

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 4 月 30 日 (30.04.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/082749 A1

- (51) 国际专利分类号:
F17D 3/01 (2006.01) *G08B 21/12* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/090556
- (22) 国际申请日: 2019 年 6 月 10 日 (10.06.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201811259487.X 2018 年 10 月 26 日 (26.10.2018) CN
- (71) 申请人: 西安交通大学 (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国陕西省西安市咸宁西路 28 号, Shaanxi 710049 (CN)。
- (72) 发明人: 郭烈锦 (GUO, Liejin); 中国陕西省西安市咸宁西路 28 号, Shaanxi 710049 (CN)。 邹

遂丰 (ZOU, Suifeng); 中国陕西省西安市咸宁西路 28 号, Shaanxi 710049 (CN)。 吴全红 (WU, Quanhong); 中国陕西省西安市咸宁西路 28 号, Shaanxi 710049 (CN)。 刘威志 (LIU, Weizhi); 中国陕西省西安市咸宁西路 28 号, Shaanxi 710049 (CN)。 徐强 (XU, Qiang); 中国陕西省西安市咸宁西路 28 号, Shaanxi 710049 (CN)。 郭龙进 (GUO, Longjin); 中国陕西省西安市咸宁西路 28 号, Shaanxi 710049 (CN)。 周文波 (ZHOU, Wenbo); 中国陕西省西安市咸宁西路 28 号, Shaanxi 710049 (CN)。 赵向远 (ZHAO, Xiangyuan); 中国陕西省西安市咸宁西路 28 号, Shaanxi 710049 (CN)。 姚添 (YAO, Tian); 中国陕西省西安市咸宁西路 28 号, Shaanxi 710049 (CN)。

(74) 代理人: 西安通大专利代理有限责任公司 (XI'AN TONG DA PATENT AGENCY CO., LTD.);

(54) **Title:** EARLY WARNING METHOD, CONTROL METHOD AND SYSTEM FOR HAZARDOUS REGIME OF OIL AND GAS GATHERING AND TRANSFERRING RISER SYSTEM

(54) 发明名称: 油气集输立管系统有害流型的预警方法、控制方法及系统

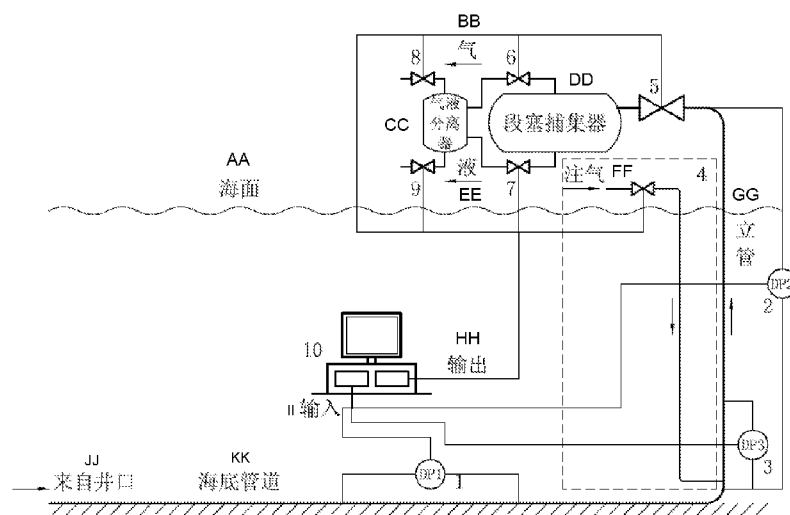


图 1

AA	Sea surface	GG	Riser
BB	Gas	HH	Output
CC	Gas-liquid separator	II	Input
DD	Slug catcher	JJ	From wellhead
EE	Liquid	KK	Submarine pipeline
FF	Injected gas		

(57) **Abstract:** Disclosed are an early warning method, a control method and a system for a hazardous regime of an oil and gas gathering and transferring riser system. Training is performed using a training support vector machine based on the principle of forming slugging between a normal submarine pipeline and the bottom of a riser and using slugging forming position parameters; the overall regime in the pipeline is then continuously and rapidly identified with differential pressure signals on at least three positions on the oil and gas gathering and transferring riser system, and a dimensionless mean value of the differential pressure signals is obtained; and by means of

中国陕西省西安市咸宁西路 28 号,
Shaanxi 710049 (CN)。

- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

monitoring the formation of long slugging in the submarine pipeline and through the quick response of the differential pressure signals to the changes in flow, the early warning of the instability of a gas-liquid interface and the slugging caused by the pipeline structure is realized, and accordingly, it can be predicted that the slugging formation position is respectively at the submarine pipeline or the bottom of the riser, thereby realizing the accurate determination of the slugging position. After the early warning is given, there is enough time for a control device to respond so as to avoid the formation of a hazardous regime or avoid the damage caused thereby. The method has a high reliability for early warning and a low false alarm rate, and can significantly increase the margin of flowing security assurance.

(57) 摘要: 一种油气集输立管系统有害流型的预警方法、控制方法及系统, 通过采用正常海底管道与立管底部液塞形成机理与液塞形成位置参数进行训练支持向量机训练; 然后对集输立管系统上至少 3 处压差信号对管道内的整体流型进行连续快速识别并获取压差信号的无量纲均值, 依靠对海底管道内长液塞的形成的监测以及各压差信号均值对流量变化的快速响应, 实现对气液界面不稳定性以及管道结构所致液塞的预警, 并相应预报出液塞形成的位置分别是海底管道以及立管底部, 实现液塞位置的精准判断, 预警发出后, 有足够的时间供控制装置响应, 以避免有害流型的形成或避免其造成危害, 该方法预警可靠性高、误报率低, 可显著提高流动安全保障的裕度。

