

美国典型军用飞机项目成本增长原因分析

Analysis of Cost Growth Reasons for U.S. Typical Military Aircraft Project

但星亭¹ 张海涛^{2/1} 中航工业西安航空计算技术研究所 2 中国航空工业发展研究中心

摘要: 作为美国典型的军用飞机研制项目, F-35战斗机、AH-64直升机和“全球鹰”无人机项目备受经济可承受性的困扰。本文概述了美国F-35战斗机、AH-64直升机和“全球鹰”无人机项目成本增长的情况, 并对成本增长的原因进行了分析, 总结了影响军用飞机成本的主要因素。

Abstract: As typical military aircraft development projects, projects of those F-35 fighter, AH-64 helicopter and Global Hawk UAS have suffered affordability problems. This paper outlined cost growth scenarios for those projects, and analyzed the reasons for increasing cost, and summed up the main factors for impacting the increasing cost of military aircraft.

关键词: 军用飞机; 成本增长; 经济可承受性

Keywords: military aircraft; cost increasing; affordability

0 引言

近年来, 世界各国军用航空装备的成本增长迅猛。自2001年进入型号研制阶段至今, F-35战斗机的单机成本几乎翻了一番, AH-64直升机的单机采购成本也增长了将近26%; “全球鹰”无人机项目也因为成本暴涨而面临裁减的境地。本文以F-35战斗机、AH-64直升机和“全球鹰”三个军机项目为例, 分析了其成本增长的原因, 总结了影响军用飞机型号成本的主要因素。

年F-22科研样机正在生产中, 该型机的采购成本也只是假设数据, 后来F-22采购成本也出现了增长的情况, 也推高了F-35项目采购成本的估算结果, 其中14架科研样机的研制费预算为344亿美元(2002年币值, 以下如

表1 F-35项目投资与采购数量动态表格

	2001年10月 (项目启动)	2003年12月(04年重新规划)	2007年3月 (批准的基线)	2010年6月 (纳恩·迈克科迪法案)	2012年3月 (批准的基线)
预期数量					
研发数量	14	14	15	14	14
采购数量(仅美国)	2852	2443	2443	2443	2443
总数量	2866	2457	2457	2457	2457
费用估算(当年币值, 亿美元)					
研制费	344	448	448	518	552
采购费	1966	1998	2317	3251	3357
配套建设	2	0.2	2	5.6	4.8
项目总费用	2330	2448	2785	3825	3957
单位费用估算(当年币值, 亿美元)					
项目采办费用(PAUC)	0.81	1	1.13	1.56	1.61
平均采购费用(APUC)	0.69	0.82	0.95	1.33	1.37
预计交付与生产日期					
首架生产型飞机交付	2008	2009	2010	2010	2011
具备初步作战能力	2010-2012	2012-2013	2012-2015	待定	待定
进入批产阶段	2012	2013	2013	2016	2019

1 F-35战斗机项目

1.1 项目概况

F-35联合攻击战斗机项目的概念验证阶段启动于1995年8月, 首架验证机于2000年9月首飞, 试飞工作于2001年8月完成。F-35的型号研制工作于2001年10月开始, 当时美军根据F/A-18E/F和F-22的历史数据, 采用参数模型法, 为型号阶段的科研与采购经费需求制定了预算。2001

没有特殊说明,均采用2002年币值);2852架生产型飞机的采购费预算为1966亿美元,平均采购成本(Average Procurement Unit Cost, APUC)为6900万美元,而项目采办(科研+采购, Program Acquisition Unit Cost, PAUC)的平均成本为8100万美元。而截至2012年年底,该项目已经先后4次因为成本超支而违反了“纳恩-迈克柯迪(Nunn-McCurdy)法案”。最近一次发生在2010年6月,美国国防部向国会通报F-35项目超支严重,已经达到了Nunn-McCurdy法案的关键违规行为,其中APUC增长超过58%,PAUC增

长也超过了57%,而美军的采购数量也从原来的2852架削减到了2443架,详见表1。

项目成本的第一次明显增长发生在2002-2004年间,主要原因是美国海军削减了400架的采购数量,同时第一架样机出现了超重以及其他一些设计问题。项目成本的第二次明显增长发生在2008-2009年间,主要原因是美国国防部重新对项目经费进行了估算,认为该项目经费大幅超支已经是不争的事实,详见图1。

