



〔苏〕В. И. 瓦弗洛缅也夫

М. И. 科普托夫 著

弹道式导弹设计和试验

国防工业出版社

弹道式导弹设计和试验

В.И.瓦弗洛缅也夫
〔苏〕 著
М.И.科普托夫

邸晓华 詹世斌 陈诗兴 译

黄祖蔚 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书比较系统地并通过具体实例说明了液体推进剂和固体推进剂弹道式导弹的初步设计方法。同时阐述了处理导弹试验结果的方法和导弹系统主要性能(如威力、射程、命中精度、可靠性、发射方式及制导系统、导弹系统的战斗准备等)的最佳化方法。

另外,书中还提供了美国和苏联近年来导弹设计中某些常用的统计数据、设计公式和列线图。

本书可供火箭技术方面的设计和试验人员、高等院校师生及有关的管理人员参考。

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАКЕТ

В. И. Варфоломеев и М. И. Канитоз

Военное издательство Министерства Обороны СССР

1970

*

弹道式导弹设计和试验

〔苏〕В. И. 瓦弗洛緬也夫 М. И. 科普托夫 著

邱晓华 詹世斌 陈诗兴 译

黄祖蔚 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第 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

*

850×1168 $1/32$ 印张 12 $1/16$ 406 千字

1977年9月第一版 1977年9月第一次印刷 印数: 0,001—2,700册

统一书号: 15034·1555 定价: 1.50元

译 者 的 话

《弹道式导弹设计和试验》一书原版系俄文本，本书根据它的英译本译出。书中第一部分叙述了液体推进剂和固体推进剂远程弹道导弹的初步设计，主要是导弹的弹道设计、重量分析及参数选择。这部分可供从事导弹总体设计及有关专业人员参考。第二、三部分介绍了在导弹研制过程中关于军事运用研究、成本核算、试验结果评定的一些数学方法，从中可以对国外导弹研制的计划管理及运用问题有一个粗略的了解。

对书中宣扬唯武器论及资本主义管理方式的一些内容虽作了删节，但仍请读者批判地阅读有关部分。

原书经过转译，文中前后许多提法及符号不够统一，并有错误之处，我们在译校过程中作了相应更正。由于我们水平有限，难免有错误和遗漏之处，恳请读者批评指正。

目 录

绪论	7
----	---

第一部分 弹道式导弹的设计

第一章 导弹设计的有关问题	11
§ 1.1 导弹系统的军事技术规划问题	11
§ 1.2 导弹系统的效能及评定指标	15
§ 1.3 弹道式导弹设计的有关问题	21
§ 1.4 弹道式导弹设计中推进剂的选择及其性能的确定	26
§ 1.5 导弹结构方案的选择	35
第二章 导弹的弹道计算	50
§ 2.1 导弹在弹道主动段上的运动方程	50
§ 2.2 变分法简介	55
§ 2.3 弹道主动段上导弹飞行程序的选择	63
§ 2.4 弹道被动段的计算公式	71
§ 2.5 设计弹道和试验弹道的计算	81
§ 2.6 保证射程和推进剂的安全贮量	93
第三章 导弹的重量分析	103
§ 3.1 液体推进剂导弹的重量方程	103
§ 3.2 固体推进剂导弹的重量方程	110
§ 3.3 重量方程的精度要求	119
第四章 导弹设计参数的选择	126
§ 4.1 液体推进剂导弹和固体推进剂导弹的设计参数	126
§ 4.2 导弹级数的确定 有效载荷质量对导弹起飞质量的影响	129
§ 4.3 导弹各子火箭的质量分配和 各子火箭起飞重量-推力比的选择	135
§ 4.4 各子火箭的质量分配和各子火箭重量-推力比的最佳化	144

