

《火力与指挥控制技术丛书》第 007 号

坦克火力控制系统

周启煌 单东升 著

国防工业出版社

《火力与指挥控制技术丛书》第 007 号

坦克火力控制系统

周启煌 单东升 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

坦克火力控制系统/周启煌,单东升著. —北京:国防工业出版社,1997.5

(火力与指挥控制技术丛书)

ISBN 7-118-01687-X

I. 坦… II. ①周… ②单… III. 坦克—火力控制系统 IV. TJ811

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 24302 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 13 $\frac{1}{8}$ 342 千字

1997 年 5 月第 1 版 1997 年 5 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:19.40 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

《火力与指挥控制技术丛书》

第二届编委会

主 任	谢 光			
副 主 任	范学虹	曾 铎	柳克俊	张有建
委 员	么树朴	王校会	刘 仁	刘永辉
(按姓氏笔画为序)	刘昌礼	朱如玲	孙隆和	陈 杰
	张洪向	杨恺滋	沈崇渊	郭 治
	龚 诚	董志荣		

序

我国火控系统研制工作开始于 50 年代,经历了由仿制到自行设计、研究发展的全过程。几十年来,我国在陆用、海用和空用火控研制方面都取得了很大成绩,也积累了不少经验和教训。当然,我们也清楚地看到,和先进国家比较我们还有很大差距。为了总结我们自己的科研成果和研制中的经验教训,为了更快地缩短与先进国家的差距,为了向广大科技人员及从事科技工作的领导干部介绍有关火控方面的知识,国防科技系统一批长期从事火控科研、生产、教学、试验的专家学者,决定编写出版一套《火力与指挥控制技术丛书》。这是一项很有意义的事情,受到了各级领导的重视和支持,受到了广大火控专业科技人员的欢迎。我深信,这一套丛书的出版必将对我国的国防现代化起到积极的推动作用。



1992 年 11 月 22 日

国防科技图书出版基金

第二届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模		
主任委员	黄宁		
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允
	曾铎		
秘书长	刘琯德		
委员	尤子平	朱森元	朵英贤
(按姓氏笔画为序)	刘仁	何庆芝	何国伟
	何新贵	宋家树	张汝果
	范学虹	胡万忱	柯有安
	侯迁	侯正明	莫梧生
	崔尔杰		

前 言

坦克火力控制系统是坦克诸系统中最为人们重视的系统之一。其所以如此,一方面是因为它在提高坦克火力系统性能乃至整个坦克的战术技术性能方面具有重要的作用,另一方面也由于它是一个具有发展潜力的系统。从本质上说,坦克火力控制系统是数字式的电子系统,与当今的数字计算机技术和电子技术的新成就具有天然的亲和力,对坦克火力的许多新要求以及新近形成的坦克指挥控制系统的部分功能,都是通过火力控制系统的发展来予以实现的。所以说,火力控制系统是坦克中发展最快也是最具发展潜力的系统。

为了跟上坦克火力控制系统的这一发展步伐,火力控制系统的理论研究面临着十分艰巨的任务。首先,它要对高速发展的系统进行理论的跟踪研究,例如现代数字式火力控制系统就存在着建立其理论体系并不断完善的繁重任务。第二,对于缺少理论指导而又迅速发展的系统中必然存在的某些方面的缺陷,包括系统体系结构的不足和某些新技术的应用不当等,要进行深入的理论分析,为火力控制系统的技术改造指明方向。第三,要对火力控制系统的发展趋势,进行理论的超前研究,以便对新系统的发展论证、设计理论、体系结构等起到指导作用。而且,事实说明,只有这一跟踪、技术改造及超前的理论与高速发展的实际系统紧密结合,才能促进两者良性地同步发展。

就坦克火力控制系统本身的发展而言,在今后一个时期内,它的发展趋势有两个方向:首先,因为现代坦克火力控制系统迄今主要是沿着火力控制主线而发展的,今后仍将继续在控制主线上发展它的系统结构,使坦克火力控制系统各个工作过程的性能得到进一步的提高,其中包括目标自动跟踪火力控制系统的研制与推

广,以及为了火力控制与火炮控制的性能协调而需对火炮控制系统进行技术改造等。第二,是要研究解决坦克火力控制系统的各个数学模型过于简单的状况,其中的目标运动模型代表了火力控制系统关于战场状态描述的数学模型,由于现代坦克机动性能大幅度提高,现行的匀速直线运动模型已难以适用,在某些情况下,战场模型的失实已成为火力控制系统中最大的误差来源。这是一个在各类兵器火力控制系统中均存在的问题,是一个理论性和技术性都很强的课题。为了适应现代战场情况的变化,人们必将改变对坦克火力控制系统只注意在控制主线上发展其硬件结构的状况,而加强对战场模型的理论研究,并在近期内取得进展。

上述关于坦克火力控制系统的理论研究和趋势的描述,都预示着,坦克火力控制系统的理论处在一个活跃的发展过程中。它既要促进火力控制系统的发展,又要随着实际系统的发展而深化和拓宽自己的内涵。作者希望,本书的出版,能对这一发展过程起到一定的促进作用。

