

## 面向森林火灾救援的消防水带自动收带装备设计

王 勇, 康渴楠, 葛小蕊

(青岛理工大学 机械与汽车工程学院, 青岛 266525)

**摘要:** 针对森林火灾消防远程救援供水系统的水带自动收卷难题, 设计开发了一款面向森林火灾救援的消防水带自动收带装备。该消防水带自动收带装备主要包括: 水带收卷导向器(位于消防车前端)、水带收卷器(核心部件)以及水带收卷储存仓。重点对水带收卷器的整体结构、关键部件以及控制系统进行了理论分析和试验研究。试验测试结果表明, 基于设计开发的消防水带自动收卷装备系统实现对 1~10 km 长度的消防水带自动收卷工作, 满足实际消防救援需求。

**关键词:** 消防救援; 水带收卷; 自动; 远程; 森林火灾

**中图分类号:** U273.93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4602(2025)01-0118-05

## The design of automatic rewinding equipment of fire hose for forest fire rescue

WANG Yong, KANG Kenan, GE Xiaohan

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266525, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of automatic hose rewinding in the remote rescue water supply system for forest fire fighting, an automatic fire hose rewinding equipment for forest fire rescue is designed and developed. The automatic fire hose rewinding equipment mainly includes a hose rewinding guide (located at the front end of the fire truck), a hose rewinder (core component) and a hose rewinding storage bin. Theoretical analysis and experimental research are focused on the overall structure, key components and control system of the hose rewinder. The test results show that the designed and developed automatic fire hose rewinding equipment system can realize the automatic rewinding of fire hoses with a length of 1-10 km and meet the actual needs of fire rescue.

**Key words:** fire rescue; hose rewind; automatic; remote; forest fire

随着近年来森林火灾的不断发生, 火灾的威胁及造成的损失也在不断增大, 复杂的火情对消防救援人员提出了更高的要求。由于森林火灾救援具有作战持续时间长、劳动强度高、救援任务重等特点, 对森林火灾救援供水保障技术提出更严苛的要求。针对森林火灾救援的实战需求, 设计开发远程供水系统, 是有效应对森林大载荷火灾的必要灭火装备系统。远程供水系统之所以能够在森林火灾救援工作中起到至关重要的作用, 主要是由于其一方面能够解决森林火灾对于大流量、持续长时间供水的需求, 另外一方面, 能

收稿日期: 2023-12-18

基金项目: 中国高校产学研创新基金资助项目(2021JQR025); 临沂市重点研发项目(2022029)

作者简介: 王 勇(1988-), 男, 山东临沂人。博士, 讲师, 主要从事智能消防装备开发方面的研究。E-mail: wangecust@163.com。

够解决因为火源点与水源之间由于复杂路况、地势等原因造成的供水困难问题<sup>[1-2]</sup>。

森林火灾远程供水系统通常由供水取水模块、逐级加压供水系统、消防水带自动收(敷)带装备以及消防主战车组成。目前针对供水取水模块和消防主战车部分已经有较为成熟的技术和产品可供选择<sup>[3-4]</sup>。对于远程供水系统中的水压增压系统模块,现阶段国内外相关企业及研究单位已经有针对性地进行了大量研究,并且部分研究成果可用于森林火灾的远程供水增压系统模块<sup>[5]</sup>。但是对于森林火灾远程供水系统中的水带自动收(敷)带装备,目前国家相关标准和设计规范还不健全,同时相关研究仅在国外消防装备技术较为发达的国家有应用。国外的消防水带自动收(敷)带装备,由于在设计之初没有充分考虑国内应用场景,所以直接借用国外装备技术,并不能够完全满足我国森林火灾救援的实际需求。因此,有针对性地结合国内森林火灾地势、地形及实际需求,设计开发适用于国内森林火灾远程供水的消防水带自动收带装备势在必行。

远程供水系统不但可以完成消防部队的远程供水和灭火的作战需求,而且可以用于抗洪排涝、抗旱输水、地震和坑道塌方排水、自然灾害时的生活用水输送等。解决远程消防救援供水的关键在于消防水带的敷设和收卷。其中,消防水带的自动敷设目前已经有了诸多成熟的解决方案,并在消防救援实战中得到应用<sup>[6-7]</sup>。消防远程供水系统的关键技术难题在于消防水带的收卷,这主要是由于远程供水系统通常的输送距离在1~3 km甚至6 km以上,如果单靠消防救援人员进行手工收卷水带,不仅劳动强度大、效率低,而且森林火灾救援存在地势险峻、道路崎岖等复杂路况,更是增加了收卷水带的难度。

