

DOI:10.11992/tis.201511032
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20160408.1048.002.html>

一种 110 kV 输电线路巡检机器人机构研究

岳湘^{1,2}, 王洪光¹, 姜勇¹, 张珏³, 张成巍³, 席宁¹

(1. 中国科学院 沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 广州供电局有限公司, 广东 广州 510620)

摘要:针对 110 kV 输电线路环境特点及巡检任务需求,提出了一种新型巡检机器人机构,介绍了机器人的机构构型和两种典型障碍物的越障流程,推导了机器人的运动学方程,给出了机器人机构的主要尺寸,分析了典型越障模式下机器人手臂的工作空间。规划了机器人跨越引流线的运动序列并进行了越障仿真与模拟环境的试验,仿真试验结果表明该机构能够跨越引流线、耐张线夹等复杂障碍物,验证了机构设计的合理性,运动规划的可行性,该机构具有结构紧凑、越障能力强、运动平稳等特点。

关键词:输电线路;巡检;机器人;机构设计;运动学;作业空间;越障;仿真

中图分类号: TP24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2016)02-0155-08

中文引用格式:岳湘,王洪光,姜勇,等. 一种 110 kV 输电线路巡检机器人机构研究[J]. 智能系统学报, 2016, 11(2): 155-162.
英文引用格式:YUE Xiang, WANG Hongguang, JIANG Yong, et al. Design approach for a 110 kV power transmission line inspection robot mechanism[J]. CAAI transactions on intelligent systems, 2016, 11(2): 155-162.

Design approach for a 110 kV power transmission line inspection robot mechanism

YUE Xiang^{1,2}, WANG Hongguang¹, JIANG Yong¹, ZHANG Yu³, ZHANG Chengwei³, XI Ning¹

(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Guangzhou Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510620, China)

Abstract: A novel mechanism for 110 kV power transmission line inspection robot is presented according to the requirements of inspection tasks and characteristics of obstacles on power lines. Its configuration is introduced, and the navigation process of typical obstacles is planned. Then, the kinematics equations and the workspace are established. Furthermore, the simulation of the navigation of the strain clamp and test of navigation the jumper in the laboratory have been carried out. The simulation results demonstrate that the mechanism has such characteristics as compact construction, good motion stability and excellent obstacle negotiation capability.

Keywords: transmission line; inspection; robot; mechanism design; kinematics; workspace; navigation; simulation

超高压输电线路巡检是为了掌握线路的运行状况,及时发现电力设施的缺陷和沿线通道情况,为输电线路检修提供资料。较传统的人工巡检,输电线路巡检机器人具有巡检费用低、安全可靠、可近距离

精细巡检以及易于操作等优点,逐渐成为线路巡检的一个新的研究方向。机器人机构设计是机器人研究的一项关键技术^[1],机器人机构是机器人巡检作业工具的载体,为机器人快速可靠地进行巡检作业提供保障。国内外多家研究机构对输电线路巡检机器人开展了研究。1988 年日本东京电力公司研制了具有初步越障能力的光纤复合架空地线巡检机器

人^[2],该机器人自身携带辅助导轨,越障时机器人需沿辅助导轨越过障碍物。这种机器人行走机构具有结构紧凑,驱动力矩大的特点。但是机器人自身过重,对电池供电有更高要求。日本 NTT 实验室的 Takeshi Tsujimura 等提出了一种在架空线路上行走的机器人跨越障碍物的方法。机器人的机械设计上采用一个 slider-crank 机构原理。这个样机的机械系统比较简单,同时控制系统也比较简单,但是由于运动模式的限制,这个样机只能跨越特定类型的障碍物。HiBot 公司和日本东京工业大学等开发了一种在具有双线结构的 500 kV 及以上输电导线上巡检并跨越障碍的遥操作机器人 Expliner^[1-2]。该机构通过机械臂调整机器人质心位置的方式跨越障碍物,该机器人能够跨越直线杆塔和间隔棒,越障方式简单,该机器人的缺点是结构不紧凑、尺寸较大,主要应用于多分裂导线。加拿大魁北克水电研究院开发了一种在带电导线上巡检的机器人 LineScout,由一个行走机构和一个手臂机构组成,采用蠕动方式交替跨越障碍物,机器人被设计成至少可跨越 6 种可能的障碍序列,越障过程中始终双处抓线,越障过程稳定,可跨越防振锤、绝缘子,但不能跨越转角塔^[3-4]。中科院自动化研究所和山东科技大学共同研制开发了 110 kV 的输电线路巡检机器人,该机器人由 3 个柔性摆动臂机构、自走驱动装置等组成,综合了多关节分体式机构和轮臂复合机构的优点。该机器人结合了轮式移动和步进式蠕动爬行 2 种运动方式,保证了一定的行走速度,且机器人整体刚度大,姿态稳定性好,越障能力强,但是机器人由三臂组成,关节数量多,机器人重量大,控制复杂。中科院沈阳自动化研究所自 2002 年研究开发了 AApe 系列架空输电线路巡检机器人,该类机器人一般采用轮臂复合式机构,越障能力强,行走速度快,通过质心调节机构能够提高机器人越障稳定性,该机器人可以在直线杆塔线路段自主行驶和巡检,通过架设辅助导轨的方式跨越耐张杆塔。这些机器人都具有一定的越障能力,但跨越耐张杆塔的能力还存在较大的不足。

