

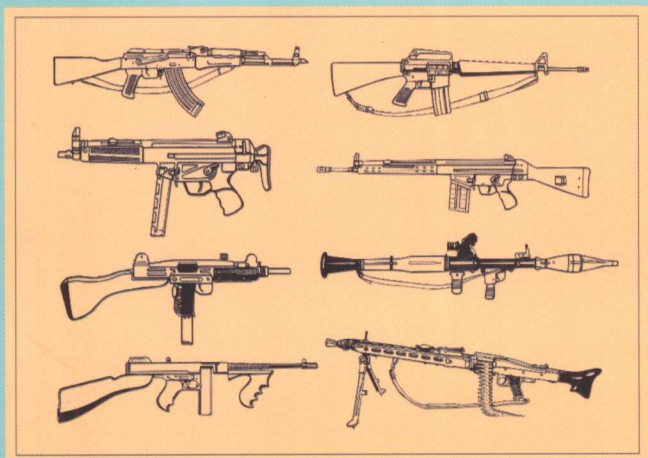


国防科技图书出版基金

*Modern Design Theory and Method  
of Infantry Automatic Weapon*

# 步兵自动武器 现代设计理论与方法

王永娟 王亚平 著  
徐 诚 吴永海



国防工业出版社  
National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

014043029

TJ02  
08

# 步兵自动武器 现代设计理论与方法

Modern Design Theory and Method  
of Infantry Automatic Weapon

王永娟 王亚平 著  
徐 诚 吴永海



国防工业出版社

·北京·



北航

C1729327

TJ02  
08

88007971

图书在版编目(CIP)数据

步兵自动武器现代设计理论与方法/王永娟等著. —北京:国防工业出版社,2014.6

ISBN 978-7-118-09244-8

I. ①步... II. ①王... III. ①自动武器—设计  
IV. ①TJ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 061823 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 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

\*

开本 710 × 1000 1/16 印张 19 字数 350 千字

2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 68.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

## 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。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,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,原国防科工委于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. 在国防科学技术领域中,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,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备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,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,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,由总装备部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,原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和武器装备建设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

国防科技图书出版基金  
第六届评审委员会组成人员

主任委员 王 峰

副主任委员 宋家树 蔡 镭 杨崇新

秘 书 长 杨崇新

副 秘 书 长 邢海鹰 贺 明

委 员 于景元 才鸿年 马伟明 王小谟  
(按姓氏笔画排序)

甘茂治 甘晓华 卢秉恒 邬江兴

刘世参 芮筱亭 李言荣 李德仁

李德毅 杨 伟 肖志力 吴有生

吴宏鑫 何新贵 张信威 陈良惠

陈冀胜 周一宇 赵万生 赵凤起

崔尔杰 韩祖南 傅惠民 魏炳波

# 前 言

本书在作者多年从事科研的基础上,根据自动武器系统现代设计特点,选取了“自动武器身管设计的新理论与方法”“自动武器人机工效设计方法”“模块化设计方法”“多体系统建模方法”“动态设计方法”“虚拟样机仿真方法”总体优化设计方法和评估方法”等内容作为本书撰写的主要内容,既具有自动武器现代设计理论与方法明显的特点,又具有较强的应用性。

本书重点介绍近年来作者在自动武器现代设计的基本理论、方法方面的研究成果和应用实例。在撰写中,尽量突出创造性、系统性和应用性的特点,在阐明基本科学理论和方法的基础上,通过实例,将理论、方法与实际设计问题相结合。

