

# 弹道式导弹的设计

上 册

国防工业出版社

# 弹道式导弹的设计

(上 册)

〔苏〕 A. M. 谢尼可夫 等著  
H. H. 莫洛佐夫

黄祖蔚 译

国防工业出版社

1974

## 内 容 简 介

本书讨论了装有液体或固体火箭发动机的弹道式导弹的总体设计问题,各种现代火箭及其基本系统的布局和工作原理,对于在各种条件下影响火箭的静动力载荷也进行了探讨。本书还阐明了在各种外界因素对火箭产生影响时,火箭元件的气动加热和温度场变化的计算方法。在研究火箭各舱段设计的时候,还提供了各种元件的强度计算方法和若干系统的近似计算方法。

本书可供在火箭技术领域从事工作的工程技术人员及有关方面的人员参考,也可作为高等院校的讲义使用。

上册内容为火箭概论、火箭结构的载荷和加热。

下册内容为火箭弹体的设计和强度、火箭的各系统及其计算。

DESIGN OF GUIDED BALLISTIC MISSILES  
[苏] A. M. SINYUKOV N. I. NOROZOV  
MOSCOW, IZD-VO MINISTERSTVA OBOROY  
SSSR, 1969.

\*

### 弹道式导弹的设计

(上 册)

黄祖爵 译

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业所登记证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 83/16 172 千字

1974年1月第一版 1974年1月第一次印刷 印数: 0,001—3,300册

统一书号: 15034·1342 定价: 0.85元

## 译者的话

《弹道式导弹的设计》一书原版系俄文本，本书根据该书之英译本译出。由于经过转译，加上英译本有些字句含糊不清，因此可能与原书有所出入，请读者谅解。

本书内容与其书名不完全相符，偏重于弹道式导弹的弹体各部件及系统的初步设计，它在导弹设计中只占一个环节。要想通过本书了解导弹设计之全貌是不够的。但本书有其本身的特点：它综合了近年来在弹体设计中如结构动力学，气动加热计算等方面的一些发展，在某些地方介绍了苏联火箭设计的一些特点，就弹体设计来讲内容比较全面等等。因此有一定参考价值。

本书第七、八章系原书第十三、十四章。

我们谨向在翻译本书过程中给予热心帮助的同志及参加描图的同志们致以深切的谢意。

限于译者水平，译文中定有许多不妥之处，欢迎指正。



# 目 录

## 第一部分 火箭概论

|       |                         |    |
|-------|-------------------------|----|
| 第一章   | 导弹分类及战术技术要求 .....       | 7  |
| § 1.1 | 导弹分类 .....              | 7  |
| § 1.2 | 导弹的战术技术要求 .....         | 10 |
| § 1.3 | 火箭的组成及其飞行概述 .....       | 16 |
| § 1.4 | 影响火箭飞行速度及射程的因素 .....    | 22 |
|       | 第一章参考文献 .....           | 26 |
| 第二章   | 液体推进剂火箭 .....           | 28 |
| § 2.1 | 单级和多级火箭的设计和基本参数 .....   | 28 |
| § 2.2 | 液体推进剂火箭发动机可能的设计方案 ..... | 33 |
| § 2.3 | 液体推进剂概述 .....           | 39 |
| § 2.4 | 火箭上使用的材料 .....          | 43 |
|       | 第二章参考文献 .....           | 46 |
| 第三章   | 固体推进剂火箭 .....           | 48 |
| § 3.1 | 固体火箭概述 .....            | 48 |
| § 3.2 | 固体推进剂概述 .....           | 49 |
| § 3.3 | 固体火箭的结构安排 .....         | 52 |
| § 3.4 | 用于固体火箭的材料 .....         | 60 |
|       | 第三章参考文献 .....           | 61 |

## 第二部分 火箭结构的载荷和加热

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 第四章   | 飞行和地面操作期间作用在<br>火箭上的静载荷 ..... | 63 |
| § 4.1 | 飞行中作用在火箭上的载荷的分类 .....         | 63 |
| § 4.2 | 在飞行中作用在火箭上的主要载荷的计算 .....      | 65 |
| § 4.3 | 过载系数的概念 .....                 | 70 |
| § 4.4 | 飞行中的轴向载荷的计算 .....             | 76 |
| § 4.5 | 飞行中的横向载荷的计算 .....             | 79 |

|       |                                     |     |
|-------|-------------------------------------|-----|
| § 4.6 | 地面操作期间的载荷 .....                     | 82  |
|       | 第四章参考文献 .....                       | 87  |
| 第五章   | 在各种操作条件下作用在火箭上的动载荷 .....            | 88  |
| § 5.1 | 振动理论的基本概念。动力学设计计算问题 .....           | 88  |
| § 5.2 | 火箭弹体的纵向自由振动 .....                   | 94  |
| § 5.3 | 火箭弹体的纵向强迫振动 .....                   | 103 |
| § 5.4 | 火箭弹体侧向振动的自然振型和频率 .....              | 122 |
| § 5.5 | 扰动运动下火箭的横向载荷 .....                  | 136 |
|       | 第五章参考文献 .....                       | 144 |
| 第六章   | 气动加热 在各种操作条件下火箭结构<br>元件温度场的计算 ..... | 145 |
| § 6.1 | 基本概念和基本公式 .....                     | 145 |
| § 6.2 | 沿飞行弹道气动加热的变化 .....                  | 151 |
| § 6.3 | 弹体外形对壳体气动加热的影响 .....                | 152 |
| § 6.4 | 弹头和飞船的结构防热方法 .....                  | 155 |
| § 6.5 | 对流热流的计算 .....                       | 158 |
| § 6.6 | 沿流线体表面对流热流的计算 .....                 | 163 |
| § 6.7 | 辐射热流的计算 .....                       | 165 |
| § 6.8 | 火箭体的温度的计算 .....                     | 168 |
| § 6.9 | 防热覆盖层必要厚度的确定 .....                  | 178 |
|       | 第六章参考文献 .....                       | 188 |
| 第七章   | 操纵元件的设计和计算 .....                    | 192 |
| § 7.1 | 扰动力和扰动力矩的概念 .....                   | 192 |
| § 7.2 | 火箭的气动外形与部位安排 .....                  | 200 |
| § 7.3 | 操纵元件的结构 .....                       | 209 |
| § 7.4 | 操纵元件特性的计算 .....                     | 218 |
|       | 第七章参考文献 .....                       | 229 |
| 第八章   | 分离系统的设计与计算 .....                    | 231 |
| § 8.1 | 弹头分离系统的要求及其基本构造方案 .....             | 231 |
| § 8.2 | 弹头分离系统的计算 .....                     | 237 |
| § 8.3 | 级间分离系统的可能方案 .....                   | 252 |
| § 8.4 | 级间分离系统的初步计算 .....                   | 256 |
|       | 第八章参考文献 .....                       | 261 |

# 第一部分 火箭概论

---

## 第一章 导弹分类及战术技术要求

### § 1.1 导 弹 分 类

弹道式导弹是一种无人驾驶的飞行器，它装有火箭发动机和控制系统，它的目的是为了把弹头沿一定的弹道送到目标区，它的弹道除了很小一段是可控制的有动力飞行段之外，是一条弹道式物体的飞行轨迹。

火箭兵器的发展，使现代出现了大量的各种各样的弹道式导弹。为了便于从事火箭的生产、试验和战斗操作的人员称呼起见，我们把各种火箭按若干规则进行分类，规定了专有的名词（见图 1.1）。

弹道式导弹的发射通常是从地面或在舰艇上进行的，也有的是在井下发射设备或潜艇中，即在地下或水下发射的。弹道式导弹的目标位于地面或水面，因此弹道式导弹可分为“地对地”、“地对舰”和“舰对舰”导弹。

弹道式导弹又有战术的、战役的和战略的导弹之分。

战术导弹是射程在几十公里范围的导弹。供诸军种及主力部队在野战中使用。

战役火箭具有几百公里的射程。这种火箭由大军团掌握。

战略导弹按其射程不同又可分为中程战略导弹和洲际导弹。

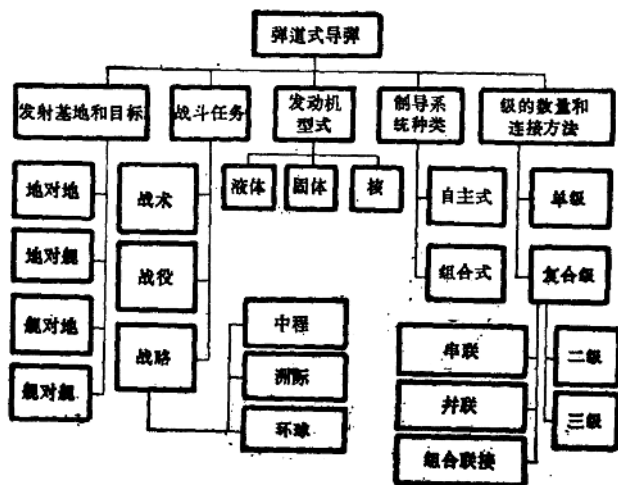


图1.1 导弹的分类

战略导弹在最高统帅部直接控制之下。战略导弹的基本任务是摧毁位于一个国家纵深的有严密防御的目标。

弹道式导弹还能按照其他一些规则进行分类。

根据导弹所用发动机的种类可以分为：使用液体燃料的液体推进剂火箭发动机的导弹；使用固体推进剂发动机的导弹；使用组合火箭发动机，也就是既有固体又有液体推进剂的导弹，以及使用核火箭发动机的导弹。

现在最广泛使用的是液体推进剂导弹和固体推进剂导弹。

根据制导系统的型式可分成用自主制导系统的导弹和用组合制导系统的导弹。

自主系统主要是用惯性制导系统，这种系统完全是自主的，由一些装在导弹上的设备所组成。

组合制导系统是在自主系统之外加了无线电制导。无线电制导系统是通过由地面无线电导引站向弹上仪器发送无线电指令的办法控制导弹的飞行。无线电制导系统只在发动机关机前很短的一段时间起作用，但可以明显的提高导弹的命中精度。在无线电制导系统发生故障的情况下，导弹的飞行仍由自主系统控制，但命中精度稍差一点。

根据级数的多少又有单级和多级导弹之分。

每级火箭由以下部分组成：发动机、推进剂箱、推进剂（这一级发动机工作期间所要消耗的），接头和控制仪器（属于被分离的那一级），还有壳段和承载结构。在飞行中各级火箭按一定的顺序抛掉。在最后一级的组成中并不包括弹头。多级火箭可以分为二级、三级等等。

根据级的连接方法可以分为串联式的、并联式的或组合式联接的多级火箭。

现在我们解释一下组合级或多

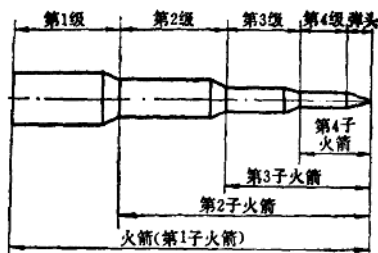


图1.2 串联式多级火箭图

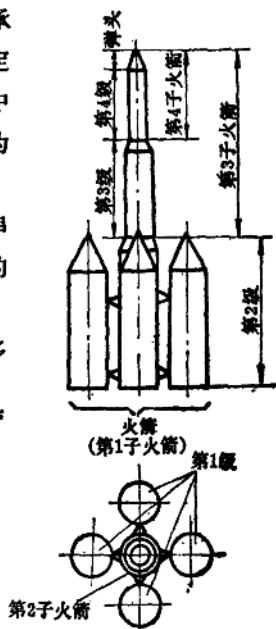


图1.3 组合式多级火箭图

级火箭可分为几级火箭及子火箭的问题（图 1.2 及图 1.3）。子火箭是弹头及多级火箭中若干级的组合，在其中总是有一级或几级火箭在工作着，而其余各级和弹头一起成为这个子火箭的“有效载荷”，将继续飞行。换句话说，级是子火箭的可分离的一部分。

在工作中我们经常要谈到各级火箭和各子火箭，整个多级火箭又可称为第一子火箭。

弹头并不包括在最后一级中，但它包括在最后一级子火箭中。

## § 1.2 导弹的战术技术要求

对弹道式导弹的要求不能孤立起来看，而要和整个导弹系统联系起来。因此有必要讲一下什么是导弹系统。

导弹系统是火箭、发射台、地面制导设备，以及试验、维护、起竖和运输设备之总和。

一种弹道式导弹的产生过程是十分繁琐和复杂的。

一开始先要拟定导弹及整个导弹系统的作战要求。作战要求是以对所要设计的火箭的战斗作用的分析为基础的，还必须考虑到研制类似的导弹所积累的经验及技术可能性。研制一种导弹的最高目的是既要取得最大的作战效果，又要操作方便，生产工艺效率高。进一步讲，所有对导弹的要求都应确保导弹在指定的时间可靠地完成发射以及导弹能按预定飞行程序进行飞行。

对导弹的战术技术要求可以分为一般要求，使用要求及生产-经济要求。下面我们详细的讲一下这些要求。

## 一 般 要 求

对导弹的一般要求决定了导弹的基本特性：射程、对目标的作战威力及可靠性。

**射程** 在着手工作的时候就应看到，像战略导弹这样的武器，它的射程可从几百公里一直到几万公里。用一种导弹来打几个不同的射程是不经济的，因为这样会使导弹使用复杂，效率和机动性降低。因此导弹必须区分不同的射程。

对于每一种型号导弹都有一个最大射程和一个最小射程。一种型号的导弹最小射程不能大于和它衔接的前一种型号的最大射程。这样来选最小射程就有可能在必要时用两种型号的导弹打同一个目标。还要记住，同一个火箭如果配上重量不同的弹头，就能打不同的射程，因此相当于不同型号的导弹。

**作战威力** 导弹的任务是把装有不同军用载荷的各种弹头送到目标区。这些弹头的破坏方式有冲击波、热辐射、爆炸产物的放射性辐照和射透辐射等。每种破坏方式的破坏力大小是随着装药的 TNT 当量的变化而变化的。

各种火箭的弹头的最佳装药量取决于最有效的完成各类战斗任务这个条件。导弹打击敌人所产生的破坏是导弹有效性的最重要的度量。在估计几发火箭同时打击目标所产生的总破坏力的时候，有必要要求一下“破坏概率”，即用一发导弹打击时使目标有效破坏的概率。

目标的破坏概率与命中精度关系很大。因此在研究对目标的破坏力的时候，有必要集中最大的注意力去分析落点偏差的特性。而偏差与火箭在飞行中的导引方法的完善程度及

制导系统设备的工作精度有很大关系。使用组合制导系统，有可能减小落点偏差。

火箭的落点偏差是以在最大射程时的纵向公称偏差和横向公称偏差两个量来表示的。例如，美国宇宙神导弹的偏差是射程的 0.04%，因此在射程 8000 公里时其偏差就等于 3.2 公里〔5〕。

十分明显，在没有偏差和误差的情况下，对于任何小目标只要用一发导弹，用极少的核装药就可以摧毁了。但是，只要导弹稍有一点偏差，为了确保可靠地破坏目标，就必须提高核装药的破坏能力。要是命中精度提高了，我们就可以降低弹头的威力。

因此，在研究导弹对目标的作战效果时，必须对弹头威力、偏差特性以及摧毁预定目标所需的导弹发数进行综合考虑。进一步讲，在决定导弹对目标的破坏力的时候，还要密切联系摧毁预定目标所需的威力值。显然，总是可以找到一个最大的 TNT 当量值，使得摧毁目标所消耗的导弹最少。

**火箭及火箭系统的可靠性** 火箭系统的作战效果是由完成战斗任务的可靠性来决定的。如果能够生产出保持高度准确的各种部件和系统，又能保证合适的操作条件，并能长期维持各部件的可靠性，就可以得到火箭系统有较高的可靠性。

可靠性是通过火箭及火箭系统的技术设备的运用显示出来的。火箭及其设备的运用是指它的各使用阶段的总体而言的，即贮存、运输、测试，在部队准备使用，维护和返修。可靠性可以理解为在一定使用条件下不断保持有效工作的能力。

自然，火箭系统能否得到很高的可靠性，在很大程度上还与操作火箭系统的人员的熟练程度有关。

导弹系统的可靠性可由以下办法来保证，部件和分系统在工厂生产时进行仔细的检验，部件和分系统以及整个火箭在总装厂进行各种试验，还要在火箭发射前完成各项试验。为了减少火箭的发射准备时间，最好去掉发射前的各项测试，但这样对于在工厂中进行的试验就要提出更高的要求。

弹头的正常飞行以及引爆器的可靠工作可以确保弹头对目标的可靠作用。为此弹头外面装了抗气动加热的保护层，还装了保证弹头有效爆炸所必须的其它装置。

在火箭制造业相当发达的现代，对火箭的可靠性提出了更高的指标。但据国外报导，实际的可靠性没有超过80~90%〔5〕。

## 使用要求

使用要求可以理解为确保火箭在运输和贮存期间的安全，并使火箭可能在预定的时间完成可靠发射的那些条件。

发射准备时间 对最小发射准备时间提出过高的要求是有困难的。因为满足这种要求必须使火箭一直处于战备状态。

火箭的发射方式 在设计火箭的时候总是希望它能在任何一种装置上进行发射。但是在若干情况下这个条件是难以满足的。例如，要使大型火箭在铁路车上进行发射是很复杂的。在使用液体推进剂的情况下，允许外界温度的变化范围很小，因此要在任何季节从地面发射架上发射火箭就几乎是不可能的。在这种情况下仅有的一种发射方式是从有温调系

统的固定的井下发射设备进行发射。

**运输条件** 火箭的运输性能应是良好的。它与以下因素有关：火箭的尺寸、重量及强度特性，火箭的元件对在运输和转运中产生的振动的敏感性，还有火箭的运输状态（如装配好的，分级的，带燃料或不带燃料的等等）。

火箭的运输工具包括专用的轮式车或履带车及地面车辆。火箭还可以用铁路运输、空运或水运。最好能把一枚火箭装进一辆列车或一架飞机中运输。

**战略导弹的运输性能**不是很好的，因为它的尺寸和重量都很大，而结构强度和刚度又比较小。火箭的抗拉性能基本上是按照火箭在发射和飞行中的安全强度选择的。如果要为了运输的目的去增加强度是不合算的，因为这样会增加火箭的结构重量，从而减少射程。因此火箭在运输期间的强度要用选择合适的运输和起吊转运设备来保证（如增加支点数目等等），还要限制在运输期间的行车速度。

**贮存期的稳定性** 这项要求是重要的经济指标，因为它决定了必要的火箭返修周期。提高贮存期的稳定性是在火箭设计阶段就必须全面考虑的问题，如选用合适的金属和非金属材料，使用防腐涂料，使用火箭的密封等等。此外，火箭的稳定性还与贮存条件有关。

**良好的维护性及便于实施技术保障** 维护性是指通过预防、检查及排除缺陷和故障，恢复良好的工作秩序和保持技术保障寿命的能力。维护性是以在操作中耗费的劳动力，工时及其他资材为标志的。

火箭设计应该考虑到便于在贮存、运输和检验期间实行技术保障和各类操作。部件和火箭总体的设计都应尽可能使

操作和辅助工作机械化和自动化。

火箭适用的气象条件 火箭系统应能在任何气象条件下正常工作。

### 生产经济要求

生产经济要求包括有：设计的简化和工艺性好，火箭各组件和部件的标准化，尽量使用国内材料，使用标准规格和牌号的材料。

设计的简化和工艺性好 这可降低火箭制造的成本。工艺设计必须完全满足全部的战术技术和使用要求，尽可能的降低制造成本，提高加工和装配效率。

我们用一些指标来表示工艺效率，主要有：材料利用系数  $K_M$ ，即成品的重量与投入加工时中间产品的材料重量之比；精度系数  $K_T$ ，即各部件制造的平均精度等级；操作次数系数  $K_P$ ，即制造过程中的平均操作次数；机械化系数  $K_{Mex}$ ，即机加工时间与全工时的比，它表示了工人操作的机械化程度。

从以上指标可以看出，要改进火箭的工艺效率，就必须提高系数  $K_M$  和  $K_{Mex}$  及降低系数  $K_T$  和  $K_P$ 。

标准化 组件和部件的标准化可以减少火箭的制造时间和经费，降低成本和简化供应。火箭制造业的标准化具有很大的工作量，因为各种发动机部件及其自动器、引爆装置、制导系统、弹头和许多其他元件可以用在各种不同射程、威力和任务的火箭上。火箭的标准化使其可能从不同的发射装置上发射（如地面，井下等等）。各种用途的标准化弹头已在各类火箭上广泛使用。

国内材料的使用 在火箭制造中所用的材料，应该是既便宜而产量又丰富的。应该尽量地采用标准品种和牌号的材料。当然在火箭制造中也要求生产一些特种材料。还必须看到火箭技术的迅速发展，必须广泛采用其他工业部门和国民经济中出现的新材料。

### § 1.3 火箭的组成及其飞行概述

不管弹道式导弹的品种多么繁多，它们在组成上大体是相同的。

火箭的总体结构是指部件、系统、舱段和各级的总和，它取决于火箭的作战性能，工作条件和制造技术。在每一种实际情况下，各部分（部件、舱段、系统）的设计外形受到火箭的任务、推进剂的种类、发动机的型式和其他因素的影响，它们的部位安排各有自己的特点，这是完全可以理解的。

装有液体发动机和固体发动机的火箭的总体结构将在第二章和第三章详细讨论，因此这里只讲一下火箭安排的特点。

液体单级火箭的主要部分有弹头、弹体、发动机、弹上制导系统设备和控制仪器（见图 1.4）。

弹头是装载一定能量的战斗部并在目标附近使之引爆的装置。在飞行中弹头将与弹体分离。

火箭的弹体由燃料舱、仪器舱和尾



图1.4 单级火箭部位安排简图

1—弹头；2—氧化剂舱；  
3—仪器舱；4—燃料舱；  
5—尾段；6—发动机。