

道路抢险设备创新设计

——以泥石流灾害为例

姚贵冲

桂林电子科技大学艺术与科技学院 广西 桂林 541004

【摘要】：针对泥石流灾害所造成的道路损坏、掩埋而导致救灾受阻，且灾区人员疏散、伤病人员外送转移较为困难，严重影响抢险救灾的进度问题进行创新设计，运用概念设计的流程与方法，对现有道路清障设备进行多功能模块化、操纵智能化、无人化的改良创新设计，最大限度保证泥石流灾害救援中道路清障工作的效率及抢险人员安全。

【关键词】：泥石流；自然灾害；工业设计；概念设计；道路清障设备；设计流程

1 概述

泥石流属于我国较为频发的重大地质灾害之一，其破坏力之强，救援防治难度之大，已威胁众多民众生命财产安全。据中国国家统计局发布的《中国统计年鉴 2020》中记录，2000年-2019年中国泥石流灾害共发生 15291 起，数据虽总体呈下降趋势但近年有所增长；泥石流灾害发生时，往往还会造成道路损毁、交通阻断。如 2010 年甘南陇南“8·12”特大暴雨灾害造成的山洪泥石流，冲毁路基 54.7km、塌方 296 处共 41 万 m³、桥梁损毁 24 座、隧道受损 4 座，直接损失已逾 140 亿元。

灾害发生时，最急迫的就是保证抢险人员、装备和救灾物资第一时间进入受灾一线，然而由于道路损毁，常导致救灾受阻，且灾区人员疏散、伤病人员外送转移较为困难，严重影响抢险救灾的进度。因此畅通的道路就是救灾的生命线，需要快速予以抢通。以此，可以窥得泥石流灾害中的一大隐患——道路损坏。所以随着泥石流灾害的频发对道路救援措施和装备也提出了更高的要求。

2 设计问题分析

2.1 设计需求

2.1.1 效率需求

救援的首要大敌是时间。救灾道路抢险的原则是“安全、临时、快速、先通后畅”，即在确保安全通行的前提之下以最短时间先抢通道路，然后边“保通”边“补强”。而现有参与道路疏通的设备中包括：挖掘机、推铲车、破拆车、液压剪切机等众多大型车辆装备，这些设备之间的分工配合和出入清障现场大大降低了抢险效率；另外，泥石流多发于雨区的山区中、河流水坝边等区域，前往灾区往往要经过泥泞、坑洼的不良路面，因此现有设备的机动性问题也影响着救灾效率。

2.1.2 安全性需求

泥石流灾害的特性决定了它有发生二次灾害的可能性，这威胁的将是参与救灾人员的生命安全，在救灾的过程中二次灾害发生导致救援设备掩埋、救灾人员伤亡的事时有发生，因此如何保证救灾人员的安全也是设备应解决的问题。

2.2 现有设备痛点

(1) 功能单一。现有道路抢险设备还无法满足多场景适用、多种救援工况需求，因而容易导致设备制造费用大、救援人员浪费，影响救灾效率等情况。故需要提升道路抢险设备的适应性和多功能化。

(2) 现有救援设备机动性不强，或行驶速度低需要其他车辆装载，或自身难以适应泥地、水洼、砂石等不良路面环境，这些都无不影响着救灾效率。

(3) 救援人员安全保障不高。虽说救援乃是勇者之行，但人不是机器，在参与救援的过程中由于紧张心急等情绪影响，容易身心疲劳，而产生安全隐患。泥石流灾害有发生二次灾害的可能性，所以救援的人员也需要更加安全舒适的工作流程和环境。因此还需要将道路抢险设备智能化、无人化。

2.3 设计概念

2.3.1 多功能模块化

利用多功能模块化设计，将针对泥石流灾害情况下的道路救援设备所用功能装置融入一款设备中。通过简单的模块转换即可在一款设备中针对不同状况使用不同装置模块，提升设备的复杂场景适应性。

2.3.2 可重构式轮履技术

可重构式轮履技术是一种将普通轮子与履带结合，通过结构的变形重构使其可以在普通轮子与履带之间互相变换的技术。

在 2018 年由美国国防高等研究计划署 (DARPA) 所开发的 Reconfigurable Wheel-Track 首次亮相，如图 1 所示。它可

以在 2 秒内从圆形车轮变成三角形履带，而且能在行驶中变形，遇上恶劣路段也可以继续使用。据了解，这项新技术所采用的履带在泥地、坑洼、障碍物面前，比轮胎的脱困能力更好，主要是因为履带与地面的接触面积更大，因而能在全地形上保持车辆的敏捷性。



图 1 Reconfigurable Wheel-Track

在机动平台领域，高通过性行走技术一直是中外研究的核心方向之一，对泥石流道路抢险设备的机动性将带来很大提升。

2.3.3 操纵智能化、无人化

研究救援设备的操纵智能化、无人化，同时对设备所涉及的人机工程学、人机交互部分进行改善，提升设备的高效实用性，并减轻操作人员的负担，降低安全风险。

3 救援设备国内外研究现状及发展趋势

3.1 国内研究现状及发展趋势

(1) 研究的装备主要分为军事类、工程类和搜救类。

(2) 中国在“十一五”期间已将“废墟搜索与辅助救援机器人”项目列入国家 863 计划重点项目，由中科院沈阳自动化研究所机器人学国家重点实验室与中国地震应急搜救中心联合承担研制，并成功研制出“废墟可变形搜救机器人、机器人化生命探测仪、旋翼无人机”3 款机器人，这 3 款机器人曾经被国家地震局评为“十一五”以来最具应用实效的 10 项科技成果之一。