目前,国内针对水带的自动收卷问题开展了诸多研究。张文斌<sup>[8]</sup>针对人工收卷水带效率低问题,设计开发了一款手自一体消防水带收卷器,可实现手动和电动两种模式自由切换。但是该设备仅适用于短距离水带收卷,不能够满足远程长距离水带收卷工作。为了进一步完善该水带收卷装置的功能,张文斌等<sup>[9]</sup>设计了新型折卷、滚卷式消防水带收卷器,实现盘状和条状两种形式水带收卷。冯怡然等<sup>[10]</sup>针对消防水带晾晒及收卷问题,设计开发了适用于消防水带晾晒的自动收卷装置,该装置主要用于单根水带的晾晒及收卷工作,不能够用于火灾救援现场的水带实时收卷。吴国鑫<sup>[11]</sup>基于Solidworks软件,对水带收卷器的结构强度进行了分析研究。针对消防水带晾晒收卷设备智能化程度低的现状,冯怡然等<sup>[12]</sup>在文献[10]的设计基础上,设计了消防水带智能化干燥收卷设备,采用了温度、湿度等智能传感器实现对消防水带干燥收卷装备内部环境的智能监测、调节温/湿度。

综上所述可知,目前对于消防远程供水系统的水带收卷研究工作相对较少,但是远程供水的水带收卷装备的设计开发实际需求极为迫切。为此,本文就远程消防救援供水系统的消防水带自动收带装备设计与实现进行分析,包括:消防水带收卷装备的整体结构设计、消防水带收卷装备关键部件设计以及消防水带收卷装备控制系统设计等。

## 1 消防水带收卷装备的整体结构设计

通过分析国内森林火灾救援的装备配置数据及相关研究文献资料可知,需要采用具有四驱功能的高性能水带运载车才能够胜任满载工况下爬山、越野作业任务<sup>[13]</sup>。为此,本文选取了国内生产的某款四驱卡车底盘作为消防水带自动收带装备的运载车。该款消防水带自动收带装备的设计,拟采用“模块化”设计思想,消防水带自动收带装备整体结构主要包括:水带收卷导向器(位于消防车前端)、水带收卷器(核心部件)、水带收卷储存仓。所设计的消防水带收卷装备配置了水带的收卷储存仓,消防水带不使用时放置于水带收卷储存仓内(条状平铺于储存仓),在进行消防救援时将水带展开,完成水带的敷设。本装备主要解决消防作战部队每次完成消防救援作业任务后,对长达数千米的消防水带的收卷工作。由于灾害现场使用后的消防水带外部都是湿的,内部又存有很多的积水,质量很重,收卷前必须对消防水带先进行处理,然后压扁才能收卷整齐。为此,结合消防水带收卷的实际任务需求,设计开发了能够水平自动收卷并完成码放的水带收卷装备,该装备的关键核心部件为消防水带收卷器。

## 2 消防水带收卷器结构设计

为了在消防水带收卷过程中尽可能减少人为操作,该水带收卷器采用自动化设计方法,内部应用多种传感控制器件,以提高其自动控制能力。所设计的消防水带收卷器主要包括外壳、传送机构、水带整平机构,外壳一侧还设置有传感器。消防水带收卷器的整体结构如图 1 所示。

该消防水带收卷器设置了传送机构和可升降的整平机构,消防水带收卷作业时,水带在传送机构和整平机构之间通过,上滚筒和下滚筒的配合实现对消防水带的排水和整平,方便后续进一步的收卷,减少消防员的工作量,节省了时间,提高了收卷的效率;上滚筒为可升降的,传感器感应到金属接头时,上滚筒机构上升,金属接头顺利通过,不会损坏金属接头,也无需将金属接头处断开,延长了消防水带的收卷长度,同时减少了收卷工作量。

为了减少消防水带收卷过程中电机振动、水带传输运动等对机构操作稳定性的影响,避免因结构失稳而导致水带传输的通过性不足等问题,对消防水带的传送机构和整平机构进行了进一步结构优化和系统提升,尤其是驱动上滚筒的升降杆 1 和 2 采用了机械四杆机构的锁紧原理,提高了机构的稳定性,减少了因振动、电机动力不足等问题出现的杆件结构失稳现象发生。图 2 为传送机构和整平机构主要结构示意图。

