

基于履带式林地消防机器人整体设计的研究

李连鹏 廖登华 黄田

中冶京诚工程技术有限公司

DOI:10.12238/ems.v5i12.6916

[摘要] 随着国内的森林覆盖面积不断扩大,林木储量稳步提高,森林资源受到重视,但这种类型的资源修复速率极其缓慢。在各种形式的资源浪费中,森林火灾引发的危害性极大,森林资源的浪费直接影响了森林资源价值的发挥。针对目前扑灭林区火灾的情况,设计了一种林地消防机器人,它可以在森林火灾的复杂环境中平稳运行。能够在指令下发后迅速到达现场,进行火灾的扑灭,减小人员的伤亡,最大限度降低损失。文章研究分析了履带式林地消防机器人的总体设计。考虑林区工作环境及应用区域,初步分析林地消防机器人的设计要求。在设计要求的基础上,将消防机器人分为以下几类机械系统及控制系统,本文主要对机械系统进行分析,机械系统包含林地消防机器人的行走系统、执行系统及驱动系统。本文研究的履带式机器人在林区发生严重火灾时,能够对火灾现场的数据进行采集与反馈,利用喷水系统对火点进行扑灭,能够代替消防人员进入火灾现场,具有适应性强、安全可靠等特点。

[关键词] 消防机器人; 行走系统; 执行系统; 驱动系统

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A

Research on the overall design Crawler Woodland Fire-fighting Robot

Lianpeng Li Denghua Liao Tian Huang

Capital Engineering & Research Incorporation Limited

[Abstract] With the expansion of forest coverage and the steady increase in timber reserves in China, forest resources have been receiving increasing attention. However, the restoration rate of this type of resource is extremely slow. Among various forms of resource waste, forest fires pose the greatest threat and directly affect the value of forest resources. In response to the current situation of extinguishing forest fires, a woodland firefighting robot has been designed, which can operate smoothly in the complex environment of woodland fires. It can quickly reach the scene after receiving commands, extinguish the fire, minimize casualties, and maximize loss reduction. Propose the overall design of a tracked woodland firefighting robot. Consider the working environment and application area of the woodland and analyze the design requirements of the firefighting robot. Based on the design requirements, the firefighting robot is divided into several mechanical systems and control systems. This paper mainly analyzes the mechanical system, which includes the walking, actuation, and drive systems of the woodland firefighting robot. The tracked robot studied in this paper is capable of collecting and providing feedback on data from the site of a serious fire in the woodland, using its water spraying system to put out the fire and acting as a substitute for firefighters to enter the scene. It has characteristics such as strong adaptability, safety, and reliability.

[Key words] Fire-fighting Robot; walking System; Actuation System; Drive system;

1 概述

1.1 研究背景。随着机器人技术更新与发展,自动化水平不断进步,机器人广泛应用于灭火中^[1],一定程度上降低了林地重大火灾事故的发生概率,能够辅助消防人员进行灭火,对森林资源进行维护。目前火灾探测机器人、消防救援机器人、智能巡检机器人等特种机器人已经广泛应用于火灾扑灭领域^[2],对我国林地机器人相关技术发展具有积极的影响。

1.2 研究目的与意义。消防机器人属于特种机器人,可以检测到各种林火类型,并进行高效的灭火和救援作业。由于林地环境存在斜坡、沟壑、倒木等复杂路况,要求消防机器人在移动过程中对地形实时判断,从而调整前进路线。同时还要保证运动的稳定性。该机器人在推广应用之后,将会提升我国的森林消防水平,更好地保护我国森林资源,减少人员和财产的损失^[3]。因此,研制可以在林地复杂环境下高效地完成消防作业的机器人,