针对 110 kV 输电线路环境特点及巡检任务需求,借鉴已有机构的优点,提出了一种新型巡检机器人机构,这种新型机构由行走机构、手臂机构、机架和质心调节机构组成,该机构能够同时应用于导线和地线不同线路环境,能够跨越引流线、耐张线夹等复杂障碍物,越障流程简单易于控制,行走时安全性好等特点。

1 任务需求与环境描述

根据 110 kV 架空输电线路的巡检任务需求,巡检机器人需在 110 kV 输电线路架空导线上行走,可跨越线路障碍,携带和操作可见光摄像机和红外热成像仪,分别对线路结构及其通道进行观测检查,如导/地线的受损情况、发热情况、压接管的工作状况、线路绝缘情况、线路通道情况等,采用微波通讯方式将图像传输至地面控制基站,并在地面控制基站上显示摄像机拍摄的巡检图像,110 kV 输电线路环境示意如图 1 所示。输电线路主要由耐张塔,直线塔、架空地线、导线、耐张塔引流线、防振锤及绝缘子等组成。其中导线上的主要障碍物包括防振锤、悬垂线夹、耐张线夹、耐张塔引流线、并沟线夹等。110 kV 输电线的导线线径较 500 kV 或更高等级电压的输电线路导线更细,线路的承载能力较低,因此需要对机器人质量更严格地控制。由于 110 kV 输电线路导线之间的距离较小,根据输电线路带电作业规范,为满足安全距离的要求,机器人结构尺寸必须更加紧凑,同时由于拉线的存在,拉线与引流线间的距离比较小,进一步限制了机器人的结构尺寸。

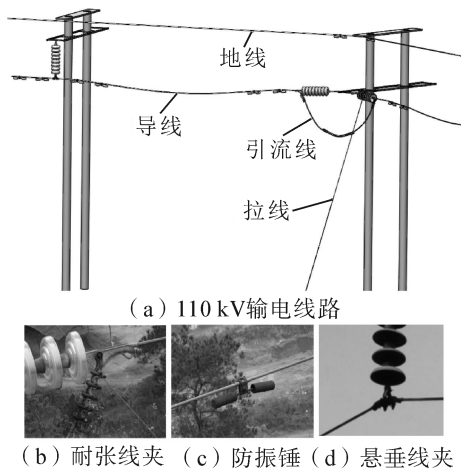


图 1 110 kV 输电线路环境示意图

Fig.1 Environment schematic of 110 kV transmission line

机器人沿输电线导线巡检作业时,需要跨越直线塔和耐张塔。直线塔处的主要障碍物为悬垂线夹、防振锤。耐张塔处的主要障碍物为耐张线夹、引流线等。耐张塔引流线是耐张绝缘子串的耐张线夹间的电气连接线,这段导线自由地悬挂在绝缘子下面。耐张塔引流线由于两端无张紧力所以呈柔索状的姿态,是一种复杂的空间曲线,它的弯曲方向存在不确定性。为实现全线路行走的目标,机器人必须具备跨越直线塔、耐张塔处障碍物的能力,由上述环境描述可知,如何跨越耐张塔引流线是越障的难点。由于耐张塔引流线跨距大,机器人无法直接跨越,必

须完成引流线上的爬行。由于跳线的无张紧力和导线的柔性特点,当机器人行走在耐张塔引流线上时,机器人与跳线会互相影响,引流线的姿态会发生很大的变形,这给机器人行走越障造成了极大的困难,机器人机构必须具备较高的姿态调节能力和较好的稳定性才能跨越这种复杂多变的障碍物,同时越障时应尽量减小对导线的损伤。

