

doi: 10.7690/bgzdh.2022.10.004

军用动力外骨骼的发展现状及关键技术综述

颀翔宇¹, 周利坤¹, 司玉昌²

(1. 武警后勤学院后勤保障系, 天津 300309; 2. 武警后勤学院基础部, 天津 300309)

摘要: 为推动军用动力外骨骼实战应用, 对国内外较为成熟的军用动力外骨骼项目进行分析综述。介绍人机耦合、主动控制、机器驱动、能量供给以及新型材料等关键技术的具体功能和应用现状, 结合军事需求对未来可能利于外骨骼系统发展的新型技术加以展望, 根据实战需要阐述军用动力外骨骼 3 种战场运用方式, 展望其未来发展方向。结果表明, 该分析可为我国军用动力外骨骼发展提供技术参考。

关键词: 军用动力外骨骼; 发展现状; 关键技术; 战场运用

中图分类号: TJ99 **文献标志码:** A

Overview on Development Status and Key Technologies of Military Powered Exoskeleton

Xie Xiangyu¹, Zhou Likun¹, Si Yuchang²

(1. Department of Logistics Guarantee, Logistics University of PAP, Tianjin 300309, China;

2. Department of Basic, Logistics University of PAP, Tianjin 300309, China)

Abstract: In order to promote the actual combat application of military powered exoskeleton, analyzes and summarizes the more mature military powered exoskeleton projects at home and abroad. This paper introduces the specific functions and application status of key technologies such as man-machine coupling, active control, machine drive, energy supply and new materials, and prospects the new technologies that may be beneficial to the development of exoskeleton system in the future according to military requirements. According to the actual combat needs, three battlefield applications of military powered exoskeleton are described, and its future development direction is prospected. The results show that the analysis can provide technical reference for the development of military powered exoskeleton in China.

Keywords: military powered exoskeleton; development status; key technology; battlefield application

0 引言

现代战争小规模、快速性、重单兵的特点日益凸显, 士兵需携带多种类型的装备满足战场多样化的任务需求, 大大增加了单兵负重。军用动力外骨骼是一种可穿戴在士兵身上, 通过传感系统、控制系统、能源系统、驱动元件和执行机构等协同运作, 实现作战指挥、减轻负重、节省体能等功效的人机一体化装备^[1]。军用动力外骨骼既可以大幅提升单兵的负重能力, 使士兵保持良好的机动状态, 又可以形成一个集成侦察通信、网络打击、火力引导、电磁干扰等各类高科技装备的作战系统, 使单兵成为作战网络上的节点, 提高指挥链扁平化程度, 为联合作战体系提供装备支撑。

笔者先介绍军用动力外骨骼的国内外发展现状; 再从外骨骼功能实现和作战运用角度综述军用动力外骨骼提升单兵作战能力的关键技术, 结合军事需求展望可能促进外骨骼发展的新型技术; 最后

阐述军用动力外骨骼战场运用场景, 总结其未来发展趋势。笔者旨在精准把握现代战争制胜机理, 发挥新兴科技在备战打仗中的重要作用, 推动军用动力外骨骼成熟化实战化应用。

1 发展现状概述

1.1 国外发展现状

笔者所述的军用动力外骨骼是指应用军事领域内的有源式动力外骨骼, 根据用途不同可分为战斗型、后勤型和救援型等, 其动力传动流程如图 1 所示。

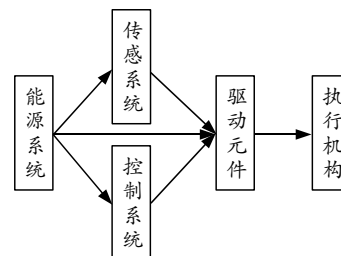


图 1 军用动力外骨骼动力传动流程

收稿日期: 2022-06-24; 修回日期: 2022-07-28

基金项目: 天津市科技重大专项与工程科技军民融合项目(18ZXJMTG00040)

