[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
B25J 11/00 (2006.01)
B25J 19/00 (2006.01)
H02G 1/08 (2006.01)
H02G 1/06 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200810042779.8

[45] 授权公告日 2010 年 1 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 100581754C

[22] 申请日 2008.9.11
[21] 申请号 200810042779.8
[73] 专利权人 上海交通大学
地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号
共同专利权人 北京优通泰达电气新技术发展有限公司
[72] 发明人 吴钰岫 付 庄 赵言正 郭阿茹 姜长青
[56] 参考文献
WO98/12588A1 1998.3.26
US4285454 1981.8.25
CN101069966A 2007.11.14
CN101055340A 2007.10.17
US6619432B1 2003.9.16
JP7-322439A 1995.12.8
审查员 苏余鹏
[74] 专利代理机构 上海交达专利事务所
代理人 王锡麟 王桂忠

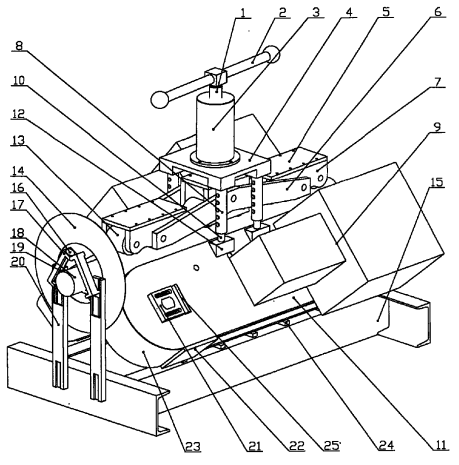
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 3 页

[54] 发明名称

水敷法电缆敷设机器人推进机构

[57] 摘要

一种机器人技术应用领域的水敷法电缆敷设机器人推进机构，包括：压紧机构、两个推进箱、上下连接机构、管道对接机构、底部支撑机构，其中：压紧机构通过上下连接机构与两个推进箱连接，两个推进箱关于电缆中心线对称放置组成 V 形空间，并分别位于电缆两侧的下方，压紧机构位于电缆的上方，并通过上下移动压紧电缆，管道对接机构设置在底部支撑机构的一端，并和前述 V 形空间的端口相配，压紧机构、上下连接机构、管道对接机构都固定在底部支撑机构之上。 本发明能源利用效率高，能够敷设的电缆范围更大，操作简易方便。



1、一种水敷法电缆敷设机器人推进机构，其特征在于，包括：压紧机构、两个推进箱、上下连接机构、管道对接机构、底部支撑机构，其中：压紧机构通过上下连接机构与两个推进箱连接，两个推进箱关于电缆中心线对称放置组成 V 形空间，并分别位于电缆两侧的下方，压紧机构位于电缆的上方，并通过上下移动压紧电缆，管道对接机构设置在底部支撑机构的一端，并和前述 V 形空间的端口相配，压紧机构、上下连接机构、管道对接机构都固定在底部支撑机构之上；

所述压紧机构，包括：施压机构、压力采集装置、复合摆臂机构，三者从上到下依次设置，其中：

施压机构包括：扳手连接杆、扳手、壳体、顶部套、四点接触球轴承、顶部套底板、上铜套、下铜套，扳手连接杆连接扳手与四点接触球轴承，四点接触球轴承安装于上铜套和顶部套之间，下铜套与压力采集装置相连，壳体设于施压机构的外侧，壳体通过顶部套底板与上下连接机构相连；

压力采集装置包括：传感器、两根传感器连接杆、外花键、内花键，其中：传感器两端分别通过传感器连接杆与下铜套和外花键相连，外花键和内花键相连；

复合摆臂机构，包括：两侧压轮顶板、摆臂、两侧压轮连接板、六个压轮、主压轮顶板、摆臂支撑轴、主压轮连接板、压轮组支撑轴、压轮轴，其中，六个压轮分成 3 组分别置于主压轮顶板和两侧压轮顶板之下，压轮通过压轮轴安装于两侧压轮连接板之间，两侧压轮连接板与两侧压轮顶板固定连接，形成一个压轮组，压紧机构的施压机构与主压轮顶板固定，摆臂支撑轴将摆臂固定在主压轮连接板的两侧，摆臂围绕摆臂支撑轴旋转，两侧的压轮组通过压轮组支撑轴与摆臂相连，压轮组可绕压轮组支撑轴旋转，两侧压轮组中的压轮各有两个自由度。

