

火箭弹设计

刘树华 丘光申 潘昌祥 柯金有 韩树楷 编

国防工业出版社

火 箭 弹 设 计

刘树华 丘光申 韩树楷 编
潘昌祥 柯金有



国防工业出版社

516465

内 容 简 介

本书主要论述了火箭弹的总体设计与零、部件设计。内容包括战术技术与生产经济性要求，火箭发动机装药设计，基本参量的预定，火箭弹密集度的估算，战斗部作用与设计，发动机设计，空气动力计算，尾翼设计，以及结构诸元计算等。

本书可作为高等院校火箭弹专业教材，也可供从事火箭弹研究、设计的科技人员参考。

火 箭 弹 设 计

刘树华 丘光申 韩树楷 编
潘昌祥 柯金有

责任编辑 崔金泰

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张23³/₈ 545千字

1984年12月第一版 1984年12月第一次印刷 印数：0,001—2,000册

统一书号：15034·2829 定价：3.55元

前 言

本书是根据兵器工业部1977年10月教材会议的要求及火箭弹专业的教学大纲编写的。1981年7月曾以《固体火箭弹设计讲义》之名油印出版，经过三期火箭弹专业学员的试用，听取了学员及授课教师的意见，对油印本进行了修改和增删，形成了本书初稿。

本书主要论述了火箭弹的总体设计和零、部件的设计，其中以基本理论和基本知识为主，并总结了近年来教学和科研的某些成果。

参加本书编写的有刘树华（主编，编写绪论、第二章、第三章）、丘光申（编写第五章、第六章）、潘昌祥（编写第四章、第八章）、柯金有（编写第七章）、韩树楷（编写第一章）。

参加审稿的有戴绪恒（主审）、任萃、万俊华、马怀义、刘怡昕、邱长富、路景芝，他们对初稿提出了不少宝贵意见，在此向他们表示衷心感谢。

在编写过程中还得到不少兄弟单位的大力支持，在此深表谢意。

由于编者水平所限，书中缺点、错误在所难免，衷心希望读者批评指正。

编 者 1983年7月

目 录

绪 论

第一节	固体火箭弹的特点	1
第二节	战术技术要求	2
第三节	生产经济要求	6
第四节	火箭弹初步设计的一般步骤	6
第一章	固体火箭发动机装药设计	9
第一节	单孔管状药的装药设计	9
第二节	星孔装药的装药设计	33
第三节	轮孔装药的装药设计	46
第四节	三根椭圆管状装药的装药设计	52
第五节	槽孔装药的装药设计	59
第六节	端面燃烧装药设计	70
第七节	火药装药的包覆	73
第二章	基本参量的预定	75
第一节	影响最大射程因素的分析	75
第二节	初选参量的选择	81
第三节	尾翼式火箭弹的基本参量预定	87
第四节	涡轮式火箭弹的基本参量预定	110
第五节	反坦克火箭弹的基本参量预定	124
第六节	反坦克火箭增程弹的基本参量预定	130
第三章	火箭弹密集度的估算	142
第一节	有关火箭散布的基础知识	142
第二节	尾翼式火箭弹方向密集度的估算及其影响因素分析	149
第三节	尾翼式火箭弹距离密集度的估算及其影响因素分析	159
第四节	反坦克火箭弹密集度的估算	167
第四章	战斗部的作用与设计	170
第一节	火箭弹的碰击作用	170
第二节	战斗部的爆破作用	176
第三节	战斗部的杀伤作用	193
第四节	战斗部破甲(聚能)作用	206
第五节	战斗部壳体基本尺寸的确定	219
第六节	杀伤、杀伤爆破与爆破战斗部的结构设计	224
第七节	破甲战斗部设计	227
第八节	碰击障碍物时, 战斗部壳体强度的计算	230
第九节	引信的选择	234
第五章	发动机(结构)设计	238
第一节	燃烧室设计	238

第二节	喷管设计	253
第三节	连接底设计	267
第四节	装药支撑装置设计	269
第五节	点火装置设计	272
第六章	空气动力计算	278
第一节	几何参数与主要符号	278
第二节	弹体气动特性计算	279
第三节	尾翼气动特性计算	281
第四节	火箭弹气动特性计算	283
第七章	尾翼设计	302
第一节	对尾翼的技术要求	302
第二节	尾翼的基本类型	302
第三节	平板型尾翼几何参数的选择	307
第四节	尾翼的强度刚度校核	311
第八章	结构诸元计算	325
第一节	结构诸元计算前的准备工作	325
第二节	重量计算	327
第三节	重心位置计算	329
第四节	极转动惯量计算	332
第五节	赤道转动惯量计算	333
第六节	重量公差	337
附录	344
附表 1	地面火炮外弹道表 (距离)	344
附表 2	α 系数表	352
附表 3	β 系数表	354
附表 4	μ 系数表	356
附表 5	ν 系数表	358
附表 6	α_f 系数表	360
附表 7	β_f 系数表	362
附表 8	μ_f 系数表	364
附表 9	ν_f 系数表	366
参考文献	368

