

舰载机进场着舰 规范评估

Review of the Carrier Approach Criteria

南京航空航天大学 杨一栋 译著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



NUAA2010022732

V271.4
1028-5

舰载机进场着舰规范评估

Review of the Carrier Approach Criteria

南京航空航天大学 杨一栋 译著



本书承 杨一栋 教授 惠赠
特此致谢！
南航图书馆 2009 年 12 月 15 日

国防工业出版社

· 北京 ·

2010022732

内 容 简 介

舰载飞机需全天候地安全降落在着舰环境十分恶劣的航空母舰上,为完成这一十分复杂的精确引导技术,设计者们制订了一系列的着舰设计规范。但随着着舰科学技术的发展以及需求任务的变更,从工程上需要对已有的规范的充分性与适用性进行历史性回顾与评估,以利于形成新的规范。

美国海军航空作战中心飞机部发表了“舰载飞机进场着舰规范评估”的研究报告,本书是它的译著。其内容包含舰载机着舰演变历史,着舰引导的技术手段、设计规范,对已有的规范进行评估及其结论等。这对认识与开发着舰引导技术很有工程借鉴作用,亦可供从事导航、制导与控制学科的工程技术人员及学者们研究参考。

舰载机进场着舰规范评估

杨一栋 译著

※

国防工业出版社出版

国防工业出版社印刷厂印刷

内部发行

*

开本 787×1092 1/16 印张 10 字数 219 千字

2006 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—700 册

统一书号: 15118·289 工本费: 40.00 元

编译委员会名单

主 译 杨一栋

编译委员 (按姓名笔画排序)

王新华 朱 华 吴文海 张 军

陈敬志 郑峰婴 袁锁中 龚华军

前 言

舰载机必须在运动着的航空母舰上,在外界恶劣的扰动环境下,在有限的着舰区域中安全降落。这一严酷的使命,促使设计工程人员费尽脑汁,远在40年前就提出各种进场着舰的设计准则与技术规范,以期望飞机能安全降落,这显然是极为必要的。但随着工程科学技术的日益发展,任务需求的逐渐变更,以及经验的不断积累,客观上要求对舰载机进场着舰的已有规范与准则进行回顾与评估。评定一下这些已有规范对完成着舰任务来说是否仍具有适用性与充分性,以利于形成新的规范,这样还可在不增加着舰风险的前提下,放宽规范的限制条件,增加飞机的设计空间。在这样的背景下,美国海军航空系统指挥部对此项工作进行了部署,终于在2002年10月,由美国海军作战中心作为研究成果做出了一份“舰载机进场着舰规范评估”的研究报告,在短时间内,我们完成了对它的编译工作。该评估报告正文共9章。其内容如下:

第1章为概述,指出了本研究报告的背景、目的、研究方法及范围。

第2章对进场着舰规范的制订作了较为全面的历史性回顾。

第3章研究了飞机作战任务的需求及政府与工程部门的职责,并对规范的适用性进行了剖析。

第4章分析了海军飞机的设计要求。包括着舰环境、甲板配置、菲涅耳助降、自动着舰引导、飞行员及着舰指挥官任务,以及飞机关键特征参数及气动结构配置的设计要求等。

第5章列出了进场着舰的规范。包括下滑飞行的变轨机动响应、视场大小、飞行品质、飞行轨迹稳定性、发动机油门的动力响应、复飞与逃逸等。

第6章对进场着舰规范进行了评估。

第7章对进场着舰规范进行了补充说明。

第8章给出了进场着舰规范另一个可选方案。

第9章对整个报告进行了总结,提出了建议。

报告最后给出了5个附录,对规范的评估也是很有参考价值的。

编译者认为该评估报告有利于认识与化解着舰引导这一复杂系统的各种矛盾,对正确理解与制订着舰规范很有裨益,也能促进导航、制导与控制这一

学科技术的发展。

本书的出版是参与编译工作的众多学者们辛勤工作,以及国防科技领域有识之士鼎力支持的结果。为此谨向对本书编译出版作出贡献的全体人员致以衷心的感谢。

由于时间仓促,加之译者们的水平有限,编译中的出错以及不当之处,恳请读者批评指正,以助改进,不胜感激。

2006年6月

目 录

绪言.....	1
第1章 概述.....	3
1.1 研究背景	3
1.2 研究目的	4
1.3 研究范围	4
1.4 研究报告的组织结构	5
1.5 研究方法	5
1.5.1 概述	5
1.5.2 历史回顾	5
1.5.3 对当前规范的回顾	6
1.5.4 安全手册总结	6
1.5.5 进场环境分析	6
1.5.6 仿真	6
1.5.7 商业(Trade)研究	7
1.6 年代表	7
第2章 历史回顾.....	8
2.1 概述	8
2.2 平桨(flat-paddles)进场技术	8
2.3 螺旋桨式到喷气式飞机的过渡.....	10
2.4 英国海军对航空母舰发展的影响.....	11
2.5 进场速度预估的发展.....	13
2.5.1 麦道航空公司的研究(1953)	13
2.5.2 国家航空咨询委员会的进场速度研究.....	15
2.5.3 失速裕度准则评估.....	16
2.5.4 美国海军的贡献(1959—1968)	17
2.6 进场速度规范评估.....	21
2.6.1 变轨机动	21
2.6.2 视场.....	22
2.6.3 飞行品质等级1	22
2.6.4 失速裕度	23
2.6.5 飞行控制中的速度限制	24
2.6.6 推力响应	24

2.6.7	复飞	26
2.6.8	逃逸复飞	27
2.7	总结	28
第3章	需求分析	29
3.1	概述	29
3.2	作用和职责	29
3.2.1	政府的作用	29
3.2.2	工程部门的作用	31
3.3	舰载机进场规范的矛盾	33
第4章	海军飞机设计要求	34
4.1	概述	34
4.2	飞机工作环境	34
4.2.1	飞行甲板的配置	34
4.2.2	拦阻系统	34
4.2.3	着舰报告	36
4.2.4	菲涅耳透镜光学助降系统	36
4.2.5	菲涅耳透镜光学助降系统的改进	38
4.2.6	航空母舰自动着舰系统	38
4.2.7	进场与着舰方式	39
4.3	飞机着舰	39
4.4	飞机的关键特性	42
4.4.1	概述	42
4.4.2	机翼设计	42
4.4.3	高升力系统	42
4.4.4	可变的机翼安装角	42
4.4.5	可变的机翼后掠角	43
4.4.6	附面层控制	43
4.4.7	进场迎角	43
4.4.8	飞机进场时总重量	43
4.4.9	推力倾角	43
4.4.10	减速板	43
4.4.11	直接升力控制	44
4.4.12	电传/光传飞行控制	44
4.4.13	材料	45
4.5	与飞行员有关的评论	45
4.5.1	飞行员感受到的信息	46
4.5.2	白天与黑夜的区分	48
4.5.3	下滑技术	49
4.5.4	自动油门问题	50

4.5.5	对准跑道中心线	51
4.5.6	复飞	52
4.5.7	直接升力控制	52
4.5.8	发动机故障(多发动机飞机的发动机故障)	52
4.6	着舰指挥官的任务	53
4.6.1	职责	53
4.6.2	着舰指挥官评述	53
4.7	安全性含义	54
4.7.1	概述	54
4.7.2	分析	55
第5章	舰载机进场规范	59
5.1	概述	59
5.2	下滑变轨机动	59
5.2.1	定义	59
5.2.2	方法	59
5.2.3	已有舰载机的性能	60
5.3	视场	61
5.3.1	定义	61
5.3.2	方法	62
5.3.3	已有舰载机的性能	63
5.4	飞行品质	64
5.4.1	概述	64
5.4.2	横滚控制	64
5.4.3	飞行轨迹稳定性	66
5.5	失速速度裕度	67
5.5.1	定义	67
5.5.2	方法	67
5.5.3	已有舰载机的性能	68
5.6	飞行控制速度限制	69
5.6.1	定义	69
5.6.2	方法	69
5.6.3	已有舰载机的性能	69
5.7	纵向加速度(大油门响应)	70
5.7.1	定义	70
5.7.2	方法	70
5.7.3	已有舰载机的性能	70
5.8	小油门响应	71
5.8.1	定义	71
5.8.2	方法	71