§ 4.5	液体推进剂发动机燃烧室压力和喷管出口压力的选择	151
§ 4.6	固体推进剂发动机燃烧室压力和喷管出口压力的选择	163
§ 4.7	液体推进剂导弹弹体相对尺寸的选择	167
§ 4.8	固体推进剂导弹相对装药长度及其燃烧速度的选择	169
第五章 弹道式导弹的设计		174
§ 5.1	液体推进剂导弹的初步设计	174
§ 5.2	固体推进剂导弹的初步设计	184
§ 5.3	液体推进剂运载火箭的设计特点	193
§ 5.4	固体推进剂运载火箭的设计特点	206
§ 5.5	用列线图确定导弹参数的方法	209
§ 5.6	借助计算机进行弹道式导弹设计的概念	218
第二部分 导弹系统的最佳化问题		
第六章 导弹系统军事技术规划的最佳化数学方法		223
§ 6.1	方法的一般特点	223
§ 6.2	网络法	227
§ 6.3	对策论(博弈论)法	234
第七章 导弹系统的成本和可靠性		242
§ 7.1	经济核算的一般原理	242
§ 7.2	导弹和导弹系统成本的计算方法	245
§ 7.3	导弹最佳可靠性的确定	253
第八章 导弹系统主要性能的最佳化问题		261
§ 8.1	导弹系统战斗射程的最佳化	261
§ 8.2	导弹威力和命中精度的最佳化	264
§ 8.3	固定发射系统参数的最佳化	271
§ 8.4	机动发射系统参数的最佳化	276
§ 8.5	战斗准备、指挥系统和通讯系统的最佳化	279
第九章 研制计划的最佳化和		
在对抗情况下导弹系统的效能评定		284
§ 9.1	研制计划的最佳化	284
§ 9.2	在对抗情况下导弹系统的效能评定	289

第三部分 导弹的试验研制和试验

第十章 导弹的可靠性及效能评定	297
§ 10.1 导弹试验研制的有关问题	297
§ 10.2 分布参数的统计估计	298
§ 10.3 分布参数统计估计的准确度	300
§ 10.4 导弹试验研制中的统计问题	303
§ 10.5 导弹系统效能指标估计值的分布规律	304
§ 10.6 导弹基本参数估计值的确定	311
第十一章 导弹和导弹各系统的试验	319
§ 11.1 导弹保证射程和散布特性的评定方法	319
§ 11.2 导弹可靠性指标的评定方法	326
§ 11.3 试验研制期间导弹可靠性的变化	332
§ 11.4 导弹各系统的试验研制	337
§ 11.5 弹头分离系统试验研制计划的举例	339
第十二章 导弹结构的试验研制和可靠性评定	344
§ 12.1 导弹结构的可靠性评定	344
§ 12.2 导弹结构的静力和动力试验	347
§ 12.3 根据试验确定动载荷和温度场	349
§ 12.4 根据试验确定静载荷	353
§ 12.5 根据飞行试验结果确定导弹的 推力、流量和空气动力特性	355
参考文献	368
附录	373

绪 论

现代武器中的导弹可分为下面四大类：

1) 从地面或海面上发射，用以摧毁地面及海面目标的弹道式导弹，亦称“面对面”导弹；

2) 从地面或海面上发射，用以摧毁各种高度上的空中目标(包括弹道式导弹弹头)的防空导弹，亦称“面对空”导弹和反弹道导弹。

3) 从飞机上发射，用以摧毁地面及海面上目标的机载导弹，亦称“空对面”导弹。

4) 从空中发射，用以摧毁空中目标的机载导弹，亦称“空对空”导弹。

弹道式导弹通常又分为战术、战役和战略导弹。

本书主要是讨论导弹的设计和试验问题，这些问题对上述战略、战役和战术导弹都是适用的。

弹道式导弹是导弹系统[●]的一个组成部分，而导弹系统则包括导弹、地面设备、发射装置、发射设施、通讯线路和控制系统等。同一类型的各导弹系统合在一起构成一个导弹武器系统。

一种新导弹系统的研制和生产过程通常由几个阶段所组成。例如，美国的弹道式战略导弹研制计划^[2]包括以下几个阶段(图1)：

1) 论证新导弹武器系统的必要性，并制定战术技术要求(初步设计)；

2) 进行导弹系统各主要组成部分的技术设计；

● “导弹系统”这一术语在〔29〕中是用于“地对空”导弹武器系统的。本书所论弹道式导弹仍采用此术语。

- 3) 试制导弹及发射设备的样机,
- 4) 样机试验;
- 5) 根据样机的试验资料更改设计;
- 6) 对导弹及发射设备样机进行必要的改进;
- 7) 进行第二次试验并为批生产作准备;
- 8) 批生产首批导弹及发射设备;
- 9) 向部队交付批生产的导弹系统;
- 10) 新导弹武器系统装备使用。

