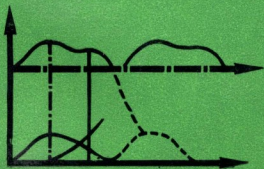


自动武器设计新编

戴成勋 靳天佑 朵英贤 主编



国防工业出版社

自动武器设计新编

戴成勋 靳天佑 朵英贤 主编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍自动武器设计新的理论和方法。内容反映了近二十年来,国内外在自动武器理论研究与设计实践方面的成就。范围涉及步兵自动武器、航空自动武器和中小口径高射自动武器。全书共六篇,包括自动机动力学、转管武器及其动力分析、自动武器结构动力学、武器的动态力分析、自动武器部件设计和优化以及对武器的评估技术等。

本书可供从事自动武器设计的技术人员、武器专业研究生及高年级本科生使用,也可供力学领域及机械设计方面的研究人员参考。

自动武器设计新编

戴成勋 靳天佑 朵英贤 主编

*

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)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张24⁵/₄ 570千字

1990年11月第一版 1990年11月第一次印刷 印数: 001—800册

ISBN 7-118-00779-X/TJ-57 定价: 11.80元

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，内容明确、具体、有突出创见，对国防科技发展具有较大推动作用的专著；密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值，密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。
4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

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评审工作，职责是：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

国防科技图书出版基金
第一届评审委员会组成人员

主任委员： 邢佑生

副主任委员： 金朱德 太史瑞

委 员： (按姓氏笔画排列)

尤子平 朵英贤 刘琯德

何庆芝 何国伟 张汝果

范学虹 金 兰 柯有安

侯 迁 高景德 莫悟生

曾 铎

秘 书 长： 刘琯德

前 言

自动武器问世一百多年来，一直在改进和更新。每经历一次大的战争，自动武器几乎都以其新的面貌出现。现代战争对步兵、航空和高射自动武器，提出了各自更高战术技术要求。自动武器则不断以新原理和新结构来武装自己。

在新的形势下，自动武器的设计水平需要大步提高。要求分析计算和设计趋于精确，试制周期缩短，人力物力的消耗也要尽量减少。自动武器的设计研究，要步入现代化的行列。

相当长时期以来，自动武器的设计水平，尚不能满足形势发展的需要。分析计算一般仍然采用比较简单的一自由度力学模型，机构设计也大多运用传统的方法。一自由度力学模型，难以精确描述自动武器射击时复杂的受力和运动状态；传统的设计方法也不易取得优选的结构参量。

本书编者有感于此。自1983年以来，广为搜集国内外自动武器设计有关论著，以理论先进和方法实用为尺度，加以筛选和提炼，并经重新编写，荟集成册。目的是想把当代自动武器设计新的理论和方法，比较系统地奉献给读者，以便于用计算机对自动武器进行数学模拟和仿真。因而本书部分反映了近二十年来国内外在自动武器设计方面的新成就。书名取为《自动武器设计新编》，“新”的含意，即在于此。

本书共分六篇。第一篇为自动武器动力学，主要论述自动武器二自由度机构动力学原理，并作为本书的理论基础。第二篇介绍外能源和自身能源转管武器及链式武器的结构和动力学原理。第三篇为武器结构动力学，这一篇的内容反映了20余年来，迅速发展起来的应用力学和应用数学在武器动态分析和优化设计中的应用。第四篇为武器动态响应力分析，主要论述武器构件所受动载的规律、构件强度及寿命分析方法。第五篇介绍自动武器的结构设计，主要是武器中典型部件和构件新的设计方法。第六篇介绍自动武器的评估技术，着重介绍的是自动武器评估的主要模式和应用。

本书是合作的成果。第一和第二篇由华东工学院戴成勋主编，第四和第五篇由华东工学院靳天佑主编。机电部第208研究所朵英贤主编第三和第六篇，他也是本书的发起人。

为本书撰文的有（以姓氏笔划为序）：于道文、马式曾、王良国、王梦林、王建飞、王建中、王裕安、尤国钊、朵英贤、甘高才、史家科、刘正福、刘晓剑、何水清、何献忠、何志强、李载弘、祁和祥、吴培增、吴祥宝、徐作玉、周文邦、梁世端、浦发、姚昌仁、高正身、黄德耕、黄伟、林祖森、程尔康、靳天佑、殷仁龙、汤重天、韩育礼、韩建保、廖振强、崔万善、郭仁松、康新中、钱福彬、邬显达、裘春航、谭仪容、戴成勋共44人。