2、根据权利要求 1 所述的水敷法电缆敷设机器人推进机构，其特征是，所述上下连接机构，包括：支撑腿套和支撑腿，支撑腿套连接在压紧机构中顶部套底板的下方，支撑腿套连接在压紧机构下方，支撑腿焊接于推进箱的上方，支撑腿套和支撑腿之间销接。

3、根据权利要求 1 所述的水敷法电缆敷设机器人推进机构，其特征是，所述两个推进箱，其之间所成的角度为 95° 至 105° 。

4、根据权利要求 1 或 3 所述的水敷法电缆敷设机器人推进机构，其特征是，所述推进箱，包括：电机及减速器、外侧板、调心移动座、调心固定座、前后挡板、左右连接板、被动轮、被动轮轴、大挡圈、内侧板、惰轮轴、小挡圈、同步带、四个承压惰轮、主动轮，其中：被动轮轴穿过被动轮，安装于内侧板和外侧板之间，调心移动座与被动轮轴固定，通过螺栓调节它与调心固定座之间的距离，便于同步带的安装及张紧，四个承压惰轮除不可调心外，其余结构与被动轮相似，主动轮与电机及减速器的输出轴相连，电机及减速器设置在外侧板上，被动轮和主动轮的外侧都通过大挡圈与同步带相连，承压惰轮通过小挡圈与同步带相连，前后挡板用来防止灰尘或水流进入推进箱内部，左右连接板用于固定内侧板和外侧板之间的距离。

5、根据权利要求 1 或 3 所述的水敷法电缆敷设机器人推进机构，其特征是，所述推进箱，其位置与压紧机构中的 6 个压轮的垂直位置一一对应。

6、根据权利要求 4 所述的水敷法电缆敷设机器人推进机构，其特征是，所述电机及减速器，其通过法兰设置在推进箱的外侧板上，将动力直接传送给主动轮。

7、根据权利要求 1 所述的水敷法电缆敷设机器人推进机构，其特征是，所述管道对接机构，包括：挡水圈、挡水部轴承盖、挡水部轴套、三个挡水部轴、两个挡水支撑板，其中：两个挡水支撑板设置在底部支撑机构的一侧，其高度可调，一根挡水部轴安装在两个挡水支撑板之间，另外两个挡水部轴顶部焊接在一起并对称设置，这两个挡水部轴的外侧设有挡水部轴套，两个挡水部轴套通过滑槽分别与两个挡水支撑板的滑动连接，挡水圈也设置在挡水支撑板滑的滑槽内，上述三个挡水部轴组成一个正三角形的闭合空间，挡水部轴承盖用于定位设有挡水部轴套的两个挡水部轴。

8、根据权利要求 7 所述的水敷法电缆敷设机器人推进机构，其特征是，所述三个挡水部轴，其形成的三角形空间能够容纳直径为 35mm 至 105mm 内的电缆。

9、根据权利要求 1 所述的水敷法电缆敷设机器人推进机构，其特征是，所述底部支撑机构，由 5 块连接推进箱的内侧板的支撑板、3 根槽钢焊接而成的底座组成，支撑板设置在底座的表面。

水敷法电缆敷设机器人推进机构

技术领域

本发明涉及一种机器人技术领域的装置，具体是一种水敷法电缆敷设机器人推进机构。

背景技术

在我国城市建设中，电缆敷设是很重要的一环，它关系到城市通讯的顺畅。和架空线相比，电缆入地有以下无法比拟的优势：不占用地面空间，有利于市容美观；同一通道可以容纳多个电缆线路，输送容量的适应性强；电缆隐蔽在地下，对人身比较安全；自然条件和周围环境对电缆的影响较小，供电可靠性高，即便雪灾也不能对电缆产生影响。可以预见城市配电网中入地敷设电缆替代架空线路将是一个趋势。管道敷设电缆是一种常见的电缆入地的方法，水敷法是一种新兴的管道敷设方法。它是利用大功率推进机械将光缆推进管道中，同时水压机把高压水打入管道，水流在光缆的表面形成一股拖拽力，很高的水压也产生一个很大的前向力，在这三个力的作用下，完成电缆入管的敷设。

经对现有技术的文献检索发现，专利申请号为 200710042298.2 的中国专利，提供了一种用于水敷法的电缆作业机器人的电缆推进器机构，用于敷设可变直径的电缆。主要由传送机构、压紧机构、变径机构及锁紧机构构成。这种电缆推进器的锁紧机构具体实现极为困难，且设计刚度较小，不可能提供很大的锁紧力；并且这种推进器未对动力传输的实现方式加以说明，电机及减速器的体积受到很大的限制，系统提供的功率很有限。