油气集输立管系统有害流型的预警方法、控制方法及系统

技术领域

本发明属于海洋油气田流动安全保障领域，具体涉及油气集输立管系统有害流型的预警方法、控制方法及系统。

背景技术

在海洋油气开发中，通过管道将海底采出的油气等产物举升至海面生产平台。由于一座平台通常汇集多口油井的产出物，各油井至平台间的距离较长，管道自井口引出后先沿海床铺设，到达平台下方后脱离海床到达海面；其中自脱离海床处至海面平台的管段称为立管。当气液流量较低时，立管内易形成长液塞，与气相交替流出，造成出口流量的剧烈波动，即不稳定流型，这种流型称为严重液塞流。此外，若管道较粗，在一定气液流量范围内由于气液相界面的不稳定性，在海底管道内易形成较长的水动力液塞，也造成管道出口流量的大幅波动。以严重液塞流为代表的流型给海洋油气生产带来诸多危害，如产量剧烈波动、压力剧烈波动与管道振动、气液分离器断流或溢流、加剧管道腐蚀与结蜡等，不仅影响生产效率，而且严重危害管道、平台及下游设备的安全。工程上需对这些有害流型进行及时识别、超前预警，以避免其生成或其造成危害。

为达流型快速识别的目的，现有技术通过立管上以及立管顶部至分离器之间的 3 个不同位置处气液相分布（可由垂直段压差表征，摩阻压降相对于重力压降可忽略不计）的耦合关系实现有害流型的快速识别。通常，立管顶部至分离器间装有截止阀和/或调节阀，当阀门开度发生变化的时候，节流系

数发生变化，引起这一段管道压差的变化，使得不同流型的信号样本特征分布也发生变化；而阀门的调节是油气生产中的常见过程，因此该方案的识别结果对阀门开度非常敏感。

或者通过气液分离器和液塞捕集器出口的气液流量与分离器内的压力、
5 液位信号进行总体积流量与液体流量控制，以保证分离器与液塞捕集器的安全。显然，这种方法并不涉及管道内流型的调控，并不能防止严重液塞流的形成。

或者通过对分离器自身压力、液位以及立管压差信号组成串级 PID 控制回路。由于分离器压力的调节需较长时间，因此该方法虽然对分离器的安全保障起到了一定的作用，但并不能避免严重液塞流的形成，也不能在其形成
10 后快速消除。

或者通过立管底部压力信号进行 PID 控制，但液相增大本身使得严重液塞流更不易发生，只能说明控制模型可以适应不同的流量。而注意到在严重液塞流发生之后启动该程序，尚需数个周期才能将其消除。

15 或者通过管道入口压力信号进行 PID 控制，以抑制压力的波动。该方法仅适用于 2 个平台之间的流动控制（管道总体呈现 U 形），不适用于井口至平台之间的流动控制（在管道较长的情况下）。

但是采用以上现有技术的作用仅仅是作为防止管道超压，并非是监测严重液塞流的形成，主要是避免在海底安装传感器。论文（Zou et al.,
20 Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 96, pp. 329–346）研究表明，发生严重液塞流时压力波动自下游向上游传播，因此上游信号并未得到有效利用，不能很好地监测到严重液塞流的形成。

通过以上总结可以发现，以上基于信号波动幅度的控制方法虽然可以在

严重液塞流形成之后对其进行消除，但并不能防止其发生。

发明内容

本发明的目的在于提供油气集输立管系统有害流型的预警方法、控制方法及系统，以克服现有技术的不足。

5 为达到上述目的，本发明采用如下技术方案：

油气集输立管系统内有害流型的预警方法，包括以下步骤：

步骤 1)、通过集输立管系统上至少 3 处压差信号对管道内的整体流型进行连续快速识别并获取压差信号的无量纲均值，至少 3 处压差信号包括至少一处海底管道压差 DP1 和至少两处立管压差，两处立管压差包括立管总压差
10 DP2 和立管局部压差 DP3；

步骤 2)、采用海底管道液塞形成机理与液塞形成位置参数对第一支持向量机进行训练；采用立管底部液塞形成机理与液塞形成位置参数对第二支持向量机进行训练；

步骤 3)、如果立管总压差 DP2 的无量纲均值小于 0.4，则将至少 3 处压
15 差信号输入第一支持向量机进行判断，如果判断至少有一个为“不稳定流型”，则发出预警并判断液塞在海底管道形成，否则不进行预警；如果立管总压差 DP2 的无量纲均值大于 0.4，则将至少 3 处压差信号输入第二支持向量机进行判断，当第二支持向量机判断某 1 个样本被识别为“不稳定流型”时，则对该样本起后的连续 3 个样本进行识别，若连续 3 个样本均被识别为“不稳定
20 流型”时，则发出预警，并判断液塞在立管底部形成，否则不发出预警。

进一步的，输入第一支持向量机或第二支持向量机的信号参数包括海底管道压差 DP1 的无量纲均值、标准差，立管压差 DP2 的无量纲均值、极差及立管局部压差 DP3 的无量纲均值、标准差。

进一步的，海底管道压差信号 DP1 和立管压差信号 DP2 的无量纲化方法是将信号值除以该压差测试段充满静止液相时的压差。

进一步的，立管局部压差信号 DP3 的无量纲化方法是将信号值除以在水力学光滑管的假设下液相以单位速度流过该压差测试段时的摩阻压差。

5 进一步的，支持向量机训练所用的样本取自稳态流动的过程，即入口流量与出口压力恒定的过程，支持向量机的具体形式为

$$f(\mathbf{x}) = \text{sgn} \left(\sum_{i=1}^n y_i \alpha_i K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}) + b \right)$$

其中， $\mathbf{x}$ 为待测样本的特征向量； $\mathbf{x}_i$ 、 y_i 分别为已知样本的特征向量以及流型种类（以 1 或 -1 表示）； α_i 与 b 为支持向量机的参数，通过训练确定；

10 K 为核函数， $f(\mathbf{x})$ 为 1 或 -1 即为识别结果。

进一步的，使用基于 Matlab 的支持向量机工具包完成支持向量机的训练，将待测样本特征向量输入支持向量机即得到流型识别的结果。

一种油气集输立管系统内有害流型控制方法，包括以下步骤：

15 若判断液塞在海底管道内形成，则关小立管顶部节流阀门、关小气液分离器与液塞捕集器的气相出口阀门，开大气液分离器与液塞捕集器的液相出口阀门；若判断液塞在立管底部形成，则开启立管底部注气阀门，然后关小立管顶部节流阀门，直到管道内的流动达到新稳态后关闭注气阀门。

20 一种海洋油气集输立管系统内有害流型控制系统，包括监测装置和控制装置，监测装置包括计算机控制模块和用于监测集输立管不同段位压力差的压力传感器，计算机控制模块内设有处理模块和数据采集模块，数据采集模块连接于压力传感器，用于采集集输立管不同段位上的压力差，处理模块用于写入上述预警方法和控制方法程序，用于对数据采集模块采集数据进行处

