

“十三五”国家重点图书出版规划项目

俄罗斯航空武器装备研制与发展译丛



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ
АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

航空武器装备 发展预测理论与实践

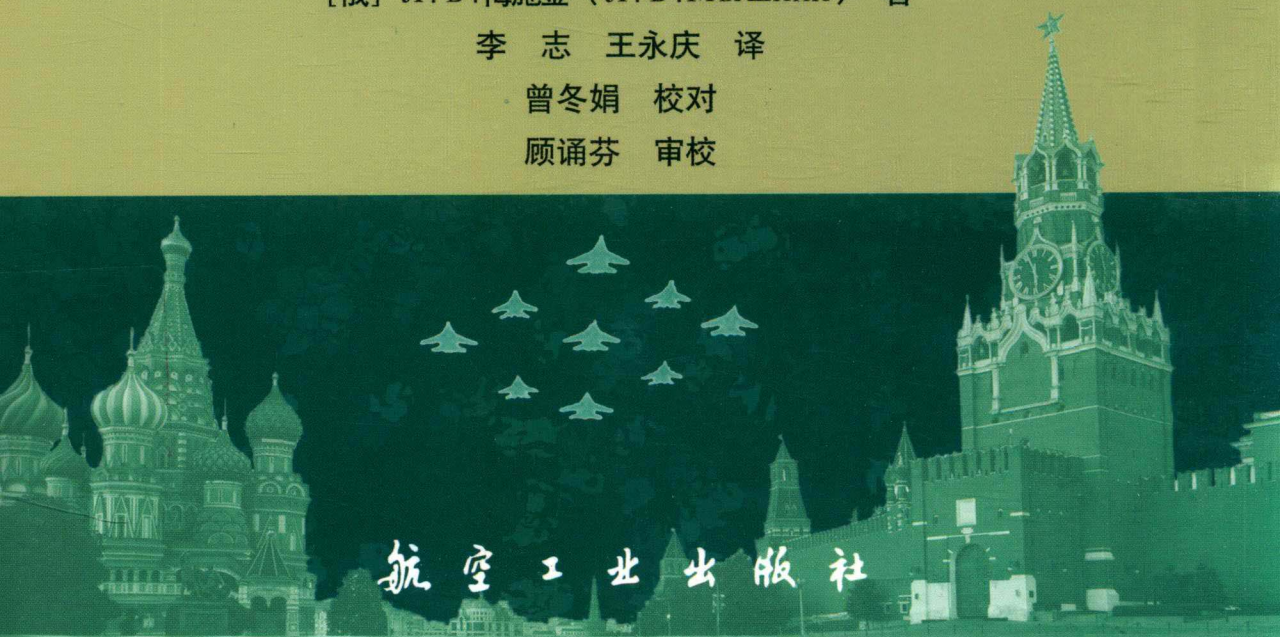
(第2版, 修订与增补版)

[俄] Л. В. 梅施金 (Л. В. Мышкин) 著

李志 王永庆 译

曾冬娟 校对

顾诵芬 审校



航空工业出版社

航空武器装备发展预测 理论与实践

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ
АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ
(第2版, 修订与增补版)

[俄] Л. В. 梅施金 (Л. В. Мышкин) 著

李 志 王永庆 译

曾冬娟 校对

顾诵芬 审校

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书叙述了飞行器发展预测理论的基础及其运用,给出了航空武器装备发展预测的一般原则和主要资料;研究了确定飞行器和飞行器组成体系最佳总体布局的静态和动态数学模型;以前线歼击机和歼击截击机发展预测为例研究了预测的可信度和技巧;研究了飞行器竞争力条件及其投入航空系统中的步骤;拟定了54个问题并回答或解决了其中最复杂的一些问题。

本书适用于从事航空技术发展方向论证和研制的工程人员、航空院校的教师和学生,以及所有希望提高自身在飞行器和飞行器组成体系最佳布局探索技术领域内的知识水平的人员。

图书在版编目(CIP)数据

航空武器装备发展预测理论与实践/(俄罗斯)Л.