编辑此书时，既有为国防建设添砖添瓦之心，也有抛砖引玉投石问路之意，动机值得嘉许，但编者毕竟水平有限，资料搜集也未必全面，疏漏和错误更在所难免，不少问题尚待补充和发展。书中的内容，也没有达到全“新”的要求。为此，编者在歉仄之余，诚肯接受读者的批评。

目 录

第 1 篇 自动武器动力学

1.1 自动武器凸轮传动分析的机构单元法	1
1.1.1 凸轮的理论轮廓曲线	1
1.1.2 机构单元的位移函数、传递比和传动效率	2
1.1.3 机构的运动微分方程	5
1.2 导气装置的气体动力学	6
1.2.1 气室中的气流方程	6
1.2.2 气室中的准定常气流方程	11
1.3 弹带运动及弹带阻力	12
1.3.1 概述	12
1.3.2 集中质量——拉伸弹簧模型	13
1.3.3 弹性带模型	15
1.4 二自由度武器机构动力学	19
1.4.1 武器机构及体部运动微分方程的动力耦合	19
1.4.2 影响系数 α 、 β 及 γ 的确定	23
1.4.3 求影响系数 α 、 β 及 γ 的示例	24
1.4.4 体部运动方程的另一形式	28
1.5 二自由度武器机构的撞击	29
1.5.1 简单机构的撞击	29
1.5.2 二自由度多构件的撞击	32
1.5.3 考虑构件有离散的撞击	35
1.6 平面运动机构的动力分析	37
1.6.1 包含有平面运动构件的微分方程	37
1.6.2 方程中系数的计算方法	38
1.6.3 二自由度系统中平面运动构件的运动方程	42
1.7 二自由度机构动反力及其动力设计	44
1.7.1 简单机构的动力反作用力	44
1.7.2 多构件机构的动力反作用力	45
1.7.3 机构的动力设计	46
1.8 凯恩方程在武器机构动力学中的应用	53

1.8.1 凯恩方程	53
1.8.2 平动机构的分析	55
1.8.3 定轴转动机构的分析	58
1.8.4 平面运动机构的分析	62
第 2 篇 转管与链式自动机的原理及动力分析	65
2.1 转管炮的结构原理	65
2.1.1 转管炮的发展概况	65
2.1.2 转管炮的结构和动作原理	66
2.2 自身能源转管武器原理	70
2.2.1 自身能源转管武器工作原理	70
2.2.2 首发启动	71
2.2.3 点射间的能量储存	73
2.2.4 全炮协同动作	74
2.3 链式自动炮原理	76
2.3.1 链传动装置和机心组	77
2.3.2 双路供弹系统	79
2.3.3 缓冲装置	81
2.4 转管炮机心凸轮设计及动力分析	81
2.4.1 梯形加速度凸轮的设计	81
2.4.2 正弦形加速度凸轮的设计	86
2.4.3 机心组的动力分析	91
2.5 外能源转管自动机动力学	92
2.5.1 主要机构的结构参量	92
2.5.2 自动机运动微分方程	94
2.5.3 自动机的数学模拟	96
2.6 自身能源转管自动机动力学	96
2.6.1 导气式转管自动机结构原理	97
2.6.2 旋转驱动部分的结构参量	100
2.6.3 自动机的动力学模型	101
2.6.4 导气式转管自动机设计若干问题	104
2.7 转管自动机炮箱抛物线凸轮的设计	104
2.7.1 抛物线凸轮结构参数的确定	104
2.7.2 曲线段设计方案的优选	107