作者于1991年在兵器工业出版社出版过《数字式坦克火控系统基本原理》的著作。由于在建立和完善现代坦克火力控制系统的理论体系的研究工作上取得了一定的成就,曾获得某些好评。但是为了跟上坦克火力控制理论的发展势头,其中也包括我们在近期的科研工作中和火力控制系统的理论研究中的新收获,又促成了我们对本书的创作愿望,并在各级尊敬的评审专家和国防科技图书出版基金评审委员会的鼓励与资助下,完成了这本书的出版。

本书是一本系统理论性较强又紧密联系现代坦克火力控制系统实际的著作。现将它的特点综述于下。

(1) 保持坦克火力控制系统理论体系的完整性,是本书的一个着眼点。现代坦克火力控制系统理论体系的确立,其难点在于数字式解命中问题系统的理论分析的实现。模拟式解命中问题系统的理论,曾经是模拟式火炮指挥仪理论的主要组成部分。由于数字式解命中问题系统在系统结构、求解方法上完全与模拟式不同,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,就自

然成为最终建立现代坦克火力控制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,使现代坦克火力控制系统的理论体系得见雏形。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,近来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) 作者所提出的关于现代坦克火力控制系统主要是沿着控制主线而发展的论点,也是本书的一个基本论点。书中从多个方面证明,火力控制系统迄今的主流发展方向,是逐步形成各轴线(跟踪线、瞄准线和火炮轴线)控制系统分离的体系结构和提高它们的技术性能。本书为此建立了相应的理论体系。这一理论体系的建立,不仅正确地反映出客观规律的存在,还为分析系统体系结构的合理性和研究各分系统所具有的各自的特性提供了条件。例如目前坦克火力控制系统的体系结构中一个最大的薄弱环节,就是控制主线末端上的火炮控制系统。因为在控制主线前端上各个技术先进的控制系统的应用,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。尽管在西方各先进坦克火力控制系统中,对火炮的控制采取了不少技术措施,但因难度较大,其技术水平乃至系统的设计思想都未见大的突破,严重影响了坦克火力控制系统技术性能的提高。

面对这一情况,以我们的一项科研成果为背景,本书提出了坦克火炮控制系统的新理论。其中包括:输入方式误差概念的引入,从理论上弥补了线性二次型最优控制问题应用范围有限的不足,从而使最优化的精密跟踪过程得以实现;在火炮控制系统的设计理论上,采用了浮动基准坐标轴的设计原理,大大提高了系统对多项功能的综合能力,使西方先进坦克火力控制系统中围绕火

炮控制功能而设置的多个独立的控制分系统,可以综合在一个系统中完成。这些理论方法的正确性已在科研成果中得到证实,使火炮控制系统的多项性能得到大幅度提高。为坦克新型火炮控制系统的设计,给出了一条新的技术途径。

(3) 关于提高火力控制系统目标运动模型精度的问题,已是各类兵器火力控制系统都在探索解决的重大课题。目前可采用的权宜办法有,仍对目标的运动规律进行假定,但假定的模型,更为复杂,例如采用随机加速度模型等,或者将未知的模型误差视为系统噪声,通过引入附加虚拟噪声而将问题转化为带时变噪声的自适应 Kalman 滤波问题。而在坦克火力控制系统中,国外已在按目标具有多模态运动规律的假定,设计出 3~5 个解命中问题系统并行工作的试验系统。

本来,目标的运动模型是可以直接通过系统辨识而实时地求出的。但这时求出的模型为差分方程,不能满足非制导武器解命中问题中目标模型要适应不同工作周期变化的要求。对此,我们以大量的试验研究为基础,在本书中成功地提出了具有偏差补偿特性的机动目标参数辨识模型的实时递推辨识法。由于这一模型的状态方程按转移矩阵离散化后,其工作周期可析出为系数的组成因子,满足了模型对不同工作周期的适应性要求。此外,书中还推导出满足目标跟踪和解命中问题的 Kalman 自适应滤波的双环算法,完成了目标运动规律的实时辨识与机动目标的自适应跟踪和自适应解命中问题在理论上的设计,为这一课题的最终解决,向前迈出了一大步。

在撰写本书的过程中,得到装甲兵工程学院夏永霖教授、北京理工大学胡祐德教授和装甲兵装备技术研究所唐家固高级工程师的大力支持,另外装甲兵工程学院的张豫南同志和汤霞清同志还为本书提供了部分宝贵的资料和数据,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不足和错误之处,恳请读者批评指正。

作 者

作者简介

周启煌 1935年2月出生于武汉,1960年(哈尔滨)军事工程学院毕业。多年从事于火力控制系统的教学与科研工作,主要研究方向有坦克火力控制系统的理论研究,数字式火炮控制系统及其设计理论的研究,对机动目标的自适应跟踪与解命中问题的技术研究以及坦克电子综合化系统的研究等。著有《坦克火控技术原理》、《数字式坦克火控系统基本原理》等著作,发表论文20余篇。现为装甲兵工程学院教授。