绪 论

第一节 固体火箭弹的特点

目前，固体火箭弹广泛用于装备陆、海、空各军，已成为一种有力的武器。同身管武器相比，火箭武器的优点是：

1. 有较高的飞行速度——现在一般炮弹的最大飞行速度为900~1000米/秒，小口径炮弹为1100~1300米/秒。炮弹的初速之所以难提高，原因就在于随着初速增加严重地降低了火炮的使用寿命。一般说，火炮的使用寿命同初速的7次方成反比。若初速增大一倍，则火炮的寿命将为原来的 $\frac{1}{128}$ 。火箭是利用喷射推进原理而获得飞行速度的。其飞行速度主要取决于发动机的比冲量和质量比（推进剂质量与火箭被动段质量之比），而质量比并没有受到很大的限制。火箭的飞行速度可以从每秒几十米到每秒一千米至几千米。如采用多级火箭，甚至可达第一、第二、第三宇宙速度。由于火箭弹可以得到较大的飞行速度，因而也就具有运射性。

2. 发射时没有后坐力——利用反作用原理飞行的火箭弹，在发射时不会产生后坐力。这就有可能制成轻便的、简单的、尺寸紧凑的和多管装填的发射装置。而且这种发射装置可以安装在拖车、汽车、履带车、飞机、直升飞机及小型舰艇上，也特别适于作肩射武器，如反坦克火箭、反坦克导弹、超低空地空导弹等。

由于没有后坐力，就可以制成多管火箭炮。目前世界各国都在研制和发展这类武器。大弹径的火箭炮，每门有几管到十几管定向器，中弹径的火箭炮，每门有20~40管定向器，小弹径火箭炮的定向器管数更多，有的可达114管。这种武器在很短的时间内能够发射大量火箭弹，例如一门火箭炮所发射的弹数相当于1~2个炮兵营所发射的弹数，因而使火箭炮成为对面目标射击极为有效的压制兵器。

3. 发射时过载系数小——火箭弹的飞行速度是逐渐增加的，其加速度远小于一般炮弹。160毫米迫击炮弹的最大加速度为12750米/秒²；152毫米榴弹为25500米/秒²；76毫米加农炮弹则为158500米/秒²。而火箭弹的加速度通常只有200~500米/秒²，对于带有助推发动机或单室双推力的火箭弹，其加速度要大些，但仍远小于炮弹的加速度。由于在发射时加速度小，火箭弹的结构尺寸可以减小，有利于安装制导元件以及装填特种战斗剂，如烟幕剂、化学毒剂、燃烧剂、照明剂、空气燃料炸药以及电子干扰物等。另外，在弹形上还可设计成长径比大（可达35）的尾翼弹，以便装填更多的推进剂，并减小弹道系数，有利于提高射程。

火箭武器的缺点是：

1. 密集度较差——目前一般野战火箭弹的密集度为： $B_z/x=1/100\sim 1/250$ ； $B_x/x=1/80\sim 1/150$ ；反坦克火箭弹的密集度为 $B_z/x_a=B_x/x_a=1/400\sim 1/500$ ，都比身管炮的密集度差（特别是方向密集度）。因此，野战火箭武器难于对点目标射击。但只要在中合理地使用，它却是一种对面目标射击的有效压制武器。

2. 容易暴露发射阵地——火箭发射时，向后喷射强大的燃气流，给伪装造成困难，

并易暴露发射阵地。

3. 造价较高——火箭弹自身带有动力装置——火箭发动机，也随弹体到目标处而炸毁。因此火箭弹的造价比同弹径的炮弹要贵几倍甚至几十倍。

近程的火箭一般采用固体火箭发动机。固体火箭发动机与液体火箭发动机相比，其优点是：

1. 结构较简单——固体火箭发动机的燃烧室既是贮存推进剂的容器，又是推进剂燃烧的地方，而且推进剂是固态，不像液体火箭发动机那样需要复杂的输送系统、贮存系统及控制系统。由于结构简单，故易制造，成本低，生产周期短，在战时能够大量生产。

2. 工作较可靠——固体火箭发动机结构简单，零部件较少，工作可靠性高。只要点燃装置可靠，燃烧室强度有保证，设计合理等，发动机就能正常工作。而液体火箭发动机的零部件较多，各个系统连接环节也多，要正常地工作，必须使各个部分、系统和环节都具有确实的可靠性。