基于保证大功率的推力和推进机构尺寸的矛盾，目前市场上的推进机械采用液压驱动的方式，这样还可解决以及解决两侧推进箱的同步问题。这种液压推进机构需要重量和体积较大的液压装置来提供驱动推进机构的高压油，运输和使用前的安装均不大方便，敷设时可能出现漏油现象对环境产生负面影响，并且对流量进行实时的精确控制有很大的困难。这种推进系统一般可以提供 4～6Kw 的推力，如果推进距离较远时，将需要 2～3 台这样的机构串联工作，这样工程应用很为不便。

如果基于伺服电机系统的精确控制来建立功率更为巨大、高效率且环保的水敷法敷设电缆的推进机构也有以下的难点：

1)动力传动距离不宜太远，否则效率将难以提高；

2)两侧推进箱务必保持同步，否则将压坏电缆；

3)电缆的形状不规则，但敷设时务必将其比较均匀的压紧；

4)机构必须紧凑，并能适应多种不同的电缆。

在设计时必须一一解决以上难点，研制一种机构紧凑、两侧速度同步、更高的总功率、对不同形状的电缆适应能力强、易于安装和操作的新型水敷法电缆敷设机器人推进机构。对现有电缆敷设机器人推进机构及相关技术的检索还没有发现类似于本发明用来解决上述难点的专利。

发明内容

本发明针对上述现有技术的不足，提供了一种水敷法电缆敷设机器人推进机构，使得施工作业简单高效环保，简化传动系统，提供一种高功率、高效率、高可靠性的电缆敷设推进机构。该机构不仅可用于水敷法敷设电缆，还可推广应用于其他类型电缆敷设。

本发明是通过以下技术方案实现的，本发明包括：压紧机构、两个推进箱、上下连接机构、管道对接机构、底部支撑机构，其中：

压紧机构通过上下连接机构与两个推进箱连接，两个推进箱关于电缆中心线对称放置组成V形空间，并分别位于电缆两侧的下方，压紧机构位于电缆的上方，并通过上下移动压紧电缆，管道对接机构设置在底部支撑机构的一端，并和前述V形空间的端口相配，压紧机构、上下连接机构、管道对接机构都固定在底部支撑机构之上。

所述压紧机构，包括：施压机构、压力采集装置、复合摆臂机构，三者从上到下依次设置，其中：

施压机构包括：扳手连接杆、扳手、壳体、顶部套、四点接触球轴承、顶部套底板、上铜套、下铜套，扳手连接杆连接扳手与四点接触球轴承，四点接触球轴承安装于上铜套和顶部套之间，下铜套与压力采集装置相连，壳体设于施压机构的外侧，壳体通过顶部套底板与上下连接机构相连。扳手旋转可产生压紧力，双铜套机构可保证施压机构在顶部套内稳定滑动。

压力采集装置包括：传感器、两根传感器连接杆、外花键、内花键，其中：传感器两端分别通过传感器连接杆与下铜套和外花键相连，外花键和内花键相连，传感器可准确反馈压紧力的大小，花键防止与之相连的压轮组跟转扳手旋转；

复合摆臂机构，包括：两侧压轮顶板、摆臂、两侧压轮连接板、六个压轮、主压轮顶板、摆臂支撑轴、主压轮连接板、压轮组支撑轴、压轮轴，其中，6 个压轮分成 3 组分别置于主压轮顶板和两侧压轮顶板之下，压轮通过压轮轴安装于两侧压轮连接板之间，两侧压轮连接板与两侧压轮顶板固定连接，形成一个压轮组，压紧机构的施压机构与主压轮顶板固定，摆臂支撑轴将摆臂固定在主压轮连接板的两侧，摆臂围绕摆臂支撑轴旋转，两侧的压轮组通过压轮组支撑轴与摆臂相连，压轮组可绕压轮组支撑轴旋转，两侧压轮组中的压轮各有两个自由度，可以适应不规则的电缆截面。

所述上下连接机构，包括：支撑腿套和支撑腿，支撑腿套连接在压紧机构中顶部套底板的下方，支撑腿套连接在压紧机构下方，支撑腿焊接于推进组箱的上方，支撑腿套和支撑腿之间销接，通过固定支撑腿套和支撑腿的相对位置，可以实现稳固的上下连接。

