

数字式坦克火控系统基本原理

周启煌 编著

兵器工业出版社

出版说明

遵照国务院关于高等学校教材工作的分工,原兵器工业部教材编审室自成立之日起就担负起兵工类专业教材建设这项十分艰巨而光荣的任务。由于各兵工院校、特别是参与编审工作的广大教师积极支持和努力,及国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的紧密配合,自1985年到1988年共编审出版了89种教材。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要,反映兵工科学技术的先进水平,达到打好基础、精选内容、逐步更新、利于提高教学质量的要求,在总结第一轮教材编审出版工作的基础上,制订了兵工教材编审工作的五个文件。指导思想是:以提高教材质量为主线,完善编审制度,建立质量标准,明确岗位责任,充分发挥各专业教学指导委员会的学术和咨询作用,加强从教材列选、编写到审查整个教材编审过程的科学管理。

1985年根据教学需要,我们组织了“七五”教材编写规划,共列入教材176种。这批教材主要是从经过两遍教学使用、反映较好的讲义中遴选出来的,较好地反映了当前兵工教材的科学性和适合我国情况的先进性,并不同程度地更新了教材的内容,是一批较好的新型教材。

本教材由侯朝桢主审,经机械电子工业部电子技术教学指导委员会复查,兵工教材编审室审定。

限于水平和经验,这批教材的编审出版难免有错误之处,希望广大读者批评指正。

机械电子工业部兵工教材编审室

1991年5月

前 言

武器系统的发展都是以基础技术的发展为前提的。激光、夜视夜瞄技术、微型计算机技术、现代控制理论与计算机控制技术、计算机图象处理技术等出现与发展,不断地将坦克(战车)火控系统推向新的水平。可以毫不夸张地说,坦克火控系统已成为现代坦克各系统中最为活跃的分支之一。

但是,在国内外许多武器系统的发展过程中,存在着一个不容忽视的现象,即武器系统的理论研究往往要落后于武器系统本身。坦克(战车)火控制系统的现状就是如此。例如,现代坦克火控制系统的体系结构虽然已经经历了扰动式、非扰动式、指挥仪式直到目标自动跟踪式的发展过程,但是在国内外却很少见到系统分析坦克火控制系统的过程原理及性能的理论著作发表。这种系统理论研究的不足,严重影响了坦克火控制系统的合理发展;使得现代坦克火控制系统的的发展过分地只依赖于新兴的尖端技术,而已引用的新兴技术也未能充分发挥其技术潜力,并使火控制系统的造价过分地高居不下,其造价已占到整车成本的三分之一以上。这一矛盾现象的形成,是有军事上的原因的,即发展武器装备的紧迫性;同时也由于在国外军事装备已高度商品化,各研制部门为争取市场,只着重于尽快研制出性能先进的坦克火控系统,而轻视了关系到系统发展的另一个主要方面——系统的理论研究。

理论研究的不足,往往会造成武器系统总体方案的选择、新技术的应用等方面的盲目性,对武器系统的迅速发展极为不利。因此,既重视系统的理论研究,又重视新技术在系统中的合理应用,才是坦克(战车)火控系统正确的发展道路。基于以上情况,本书在内容的组织上,着眼于以下三点:

一、系统介绍现代坦克(战车)火控制系统的体系结构及其基本原理;

二、介绍某些新技术的基本理论以及它们在坦克(战车)火控制系统中应用的可能性,并由此论证现代坦克火控制系统的的发展方向;

三、分析现有坦克火控制系统的技术性能,探讨充分发挥新技术的潜力、进行技术改造的具体途径。

本书是在作者广泛收集资料以及在装甲兵工程学院进行多年关于坦克火控制系统的理论研究与实验研究的基础上写成的。由于它是一本系统理论性较强及紧密联系现代火控系统实际的著作,为了帮助读者能首先对它有一个概略的了解,现将本书的几个可以提及的特点综合于下。

1. 在基本原理上,坦克(战车)火控系统虽然渊源于火炮指挥仪,但无论在内容上和分析问题的方法上,两者都存在非常显著的差别。首先,指挥仪原理主要只讨论弹丸与目标相遇的解命中问题,而坦克火控系统为了实时控制武器系统直至完成射击,还必须包括弹道问题的实时解算和火炮的实时控制。本书除了讨论和比较弹道问题的各种处理方法外,还对目前大量采用的射表逼近算法所具有的主元优势的特性进行了分析,在理论上证明了这一方法的有效性。

关于解命中问题的解算,原有指挥仪原理是在模拟系统的环境下进行讨论的,而且为了解算过程的稳定性还必须附加伺服系统。而在数字式火控制系统中,由于可以直接对解命中问题进行数值求解,不需附加伺服系统,因此对数字式解命中问题系统的动态特性如何进行理论分

析,已经成为最终建立坦克数字式火控系统理论体系的关键问题。对于这一理论问题,本书以解命中问题的数值算法为载体,用分析数值算法实时解算过程特性的方法,成功地得出了数字式解命中问题系统的稳定性、动态时间、稳态误差等动态特性的分析方法,为这一难题的解决进行了有意义的尝试。可喜的是,这种以数值算法为载体进行控制系统动态特性分析的方法,在国内出版的其他理论著作中也有采用。可以相信,这种分析方法的扩大应用,定会使那些采用复杂数学模型、并由高速计算机实时解算的实时数控系统的理论分析向前迈进一步。

2. 本书在许多章节中,都反复论述了现代坦克火控系统迄今主要是沿着火力控制主线而发展的观点,并结合坦克火控系统技术状况的实际,对这一控制主线上的薄弱环节——火炮本身的控制进行了重点的讨论。

