



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107584501 B

(45)授权公告日 2020.06.09

(21)申请号 201710882171.5

(22)申请日 2017.09.26

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107584501 A

(43)申请公布日 2018.01.16

(73)专利权人 国网智能科技股份有限公司  
地址 250101 山东省济南市高新孙村片区  
飞跃大道以南、26号路以东(ICT产业  
园内)电力智能机器人生产项目101

(72)发明人 马孝林 焦之明 刘天立 王明瑞  
赵德利 王飞 孙大庆

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限  
公司 37221

代理人 张勇

(51)Int.Cl.

B25J 11/00(2006.01)

B25J 5/00(2006.01)

B25J 9/16(2006.01)

B25J 13/08(2006.01)

审查员 刘恒

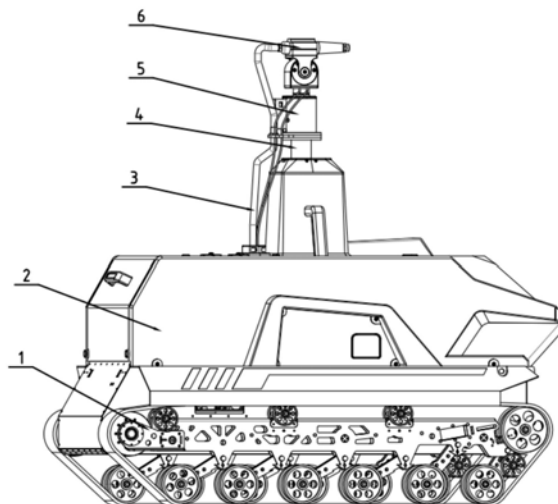
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种变电站设备带电清洗机器人及其控制  
方法

(57)摘要

本发明公开了一种变电站设备带电清洗机器人及其控制方法,其中该机器人包括履带式运动平台,其用于进入变电站设备区内实现无障碍行走;履带式运动平台的中间位置固定安装有多节绝缘升降机构,其用于实现竖直方向的上下运动;多节绝缘升降机构的顶部安装有末端多自由度执行机构,末端多自由度执行机构与末端清洗装置相连,末端多自由度执行机构用于控制末端冲洗装置的运动轨迹来实现机器人的带电清洗;履带式运动平台、多节绝缘升降机构和末端多自由度执行机构分别通过相应驱动机构与机载控制器相连,机载控制器还与机载传感器模块相连,机载传感器模块用于检测所述机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息并传送至机载控制器。



1. 一种变电站设备带电清洗机器人,其特征在于,包括:

履带式运动平台,其用于进入变电站设备区内实现无障碍行走;履带式运动平台的中间位置固定安装有多节绝缘升降机构,其用于实现竖直方向的上下运动;多节绝缘升降机构的顶部安装有末端多自由度执行机构,末端多自由度执行机构与末端清洗装置相连,末端多自由度执行机构用于控制末端冲洗装置的运动轨迹来实现机器人的带电清洗;

履带式运动平台、多节绝缘升降机构和末端多自由度执行机构分别通过相应驱动机构与机载控制器相连,机载控制器还与机载传感器模块相连,机载传感器模块用于检测所述机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息并传送至机载控制器;所述机载控制器被配置为:

首先判断机器人与目标冲洗支柱绝缘子之间的距离是否大于安全距离阈值,若是,则根据接收到的机器人和目标冲洗支柱绝缘子分别相对于大地坐标系的实时坐标信息和绝缘子坐标信息来计算末端多自由度执行机构的偏转角度并输出,自主控制完成对目标冲洗支柱绝缘子的自动化清洗作业;

具体为:机载控制器根据接收的机载传感器模块传送来的数据,确定多节绝缘升降机构的运动坐标系、末端多自由度执行机构偏转运动坐标系、末端多自由度执行机构俯仰运动坐标系以及目标冲洗绝缘子上的冲洗点坐标系;根据原始数据和各坐标系运算得到目标支柱绝缘子相对于履带式运动平台固结坐标系的运动学矩阵和喷头相对于履带式运动平台固结坐标系的运动学矩阵,再根据支柱绝缘子能够被冲洗的理论基础运算得到冲洗水柱的长度以及末端多自由度执行机构的运动偏转角和俯仰角。

2. 如权利要求1所述的一种变电站设备带电清洗机器人,其特征在于,所述履带式运动平台与第一驱动机构相连,履带式运动平台包括车体部分和履带式悬挂部分,所述车体部分为整个机器人的载体,所述履带式悬挂部分安装在车体部分的两侧。

3. 如权利要求1所述的一种变电站设备带电清洗机器人,其特征在于,所述多节绝缘升降机构包括传动机构和多节升降杆体,所述传动机构与第二驱动机构相连,多节升降杆体与传动机构相连。

4. 如权利要求3所述的一种变电站设备带电清洗机器人,其特征在于,所述多节升降杆体的最上端一节或两节采用绝缘复合材料,满足机器人对多节绝缘升降机构的绝缘性能要求。

5. 如权利要求1所述的一种变电站设备带电清洗机器人,其特征在于,所述末端多自由度执行机构与第三驱动机构相连,第三驱动机构为液压驱动机构,所述末端多自由度执行机构包括摆动油缸,其作为执行构件,实现左右偏摆和上下俯仰运动,可带动末端冲洗装置实现左右偏摆和上下俯仰运动。

6. 一种变电站设备带电清洗机器人,其特征在于,包括:

履带式运动平台,其用于进入变电站设备区内实现无障碍行走;履带式运动平台的中间位置固定安装有多节绝缘升降机构,其用于实现竖直方向的上下运动;多节绝缘升降机构的顶部安装有末端多自由度执行机构,末端多自由度执行机构与末端清洗装置相连,末端多自由度执行机构用于控制末端冲洗装置的运动轨迹来实现机器人的带电清洗;

