

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.03.006

## 基于高机动条件下的坦克火控系统

王钦钊, 谷晓伟, 李小龙, 王春忠

(装甲兵工程学院控制工程系, 北京 100072)

**摘要:** 为了提高坦克火控系统性能及作战能力, 设计一套基于高机动条件下的坦克火控系统。对坦克火控系统的发展情况进行简要介绍, 从火控系统解命中理论、目标跟踪与状态辨识、炮控系统稳定精度以及射击延时误差等多个层面分析影响坦克火控系统性能的原因, 并提出相应的改进方法。该研究对未来坦克的发展有一定的参考意义。

**关键词:** 坦克; 火控系统; 高速机动

**中图分类号:** TJ811 **文献标志码:** A

## Tank Fire Control System Under High-Speed State

Wang Qinzhao, Gu Xiaowei, Li Xiaolong, Wang Chunzhong

(Dept. of Control Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

**Abstract:** For improving the capability and battle effectiveness of tank fire control system (FCS), a suit of tank fire control system fit for high-speed state is designed. The development of tank fire control system is briefly introduced. The reasons of affecting the performance of tank fire control system, such as hit solving theory of FCS, target tracking and state identification, stabilizing accuracy of gun control system, and firing delay error etc, are analyzed, and put forward corresponding improving means. This study can be the reference for the development of future tank.

**Key words:** tank; fire control system; high-speed

### 0 引言

坦克是陆军主要武器系统之一, 是地面作战中最重要的突击兵器, 在历次战争中起着举足轻重的作用, 可以预见在未来的战争中, 坦克仍然会扮演十分重要的角色。在作战形态由机械化向信息化加速转变之际, 坦克火控系统在未来战场上的作战条件将发生很大变化, 敌我双方同时处于机动状态下交战将成为常态。

坦克火控系统性能的好坏决定了坦克战斗力的高低, 也是影响坦克生存能力的重要因素, 在同时发现对方的情况下, 谁打得快、打得准, 谁就能消灭对方保存自己。在现实作战条件下, 坦克火控系统的性能, 尤其是高速机动性能和高速机动条件下的精确打击性能显得至关重要, 成为保全自身消灭敌方的杀手锏。各军事强国的陆军装备发展规划中, 均把火控系统的发展作为其优先考虑的系统。因此, 笔者对坦克火控系统存在的不足和未来改进的方向进行研究。

### 1 坦克火控系统发展情况

坦克火控系统的发展非常活跃, 伴随着光机电技术的每一次发展, 总会诞生出新的火控系统。在半个多世纪的时间里, 火控系统的发展经历了人工

装表、简易自动装表、稳像和自动跟踪 4 代火控系统。

第 1 代人工装表式火控系统结构简单, 只能在高低向实现稳定, 手动装定标尺, 获取目标相关信息的准确度差, 反应时间长, 命中率低。

第 2 代简易式火控系统安装了激光测距机和火炮双向稳定器, 但瞄准镜与火炮刚性连接, 瞄准线随动于火炮运动。由于火炮为大质量惯性部件, 车辆行进间扰动幅度大、瞄准线的稳定精度低, 所以系统反应时间长, 首发命中率低, 不能实现行进间射击。

第 3 代稳像式(指挥仪式)火控系统瞄准线与火炮分离, 有独立的瞄准线稳定装置, 火炮随动于瞄准线运动。瞄准线控制精度高, 可实现行进间射击, 系统反应时间短, 射击命中率高。该火控系统目前被广泛采用。

第 4 代目标自动跟踪式火控系统在稳像式火控系统上加装自动跟踪器, 在独立稳定的瞄准线控制系统的前端加装一套跟踪线的控制系统, 实现了目标自动跟踪。既减轻乘员的工作强度, 又可提高跟踪精度, 还能高速高精度地测量出目标的有关信息, 大幅提高火控系统总体性能。目前日本 90 坦克、以色列“梅卡瓦”坦克都已安装该火控系统。

收稿日期: 2011-09-11; 修回日期: 2011-10-27

作者简介: 王钦钊(1973—), 男, 山东人, 博士, 教授, 从事坦克火控系统、系统仿真研究。

## 2 影响火控系统性能原因分析

虽然火控系统研究取得了长足的进展,系统性能得到了很大提高,但还不能完全满足高速机动作战要求,经过分析,笔者发现影响火控系统性能的原因主要有以下 4 点:

1) 现行简化的解命中模型无法适应未来机动作战条件下的高精度要求。目前大多坦克火控系统的解算模型都是基于目标做匀速运动这一基本假定而设计的,由于假定模型与未来目标的高速机动条件严重不符,将使解命中问题的求解产生较大的系统解算误差,直接影响射击精度。