理并进行信号输出；

控制装置包括与立管底部连通的注气装置和与立管上端连接的节流阀，立管上节流阀末端连接有液塞捕集器，液塞捕集器的气相出口设有第一气相阀门，液塞捕集器的液相出口设有第一液相阀门，第一气相阀门和第一液相
5 阀门出口连接于气液分离器，气液分离器的气相出口连接有第二气相阀门，气液分离器的液相出口连接有第二液相阀门；处理模块连接于各控制阀门。

进一步的，其中集输立管包括海底管道和立管，海底管道上设有第一压差传感器，立管上设有至少两个压差传感器。

与现有技术相比，本发明具有以下有益的技术效果：

10 本发明油气集输立管系统内有害流型的预警方法，通过采用正常海底管道与立管底部液塞形成机理与液塞形成位置参数进行训练支持向量机训练；然后对集输立管系统上至少 3 处压差信号对管道内的整体流型进行连续快速识别并获取压差信号的无量纲均值，依靠对海底管道内长液塞的形成的监测以及各压差信号均值对流量变化的快速响应，实现对气液界面不稳定性以及
15 管道结构所致液塞的预警，并相应预报出液塞形成的位置分别是海底管道以及立管底部，实现液塞位置的精准判断，预警发出后，有足够的时间供控制装置响应，以避免有害流型的形成或避免其造成危害。本方法预警可靠性高、误报率低，可显著提高流动安全保障的裕度。

一种油气集输立管系统内有害流型控制方法，通过对液塞位置的精准判
20 断并进行预警，能够有足够的时间供控制装置响应，避免了阀门开度的变化引起的识别正确率下降，从而保证了预警的可靠性，通过对上游信号的有效利用，实现了超前控制，可在很大范围内避免严重液塞流的形成。

一种海洋油气集输立管系统内有害流型控制系统，通过设置与立管底部

连通的注气装置和与立管上端连接的节流阀，然后在液塞捕集器和气液分离器的气液进出口设置阀门，利用设置于液塞捕集器和气液分离器的气液进出口设置阀门，由于预警的超前量相对较小，则既需要适度关小立管顶部节流阀门、关小气液分离器与液塞捕集器的气相出口阀门，同时适度开大气液分离器与液塞捕集器的液相出口阀门，由于事先释放了液塞捕集器的空间，使立管顶部气液分离器与液塞捕集器的容积均可缩小，以释放平台空间、减轻平台载荷。

附图说明

图 1 为本发明装置连接结构示意图。

图 2 为预警及控制响应方法流程简图。

图 3 为向有害流型转变过程的信号波形图；其中图 3（a）为液塞在海底管道形成；图 3（b）为液塞在立管底部形成。

图 4 为注气与节流控制依次响应后入口流量变化后预报液塞在立管底部形成时控制装置响应后的效果图。

图 5 为不施加任何控制方法的情况下流型的转变效果图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明做进一步详细描述：

如图 1、图 2 所示，一种海洋油气集输立管系统内有害流型控制系统，包括监测装置和控制装置，监测装置包括计算机控制模块和用于监测集输立管不同段位压力差的压力传感器，计算机控制模块内设有处理模块和数据采集模块，数据采集模块连接于压力传感器，用于采集集输立管不同段位上的压力差，处理模块用于写入上述预警方法和控制方法程序，用于对数据采集模块采集数据进行处理并进行信号输出；

控制装置包括与立管底部连通的注气装置和与立管上端连接的节流阀，立管上节流阀末端连接有液塞捕集器，液塞捕集器的气相出口设有第一气相阀门，液塞捕集器的液相出口设有第一液相阀门，第一气相阀门和第一液相阀门出口连接于气液分离器，气液分离器的气相出口连接有第二气相阀门，气液分离器的液相出口连接有第二液相阀门；处理模块连接于各控制阀门。

其中集输立管包括海底管道和立管，海底管道上设有第一压差传感器，立管上设有至少两个压差传感器。

本发明给出了一种海洋油气集输立管系统内有害流型的预测预警方法；通过集输立管系统上的 3 处压差信号对管道内的整体流型进行连续快速识别。3 个信号分别为海底管道压差 DP1、立管压差 DP2 与立管局部压差 DP3；本实施例中，样本长度为 10s，所用识别方法为支持向量机，但也可以用神经网络识别方法，它们训练所用的样本取自稳态过程；

液塞形成的原因包括管道结构与气液相界面不稳定性（即水动力），相应的液塞长度以及液塞形成的位置不同，均与立管压差 DP2 信号的均值密切相关。因此，首先按立管压差 DP2 的无量纲均值的不同范围训练两个支持向量机，然后依靠两个支持向量机进行流型识别；支持向量机的输入参数为海底管道压差 DP1 的无量纲均值、标准差，立管压差 DP2 的无量纲均值、极差，立管局部压差 DP3 的无量纲均值、标准差；

本实施例中，海底管道压差信号 DP1 和立管压差信号 DP2 的无量纲化方法是：将信号值除以该压差测试段充满静止液相时的压差；

立管局部压差信号 DP3 的无量纲化方法是：将信号值除以在水力学光滑管的假设下液相以单位速度流过该压差测试段时的摩阻压差。

支持向量机训练所用的样本取自稳态流动的过程，即入口流量与出口压

力恒定的过程，支持向量机的具体形式为

$$f(\mathbf{x}) = \text{sgn} \left(\sum_{i=1}^n y_i \alpha_i K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}) + b \right)$$

其中， $\mathbf{x}$ 为待测样本的特征向量； $\mathbf{x}_i$ 、 y_i 分别为已知样本的特征向量以及流型种类（以 1 或-1 表示）； α_i 与 b 为支持向量机的参数，通过训练确定；

5 K 为核函数，本实施例中选为径向基函数； $f(\mathbf{x})$ 为 1 或-1 即为识别结果。

使用基于 Matlab 的支持向量机工具包（下载链接：
<https://www.esat.kuleuven.be/sista/lssvmlab/>）完成支持向量机的训练，
将待测样本特征向量输入支持向量机即得到流型识别的结果。