(3) 中国兵器工业集团第 201 研究所在“十一五”期间研制了摇臂式悬架与电动轮的高通过行动系统，并进行了虚拟样机的仿真研究。

(4) 在重载机械臂领域侧重于运动学解算、运动轨迹跟踪控制策略、液压系统的高效合理设计、结构受力分析与参数优化等方面。

综上所述，国内的应急救援装备有了长足的发展，主要向功能拓展、机械系统控制以及定位等技术方向发展。

3.2 国外研究现状及发展趋势

(1) 国外研究重点聚焦于直接参与应急救援的作业装备，例如直接参与救援的挖掘类、装载类或搜救类装备；

(2) 由于救援现场地形的复杂性，高通过性行走技术一直是中外机动平台研究的核心方向之一；

(3) 在重型机械臂领域，国外一直拥有先进技术加持（视觉识别与定位、遥操作力反馈等），并且加速与人工智能、新材料等相关前沿学科的融合；

(4) 在定位导航领域，谷歌和特斯拉公司研发的无人驾驶汽车融合 Lidar/红外/立体视觉/惯性/卫星导航等多源传感器，动态定位精度可达厘米级；

(5) 在协同控制领域，美日等国已经研制成功了力反馈控制算法的遥操作协同作业系统，且机械臂具有自主关节轨迹规划、避碰等功能。

综上所述，国外的应急救援装备都在向提升作业规模、拓展一机多能以及智能化远程作业方向发展。

4 概念方案设计思路及探讨

通过上述分析，从高效性和安全性出发，以高通过行走技术、拓展一机多能、智能化远程作业为核心方向，结合利用多功能模块化技术、可重构式轮履技术和智能化技术，提出一款新的泥石流道路抢险设备设计方案。

(1) 提出“单机械臂+多替换头”的概念。通过设计一个可供挖斗、破拆锤、岩锯、剪切这四种功能模块同智能化机械臂组合的接口，如图 2 所示，这样可以使一个设备拥有至少四种功能模块，以满足多场景适用、多种救援工况需求，同时保证设备不会过大、过“臃肿”，从而提升道路抢险救援工作的效率。



图 2 智能化机械臂替换接口概念图

(2) 轮胎利用“可重构式轮履技术”。可重构式轮履技术能将履带的高通过能力和普通车轮的机动性及行进速度优势结合到一起，反过来解决二者自身的缺陷，提升设备机动性，实现 1+1>2 的解决方法。美国国防高等研究计划署

(DARPA) 所开发的 Reconfigurable Wheel-Track (图 1) 和来自国防科技大学学生设计的“多运动态可重构轮履复合式机器人” (图 3) 都为这一概念可行性提供了技术支持。

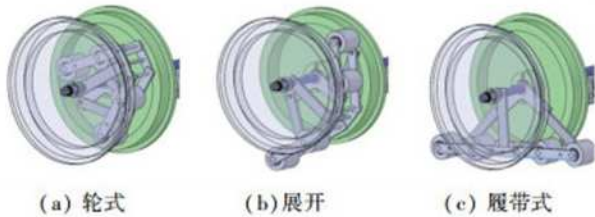


图3 多运动态可重构轮履复合式机器人的轮-履设计

(3) 将智能化、无人化的工作流程融入此泥石流道路抢险设备,利用高度智能的AI结合远程操控,搭载侦查探测无人机,降低救灾人员直接驾驶操作设备的比重,从而降低泥石流二次灾害给救灾人员带来的安全风险,如图4所示。



图4 一种无人化、远程操控挖掘机概念

5 总结

通过对泥石流灾害的受灾数据分析得出道路损坏是救灾行动中一大隐患,针对现有设备机动性差、效率不高、安全性低等未能解决的需求点,提出一个概念性创新设计方案。该方案以高通过行走技术、拓展一机多能、智能化远程作业为核心,利用统一的智能化机械臂接口将推铲、破拆、锯断、剪切等多种功能模块集合于一款设备,加上应用可重构式轮履技术和智能化技术,提升设备救援效率,降低安全风险,给救灾行动带来更高的效率和安全性,为泥石流灾害道路救援设备的设计提供参考,为我国救援事业的发展贡献一份力量。

参考文献:

- [1] 刘兵昌.泥石流基本特点及防治策略分析——以甘肃省为例[J].新疆有色金属,2021,44(05):93-94.
- [2] 杨涛,齐建飞.重大泥石流灾害抢险方法[J].水利水电技术,2017,48(51):12-15.
- [3] 金德泽,王成雄,严永涛.泥石流危害与防治[J].东北水利水电,2009,27(01):33-34+72.
- [4] 杨涛,宋杨珑.自然灾害损毁道路应急抢通技术[J].水利水电技术,2015,46(05):5-8.
- [5] 杨晓琳,马海涛,王彦平,于正兴,曹圣军.无人机与雷达监测排查救援隐患——中国安科院泰宁“5·8”泥石流灾害应急救援[J].劳动保护,2016(08):81-83.
- [6] 张新,徐建华,陈彤,王军政,赵江波,仲军,李兰芸,韩震峰,李宏伟,李顺,赵方,瞿栓紧.面向重大自然灾害的救援装备研究现状及发展趋势[J].科学技术与工程,2021,21(25):10552-10565.
- [7] 蒋海霞.我国应急救援装备现状与发展趋势[J].中国电力企业管理,2020(21):18-19.
- [8] 崔玉宁,罗自荣,尚建忠,张志雄.多运动态可重构轮履复合式机器人机械设计[J].哈尔滨工业大学学报,2018,50(07):80-86.

作者简介:姚贵冲,男(2000.11-),汉族,江西上饶人,桂林电子科技大学本科生在读,研究方向:产品设计。

课题信息:2021年自治区级和国家级大学生创新创业项目,“道路抢险设备创新设计——以泥石流灾害为例”,项目编号:C21SJM00SJ1N。