5.8.3	已有舰载机的性能	72
5.9	复飞	72
5.9.1	定义	72
5.9.2	方法	72
5.9.3	已有舰载机的性能	73
5.10	逃逸	76
5.10.1	定义	76
5.10.2	方法	76
5.10.3	已有舰载机的性能	77
5.11	试飞需要考虑的因素	77
5.11.1	进场迎角验证	77
5.11.2	海上试飞考虑因素	79
第6章	舰载机进场规范的评估	81
6.1	概述	81
6.2	下滑道变轨机动	82
6.2.1	相关性	82
6.2.2	充分性	83
6.2.3	调研结果	84
6.2.4	小结	84
6.3	视场	85
6.3.1	相关性	85
6.3.2	充分性	85
6.3.3	调研结果	85
6.3.4	小结	86
6.4	飞行品质	86
6.4.1	概述	86
6.4.2	横滚控制	87
6.4.3	飞行轨迹稳定性	88
6.4.4	小结	90
6.5	失速裕度	90
6.5.1	相关性	90
6.5.2	充分性	91
6.5.3	小结	91
6.6	飞行控制速度限制	91
6.6.1	相关性	91
6.6.2	充分性	92
6.6.3	小结	92
6.7	纵向加速度(大油门响应)	92
6.7.1	相关性	92

6.7.2	充分性	92
6.7.3	小结	93
6.8	小油门响应	93
6.8.1	相关性	93
6.8.2	充分性	93
6.8.3	小结	93
6.9	复飞	94
6.9.1	相关性	94
6.9.2	充分性	94
6.9.3	小结	95
6.10	逃逸	95
6.10.1	相关性	95
6.10.2	充分性	95
6.10.3	小结	96
第7章	舰载机进场规范的补充	97
7.1	概述	97
7.2	基于任务的准则和基于分析的准则	97
7.3	进一步研究已有的准则	98
7.3.1	概述	98
7.3.2	下滑道变轨	99
7.3.3	视场	102
7.3.4	飞行品质	102
7.3.5	失速裕度	103
7.3.6	飞行控制限制速度	104
7.3.7	纵向加速度(大油门响应)	104
7.3.8	小油门响应	104
7.3.9	复飞	104
7.3.10	逃逸	105
7.4	评估的其他方面	105
7.4.1	工作概念	105
7.4.2	在无人驾驶飞机上的应用	105
第8章	需求定义的备选方案	106
8.1	概述	106
8.2	需求	106
8.2.1	速度定义	106
8.2.2	进场速度	106
8.3	小结	109
第9章	结论与建议	110
9.1	概述	110

9.1.1	结论	110
9.1.2	建议	111
9.2	细节	111
9.2.1	下滑变轨机动	111
9.2.2	视场	112
9.2.3	飞行品质	112
9.2.4	失速裕度	113
9.2.5	飞行控制限速	113
9.2.6	大油门响应(纵向加速度)	113
9.2.7	小油门响应	114
9.2.8	复飞	114
9.2.9	逃逸机动	114
参考文献		115
缩略语		119
附录		121
附录 A	着舰规范研究小组成员	121
附录 B	联合作战规范基本准则	122
附录 C	短周期飞行轨迹响应准则	124
附录 D	视场(FOV)研究成果	134
附录 E	舰载飞机年表	145

绪 言

联合攻击战斗机(JSF)方案的制定机构发起了一项研究,目的是要对已有的舰载机进场着舰规范(CAC)进行重新评定。这些规范也普遍涉及到着舰速度的准则或称 V_{pa} 准则。研究的目的是为了解决在应用这些着舰准则与规范时带来的一系列问题。舰载机的着舰规范作为预估着舰速度的设计方法已经使用了 30 多年,但随着这期间的重大技术进步,如果规范中的某些假定和应用仍然有效,就会出现一些问题。这些已有的规范减少了舰载机的设计空间,而且为了满足其他任务的紧急请求,这些规范又影响了设计的灵活性。正因为这样,海军必须要对这些规范对设计的影响有一个全面的了解,以便在预估进场速度时能正确地运用这些规范。

