

(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 7 月 2 日 (02.07.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/133957 A1

(51) 国际专利分类号:
E21D 23/04 (2006.01) *E21D 15/51* (2006.01)

中国江苏省徐州市云龙区乔家湖村,
Jiangsu 221004 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/091625

(22) 国际申请日: 2019 年 6 月 18 日 (18.06.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201811632720.4 2018 年 12 月 29 日 (29.12.2018) CN

(71) 申请人: 中国矿业大学 (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国江苏省徐州市铜山区大学路 1 号, Jiangsu 221116 (CN)。徐州金枫液压技术开发有限公司 (XUZHOU GOLDFLUID HYDRAULIC TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO.,LTD.) [CN/CN];

(72) 发明人: 王忠宾 (WANG, Zhongbin); 中国江苏省徐州市铜山区大学路 1 号, Jiangsu 221116 (CN)。路绪良 (LU, Xuliang); 中国江苏省徐州市铜山区大学路 1 号, Jiangsu 221116 (CN)。谭超 (TAN, Chao); 中国江苏省徐州市铜山区大学路 1 号, Jiangsu 221116 (CN)。闫海峰 (YAN, Haifeng); 中国江苏省徐州市铜山区大学路 1 号, Jiangsu 221116 (CN)。司垒 (SI, Lei); 中国江苏省徐州市铜山区大学路 1 号, Jiangsu 221116 (CN)。姚新港 (YAO, Xingang); 中国江苏省徐州市铜山区大学路 1 号, Jiangsu 221116 (CN)。

(74) 代理人: 南京经纬专利商标代理有限公司 (NANJING JINGWEI PATENT & TRADEMARK

(54) Title: HYDRAULIC SUPPORT FRAME MONITORING SUPPORT POSTURE IN REAL-TIME BASED ON IMU AND DETECTION METHOD FOR SUPPORT FRAME

(54) 发明名称: 基于 IMU 实时监测支护位姿的液压支架及其检测方法

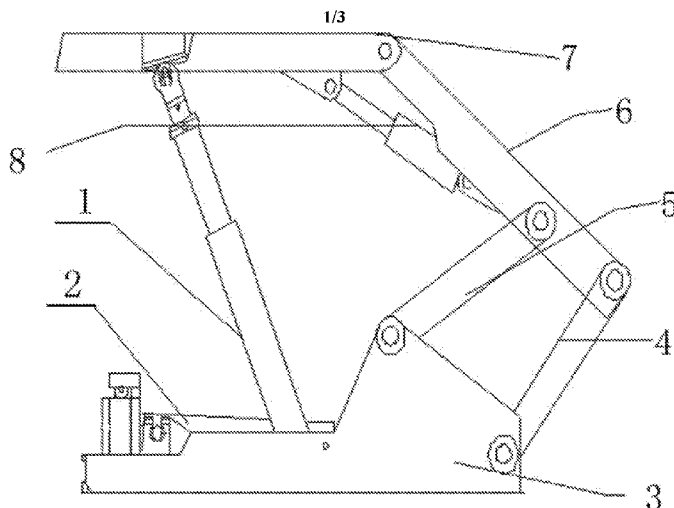


图1

(57) Abstract: Disclosed are a hydraulic support frame monitoring a support posture in real-time based on an IMU and a detection method for the hydraulic support frame. The hydraulic support frame has IMU sensors mounted respectively on a top beam (7), a rear connecting rod (4), and a base (3), and is provided with a supplementary support posture monitoring system. Motion states of the top beam (7), the rear connecting rod (4), and the base (3) of the support frame are measured in real-time by the multiple IMU sensors and processed by the support posture monitoring system so as to monitor the support posture of the hydraulic support frame in real-time, specifically, whether frame lowering, frame moving, and lifting/lowering operations with respect to the hydraulic support frame are carried out correctly, thus allowing a determination to be made on a technical level, effectively reducing the labor intensity for workers,



WO 2020/133957 A1

AGENCY CO., LTD); 中国江苏省南京市鼓楼区中山路179号12楼B座, Jiangsu 210005 (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))。

and increasing the work efficiency of the hydraulic support frame.

(57) 摘要: 公开了一种基于IMU实时监测支护位姿的液压支架及其检测方法。该液压支架分别在顶梁(7)、后连杆(4)、底座(3)上安装IMU传感器, 并设置配套的支护位姿监测系统。通过多个IMU传感器实时测量支架顶梁(7)、后连杆(4)和底座(3)的运动状态, 经支护位姿监测系统的处理, 以实时监测液压支架支护位姿, 尤其是对于液压支架的降架、移架、升降操作是否到位, 能够在技术层面上给予判断, 有效地降低工人的劳动强度, 提高液压支架的工作效率。

基于IMU实时监测支护位姿的液压支架及其检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于IMU(惯性测量单元)实时监测支护位姿的液压支架;适用于煤矿煤矿井下设备自动化控制领域使用。

[0002] 本发明还涉及一种基于IMU液压支架支护位姿实时检测方法。

背景技术

[0003] 煤炭是我国重要的基础能源和原料,占到了我国能源消费总量的62%,是目前世界上最大的煤炭生产和消费国。同时,贫油少气的能源赋存条件也决定了我国离不开煤炭的现状。

[0004] 煤矿井下综采工作面环境恶劣,矿工劳动强度高、身体健康危害大,甚至会危及生命。随着国家科学技术的发展,煤矿行业也不断的引进新的自动化控制技术,其自动化程度逐渐提高,工人的工作条件得到一定程度的改善,但是综采工作面复杂恶劣的工况,仍然危及着工人的身体健康及生命。实现工作面少人化、无人化开采可以有效避免上述危害。同时,传统的煤炭开采主要依靠工人进行作业,特别是综采面的液压支架数量为几十架到上百架,依靠人工操作,不能准确判断出支架的支护状态,只能依靠工作经验对其进行调整,可靠性和工作效率低。

[0005] 支护位姿缺乏有效的感知方法,根据液压支架机械机构,只要测得支架主动油缸的实时长度便可以获得支护姿态,但由于液压支架机械机构之间的耦合作用,以及井下恶劣环境条件的限制,无法通过传感器直接测得主动缸的长度获得支护位姿。

[0006] 液压支架主体机构包含两个自由度,需要两个主动件才能确定运动状态,在液压支架运动过程中,作为液压支架的驱动部件,立柱和平衡千斤顶的长度决定着液压支架的支护位姿,但是在井下的恶劣环境下以及条件限制,无法通过传感器直接测得主动油缸的长度。

发明内容

[0007] 本发明针对现有技术的不足,提供一种基于IMU实时监测支护位姿的液压支架,通过在顶梁、后连杆、底座上安装IMU传感器,并设置配套的支护位姿监测系统,通过测量支架顶梁、后连杆和底座的运动状态,以实时监测液压支架支护位姿,尤其是对于液压支架的降架、移架、升降操作,能够在技术层面上给予指示,有效地降低工人的劳动强度,提高液压支架的工作效率。

[0008] 为实现上述的技术目的,本发明将采取如下的技术方案:

[0009] 一种基于IMU实时监测支护位姿的液压支架,包括底座、顶梁、掩护梁、前连杆、后连杆、立柱以及平衡千斤顶;顶梁通过立柱支撑在底座的上方,且顶梁的尾端与掩护梁的一端铰接,掩护梁的另一端具有两个相间设置的位点C、位点D;掩护梁的位点C、位点D分别通过前连杆、后连杆与底座上的位点A、位点B对应铰接,以构成支架四连杆机构;平衡千斤顶的一端与顶梁连接,另一端则与掩护梁连接;其特征在于,还包括三个IMU传感器以及支

护位姿监测系统；其中：所述的三个IMU传感器，分别为第一IMU传感器、第二IMU传感器、第三IMU传感器；第一IMU传感器安装于顶梁，用于检测顶梁的姿态角信息，并反馈至支护位姿监测系统；第二IMU传感器安装于后连杆，用于检测后连杆的姿态角信息，并反馈至支护位姿监测系统；第三IMU传感器安装于底座，用于检测底座姿态角信息，并反馈至支护位姿监测系统；支护位姿监测系统包括姿态角信息采集模块、姿态角信息分析处理模块、支护位姿输出模块；姿态角信息采集模块，能够接收各IMU传感器所检测到的姿态角信息，并传输至姿态角信息分析处理模块；姿态角信息分析处理模块，能够接收姿态角信息采集模块所传输的姿态角信息，并将所接收到的姿态角信息，结合支架四连杆机构中各杆件的长度，根据D-H矩阵坐标转换原理，转换计算后，得到液压支架的支护高度 h ，并将所得到的支护高度 h 与降架、移架、升架操作后的支护高度目标值进行比较，判断降架、移架、升架操作是否到位，实现对液压支架的降架、移架、升架操作过程中支护位姿的监测。

[0010] 作为本发明的进一步改进，所述的姿态角信息分析处理模块，包括：D-H坐标转换模块，通过绝对坐标系 $\{0_0\}$ 与D-H坐标系之间的坐标转换来实现；D-H坐标系包括底座坐标系 $\{0_1\}$ 、后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 、掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 以及顶梁坐标系 $\{0_4\}$ ；绝对坐标系 $\{0_0\}$ 为：以支架纵向平面的水平方向为X轴方向，支架纵向平面中向上垂直于X轴的方向为Y轴方向，垂直支架纵向平面向外的方向为Z轴方向；底座坐标系 $\{0_1\}$ 为：以底座上的O点为原点建立的D-H坐标系；后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 为：以后连杆与底座之间的关节位点A为原点建立的D-H坐标系；掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 为：以掩护梁与后连杆之间的关节位点C为原点建立的D-H坐标系；顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 为：以顶梁与掩护梁之间的关节位点F为原点建立的D-H坐标系；D-H坐标转换模块包括关节旋转角转换模块、支护位姿转换模块；关节旋转角转换模块，根据所接收到的姿态角信息，结合支架四连杆机构中各杆件的长度，通过几何换算，能够分别得到底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 ，并将所得到的各关节旋转角传输至支护位姿转换模块；支护位姿转换模块，根据D-H坐标转换原理，利用D-H矩阵分析方法，结合关节旋转角转换模块所传输的各关节旋转角，以得到液压支架的支护高度 h 。

[0011] 本发明的另一技术目的是提供一种基于IMU实时监测支护位姿的液压支架的检测方法，该检测方法在液压支架的降架、移架、升架操作步骤中，均需要实时监测液压支架的支护姿态，以判断液压支架的降架、移架、升架操作是否达到目标支护姿态，所述液压支架的支护姿态通过顶梁的姿态角以及选取在顶梁上的支护高度参考点K的支护高度 h 来表征；所述检测方法具体包括以下步骤：

[0012] (1) 在降架、移架、升架过程中，均需实时记录各IMU传感器反馈的位姿信息，以更新IMU传感器安装位置所在部件的姿态角；

[0013] IMU传感器具有三个，分别为安装在顶梁的第一IMU传感器、安装在后连杆的第二IMU传感器以及安装在底座的第三IMU传感器；

[0014] (2) 通过坐标转换，将在绝对坐标系下各IMU传感器检测到的位姿信息，结合支架四连杆机构中各杆件的长度，通过几何换算，能够分别得到底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 ；

[0015] (3) 根据D-H矩阵坐标变换原理，根据上述得到的底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 ，结合液压支架本身的结构参

数以及第一IMU传感器所反馈的顶梁姿态角,通过绝对坐标系 $\{0_0\}$ 与D-H坐标系之间的坐标转换,得到支护高度 h ;支护高度 h 以支护高度参考点 K 相对于底座原点 O 在Y轴方向上的垂直距离来表达;

[0016] 绝对坐标系 $\{0_0\}$ 为:以支架纵向平面的水平方向为X轴方向,支架纵向平面中向上垂直于X轴的方向为Y轴方向,垂直支架纵向平面向外的方向为Z轴方向;底座坐标系 $\{0_1\}$ 为:以底座上的 O 点为原点建立的D-H坐标系;后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 为:以后连杆与底座之间的关节位点 A 为原点建立的D-H坐标系;掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 为:以掩护梁与后连杆之间的关节位点 C 为原点建立的D-H坐标系;顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 为:以顶梁与掩护梁之间的关节位点 F 为原点建立的D-H坐标系;