2.8 转管炮外弹道的若干问题	109	3.6.3 灵敏度分析在结构动力学修改中的应用	166
2.8.1 转管炮的外弹道特性	109	3.7 机枪动态特性优化设计	164
2.8.2 炮管旋转对初速的影响	111	3.7.1 机枪灵敏度分析的目标函数与变量	164
2.8.3 弹轴运动的起始条件及其影响	111	3.7.2 机枪灵敏度分析模型及结果	165
2.8.4 炮管偏离旋转轴线的影晌	113	3.7.3 机枪动态特性优化设计	167
2.8.5 转管排列俯角与射击位置的确定	113	3.8 随机扰动对自动武器机械散布的影响	171
2.8.6 左右射向的修正	113	3.8.1 机械模型及假设	171
2.8.7 算例	114	3.8.2 公式推导	172
第3篇 自动武器结构动力学	116	3.8.3 随机动态特性	174
3.1 自动武器结构动力学概论	116	3.8.4 计算实例	177
3.1.1 结构动力学模型概述	116	3.9 自动武器的振动与射击密集度	178
3.1.2 模态分析方法	117	3.9.1 射击密集度模型及弹道散布参量	178
3.1.3 结构动态优化设计	121	3.9.2 半约束期的起始扰动	181
3.1.4 武器振动与射击精度	122	3.9.3 后效时期的起始扰动	184
3.2 自动武器结构动力学分析方法	123	3.9.4 起始扰动的均值和均方差	186
3.2.1 模型建立的基本方法	123	第4篇 自动武器的动态响应力分析	189
3.2.2 动力学模型	124	4.1 自紧身管的应力分析	189
3.2.3 自动武器结构特征值问题	125	4.1.1 自紧身管的应力	189
3.2.4 自动武器的结构响应	128	4.1.2 身管热应力分析	192
3.3 机枪结构动力学分析	129	4.1.3 内压和温差条件下的自紧身管应力分析	195
3.3.1 结构的离散化处理	129	4.2 提高身管寿命的措施	196
3.3.2 架设边界条件的处理	133	4.2.1 概述	196
3.3.3 载荷处理	134	4.2.2 身管疲劳	198
3.3.4 机枪动态特性	136	4.2.3 缓蚀添加剂的应用	200
3.4 应用模态分析技术求高射自动炮的特征值	136	4.3 开挖计算在火炮设计中的应用	201
3.4.1 模态分析原理简述	136	4.3.1 开挖问题计算	202
3.4.2 实验模态分析方法	141	4.3.2 厚壁圆筒的开挖计算	202
3.4.3 对双37mm、高炮进行实验的模态分析	144	4.4 膛口制退器效率分析	206
3.5 应用分枝模态综合法估算机枪低阶模态	150	4.4.1 制退器的气动原理	206
3.5.1 假设及分枝的确定	150	4.4.2 制退器效率计算方法	209
3.5.2 分枝模态集	151	4.4.3 计算实例	211
3.5.3 质量和刚度矩阵	152	4.5 闭锁机构撞击强度分析	211
3.6 结构灵敏度分析	154	4.5.1 有限元方程的建立及求解	211
3.6.1 固有特性灵敏度分析的直接法	154	4.5.2 原始参数的确定	213
3.6.2 随机激励的响应灵敏度分析	156		

4.5.3	计算实例	214	5.4	混合膛线设计	262
4.6	闭锁机构疲劳寿命分析	215	5.4.1	膛线导转侧力及最佳规律	262
4.6.1	材料的疲劳寿命与应变的关系	215	5.4.2	等膛角及变膛角膛线特征	263
4.6.2	疲劳寿命的分析计算	217	5.4.3	弹带初始削光及自由行程	266
4.6.3	计算实例	218	5.4.4	混合膛度膛线	266
4.7	开式链节脱弹过程分析	220	5.5	枪管坡膛设计	268
4.7.1	脱弹过程的力学模型	220	5.5.1	坡膛与弹头配合的要求	268
4.7.2	脱弹过程分析	223	5.5.2	坡膛与弹头的配合计算	268
4.7.3	计算实例	226	5.5.3	坡膛设计计算实例	272
4.8	抽壳力分析	227	5.6	自动机加速机构设计	274
4.8.1	基本假设	228	5.6.1	加速机构概述	274
4.8.2	弹壳的自由膨胀	228	5.6.2	加速机构设计	275
4.8.3	弹壳与弹膛的共同膨胀	229	5.6.3	加速机构传动凸轮型面设计实例	276
4.8.4	弹壳的弹性恢复	230	5.7	平衡机优化设计	278
4.8.5	抽壳力	231	5.7.1	理论计算公式	279
4.8.6	抽壳特性	232	5.7.2	优化设计的数学模型	280
4.8.7	抽壳力模型的改进	236	5.7.3	优化设计方法	282
4.9	螺旋压缩弹簧的动力分析	236	5.7.4	设计实例	283
4.9.1	簧圈振动方程	237	5.8	驻退机优化设计	283
4.9.2	压力波的反射	237	5.8.1	理论计算公式	283
4.9.3	相关线	239	5.8.2	驻退机优化设计的数学模型	286
4.9.4	定解条件	241	5.8.3	设计实例	287
4.9.5	计算实例	242	5.9	瞄准机传动方案优化设计	288
4.10	导气管式导气装置分析		5.9.1	设计变量的确定	288
	计算	243	5.9.2	目标函数的选择	288
4.10.1	导管中的气流方程	244	5.9.3	约束条件的确定	291
4.10.2	初始条件与边界条件的处理	248	5.9.4	优化方法的选择	292
4.10.3	计算结果的分析	249	5.10	弹链输弹机构传动优化设计	292
第5篇	自动武器的结构设计	251	5.10.1	应用最优控制理论的一般优化设计方法	293
5.1	现代步兵自动武器的结构		5.10.2	凸轮式弹链输弹机构传动优化设计	294
	特征	251	5.11	弹匣最小体积设计法	300
5.1.1	提高使用性能	251	5.11.1	托弹簧的设计	300
5.1.2	完善总体结构	252	5.11.2	托弹簧负荷的选择	302
5.1.3	增强自动机工作可靠性	253	5.11.3	设计实例	303
5.2	现代航空自动武器的结构		5.12	气体液压力式输弹机结构设计	305
	特征	255	5.12.1	输弹机设计的依据	305
5.2.1	典型自动工作原理	255	5.12.2	输弹机结构尺寸和气体参	
5.2.2	典型自动机构	256			
5.3	现代高射武器的结构特征	259			
5.3.1	提高战术技术性能	259			
5.3.2	采用新原理和新结构	260			

