部环境条件直接流入该管段20。换句话讲,至少在一些情况下,在其中部署的管段20具有缺口时操作管道系统10可能会影响(例如,降低)该管道系统10的操作效率和/或操作可靠性,例如,由于缺口导致所运送的流体流失到外部环境条件和/或被其污染。另外,在一些情况下,管段20可能在管道10的操作期间因此在管段20的初始安装之后被损坏。因此,为了便于提高管道操作效率和/或管道操作可靠性,本公开提供了用于在管道系统10中实现和/或操

作监测设备以便于检测部署在该管道系统10中的管段20中是否存在缺口(例如,在该管道系统10的操作期间)的技术。

[0060] 为了帮助说明,管道系统10的一部分38和监测设备40的示例在图4中示出。如所描绘,管道系统10的一部分38包括管道配件18,即上游(例如,第一)管道配件42和下游(例如,第二)管道配件44以及管段20。特别地,如所描绘,管段20的管子22的第一端固定并密封在上游管道配件42的第一管腔46A中,使得该管段20的管腔32流体地连接到该上游管道配件42的上游装配腔48A。类似地,如所描绘,管段管子22的第二端固定并密封在下游管道配件44的第二管腔46B中,使得管段20的管腔32流体地连接到下游管道配件44的下游装配腔48B。

[0061] 另外,如在所描绘的示例中,管道系统10中的监测设备40通常可以包括控制子系统50、多个腔传感器52和一个或多个环空传感器54。特别地,监测设备40中的每个腔传感器52可以被实现和/或操作为:确定指示在不同时间存在于管段20的管腔32内的一个或多个流体参数的带时间戳的传感器数据。例如,腔传感器52可以包括压力传感器,该压力传感器确定指示管段20的管腔32内的流体压力的传感器数据。另外,腔传感器52可以包括一个或多个流量计,该一个或多个流量计确定指示管段20的管腔32内的腔流体的流速的传感器数据。

[0062] 另一方面,监测设备40中的每个环空传感器54可以被实现和/或操作为:确定指示在不同时间存在于管段20的管子环空25内的一个或多个流体参数的带时间戳的传感器数据。例如,一个或多个环空传感器54可以包括压力传感器,该压力传感器确定指示管段20的管子环空25内的流体压力的传感器数据。另外,一个或多个环空传感器54可以包括流量计,该流量计确定指示管段20的管子环空25内的流体流速的传感器数据。此外,一个或多个环空传感器54包括温度传感器,该温度传感器确定指示管段20的管子环空25内的流体温度的传感器数据。此外,一个或多个环空传感器54可以包括流体成分传感器,该流体成分传感器确定指示存在于管段20的管子环空25内的一种或多种流体组分的量(例如,百分数和/或浓度)的传感器数据。

[0063] 在任何情况下,为了使环空传感器54能够确定指示管段20的管子环空25内的一个或多个流体参数的传感器数据,该环空传感器54可以流体地连接到限定在该管子环空25内的自由空间(例如,一个或多个流体导管24)。如在所描绘的示例中,由于管段20的管子22被固定并密封在上游管道配件42和下游管道配件44中,在一些实施例中,环空排放口56可以形成在一个或多个管道配件18中使得环空排放口56通向对应管腔46,并且环空传感器54可以流体地连接到每个环空排放口56。特别地,在所描绘的示例中,上游管道配件42包括第一环空排放口56A并且第一环空传感器54A连接到该第一环空排放口56A。另外,在所描绘的示例中,下游管道配件44包括第二环空排放口56B,并且第二环空传感器54B连接到该第二环空排放口56B。

[0064] 然而,应当理解,所描绘的示例仅旨在为例示性的而非限制性的。特别地,在其他实施例中,监测设备40可以包括单个环空传感器54。另外,在其他实施例中,环空传感器54可以经由一个或多个外部流体导管(诸如软管)流体地连接到对应环空排放口56。此外,在其他实施例中,监测设备40可以附加地或另选地包括一个或多个直接布置在管段20的管子环空25内的环空传感器54。此外,虽然描绘了单个管段20,但在其他实施例中,多个管段20

可以例如经由一个或多个中线管道配件18连接在上游管道配件42与下游管道配件44之间。事实上,在一些实施例中,监测设备中的一个或多个环空传感器52和/或一个或多个腔传感器52可以部署在中线管道配件18和/或管道端部配件18处。

[0065] 在任何情况下,为了使腔传感器52能够确定指示存在于管段20的管腔32内的一个或多个流体参数的传感器数据,该腔传感器52可以流体地连接到该管段20的该管腔32。如在所描绘的示例中,由于管段20的管腔32连接到上游管道配件42和下游管道配件44的装配腔48,在一些实施例中,腔监测端口58可以形成在管道配件18的每个管道配件中,使得该腔监测端口58通向对应装配腔48,并且腔传感器52可以流体地连接到每个腔监测端口58。特别地,在所描绘的示例中,上游管道配件42包括第一腔监测端口58A,并且第一腔传感器52A连接到该第一腔监测端口58A。另外,在所描绘的示例中,下游管道配件44包括第二腔监测端口58B,并且第二腔传感器52B连接到该第二腔监测端口58B。

[0066] 然而,应当再次理解,所描绘的示例仅旨在为例示性的而非限制性的。特别地,在其他实施例中,监测设备40可以附加地或另选地包括直接布置在管段20的管腔32内的一个或多个腔传感器52。此外,在其他实施例中,监测设备40可以附加地或另选地包括直接布置在管道配件18的装配腔48内的一个或多个腔传感器52。

[0067] 在任何情况下,由监测设备40中的腔传感器52和一个或多个环空传感器54确定的传感器数据可以被传送到该监测设备40中的控制子系统50,以用于经由一个或多个传感器信号59进行处理。特别地,在一些实施例中,监测设备40中的流体参数传感器可以被实现和/或操作为经由无线连接将一个或多个传感器信号59传送到控制子系统50。然而,在一些实施例中,监测设备40中的流体参数传感器可以被实现和/或操作为经由有线连接将一个或多个传感器信号59传送到控制子系统50。

[0068] 在任何情况下,为了实现控制子系统50外部的通信,如在所描述的示例中,控制子系统50通常可以包括一个或多个I/O设备60。特别地,为了能够与流体参数传感器通信,控制子系统50的I/O设备60可以包括一个或多个输入/输出(I/O)端口(例如,终端)。另外,为了便于将管段20的完整性状态传达给用户(例如,操作员),在一些实施例中,控制子系统50的I/O设备60可以包括一个或多个用户输出设备,诸如电子显示器,该电子显示器被实现和/或操作为显示图形用户界面(GUI),该图形用户界面提供完整性状态的视觉表示(例如,管段20中是否存在缺口)。此外,为了使用户能够与控制子系统50交互,该控制子系统50的I/O设备60可以包括一个或多个用户输入设备,诸如硬按钮、软按钮、键盘、鼠标等。

[0069] 为了便于处理传感器数据,如在所描绘的示例中,监测设备40中的控制子系统50通常可以包括一个或多个处理器62和存储器64。特别地,在一些实施例中,控制子系统50中的存储器64可以包括一个或多个有形的、非暂时性的计算机可读介质,其被实现和/或操作为存储数据和/或可执行指令。例如,存储器64可以至少部分地基于从流体参数传感器接收的一个或多个传感器信号59来存储传感器数据。另外,如所描绘,例如,除了机器学习算法72之外,存储器64还可以存储腔监测算法66、环空监测算法68和交叉检查算法70。因此,在一些实施例中,存储器64可以包括易失性存储器,诸如随机存取存储器(RAM),和/或非易失性存储器,诸如只读存储器(ROM)、闪存、固态驱动器(SSD)、硬盘驱动器(HDD)或它们的任何组合。

[0070] 另外,在一些实施例中,控制子系统50中的处理器62可以包括处理电路,该处理电

路被实现和/或操作为处理数据和/或执行存储在存储器64中的指令。换言之讲,在一些此类实施例中,控制子系统50中的处理器62可以包括一个或多个通用微处理器、一个或多个专用集成电路(ASIC)、一个或多个现场可编程门阵列(FPGA)或它们的任何组合。例如,控制子系统50中的处理器62可以执行存储在存储器64中的指令以确定控制信号,该控制信号指示流体参数传感器将指示一个或多个流体参数(诸如流体温度、流体流速、流体成分和/或流体温度)的传感器信号59返回到控制子系统50。

[0071] 此外,控制子系统50中的处理器62可以根据存储在存储器64中的一组或多组指令(例如,算法)处理传感器数据。特别地,如下文将更详细地描述,为了便于确定管段20中是否存在缺口,控制子系统50可以基于指示存在于该管段20的管子环空25内的一个或多个流体参数的传感器数据来执行环空监测算法68。另外,控制子系统50可以基于指示存在于管段20的管腔32内的一个或多个流体参数的传感器数据来执行腔监测算法66,以便于确定该管段20中是否存在缺口以及当存在缺口时确定缺口沿着该管段20的可能位置。

[0072] 为了帮助说明,腔监测过程74的示例在图5中描述。通常,腔监测过程74包括:确定指示管段中的缺口的腔压力模式(过程框76),确定随时间变化的多个腔压力分布(过程框78)以及确定是否检测到缺口腔压力模式(决策框80)。另外,当检测到缺口腔压力模式时,腔监测过程74通常包括:确定完整性状态以指示管段中是否可能存在缺口(过程框82)以及确定该缺口沿该管段的可能位置(过程框84)。