3. 操作方便——由于固体火箭发动机火药装药预先存放在燃烧室内，经常处于待发状态，不需要在发射时临时装填，简化了操作手续，缩短了发射准备时间。

4. 便于贮存与运输——由于火药比重较大，因而固体火箭发动机的尺寸可小一些。此外，火药比液体推进剂有较好的化学安定性，而且能经得起一定程度的振动，所以火药在发动机内能长期储存，并使固体火箭发动机便于运输和勤务处理。

固体火箭发动机的缺点是：

1. 比冲较低——固体推进剂的比冲一般低于液体推进剂，因而固体火箭发动机的比冲不如液体火箭发动机的比冲高。

2. 燃烧时间短——液体火箭发动机装有冷却系统，不论是外冷却式或内冷却式，容易解决发动机的冷却问题。固体火箭发动机也可以采取某些技术措施（如在燃烧室内壁涂隔热涂层或喷管喉部嵌耐热材料）使发动机不致于过热。但是若燃烧时间略长一些，冷却问题就难以解决。

3. 难以控制推力的作用时间与大小——液体火箭发动机可通过控制系统和燃料供给系统按预定方案改变推力的大小以至熄火，而固体火箭发动机，由于火药装药的结构已定，则难以改变推力方案和发动机工作时间。此外，液体火箭发动机还能使推进剂复燃，而固体火箭发动机则不具备此性能。

第二节 战术技术要求

从火箭武器的发展历史来看，一种新武器的出现既要满足新的战术要求，又要符合现实的技术水平。战术与技术要求的本身也在发展，不同的年代有不同的内容。历来都是以最先进的技术来研制满足最新战术要求的武器。

火箭弹的种类较多，其战术技术要求有所不同，而火箭武器设计者必须熟悉战术技术要求。为此下面以野战火箭弹为例来介绍火箭弹战术技术要求的基本内容。

野战火箭武器在战斗中所担负的任务，主要有：

压制和歼灭敌方有生力量和技术兵器；

压制和歼灭敌方的炮兵；

压制敌方观察所、雷达站与通讯枢纽；
毁伤敌方集结的坦克、装甲车辆和水面目标等。

根据这些任务可将野战火箭弹的战术技术要求概括为射程、威力、精度、机动性、安全可靠性等几个方面。现分述如下。

一、射 程

野战火箭弹的射程，要根据装备到部队的级别、所承担的任务以及弹种的不同来确定。一般设计任务书要下达最大射程的指标。最大射程的确定，通常从以下几方面来考虑：

考虑敌方进攻时的战斗队形与防御时的阵地配置。敌方在组织进攻与防御时，其有生力量与火力配系都是按远近不同配置在整个战术纵深内。为了摧毁和压制战术纵深内的目标，就需要由各种不同射程的火箭武器构成一个完整的火力体系。我方各级火箭炮兵在战斗中都分别担负着对整个纵深目标的射击任务。

考虑我方炮兵阵地的配置。战斗队形一般都是按梯次配置，火箭武器的发射阵地也是如此。各种不同弹径与不同类型的火箭武器发射阵地离前沿的距离是不同的。确定火箭弹的最大射程时，需要考虑这段距离。

考虑敌方炮兵兵器的最大射程。对敌方的炮兵作战是我方炮兵的重要任务之一。由于敌方所装备的火炮与火箭也是从近到远地按梯次配置的，为了压制敌方的炮兵火力而又能保存自己，就要求我方的火炮与火箭在射程上能超过敌人相应的火炮与火箭。

除最大射程外，通常还提出最小射程的要求。从战术使用的角度来看，当然是希望最小射程越小越好，但实际上最小射程只能小到一定的程度。因为对于已经设计好的火箭弹来说，射程的大小取决于射角的大小。而火箭发射装置往往受到总体结构的限制，存在着一个最小射角。这就决定了最小射程。另外，从引信设计角度来看，一般说射程越短，火箭弹的落角也越小，因而导致引信起爆困难。

二、威 力

威力通常指战斗部对目标的毁伤能力。威力也有不同范围的含义，有时是指某一级炮兵建制的火力威力。如火箭炮兵连或火箭炮兵营的火力威力；有时是指一门火箭炮一次齐射全部火箭弹的威力；有时则指单发火箭弹的威力。从火箭弹设计的角度来说，先考虑单发火箭弹的威力。而单发火箭弹与整个火箭武器是密切相关的，在考虑单发火箭弹的威力时，并不排斥整个火箭武器的威力。