## 3 消防水带收卷器控制系统设计

消防水带收卷器控制系统主要对消防水带的收卷器进行系统控制,重点在于消防水带的传送机构和整平机构的运动控制,该消防水带收卷器控制系统采用了 Arduino Nano 作为核心控制器件<sup>[14-15]</sup>。位于消防水带收卷器水带导向机构一侧的金属探测传感器,用于探测消防水带的金属接头,若有金属通过则反馈阶跃信号。同时,为了保证消防水带的金属接头能够顺利通过收卷机器,需要水带收卷器的上滚筒在金属接头通过水带传送带前举升起滚筒。本文将超声波传感器布置在机构两主动滚筒之间靠上位置,用来确定消防水带金属接头是否可靠通过,并采用 Arduino Nano 控制器通过计算超声波传感器反馈的距离变化量来确定金属接头是否通过。利用 Arduino Nano 分别控制 2 个步进电机驱动器,进而控制前后压紧机构的开合,设置 2 个限位开关确保压紧机构能够回正,保证开环控制的 2 个步进电机角度准确。另外,从安全角度考虑,当有紧急情况(如车速长时间不能获取,或前压紧机构开启的情况下水带接头长时间没有通过等)时,Arduino Nano 控制器控制蜂鸣器发出警报声提醒消防人员检查系统。

该控制系统不仅需要保证水带收卷过程中机械结构的正常开启、闭合等动作,还需要与运载消防水带的消防车的车速相匹配,即通过获取车速实现对收卷器驱动电机转速的实时动态调整,从而实现水带收卷速度与车速的匹配。如果车速与水带收卷器的收卷速度不匹配将出现以下无法正常收卷水带的现象:①

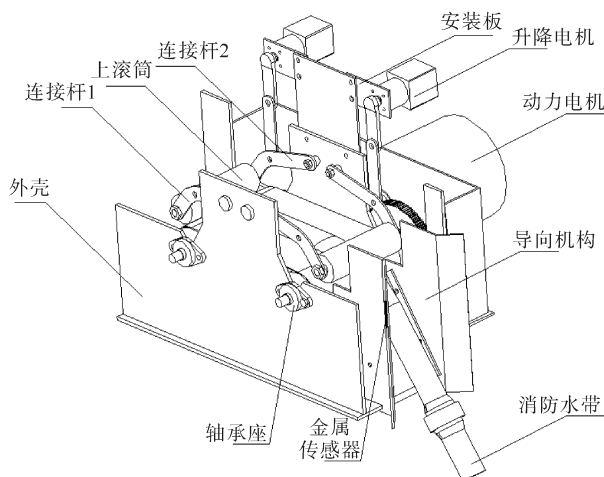


图 1 消防水带收卷器整体结构示意图

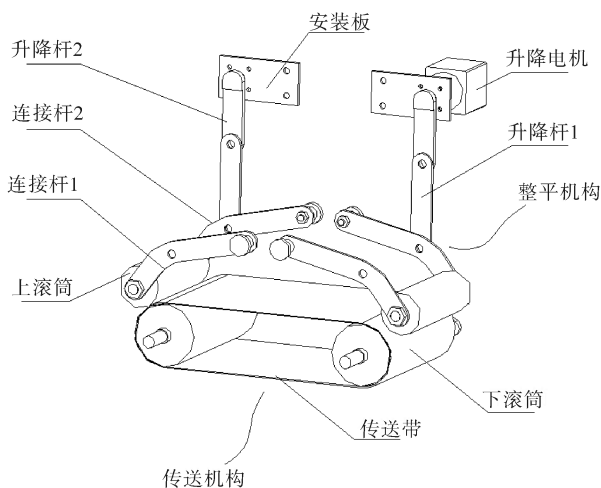


图 2 传送机构和整平机构主要结构示意图

如果车速高于水带收卷速度,将出现水带在收卷器前方堆叠,甚至水带被车轮碾压等现象;②如果水带收卷器收卷速度高于车速,则会出现收卷器拉拽水带的现象,由于驱动器动力不足、过载等原因导致驱动电机过热,甚至损坏收卷器的机械结构。为此,控制系统利用 Arduino Nano 控制器通过蓝牙串口模块与车载诊断系统(On-Board Diagnostisc, OBD)接收器通讯,获取车辆车速信息,并利用集成电路总线(Integrated Circuit, IIC)通讯方式控制数模转换器,输出模拟电压,进而通过驱动电机控制器控制驱动电机转速。驱动电机控制器返回转速脉冲信号给 Arduino Nano 控制器,实现对电机转速的实时动态调整。图 3 为消防水带收卷器控制系统逻辑关系。