坦克火控系统在跟踪目标过程以及射击诸元求出后的瞄准射击过程中所控制的对象为瞄准线、火炮轴线和表尺系统等。现代坦克火控系统的系统结构虽有各种眼花缭乱的变化,技术水平也有各种不同的差别,但是经过仔细的分析与归纳后就会发现,上述的变化和差别主要体现在对火炮轴线、瞄准线等主控线的控制方式和控制质量上。例如,当光电技术发展到的水平,在火炮轴线控制系统(即火炮稳定系统)的前端前置一个瞄准线稳定系统后,就成为指挥仪式火控系统,再在瞄准线稳定系统的前端前置一个以新兴的计算机目标图象识别技术为基础的目标跟踪线的控制系统后,又发展成目标自动跟踪火控系统。但是在当代坦克火控系统的这一主流的发展方向上,却存在有严重的缺陷。因为上述新型控制系统的应用,其在控制精度上的效能,最终得由控制主线末端上的火炮轴线的控制效果来体现,可是绝大多数火控系统在这个关系到系统控制精度和系统反应时间的最重要的控制环节上都未予以足够的重视,只采用较简单的控制方式。这种技术上的不协调的现象,说明当前坦克火控系统的主要发展方向还只在于一些新兴技术的直接的应用,而需要综合运用计算机技术和现代控制技术的一些重要控制环节的技术改造,目前还处在起步阶段。这一发现为我们探明了只用较少成本就能较明显地改进坦克火控系统技术性能的具体途径。上述事实说明,包括火炮轴线在内的各控制轴线的控制理论,是火控系统理论的重要组成部分,本书用了较多的篇幅对之进行了讨论。

3. 书中综合分析了指仪式坦克火控系统的性能指标,提出了正确进行指挥仪式坦克火控系统设计的指导思想和理论方法。

指挥仪式火控系统是坦克火控系统中性能较优越的一种,其最大特点是瞄准线的独立稳定。但是,理论分析证明,如果只注意瞄准线的独立稳定而不注意其他性能指标的相应提高,这种形式的火控系统将不能有效地发挥其作战效能。原因之一是,如果不进一步提高火炮控制系统的技术性能(特别是坦克行进间的火炮稳定精度),将会大大延长火控系统的反应时间和降低射击精度;原因之二是,如果不提高坦克激光测距仪的重复频率,以便对敌我双方相对运动速度进行修正,将会引起上百米至数百米的射击距离误差,其对射击精度的影响将更为严重。

4. 对于世界上几个国家正在重点研究的,在坦克火控系统中实现目标运动规律动态识别的理论课题,本书在我们所进行的理论研究和实验研究成果的基础上,提出了新的辨识方法,为在我国开展这方面的研究,做好了理论上的准备。

世界上现代主战坦克的加速性能均有显著提高,因此坦克火控系统仍按目标作匀速直线运动的假定进行目标跟踪与解命中问题的计算已不符合实际情况。本书所进行的误差分析表明,运动目标只要利用其最大加速性能的三分之一到二分之一在战场上作机动行驶,就可造成火控系统在方向上的误差达数密位之多,使射击精度大为降低。这是一个在现代坦克火控系统中急待解决的课题。国外已开始了这方面的专题研究,本书对国外所提出的某些算法进行了介

绍、分析与评价。

本来,目标的运动模型可以通过动态递推辨识的方法来获取,但常规的辨识方法所建立的模型大都是固定时间间隔的离散的差分方程,而火控系统在跟踪目标和解命中问题时所需要的目标运动模型,应能随意地适应不同时间间隔的变化,上述差分方程无法满足这一要求,致使常规的辨识方法受阻。本书在理论研究与实验的基础上,提出了直接利用测试数据对目标连续随机加速度模型即动态微分方程进行递推辨识的算法。因为连续的状态方程按转移矩阵离散后,可将时间参数析出为系数的因子,满足了解命中问题对其数学模型应适应不同时间间隔变化的要求。此外,书中还推导出满足目标跟踪和解命中问题的卡尔曼自适应滤波的双环算法,完成了目标运动规律的动态辨识和目标作随机加速度运动时的解命中问题在理论上的设计。

本书承蒙北京理工大学侯朝桢同志审定,使本书增色不少,作者在此深表谢意。

由于水平有限,书中难免有不足和错误之处,请读者批评指正。

装甲兵工程学院 周启煌

1991. 7. 10

目 录

第一篇 坦克火控系统基本原理

第一章 绪 论	1
第一节 坦克火控系统的概述	1
第二节 坦克火控系统的基本组成及工作过程	3
第三节 现代战车火控系统的分类与典型结构	6
第四节 现代坦克火控技术的展望	10
第二章 目标坐标的描述及运动规律的假定	11
第一节 目标的现在位置和提前点位置	11
第二节 坐标系及其转换	13
第三节 目标现在坐标的变化规律	14
第四节 关于目标运动规律的假定	17
第三章 解命中问题	19
第一节 解命中问题的基本矢量方程	19
第二节 原始数量方程	19
第三节 坦克在行进间射击活动目标的解命中问题	23
第四章 解命中问题的数值解法及其理论分析	26
第一节 概述	26
第二节 解命中问题的数值计算方法	27
第三节 解命中问题的理论分析	36
第四节 最佳投影轴系的选择	43
第五章 火炮外弹道方程的解算	46
第一节 关于火炮外弹道方程的概述	46
第二节 坦克火炮射表的逼近	49
第三节 坦克火炮外弹道方程的数值解法	56
第四节 弹道微分方程数值解法的边值问题	59
第五节 在近似条件下外弹道方程的求解	64
第六章 坦克火控系统基本数学模型的讨论	68
第一节 非标准条件下修正量的计算	68
第二节 坦克火控系统基本数学模型的综合	74
第三节 坦克火控系统的精度分析	77
第四节 首发命中率的估算	81
第七章 现代坦克火控系统技术性能的讨论	85
第一节 前言	85