[0073] 尽管以与本公开的实施例相对应的特定顺序描述了特定框,但是应当理解,示例性腔监测过程74仅旨在为例示性的而非限制性的。特别地,在其他实施例中,腔监测过程74可以包括一个或多个附加框和/或省略所描绘框中的一个或多个。例如,腔监测过程74的一些实施例可以附加地包括使腔流体流过管段的管腔(过程框86),而腔监测过程74的其他实施例则不包括。另外,在其他实施例中,所描绘框中的一个或多个可以不同的顺序执行,例如,使得在确定一个或多个腔压力分布之后确定缺口腔压力模式。此外,在一些实施例中,腔监测过程74可以至少部分地通过使用处理电路(诸如控制子系统50的一个或多个处理器62)执行指令(诸如腔监测算法66,其存储在有形的、非暂时性的计算机可读介质(诸如控制子系统50的存储器64)中)来执行。

[0074] 例如,在此类实施例中,部署在管道系统10中的监测设备40中的控制子系统50可以确定一个或多个腔压力模式,该一个或多个腔压力模式被预期指示部署在该管道系统10中的管段20中存在缺口(过程框76)。特别地,在一些实施例中,在腔监测算法66中使用的缺口腔压力模式可以被预先确定并存储在控制子系统50的存储器64中。然而,如下文将更详细地描述,在一些实施例中,可以自适应地(例如,动态地)调整缺口腔压力模式,例如,经由由控制子系统50执行的机器学习算法72和/或在腔监测算法66的不同执行周期之间。

[0075] 在任何情况下,如上所述,至少在一些情况下,影响管段20提供流体隔离的能力的损坏(例如,一个或多个缺口)可能在该管段20在管道系统10中的初始部署之后形成,例如,在该管道系统10的操作期间。因此,在一些实施例中,可以在使腔流体正在主动地流动(例如,泵送)通过管段20的管腔32时执行腔监测算法66(过程框86)。特别地,为了便于腔流体主动地流过管段20的管腔32,在一些实施例中,管道系统10中的控制子系统50可以指示流体地连接到管腔32的腔流体泵16例如经由一个或多个控制信号将腔流体注入(例如,供应)到该管腔32中。然而,在其他实施例中,可以在腔流体未主动流过管段20的被监测的管腔32

时执行膛监测算法66。

[0076] 如上所述,为了便于检测管段20中缺口的存在和/或可能位置,监测设备40中的控制子系统50可以附加地确定随时间变化的多个膛压力分布(例如,轨迹)(过程框78)。特别地,基于对应的带时间戳的传感器数据,控制子系统50可以确定监测设备40中的多个流体压力膛传感器52中的每个的膛压力分布。例如,控制子系统50可以基于指示第一膛传感器52A处的膛流体压力的第一传感器数据来确定与该第一膛传感器52A相关联的第一膛压力分布。类似地,控制子系统50可以基于指示第二膛传感器52B处的膛流体压力的第二传感器数据来确定与该第二膛传感器52B相关联的第二膛压力分布。

[0077] 为了便于确定管段20中是否可能存在缺口,控制子系统50然后可以确定是否在膛压力分布中的一个或多个中检测到缺口膛压力模式(决策框80)。特别地,控制子系统50可以在任何膛压力分布中未检测到缺口膛压力模式时确定膛监测完整性状态以指示在管段20中不可能存在缺口。另一方面,控制子系统50可以在膛压力分布中的一个或多个中检测到缺口膛压力模式时确定膛监测完整性状态以指示管段20中可能存在缺口(过程框82)。在一些实施例中,膛监测完整性状态可以存储在控制子系统50的存储器64中,以实现后续检索。当可能存在缺口时,为了便于改善缺口,控制子系统50可以附加地至少部分地基于多个膛压力分布来确定该缺口沿管段20的可能位置(过程框84)。

[0078] 为了帮助说明,用于确定缺口沿管段20的可能位置的过程88的示例在图6中描述。通常,过程88包括:确定在不同膛传感器处检测到缺口膛压力模式时之间的时间差(过程框90)。另外,过程88通常包括:基于膛流体流速确定压力波在管段的管膛内的预期传播速度(过程框94);以及基于时间差、压力波预期传播速度和膛传感器的位置来确定缺口沿该管段的可能位置(过程框96)。

[0079] 尽管以与本公开的实施例相对应的特定顺序描述了特定框,但是应当理解,示例性过程88仅旨在为例示性的而非限制性的。特别地,在其他实施例中,用于确定缺口沿管段20的可能位置的过程88可以包括一个或多个附加框和/或省略所描绘框中的一个或多个。例如,过程88的一些实施例可以包括确定管段的管膛内的膛流体的流速(过程框92),而该过程的其他实施例不包括。另外,在其他实施例中,所描绘框中的一个或多个可以不同的顺序执行,例如,使得管段的管膛内的膛流体的流速在确定在不同膛传感器处检测到缺口膛压力模式时之间的时间差之前被确定。此外,在一些实施例中,用于确定缺口沿管段20的可能位置的过程88可以至少部分地通过使用处理电路(诸如控制子系统50的一个或多个处理器62)执行指令(诸如膛监测算法66,其存储在有形的、非暂时性的计算机可读介质(诸如控制子系统50的存储器64)中)来执行。

[0080] 例如,为了便于确定缺口沿管段20的可能位置,在此类实施例中,监测设备40中的控制子系统50可以确定在监测设备40中的不同膛传感器52处检测到缺口膛压力模式时之间的时间差(过程框90)。如上所述,控制子系统50可以基于对应的带时间戳的传感器数据来确定监测设备40中的多个膛传感器52中的每个膛传感器随时间变化的膛压力分布(例如,轨迹)。因此,通过将缺口膛压力模式和与膛传感器52相关联的膛压力分布进行比较,控制子系统50可以确定在该膛传感器52处检测到缺口膛压力模式的时间。例如,控制子系统50可以基于与第一流体压力膛传感器52A相关联的第一膛压力分布来确定在第一时间在第一膛传感器52A处检测到缺口膛压力模式,并且基于与第二流体压力膛传感器52B相关联的

第二腔压力分布来确定在第二时间在第二腔传感器52B处检测到缺口腔压力模式。然后,控制子系统50可以基于第一时间和第二时间之间的持续时间来确定在第一腔传感器52A和第二腔传感器52B处检测到缺口模式时之间的时间差。

[0081] 为了便于确定缺口沿管段20的可能位置,控制子系统50可以附加地确定压力波通过该管段20的管腔32的一个或多个预期传播速度(过程框94)。特别地,在一些实施例中,控制子系统50可以确定压力波预期上游传播速度(过程框98)和/或确定压力波预期下游传播速度(过程框100)。在任何情况下,如上所述,压力波在管段20的管腔32内的传播速度通常以已知方式随着该管腔32内的腔流体的流速而变化。例如,控制子系统50可以确定预期上游传播速度是小于声速的腔流体流速和/或确定预期下游传播速度是大于声速的腔流体流速。

[0082] 因此,为了便于确定压力波预期传播速度,并且因此确定缺口沿管段20的可能位置,在一些实施例中,控制子系统50可以附加地确定腔流体在该管段20的管腔32内的流速(过程框92)。在一些此类实施例中,控制子系统50可以基于由流体地连接到管段20的管腔32的腔传感器(例如,流量计)52确定的传感器数据来确定腔流体流速。附加地或另选地,控制子系统50可以至少部分地基于流体地连接到管段20的管腔32的腔流体泵16的操作状态来确定腔流体流速。

[0083] 然而,在一些情况下,声速可能比腔流体在管段20的管腔32内的流速快很多(例如,多个数量级)。因此,在一些实施例中,控制子系统50可以确定压力波在管段20的管腔32内的预期上游传播速度和预期下游传播速度两者均等于声速。换句话说,在此类实施例中,控制子系统50可以独立于腔流体在管段20的管腔32内的流速来确定压力波在该管段20的该管腔32内的预期传播速度。

[0084] 在任何情况下,在确定压力波沿管段20的一个或多个预期传播速度之后,控制子系统50可以基于在不同腔传感器52处检测到缺口腔模式时之间的时间差、一个或多个预期传播速度以及腔传感器52的位置来确定缺口沿该管段20的可能位置(过程框96)。特别地,控制子系统50可以将缺口的可能位置识别为沿管段20的位置,该位置会导致当压力波以预期速度行进到不同腔传感器52的位置时出现时间差。另外,在一些实施例中,控制子系统50可以在腔监测完整性状态中指示缺口的可能位置,例如,该位置存储在控制子系统50的存储器64中。以这种方式,部署在管道系统10中的监测设备40可以被操作为确定缺口沿部署在该管道系统10中的管段20的可能位置,这至少在一些情况下可以便于例如通过改善缺口来提高该管道系统10操作效率和/或操作可靠性。

[0085] 然而,由于以突然形成缺口产生一次性负压力波为前提,如上所述,对腔监测算法66的执行可以提供相对短的缺口检测窗口。另外,如上所述,腔监测算法66检测管段20中的缺口的能力可以以在腔监测算法66中使用的缺口腔压力模式被适当地设置为在考虑噪声的同时检测由突然形成缺口引起的负压力波为前提。换句话说,在一些情况下,仅执行腔监测算法66可能导致无意中错过管段20中的缺口。

