



作战飞机 效能评估

(第2版)

朱宝鏊 朱荣昌 熊笑非 著

航空工业出版社

责任编辑：李苏楠

封面设计：王 楠



ISBN 7-80183-876-9



9 787801 838766 >

ISBN 7-80183-876-9

定价：22.00元



作战飞机效能评估

(第2版)

朱宝鏊 朱荣昌 熊笑非 著

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书汇集了作者对作战飞机性能估算、飞机作战效能评估和空战模拟计算等问题十余年的研究成果。此外,对国内外的一些飞机作战效能评估方法进行了综合介绍和评价,有重要的参考价值。本次再版对部分内容作了修订和补充。

本书不仅是一本学术著作,还可作为分析研究飞机作战效能的工具书。

图书在版编目 (CIP) 数据

作战飞机效能评估(第2版)/朱宝鏊,朱荣昌,熊笑非著.
北京:航空工业出版社,2006.12

ISBN 7-80183-876-9

I. 作... II. ①朱... ②朱... ③熊... III. 军用飞机—性能分析 IV. V271.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 146121 号

作战飞机效能评估 (第2版)

Zuozhan Feiji Xiaoneng Pinggu (Di-er Ban)

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010-64919539 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2006 年 12 月第 2 版

2006 年 12 月第 1 次印刷

开本: 880 × 1230 1/32

印张: 9

字数: 218 千字

印数: 1—2000

定价: 22.00 元

第1版前言

武器装备优势对现代国防来说是至关重要的。但研制和使用现代武器装备所需费用又极为昂贵，所以各种武器装备的研制和采购，从酝酿到决策往往十分慎重。在这个问题上，主要的决定因素是需求，但技术上是否可行、经费上能否支撑、效能上是否满足要求也是必须考虑的因素。在多数情况下，除非万分紧迫、不惜工本外，一般都还要分析该武器装备的效费比以决定取舍。特别是像作战飞机这样生产量大、功能多、服役时间长而单价又很高的武器装备，在决定研制之前对其效费比进行分析更为必要。

武器装备效费比分析的难点在于如何评估其效能。使用武器的费用包括项目很多，如采购费、年度使用费、训练费等。更全面的考虑是计及研制试验费用的全寿命费用。在计算效费比时要弄清楚或预测各项费用并不容易。但更有争议的是其效能评价。武器装备的效能如何量化是一个复杂的问题。将类似武器装备的主要性能和各种参数逐一进行对比可以得出不同条件下谁优谁劣的结论。但效费比分析需要一个综合的用数量表达的指标，这就比较困难了。而这样的效能指标却非有不可。

此外，在分析双方空军实力时，作战飞机的效能高低与数量、士气、训练水平、指挥能力等因素一样，都是必须事

先做出评价的。所以作战飞机的效能评估也是研究现代军事的人们所关心的问题。它在作战模拟、演练以及教学训练等方面都占有相当重要的地位。不能正确地评估各种作战飞机的效能，对现代战争的研究将很难得出可信的结论。因此对现代作战飞机效能的研究是很有必要的，是带有基础性的工作。

评估作战飞机效能的方法有简有繁。但有一点很明确，所有方法都需要有关该飞机的原始数据。考虑很全面的方法需要的数据多，这些数据往往找不到。所以实际上宜于采用的评估方法只可能是会找到较可靠数据的方法。否则数据是粗略估计的，方法即使很精密很科学，得出的结果可信度仍很低，反不如用准确数据但较粗略的评估方法来可靠。

此外，分析已知的一些评估方法时还将发现，每种方法都与评估的要求或目的密切相关，有时倾向性是很明显的。这主要体现在选用参数和加权系数上。希望作战飞机能完成什么任务就必须选用与之相应的参数作为评估依据。强调什么就在加权系数上予以体现。这是很必要和自然的做法。近十多年来国内外已出现不少的效能评估方法。它们都是根据当时工作需要和条件制定的，都有一定的主观成分和局限性，但也都能说明一定的问题。在本书中拟介绍已知的一些方法以供读者选用。

由于现代作战飞机和武器发展很快，作战思想随国际形势的变化而变化，所以评估其效能的方法也将会不断更新。同时由于作战飞机的性能威力等数据往往是保密的，有些厂商甚至公布一些假数据。所以分析其效能的结果，即使用同一方法也将随着时间的推移和对数据的更多掌握而不断会有