而从预算与拨款情况的对比可以发现,F-35项目投资比较稳定,出现

差异的主要原因是增加了对备选发动机F136的投资。其中,2005年和2006年的实际拨款比预算低,主要原因是2004年重新规划了研制进度安排,以及为了降低关键设计评审(CDR)前的技术风险;2007-2010年的实际拨款比预算高,主要原因是美国政府追加了F136发动机的投资,详细数据见图2。

1.2 项目成本增长原因分析

关于F-35项目成本超支的原因,除了美国兰德公司开展了一系列跟踪研究之外,美国国防部分别在2008年和2009年组建了联合估算团队(JET I/II),从重量与设计问题、采购数量的变化、材料与人工成本的变化等因素影响该项目经费的因素进行了综合比较分析。分析结果表明,该项目出现成本超支的原因主要是项目技术与费用基线的设定以及项目实施等方面的问题。

对于跨代飞机来说,尤其是F-35战斗机采用了三军通用机体及部件、垂直起降等新技术,在设定项目基线时对经费与进度的预计过于乐观,特别是项目进度比F-22项目还要激进。按照F-35项目最初的基线,从研制开始到具备初始作战能力时,研制周期为117个月,比F-22项目少55个月;而到研制结束时,研制周期要比F-22项目少24个月。同时,不成熟的技术较多,造成了技术风险较大。尽管隐身、超声速巡航、垂直起降和舰载等技术在其他飞机型号上得到了验证,但隐身技术、超声速技术和垂直起降与舰载技术等多技术集成是一项全新的挑战。其中,最难解决的是飞机的重量问题。在常规飞机上,当出现超重的情况时,设计人员可以采取一系列的措施来进行优化设计,但是对于垂直起降型F-35B来说,唯一可以优化的是重量与推力之间的关系。例如,增加发动机的推力,并加大发动

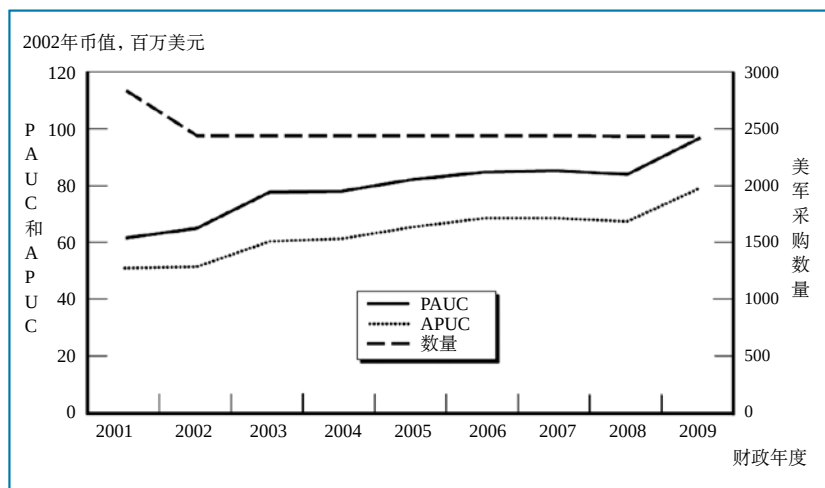


图1 F-35项目成本变化情况

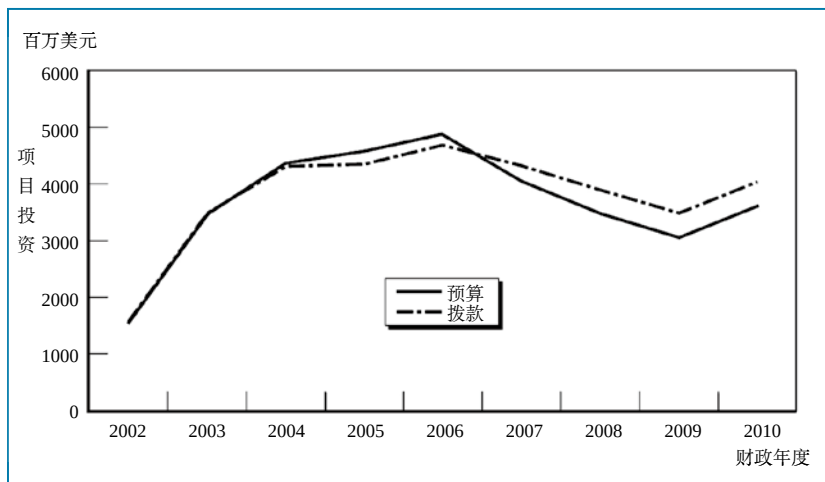


图2 F-35项目经费预算与拨款之间的差异

机进口流量,但这势必会增大发动机的尺寸,从而影响整架飞机的气动性能与隐身性能,进而机体布局要求重新设计,但是这些技术在验证机阶段并没有得到充分验证,从而造成型号阶段的研制进度大大拖延。