2 巡检机器人构型分析

2.1 巡检机器人构型分析

图 2 为机器人机构简图,该机构由行走机构、手臂机构、机架和质心调节机构组成。

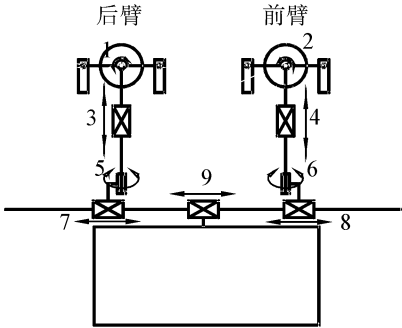


图 2 机器人机构简图

Fig.2 Structure schematic of robot

两手臂对称放置在机架两侧,结构完全一样。行走机构包括行走轮、两个夹爪和一个俯仰关节,通过行走轮,机器人能够沿导线滚动行走,通过两个夹爪,能够完成对导线的夹持任务,通过俯仰关节 1 或 2 能够调整行走机构的姿态,从而适应具有一定角度的导线。机器人手臂机构采用操作臂结构,手臂机构上端连接行走机构,下端安装在机架上。通过伸缩关节 3 或 4 能够使行走机构上下移动,完成机器人行走机构的脱线或落线。回转关节 5 或 6 能够驱动行走机构绕垂直轴线回转,辅助机器人行走机构的落线和异面直线的跨越。移动关节 7 或 8 驱动移动机构前后移动,驱动行走机构越障。质心调节机构通过移动关节 9 调节电气箱的位置,从而实现质心调节,使机器人越障过程中姿态能够稳定地保持。当机器人遇到障碍物时,抓线手臂上端行走机构中的俯仰关节处于被动状态,通过质心调节机构使机器人重心保持在挂线手臂的下方,此时夹紧输电线的行走机构将只受到一个向下的重力,而没有弯矩,从而降低对输电线的损伤和减小输电线变形,能够降低机器人越障难度和提高越障的稳定性,同时满足输电线巡检机器人作业要求。

本机构通过采用多自由度操作臂结构,提高了机器人越障能力和姿态调整的灵活性,通过质心调

节机构提高了机器人的越障稳定性,所以该机器人机构具有结构紧凑、姿态调整能力强、越障能力强、越障稳定性高的特点。

2.2 跨越单挂点悬垂线夹

机器人沿 110 kV 输电线导线巡检作业时,跨越的障碍物主要为单挂点悬垂线夹和耐张塔引流线,下面分析两种典型障碍物的越障机理。

当机器人前轮遇到单悬垂金具时,在接近传感器的作用下,使机器人停下,见图 3。此时,调节质心到后臂,前轮升起并回转脱线,后轮驱动机器人前进,使前行走机构越障,当前行走机构跨越悬垂线夹后,前行走机构回转并下降完成落线,调节机器人质心到前臂,后轮升起并回转脱线,前轮驱动机器人前进,使后行走机构越障,当后行走机构跨越悬垂线夹后,后轮回转下降完成落线,调节机器人质心到两臂中间,完成机器人跨越单挂点悬垂线夹。

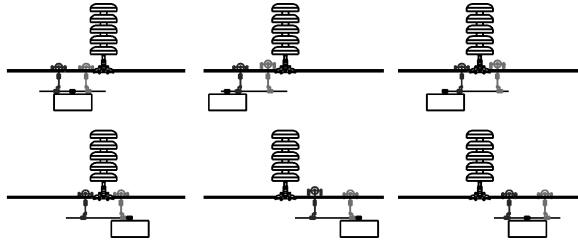


图 3 机器人跨越单悬垂金具过程

Fig.3 Process of robot crossing the single clammer

2.3 跨越引流线过程

引流线本身的特性造成了机器人越障的困难,当机器人需要跨越引流线时,根据机器人在引流不同位置所需的越障方法把引流线划分为 3 个区段:耐张线夹段、引流线大角度段、引流线平缓段。机器人的越障规划在这 3 个阶段分别规划,从而提高机器人的越障能力和越障效率,使机器人能够顺利通过引流线。图 4 所示为引流线的不同区段划分。

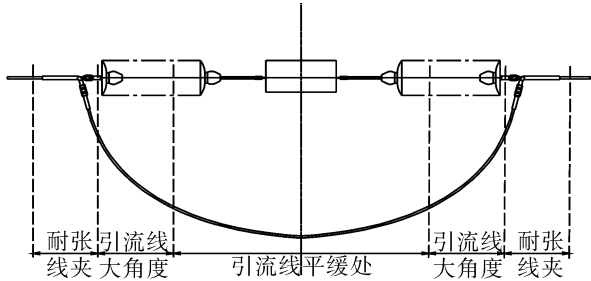


图 4 引流线区段划分图

Fig.4 The diagram of jumper sections

机器人跨越引流线流程如图 5。当机器人运动到耐张线夹处,机器人采用悬摆模式跨越耐张线夹。后行走机构脱线,并通过手臂各关节联动驱动后行走机构跨越耐张线夹,然后后

行走机构落线并抓紧引流线,前行走机构脱线,并通过手臂各关节驱动前行走机构跨越耐张线夹,前行走机构落线并抓紧引流线,通过前后行走机构交替越障,机器人顺利跨越耐张线夹。当机器人行走在引流线的大角度处,机器人通过悬摆模式越障,通过 2 个手臂的行走机构交替跨越障碍的方式来进行越障。引流线底部较平坦处,后行走机构抓紧输电线,前行走机构沿线路行走。当两臂间距达到设定值后,前行走机构抓紧导线,后行走机构沿线路行走,当两臂间距达到设定值后,交替重复以上动作,实现机器人尺蠖式前行,在此过程中通过质心调节机构的调整可以改变机器人的重心,优化沿线行走的行走机构的附着力,增大机器人驱动牵引力,提高机器人的爬坡能力。