全书共分9章。第1章由王永娟著,论述了自动武器现代设计理论与方法的应用需求、自动武器研制特点和发展现状,自动武器设计过程所采用的现代设计方法和应用情况。第2章由吴永海著,结合身管发射过程的工作原理,论述了自动武器身管的热弹设计理论和方法,包括身管瞬态温度场分析方法、身管热固耦合应力场分析方法和身管寿命预测方法,并给出应用实例。第3章由王亚平著,根据人机工效设计方法,论述了枪械设计中与人机工效相关的主要尺寸和性能参数的确定及评价方法。第4章由王永娟著,论述了自动武器模块化设计基本知识、一般过程和方法,模块划分的准则和解决方法,接口设计方法,并给出枪械模块化设计的实例。第5章由王亚平著,论述了自动武器多体动力学建模理论与方法,包括自动机多刚体动力学和自动武器刚柔耦合分析的建模方法、仿真分析过程和方法,并给出实例。第6章由王亚平著,论述了自动武器有限元建模方法和过程,结合实例给出自动武器固有频率和模态分析、自动武器发射动力学响应分析和自动武器参数灵敏度分析等动态设计方法。第7章由王永娟编著,论述了自动武器虚拟样机分析过程与方法、建模环境与工具、协同仿真方法及在自动武器设计中的应用。第8章由徐诚、洪亚军著,结合实例论述了包括单兵武器系统全弹道优化设计、自动机优化设计和机枪系统多学科优化设计的自动武器总体优化设计理论及方法。第9章由王永娟和徐诚著,论述了自动武器效能

评估的基本知识、指标提取、评估体系的建立和常用自动武器系统效能评估方法,并给出实例。本书的编写,还要感谢刘力力博士的大力协助。

由于作者水平有限,书中错误与缺点在所难免,恳请读者批评指正。

作者



# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 自动武器研制模式 .....	2
1.1.1 自动武器特点 .....	2
1.1.2 自动武器研制模式 .....	3
1.1.3 存在问题 .....	3
1.2 自动武器现代设计方法 .....	5
1.2.1 身管热弹设计方法发展概况 .....	5
1.2.2 枪械人机工效设计方法发展概况 .....	6
1.2.3 自动武器模块化设计方法发展概况 .....	7
1.2.4 自动武器多体动力学建模理论发展概况 .....	9
1.2.5 自动武器虚拟样机技术发展概况 .....	11
1.2.6 自动武器动态设计方法发展概况 .....	12
1.2.7 自动武器优化设计方法发展概况 .....	13
1.2.8 自动武器效能评估方法发展概况 .....	14
第 2 章 自动武器身管热弹设计理论与方法 .....	16
2.1 自动武器身管工作过程与作用载荷 .....	16
2.1.1 自动武器身管工作过程 .....	16
2.1.2 自动武器身管作用载荷 .....	17
2.2 自动武器身管瞬态温度场分析方法 .....	19
2.2.1 身管传热的瞬态温度场基本方程 .....	19
2.2.2 身管瞬态温度场有限元基本方程 .....	21
2.2.3 身管瞬态温度场的有限元算法 .....	23
2.2.4 身管有限元网格划分 .....	24
2.2.5 身管瞬态温度场计算实例 .....	25
2.2.6 身管瞬态温度场的参数影响分析 .....	28
2.3 自动武器身管热固耦合应力场分析方法 .....	31

2.3.1	身管热固耦合应力场基本方程 .....	31
2.3.2	身管热固耦合模型变分原理 .....	33
2.3.3	身管热固耦合应力场的有限元计算 .....	36
2.3.4	身管热固耦合瞬态应力场计算实例 .....	37
2.3.5	身管热固瞬态耦合应力场的分析 .....	40
2.4	自动武器身管寿命预测方法 .....	41
2.4.1	自动武器身管寿终的评判标准 .....	41
2.4.2	身管寿命的预测模型 .....	41
2.4.3	身管寿命预测计算举例 .....	43
<b>第3章</b>	<b>枪械人机工效设计方法 .....</b>	<b>47</b>
3.1	枪械人机工效概述 .....	47
3.1.1	枪械人机工效定义 .....	47
3.1.2	枪械人机工效设计步骤 .....	47
3.2	面向人机工效的枪械总体设计 .....	48
3.2.1	枪械重量和重心位置 .....	48
3.2.2	枪械外形尺寸 .....	51
3.2.3	枪械后坐力 .....	52
3.2.4	人机操作可靠性 .....	53
3.2.5	枪口噪声 .....	54
3.3	枪械部件人机工效设计 .....	57
3.3.1	枪托和抵肩的设计 .....	57
3.3.2	瞄准装置的设计 .....	60
3.3.3	抛壳窗的设计 .....	67
3.3.4	扳机的设计 .....	69
3.3.5	握把的设计 .....	71
3.3.6	拉机柄的设计 .....	73
3.3.7	下护木的设计 .....	74
3.3.8	脚踏与座椅的设计 .....	76
3.4	枪械人机工效评价方法 .....	79
3.4.1	实验法 .....	79
3.4.2	分析法 .....	79
3.4.3	实际运行法 .....	80
<b>第4章</b>	<b>自动武器模块化设计方法 .....</b>	<b>83</b>
4.1	自动武器通用化设计 .....	83