量的确定	305	6.2.2 评估基点	338
5.12.3 输弹机的总体设计	308	6.2.3 评估技术	335
5.13 圆柱螺旋压缩弹簧双目		6.3 利用模糊数学对小高炮	
标优化设计	309	进行评估	343
5.13.1 弹簧最小装配体积设计	309	6.3.1 确定评项目	344
5.13.2 弹簧最低工作应力设计	312	6.3.2 综合评估	346
5.13.3 “2.5法”的验证	313	6.4 应用加权法和法讨论步枪综	
5.14 多股圆柱螺旋弹簧设计	314	合性能——火力突击性	317
5.14.1 多股簧的特性曲线	314	6.4.1 步枪的火力突击性	317
5.14.2 多股簧的应力分析	316	6.4.2 步枪火力突击性的演变	359
5.14.3 多股簧的设计计算	320	6.4.3 班用枪族	351
5.15 平面蜗线弹簧设计	322	6.4.4 从火力突击性看未来步枪	352
5.15.1 平面蜗线弹簧的应力分析	322	6.5 应用综合指标法评价航炮	353
5.15.2 平面蜗线弹簧的示性曲线		6.5.1 航炮对目标的作用效能	353
和刚度	325	6.5.2 航炮的使用效能	357
5.15.3 平面蜗线弹簧的设计	326	6.5.3 航炮的发射效能	359
5.16 摩擦缓冲器设计	328	6.5.4 航炮的非威力指标	359
5.16.1 枪机在摩擦缓冲器作用下		6.6 高射炮系统的效费分析方法	361
的运动	328	6.6.1 系统效费分析的一般方法	361
5.16.2 摩擦缓冲器的设计要点	332	6.6.2 高射炮系统综合效能模型	
5.16.3 设计实例	333	及其计算方法	361
第6篇 武器的评估	334	6.6.3 计算高射炮系统效能的实例	367
6.1 武器系统的综合评估概况	334	6.6.4 费用计算	369
6.1.1 预测中的数学方法	334	6.6.5 效费分析实例结果	371
6.1.2 方案的评估及决策	335	6.7 自动武器可靠性分析与设计	372
6.1.3 模糊数学法在评估中的应用	336	6.7.1 可靠性模型的建立	372
6.2 应用模糊数学评估系统的		6.7.2 可靠性预计	377
技术	338	6.7.3 可靠性分配	379
6.2.1 基础知识	338	参考文献	384

第 1 篇 自动武器动力学

1.1 自动武器凸轮传动分析的机构单元法

自动武器中广泛采用了凸轮机构。根据单元化的思想,对这些机构可以加以分解,找出简单的典型机构,称为机构单元。机构单元的不同组合,构成了功能形态各异的凸轮机构。本章将根据这一思想,论述自动武器中机构单元的位移函数、传速比和传动效率的计算方法,及其在凸轮机构动力学分析中的应用。

1.1.1 凸轮的理论轮廓曲线

根据自动武器中凸轮机构的几何构造和运动形式,可将凸轮机构分为七类,即平动-平动机构,平动-转动机构,转动-转动机构,转动-平动机构,空间机构,滚柱凸轮机构,具有平面运动构件的机构。每一类再根据凸轮轮廓的特点分为若干机构单元。