[0017] 根据计算得到的支护高度 h ,与与降架、移架、升架操作后的支护高度目标值进行比较,判断液压支架的降架、移架、升架操作是否完成;

[0018] 若降架操作过程中,计算得到的支护高度 h ,与降架操作的支护高度目标值一致,表明降架操作完成,则进入移架操作,反之则继续进行降架操作;

[0019] 若移架操作过程中,计算得到的支护高度 h ,与移架操作的支护高度目标值一致,表明移架操作完成,则进入升架操作,反之则继续进行移架操作;

[0020] 若升架操作过程中,计算得到的支护高度 h ,与升架操作的支护高度目标值一致,表明升架操作完成,则结束液压支架的这一完整操作流程,反之则继续进行升架操作。

[0021] 根据上述的技术方案,相对于现有技术,本发明具有如下的优点:

[0022] 本发明在底座、后连杆、顶梁上均安装有一个IMU传感器,因此,可以实时地检测顶梁、后连杆和底座的运动状态;并通过特定的数据处理系统,以实时监控液压支架的位姿(顶梁的姿态角 $\vec{\alpha}_4$,支护高度 h),尤其是对于液压支架的降架、移架、升降操作,能够在技术层面上给予指示,有效地降低工人的劳动强度,提高液压支架的工作效率。

附图说明

[0023] 图1是一种液压支架的结构示意图;

[0024] 图中:1-立柱;2-推移装置;3-底座;4-后连杆;5-前连杆;6-掩护梁;7-顶梁;8-平衡千斤顶;

[0025] 图2是本发明所述液压支架的结构简图,其中,未标明IMU传感器的安装位置,也未展示液压支架的D-H坐标分析;

[0026] 图3是本发明所述液压支架的结构简图,其中,标明了IMU传感器分别在底座、顶梁以及掩护梁上的安装位置,同时,展示了液压支架的D-H坐标分析示意图;

[0027] 图4是工作空间转化关系示意图;

[0028] 图5是液压支架支护位姿实时检测方法流程图;

[0029] 附图中:

[0030] $\{0_0\}$ 为绝对坐标系,液压支架的纵向平面的水平方向为X轴方向,向上垂直X轴的方向为Y轴方向,向外垂直XY平面的方向为Z轴方向;原点 O 设置于底座尾端;

[0031] $\{x_1Oy_1\}$ 为底座坐标系 $\{0_1\}$;底座的姿态角 $\vec{\alpha}_1$ 为: $\vec{\alpha}_1 = (\alpha_{1,x}, \alpha_{1,y}, \alpha_{1,z})$,其中 $\alpha_{1,x}$, $\alpha_{1,y}$, $\alpha_{1,z}$ 分别是在X,Y,Z轴上的转角分量;

[0032] $\{x_2Ay_2\}$ 为后连杆坐标系 $\{O_2\}$; 后连杆的姿态角 $\vec{\alpha}_2$ 为: $\vec{\alpha}_2 = (\alpha_{2,x}, \alpha_{2,y}, \alpha_{2,z})$, 其中 $\alpha_{2,x}, \alpha_{2,y}, \alpha_{2,z}$ 分别是在 X, Y, Z 轴上的转角分量;

[0033] $\{x_3Cy_3\}$ 为掩护梁坐标系 $\{O_3\}$;

[0034] $\{x_4Fy_4\}$ 为顶梁坐标系 $\{O_4\}$; 顶梁支护姿态角 $\vec{\alpha}_4$ 为: $\vec{\alpha}_4 = (\alpha_{4,x}, \alpha_{4,y}, \alpha_{4,z})$, 其中 $\alpha_{4,x}, \alpha_{4,y}, \alpha_{4,z}$ 分别为顶梁姿态角在 X, Y, Z 轴上的转角分量;

[0035] h 为支护高度; λ_1 为立柱长度; λ_2 为平衡千斤顶的长度; 底座的关节旋转角 θ_1 ; 后连杆的关节旋转角 θ_2 ; 掩护梁的关节旋转角 θ_3 ; 顶梁的关节旋转角 θ_4 。

具体实施方式

[0036] 下面将结合本发明实施例中的附图, 对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述, 显然, 所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例, 而不是全部的实施例。以下对至少一个示例性实施例的描述实际上仅仅是说明性的, 决不作为对本发明及其应用或使用的任何限制。基于本发明中的实施例, 本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例, 都属于本发明保护的范围。除非另外具体说明, 否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、表达式和数值不限制本发明的范围。同时, 应当明白, 为了便于描述, 附图中所示出的各个部分的尺寸并不是按照实际的比例关系绘制的。对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论, 但在适当情况下, 所述技术、方法和设备应当被视为授权说明书的一部分。在这里示出和讨论的所有示例中, 任何具体值应被解释为仅仅是示例性的, 而不是作为限制。因此, 示例性实施例的其它示例可以具有不同的值。

[0037] 为了便于描述, 在这里可以使用空间相对术语, 如“在……之上”、“在……上方”、“在……上表面”、“上面的”等, 用来描述如在图中所示的一个器件或特征与其他器件或特征的空间位置关系。应当理解的是, 空间相对术语旨在包含除了器件在图中所描述的方位之外的在使用或操作中的不同方位。例如, 如果附图中的器件被倒置, 则描述为“在其他器件或构造上方”或“在其他器件或构造之上”的器件之后将被定位为“在其他器件或构造下方”或“在其他器件或构造之下”。因而, 示例性术语“在……上方”可以包括“在……上方”和“在……下方”两种方位。该器件也可以其他不同方式定位(旋转90度或处于其他方位)。

[0038] 如图1-4所示, 本发明所述的基于IMU实时监测支护位姿的液压支架, 包括底座、顶梁、掩护梁、前连杆、后连杆、立柱以及平衡千斤顶; 顶梁通过立柱支撑在底座的上方, 且顶梁的尾端与掩护梁的一端铰接, 掩护梁的另一端具有两个相间设置的位点C、位点D; 掩护梁的位点C、位点D分别通过前连杆、后连杆与底座上的位点A、位点B对应铰接, 以构成支架四连杆机构; 平衡千斤顶的一端与顶梁连接, 另一端则与掩护梁连接; 其特征在于, 还包括三个IMU传感器以及支护位姿监测系统; 其中: 所述的三个IMU传感器, 分别为第一IMU传感器、第二IMU传感器、第三IMU传感器; 第一IMU传感器安装于顶梁, 用于检测顶梁的姿态角信息, 并反馈至支护位姿监测系统; 第二IMU传感器安装于后连杆, 用于检测后连杆的姿态角信息, 并反馈至支护位姿监测系统; 第三IMU传感器安装于底座, 用于检测底座的姿态角信息, 并反馈至支护位姿监测系统; 支护位姿监测系统包括姿态角信息采集模块、姿态角信息分析处理模块、支护位姿输出模块; 姿态角信息采集模块, 能够接收各IMU传感器所

检测到的姿态角信息,并传输至姿态角信息分析处理模块;姿态角信息分析处理模块,能够接收姿态角信息采集模块所传输的姿态角信息,并将所接收到的姿态角信息,结合支架四连杆机构中各杆件的长度,根据D-H矩阵坐标转换原理,转换计算后,得到液压支架的支护高度h,并将所得到的支护高度h与降架、移架、升架操作后的支护高度目标值进行比较,判断降架、移架、升架操作是否到位,实现对液压支架的降架、移架、升架操作过程中支护位姿的监测。

[0039] 所述的姿态角信息分析处理模块,包括:D-H坐标转换模块,通过绝对坐标系 $\{0_0\}$ 与D-H坐标系之间的坐标转换来实现;D-H坐标系包括底座坐标系 $\{0_1\}$ 、后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 、掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 以及顶梁坐标系 $\{0_4\}$;绝对坐标系 $\{0_0\}$ 为:以支架纵向平面的水平方向为X轴方向,支架纵向平面中向上垂直于X轴的方向为Y轴方向,垂直支架纵向平面向外的方向为Z轴方向;底座坐标系 $\{0_1\}$ 为:以底座上的O点为原点建立的D-H坐标系;后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 为:以后连杆与底座之间的关节位点A为原点建立的D-H坐标系;掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 为:以掩护梁与后连杆之间的关节位点C为原点建立的D-H坐标系;顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 为:以顶梁与掩护梁之间的关节位点F为原点建立的D-H坐标系;D-H坐标转换模块包括关节旋转角转换模块、支护位姿转换模块;关节旋转角转换模块,根据所接收到的姿态角信息,结合支架四连杆机构中各杆件的长度,通过几何换算,能够分别得到底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 ,并将所得到的各关节旋转角传输至支护位姿转换模块;支护位姿转换模块,根据D-H坐标转换原理,利用D-H矩阵分析方法,结合关节旋转角转换模块所传输的各关节旋转角,以得到液压支架的支护高度h。

[0040] 所述支护位姿转换模块,以支护高度参考点K相对于底座原点O在Y轴方向上的垂直距离来表达支护高度h:

$$[0041] \quad h = P(x_K^0, y_K^0, 0)^Y - P(0, 0, 0)^Y$$

[0042] 式中,支护高度参考点K在液压支架纵向平面内的位姿 $P(x_K^0, y_K^0, 0)$ 由下式确定:

$$[0043] \quad P(x_K^0, y_K^0, 0) = T_0^1(\theta_1)T_1^2(\theta_2)T_2^3(\theta_3)T_3^4(\theta_4)P(x_K^4, y_K^4, 0) = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & x_K^0 \\ n_y & o_y & a_y & y_K^0 \\ n_z & o_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0044] 验证位姿 $P(x_K^0, y_K^0, 0)$ 中,顶梁在绝对坐标系中的x轴 $\hat{n} = (n_x, n_y, n_z) = \hat{o} \times \hat{a}$ 的有效性,具体方式是:液压支架的顶梁姿态角计算值为 $\vec{\alpha}_4' = (\alpha_{4,x}', \alpha_{4,y}', \alpha_{4,z}')$ 可由下式计算得到:

$$[0045] \quad \begin{cases} \alpha_{4,z}' = \text{atan2}(n_y, n_x) \\ \alpha_{4,y}' = \text{atan2}(-n_z, n_x \cos \alpha_{4,z}' + n_y \sin \alpha_{4,z}') \\ \alpha_{4,x}' = \text{atan2}(a_x \sin \alpha_{4,z}' - a_y \cos \alpha_{4,z}', o_y \cos \alpha_{4,z}' - o_x \sin \alpha_{4,z}') \end{cases}$$

[0046] 将通过上式计算得到的顶梁姿态角计算值 $\vec{\alpha}_4'$ 与安装在顶梁上的第一IMU传感器检测得到的顶梁姿态角 $\vec{\alpha}_4$ 进行比较,若两者的差值在误差允许范围内,则可以通过支护高

度 h 的表达式计算出支护高度 h ,若两者的差值超过误差允许的范围(主要是井下出现状况,比如围岩或者顶板等对液压支架有较大的冲击时,会出现计算误差),则需要初始化液压支架。

[0047] 其中:支护高度参考点 K 为顶梁上的任意一点; $P(x_K^0, y_K^0, 0)^T$ 为 K 点在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下的位姿在 Y 轴上的坐标分量; $P(0, 0, 0)^T$ 为原点 O 在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下的位姿在 Y 轴上的坐标分量; $P(x_K^0, y_K^0, 0)$ 为支护高度参考点 K 在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 中的坐标值;

[0048] $T_0^1(\theta_1)$ 为底座坐标系 $\{0_1\}$ 相对于绝对坐标系 $\{0_0\}$ 的变换矩阵; $T_1^2(\theta_2)$ 为后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 相对于底座坐标系 $\{0_1\}$ 的变换矩阵; $T_2^3(\theta_3)$ 为掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 相对于后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 的变换矩阵; $T_3^4(\theta_4)$ 为顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 相对于掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 的变换矩阵; $P(x_K^4, y_K^4, 0)$ 表示 K 点在顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 下的位姿,由液压支架结构参数确定;上述的 $T_{i-1}^i(\theta_i)$ 坐标转换矩阵,表示为液压支架在 $\{0_i\}$ 下的关节位点相对于坐标系 $\{0_{i-1}\}$ 的变换矩阵,以D-H矩阵参数来构建,D-H矩阵参数包括关节旋转角 θ_i ,偏移量 d_i ,扭转角 α_i ,连杆长度 $l_i, i=1, 2, 3, \dots$;