4.1.1	基本概念	83
4.1.2	自动武器通用化类型	84
4.1.3	自动武器通用化方法	84
4.1.4	自动武器通用化程度的评定	85
4.2	自动武器系列化设计	85
4.2.1	基本概念	85
4.2.2	自动武器系列化类型	86
4.2.3	自动武器系列化设计方法	87
4.2.4	自动武器系列化过程	87
4.3	自动武器模块化概念和原理	89
4.3.1	基本概念	89
4.3.2	自动武器模块化的意义	89
4.3.3	自动武器模块化的难点	91
4.3.4	自动武器模块化原理	91
4.4	自动武器模块化设计方法	92
4.4.1	自动武器模块化设计过程	92
4.4.2	自动武器模块划分准则	93
4.4.3	自动武器模块分解方案	97
4.5	自动武器模块接口设计	99
4.5.1	自动武器模块接口分类	99
4.5.2	自动武器模块接口可通用程度分析	99
4.5.3	自动武器模块接口设计	100
4.6	模块化枪族设计实例	103
4.6.1	模块化枪族系统的关键参数确定	103
4.6.2	模块化枪族系统方案设计	103
4.6.3	模块化步枪系统重量匹配分析	108
4.6.4	模块化枪族系统动力参数匹配计算	109
<b>第5章</b>	<b>自动武器多体动力学建模理论与方法</b>	<b>120</b>
5.1	自动机多刚体动力学分析	120
5.1.1	多刚体建模理论	120
5.1.2	自动机动作原理分析	123
5.1.3	典型约束类型和边界条件分析	125
5.1.4	自动武器工作载荷分析	129

5.1.5	典型发射机构动作可靠性分析 .....	134
5.1.6	典型自动机动力学仿真分析 .....	136
5.2	自动武器刚柔耦合动力学分析 .....	143
5.2.1	多柔体系统动力学建模 .....	143
5.2.2	自动武器零部件柔性体建模方法 .....	149
5.2.3	典型自动武器刚柔耦合动力学分析实例 .....	152
<b>第6章</b>	<b>自动武器动态设计方法 .....</b>	<b>157</b>
6.1	有限元法基本原理 .....	157
6.1.1	概述 .....	157
6.1.2	有限元法基本原理 .....	158
6.2	自动武器有限元建模方法 .....	162
6.2.1	分析目标 .....	162
6.2.2	模型假设与简化 .....	162
6.2.3	单元类型选取与网格划分 .....	163
6.2.4	载荷确定 .....	164
6.2.5	特殊边界条件的处理 .....	164
6.3	自动武器固有频率和模态分析 .....	168
6.3.1	某 12.7mm 机枪有限元模型的建立 .....	168
6.3.2	某 12.7mm 机枪的固有频率和模态计算结果与分析 .....	169
6.4	自动武器发射动力学响应分析 .....	172
6.4.1	典型自动武器发射动力响应线性有限元分析 .....	172
6.4.2	典型自动武器发射动态响应非线性有限元分析 .....	175
6.5	自动武器参数灵敏度分析 .....	183
6.5.1	结构灵敏度分析 .....	184
6.5.2	基于理论公式的灵敏度分析方法 .....	184
6.5.3	基于有限元法的灵敏度分析方法 .....	186
6.5.4	灵敏度在自动武器设计中的作用 .....	188
<b>第7章</b>	<b>自动武器虚拟样机技术及应用 .....</b>	<b>189</b>
7.1	自动武器虚拟样机分析过程与方法 .....	189
7.1.1	概述 .....	189
7.1.2	对象分析及简化 .....	189
7.1.3	建模与求解 .....	191

