



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105013733 B

(45)授权公告日 2017.04.26

(21)申请号 201410459178.2

高郎宏

(22)申请日 2014.09.10

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105013733 A

代理人 张勇

(43)申请公布日 2015.11.04

(51)Int.Cl.

(73)专利权人 国家电网公司

B08B 3/02(2006.01)

地址 250002 山东省济南市市中区望岳路2000号

B08B 13/00(2006.01)

专利权人 国网山东省电力公司电力科学研究院

审查员 王琨

山东鲁能智能技术有限公司

(72)发明人 李健 鲁守银 刘洪正 慕世友

任杰 傅孟潮 郭玉泉 韩磊

王振利 谭林 吕曦晨 王滨海

李建祥 赵金龙 陈强 张海龙

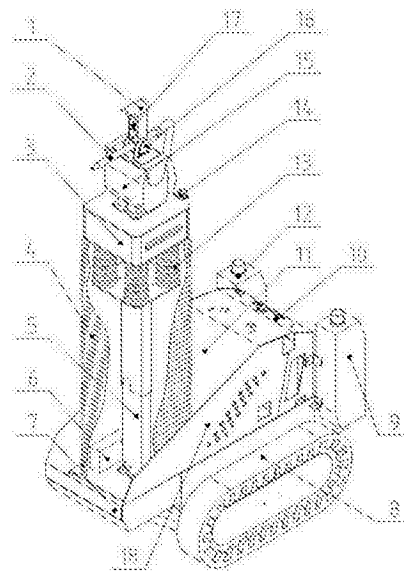
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

变电站带电水冲洗辅冲机器人及方法

(57)摘要

本发明公开了变电站带电水冲洗辅冲机器人及方法,机械本体包括底盘,底盘固定于行走机构上,底盘上固定外壳,垂直升降机构固定于底盘上,垂直升降机构外侧四周围有风琴箱护罩,风琴箱护罩内安装有车载控制器,垂直升降机构上固定有绝缘支柱,绝缘支柱的上端固定有电控箱,电控箱控制安装在其上的水枪冲洗机构;外壳内安装有动力总成,为行走机构和垂直升降机构提供动力源,车载控制器与遥控系统相配合,遥控系统通过远程控制方式驱动垂直升降机构、水枪冲洗机构工作;本发明可代替人工完成变电站绝缘子冲洗作业,保障了操作人员的安全,降低的劳动强度,提高冲洗效率和自动化水平,对我国变电站水冲洗作业方式产生积极的变革作用。



1. 一种变电站带电水冲洗辅冲机器人,其特征是:包括外壳、底盘、行走机构、垂直升降机构和车载控制器,其中,底盘固定于行走机构上,底盘上固定外壳,垂直升降机构固定于底盘上,垂直升降机构外侧四周围有护罩,护罩内安装有车载控制器,垂直升降机构上固定有绝缘支柱,绝缘支柱的上端固定有电控箱,电控箱控制安装在其上的水枪冲洗机构;外壳内安装有动力总成,为行走机构和垂直升降机构提供动力源,车载控制器与遥控系统相配合,遥控系统通过远程控制方式驱动垂直升降机构、水枪冲洗机构工作;

所述水枪冲洗机构包括云台、可调式水枪支架和水枪;云台实现水枪水平及俯仰两个方向运动;可调式水枪支架铰接在云台上方,可调式水枪支架上固定有水枪;

所述车载控制器,包括工控机,工控机通过无线接收机连接遥控系统,遥控系统传输的控制信号由无线接收机接收,并传输给工控机,工控机接收控制信号后发送给无线收发机,以实现底盘左右轮运动、垂直升降机构升降及云台的转动。

2. 如权利要求1所述的一种变电站带电水冲洗辅冲机器人,其特征是:所述行走机构为履带式移动结构,包括履带底盘、行走马达、驱动轮、从动轮、承重轮、履带和张紧缓冲装置,行走马达通过螺栓连接在履带底盘支架上,驱动轮通过驱动轴与行走马达联接,从动轮、承重轮与张紧缓冲装置分别通过旋转轴与履带底盘支架联接,履带套在驱动轮、从动轮、承重轮与张紧缓冲装置的外侧,底盘左边为液压油箱,右边为柴油箱。

3. 如权利要求1所述的一种变电站带电水冲洗辅冲机器人,其特征是:所述护罩为风琴箱护罩。

4. 如权利要求1所述的一种变电站带电水冲洗辅冲机器人,其特征是:所述垂直升降机构,包括两级垂直伸缩臂、风琴箱护罩、绝缘支柱及车载控制器,垂直伸缩臂铰接与车体移动机构固定板上,绝缘支柱安装于垂直伸缩臂上端,车载控制器固定在垂直伸缩臂固定板上,风琴箱护罩将两级垂直伸缩臂、绝缘支柱及车载控制器包围其中。

5. 如权利要求1所述的一种变电站带电水冲洗辅冲机器人,其特征是:所述水枪架上通过螺栓安装有跟踪摄像机,用于实时观察绝缘子水冲洗作业情况,跟踪摄像机正下方装有激光测距仪,用于实时测量水枪与水冲洗作业绝缘子的距离。

6. 如权利要求1所述的一种变电站带电水冲洗辅冲机器人,其特征是:所述动力总成采用柴油机提供动力,包括下部控制阀组A、上装控制阀组B及中央回转接头,共有七个比例换向阀和四个手动换向阀;

所述下部控制阀组A通过分配阀与液压泵连接,由四个手动换向阀控制水冲洗机器人四个支腿油缸来完成伸缩运动,两个比例换向阀控制行走马达,控制机器人的行走运动;