为了不影响所研制的导弹武器系统的装备期限,一般可以限制样机试验后的更改量,而将某些更改工作留待导弹及发射设备改型时进行。

图 1 中的虚线表示研制阶段的附加周期,包括:

- 1) 进行原先未预计到的设计更改;
- 2) 对导弹和发射设备进行具体改进;
- 3) 试验改进后的导弹系统;
- 4) 批生产改进后的导弹系统;
- 5) 交付改进后的导弹系统。

上述各阶段都是密切相关的,只有在前面各阶段的工作圆满完成之后,才可进行下一阶段的工作。

在新导弹武器系统研制计划中,上述各个研制阶段可归纳为下面几个方面的工作:设计、试制、试验及试验研制、批生产、向武装部队交付新导弹系统的各组成部分、将导弹系统投入使用等。从图 1 可看到,在导弹武器系统的最初研制阶段中,从设计到试验有两次转折。此外,万一第二次试验结果不顺利,还需再更改设计,并做补充试验。只有当全部设计和试验阶段都圆满地完成后才能转到批生产阶段。在这段时间里,按期完成各阶段的工作极为重要。

本书讨论了对弹道式导弹及导弹系统各主要组成部分进行军事技术规划(确定总特性)的方法。这里讲的规划方法可用来拟

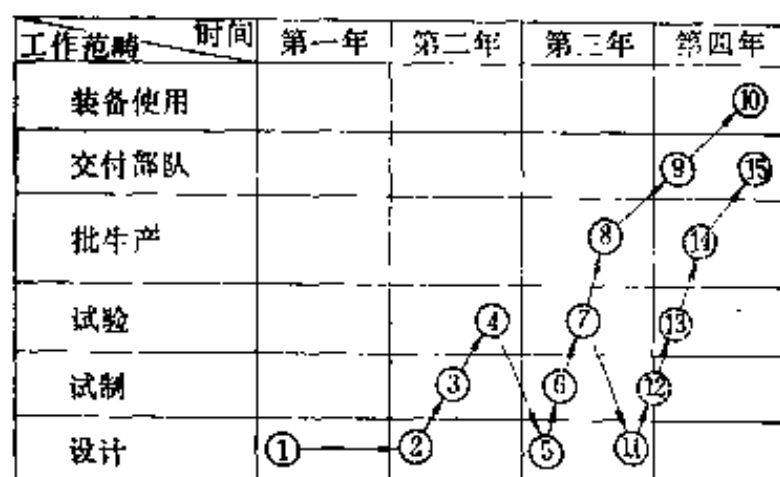


图1 弹道式导弹研制的主要阶段及工作范畴

1—论证新导弹武器系统的必要性及制定战术技术要求；2—进行导弹系统各主要组成部分的技术设计；3—试制导弹及发射设备的样机；4—样机试验；5—根据样机的试验资料更改设计；6—对样机作必要的修改；7—进行第二次试验并为批生产作准备；8—批生产首批导弹及发射设备；9—向部队交付批生产的导弹系统；10—新导弹武器系统装备使用；11—进行原先未预计到的设计更改；12—对导弹和发射设备进行具体改进；13—试验改进后的导弹系统；14—批生产改进后的导弹系统；15—交付改进后的导弹系统。