[0049] $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 分别表示底座旋转角、后连杆旋转角、掩护梁旋转角和顶梁旋转角;

[0050] $\hat{a} = (a_x, a_y, a_z)$ 称为接近向量,代表顶梁在绝对坐标系中的 z 轴; $\hat{o} = (o_x, o_y, o_z)$ 称为姿态向量,代表顶梁在绝对坐标系中的 y 轴; $\hat{n} = (n_x, n_y, n_z) = \hat{o} \times \hat{a}$,代表顶梁在绝对坐标系中的 x 轴。

[0051] 所述的关节旋转角转换模块中,底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 是通过下式计算:

$$[0052] \quad \begin{cases} \theta_1 = \alpha_{1,z} \\ \theta_2 = \alpha_{2,z} + \theta_1 - \pi/2 \\ \theta_3 = \pi - \varepsilon - \eta - \xi_2 \\ \theta_4 = \pi/2 + \alpha_{4,z} - \theta_1 + \theta_2 - \theta_3 \end{cases}$$

[0053] 其中: $\alpha_{1,z}$ 是底座的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下 Z 方向上的分量; $\alpha_{2,z}$ 是后连杆的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下 Z 方向上的分量; $\alpha_{4,z}$ 是顶梁的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下 Z 方向上的分量; ξ_1, ξ_2 为液压支架结构参数, ε, η 为中间参数;液压支架结构参数 ξ_1, ξ_2 ,中间参数 ε, η 的表达式如下:

$$[0054] \quad \xi_1 = \arcsin\left(\frac{l_{BB^*} - l_{DA}}{l_{AB}}\right)$$

$$[0055] \quad \xi_2 = \arccos\left(\frac{l_{CC^*}}{l_{CD}}\right)$$

$$[0056] \quad \varepsilon = \arccos\frac{(l_{AC})^2 + (l_{BC})^2 - (l_{AB})^2}{2l_{AC}l_{BC}}$$

$$[0057] \quad \eta = \arccos\frac{(l_{BC})^2 + (l_{CD})^2 - (l_{BD})^2}{2l_{CD}l_{BC}}$$

[0058] 式中： l_{AB} 为支架四连杆机构中，关节位点A、关节位点B之间的距离； l_{BC} 为 支架四连杆机构中，关节位点B、关节位点C之间的距离，

$$l_{BC} = \sqrt{(l_{AC})^2 + (l_{AB})^2 + 2l_{AC}l_{BC}\cos(\alpha_{1,z} + \alpha_{2,z} - \xi_1)}$$
； l_{AC} 为支架四连杆机构中，关节位点A、关节位点C之间的距离； l_{CD} 为支架四连杆机构中，关节位点D、关节位点C之间的距离； l_{CC^*} 为支架四连杆机构中，关节位点C到DC*的距离，C*为 垂足； l_{BD} 为支架四连杆机构中，关节位点B、关节位点D之间的距离； l_{BB^*} 为支 架四连杆机构中，关节位点B相对于底座的距离，B*为关节位点B在底座上的 垂足； l_{OA} 为液压支架中，关节位点A与绝对坐标系 $\{0_0\}$ 在底座上的原点O之间 的距离。

[0059] 步骤(2)中，底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关 节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 的表达式是通过下述步骤计算得到：

[0060] 2.1、先计算出由底座、前连杆、后连杆与掩护梁所组成的支架四连杆机构 中，各关节位点A、B、C与D在坐标系 $\{0_2\}$ 下的坐标，分别为：A(0,0)、B($l_{AB}\sin(\alpha_{2,z} + \alpha_{1,z} - \xi_1)$ ， $(l_{AB}\cos(\alpha_{2,z} + \alpha_{1,z} - \xi_1))$)、C(0, l_{AC})、D($x_C^2 - l_{CD}\sin\varepsilon + \eta, y_C^2 - l_{CD}\cos\varepsilon + \eta$)；

[0061] 2.2、实时计算支架四连杆机构中，关节位点B与关节位点C之间的距离

$$l_{BC} = \sqrt{(l_{AC})^2 + (l_{AB})^2 + 2l_{AC}l_{BC}\cos(\alpha_{1,z} + \alpha_{2,z} - \xi_1)}$$

[0062] 2.3、根据步骤2.1、步骤2.2，再结合中间参数 ε 、 η ，得到各关节旋转角 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 的表达式如下：

$$[0063] \quad \begin{cases} \theta_1 = \alpha_{1,z} \\ \theta_2 = \alpha_{2,z} + \theta_1 - \pi/2 \\ \theta_3 = \pi - \varepsilon - \eta - \xi_2 \\ \theta_4 = \pi/2 + \alpha_{4,z} - \theta_1 + \theta_2 - \theta_3 \end{cases}$$

[0064] 其中： $\alpha_{1,z}$ 是底座的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下Z方向上的分量； $\alpha_{2,z}$ 是后连 杆的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下Z方向上的分量； $\alpha_{4,z}$ 是顶梁的姿态角在绝对坐 标系 $\{0_0\}$ 下Z方向上的分量； ξ_1 、 ξ_2 为液压支架结构参数， ε 、 η 为中间参数；液 压支架结构参数 ξ_1 、 ξ_2 ，中间参 数 ε 、 η 的表达式如下：

$$[0065] \quad \xi_1 = \arcsin\left(\frac{l_{BB^*} - l_{OA}}{l_{AB}}\right)$$

$$[0066] \quad \xi_2 = \arccos\left(\frac{l_{CC^*}}{l_{CD}}\right)$$

$$[0067] \quad \varepsilon = \arccos\frac{(l_{AC})^2 + (l_{BC})^2 - (l_{AB})^2}{2l_{AC}l_{BC}}$$

$$[0068] \quad \eta = \arccos\frac{(l_{BC})^2 + (l_{CD})^2 - (l_{BD})^2}{2l_{CD}l_{BC}}$$

[0069] 式中： l_{AB} 为支架四连杆机构中，关节位点A、关节位点B之间的距离； l_{BC} 为 支架四连杆机构中，关节位点B、关节位点C之间的距离； l_{AC} 为支架四连杆机构 中，关节位点A、关节

位点C之间的距离； l_{CD} 为支架四连杆机构中，关节位点D、关节位点C之间的距离； l_{CC^*} 为支架四连杆机构中，关节位点C到DC*的距离，C*为垂足； l_{BD} 为支架四连杆机构中，关节位点B、关节位点D之间的距离； l_{BB^*} 为支架四连杆机构中，关节位点B相对于底座的距离，B*为关节位点B在底座上的垂足； l_{OA} 为液压支架中，关节位点A与绝对坐标系 $\{0_0\}$ 在底座上的原点O之间的距离。

[0070] 支护高度h的表达式是通过下述步骤得到：

[0071] 3.1、构建液压支架在 $\{0_i\}$ 下的关节位点相对于坐标系 $\{0_{i-1}\}$ 绕液压支架纵向平面内Z轴旋转运动的变换矩阵 $T_{i-1}^i(\theta_i)$ ；其中： $i=1,2,3\cdots$ ；

[0072] 3.2、以D-H矩阵参数，统一构建 $T_{i-1}^i(\theta_i)$ ；所述的D-H矩阵参数为旋转角 θ_i ，偏移量 d_i ，扭转角 α_i ，连杆长度 l_i ；

[0073] 3.3、通过各旋转角 θ_i ，求解液压支架上任意一点X在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下的位姿 $P(x_x^0, y_x^0, z_x^0)$ ；

$$[0074] \quad P(x_x^0, y_x^0, z_x^0) = RPY(\alpha_{1,x}, \alpha_{1,y}, \alpha_{1,z}) \prod_{i=1}^n \{T_{i-1}^i(\theta_{i-1})\} P(x_x^i, y_x^i, 0)$$

[0075] RPY($\alpha_{1,x}, \alpha_{1,y}, \alpha_{1,z}$)表示底座根据roll-pitch-yaw旋转序列而得到的旋转矩阵；

[0076] 3.4、在顶梁选取K点作为液压支架支护高度参考点；则在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下，液压支架的纵向平面内，K点的位姿表达式如下：

$$[0077] \quad P(x_K^0, y_K^0, 0) = T_0^1(\theta_1) T_1^2(\theta_2) T_2^3(\theta_3) T_3^4(\theta_4) P(x_K^4, y_K^4, 0) = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & x_K^0 \\ n_y & o_y & a_y & y_K^0 \\ n_z & o_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0078] $P(x_K^4, y_K^4, 0)$ 表示K点在顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 下的位姿，由液压支架结构参数确定；

[0079] 3.5、液压支架的姿态矩阵为：

$$[0080] \quad A_4 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{bmatrix}$$

[0081] 3.6、验证顶梁在绝对坐标系中的x轴 $\hat{n} = (n_x, n_y, n_z) = \hat{o} \times \hat{a}$ 的有效性

[0082] 液压支架的顶梁姿态角计算值 $\vec{\alpha}_4 = (\alpha'_{4,x}, \alpha'_{4,y}, \alpha'_{4,z})$ 可由下式计算得到：

$$[0083] \quad \begin{cases} \alpha'_{4,z} = \text{atan2}(n_y, n_x) \\ \alpha'_{4,y} = \text{atan2}(-n_z, n_x \cos \alpha'_{4,z} + n_y \sin \alpha'_{4,z}) \\ \alpha'_{4,x} = \text{atan2}(a_x \sin \alpha'_{4,z} - a_y \cos \alpha'_{4,z}, o_y \cos \alpha'_{4,z} - o_x \sin \alpha'_{4,z}) \end{cases}$$

[0084] 将通过上式计算得到的顶梁姿态角计算值 $\vec{\alpha}_4$ 与安装在顶梁上的第一IMU传感器检测得到的顶梁姿态角 $\vec{\alpha}_4$ 进行比较，若两者的差值在误差允许范围内，表明顶梁在绝对坐标系中的x轴是有效的，则可以通过支护高度h的表达式计算出支护高度h，若两者的差值超过误差允许的范围，则需要初始化液压支架。

[0085] 3.7、液压支架的支护高度 h 的表达式:

$$[0086] \quad h = P(x_k^0, y_k^0, 0)^Y - P(0, 0, 0)^Y$$

[0087] 式中: $P(x_k^0, y_k^0, 0)^Y$ 为K点在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下的位姿在Y轴上的坐标分量; $P(0, 0, 0)^Y$ 为原点O在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下的位姿在Y轴上的坐标分量。

[0088] 以下将结合附图详细地说明本发明的一个具体实施例。

[0089] 首先建立如图3所示的D-H坐标系统示意图。设 $\{0_0\}$ 为绝对坐标系, 支架纵向水平为X轴方向, 纵向垂直向上为Y轴方向, 垂直XY平面向外为Z轴方向。 $\{x_1Oy_1\}$ 为底座坐标系 $\{0_1\}$ 、 $\{x_2Ay_2\}$ 为后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 、 $\{x_3Cy_3\}$ 为掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 、 $\{x_4Fy_4\}$ 为顶梁坐标系 $\{0_4\}$, 支护高度为 h , 顶梁支护姿态角 $\vec{\alpha}_4 = (\alpha_{4,x}, \alpha_{4,y}, \alpha_{4,z})$, 其中 $\alpha_{4,x}, \alpha_{4,y}, \alpha_{4,z}$ 分别为顶梁姿态角在X, Y, Z轴上的转角分量; 底座的姿态角为姿态角 $\vec{\alpha}_1 = (\alpha_{1,x}, \alpha_{1,y}, \alpha_{1,z})$, 其中 $\alpha_{1,x}, \alpha_{1,y}, \alpha_{1,z}$ 分别是在X, Y, Z轴上的转角分量; 后连杆的姿态角为 $\vec{\alpha}_2 = (\alpha_{2,x}, \alpha_{2,y}, \alpha_{2,z})$, 其中 $\alpha_{2,x}, \alpha_{2,y}, \alpha_{2,z}$ 分别是在X, Y, Z轴上的转角分量。