[0086] 因此,返回到图4,为了便于提高缺口检测准确性,监测设备40中的控制子系统50还可以执行除了腔监测算法66之外的环空监测算法68。特别地,控制子系统50可以基于指示存在于管段20的管子环空25内的一个或多个流体参数的传感器数据来执行环空监测算法68,以便于确定该管段20中是否可能存在缺口。由于以管段20的内阻隔层26和外阻隔层

28被实现为提供流体隔离为前提,该管段20中的缺口可能产生一个或多个环空流体参数的更持久的变化,从而提供与膛监测算法66相比更大的缺口检测窗口。

[0087] 为了帮助说明,环空监测过程102的示例在图7中描述。通常,环空监测过程102包括:确定存在于管段的管子环空内的流体参数(过程框104)。另外,环空监测过程102通常包括:确定环空流体参数是否指示缺口(决策框106);以及在该环空流体参数指示缺口时确定完整性状态以指示管段中可能存在缺口(过程框108)。

[0088] 尽管以与本公开的实施例相对应的特定顺序描述了特定框,但是应当理解,示例性环空监测过程102仅旨在为例示性的而非限制性的。特别地,在其他实施例中,环空监测过程102可以包括一个或多个附加框和/或省略所描绘框中的一个或多个。例如,环空监测过程102的一些实施例可以附加地包括使膛流体流过管段的管膛(过程框110),而环空监测过程102的其他实施例则不包括。此外,在一些实施例中,环空监测过程102可以至少部分地通过使用处理电路(诸如控制子系统50的一个或多个处理器62)执行指令(诸如环空监测算法68,其存储在有形的、非暂时性的计算机可读介质(诸如控制子系统50的存储器64)中)来执行。

[0089] 例如,在此类实施例中,部署在管道系统10中的监测设备40中的控制子系统50可以确定存在于部署在管道系统10中的管段20的管子环空25内的一个或多个流体参数(过程框104)。例如,在一些实施例中,控制子系统50可以基于由流体压力环空传感器54确定的传感器数据来确定存在于管段20的管子环空25内的流体压力(过程框112)。另外,在一些实施例中,控制子系统50可以基于由流量计环空传感器54确定的传感器数据来确定存在于管段20的管子环空25内的流体流速(过程框114)。例如,在一些实施例中,控制子系统50可以基于由流体成分环空传感器54确定的传感器数据来确定管段20的管子环空25内的流体成分(过程框116)。此外,在一些实施例中,控制子系统50可以基于由流体温度环空传感器54确定的传感器数据来确定管段20的管子环空25内的流体温度(过程框118)。

[0090] 在任何情况下,如上所述,至少在一些情况下,影响管段20提供流体隔离的能力的损坏(例如,一个或多个缺口)可能在该管段20在管道系统10中的初始部署之后形成,例如,在该管道系统10的操作期间。因此,在一些实施例中,可以在使膛流体正在主动地流动(例如,泵送)通过管段20的管膛32时执行环空监测算法68(过程框110)。特别地,为了便于膛流体主动地流过管段20的管膛32,在一些实施例中,管道系统10中的控制子系统50可以指示流体地连接到管膛32的膛流体泵16例如经由一个或多个控制信号将膛流体注入(例如,供应)到该管膛32中。然而,在其他实施例中,可以在膛流体未主动流过管段20的被监测的管膛32时执行环空监测算法68。

[0091] 在任何情况下,控制子系统50然后可以确定环空流体参数是否指示缺口,并且在该环空流体参数指示缺口时,确定环空监测完整性状态以指示管段20中可能存在缺口(过程框108)。事实上,在一些实施例中,执行环空监测算法68可以使控制子系统50能够确定管段20的一个或多个管子层可能包括缺口。例如,由于管段20外部的环境条件通常处于较低压力,因此在此类实施例中,控制子系统50可以在该管段20的管子环空25内的流体压力下降到下限流体压力阈值以下和/或该管段20的该管子环空25内的流体流速下降到下限流体流速阈值以下时确定该管段20的外阻隔层28中可能存在缺口(过程框120)。另一方面,当其管膛32被加压以产生流体流时,控制子系统50可以在管段20的管子环空25内的流体压

力超过上限流体压力阈值和/或该管段20的该管子环空25内的流体流速超过上限流体流速阈值时确定该管段20的内阻隔层26中可能存在缺口(过程框122)。

[0092] 另外,由于管段20的外阻隔层28通常被实现为提供流体隔离,因此在一些此类实施例中,控制子系统50可以在该管段20的管子环空25内的外部环境流体的量大于外部环境流体量阈值(例如,该外部环境流体量阈值是至少部分地基于外部环境流体在其中不可能存在缺口的情况下通过该外阻隔层28的预期渗透速率来设置的)时确定该管段20的该外阻隔层28中可能存在缺口(过程框124)。类似地,由于管段20的内阻隔层26通常被实现为提供流体隔离,因此控制子系统50可以在该管段的管子环空25内的腔流体的量大于腔流体量阈值(例如,该腔流体量阈值是至少部分地基于腔流体在其中不可能存在缺口的情况下通过该内阻隔层26的预期渗透速率来设置的)时确定该管段的内阻隔层26中可能存在缺口(过程框126)。此外,由于管段20的外阻隔层28可以提供隔热,因此在一些此类实施例中,控制子系统50可以在该管段20的管子环空25内的流体温度匹配预期环境温度(例如,在便于考虑测量(例如,传感器)误差的误差阈值内)时确定该管段20的该外阻隔层28中可能存在缺口(过程框128)。类似地,由于管段20的内阻隔层26可以提供隔热,因此控制子系统50可以在该管段20的管子环空25内的流体温度匹配预期腔流体温度(例如,在便于考虑测量(例如,传感器)误差的误差阈值内)时确定该管段20的内阻隔层26中可能存在缺口(过程框130)。

[0093] 尽管能够识别何时缺口仅位于管段20的外阻隔层28中,但至少在一些情况下,当该管段20的该外阻隔层28和内阻隔层26中均存在缺口时,腔流体对存在于该管段20的管子环空25内的流体参数的影响可能超过外部环境条件对存在于该管段20的管子环空25内的流体参数的影响。换句话讲,在此类实例中,当内阻隔层26中存在缺口并且外阻隔层28中存在另一缺口时,控制子系统50可以仅检测到该内阻隔层26中可能存在缺口。然而,管段20的内阻隔层26中的缺口通常可以导致在外阻隔层28内尚不存在缺口(例如,由于管段20的管腔32被加压以在其中产生流体流)时在该管段20的该外阻隔层28中形成相应缺口。因此,在一些实施例中,当控制子系统50确定管段20的内阻隔层26中可能存在缺口时,控制子系统50可以确定(例如,假设)另一缺口被形成或将被形成通过外阻隔层28,并且因此指示通过该管段20的主动流体流应当停止。

[0094] 另一方面,管段20的外阻隔层28中的缺口不一定指示该管段20的内阻隔层26中的缺口,例如,由于外部环境条件通常处于较低压力。换句话讲,管段20的外阻隔层28中的缺口不一定能使流体能够直接流过该管段20的管子22。因此,在一些实施例中,当控制子系统50确定缺口可能仅存在于管段20的外阻隔层28中时,控制子系统50可以指示腔流体可以继续主动地流过该管段20,这至少在一些情况下可以便于提高管道的正常运行时间。

[0095] 在任何情况下,在一些实施例中,控制子系统50然后将环空监测完整性状态存储在存储器64中以实现后续检索,该环空监测完整性状态指示该管段中是否可能存在缺口。事实上,当可能存在缺口时,在一些实施例中,控制子系统50可以在环空监测完整性状态中附加地指示管段20的哪个管子层可能包括缺口。以这种方式,部署在管道系统10中的监测设备40可以被操作为便于基于存在于管段20的管子环空25内的一个或多个流体参数来检测部署在管道系统10中的该管段20中是否存在缺口。

[0096] 然而,返回到图4,为了便于提高缺口检测准确性,控制子系统50可以附加地执行

交叉检查算法70。特别地,如下文将更详细地描述,控制子系统50可以执行交叉检查算法70,以处理通过执行膛监测算法66确定的膛监测(例如,第一)完整性状态和通过执行环空监测算法68确定的环空监测(例如,第二)完整性状态。例如,控制子系统50可以执行交叉检查算法,以基于膛监测完整性状态和环空监测完整性状态来确定交叉检查完整性状态,该交叉检查完整性状态指示管段20中是否实际存在缺口。

[0097] 为了帮助说明,交叉检查过程132的示例在图8中描述。通常,交叉检查过程132包括:确定膛监测完整性状态和环空监测完整性状态(过程框134);确定该膛监测完整性状态是否指示管段中可能存在缺口(过程框136);确定该环空监测完整性状态是否指示该管段中可能存在缺口(过程框138);以及指示交叉检查完整性状态(过程框139)。另外,交叉检查过程132通常包括:当膛监测完整性状态和环空监测完整性状态两者均指示可能存在缺口时或当该膛监测完整性状态指示不可能存在缺口并且该环空监测完整性状态指示可能存在缺口时,确定交叉检查完整性状态以指示管段中存在缺口(过程框140);以及当该膛监测完整性状态和该环空监测完整性状态两者均指示不可能存在缺口时或当该膛监测完整性状态指示可能存在缺口并且该环空监测完整性状态指示不可能存在缺口时,确定该交叉检查完整性状态以指示该管段中不存在缺口(过程框142)。此外,当膛监测完整性状态指示不可能存在缺口并且环空监测完整性状态指示可能存在缺口时,交叉检查过程132通常包括:重新运行膛监测算法以确定缺口在管段中的可能位置(过程框144)。