所述上装控制阀组B依次经中央回转接头、上装控制切换按钮、分配阀、与液压泵连接,由一个比例换向阀控制回转马达,完成上装云台旋转运动,两个比例换向阀控制垂直升降机构的伸缩运动,另两个比例换向阀通过水平摆动油缸和垂直摆动油缸实现水枪的水平运动和俯仰运动。

7. 一种基权利要求1-6中任一项所述的辅冲机器人的控制方法,其特征是:包括以下步骤:

步骤一:根据激光测距仪和监控摄像头采集距离及监控的图像得到当前机器人与绝缘子之间的相对三维坐标值,判断两者相对距离是否是安全距离,若是,进行下一步,若不是,调整云台的位置,直至该相对距离为安全距离;确定路径规划的起始状态;

步骤二:采用直线插补方式实现水冲洗垂直升降机构对绝缘子串的上下方向的自动冲洗;

步骤三:采用逐点比较法的圆弧插补方式实现水枪能够对朝向机器人一侧的绝缘子串进行清洗;

步骤四:在进行水冲洗时,通过调节水枪出水口径及出水速度,形成卡门涡街并实现对绝缘子串振动频率的调节。

8.如权利要求7所述的控制方法,其特征是:所述步骤二中,具体过程为:

(2-1)在冲洗过程中,安装在云台和垂直升降机构上的角位移传感器、位移传感器采集得到起始时刻及终止时刻云台的旋转角度和垂直升降机构的升降高度;

(2-2)对于平稳运动,轨迹函数 $\theta(t)$ 至少满足四个约束条件,根据约束条件对应的约束方程唯一的确定一个三次多项式;

(2-3)根据该三次多项式得到运动轨迹的速度与加速度,将运动轨迹的速度与加速度代入约束方程得到三次多项式的系数,该系数确定了冲洗时间与冲洗角度的关系;

(2-4)根据绝缘杆的长度及三次多项式得到冲洗过程中绝缘杆的长度随时间的变化关系,对 $(1, d, \theta_0, \theta_f)$ 进行插值,生成水冲洗机械臂对绝缘子串的上下方向的冲洗轨迹。

9.如权利要求8所述的控制方法,其特征是:所述约束条件,其中两个是起始点和终止点对应的云台角度:

$$\theta(0) = \theta_0;$$

$$\theta(t_f) = \theta_f;$$

其中, $\theta_0, \theta_f$ 为起始点和终止点的关节角度;

为了满足云台运动速度的连续性要求,另外还有两个约束条件,即起始点与终止点的关节速度要求,并规定:

$$\theta'(0) = 0;$$

$$\theta'(t_f) = 0;$$

其中, $\theta'(0), \theta'(t_f)$ 为起始点和终止点的云台旋转角速度。

10.如权利要求8所述的控制方法,其特征是:所述四个边界的约束条件唯一的确定了一个三次多项式:

$$\theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (1);$$

其中, $\theta(t)$ 为时间参变量 $t$ 时刻的云台旋转角度, $a_0, a_1, a_2, a_3$ 为待定系数。

11.如权利要求8所述的控制方法,其特征是:所述运动轨迹的速度与加速度为:

$$\theta'(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 \quad (2)$$

$$\theta''(t) = 2a_2 + 6a_3 t \quad (3)$$

所述将运动轨迹的速度与加速度代入约束方程(1),得到待定系数 $a_0, a_1, a_2, a_3$ :

$$a_0 = \theta_0$$

$$a_1 = 0$$

$$a_2 = \frac{3}{t_f^2}(\theta_f - \theta_0)$$

$$a_3 = -\frac{2}{t_f^3}(\theta_f - \theta_0)$$

由此确定了时间与角度的关系,当进行冲洗时,车体相对于绝缘子的距离是一定的,设为 $d$ ,可得绝缘杆的长度 $l=d/\sin\theta$ ,带入公式 $\theta(t)=a_0+a_1t+a_2t^2+a_3t^3$ ,可以得到冲洗过程中绝缘杆的长度随时间的变化关系:

$$l(t)=\frac{d}{\sin(a_0+a_1t+a_2t^2+a_3t^3)}$$

利用逐点比较的圆弧插补法,对 $(l, d, \theta_0, \theta_f)$ 进行插值,生成水冲洗机械臂对绝缘子串的上下方向的冲洗轨迹。

12. 如权利要求7所述的控制方法,其特征是:所述步骤三中,逐点比较的圆弧插补法具体过程如下:

圆弧起点坐标为 $(X_0, Y_0)$ ,终点坐标为 $(X_e, Y_e)$ ,对于圆弧上任一点 $(X_i, Y_i)$ ,有: $X_i^2+Y_i^2=R^2$ ,令 $F=X_i^2+Y_i^2-R^2$ 为偏差函数,当 $F>0$ 时,该点在圆外,向 $-X$ 方向运动一步;当 $F<0$ 时,该点在圆弧内,向 $+Y$ 方向运动一步;为使运动继续下去,将 $F=0$ 归入 $F>0$ 的情况,插补运动始终沿着圆弧并向终点运动。

13. 如权利要求12所述的控制方法,其特征是:圆弧插补的判别计算采用如下的迭加运算:

设当前点 $(X_i, Y_i)$ 对应的偏差函数为

$$F_i=X_i^2+Y_i^2-R^2$$

当水枪沿 $-X$ 方向走一步后:

$$F_{i+1}=(X_i-1)^2+Y_i^2-R^2=F_i-2X_i+1$$

当水枪沿 $+Y$ 方向走一步后:

$$F_{i+1}=X_i^2+(Y_i+1)^2-R^2=F_i+2Y_i+1$$

终点判别可由 $n=|X_e-X_0|+|Y_e-Y_0|$ 判别,每走一步使 $n=n-1$ ,直至 $n=0$ 为止。

14. 如权利要求7所述的控制方法,其特征是:所述步骤四中,卡门涡街形成的条件:在流体中的圆柱体,其雷诺数满足 $47<Re<105$ ,雷诺数用来表征流体流动情况,以 $Re$ 表示, $Re=\rho v l/\eta$ ,其中 $v$ 、 $\rho$ 、 $\eta$ 分别为流体的流速、密度与黏性系数, $l$ 为一特征长度;

绝缘子串振动频率与流体(水)速度成正比,与阻流体的正面宽度成反比,卡门涡街频率与流体速度和阻流体即旋涡发生体宽度有如下关系: $f=S_r V/d$ ,其中 $f$ =卡门涡街频率; $S_r$ =斯特劳哈尔数; $V$ =流体速度; $d$ =阻流体迎面宽度;

通过调节水枪出水口径及出水速度,形成卡门涡街并实现对绝缘子串振动频率的调节,以产生良好的冲洗效果。

## 变电站带电水冲洗辅冲机器人及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种变电站带电水冲洗辅冲机器人及方法。

### 背景技术

[0002] 变电站绝缘子长时间暴露在外界环境中,表面易沉积污垢,这些污垢受恶劣天气侵害容易发生污闪事故。绝缘子带电水冲洗作业可以提高供电的可靠性,减少停电损失,保证变电站及输电线路的安全。在现阶段的变电站绝缘子冲洗作业主要存在以下缺点:

[0003] 1、冲洗方式大多是由清洗技术人员手持冲洗设备进入现场进行作业,人工冲洗不仅依赖于天气情况,还需要清洗人员具备较高技术水平及熟练的操作流程,对绝缘子进行带电水冲洗时需要高规格的安全防护,以避免短路电流造成的安全事故,引发人员伤亡,这类作业方式存在安全隐患;

[0004] 2、水冲洗机器人无法保证在上下方向直线段与面向喷头一侧的圆弧段之间的冲洗位置和速度连续,机器人的执行时间长、不易跟踪;

[0005] 3、现有水冲洗机器人无法实时监测机器人与绝缘子的位置变化,不能保证冲洗轨迹的起点和终点定位准确,冲洗的质量差、效率低;

[0006] 4、现有水冲洗控制方法都针对于主冲洗机器人,且控制效果差,无法控制加速度,误差大,无法保证机器人在冲洗过程中平滑运行。

[0007] 5、现有的水冲洗机器人多针对为了清洗8m以上的绝缘子而设计,这种水冲洗机器人对于低于8m的变电站绝缘子的清洗强度不高。

[0008] 因此研发针对于8m以下的变电站支柱绝缘子的带电水冲洗机器人来配合主冲洗机器人进行水冲洗作业是非常有必要的,是符合时代发展要求的。

### 发明内容

[0009] 本发明为了解决上述问题,提出了一种变电站带电水冲洗辅冲机器人及方法,该系统可代替操作人员,与主冲洗机器人相互配合,在不停电的情况下对变电站设备进行机器人带电水冲洗作业,其可有效减轻人工清洗工作的繁重体力劳动,保证操作人员的人身安全,同时通过对设备污秽的清洗,防止设备污闪事故、保证电网的安全运行。

[0010] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0011] 一种变电站带电水冲洗辅冲机器人,包括外壳、底盘、行走机构、垂直升降机构和车载控制器,其中,底盘固定于行走机构上,底盘上固定外壳,垂直升降机构固定于底盘上,垂直升降机构外侧四周围有护罩,护罩内安装有车载控制器,垂直升降机构上固定有绝缘支柱,绝缘支柱的上端固定有电控箱,电控箱控制安装在其上的水枪冲洗机构;外壳内安装有动力总成,为行走机构和垂直升降机构提供动力源,车载控制器与遥控系统相配合,遥控系统通过远程控制方式驱动垂直升降机构、水枪冲洗机构工作。

[0012] 所述行走机构为履带式移动结构,包括履带底盘、行走马达、驱动轮、从动轮、承重轮、履带和张紧缓冲装置,行走马达通过螺栓连接在履带底盘支架上,驱动轮通过驱动轴与

行走马达联接,从动轮、承重轮与张紧缓冲装置分别通过旋转轴与履带底盘支架联接,履带套在驱动轮、从动轮、承重轮与张紧缓冲装置的外侧,底盘左边为液压油箱,右边为柴油箱。

[0013] 所述行走马达包括左、右行走马达。

[0014] 所述护罩为风琴箱护罩。

[0015] 所述垂直升降机构,包括两级垂直伸缩臂、风琴箱护罩、绝缘支柱及车载控制器,垂直伸缩臂铰接与车体移动机构固定板上,绝缘支柱安装于垂直伸缩臂上端,车载控制器固定在垂直伸缩臂固定板上,风琴箱护罩将两级垂直伸缩臂、绝缘支柱及车载控制器包围其中。

