

doi: 10.7690/bgzdh.2020.04.004

# 机电融合技术在车载火炮中的应用

张金忠, 朱 锐, 李 华

(陆军装甲兵学院兵器与控制系, 北京 100072)

**摘要:** 为进一步适应现代化战争的需要, 对机电融合技术在车载火炮中的应用进行研究。主要介绍机电融合技术的定义、组成、技术体系和机电融合技术在车载火炮系统中几种典型的应用, 并讨论分析机电融合技术在车载火炮方面的应用前景和发展方向。该研究可为提高我国火炮性能提供参考。

**关键词:** 机电融合; 车载火炮; 机电一体化

**中图分类号:** TJ301 **文献标志码:** A

## Application of Mechatronics Technology in Vehicular Artillery

Zhang Jinzhong, Zhu Rui, Li Hua

(Department of Arms &amp; Control Engineering, Academy of Army Armored Force, Beijing 100072, China)

**Abstract:** In order to meet the further needs of modern warfare, the application of mechatronics technology in vehicular artillery is studied. This paper mainly introduces the definition, composition and technical system of mechatronics technology and several typical applications in vehicular artillery systems. And also discuss the application prospect and development direction of mechatronics technology in the field of vehicular artillery. This research can provide the reference for improving the performance of Chinese artillery.

**Keywords:** mechatronics; vehicular artillery; mechanical and electronic integration

## 0 引言

火炮作为陆军的常规武器, 在现代战争中仍占有一席之地。随着科技的进步, 火炮技术应用经历了从牵引化到自行化, 从单一化到多元化, 从机械化到信息化的转变, 但究其关键是机电融合技术在火炮中的应用, 才使火炮拥有了适应现代化战争的新生命力。为提高我国火炮性能, 笔者对机电融合技术在车载火炮方面的应用及前景和发展方向等进行分析。

## 1 机电融合技术

### 1.1 基本定义

机电融合技术又称机电一体化技术, 最早是由日本《机械设计》杂志提出的“Mechatronics”一词得来, 表示机械学和电子学 2 种学科的综合<sup>[1]</sup>。随着技术的发展, 已经不能将机电融合技术简单定义为 2 种学科的综合, 而是机械工程技术、微电子技术、控制论、信息论和系统论等多种学科的有机融合, 其实质在于从系统的观点出发, 应用机械、电子、信息等有关技术, 对其进行有机的组织和综合, 实现整体最优化。

### 1.2 基本组成

机电融合技术与机电一体化产品统称为机电融合系统。通常可分为 5 个子系统: 1) 机械系统, 包括机身、框架、机械连接等结构支持, 是机电融合系统的基础, 实现构造功能; 2) 电子信息处理系统, 包括计算机和软硬件构成的控制系统, 主要对信息进行处理、运算和决策, 实现控制功能; 3) 动力系统, 包括电源、电动机等执行元件及驱动电路, 提供能量并将其转化为需要的形式, 实现动力功能; 4) 传感检测系统, 包括各种信号检测电路与传感器, 对内部状态和外部环境进行检测, 实现计测功能; 5) 执行元件系统, 包括机械传动与操作机构, 在控制信息指引下, 完成需求动作, 实现主要功能。简单来说, 5 个系统对应构造、控制、动力、检测和操作 5 大要素。

### 1.3 技术体系

机电融合包含多种技术学科, 有其自身的技术体系, 主要包含 7 个方面: 1) 机械技术, 是实现其主要功能和构造的手段, 与传统机械技术有很大变化, 除了要运用新材料、新工艺、新机构, 更要满足产品对轻量、小型、高精度、高性能的需求; 2) 计

收稿日期: 2019-12-14; 修回日期: 2020-01-19

作者简介: 张金忠(1967—), 男, 山东人, 硕士, 教授, 从事装甲装备武器系统维修保障研究。E-mail: markfish6steven@qq.com。

算机与信息处理技术，包含计算机软硬件技术、网络与通信技术、数据库技术等，用来指挥整个系统的运行，直接关系到效率和质量；3) 检测与传感技术，研究的对象是传感器及信号检测装置，机电一体化要求能快速精准地获取信息，高精尖的检测与传感技术是必需的；4) 自动控制技术，本质是实现控制理论的工程化，由于现实问题中的被控对象往往不等于理论上的控制模型，需要利用控制技术反复修改验证；5) 伺服驱动技术，主要研究对象是执行元件及驱动装置，是直接执行操作的技术，对产品的性能、精度、控制质量等有重要影响；6) 接口技术，主要是各构成要素和子系统之间的接口，用于将输入输出装置联为一个整体，是机电融合系统最重要的设计任务之一；7) 软件技术，是计算机控制系统的基础，不仅决定硬件功能的发挥，而且决定控制品质和管理水平，必须与硬件协调一致发展。