В.梅施金著;李志,王永庆译.--北京:航空工业出版社,2017.5

(俄罗斯航空武器装备研制与发展译丛)

ISBN 978-7-5165-1211-1

I. ①航… II. ①Л… ②李… ③王… III. ①航空兵器—武器装备—发展—预测—俄罗斯 IV. ①E926

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第123232号

北京市版权局著作权合同登记

图字:01-2015-8590

На титуле и обложке произведения Издательство обязуется указать: авторское право перевода Произведения на китайский язык приобретено издательством ООО “Китайское авиапромышленное издание и СМИ” при посредничестве Китайского агентства по авторским правам.

航空武器装备发展预测理论与实践

Hangkong Wuqi Zhuangbei Fazhan Yuce Lilun yu Shijian

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑2号院 100012)

发行部电话:010-84936597 010-84936343

三河市华骏印务包装有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2017年5月第1版

2017年5月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:17

字数:351千字

印数:1—1500

定价:68.00元

丛书前言

航空武器装备是现代战争不可或缺的作战武器，也是制胜的法宝之一。在冷战时期，苏联航空武器装备研制的指导方针是保证苏联空中武装力量具备高水平，可以与美国和北约组织其他国家进行对抗，并获得优势。第二次世界大战结束后，从20世纪50年代起，苏联的航空武器装备迅速跻身世界最先进水平行列，这与其航空工业部门与军方逐步建立的完整、高效的航空武器装备研制体系分不开。

苏联在与美国等北约国家对抗过程中，积累了丰富的航空武器装备的研制和使用经验。苏联解体后，大批政府文件和研制单位的技术资料得以公开，许多从事航空武器装备论证、研制和试验的专家、学者和政府官员纷纷著书立说，讲述他们所经历的先进航空武器装备的研制历程，这是一笔宝贵的财富。我们通过长时间搜集，尤其是俄罗斯朋友的无私赠送，找到了一批俄罗斯最新出版的航空武器装备研制工作的经验总结和未来战斗机发展预测方面的珍贵图书。这些书籍分门别类研究总结了俄罗斯航空武器装备的立项、研制、鉴定和部队使用过程，以及未来远景战斗机总体方案的预测方法和实践。“他山之石，可以攻玉”，将这些书翻译过来，既可以作为我国建立自己独立的航空武器装备研制体系的参考资料，也对从事航空武器装备论证和使用的军方人员，以及负责现代航空武器装备研制、试验、鉴定和发展预测的科研人员具有很重要的参考价值。

为此我们与中航出版传媒有限责任公司合作，经过数年的努力，将这几本书翻译出版。在此过程中，顾诵芬院士在书的推荐、选择和立项等方面给予了许多支持和指导，并且还亲自审稿，让我们深受感动和敬佩。

在引进、消化、吸收到自主创新这条技术发展的道路上我们还有很长的路要走，希望各位读者和专家对译作不吝赐教，提出批评意见和建议。

编译者
2017年3月

前 言

属于航空武器装备的有飞行器及其配套产品（发动机、武器、雷达等），飞行器组成体系（编队、机队），以及飞行器地面（空中、太空）保障设备等。

主要的航空武器装备是飞行器（飞机、直升机、空空巡航导弹等）和飞行器组成体系，因为正是它们能完成专项任务：拦截空中目标，进入地上（水面）目标所在区域并摧毁目标，运送物资、乘客等。因此，书中主要关注的是这些装备，尽管技术发展预测理论的一般原则也适用于其他航空装备。

一定用途的飞行器（歼击机、轰炸机、军用运输机、多用途直升机等）发展过程的特点就是将老旧（批生产）飞行器换成新飞行器（老旧飞行器的改型、远景飞行器）。飞行器组成体系发展过程的特点是研制和采用新飞行器，增加其数量和批生产飞行器数量，以及改进地面保障设备。