[0016] 所述水枪冲洗机构包括云台、可调式水枪支架和水枪;云台实现水枪水平及俯仰两个方向运动;可调式水枪支架铰接在云台上方,可调式水枪支架上固定有水枪。

[0017] 所述水枪架上通过螺栓安装有跟踪摄像机,用于实时观察绝缘子水冲洗作业情况,跟踪摄像机正下方装有激光测距仪,用于实时测量水枪与水冲洗作业绝缘子的距离。

[0018] 所述动力总成采用柴油机提供动力,包括下部控制阀组A、上装控制阀组B及中央回转接头,共有七个比例换向阀和四个手动换向阀。

[0019] 所述下部控制阀组A通过分配阀与液压泵连接,由四个手动换向阀控制水冲洗机器人四个支腿油缸来完成伸缩运动,两个比例换向阀控制行走马达,控制机器人的行走运动;

[0020] 所述上装控制阀组B依次经中央回转接头、上装控制切换按钮、分配阀、与液压泵连接,由一个比例换向阀控制回转马达,完成上装云台旋转运动,两个比例换向阀控制垂直升降机构的伸缩运动,另两个比例换向阀通过水平摆动油缸和垂直摆动油缸实现水枪的水平运动和俯仰运动。

[0021] 所述车载控制器,包括工控机,工控机通过无线接收机连接遥控系统,遥控系统传输的控制信号由无线接收机接收,并传输给工控机,工控机接收控制信号后发送给无线收发机,以实现底盘左右轮运动、垂直升降机构升降及云台的转动。

[0022] 一种基于上述辅冲机器人的控制方法,包括以下步骤:

[0023] 步骤一:根据云台上安装的激光测距仪和监控摄像头采集距离及监控的图像得到当前机器人与绝缘子之间的相对三维坐标值,判断两者相对距离是否是安全距离,若是,进行下一步,若不是,调整云台的位置,直至该相对距离为安全距离;确定路径规划的起始状态;

[0024] 步骤二:采用直线插补方式实现水冲洗垂直升降机构对绝缘子串的上下方向的自动冲洗;

[0025] 步骤三:采用逐点比较法的圆弧插补方式实现水枪能够对朝向机器人一侧的绝缘子串进行清洗;

[0026] 步骤四:在进行水冲洗时,通过调节水枪出水口径及出水速度,形成卡门涡街并实现对绝缘子串振动频率的调节。

[0027] 所述步骤二中,具体过程为:

[0028] (2-1) 在冲洗过程中,安装在云台和垂直升降机构上的角位移传感器、位移传感器采集得到起始时刻及终止时刻云台的旋转角度和垂直升降机构的升降高度;

[0029] (2-2) 对于平稳运动,轨迹函数 $\theta(t)$ 至少满足四个约束条件,根据约束条件对应的

约束方程唯一的确定一个三次多项式；

[0030] (2-3) 根据该三次多项式得到运动轨迹的速度与加速度，将运动轨迹的速度与加速度代入约束方程得到三次多项式的系数，该系数确定了冲洗时间与冲洗角度的关系；

[0031] (2-4) 根据绝缘杆的长度及三次多项式得到冲洗过程中绝缘杆的长度随时间的变化关系，对  $(l, d, \theta_0, \theta_f)$  进行插值，生成水冲洗机械臂对绝缘子串的上下方向的冲洗轨迹。

[0032] 所述约束条件，其中两个是起始点和终止点对应的云台角度：

$$[0033] \quad \theta(0) = \theta_0;$$

$$[0034] \quad \theta(t_f) = \theta_f;$$

[0035] 其中， $\theta_0, \theta_f$  为起始点和终止点的关节角度；

[0036] 为了满足云台运动速度的连续性要求，另外还有两个约束条件，即起始点与终止点的关节速度要求，并规定：

$$[0037] \quad \theta'(0) = 0;$$

$$[0038] \quad \theta'(t_f) = 0;$$

[0039] 其中， $\theta'(0), \theta'(t_f)$  为起始点和终止点的云台旋转角速度。

[0040] 所述四个边界的约束条件唯一的确定了一个三次多项式：

$$[0041] \quad \theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (1);$$

[0042] 其中， $\theta(t)$  为时间参变量  $t$  时刻的云台旋转角度， $a_0, a_1, a_2, a_3$  为待定系数。

[0043] 所述运动轨迹的速度与加速度为：

$$[0044] \quad \theta'(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 \quad (2)$$

$$[0045] \quad \theta''(t) = 2a_2 + 6a_3 t \quad (3)$$

[0046] 所述将运动轨迹的速度与加速度代入约束方程(1)，得到待定系数  $a_0, a_1, a_2, a_3$ ：

$$[0047] \quad a_0 = \theta_0$$

$$[0048] \quad a_1 = 0$$

$$[0049] \quad a_2 = \frac{3}{t_f^2} (\theta_f - \theta_0)$$

$$[0050] \quad a_3 = -\frac{2}{t_f^3} (\theta_f - \theta_0)$$

[0051] 由此确定了时间与角度的关系，当进行冲洗时，车体相对于绝缘子的距离是一定的，设为  $d$ ，可得绝缘杆的长度  $l = d / \sin \theta$ ，带入公式  $\theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$ ，可以得到冲洗过程中绝缘杆的长度随时间的变化关系：

$$[0052] \quad l(t) = \frac{d}{\sin(a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3)}$$

[0053] 利用逐点比较的圆弧插补法，对  $(l, d, \theta_0, \theta_f)$  进行插值，生成水冲洗机械臂对绝缘子串的上下方向的冲洗轨迹。