作者简介: 颀翔宇(1998—), 男, 甘肃人, 从事军用动力外骨骼动力传动与现实运用研究。E-mail: 837323038@qq.com。

1965 年, 美国首次展开关于动力外骨骼的相关研究; 2000 年, 美国国防高级研究计划局 (DARPA) 制定“增强人体机能的外骨骼 (exoskeletons for human performance augmentation, EHPA)”项目计划, 正式将动力外骨骼的研发纳入军队未来装备发展重点方向; 2016 年, 动力外骨骼被评为最具潜力的十大武器装备前沿技术^[2]。目前, 世界上多个军事强国均大力研究本国的外骨骼装备, 使其成为现代战争体系下增强单兵作战能力、赢得战场主动的制胜法宝。

经过多年发展, 国外军用动力外骨骼代表产品有美国洛克希德·马丁公司的“HULC”、SARCOS 公司的“XOS2”、意大利“Body Extender”、俄罗斯的“勇士-21”等。此外, 哈佛大学设计的“Soft Exosuit”系列柔性作战服也颇具现实意义^[3]。

1) HULC。

HULC 军用动力外骨骼是由加州大学伯克利分校研制的第三代动力外骨骼系统, 如图 2 所示。在经过 BLEEX、EXO Hiker 两代外骨骼系统的技术积累, 改进后的 HULC 是目前战术技术指标最优秀的下肢动力外骨骼。HULC 全身采用钛合金为主要材料, 使用皮带捆绑作为人机结合方式, 适用身高 1.62~1.87 m 的士兵, 穿脱方便快捷、人机耦合紧密, 能够满足绝大多数的战场需求。HULC 系统自重 24 kg (不含电池), 最大负重 91 kg, 搭载锂离子电池为动力源, 在电池满电时, HULC 可保证穿戴者以 4.8 km/h 的速度行进 1 h, 在无负载条件下, 最大冲刺速度可达 16 km/h。同时, HULC 采用髌一膝一踝关节液压驱动方式, 独创性的无缆线连接可保证外骨骼系统不仅能完成行走和奔跑移动, 而且可以完成上下楼梯、上下坡、下蹲匍匐等高难度动作, 大幅提升了系统的机动力, 使得 HULC 成为最适应战场需求的军用动力外骨骼装备^[4]。



图 2 HULC

2) XOS2 和 Body Extender。

在 EHPA 项目的资助下, SARCOS 公司于 2010 年推出 XOS2 军用动力外骨骼, 分为“战斗型”和“后勤型”2 种型号, 如图 3 所示。在美国陆军主导的军用动力外骨骼评估测试中, XOS2 被评为最

先进的全身式动力外骨骼。XOS2 的单臂和单腿均采用 7 自由度设计, 采用高压液压系统驱动, 其重力感知比达到了惊人的 17:1, 实际使用中可使穿戴者轻松抓举 100 kg 的重物, 可重复击穿 7.62 cm 厚的木板, 还可以满足穿戴者进行上千次俯卧撑, 甚至能完成踢足球等复杂运动^[5]。XOS2 外骨骼的主要缺点是续航能力不足, 其在满电状态下仅能持续工作 40 min, 又因为整个系统需要依靠一条电缆连接, 所以其设计虽然先进, 但是战场实用性却不高。

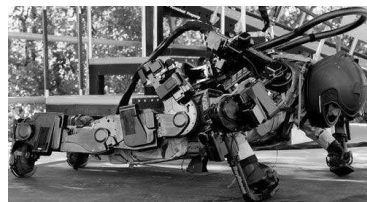


图 3 XOS2

此外, 意大利国防部牵头研制的“Body Extender”全身式动力外骨骼共具 22 个自由度, 其关节采用钢丝绳传动设计, 使上肢能够大范围移动, 单臂承载可达 50 kg, 行走速度为 1.8 km/h^[6], 如图 4 所示。Body Extender 在手臂、腰部、足底等位置安装了传感器, 可实时反映外骨骼受力状态, 但由于传动部件自重较大, 整体质量高达 160 kg, 无法为士兵减轻负重。