采用海底管道液塞形成机理与液塞形成位置参数对第一支持向量机进行
10 训练；采用立管底部液塞形成机理与液塞形成位置参数对第二支持向量机进行训练，由于 2 个支持向量机分别对应不同的液塞形成机理与液塞形成位置，因此它们训练得到的参数是不同的。本发明通过在立管顶部调节阀开度不同的情况下另采集了一些稳态流动过程的样本对训练好的 2 个支持向量机进行测试，这些样本的识别正确率大于 90%，表明用于预警的流型识别模型足够
15 可靠。

然后对采集信号参数输入至训练好的 2 个支持向量机内，得到相应的结果：具体的，若信号样本中立管压差 DP2 的无量纲均值小于 0.4，则使用第一支持向量机进行识别，若立管压差的无量纲均值大于 0.4，则使用第二支持向量机进行识别，当第一支持向量机判断某 1 个样本被识别为“不稳定流
20 型”时，则发出预警，并判断液塞在海底管道形成；当第二支持向量机判断某 1 个样本被识别为“不稳定流型”时，则对该样本起后的连续 3 个样本进行识别，若连续 3 个样本均被识别为“不稳定流型”时，则发出预警，并判

断液塞在立管底部形成，否则不发出预警。本实施例中，支持向量机输出“1”表示“稳定流型”，输出“-1”表示“不稳定流型”。

在某集输立管系统中应用此方法对有害流型进行预警。结合图 2 对预警的原理进行进一步阐释。图 3 (a) 所示，第 220 s 管道入口流量发生变化后，3 个压差信号的均值迅速发生变化；第 350 s 起识别结果出现连续 3 个“-1”，第 370 s 发出预警时立管压差 DP2 的波动幅度并未显著升高；直到第 550 s 时 DP2 的幅度才达到不稳定流型的定义标准，即预警超前量为 180 s。图 3 (b) 所示，第 200 s 管道入口流量发生变化；第 320 s 时海底管道内形成长液塞，在第 330 s 时识别结果出现“-1”并发出预警；到第 380 s 时液塞进入立管，即预警超前量为 50 s；第 610 s 又监测到下一个液塞生成（识别结果出现“-1”），并发出预警。预警一发出，即启动控制响应。

结合集输立管系统内的液塞成因可知，图 3 (a) 所示的情况气相流量较低，严重液塞流由管道结构引起，液塞在立管底部形成；该实施例中这种形式的严重液塞流的预警超前量为 100~1360 s，18 次转变全部触发预警；图 3 (b) 所示的情况气相流量较高，气液相界面不稳定，海底管道内形成较长的水动力液塞；这种形式的液塞预警超前量为 20~960 s，16 次转变有 15 次触发预警。该实施例中的预警触发率为 97%，表明本发明具有很高的可靠性。同时，还对流量变化前后均为稳定流型的情况进行了检验，共 14 组工况，其中 1 组在转变过程中出现了水动力长液塞，采用本发明提前 60 s 发出了预警；其余 13 组未出现长液塞的工况中，虽然有 4 组工况的暂态过程中识别结果出现了“-1”，但仅有 1 组出现误报；因此该实施例中的误报率为 7%，在很大程度上避免了控制装置的误动作。

若预报液塞在海底管道内形成，由于预警的超前量相对较小（但对于控

制阀门来说仍足够充裕,只是不一定能消除),则既需要适度关小立管顶部节流阀门、关小气液分离器与液塞捕集器的气相出口阀门,同时适度开大气液分离器与液塞捕集器的液相出口阀门。以上各阀门操作的目的分别是延缓液塞喷发、维持分离器与液塞捕集器的压力稳定、释放液塞捕集器的空间以接收液塞。阀门的调节量由液塞长度决定,水动力液塞长度可通过 Brill 公式 (SPE Journal, Vol. 271, pp. 363 - 378) 计算。由于事先释放了液塞捕集器的空间,因此应用本发明后,相对于现有分离器控制方法可以缩小液塞捕集器和/或气液分离器的容积。

若预报液塞在立管底部形成,由于预警的超前量相对较大,开启立管底部注气阀门,然后关小立管顶部节流阀门,直到管道内的流动达到新稳态后关闭注气阀门。如果立管底部无注气条件,则直接关小节流阀门。先进行注气的原因是,注气可避免流量变化暂态过程中严重液塞流的形成,但节流无法保证避免;若预警触发的时刻较晚,关小节流阀后,立管压差仍会出现一个或数个周期的大幅波动(虽然幅度比无节流情况下要小一些),然后波动幅度才逐渐减小。先关小节流阀再关闭注气阀门则保证了控制过程中不再重新出现严重液塞流。

结合图 4 的控制响应效果对本发明的控制响应方法进行进一步的阐释。图 4 所示,第 94 s 管道入口流量发生变化后,在第 150 s 发出预警,预警信号一发出即开始实施注气控制;图 5 所示为相同工况(入口气液流量变化前后的值)、未施加任何控制方法的情况下流型的转变。两者对比可得,预警发出后立刻注气,严重液塞流未形成。随后在第 314 s 时关小节流阀,进入“注气+节流”联合控制阶段,该阶段立管压差 DP2 的呈现出小幅高频波动;然后在第 847 s 时撤去注气,立管压差 DP2 的波动频率虽有降低,但幅值无明显

变化，严重液塞流未出现。

通过以上控制使流动状态达到稳态后，即可切换为背景技术中提到的自动控制方法，进行稳态控制。

权利要求书

1、油气集输立管系统内有害流型的预警方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤 1)、通过集输立管系统上至少 3 处压差信号对管道内的整体流型进行连续快速识别并获取压差信号的无量纲均值，至少 3 处压差信号包括至少
5 一处海底管道压差 DP1 和至少两处立管压差，两处立管压差包括立管总压差 DP2 和立管局部压差 DP3；

步骤 2)、采用海底管道液塞形成机理与液塞形成位置参数对第一支持向量机进行训练；采用立管底部液塞形成机理与液塞形成位置参数对第二支持向量机进行训练；

10 步骤 3)、如果立管总压差 DP2 的无量纲均值小于 0.4，则将至少 3 处压差信号输入第一支持向量机进行判断，如果判断至少有一个为“不稳定流型”，则发出预警并判断液塞在海底管道形成，否则不进行预警；如果立管总压差 DP2 的无量纲均值大于 0.4，则将至少 3 处压差信号输入第二支持向量机进行判断，当第二支持向量机判断某 1 个样本被识别为“不稳定流型”时，则对
15 该样本起后的连续 3 个样本进行识别，若连续 3 个样本均被识别为“不稳定流型”时，则发出预警，并判断液塞在立管底部形成，否则不发出预警。