项目实施方面,项目最初的研制重点是美国空军的常规起降型F-35A,旨在尽快替换F-16战斗机,从而并不十分关注垂直起降型F-35B的升力风扇技术和常规起降型F-35A外挂油箱技术的可行性。但是按照飞机研制经验,应首先解决的是最难攻关的关键技术,即应率先突破F-35B的关键技术,而主承包商洛克希德·马丁公司并没有这么做。另外,F-35型号阶段启动时,洛克希德·马丁公司预计三型机体通用化可以节约设计和工装等费用,这对节约项目经费至关重要,但是研制过程中发现原本预计的三型通用化程度并不能实现,从而造成了项目后来的重新设计,这不仅拖延了研制进度,而且大大增加了项目成本。

2 AH-64 Block III直升机项目

2.1 项目概况

AH-64 Block III(AB3)是由美国陆军进行的AH-64D“长弓阿帕奇”直升机升级的项目,项目旨在提高AH-64D的性能、环境感知能力、杀伤力、生存性和互用性,并降低维修费用。该项目工作启动于2006年8月,当时美军制定了597架(5架科研批次+592架生产批次)的平均单机成本为922.5万美元(2006年币值,下文相同)。仅仅4个月,美国陆军的采购架数量就调整为634架,较2006年的最初基线增加了37架,使得项目经费增加了5.787亿美元,而平均的单机成本也增长到960万美元,其中生产批次的平均单机成本增长至1113.9万美元。

但到了2009年底,美国国防部报告称该项目成本与2007年最新基线超支明显,达到了纳恩·迈克科迪法案的关键违规行为,其中APUC增长了31.16%,PAUC增长了25.48%,其主要原因是采购数量在634架的基础上新制造56架,而这56架几乎是全新制造,且机体寿命较原来大大提高,详见表2。

其中,提高机体寿命需增加设计费0.89亿美元;56架新机采购费需增加

21.51亿美元;项目管理与系统工程经费需增加1.36亿美元;相关的材料费包括传动功率提高20%的传动系统需增加0.97亿美元(最初估算值为2.35亿美元),复合材料主旋翼需增加0.22亿美元(最初估算值为2.04亿美元),起落架减震支柱需增加0.86亿美元;人工成本增加0.18亿美元。合计项目经费增加约25.94亿美元。

2.2 成本增长原因分析

该项目出现严重超支问题的原因主要是增加了58架全新制造的飞机以及技术状态的变化。其中技术状态的变化主要包括:

1) 传动系统

立项时,在V-22直升机传动系统的基础上估算出该系统的经费需求为2.35亿美元,但后来AB3的传动系统采用了平面齿轮传动技术,即采用分离式扭矩方式将两台发动机的功率输出轴集成到一个轴上,而且还不增加传动系统的重量,这使得经费需求比立项时增加了0.97亿美元。

2) 复合材料主旋翼桨叶

AB3直升机的复合材料主旋翼桨叶的设计目标是提供额外的升力,从而

表2 AB3项目违反Nunn-McCurdy法案的情况

成本基线	目前估算值 (2009年底)	成本超支违规情况					
		超过成本 基线情况	超支比例	违规程度	数量基线	最新数量 (2009年SAR)	成本超支原因
APUC, 9.6 (2007年基线)	APUC, 12.591	超过2007年 现有基线	APUC, +2.991 (31.16%)	关键行为	639 (研制+采购)	695(采购策略发生变化,在原来的634架的基础上新制造56架)	升级的634架飞机只有30%的新变化,而新制造的56架飞机几乎是全新的,而且机体寿命也较原机型大大提高。
PAUC, 11.139 (2007年基线)	PAUC, 13.977		PAUC, +2.838 (25.48%)	关键行为	634(采购)	690	
APUC, 9.225 (2006年基线)	APUC, 12.591	超过2006年 最初基线	APUC, +3.366 (36.49%)	严重行为	597(研制+采购)	690	