3) Soft Exosuit。

2013 年以来, 哈佛大学怀斯生物工程研究所推出的“Soft Exosuit”系列柔性动力外骨骼颠覆了传统外骨骼的机械设计理念, 弥补了传统动力外骨骼自重高、体积大、活动范围小等缺点, 使用微型传感器、主被动控制、柔性纺织材料等技术, 实现负重智能、关节保护、能量分配等功能, 其质量仅为 12.15 kg, 不仅使穿戴者摆脱刚性元件的束缚, 还使外骨骼对运动动作的干涉最小化, 使用更为灵活轻便, 如图 5 所示。



图 4 Body Extender



图 5 Soft Exosuit

4) 2018 年 12 月, 洛克希德·马丁公司宣布美国陆军第 10 山地师将在 6 个月内同公司技术人员一起完成新款军用动力外骨骼 ONYX 系统的实战测试任务。ONYX 动力外骨骼系统是继此前 HULC 动力

外骨骼系统后的新型外骨骼系统，可以使士兵在坡度 15°的坡面背负 20 kg 载荷连续行军数小时，士兵都不会觉得非常疲劳，还可以起到防止士兵受伤的作用。

5) 2021 年，俄罗斯在“军队-2021”论坛上展示新一代战斗外骨骼系统，如图 6 所示。该款外骨骼系统首次将主动式和被动式 2 种助力方式集成在同一款产品上。当士兵进行爬坡、登高等有倾斜坡度运动时，主动助力模式便会自动开启；当士兵行走在平坦笔直的道路搬运武器装备时，被动助力模式将会开启，帮助士兵节省体力。该战斗外骨骼系统能使士兵负荷减少 50%，跑步和行走的能量消耗降低 15%，最大负重载荷 60 kg。其最具特色的是可以使自动武器射击精准度提高 20%，达到助力士兵战斗的作用。



图 6 俄罗斯战斗外骨骼系统

整体而言，国外军用动力外骨骼的研发起点与时间均早于国内，其中美国在这一领域的研究成果代表世界最先进水平，已经成功研制出不少可用于实战的外骨骼系统。目前，国外军用动力外骨骼正在结合单兵作战系统向智能控制、信息融合等功能发展，打造外骨骼单兵作战系统，研制成熟后将大幅提升单兵作战能力。

1.2 国内发展现状

国内从 21 世纪初期开始针对军用动力外骨骼进行研究。2012 年以前，大多集中于理论探讨、仿真实验、人机匹配等方向。近年来，人机结合系统研究基本成熟，目前正在大力发展新型传感系统和动力电池系统，实现外骨骼系统的智能检测和长久续航。2019 年，陆军装备部举办“超能勇士-2019”单兵外骨骼挑战赛，汇聚了近百种外骨骼样机，大力推动我国动力外骨骼发展。

1) 兵工集团 202 所研制的下肢动力外骨骼支持行走、蹲下起立、上下斜坡和台阶等多种动作，行走速度 4.5 km/h，自重 35 kg，最大负重 60 kg，续航时间可达 1 h 以上，适用身高范围为 1.6~1.85 m，可用于执行高原巡逻、跨越障碍等任务^[7]，

如图 7 所示。

2) 原海军航空工程学院第三代动力外骨骼，采用锂电池+直流伺服电机+气弹簧为动力系统，利用足底压力传感器收集信息，再通过微型计算机对电机进行控制，有效减轻士兵负重，如图 8 所示。



图 7 兵工 202 所动力外骨骼 图 8 海军动力外骨骼

3) 2015 年，中国某技术装备博览会上亮相展示了星云 L70 单兵外骨骼机器人，这是一款集成通信系统、武器系统、侦察系统的一体式单兵作战系统，在背负 35 kg 负荷的情况下，平地步速 4.5 km/h，续航里程达 20 km，配备 120°全景广角夜视仪，适用于夜间侦察、渗透斩首等任务，如图 9 所示。