在凸轮上建立动坐标系 $A_0\xi\zeta$, 凸轮理论轮廓曲线一般解析式可写为

$$\zeta = \zeta(\xi) \quad (1.1.1)$$

此曲线的倾斜角可表为

$$\alpha = \arctg \frac{d\zeta}{d\xi} = \alpha(\xi)$$

自动武器中,常见的情况是该曲线由两圆弧段及一直线段组成(图 1.1.1),此时

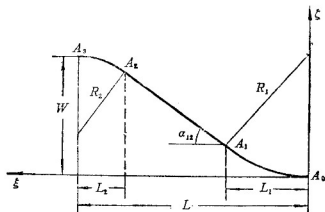


图 1.1.1 凸轮理论轮廓曲线

$$\begin{aligned}
 A_0A_1 \text{ 圆弧段,} \quad & \xi = 0 \sim L_1 \\
 & \zeta = R_1 - \sqrt{R_1^2 - \xi^2} \quad (1.1.2)
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \arctg \frac{\xi}{\sqrt{R_1^2 - \xi^2}}$$

$$A_1A_2 \text{ 直线段,} \quad \xi = L_1 \sim L - L_2$$

$$\xi = R_1 - \sqrt{R_1^2 - L_1^2} + \frac{W - R_2 + \sqrt{R_2^2 - L_2^2} - R_1 + \sqrt{R_1^2 - L_1^2}}{L - L_1 - L_2} (\xi - L_1) \quad (1.1.3)$$

$$\alpha_{12} = \arctg \frac{W - R_2 + \sqrt{R_2^2 - L_2^2} - R_1 + \sqrt{R_1^2 - L_1^2}}{L - L_1 - L_2}$$

A_2A_3 圆弧段, $\xi = L - L_2 \sim L$

$$\xi = W - R_2 + \sqrt{R_2^2 - (L - \xi)^2} \quad (1.1.4)$$

$$\alpha = \arctg \frac{L - \xi}{\sqrt{R_2^2 - (L - \xi)^2}}$$

有时, 该凸轮理论轮廓曲线很简单, 仅有一直线段, 此时

$$\xi = \frac{W}{L} \xi \quad (1.1.5)$$

$$\alpha = \arctg \frac{W}{L} \quad (1.1.6)$$

1.1.2 机构单元的位移函数、传速比和传动效率

此处只论述三种机构单元。

一、平动-转动机构 (A型机构) 单元

取基础构件 A 与工作构件 B 起始接触点处所在机匣上的 o 点为原点建立固定于机匣上的整体坐标系, ox 为横坐标轴。 o_2 为机匣上的点, 工作构件 B 可绕 o_2 转动。凸轮轮廓在基础构件 A 上 (图 1.1.2)。由几何关系, 有

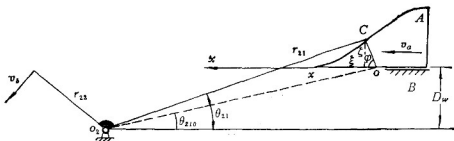


图1.1.2 平动-转动机构

$$\begin{cases} \xi \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\theta_{21} + \theta_{210}) + \xi = x \\ \sin \theta_{21} = \frac{D_w + \xi}{r_{21}} \end{cases} \quad (1.1.7)$$

将式 (1.1.1) 代入并求解, 可得

$$\begin{cases} \xi = \xi(x) \\ \theta_{21} = \theta_{21}(x) \end{cases} \quad (1.1.8)$$

及

$$\alpha = \alpha(\xi) = \alpha(x) \quad (1.1.9)$$

对于常见的两圆弧及一直线段组成的凸轮曲线, 应分段处理。此时,

$\xi = 0 \sim L_1$ 段, 将式 (1.1.2) 代入式 (1.1.7), 可得

$$\begin{cases} (R_1 - \sqrt{R_1^2 - \xi^2}) \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\theta_{21} + \theta_{210}) + \xi - x = 0 \\ D_w + R_1 - \sqrt{R_1^2 - \xi^2} - r_{21} \sin \theta_{21} = 0 \end{cases}$$

由此可解得式 (1.1.8) 及

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\xi}{\sqrt{R_1^2 - \xi^2}} = \alpha(x)$$

$\xi = L_1 \sim L - L_2$ 段, 将式 (1.1.3) 代入式 (1.1.7) 可得

$$\begin{cases} \left[R_1 - \sqrt{R_1^2 - L_1^2} + \frac{W - R_2 + \sqrt{R_2^2 - L_2^2} - R_1 + \sqrt{R_1^2 - L_1^2}}{L - L_1 - L_2} (\xi - L_1) \right] \\ \quad \times \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\theta_{21} + \theta_{210}) + \xi - x = 0 \\ D_w + R_1 - \sqrt{R_1^2 - L_1^2} + \frac{W - R_2 + \sqrt{R_2^2 - L_2^2} - R_1 + \sqrt{R_1^2 - L_1^2}}{L - L_1 - L_2} \\ \quad \times (\xi - L_1) - r_{21} \sin \theta_{21} = 0 \end{cases}$$

