

# 消防随车简易水带收卷器的设计与应用研究

訾金焰

神东救护消防大队上湾中队 内蒙古鄂尔多斯 017200

**摘要：**本文针对传统消防水带收卷过程中存在的效率低、劳动强度大、易损坏等问题，深入研究并设计了一种消防随车简易水带收卷器。该装置以模块化插入结构、轻量化材料和人体工程学设计为核心，致力于实现水带的快速收卷与高效部署。通过模拟实战环境的严格实验，结果表明，相较于人工收卷，该收卷器的收卷效率提升了3倍，水带扭结率下降90%，设备体积仅为 $0.12\text{m}^3$ ，能够适配90%的现役消防车型，极大地提升了灭火救援的连续性和安全性，对推动消防装备技术的发展具有重要意义。

**关键词：**消防水带；收卷器；便携性；模块化设计；应急救援

## 引言

在消防救援工作中，消防水带作为输送灭火介质的关键装备，其收卷与部署的效率和质量，直接影响着抢险救援的成效以及消防员的生命安全。随着城市化进程的加快，高层建筑、大型商业综合体以及化工企业等不断涌现，火灾救援的复杂性和难度日益增加，对消防装备的性能提出了更高要求。

传统的消防水带收卷主要依靠人工操作。在实际救援场景中，消防员在完成灭火任务后，需要耗费大量时间和精力对水带进行收卷。据相关统计，在一次普通的火灾救援中，人工收卷40米水带平均需要4.5分钟。若遇到大型火灾或连续救援任务，水带使用数量多、铺设范围广，收卷时间会成倍增加，严重影响救援效率。例如，在2022年某城市的一场大型商业综合体火灾中，由于人工收卷水带耗时过长，导致后续增援力量无法及时投入使用，火势蔓延范围扩大，造成了巨大的经济损失。

人工收卷不仅效率低下，还存在诸多弊端。劳动强度方面，消防员在高强度灭火作业后，体力已经严重透支，此时再进行水带收卷工作，无疑是对体力的进一步消耗，容易引发疲劳作业，增加受伤风险。从水带保护角度来看，人工收卷难以保证卷绕的规范性，水带在收卷过程中容易出现扭曲、折叠等情况，导致水带表面磨损，接口处变形。一旦水带接口变形，在二次使用时就会出现密封性下降、承压能力不足等问题，甚至可能在使用过程中发生爆裂，危及消防员的生命安全。

虽然市场上已经出现了一些半自动水带收卷装置，但这些装置普遍存在结构复杂的问题，内部包含众多精

密零部件，这不仅增加了设备的制造成本，也提高了设备的故障率和维护难度。同时，这些装置体积笨重，一般体积在 $0.3-0.5\text{m}^3$ 左右，难以适配消防车有限的器材箱空间，不利于随车携带和快速部署。高昂的成本也使得基层消防单位难以承受，无法大规模推广使用。因此，研发一款结构紧凑、操作简便、成本可控的简易水带收卷器，成为提升消防救援能力的迫切需求，对于保障人民生命财产安全和提高消防工作效率具有重要的现实意义。

## 一、设计原理与结构

### （一）设计目标

本设计旨在实现以下目标：

#### 1. 便携性

考虑到消防车器材箱空间有限，为了便于收卷器随车携带和快速取用，要求设备折叠后尺寸不超过 $600 \times 400\text{mm}$ ，自重不超过 $3\text{kg}$ 。这样的规格能够适配消防车器材箱的标准格位，确保在紧急出动时，收卷器不会占用过多空间，方便消防员快速找到并使用，提高救援响应速度。

#### 2. 高效性

在灭火救援行动中，每一秒都至关重要。为了提高救援效率，本设计要求收卷器的收卷线速度不低于 $30\text{m}/\text{min}$ ，确保单盘40米水带的收卷时间能够控制在1.5分钟以内。相比人工收卷，这一速度的提升能够使消防员在更短的时间内完成水带收卷工作，快速转移到下一个救援地点，及时控制火势，减少火灾损失。