[0098] 尽管以与本公开的实施例相对应的特定顺序描述了特定框,但是应当理解,示例性交叉检查过程132仅旨在为例示性的而非限制性的。特别地,在其他实施例中,交叉检查过程132可以包括一个或多个附加框和/或省略所描绘框中的一个或多个。例如,交叉检查过程132的一些实施例可以附加地包括:当膛监测完整性状态指示可能存在缺口并且环空监测完整性状态指示不可能存在缺口时,调整缺口膛压力模式以降低灵敏度(过程框146)。另外,在其他实施例中,所描绘框中的一个或多个可以以不同的顺序执行,例如,使得在确定膛监测完整性状态是否指示可能存在缺口之前确定环空监测完整性状态是否指示可能存在缺口。此外,在一些实施例中,交叉检查过程132可以至少部分地通过使用处理电路(诸如控制子系统50的一个或多个处理器62)执行指令(诸如交叉检查算法70,其存储在有形的、非暂时性的计算机可读介质(诸如控制子系统50的存储器64)中)来执行。

[0099] 例如,在此类实施例中,监测设备40中的控制子系统50可以确定由执行膛监测算法66产生的膛监测完整性状态和由执行环空监测算法产生的环空监测完整性状态68(过程框134)。如上所述,在一些实施例中,膛监测完整性状态和环空监测完整性状态可以存储在控制子系统50的存储器64中。因此,在此类实施例中,控制子系统50可以至少部分地通过从存储器64中检索膛监测完整性状态和环空监测完整性状态来确定该膛监测完整性状态和该环空监测完整性。

[0100] 如上所述,膛监测完整性状态可以指示管段20中是否可能存在缺口,例如,除了指示缺口沿管段20的可能位置(当缺口预期存在于管段20中时)之外。另外,如上所述,环空监测完整性状态可以指示管段中是否可能存在缺口,例如,除了可能包括缺口的管子层(当缺口预期存在于管段20中时)之外。当膛监测完整性状态和环空监测状态两者均指示管段20中不可能存在缺口时,控制子系统50可确定交叉检查完整性状态以指示该管段20中不存在缺口(过程框142)。类似地,当膛监测完整性状态和环空监测完整性状态两者均指示管段20

中可能存在缺口时,控制子系统50可以确定交叉检查完整性状态以指示该管段20中存在缺口,例如,除了指示该缺口沿该管段20和/或该管段20的可能包括该缺口的管子层的可能位置(过程框140)之外。

[0101] 然而,至少在一些情况下,膛监测完整性状态可以指示管段20中可能存在缺口,而环空监测完整性状态指示该管段20中不可能存在缺口,反之亦然。在此类实例中,控制子系统50通常可以服从通过执行环空监测算法68来确定的完整性状态,例如,由于该环空监测算法68通常提供与对应膛监测算法66相比更大的缺口检测窗口。换言之,当膛监测完整性状态指示可能存在缺口并且环空监测完整性状态指示不可能存在缺口时,控制子系统50可以确定交叉检查完整性状态,以指示管段20中实际不存在缺口(过程框142)。也就是说,在此类实例中,控制子系统50可以确定执行对应的膛监测算法66导致误报。

[0102] 当执行膛监测算法66导致误报时,为了便于提高后续的缺口检测准确性,在一些实施例中,控制子系统50可以自适应地调整膛监测算法66中使用的缺口膛压力模式,以减少负压力波灵敏度(过程框146)。特别地,如上所述,在一些此类实施例中,可以经由由控制子系统50执行的机器学习算法72来自适应地调整膛监测算法中使用的缺口膛压力模式,以降低负压力波灵敏度。例如,为了降低灵敏度,机器学习算法72可以自适应地设置缺口膛压力模式,以排除先前导致误报的缺口膛压力模式。

[0103] 另一方面,当膛监测完整性状态指示不可能存在缺口并且环空监测完整性状态指示可能存在缺口时,控制子系统50可以确定交叉检查完整性状态,以指示管段20中实际存在缺口(过程框140)。然而,如上所述,与对应的膛监测算法66相比,环空监测算法68识别缺口沿管段20的可能位置的能力通常可能是受限的。因此,当膛监测完整性状态指示不可能存在缺口并且环空监测完整性状态指示可能存在缺口时,控制子系统50可以重新运行膛监测算法66,以确定缺口沿管段20的可能位置(过程框144)。

[0104] 然而,由于膛监测算法66的先前执行周期无意中错过了缺口,因此可以在重新运行膛监测算法66之前自适应地调整膛监测算法66中使用的缺口膛压力模式。特别地,为了便于检测缺口的存在并因此检测该缺口沿管段20的位置,可以自适应地调整膛监测算法66中使用的缺口膛压力模式,以提高负压力波灵敏度(过程框148)。事实上,如上所述,在一些实施例中,可以经由由控制子系统50执行的机器学习算法72来自适应地调整膛监测算法66中使用的缺口膛压力模式,以提高负压力波灵敏度。

[0105] 为了帮助说明,用于自适应地调整膛监测算法66中使用的膛压力模式以提高负压力波灵敏度的过程150的示例在图9中描述。通常,过程150包括:确定环空流体参数最初指示管段中存在缺口的时间(过程框152);以及识别该环空流体参数最初指示该缺口时附近的时间段内的膛压力分布(过程框154)。另外,过程150通常包括:基于时间段内的膛压力分布来设置缺口膛压力模式(过程框156)。

[0106] 尽管以与本公开的实施例相对应的特定顺序描述了特定框,但是应当理解,示例性过程150仅旨在为例示性的而非限制性的。特别地,在其他实施例中,用于自适应地调整膛监测算法66中使用的膛压力模式以提高负压力波灵敏度的过程150可以包括一个或多个附加框和/或省略所描绘框中的一个或多个。此外,在一些实施例中,用于自适应地调整膛监测算法66中使用的膛压力模式以提高负压力波灵敏度的过程150可以至少部分地通过使用处理电路(诸如控制子系统50的一个或多个处理器62)执行指令(诸如机器学习算法72,

其存储在有形的、非暂时性的计算机可读介质(诸如控制子系统50的存储器64)中来执行。

[0107] 例如,在此类实施例中,监测设备40中的控制子系统50可以确定由环空传感器54确定的传感器数据中指示的环空流体参数最初指示管段20中存在缺口的时间(过程框152)。特别地,在一些此类实施例中,控制子系统50可以确定由环空传感器54确定的传感器数据最初指示管段20的管子环空25内的流体压力超过上限流体压力阈值或下降到下限流体压力阈值以下的时间。另外,在一些此类实施例中,控制子系统50可以确定由环空传感器54确定的传感器数据最初指示管段20的管子环空25内的流体流速超过上限流体流速阈值或下降到下限流体流速阈值以下的时间。此外,在一些此类实施例中,控制子系统50可以确定由环空传感器54确定的传感器数据最初指示管段的管子环空25内的流体温度匹配预期腔流体温度或预期外部环境温度的时间。此外,在一些此类实施例中,控制子系统50可以确定由环空传感器54确定的传感器数据最初指示管段的管子环空25内的流体成分超过环境流体量阈值或腔流体量阈值的时间。

[0108] 在任何情况下,控制子系统50然后可以确定在环空流体参数最初指示缺口的时间附近的时间段内的与监测设备40中的一个或多个腔传感器52中的每个腔传感器相关联的腔压力分布(过程框154)。特别地,在一些实施例中,控制子系统50可以至少部分地基于内部压力波在管段20的管腔32内的预期传播速度与环空流体参数变化在该管段20的管子环空25内的预期传播速度之间的差来选择在其内确定与腔传感器52相关联的腔压力分布的时间段。例如,当压力波在管腔32内的预期传播速度匹配环空流体参数变化在管子环空25内的预期传播速度时,控制子系统可以确定在以环空流体参数最初指示存在缺口的时间为中心的时间段内的腔压力分布。另外,当压力波在管腔32内的预期传播速度快于环空流体参数变化在管子环空25内的预期传播速度时,控制子系统50可以确定在环空流体参数最初指示存在缺口的时间之前的时间段内的腔压力分布。此外,当压力波在管腔32内的预期传播速度低于环空流体参数变化在管子环空25内的预期传播速度时,控制子系统50可以确定在环空流体参数最初指示存在缺口的时间之后的时间段内的腔压力分布。

[0109] 然后,控制子系统50可以基于时间段内的一个或多个腔压力分布来设置要在腔监测算法66的后续执行周期期间使用的缺口腔压力模式(过程框156)。特别地,控制子系统50可以至少部分地基于在与腔传感器52相关联的腔压力分布期间出现的腔压力模式来设置缺口腔压力模式。更具体地,为了便于提高腔监测算法66在随后的执行周期期间检测缺口的能力,控制子系统50可以至少部分地通过交叉关联来自与多个不同腔传感器52相关联的腔压力分布的腔压力模式来设置缺口腔压力模式,例如,以在考虑噪声的同时识别出现在腔压力分布中的每个中的腔压力模式。以这种方式,部署在管道系统10中的监测设备40可以操作为自适应地调整监测设备40中使用的缺口腔压力模式以便于提高负压力波灵敏度,这至少在一些情况下可以便于提高腔监测算法66提供的后续缺口检测准确性。