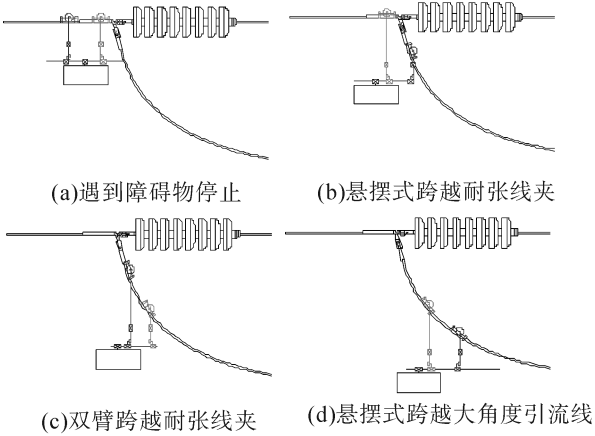


图 5 引流线越障流程
Fig.5 Process of navigating jumper

3 结构参数设计与工作空间分析

考虑到悬垂绝缘子检测机器人向上移动的过程中,机构的收缩与伸展运动过程是类似的,这里仅对机构收缩的运动过程进行分析。

3.1 推进机构运动学正反解

将机器人前后两条手臂分别表示为前臂和后臂,每条手臂具有 4 个自由度,分别为俯仰关节 θ_1 、手臂伸缩关节 d_3 、腕关节回转 θ_5 以及水平移动关节 d_7 。机器人运动参数及结构参数如图 2 所示,图中 h_0 表示机器人箱体长度, h 、 d 、 l 分别表示手臂的长度、两臂间距和导轨长度, R 表示行走轮半径。

考虑图 1 所示 110 kV 输电线路障碍物尺寸以及机器人跨越障碍物的方式,初步确定机器人具体结构参数及运动参数如表 1 所示。

表 1 机构参数
Table 1 Parameters of mechanism

机器人参数	大小或运动范围
h	450~900 mm
d	0~400 mm
l	1 000 mm
R	120 mm
h_0	300 mm
θ_1	$-90^{\circ}\sim90^{\circ}$
d_3	0~450 mm
θ_1	$-90^{\circ}\sim90^{\circ}$

4.2 运动学分析

当机器人越障过程中,机器人的一个行走机构抓紧输电线以支撑整个系统,另一个行走机构运动到目标位置和姿态完成抓线,夹紧输电线后前一个行走机构脱线,2 个行走机构交替抓线完成越障。

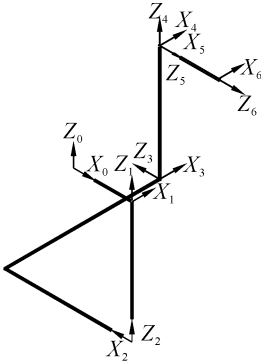


图 6 机构坐标系
Fig.6 D-H coordinates

当机器人单臂挂线时,机器人挂线手臂上的移动机构抓紧输电线,该移动机构上的俯仰关节处于被动状态,通过质心调节机构使机器人重心保持在挂线手臂的下方,所以该俯仰关节的自由度处于约束状态。两个手臂的伸缩关节轴线平行,连个伸缩关节的自由度为 1,两个手臂的移动关节的轴线也处于平行状态,所以两个移动关节的自由度为 1。综上所述,本巡检机器人机构的自由度为 5。

行走机构对于参考坐标系的位置和姿态可以用一个矩阵来表示,即

$$T = \begin{bmatrix} n & o & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中: n 、 o 、 a 为行走机构的姿态矢量, p 为行走机构的位置矢量。虽然实现三维空间的任意位姿需要机器人具有 6 自由度,由于输电线巡检机器人行走机构落线时总是与输电线在一个平面内,在这种情况下 5 自由度机器人就可以满足要求,从而完成越障。

机器人初始姿态和坐标系的建立如图 7。根据机器人运动学的 $D-H$ 描述方法^[12],每一个位姿:

$${}^{i-1}_i\boldsymbol{T} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_i & -d_i s\alpha_{i-1} \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & d_i c\alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

式中: $c\theta_i = \cos \theta_i$, $s\theta_i = \sin \theta_i$, $c\alpha_i = \cos \alpha_i$, $s\alpha_i = \sin \alpha_i$ 。

于是行走机构目标端的位姿可以表示为

$${}^0_5\boldsymbol{T} = {}^0_1\boldsymbol{T}_1 {}^1_2\boldsymbol{T}_2 {}^2_3\boldsymbol{T}_3 {}^3_4\boldsymbol{T}_4 {}^4_5\boldsymbol{T}_5 \quad (2)$$