飞行器和飞行器组成体系的发展过程是可控的。发展过程的组成部分之一，是确定（提示—预测）飞行器的最佳总体布局和将其纳入新飞行器组成体系的最佳步骤，也就是形成未来某一时间段上的最佳飞行器组成体系。在航空武器研制决策前阶段和研制过程中，这些旷日持久的问题由科研机构、高校和设计局的军事专家、非军事专家来解决。在飞行器和飞行器组成体系发展预测方面，培养专家并提升其水平的文献并不多。所推荐的这本书在一定程度上弥补了这一不足。它包含了形成飞行器总体布局和飞行器组成体系的所有基本方法，包括尚未公之于世的一些方法，例如，飞行器组成体系发展预测的变参模型，这或许对解决上述问题有所裨益。

本书包含了以“费用—效能”（简称“费—效”）形式预测飞行器和飞行器组成体系优化发展的原则、惯例、静态数学模型和动态数学模型。

通过举例研究座椅几何形状可变的先进前线歼击机、具有连接机翼的前线歼击机、超声速巡航飞行的多用途歼击机和使用液氢燃料高超声速歼击截击机的总体布局来研究使用静态模型预测飞行器发展的技术。

通过确定使用液氢燃料的高超声速歼击截击机系统、使用煤油的亚声速运输机、使用液氢的高超声速运输机最佳总体布局的示例，说明使用动

态模型预测飞行器组成体系发展的技术。

我们说,当然可以研究其他的先进飞行器,而不是座椅几何形状可变的前线歼击机或具有连接机翼的前线歼击机,或者是多用途歼击机或液氢燃料歼击截击机。然而,与技术发展预测有关的研究模式,就是在这种情况下也仍然不变。选择上述设施的原因是可以将飞行器发展预测问题的讨论与鲜为人知的飞机方案的识别信息合并进行。

为培养应用理论原则的技能,本书包含了54个问题。展示了应当如何应用理论原则来解决其中最复杂的问题。本书第6章6.4节(具有超声速巡航速度的多用途歼击机)是非常复杂的。该节包含了寻求飞行器最佳飞行技术参数(高度、超声速巡航速度、稳定盘旋过载、最大使用过载和翼载)的所有基本推理和数值求解。为缩减计算量,在该问题和其他类似问题中,只选择飞行技术参数作为优化参数,尽管在一般情况下,应当除此之外还优化武器、设备、作战生存力、耐久性、维护工艺性参数和飞行器的其他参数。

书中也反映出了作者在单科课程授课和毕业设计,以及科研方面的经验。在独辟蹊径的理论成果中,还应提及按照平方判据考虑和不考虑不确定因素的飞行器参数多判据优化法、未来飞行器优化发展预测动态模型、飞行器可行方案的竞争力条件,以及航空技术发展预测方法构想。

译者前言

今年适逢中国空军建军 67 周年，在第十一届珠海航空航天博览会上展出了我国自行研制的第五代战斗机、大型运输机及各型无人机等，这充分证明我国航空工业在近十几年所取得的巨大成就。迄今为止，虽然我国在很多航空领域还处于追赶航空强国先进技术阶段，但正在从“望其项背”逐步过渡到“并驾齐驱”。我国航空武器装备进入到与“列强”并驾齐驱阶段后，就需要自主选择发展道路，但如何发展？向哪个方向正确发展？这些问题都需要理论支撑，也需要借鉴他人经验。

从莱特兄弟首次驾驶飞机开展有动力飞行到今天，航空技术已经走过了一个多世纪的时间。第二次世界大战前，航空武器装备属于“战国时期”，欧美日俄，各有千秋。第二次世界大战结束后，航空进入到喷气发动机阶段，世界航空武器装备的发展格局也出现了巨大变化。从第一代喷气式战斗机投入使用开始，在空战舞台上唱主角的是美、苏研制的战机，其他国家沦为配角。苏联的航空武器装备为什么能够脱颖而出？

众所周知，在第二次世界大战中，苏联空军及其武器装备并不先进。20 世纪 50 年代初，在朝鲜战争中首次爆发了新一代喷气式战斗机空战——苏制米格-15 对美制 F-86。在此后的半个世纪内，一直是苏联研制的战斗机在与美制先进战斗机进行对抗。