图 9 星云 L70 单兵外骨骼机器人

4) 北方工业公司的第二代单兵动力外骨骼系统搭载了负重托盘、电池模块和防护装甲，保护穿戴者的同时还可以使穿戴者比普通士兵增加 3~4 倍的负重能力^[8]，如图 10 所示。

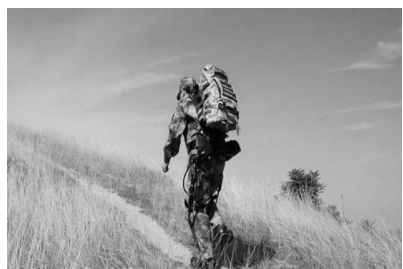


图 10 北方工业公司第二代动力外骨骼

5) 2018 年，华南理工大学与广州海同工业合作研发的“蛮王”动力外骨骼亮相^[9]，如图 11 所示。“蛮王”足底的压力传感器和髋关节转动传感器帮助系统识别穿戴者的运动意图，同时通过压力传感器识别外骨骼系统是否处于平衡状态，确保穿戴者和外骨骼安全。此外，“蛮王”还具有大数据运算和

学习能力，在使用过程中不断向物联网服务器上传真实步态行走数据，电脑计算最接近人体的步态行走模型，准确推算运动意图，实现外骨骼系统对穿戴者的高效驱动。



图 11 华南理工大学“蛮王”动力外骨骼

6) 2021 年，上海傲鲨智能研发的 MAPS-E 上肢动力外骨骼与 HEMS-L 腰部动力外骨骼瞄准军事作战领域，有效助力特战反恐任务。运用外骨骼的减负效果，不仅帮助士兵单手轻松提起重达几十斤的防弹盾牌，而且可以手持枪械进行防御反击，大大增强反恐作战能力，如图 12、13 所示。



图 12 上海傲鲨智能动力外骨骼

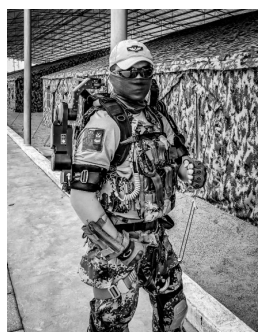


图 13 上海傲鲨智能新型动力外骨骼样机

据公开数据统计，国内第一代军用动力外骨骼与洛克希德·马丁公司 HULC 动力外骨骼的战术技术指标对比如表 1 所示。由此可见，虽然国内军用动力外骨骼性能指标距 HULC 等国外军用动力外骨骼相比还有不小的差距，不过至少填补了我军在同类型装备上的空白，迈出了从无到有的关键一步。

表 1 典型军用动力外骨骼战术技术指标对比

装备名称	背负负重/kg	搬运负重/kg	运行能力
国内第一代动力外骨骼	35	50	35 kg 负重以 4.5 km/h 运行 20 km
HULC	100	120	100 kg 负重以 4 km/h 运行 20 km

近年来，国内军用动力外骨骼已经有一些成熟型号产品化，但还都属于样机阶段，存在成本过高、续航能力不足、技术方面不够完善等不足，还需反复试验和大力改良才能正式列装部队使用。

2 关键技术分析

军用动力外骨骼是融合机电工程、生物力学、传感分析、新型材料、自动化控制、微能源系统等多个领域的高技术产物，将总体技术分解成若干子技术，结合军队属性和战场实际开展深入研究，达到装备效能最大化^[10]。