履带式运动平台、多节绝缘升降机构和末端多自由度执行机构分别通过相应驱动机构与机载控制器相连,机载控制器还与机载传感器模块相连,机载传感器模块用于检测所述

机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息并传送至机载控制器;所述机载控制器与远程遥控处理器相连,所述远程遥控处理器被配置为:

接收机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息;

判断机器人与目标冲洗支柱绝缘子之间的距离是否大于安全距离阈值,若是,则结合接收到的机器人和目标冲洗支柱绝缘子分别相对于大地坐标系的实时坐标信息和绝缘子坐标信息来计算末端多自由度执行机构的偏转角度并输出,远程遥控完成对目标冲洗支柱绝缘子的自动化清洗作业;

具体为:机载控制器根据接收的机载传感器模块传送来的数据,确定多节绝缘升降机构的运动坐标系、末端多自由度执行机构偏转运动坐标系、末端多自由度执行机构俯仰运动坐标系以及目标冲洗绝缘子上的冲洗点坐标系;根据原始数据和各坐标系运算得到目标支柱绝缘子相对于履带式运动平台固结坐标系的运动学矩阵和喷头相对于履带式运动平台固结坐标系的运动学矩阵,再根据支柱绝缘子能够被冲洗的理论基础运算得到冲洗水柱的长度以及末端多自由度执行机构的运动偏转角和俯仰角。

7.如权利要求6所述的一种变电站设备带电清洗机器人,其特征在于,所述履带式运动平台与第一驱动机构相连,履带式运动平台包括车体部分和履带式悬挂部分,所述车体部分为整个机器人的载体,所述履带式悬挂部分安装在车体部分的两侧。

8.如权利要求6所述的一种变电站设备带电清洗机器人,其特征在于,所述多节绝缘升降机构包括传动机构和多节升降杆体,所述传动机构与第二驱动机构相连,多节升降杆体与传动机构相连。

9.如权利要求8所述的一种变电站设备带电清洗机器人,其特征在于,所述多节升降杆体的最上一节或两节采用绝缘复合材料,满足机器人对多节绝缘升降机构的绝缘性能要求。

10.如权利要求6所述的一种变电站设备带电清洗机器人,其特征在于,所述末端多自由度执行机构与第三驱动机构相连,第三驱动机构为液压驱动机构,所述末端多自由度执行机构包括摆动油缸,其作为执行构件,实现左右偏摆和上下俯仰运动,可带动末端冲洗装置实现左右偏摆和上下俯仰运动。

11.一种如权利要求1所述的变电站设备带电清洗机器人的控制方法,其特征在于,包括:

机载传感器模块检测所述机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息并传送至机载控制器;

机载控制器首先判断机器人与目标冲洗支柱绝缘子之间的距离是否大于安全距离阈值,若是,则根据接收到的机器人和目标冲洗支柱绝缘子分别相对于大地坐标系的实时坐标信息和绝缘子坐标信息来计算末端多自由度执行机构的偏转角度并输出,自主控制完成对目标冲洗支柱绝缘子的自动化清洗作业;

具体为:机载控制器根据接收的机载传感器模块传送来的数据,确定多节绝缘升降机构的运动坐标系、末端多自由度执行机构偏转运动坐标系、末端多自由度执行机构俯仰运动坐标系以及目标冲洗绝缘子上的冲洗点坐标系;根据原始数据和各坐标系运算得到目标支柱绝缘子相对于履带式运动平台固结坐标系的运动学矩阵和喷头相对于履带式运动平台固结坐标系的运动学矩阵,再根据支柱绝缘子能够被冲洗的理论基础运算得到冲洗水柱

的长度以及末端多自由度执行机构的运动偏转角和俯仰角。

12. 如权利要求11所述的变电站设备带电清洗机器人的控制方法,其特征在于,机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息包括履带式运动平台相对于大地的回转角、履带式运动平台相对于大地的俯仰角和履带式运动平台相对于大地的偏转角。

13. 一种如权利要求6所述的变电站设备带电清洗机器人的控制方法,其特征在于,包括:

机载传感器模块用于检测所述机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息并传送至机载控制器;

机载控制器将接收的机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息传送至远程遥控处理器;

远程遥控处理器判断机器人与目标冲洗支柱绝缘子之间的距离是否大于安全距离阈值,若是,则结合接收到的机器人和目标冲洗支柱绝缘子分别相对于大地坐标系的实时坐标信息和绝缘子坐标信息来计算末端多自由度执行机构的偏转角度并输出,远程遥控完成对目标冲洗支柱绝缘子的自动化清洗作业;

具体为:机载控制器根据接收的机载传感器模块传送来的数据,确定多节绝缘升降机构的运动坐标系、末端多自由度执行机构偏转运动坐标系、末端多自由度执行机构俯仰运动坐标系以及目标冲洗绝缘子上的冲洗点坐标系;根据原始数据和各坐标系运算得到目标支柱绝缘子相对于履带式运动平台固结坐标系的运动学矩阵和喷头相对于履带式运动平台固结坐标系的运动学矩阵,再根据支柱绝缘子能够被冲洗的理论基础运算得到冲洗水柱的长度以及末端多自由度执行机构的运动偏转角和俯仰角。

14. 如权利要求13所述的变电站设备带电清洗机器人的控制方法,其特征在于,机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息包括履带式运动平台相对于大地的回转角、履带式运动平台相对于大地的俯仰角和履带式运动平台相对于大地的偏转角。

## 一种变电站设备带电清洗机器人及其控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于变电站设备带电清洗机器人领域,尤其涉及一种变电站设备带电清洗机器人及其控制方法。

### 背景技术

[0002] 由于变电站内支柱绝缘子长期暴露在室外,很容易堆积灰尘等污垢,特别是由于近些年大气污染问题,使得支柱绝缘子堆积灰尘的速度更快,这会减小支柱绝缘子的爬电距离最终影响输电安全。因此,适时或季节性清洗支柱绝缘子对于变电站运行的安全性具有重大的意义。但现阶段变电站内支柱绝缘子带电清洗存在如下缺点:

[0003] (1) 大多采用人工手持绝缘杆进行支柱绝缘子清洗的方式,该方式要求具有一定的防护措施和作业人员冲洗作业具有较高的技术水平,但是采用人工手持绝缘杆进行支柱绝缘子清洗的方式也存在较大的安全隐患;

[0004] (2) 现已有能够进行带电清洗支柱绝缘子作业的机器人,但现有的机器人主要存在以下缺点:(2.1) 现有机器人的尺寸较大,无法进入支柱绝缘子所在的设备区内,因此,只能在设备区的外围进行带电冲洗作业;(2.2) 现有机器人受到高度范围的限制,只能冲洗低位或高位支柱绝缘子,而不能做到对所有高度支柱绝缘子的冲洗;(2.3) 现有机器人无法实现自动化清洗作业;

[0005] 因此,研制一款能够进入变电站设备区内且在高度范围内做到全覆盖的变电站绝缘子且能够进行自动清洗作业的带电水冲洗作业机器人是很有必要。

### 发明内容

[0006] 为了解决现有技术的不足,本发明的第一目的是提供一种变电站设备带电清洗机器人。该机器人能够进入变电站设备区且在支柱绝缘子高度范围内全覆盖且能够进行自动化作业,使变电站带电水清洗作业更安全、更有效率。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供了两种变电站设备带电清洗机器人,其具体技术方案如下:

[0008] 第一种变电站设备带电清洗机器人,包括:

[0009] 履带式运动平台,其用于进入变电站设备区内实现无障碍行走;履带式运动平台的中间位置固定安装有多节绝缘升降机构,其用于实现竖直方向的上下运动;多节绝缘升降机构的顶部安装有末端多自由度执行机构,末端多自由度执行机构与末端清洗装置相连,末端多自由度执行机构用于控制末端冲洗装置的运动轨迹来实现机器人的带电清洗;

[0010] 履带式运动平台、多节绝缘升降机构和末端多自由度执行机构分别通过相应驱动机构与机载控制器相连,机载控制器还与机载传感器模块相连,机载传感器模块用于检测所述机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息并传送至机载控制器;所述机载控制器被配置为:

[0011] 首先判断机器人与目标冲洗支柱绝缘子之间的距离是否大于安全距离阈值,若

是,则根据接收到的机器人和目标冲洗支柱绝缘子分别相对于大地坐标系的实时坐标信息和绝缘子坐标信息来计算末端多自由度执行机构的偏转角度并输出,自主控制完成对目标冲洗支柱绝缘子的自动化清洗作业。

[0012] 进一步的,所述履带式运动平台与第一驱动机构相连,履带式运动平台包括车体部分和履带式悬挂部分,所述车体部分为整个机器人的载体,所述履带式悬挂部分安装在车体部分的两侧。

[0013] 该履带式运动平台可进入狭小的变电站设备区内实现复杂地形下的无障碍运行。

[0014] 进一步的,所述多节绝缘升降机构包括传动机构和多节升降杆体,所述传动机构与第二驱动机构相连,多节升降杆体与传动机构相连。

[0015] 进一步的,所述多节升降杆体的最上一节或两节采用绝缘复合材料,满足机器人对多节绝缘升降机构的绝缘性能要求。

[0016] 该多节绝缘升降机构具有大伸缩比、定位精度高和绝缘的特点,可实现对变电站内支柱绝缘子在高度范围内的全覆盖,也是能够实现带电作业的关键。

[0017] 进一步的,所述末端多自由度执行机构与第三驱动机构相连,第三驱动机构为液压驱动机构,所述末端多自由度执行机构包括摆动油缸,其作为执行构件,实现左右偏摆和上下俯仰运动,可带动末端冲洗装置实现左右偏摆和上下俯仰运动。

[0018] 末端多自由度执行机构具有输出转矩大、控制精度高和绝缘等特点。

[0019] 末端冲洗装置是该机器人冲洗的执行机构,由水枪、喷头和连接件组成,其中针对不同尺寸型号的变电站绝缘子能够快速更换喷头,从而改变冲洗相关的技术参数,包括压力、流量等,使冲洗更加高效。

[0020] 第二种变电站设备带电清洗机器人,包括:

[0021] 履带式运动平台,其用于进入变电站设备区内实现无障碍行走;履带式运动平台的中间位置固定安装有多节绝缘升降机构,其用于实现竖直方向的上下运动;多节绝缘升降机构的顶部安装有末端多自由度执行机构,末端多自由度执行机构与末端清洗装置相连,末端多自由度执行机构用于控制末端冲洗装置的运动轨迹来实现机器人的带电清洗;

[0022] 履带式运动平台、多节绝缘升降机构和末端多自由度执行机构分别通过相应驱动机构与机载控制器相连,机载控制器还与机载传感器模块相连,机载传感器模块用于检测所述机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息并传送至机载控制器;所述机载控制器与远程遥控处理器相连,所述远程遥控处理器被配置为:

[0023] 接收机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息;

[0024] 判断机器人与目标冲洗支柱绝缘子之间的距离是否大于安全距离阈值,若是,则结合接收到的机器人和目标冲洗支柱绝缘子分别相对于大地坐标系的实时坐标信息和绝缘子坐标信息来计算末端多自由度执行机构的偏转角度并输出,远程遥控完成对目标冲洗支柱绝缘子的自动化清洗作业。

[0025] 进一步的,所述履带式运动平台与第一驱动机构相连,履带式运动平台包括车体部分和履带式悬挂部分,所述车体部分为整个机器人的载体,所述履带式悬挂部分安装在车体部分的两侧。