具有十分重要的现实意义。

1.3国内外研究现状。(1)国外研究现状。国外在消防机器人方面做了大量的研究并取得了一定的成果。上世纪80年代开始对消防机器人进行研究,较早开展研究的国家是美国和前苏联,其次是德国、日本、英国等国家。(2)国内研究现状。目前,国内的消防机器人主要具备灭火、侦测、巡检、预警、应急救援等功能。苏州某公司研制的大型灭火机器人,该机器人装配了细水雾冷却系统和防高温涂层,在灭火剂充足的情况下可在温度800℃-1000℃的环境中工作1.5h以上。

北京某公司研制出了一款耐高温的履带式消防机器人。该机器人采用多层分隔热瓦同时在机身采用分区域导热设计,该机器人可以持续在1000度以上的高温工作0.5h以上,实现了超高温环境下工作。

2017年国内某公司成功研发出一款智能消防机器人,这款机器人更多的偏向于智能化。具备自动避障、全景成像、自动寻火、热成像等诸多功能,使国内的消防机器人研究升级为第三代机器人^[4]。

1.4研究方法。主要针对当前森林火灾的出现频率以及当前应对森林火灾的方法,设计出一种适应森林环境的消防灭火机器人,使该机器人具有检测明火、扑灭火焰的功能。

(1)履带式消防机器人的整体设计,主要包括行驶机构以及执行机构,构建林地消防机器人的整体框架。(2)研究消防机器人的机械结构设计,根据林地消防机器人复杂工作环境对其行走系统、执行系统以及驱动系统进行合理设计。(3)按照选定的行走机构对其进行运动分析,对运动过程中不同的行走路线以及遇到的障碍物进行受力分析和动力学分析,确定消防机器人可以达到预期的功能。

2 履带式林地消防机器人整体设计

本文的消防机器人采用履带式的移动机构代替传统的汽车轮胎,巨大的动力和履带可以使机器人克服复杂的地形、及时高效地巡查森林以及发生火灾后的灭火。

2.1林地消防机器人设计要求。为了应对复杂的森林环境,对消防机器人在整体结构、移动速度、越障性能、动力性能、负载项目和工作环境等要求如下:

整体结构:外部结构尽量简单,要有耐高温,防爆,防尘等性能,以保证内部部件的正常运转。

移动速度:可根据路面情况调节车速。

越障性能:当机器人遇到沟壑或石块时,可以采用低速行驶的方式来减少障碍物对机器人的冲击力,以确保机器人安全平稳地通过。

动力性能:为了提高机器人的动态性能,应尽可能地减轻其载荷。

负载项目:包括位于前端的机械臂和喷水机构等。

工作环境:林地泥泞路面、陡峭的山坡、灰尘以及浓烟等环境。

基于以上分析,确定本文研究林地消防机器人的主要任务:对我国广大的林区展开巡逻,遇到火灾及时反馈,代替消防员进入火灾现场进行灭火或者救援等工作。机器人的整机性能指标

要求见表2-1。

表2-1 履带式消防机器人性能指标要求

	项目	指标
		移动机构
	满载自重(kg)	<200
	结构尺寸(mm)	1200×700×600
行走机构要求	巡航最高速度(m/s)	2.5
	续航能力(h)	2
	爬坡角度(°)	30°
	越障能力	林地一般障碍物
	转向能力	可原地转向
	机械手自由度	4
	最大抓取重量(kg)	15
执行机构要求	工作半径(m)	0.7
	防护性能	防水、防爆、防尘
	防爆等级	Exp II BT4
	控制方式	无线遥控

2.2林地消防机器人总体方案设计。通过对消防机器人的整体结构和技术性能参数分析,消防机器人主要由两部分组成,包括控制系统和机械系统。机械系统主要由行走系统、驱动系统、传动系统以及喷水系统组成,控制系统在信号传输下驱动电机。

2.2.1行走机构选择。林区消防机器人行走机构的选择是消防机器人研究的关键,消防机器人较典型的运动载体有履带式、多足式和轮式等三种。

仿生腿式行走机构机器人,这样的设计结构可以使其面对障碍物时通过跳跃的方式完成越障,机器人的几条腿之间完美配合可以达到减震的目的,具有较高的稳定性。但仿生腿式行走机构控制系统比起履带式更加复杂,同时耗能高、易损坏,因此运动速度较低。