2.1 人机耦合技术

人机耦合技术是以仿生学和人体工程学为基础，采用拟人化设计，实现外骨骼对人体的助力最大化、干涉最小化，达到方便控制和驱动外骨骼的关键技术^[11]。人机耦合技术主要有 2 个发展方向：1) 合理调节执行机构输出作用力；2) 尽量减小外骨骼设备与士兵之间的系统内部作用力。每名士兵的形体数据、运动特征等信息都不相同，其运动过程的动力学表现也不同。人机耦合技术就是尽可能消除因士兵不同而产生的个性化差异，减小士兵与外骨骼系统在运动过程之间产生的力和力矩，结合运动医学理论合理设计各关节自由度和极限角度，保证士兵运动期间与外骨骼系统始终紧密相连，确保士兵穿戴动力外骨骼系统后行动自如。

2.2 主动控制技术

主动控制技术是主动感知士兵的运动意图在外骨骼系统中表征的关键参数，依据主动控制策略，实现外骨骼与人体跟随运动的运动控制技术。主动控制技术适用于具备一定运动能力的机体，更适合作为动力外骨骼的运动控制方式。

当穿戴外骨骼的士兵产生运动意图时，首先要感知人体运动状态信息，物理信号的采集通常使用传感器在外骨骼的足底和关节等处采集力与力矩信息，生理信号的采集通常使用脑电信号采集或表面肌电信号采集等非侵入性采集技术感知运动意图^[12]。然后，分析控制参数，依据阻抗/导纳控制、自适应控制、协调控制和智能控制等不同的主动控

制策略，调整控制外骨骼系统的运动姿态。最后，主动控制策略要根据士兵的运动意图进行参考，多次重复采集—分析—执行闭环控制，实现外骨骼运动控制效能最大^[13]。

近年来，以神经网络控制方法、强化学习控制方法为代表的智能控制策略能基于战场实际情况对外骨骼的运动状态进行实时分析，具备主动学习能力，可达到更高级别的外骨骼运动控制需求，逐渐成为最适应战场环境的控制策略之一^[14]。

2.3 机器驱动技术

驱动动力外骨骼末端执行机构工作的技术称为

机器驱动技术，根据使用环境和功能需求选择不同的驱动方式，要在兼顾质量轻、体积小、穿戴灵活等特点的同时，还能提供尽量大的力矩和扭矩。目前，常用的驱动方式有伺服电机驱动、液压驱动、气压驱动和串联弹性驱动 4 种，优缺点对比如表 2 所示^[15]。

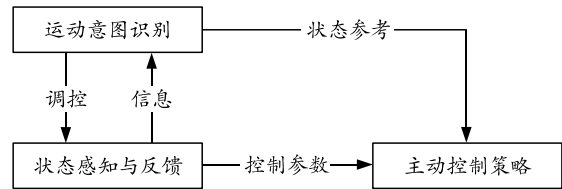


图 14 动力外骨骼主动控制拓扑图

表 2 外骨骼驱动技术优缺点对比

驱动方式	优点	缺点
伺服电机驱动	易于机电集成和自动化控制、反应灵敏、控制精准、可靠性高、噪声小	需安装减速器控制力矩、能质比低、惯性大，转向慢，较笨重、散热困难
液压驱动	结构简单，可实现无级调速、能质比高，惯性小、可直接驱动、可实现过载保护	油液易泄露、油液易被压缩，控制精度不高、有污染
气压驱动	可直接驱动、易实现无级调速、输出功率高、可靠性高，缓冲较好、无污染	能质比低、控制精度较低、结构刚度差，系统响应延迟较大、噪声大，易漏气
串联弹性驱动	控制精度高、可靠性高、惯性小，摩擦小、可储能	体积大，结构复杂，较为笨重、刚度受弹性元件限制、需求功率高

针对战场实际情况和环境特点，在负载相同的情况下，液压驱动的动力外骨骼比其他驱动方式表现出更优秀的助力性能和能量输出，更好地满足使用目的和论证要求；因此，在设计时要发挥液压驱动的优势，尽量弥补液压驱动的不足，例如洛克希德·马丁公司的 HULC、SARCOS 公司的 XOS2 和法国的 HERCULE 系列等都在满足需求的条件下，通过减少控制阀数量和优化控制阀结构来对系统进行减重节能，达到整体优化目的。