[0110] 在任何情况下,返回到图8的过程132,监测设备40中的控制子系统50然后可以指示交叉检查完整性状态(过程框139)。特别地,为了便于指示交叉检查完整性状态,在一些实施例中,控制子系统50可以指示电子设备(例如,I/O设备60)显示图形用户界面(GUI),该图形用户界面呈现交叉检查完整性状态的视觉表示。附加地或另选地,控制子系统可以至少部分地通过指示扬声器(例如,I/O设备60)输出提供交叉检查完整性状态的音频表示的声音来指示交叉检查完整性状态。

[0111] 在任何情况下,如上所述,交叉检查完整性状态通常可以指示管段20内是否实际存在缺口。因此,指示交叉检查完整性状态可以包括:指示管段20中是否实际存在缺口(过程框158)。另外,如上所述,当管段20中存在缺口时,在一些实施例中,对应的交叉检查完整性状态可以指示该缺口沿该管段20的可能位置,例如,这至少部分地通过执行腔监测算法66来确定。因此,在此类实施例中,当存在缺口时,指示交叉检查完整性状态可以包括:指示缺口沿管段20的可能位置(过程框160)。

[0112] 此外,如上所述,在一些实施例中,当管段20中存在缺口时,对应的交叉检查完整性状态可以指示管段20的可能包括缺口的一个或多个管子层,例如,这至少部分地通过执行环空监测算法68来确定。因此,在此类实施例中,当存在缺口时,指示交叉检查完整性状态可以包括:指示管段20的可能包括缺口的管子层(过程框162)。例如,控制子系统50可以指示管段20的内阻隔层26中是否可能存在缺口并且因此可以假设缺口存在于该管段20的外阻隔层28中。又如,控制子系统50可以指示缺口是否可能仅存在于管段20的外阻隔层28中。

[0113] 如上所述,在一些实施例中,确定管段20的可能包括缺口的管子层可以使控制子系统50能够确定通过该管段20的连续流体流是否预期会降低对应管道系统10的操作效率和/或操作可靠性,并且因此该管道系统10是否应当停止主动地使腔流体流过该管段20。因此,在此类实施例中,指示交叉检查完整性状态可以包括:指示是否停止主动地使腔流体流过管段20(过程框164)。例如,由于当管段20的内阻隔层26中可能存在缺口时通常可以假设该管段20的外阻隔层28中存在缺口,因此控制子系统50可以在该管段20的该内阻隔层26中检测到缺口时指示该管道系统10应当停止主动地使腔流体流过该管段20。另一方面,由于当管段20的外阻隔层28中存在缺口时通常不能假设该管段20的内阻隔层26中有缺口,因此控制子系统50可以在仅检测到该管段20的该外阻隔层28中的缺口时指示管道系统10可以继续主动地使腔流体流过该管段20,这至少在一些情况下可以便于增加该管道系统10的正常运行时间。

[0114] 在任何情况下,以这种方式,本公开提供用于至少部分地基于由腔传感器52确定的一个或多个腔流体参数和由一个或多个环空传感器54确定的一个或多个环空流体参数来实现和/或操作管道系统10中的监测设备40以便于提高缺口检测准确性的技术,这至少在一些情况下可以便于提高该管道系统10的操作效率和/或操作可靠性。尽管描述了其中各自打开监测设备40中的腔传感器52和一个或多个环空传感器54的技术的实施例,但是在其他实施例中,可以选择性地关闭该腔传感器52或该一个或多个环空传感器54一段时间,例如,以便于节省电力。为了使腔传感器52或一个或多个环空传感器52能够被选择性地关闭同时提高缺口检测准确性,在一些实施例中,监测设备40中的控制子系统50可以实现虚拟传感器,该虚拟传感器使控制子系统50能够基于经由打开的传感器所确定的流体参数来确定预期经由关闭的传感器检测的流体参数,例如,至少部分地通过执行机器学习算法72,该机器学习算法学习经由该腔传感器52所确定的一个或多个腔流体参数与经由该一个或多个环空传感器54所确定的一个或多个环空流体参数之间的预期关系。

[0115] 为了帮助说明,用于在监测设备40中实现虚拟传感器的过程166的示例在图10中描述。通常,过程166包括:经由腔传感器确定实际腔流体参数并经由环空传感器确定实际环空流体参数(过程框168);以及学习该实际腔流体参数与该实际环空流体参数之间的预

期关系(过程框170)。另外,过程166通常包括:关闭膛传感器或环空传感器(过程框172);经由打开的流体参数传感器重新确定实际流体参数(过程框174);以及基于重新确定的实际流体参数和学习的预期关系来确定与关闭的流体参数传感器相关联的预期流体参数(过程框176)。

[0116] 尽管以与本公开的实施例相对应的特定顺序描述了特定框,但是应当理解,示例性过程166仅旨在为例示性的而非限制性的。特别地,在其他实施例中,用于在监测设备40中实现虚拟传感器的过程166可以包括一个或多个附加框和/或省略所描绘框中的一个或多个。此外,在一些实施例中,用于在监测设备40中实现虚拟传感器的过程166可以至少部分地通过使用处理电路(诸如控制子系统50的一个或多个处理器62)执行指令(诸如机器学习算法72,其存储在有形的、非暂时性的计算机可读介质(诸如控制子系统50的存储器64)中)来执行。

[0117] 例如,在此类实施例中,监测设备40中的控制子系统50可以基于由膛传感器52确定的传感器数据来确定存在于管段20的管膛32内的一个或多个实际流体参数,并且基于由一个或多个环空传感器54确定的传感器数据来确定存在于该管段20的管子环空25内的一个或多个实际流体参数(过程框168)。例如,控制子系统50可以基于由膛传感器52确定的传感器数据来确定存在于管段20的管膛32内的流体压力和/或流体流速。另外,控制子系统50可以基于由一个或多个环空传感器54确定的传感器数据来确定存在于管子环空25内的流体压力、流体温度、流体流速、流体成分或它们的任何组合。

[0118] 控制子系统50然后可以学习一个或多个实际膛流体参数与一个或多个实际环空流体参数之间的预期关系(过程框170)。例如,控制子系统50可以分析管膛32内的实际流体压力和管子环空25内的实际流体压力和实际流体流速,以确定实际环空流体流速和实际环空流体压力如何随实际膛流体压力而变化。附加地或另选地,控制子系统50可以分析管膛32内的实际流体压力和管子环空25内的实际流体压力和实际流体流速,以确定实际膛流体压力如何随实际环空流体流速和实际环空流体压力而变化。

[0119] 在学习一种或多种预期关系之后,可以关闭监测设备40中的膛传感器52或一个或多个环空传感器54,例如,以便于节省电力(过程框172)。特别地,在一些实施例中,控制子系统50可以经由控制信号指示流体参数传感器关闭。然而,在其他实施例中,监测设备40中的流体参数传感器可以例如由用户、操作员或服务技术人员手动关闭。

[0120] 在任何情况下,控制子系统50然后可以基于由一个或多个打开的流体参数传感器随后确定的传感器数据来重新确定一个或多个实际流体参数(过程框174)。换句话说,当膛传感器52关闭时,控制子系统50可以基于由一个或多个环空传感器54确定的传感器数据来重新确定一个或多个实际环空流体参数。另一方面,当一个或多个环空传感器54关闭时,控制子系统50可以基于由膛传感器52确定的传感器数据重新确定一个或多个膛流体参数。

[0121] 基于一个或多个重新确定的实际流体参数和一个或多个学习的预期关系,控制子系统50然后可以确定与一个或多个关闭的流体参数传感器相关联的一个或多个预期流体参数(过程框176)。例如,当关闭膛传感器52时,控制子系统50可以将学习到的预期关系应用于一个或多个重新确定的实际环空流体参数,以确定在打开该膛传感器52的情形下预期已经被检测到的一个或多个膛流体参数。在此类实例中,控制子系统50然后可以基于一个或多个预期膛流体参数来执行膛监测算法66,例如,根据图5的示例性膛监测过程745中描

述。

[0122] 另一方面,当关闭一个或多个环空传感器54时,控制子系统50可以将学习到的预期关系应用于一个或多个重新确定的实际腔流体参数,以确定在打开该一个或多个环空传感器54的情形下预期已经被检测到的一个或多个环空流体参数。在此类实例中,控制子系统50然后可以基于一个或多个预期环空流体参数来执行环空监测算法68,例如,根据图7的示例性环空监测过程102。以这种方式,本公开提供了用于在管道系统中实现和/或操作监测设备以便于提高缺口检测准确性的技术,这至少在一些情况下可以便于提高管道系统的操作效率和/或操作可靠性。

[0123] 虽然已经关于有限数量的实施例描述了本公开,但是受益于本公开的本领域技术人员将理解,可以设计不脱离本文所述的本公开的范围的其他实施例。因此,本公开的范围应当仅由所附权利要求限制。