[0090] 如图3所示, 本发明在液压支架底座、后连杆与顶梁上装有IMU传感器, 可获得液压支架在检测空间内的所有姿态变量。

[0091] 如图4所示, 本发明根据选取的变量参数不同, 将液压支架的工作空间分为: 驱动空间、关节空间、位姿空间、检测空间。其中, 驱动空间由立柱长度 λ_1 与平衡千斤顶的长度 λ_2 组成; 关节空间由底座、后连杆、掩护梁和顶梁的关节旋转角 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 和 θ_4 组成; 位姿空间由顶梁的支护高度 h 和姿态角 $\vec{\alpha}_4$ 组成; 检测空间为底座、后连杆和顶梁的姿态角变量组成。由工作空间的转换关系可知, 位姿空间可根据关节空间和检测空间的一一对应关系相互转换。将检测空间内的传感信息转换为关节空间内的关节变量, 然后利用D-H矩阵分析方法将关节变量转换到 位姿空间的变量, 其工作空间转换流程为“检测空间→关节空间→位姿空间”。

[0092] 检测空间转换为关节空间, 测量的三轴姿态角信息分为 $(\alpha_{1,x}, \alpha_{1,y}, \alpha_{1,z})$ 、 $(\alpha_{2,x}, \alpha_{2,y}, \alpha_{2,z})$ 和 $(\alpha_{4,x}, \alpha_{4,y}, \alpha_{4,z})$ 。由底座、前连杆、后连杆与掩护梁所组成的四杆机构, 通过几何换算即可得到掩护梁在关节空间内的转角变量。点A, B, C与D 在坐标系 $\{0_2\}$ 下的坐标系表示为 (x_x^2, y_x^2) , 其中 $\times$ 表示对应的关节点, 则各关节点在 $\{0_2\}$ 下的坐标分别为A $(0, 0)$ 、B $(l_{AB} \sin(\alpha_{2,z} + \alpha_{1,z} - \xi_1), l_{AB} \cos(\alpha_{2,z} + \alpha_{1,z} - \xi_1))$ 、C $(0, l_{AC})$ 、D $(x_C^2 - l_{CD} \sin(\varepsilon + \eta), y_C^2 - l_{CD} \cos(\varepsilon + \eta))$, 其中, 中间参数根据下式求解:

$$\varepsilon = \arccos \frac{(l_{AC})^2 + (l_{BC})^2 - (l_{AB})^2}{2l_{AC}l_{BC}}, \quad \eta = \arccos \frac{(l_{BC})^2 + (l_{CD})^2 - (l_{BD})^2}{2l_{CD}l_{BC}}, \text{ 其中 } l_{BC} \text{ 为四连杆机构中B点与C}$$

点之间的距离, 随着四连杆机构的运动, 两点的距离 需要实时计算, 求解如下式:

$$l_{BC} = \sqrt{(l_{AC})^2 + (l_{AB})^2 + 2l_{AC}l_{AB}\cos(\alpha_{1,z} + \alpha_{2,z} - \xi_1)}, \quad \xi_1 = \arcsin\left(\frac{l_{BB'} - l_{OA}}{l_{AB}}\right), \text{ 基于以上}$$

中间变量的求解, 即可实现从检测空间到关节空间的转换, 具体的转换关系如下: 其中 ξ_1 与 ξ_2 为液压支架结构参数。

$$[0093] \quad \begin{cases} \theta_1 = \alpha_{1,z} \\ \theta_2 = \alpha_{2,z} + \theta_1 - \pi/2 \\ \theta_3 = \pi - \varepsilon - \eta - \xi_2 \\ \theta_4 = \pi/2 + \alpha_{4,z} - \theta_1 + \theta_2 - \theta_3 \end{cases}$$

[0094] 关节空间转换为位姿空间,液压支架在 $\{0_i\}$ 下的关节点相对于坐标系 $\{0_{i-1}\}$ ($i=1,2,3\cdots$)绕纵向平面内Z轴旋转运动的变换矩阵如下式所示:

$$[0095] \quad \text{rot}(z, \theta_i) = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & 0 \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0096] 其中, θ_i 为绕Z轴逆时针旋转的角度,则有坐标系 $\{0_{i-1}\}$ ($i=1,2,3\cdots$)的坐标变换矩阵如下式所示:

$$[0097] \quad T_{i-1}^i = \text{Trans}_{i-1}^i(x, y, z) \text{rot}(z, \theta_i) = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & x \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0098] A点在 $\{0_1\}$ 下的位置坐标为 (x_A^1, y_A^1) ,容易求得,液压支架底座坐标系 $\{0_1\}$ 相对于全局坐标系 $\{0_0\}$ 的变换矩阵如下式所示:

$$[0099] \quad T_0^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & x_A^1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & y_A^1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0100] C点在 $\{0_2\}$ 下的位置坐标为 (x_C^2, y_C^2) ,则液压支架后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 相对于底座坐标系 $\{0_1\}$ 的变换矩阵如下式所示:

$$[0101] \quad T_1^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & x_C^2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & y_C^2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0102] F点在 $\{0_3\}$ 下的位置坐标为 (x_F^3, y_F^3) ,则液压支架掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 相对于后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 的变换矩阵如下式所示:

$$[0103] \quad T_2^3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & x_F^3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & y_F^3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0104] K点在 $\{0_4\}$ 下的位置坐标为 (x_K^4, y_K^4) ,则液压支架顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 相对于掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 的变换矩阵如下式所示:

$$[0105] \quad T_3^4 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & x_K^4 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & y_K^4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0106] 为统一各个连杆之间的转换关系,以上各个变换矩阵可有D-H坐标系相邻连杆坐标系之间关系的四个几何参数统一表示,四个几何参数是:旋转角 θ_i -液压支架连杆绕Z轴旋转,按右手准则从 X_i 轴转到与 X_{i-1} 轴平行的转角;偏移量 d_i -液压支架连杆从 Z_{i-1} 轴到 Z_i 轴间的垂直距离;连杆长度 l_i -液压支架连杆 Z_{i-1} 轴到 Z_i 轴交点沿着 Z_i 轴到达第 i 个坐标原点的距离;扭转角 α_i -液压支架连杆绕 Z_i 轴按右手规则从 Z_{i-1} 轴转到 Z_i 轴的转角,统一后的坐标转换矩阵如下:

$$[0107] \quad T_{i-1}^i(\theta_i) = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & l_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & l_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0108] 对液压支架四连杆机构部分(包括底座、后连杆以及掩护梁),其D-H矩阵参数为旋转角 θ_i ,偏移量 d_i ,扭转角 α_i ,连杆长度 l_i ,故底座、后连杆、掩护梁和顶梁的D-H参数分别为 $\{\theta_1, d_1, \alpha_1, l_1\}$ 、 $\{\theta_2, d_2, \alpha_2, l_2\}$ 、 $\{\theta_3, d_3, \alpha_3, l_3\}$ 和 $\{\theta_4, d_4, \alpha_4, l_4\}$,得到各旋转角后,即可通过下式求得任一点在 $\{0\}$ 下的位姿为:

$$[0109] \quad P(x_x^0, y_x^0, z_x^0) = RPY(\alpha_{1,x}, \alpha_{1,y}, \alpha_{1,z}) \prod_{i=1}^n [T_{i-1}^i(\theta_{i-1})] P(x_x^i, y_x^i, 0)$$

[0110] 其中 $RPY(\alpha_{1,x}, \alpha_{1,y}, \alpha_{1,z})$ 表示底座根据roll-pitch-yaw旋转序列而得到的旋转矩阵,计算如下:

$$[0111] \quad RPY(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{bmatrix} C_\alpha C_\beta & S_\alpha C_\beta & -S_\beta & 0 \\ S_\gamma S_\beta C_\alpha - C_\gamma S_\alpha & S_\gamma S_\beta S_\alpha + C_\gamma C_\alpha & S_\gamma C_\beta & 0 \\ C_\gamma S_\beta C_\alpha + S_\gamma S_\alpha & C_\gamma S_\beta S_\alpha - S_\gamma C_\alpha & C_\gamma C_\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0112] 将液压支架支护高度参考点选定为 $K(x_K^4, y_K^4, 0)$,则在液压支架纵向平面内,执行末端K点位姿可表示如下:

$$[0113] \quad P(x_K^0, y_K^0, 0) = T_0^1(\theta_1) T_1^2(\theta_2) T_2^3(\theta_3) T_3^4(\theta_4) P(x_K^4, y_K^4, 0) = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & x_K^0 \\ n_y & o_y & a_y & y_K^0 \\ n_z & o_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0114] 其中:支护高度参考点K为顶梁上的任意一点; $P(x_K^0, y_K^0, 0)^Y$ 为K点在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下的位姿在Y轴上的坐标分量; $P(0, 0, 0)^Y$ 为原点O在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下的位姿在Y轴上的坐标分量; $P(x_K^0, y_K^0, 0)$ 为支护高度参考点K在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 中的坐标值;

[0115] $T_0^1(\theta_1)$ 为底座坐标系 $\{0_1\}$ 相对于绝对坐标系 $\{0_0\}$ 的变换矩阵; $T_1^2(\theta_2)$ 为后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 相对于底座坐标系 $\{0_1\}$ 的变换矩阵; $T_2^3(\theta_3)$ 为掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 相对于后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 的变换矩阵; $T_3^4(\theta_4)$ 为顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 相对于掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 的变换矩阵; $P(x_K^4, y_K^4, 0)$ 表示K点在顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 下的位姿,由液压支架结构参数确定;上述的 $T_{i-1}^i(\theta_i)$ 坐标转换矩阵,表示为液压支架在 $\{0_i\}$ 下的关节位点相对于坐标系 $\{0_{i-1}\}$ 的变换矩阵,以D-H矩阵参数来构建,D-H矩阵参数包括关节旋转角 θ_i ,偏移量 d_i ,扭转角 α_i ,连杆长度

$l_i, i=1, 2, 3, \dots$;

[0116] $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 分别表示底座旋转角、后连杆旋转角、掩护梁旋转角和顶梁 旋转角;

[0117] $\hat{a} = (a_x, a_y, a_z)$ 称为接近向量,代表顶梁在绝对坐标系中的z轴; $\hat{o} = (o_x, o_y, o_z)$

称为姿态向量,代表顶梁在绝对坐标系中的y轴; $\hat{n} = (n_x, n_y, n_z) = \hat{o} \times \hat{a}$,代表顶梁在绝对坐标系中的x轴。

[0118] 上述 $P(x_K^4, y_K^4, 0)$ 由液压支架结构参数确定,则液压支架姿态矩阵表示为:

$$[0119] \quad A_4 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{bmatrix}$$

[0120] 验证顶梁在绝对坐标系中的x轴 $\hat{n} = (n_x, n_y, n_z) = \hat{o} \times \hat{a}$ 的有效性,具体方 式是:

液压支架的顶梁姿态角计算值为 $\vec{\alpha}_4' = (\alpha_{4,x}', \alpha_{4,y}', \alpha_{4,z}')$ 可由下式计算得到:

$$[0121] \quad \begin{cases} \alpha_{4,z}' = \text{atan2}(n_y, n_x) \\ \alpha_{4,y}' = \text{atan2}(-n_z, n_x \cos \alpha_{4,z}' + n_y \sin \alpha_{4,z}') \\ \alpha_{4,x}' = \text{atan2}(a_x \sin \alpha_{4,z}' - a_y \cos \alpha_{4,z}', o_y \cos \alpha_{4,z}' - o_x \sin \alpha_{4,z}') \end{cases}$$

[0122] 将通过上式计算得到的顶梁姿态角计算值 $\vec{\alpha}_4'$ 与安装在顶梁上的第一IMU传 感器检测得到的顶梁姿态角 $\vec{\alpha}_4$ 进行比较,若两者的差值在误差允许范围内,则可 以通过支护高度h的表达式计算出支护高度h,若两者的差值超过误差允许的范 围,则需要初始化液压支 架。