所述两个推进箱，其之间所成的角度为 95° 至 105° 。

所述推进箱，包括：电机及减速器、外侧板、调心移动座、调心固定座、前后挡板、左右连接板、被动轮、被动轮轴、大挡圈、内侧板、惰轮轴、小挡圈、同步带、四个承压惰轮、主动轮，其中：被动轮轴穿过被动轮，安装于内侧板和外侧板之间，调心移动座与被动轮轴固定，通过螺栓调节它与调心固定座之间的距离，便于同步带的安装及张紧，四个承压惰轮除不可调心外，其余结构与被动轮相似，主动轮与电机及减速器的输出轴相连，电机及减速器设置在外侧板上，被动轮和主动轮的外侧都通过大挡圈与同步带相连，承压惰轮通过小挡圈与同步带相连，前后挡板用来防止灰尘或水流进入推进箱内部，左右连接板用于固定内侧板和外侧板之间的距离。

所述电机及减速器，其通过法兰设置在推进组箱的外侧板上，将动力直接传送给主动轮。

所述推进箱，其位置与压紧机构中的 6 个压轮的垂直位置一一对应，避免同步带悬空承压。

所述管道对接机构，包括：挡水圈、挡水部轴承盖、挡水部轴套、三个挡水部轴、两个挡水支撑板，其中：两个挡水支撑板设置在底部支撑机构的一侧，其高度可调，一根挡水部轴安装在两个挡水支撑板之间，另外两个挡水部轴顶部焊接在一起并对称设置，这两个挡水部轴的外侧设有挡水部轴套，两个挡水部轴套通过滑槽分别与两个挡水支撑板的滑动连接，挡水圈也设置在挡水支撑板滑的滑槽内，上述三个挡水部轴组成一个正三角形的闭合空间，挡水部轴承盖用于定位设有挡水部轴套的两个挡水部轴。

所述三个挡水部轴，其形成的三角形空间能够容纳直径为 35mm 至 105mm 内的电缆。

所述底部支撑机构，由 5 块连接推进箱的内侧板的支撑板、3 根槽钢焊接而成的底座组成，支撑板设置在底座的表面。

本发明工作时，将电缆置于两侧推进箱的同步带所形成的 V 型空间上，并通过调节压紧机构压紧电缆，压紧机构中有 4 个压轮各有两个自由度，可以适应不规则的电缆截面，压紧机构中的压力传感器可以测出电缆所受压力，推进箱中电机带动主动轮，主动轮带动同步带，同步带驱动电缆，电缆同过管道对接机构水平的穿过敷设路径的规整区域，向管道进水方向前进。

与现有技术相比，本发明具有如下有益效果：

本发明使用可精确控制的双同步带的推进组箱，推进组箱能提供 10Kw 以上的功率，保证了高效、可靠的管道内的电缆敷设，本发明相对于现有的以液压为动力的推进机构，对环境更为友好，能源利用效率可达到 90%；相对于其他敷设方式的推进机构，能够敷设的电缆范围更大，能够做到不损坏电缆，另外由于采用了自适应的施压机构以及控制方便的高精度饲服电机，整个系统操作简易方便。本发明的电缆推进器不仅可用于水敷法敷设电缆，也可用于其他需要推动力或拉力的场合。

附图说明

图 1 是本发明的总体结构示意图；

图 2 是本发明的压紧机构中的施压机构、压力采集装置以及上下连接机构的结构示意图；

图 3 是本发明的压紧机构中的复合摆臂机构的结构示意示意图；

图 4 是本发明中的推进箱内部结构示意图；

图 5 是本发明中的管道对接机构的结构示意图；

图 6 是本发明中的底部支撑机构的结构示意图。

图中：1 为扳手连接杆、2 为扳手、3 为壳体、4 为顶部套底板、5 为两侧压轮顶板、6 为摆臂、7 为两侧压轮连接板、8 为支撑腿套、9 为电机及减速器、10 为支撑腿、11 为外侧板、12 为支撑腿连接块、13 为压轮、14 为挡水板、15 为底座、16 为挡水部轴承盖、17 为挡水部轴套、18 为电缆、19 为挡水部轴、20 为挡水支撑板、21 为调心移动座、22 为左右连接板、23 为前后挡板、24 为支撑板、25 为调心固定座、26 为四点球接触轴承、27 为上铜套、28 为顶部套、29 为下铜套、30 为传感器、31 为传感器连接杆、32 为外花键、33 为内花键、34 为主压轮顶板、35 为摆臂支撑轴、36 为主压轮连接板、37 为压轮组支撑轴、38 为压轮轴、39 为被动轮、40 为被动轮轴、41 为大挡圈、42 为内侧板、43 为惰轮轴、44 为小挡圈、45 为同步带、46 为承压惰轮、47 为主动轮。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的实施例作详细说明：本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施，给出了详细的实施方式和具体的操作过程，但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