由此可解得式 (1.1.8) 及

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{W - R_2 + \sqrt{R_2^2 - L_2^2} - R_1 + \sqrt{R_1^2 - L_1^2}}{L - L_1 - L_2}$$

$\xi = L - L_2 \sim L$ 段, 将式 (1.1.4) 代入式 (1.1.7) 可得

$$\begin{cases} \left[W - R_2 + \sqrt{R_2^2 - (L - \xi)^2} \right] \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\theta_{21} + \theta_{210}) + \xi - x = 0 \\ D_w + W - R_2 + \sqrt{R_2^2 - (L - \xi)^2} - r_{21} \sin \theta_{21} = 0 \end{cases}$$

由此可解得式 (1.1.8) 及

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{L - \xi}{\sqrt{R_2^2 - (L - \xi)^2}} = \alpha(x)$$

传速比

$$i = \frac{r_{22} \sin \alpha}{r_{21} \cos(\alpha - \theta_{21})}$$

传动效率

$$\eta = \frac{1 - f_{12} \operatorname{tg}(\alpha - \theta_{21})}{1 + (f_{12} + f_1) \operatorname{ctg} \alpha}$$

由于式 (1.1.8) 和 (1.1.9), θ_{21} 和 α 均已表为基础构件位移 x 的函数, 故传速比 i 和传动效率 η 随 x 变化的数值即可求得。

二、转动-转动机构 (A型机构) 单元

如图 1.1.3 所示, o_1 、 o_2 为机匣上的点, 凸轮轮廓在基础构件 A 上。由几何关系, 有

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \beta = \frac{\xi}{r_{01} + L - \xi} \\ r_{21} \cos \theta_{21} + r_{12} \cos(\pi - \theta_{10} - \theta_{11} + \beta) - D_L = 0 \\ r_{21} \sin \theta_{21} - r_{12} \sin(\pi - \theta_{10} - \theta_{11} + \beta) + D_w = 0 \\ r_{12} = \sqrt{(r_{01} + L - \xi)^2 + \xi^2} \end{cases} \quad (1.1.10)$$

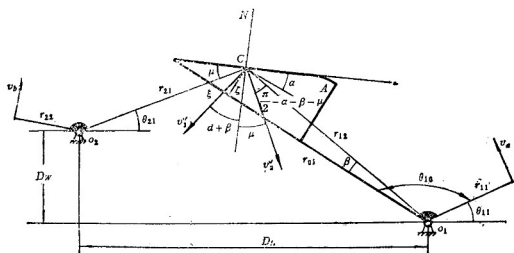


图1.1.3 转动-转动机构

将式 (1.1.1) 代入并求解, 可得

$$\begin{cases} \xi = \xi(\theta_{11}) \\ \theta_{21} = \theta_{21}(\theta_{11}) \\ \beta = \beta(\theta_{11}) \\ r_{21} = r_{21}(\theta_{11}) \end{cases} \quad (1.1.11)$$

又
且

$$\alpha = \alpha(\xi) = \alpha(\theta_{11})$$

$$\mu = \pi - \alpha - \theta_{10} - \theta_{11} + \theta_{21} = \mu(\theta_{11}) \quad (1.1.12)$$

今只讨论凸轮廓线仅有直线段的情况。此时, 将式 (1.1.5) 代入式 (1.1.10), 可得

$$\begin{cases} L(r_{01} + L - \xi) \operatorname{tg} \beta - W\xi = 0 \\ r_{21} \cos \theta_{21} + r_{12} \cos(\pi - \theta_{10} - \theta_{11} + \beta) - D_L = 0 \\ r_{21} \sin \theta_{21} - r_{12} \sin(\pi - \theta_{10} - \theta_{11} + \beta) + D_W = 0 \\ r_{12} - \sqrt{(r_{01} + L - \xi)^2 + \left(\frac{W}{L} \xi\right)^2} = 0 \end{cases}$$

由此可解得式 (1.1.11) 及 (1.1.12)。\$\alpha\$ 的表达式与式 (1.1.6) 同。

传动比

$$i = \frac{r_{21} r_{12} \cos(\alpha + \beta)}{r_{21} r_{11} \cos \mu}$$

传动效率

$$\eta = \frac{1 - f_{12} \operatorname{tg} \mu}{1 + f_{12} \operatorname{tg}(\alpha + \beta)}$$