提高飞机的飞行性能。2003年,主承包商波音公司宣称AB3的复材主旋翼桨叶比现役的桨叶的成本可以降低25%,同时使用寿命可以提高2倍。但AB3项目立项时对该桨叶的经费估算采用的是类比法,基本对象却不是复合材料桨叶,方法上的错误是造成后来该桨叶经费需求增长0.22亿美元的主要原因。

3) 高性能减震支柱

AB3直升机是对Block II的升级,制造商对其高性能减震支柱的阀门进行了重新设计,为AB3提供更强硬的着陆能力,并且可以降低重量。但是在AB3项目立项时进行的项目经费需求测算时,没有考虑这一变化,使得项目经费需求增加0.81亿美元。

3 “全球鹰”无人机项目

3.1 项目概况

经过了先进概念技术验证(ACTD)计划中一个成功的演示验证之后,“全球鹰”无人机项目在2001年3月进入了型号采办阶段。最初的项目经费是53.94亿美元,用于制造63架无人机飞行平台和14个地面站,最初基

线中的投资计划如图3所示。

2002年3月,为了同时研制RQ-4B,美国国防部对“全球鹰”项目进行了调整,决定研制并采购51架无人机飞行平台和10个地面站,项目总经费调整为68.466亿美元。2003年3月,美国国防部第二次对该项目进行了调整,只在部分RQ-4B上集成多任务能力,项目总经费从68.466亿美元降至58.149亿美元,减少了10.317亿美元,主要原因是作战需求和能力的降低。2004年3月,美国政府问责办公室(GAO)对“全球鹰”项目的费用风险问题进行了评估。评估报告指出,该项目的研制费用已经从最初计划的9.062亿美元增至25.879亿美元,增长了近三倍,其主要原因是RQ-4A/B的并行研制。项目总经费由2003年第二次项目调整时的58.149亿美元增至62.809亿美元。同时,PAUC由项目启动时的8560万美元暴涨至1.232亿美元,增长了近44%,违反了Nunn-McCurdy法案。由于采购数量从63架削减到51架,且因通货膨胀,计划压缩,削减了未来9年的采购活动,所以从项目启动以后APUC估算值有所下降。表

3显示了2001年3月~2004年3月“全球鹰”项目的成本变化。

而经过两次项目调整之后,“全球鹰”项目的投资强度计划也发生了较大变化:研制周期由7年延长至12年,且研制费用明显增加;采办周期由最初的20年缩减为11年;将资金投入占到飞机总数近半的改进型RQ-4B中,造成某些年份的经费需求增至原来的三倍之多。而2006年违反纳恩·迈克科迪法案之后,“全球鹰”项目在2007年重新设定了采办项目基线,这已经是该项目采办启动以来第五次修改基线了。新的基线内容主要包括:1)采购数量由51架增至54架;2)采办单位成本由5700万美元增至9000万美元。

3.2 成本增长的原因分析

通过对“全球鹰”项目成本变化情况的综合分析,截至2010年时,其项目经费增长的主要原因如下:

- 采用的技术不够成熟:设计更改较多,设计、工程、制造和技术集成的问题较多;
- 对成本和进度的基线的错误估计:传感器成本增加、飞机延迟交付、机体成本增加;
- 不现实的性能预期:需求增加;
- 项目经费投入不充分或不稳定;
- 采购的批次中,费用更高的批次30和批次40的比例升高;
- 采购数量的变化较大,生产速率较低,诺斯罗普·格鲁门公司认为年产量12架时才能保证成本降低;
- 对传感器、初始备件的费用基线不断进行修正,保障需求和初始备件增加;
- 验收试验和任务保障费用