总的技术工作指南规范(JSSG)上所确定的定义与准则仍是我们研究的基础。进场着舰规范包括:

- 下滑变轨机动(popup)
- 大油门及小油门工作时的响应
- 进场时的视场(FOV)
- 一级飞行品质(FQ)(基本的滚转控制和飞行轨迹的稳定性)
- 飞行失速裕量和飞行控制的速度限制

复飞及逃逸性能作为进场着舰规范的一部分,也包括在 V_{pa} 的定义中。

在本报告中,将论证工作放在几个设计阶段的首位。论证工作的重点是研究和分析总的技术工作指南规范中的各种假设。我们根据总的技术工作指南规范中各种定义的改变来制订联合攻击战斗机总的技术规范,报告中还讨论了 JSSG 中的这些变化。论证阶段的目的是,指出已有规范的欠缺之处;对规范的发展进行分析和研究,确定还没有被充分认识到的低风险、高收益领域;确定未来进一步研究和评估的领域。而目的并不是制定一系列新的规范。根据现有的背景资料,设计者和研究部门可以更好地制定出计划方案,这些方案涉及到各个规范的临界状态。下一阶段研究的目的是制订新的规范或者对规范进行改进。

在进行论证工作时,首先要评估每一项规范的适用性。我们发现已有的规范很难准确地描述进场任务。根据这些规范中的定义,可以发现进场时的视场(FOV)规范是适用的;飞行失速裕量、下滑时的变轨机动、对小油门的响应规范是不适用的;剩下的规范处于临界适用状态。

经第一阶段研究,得出的重要结论如下:

- 许多已有的规范并不是很适用的。因为多数规范是根据 40 年前飞机设计的经验数据制定出来的。
- 当前 V_{pa} 的进场着舰规范的应用和当初制定 CAC 的目的并不一致。

- 分析 1980 年 1 月到 2001 年 5 月期间海军安全中心的数据表明,事故的发生率和 V_{pa} 没有直接的关系,因此 V_{pa} 不能再作为安全指导规范了。

- 由于海军拟定的每个飞行器计划几乎一直都是在两个或更多的方案之间进行选择,在系统开发论证前,若应用前景未能满足任何舰载机着舰规范,则要满足 V_{pa} 的需求会变得更为困难。因此,尽管进场规范没有明确定义为需求,但事实上已成为设计者的“硬性要求”。

- 若分别规定进场速度(V_{pa})的限制值、拦阻啮合速度限制值以及甲板风限制值,则会导致不合理的需求。

第一阶段研究后,得出如下主要建议:

- 第二阶段的研究任务,应制订用来指导进场任务的规范。

- 美国海军航空系统指挥部(NAVAIRSYSCOM)必须制订一项定期评估进场着舰规范的程序,由政府部门与实际研制部门参加。

- 第二阶段必须对关键参数(KPP)的选择进行进一步分析,经计划制订者、用户以及工程人员之间的进一步讨论,保证进场着舰任务完成的一些重要关键性参数的选择应当确定下来。

第1章 概述

1.1 研究背景

舰载飞机有很多独特的地方,它与其他飞机的工作和配置不一样。最显著的特点是要求它在航空母舰(CV)上起飞和着舰(recovery)。自第二次世界大战开始,海上航空就在国防力量中起着关键的作用。当前,海上航空更有其特殊的重要意义。随着海上任务不断地变化,海上航空也成功地适应了这些变化。在这样的变化过程中,逐渐形成了舰载机和航空母舰的各种特性,其中最重要的是能保证飞机在航空母舰上安全而有效地起降。舰载机和航空母舰已融为一体,舰载机的特性要求因航空母舰而定,航空母舰的特性要求也因舰载机而定。两者结合就为航空母舰舰载机系统提供了优良的性能。