2) 运动中对机动目标的精确瞄准和跟踪难以保证。在高速机动条件下,现行的瞄准线控制策略难以满足高稳定精度要求,无法实现快速准确瞄准;现行的跟踪策略大多都是在预测目标运动状态信息的基础上,依据目标运动角速度等信息进行补偿,修正动态滞后误差而提高控制精度。但这一策略在提高跟踪精度的同时,却降低了系统的动态性能,对跟踪捕获极为不利。

3) 火炮的控制精度和优良的动态过程指标难以保证。

在高机动条件下,火炮/炮塔的扰动频率和强度将发生重大变化,为保证火炮的精确稳定和快速随动,要求火炮具有很高的动态响应速度和很强的抗干扰能力。但是高效驱动及动力传动模式研究仍不深入,高功率密度电机设计及其应用相对滞后,系统驱动功率难以满足精确稳定和快速随动要求;此外,机械传动装置精度不高,存在着摩擦、齿隙等非线性因素,控制结构和控制算法简单,系统动态响应慢,低速稳定性能差,难以实现高机动条件下火炮的控制精度和优良的动态过程指标。

4) 射击延时对射击精度的影响随着坦克机动速度的提高、目标距离的增大变得更为突出,主要表现在 3 个方面:

① 射击门误差。目前的火控系统在射击门时只考虑了火炮在空间位置的偏差,没有考虑到从击发到弹丸出膛时间内火炮的速度因素,特别是在坦克高速机动作战条件下,车体颠簸等因素将会导致火炮高速通过射击门的现象发生,此时火炮进门时的速度将会影响射击精度。

② 火炮炮口的振动误差。由于火炮不是一个理想的刚体,当车辆处于高机动条件,火炮炮口实际上处于震动状态,该震动直接影响射击命中。

③ 解算距离误差。火控系统进行解算目标距离

只通过一次激光测距获取,当敌我双方均处于高机动条件时,目标的距离误差将影响射击命中。

以上问题,涉及射击理论、控制系统设计、实际工程技术等方面,当前的坦克火控系统射击理论及其实现技术已经无法满足要求。因此,提高火控系统性能,开展对直接影响射击精度的机动条件下坦克武器的射击理论、机动目标建模、精确跟踪瞄准、火炮精确控制、射击延时补偿等相关技术的研究,已成为一项十分紧迫的任务,具有重要的军事意义和现实意义。

## 3 改进思路

通过分析,可以知道影响坦克火控系统性能的因素主要有火控系统解命中理论、目标跟踪与状态辨识、炮控系统稳定精度,以及射击延时等。因此,要提高坦克火控系统性能,可以从以下 4 方面进行改进:

1) 机动条件下坦克武器的高精度射击理论与目标建模技术

由于现行简化的解命中模型与未来目标的高速机动条件严重不符,导致产生较大的系统解算误差,直接影响了射击精度。该模型基于目标匀速运动假设和未考虑坦克自身机动对解命中问题的影响是影响模型精度的主要因素。要消除由于目标匀速运动假定所引起的解命中问题系统误差,必须在考虑目标运动速度、加速度的基础上进行目标运动模型的构建。要消除坦克自身机动对解命中问题所带来的影响,须开展相应的运动状态测量技术研究。由于在射击前的跟踪滤波时,对目标机动的滤波估计是建立在敌我双方机动的基础之上,而在射击后,弹丸的飞行退化为惯性空间的问题,故在解命中预测时必须剔除本车的机动影响,即车体本身运动状态数据的测量问题。

2) 机动目标高精度跟踪瞄准技术

为了高精度跟踪瞄准机动目标,采用光电设备的目标自动跟踪式火控系统结构已成为国内外的共识。但随着目标机动性能的增强和现代技术的发展,对光电跟踪系统的响应速度、稳定精度和跟踪精度要求更高,而目前的光电跟踪系统基本上都采用基于 PID 控制策略的等效复合控制及其同轴跟踪技术,通过传感器测量数据进行滤波、预测,提供目标运动状态信息,并将目标运动角速度等信息作为前馈控制信号进行速度滞后补偿或加速度滞后补偿。但这一策略在提高跟踪精度的同时,却降低了系统的动态性能,对跟踪捕获极为不利。为此,采