定新导弹武器系统的战术技术要求，某些部分可用于新导弹系统初步设计阶段前的方案论证和预研，也可用于导弹的试验研制阶段。

通常，新导弹预研期的耗费最大，其周期的长短基本上取决于新导弹转入研制的时间。

在导弹试验研制期间，导弹的生存能力和所要求的性能（其中最重要的是可靠性）是通过逐步改进设计的办法来保证的。

导弹做为一个武器系统，其主要性能可用一些定量指标来表示。本书还讨论了设计定型过程中，在指标经常改变的情况下，根据有限的统计数据评定这些指标的方法。

在本书所讨论的内容中，对导弹系统的效能、导弹可靠性及导弹各系统的试验等问题的统计评定方法也作了重点介绍。

全书共分三部分。第一部分是讨论弹道式导弹的近似设计方法。第二部分阐述了在战斗展开条件下确定导弹系统一般特性的原理。第三部分着重讨论试验和试验弹研制的重要性。

由于本书篇幅所限,不允许用更多的实例来说明全部的理论,特别是第二和第三部分。尽管如此,仍相信读者通过本书是能够充分理解和掌握弹道式导弹的设计和试验方法的。

本书引用的数据和资料取自各国的公开刊物。

第一部分 弹道式导弹的设计

第一章 导弹设计的有关问题

§ 1.1 导弹系统的军事技术规划问题

导弹武器的规划理论是研制导弹武器系统的科学基础，而导弹及导弹系统的军事技术规划（远期）是其中的一个组成部分。

“军事技术规划”这个术语大体上与美国文献〔24〕中的“军事规划”的概念或苏联文献〔1, 59〕上使用的所谓“远期规划”相近。

运筹学与系统工程理论（大型系统规划理论）相结合是军事技术规划的数学工具。在新导弹系统（或导弹武器系统）研制期间，运用这些理论可以解得欲求的答案。

导弹系统的军事技术规划问题同其他系统工程问题一样^(9, 14, 19)，需要确定新方案的最佳参数。本书是指导弹、导弹技术装备、工程设施、通讯、指挥系统以及导弹系统各组成部分的最佳化。

导弹系统的军事技术规划方法主要是用在研究和制定导弹系统战术技术要求阶段。在这些阶段中，要解决下列问题⁽²⁰⁾：

- 1) 确定导弹射程、弹头威力和命中精度。
- 2) 选择导弹的发动机型式、级数和制导系统。
- 3) 确定导弹的重量、尺寸和推力。
- 4) 确定发射设备及其各系统的型式、所需的技术装备和支承设备。
- 5) 确定导弹系统的可靠性、战斗准备时间和生存能力。

6) 评定导弹、导弹系统和整个导弹武器系统的经济性。

7) 评定导弹系统完成军事任务的总效能。

为求解上述每个问题，首先需要清楚地了解导弹武器系统总的组成关系。图 1.1 是“民兵”导弹武器系统的组成图。该系统是一个隶属机构，包括若干个导弹基地，每个基地包括若干个导弹系统，而导弹系统又由导弹和全部技术装备及工程设施组成。因而，同一型号的各个导弹系统合在一起就构成了一个导弹武器系统。自然应把导弹系统视为导弹武器系统中最基本的（典型）组成部分。一般说来，导弹系统的性能决定了整个导弹武器系统的性能。

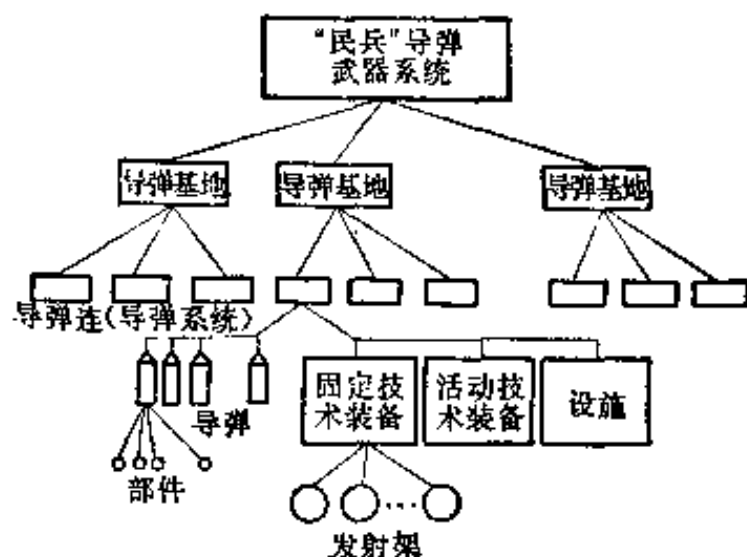


图 1.1 “民兵”导弹武器系统图

导弹系统中最基本的（典型）组成部分。一般说来，导弹系统的性能决定了整个导弹武器系统的性能。

导弹系统军事技术规划的基本问题与新导弹系统的研制经费有关。如对经费不加限制，则问题即是：在以最少的财政投资和按规定的周期装备部队的条件下，求出能保证摧毁所有既定目标的导弹系统的参数。

如果对经费有限制，则问题就变成：在现有导弹武器系统研制经费的条件下，求出给敌人以最大限度摧毁的导弹系统的参数。

在上述两个问题中，均假定新导弹武器系统的战斗展开考虑了敌人将使用其全部对抗手段和对抗能力。

现将军事技术规划的基本问题的求解步骤概述如下^[20]：

- 1) 列出主要问题，将各主要问题再细分为若干局部问题。
- 2) 画出主要问题和局部问题的分析逻辑图。
- 3) 选择主要问题和局部问题的最佳化指标。

4) 确定求解主要问题和局部问题的数学模型和计算方法。

特别要注意的是编制求解军事技术规划问题的逻辑图。

逻辑图要简单明了, 同时应充分反映出参数变化对求解基本问题、主要问题和局部问题的影响。图 1.2 示出了导弹系统军事技术规划的基本问题的一种可能的分析逻辑图。它将基本问题分为九个主要问题:

- 1) 确定导弹参数 (弹道式导弹设计);
- 2) 弹头威力及导弹命中精度的最佳化;
- 3) 导弹系统战斗展开范围的最佳化;
- 4) 导弹系统可靠性的最佳化;
- 5) 导弹系统战斗准备的最佳化;
- 6) 发射方式、发射装备组成及参数的最佳化;
- 7) 指挥、通讯和管理系统的最佳化;
- 8) 导弹系统和导弹武器系统研制程序的最佳化;
- 9) 评定在敌人对抗情况下的导弹系统的效能。

基本问题按下述步骤用迭代法求解:

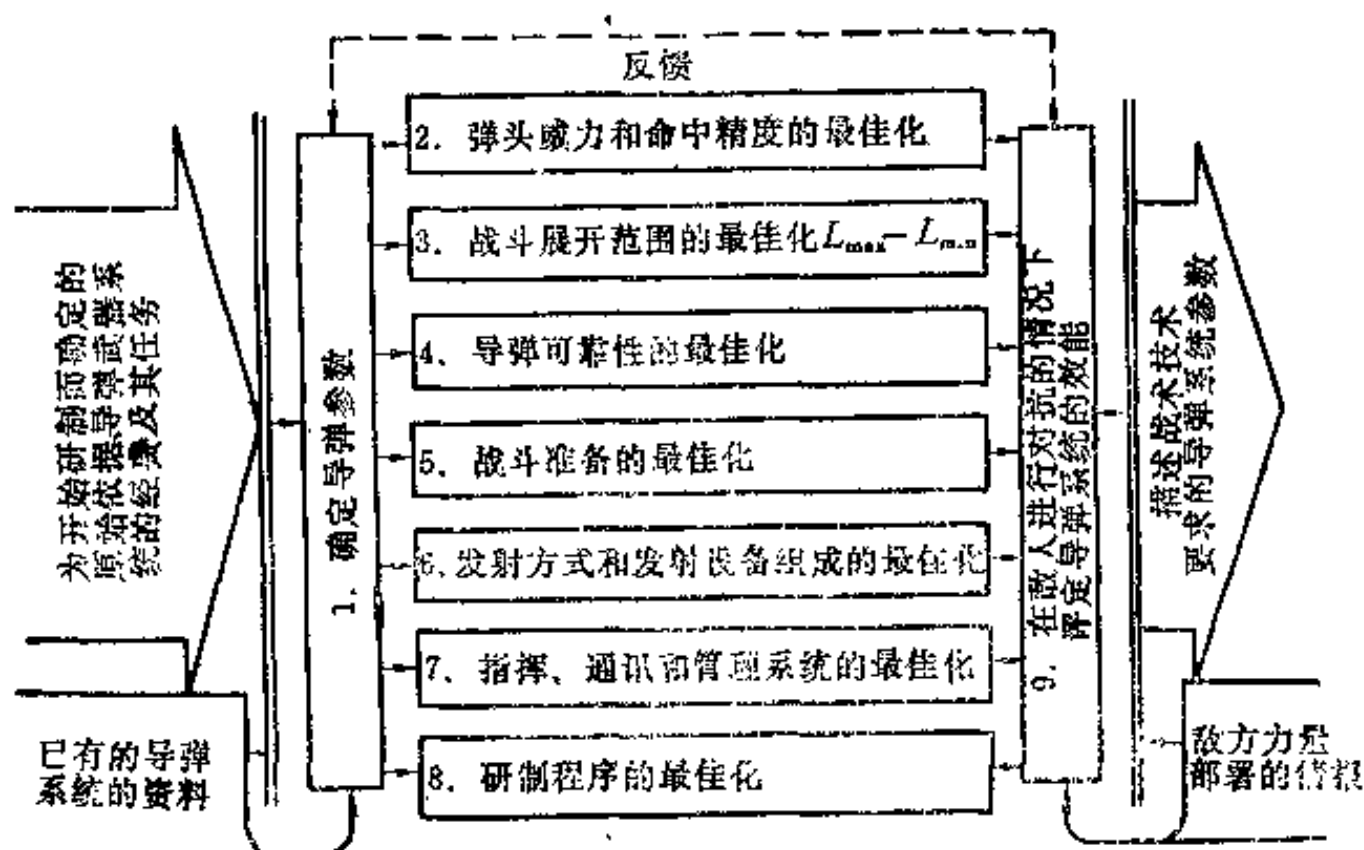


图1.2 导弹系统军事技术规划的基本问题的分析逻辑图

1) 根据已知的初始数据近似的确定导弹参数 (弹道式导弹的近似设计);

2) 依次解七个主要问题 (图 1.2 中的方框 2~8);

3) 在求解上述七个主要问题的基础上再修正导弹参数;

4) 修正导弹系统所有其他组成部分的参数;

5) 评定在敌方对抗情况下的导弹系统的效能;

6) 最后求出满意的导弹及导弹系统的最佳参数。

求解军事技术规划的基本问题的原始依据是导弹武器系统的研制经费及交付期限。此外,还要用到已有的、正在研制和设计的导弹系统方面的资料。因此,在拟定导弹和发射系统各主要组成部分的技术要求时,必须充分考虑到科学和技术的进展。

评定在敌人对抗情况下的导弹系统的效能时,需要研究有关敌方的战略进攻和防御力量部署的情报。

确定导弹参数 (导弹设计) 是军事技术规划的中心问题。此问题与基本问题一起可分两次求解:第一次是近似求解,然后 (在新规划的基本问题的分析接近完成时)再求精确解,而每个主要问题应利用各主要问题的初步综合分析结果分别地求解。

为了求解主要问题,需将它再细分为若干局部问题,并编制一个分析逻辑图,图上除了局部问题外,还包括综合近似求解各主要问题的许多方块图。

根据主要问题和局部问题的分析逻辑图,就可以建立用计算机解局部问题和主要问题的数学模型和计算方法。由于数学上难以描述各主要问题间的相互关系,故目前要寻求军事技术规划的基本问题的一般解是不可能的,而只能根据对各个主要问题的分析结果来求解。显然今后可以采用信息控制系统来解基本问题^[7]。这种系统不仅可以用来管理研制过程,而且也可管理战略导弹武器的生产和使用。

需注意,上述解导弹武器系统军事技术规划的基本问题的步骤是有普遍性的,故亦可用来分析其他工程系统。

总的来说，本书第一部分讨论的是解弹道式导弹设计中局部问题的普通方法和近似方法。解军事技术规划中其他主要问题的方法将在第二部分中讨论。

§ 1.2 导弹系统的效能及评定指标

导弹系统的效能是指它对原设计要求的适应性^[9]。

效能一方面取决于导弹系统的性能，另一方面也取决于其战斗展开的条件。这就是说，对一个给定的导弹武器系统，在不同的展开条件下其效能是不同的。

导弹系统的性能，可用下述主要参数表示（图 1.3）：射程、弹头威力、命中精度、导弹系统的可靠性和生存能力、战斗效率、发射准备（战斗准备）时间、成本及开始研制到装备部队的周期（经济性）、生产及使用难度、使用费用、寿命等等。

导弹系统的战斗展开条件主要与弹道式导弹同其他武器联合展开（按通常的军事原则）的战略战术有关。

此外也与导弹系统所要摧毁的目标的

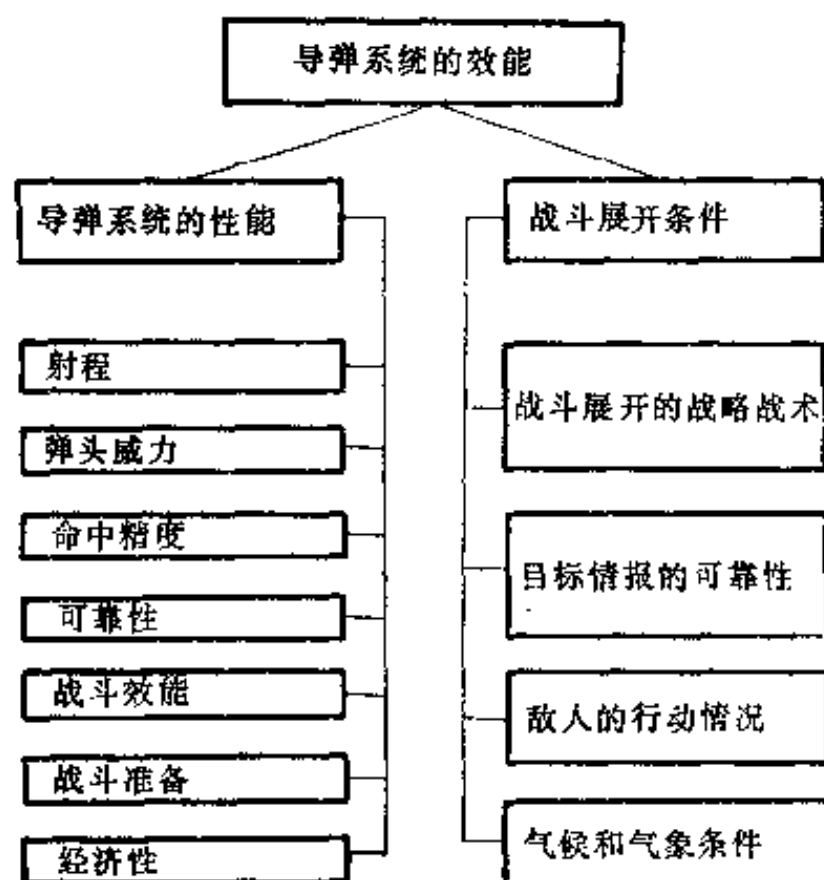


图1.3 导弹系统的效能与其性能及战斗展开条件的关系图

位置及防御方面情报的可靠性有关。如果确定的目标座标误差太大，即使有很好的性能，导弹系统的效能也会降低，甚至等于零。

战斗展开还必须考虑到敌人的行动以及作战时的气象条件。所有的战斗展开条件除与其它武器联合展开的条件外，都不同程度的受到情报不准确性的影响，特别是有关敌人的行动情况更是这样。

导弹系统的效能需在对导弹系统的性能及战斗展开条件进行分析的基础上来评定。然而，鉴于这种问题很复杂，有时把它分为两个相互独立的问题来解。即在确定导弹系统参数时，把战斗展开条件看成是固定不变的。这样就可以在计及敌人对抗手段的各种战斗展开条件下，根据对给定导弹系统的效能的估计求得导弹系统的各参数。再通过这些参数又可确定给定导弹武器系统的最佳战斗效能，同时也可暴露武器系统的缺陷，当然这些缺陷可通过改变某些参数加以消除的。

导弹系统的性能可用某些参数来表示。

射程可用导弹的最大射程 $L_{\max}$ 和最小射程 $L_{\min}$ 表示。导弹系统的威力可用弹头核装药的 TNT 当量来估算。命中精度可用弹着点的平均圆散布或均方差表示。

导弹系统的可靠性可用导弹及发射设备在各种使用条件下保持其战斗性能的概率以及导弹准确地发射和将弹头送至目标并正常引爆的概率来表示。导弹系统的生存能力可用发射设备和导弹在受到敌人的各种对抗之后保持其战斗性能的概率表示。如果目标由反弹道导弹系统保护，那么导弹系统的可靠性还必须包括弹头突防的附加概率。

导弹系统的战斗准备可用发射一发导弹所需的准备时间来计算。而战斗效率可用一定时间内从发射装置上发射出去的导弹数量来计算。

导弹系统的经济性用导弹系统各组成部分的研究、制造和维护费用来评定。

导弹系统的战斗展开条件也必须用定量的特性或参数来评定，要做到这点当然比准确地选择导弹系统的性能参数困难得多。