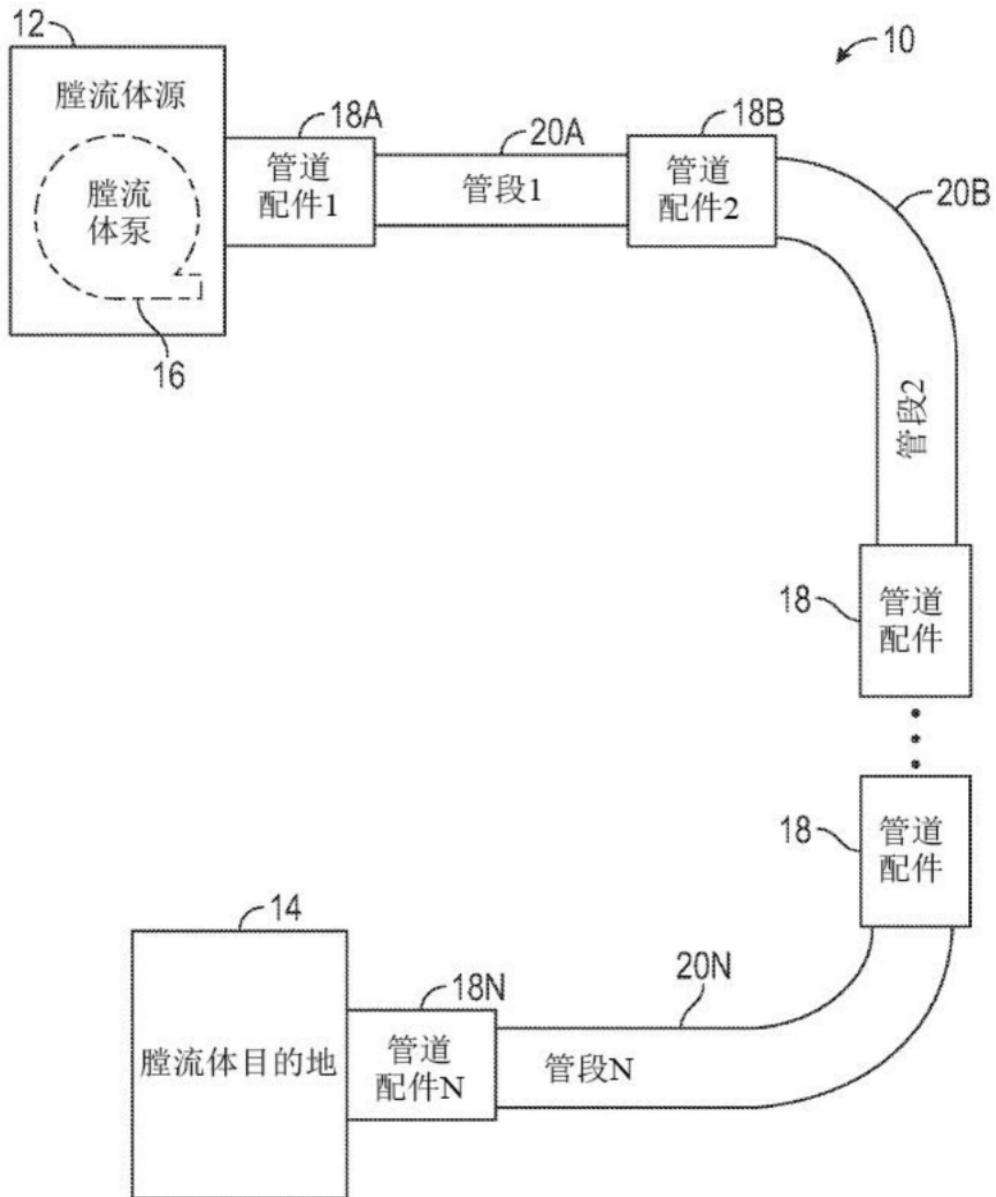


图1

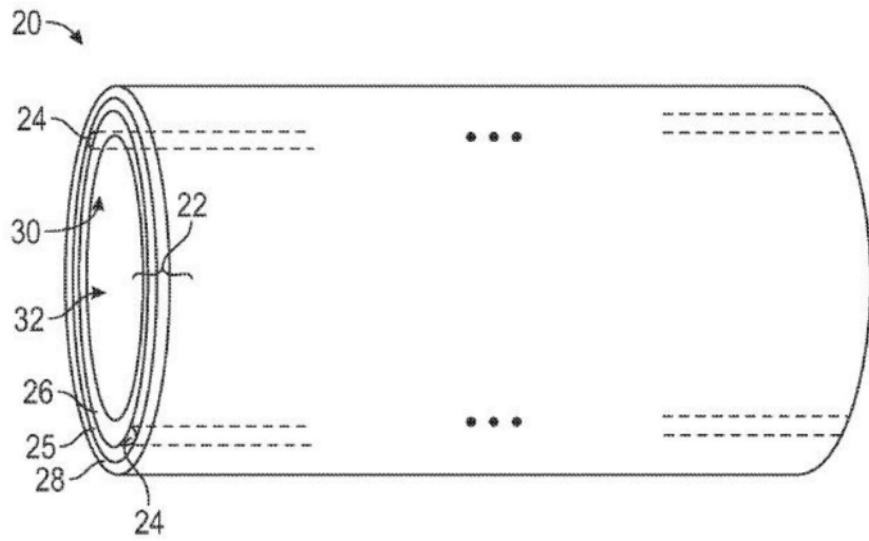


图2

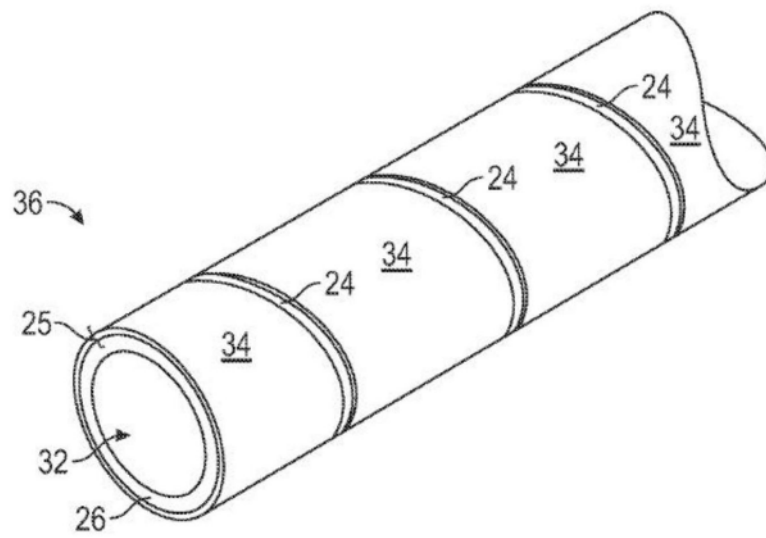


图3