### 3. 兼容性

不同的消防场景和任务对水带规格的需求各不相同。为了满足多样化的使用需求,本收卷器设计为能够适配直径在 $\Phi 50-80\text{mm}$ 范围内的水带。同时,为了降低消防员的操作难度,减轻劳动强度,将操作扭矩控制在不超过 $15\text{N}\cdot\text{m}$ ,确保消防员即使在体力消耗较大的情况下,也能轻松操作收卷器完成水带收卷工作。

## (二) 结构组成

### 1. 多向快锁支架

多向快锁支架采用6063-T6铝合金异型材制造。6063-T6铝合金具有强度高、重量轻、耐腐蚀等优点,能够在保证支架结构强度的同时,有效减轻设备整体重量。支架采用卡扣式设计,这种设计能够实现与车载手轮的秒级固定。具体操作时,消防员只需将支架对准车载手轮的卡槽,轻轻一按,卡扣即可自动锁紧,无需借助任何工具,大大节省了安装时间,提高了设备的快速部署能力。同时,多向快锁支架的设计还能够确保收卷器在工作过程中保持稳定,不会因车辆行驶或操作过程中的震动而松动,保证收卷工作的顺利进行。

### 2. 曲柄滑块导带机构

曲柄滑块导带机构是保证水带平整收卷的关键部件。该机构集成了弹簧预紧装置,弹簧预紧装置能够根据水带的厚度和材质,自动调节导轮对水带的压力,确保水带在收卷过程中始终保持平整。此外,该机构还支持手动调节导轮间距,调节范围为 $\pm 2\text{mm}$ 。通过手动调节导轮间距,可以适应不同规格的水带,无论是较细的 $\Phi 50\text{mm}$ 水带,还是较粗的 $\Phi 80\text{mm}$ 水带,都能够保证水带在收卷过程中不会出现打滑、跑偏等现象,进一步提高了水带收卷的质量和稳定性。

### 3. 轻量化传动系统

轻量化传动系统采用高强度尼龙齿轮和碳纤维轴杆。高强度尼龙齿轮具有良好的耐磨性和自润滑性,在传动过程中能够有效减少摩擦和磨损,降低能量损耗,提高传动效率。同时,尼龙齿轮重量较轻,相比金属齿轮能够显著减轻设备重量。碳纤维轴杆具有高强度、低密度的特点,其强度是普通钢材的数倍,而重量却只有钢材的几分之一。高强度尼龙齿轮和碳纤维轴杆的结合,使整个传动系统在保证可靠传动性能的同时,大幅降低了设备重量,满足了收卷器轻量化设计的要求。

## (三) 创新点

### 1. 模块化插入结构

本收卷器采用模块化插入结构,这是对传统水带收卷器安装方式的重大创新。传统水带收卷器的安装通常需要使用工具进行螺栓固定等操作,过程繁琐,耗时较长。而本设计的模块化插入结构,将收卷器分为几个独立的模块,各模块之间通过标准化接口进行连接。在安装时,消防员只需将模块按照特定的顺序插入相应的接口,即可完成安装,整个过程仅需3秒,相比传统方式节省了90%的准备时间。这种快速安装特性,使收卷器能够在紧急情况下迅速投入使用,大大提高了设备的响应速度,为灭火救援争取了宝贵时间。

### 2. 随车可拆卸设计

与传统背式收卷器相比,本收卷器采用随车可拆卸设计。传统背式收卷器体积较大,不便于随车存放,在不使用时往往需要单独存放,占用空间较大。而本收卷器在设计时充分考虑了消防车的使用环境和空间限制,采用可拆卸结构,在不使用时可以将收卷器拆卸成几个较小的部件,收纳体积较传统背式收卷器缩小了70%。较小的收纳体积不仅能够更好地适配消防车器材箱,还方便在车辆行驶过程中固定,避免因晃动而损坏设备。同时,可拆卸设计也便于设备的维护和检修,当某个部件出现故障时,只需更换相应的部件即可,无需对整个设备进行维修,降低了维护成本和难度。

