

★ ★ ★  
★ “十三五” ★

国家重点出版物出版规划项目



国之重器出版工程  
国防现代化建设

高效毁伤系统丛书·智能弹药理论与应用

## The Basic Design Theory and Application of Smart Fuze

# 灵巧引信设计 基础理论与应用

张合 李长生 著

## 内 容 简 介

灵巧引信是在机械、机电、近炸引信发展基本成熟之后，正在逐步完善设计理论的一类新引信，它具有可装定、可探测、可处理、可控制四种特点与性能。作者在带领国防科技创新团队开展灵巧引信设计理论与方法研究三十多年技术积累的基础上，在完成多个灵巧引信型号后，分别获得两项国家科学技术进步奖和多项国防科学技术进步与发明奖成果的支撑上，系统总结了多种弹药用灵巧引信的设计基础理论和方法，为灵巧引信的发展奠定了坚实基础。

本书填补了国内外在灵巧引信领域的空白，可作为指导研究院所、工厂技术人员的灵巧引信设计用书，也可作为高等院校兵器科学与技术学科研究生的教材与参考用书。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目（CIP）数据

灵巧引信设计基础理论与应用 / 张合, 李长生著. —北京: 北京理工大学出版社, 2019.11

ISBN 978-7-5682-6651-2

I. ①灵… II. ①张… ②李… III. ①引信-设计 IV. ①TJ430.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 009809 号

---

出 版 / 北京理工大学出版社有限责任公司  
社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号  
邮 编 / 100081  
电 话 / (010) 68914775 (总编室)  
(010) 82562903 (教材售后服务热线)  
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>  
经 销 / 全国各地新华书店  
印 刷 / 固安县铭成印刷有限公司  
开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16  
印 张 / 26.25  
彩 插 / 1  
字 数 / 460 千字  
版 次 / 2019 年 11 月第 1 版 2019 年 11 月第 1 次印刷  
定 价 / 112.00 元

责任编辑 / 梁铜华  
文案编辑 / 梁铜华  
责任校对 / 杜 枝  
责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

# 《国之重器出版工程》 编辑委员会

编辑委员会主任：苗 圩

编辑委员会副主任：刘利华 辛国斌

编辑委员会委员：

冯长辉	梁志峰	高东升	姜子琨	许科敏
陈 因	郑立新	马向晖	高云虎	金 鑫
李 巍	高延敏	何 琼	刁石京	谢少锋
闻 库	韩 夏	赵志国	谢远生	赵永红
韩占武	刘 多	尹丽波	赵 波	卢 山
徐惠彬	赵长禄	周 玉	姚 郁	张 炜
聂 宏	付梦印	季仲华		



**专家委员会委员（按姓氏笔画排列）：**

- 于 全 中国工程院院士
- 王少萍 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 王建民 清华大学软件学院院长
- 王哲荣 中国工程院院士
- 王 越 中国科学院院士、中国工程院院士
- 尤肖虎 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 邓宗全 中国工程院院士
- 甘晓华 中国工程院院士
- 叶培建 中国科学院院士
- 朱英富 中国工程院院士
- 朵英贤 中国工程院院士
- 邬贺铨 中国工程院院士
- 刘大响 中国工程院院士
- 刘怡昕 中国工程院院士
- 刘韵洁 中国工程院院士
- 孙逢春 中国工程院院士
- 苏彦庆 “长江学者奖励计划”特聘教授



- 苏哲子 中国工程院院士
- 李伯虎 中国工程院院士
- 李应红 中国科学院院士
- 李新亚 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、  
中国机械工业联合会副会长
- 杨德森 中国工程院院士
- 张宏科 北京交通大学下一代互联网互联设备国家  
工程实验室主任
- 陆建勋 中国工程院院士
- 陆燕荪 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、原  
机械工业部副部长
- 陈一坚 中国工程院院士
- 陈懋章 中国工程院院士
- 金东寒 中国工程院院士
- 周立伟 中国工程院院士
- 郑纬民 中国计算机学会原理事长
- 郑建华 中国科学院院士