## 2 机电融合在火炮技术中的应用

### 2.1 电起动系统

电起动系统的主要功能是通过电源带动起动电机与发动机启动齿圈啮合，压缩柴油做功从而点燃发动机，并在发动机正常运转后收回，通常由蓄电池、控制面板、起动电机、传感器、连接线路和保险机构组成，工作原理和起动电机结构如图 1 和图 2 所示。它的组成包含机电一体化系统的 5 要素，是典型的一体化产品，已普遍应用在坦克、自行火炮等载体上，是保障快速机动的重要部分。主要区分在不同型号的起动电机如 ZDT 系列、QD900 系列、QD550 系列，目前，起动控制基本采用手动控制，起动时间由驾驶员自行掌握，人为因素干扰过大，需要研究综合收集起动时需要关注的各种信息，智能判断信息是否符合起动条件并采取哪种最佳的起动控制策略<sup>[2]</sup>。

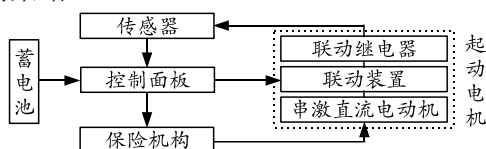


图 1 电启动系统工作原理

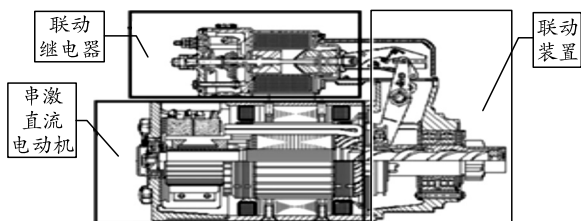


图 2 起动电机结构

### 2.2 火炮随动系统

火炮的随动系统是火炮火控系统的重要执行部分<sup>[3]</sup>，主要根据火控计算机、指挥仪或半自动瞄准仪传来的信号，自动控制与驱动火炮跟踪目标的未来命中位置和控制火炮的引信装定系统，为弹丸的引信装定时间划分。火炮随动系统一般包括测量组件、放大组件、执行组件、校正和控制组件及其他装置。典型的随动系统可分为电气伺服系统如“猎豹”35 mm 双管自行高炮配用的电气放大同步传动系统；电控液压伺服系统主要在放大和执行组件上与电气伺服系统不同，例如“密集阵”6 管舰炮捷连闭环火控系统所配用的随动系统。2 种随动系统也经常集中应用于一个武器系统上，如我军陆军主战装备 96 式坦克水平向炮控系统采用电气伺服系统，而高低向炮控系统采用电控液压伺服系统。水平向炮控系统工作原理如图 3 所示。

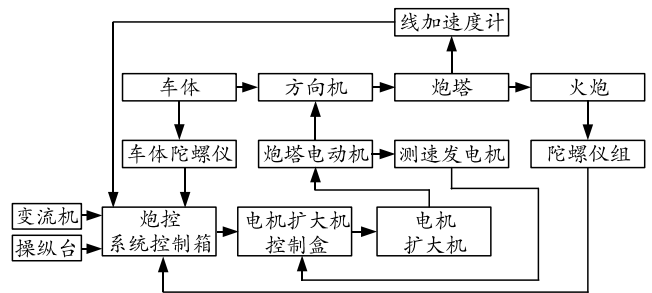


图 3 水平方向炮控系统工作原理

高低向炮控系统工作原理如图 4 所示。由图可见，水平方向炮控系统完全具备机电融合系统的 5 要素：动力源包括发电机组、变流机；电子信息处理系统包括操纵台、炮控系统控制箱、电机扩大机控制盒；传感器系统包括车体陀螺仪、线加速度计、测速发电机、陀螺仪组；机械系统包括方向机、电机扩大机；执行元件系统包括炮塔电动机。

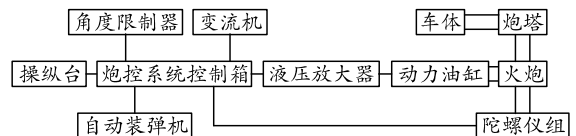


图 4 高低方向炮控系统工作原理

由图可见，高低方向炮控系统也对应了机电融和系统的 5 要素：动力源包括发电机组、变流机；电子信息处理系统包括操纵台、炮控系统控制箱；传感器系统包括陀螺仪组、角度限制器；机械系统包括液压放大器；执行元件系统是动力油缸。