轮式行走机构机器人,优点是使用寿命长、控制方面容易保养、移动速度快和稳定性较高。但在载重方面,不如履带式大、越障能力相对较弱,对工作环境具有较高的要求,不能在复杂的地形条件下工作。

履带式行走机构机器人,其优点是:履带与地面巨大的接触面积,保证了机器人在工作时更加平稳。和其他方式的行走机构相比承受相同的质量时,对地面产生的压强较小,可以使其行驶在松软等复杂的路面。履带式机器人在前进过程中,由于其履带的结构特点,履带的前端会和路面形成一个夹角,这个夹角的存在使机器人可以快速地通过凹凸不平的路面,同时还具有一定的越障能力。履带行走机构一般还具有耐高温热辐射、防爆、不易燃的特点,使其可以在多种环境下正常工作。

综上所述,得出履带式行走机构具有较大的支撑面积,滚动阻力较小,而且履齿与地面相互作用,能够增强整机的附着性,从而使其不易打滑,越障性能也较好。此外,履带式行走机构在跨越障碍、坡道行驶等方面比其他行走机构更加高效。

本文研究的林地消防机器人采用履带式行走机构。常用的履带底盘主要有履带关节式行走机构和履带固定式行走机构两种形式,履带可变式行走机构结构相对复杂、行走缓慢和控制较

为繁琐,不适合复杂的林地路面,因此履带固定式行走机构是林区消防机器人的最佳选择。

2.2.2执行系统确定。为了达到工作需要,配合底盘结构,一方面机械臂需要有足够的刚度搬移障碍物,另一方面在结构上需要有足够的自由度,保证夹持的灵活与稳定,因此机械手臂至少由四个自由度数,由三个舵机来控制手腕、臂关节和肩关节方向。

执行系统的另一部分为喷水系统,主要任务是灭火、冷却、稀释,消防机器人的喷水系统主要确定射程和方向,驱动机构接收信号后,带动传动机构、变流机构以及机体,实现流速的改变。喷水系统包括驱动机构、传动机构、变流机构及机体,同时考虑工作流量、灭火剂及消防接口的选择。

喷水系统电机型号保持一致,喷水系统回转与俯仰的驱动机构在同一直线上,且其正反转操作均为相同指令,同时驱动电机保持不变。喷水机构回转驱动机构所连接的电动机型号与喷水机构俯仰的驱动机构所连接的电动机型号相一致,并且在电机选型上保持同型号电机。由于该喷水器具有喷水量大、可调节范围广等优点,故可适用于不同喷水器之间的调节。喷水器的喷水口可以根据所要喷水的高度进行调节,同时可以根据喷水口来控制水压,使之保持在设定值。经过研究,电机、电动推杆的型号分别为Z4D40、PSXTL,具体参数见表2-2、表2-3所示。

表2-2喷水系统电机型号及参数表

型号	额定电压(V)	输出功率(W)	空载转速(r/min)	空载电流(A)	负载转速(r/min)	负载力矩(N.m)	负载电流(A)
Z4D40	24	40	3100	0.8	3000	127	2.1

型号	额定电压(V)	行程(mm)	安装尺寸(mm)	推力(N)	速度(mm/s)	输出功率(W)	额定电流(A)
PSXTL	24	100	205	500	20	25	2-3

喷水系统变流机构能使水流进入与流出的速度始终保持恒定,不仅能够实现精确的流量控制,还能够保证水流在通过闸门时的速度处于恒定状态,在直喷与伞喷模式间自由切换。该导流头存在直射流和喷雾射流两种形态,通过在射流头内流道中部加装“杯芯”状挡板,改变射流方向,利用电机控制调整水炮炮头,实现两种不同形态的切换。此外,通过将弹簧安装到“杯芯”形挡板内,调节喷芯的开孔率,流体产生横向环流,增加流体速度和方向的变化,达到导流功能。通过在“杯芯”状挡板内安装喷头开关,实现喷雾形态切换。喷水系统的传动机构主要为蜗轮、蜗杆及齿轮。对于传动机构启动以及停止的稳定性,均要契合标准,蜗杆采用35CrMo,表面淬火,硬度为45~50HRC;蜗轮选用ZcuSn10Pb1,金属模铸造。考虑到传递的功率不大,转速较低,选用ZA蜗杆传动,精度8级。