本实施例用于敷设 35～105mm 的电缆 18。

如图 1 所示，本实施例包括：压紧机构、两个推进箱、上下连接机构、管道对接机构、底部支撑机构，其中：

压紧机构通过上下连接机构与两个推进箱连接，两个推进箱关于电缆中心线对称放置组成 V 形空间，并分别位于电缆两侧的下方，压紧机构位于电缆的上方，并通过上下移动压紧电缆，管道对接机构设置在底部支撑机构的一端，并和前述 V 形空间的端口相配，压紧机构、上下连接机构、管道对接机构都固定在底部支撑机构之上。

如图 2 所示，所述压紧机构，包括：施压机构、压力采集装置、复合摆臂机构，三者从上到下依次设置，其中：

施压机构包括：扳手连接杆 1、扳手 2、壳体 3、顶部套底板 4、四点接触球轴承 26、顶部套 28、上铜套 27、下铜套 29，扳手连接杆 1 连接扳手 2 与四点接触球轴承 26，四点接触球轴承 26 安装于上铜套 27 和顶部套 28 之间，下铜套 29

与压力采集装置相连；扳手 2 旋转可产生压紧力，双铜套机构可保证施压机构在顶部套内稳定滑动，壳体 3 设于施压机构的外侧，壳体 3 通过顶部套底板 4 与上下连接机构相连；

压力采集装置包括：传感器 30、两根传感器连接杆 31、外花键 32、内花键 33，其中：传感器 30 两端分别通过传感器连接杆 31 与下铜套 29 和外花键 32 相连，外花键 32 和内花键 33 相连。将传感器 30 可准确反馈压紧力的大小，花键防止与之相连的压轮组跟转扳手旋转；

如图 3 所示，复合摆臂机构，包括：两侧压轮顶板 5、摆臂 6、两侧压轮连接板 7、六个压轮 13、主压轮顶板 34、摆臂支撑轴 35、主压轮连接板 36、压轮组支撑轴 37、压轮轴 38，其中，6 个压轮 13 分成 3 组分别置于主压轮顶板 34 和两侧压轮顶板 5 之下，压轮 13 通过压轮轴 38 安装于两侧压轮连接板 7 之间，两侧压轮连接板 7 与两侧压轮顶板 5 固定连接，形成一个压轮组，压紧机构的施压机构与主压轮顶板 34 固定，摆臂支撑轴 35 将摆臂 6 固定在主压轮连接板 36 的两侧，摆臂 6 围绕摆臂支撑轴 35 旋转，两侧的压轮组通过压轮组支撑轴 37 与摆臂 6 相连，压轮组可绕压轮组支撑轴 37 旋转，这样两侧压轮组中的压轮各有两个自由度，可以适应不规则的电缆截面。

如图 2 所示，所述上下连接机构，包括：支撑腿套 8 和支撑腿 10，支撑腿套 8 连接在压紧机构中顶部套底板 4 的下方，支撑腿 10 焊接于推进组箱的上方，支撑腿套 8 和支撑腿 10 之间销接，通过固定支撑腿套 8 和支撑腿 10 的相对位置，可以实现稳固的上下连接。

所述两个推进箱，其之间所成的角度为 95° 至 105° 中的任选一个角度。

如图 4 所示所述推进箱，包括：电机及减速器 9、外侧板 11、调心移动座 21、调心固定座 25、前后挡板 23、左右连接板 22、被动轮 39、被动轮轴 40、大挡圈 41、内侧板 42、惰轮轴 43、小挡圈 44、同步带 45、四个承压惰轮 46、主动轮 47，其中：被动轮轴 40 穿过被动轮 39，安装于内侧板 42 和外侧板 11 之间，调心移动座 21 与被动轮轴 40 固定，通过螺栓调节它与调心固定座 25 之间的距离，便于同步带的安装及张紧，四个承压惰轮 46 除不可调心外，其余机构与被动轮 39 相似，主动轮 47 与电机及减速器 9 的输出轴相连，电机及减速器 9 设置在外侧板 11 上，被动轮 39 和主动轮 47 的外侧都通过大挡圈 41 与同步带 45 相连，承压惰轮 46 通

过小挡圈 44 与同步带 45 相连，前后挡板 23 用来防止灰尘或水流进入推进箱内部，左右连接板 22 用于固定内侧板 42 和外侧板 11 之间的距离。

所述电机及减速器 9，其通过法兰设置在推进组箱的外侧板上，将动力直接传送给主动轮 47，电机及减速器 9 驱动主动轮 47，主动轮 47 带动同步带 45，同步带 45 带动电缆 18 运动，同过这样的两级动力传输来驱动电缆；另外通过对两个电机及减速器 9 的同步控制，来协同左右推进箱的运动，这样总的推进功率可以达到 10Kw 以上。