表 2 连杆参数表
Table 2 Link variable parameters

<i>i</i>	<i>a</i> _{<i>i</i>-1}	α_{i-1}	<i>d</i> _{<i>i</i>}	θ_i	关节变量
1	200	0	<i>d</i> ₁	90°	- 450 ≤ <i>d</i> ₁ ≤ 450
2	0	0	300	θ_2	$\pi/4 \leq \theta_2 \leq 3\pi/4$
3	400	90°	<i>d</i> ₃	0	- 600 ≤ <i>d</i> ₃ ≤ 600
4	0	-90°	300	θ_4	$-3\pi/4 \leq \theta_4 \leq -\pi/4$
5	0	90°	0	θ_5	$-\pi/3 \leq \theta_5 \leq \pi/3$
6	0	0	200	0	

对于输电线导线,为使行走机构能够夹住目标线路,必须满足以下 2 个条件:1) 行走机构能移动到目标位置;2) 行走机构的开合方向与线路倾斜方向垂直。其中,行走机构的位置矢量由式(1)中 \boldsymbol{p} 给出,其姿态矢量由式(1)中 \boldsymbol{n} 、 \boldsymbol{o} 、 \boldsymbol{a} 给出。设抓取目标线路的方向矢量为 $[a_x \ a_y \ a_z]$,位置矢量为 $\boldsymbol{p} = [p_x \ p_y \ p_z]^T$ 。

令 $\boldsymbol{n} = [a_x \ a_y \ a_z]^T$ 并将式(1)代入式(2)中得:

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{n} & \boldsymbol{o} & \boldsymbol{a} & \boldsymbol{p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^0_1\boldsymbol{T}_1 {}^1_2\boldsymbol{T}_2 {}^2_3\boldsymbol{T}_3 {}^3_4\boldsymbol{T}_4 {}^4_5\boldsymbol{T}_5 \boldsymbol{T}$$

等式两边依次左乘矩阵 ${}^{i-1}_i\boldsymbol{T}^{-1}$,把关节变量依次分离出来求解。由于矢量 \boldsymbol{n} 和 \boldsymbol{p} 提供了 6 个已知量,在解偶过程中可以分别解出 5 个关节变量的值,表 1 为关节参数表:

$$d_1 = p_z - 600$$

$$\theta_5 = \arcsin c_z$$

$$\theta_2 = \arcsin \sqrt{n_x^2 / (1 - n_z^2)} - \arcsin (n_x / n_y)$$

$$d_3 = \frac{(n_y p_y + n_x p_x - 400 c_2 n_y + 400 s_2 n_x - 200 n_x)}{(n_x c_2 + n_y s_2)}$$

$$\theta_4 = -\arcsin \sqrt{n_x^2 / (1 - n_z^2)}$$

当解出关节变量值分别都在各关节的极限转角范围内时,机器人便可以实现输电线的抓取,从而实现越障。

4.3 机器人工作空间分析

利用蒙特卡洛方法,可得到机器人操作臂跨越障碍物时的工作空间。当机器人沿线路行走时,耐张线夹为尺寸最大的障碍物,机器人行走机构需要到达引流线下方并抓紧引流线,在此过程中需要保证行走机构与耐张塔处的各种电力金具不发生干涉。图 7 为机器人的作业空间。