[0026] 该履带式运动平台可进入狭小的变电站设备区内实现复杂地形下的无障碍运行。

[0027] 进一步的,所述多节绝缘升降机构包括传动机构和多节升降杆体,所述传动机构

与第二驱动机构相连,多节升降杆体与传动机构相连。

[0028] 进一步的,所述多节升降杆体的最上端一节或两节采用绝缘复合材料,满足机器人对多节绝缘升降机构的绝缘性能要求。

[0029] 该多节绝缘升降机构具有大伸缩比、定位精度高和绝缘的特点,可实现对变电站内支柱绝缘子在高度范围内的全覆盖,也是能够实现带电作业的关键。

[0030] 进一步的,所述末端多自由度执行机构与第三驱动机构相连,第三驱动机构为液压驱动机构,所述末端多自由度执行机构包括摆动油缸,其作为执行构件,实现左右偏摆和上下俯仰运动,可带动末端冲洗装置实现左右偏摆和上下俯仰运动。

[0031] 末端多自由度执行机构具有输出转矩大、控制精度高和绝缘等特点。

[0032] 末端冲洗装置是该机器人冲洗的执行机构,由水枪、喷头和连接件组成,其中针对不同尺寸型号的变电站绝缘子能够快速更换喷头,从而改变冲洗相关的技术参数,包括压力、流量等,使冲洗更加高效。

[0033] 本发明还提供了一种变电站设备带电清洗机器人的控制方法。

[0034] 第一种变电站设备带电清洗机器人的控制方法,包括:

[0035] 机载传感器模块检测所述机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息并传送至机载控制器;

[0036] 机载控制器首先判断机器人与目标冲洗支柱绝缘子之间的距离是否大于安全距离阈值,若是,则根据接收到的机器人和目标冲洗支柱绝缘子分别相对于大地坐标系的实时坐标信息和绝缘子坐标信息来计算末端多自由度执行机构的偏转角度并输出,自主控制完成对目标冲洗支柱绝缘子的自动化清洗作业。

[0037] 第二种变电站设备带电清洗机器人的控制方法,包括:

[0038] 机载传感器模块用于检测所述机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息并传送至机载控制器;

[0039] 机载控制器将接收的机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息传送至远程遥控处理器;

[0040] 远程遥控处理器判断机器人与目标冲洗支柱绝缘子之间的距离是否大于安全距离阈值,若是,则结合接收到的机器人和目标冲洗支柱绝缘子分别相对于大地坐标系的实时坐标信息和绝缘子坐标信息来计算末端多自由度执行机构的偏转角度并输出,远程遥控完成对目标冲洗支柱绝缘子的自动化清洗作业。

[0041] 其中,机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息包括履带式运动平台相对于大地的回转角、履带式运动平台相对于大地的俯仰角和履带式运动平台相对于大地的偏转角。

[0042] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0043] (1) 采用绝缘复合材料、绝缘液压管路、绝缘水管路系统和无线通讯等多种综合技术手段实现作业部分中间电位与运动平台间的绝缘,保证机器人在进入狭小设备区后带电作业的安全性,达到了机器人能够进入设备区内进行带电作业的目的;

[0044] (2) 多传感器融合和机器人等技术手段的应用,使机器人达到了自动化清洗带电支柱绝缘子的目的;

## 附图说明

[0045] 构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本申请的进一步理解,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。

[0046] 图1为本发明整体结构示意图;

[0047] 图2为本发明履带式运动平台的结构示意图;

[0048] 图3为本发明绝缘升降机构的结构示意图;

[0049] 图4为本发明末端多自由度执行机构系统控制原理图;

[0050] 图5为机器人远程遥控实现自动化清洗作业的示意图;

[0051] 图6为本发明确定机器人各部分坐标而构建的坐标系。

[0052] 其中:1、履带式运动平台;2、外壳组件;3、绝缘管路系统;4、多节绝缘升降机构;5、末端多自由度执行机构;6、末端冲洗装置;7、驱动轮;8、托带轮;9、悬挂支架;10、履带;11、承重轮;12、减震装置;13、从动轮;14、车架;15、减速器;16、直流电机;17、车载控制系统;18、电池;19、绝对值编码器;20、传动机构;21、多节绝缘杆体;22、顶端法兰。

## 具体实施方式

[0053] 应该指出,以下详细说明都是例示性的,旨在对本申请提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语具有与本申请所属技术领域的普通技术人员通常理解的相同含义。

[0054] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0055] 如图1所示,本实施例的变电站绝缘子带电水清洗机器人包括,履带式运动平台1、外壳组件2、绝缘管路系统3、多节绝缘升降机构4、末端多自由度执行机构5和末端冲洗装置6。

[0056] 其中,与履带式运动平台1和多节绝缘升降机构4分别相连的第一驱动机构和第二驱动机构均为电机。

[0057] 与末端多自由度执行机构5相连的第三驱动机构为液压驱动机构。

[0058] 履带式运动平台1采用电机驱动,能够进入变电站设备区内实现无障碍行走;

[0059] 多节绝缘升降机构4固定安装在履带式运动平台的中间位置,采用电机驱动,可实现垂直方向上的运动,具有大伸缩比及绝缘性能;

[0060] 绝缘管路系统3包括绝缘水管路系统和驱动多自由度执行机构运动所需绝缘液压管路系统,可随多节升降机构实现上下运动;其中,绝缘管路系统由高压绝缘管路、快速接头、软管卷盘和电磁阀等组成,具有绝缘、耐高压和连接快速方便等特点,可随多节绝缘升降机构实现伸缩运动,提供末端清洗装置所用水源。

[0061] 末端多自由度执行机构5安装在多节绝缘升降机构的顶部,采用液压驱动方式,通过远程遥控或自主方式控制末端冲洗装置的运动轨迹实现设备的带电清洗;