由位移函数诸方程求解结果, 传动比 \$i\$ 和传动效率 \$\eta\$ 均各为基础构件位移 \$\theta_{11}\$ 的函数。

三、转动-平动机构 (B型机构) 单元

如图 1.1.4 所示, \$O_1\$ 为机匣上的点, 凸轮轮廓在工作构件 \$B\$ 上。由几何关系, 有

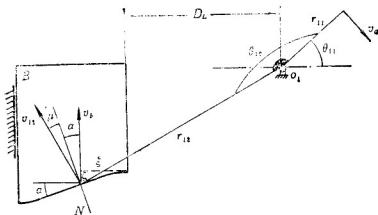


图1.1.4 转动-平动机构

$$\xi = r_{12} \cos(\theta_{10} + \theta_{11} - \pi) - D_L \quad (1.1.13)$$

又

$$y = -r_{12} \sin(\theta_{10} + \theta_{11} - \pi) \quad (1.1.14)$$

$$\alpha = \alpha(\xi) = \alpha(\theta_{11})$$

且

$$\mu = \theta_{1c} + \theta_{11} - \pi - \alpha = \mu(\theta_{11}) \quad (1.1.15)$$

凸轮曲线仅有直线段时，式 (1.1.13)、(1.1.14) 和 (1.1.15) 不改变形式， α 的表达式与式 (1.1.6) 相同。

传动比

$$i = \frac{r_{12} \cos \mu}{r_{11} \cos \alpha}$$

传动效率

$$\eta = \frac{1 - (f_{12} + f_2) \operatorname{tg} \alpha}{1 + f_{12} \operatorname{tg} \mu}$$

1.1.3 机构的运动微分方程

设有工作构件 m_b 及 m_c 与基础构件 m_a 所组成的机构，则该机构运动微分方程为

$$\begin{aligned} & \left(m_a + m_b \frac{i_{ba}^2}{\eta_{ba}} + m_c \frac{i_{ca}^2}{\eta_{ca}} \right) \ddot{x}_a + \left(m_b \frac{i_{ba}}{\eta_{ba}} \frac{di_{ba}}{dt} + m_c \frac{i_{ca}}{\eta_{ca}} \frac{di_{ca}}{dt} \right) \dot{x}_a \\ & = F_a - F_b \frac{i_{ba}}{\eta_{ba}} - F_c \frac{i_{ca}}{\eta_{ca}} \end{aligned} \quad (1.1.16)$$

两工作构件分别与基础构件并联时，

$$\begin{aligned} i_{ba} &= i_{bk} i_{k,k-1} \cdots i_{32} i_{2a} \\ \eta_{ba} &= \eta_{bk} \eta_{k,k-1} \cdots \eta_{32} \eta_{2a} \\ i_{ca} &= i_{cj} i_{j,j-1} \cdots i_{41} i_{1a} \\ \eta_{ca} &= \eta_{cj} \eta_{j,j-1} \cdots \eta_{41} \eta_{1a} \end{aligned}$$

两工作构件相继与基础构件串联时，

$$\begin{aligned} i_{ba} &= i_{bk} i_{k,k-1} \cdots i_{32} i_{2c} \\ \eta_{ba} &= \eta_{bk} \eta_{k,k-1} \cdots \eta_{32} \eta_{2c} \\ i_{ca} &= i_{cm} i_{m,m-1} \cdots i_{e2} i_{2b} i_{b,k-1} \cdots i_{32} i_{2a} \end{aligned}$$

$$\eta_{ca} = \eta_{em} \eta_{m,m-1} \cdots \eta_{k+2,b} \eta_{b,k} \eta_{k,k-1} \cdots \eta_{22} \eta_{2a}$$

即式 (1.1.16) 中凸轮机构两工作构件的传速比和传动效率均可表为构成该机构的诸机构单元的相应传速比的乘积和相应传动效率的乘积。由凸轮机构总体的几何关系, 可将各机构单元的传速比和传动效率与各自的基础构件位移的函数关系, 转换为与第一个基础构件 A 的位移 x_a 的函数关系。于是, 在给定初值后, 方程 (1.1.16) 可解。

考虑到各种情况下所涉及到的位移函数方程是非线性的, 故一般必须用数值法求解。
(甘高才)

1.2 导气装置的气体动力学

导气式自动机, 以其结构简单、射速高和射击精度高等优点, 一直占有重要的地位, 在近代仍得到广泛应用。口径在 12.7mm 以上的自动机, 多采用封闭式导气装置 (图 1.2.1), 结构原理也十分简单。在航炮中, 还设计成取代炮管簧作用的瓦斯筒装置, 和给活动构件到位后缓冲的气体减震器。这些气体装置的基本特点都是从膛内导出部分火药气体, 在气室中或膨胀推动武器机构, 或受压缩吸收活动机构的能量, 其实质就是一个热能与机械功的转换装置。