我国航空工业的建设始于苏联援助，但不够完整，尤其在新型航空武器装备论证方面，没有建立起自己的一套完善的预测理论、试验验证和使用鉴定体系。在这方面，苏联/俄罗斯是完整和行之有效的，只是需要不断地修改完善。

中国科学院和中国工程院顾诵芬院士一直关心我国航空武器装备的发展。2010 年，俄罗斯朋友送给他一本书《航空武器装备发展预测理论与实践》，本书系统地描述了各代喷气式飞机发展预测的理论基础及其应用情况。给出了航空武器装备发展预测的基本原则和主要资料。研究了确定飞机及其全系统最佳总体方案的静态和动态数学模型，并以美国 F-22 和俄罗斯 1.44 为例，研究了前线歼击机和歼击截击机发展预测模型的可信度和建模技巧。顾院士建议将这本书翻译出来，供我国从事航空武器装备论证

与研制的工程技术人员参考。

由于译者水平有限，加之时间仓促，书中难免有翻译不当甚至错误，恳请读者不吝赐教。

译者

2016 年 11 月 16 日

缩略语、参数和角标

缩略语：

AB——航空武器

AO——航空设备

АТО——航空工程飞行保障设备

BAK——航空作战综合体（美军称航空作战系统）

БЖ——作战生存力

БРЛС——机载雷达

BBC——空军

ВПП——跑道

ВПУ——起降设备

ВЦ——空中目标

ГС——液压系统

ГЗС——高超声速飞机

ГИП——高超声速歼击截击机

ДРЛО——远距雷达探测与导引

ЗРК——地空导弹综合系统

И——歼击机

ИАО——机外飞行器控制设备

ИБ——歼击轰炸机

ИМБ——格斗歼击机

ИП——歼击截击机

КИГ——变几何形状飞行员座椅

ККС——飞机结构布局

КМ——复合材料

ЛА——飞行器

ЛТС——飞行技术特性

МК——单翼

МО——国防部

- МФИ——多用途歼击机
МФЛА——多用途飞行器
НАР——非制导航空火箭
НИОКР——科研和结构试制工作
ОАТ——航空武器装备
ОТТ——空军对航空武器装备的一般要求
ОФИ——单用途歼击机
ОФЛА——单用途飞行器
П——参数
Пи, Пнв, Пн——可变参数, 不可变参数和不确定参数
ПБАК_i——第 i 个子系统
ПВО——防空
ПВРД——冲压式空气喷气发动机
ПС——气压系统
ППС——防火系统
РК——连接机翼
РЭО——无线电电子设备
РЭП——无线电电子对抗
СБАК——航空作战综合体组成体系
ССЭ——机组乘员救生系统
СЛА——飞行器系统
СКО——均方差
СНОП——地(舰)上飞行保障设备
СУП——操纵系统
ТБ——燃油箱
ТЗ——热防护
ТИ——隔热
ТМ——传统材料
ТО——技术布局
ТРД——涡轮喷气发动机
ТРДДФ——加力式涡扇发动机
ТС——燃油系统
ТТЗ——战术技术任务书
ТТО——飞行器战术技术布局
ТТП——战术技术参数
ТТТ——战术技术要求