[0054] 所述步骤三中，逐点比较的圆弧插补法具体过程如下：

[0055] 圆弧起点坐标为  $(X_0, Y_0)$ ，终点坐标为  $(X_e, Y_e)$ ，对于圆弧上任一点  $(X_i, Y_i)$ ，有： $X_i^2 + Y_i^2 = R^2$ ，令  $F = X_i^2 + Y_i^2 - R^2$  为偏差函数，当  $F > 0$  时，该点在圆外，向  $-X$  方向运动一步；当  $F < 0$  时，该点在圆弧内，向  $+Y$  方向运动一步；为使运动继续下去，将  $F = 0$  归入  $F > 0$  的情况，插补运动

始终沿着圆弧并向终点运动。

[0056] 圆弧插补的判别计算可采用如下的迭加运算：

[0057] 设当前点  $(X_i, Y_i)$  对应的偏差函数为

$$[0058] \quad F_i = X_i^2 + Y_i^2 - R^2$$

[0059] 当水枪沿-X方向走一步后：

$$[0060] \quad F_{i+1} = (X_i - 1)^2 + Y_i^2 - R^2 = F_i - 2X_i + 1$$

[0061] 当水枪沿+Y方向走一步后：

$$[0062] \quad F_{i+1} = X_i^2 + (Y_i + 1)^2 - R^2 = F_i + 2Y_i + 1$$

[0063] 终点判别可由  $n = |X_e - X_0| + |Y_e - Y_0|$  判别，每走一步使  $n = n - 1$ ，直至  $n = 0$  为止。

[0064] 所述步骤四中，卡门涡街形成的条件：在流体中的圆柱体，其雷诺数满足  $47 < Re < 105$ ，雷诺数用来表征流体流动情况，以  $Re$  表示， $Re = \rho v l / \eta$ ，其中  $v$ 、 $\rho$ 、 $\eta$  分别为流体的流速、密度与黏性系数， $l$  为一特征长度；

[0065] 绝缘子串振动频率与流体（水）速度成正比，与阻流体的正面宽度成反比，卡门涡街频率与流体速度和阻流体即旋涡发生体宽度有如下关系： $f = S_r V / d$ ，其中  $f$  = 卡门涡街频率； $S_r$  = 斯特劳哈尔数； $V$  = 流体速度； $d$  = 阻流体迎面宽度；

[0066] 通过调节水枪出水口径及出水速度，形成卡门涡街并实现对绝缘子串振动频率的调节，以产生良好的冲洗效果。

[0067] 冲洗绝缘子时，水流从绝缘子两侧剥离，形成交替的涡流，这种交替的涡流，使绝缘子两侧水流的瞬间速度不同，水流速度不同，绝缘子两侧受到的瞬间压力也不同，因此使绝缘子发生振动，通过绝缘子的这种震动达到清除污垢的效果。通过调节水枪出水口径及出水速度，形成卡门涡街并改变振动频率，以增强水冲洗机器人的水冲洗效果。

[0068] 本发明的有益效果为：

[0069] (1) 本发明主体由机械本体和远程遥控装置组成，机械本体与遥控装置之间全部通过无线信号进行信号传递，使冲洗作业人员远离高压电场，保障了作业人员的安全；

[0070] (2) 操作人员手持遥控装置，通过远程遥控装置上的控制手柄，可以远距离控制机器人机械本体的车体移动机构、升降机构及水枪冲洗机构，可以根据跟踪摄像机采集图像调整机器人的作业姿态，利用高压喷水机构喷射高纯水进行冲洗作业；

[0071] (3) 采用摄像头和激光测距仪，实时监测当前的位置，使机器人工作在安全距离，保证冲洗轨迹的起点和终点定位准确，从而提高冲洗的质量和效率；所得轨迹能保证在上下方向直线段与面向喷头一侧的圆弧段之间的冲洗位置和速度连续，能使机器人的执行时间最小化，从而提高水冲洗机器人的冲洗效率，使机器人的执行机构更容易跟踪；

[0072] (4) 运用了卡门涡街的原理，能够在最小限度的运动下提高冲洗水平，保证绝缘子串上的污垢被最大限度的清理；

[0073] (5) 本发明可代替人工完成变电站绝缘子冲洗作业，使操作人员位于安全区域内，保障了操作人员的安全，降低的劳动强度，提高冲洗效率和自动化水平，对我国变电站水冲洗作业方式产生积极的变革作用。

## 附图说明

[0074] 图1为本发明的结构示意图；



[0075] 图2为本发明的水冲洗控制流程图；

[0076] 图3为本发明的圆弧插补的轨迹示意图。

[0077] 其中,1、摄像机,2、水枪,3、电控箱,4、风琴箱护罩,5、垂直升降机构,6、车载控制器,7、底盘,8、行走机构,9、液压油箱,10、显示面板,11、动力总成,12、柴油箱,13、绝缘支柱,14、进水管,15、云台,16、可调式水枪支架,17、激光测距仪,18、机器人外壳。

#### 具体实施方式:

[0078] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0079] 如图1所示,一种变电站带电水冲洗辅冲机器人包括车体行走机构8、动力总成11、垂直升降机构5、水枪冲洗机构和电气控制系统;其中,车体行走机构8为履带式移动底盘结构,动力总成11采用柴油机提供动力,安装于移动底盘上,垂直升降机构5连接在车体移动机构前端,垂直升降机构5安装有两级伸缩臂,两级伸缩臂的上臂通过绝缘支柱13与水枪冲洗机构的工作云台15相连;电气控制系统包括车载子系统和遥控子系统,遥控子系统与车载子系统相配合,通过无线方式远程完成对机器人垂直升降机构及水枪冲洗机构的控制。