射击过程十分短促。气体无论在膛内或在导气装置中, 都呈现强烈的非正常状态。弹头经过气孔, 膛内气体突然冲入导管, 其现象可与激波管的破膜过程相比拟。特别如气体减震器的充气过程中, 气体在较长的管道中流动时, 还要考虑气流的

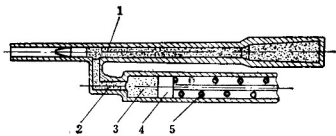


图 1.2.1 导气装置原理

1—膛室; 2—导管; 3—气室; 4—活塞; 5—复进簧。

的摩擦损耗, 以及冲击波传播带来的影响等。由此用非正常的气体动力学理论来研究导气装置的气流问题, 才更合乎实际。

在分析中作如下假设:

1. 气体在管道及间隙形成的流管中, 轴向流动效应比横向流动效应大得多, 因而忽略后者, 认为气体为一维流动, 并认为导气装置工作时, 火药已燃尽, 其中没有固相流动。
2. 经气孔流入气室的气体质量, 与膛内气体质量相比, 所占分量很小, 因而认为处于气孔入口处的膛内气体参量为已知量, 由内弹道计算确定。
3. 流动中的气体为完全气体, 并不计质量力。
4. 导气管中气流的摩擦和散热, 满足雷诺比拟关系。

1.2.1 气室中的气流方程

为了研究气室中的气体参量的变化规律, 需要建立气流的质量守恒、能量守恒和活塞运动方程。

图 1.2.2 示出气室中气流与周围的关系。从膛室引出的气体经 A , 流入气室, 经 B

隙或排气孔 A_v 流出, 活塞则按 X_B 方向运动。由于活塞运动的速度远小于当地音速, 故处于气室中的气体, 就按滞止气流来考虑。

按图所示取控制体, 由欧拉连续方程可写出

$$\iiint_{\tau} \frac{\partial \rho}{\partial t} d\tau + \iint_{A_1 + A_2 + A_e + A_c + A_v} \rho (\vec{u} \cdot \vec{n}) dA = 0 \quad (1.2.1)$$

左端第一项为单位时间控制体的质量增量。设气室的动始容积为 V_{ei} , 则在某时刻气室内气体的体积为

$$\tau = V_{ei} + A_c X_B = V_e$$

若在某一小的时间间隔内, τ 中的密度 ρ 相对时间的偏导数取平均值而为常数, 则质量增量

$$\iiint_{\tau} \frac{\partial \rho}{\partial t} d\tau = \frac{\partial \rho}{\partial t} \iiint_{V_{ei} + A_c X_B} d\tau = (V_{ei} + A_c X_B) \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

公式 (1.2.1) 中的第二项, 是通量表达式。在 A_1 和 A_2 面上, 气流速度为零, 则其上通量也为零。于是有

$$\iint_{A_e + A_c + A_v} \rho (\vec{u} \cdot \vec{n}) dA = \iint_{A_e} \rho (\vec{u} \cdot \vec{n}) dA + \iint_{A_c} \rho (\vec{u} \cdot \vec{n}) dA + \iint_{A_v} \rho (\vec{u} \cdot \vec{n}) dA$$

气流在各表面上的流动方向已知, 故上式可写为

$$\iint_{A_e + A_c + A_v} \rho (\vec{u} \cdot \vec{n}) dA = -\rho_e u_e A_e + \rho_c u_c A_c + \rho_v u_v A_v \quad (1.2.2)$$

式中 u_e 、 u_c 、 u_v ——分别为通过 A_e 、 A_c 和 A_v 的气流速度。

在 A_v 断面上, 气体泄漏, 反压是大气压, 则气流始终处于临界状态, 故 A_v 上的通量为

$$A_v \rho_v u_v = A_v \rho_* u_* = A_v \rho_* a_*$$

式中 a_* ——临界断面上的音速。

气室中的气体呈滞止状态, 则

$$T_0 = T_*$$

故

$$a_* = \sqrt{\gamma RT_*} = \sqrt{\frac{2}{\gamma + 1} \gamma RT_0} = \sqrt{\frac{2}{\gamma + 1} \gamma RT_0}$$

其中

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

又

$$\rho_* w_* = RT_*$$

及

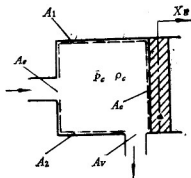


图1.2.2 气室中的气流