所述推进箱，其位置与压紧机构中的 6 个压轮的垂直位置一一对应，避免同步带悬空承压。

如图 5 所示，所述管道对接机构，包括：挡水圈 14、挡水部轴承盖 16、挡水部轴套 17、三个挡水部轴 19、两个挡水支撑板 20，其中：两个挡水支撑板 20 设置在底部支撑机构的一侧，其高度可调，一根挡水部轴 19 安装在两个挡水支撑板 20 之间，另外两个挡水部轴 19 顶部焊接在一起并对称设置，这两个挡水部轴 19 的外侧设有挡水部轴套 17，两个挡水部轴套 17 通过滑槽分别与两个挡水支撑板 20 的滑动连接，挡水圈 14 也设置在挡水支撑板滑 20 的滑槽内，上述三个挡水部轴 19 组成一个正三角形的闭合空间，挡水部轴承盖 16 用于定位设有挡水部轴套 17 的两个挡水部轴 19。

所述三个挡水部轴 19，其形成的三角形空间能够容纳直径为 35mm 至 105mm 内的电缆。

如图 6 所示，所述底部支撑机构，由 5 块连接推进箱的内侧板的支撑板 24、3 根槽钢焊接而成的底座 15 组成，支撑板 24 设置在底座 15 的表面。

本实施例的工作过程如下：

1. 将直径为 35～105mm 的电缆 18 置于两侧推进箱的同步带 45 所形成的 V 型空间上，将电缆 18 输出端对准管道口，当推进机构高度过高时，可以在地面挖出深度合适的坑，将其部分埋入；

2. 将电机及减速器 9 及压力传感器 30 的信号输出端接入控制柜内的控制器，并且逐一检查确认它们可以正常地实时反馈；

3. 调节管道对接机构的高度，使得电缆 18 可以保持水平地穿过敷设路径的规整区域，然后用螺栓将挡水支撑板 20 与底部支撑机构的底座 15 固定；

4. 调节挡水部轴套 17 在挡水支撑板 20 的滑槽内的高度，使得两根挡水部轴

19 和固定的挡水部轴 19 配合，组成一个正三角形的闭合空间，并使电缆 18 可以顺利从该空间穿过，进入管道；

5. 测量敷设电缆 18 的直径及敷设的距离，由此估算所需最大推进力的大小，并根据电缆 18 和所用同步带 45 的摩擦系数，求出所需的大致压紧力；

6. 通过旋转施压扳手 2 对电缆 18 施加压力，六个压轮 13 能够自适应地紧贴不规则的电缆 18，位于顶部套 3 中的压传感器 30 可以将压力的大小读出，传送至控制部分加以读出，当压力达到前一步确定的所需压紧力，停止旋转扳手 2；

7. 这时同步驱动两台电机及减速器 9，两条同步带 45 同时动作，两台电机的功率可达 10W 以上，带动电缆 18 向管道进水方向前进，该推进组箱与管道的进水系统协同操作即可完成敷设电缆的全过程，推进距离可达 400m 以上。