目前，关于火炮随动系统的研究应用方向在于更高的控制精度与响应速度，还有高可靠性和维护性，以及进一步发展数字化随动系统。

### 2.3 自动供输弹系统

自动供输弹系统是机电一体化技术在火炮应用上的完美体现，集机械、自动控制、电液气传动、传感检测、计算机管理等于一体的智能化弹药装填机器人系统，具有弹种识别、自动或遥控装定引信、弹药数字化管理和车外弹药补给功能，主要由弹药仓、供弹(药)机、输弹机、输药机、底火自动装填机和火控计算机组成，根据待发弹仓位置分为：1) 尾舱式，典型的如法国的勒克莱尔、日本的 90 式；2) 炮塔吊篮式，如俄罗斯 T-64；3) 炮塔底舱式，如我国 99 式、俄罗斯的 T-90。底舱式某自行火炮的自动供弹装置外形结构如图 5 所示。底舱式某自行火炮的自动供弹装置工作原理如图 6 所示。

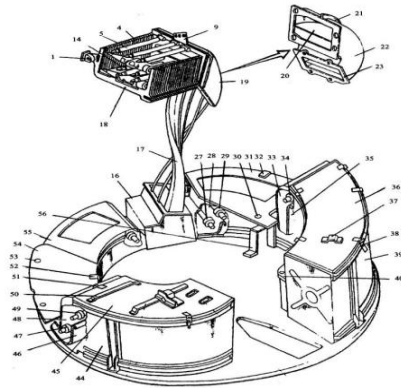


图 5 底舱式某自行火炮的自动供弹装置外形结构

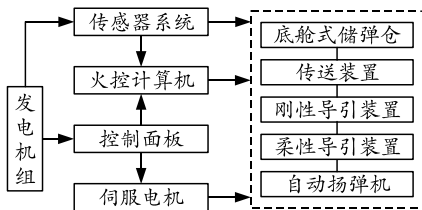


图 6 底舱式某自行火炮的自动供弹装置工作原理

图中：动力源来自发电机组；电子信息处理系统包括控制面板、火控计算机；传感器系统包括角速度传感器、位置传感器、加速度传感器、角度限制器；机械系统包括齿轮和蜗轮蜗杆传送装置、刚性柔性导引装置；执行元件系统包括伺服电机、自动扬弹机，是机电一体化系统。随着高技术应用和火炮操瞄及射击指挥自动化程度的提高，供输弹系统将向机电控制的全自动化方向发展，实现无人化、智能化。

### 2.4 智能灵巧弹药系统

智能灵巧弹药系统是由弹药、传感器和通信设备构成，以自主或人工控制方式发现选定目标，对目标进行识别、跟踪和截击，最终实现打击目的

系统，是实现精确打击的重要手段，也是机电融合的产物，最具代表性的炮射导弹系统如美国的“橡树棍”导弹、俄罗斯的 9M119“芦笛”和以色列的“拉哈特”(LAHAT)等，在弹体上集成了传感检测、计算机控制、机械执行和动力系统，在车体上也有相应的发控系统、制导装置和检测设备，特点是有效射程远、命中精度高、破甲威力大、操作简便、应用范围广<sup>[4]</sup>。图 7 为某型步战车炮射导弹系统。

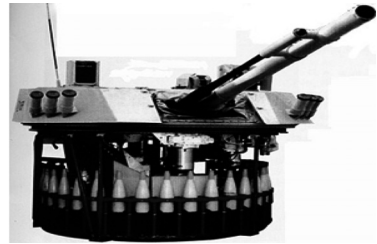


图 7 某型步战车炮射导弹系统

炮射导弹系统组成一般包括炮射导弹、发射控制系统和检测装备 3 部分。其中：炮射导弹由导弹本体、战斗部、导引头、舵机和发动机组成；发射控制系统由火炮、装填系统、测瞄制导仪和火控计算机组成；检测装备由各类传感器和自检系统组成。图 8 为某型步战车炮射导弹系统制导装置。

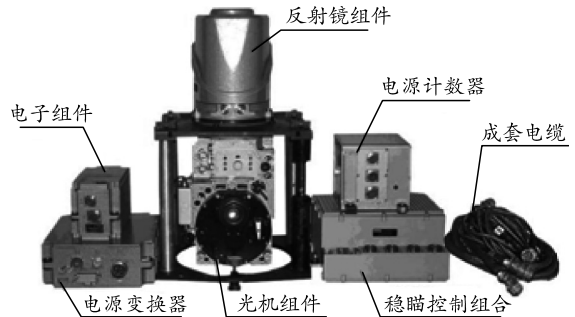


图 8 某型步战车炮射导弹系统制导装置

从炮射导弹系统的组成来看，具备了机电融合系统要求有动力源、电子信息处理系统、传感器系统、机械系统和执行元件，是机电一体化产品。炮射导弹的关键技术有抗高过载技术、高精度制导技术和抗干扰技术，目前已经实现激光架束制导和半主动寻的制导，下一步趋势将采用更先进的制导技术、利用智能可编程引信和多战斗部技术，增加威力，实现远距离精确打击。