[0062] 末端冲洗装置6是机器人的清洗执行部分,根据设备尺寸调整冲洗参数,实现对设备高效率的有效清洗。

[0063] 如图2所示,履带式运动平台1由履带悬挂部分和车体部分组成,其中,履带悬挂部分由驱动轮7、托带轮8、悬挂支架9、履带10、承重轮11、减震装置12、从动轮13、直流电机16和减速器15组成,是整个机器人行走的执行部分;车体部分由车架14、车载控制系统17和电池18组成。该履带式运动平台可保证机器人在变电站设备区内非结构化路面行走,将冲洗用相关设备运送至指定位置,实现规定距离下冲洗支柱绝缘子的功能。

[0064] 如图3所示,多节绝缘升降机构4由多节绝缘杆体21、顶端法兰22、传动机构20和绝对值编码器19组成,其中,多节绝缘杆体21为三节以上结构,最上一节为绝缘构件,保证机器人带电作业的安全性;顶端法兰22连接多自由执行机构;传动机构20采用电机驱动,由履带式运动平台的机载电池供电,控制升降杆杆体上下运动,使升降机构具有升高到指定高度,通过绝对值编码器19检测升降机构的行程,达到中间位置可停且精确定位的目的,满足变电站设备区内不同高度支柱绝缘子的清洗要求。

[0065] 图4为末端多自由度执行机构系统控制原理图,执行机构具有俯仰和偏摆两个自由度,可在多节升降机构到达指定高度后,控制末端冲洗装置进行左右偏摆和上下俯仰的运动,使喷头按一定轨迹实现对支柱绝缘子的清洗。该执行机构的具体控制过程是:直流电机与液压动力单元组成的液压站为整个系统提供动力,通过控制比例阀的开度控制摆动油缸动作的快慢实现对执行机构速度和位移的控制,绝对值编码器将测量的摆动油缸的角位移信息通过无线通讯模块传送至机载主控计算机,经过运算后控制比例阀的开度实现对末端多自由度执行机构运动的闭环控制。多自由度执行机构的运动部分安装在多节升降机构的上端,控制部分安装在履带式运动平台上,由无线通讯模块实现测量信号和控制信号的传输,由液压绝缘管路实现液压动力传输,保证上下部分绝缘。

[0066] 本实施例的变电站绝缘子带电水清洗机器人还包括外壳部分,外壳部分除具有对机载控制器具有防护作用外,上面装设有机载传感器模块,机载传感器模块包括惯性导航传感器、超声传感器和激光测距传感器。

[0067] 本发明的一实施例的变电站绝缘子带电水清洗机器人的控制部分包括机载控制器,机载控制器与机载传感器模块相连,机载传感器模块用于检测所述机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息并传送至机载控制器;机载控制器被配置为:

[0068] 首先判断机器人与目标冲洗支柱绝缘子之间的距离是否大于安全距离阈值,若是,则根据接收到的机器人和目标冲洗支柱绝缘子分别相对于大地坐标系的实时坐标信息和绝缘子坐标信息来计算末端多自由度执行机构的偏转角度并输出,自主控制完成对目标冲洗支柱绝缘子的自动化清洗作业。

[0069] 在另一实施例中,机载传感器模块用于检测所述机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息并传送至机载控制器;机载控制器与远程遥控处理器相连,远程遥控处理器被配置为:

[0070] 接收机器人相对于大地坐标系的实时坐标信息;

[0071] 判断机器人与目标冲洗支柱绝缘子之间的距离是否大于安全距离阈值,若是,则结合接收到的机器人和目标冲洗支柱绝缘子分别相对于大地坐标系的实时坐标信息和绝缘子坐标信息来计算末端多自由度执行机构的偏转角度并输出,远程遥控完成对目标冲洗支柱绝缘子的自动化清洗作业。

[0072] 下面以远程遥控完成对目标冲洗支柱绝缘子的自动化清洗作业为例来具体说明

机器人实现自动化清洗作业的示意图：

[0073] 图5为机器人远程遥控实现自动化清洗作业的示意图，具体执行过程为：

[0074] (1) 机载控制器通过传感器取得原始数据。

[0075] A、利用机器人自带的惯性导航传感器取得机器人相对于大地坐标系在各个方向上的偏转角度，具体为 $\alpha$ 为履带式运动平台相对于大地的回转角； $\beta$ 为履带式运动平台相对于大地的俯仰角； $\gamma$ 为履带式运动平台相对于大地的偏转角。

[0076] B、利用激光测距传感器测量目标冲洗支柱绝缘子a相对于多节绝缘升降机构与履带运动平台固结位置中心处的距离 $l_a$ 、测量机器人前方且与目标冲洗支柱绝缘子相邻支柱绝缘子b至多节绝缘升降机构与履带运动平台固结位置中心处的距离 $l_b$ 、支柱绝缘子a和b间的距离为固定值 $l_{ab}$ 。

[0077] C、通过多节绝缘升降机构自带绝对值编码器和末端多自由度执行机构自带的绝对值编码器取得多节绝缘升降机构的升高高度和末端多自由度执行机构的运动角度。

[0078] (2) 远程遥控处理器对所取得的原始数据进行运算。

[0079] A、确定各部分的运动坐标系如下：

[0080] 如图6所示， $O_3$ 为履带式运动平台固结坐标系，坐标系的原点为多节绝缘升降机构与履带式运动平台固定部分的中心在大地坐标系上的投影； $O_4$ 为多节绝缘升降机构的运动坐标系， $d_4$ 为多节绝缘升降机构的行程与其相对于地面的绝对高度之和； $O_5$ 为末端多自由度执行机构偏转运动坐标系， $\theta_5$ 为偏转角度； $O_6$ 为末端多自由度执行机构俯仰运动坐标系， $\theta_6$ 为俯仰角度； $O_n$ 为目标冲洗绝缘子上冲洗点坐标系，与目标冲洗绝缘子坐标系 $O_t$ 的原点重合，原点位置为冲洗点，各坐标轴方向与 $O_6$ 相同。大地坐标系 $O_0$ 的原点与 $O_3$ 的原点重合，各坐标轴方向与大地坐标系方向一致。