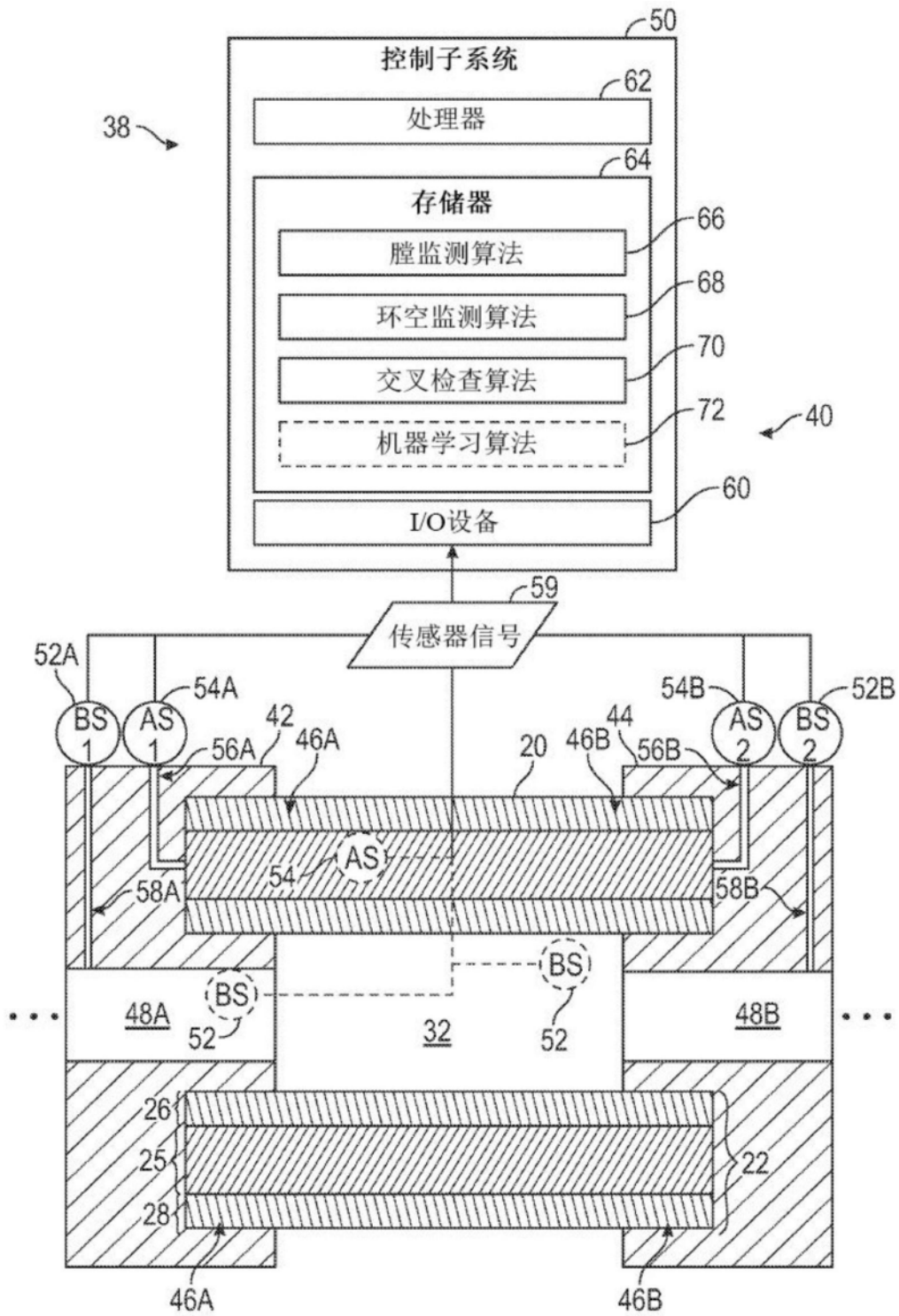


图4

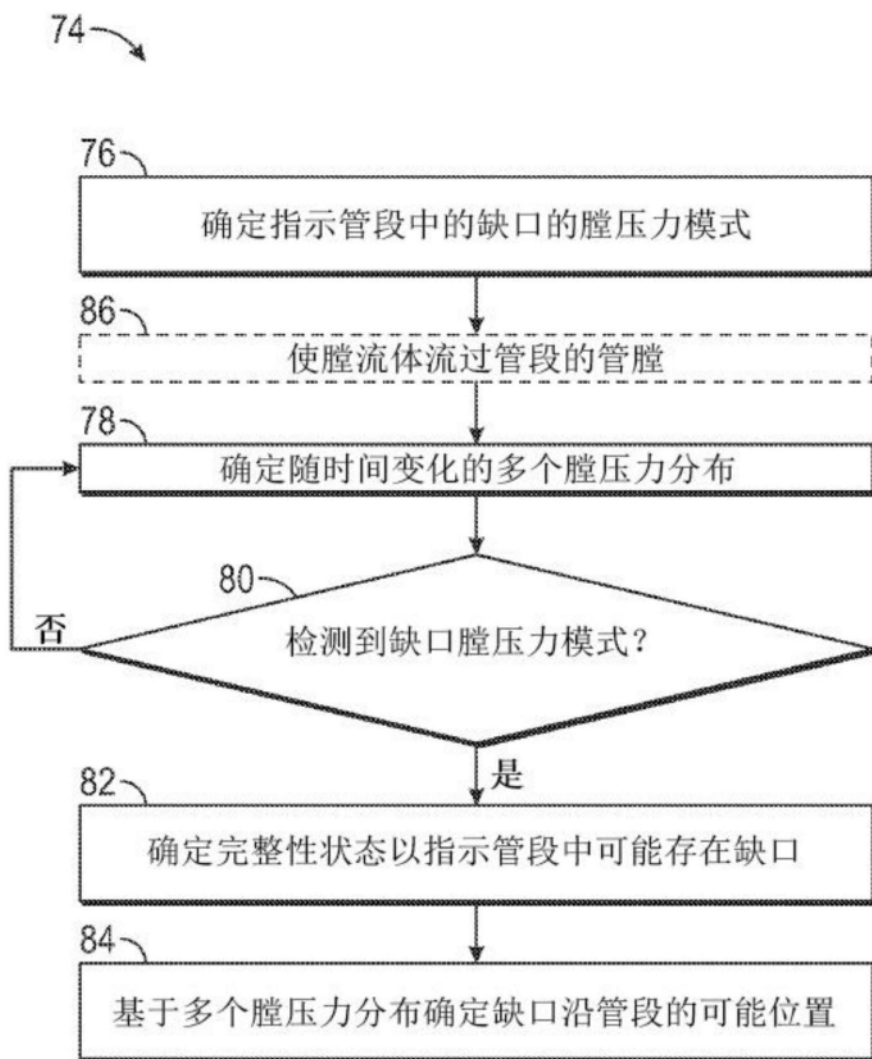


图5

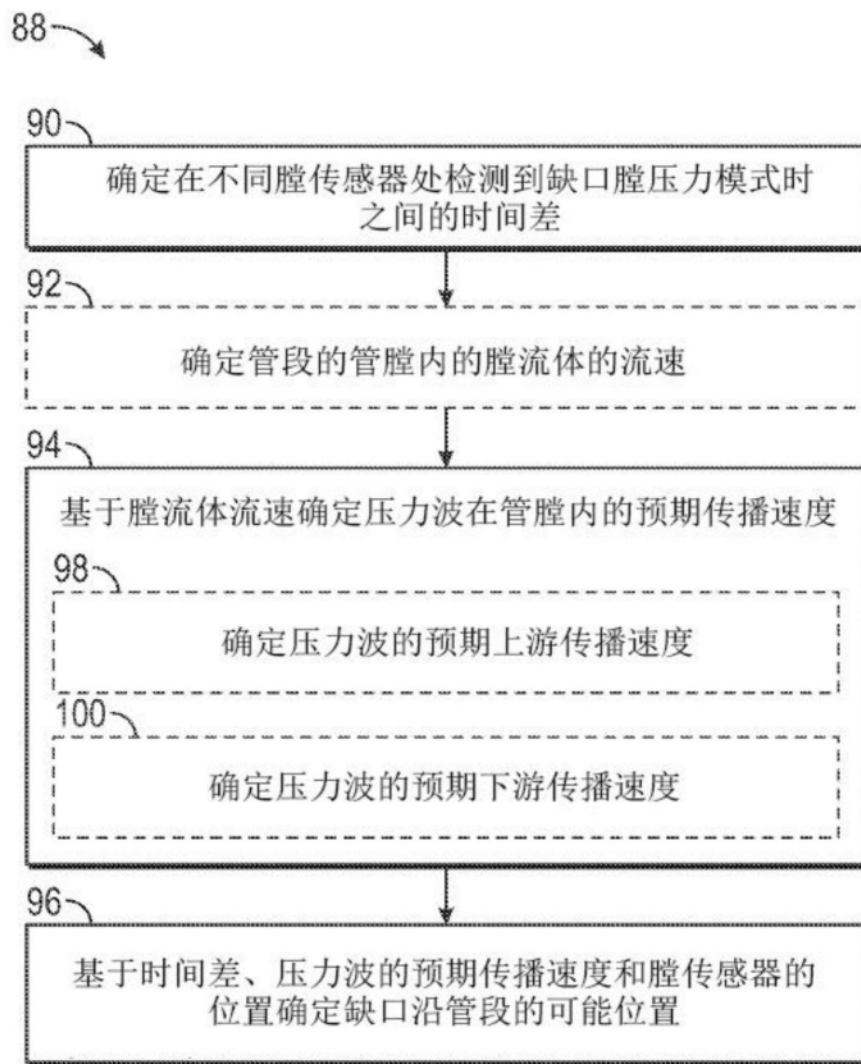


图6

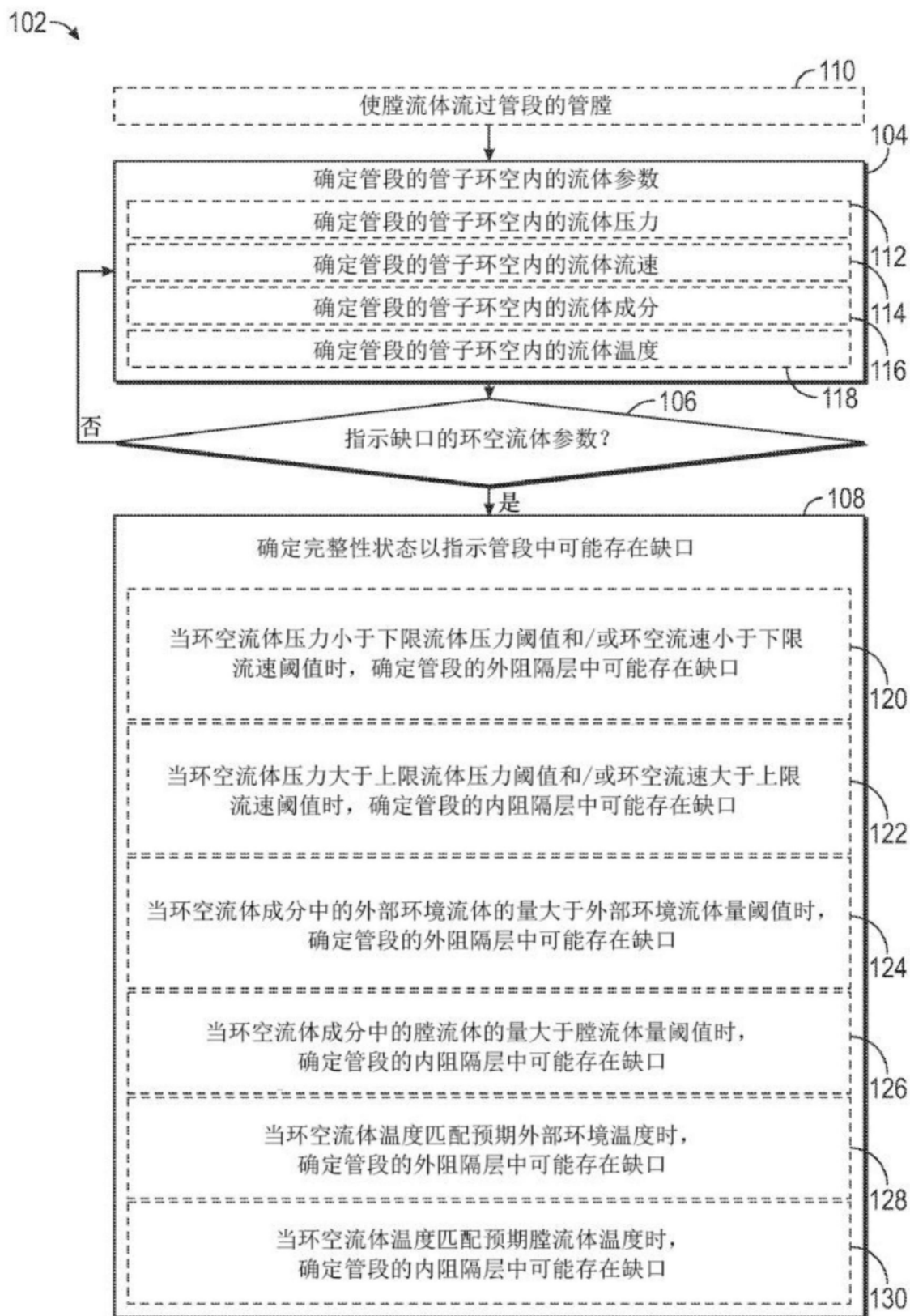