火箭弹的威力，对不同类型的战斗部有不同的衡量方法。就单发火箭弹而言，杀伤弹是以密集杀伤半径，密集杀伤面积，疏散杀伤面积，总杀伤面积来衡量的。爆破弹如在土壤中爆炸，则用漏斗坑的体积来衡量；如在空中爆炸，则用某一超压的范围或者用冲击波比冲量来衡量。

此外，在研究射击效能时，要考虑到实战的情况，则可用目标有效幅员来衡量战斗部的威力。目标有效幅员是目标附近的区域，火箭弹落在此区域内爆炸必然毁伤目标。目标有效幅员的大小与各方面的影响因素有关。在弹体方面有：战斗部的结构、材料的机械性能、弹径、炸药的性质与数量；在目标方面有：目标的种类、性质、姿态；在弹

道方面有：火箭的姿态、落角、落速、炸高等因素。

从设计角度说，增大威力就要选用高能炸药，合理的战斗部结构，适当的炸药量及每次齐射的弹药数等。

三、精 度

炮兵火力运用的基本原则之一是：突然、及时、准确、猛烈。火箭武器性能的优劣，很大程度上取决于它的射击精度。射击精度（简称为精度）的含义有两个方面：一是准确度，就是火箭弹落点散布中心偏离目标中心的程度；二是密集度，就是一组火箭弹各个落点偏离散布中心的程度。准确度的高低同射击方法有很大关系，影响准确度的因素有：测地诸元、气象条件、射击开始诸元、瞄准装置、射表及操作等误差。这是需要从火箭弹、火箭炮、射击方法及指挥系统等各个方面来考虑的。密集度的好坏同火箭弹、火箭炮整个武器的总体有很大关系。影响火箭弹方向密集度的主要因素有：火箭的推力偏心，起始扰动，地面阵风等；影响距离密集度的主要因素除了上面三个因素外，还有比冲误差，火箭弹体和火药的重量公差，主动段末端的切向倾角的偏差等等。

提高火箭武器密集度的目的就是提高对面目标的射击效力。为此，确定密集度指标时，应考虑到：火箭弹的最大射程，面目标面积的大小，对目标有效幅员的命中数，弹药消耗量，准确度，射击任务等各方面的因素。

提高火箭弹的密集度，对战术使用会带来很大好处，但是，密集度的提高又不能脱离当前的生产技术水平。影响火箭弹密集度的因素很多，某些影响因素目前还不能完全消除。例如，为了保证火箭弹的同轴性，若将零件制造公差与部件装配公差规定得过严，或者为了弹道性能一致性而将重量公差规定得过严，则不利于大量成批生产。因此在确定密集度时要把战术上的要求同生产技术上的可能及经济性结合起来考虑。

四、机 动 性

“攻其不备，出其不意”。这是古今中外兵家的信条。现代战争虽然复杂，上述原则仍然适用。为此，对武器的设计应提出机动性的要求。

炮兵的机动性，按其形式可分为火力机动与兵力机动。前者，是在发射阵地上火力发扬与火力转移的迅速性；后者，是指火炮（或其它炮种）行军与转移发射阵地的迅速性。火箭武器的机动性具有更重要的意义，因为野战火箭武器通常是多管发射，在很短时间内形成强大的火力。为了发挥这种武器急袭性的特点，必须提高机动性。同时，由于现代炮兵侦察手段的发展，火箭炮阵地在发射火箭弹之后，很快就被敌方发现。为了避免遭到敌方火力的反击，必须迅速转移发射阵地。

就火力机动性来说，多管火箭炮齐射时所构成的急袭火力，使这种武器具有较好的火力机动性。但是，不足之处在于火力连续性较弱。在一次齐射之后，要进行第二次齐射时，中间装弹的时间较长，这就不能构成连续袭击的火力。为了提高火力的连续性，必须缩短装弹及射击准备的时间。从火箭弹设计的角度看，弹不宜过重，以适应战士的体力情况。若用机械进行装弹，弹体的结构要适应这种要求，尽量减少射击准备时的动作。

就兵力机动性来说，不同的火箭武器有不同的要求。对于射程较近者，就应能人背、

肩扛或骡马驮载。这类火箭武器一般配置在靠近前沿的地方，为了适应高原、山地和水网稻田地区作战的需要，都要求有高度的机动性。在设计时应尽量使之轻便灵活、操作简单、便于运动，因而要求弹径适当，弹长要短，弹重要轻。射程较远者，多是由车辆牵引，或者将发射装置直接安装在汽车或履带车上。这类火箭武器在行军与转移阵地时都有较高的速度。所以要合理地选择弹径、弹重、发射管数等，并从弹体结构上保证缩短装弹时间，以及便于火箭炮载弹行军等。