### 3. 低扭矩操作

在设计过程中,充分考虑了人体工程学原理,实现低扭矩操作。人体工程学设计主要体现在操作手柄的形状、尺寸和位置等方面。操作手柄采用符合人体手部自然握姿的形状设计,表面经过防滑处理,确保消防员在操作过程中能够舒适、稳定地握持。手柄的位置和角度也经过精心设计,使消防员在操作时手臂处于自然伸展状态,无需过度用力或扭曲身体。经测试,本收卷器的操作扭矩稳定在 $12-15\text{N}\cdot\text{m}$ ,相比传统收卷方式,操作疲劳度降低了50%。这意味着消防员在长时间使用收卷器进行水带收卷工作时,体力消耗更少,能够保持更好的工作状态,减少因疲劳导致的操作失误,提高工作效率和安全性。

## 二、实验与性能验证

### (一) 实验方法

为了全面、准确地评估本消防随车简易水带收卷器的性能,在模拟实战环境中开展实验,将人工收卷与本装置收卷进行对比,从效率、水带损伤率及操作舒适性等方面进行测试。

实验选用Φ65mm复合材料水带作为测试对象，该水带是消防救援中常用的水带类型，具有良好的耐磨性和耐压性，能够代表大多数实际使用的水带性能。为了保证实验结果的可靠性和准确性，每组测试重复20次，通过多次测试减少偶然因素对实验结果的影响，使实验数据更具说服力。

实验设置了广泛的环境温度范围，从-10℃至40℃，模拟不同季节和地区的实际救援环境。在-10℃的低温环境下，测试收卷器在水带可能出现变硬、变脆的情况下的收卷性能；在40℃的高温环境下，测试收卷器在高温和高湿度环境下的稳定性和可靠性。

在实验过程中，详细记录人工收卷和本装置收卷单盘水带所需的时间，计算平均收卷时间以评估效率。通过专业的检测设备和人工观察相结合的方式，检查水带表面磨损情况和接口变形程度，统计水带扭结率来衡量水带损伤率。要求参与实验的消防员在操作过程中对操作舒适性进行主观评价，并使用扭矩传感器实时记录操作扭矩数据，综合评估操作舒适性。

## （二）实验结果

### 1. 效率提升

实验数据显示，人工收卷单盘40米水带的平均时间为4.5分钟，而使用本装置收卷单盘40米水带的平均时间缩短至1.5分钟，收卷效率提升了3倍。这一显著的效率提升，使得消防员在完成一次救援任务后，能够更快地收卷水带，迅速赶赴下一个救援地点，大大提高了整体救援效率。例如，在连续救援场景中，使用本收卷器可以使消防员在相同时间内完成更多次的救援任务，有效控制火势蔓延，减少火灾造成的损失。

### 2. 损伤率降低

在水带损伤率方面，人工收卷导致水带扭结率达到15%，频繁的扭结会使水带表面产生严重磨损，加速水带老化，缩短水带使用寿命。而使用本收卷器后，水带扭结率下降至1.5%，降幅高达90%。较低的扭结率有效减少了水带的磨损，延长了水带使用寿命。经测算，使用本收卷器后，水带使用寿命延长了30%。这不仅降低了消防单位的装备更换成本，还保证了水带在后续使用中的可靠性和安全性，减少了因水带故障导致的救援失败风险。

### 3. 操作舒适性

在操作舒适性方面，本收卷器的操作扭矩稳定在12-15N·m，处于人体较为舒适的操作扭矩范围内。参与

实验的消防员反馈，相比人工收卷，使用本装置操作时疲劳感显著减轻。在连续进行多次水带收卷操作后，使用本收卷器的消防员仍能保持较好的体力和精神状态，而人工收卷的消防员则出现了明显的疲劳症状，如手臂酸痛、乏力等。较低的操作扭矩和符合人体工程学的设计，使消防员能够轻松操作收卷器，即使在长时间、高强度的救援任务后，也能保持较高的工作效率，减少因操作疲劳导致的失误，提高工作安全性。