舰载机和陆基飞机本质上没有不同,作战效能也基本相同。最大的不同就是要求在航空母舰上降落。舰载机设计时要考虑的因素很多。当考虑进场和着舰任务时,必须细心研究对飞机和航空母舰的限制条件。航空母舰设计时,必须考虑的关键因素是:有限的着舰区域、阻拦性能、甲板风(WOD)的限制和光学助降系统(OLS)等;飞机设计的关键因素则是安全而有效的着舰,包括动力进场速度(V_{pa})、视场(FOV)、飞行品质(FQ)以及推进系统的性能和响应等。因此,飞机的结构配置(几何外形和重量)、飞行控制系统设计和发动机的选取都对保证安全而有效的着舰起着关键的作用。

新机正式定型前,政府项目管理部门都会谨慎地对飞机设计方案和概念研究进行风险评估。为了弄清舰载机安全有效着舰的性能和存在的风险的关系,美国海军航空系统指挥部采用了一系列设计规范,例如舰载机进场着舰规范,在此规范中,本文重点研究动力进场速度(V_{pa})预估准则,包括逃逸(bolter)和复飞(waveoff)性能准则。着舰规范是在联合作战规范指导(Joint Service Specification Guide)下进行定义的。这可参阅参考文献[1],本文的附录B对此进行了摘录。基于美国海军(USN)数十年的经验,美国政府项目管理部门和NAVAIRSYSCOM工程部门都使用CAC,以单独评估舰载机着舰阶段的风险。

CAC为飞机设计者提供了设计准则,从而可在设计阶段就能对飞机进场和着舰的性能作相应的评估。需要强调的是,设计过程中不能只考虑规范要求,其他任务要求也将和CAC同时考虑,这些要求包括飞机航程/作战半径、机动性、有效载荷、起飞甲板风(WOD)和其他一些操作性能要求。CAC产生于20世纪50年代,一直在不断完善^[1]。其中的规定也应用于联合作战飞机(JSF)的研制工程中,并也使用于工作模态规范中^[2]。

参考文献[1]定义了CAC,也为进一步定义动力进场速度(V_{pa})、逃逸和复飞性能提供了指导。联合作战规范指导(JSSG)以联合作战文档的形式,为制定JSF规范提供了框架和定义。由于联合作战规范指导(JSSG)只是宏观的指导,所以随着情况的改变,规范也会作相应的调整。这就是参考文献[2]中联合作战飞机的工作模态规范(JSFJMS)产生

的背景。工作模态规范(JMS)只规定了动力进场速度(V_{pa})、逃逸和复飞的性能,不能完全代表参考文献[1]中的性能指标。本文的主要目的不是评估 JMS,而是确定联合作战规范指导(JSSG)中的定义。因此本文考虑了 JSSG 和 JMS 的区别并进行了一些讨论。任何对 JSSG 中的 CAC 定义的改变都可能使联合作战飞机计划部(JSFPO)对 JMS 作相应的修改。但联合作战飞机工程和 JMS 之间并没有明确的建议关系。

联合作战飞机工程运用了通常的制造思想和设计方法,以便在提高打击能力、生存能力和支援能力的同时,实现廉价的、多功能的下一代战斗机的武器系统。联合作战飞机应有三种功能:一是具有美国空军(USAF)飞机传统的起飞和降落的功能;二是应有美国海军陆战队(USMC)和英国(UK)飞机的短距起飞和垂直降落的功能;三是应能在航空母舰上着舰。由于联合作战飞机有独特的多种设计要求,及重量限制,所以在设计过程中应对舰载机进场规范的使用和适应性提出更多要求。尤其当规范限制了飞机设计的可选择性时,规范的相关性和适合性自然会遭受质疑。这些可选择性包括采用全数字的电传/光传飞控系统,它涉及到推力控制,上述技术可以进行裁剪,以便改善航空母舰的进场与着舰性能。

随着技术的发展和成熟,为了确认这些规范是不是仍然适用,在联合作战飞机工程部和美国海军航空系统指挥部的赞助下,发起了相应的研究。研究的目的是确认舰载机进场规范中哪些内容可以修改,使在不增加工程风险的前提下,增加设计空间。根据该要求,美国海军航空系统指挥部还把与此项目有关的学科及工程开发单位组织起来,共同对该项目进行开发研究。