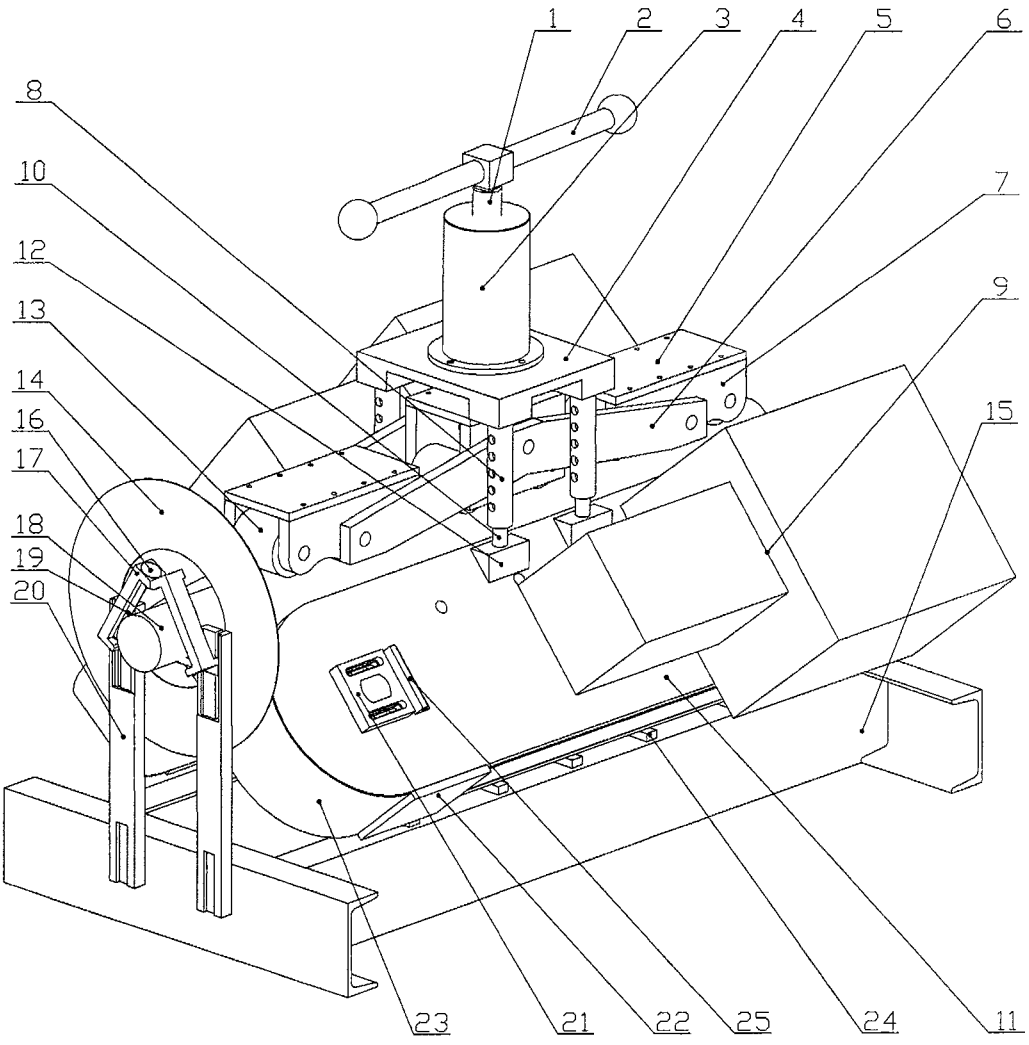


图 1

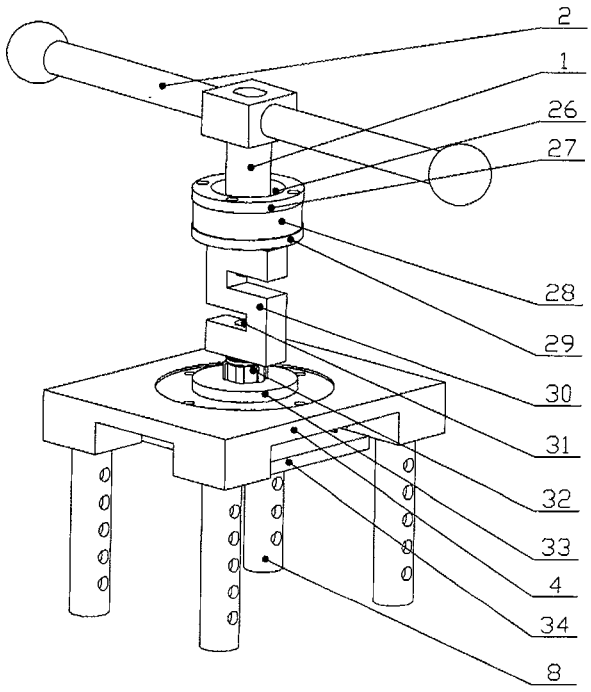


图 2

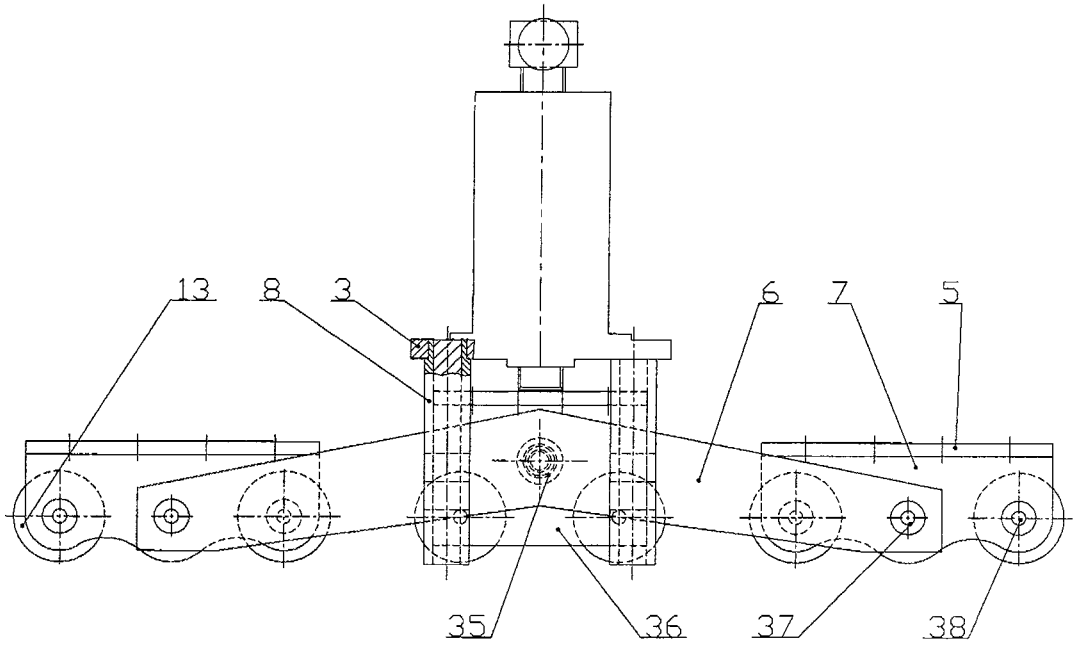


图 3