## 3 机电融合技术在火炮应用中的发展趋势

### 3.1 智能化

智能化是当今时代发展的主题，意在控制理论的基础上，吸收人工智能、运筹学、计算机科学、

模糊数学、心理学、生理学和混沌动力学等新思想、新方法，模拟人工智能，使机器具有判断推理、逻辑思维、自主决策的能力，达到更高的控制目标<sup>[5]</sup>。具体到火炮上，研究方向主要包括火炮自动控制技术、系统状态自动检测技术、自动供输弹控制技术和机电系统的总体匹配性技术等。

### 3.2 小型化

小型化是利用高新材料和机械加工工艺，高度融合机械技术、电子技术和软件技术，使一体化设备从体积和质量方面，小型化、轻量化，但实现的功能不变甚至更强。对火炮来说，在有限的空间内实现更多的配置并尽可能地减轻质量，有助于提高火炮的快速机动能力，而且机电一体化设备的小型化也能为火炮提供未来发展的多种可能。

### 3.3 模块化

模块化可以减少一体化设备的开发和生产成本，提高不同设备之间的通用化程度，增强产品的匹配性、维修性、保障性和可靠性等，结合电子、机械、软件3大部分的机电一体化模块是未来发展的方向<sup>[6]</sup>。火炮中的机电一体化设备同样应该采用模块化技术，使不同设备之间标准统一、接口统一。

\*\*\*\*\*  
(上接第3页)

同理可知：当螺旋面配合中只有一个工件为偏心加工时，刀具需要在螺旋线的法向偏移一个刀具直径的距离，故最终配合间隙计算公式相同。

为了保证偏心加工的螺旋面能够接触配合，展开直径 $D'$ 的数值必须介于工件的内外径之间；工件螺旋面在加工展开径 $D$ 的周围配合间隙很小，离展开径越远则间隙越大；另外，配合间隙也可以通过3维建模的方式直观地进行数据测量。

## 4 结束语

在枪械领域螺旋面的设计与加工是比较常见的工程运用问题。笔者主要结合以往设计经验，针对螺旋面的运用方案、理论特性及加工计算方法进行解析，梳理了相关的计算公式，其中一些措施已经应用于产品研制，并得到有效验证，可为枪械自动

当需要不同的功能时，只需要简单地进行模块化组合，从而提高经济性和维修保障性。

## 4 结论

笔者介绍了4种典型机电融合技术在车载火炮中的应用，并讨论了今后机电融合技术在车载火炮应用方面的发展趋势，得出机电融合技术在提高火炮射速、精确打击、机动能力、可靠性、经济性及整体作战效能等方面有显著的作用。

### 参考文献：

- [1] 郭文松, 刘媛媛, 雷福祥, 等. 机电一体化技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017: 1-8.
- [2] 金圣楠, 范知友, 胡建军, 等. 基于HarmonySE方法的坦克启动信息系统设计[J]. 装甲兵工程学院学报, 2014, 28(1): 69-74.
- [3] 王卉, 李英顺. 基于多源信息融合的火炮装填状态监测与故障诊断系统[J]. 兵工自动化, 2019, 38(9): 31-34.
- [4] 穆歌, 吴溪, 崔艳萍. 国外装甲车辆的炮射导弹[J]. 国外坦克, 2007(2): 11-14.
- [5] 何毅. 我国机电一体化发展方向展望[J]. 技术与市场, 2008(7): 4.
- [6] 王钢, 富威, 宗红霞, 等. 某火炮供弹系统的模块化设计研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2008, 29(9): 978-980.

机螺旋面的设计、加工提供参考。限于篇幅要求，未将螺旋面的力学特点展开分析。

### 参考文献：

- [1] 薄玉成, 王惠源, 李强, 等. 自动机结构设计[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2009: 106-107.
- [2] 兵器工业部《枪械手册》编写组. 枪械书册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1986: 187.
- [3] 胡涛, 王瑞林, 张军挪. 某车载速射迫击炮自动机动力学建模仿真[J]. 兵工自动化, 2019, 38(4): 66-70.
- [4] 王伟, 于军. 变导程螺旋线圆柱凸轮的加工误差研究[J]. 机械工程师, 2008(4): 133-134.
- [5] 《数学手册》编写组. 数学手册[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979: 328.
- [6] 董明望, 吴林, 戴明辉, 等. 圆柱凸轮侧向传动机构圆柱凸轮廓面研究[J]. 中国机械工程, 2014(3): 337-340.