[0080] 车体行走机构主要由履带底盘、左行走马达、右行走马达、驱动轮、从动轮、承重轮、履带、张紧缓冲装置组成,左行走马达和右行走马达通过螺栓连接在履带底盘支架上,驱动轮通过驱动轴与行走马达联接,从动轮、承重轮与张紧缓冲装置分别通过旋转轴与履带底盘支架联接,履带套在驱动轮、从动轮、承重轮与张紧缓冲装置的外侧,底盘左边为液压油箱9,右边为柴油箱12。

[0081] 机器人外壳上18固定有显示面板10。

[0082] 动力总成11采用自带动力源,柴油机提供动力,可以进入密集设备区内作业,解决了现场的电源配置问题。

[0083] 垂直升降机构5包括两级垂直伸缩臂、风琴箱护罩4、绝缘支柱3及车载控制器6,垂直伸缩臂铰接与车体移动机构固定板上,绝缘支柱13安装于垂直伸缩臂上端,车载控制器6固定在垂直伸缩臂固定板上,风琴箱护罩4将两级垂直伸缩臂、绝缘支柱13及车载控制器6包围其中。

[0084] 水枪冲洗机构包括云台15、电控箱3和可调式水枪支架16;电控箱3安装于绝缘支柱13上,提供云台15、摄像机1所需电源;云台15实现水枪水平及俯仰两个方向运动;可调式水枪支架16铰接在云台上方,水枪架上连接有水枪、摄像机1、激光测距仪17。水枪架上通过螺栓安装有跟踪摄像机1,用于实时观察绝缘子水冲洗作业情况,跟踪摄像机正下方装有激光测距仪17,用于实时测量水枪与水冲洗作业绝缘子的距离。

[0085] 动力总成11采用柴油机提供动力,包括下部控制阀组A、上装控制阀组B及中央回转接头,共有七个比例换向阀和四个手动换向阀。

[0086] 下部控制阀组A通过分配阀与液压泵连接,由四个手动换向阀控制水冲洗机器人四个支腿油缸来完成伸缩运动,两个比例换向阀控制行走马达,控制机器人的行走运动;

[0087] 上装控制阀组B依次经中央回转接头、上装控制切换按钮、分配阀、与液压泵连接,由一个比例换向阀控制回转马达,完成上装云台15的旋转运动,两个比例换向阀控制垂直升降机构的伸缩运动,另两个比例换向阀通过水平摆动油缸和垂直摆动油缸实现水枪2的水平运动和俯仰运动。

[0088] 车载控制器6,包括工控机,工控机通过无线接收机连接遥控系统,遥控系统传输的控制信号由无线接收机接收,并传输给工控机,工控机接收控制信号后发送给无线收发机,以实现底盘7左右轮运动、垂直升降机构升降5及云台15的转动。

[0089] 一种基于上述辅冲机器人的控制方法,包括以下步骤:

[0090] 步骤一:根据激光测距仪和监控摄像头采集距离及监控的图像得到当前机器人与绝缘子之间的相对三维坐标值,判断两者相对距离是否是安全距离,若是,进行下一步,若不是,调整云台的位置,直至该相对距离为安全距离;确定路径规划的起始状态;

[0091] 步骤二:采用直线插补方式实现水冲洗垂直升降机构对绝缘子串的上下方向的自动冲洗;

[0092] 步骤三:采用逐点比较法的圆弧插补方式实现水枪能够对朝向机器人一侧的绝缘子串进行清洗;

[0093] 步骤四:在进行水冲洗时,通过调节水枪出水口径及出水速度,形成卡门涡街并实现对绝缘子串振动频率的调节。

[0094] 步骤二中,具体过程为:

[0095] (2-1)在冲洗过程中,安装在云台和垂直升降机构上的角位移传感器、位移传感器采集得到起始时刻及终止时刻云台的旋转角度和垂直升降机构的升降高度;

[0096] (2-2)对于平稳运动,轨迹函数 $\theta(t)$ 至少满足四个约束条件,根据约束条件对应的约束方程唯一的确定一个三次多项式;

[0097] (2-3)根据该三次多项式得到运动轨迹的速度与加速度,将运动轨迹的速度与加速度代入约束方程得到三次多项式的系数,该系数确定了冲洗时间与冲洗角度的关系;

[0098] (2-4)根据绝缘杆的长度及三次多项式得到冲洗过程中绝缘杆的长度随时间的变化关系,对 $(l, d, \theta_0, \theta_f)$ 进行插值,生成水冲洗机械臂对绝缘子串的上下方向的冲洗轨迹。

[0099] 所述约束条件,其中两个是起始点和终止点对应的云台角度:

$$[0100] \quad \theta(0) = \theta_0;$$

$$[0101] \quad \theta(t_f) = \theta_f;$$

[0102] 其中, $\theta_0, \theta_f$ 为起始点和终止点的关节角度;

[0103] 为了满足云台运动速度的连续性要求,另外还有两个约束条件,即起始点与终止点的关节速度要求,并规定:

$$[0104] \quad \theta'(0) = 0;$$

$$[0105] \quad \theta'(t_f) = 0;$$

[0106] 其中, $\theta'(0), \theta'(t_f)$ 为起始点和终止点的云台旋转角速度。

[0107] 所述四个边界的约束条件唯一的确定了一个三次多项式:

$$[0108] \quad \theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (1);$$

[0109] 其中, $\theta(t)$ 为时间参变量 $t$ 时刻的云台旋转角度, $a_0, a_1, a_2, a_3$ 为待定系数。

[0110] 所述运动轨迹的速度与加速度为:

$$[0111] \quad \theta'(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 \quad (2)$$

$$[0112] \quad \theta''(t) = 2a_2 + 6a_3 t \quad (3)$$

[0113] 所述将运动轨迹的速度与加速度代入约束方程(1),得到待定系数 $a_0, a_1, a_2, a_3$ :

$$[0114] \quad a_0 = \theta_0$$

[0115]  $a_1=0$

[0116]  $a_2 = \frac{3}{t_f^2}(\theta_f - \theta_0)$

[0117]  $a_3 = -\frac{2}{t_f^3}(\theta_f - \theta_0)$

[0118] 由此确定了时间与角度的关系,当进行冲洗时,车体相对于绝缘子的距离是一定的,设为d,可得绝缘杆的长度 $l=d/\sin\theta$ ,带入公式 $\theta(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$ ,可以得到冲洗过程中绝缘杆的长度随时间的变化关系:

[0119] 
$$l(t) = \frac{d}{\sin(a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3)}$$

[0120] 利用逐点比较的圆弧插补法,对 $(l, d, \theta_0, \theta_f)$ 进行插值,生成水冲洗机械臂对绝缘子串的上下方向的冲洗轨迹。

[0121] 所述步骤三中,逐点比较的圆弧插补法具体过程如下:

[0122] 圆弧起点坐标为 $(X_0, Y_0)$ ,终点坐标为 $(X_e, Y_e)$ ,对于圆弧上任一点 $(X_i, Y_i)$ ,有: $X_i^2 + Y_i^2 = R^2$ ,令 $F = X_i^2 + Y_i^2 - R^2$ 为偏差函数,当 $F > 0$ 时,该点在圆外,向 $-X$ 方向运动一步;当 $F < 0$ 时,该点在圆内,向 $+Y$ 方向运动一步;为使运动继续下去,将 $F = 0$ 归入 $F > 0$ 的情况,插补运动始终沿着圆弧并向终点运动。

[0123] 圆弧插补的判别计算可采用如下的迭加运算:

[0124] 设当前点 $(X_i, Y_i)$ 对应的偏差函数为

[0125]  $F_i = X_i^2 + Y_i^2 - R^2$

[0126] 当水枪沿 $-X$ 方向走一步后:

[0127]  $F_{i+1} = (X_i - 1)^2 + Y_i^2 - R^2 = F_i - 2X_i + 1$

[0128] 当水枪沿 $+Y$ 方向走一步后:

[0129]  $F_{i+1} = X_i^2 + (Y_i + 1)^2 - R^2 = F_i + 2Y_i + 1$

[0130] 终点判别可由 $n = |X_e - X_0| + |Y_e - Y_0|$ 判别,每走一步使 $n = n - 1$ ,直至 $n = 0$ 为止。

[0131] 所述步骤四中,卡门涡街形成的条件:在流体中的圆柱体,其雷诺数满足 $47 < Re < 105$ ,雷诺数用来表征流体流动情况,以 $Re$ 表示, $Re = \rho v l / \eta$ ,其中 $v$ 、 $\rho$ 、 $\eta$ 分别为流体的流速、密度与黏性系数, $l$ 为一特征长度;

[0132] 绝缘子串振动频率与流体(水)速度成正比,与阻流体的正面宽度成反比,卡门涡街频率与流体速度和阻流体即旋涡发生体宽度有如下关系: $f = S_r V / d$ ,其中 $f$  = 卡门涡街频率; $S_r$  = 斯特劳哈尔数; $V$  = 流体速度; $d$  = 阻流体迎面宽度;

[0133] 通过调节水枪出水口径及出水速度,形成卡门涡街并实现对绝缘子串振动频率的调节,以产生良好的冲洗效果。

[0134] 冲洗绝缘子时,水流从绝缘子两侧剥离,形成交替的涡流,这种交替的涡流,使绝缘子两侧水流的瞬间速度不同,水流速度不同,绝缘子两侧受到的瞬间压力也不同,因此使绝缘子发生振动,通过绝缘子的这种震动达到清除污垢的效果。通过调节水枪出水口径及出水速度,形成卡门涡街并改变振动频率,以增强水冲洗机器人的水冲洗效果。