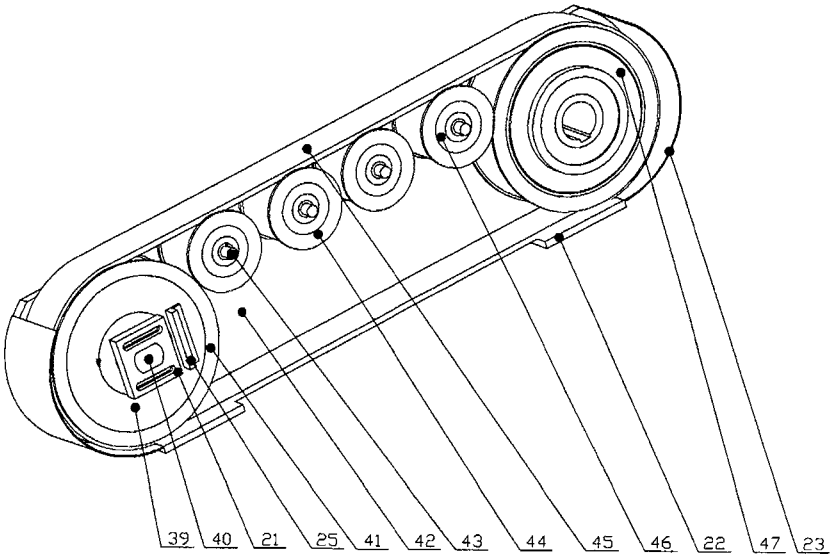


图 4

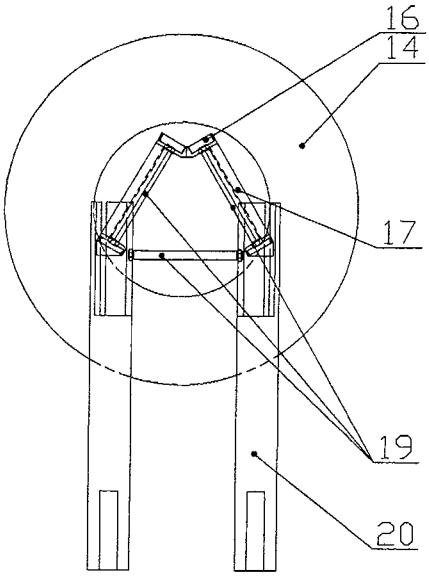


图 5

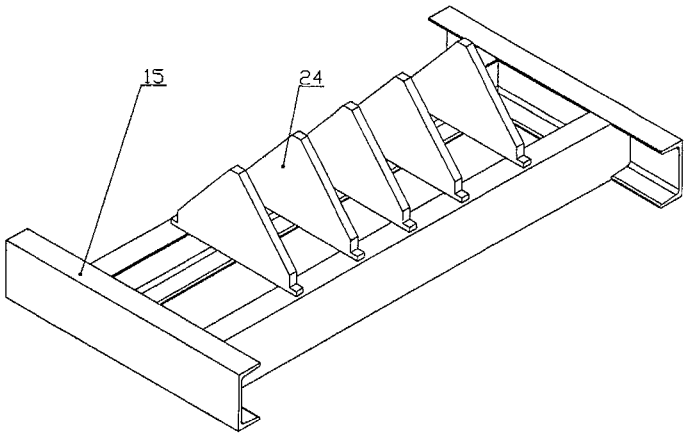


图 6