所修订和完善，这是需要特别说明的。

最后还要提到一个对效能评估结果的检验问题。采用不同的计算方法、空战模拟以至真飞机空战对抗演习等是在一定程度上校核评估结果的准确性的。但各种方法都只适合其预定的条件，不存在哪一种方法最可信的问题。用局部冲突或小规模战争的结果来评比作战飞机效能时更要慎重。因为战争是最为复杂的事情，人的主观能动性对战争结果产生最直接的影响。所以我们用计算方法或仿真模拟方法评估效能时有一条“原则”，即尽可能避免人的“干预”或人的因素直接起作用，这样才能较“客观”地得出效能好坏的结论。

本书编写时参阅的有关资料都已在引用时加以说明，因此就不在书后列出参考文献。书中使用的符号、字母意义也随同应用的公式加以注解，全书使用字符含义并不一致，所以也不列统一的符号表，这样阅读起来可能方便一些。

特别值得提出的是，在我们编纂过程中，空军司令部科研部承担了本书的出版组织工作，赵嫦霄同志参加了编制附录工作，许多同志还对本书提出了不少宝贵意见，在此深致谢意。

编 者

1993年8月

再版前言

军事装备战斗力主要包括4个要素，即效能、数量、训练和编成。而能否真正发挥出战斗力则靠人的“运用”。本书最初在1993年出版，其内容只是探讨作战飞机战斗力要素之一——“效能”的评估方法。所以不宜只根据效能评估优劣就得出某种飞机作战时一定会获胜的结论。

这十多年来，已有很多不同的效能评估方法出现。有些读者对本书也有各种不同的看法。但从这些年的实践看，效能评估是一个很复杂的问题。根据不同的评估要求和场合，实际具备的条件（例如数据获取、运算手段）与时间限制，可能需要不同的方法，很难得出一个全面的、普遍适用的方法。而本书第1版除自创的“对数法”外也介绍了不少其他人的评估方法，所以在再版时不准备作重大修改，仅作为“有此一说”看待。至于用计算机进行空战模拟，近年来技术发展很快，如要更新介绍，需另写一本著作才行。

但在本次再版过程中也增加了一些内容和几个附录，都是编者这些年来对作战飞机效能评估的研究成果。例如多机空战模拟的“穷举法”，是为了避免编写程序时陷入“战术问题”困境想出来的“笨”办法。还有“夺取空中优势所需兵力估算方法”是受俄罗斯学者的一篇论文启发。这些材料都曾经在不同的学术会议或刊物上发表过。

此外对各国作战飞机的有关数据及隐身性能估算等，已力所能及地对本书给出的表格、数据作了修正，但很难保证都正确可靠，仅供参考。

编 者

2006 年 8 月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 作战飞机效能的一般理解	(1)
1.1.1 作战飞机效能评估的特点	(2)
1.1.2 效能评估的应用范围	(4)
1.2 评估飞机作战能力的基本方法	(8)
1.2.1 性能对比法	(8)
1.2.2 计算评估法	(10)
1.2.3 计算机模拟法	(11)
1.2.4 专家评估法	(12)
1.2.5 试飞、打靶和演习法	(13)
第 2 章 作战飞机性能估算法	(15)
2.1 基本依据和资料	(16)
2.1.1 基本依据	(16)
2.1.2 基本依据资料	(16)
2.2 基本数据的确定	(17)
2.2.1 飞机几何数据	(17)
2.2.2 飞机最大起飞总重	(18)
2.2.3 发动机特性	(21)
2.3 通过飞机外形估算某些参数	(23)
2.3.1 飞机外形尺寸与性能的关系	(23)