[0135] 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。

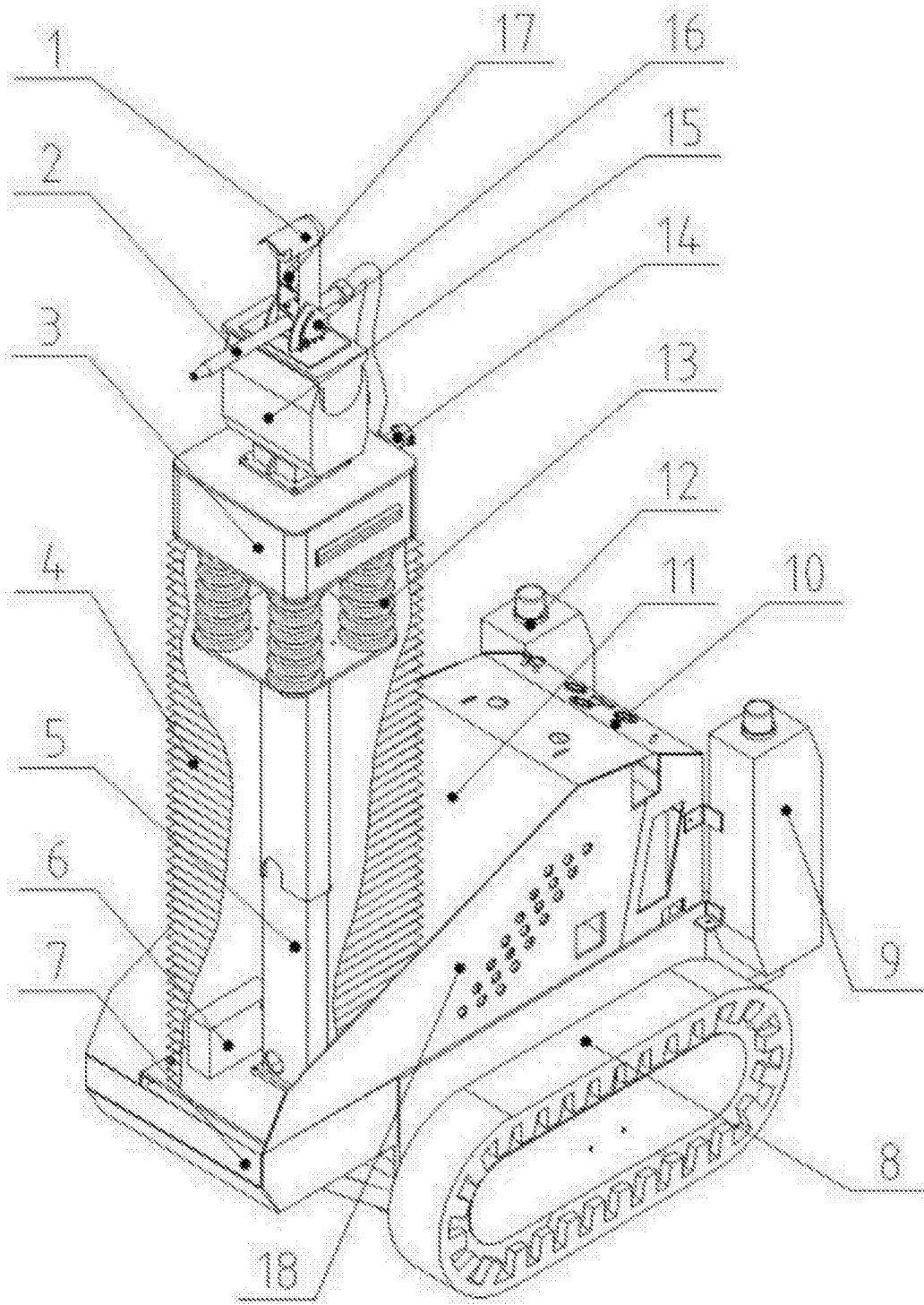


图1

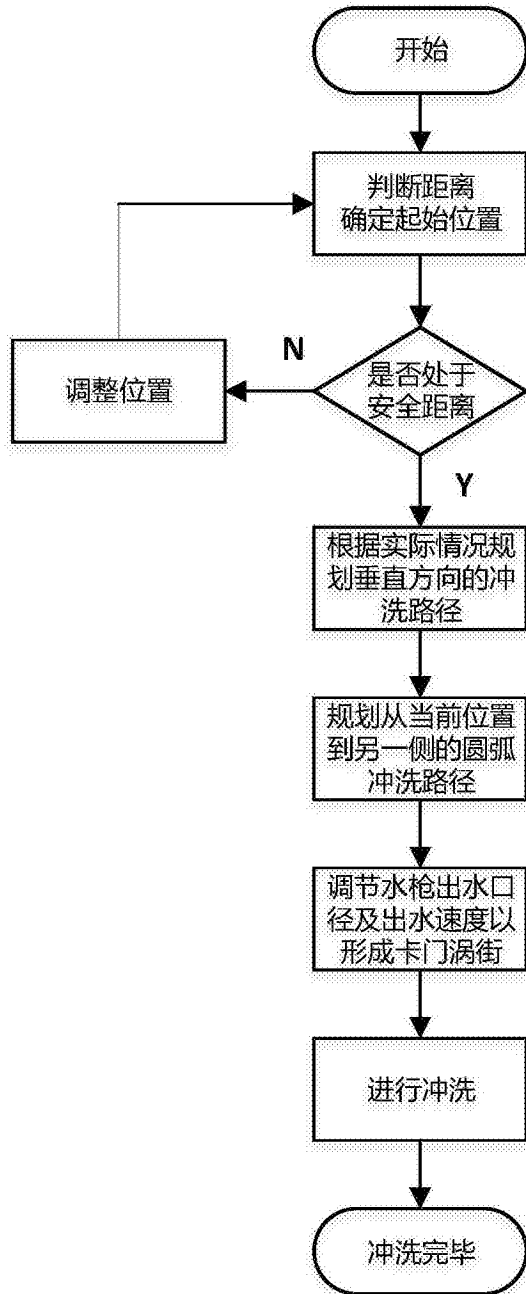


图2

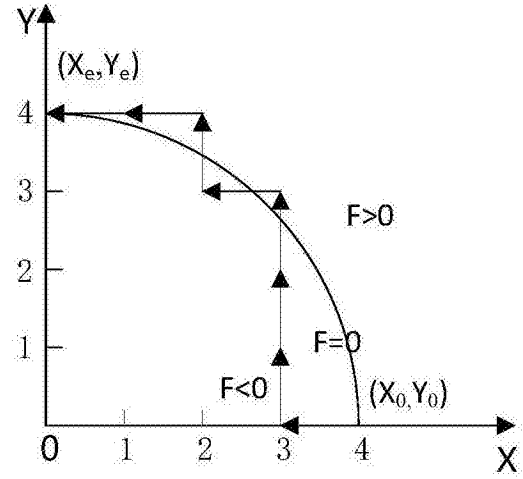


图3