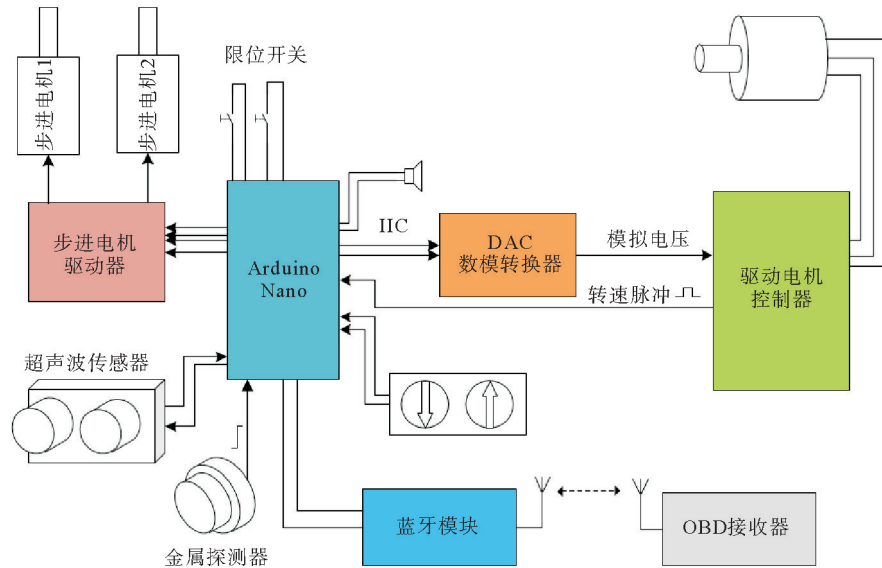


图 3 消防水带收卷器控制系统逻辑关系

为了进一步验证该控制系统在水带收卷过程中的运行情况,利用团队搭建的消防水带收卷器样机,进行了消防用 40 水带收卷测试试验。图 4 为该消防水带收卷器在进行收卷过程中的实际运行情况。

该水带收卷器在进行水带收卷时,消防水带先经过导向机构,再从上滚筒和下滚筒之间通过,将消防水带内的水排出,方便后续消防水带的收卷,整平后的消防水带经传送带传输到另一端。当消防水带的金属接头通过时,传感器感应到金属接头,此时,升降电机带动升降杆 2 转动,通过升降杆 1、连接杆 1 和连接杆 2 带动 2 个上滚筒上升,使得金属接头顺利通过。2 个上滚筒抬起、降落有固定时间间隔,使金属接头顺利通过传送带,然后,2 个上滚筒下降,完成水带的收卷工作。

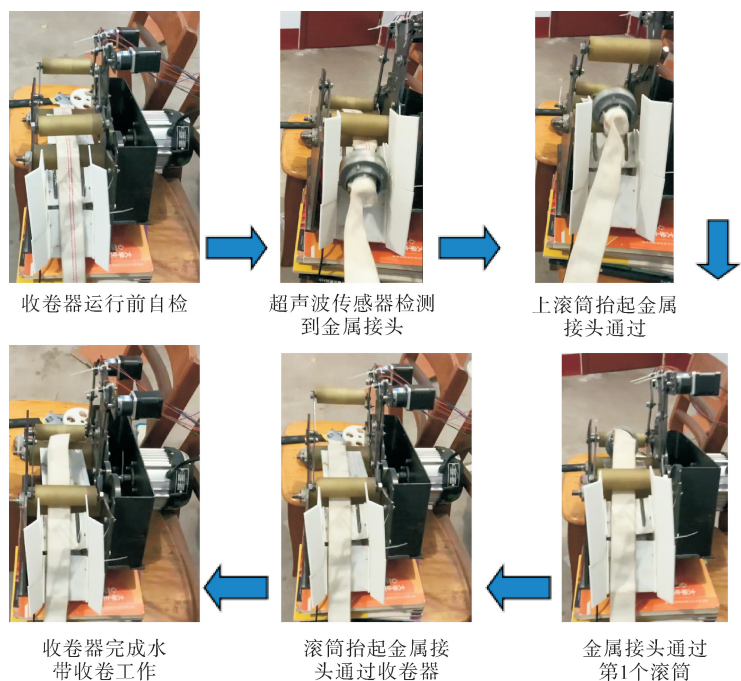


图 4 消防水带收卷器收卷过程试验测试

## 4 结束语

本文设计研究了一款消防水带自动收带装备,重点对消防水带收卷器的机械结构和控制系统部分的设计进行了分析阐述。试验测试分析发现,该消防水带收卷器能够按照设计预期完成对水带的收卷工作,特别是消防水带金属接头的通过性控制,能够满足实际消防水带的收卷工作需求。后期,该款消防水带收卷器,将连同水带运载车进行总装,开展长距离消防水带的收卷应用示范推广工作,未来,消防水带的自动收卷研究,笔者认为将重点沿着以下3个方面开展:

1) 消防水带的自动化收卷研究工作将重点面向消防救援实战应用,特别是对于远程供水系统中的长距离消防水带的收卷研究;

2) 消防水带的收卷装备将与消防车、运载车等其他消防救援装备融合到一起,以提升现阶段消防水带自动收卷无法与消防实战装备相结合的技术问题;

3) 人工智能算法、智能控制技术以及人机工程等多学科交叉融合,会在消防水带收卷装备的开发设计工作中得到应用,不断提升消防水带收卷装备的智能化程度和技术水平。

### 参考文献(References):

- [1] 刘海宁. 远程供水系统在灭火救援中的几点思考[J]. 科技创新与应用, 2020(15):132-133.  
LIU Haining. Some thoughts on remote water supply system in fire fighting and rescue[J]. Technology Innovation and Application, 2020(15):132-133.
- [2] 邓凯夫,辛晶,朱泰运. 远程供水系统在火场供水中的应用研究[J]. 中国应急救援, 2019(3):52-56.  
DENG Kaifu, XIN Jing, ZHU Taiyun. Research on the application of remote water supply system in fire site water supply[J]. China Emergency Rescue, 2019(3):52-56.
- [3] 代智慧. 森林消防车无线测控系统及火源识别方法研究[D]. 北京:北京林业大学, 2018.  
DAI Zhihui. Research on forest fire truck wireless measurement and control system and fire source identification method[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2018.
- [4] 张富山,白夜,武英达. 消防救援队伍与森林消防队伍协同灭火可行性分析[J]. 消防科学与技术, 2021, 40(9):1414-1417.  
ZHANG Fushan, BAI Ye, WU Yingda. Feasibility analysis of the collaboration by fire and rescue teams and forest fire-fighting teams[J]. Fire Science and Technology, 2021, 40(9):1414-1417.
- [5] 朱磊. 移动式远程供水系统探析[J]. 科技创新与应用, 2019(7):66-67.  
ZHU Lei. Study on mobile remote water supply system[J]. Technology Innovation and Application, 2019(7):66-67.
- [6] 尹吉宝. 面向实战,转型升级:金坛区消防救援大队开展远程供水泵组培训[J]. 消防界(电子版), 2019, 5(2):22.  
YIN Jibao. For actual combat, transformation and upgrading: Jintan District fire rescue brigade to carry out remote water supply pump group training[J]. Fire Protection (Electronic Version), 2019, 5(2):22.
- [7] 倪军. 全自动敷设消防水带装置:CN201621488571. 5[P]. 2017-07-18.  
NI Jun. Fully automatic fire hose laying device:CN201621488571. 5[P]. 2017-07-18.
- [8] 张文斌. 手自一体消防水带收卷器的设计[J]. 消防科学与技术, 2015, 34(2):211-214.  
ZHANG Wenbin. Design of fire hose retractor can be operated manually and automatically[J]. Fire Science and Technology, 2015, 34(2):211-214.
- [9] 张文斌,郭德伟,俞利宾,等. 新型折卷滚卷式消防水带收卷器[J]. 消防科学与技术, 2017, 36(2):224-226.  
ZHANG Wenbin, GUO Dewei, YU Libin, et al. The new fold and rolled-over type fire hose retractor[J]. Fire Science and Technology, 2017, 36(2):224-226.
- [10] 冯怡然,刘磊,芦金石,等. 消防水带晾晒自动收卷装置[J]. 消防科学与技术, 2016, 35(3):397-401.  
FENG Yiran, LIU Lei, LU Jinshi, et al. Design and analysis on drying and automatic winding machine of fire hose[J]. Fire Science and Technology, 2016, 35(3):397-401.
- [11] 吴国鑫. 消防水带自动收放器的设计[J]. 武警学院学报, 2018, 34(4):45-48.  
WU Guoxin. Design of automatic fire hose unrolling & rolling device[J]. Journal of China People's Police University, 2018, 34(4):45-48.

(下转第 148 页)