[0081] B、该控制算法的计算过程。

[0082] 经过运算得到目标支柱绝缘子相对于履带式运动平台固结坐标系的运动学矩阵为：

$$[0083] \quad {}^3T_0 = {}^3T_0^0 T_0^1 T_1^2 = \begin{bmatrix} c\alpha c\beta & s\alpha c\beta & -s\beta & t_a c\alpha c\beta + t_b s\alpha c\beta - t_c s\beta \\ c\alpha s\beta s\gamma - s\alpha c\gamma & s\alpha s\beta s\gamma + c\alpha c\gamma & c\beta s\gamma & t_a [c\alpha s\beta s\gamma - s\alpha c\gamma] + t_b [s\alpha s\beta s\gamma + c\alpha c\gamma] + t_c c\beta s\gamma \\ c\alpha s\beta c\gamma + s\alpha s\gamma & s\alpha s\beta c\gamma - c\alpha s\gamma & c\beta c\gamma & t_a [c\alpha s\beta c\gamma + s\alpha s\gamma] + t_b [s\alpha s\beta c\gamma - c\alpha s\gamma] + t_c c\beta c\gamma \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0084] 其中， ${}^3T_0$ 为目标冲洗绝缘子冲洗点在履带式运动平台坐标系中的变换矩阵； ${}^3T_0$ 为大地坐标系履在带式运动平台坐标系中的变换矩阵； ${}^0T_0$ 为目标冲洗绝缘子冲洗点在大地坐标系中的变换矩阵； $s$ 表示正弦函数 $\sin(\cdot)$ 的缩写， $s\alpha$ 表示 $\sin(\alpha)$ ； $c$ 表示余弦函数 $\cos(\cdot)$ 的缩写， $c\alpha$ 表示 $\cos(\alpha)$ ； $t_a$ 为支柱绝缘子相对于履带式运动平台固结坐标系的 $x$ 值，其值为 $l_a \cdot l_b / l_{ab}$ ， $t_b$ 为支柱绝缘子相对于履带式运动平台固结坐标系的 $y$ 值，其值为

$$\sqrt{l_b^2 - \left( \frac{l_a \cdot l_b}{l_{ab}} \right)^2}, t_c \text{为支柱绝缘子被冲洗点至地面的高度。}$$

[0085] 喷头相对于履带式运动平台固结坐标系的运动学矩阵为：

$$[0086] \quad {}^3T_n = \begin{bmatrix} c\theta_5 c\theta_6 & -c\theta_5 s\theta_6 & -s\theta_5 & a_6 c\theta_5 c\theta_6 \\ s\theta_5 c\theta_6 & -s\theta_5 s\theta_6 & c\theta_5 & a_6 s\theta_5 c\theta_6 \\ -s\theta_6 & -c\theta_6 & 0 & -a_6 s\theta_6 + d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0087] 其中： $\theta_5$ 表示多自由度执行机构的偏转角； $\theta_6$ 表示多自由度执行机构的俯仰角； $a_6$ 表示冲洗水柱的长度； $s$ 表示正弦函数 $\sin(\cdot)$ 的缩写， $s\theta_5$ 表示 $\sin(\theta_5)$ ， $s\theta_6$ 表示 $\sin(\theta_6)$ ； $c$ 表示余弦函数 $\cos(\cdot)$ 的缩写， $c\theta_5$ 表示 $\cos(\theta_5)$ ， $c\theta_6$ 表示 $\cos(\theta_6)$ ； $d_4$ 为多节绝缘升降机构的行程与其相对于地面的绝对高度之和。

[0088] 支柱绝缘子能够被冲洗的理论基础为：

$$[0089] \quad \begin{cases} t_a c\alpha c\beta + t_b s\alpha c\beta - t_c s\beta = x_n = a_6 c\theta_5 c\theta_6; \\ t_a [c\alpha s\beta s\gamma - s\alpha c\gamma] + t_b [s\alpha s\beta s\gamma + c\alpha c\gamma] + t_c c\beta s\gamma = y_n = a_6 s\theta_5 c\theta_6; \\ t_a [c\alpha s\beta c\gamma + s\alpha s\gamma] + t_b [s\alpha s\beta c\gamma - c\alpha s\gamma] + t_c c\beta c\gamma = z_n = -a_6 s\theta_6 + d_4; \end{cases} \quad (3)$$

[0090] 运算后得到算式(1)：

$$[0091] \quad \begin{cases} a_6 = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}; \\ \theta_6 = -\arccos\left(\frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}\right); \\ \theta_5 = \arccos\left(\frac{a}{b * \cos(\theta_6)}\right); \end{cases} \quad (4)$$

[0092] 其中：

$$[0093] \quad a = t_a c\alpha c\beta + t_b s\alpha c\beta - t_c s\beta;$$

$$[0094] \quad b = t_a [c\alpha s\beta s\gamma - s\alpha c\gamma] + t_b [s\alpha s\beta s\gamma + c\alpha c\gamma] + t_c c\beta s\gamma;$$

$$[0095] \quad c = d_4 - t_a [c\alpha s\beta c\gamma + s\alpha s\gamma] - t_b [s\alpha s\beta c\gamma - c\alpha s\gamma] - t_c c\beta c\gamma;$$

[0096] C、远程遥控处理器下达控制命令，机器人进行自动清洗作业。

[0097] 远程遥控处理器在收到机载电控系统发送的机器人姿态信息 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ ，机器人至支柱绝缘子距离信息 $l_a$ 和 $l_b$ ，多自由度绝缘升降机构的升高高度信息 $d_4$ 后，当 $l_a$ 值大于安全作业距离阈值时，输入待冲洗绝缘子的高度信息后，通过对算式(1)进行解算，得到末端多自由度执行机构的运动角度 $\theta_5$ 和 $\theta_6$ 并结合冲洗方式将对末端多自由度执行机构下达运动控制命令，包括动作角度和动作速度命令，机载控制器执行下达的运动命令控制末端多自由度执行机构动作，完成对支柱绝缘子的自动化清洗作业。