2.4 能量供给技术

战场地形环境复杂，士兵穿戴外骨骼作业时要求其有高效、安全、可靠、长久的能源供给。大多数军用动力外骨骼采用动力电池或小型发动机作动力源。动力电池无污染、无噪声、可靠性高，但自重较大，单程续航时间短，十分影响行动能力；小型发动机燃料补充方便，续航能力强，然而噪声大、热效应突出，容易被敌方侦测，不利于士兵隐蔽，即使通过工程措施改良热量噪声，也会大幅增加士兵负重，降低战场实用性。

目前，搭载锂、钠离子电池+超级电容器的“双电”系统或燃料电池系统作为能量供给已成为外骨骼动力源的设计趋势，不仅满足高能量密度和高功率密度的使用要求，而且无噪音无热量无污染，能大幅

提高续航能力。Protonex 公司已为 HULC 提供燃料电池动力版本，使其持续工作时间延长至 72 h^[16]。

2.5 新型材料技术

面对环境恶劣的战场，以刚性材料为骨架的动力外骨骼存在自重较重、惯性量大和维修保养困难等劣势，为战场实际应用带来诸多不便；因此，需要研发强度适宜、轻质柔韧、养护简便、保护性强的新型材料替代传统材料，弥补动力外骨骼自身缺陷^[17]。

1) 钛合金材料。

钛合金材料机械性能优异，广泛用于航空航天和国防军事领域，其制成的外骨骼强度高、刚性好、质量轻，满足军用动力外骨骼设计要求。同时，钛合金表面覆有一层致密的氧化钛薄膜，具有较强的耐腐蚀性，不易引起零件生锈。此外，氧化钛薄膜还可以抑制材料表面细菌滋生，防止细菌在士兵负伤后感染伤口，威胁生命安全。

2) 气动人工肌肉。

气动人工肌肉的作用是充当外骨骼系统的驱动元件，目的是突出利用气动人工肌肉质量轻、密度大、结构设计可靠性高等特点，提高外骨骼系统与穿戴者的耦合性和安全性，避免传统驱动方式对士兵身体产生损伤隐患。传统气动人工肌肉存在体积较大、收缩率低、制造难度高等缺点，不适宜进行

工业化流水线生产。新型的扁平气动人工肌肉通过将收缩层、约束层和气囊编织成一体后，再用激光切割工艺精准制造，整体无刚性零部件材料，简化制造工艺、提高制造效率、确保使用安全，使气动人工肌肉驱动方式逐渐成为轻型动力外骨骼驱动元件的不二之选。

3) 柔性纺织材料。

柔性纺织材料质量轻、灵活度高、柔韧性能佳，通过掺入形状记忆合金(shape memory alloys, SMA)实现材料刚度调节^[18]，完美贴合不同士兵形体，达到舒适耐用和兼容作训服装及作战装备的目的。此外，柔性纺织材料还可与液态防弹护甲相互嵌合，充分发挥 2 种材料柔软轻薄优势，打造质量轻盈、机动灵活、高防护性能、可覆盖全身的柔性外骨骼作战系统。

2.6 新型技术发展方向

为使军用动力外骨骼更加贴近战场、贴近部队、贴近实战，结合当前军用动力外骨骼在实际运用中存在的弊病缺陷，未来还需要从 3 方面实现技术突破：

1) 生物传感技术。

外骨骼系统与人体紧密相连，产生运动意图到执行动作行为的过程非常短；因此，需大力发展生物传感技术，提高采集识别运动信息的精准性和快速性。利用微型神经电极传感器直接检测运动肌群高质量肌电信号，极大提升运动意图信息识别的精准程度。同时，瞬间多肌群的反馈信号可以使外骨骼系统识别更为精细的运动意图指令，帮助外骨骼系统识别复杂动作行为特征，实现外骨骼完成复杂动作协调控制。