2、根据权利要求 1 所述的油气集输立管系统内有害流型的预警方法，其特征在于，输入第一支持向量机或第二支持向量机的信号参数包括海底管道压差 DP1 的无量纲均值、标准差，立管压差 DP2 的无量纲均值、极差及立管
20 局部压差 DP3 的无量纲均值、标准差。

3、根据权利要求 1 所述的油气集输立管系统内有害流型的预警方法，其特征在于，海底管道压差信号 DP1 和立管压差信号 DP2 的无量纲化方法是将信号值除以该压差测试段充满静止液相时的压差。

4、根据权利要求 1 所述的油气集输立管系统内有害流型的预警方法，其特征在于，立管局部压差信号 DP3 的无量纲化方法是将信号值除以在水力学光滑管的假设下液相以单位速度流过该压差测试段时的摩阻压差。

5、根据权利要求 1 所述的油气集输立管系统内有害流型的预警方法，其特征在于，支持向量机训练所用的样本取自稳态流动的过程，即入口流量与出口压力恒定的过程，支持向量机的具体形式为

$$f(\mathbf{x}) = \text{sgn} \left(\sum_{i=1}^n y_i \alpha_i K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}) + b \right)$$

其中， $\mathbf{x}$ 为待测样本的特征向量； $\mathbf{x}_i$ 、 y_i 分别为已知样本的特征向量以及流型种类（以 1 或 -1 表示）； α_i 与 b 为支持向量机的参数，通过训练确定； K 为核函数， $f(\mathbf{x})$ 为 1 或 -1 即为识别结果。

6、根据权利要求 1 所述的油气集输立管系统内有害流型的预警方法，其特征在于，使用基于 Matlab 的支持向量机工具包完成支持向量机的训练，将待测样本特征向量输入支持向量机即得到流型识别的结果。

7、一种基于权利要求 1 所述油气集输立管系统内有害流型预警方法的油气集输立管系统内有害流型控制方法，其特征在于，包括以下步骤：

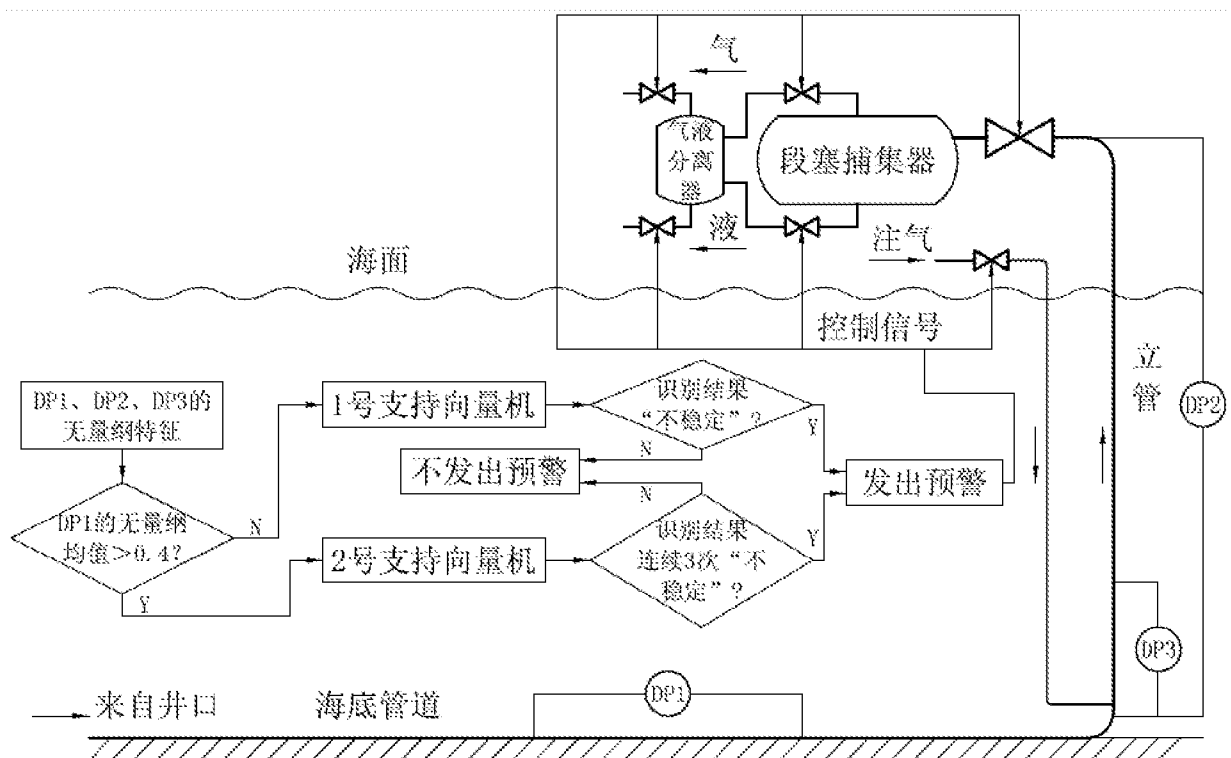
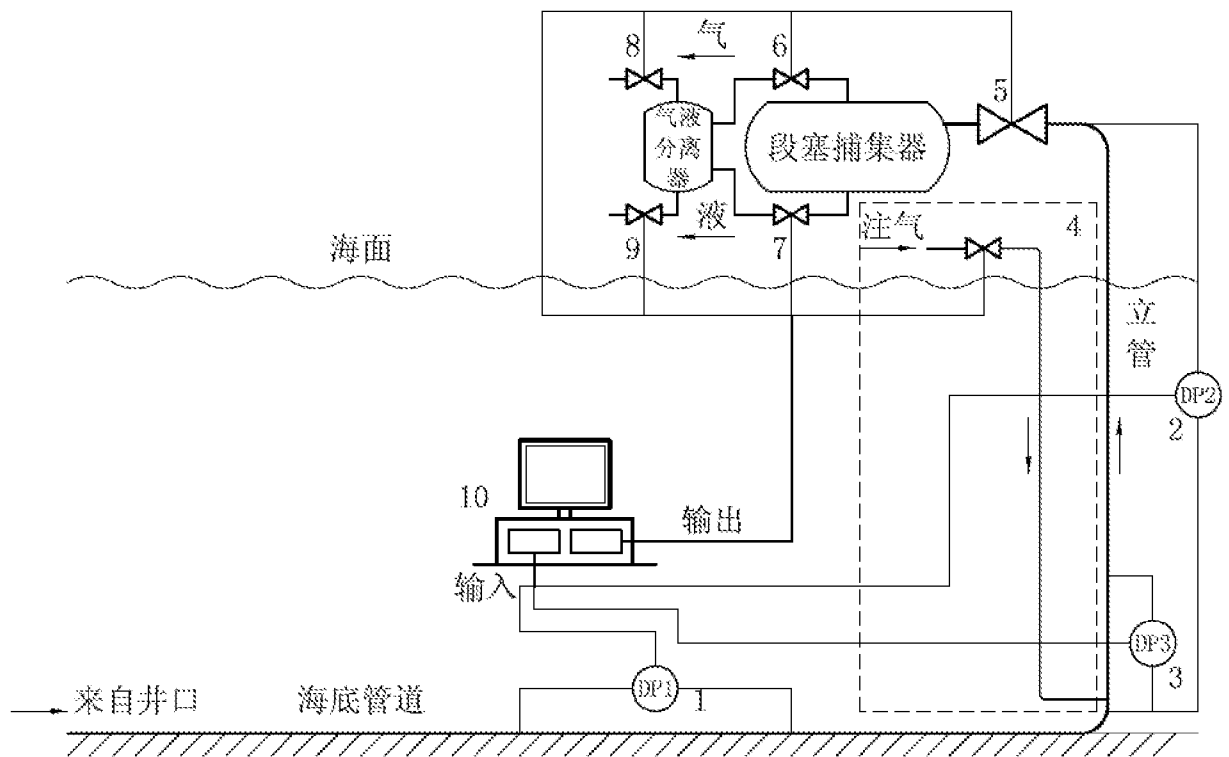
若判断液塞在海底管道内形成，则关小立管顶部节流阀门、关小气液分离器与液塞捕集器的气相出口阀门，开大气液分离器与液塞捕集器的液相出口阀门；若判断液塞在立管底部形成，则开启立管底部注气阀门，然后关小立管顶部节流阀门，直到管道内的流动达到新稳态后关闭注气阀门。