УР——导弹

ФИ——前线歼击机

Ц——中央翼

参数：

V, L, H ——飞机的飞行速度、航程和飞行高度

V_y^* ——最大爬升率

n_y, n_x ——飞机的法向过载和纵向过载

m_0 ——飞行器的正常起飞质量

$m_{\text{机体}}, \xi_{\text{机体}}$ ——机体质量和相对质量

$m_{\text{动力}}, \xi_{\text{动力}}$ ——动力装置的质量和相对质量

$m_{\text{燃油}}, \xi_{\text{燃油}}$ ——燃油的质量和相对质量

$m_{\text{系统}}, \xi_{\text{系统}}$ ——各系统的质量和相对质量

$m_{\text{乘设武}}$ ——机组乘员、设备和武器的质量

p_0 ——翼载

μ_0 ——飞机推重比

C_Y ——飞机的升力系数

C_X ——飞机的迎面阻力系数

P ——动力装置的推力

$\gamma_{\text{发}}$ ——发动机比重（即发动机推重比的倒数）

$C_{\text{油耗}}$ ——耗油率

Θ ——飞行器作战效能判据（战斗潜力）

$C_{\text{飞行器}}, C$ ——飞行器全寿命（全生命）周期成本和研制成本

$C_{\text{使用}}$ 和 $C_{\text{使用}}$ ——飞行器年度使用成本和全寿命周期内的使用成本

$n_{\text{导弹}}$ ——飞机上导弹数量

角标：

ГП——平飞

ДВ——发动机

К——结构

КР——机翼

КМК——复合材料结构

ОП——尾翼

ПЛ——机体

P——导弹

C——飞机

CMΦ——多用途歼击机系统

COΦ——单用途歼击机系统

CY——动力装置

T——燃油

TMK——传统结构材料

Φ——机身

III——起落架

Э——使用

目 录

缩略语、参数和角标	(1)
第 1 章 科技预测的一般原则	(1)
1.1 基本概念	(1)
1.2 预测的方法特性	(6)
第 2 章 航空武器装备发展预测基本资料	(16)
2.1 航空武器装备特性	(16)
2.2 飞行器总体布局的概念	(23)
2.3 飞行器及其配套产品和元件的技术完善性及其指标	(24)
2.4 航空武器装备其他完善性类型及其指标	(30)
2.5 航空武器装备完善性比较	(33)
2.6 飞行器、航空作战综合体及其系统发展过程	(35)
第 3 章 飞行器优化发展预测静态模型	(46)
3.1 预测模型总体特性	(46)
3.2 飞行器特性预测优化问题类型及其数学表达式	(48)
3.3 远景飞行器参数优化问题的某些特性	(52)
3.4 按照平方准则进行飞行器参数矢量优化	(55)
3.5 飞行器参数优化问题解决的稳定性及其研制的合理性范围	(60)
第 4 章 飞行器最佳总体布局预测所使用的关系特性	(62)
4.1 各种关系	(62)
4.2 飞行器本体方程	(62)
4.3 战效关系	(76)
4.4 飞行器经济关系	(90)

第5章 飞行器最佳总体布局方案预测置信度	(94)
第6章 前线歼击机发展预测	(104)
6.1 前线歼击机发展动态回溯分析,对新一代歼击机要求 及其实现方式	(104)
6.2 可变几何形状飞行员座椅的前线歼击机	(111)
6.3 连接机翼前线歼击机	(122)
6.4 具有超声速巡航速度的多用途歼击机	(138)
第7章 歼击截击机发展预测	(185)
7.1 歼击截击机动态发展回顾分析	(185)
7.2 新一代歼击截击机的主要要求及它们的实现方法	(185)
7.3 液氢高超声速飞机最优特性确定方法的特点	(189)
第8章 飞行器组成体系优化发展预测静态模型	(209)
8.1 飞行器组成体系优化发展预测正向问题	(209)
8.2 飞行器组成体系最优发展预测正向博弈问题	(210)
第9章 飞行器组成体系优化发展预测动态模型	(211)
9.1 模型种类及其形式	(211)
9.2 飞行器组成体系发展微分方程	(216)
9.3 作战飞行器组成体系发展预测正向变参问题	(220)
9.4 飞行器运输系统发展预测正向变参问题	(231)
9.5 飞行器综合系统发展预测正向变参问题	(240)
9.6 飞行器优化参数确定动态准则及优化问题的表述	(242)
9.7 飞行器组成体系优化发展动态预测置信度	(243)
参考文献	(251)

第 1 章 科技预测的一般原则

1.1 基本概念

预告——对某一对象在未来时刻可能状态^[1]的推断。

预测——指进行预测分析的过程：是试图根据过去的信息确定事件的未来发展进程。

预测对象可以是科学、技术、过程和现象等。

根据对象的种类，可分为科技发展预测，技术应用进程和结果预测，政治、经济、生态过程预测，以及天气和社会现象预测等。

在种类繁多的预测中，科技预测占据了特殊位置，因为技术作为一种军、民用生产手段，在相当大程度上决定了人们的物质条件和军队效率。下面我们将集中精力讨论科学预测问题。“科学预测”这一名词强调了以下两种情况：