- 屈贤明** 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、工业和信息化部智能制造专家咨询委员会副主任
- 项昌乐** “长江学者奖励计划”特聘教授，中国科协书记处书记，北京理工大学党委副书记、副校长
- 柳百成** 中国工程院院士
- 闻雪友** 中国工程院院士
- 徐德民** 中国工程院院士
- 唐长红** 中国工程院院士
- 黄卫东** “长江学者奖励计划”特聘教授
- 黄先祥** 中国工程院院士
- 黄 维** 中国科学院院士、西北工业大学常务副校长
- 董景辰** 工业和信息化部智能制造专家咨询委员会委员
- 焦宗夏** “长江学者奖励计划”特聘教授



# 序 一

引信是利用目标、环境、平台和网络等信息，按预定策略起爆或引燃战斗部装药，并可选择起爆点、给出续航或增程发动机点火指令以及毁伤效果信息的控制系统，广泛用于兵器、船舶、航空、航天等领域的炮弹、火箭弹、枪榴弹、水中兵器、导弹、飞行器和航天器的点火、分离等起爆控制。引信是所有弹药、导弹的安全控制者，贯穿了设计、试验、生产、装备、储存、发射、飞行、击中目标或处理失效危险哑弹等整个全寿命周期过程，作为武器装备对抗最前沿，在控制战斗部安全、实现各种毁伤功能、提高效能方面，是最关键一环，有着不可替代的核心作用，是武器装备重要战略资源中能左右作战能力的核心资源之一。

引信学科涉及机械、力学、信息、控制、通信等多技术领域，是多学科交叉融合产物，是一个国家科学技术的结晶，在未来军事斗争准备中具有不可替代的核心地位。我国引信技术的发展经历了三个阶段，即 1949 年后从苏联引进阶段、80 年代末从美俄引进产品的仿研阶段、2010 年以后的自主开发阶段。引信的发展经历了机械引信、机电引信、近炸引信，用于配合战斗部主要对付单一目标，目前正朝着灵巧化、智能化、网络化引信方向发展，可对付多种或复合目标。灵巧弹药介于常规弹药与制导弹药之间，是智能弹药的初级产品，灵巧引信配用于灵巧弹药，通过发射前或发射过程装定信息，采用单一或复合探测手段获取环境与目标信息，通过单片机、可编程控制器或 DSP 处理器等方式进行起爆控制（可装定、可探测、可处理、可控制）。国外灵巧引信的发展已到一定水平，制定了相应的设计规范和要求，智能化引信正在发展中。我国研制的某些灵巧引信，如本书中涉及的硬目标侵彻灵巧引信，总体性能与国外相



当、部分指标领先。

本书是南京理工大学张合教授在引信领域辛勤耕耘 30 余年的智慧结晶，源于张合教授主持研制的多项灵巧引信型号项目和国防预研课题，相关技术成果获国家科学技术进步二等奖 2 项，省部级科技发明与进步二等奖以上 6 项，已应用于海军舰炮、陆军远火、坦克炮、单兵武器弹药等多项重点型号，正推广应用用于反坦克弹药、海军制导/侵彻弹药、轻装甲灵巧弹药等多个型号项目。

本书的主要贡献体现在以下三方面：

(1) 为解决机械、机电与近炸引信配用于各类新型弹药时，难以发挥战斗部最大毁伤威力、精准毁伤性差，亟待提高的问题，创新提出了灵巧引信的设计概念，指出引信是多约束与多任务条件下的动态开环控制系统，建立了引信与武器系统平台非接触、快速能量与信息一体化交联理论，发展了灵巧引信信息交联多途径设计实现方法，并提出了网络化引信空间组网与自定位设计理论和方法，阐明了高旋/非旋弹药自测初速精确定距方法，该理论体系的建立对实现对目标的高效毁伤意义重大。

(2) 现在与未来战争中地面与地下坚固工事是打击的重点目标，远程精确打击侵彻弹药是对付该类目标的有效手段，是各军事强国竞相发展的方向，其核心技术之一为硬目标侵彻灵巧引信。因此本书针对多类变厚度硬目标高效毁伤军事需求，建立了灵巧引信在侵彻过程中时空识别与过程控制起爆设计理论与试验评估方法，提出的侵彻引信设计三要素成为各类侵彻引信设计规范，引领了我国侵彻引信的安全性和作用可靠性设计。