8、一种基于权利要求 7 控制方法的海洋油气集输立管系统内有害流型控制系统，其特征在于，包括监测装置和控制装置，监测装置包括计算机控制模块和用于监测集输立管不同段位压力差的压力传感器，计算机控制模块内

设有处理模块和数据采集模块，数据采集模块连接于压力传感器，用于采集集输立管不同段位上的压力差，处理模块用于写入上述预警方法和控制方法程序，用于对数据采集模块采集数据进行处理并进行信号输出；

控制装置包括与立管底部连通的注气装置（4）和与立管上端连接的节流
5 阀（5），立管上节流阀（5）末端连接有液塞捕集器，液塞捕集器的气相出口设有第一气相阀门（6），液塞捕集器的液相出口设有第一液相阀门（7），第一气相阀门（6）和第一液相阀门（7）出口连接于气液分离器，气液分离器的气相出口连接有第二气相阀门（8），气液分离器的液相出口连接有第二液相阀门（9）；处理模块连接于各控制阀门。

10 9、根据权利要求 8 所述的一种海洋油气集输立管系统内有害流型控制系统，其特征在于，其中集输立管包括海底管道和立管，海底管道上设有第一压差传感器（1），立管上设有至少两个压差传感器。



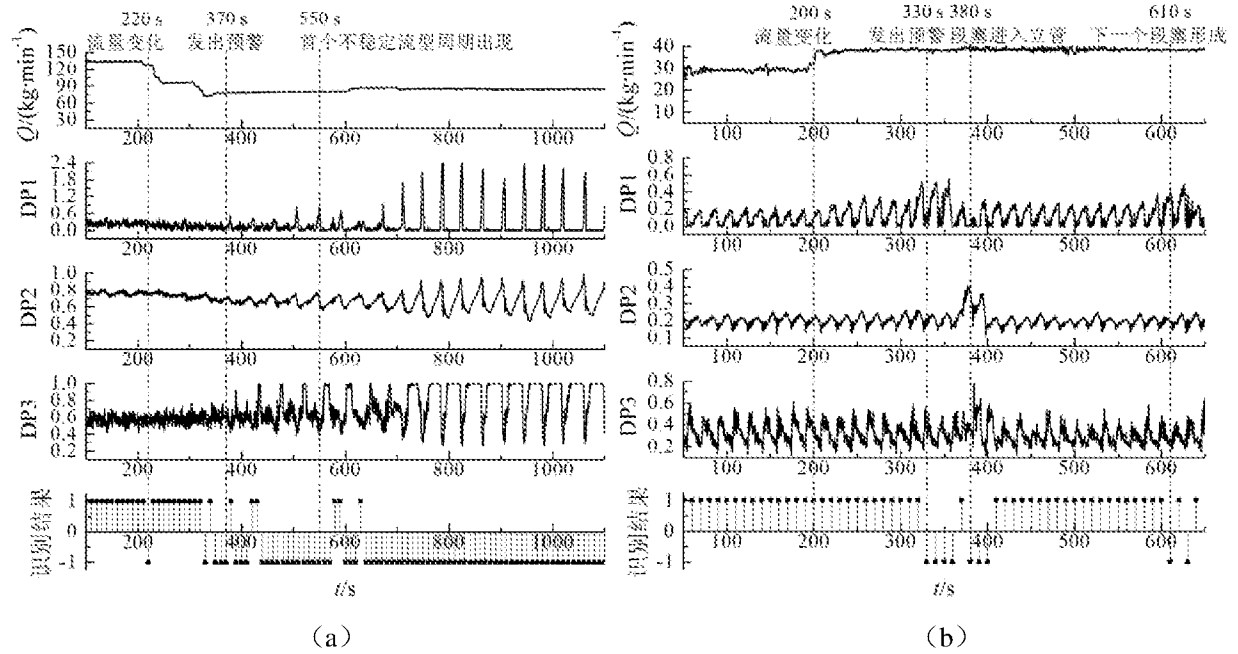


图 3

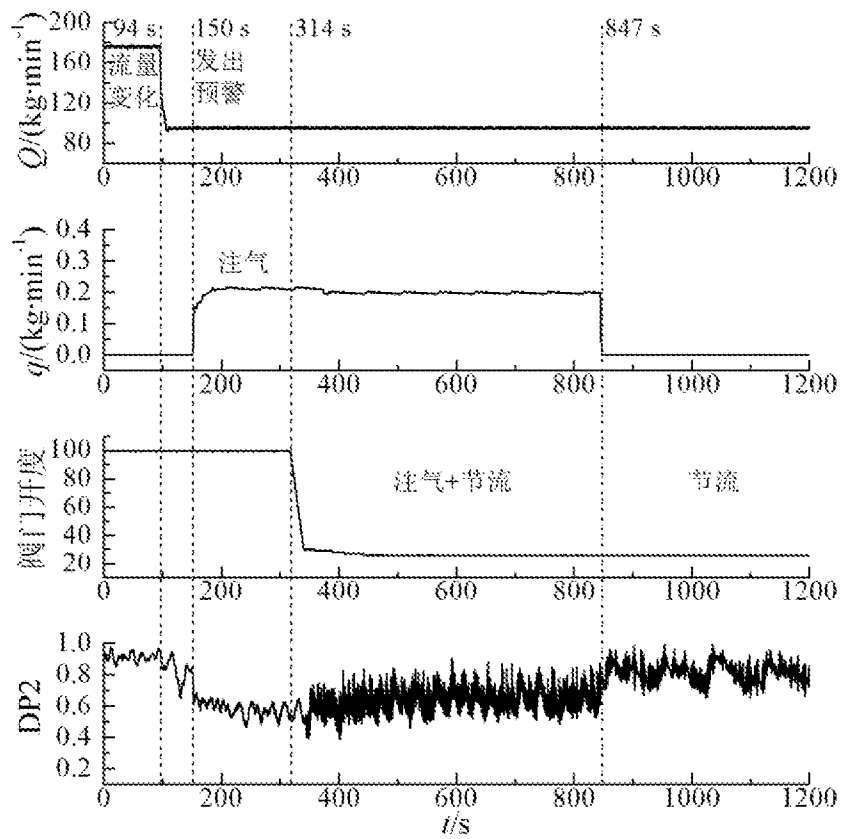


图 4

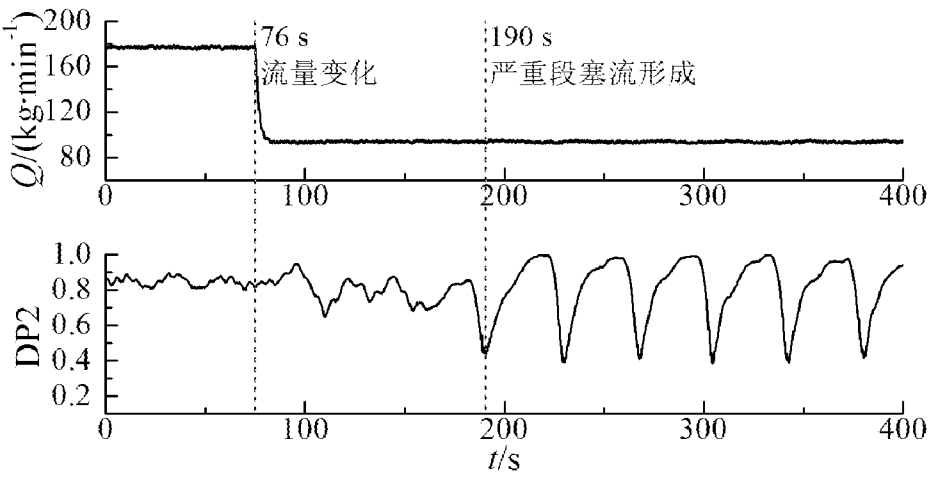


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/090556

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F17D 3/01(2006.01)i; G08B 21/12(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F17D; G08B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

SIPOABS, CNABS, CNKI, VEN: 油气, 管道, 信号, 压差, 流体, 识别, 预警, 测试, 节流阀, 传感器, 采集, 西安交通大学; oil, pipeline, signal, valve, liquid, alarm, testing, sensor

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109458561 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 12 March 2019 (2019-03-12) description, paragraphs [0038]-[0050], and figures	1-9
PX	CN 208888990 U (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 21 May 2019 (2019-05-21) description, paragraphs [0026]-[0043], and figures	1-9
A	CN 104061443 A (BEIJING HAOKEHANG TECHNOLOGY CO., LTD.) 24 September 2014 (2014-09-24) description, paragraphs [0005]-[0049], and figures	1-9
A	CN 205453931 U (CAO, JINGLIANG) 10 August 2016 (2016-08-10) entire document	1-9
A	CN 102305352 A (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY) 04 January 2012 (2012-01-04) entire document	1-9