五、安全可靠

武器是战斗的工具，在作战使用中必须具有确实的安全可靠性。这也是对火箭弹设计者提出的基本要求。安全性是指火箭弹在储存、运输、装填、发射、飞行等各个阶段必须确保安全。火箭弹在运输时要经得起长途行军与运输的颠簸。在设计时就要考虑到火箭弹各个零部件连接可靠，不允许有松动的零件；战斗部同发动机都要求密封；包装要牢靠，既要严密确实，又要便于开封使用等。为了防止战斗部早炸、燃烧室爆炸、火箭装药燃烧不正常、燃气流烧伤射手、在装填火箭弹时从定向器内滑脱以及意外发射等事故的发生，设计者必须选择合理的起爆系统，校核弹体各零部件的强度与刚度，正确设计火药装药，并进行各种温度条件的发动机性能试验，选择合理的定向器和挡弹闭锁装置等等。

可靠性可以理解为某一技术装置在一定的使用条件下，在给定的时间间隔内，保持有效工作的能力。此处的技术装置是广义名词，它可以是单个元件，也可以是一个系统。将技术装置看作是元件还是系统并不是绝对的，这取决于研究对象所处的地位。如点火系统，它是由各元件（连接零件、导线、发火管、点火药等）组成的一个系统，但是在火箭武器的系统中，可以将它看作是一个“元件”。一定的使用条件，不仅包括外界条件（如温度、振动、负载等），还包括内部条件（如元件的试用时间、预防性检查后经过的时间等）。保持有效工作的能力就是指无故障地工作的能力。某个元件的可靠性的含义是在一定的使用条件下，在给定的时间间隔内，无故障地工作的概率。往往通过试验方法求出元件可靠性同无故障工作时间的分布规律（即分布密度的函数）。在此基础上求系统的可靠性。系统的可靠性取决于各元件之间的联结方式。以“串联方式”将元件联结，此系统的可靠性等于各单个元件可靠性之积，即

$$P = \prod_{i=1}^n p_i$$

式中 P ——系统的可靠性；

p_i ——第 i 个元件的可靠性。

如元件是“并联方式”联结，系统的可靠性则是

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$$

从上述公式可以看出，“串联方式”联结的系统中随着元件数量的增多，系统的可靠性迅速下降。即使每一个元件有很高的可靠性，但整个系统也只能有勉强可行的可靠性。而且系统中某一个元件发生故障将导致整个系统发生故障。“并联方式”联结的系统则可以避免这种故障的发生。系统内所“并联”的元件可以看成系统内安装重复元件（或称

储备元件)。当系统内有一个元件发生故障,此系统就可转换为由另一元件承担工作的状态。如有几个元件“并联”,只有当 n 个元件同时发生故障时系统才发生故障。“并联方式”的联结是提高系统可靠性的方法之一。如点火系统多采用这种联结方式。

一般对火箭弹都提出作用可靠、长期储存不变质等要求。在设计时应选择有一定可靠性的“元件”,以满足各个系统与全弹可靠性的要求。

上述这些战术技术要求不是孤立的和割裂的,而是紧密地相互联系着。在设计时,必须综合地全面地考虑。譬如,射程达不到指标,威力再大也不能完成压制或歼灭敌方纵深目标的战斗任务;若射程达到指标,威力太小就不能毁伤敌方目标;如射程远、威力大而精度不高就会消耗许多弹药也不能完成战斗任务。前面三个指标都达到了,若机动性不好,则在战场上会贻误战机,遭到不应有的损失;若安全可靠低,不能进行长期运输与保存,就会在平时没有足够的弹药储备,在战时不能及时供应前方的需要。此外,从设计的角度来看,这些战术技术要求是互相矛盾和互相制约的。如要提高火箭弹的威力,在结构形状与炸药性能一定的条件下,战斗部重量必然增加,在用同一个发动机的情况下,射程就相应地减少。若要提高射程,就要增加火药装药量,则全弹重增大,机动性将有所降低。同时在战术上对密集度提出相应的要求。而在当前的技术条件,还难以大幅度地改善密集度。

第三节 生产经济要求

设计火箭弹时除了满足战术技术要求之外,还要满足生产经济要求。战争中弹药的消耗是巨大的,据统计,在第二次世界大战期间各种弹药的总消耗量达三十亿发以上,相当于第一次世界大战时弹药消耗量的三倍。未来战争的弹药总消耗量必然超过此数量。为了保证足够的弹药供应,弹药必须便于大量生产。在设计火箭弹时,要认真考虑生产经济的要求。一般是考虑以下几方面:

1. 采用本国生产的原材料——军工生产的原材料是属于战略物资,为了在战时仍能大量生产弹药,必须选用国产的原材料。同时要考虑材料来源的广泛性,要预计到在战时弹药生产会遇到原材料紧缺,这就要求采用代用材料。在设计时就应考虑到采用代用材料的方案。

2. 结构工艺性好——结构工艺性是指火箭弹的总体、部件、零件在满足战术技术要求的前提下,能够高效率、低成本地大量生产。在设计火箭弹时,不仅要考虑火箭弹能否加工制造的问题,还要考虑大量生产的问题。火箭弹的零件、部件的结构要简单,加工精度要规定得合理,火箭弹的装配要简化,既要满足战术技术要求,又要节省材料、工时和降低成本。

3. 尽量采用标准零件与部件——随着火箭武器的发展,其部件或零件已逐步标准化。在设计时就考虑到选用标准零件和部件,如点火器、发火管等。也可以考虑一种发动机配用多种战斗部的方案。这样不仅可以减少生产制造时间、降低成本和简化弹药供应,而且可以提高系统的可靠性以及缩短火箭弹的研制周期。

第四节 火箭弹初步设计的一般步骤

一种新武器从研制到定型投产,一般要经过工厂定型、设计定型、生产试制与生产

定型四个阶段。工厂定型阶段是从接受研制任务开始到图纸定型为止。在此阶段内进行战术技术分析、总体方案论证和初步设计。其中穿插进行试验研究，如摸底试验、单项的专题试验和综合试验。在分析试验结果的基础上要进一步修改设计。达到设计指标后就进行各个系统的工厂定型，如火箭炮、弹体、引信、推进剂、战斗部、火工品等各个系统分别进行定型。综合定型通过后，图纸可以定型。第一阶段工作结束即转入设计定型阶段。在此阶段内，研制的产品要接受国家靶场的各种项目的考核以及接受与作战使用有关项目的考核。考核通过后，研制过程完成了设计定型阶段。在生产试制阶段里进行工厂小批量的试制，每小批生产的研制产品都要进行试验。经过一定的批数的生产试制，所积累的试验结果符合要求后则转入大批量的生产试制。最后阶段是生产定型阶段。在此阶段里要进行工艺方法和工艺流程等方面的定型工作。

在研制火箭弹的第一阶段里要进行初步设计。初步设计一个火箭弹，可按以下的步骤进行：

1. 战术技术要求与生产经济要求的分析——设计任务的指标是上级下达的。设计人员通过战术技术要求与生产经济要求的分析，深入理解设计指标的意义。根据设计指标，拟定一些技术措施，并分析其在技术上的实现性与生产经济的合理性，使设计能够达到任务指标。

2. 基本参量预定——基本参量预定就是在满足任务要求的条件下，选择合适的初选参量，来初步确定基本参量。初选参量是指火药性能参数，火药柱形状与根数，燃烧室材料及其机械性能，燃烧室压力及通气参量等。基本参量是指火箭弹弹径、弹长、弹重、火药装药尺寸、主动段末端速度及最大射程等。在这一步里，往往是反复计算许多组基本参量，经过方案的对比论证，从中选取性能较优越的一组。

3. 草图设计——根据所确定的基本参量进行全弹结构设计。再进行战斗部、燃烧室、喷管、稳定装置等主要部件的设计。这一步要反复计算与修改结构，直到全弹的性能参量能够达到指标要求为止。

4. 发动机主要参量计算——工作内容包括有燃烧室压力时间曲线计算，压力落差计算，喷管内压力、流速、温度曲线计算、推力时间曲线计算等。

5. 结构诸元计算——在这一步以前，很多设计数据都是概略的，因而还需要进一步精确计算。在火箭弹总体和零件、部件结构图形及尺寸确定之后，就应进行弹重、重心位置、赤道转动惯量与极转动惯量的计算，为以后几步的精确计算提供精确数据。

6. 外弹道参量计算——求出火箭弹出炮口的平均加速度、时间、转速、速度，主动段末端的飞行速度，弹道切向倾角，弹道高，主动段弧长，主动段距离，最大射程，最大弹道高，落速与落角等。求出的参数可作为外弹道诸元的初步数据。