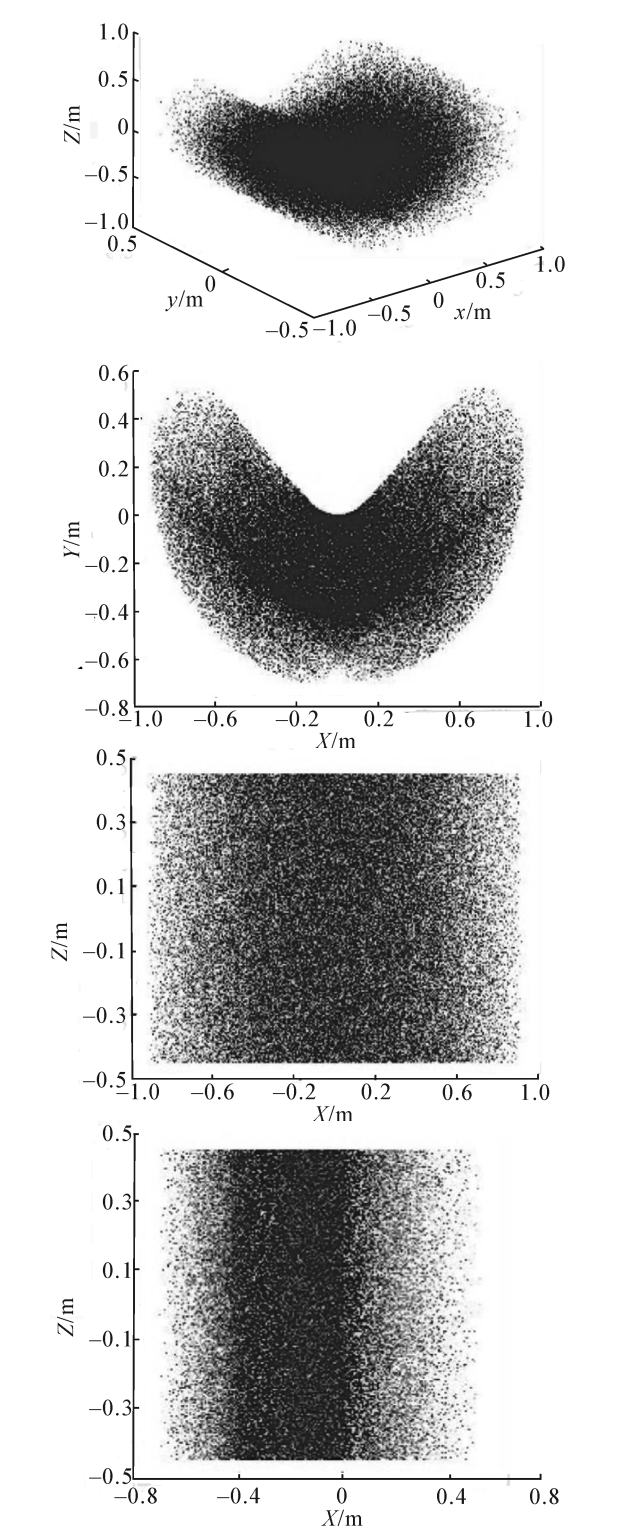


图 7 机器人作业空间

Fig.7 Workspace of robot

由图 7 可以看出,线路障碍物的尺寸都在作业空间内,所以当机器人跨越障碍物时,均可以在机器人工作空间内找到一条路径使脱线行走机构由障碍区域一侧运动到障碍区域的另一侧,表明该机器人具备跨越复杂障碍物的能力。

4 运动仿真验证

4.1 越障仿真分析

机器人跨越引流线是两手臂交替前行的方式跨越障碍物,所以机器人仿真过程只进行单臂跨越障碍物的仿真分析。

如前文所述,考虑到耐张线夹处越障空间狭小和机器人越障安全稳定的要求,机器人应尽量避免过多关节的联动。根据障碍物和环境的特点,规划机器人末端的运动轨迹为图 8 所示。

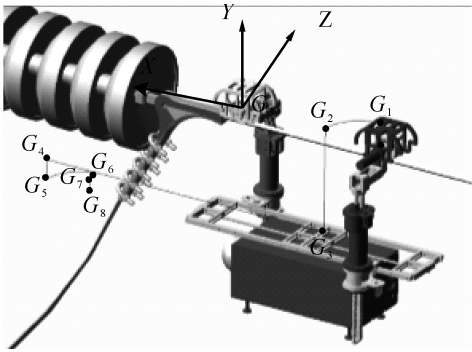


图 8 机器人末端运动轨迹

Fig.8 Trajectory of the strain clamp navigation

首先机器人通过后臂的伸缩关节 d_3 使机器人末端由 G_0 到达 G_1 位置,通过后臂的关节 θ_5 使机器人末端由 G_1 到达 G_2 位置,通过前臂的伸缩关节 d_4 使机器人末端由 G_2 到达 G_3 位置,通过关节 d_7 和 d_8 使机器人末端由 G_3 到达 G_4 位置,依次使机器人的末端到达 G_8 ,从而使机器人跨越耐张线夹。采用 step 函数规划各关节速度,step 函数为

Step(x, x_0, h_0, x_1, h_1) =

$$\begin{cases} h_0, & x \leq x_0 \\ h_0 + (h_1 - h_0) \left(\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \right)^2 \left(3 - 2 \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \right), & x_0 < x < x_1 \\ h_1, & x \geq x_1 \end{cases}$$

仿真由机器人检测到耐张线夹时开始,如图 9 所示,该位置为机器人的初始位置,前轮中心为坐标零点,通过后手爪脱线,两臂交替使后轮跨越耐张线夹,此时机器人末端目标点坐标为 $G_8(0.35, -0.33, -0.28)$ 。

图 9(a)是各关节速度曲线,图 9(b)是机器人末端在 $X、Y、Z$ 三个方向上的位移 $s_x、s_y、s_z$ 曲线,图 9(c)为末端速度 v 在 $X、Y、Z$ 分量 $v_x、v_y、v_z$ 曲线,可知,该机构的越障过程是通过 6 个关节的联动实现。