A	CN 101255952 A (PETROCHINA COMPANY LIMITED) 03 September 2008 (2008-09-03) entire document	1-9
A	US 9307914 B2 (FAHEY, M. ET AL.) 12 April 2016 (2016-04-12) entire document	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 June 2019

Date of mailing of the international search report

02 August 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/090556

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 20120034928 A (KOREA WATER RESOURCES CORP.) 13 April 2012 (2012-04-13) entire document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/090556

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109458561	A	12 March 2019	None			
CN	208888990	U	21 May 2019	None			
CN	104061443	A	24 September 2014	CN	104061443	B	23 March 2016
CN	205453931	U	10 August 2016	None			
CN	102305352	A	04 January 2012	CN	102305352	B	06 February 2013
CN	101255952	A	03 September 2008	CN	101255952	B	30 May 2012
US	9307914	B2	12 April 2016	US	2013253354	A1	26 September 2013
				BR	112013026603	A8	06 March 2018
				US	10282963	B2	07 May 2019
				KR	20140061995	A	22 May 2014
				JP	6025819	B2	16 November 2016
				US	8744561	B2	03 June 2014
				WO	2012142462	A1	18 October 2012
				US	8478418	B2	02 July 2013
				EP	2696750	B1	10 August 2016
				US	2016180684	A1	23 June 2016
				BR	112013026603	A2	10 January 2017
				CN	103635130	A	12 March 2014
				US	2013275158	A1	17 October 2013
				JP	2014516626	A	17 July 2014
				US	2014323883	A1	30 October 2014
				US	10297132	B2	21 May 2019
				WO	2012142432	A1	18 October 2012
				US	2012262303	A1	18 October 2012
				EP	2696750	A1	19 February 2014
				US	8774932	B2	08 July 2014
				US	2013253355	A1	26 September 2013
				AU	2012242646	A1	31 October 2013
				US	2012265029	A1	18 October 2012
KR	20120034928	A	13 April 2012	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/090556