2) 复杂动作控制技术。

固定简单的执行动作一直是困扰动力外骨骼向拟人化、尖端化发展的技术瓶颈，近年来主动甄别复杂动作意图的外骨骼控制技术已逐渐走入科学视野。未来动力外骨骼要从单关节单肢体简单动作向多关节多肢体复杂动作过渡发展，不仅要依赖上述的生物传感技术，提升大脑运动意图检测识别效率，使系统对士兵的行为意图进行快速分类、精确识别；也要提高外骨骼系统执行机构的运动输出能力和精细度，两者共同发展才能实现动力外骨骼更为复杂的动作，满足战场运动多样化需求。

3) 多功能作战系统。

XOS2 动力外骨骼初步启发了动力外骨骼实战阶段需要区别功能、分开使用的思想。现代战争注

重小队化编组，每名士兵所携装备大不相同。动力外骨骼系统是一件通用装备，必须保证通专一体、人人可用，采用模块化设计理念，保证通用功能的同时还要预留专用装备接口，打造多功能作战系统，这样才能确保动力外骨骼在战场上实用有效，倍增单兵作战能力。

3 战场运用探究

3.1 推动高新武器装备实战化应用

军队创新战略最重要的就是聚焦“概念型”向“实战型”转化，“实验室”向“主战场”转化，“创新力”向“战斗力”转化。军用动力外骨骼可设计为挂载多种高新武器的作战平台，由士兵随身穿戴进入战场，以编配灵活、机动快速等优势弥补传统机械装备体积庞大、笨重缓慢等缺陷，强化新型武器装备在战场上的实战性和适用性^[19]。

现代战争常采用无人机进行战场侦察，士兵可穿戴动力外骨骼背负无人机靠近战场区域释放，通过外骨骼液晶显示面板操控无人机完成作业，下达回收指令后还可以使用外骨骼自带的微能源模块为无人机充电，通过动力外骨骼作战平台实现无人机作战任务闭环，提高无人机装备的作战范围。

3.2 助力单兵作战系统现代化升级

单兵作战理念正在发生根本性变革，未来战争模式将会颠覆传统作战单元概念，单兵作战能力的高低直接映射部队战斗力的强弱。军用动力外骨骼可搭载多功能头戴设备、微型计算机/电台、高科技武器、防护装甲、智能助跃、能量电源等若干个分系统提升士兵战场生存与作战能力，打造装备机械化、设备智能化、通联信息化的未来单兵作战系统^[20]。

军用动力外骨骼要保证装备的通用化、系列化、组合化，提高战场使用可靠性、互换性、维修性，利用北斗卫星系统打通指挥节点与作战单元之间信息非对称梗阻，加强联指中心对任务部队的通联和战场形势的感知，提升单兵渗透、小队突击、联合行动等多种作战样式的应对能力，大幅提高部队战斗效能。

随着局部式、高科技、精锐化的作战形式逐渐成为现代战争主流导向，军用动力外骨骼作战系统的性能特点很好地迎合了未来战争对士兵的能力需求，是单兵作战系统今后发展的未来答案。

3.3 加强后勤保障能力多维度建设

现代战争进程加快，保障力的强弱极大影响着

部队作战的战斗力。我军的后勤保障力量较为紧缺,然而未来战场保障项目繁多,保障人员多于战斗人员,这无疑是对后勤保障效能的一大挑战。美国 SARCOS 公司的“后勤型”XOS 2 军用动力外骨骼可让士兵轻松实现大重量弹药物资和装备给养的快速搬运,不仅可以为炮兵部队、导弹部队等需要人力搬运大重量弹药物资的部队提供运输保障,而且可以为不适合进行铁路、公路运输的海军、空军及特种作战分队提高物资供应力度,增加单兵物资的携带量和机动性;因此,一款“供得上、保到位”的后勤领域军用动力外骨骼可助力打通战场运输投送的“最后 1 公里”,是促进后勤保障力量多维度建设的“助推器”“新引擎”。