由以上仿真分析可以看到,机器人可以跨越耐张线夹,并顺利沿引流线行走完成输电线巡检工作。

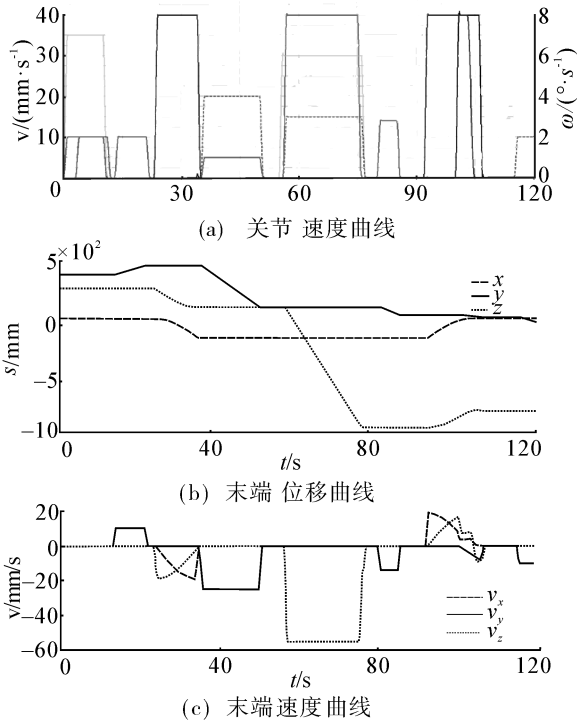


图 9 越障运动曲线

Fig.9 Curve of navigation movement

4.2 试验验证

在实验室搭建了 110 kV 引流线路模型,模拟现场的线路环境,进行机器人引流线的通过实验。环境模型的主要参数:导线型号为 LCJ-185/30 正常型钢芯铝绞线,跨距为 4 000 mm,最大弧垂为 1 450 mm,导线的最大倾斜角度为 80° ,耐张线夹型号为 NLD-4 型,并沟线夹型号为 JB-4。

本次试验的主要目的:

- 1) 验证机器人机构设计的合理性;
- 2) 运动规划的可行性;
- 3) 引流线的通过能力。

试验的主要步骤为:

- 1) 将机器人以两臂间距 420 mm、质心在两臂中间的状态放置在实验线路的一端。驱动机器人以 10 mm/s 的速度趋近防振锤,机器人减速接近防振锤,并跨越防振锤,如图 10(a) 所示。
- 2) 后臂脱线并交错跨越耐张线夹,落在引流线上并用后臂手爪抓紧引流线,如图 10(b) ~ (c)。
- 3) 另一手臂脱线并交错跨越耐张线夹,交错后

抓紧引流线,如图 10(d)所示,跨越耐张线夹完成。

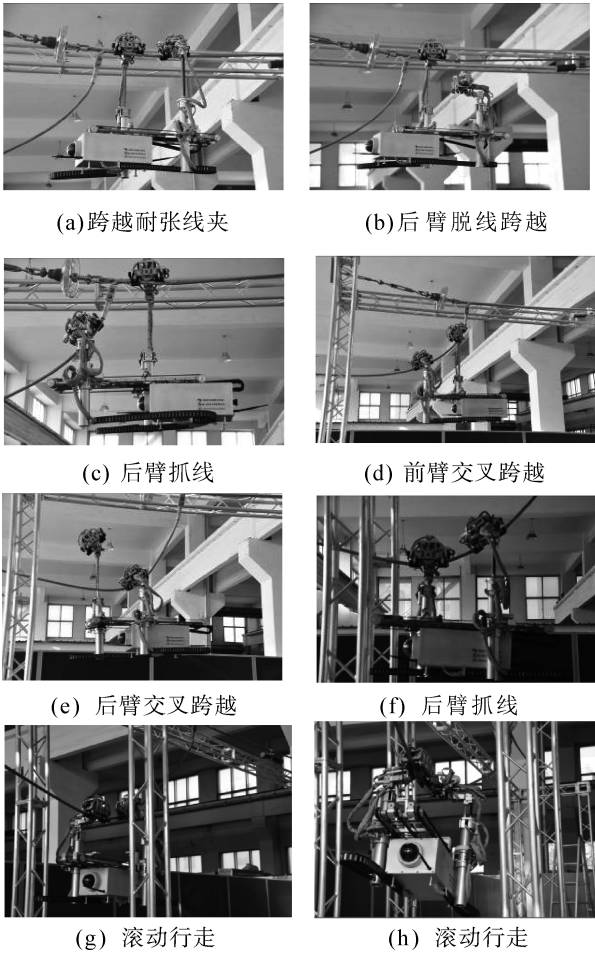


图 10 机器人跨越引流线试验图
Fig.10 Jumper navigation process

4) 机器人所处引流线倾角小于 -20° ,采取交错方式在引流线上行走,如图 10(e)~(f)。

5) 机器人所处引流线倾角小于 20° ,采取滚动方式在引流线上行走,如图 10(g)~(h)。

6) 机器人以上述类似方式跨越前方剩余的耐张线夹。

试验结构表明机器人能够完成从相线到引流线再到相线的跨越,验证了机器人机构设计的可行性,表明机器人具备跨越耐张杆塔的能力。

5 结束语

针对 110 kV 输电线路环境特点和机器人巡检任务需求,提出了一种新型巡检机器人机构。分析和仿真试验结果表明,采用轮臂复合式机构并通过增加一个腕关节,提高了机器人跨越障碍物的能力和越障灵活性,同时采用质心调节机构提高了机器人的运动平稳性。与现有的巡检机器人机构相比,本文提出的机构具结构紧凑,越障能力强,运动平稳等优点,因而更具有实用价值。

参考文献:

[1] SAWADA J, KUSUMOTO K, MUNAKATA Y, et al. A mobile robot for inspection of power transmission lines [J]. IEEE transactions on power delivery, 1991, 6(1): 309-315.