[0123] 液压支架的支护高度h即可由K点相对于底座原点O在Y轴方向上的垂直距 离而确定,则液压支架的支护高度可按下式求解:

$$[0124] \quad h = P(x_K^0, y_K^0, 0)^Y - P(0, 0, 0)^Y$$

[0125] 其中 $P(\times)^Y$ 定义为某点 $\times$ 在其Y轴上的坐标分量,经过以上分析和计算,即 可得到液压支架的支护高度h与姿态角变量 $\vec{\alpha}_4'$,即实现了从关节空间到位姿空间 的转换。

[0126] 根据上述的液压支架,可知本发明还可以提供一种基于IMU实时监测支护 位姿的液压支架的检测方法,如图5所示,该检测方法在液压支架的降架、移架、升架操作步骤中, 均需要实时监测液压支架的支护姿态,以判断液压支架的降架、移架、升架操作是否达到 目标支护姿态,所述液压支架的支护姿态通过顶梁的姿 态角以及选取在顶梁上的支护高 度参考点K的支护高度h来表征;所述检测方法 具体包括以下步骤:

[0127] (1) 在降架、移架、升架过程中,均需实时记录各IMU传感器反馈的位姿 信息,以更新IMU传感器安装位置所在部件的姿态角;

[0128] IMU传感器具有三个,分别为安装在顶梁的第一IMU传感器、安装在后连 杆的第二IMU传感器以及安装在底座的第三IMU传感器;

[0129] (2) 通过坐标转换,将在绝对坐标系下各IMU传感器检测到的位姿信息, 结合支架四连杆机构中各杆件的长度,通过几何换算,能够分别得到底座的关节 旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 ;

[0130] (3) 根据D-H矩阵坐标变换原理,根据上述得到的底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的

关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 ，结合液压支架本身的结构参数以及第一IMU传感器所反馈的顶梁姿态角，通过绝对坐标系 $\{0_0\}$ 与D-H坐标系之间的坐标转换，得到支护高度 h ；支护高度 h 以支护高度参考点K相对于底座原点O在Y轴方向上的垂直距离来表达；

[0131] 绝对坐标系 $\{0_0\}$ 为：以支架纵向平面的水平方向为X轴方向，支架纵向平面中向上垂直于X轴的方向为Y轴方向，垂直支架纵向平面向外的方向为Z轴方向；底座坐标系 $\{0_1\}$ 为：以底座上的O点为原点建立的D-H坐标系；后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 为：以后连杆与底座之间的关节位点A为原点建立的D-H坐标系；掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 为：以掩护梁与后连杆之间的关节位点C为原点建立的D-H坐标系；顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 为：以顶梁与掩护梁之间的关节位点F为原点建立的D-H坐标系；

[0132] 根据计算得到的支护高度 h ，与与降架、移架、升架操作后的支护高度目标值进行比较，判断液压支架的降架、移架、升架操作是否完成；

[0133] 若降架操作过程中，计算得到的支护高度 h ，与降架操作的支护高度目标值一致，表明降架操作完成，则进入移架操作，反之则继续进行降架操作；

[0134] 若移架操作过程中，计算得到的支护高度 h ，与移架操作的支护高度目标值一致，表明移架操作完成，则进入升架操作，反之则继续进行移架操作；

[0135] 若升架操作过程中，计算得到的支护高度 h ，与升架操作的支护高度目标值一致，表明升架操作完成，则结束液压支架的这一完整操作流程，反之则继续进行升架操作。

1. 一种基于IMU实时监测支护位姿的液压支架,包括底座、顶梁、掩护梁、前连杆、后连杆、立柱以及平衡千斤顶;顶梁通过立柱支撑在底座的上方,且顶梁的尾端与掩护梁的一端铰接,掩护梁的另一端具有两个相间设置的位点C、位点D;掩护梁的位点C、位点D分别通过前连杆、后连杆与底座上的位点A、位点B对应铰接,以构成支架四连杆机构;平衡千斤顶的一端与顶梁连接,另一端则与掩护梁连接;其特征在于,还包括三个IMU传感器以及支护位姿监测系统;其中:

所述的三个IMU传感器,分别为第一IMU传感器、第二IMU传感器、第三IMU传感器;

第一IMU传感器安装于顶梁,用于检测顶梁的姿态角信息,并反馈至支护位姿监测系统;

第二IMU传感器安装于后连杆,用于检测后连杆的姿态角信息,并反馈至支护位姿监测系统;

第三IMU传感器安装于底座,用于检测底座的姿态角信息,并反馈至支护位姿监测系统;

支护位姿监测系统包括姿态角信息采集模块、姿态角信息分析处理模块、支护位姿输出模块;

姿态角信息采集模块,能够接收各IMU传感器所检测到的姿态角信息,并传输至姿态角信息分析处理模块;

姿态角信息分析处理模块,能够接收姿态角信息采集模块所传输的姿态角信息,并将所接收到的姿态角信息,结合支架四连杆机构中各杆件的长度,根据D-H矩阵坐标转换原理,转换计算后,得到液压支架的支护高度 h ,并将所得到的支护高度 h 与降架、移架、升架操作后的支护高度目标值进行比较,判断降架、移架、升架操作是否到位,实现对液压支架的降架、移架、升架操作过程中支护位姿的监测。

2. 根据权利要求1所述的基于IMU实时监测支护位姿的液压支架,其特征在于,所述的姿态角信息分析处理模块,包括:

D-H坐标转换模块,通过绝对坐标系 $\{O_0\}$ 与D-H坐标系之间的坐标转换来实现;

D-H坐标系包括底座坐标系 $\{O_1\}$ 、后连杆坐标系 $\{O_2\}$ 、掩护梁坐标系 $\{O_3\}$ 以及顶梁坐标系 $\{O_4\}$;

绝对坐标系 $\{O_0\}$ 为:以支架纵向平面的水平方向为X轴方向,支架纵向平面中向上垂直于X轴的方向为Y轴方向,垂直支架纵向平面向外的方向为Z轴方向;底座坐标系 $\{O_1\}$ 为:以底座上的O点为原点建立的D-H坐标系;后连杆坐标系 $\{O_2\}$ 为:以后连杆与底座之间的关节位点A为原点建立的D-H坐标系;掩护梁坐标系 $\{O_3\}$ 为:以掩护梁与后连杆之间的关节位点C为原点建立的D-H坐标系;顶梁坐标系 $\{O_4\}$ 为:以顶梁与掩护梁之间的关节位点F为原点建立的D-H坐标系;

D-H坐标转换模块包括关节旋转角转换模块、支护位姿转换模块;

关节旋转角转换模块,根据所接收到的姿态角信息,结合支架四连杆机构中各杆件的长度,通过几何换算,能够分别得到底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 ,并将所得到的各关节旋转角传输至支护位姿转换模块;

支护位姿转换模块,根据D-H坐标转换原理,利用D-H矩阵分析方法,结合关节旋转角转

换模块所传输的各关节旋转角,以得到液压支架的支护高度 h 。

3. 根据权利要求2所述的基于IMU实时监测支护位姿的液压支架,其特征在于,所述支护位姿转换模块,以支护高度参考点K相对于底座原点O在Y轴方向上的垂直距离来表达支护高度 h :

$$h = P(x_K^0, y_K^0, 0)^Y - P(0, 0, 0)^Y$$

式中,支护高度参考点K在液压支架纵向平面内的位姿 $P(x_K^0, y_K^0, 0)$ 由下式确定:

$$P(x_K^0, y_K^0, 0) = T_0^1(\theta_1)T_1^2(\theta_2)T_2^3(\theta_3)T_3^4(\theta_4)P(x_K^4, y_K^4, 0) = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & x_K^0 \\ n_y & o_y & a_y & y_K^0 \\ n_z & o_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

且顶梁姿态角计算值 $\vec{\alpha}_4$ 与安装在顶梁上的第一IMU传感器检测得到的顶梁姿态角 $\vec{\alpha}_4$ 的差值在误差允许范围内,其中:液压支架的顶梁姿态角计算值为 $\vec{\alpha}_4 = (\alpha'_{4,x}, \alpha'_{4,y}, \alpha'_{4,z})$ 的表达式为:

$$\begin{cases} \alpha'_{4,z} = \text{atan2}(n_y, n_x) \\ \alpha'_{4,y} = \text{atan2}(-n_z, n_x \cos \alpha'_{4,z} + n_y \sin \alpha'_{4,z}) \\ \alpha'_{4,x} = \text{atan2}(\alpha_x \sin \alpha'_{4,z} - \alpha_y \cos \alpha'_{4,z}, o_y \cos \alpha'_{4,z} - o_x \sin \alpha'_{4,z}) \end{cases}$$

其中:支护高度参考点K为顶梁上的任意一点; $P(x_K^0, y_K^0, 0)$ 为支护高度参考点K在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 中的坐标值; $P(0, 0, 0)^Y$ 为底座原点O在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 中的坐标值;

$T_0^1(\theta_1)$ 为底座坐标系 $\{0_1\}$ 相对于绝对坐标系 $\{0_0\}$ 的变换矩阵; $T_1^2(\theta_2)$ 为后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 相对于底座坐标系 $\{0_1\}$ 的变换矩阵; $T_2^3(\theta_3)$ 为掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 相对于后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 的变换矩阵; $T_3^4(\theta_4)$ 为顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 相对于掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 的变换矩阵; $P(x_K^4, y_K^4, 0)$ 表示K点在顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 下的位姿,由液压支架结构参数确定;上述的 $T_{i-1}^i(\theta_i)$ 坐标转换矩阵,表示为液压支架在 $\{0_i\}$ 下的关节位点相对于坐标系 $\{0_{i-1}\}$ 的变换矩阵,以D-H矩阵参数来构建,D-H矩阵参数包括关节旋转角 θ_i ,偏移量 d_i ,扭转角 α_i ,连杆长度 $l_i, i=1, 2, 3, \dots$;

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 分别表示底座旋转角、后连杆旋转角、掩护梁旋转角和顶梁旋转角;

$\hat{a} = (a_x, a_y, a_z)$ 称为接近向量,代表顶梁在绝对坐标系中的z轴; $\hat{o} = (o_x, o_y, o_z)$ 称为姿态向量,代表顶梁在绝对坐标系中的y轴; $\hat{n} = (n_x, n_y, n_z) = \hat{o} \times \hat{a}$,代表顶梁在绝对坐标系中的x轴。

4. 根据权利要求2或3所述的基于IMU实时监测支护位姿的液压支架,其特征在于,所述的关节旋转角转换模块中,底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 是通过下式计算:

$$\begin{cases} \theta_1 = \alpha_{1,z} \\ \theta_2 = \alpha_{2,z} + \theta_1 - \pi/2 \\ \theta_3 = \pi - \varepsilon - \eta - \xi_2 \\ \theta_4 = \pi/2 + \alpha_{4,z} - \theta_1 + \theta_2 - \theta_3 \end{cases}$$

其中： $\alpha_{1,z}$ 是底座的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下Z方向上的分量； $\alpha_{2,z}$ 是后连杆的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下Z方向上的分量； $\alpha_{4,z}$ 是顶梁的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下Z方向上的分量； ξ_1, ξ_2 为液压支架结构参数， ε, η 为中间参数；液压支架结构参数 ξ_1, ξ_2 ，中间参数 ε, η 的表达式如下：

$$\xi_1 = \arcsin\left(\frac{l_{BB^*} - l_{OA}}{l_{AB}}\right)$$

$$\xi_2 = \arccos\left(\frac{l_{CC^*}}{l_{CD}}\right)$$

$$\varepsilon = \arccos\frac{(l_{AC})^2 + (l_{BC})^2 - (l_{AB})^2}{2l_{AC}l_{BC}}$$

$$\eta = \arccos\frac{(l_{BC})^2 + (l_{CD})^2 - (l_{BD})^2}{2l_{CD}l_{BC}}$$

式中： l_{AB} 为支架四连杆机构中，关节位点A、关节位点B之间的距离； l_{BC} 为支架四连杆机构中，关节位点B、关节位点C之间的距离，

$l_{BC} = \sqrt{(l_{AC})^2 + (l_{AB})^2 + 2l_{AC}l_{BC}\cos(\alpha_{1,z} + \alpha_{2,z} - \xi_1)}$ ， l_{AC} 为支架四连杆机构中，关节位点A、关节位点C之间的距离； l_{CD} 为支架四连杆机构中，关节位点D、关节位点C之间的距离； l_{CC^*} 为支架四连杆机构中，关节位点C到DC*的距离，C*为垂足； l_{BD} 为支架四连杆机构中，关节位点B、关节位点D之间的距离； l_{BB^*} 为支架四连杆机构中，关节位点B相对于底座的距离，B*为关节位点B在底座上的垂足； l_{OA} 为液压支架中，关节位点A与绝对坐标系 $\{0_0\}$ 在底座上的原点O之间的距离。