(1) 用科学的方法进行预测。

(2) 进行预测时，使用那些与技术开发和应用有关的科学成果。

进行科学预测和预告可分为如下两种类型：

(1) 对对象的性能进行预测（性能预测）。

(2) 对对象的发展（产生）进行预测（发展预测）。

性能预测示例：如果飞机将在水平面内以恒定速度 V 、滚转角 γ 和稳态过载 $n_{y\text{稳}} = 1/\cos\gamma$ 飞行，则其轨迹将是半径如下的圆周（盘旋）

$$r = \frac{V^2}{g \sqrt{n_{y\text{稳}}^2 - 1}}$$

创造性预测的示例：如果所设计歼击机（又称战斗机）有效载荷（机组乘员、设备、武器）质量（mass）将等于 $m_{\text{乘设武}} = 4000 \text{ kg}$ ，而其相对值 $\xi_{\text{乘设武}} = 0.2$ ，则歼击机起飞质量将为（见 4.2 节^[2]）

$$m_0 = \frac{m_{\text{乘设武}}}{\xi_{\text{乘设武}}} = 20\,000 \text{ kg}$$

接下来将主要讨论技术发展预测。

预测方法可分为 3 类：

(1) 探索（本体论）法（由此可至何处）。

(2) 目的法（规范法或目的论法）（由此可至何处）。

(3) 混合法是上述两种方法的组合。

探索法的依据是：科技发展过程是一个自发展过程，其服从内在规律并按照如下方式进行：如果假设在开发技术时实现的恰恰是科技成果的这一方案，将会发生什么。例如，如果先进歼击机的机体将由复合材料制造，那将会是什么样的。

目的法的依据是科技发展是由需求（目的）来决定的，并按照如下方式进行：为达到目的需要什么。例如，为了稳胜 F-22 类型战斗机，未来先进歼击机应是什么样的。

主要方法是混合法，目的预测具有决定性意义。

预测技术发展时，预测深度（速度、步长、梯次）意义重大，其指的是一个时间段 $0 \leq t \leq T$ ，其中的每个点（或 $t = T$ 点）应提示出预测对象的状态。

根据预测区间值 T ，可分出如下预测：

- (1) 短期预测——5 年之内。
- (2) 中期预测——6 ~ 15 年。
- (3) 长期预测——16 ~ 30 年。
- (4) 超长期预测——30 年以上。

预测区间的选择是一个复杂的问题。 T 值可选为离散值并通过试验途径确定。看来，最有效的做法是变化 T 值并确定各种 T 值对预测的影响。在任何情况下，时间间隔都不应短于对象研制时间 $T \geq t_{\text{研制}}$ 。

时间 $t_{\text{研制}}$ 可在专家咨询基础上按照戈莫申（В. Г. Гмошанский）公式找到

$$t_{\text{研制}} = \frac{4t_{\text{研制}}^{\text{悲观}} + 2t_{\text{研制}}^{\text{乐观}}}{6}$$

式中， $t_{\text{研制}}^{\text{悲观}}$ 和 $t_{\text{研制}}^{\text{乐观}}$ 分别为按照悲观主义专家和乐观主义专家观点的预测对象的研制时间。

还有一个根据预测对象的基本参数计算 $t_{\text{研制}}$ ，这是众所周知的。

被预测武器装备通常是一个复杂的系统。该武器装备由 M 个子系统 j 组成，而子系统 j 由 N_j 个单元组成

$$\begin{aligned} \text{武器装备} &= \sum_{j=1}^M \text{子系统 } j \\ \text{子系统 } j &= \sum_{\nu=1}^{N_j} \text{单元 } j\nu \end{aligned}$$