用先进的控制策略实现高速机动条件下的精确跟踪与瞄准是提高系统性能的重要因素。

### 3) 高机动条件下坦克火炮控制策略与智能化技术研究

目前,制约炮控系统性能大幅提升的关键问题有2个:一是炮控系统驱动体系结构相对滞后,机械传动精度不高,存在着摩擦、齿隙等非线性环节影响;二是炮控制系统的控制理论和控制方法研究方面不够系统深入,控制方法相对简单,控制性能不高,自适应能力差,参数调整和维修保障困难,难以适应和满足复杂的工作状态以及高技术性能要求。针对上述问题,须从高效驱动结构机构和控制策略研究两方面入手,开展炮控系统非线性建模与扰动谱分析,炮控系统状态估计与参数辨识研究,系统驱动体系结构、算法与智能化控制等研究。

#### 4) 射击延时对射击精度的影响及其补偿技术

① 射击门误差分析与补偿。坦克行进间,由于稳定器的稳定精度等原因,火炮不能精确地停留在装定的射角位置,而是以此为中心在椭圆空间内随机运动,这就带来如何在火炮往复摆动的过程中捕捉最佳的射击时机的问题。通常的做法是:当火炮位置与规定的射击位置的夹角小于设定值时,允许击发,这就是所谓“射击门”。目前的火控系统设计射击门时只考虑了火炮在空间位置的偏差(即在满足其他射击允许条件的情况下,当火炮在2个方向同时都振动到某个小窗口内时,火炮便自动击发),在一定程度上解决了射击精度问题。但是没有考虑到以下因素的影响:a)在击发时刻,虽然火炮位置和规定射击位置的夹角小于设定值,但是从点火到弹丸出膛这段时间,火炮仍在运动,弹丸出膛时刻火炮位置和规定射击位置的夹角很可能大于设定值,造成弹道过量偏离;b)弹丸出膛时刻火炮的摆动速度对弹丸要产生横向牵连速度。这样会产生射击误差,在坦克行进间射击时,如果地形比较复杂而且车速较高,车体颠簸等因素将会导致火炮高速通过射击门的现象发生,此时进门速度将会影响射击精度。

针对以上问题,文献[7]提出“速度门”的概念,建立了速度门的模型,即对重合射击门的逻辑关系进行改进,加入火炮进门速度允许信号(包括水平向进门速度允许和高低向进门速度允许),以消除从点火到弹丸出膛时间内火炮的摆动对射击精度的影响。经仿真验证,所建模型可有效提高火控系统的

射击精度。为了建立精确适用的逻辑关系,该方法还需进一步的深入研究。

② 火炮炮口的振动误差预测与补偿。由于火炮不是一个理想的刚体,当车辆处于运动状态,即便火炮本身没有运动,但火炮的炮口实际上处于震动状态,当车辆运动速度提高,该震动将更为剧烈。经测试,炮口位置震动频率约15 Hz。震动的幅值最大可达2 m。并且射击门的处理措施无法监控到火炮炮口的震动,该震动直接影响射击命中。要补偿炮口震动引起的误差,需要对火炮的震动规律、震动姿态的获取手段、弹丸出炮口时刻炮口震动位置的预测进行重点研究。

③ 解算距离误差补偿。火控系统参与解算的误差因素大多是实时采集并循环解算,但是目标的距离只通过一次激光测距获取,当敌我双方均处于高机动条件下时,目标的距离误差(即从激光测距到火炮击发这段时间内的目标距离变化)将变得严重。因此,需要针对误差的影响规律、误差的补偿措施开展研究。

## 4 结束语

针对现代化战争对装甲车辆高速机动作战的需求,笔者对高机动作战条件下影响火控系统性能的射击误差因素进行了分析,提出了改进坦克火控系统的一些方法和措施,对现役和新型坦克火控系统的改进和研制有一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] 郝玉生. 动态弹道补偿[J]. 火力指挥与控制, 2003, 28(5): 92-94.
- [2] 朱竞夫, 赵碧君, 王钦钊. 现代坦克火控系统[M]. 北京: 装甲兵工程学院, 2003.
- [3] 周全, 曲玉琨, 钟良海, 等. 某新型榴弹炮火控系统效能分析[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(10): 22-23.
- [4] 周启煌, 常天庆, 邱晓波. 战车火控系统与指控系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [5] 黄迎馨. 地面火控系统发展特点及其关键技术[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2000(5): 22-29.
- [6] 王钦钊. 基于坦克火控与指控综合设计的火力分配问题研究[D]. 北京: 装甲兵工程学院, 2010.
- [7] 张国斌. 世界装甲战车发展趋势[J]. 2004(1): 6-9.
- [8] 王钦钊, 王伟, 李小龙, 等. 坦克火控系统重合射击门误差分析与速度门设计[J]. 火炮发射与控制学报, 2008(2): 73-76.
- [9] 沙明杰. 坦克火控系统的昨天、今天和明天[J]. 现代军事, 2001(1): 35-36.