2.3.2	废阻力(废阻)系数估算	(24)
2.3.3	诱导阻力因子估算	(25)
2.3.4	飞机抖振升力系数和可用升力系数估计	(26)
2.3.5	最大升阻比估算	(28)
2.4	通过使用限制和极限数据估算某些性能	(30)
2.4.1	用动压限制估算飞机的最大允许表速	(30)
2.4.2	用驻点温度限制估算飞行限制马赫数	(30)
2.5	基本性能估算	(31)
2.5.1	最大飞行速度	(31)
2.5.2	升限	(32)
2.5.3	上升性能	(37)
2.5.4	航程	(40)
2.5.5	起飞性能	(41)
2.6	机动性能估算	(42)
2.6.1	稳定盘旋性能	(42)
2.6.2	瞬时盘旋性能	(44)
2.6.3	水平加速性能	(45)
2.6.4	特技性能和机动能力估计	(46)
2.6.5	算例	(47)
第3章	飞机作战能力的评估	(50)
3.1	参数计算法	(50)
3.1.1	顺序评估法	(51)
3.1.2	相对值评估法	(54)
3.1.3	相对指数法	(56)
3.1.4	多参数(品质)分析法	(61)
3.1.5	对数法	(63)

3.2 概率分析法	(89)
3.2.1 截击机完成任务的概率	(90)
3.2.2 攻击机摧毁地面目标概率	(95)
3.3 需要飞机数量对比法	(99)
3.4 专家评估法	(101)
3.4.1 层次分析法评估	(101)
3.4.2 其他的专家评估方法	(107)
第4章 可用度和任务可靠度	(110)
4.1 可用度	(111)
4.1.1 作战飞机理论可用度	(111)
4.1.2 飞机可用度统计值	(114)
4.1.3 国外飞机可用度统计值	(115)
4.2 任务可靠度	(119)
4.2.1 任务可靠度计算方法	(119)
4.2.2 平均故障间隔时间的估算	(119)
4.2.3 国外作战飞机的平均故障间隔时间	(120)
4.3 可靠性对长时间巡逻飞机效能的影响	(122)
4.3.1 长时间巡逻飞机出现故障的不同时机	(122)
4.3.2 巡逻可靠性有效系数	(123)
4.3.3 任务飞行可靠性有效系数	(125)
4.3.4 平均故障间隔时间对可靠性有效系数的影响	(126)
第5章 双机空战模拟计算	(128)
5.1 手控式空战模拟计算	(128)
5.1.1 基本假设	(129)

5.1.2	计算公式	(129)
5.1.3	编程中的几个问题	(135)
5.1.4	运算方法	(136)
5.1.5	飞机运动计算的判据	(137)
5.1.6	开火及击毁	(143)
5.2	空空导弹攻击飞机的计算方法	(144)
5.2.1	空空导弹的发展与飞机的机动规避	(144)
5.2.2	计算方法	(147)
5.2.3	飞机和导弹运动的限制条件和数据	(148)
5.2.4	导弹及飞机运动的初始状态	(149)
5.2.5	计算结果	(149)
第6章	自动空战模拟计算	(153)
6.1	基本概念	(153)
6.2	自动空战模拟的特点	(153)
6.3	自动空战模拟发展的回顾	(154)
6.4	典型自动空战模拟系统的基本内容	(156)
6.4.1	飞机运动方程	(156)
6.4.2	基本数据的准备	(157)
6.4.3	飞机的综合判据	(158)
6.4.4	飞机的机动实施问题	(164)
6.4.5	机载设备性能的模拟	(170)
6.4.6	机载空战武器性能的模拟	(174)
6.4.7	模拟结果的评判	(176)
6.4.8	模拟结果的输出方式	(180)
6.5	自动空战模拟的主要应用领域	(182)
6.6	自动空战模拟的局限性	(183)

附录 (203)

第1章 概 述

1.1 作战飞机效能的一般理解

武器装备的效能 (Effectiveness) 通常是指该武器装备完成预定作战任务能力的大小。国内外文献使用这个名词时所包括的范围不尽相同。最一般的理解是指其实际使用于作战的能力大小, 而更广义的理解或者说从系统工程的角度看, “效能” 还应包括它的可用度 (Availability)、可靠度 (Dependability) 和保障度 (Supportability)。所以对作战飞机的效能评价也可以有不同的处理方法, 并由此得出不同的结论。