[2] MOROZOVSKY N, BEWLEY T. SkySweeper: A low DOF, dynamic high wire robot [C]//Proceedings of 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Tokyo, Japan: IEEE, 2013: 2339-2344.

[3] TOTH J, POULIOT N, MONTAMBAULT S. Field experiences using LineScout technology on large BC transmission crossings [C]//Proceedings of the 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry. Montreal, QC, Canada: IEEE, 2010.

[4] PEUNGSUNGWAL S, PUNGSIRI B, CHAMNONGTHAI K, et al. Autonomous robot for a power transmission line inspection [C]//Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Sydney, NSW, Australia: IEEE, 2001: 121-124.

[5] DEBENEST P, GUARNIERI M. Expliner-From prototype towards a practical robot for inspection of high-voltage lines [C]//Proceedings of the 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry. Montreal, QC, Canada: IEEE, 2010.

[6] PHILLIPS A, ENGDAHL E, MCGUIRE D, et al. Autonomous overhead transmission line inspection robot (TI) development and demonstration [C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI). Zurich: IEEE, 2012: 94-95.

[7] 吴功平, 肖晓晖, 肖华, 等. 架空高压输电线路巡检机器人样机研制 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30(13): 90-93, 107.

WU Gongping, XIAO Xiaohui, XIAO Hua, et al. Development of a mobile inspection robot for high voltage power transmission line [J]. Automation of electric power systems, 2006, 30(13): 90-93, 107.

[8] WANG Hongguang, JIANG Yong, LIU Aihua, et al. Research of power transmission line maintenance robots in SIA-CAS [C]//Proceedings of the 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry. Montreal, QC, Canada: IEEE, 2010.

[9] 孙翠莲, 王洪光, 王鲁单, 等. 一种改进的超高压输电线路巡检机器人越障方法 [J]. 机器人, 2006, 28(4): 379-384.

SUN Cuilian, WANG Hongguang, WANG Ludan, et al. An improved obstacle navigation method for ultra-high voltage power line inspection robot [J]. Robot, 2006, 28(4): 379-

384.

[10] FUKUDA T, SAITO F, ARAI F. A study on the brachiation type of mobile robot (heuristic creation of driving input and control using CMAC) [C] // Proceedings of IROS '91. IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems '91. Intelligence for Mechanical Systems. Osaka, Japan: IEEE, 1991: 478-483

[11] HAN S S, LEE J M. Path-selection control of a power line inspection robot using sensor fusion [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems. Seoul, Korea: IEEE, 2008: 8-13.

[12] POULIOT N, MONTAMBAULT S. Geometric design of the LineScout, a teleoperated robot for power line inspection and maintenance [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation. Pasadena, CA, USA: IEEE, 2008.

作者简介:



岳湘,男,1986年生,博士,主要研究方向为机器人机构设计。



王洪光,男,1965年生,研究员,博士生导师,主要研究方向为机器人机构学、特种机器人和机电一体化技术等。发表学术论文170余篇,获得发明和实用新型专利40余项。



姜勇,男,1975年生,副研究员,主要研究方向为机器人智能控制、嵌入式系统、特种机器人系统及应用。发表学术论文20余篇,参与编写专著2部。

第 9 届智能代理和人工智能国际会议

International Conference on Agents and Artificial Intelligence

The purpose of the International Conference on Agents and Artificial Intelligence is to bring together researchers, engineers and practitioners interested in the theory and applications in the areas of Agents and Artificial Intelligence. Two simultaneous related tracks will be held, covering both applications and current research work. One track focuses on Agents, Multi-Agent Systems and Software Platforms, Distributed Problem Solving and Distributed AI in general. The other track focuses mainly on Artificial Intelligence, Knowledge Representation, Planning, Learning, Scheduling, Perception Reactive AI Systems, and Evolutionary Computing and other topics related to Intelligent Systems and Computational Intelligence.

Each of these topic areas is expanded below but the sub-topics list is not exhaustive. Papers may address one or more of the listed sub-topics, although authors should not feel limited by them. Unlisted but related sub-topics are also acceptable, provided they fit in one of the following main topic areas:

- 1. Agents
- 2. Artificial Intelligence
- Area 1: Agents
- Area 2: Artificial Intelligence
- Website: <http://www.icaart.org/>