第二节	坦克火控系统中火炮控制问题的分析	85
第三节	指挥仪式火控系统几个技术问题的讨论	87
第八章	目标图象跟踪技术	92
第一节	目标自动跟踪火控系统概述	92
第二节	图象的输入通道及数学表示法	95
第三节	图象的相关与匹配	97
第四节	实时目标跟踪器设计方案的讨论	106
第九章	参数估计与状态估计的基本原理	109
第一节	参数的最小二乘估计	109
第二节	递推最小二乘估计	113
第三节	随机变量的最小方差估计和正交定理	117
第四节	状态估计问题的提出——卡尔曼滤波	124
第五节	卡尔曼滤波的预测问题	126
第六节	卡尔曼滤波的滤波问题	131
第七节	卡尔曼滤波的应用举例与说明	136
第十章	目标运动规律的辨识及其状态估计	144
第一节	前言	144
第二节	目标运动模型(规律)的概述	146
第三节	目标运动模型的在线辨识	150
第四节	最小方差预报及其性质	152
第五节	机动目标的建模与位置预报	155
第六节	卡尔曼滤波在目标跟踪与解命中问题中的应用	159
第七节	自适应卡尔曼滤波的实现	164

第二篇 坦克武器控制系统的计算机控制技术

第十一章	坦克武器控制系统的概论	170
第一节	前言	170
第二节	典型坦克火炮控制系统介绍	171
第三节	坦克武器控制系统的发展展望	176
第十二章	计算机控制的基本理论问题	179
第一节	数字信号分析	179
第二节	采样定理	182
第三节	保持器	184
第四节	计算机控制系统的基本分析方法	187
第五节	线性离散系统的稳定性分析	193
第六节	线性离散系统的稳态误差	195
第七节	计算机控制系统中的 PID 控制	198
第十三章	最优控制与随机最优控制	203
第一节	最优控制的基本概念	203

第二节	动态规划·····	205
第三节	线性二次型最优控制·····	215
第四节	随机线性控制系统·····	218
第五节	随机线性二次型最优控制·····	220
第六节	具有完全状态信息的随机控制·····	221
第七节	具有不完全状态信息的随机控制·····	225
第八节	分离定理·····	229
第十四章	坦克武器计算机控制系统的设计·····	232
第一节	方案与控制算法的确定·····	232
第二节	系统设计·····	234
第三节	控制系统中基准坐标轴的选择·····	239
附录 A	$\Phi(\beta)$ 函数表·····	242
附录 B	Z 变换及拉普拉斯变换表·····	248
参考文献	·····	249

第一篇 坦克火控系统基本原理

第一章 绪 论

第一节 坦克火控系统的概述

坦克以及任何装甲战斗车辆(包括自行火炮和步兵战车)都是同时具有火力、机动性和防护能力三大要素的大型兵器。为了充分发挥火力的威力,使战车武器在各种复杂的条件下能迅速而准确地命中目标,就需要有许多相应的技术措施。装甲战斗车辆火力控制系统就是实现装甲战斗车辆武器系统射击过程自动化和提高射击精度的一个人机系统,简称火控系统。

当前,在所有装甲战斗车辆火控系统中,以坦克火控系统最具典型性,它的数量最大,技术发展也最趋成熟。这正是本书书名冠以“坦克”限定词的基本原因,至于在本书中所讨论的全部理论问题,无论是火控系统的基本原理,还是武器控制系统中的计算机控制技术问题,对于其他的战车火控系统也都是适用的。

就坦克火控系统而言,由于发展现代化的坦克火控系统已成为充分发挥坦克火力、提高坦克在战场上生存能力的最有效途径之一,因此世界各国都普遍重视坦克火控系统的发展。许多新技术在坦克火控系统中得到应用,这包括激光测距技术、夜视夜瞄技术、微型计算机技术和现代控制技术等,使坦克火控系统的性能不断得到提高。

现代坦克火力控制系统所具有的主要功能是:全天候地快速搜索和识别目标;迅速采集有关目标的各种参数和地形条件、气候条件以及弹道条件的有关数据;根据战场条件及坦克武器的弹道特性,迅速和有效地解算出射击诸元;在各种条件下,按解算出的射击诸元,控制坦克武器系统达到正确的射击位置,并在炮手的监控下实施射击。

为实现上述功能,坦克火控系统对于已搜索和识别的目标,必须实时地按数据采集、解算、控制三个过程来进行工作。

数据采集 在每次射击准备过程的开始,火控系统应迅速采集所必需的数据,并进行必要的数据处理,以得出目标距离、目标运动规律、地形、气象条件及弹道的有关参数等。数据的精确性是火控系统工作正常的重要保证,测距仪及其他自动传感器的技术性能,直接影响火控系统总体性能的提高。

解算 这是坦克火控系统应完成的主要任务。它包括武器外弹道方程的解算;弹丸与运动目标的相遇问题,即命中问题的解算;为补偿地形、气象、弹道条件的变化,对所需射击修正量

的解算,这三项解算任务以“数据采集”过程中所得数据为初值,在现代坦克火控系统中可在不到 0.1s 的时间内完成。武器外弹道方程的解算,可求得武器射击的基本瞄准角。命中问题和修正量的解算,则可得到为击中运动目标所需要的高低和水平方向上的提前量和各种修正量。最后由火控计算机将上述三个方面的解算值按一定的算法进行综合,得到坦克武器分别在高低传动方向和水平传动方向上的射角,此即为射击诸元。

控制 这是火控系统执行阶段的一项重要任务。火控系统核心部件的名称,由早期的“弹道计算机”改为现时的“火控计算机”,正反映了这种控制功能的增强。在火控系统中,往往因控制的对象、方式和质量的不同,而区分出系统技术水平的高低。不同类型的火控系统,它们都参照解算出的高低和水平方向上的射角,或控制装表系统,或控制武器,或分别对两者同时进行控制。在现代火控技术中,这些控制均是以一定控制算法为基础的计算机控制。表尺的装定是为火炮在射击时能有一个精确的瞄准标记,而控制武器达到正确的射击位置则是火控系统最终完成射击准备工作的标志。

为了综合评价一个火控系统完成上述任务的优劣,通常使用“系统反应时间”和“射击命中率”来衡量。前者即是系统的射击准备时间,反映了系统的快速性;后者则是衡量整个火控系统以及坦克武器各部分精度的最终指标。

坦克火控系统经历了由初级到高级的发展过程。1915 年坦克问世时,尚无火控的概念。只是从第二次世界大战末期开始,火控系统才逐渐形成,从那时到现在,坦克火控系统大体经历了四个发展阶段(见表 1-1)。第一代的坦克火控系统很简单,只配有一个光学瞄准镜,并根据已知的目标高度或宽度,利用瞄准镜中的分划板进行目视测距和简单的弹道估算,其精度是较低的。苏联 T-34 和 T-54 坦克上的火控系统均属第一代。从 20 世纪 50 年代初期开始,美国的主战坦克 M47、M48 直至 M60 都相继安装了光学测距仪,标志着坦克火控系统进入第二代。光学测距仪在发展过程中分为体视测距仪和合像式测距仪两种,它们在测距精度和速度上和目视测距相比均有较大的提高。自从 60 年代初激光测距技术在坦克上应用以来,由于它能迅速而准确地提供目标的距离信息,为在坦克上安装火控计算机提供了先决条件,一种全新的第三代坦克火控系统在 20 世纪 60 年代中期出现了。它包括激光测距仪、模拟式火控计算机、火炮稳定器、光学瞄准镜和主动式红外夜视仪等。在这样的系统中,激光测距的数据能自动输入火控计算机,计算机不仅计算速度快,而且也能考虑影响弹丸弹道的其它各种因素以及目标运动对射击的影响,故能对所需的火炮高低角和方向角进行精确的计算,并能以某种方式(如在瞄准镜中注入一个瞄准光点),指示炮长进行正确的射击。这种火控系统的采用,使坦克在短停间对运动目标的射击命中率大为提高,火控系统的优越性得到充分的体现。

表 1-1 坦克火控系统的发展过程

	测距方式	弹道计算	射角装定	火炮位置传动方式	瞄准仪器
第一代	目视	分划板	手动	手动或动力传动	可见光瞄准镜
第二代	光学方式	分划板	动力	电力或液力传动系统	可见光瞄准镜
第三代	激光	模拟计算机	自动	单向稳定器及炮塔传动系统	昼夜瞄准镜(夜视多为主动式)
第四代	激光	数字计算机	自动	双向或瞄准线稳定式稳定器	多功能综合瞄准镜(夜视为被动式)

进入 20 世纪 70 年代以后,大规模集成电路技术迅速发展,微型计算机达到应用阶段,又

为坦克火控系统的进一步发展准备了新的技术条件。各国竞相研制出以微型数字计算机代替模拟计算机为主要特征的第四代坦克火控系统。现代坦克火控系统的出现,使坦克整个火力系统的性能得到显著的增强,它已成为现代新型坦克的主要标志之一。它的突出优点是运算精度高;通用性强,只要执行不同的程序就可进行各种数学模型的计算,而在模拟计算机中则要有不同的结构与之相对应;数字计算机的逻辑判断能力强,有利于火控系统的功能扩展;此外,它还具有体积小、结构简单、成本低等优越性。如果再考虑到被动式夜视夜瞄技术、以计算机图像识别为基础的目标自动跟踪技术等新技术的逐渐采用,现代坦克火控系统的面貌定会不断地改观。

根据上述坦克火控系统的功能和它目前的技术水平,对坦克火控系统的基本要求是:

1. 能全天候地快速搜索和识别目标;
2. 能有效地采集有关目标的各种参数并能对目标实施精确地跟踪与瞄准;
3. 系统的射击准备时间(或系统反应时间)要短;
4. 要求坦克在行进中或短停间具有对运动目标射击的能力;
5. 要求达到较高的首发命中率;
6. 要求具有选择不同工作方式的能力;
7. 具有自检能力;
8. 具有野战适应能力,可靠性高,并且容易操作和维护。

第二节 坦克火控系统的基本组成及工作过程

一、基本组成

尽管现代各主战坦克的火控系统结构互不相同,但是它们的主要组成部分及其功能却是基本相同的。其组成方框图示于图 1-1。

1. 目标跟踪系统

目标跟踪系统由激光测距仪、瞄准镜和目标运动传感器组成,用以搜索、跟踪和瞄准目标,并可为系统提供目标距离和运动速度等信息。

由瞄准镜所指示的瞄准线(指瞄准镜物镜节点到分划板瞄准指标的连线以及它在目标方向上的延长线)在搜索和跟踪目标时,与火炮轴线处于同轴传动的状态,而当系统射击时,两者之间在高低和方向上均有一个按射击诸元装定的角度差。

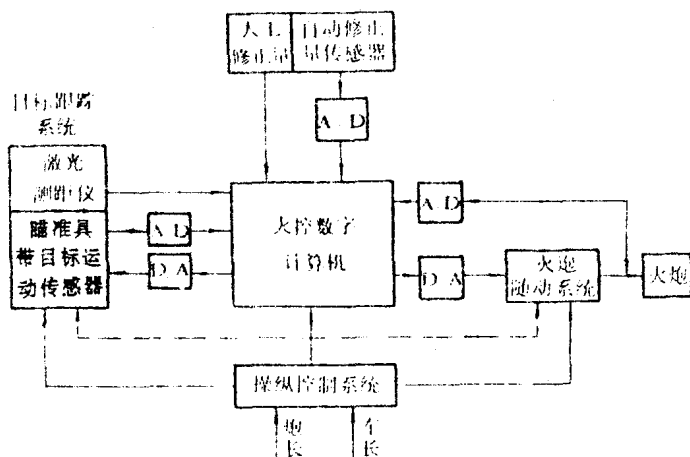


图 1-1 坦克火控系统基本组成框图

A/D—模拟量至数字量变换器; D/A—数字量至模拟量变换器。

2. 火控计算机

计算机是火控系统的核心部件。现代坦克火控系统均选用数字式的微型计算机,并且应具

有以下功能:

a. 能根据不同的弹种,自动求解弹道方程,确定火炮在高低向的基本瞄准角。这是火控计算机的首要任务,所以在早期,火控计算机又曾被广泛称为弹道计算机。

b. 能根据目标距离和运动信息,按照事先规定的有关目标运动规律的假定,解算弹丸与目标相遇的命中方程,求出火炮在高低向和方向上的角度提前量。

c. 能自动采集对射击有影响的各种弹道和环境参数,并综合计算出火炮在高低和方向上应有的修正量,再将这些修正量按一定的算法附加到已算出的瞄准角和方向角上,得到火炮最后的高低角和方向角。

d. 能控制一定的系统,以某种方式自动地装定高低角和方向角,然后指示炮长进行正确的瞄准、射击。

e. 不仅对计算机本身,而且对整个火控系统都具有自检的能力。

3. 修正量传感器

现代坦克火控系统中都包括有多种弹道参数和环境参数修正量传感器,可以实时地为计算机提供各种弹道和环境参数的当前值或与标准状态的偏离值,一旦各参数偏离了建立弹道方程的标准值时,计算机可以及时地计算出相应的修正量予以补偿,保证了射击的准确性。此即为“全解算型火控系统”的概念。特别是考虑到现代坦克火控系统是由采用模拟计算机发展而来的历史,现在仍沿用了当时较简单的数学模型。在这种情况下,为了保证系统的精确性,设立必要的修正量传感器就显得尤为重要。这些传感器提供的参数通常有:气温、气压、横风、药温、炮膛磨损、炮口偏移补偿及火炮耳轴倾斜等。在不少的火控系统中,为了简化修正系统的结构,常将其中的一部分弹道、环境参数,如气温、气压、药温等,改为人工装定,并以数字量的形式直接输入计算机。

4. 火炮随动系统

火炮随动系统是火控系统的重要组成部分。火控系统中许多重要战术技术性能均是依赖火炮随动系统来实现的。

当前,各主战坦克都安装了火炮的单向或双向稳定器,它除了在一定的精度范围内稳定火炮外,还应具有优良的控制性能,以便炮长和火控计算机能对它实施高质量的控制。

在坦克火控系统跟踪和瞄准目标时,火炮轴线与瞄准线之间始终以某种确定的方式进行联系,根据火炮随动系统类型的不同,或是瞄准线随动于火炮轴线,或是火炮轴线随动于瞄准线,在图 1-1 中以虚线表示了二者之间的这种联系。

就坦克火炮稳定器的技术水平而论,坦克火炮稳定系统可分为三类。

第一类火炮稳定系统,即常见的双向稳定系统,主要是由高低方向和水平方向上的角度陀螺仪输出误差信号,可在两个方向上稳定火炮。这种稳定系统的特点是,可以在坦克行进中粗略稳定和控制火炮,坦克只能作短停射击,并且是瞄准线从动于火炮轴线。

第二类火炮稳定系统,又称为复合控制的稳定系统,即在上述的稳定系统的基础上增加了两个前馈控制陀螺,可提高稳定精度,并使火控系统的系统反应时间缩短。但坦克仍只能作短停射击,它也是瞄准线从动于火炮轴线。

第三类火炮稳定系统,是瞄准线独立稳定的火炮稳定系统。其最大特点是具有独立的瞄准线稳定装置,并且与上述两类相反,是火炮轴线随动于瞄准线。这种方案上的改进,使整个火控系统的综合精度大为提高,可以实现行进间对运动目标的射击。至于火炮本身的稳定装置可以相同于第二类火炮稳定系统。

5. 操纵控制系统

该系统是坦克乘员(车长、炮长)对整个火控系统进行人一机联系的系统。通过它,除了可以对火炮(或瞄准镜)进行操纵控制外,还可由坦克乘员根据具体的使用情况选定不同的工作方式。通常包括:战斗工作方式,自检工作方式,校炮工作方式等。在每种工作方式中,又可根据不同的情况,设置不同的初始工作状态。

二、系统的一般工作过程

本来,系统不同,其工作过程也会有所不同。但为了加深对系统动态过程的认识,了解各部分之间的协调关系,有必要以某个模型系统为依据,对它的一般工作过程作一个概略的了解。设该模型系统如图 1-1 所示,火炮稳定系统为第一类或第二类(火炮轴线主动,瞄准线从动)。如果要求系统以战斗工作方式在停止间对运动目标射击,它的简要工作过程如下:

1. 按战斗工作方式启动火控系统;
2. 为系统设置初始状态,包括各种人工修正量的给定和目标距离采集方式的选定。距离的采集方式一般有激光测距、手动装距和直射距离装距三种,这里假定选择激光测距方式;
3. 操纵火炮,带动瞄准线,炮长通过瞄准镜的视场搜索和识别目标,同时车长也在自己的视场内进行这一工作,并能在必要时以一定的方式向炮长指示目标;
4. 发现并选定目标后,进行弹种选择,并装弹;
5. 用瞄准线对准目标,当瞄准线开始平稳地跟踪目标时,按下激光测距按钮进行测距。距离的信号就以数字量的形式为火控计算机所采集;
6. 当炮长按下激光测距按钮时,计算机的跟踪程序也随即开始执行,然后以某种约定的方式,利用瞄准线平稳地跟踪目标 1~2s。此时,目标在水平及高低向的运动信息将自动地引入火控计算机;
7. 火控计算机根据目标的各种信息(距离和速度)及各传感器所提供的信息进行弹道方程、命中方程和修正量的求解,最后计算出高低向瞄准角和水平方向上的方向角,并通过一定的装置,以火炮轴线为基准,按解算出的瞄准角和方向角的负值对瞄准线进行装定,装定的方法可以是精确地移动分划板,也可以是在瞄准镜的视场内注入一个位置精确的光点,这一过程称为表尺的装定。

在装表的同时,系统还以某种方式控制火炮稳定器,在瞄准线移动的反方向调动火炮,并以一定的精度继续保持瞄准线对准目标;

8. 在上述过程完成后,系统即以某种方式通知炮长,告知射击准备完成。炮长再经过精确的瞄准后即可击发。

对于上述的一般工作过程,有两点需要补充说明。

a. 在上述工作过程中,从激光测距开始到炮长射击完成的一段时间称为系统反应时间。有的火控系统是首先对目标进行跟踪,测量其运动参数,只是在跟踪结束时才发射激光进行测距,这时的系统反应时间则应从跟踪开始时算起。系统反应时间是坦克火控系统的重要技术性能指标之一。系统反应时间愈短,说明火控系统综合技术水平愈高,在战场上的作战效能也就愈强。至于激光测距时机的选择,上述两种选择各有优点,由于目标距离是系统工作的最重要的初始数据,只有激光测距的数据被炮长判定是合理的情况下(因为激光测距的成功率并非百分之百),随后的工作过程才有意义,所以经常是先测距后跟踪。而选择先跟踪后测距的优点是,测距时刻更接近击发时刻,在目前反应时间仍然较长的情况下,距离数据的有效性得到提

高。

b. 从上述工作过程可以看出,在整个系统反应的时间内,甚至提前到从发现目标开始,炮长均要力求使瞄准线跟踪和瞄准目标,这是火控系统能否正常工作乃至能否命中目标的关键。这也正是火控系统是一个典型人一机系统的由来。而炮长的这一跟踪和瞄准过程的精度,又主要取决于火炮随动系统的技术性能。因此提高随动系统的技术水平,对提高系统射击精度和缩短系统反应时间都是有实际意义的。

第三节 现代战车火控系统的分类与典型结构

一、现代战车火控系统的分类

1. 按战车的类型分类

现代各国的军用装备中已出现的火控系统有:坦克火控系统;自行火炮火控系统;步兵战车火控系统。

2. 按火控计算机的类型分类

由于火控计算机有模拟式和数字式两种,它们的系统也分别称为模拟式火控系统和数字式火控系统。

因为数字式计算机有许多显而易见的优点,所以,数字式火控系统已成为当代战车火控系统的主流。但是模拟计算机也有可取之处,即运算速度快,当输入信息后,它的运算速度只取决于模拟运算电路系统的稳定时间,这往往比数字计算机的解算速度快。

3. 按火炮随动系统中的火炮轴线与瞄准线之间的控制方式分类

这是最受人们重视的分类方法,当前的坦克火控系统可分为扰动式、非扰动式、指挥仪式三种。就是说,在装表过程中,按瞄准线是否出现扰动现象来区分前两种,而当采用第三类火炮稳定系统,即瞄准线独立稳定的火炮稳定系统时,则称为指挥仪式火控系统。

这一分类方法既反映了系统总体结构的不同,也反映了系统技术水平的高低。显然,指挥仪式火控系统是较前两种先进的火控系统。所以,又称扰动式和非扰动式为简易式火控系统。

二、现代坦克火控系统的典型结构

1. 扰动式

扰动式坦克火控系统的结构见1-2。在这种系统中,瞄准镜与火炮刚性连接,静态时瞄准线与火炮轴线是经过校准而一起对准目标的。该系统中炮长通过操纵控制装置直接调动的是火炮,瞄准镜则从动于火炮。在瞄准和跟踪过程中,进行测距和目标运动速度的采集。随后,火控计算机根据输入的距离、运动参数、耳轴倾斜角和各种修正参数等,计算出相对提前角,即瞄准线相对火炮轴线的偏移角。然而在扰动式的系统中,该提前角信息仅输到瞄准镜的驱动系统中,控制瞄准线偏移。其偏移量应等于提前角,而偏移的方向则和火炮应该偏移的方向相反,当炮长发现瞄准线偏离目标时,又通过操纵控制装置调动火炮,使偏离后的瞄准线重新对准目标,这时就赋予了火炮以应有的提前量,射击准备即告完成。这种瞄准线从“偏移”到“重新对准”的过程,称为扰动过程。因而这种控制方式称为扰动式。

扰动式系统结构较简单,可在普通老式火控系统基础上改装。但是由于有扰动过程,带来了时间上的延迟,系统的反应速度变慢。另外由于炮长看到的是瞄准镜分划板,操纵控制的却

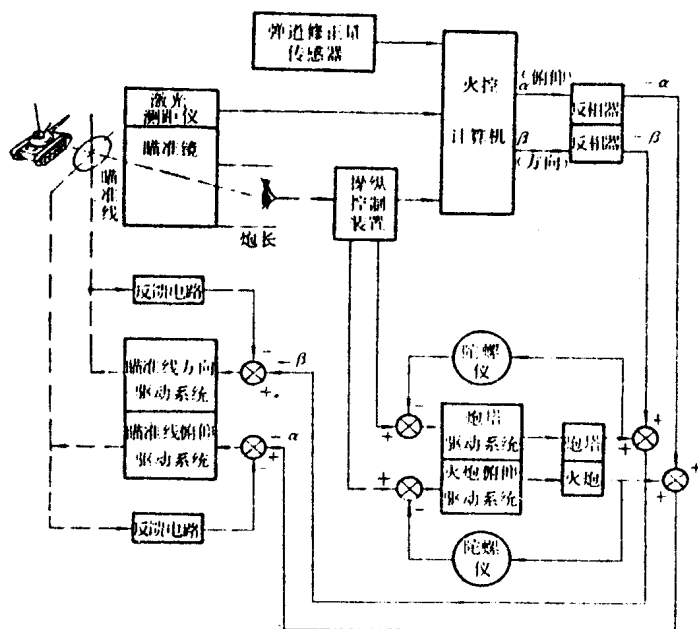


图 1-2 扰动式坦克火控系统结构示意图

是火炮,因此操作难度大。从行进间射击精度看,由于瞄准镜与火炮刚性相连,即使火炮被稳定了,转动火炮时所产生的抖动现象也产生对瞄准线的干扰,所以扰动式系统动态精度差,不能行进间射击,但是其静态精度却是较高的。

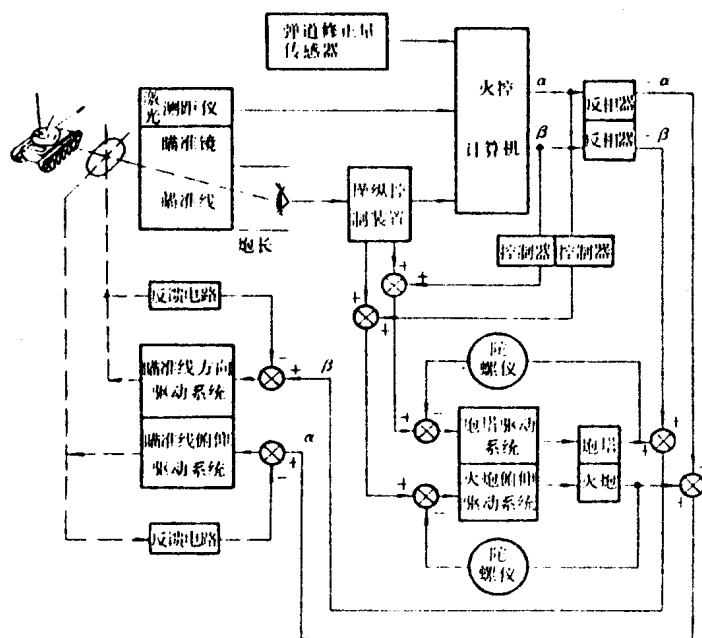


图 1-3 非扰动式坦克火控系统结构示意图

2. 非扰动式

非扰动式是对扰动式的改进。其结构见图 1-3。两者相比,非扰动式系统主要增加了计算机对火炮的控制装置。它也接收计算机输出的提前角信息,将其放大并用 以对炮塔和火炮驱动系统(即双向稳定器)进行控制。有了这一控制装置后,计算机计算出的提前角信息,除输送到瞄准镜驱动系统外,还输送到火炮的这一控制装置,控制火炮自动转动到提前位置上。因瞄准线和火炮轴线同时受到提前角信息的控制而移动,且移动的大小相等,方向相反,这样瞄准线仍能基本对准目标,看不出明显的扰动过程,所以将这种工作方式称之为非扰动式。

非扰动式系统结构不太复杂,是在扰动式系统的基础上发展而来,且没有可见的扰动过程,系统的反应速度明显提高。但是系统仍然要通过转动火炮来带动瞄准线,火炮的不稳定因素仍易对瞄准线产生干扰,所以也不宜行进间射击,仅适于短停射击。

3. 指挥仪式

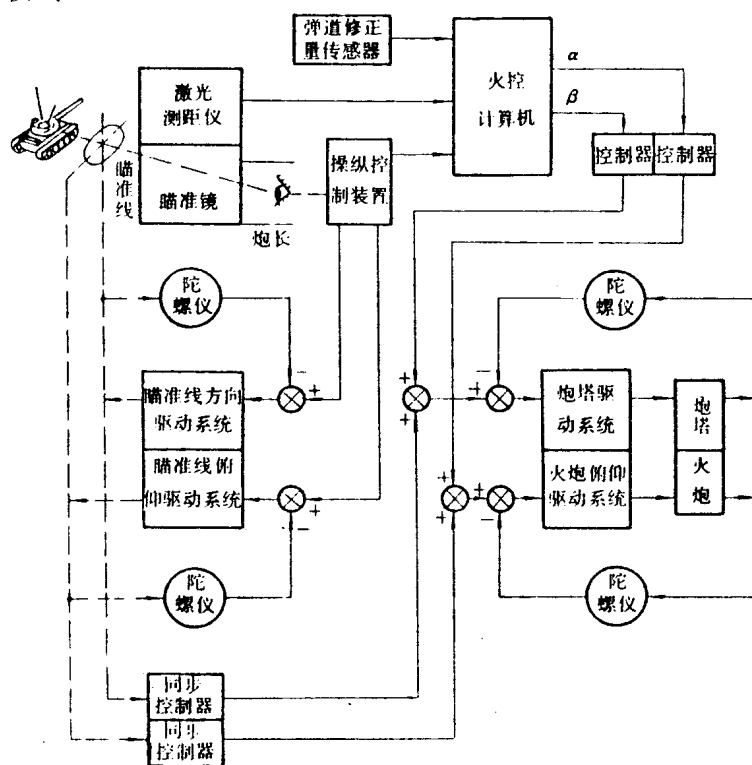


图 1-4 指挥仪式坦克火控系统结构示意图

这类系统在性能方面与前两种相比,均有较大改进(图 1-4)。其最大特点是瞄准线与火炮分离,并有独立的瞄准线稳定装置。炮长瞄准时,通过操纵控制装置,使瞄准线始终保持对准目标,火炮不再由炮长直接驱动,而是随动于瞄准线。火控计算机仅输出信息给炮塔和火炮驱动系统,不再对瞄准线产生扰动。

瞄准线稳定的方法很多,其中之一是在平行光路中用稳定反射镜的方法来实现。其光路简图示于图 1-5。光线从入射窗 1 进来后,经反射镜 2 与 3 反射,通过透镜 4、直角棱镜 5 在分划板 6 上成像。观测手则通过目镜 8、棱镜组 7 进行观察。只要用陀螺仪对反射镜 2 与 3 进行双向稳定,就可补偿坦克行进中因车体倾斜和转动而造成瞄准线在高低和水平两个方向上的偏转,达到稳定瞄准线的目的。其中,稳定反射镜 2,可在高低向稳定瞄准线,稳定反射镜 3,则可在水平方向上稳定瞄准线。

指挥仪式火控系统的工作过程较前两种有所简化。炮长通过控制装置使瞄准线对准目标,火炮自动随动于瞄准线,在测距和跟踪后,火控计算机根据各种信息计算出提前角,该提前角信息仅输送给炮塔和火炮驱动系统,驱动火炮到达允许射击位置,一旦火炮进入计算机所规定的允许射击位置时,系统就自动进行射击,火控系统的一次射击任务即告完成。为了判断火炮是否进入允许射击位置,在系统中设有一个具有逻辑判断功能的重合电路(或称射击门电路),它的基本组成为一逻辑与门(图 1-6)。

图中 A 、 B 、 C 、 R 为逻辑量,其中

- A —— 火炮在高低向的误差小于 a ;
- B —— 火炮在方向上的误差小于 b ;
- C —— 射击命令(由击发按钮给出);
- R —— 可以射击(接至火炮射击电路);

a 、 b 为事先规定的允许误差。只有 A 、 B 、 C 三个量均为 1 时,逻辑量 R 才为 1。由 R 启动射击电路就可实现自动射击。

要指出的是,射击门电路虽然可以控制系统实现精确的射击,但是当火炮稳定器的稳定精度不高时,为了等待火炮进入正确的射击状态,会使系统反应时间明显延长。因此,对指挥仪式火控系统来说,提高火炮的稳定精度乃是一个至关重要的事情。

指挥仪式系统的最大优点是瞄准线能得到高精度的稳定(稳定一个光路元件无疑要比稳定整个火炮容易得多),它既不受火炮振动的影响,也不受系统工作过程所带来的扰动。对它的操纵也比操纵火炮容易得多,易于实现高精度的跟踪和瞄准,射击精度可大为提高,可实现行进间对运动目标射击。另外系统在工作中,瞄准线无扰动过程,只要火炮随动系统的品质相应改善,系统反应时间比前两种都会减小。但是这种系统结构复杂,造价高,瞄准线独立后,动态精度虽然提高了,但静态精度却有所降低。

在此处有一点需要提及,指挥仪式系统虽然在分系统中有闭环控制作用,但就整个火控系统的控制回路而言,却是一个已将炮长的控制作用考虑在内的开环控制系统。其控制回路为

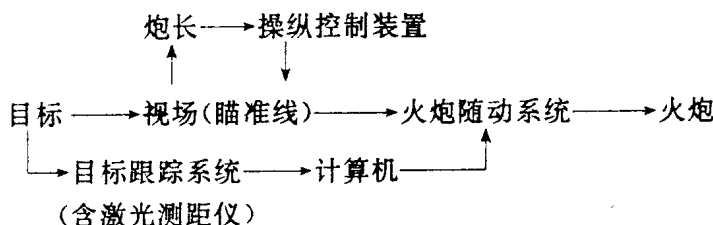


图 1-5 瞄准线稳定方案示意图

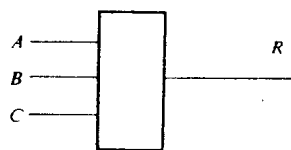


图 1-6 射击与门电路

对于扰动式和非扰动式系统而言,则是在坦克内部的一个闭环控制系统,以扰动式为例,其控制回路为