5. 根据权利要求4所述的基于IMU实时监测支护位姿的液压支架，其特征在于，步骤(2)中，底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 的表达式是通过下述步骤计算得到：

2.1、先计算出由底座、前连杆、后连杆与掩护梁所组成的支架四连杆机构中，各关节位点A、B、C与D在坐标系 $\{0_2\}$ 下的坐标，分别为：A(0,0)、B($l_{AB}\sin(\alpha_{2,z} + \alpha_1, z - \xi_1)$, $l_{AB}\cos(\alpha_{2,z} + \alpha_1, z - \xi_1)$)、C(l_{AC} , $Dx_{C2} - l_{CD}\sin\varepsilon + \eta$, $y_{C2} - l_{CD}\cos\varepsilon + \eta$)；

2.2、实时计算支架四连杆机构中，关节位点B与关节位点C之间的距离

$$l_{BC} = \sqrt{(l_{AC})^2 + (l_{AB})^2 + 2l_{AC}l_{BC}\cos(\alpha_{1,z} + \alpha_{2,z} - \xi_1)}$$

2.3、根据步骤2.1、步骤2.2，再结合中间参数 ε, η ，得到各关节旋转角 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 的表达式如下：

$$\begin{cases} \theta_1 = \alpha_{1,z} \\ \theta_2 = \alpha_{2,z} + \theta_1 - \pi/2 \\ \theta_3 = \pi - \varepsilon - \eta - \xi_2 \\ \theta_4 = \pi/2 + \alpha_{4,z} - \theta_1 + \theta_2 - \theta_3 \end{cases}$$

其中： $\alpha_{1,z}$ 是底座的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下Z方向上的分量； $\alpha_{2,z}$ 是后连杆的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下Z方向上的分量； $\alpha_{4,z}$ 是顶梁的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下Z方向上的分量； ξ_1 、 ξ_2 为液压支架结构参数， ε 、 η 为中间参数；液压支架结构参数 ξ_1 、 ξ_2 ，中间参数 ε 、 η 的表达式如下：

$$\xi_1 = \arcsin\left(\frac{l_{BB^*} - l_{OA}}{l_{AB}}\right)$$

$$\xi_2 = \arccos\left(\frac{l_{CC^*}}{l_{CD}}\right)$$

$$\varepsilon = \arccos\frac{(l_{AC})^2 + (l_{BC})^2 - (l_{AB})^2}{2l_{AC}l_{BC}}$$

$$\eta = \arccos\frac{(l_{BC})^2 + (l_{CD})^2 - (l_{BD})^2}{2l_{CD}l_{BC}}$$

式中： l_{AB} 为支架四连杆机构中，关节位点A、关节位点B之间的距离； l_{BC} 为支架四连杆机构中，关节位点B、关节位点C之间的距离； l_{AC} 为支架四连杆机构中，关节位点A、关节位点C之间的距离； l_{CD} 为支架四连杆机构中，关节位点D、关节位点C之间的距离； l_{CC^*} 为支架四连杆机构中，关节位点C到DC*的距离，C*为垂足； l_{BD} 为支架四连杆机构中，关节位点B、关节位点D之间的距离； l_{BB^*} 为支架四连杆机构中，关节位点B相对于底座的距离，B*为关节位点B在底座上的垂足； l_{OA} 为液压支架中，关节位点A与绝对坐标系 $\{0_0\}$ 在底座上的原点O之间的距离。

6. 根据权利要求4所述的基于IMU实时监测支护位姿的液压支架，其特征在于，支护高度h的表达式是通过下述步骤得到：

3.1、构建液压支架在 $\{0_i\}$ 下的关节位点相对于坐标系 $\{0_{i-1}\}$ 绕液压支架纵向平面内Z轴旋转运动的变换矩阵 $T_{i-1}^i(\theta_i)$ ；其中： $i=1, 2, 3\cdots$ ；

3.2、以D-H矩阵参数，统一构建 $T_{i-1}^i(\theta_i)$ ；所述的D-H矩阵参数为旋转角 θ_i ，偏移量 d_i ，扭转角 α_i ，连杆长度 l_i ；

3.3、通过各旋转角 θ_i ，求解液压支架上任意一点X在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下的位姿 $P(x_x^0, y_x^0, z_x^0)$ ：

$$P(x_x^0, y_x^0, z_x^0) = RPY(\alpha_{1,x}, \alpha_{1,y}, \alpha_{1,z}) \prod_{i=1}^n \{T_{i-1}^i(\theta_{i-1})\} P(x_x^i, y_x^i, 0)$$

RPY($\alpha_{1,x}, \alpha_{1,y}, \alpha_{1,z}$)表示底座根据roll-pitch-yaw旋转序列而得到的旋转矩阵；

3.4、在顶梁选取K点作为液压支架支护高度参考点；则在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下，液压支架的纵向平面内，K点的位姿表达式如下：

$$P(x_K^0, y_K^0, 0) = T_0^1(\theta_1)T_1^2(\theta_2)T_2^3(\theta_3)T_3^4(\theta_4)P(x_K^4, y_K^4, 0) = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & x_K^0 \\ n_y & o_y & a_y & y_K^0 \\ n_z & o_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$P(x_K^0, y_K^0, 0)$ 为支护高度参考点K在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 中的坐标值; $P(0, 0, 0)^Y$ 为底座原点O在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 中的坐标值;

$T_0^1(\theta_1)$ 为底座坐标系 $\{0_1\}$ 相对于绝对坐标系 $\{0_0\}$ 的变换矩阵; $T_1^2(\theta_2)$ 为后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 相对于底座坐标系 $\{0_1\}$ 的变换矩阵; $T_2^3(\theta_3)$ 为掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 相对于后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 的变换矩阵; $T_3^4(\theta_4)$ 为顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 相对于掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 的变换矩阵; $P(x_K^4, y_K^4, 0)$ 表示K点在顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 下的位姿,由液压支架结构参数确定;上述的 $T_{i-1}^i(\theta_i)$ 坐标转换矩阵,表示为液压支架在 $\{0_i\}$ 下的关节位点相对于坐标系 $\{0_{i-1}\}$ 的变换矩阵,以D-H矩阵参数来构建,D-H矩阵参数包括关节旋转角 θ_i ,偏移量 d_i ,扭转角 α_i ,连杆长度 $l_i, i=1, 2, 3, \dots$;

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 分别表示底座旋转角、后连杆旋转角、掩护梁旋转角和顶梁旋转角;

$\hat{a} = (a_x, a_y, a_z)$ 称为接近向量,代表顶梁在绝对坐标系中的z轴; $\hat{o} = (o_x, o_y, o_z)$ 称为姿态向量,代表顶梁在绝对坐标系中的y轴; $\hat{n} = (n_x, n_y, n_z) = \hat{o} \times \hat{a}$,代表顶梁在绝对坐标系中的x轴;

3.5、液压支架的姿态矩阵为:

$$A_4 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{bmatrix}$$

3.6、验证位姿 $P(x_K^0, y_K^0, 0)$ 或液压支架的姿态矩阵中,顶梁在绝对坐标系中的x轴 $\hat{n} = (n_x, n_y, n_z) = \hat{o} \times \hat{a}$ 的有效性,具体方式是:

液压支架的顶梁姿态角计算值为 $\vec{\alpha}_4' = (\alpha_{4,x}', \alpha_{4,y}', \alpha_{4,z}')$ 可由下式计算得到:

$$\begin{cases} \alpha_{4,z}' = \text{atan2}(n_y, n_x) \\ \alpha_{4,y}' = \text{atan2}(-n_z, n_x \cos \alpha_{4,z}' + n_y \sin \alpha_{4,z}') \\ \alpha_{4,x}' = \text{atan2}(\alpha_x \sin \alpha_{4,z}' - \alpha_y \cos \alpha_{4,z}', o_y \cos \alpha_{4,z}' - o_x \sin \alpha_{4,z}') \end{cases}$$

将通过上式计算得到的顶梁姿态角计算值 $\vec{\alpha}_4'$ 与安装在顶梁上的第一IMU传感器检测得到的顶梁姿态角 $\vec{\alpha}_4$ 进行比较,若两者的差值在误差允许范围内,则通过支护高度h的表达式计算出支护高度h,若两者的差值超过误差允许的范围,则需要初始化液压支架;

3.7、计算液压支架的支护高度h:

$$h = P(x_K^0, y_K^0, 0)^Y - P(0, 0, 0)^Y$$

式中: $P(x_K^0, y_K^0, 0)^Y$ 为K点在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下的位姿在Y轴上的坐标分量; $P(0, 0, 0)^Y$ 为原点O在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下的位姿在Y轴上的坐标分量。

7. 一种基于IMU实时监测支护位姿的液压支架的检测方法,其特征在于,在液压支架的降架、移架、升架操作步骤中,均需要实时监测液压支架的支护姿态,以判断液压支架的降架、移架、升架操作是否达到目标支护姿态,所述液压支架的支护姿态通过顶梁的姿态角以及选取在顶梁上的支护高度参考点K的支护高度h来表征;所述检测方法具体包括以下步骤:

(1) 在降架、移架、升架过程中,均需实时记录各IMU传感器反馈的位姿信息,以更新IMU传感器安装位置所在部件的姿态角;

IMU传感器具有三个,分别为安装在顶梁的第一IMU传感器、安装在后连杆的第二IMU传感器以及安装在底座的第三IMU传感器;

(2) 通过坐标转换,将在绝对坐标系下各IMU传感器检测到的位姿信息,结合支架四连杆机构中各杆件的长度,通过几何换算,能够分别得到底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 ;

(3) 根据D-H矩阵坐标变换原理,根据上述得到的底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 ,结合液压支架本身的结构参数以及第一IMU传感器所反馈的顶梁姿态角,通过绝对坐标系 $\{O_0\}$ 与D-H坐标系之间的坐标转换,得到支护高度h;支护高度h以支护高度参考点K相对于底座原点O在Y轴方向上的垂直距离来表达;

绝对坐标系 $\{O_0\}$ 为:以支架纵向平面的水平方向为X轴方向,支架纵向平面中向上垂直于X轴的方向为Y轴方向,垂直支架纵向平面向外的方向为Z轴方向;底座坐标系 $\{O_1\}$ 为:以底座上的O点为原点建立的D-H坐标系;后连杆坐标系 $\{O_2\}$ 为:以后连杆与底座之间的关节位点A为原点建立的D-H坐标系;掩护梁坐标系 $\{O_3\}$ 为:以掩护梁与后连杆之间的关节位点C为原点建立的D-H坐标系;顶梁坐标系 $\{O_4\}$ 为:以顶梁与掩护梁之间的关节位点F为原点建立的D-H坐标系;

根据计算得到的支护高度h,与与降架、移架、升架操作后的支护高度目标值进行比较,判断液压支架的降架、移架、升架操作是否完成;

若降架操作过程中,计算得到的支护高度h,与降架操作的支护高度目标值一致,表明降架操作完成,则进入移架操作,反之则继续进行降架操作;

若移架操作过程中,计算得到的支护高度h,与移架操作的支护高度目标值一致,表明移架操作完成,则进入升架操作,反之则继续进行移架操作;