4 结束语

我国军用动力外骨骼的研究近年来已逐步展开,短时间内取得了不少实际成果。当前部队实兵演练、反恐处突、执勤巡逻等多频次高强度的军事行动和常态化任务越来越多,迫切需要一款集指挥通联、降低负重、电子对抗、综合防护等多样功能的军用动力外骨骼装备。目前,已有数个军用动力外骨骼项目正在开展实战型号研究,相信不久的将来就可正式列装部队。

动力外骨骼对军事实力有着重要提升,世界各国都在加紧研制动力外骨骼提升军队战斗力,未来我国军用动力外骨骼应围绕“科技+”“网络+”新型作战样式,在武器通用、协同控制、装备挂载、模块互换等方面取得成果性突破,加速推进新装备新力量新领域融入联合作战体系。

参考文献:

- [1] 周加永,莫新民,张昂. 外骨骼助力机器人研究现状与关键技术分析[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(10): 99-104.
- [2] 卫锦萍. 国外军用可穿戴装备发展探析[J]. 军事文摘, 2016(19): 33-35.
- [3] 牛贵君. 美军外骨骼装备研究及应用[J]. 军事体育学报, 2013, 32(3): 93-95.
- [4] 张国安. 主被动结合式全身外骨骼助力机器人研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
- [5] SONGS, COLLINS S H. Optimizing exoskeleton assistance for faster self-selected walking[J]. IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2021, 29:786-795.
- [6] 张佳林,黎兰,刘相新. 可穿戴外骨骼机器人的发展现状与应用研究[J]. 机械与电子, 2018, 36(3): 77-80.
- [7] 李会营. 单兵下肢外骨骼助力系统控制技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2013.
- [8] 葛水平,杨陈君,陈耀凯. 单兵外骨骼装备技术简介[J]. 中国新技术新产品, 2016(14): 6-7.
- [9] 姜笑天. 面向重物搬运的气动腰部助力外骨骼机械结构与控制系统设计[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- [10] 李龙飞,朱凌云,苟向锋. 面向人体运动需求的人机闭环下肢康复外骨骼设计[J]. 机械设计, 2021, 38(8): 53-60.
- [11] 郑凯,刘利利,王永奉,等. 无动力下肢外骨骼机器人研究综述及发展趋势[J]. 机械传动, 2021, 45(4): 166-176.
- [12] 魏强. 面向康复训练的下肢外骨骼系统集成与主动控制技术[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2021.
- [13] 刘冰,李宁,于鹏,等. 上肢康复外骨骼机器人控制方法进展研究[J]. 电子科技大学学报, 2020, 49(5): 643-651.
- [14] 吴佳. 面向紧急救援的可穿戴式下肢外骨骼设计研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [15] 宋道志,王晓光,王鑫,等. 多关节外骨骼助力机器人发展现状及关键技术分析[J]. 兵工学报, 2016, 37(1): 172-185.
- [16] KUSCHAN J, BURGENDORFFM, FILARETOVH, et al. Inertial Measurement Unit based Human Action Recognition for Soft-Robotic Exoskeleton[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1140(1): 484-492.
- [17] 周加永,王晶,孟小净,等. 集成化智能柔性外骨骼作战系统关键技术[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38(8): 36-40, 66.
- [18] 陈昱兴,刘鸣,王博崇,等. 智能消防外骨骼的材料研究[J]. 今日消防, 2021, 6(6): 34-35.
- [19] 李会营,王惠源,张鹏军,等. 外骨骼装备在未来单兵系统中的应用前景[J]. 机械设计与制造, 2012(3): 275-276.
- [20] 陈晓,霍宇嘉,周宏. 单兵外骨骼智能助跃系统的原理机构设计与仿真[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(6): 968-972, 977.