7.1.4	模型验证 .....	192
7.1.5	虚拟样机计算与参数优化 .....	192
7.2	自动武器虚拟样机建模环境与工具 .....	193
7.2.1	自动武器虚拟样机建模工具分类 .....	193
7.2.2	多体系统动力学软件 .....	193
7.2.3	有限元分析软件 .....	196
7.2.4	协同仿真方法 .....	198
7.3	协同仿真在自动武器设计中的应用 .....	200
7.3.1	某单兵火力系统的协同仿真建模 .....	200
7.3.2	某单兵武器系统“弹道—武器”协同仿真 .....	204
<b>第8章</b>	<b>自动武器总体优化设计 .....</b>	<b>207</b>
8.1	多学科优化设计方法 .....	207
8.1.1	优化设计算法 .....	207
8.1.2	多学科优化设计策略 .....	208
8.2	某单兵武器系统全弹道优化设计 .....	210
8.2.1	全弹道优化设计模型及耦合关系 .....	210
8.2.2	全弹道优化设计模型 .....	212
8.2.3	全弹道优化设计结果 .....	214
8.3	自动机优化设计方法及实例 .....	216
8.3.1	自动机性能分析模型 .....	216
8.3.2	自动机优化设计模型 .....	218
8.3.3	优化设计计算结果 .....	219
8.4	机枪系统的多学科优化设计 .....	221
8.4.1	系统级模型的建立 .....	221
8.4.2	子系统模型的建立 .....	222
8.4.3	协同优化模型建立 .....	225
8.4.4	优化计算结果 .....	227
<b>第9章</b>	<b>自动武器效能评估方法 .....</b>	<b>233</b>
9.1	自动武器效能评估概述 .....	233
9.2	自动武器性能指标参数提取 .....	234
9.2.1	自动武器目标分析 .....	234
9.2.2	自动武器功能和要素分析 .....	234

9.3	自动武器性能评估指标体系的建立 .....	236
9.3.1	性能评估指标选择的原则 .....	236
9.3.2	基于任务剖面的指标体系建立方法 .....	236
9.3.3	自动武器性能评估指标体系 .....	237
9.4	自动武器系统效能评估方法 .....	239
9.4.1	基于层次分析法的相对系统效能模糊综合评价 .....	239
9.4.2	基于SEA的枪械系统作战效能分析 .....	251
9.4.3	基于数据包络分析(DEA)的稳健评估方法 .....	261
9.4.4	基于区间数的灰色关联法 .....	267
参考文献 .....		275

# Contents

<b>Chapter 1</b>	<b>Introduction</b>	1
1.1	Development Mode of Automatic Weapon	2
1.1.1	Characteristics of Automatic Weapon	2
1.1.2	Development Mode of Automatic Weapon	3
1.1.3	Problems	3
1.2	Modern Design Method of Automatic Weapon	5
1.2.1	Thermo – elastic Design Method of Barrel	5
1.2.2	Ergonomic Design of Firearm	6
1.2.3	Modular Design of Automatic Weapon	7
1.2.4	Modeling Theory and Numerical Solution of Automatic Weapon	9
1.2.5	Virtual Prototyping Technology and Its Application in Automatic Weapon	11
1.2.6	Dynamic Design Theory and Method of Automatic Weapon	12
1.2.7	Optimization Design of Automatic Weapon	13
1.2.8	Effectiveness Evaluation of Automatic Weapon	14
<b>Chapter 2</b>	<b>Thermo – elastic Design Theory and Method of Barrel</b>	16
2.1	Process and Load in Running of Barrel	16
2.1.1	Running Process of Barrel	16
2.1.2	Load of Barrel	17
2.2	Analysis Method of Transient Temperature Field	19
2.2.1	Equation of Transient Temperature Field in Heat Transfer	19
2.2.2	Finite Element Equations of Transient Temperature Field	21
2.2.3	Finite Element Method of Transient Temperature	