若升架操作过程中,计算得到的支护高度h,与升架操作的支护高度目标值一致,表明升架操作完成,则结束液压支架的这一完整操作流程,反之则继续进行升架操作。

8. 根据权利要求5所述的基于IMU实时监测支护位姿的液压支架的检测方法,其特征在于,底座的关节旋转角 θ_1 、后连杆的关节旋转角 θ_2 、掩护梁的关节旋转角 θ_3 、顶梁的关节旋转角 θ_4 是通过下式计算:

$$\begin{cases} \theta_1 = \alpha_{1,z} \\ \theta_2 = \alpha_{2,z} + \theta_1 - \pi/2 \\ \theta_3 = \pi - \varepsilon - \eta - \xi_2 \\ \theta_4 = \pi/2 + \alpha_{4,z} - \theta_1 + \theta_2 - \theta_3 \end{cases}$$

其中: $\alpha_{1,z}$ 是底座的姿态角在绝对坐标系 $\{O_0\}$ 下Z方向上的分量; $\alpha_{2,z}$ 是后连杆的姿态角

在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下Z方向上的分量; $\alpha_{4,z}$ 是顶梁的姿态角在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下Z方向上的分量; ξ_1, ξ_2 为液压支架结构参数, ϵ, η 为中间参数; 液压支架结构参数 ξ_1, ξ_2 , 中间参数 ϵ, η 的表达式如下:

$$\xi_1 = \arcsin\left(\frac{l_{BB^*} - l_{OA}}{l_{AB}}\right)$$

$$\xi_2 = \arccos\left(\frac{l_{CC^*}}{l_{CD}}\right)$$

$$\epsilon = \arccos \frac{(l_{AC})^2 + (l_{BC})^2 - (l_{AB})^2}{2l_{AC}l_{BC}}$$

$$\eta = \arccos \frac{(l_{BC})^2 + (l_{CD})^2 - (l_{BD})^2}{2l_{CD}l_{BC}}$$

式中: l_{AB} 为支架四连杆机构中, 关节位点A、关节位点B之间的距离; l_{BC} 为支架四连杆机构中, 关节位点B、关节位点C之间的距离,

$l_{BC} = \sqrt{(l_{AC})^2 + (l_{AB})^2 + 2l_{AC}l_{BC}\cos(\alpha_{1,z} + \alpha_{2,z} - \xi_1)}$; l_{AC} 为支架四连杆机构中, 关节位点A、关节位点C之间的距离; l_{CD} 为支架四连杆机构中, 关节位点D、关节位点C之间的距离; l_{CC^*} 为支架四连杆机构中, 关节位点C到DC*的距离, C*为垂足; l_{BD} 为支架四连杆机构中, 关节位点B、关节位点D之间的距离; l_{BB^*} 为支架四连杆机构中, 关节位点B相对于底座的距离, B*为关节位点B在底座上的垂足; l_{OA} 为液压支架中, 关节位点A与绝对坐标系 $\{0_0\}$ 在底座上的原点O之间的距离。

9. 根据权利要求5所述的基于IMU实时监测支护位姿的液压支架的检测方法, 其特征在于, 步骤(3)中, 支护高度h的表达式如下:

$$h = P(x_k^0, y_k^0, 0)^Y - P(0, 0, 0)^Y$$

式中, 支护高度参考点K在液压支架纵向平面内的位姿 $P(x_k^0, y_k^0, 0)$ 由下式确定:

$$P(x_k^0, y_k^0, 0) = T_0^1(\theta_1)T_1^2(\theta_2)T_2^3(\theta_3)T_3^4(\theta_4)P(x_k^4, y_k^4, 0) = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & x_k^0 \\ n_y & o_y & a_y & y_k^0 \\ n_z & o_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

且顶梁姿态角计算值 $\vec{\alpha}_4^*$ 与安装在顶梁上的第一IMU传感器检测得到的顶梁姿态角 $\vec{\alpha}_4$ 的差值在误差允许范围内, 其中: 液压支架的顶梁姿态角计算值为 $\vec{\alpha}_4^* = (\alpha'_{4,x}, \alpha'_{4,y}, \alpha'_{4,z})$ 的表达式为:

$$\begin{cases} \alpha'_{4,z} = \text{atan2}(n_y, n_x) \\ \alpha'_{4,y} = \text{atan2}(-n_z, n_x \cos \alpha'_{4,z} + n_y \sin \alpha'_{4,z}) \\ \alpha'_{4,x} = \text{atan2}(\alpha_x \sin \alpha'_{4,z} - \alpha_y \cos \alpha'_{4,z}, o_y \cos \alpha'_{4,z} - o_x \sin \alpha'_{4,z}) \end{cases}$$

其中: 支护高度参考点K为顶梁上的任意一点; $P(x_k^0, y_k^0, 0)^Y$ 为K点在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下

的位姿在Y轴上的坐标分量; $P(0,0,0)^Y$ 为原点O在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 下的位姿在Y轴上的坐标分量; $P(x_K^0, y_K^0, 0)$ 为支护高度参考点K在绝对坐标系 $\{0_0\}$ 中的坐标值;

$T_0^1(\theta_1)$ 为底座坐标系 $\{0_1\}$ 相对于绝对坐标系 $\{0_0\}$ 的变换矩阵, $T_1^2(\theta_2)$ 为后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 相对于底座坐标系 $\{0_1\}$ 的变换矩阵; $T_2^3(\theta_3)$ 为掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 相对于后连杆坐标系 $\{0_2\}$ 的变换矩阵; $T_3^4(\theta_4)$ 为顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 相对于掩护梁坐标系 $\{0_3\}$ 的变换矩阵; $P(x_K^4, y_K^4, 0)$ 表示K点在顶梁坐标系 $\{0_4\}$ 下的位姿, 由液压支架结构参数确定; 上述的 $T_{i-1}^i(\theta_i)$ 坐标转换矩阵, 表示为液压支架在 $\{0_i\}$ 下的关节位点相对于坐标系 $\{0_{i-1}\}$ 的变换矩阵, 以D-H矩阵参数来构建, D-H矩阵参数包括关节旋转角 θ_i , 偏移量 d_i , 扭转角 α_i , 连杆长度 l_i , $i=1, 2, 3, \dots$;

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 分别表示底座旋转角、后连杆旋转角、掩护梁旋转角和顶梁旋转角;

$\hat{a} = (a_x, a_y, a_z)$ 称为接近向量, 代表顶梁在绝对坐标系中的z轴; $\hat{o} = (o_x, o_y, o_z)$ 称为姿态向量, 代表顶梁在绝对坐标系中的y轴; $\hat{n} = (n_x, n_y, n_z) = \hat{o} \times \hat{a}$, 代表顶梁在绝对坐标系中的x轴;

在计算出位姿 $P(x_K^0, y_K^0, 0)$ 后, 需要验证位姿 $P(x_K^0, y_K^0, 0)$ 中, 顶梁在绝对坐标系中的x轴 $\hat{n} = (n_x, n_y, n_z) = \hat{o} \times \hat{a}$ 的有效性, 具体方式是: 液压支架的顶梁姿态角计算值为 $\vec{\alpha}_4 = (\alpha'_{4,x}, \alpha'_{4,y}, \alpha'_{4,z})$ 可由下式计算得到:

$$\begin{cases} \alpha'_{4,z} = \text{atan2}(n_y, n_x) \\ \alpha'_{4,y} = \text{atan2}(-n_z, n_x \cos \alpha'_{4,z} + n_y \sin \alpha'_{4,z}) \\ \alpha'_{4,x} = \text{atan2}(\alpha_x \sin \alpha'_{4,z} - \alpha_y \cos \alpha'_{4,z}, o_y \cos \alpha'_{4,z} - o_x \sin \alpha'_{4,z}) \end{cases}$$

将通过上式计算得到的顶梁姿态角计算值 $\vec{\alpha}_4$ 与安装在顶梁上的第一IMU传感器检测得到的顶梁姿态角 $\vec{\alpha}_4$ 进行比较, 若两者的差值在误差允许范围内, 则可以通过支护高度h的表达式计算出支护高度h, 若两者的差值超过误差允许的范围, 则需要初始化液压支架。