作战飞机的“效能”可用公式表达如下

$$E = C \times A \times D \times S \quad (1-1)$$

式 (1-1) 中, E 是效能, C 是作战能力, A 是可用度, D 是可靠度, S 是保障度。这 4 种主要衡量准则的相互关系是乘法关系。因为只要其中 1 项很差, 那么这种飞机的“效能”也就很低。至于每 1 项的估算方法除保障度外, 在后面各章中再分别介绍。考虑到保障度是指持续使用能力, 它牵涉到零备件需求、后勤供应和战时生产能力等问题, 目前尚缺乏简易的评估方法, 在本书中不拟讨论。这就是说令 S 值等于 1.0。

作战飞机的作战能力如性能、威力等问题往往与飞机及武器的设计思想、制造工艺等有关, 而作战飞机的可用度、可靠度固然在设计时即要打下基础, 但往往还与使用过程的维修管理、零

备件供应的组织工作以及使用方式等有关,所以在不少场合,分析对比作战飞机的效能时,先忽略后三种因素,而只用作战能力代替效能。但如讨论的问题不单纯是作战飞机本身的能力问题,还要考虑作战过程中的实际效能,后三项因素就不能不认真对待了。因为性能再好的飞机,出勤率很低,临战时上百架飞机中只有几架可用,飞上天后,故障不断,部分飞机还要被迫返航。这样的作战飞机的效能就实在太低了。所以研究问题时考虑多少因素比较合适要视情况而定。而且即使在上述效能的计算公式中还没有包括人的因素在内,例如战术运用水平,飞行员、指挥员素质等,而后者是关键性的。性能很好的作战飞机,使用不当也会一败涂地。但这里主要想探讨作战飞机的本身能力,所以不研究使用武器的人的素质和战术运用问题。

1.1.1 作战飞机效能评估的特点

作战飞机的效能衡量牵涉到很多参数。有很多参数有确切数据,可以进行精确计算。但也有很多参数不能直接测量或统计出来而只能进行估计,例如飞机的操纵效率。因此对作战飞机的效能通常只能“评估”而不是直接计算。所谓评估就是说会带有一定的经验判断的成分。总的来说,对作战飞机效能的评估有如下特点,即概略性、相对性、时效性和局限性。

1.1.1.1 概略性

作战飞机的性能可以测量或计算得很精确,而其效能却很难用精确的数字来表达。一方面是因为效能往往与任务、要求相关联,另一方面“效能”这个名词的本身就是一个“模糊”概念。我们可以说这种飞机效能好或不好,也可以进一步作5分制或9分制评高低。但如果说计算出效能值准确到百分制小数点的水平,那是虚假现象。例如,一种飞机效能值76.8分,另一种

76.7分,并不能表明前一种效能就高一些,否则将“误入歧途”,因为事实上不会是这样。任何一种已知的评价作战飞机效能的方法都不可能真正准确到如此程度。如按百分制评估,其差别在10分以上才可能在实际使用中表现出来。

1.1.1.2 相对性

评估作战飞机的效能往往是为了要与其他飞机进行对比,或者要估计完成一定任务需要的飞机数量。如果评估的目的是前者,则评估出来的效能只要是相对值即可。如果需要根据任务求出飞机需要量,其结果也是一个相对的关系。作战任务的种类很多、也很复杂,很难得出一个“效能常数”。事实上现在对作战飞机效能的评估都是相对的,不过相对的基准有各种各样。有的方法用某种类似飞机为准对经过选择的参数进行比较得出相对效能值,也有些方法用同时代的同类飞机最佳值或平均值为基准来求得效能值或效能指数。有些方法表面看其评价结果是绝对值,但实际上它是相对值。

效能评估的相对性还有一个原因,就是用数字表达效能时的量纲处理问题。影响效能的因素很多,各因素的量纲不同,例如速度是 km/h 或 m/s ,而水平加速性能好坏用时间表示,量纲是 min 或 s ,等等。各种不同量纲的参数不大好综合起来。假如用相对值,将有关的参数都无量纲化,最后才综合成代表效能的一个数值就比较合理。而要无量纲化就要用相对值。

1.1.1.3 时效性

一般来说,作战飞机的能力在其使用寿命期间变化不大。改进改型需另行计算。但由于保密关系,国外作战飞机的真实性能往往很难知道或者只能了解到一些宣传夸大的数字。根据这样的原始资料评估出来的效能与过一定时间、有确切数据后评估出来的效能就应该不一样。这是评估作战飞机效能有时间因素的一个