(3) 完善了复杂环境下目标和环境信息探测方法，提出了激光、磁探测与复合探测用于火炮发射弹药上，建立了目标探测与识别基础理论，抗高过载、窄脉冲激光近场目标探测理论，解决了激光在低伸弹道下抗复杂环境干扰与高速激波散射的难题，是国内激光、磁复合探测技术在兵器领域的开拓者，成果对大幅提升弹药毁伤效能具有重要理论意义和工程实践价值。

本书的出版填补了我国灵巧引信领域著作的空白，对进一步推动我国现代引信技术发展具有重要意义。

2018 年 10 月 2 日于南京



## 序 二

引信是控制弹药起爆的“大脑”，控制弹药在相对目标最佳位置实施高能、高效、自主可控毁伤，在武器装备终端毁伤中起着“一票否决”的作用。性能良好的引信是毁伤敌人的倍增器，而性能不好特别是安全性能薄弱的引信，则会成为伤害自己的灾难源。因此引信技术是各军事大国深入研究的重点领域，是国家需求的基础能力，是必须保护的国家战略资源。美国曾将 20 世纪 40 年代研制成功的近炸引信与原子弹、雷达并列为第二次世界大战武器装备的三大发明。引信技术的自主创新是国家发展的必由之路，在武器装备研发中军事意义重大。

南京理工大学机械电子工程系张合教授，30 余年来一直从事武器弹药用引信设计的基础理论与技术研究以及装备研制，在引信经典设计理论基础上，结合国防预研、型号研制的研究与实践，取得了系统性原创成果，首次建立了引信从武器系统获取信息及自主获取信息相融合的动态开环控制理论与方法，丰富了复杂环境下目标和环境信息近程复合探测方法，构建了引信机电耦合结构时空识别与过程动态开环控制设计理论，填补了多类新型弹药用引信的实验室强冲击等效模拟试验与评估技术空白。研究成果已应用于海军舰炮、陆军远程多管火箭炮、坦克炮等武器弹药，以及空军航空炸弹、单兵武器弹药等多项引信重点型号的研制，并已装备部队，获国家科学技术进步二等奖 2 项，省部级科技发明与进步二等奖以上 6 项(排名均第 1)，在我国引信界具有重要影响力。该书是张合教授带领研究团队在完成多个灵巧引信型号研制基础上，对多种弹药用灵巧引信的设计基础理论和方法的总结，在理论与工程实践的结合下，建立了灵巧引信的设计基础理论、试验方法与技术体系，实现了引信与武器平台



信息交联、对目标近程探测、在小尺度空间内快速处理信息、对各类目标精准控制毁伤，引领了我国灵巧引信的发展。

该书内容共分9章：第1章论述了灵巧引信发展过程中存在的问题，提出了灵巧引信的可装定性、可探测性、可处理性与可控制性（“四可”）的研究和发展方向，为引信灵巧化奠定了基础；第2章论述了灵巧引信设计的理论基础；后续各章分别针对单兵火箭弹、小口径弹药、中大口径弹药、硬目标侵彻弹药、反坦克弹药、雷弹以及水下武器用灵巧引信的“四可”功能，详细阐述了灵巧引信设计的基本理论，结合各弹种的作战使命和约束条件，给出了灵巧引信关键模块设计方法和设计实例。该书可为相关领域研究人员，特别是从事弹药工程和引信技术的科技工作者、工程技术人员和高校师生提供基础理论和技术参考。

该书的成稿，是张合教授多年创新性研究成果，也是他带领的国防科技创新团队以及合作单位集体智慧的结晶。该书的出版填补了国内在灵巧引信领域的空白，对推动我国灵巧引信技术与装备的研究和发展、大幅度提高弹药毁伤效能具有重要意义。

2018年10月8日于北京



## 序 三

引信是武器装备体系毁伤链中最末端的信息化控制装备，是各类弹药末段毁伤效能控制的核心，一直是各军事大国重点研究的热点之一。

本书是国内首部介绍灵巧引信基础理论与设计方法的专业书籍，它的问世填补了国内灵巧引信专著空白。本书也是张合教授带领的智能弹药与灵巧引信国防科技创新团队在引信领域多年的技术积累，是对已完成的多个武器型号装备研制的理论积累和技术创新的总结。