[0098] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述，但并非对本发明保护范围的限制，所属领域技术人员应该明白，在本发明的技术方案的基础上，本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

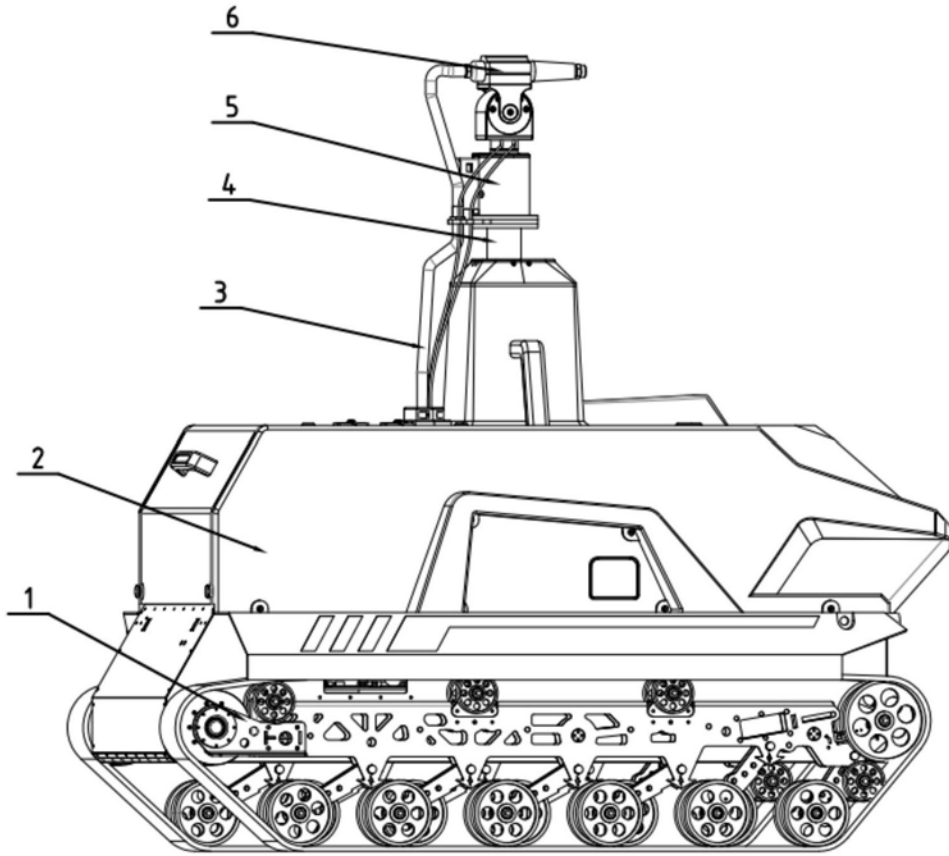


图1