本文的研究任务包括:

(1) 对参考文献 1 中的 CAC 进行分析。

(2) 对 CAC 的发展历史进行回顾。

(3) 对 CAC 各个组成部分进行研究。

(4) 确定 CAC 的相关性和适合性。

(5) 基于空气动力学、机械工程、推进系统,及电子技术今后的发展,评估 CAC 在哪些方面可以作适当的改变或进行放宽。

由于工作异常复杂,而研究力量又有限,故只能着重研究几种状态。本文仅给出 I 阶段下的研究成果。但也描述了 II 阶段的研究范围,并提出了后续的研究计划,以有助于进一步完善并改进舰载机进场规范。研究成员见附录 A。

1.2 研究目的

本报告将给出工程部门与政府部门联合研究下 I 阶段的研究成果,据此即可评定在参考文献[1]中定义的舰载机进场规范的相关性和适用性。

1.3 研究范围

本报告研究范围仅限于与舰载机进场规范相关的和在附录 B 中提及的领域。其实

还有其他的设计和工作因素会影响舰载机安全而有效的着舰。怎样确定这些因素以及如何评估它们和动力进场速度(V_{pa})、逃逸和复飞性能的相关性,我们也作了大量的工作。当考虑相关性时,再讨论这些因素。

1.4 研究报告的组织结构

本报告以章节形式编排。首先第1章是概述,然后第2章简述了舰载机进场规范的有关历史,阐述了CAC的早期研究人员所提出的规范研究目的和发展方向。第3章讨论了需求分析的过程以及政府与工程部门的职责,从而对CAC的适用性进行评价。第4章叙述了舰载机研制工程中设计者和使用人员所遇到的问题。第5章对CAC进行了总的评述。包括它的定义、制定方法,并根据已有的数据,按CAC对飞机进行了性能测试评定。第6章评定了CAC,着重评定了着舰时CAC的相关性和适用性。第7章和第8章分别叙述了航空母舰进场规范的另一可选方案及相应的要求。第9章给出了结论和建议。报告最后还给出了一系列的附录,以供未来研究参考。

1.5 研究方法

1.5.1 概述

本报告对研究、仿真和分析三方面工作进行评定。为了进一步理解CAC,本文回顾了CAC从第二次世界大战至今的发展历史,从而为评定CAC的应用,制定CAC的重要依据以及评定CAC的局限性打下坚实的基础。为了比较现代舰载机规范和传统舰载机规范,运用CAC对很多机型进行了评估,这样可了解规范在预估动力进场速度(V_{pa}),逃逸和复飞性能三方面的综合能力。通过对舰载机动力进场的事故率的回顾,可以评定动力进场速度(V_{pa})和安全性之间的关联。另外,涉及到舰载机进场环境的分解时,设计人员必须评估和定义有关进场的特性,以保证可接受的性能。这样可利用现有的仿真工具和设施,对人工着舰时的准则参数进行评估。这一工作有助于对规范进行修改,同时也使我们更深刻地理解规范对进场过程的影响。工程部门还提供了联合作战飞机设计的商业研究,以评估飞机结构对CAC的影响。总之,这些研究给评估CAC的相关性和适用性提供了必要的信息和数据,为舰载机将来的发展打下了基础。

1.5.2 历史回顾

首先搜集了大量有关舰载机进场环境的报告,其中有美国海军(USN)报告,美国国家航空航天部(NASA)报告和一些工程技术报告。通过与报告的作者和参与测试的飞行人员的交流,使我们获得更多的信息。搜集到的文献展示了CAC的发展历史。文献还说明了美国海军在未来的项目中对CAC进行改进的目的和原因。从历史回顾的角度,可以理解为什么采用CAC,以及怎样发展和改进它。这样就可得出规范的制定前提和局限性,有助于评估规范的相关性和适用性。由搜集到的文献可知本文作者对CAC发展历史的理解。本文的研究力求使CAC的历史具体化。然而,由于本文对舰载机发展历史没有全