图7

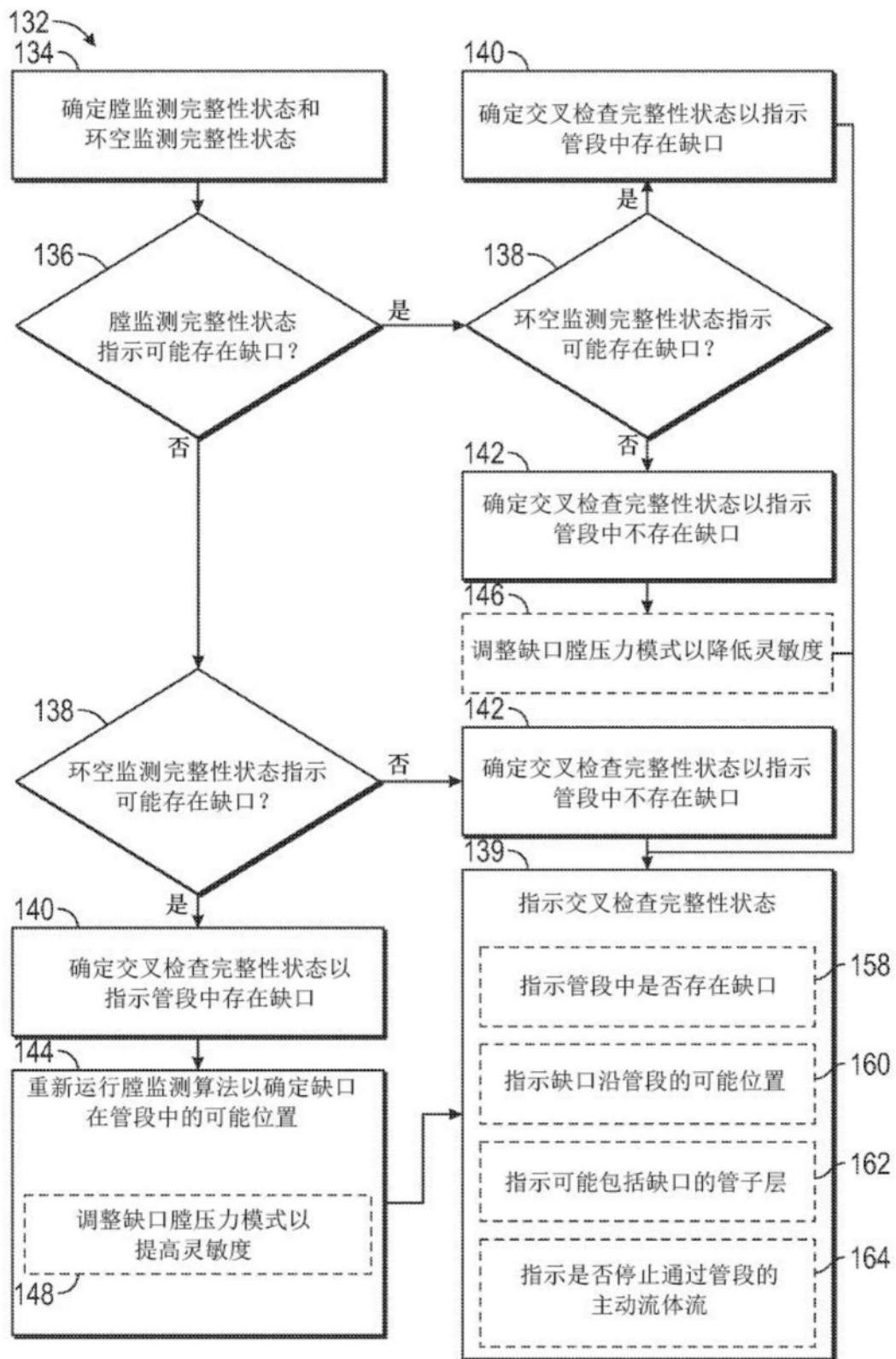


图8

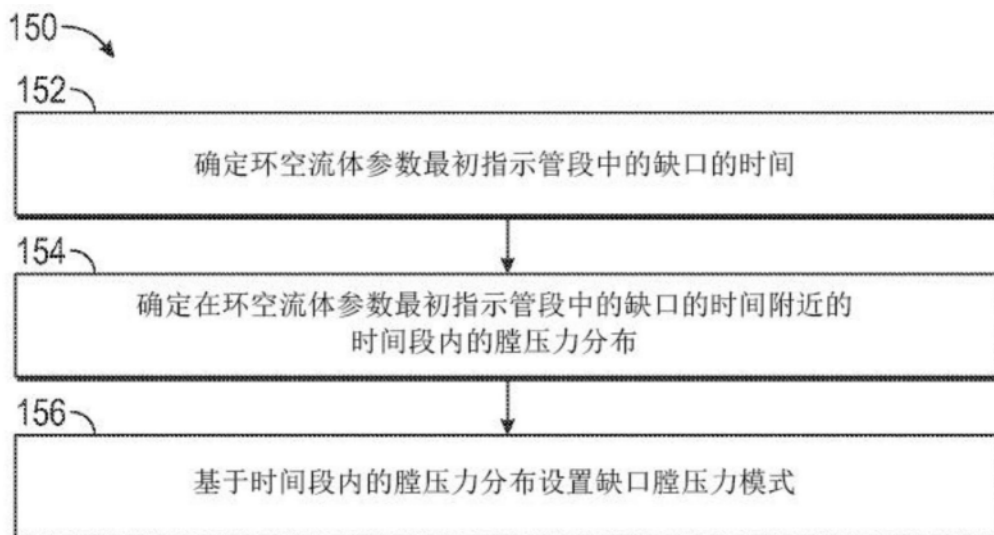


图9

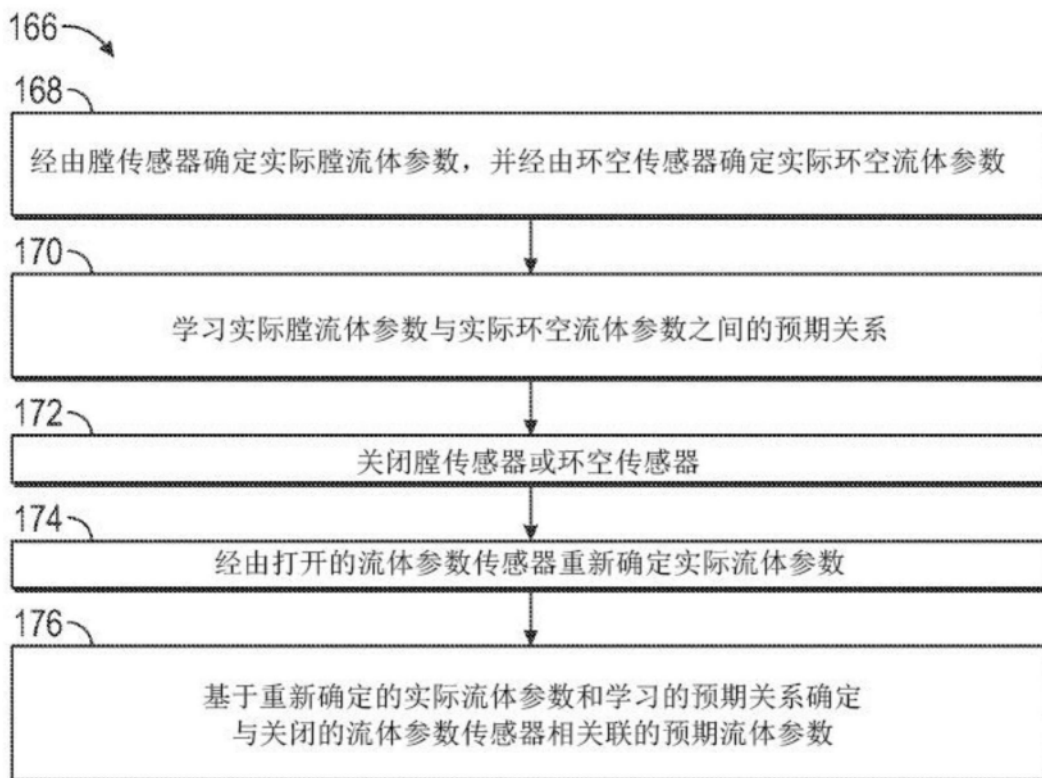


图10