7. 飞行稳定性校核——计算空气阻力系数、升力系数及稳定力矩系数，校核飞行稳定性。

8. 密集度估算——求出散布起始值，或参考同类型弹确定起始值，估算火箭的主动段末端角散布，求出有关弹道参量的中间误差、估算方向密集度与距离密集度。

9. 复查与校验——将上面各步所计算的结果全部进行复查与校验。若有不符合要求的或有矛盾的，应进行修改。

10. 对引信与发射装置提出要求——对引信提出的要求有：解脱保险的类型；解脱

保险的时间与距离；引信的装定与对目标的作用方式等。如选用定型的引信，则需要校验有关参量。对发射装置提出的要求有：定向器的类型，定向器管数，定向器的长度，挡弹闭锁装置的结构，闭锁力与点火方式等。

11. 整理设计资料——将设计中各种草稿资料分别整理，并编写设计说明书或专题资料。然后绘制正式的总图、装配图、零件图，提出有关试验的项目与方案。

经过以上步骤后，初步设计可告一段落。其余各阶段的工作可按有关规定进行，此处不再细述。

自三十年代首次出现近代火箭武器，至今仅有五十年的时间，其发展之迅速，应用之广泛，是火箭以往发展阶段无与伦比的。目前的火箭武器已装备到陆、海、空三军，在战场上不仅承担主要火力骨干的角色，也担负各种特殊用途的任务。虽然火箭弹的密集度低于导弹与炮弹，若采用先进技术，其密集度会有所改善，并且可以更多管数发射，采用子母弹空抛的方式，是对面目标射击的有力压制兵器。火箭武器正当方兴未艾之中，预计今后相当长时期内，它将以其火力猛烈、突袭性强、机动性好及造价较低的独特优点屹立于武库之林。

第一章 固体火箭发动机装药设计

固体火箭发动机装药设计，简称火药装药设计，是指根据对火箭弹所提出的战术技术要求，确定合理的装药形状、尺寸及相应的重量。装药设计不仅与火箭发动机设计有关，而且和全弹总体设计有关，它是总体设计的重要组成部分。

不同药型的设计方法不同。这里仅就几种比较典型的药型进行讨论。

第一节 单孔管状药的装药设计

一、单孔管状药燃烧面的变化规律

对火箭弹提出的战术技术要求中，往往包括对燃烧室压力、推力及其随时间变化的规律、燃烧时间等的要求。在实际燃烧过程中，燃烧面的变化相当复杂，在计算燃烧面时要引入以下近似假设：

- (一) 装药的全部燃烧表面是同时点燃的；
- (二) 同一种火药装药在各个方向上是均质的，各处燃速相同；
- (三) 火药装药的燃烧规律符合几何燃烧定律。

单孔管状药如图 1-1 所示，它在进行适当的包覆之后，可以沿规定的表面燃烧。这里讨论的是任何表面都不加包覆的最一般的情况，即沿药柱的内、外侧表面及前后两个端面同时燃烧。

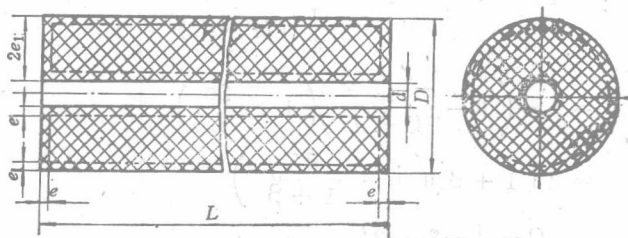


图1-1 单孔管状药燃烧面变化示意图

设未燃烧时外径为 D 、内径为 d 、长度为 L ，火药的肉厚为 $2e_1$ ，一端的起始燃烧面积为 S_{T_0} ，全部起始燃烧面积为 S_0 ，起始的药柱体积为 λ_0 ，于是，各量的计算公式为：

$$e_1 = \frac{D-d}{4} \quad (1-1)$$

$$S_{T_0} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \quad (1-2)$$

$$S_0 = \frac{\pi}{2}(D+d)[(D-d)+2L] \quad (1-3)$$

$$\lambda_0 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)L \quad (1-4)$$

当火药燃烧到某一瞬间，已经烧去的药厚为 e ，药柱一端的面积为 S_r ，全部燃烧

面积为 S ，药柱的体积为 λ ，于是：

$$S_T = \frac{\pi}{4} [(D-2e)^2 - (d+2e)^2] \quad (1-5)$$

$$\begin{aligned} S &= 2S_T + \pi [(D-2e) + (d+2e)](L-2e) \\ &= \frac{\pi}{2} (D+d)(D-d-8e+2L) \end{aligned} \quad (1-6)$$

$$\lambda = S_T(L-2e) = \frac{\pi L}{4} [D^2 - d^2 - 4e(D+d)] \left(1 - \frac{2e}{L}\right) \quad (1-7)$$