## 三、应用效益分析

### （一）经济效益

从经济效益角度来看，本消防随车简易水带收卷器具有显著的成本优势。由于该收卷器能够有效降低水带的损伤率，延长水带使用寿命，每年可为每个使用单位节省大量的水带维护和更换费用。经估算，年均节省水带维护费用超2万元/台。这是因为水带的采购成本较高，而减少水带的更换频率能够直接降低采购支出。同时，设备本身的制造成本相对较低，结合其带来的经济效益，设备成本回收周期小于6个月。这意味着消防单位在短期内就能收回设备投资成本，后续使用过程中能够持续获得经济效益，减轻了消防单位的经济负担，提高了资金使用效率，使有限的资金能够投入到其他更需要的消防装备和设施建设中。

### （二）在安全效益方面，该收卷器的应用能够有效减少救援准备时间

快速的水带收卷和高效的部署，使消防员能够更快地赶赴下一个救援地点，提升了灭火救援的连续性。及时的响应和快速的行动，能够在火势尚未扩大时进行有效控制，降低火灾造成的损失，减少人员伤亡风险。同时，低扭矩操作和符合人体工程学的设计，减少了消防员在操作过程中的体力消耗和受伤风险。在传统人工收卷过程中，消防员因用力不当或疲劳作业导致的肌肉拉伤、扭伤等情况时有发生，而使用本收卷器能够显著降低这类风险，保障了消防员的人身安全。稳定可靠的水带收卷质量，也确保了水带在后续使用中的密封性和承压能力，避免因水带故障导致的救援失败，进一步提高了救援行动的安全性，为消防员在灭火救援工作中提供了更可靠的保障。

### （三）本收卷器为基层消防单位提供了轻量化、低成本的装备解决方案

在过去，基层消防单位由于资金有限，难以配备先进的消防装备，导致救援效率和安全性受到一定影响。

而本收卷器的出现，以其较低的成本和良好的性能，满足了基层消防单位的实际需求。它的推广应用，有助于推动消防装备技术的革新，提升整个消防行业的装备水平。同时，高效的救援行动能够更好地保护人民群众的生命财产安全，增强了社会公众对消防工作的信任和支持。当火灾发生时，消防员能够更快地控制火势，减少火灾对居民生活和企业生产的影响，促进社会的稳定和发展。此外，该收卷器的研发和应用也为相关领域的技术研究和创新提供了借鉴，推动了消防装备产业的发展，具有重要的社会效益。

#### 四、结论与展望

本研究设计的消防随车简易水带收卷器通过模块化、轻量化和人性化设计，有效解决了传统水带收卷过程中存在的效率低、劳动强度大、易损坏等问题。经实验验证，该收卷器在收卷效率、水带保护、操作舒适性等方面均表现出色，具有显著的应用价值。在经济效益、安全效益和社会效益方面，也展现出良好的前景，能够为消防单位带来实际的利益，提升消防救援的整体水平。

然而，随着科技的不断发展和消防救援需求的日益提高，未来可进一步探索该收卷器的智能化升级。例如，集成传感器监测水带状态，通过压力传感器、温度传感器等实时获取水带的磨损程度、压力变化、温度等信息，当水带出现异常情况时及时发出预警，为水带的维护和更换提供科学依据。通过蓝牙连接消防车系统实现数据交互，使消防员能够在消防车控制终端上实时了解收卷器的工作状态、收卷进度等数据，便于统一指挥和调度。此外，还可以进一步优化收卷器的结构和材料，提高其性能和可靠性，以适应更加复杂和恶劣的救援环境。未来的研究将朝着智能化、集成化和高性能化的方向发展，为消防救援工作提供更先进、更可靠的装备支持。

#### 参考文献

- [1] 《消防水带维护技术规范》(GB 6246-2011)
- [2] 王建军, 李华. 消防装备轻量化设计研究进展[J]. 消防科学与技术, 2023, 42(2): 45-50.
- [3] 张伟. 应急救援装备的人机工程学优化[M]. 北京: 机械工业出版社, 2022.