武器装备、子系统、单元是一个如下参数的总称（矢量）

$$\begin{aligned} \text{武器装备: } \Pi &= \{\Pi_i\}, \quad i=1, 2, \dots, I \\ \text{子系统 } j: \Pi_j^{\text{子系统}} &= \{\Pi_j^{\text{子系统}} \varepsilon\}, \quad \varepsilon=1, 2, \dots, E \\ \text{单元 } j\nu: \Pi_j^{\text{单元}} &= \{\Pi_j^{\text{单元}} \alpha\}, \quad \alpha=1, 2, \dots, A \end{aligned}$$

式中， I, E, A 为武器装备第 j 个子系统和第 $j\nu$ 个单元的参数数量。

参数示例可为：

- (1) 歼击机（武器装备）参数 $\Pi = \Pi_1 = n_{y\text{稳}}$ ，在 $H = 5 \text{ km}$ 的高度上以马赫数

$Ma=0.85$ 飞行时的稳态盘旋过载; $\Pi_2 = V_y^*$ ——低空飞行时的最大爬升率; $\Pi_3 = D_{\text{发现}}$ ——机载雷达发现空中目标的距离。

(2) 机翼 (子系统 j) 参数 $\Pi^{\text{机翼}}$; $\Pi_1^{\text{机翼}} = S$ ——机翼面积; $\Pi_2^{\text{机翼}} = \lambda^{\text{①}}$ ——展弦比; $\Pi_3^{\text{机翼}} = \bar{c}$ ——翼型相对厚度。

(3) 大梁缘条参数 (单元 jv) $\Pi^{\text{大梁}}$; $\Pi_1^{\text{大梁}} = \sigma_b$ ——材料的强度极限; $\Pi_2^{\text{大梁}} = \rho_{\text{材料}}$ ——材料密度; $\Pi_3^{\text{大梁}} = f$ ——缘条横截面面积。

武器装备和参数具有常规的层级结构 (见图 1-1)。

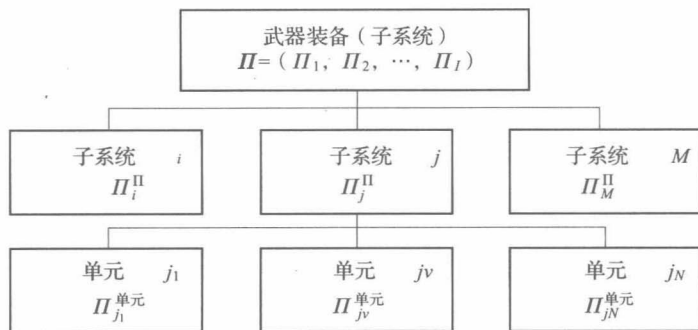


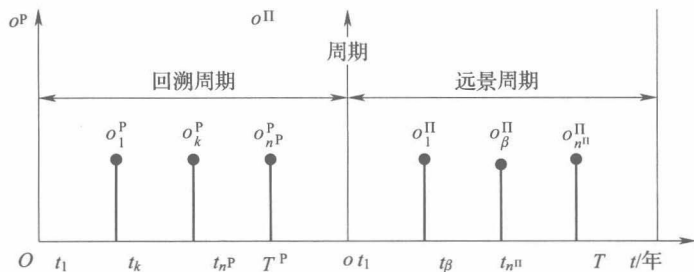
图 1-1 武器装备及其参数的结构

参数之间可有水平联系。框图和参数表示的是武器装备的总体布局。一定用途 (类型) 的武器装备是连续发展的。

武器装备的发展就是将老旧装备替换成新装备并且用回溯 (预先预测) 周期和远景 (预测) 周期的动态排列来表示。

动态技术可分成 3 组 (类):

(1) 武器装备的动态排列。这是按照各种型号武器装备的用途列出的单型回溯预测和远景预测的清单, 并指出了装备部队 (使用) 的时间或首个批生产装备出厂时间。排列以图标形式给出, 图 1-2 示出了图形排列。



注: 图中上标 p 代表回溯, Π 代表远景。

图 1-2 武器装备的动态排列

① 根据 GB/T 16638.1~4—2008《空气动力学 概念、量和符号》的规定, 机翼展弦比为 A , 弦长为 c , 厚度为 t , 梢根比为 λ 。——译者注