A. 主题的分类 F17D 3/01(2006.01)i; G08B 21/12(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																													
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) F17D; G08B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) SIPOABS, CNABS, CNKI, VEN: 油气, 管道, 信号, 压差, 流体, 识别, 预警, 测试, 节流阀, 传感器, 采集, 西安交通大学; oil, pipeline, signal, valve, liquid, alarm, testing, sensor																													
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109458561 A (西安交通大学) 2019年 3月 12日 (2019 - 03 - 12) 说明书第[0038]-[0050]段及附图</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 208888990 U (西安交通大学) 2019年 5月 21日 (2019 - 05 - 21) 说明书第[0026]-[0043]段及附图</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104061443 A (北京昊科航科技有限责任公司) 2014年 9月 24日 (2014 - 09 - 24) 说明书第[0005]-[0049]段及附图</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 205453931 U (曹京良) 2016年 8月 10日 (2016 - 08 - 10) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102305352 A (西南石油大学) 2012年 1月 4日 (2012 - 01 - 04) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101255952 A (中国石油天然气股份有限公司) 2008年 9月 3日 (2008 - 09 - 03) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 9307914 B2 (FAHEY MICHAEL等) 2016年 4月 12日 (2016 - 04 - 12) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>KR 20120034928 A (KOREA WATER RESOURCES CORP) 2012年 4月 13日 (2012 - 04 - 13) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 109458561 A (西安交通大学) 2019年 3月 12日 (2019 - 03 - 12) 说明书第[0038]-[0050]段及附图	1-9	PX	CN 208888990 U (西安交通大学) 2019年 5月 21日 (2019 - 05 - 21) 说明书第[0026]-[0043]段及附图	1-9	A	CN 104061443 A (北京昊科航科技有限责任公司) 2014年 9月 24日 (2014 - 09 - 24) 说明书第[0005]-[0049]段及附图	1-9	A	CN 205453931 U (曹京良) 2016年 8月 10日 (2016 - 08 - 10) 全文	1-9	A	CN 102305352 A (西南石油大学) 2012年 1月 4日 (2012 - 01 - 04) 全文	1-9	A	CN 101255952 A (中国石油天然气股份有限公司) 2008年 9月 3日 (2008 - 09 - 03) 全文	1-9	A	US 9307914 B2 (FAHEY MICHAEL等) 2016年 4月 12日 (2016 - 04 - 12) 全文	1-9	A	KR 20120034928 A (KOREA WATER RESOURCES CORP) 2012年 4月 13日 (2012 - 04 - 13) 全文	1-9
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																											
PX	CN 109458561 A (西安交通大学) 2019年 3月 12日 (2019 - 03 - 12) 说明书第[0038]-[0050]段及附图	1-9																											
PX	CN 208888990 U (西安交通大学) 2019年 5月 21日 (2019 - 05 - 21) 说明书第[0026]-[0043]段及附图	1-9																											
A	CN 104061443 A (北京昊科航科技有限责任公司) 2014年 9月 24日 (2014 - 09 - 24) 说明书第[0005]-[0049]段及附图	1-9																											
A	CN 205453931 U (曹京良) 2016年 8月 10日 (2016 - 08 - 10) 全文	1-9																											
A	CN 102305352 A (西南石油大学) 2012年 1月 4日 (2012 - 01 - 04) 全文	1-9																											
A	CN 101255952 A (中国石油天然气股份有限公司) 2008年 9月 3日 (2008 - 09 - 03) 全文	1-9																											
A	US 9307914 B2 (FAHEY MICHAEL等) 2016年 4月 12日 (2016 - 04 - 12) 全文	1-9																											
A	KR 20120034928 A (KOREA WATER RESOURCES CORP) 2012年 4月 13日 (2012 - 04 - 13) 全文	1-9																											
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																													
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																													
国际检索实际完成的日期 2019年 6月 28日		国际检索报告邮寄日期 2019年 8月 2日																											
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 邵际涛 电话号码 86-(10)-62085326																											

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/090556

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109458561	A	2019年 3月 12日	无	
CN	208888990	U	2019年 5月 21日	无	
CN	104061443	A	2014年 9月 24日	CN 104061443	B 2016年 3月 23日
CN	205453931	U	2016年 8月 10日	无	
CN	102305352	A	2012年 1月 4日	CN 102305352	B 2013年 2月 6日
CN	101255952	A	2008年 9月 3日	CN 101255952	B 2012年 5月 30日
US	9307914	B2	2016年 4月 12日	US 2013253354	A1 2013年 9月 26日
				BR 112013026603	A8 2018年 3月 6日
				US 10282963	B2 2019年 5月 7日
				KR 20140061995	A 2014年 5月 22日
				JP 6025819	B2 2016年 11月 16日
				US 8744561	B2 2014年 6月 3日
				WO 2012142462	A1 2012年 10月 18日
				US 8478418	B2 2013年 7月 2日
				EP 2696750	B1 2016年 8月 10日
				US 2016180684	A1 2016年 6月 23日
				BR 112013026603	A2 2017年 1月 10日
				CN 103635130	A 2014年 3月 12日
				US 2013275158	A1 2013年 10月 17日
				JP 2014516626	A 2014年 7月 17日
				US 2014323883	A1 2014年 10月 30日
				US 10297132	B2 2019年 5月 21日
				WO 2012142432	A1 2012年 10月 18日
				US 2012262303	A1 2012年 10月 18日
				EP 2696750	A1 2014年 2月 19日
				US 8774932	B2 2014年 7月 8日
				US 2013253355	A1 2013年 9月 26日
				AU 2012242646	A1 2013年 10月 31日
				US 2012265029	A1 2012年 10月 18日
KR	20120034928	A	2012年 4月 13日	无	