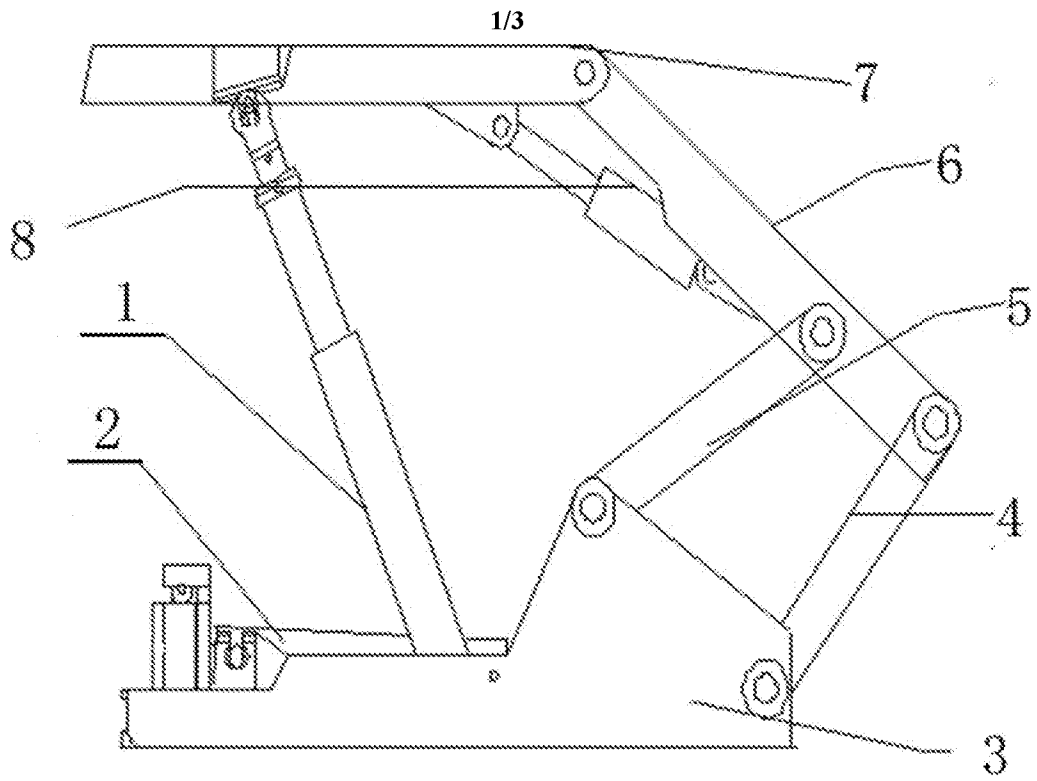


图1

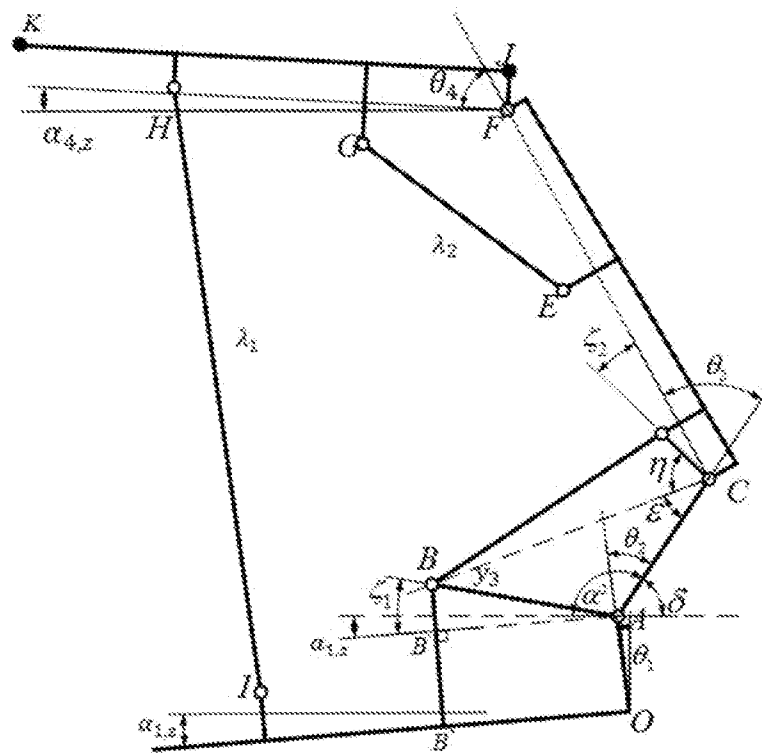


图2

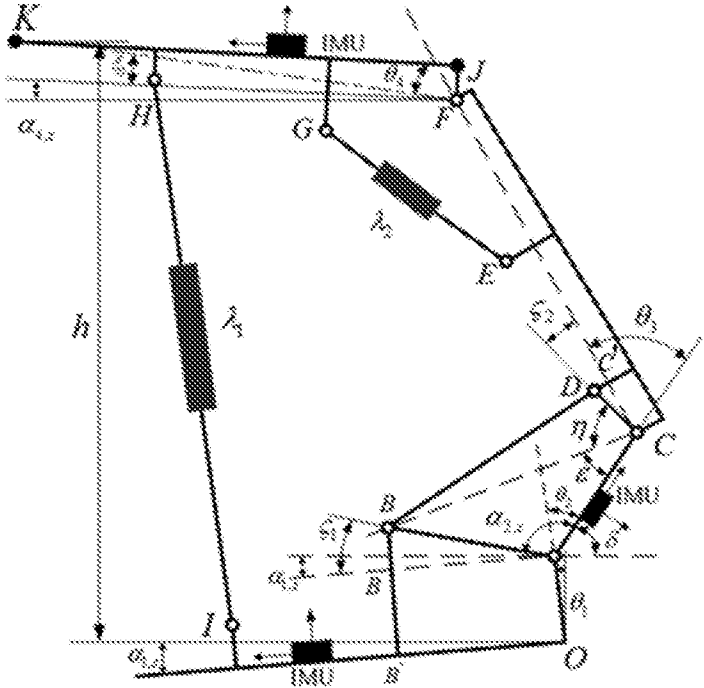


图3

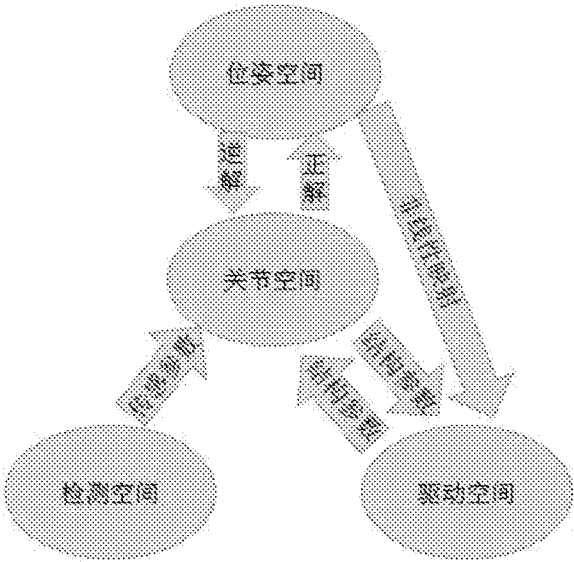


图4

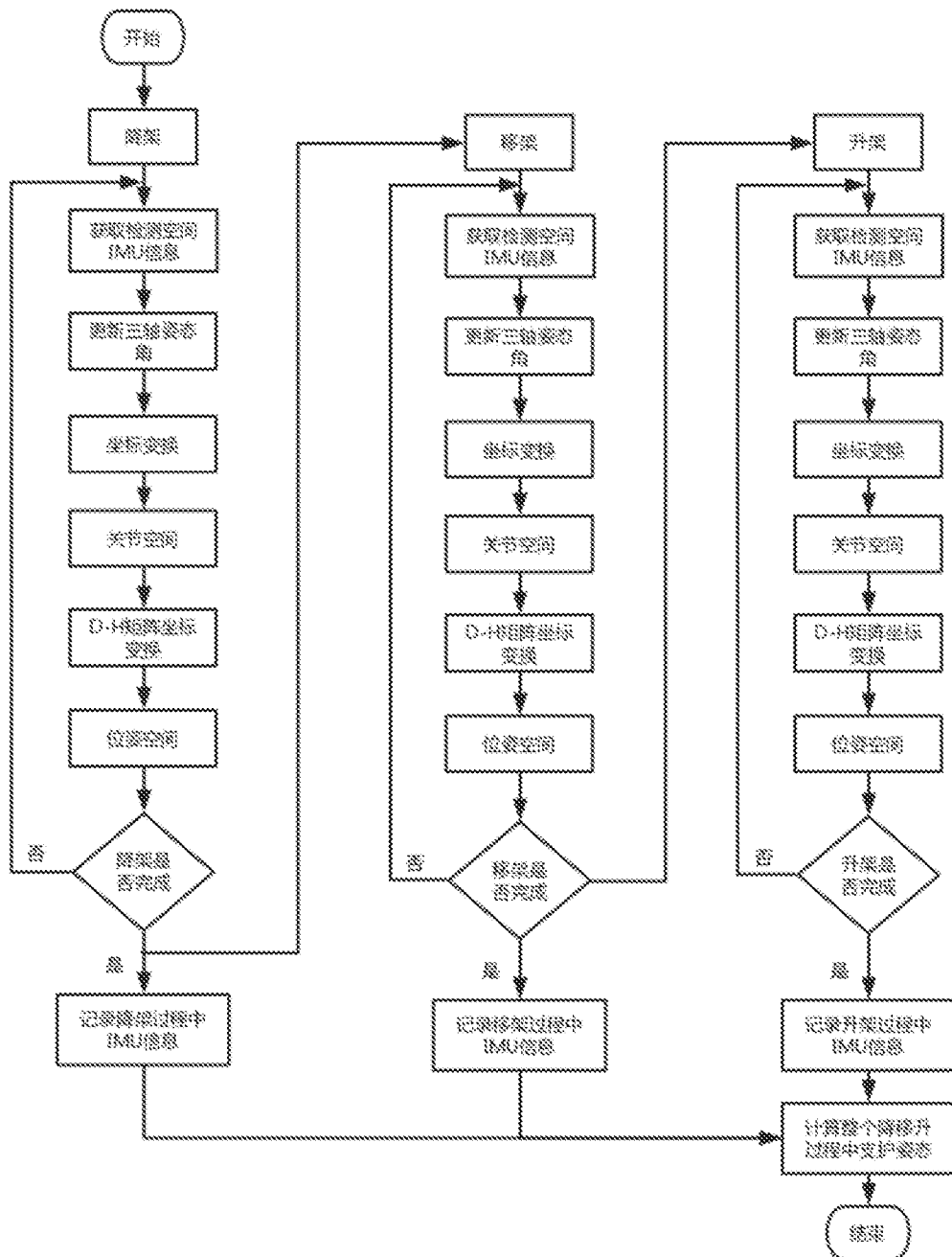


图5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/091625

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E21D 23/04(2006.01)i; E21D 15/51(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)

E21D

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)

CNABS, CNTXT, DWPI, SIPOABS, CNKI; 液压支架, 传感, 检测, 惯性测量, 坐标, 角度, 支护, hydraulic, sensor?, detect+, IMU, inertial, measure+, coordinate, angle, support

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109751070 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 14 May 2019 (2019-05-14) claims 1-9	1-9
A	CN 103899338 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY et al.) 02 July 2014 (2014-07-02) description, paragraphs 5-42, and figures 1-3	1-9
A	CN 103968856 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY et al.) 06 August 2014 (2014-08-06) entire document	1-9
A	CN 105909294 A (SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 31 August 2016 (2016-08-31) entire document	1-9
A	CN 106709090 A (CHONGQING SONGRUI AUTOMOBILE SALES CO., LTD.) 24 May 2017 (2017-05-24) 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

06 September 2019

Date of mailing of the international search report

08 October 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
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/CN2019/091625

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 2316973 B (DBTA-N DBT AUTOMATION GMBH et al.) 13 December 2000 (2000-12-13) entire document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/091625

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	109751070	A	14 May 2019	None	
CN	103899338	A	02 July 2014	None	
CN	103968856	A	06 August 2014	None	
CN	105909294	A	31 August 2016	None	
CN	106709090	A	24 May 2017	None	
GB	2316973	B	13 December 2000	GB 9719052 D0	12 November 1997
				AU 3677597 A	12 March 1998
				US 6056481 A	02 May 2000
				ZA 9708017 A	02 March 1998
				DE 19636389 A1	12 March 1998
				AU 725018 B2	05 October 2000

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/091625

A. 主题的分类 E21D 23/04(2006.01)i; E21D 15/51(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) E21D 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)) CNABS, CNTXT, DWPI, SIPOABS, CNKI; 液压支架, 传感, 检测, 惯性测量, 坐标, 角度, 支护, hydraulic, sensor?, detect+, IMU, inertial, measure+, coordinate, angle, support																							
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 109751070 A (中国矿业大学) 2019年 5月 14日 (2019 - 05 - 14) 权利要求1-9</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103899338 A (中国矿业大学 等) 2014年 7月 2日 (2014 - 07 - 02) 说明书第5-42段、图1-3</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103968856 A (中国矿业大学 等) 2014年 8月 6日 (2014 - 08 - 06) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105909294 A (山东科技大学) 2016年 8月 31日 (2016 - 08 - 31) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106709090 A (重庆松瑞汽车销售有限公司) 2017年 5月 24日 (2017 - 05 - 24) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>GB 2316973 B (DBTA-N DBT AUTOMATION GMBH等) 2000年 12月 13日 (2000 - 12 - 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 109751070 A (中国矿业大学) 2019年 5月 14日 (2019 - 05 - 14) 权利要求1-9	1-9	A	CN 103899338 A (中国矿业大学 等) 2014年 7月 2日 (2014 - 07 - 02) 说明书第5-42段、图1-3	1-9	A	CN 103968856 A (中国矿业大学 等) 2014年 8月 6日 (2014 - 08 - 06) 全文	1-9	A	CN 105909294 A (山东科技大学) 2016年 8月 31日 (2016 - 08 - 31) 全文	1-9	A	CN 106709090 A (重庆松瑞汽车销售有限公司) 2017年 5月 24日 (2017 - 05 - 24) 全文	1-9	A	GB 2316973 B (DBTA-N DBT AUTOMATION GMBH等) 2000年 12月 13日 (2000 - 12 - 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 109751070 A (中国矿业大学) 2019年 5月 14日 (2019 - 05 - 14) 权利要求1-9	1-9																					
A	CN 103899338 A (中国矿业大学 等) 2014年 7月 2日 (2014 - 07 - 02) 说明书第5-42段、图1-3	1-9																					
A	CN 103968856 A (中国矿业大学 等) 2014年 8月 6日 (2014 - 08 - 06) 全文	1-9																					
A	CN 105909294 A (山东科技大学) 2016年 8月 31日 (2016 - 08 - 31) 全文	1-9																					
A	CN 106709090 A (重庆松瑞汽车销售有限公司) 2017年 5月 24日 (2017 - 05 - 24) 全文	1-9																					
A	GB 2316973 B (DBTA-N DBT AUTOMATION GMBH等) 2000年 12月 13日 (2000 - 12 - 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 9月 6日		国际检索报告邮寄日期 2019年 10月 8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		受权官员 贾文卓 电话号码 86-010-62085344																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/091625

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	109751070	A	2019年 5月 14日	无	
CN	103899338	A	2014年 7月 2日	无	
CN	103968856	A	2014年 8月 6日	无	
CN	105909294	A	2016年 8月 31日	无	
CN	106709090	A	2017年 5月 24日	无	
GB	2316973	B	2000年 12月 13日	GB 9719052 D0	1997年 11月 12日
				AU 3677597 A	1998年 3月 12日
				US 6056481 A	2000年 5月 2日
				ZA 9708017 A	1998年 3月 2日
				DE 19636389 A1	1998年 3月 12日
				AU 725018 B2	2000年 10月 5日