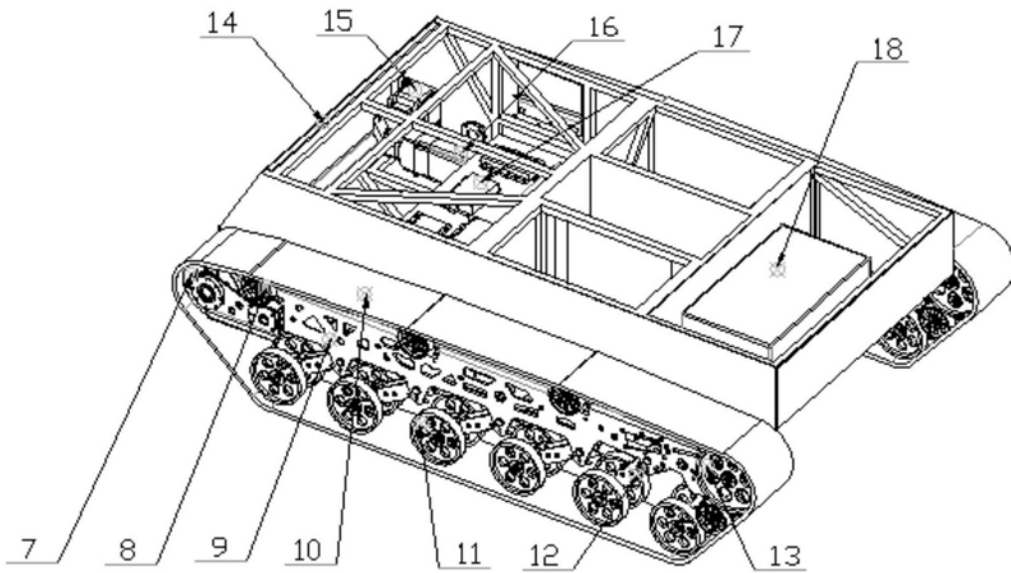


图2

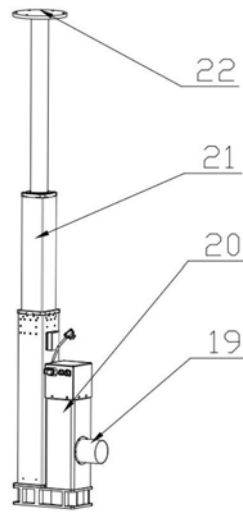


图3

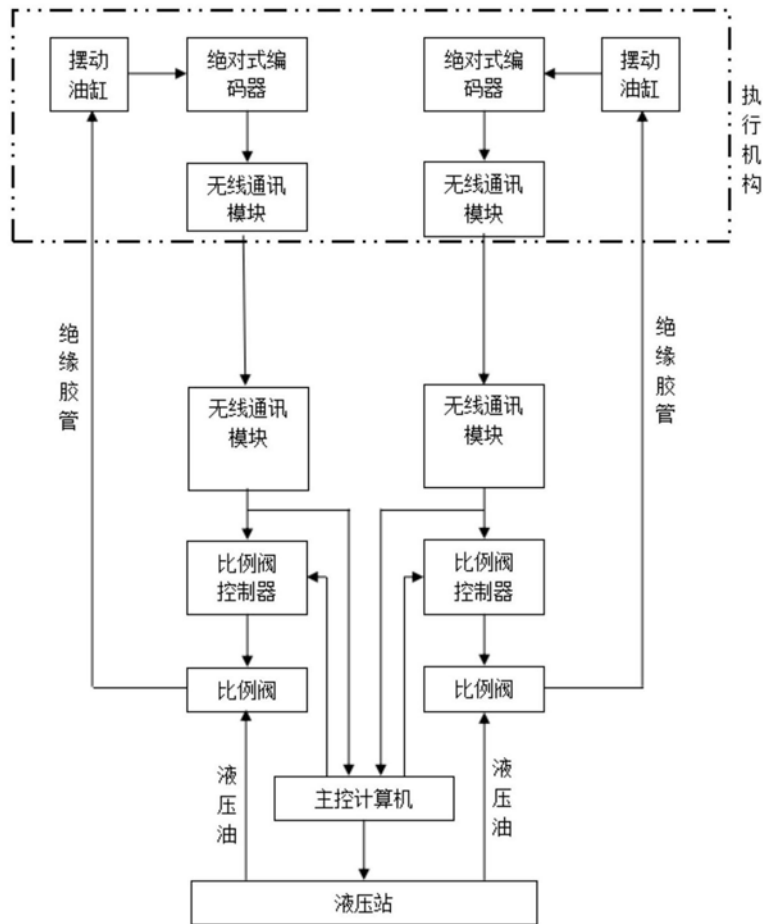


图4

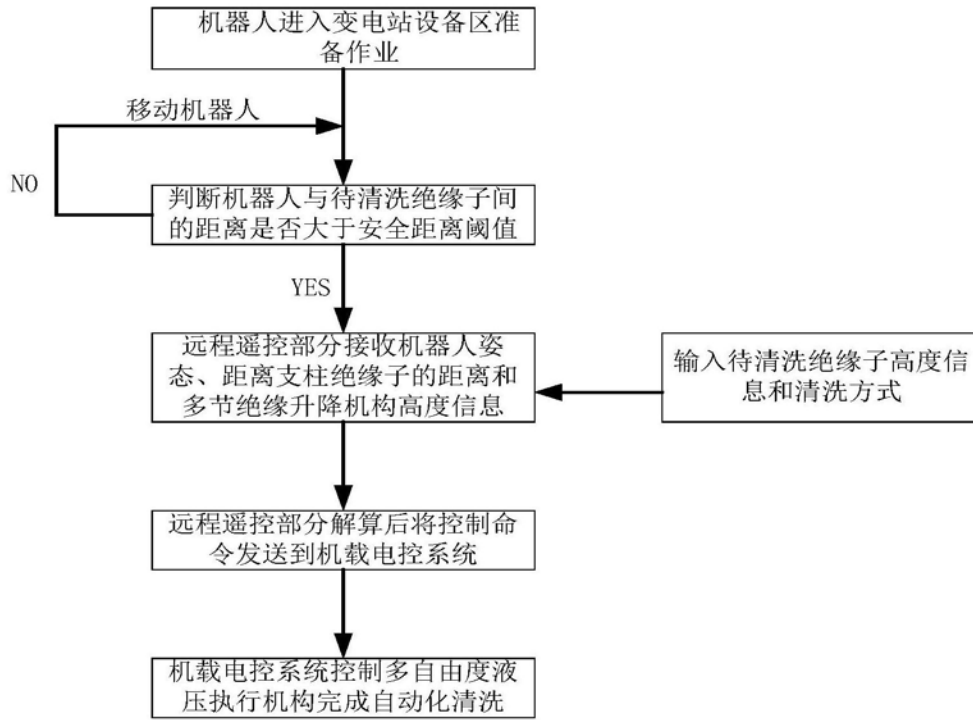


图5

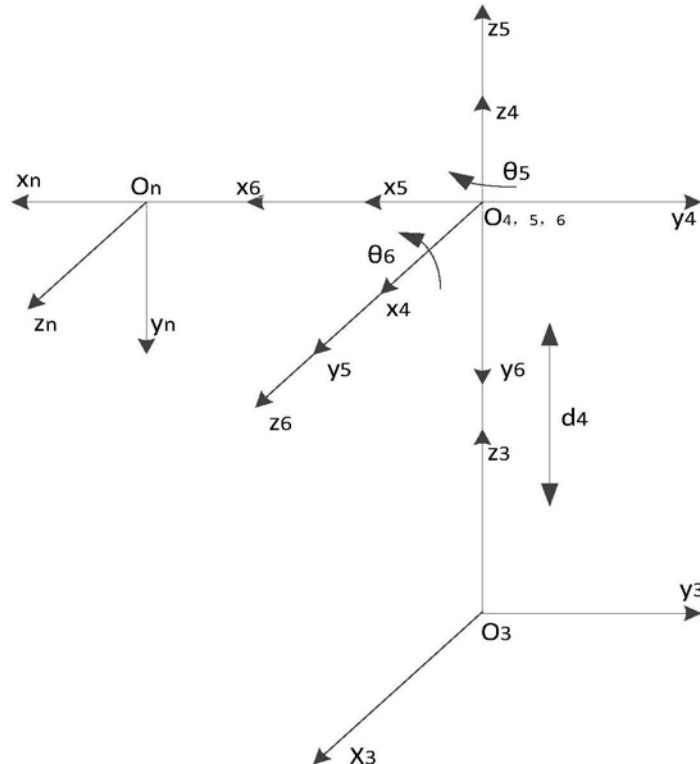


图6