单东升 1964年11月生。1987年7月毕业于装甲兵工程学院火控系统专业,1990年5月获工学硕士学位。现为装甲兵工程学院电子工程系讲师。

ISBN 7-118-01687-X/TJ · 114

定价: 19.40 元

内 容 简 介

本书是坦克火力控制系统方面的一部专著。

全书对坦克火力控制系统的基本理论体系和火力控制系统的几个主要发展方向进行了较深入的理论分析与论述。在基本系统理论方面,书中包括坦克火力控制系统概论、现代火力控制系统的解命中问题及理论分析、火炮外弹道方程的解算和坦克火力控制系统的基本数学模型等。在火力控制系统发展方向的理论方面,书中主要论述了目标模型的辨识、对机动目标的自适应跟踪与解命中问题、目标图象的生成与处理、目标图象跟踪技术、数字式火炮控制系统设计和坦克电子综合化系统等。

本书的读者对象主要是,装甲车辆、兵器技术、火力控制、自动控制、计算机应用等领域中,从事相关兵器系统的论证、设计、制造、运用及理论研究与分析的科技人员和大学师生。

目 录

第一章 坦克火力控制系统概论	1
第一节 坦克火力控制系统的定义与功能	1
第二节 现代坦克火力控制系统的基本组成及控制过程	3
第三节 现代坦克火力控制系统的系统结构	7
第四节 坦克火力控制系统的发展展望	14
第二章 现代火力控制系统的解命中问题及理论分析	18
第一节 目标位置的描述	18
第二节 坦克火力控制系统的坐标系	21
第三节 关于目标运动规律的假定	25
第四节 解命中问题方程	28
第五节 解命中问题的数值计算方法	33
第六节 解命中问题的理论分析	47
第七节 最佳投影坐标系的选择	59
第三章 火炮外弹道方程的解算	64
第一节 火炮外弹道方程的概述	64
第二节 坦克火炮射表的逼近	70
第三节 外弹道方程边值问题的数值求解	77
第四节 在近似条件下外弹道方程的求解	84
第四章 坦克火力控制系统的基本数学模型	88
第一节 非标准条件下修正量计算	88
第二节 坦克火力控制系统基本数学模型的综合	93
第三节 基本数学模型的误差分析	96
第五章 系统辨识与状态估计的基本原理	103
第一节 系统辨识的基本原理	103
第二节 系统辨识的递推算法	108

第三节	随机变量的最小方差估计和正交定理	112
第四节	状态估计问题的提出——Kalman 滤波	120
第五节	Kalman 滤波的预测问题	123
第六节	Kalman 滤波的滤波问题	129
第七节	Kalman 滤波的稳定性	135
第八节	带有色观测噪声时的 Kalman 滤波	138
第六章	对机动目标的自适应跟踪与解命中问题	143
第一节	目标运动模型的概述	144
第二节	机动目标的随机加速度模型	148
第三节	目标运动模型的在线辨识	153
第四节	跟踪机动目标的自适应滤波	162
第五节	带有色观测噪声的自适应 Kalman 滤波	169
第六节	带模型误差的自适应滤波	184
第七节	对机动目标的解命中问题	188
第八节	机动目标参数辨识模型的在线辨识	199
第九节	自适应 Kalman 滤波双环计算法	209
第七章	目标图象的生成与处理	217
第一节	目标自动跟踪火力控制系统概述	217
第二节	图象的输入通道及数学表示法	220
第三节	图象的灰度变换	225
第四节	图象的平滑与滤波	231
第五节	图象的尖锐化处理	237
第六节	边缘检测	241
第七节	图象的分割与区域描述	246
第八章	目标图象跟踪技术	253
第一节	波门跟踪	253
第二节	图象的相关与匹配	259
第三节	相关跟踪算法的选择	265
第四节	几种实用的相关算法	270
第五节	目标图象序列的运动估计	277
第六节	视频自动跟踪器(VATT)设计方案的讨论	280
第九章	最优控制与随机最优控制	289

第一节	最优控制的基本概念	289
第二节	动态规划	291
第三节	线性二次型最优控制	301
第四节	随机线性控制系统	306
第五节	随机线性二次型最优控制问题的描述	308
第六节	具有完全状态信息的随机控制	310
第七节	具有不完全状态信息的随机控制	317
第八节	分离定理	324
第十章	数字式火炮控制系统设计	327
第一节	系统方案的确定	327
第二节	随机最优控制算法的设计	333
第三节	数字 PID 控制算法的设计	346
第四节	火炮控制系统的精密跟踪理论	351
第五节	浮动基准坐标轴的系统设计	358
第十一章	坦克电子综合化系统	365
第一节	坦克电子综合化系统的由来	365
第二节	数据通信的基本原理	373
第三节	数据总线的通信规程	380
第四节	坦克指挥控制系统与坦克火力控制系统的综合化技术	393
附录		399
附录 A	Z 变换及拉普拉斯变换表	399
附录 B	矩阵微分运算规则	400
参考文献		403