本书给出了灵巧化与智能化弹药、引信的定义，提出了灵巧引信的可装定性、可探测性、可处理性与可控制性的发展和研究方向，为未来引信的灵巧化与智能化发展奠定了基础。内容包括单兵火箭、小口径弹药、中大口径弹药、远程火箭侵彻弹药、反坦克弹药、智能雷弹、水中弹药用灵巧引信的基础设计理论与应用。本书涉及的专业方向有信号处理、传感器应用、电磁学、冲击防护、控制理论、信息交联等；涉及的探测技术主要有弹药发射后的初始速度探测、旋转弹药的转速探测、目标方位探测、近程激光探测、水中目标蓝绿激光探测、战斗部侵彻硬目标时的加速度探测等。

随着微电子技术、信息技术以及光电探测技术在引信技术中的大量应用，引信在灵巧化与智能化过程中，必然伴随着众多学科的交融，涉及的专业知识复杂而广泛，其所应用的专业技术中不乏现阶段的科学研究的最前沿。本书作为国内灵巧化引信方向首开先河的著作，倾注了作者大量的心血，详述了



## 灵巧引信设计基础理论与应用

各类弹药引信灵巧化与智能化的技术特点，系统总结了灵巧引信的基本概念、关键技术、设计理论与验证方法，为我国灵巧化引信的发展指出了方向、探索了道路。

李 杰

2018年10月10日于北京



# 前 言

灵巧引信是在机械、机电、近炸引信发展基本成熟之后，正在逐步完善设计理论的一类新引信，它具有可装定、可探测、可处理、可控制四种特点与性能。作者在带领团队开展灵巧引信设计理论与方法研究三十多年技术积累的基础上，完成多个灵巧引信型号，获得两项国家技术进步奖和多项国防科学技术进步与发明奖。本书系统地总结了多种弹药用灵巧引信的设计基础理论和方法，为灵巧引信的发展奠定了坚实基础。

本书共分9个章节。第1章介绍灵巧引信的基本概念、关键技术、存在的问题及发展方向；第2章论述灵巧引信设计理论基础；第3章论述单兵火箭弹灵巧引信精确定距空炸和激光半主动目标方位探测理论与应用；第4章重点介绍小口径灵巧引信非接触信息交联、计转数定距基础理论与方法；第5章介绍中大口径弹药灵巧引信设计理论与方法，主要包括总体设计、共线信息交联、探测与控制等内容；第6章介绍硬目标侵彻灵巧引信设计规范、冲击防护、侵彻过载信号探测与过程控制、试验考核等相关理论和方法；第7章介绍反坦克弹药灵巧引信设计理论与方法；第8章介绍智能雷弹自组网、自定位及声探测相关理论与应用；第9章介绍水下蓝绿激光探测与控制相关理论和方法。

中国工程院院士刘怡昕教授，北京理工大学马宝华教授、崔占忠教授审阅了本书，提出了宝贵修改意见，并作序。参加本书编写的还有洪黎、张伟、丁立波、杨伟涛、李炜昕、廖翔、张建新、满晓飞、姚宗辰、朱海洋、查冰婷等，在此一并表示感谢。

本书填补了国内在灵巧引信领域著作的空白，可作为指导研究院所、工厂技术人员的灵巧引信设计用书，也可作为高等院校兵器科学与技术学科研究生



的教材与参考用书。

本书由于涉及知识面广、时间紧迫、作者水平有限，所以一定有疏漏和不当之处，欢迎广大读者多提宝贵意见，在此致谢。

张合

2018年9月25日于南京



# 目 录

第 1 章 绪论 .....	001
1.1 灵巧化与智能化弹药、引信的定义 .....	003
1.2 灵巧化与智能化弹药的发展 .....	003
1.3 引信与灵巧引信发展概述 .....	009
1.4 目前灵巧化与智能化引信发展过程中存在的问题 .....	010
1.5 灵巧引信的发展方向 .....	012
1.5.1 引战配合 .....	012
1.5.2 灵巧引信的设计基础理论与规范 .....	012
1.5.3 引信的可装定性 .....	013
1.5.4 引信的可探测性 .....	013
1.5.5 引信的可处理性 .....	014
1.5.6 引信的可控制性 .....	014
1.6 本书的内容安排 .....	015
第 2 章 灵巧引信设计理论基础 .....	017
2.1 引信信息交联设计理论 .....	019
2.1.1 概述 .....	019
2.1.2 引信信息交联的基本方式 .....	020
2.1.3 引信信息交联设计理论 .....	021
2.1.4 引信信息交联的技术体系 .....	022
2.1.5 引信信息交联实例 .....	022



2.2	引信环境与目标探测理论	023
2.2.1	概述	023
2.2.2	引信环境探测理论基础	026
2.2.3	引信目标探测理论基础	026
2.3	引信信号快速处理理论	028
2.3.1	引信信号处理系统的组成和特征	028
2.3.2	引信信号处理器的选择	029
2.4	引信过程控制理论	029
<b>第3章</b>	<b>单兵火箭弹灵巧引信设计理论与应用</b>	<b>033</b>
3.1	任务、约束、时空识别与过程控制分析	034
3.2	信息交联基础理论	036
3.2.1	引信信息交联工作原理	036
3.2.2	信息编码设计	037
3.2.3	信息双向传输技术	037
3.3	环境探测基础理论	039
3.3.1	引信自主测速理论	039
3.3.2	激光半主动目标方位探测理论	045
3.4	信息快速处理与起爆控制基础理论	054
3.4.1	引信作用时间修正技术	054
3.4.2	低速飞行器弹道修正启动特性与激光四象限探测自适应增益控制	058
3.5	单兵火箭弹灵巧引信设计实例	066
3.5.1	某单兵定距引信设计实例	066
3.5.2	基于四象限探测器的激光脉冲探测系统设计	074
<b>第4章</b>	<b>小口径灵巧引信设计理论及应用</b>	<b>079</b>
4.1	概述	080
4.2	小口径弹药任务、约束与时空识别分析	081
4.3	小口径灵巧引信信息交联基础理论	082
4.3.1	电磁感应交联理论	084
4.3.2	磁耦合谐振无线能量传输技术	095
4.4	小口径灵巧引信探测理论	107
4.4.1	小口径灵巧引信实现空炸的作用体制	107



4.4.2	地磁计转数探测基础理论 .....	111
4.5	信息快速处理与起爆控制基础理论 .....	124
4.5.1	引信自测速时间修正技术 .....	124
4.5.2	地磁计转数引信自适应炸点控制技术 .....	125
4.6	小口径灵巧引信设计实例 .....	128
4.6.1	以MCU为核心的控制电路方案 .....	129
4.6.2	计转数模块设计 .....	130
4.6.3	感应装定数据基带传输系统设计 .....	133
4.6.4	发火电路设计 .....	137
<b>第5章</b>	<b>中大口径弹药灵巧引信设计基础理论及应用 .....</b>	<b>139</b>
5.1	中大口径弹药引信设计基础理论 .....	140
5.1.1	中大口径弹药引信的基本特征 .....	140
5.1.2	膛内共线装定技术基础理论 .....	141
5.1.3	探测和处理技术基础理论 .....	153
5.2	中大口径弹药灵巧引信设计实例 .....	160
5.2.1	特征分析和控制时序设计 .....	160
5.2.2	灵巧引信系统总体设计 .....	161
5.2.3	装定系统设计和试验 .....	162
5.2.4	探测和处理系统设计与试验 .....	175
<b>第6章</b>	<b>硬目标侵彻弹药灵巧引信设计理论及应用 .....</b>	<b>183</b>
6.1	硬目标侵彻灵巧引信概述 .....	184
6.1.1	硬目标侵彻引信的要求与特征 .....	184
6.1.2	硬目标侵彻引信设计原则 .....	185
6.1.3	硬目标侵彻弹药灵巧引信设计思想 .....	185
6.1.4	硬目标侵彻弹药灵巧引信设计需解决的问题 .....	186
6.2	硬目标侵彻灵巧引信的设计理论及仿真 .....	187
6.2.1	球形空腔膨胀理论与弹体运动模型的建立 .....	187
6.2.2	穿靶仿真结果与分析 .....	193
6.3	信息获取与过程控制方法 .....	198
6.3.1	典型目标的分类与特性 .....	198
6.3.2	侵彻引信用高g值加速度传感器探测技术 .....	199
6.3.3	加速度开关——硬目标侵彻高g值惯性开关 .....	203