为了缩小上述各量的数值变化范围以及便于同它们的起始值比较，通常引入以下相对值：

令 相对燃烧厚度

$$Z = \frac{e}{e_1}$$

火药相对肉厚

$$\beta = \frac{2e_1}{L} = \frac{D-d}{2L}$$

相对燃烧端面积

$$\sigma_T = \frac{S_T}{S_{T_0}}$$

相对燃烧总面积

$$\sigma = \frac{S}{S_0}$$

烧去的火药相对体积

$$\psi = 1 - \frac{\lambda}{\lambda_0}$$

将前面的有关公式代入，可求出 σ 、 σ_T 相对于 ψ 的变化规律：

$$\begin{aligned} \psi &= 1 - \frac{\frac{\pi L}{4} [(D^2 - d^2) - 4e(D+d)] \left(1 - \frac{2e}{L}\right)}{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)} \\ &= 1 - \left(1 - \frac{4e}{D-d}\right) \left(1 - \frac{2e}{L}\right) \\ &= Z(1+\beta) \left(1 - \frac{\beta Z}{1+\beta}\right) \end{aligned} \quad (1-8)$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{D-d-8e+2L}{D-d+2L} \\ &= 1 - \frac{2 \frac{2e_1}{L} - \frac{e}{e_1}}{1 + \frac{D-d}{2L}} = 1 - \frac{2\beta}{1+\beta} Z \end{aligned} \quad (1-9)$$

由式(1-8)和式(1-9)消去 Z 便得

$$\sigma = \sqrt{1 - \frac{4\beta}{(1+\beta)^2} \psi} \quad (1-10)$$

当火药由开始燃烧到结束， ψ 值则由零变到 1， σ 值也发生相应的变化。 σ 的变化数值与装药尺寸有关。现将不同的 $\sigma(\psi)$ 值的计算结果列于表 1-1。

从表 1-1 可以看出，端面未加包覆的单孔管状药，在燃烧过程中燃烧面略带减面性。在内、外径相同的情况下，药柱越长，燃烧面变化越小，即越接近等面燃烧。一般

表1-1 单孔管状火药装药的 $\sigma(\psi)$ 值

装药尺寸(毫米)	ψ	0.25	0.50	0.75	1.00
$\frac{24}{6} - 230$		0.982	0.963	0.944	0.925
$\frac{26.3}{6} - 290$		0.983	0.966	0.949	0.932
$\frac{40}{8} - 550$		0.986	0.972	0.958	0.943
$\frac{40}{8} - 900$		0.991	0.983	0.974	0.965

野战火箭弹中常用的单孔管状药,其相对肉厚 β 约为0.02~0.04。为便于计算,可将式(1-10)进一步简化,如取 $\beta = 0.04$ 。

$$\frac{4\beta}{(1+\beta)^2} = 0.1479 < 1$$

可将式(1-10)按二项式级数展开,

$$\text{令 } \varepsilon = \frac{4\beta}{(1+\beta)^2}$$

$$\text{得到 } \sigma = (1 - \varepsilon\psi)^{1/2} = 1 - \frac{1}{2}\varepsilon\psi - \frac{1}{8}\varepsilon^2\psi^2 \dots$$

因为 ψ 的最大值为1,当 $\psi = 1$ 时

$$\sigma_{\psi=1} = 1 - 0.07396 - 0.002735 = 0.9233$$

可以看出, $\sigma(\psi)$ 的展开式中第三项只占全值的千分之三,同时考虑到第二项的分母是大于1的数,且 β 值与1相比是很小的,这样可只取前两项而得:

$$\sigma = 1 - 2\beta\psi \quad (1-11)$$

取式(1-11)的计算结果,同取三项的计算结果相比,误差不超过0.3%。

用同样的方法可找出 σ_r 与 ψ 的关系:

$$\sigma_r = \frac{\frac{\pi}{4}(D+d)(D-d-4e)}{\frac{\pi}{4}(D+d)(D-d)} = 1 - Z$$

以式(1-9)代入上式,消去 Z 得到

$$\sigma_r = 1 - (1 - \sigma) \frac{1 + \beta}{2\beta} \quad (1-12)$$

用式(1-12)计算几种装药尺寸的 σ_r 值,列于表1-2。

由表1-2可以看出, $\sigma_r(\psi)$ 值与 $(1 - \psi)$ 值很接近,可以利用 $\sigma(\psi)$ 的计算式来求 $\sigma_r(\psi)$ 的表达式,取式(1-10)展开式的前三项,并改写为

$$1 - \sigma = \frac{1}{2} \frac{4\beta}{(1+\beta)^2} \psi + \frac{1}{8} \frac{16\beta^2}{(1+\beta)^4} \psi^2 + \dots$$

代入式(1-12),得: