

成都工学院图书馆

334575

基本馆藏

弹设计原理丛书

系统工程 初步设计

[美] 约瑟J. 哲尔格尔 著

国防工业出版社

系統工程初步設計

〔美〕約瑟 J. 哲尔格尔著

丁永楨、連桂森等譯

炎 靜 校



國防工業出版社

1965

878188

SYSTEMS PRELIMINARY DESIGN

[美] Joseph J. Jerger

D. VAN NOSTRAND COMPANY, INC.

•
(导弹设计原理丛书)

系统工程初步设计

丁永濂、连桂森等译

炎 静校

•
国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可登记证出字第 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 20 $1/4$ 插页 2 521 千字

1965 年 10 月第一版 1965 年 10 月第一次印刷 印数: 0,001—2,200 册

统一书号: 15034·846 定价: (科七) 3.80 元

出版者的話

“系統工程初步設計”是美国出版的“導彈設計原理”丛书的第七卷。翻譯出版本丛书的目的是为大学毕业生、工程师及部队技术軍官提供有关的基本参考资料，从而使他們在学习導彈技术和宇宙航行时打下良好的基础。

本丛书的原文本及中譯本截至目前为止的出版情况如下：

Guidance——by Arthur S. Locke and collaborators

制 导——屈其华譯 国防工业出版社 1959年出版

Aerodynamics, propulsion, structures and design practice——by

E. A. Bonney, M. J. Zucrow, and C. W. Besserer

空气动力学、推进、結構与設計——丁珂等譯

国防工业出版社 1959年出版

Operations research, armament, launching——by G. Merrill,

H. Goldberg, and R. H. Helmholtz

运用研究、战斗部、发射——屈其华譯

国防工业出版社 1958年出版

Missile engineering handbook——by C. W. Besserer

導彈工程手册——屈其华譯

国防工业出版社 1959年出版

Dictionary of guided missiles and space flight

——edited by G. Merrill

Space flight——by K. A. Ehricke

Vol. I: Environment and celestial mechanics;

Vol. II: Dynamics; Vol. III: Operations

Systems preliminary design——by J. J. Jerger

系統工程初步設計——丁永湑、連桂森等譯

国防工业出版社 1965年出版

Airborne radar——by D. J. Povejsil, R. S. Raven, and

P. J. Waterman

空载雷达 国防工业出版社 将于1966年分册陸續出版

Inertial navigation——by Richard H. Parvin

慣性导航 国防工业出版社 将于1966年出版

Range testing——by J. J. Scavullo and Eric Burgess

Search theory——by N. S. Potter

Space vehicle electronics——by David Newman

“系統工程初步設計”是在以前几卷所述導彈系統各組成部分知識的基礎上綜合寫成的，書內層次分明且較完整。本書所述主要內容為飛航式導彈體系的初步設計，結合被控對象的各種性能，着重對導彈導引運動規律和控制方式進行了詳盡的討論。書中對導引控制系統主要參數的初步選擇作了較深入的研究，給出了可供實用的計算方法、公式、圖表和數據。

本書在分析導彈系統各組成部分間的相互關係中，着重對飛行器的初步設計計算作了較詳細的討論，推導了有關的計算公式，並以大量計算實例說明導彈設計理論的實際運用。本書之末，更以“地对空導彈”計算的實例向讀者介紹了一種導彈初步設計的具体計算步驟。

由於本書是資本主義國家出版的，書中會有許多觀點和說法是錯誤的，希望讀者在閱讀過程中予以批判接受。

參加本書翻譯和初校的同志有：丁永湑、馬淑如、范正翹（第1～6章）；連桂森（第7章）；范正翹（第8章）；曹鴻生（第9章）；馬元璣（第10章）。全書最後由炎靜同志負責全面文字加工和技術校訂。

作 者 序

導彈系統應用了幾乎所有各種工程技術的知識與技藝，它要求各工程技術部門進行空前的高度協調配合。設計一個導彈系統需要大量的高度專業化的技術人員協同地進行工作。要使這些專業人員的工作協調配合，要使他們互相透徹了解並使所得之最終導彈系統的完善程度得到証實，確實是一件異常困難的事；這種困難遠比人們所預想的要大得多。早期的導彈設計工作即已強調指出，需要有一種完全新型的專門工程師，即現在常謂之系統工程師來為這種工作服務。這種工程師應充分懂得由其他各種專業所提出的問題，才能正確地與他們進行協調配合。

“系統工程初步設計”這本書的目的就是使系統工程師懂得如何去解決他所面臨的，且必須解決的問題。本書不僅使導彈專業人員在擴充其專業方面獲得寬廣的知識，而且還將直接有助於他們的實際工作。

作者在本書內列入那些需要進行詳細數值計算的例題時曾感到很傷腦筋。越來越廣泛地使用快速電子計算機，這是現實的情況，但根據作者的經驗，解數值例題時採用手算的方法往往能使我們對問題了解得更透徹。解決一個問題時在確定要考慮那些因素之前，重要的是確定這些因素的真實數值。換句話說，即為了在保證得出基本正確結果的條件下限制數學上的繁雜程度，重要的是提出一些正確的簡化假設。

最後應指出，制成一個導彈系統是一項龐大的工程，需要耗費大量的資材、時間和人力，而人力則是主要的一項消耗。我們應當以尽可能高的效率來使用工程技術方面的人力，而且必須加強培養這種新型工程技術人員的能力。在我們的導彈系統設計中我們應將極大的注意力集中在如何將具體操作人員所必備的操作技巧和操作人員的數量減至最低限度的問題上。

約瑟 J. 哲爾格爾

中譯本譯校者序

在導彈初步設計中，一般並不要求出一整套精確的參數數值，而僅需求得一組能確定系統基本性能的、正確的參數估算值。作為初步設計的結果，它應當正確地反映出系統各參數之間的相互關係。本書即依據上述原則介紹了設計一個導彈系統所必須考慮的主要問題，同時擬出了導彈系統工程初步設計的大致步驟。

本書的內容不僅適用於地对空導彈系統，而且也適用於其他類型的導彈系統。應當指出，本書所包括的內容並不是給具體導彈系統工程的設計人員提供整套的、可照章應用的計算方法，而只不過是對導彈系統工程初步設計所應依據的原則和原理作了一般的討論並提供了一些重要的導彈設計資料及對設計中所應考慮的一些重要問題的分析方法。

本書在翻譯和校訂過程中，對原書中的公式推導及數據方面所發現的問題和錯誤都做了相應的改正。由於譯、校者水平所限，書中可能的錯誤和不當之處在所難免，懇希讀者不吝批評和指正。

炎 靜等 1964 年 4 月

目 录

出版者的話.....	3
作者序.....	5
中譯本譯校者序.....	6

第一章 導彈設計的一般問題

導彈系統的機能	11
規格	29
導彈系統的各项順序機能、組成部分及其相互关系	31
参考文献	50

第二章 導彈系統的可靠性

2-1 可靠性的定义.....	51
2-2 “任务”的定义	51
2-3 “任务”的数学表达方法.....	54
2-4 可靠性的数学表达方法.....	59
2-5 正态分布律（或高斯分布律）的应用.....	69
2-6 随机故障概率分布	78
2-7 泊松分布律	83
2-8 導彈系統中的故障	87
2-9 环境条件	88
2-10 确定可靠性的过程	89
参考文献	89

第三章 制導和控制系統的設計資料

3-1 引言	90
3-2 控制系統的典型元件及它們的用途和特性	91
3-3 導引和控制系統初步設計的一般原則	102

3-4 伺服机构分析	113
3-5 噪 声	136
3-6 非 线 性	165
参考文献	166

第四章 导弹设计资料——指令制导运动学

4-1 引 言	167
4-2 指令制导的原理	167
4-3 采用瞬时碰撞航向指令的指令制导系统	168
4-4 横向误差指令制导	179
4-5 单纯的航向指令制导	188
参考文献	196

第五章 导弹设计资料——寻的导弹

5-1 引 言	197
5-2 导弹-目标运动学	197
5-3 比例导航	199
5-4 有初始航向误差及控制刚度为无限大 ($-\frac{t_0}{\tau} = \infty$) 时的 比例导航	205
5-5 控制刚度为无限大及目标作机动动作时的比例导航	212
5-6 脱靶距离	216
5-7 目标机动时由于加速饱和所造成的脱靶距离	218
5-8 有初始航向误差时由于加速饱和所造成的脱靶距离	220
5-9 具有无限大控制刚度而又有横向加速度偏差时的比例导航	226
5-10 控制刚度为有限值及控制系统具有横向加速度偏差时的 比例导航	229
5-11 有初始航向误差及控制刚度为有限值时的比例导航	238
5-12 控制刚度为有限值及目标作机动时的比例导航	240
5-13 初始跟踪误差	241
5-14 天线罩的折射	247

第六章 导弹设计资料——驾束导弹的运动学

6-1 引 言	248
---------------	-----

6-2 駕束制导的原理	248
6-3 駕束導彈的飞行路綫	249
6-4 理想駕束系統的运动学	252
6-5 駕束導彈的实际运动	254
6-6 駕束導彈的实际运动原理	254
6-7 以瞬变响应分析为基础的稳定性判据	263
6-8 系統的动态特性	267
6-9 駕束導彈示例	268

第七章 导弹設計資料——传热

7-1 引言	292
7-2 气动力加热效应	292
7-3 附面层内空气的温度	293
7-4 傳热系数方程	301
7-5 導彈的瞬变傳热問題	303
7-6 彈内設備的散熱問題	325
7-7 導彈和飞机設備的典型散熱問題	329
7-8 導彈和飞机設備的强制空气流冷却	335
参考文献	367

第八章 导弹設計資料——飞行性能、稳定性和操纵性

8-1 引言	369
8-2 導彈飞行性能之間的一般关系	370
8-3 气动力飞行器在超音速下所产生的机动力	374
8-4 導彈的气动阻力	400
8-5 用火箭发动机操纵的飞行器所产生的机动力	417
8-6 气动力飞行器的靜稳定性	420
8-7 气动力飞行器的纵向动态稳定性	430
8-8 用火箭发动机操纵的飞行器纵向动力学	441
参考文献	450

第九章 导弹設計資料——結構

9-1 引言	453
9-2 結構設計規範及結構材料	454
9-3 超音速下的气动載荷	454

9-4	弯矩图及剪力图	458
9-5	几个主要的应力公式	475
9-6	弹翼剖面的剖面数据	506
9-7	弹翼的重量、尺寸与载荷之间的相互关系	516
	参考文献	517

第十章 导弹系统的初步设计程序

10-1	引言	549
10-2	初步设计问题的概述	551
10-3	初步设计原则	553
10-4	系统设计问题示例的选择	555
10-5	分析所示系统的一般做法	557
10-6	在规定的战术情况下所要求的导弹机动性	558
10-7	助推段问题	569
10-8	气动阻力	570
10-9	助推器工作时间的确定	579
10-10	导弹在助推段的速度变化	584
10-11	导弹在助推段的位置变化	586
10-12	导弹的速压头变化	589
10-13	弹翼结构所受的载荷	590
10-14	弹翼结构的强度及重量	596
10-15	尾翼重量	601
10-16	导弹的法向力系数	602
10-17	在转变为水平飞行过程中的气动阻力	604
10-18	助推器推力与导弹起飞重量之比	606
10-19	续航发动机的需用推力及工作时间	606
10-20	火箭发动机的重量及体积	607
10-21	弹身重量	608
10-22	各项重量数据摘要	611
10-23	导弹的机动性公式	612
10-24	用来解算本例题的公式摘要	613
10-25	解方程式	613
10-26	确定全部变量的数值	630
10-27	雷达天线的尺寸	641
10-28	检验导弹的气动阻力	645
	参考文献	647

第一章 導彈設計的一般問題

導彈系統的機能

1-1 引言

作為戰術基礎的導彈技術可以說是一門最複雜的技術。由於它包括了幾乎所有的物理學部門，因此必須有各種受過高度專業訓練的工程師來為它服務。為了保證這些專業工程師適當地協調、配合並有效地進行工作，必須給他們提供某種技術上的指導，以求獲得有用的最後結果，這種指導可稱之為系統工程學。

“導彈設計原理”這部叢書中的其他幾卷討論了用來闡明和評價導彈系統的運用研究，導彈系統各組成部分如推進系統和制導系統以及靶場試驗方法等。本書則力圖將上述各部分相互聯繫起來，以使專業工程師們能借系統工程學來了解他們的工作所必須依從的廣泛的設計準則。自然，遵循這些準則是設計出成功的方案所必要的先決條件。為此，本書將提供有關下列各方面的資料：導彈的用途，導彈所需各組成部分的類型，導彈系統的順序機能，它與輔助系統間的關係及導彈各組成部分與導彈系統設計程序之間的關係。有關導彈系統各組成部分本身的設計原理，當然應當分別參閱各相應的篇章。

1-2 定義（見參考文獻1）

導彈。導彈是一種能穿越空間的、無人駕駛的飛行器，它攜帶有用來控制其飛行路線的裝置。

導彈系統。導彈系統是導彈與其發射裝置、彈外制導裝置、試驗設備及操作裝置等輔助設備的總稱；它們聯合一起完成一個總任務，如摧毀目標。

後面我們將把導彈系統所包含的每一種機能和每一種勤務都看作是系統的一部分。因此，像對可能目標的預先警戒、跟蹤和識別等也都包括在系統內，作為系統的一部分。對於空中發射的導彈來說，運載導彈的飛機發射準備程序，以及對該飛機出入導彈控制區的Control，也都認為是系統的一部分。的確，在設計與運載飛機有關的導彈系統時，甚至還必須考慮飛機的作戰技術問題。任何一種機能或在這方面的任何一個環節都是不容忽視的，因為忽視了它們同樣也可能使整個系統失效。

導彈制導系統。導彈制導系統定義為一群元件的組合，元件的效能為測量導彈相對於目標的位置並按需要而改變導彈的飛行路線。此組合的某些元件可以在彈體之外：在發射場上，在飛往目標的途中或者在目標上。導彈制導系統內通常包括有探測、計算、引導、穩定和伺服控制等元件（見參考文獻〔2〕）。

導彈系統工程學。導彈系統工程學乃是工程學中的一個分支，它專門從事使所有各分系統的設計工作協調一致，這些分系統結合起來就形成一個導彈系統。

1-3 導彈系統的用途

導彈系統的主要用途通常是軍事性的。軍用導彈可以是進攻型的或者是防禦型的，而且也有用於訓練目的的。導彈系統還可進一步分為下面四種類型：

- a. 地對地；
- b. 地對空；
- c. 空對空；
- d. 空對地。

地對地導彈。顧名思義，地對地導彈是在地球表面某一點發

射并飞向地球表面另一点的导弹。在此种定义下，既不要求发射点也不要求目标点相对地面是固定的。这种导弹可以从固定的地面设备、可动的地面设备、舰船、潜艇或运动中的陆地车辆上发射。地对地导弹包括各种各样的类型，也有许多种可能的尺寸和外形。导弹的射程是一个很重要的因素，因为它在很大程度上影响导弹的大小、成本和精度要求。从射程方面来讲，洲际地对地导弹本身形成单独一类。洲际导弹可以是飞航式的（这样命名的原因是因为它们迅速地爬升至某一巡航高度，然后在这个高度上巡航，随着陡然下降而投向指定目标）。洲际导弹也可以是弹道式的，这种导弹可以上升到几百里的高空，沿凯卜勒椭圆抛物线弹道飞行。它们越过海洋的飞行时间约为 13~40 分钟，因为它们的飞行速度达每秒 20 000 呎（即每小时 13 600 哩）。由于对此种类型导弹飞行的警戒时间本来就极为短促以及由于出现很多新的物理学问题，故这种类型的导弹是极难抵擋的。

地对空导弹。地对空导弹的主要用途是摧毁空中目标。它的任务可以是护卫地面设施或保卫城市。在某些情况下，舰艇也可以用它来拦截飞往我方陆上目标的敌方轰炸机群，或用它来保卫本身免遭空中袭击。地对空导弹不仅应能对抗敌方飞机，而且还必须能截击敌方导弹。这种导弹的发射方式与地对地导弹相似；但由于目标所具有的特点，它通常总是需要有极高的瞄准机动能力。

空对空导弹。空对空导弹是从飞机上发射并与敌方飞机或导弹作战的一种武器。它们是飞机上的一种比较远程的战斗武器，其射击准确度和效率，无论是比火炮还是比火箭都要高得多。

空对地导弹。空对地导弹可以看成是一种具有高度准确性的远距离航空炸弹。它们可用来攻击地面、海面甚至水下的目标。它们在与目标相碰之前可以一直由动力装置推进（即主动段攻击目标），也可在一部分航程上进行滑翔（即被动段攻击目标）。

上述各类导弹中任何一种都不一定要求直接命中目标。当它

們帶有具有一定威力半徑的战斗部（特別是核彈頭）時，它們即使在各種脫靶距離下也能够摧毀目標。對於每一脫靶距離都有其一個摧毀概率，此概率取決於目標的物理特性、飛行高度、導彈相對於目標的飛行姿態（方位）及加於目標上使之被“摧毀”所必需的損傷程度。為了達到非直接命中而能摧毀目標的目的，導彈上通常裝有適當的引爆線路，即所謂“引信裝置”，以便它能在導彈飛越目標時在最適宜的時刻使战斗部爆炸。

進攻型和防禦型導彈的比較。在比較進攻型和防禦型導彈時，應當指出，前者通常應當在射程比後者大得多的情況下使用。其理由是，進攻型導彈必須深入敵境，才能完成它的使命。在防禦型導彈的射程大到一定的程度以前，射程愈大則用來保衛某一定目標所需要的導彈數目愈少，因為當導彈射程減小時，設立在該目標周圍的發射場數目必須增多，才能使防禦體系沒有“漏洞”。在導彈射程增大至某一定程度時，保證防禦體系完整性所需要的導彈數目達到最小數值；防衛一定地區所需要的導彈和輔助設備的總數主要取決於敵方在一次襲擊中所使用進攻兵器的可能數量、襲擊次數的可能頻繁程度、導彈對敵方進攻兵器的摧毀概率及導彈系統的战斗能力。嚴格說來，上面所述，與其說是對導彈本身的射程而言，不如說是對整個導彈系統的射程而言，因為系統由於其某一組成部分（如尋的雷達）的有效距離不足而受到限制的話，則即使增大導彈本身的射程也不能得到任何好處。

進攻型與防禦型導彈系統之間的主要區別體現在那些在發射前需要解決的問題中。一般說，進攻型導彈系統所要掌握的情報通常與防禦型導彈系統不同。舉例來說，設有一個進攻型導彈系統，它所擔負的任務是消滅敵方的一个地面設施，它的設計和使用將與下列各項情報的獲得有關：

- a. 敵方目標的精確位置；
- b. 目標的大小；

c. 目标的物理特性;

d. 对顺利地完導彈攻击不利的、目标处的气候条件 (例如導彈采用紅外線寻的系统时, 密布在目标周围的云层就可能使導彈喪失捕獲目标的能力);

e. 目标的战略重要性 (最近敌方的調动是否已使目标的价值增大到其摧毁足以造成严重損失的程度?)。

在上述具体情况下, 由于目标是固定的目标, 故这个进攻型導彈系統不需要掌握目标运动的情报。它所需要的只是有关目标的特性和状态的情报。

現在我們来考虑上述实例中敌方所遇到的問題。敌方防御型導彈系統必須能获得用来回答下列問題的情报:

a. 有没有正在逼进的进攻武器 (这一問題可能是极难以解决的問題, 但它指出了需要有一个預先警戒系統, 这个系統应能在充分的超前時間內探测出敌方攻击的进展情况, 以便使防御系統能按要求地發揮作用。在抵抗洲际彈道式導彈时, 警戒系統則应能在全球範圍內發揮作用; 也就是說, 当敌方在地球另一側发射攻击武器之后几分钟內它即能探测出这种发射)?

b. 敌方襲击是怎样在进展着的 (要回答这个問題, 就需要有一个跟踪系統; 这个系統能找定目标对象, 并提供足够精确的敌方襲击位置、速度和方向等数据, 这些数据都是時間的函数)?

c. 敌方用来攻击的兵器属于何类及其数量有多少 (重要的是知道来襲的兵器中是否有轰炸机、假目标或彈道式導彈)?

只有在一种情况下进攻型与防御型導彈系統需要获得性质类似的情报, 这就是在战争爆发之后, 在这种情况下, 必須給进攻型導彈系統提供有关敌方发动攻击的情报。这样, 进攻型導彈系統才能立即采取报复行动打击敌方, 尽快地削弱敌方未来的攻击能力。

訓練。導彈系統的战术运用牵涉到对大量专业技术人員的訓練。導彈系統的运用效率取决于良好的配合, 并且在很大程度上

取决于运用經驗。因此，導彈也可用来为了訓練目的。这样的应用可以增加发现和排除系統或元件的缺陷的机会；而这种缺陷都是在研究和試驗期間所不能檢查出的。工业企业部門在很久以前就已經发现，当它准备将它的产品投入广泛使用之前，应尽最大努力来消除一切可能的故障来源。而这几乎总是需要进行相当大量的科学試驗和“試用”性試驗。即使采用了这种很好的方法，然而发现产品缺陷的往往还是使用者。正如在洗衣机、收音机、汽車等早已成熟的商品方面所发生的这种情况一样，我們在像導彈系統这种新穎而复杂的系統方面也应当准备着遭到同样的情况。事实上，到目前为止，在導彈方面所得到的經驗已經說明了事实确是这样。由于这种原因，在未来若干時間內，導彈将很可能被用于訓練目的。

導彈的其他用途。導彈在过去曾經，而且在将来还要繼續被有利地用来完成一种特殊的科学任务，这就是在地球外层大气中进行科学研究工作。很多有关推进、控制、遙測之类的問題都是在这項高度重要的工作中作为副产物而被发现和解决的。

根据第二次世界大战結束以来科学上惊人的进展来看，我們有理由預期在不久的将来導彈还可以有其他各种用途。从目前的事态来看，未来的許多年內導彈方面的大部分工作仍将无疑地主要限于軍事方面，洲际彈道式導彈和反抗此种導彈的導彈无疑地将受到很大的重視。

人造卫星載运火箭的发展无疑是宇宙航行的先驅。同样，若有某些高級導彈科学家感到最近几年內将出现能在不到一小时的时间內橫越美国的有人駕駛火箭飞机，这也将不是什么新聞了。如果洲际彈道式導彈的使用确为切实可行的話，那么我們有理由預期总有一天導彈将被用来将人們在几分钟內載运到地球的任何一部分。至于这样做是否合算，这或許与原子推进裝置的采用有关。