喷水系统还要进行灭火器的选择,灭火器的种类很多,按所充装的灭火剂可分为清水、泡沫、酸碱、二氧化碳等;清水灭火剂无污染,对森林环境影响较小,林中存在湖泊、溪流、水库等水源,因此林区出现火灾时,水源充足,灭火效率提高。本文履带式林地消防机器人选用清水灭火剂,该机器人提供管路连接消防车,消防车进行水压调节。查阅国标 GB/T 1804-2000,采用

50mm规格的内扣式消防接口。

2.2.3驱动方式确定。在消防机器人的驱动模式上,既要考虑到恶劣的工作环境,又要考虑到救援任务的紧急程度、续航时间、动力充足等问题,还要考虑到成本等因素。目前,机器人常用的驱动方式主要有液压驱动、气压驱动和电动驱动三种基本类型。

液压驱动具有功率大、结构简单等特点,但是需要增加液压源,并且容易出现液体泄漏,在林地作业时会对环境造成污染,使得维护成本增加,因此更多的是用在大功率的机器人系统上。气压驱动使用空气作为工作介质。具有节能、产量/质量比高、安装维护方便、对环境无污染的优点,但与液压驱动相比,同体积条件下功率较小,难于实现伺服控制,在上、下料和冲压机器人中应用较多。电动驱动不需能量转换,使用方便,控制灵活。信号输出后通过电机驱动轮轴,在轮轴的作用下驱动轮产生运动,带动机器人各关节进行运动。表2-4所示为各种驱动方式的优缺点,因电动驱动具有环保清洁、驱动效率高等优点,同时考虑林地特殊工作环境,选用污染程度低、开环控制系统的电动驱动作为消防机器人驱动方式。

驱动方式	液压驱动	气压驱动	电动驱动
优点	动力大、力(或力矩)与惯量大、易于实现直接驱动	能源、结构都比较简单,污染较小,使用安全	使用方便,控制灵活,效率高,速度和位置精度都很高
缺点	工作性能受温度影响,液体易泄漏	工作平稳性差,位置控制困难	直流有刷电机不能直接用于要求防爆的环境中

驱动系统中,电池驱动电机制动器,制动器通过信号传输实现整车控制。驱动电机在接收到制动器的电力传输后,通过机械传输控制联轴器,联轴器带动轮轴驱动消防机器人进行工作。

3 结论

(1)根据林地的工作环境,介绍并提出林地消防机器人技术要求,并在此基础上对机器人做出了总体系统的方案设计;(2)通过综合分析多种不同行走机构的优缺点,确定固定式履带为消防机器人的行走机构;(3)考虑消防机器人工作需要,选择机械手臂作为执行系统的一部分,对喷水系统的各个机构进行了分析,确定电驱动为消防机器人的驱动方式。

[参考文献]

[1]Q.Zhang,G.Ke.Kinematic Analysis of Fire-fighting Robot Under the Impact of Waterflow Recoil force[C].International Conference on Mechatronics and Automation,2015:264-268.

[2]T.Rakib, M. A. Rashid Sarkar. Design and Fabrication of an Autonomous Fire Fighting Robot with Multisensor Fire Detection Using PID Controller [C]. International Conference on Informatics, Electronics and Vision,2016:909-914.

[3]OH Y T. Study of Thermal Barrier Coating on Fire Fighting Robot[J].Journal of the Korean Society of Mechanical Technology,2018,20(3):372-376.

[4]钱铖,蒋静法,李斌.消防机器人的现状与发展方向[J].消防技术与产品信息,2018,31(12):82-84.