Field .....	23
2.2.4 Finite Element Mesh Dividing of Barrel .....	24
2.2.5 Example of Transient Temperature Field .....	25
2.2.6 Parametric Influence Analysis of Transient Temperature Field .....	28
2.3 Analysis Method of Therm – solid – coupled Stress Field .....	31
2.3.1 Equation of Therm – solid – coupled Stress Field .....	31
2.3.2 Variational Principle of Therm – solid – coupled Model .....	33
2.3.3 Finite Element Method of Therm – solid – coupled Stress Field .....	36
2.3.4 Example of Therm – solid – coupled Stress Field .....	37
2.3.5 Analysis of Therm – solid – coupled Stress Field .....	40
2.4 Life Prediction Method of Barrel .....	41
2.4.1 Judgment Criteria Of Barrel Life End .....	41
2.4.2 Prediction Model of Barrel Life .....	41
2.4.3 Example of Barrel – life Prediction .....	43
<b>Chapter 3 Ergonomic Design Method of Firearms .....</b>	<b>47</b>
3.1 Introduction .....	47
3.1.1 Definition .....	47
3.1.2 Procedure of Firearm Ergonomic Design .....	47
3.2 Overall Design of Firearm Oriented to Ergonomic Design .....	48
3.2.1 Weight and Centroid Position of Firearm .....	48
3.2.2 Apparent Dimensions of Firearm .....	51
3.2.3 Recoil Force of Firearm .....	52
3.2.4 Reliability of Human – machine Operation .....	53
3.2.5 Muzzle Noise .....	54
3.3 Ergonomic Design of Firearm Component .....	57
3.3.1 Design of Stock .....	57
3.3.2 Design of Aiming Mechanism .....	60
3.3.3 Design of Ejection Opening .....	67
3.3.4 Design of Trigger .....	69
3.3.5 Design of Grip .....	71
3.3.6 Design of Opening Handle .....	73
3.3.7 Design of Forend .....	74



3.3.8	Design of Foot Pedal and Chair .....	76
3.4	Ergonomic Evaluation Method of Firearm .....	79
3.4.1	Experimentation .....	79
3.4.2	Aanalytics .....	79
3.4.3	Practical Operation Method .....	80
<b>Chapter 4</b>	<b>Modular Design Method of Automatic Weapon .....</b>	<b>83</b>
4.1	Generalized Design of Automatic Weapon .....	83
4.1.1	Concept .....	83
4.1.2	Genericized Type of Automatic Weapon .....	84
4.1.3	Genericized Method of Automatic Weapon .....	84
4.1.4	Evaluation of Genericized Level .....	85
4.2	Serialization Design of Automatic Weapon .....	85
4.2.1	Concept .....	85
4.2.2	Serialization Type of Automatic Weapon .....	86
4.2.3	Serialization Method of Automatic Weapon .....	87
4.2.4	Serialization Procedure of Automatic Weapon .....	87
4.3	Modularization Design of Automatic – Weapon .....	89
4.3.1	Concept .....	89
4.3.2	Meaning of Modularization Design .....	89
4.3.3	Difficulties of Automatic – Weapon Modularization Design .....	91
4.3.4	Modularization Principle of Automatic Weapon .....	91
4.4	Modular Design Method of Automatic Weapon .....	92
4.4.1	Modular Design Procedure of Automatic Weapon .....	92
4.4.2	Module Division Criterion of Automatic Weapon .....	93
4.4.3	Scheme of Module Division .....	97
4.5	Design of Interface Between Automatic – weapon Modules .....	99
4.5.1	Interface Type .....	99
4.5.2	Analysis of Genericized Level .....	99
4.5.3	Interface Design .....	100
4.6	Example of Modularization Gun Family .....	103
4.6.1	Determination of Critical Parameters .....	103
4.6.2	Scheme Design .....	103
4.6.3	Matching Analysis of Quality .....	108
4.6.4	Matching Calculation of Dynamic Parameters .....	109