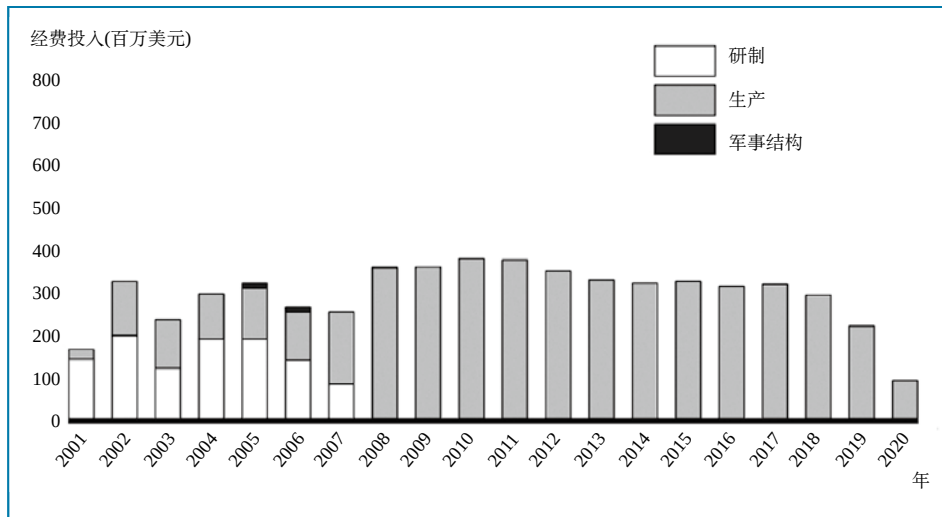


图3 “全球鹰”项目最初的投资强度计划

表3 “全球鹰”项目计划的经费、数量和单位成本

	2001年3月 (初始计划)	2002年3月 (首次调整)	2003年3月 (第二次调整)	2004年3月 (GAO审计)
总成本(当年币值,百万美元)				
研制	906.2	2311	2395.6	2587.9
采购	4459.8	4388.9	3278.5	3552.2
军事结构	28	146.7	140.8	140.8
总项目	5394	6846.6	5814.9	6280.9
数量				
飞机飞行平台	63	51	51	51
地面站	14	10	10	10
单位成本				
总项目	85.6	134.2	114	123.2
采购	70.8	86	64.2	69.6

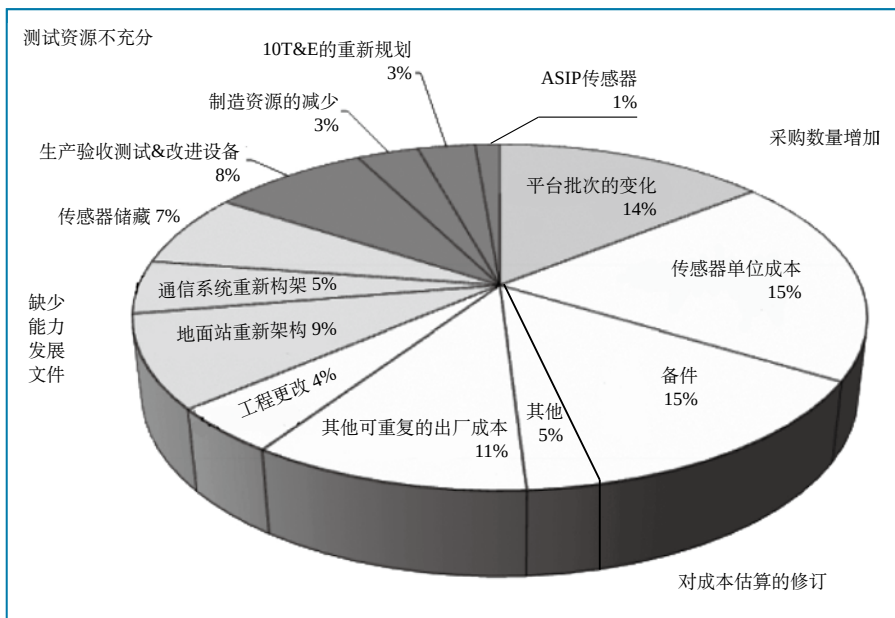


图4 “全球鹰”项目经费超支的影响因素权重

增加；

- 项目管理人员的水平不足；
- 测试资源不足。

通过对美国国防部、GAO、CAPE和“全球鹰”项目办公室等机构发布的采办报告的综合分析,做出了各种影

响项目采办经费的因素的权重分配比例,如图4所示。

4 结束语

从本文对美国F-35战斗机、AH-64直升机和“全球鹰”无人机等三个项目的

经费增长情况及原因的分析可以发现,造成大型武器装备经费增长或超支的主要原因是新技术的采用以及立项时对解决这些新技术所需经费的估计不足,同时立项时对未来可能会出现的设计反复估计不足以及研制过程中增加新的研制内容也是重要的影响因素。

在型号研制前的演示验证阶段或相关的预研工作中对新技术进行充分的试验验证,以避免在型号阶段出现设计反复是控制项目经费增长的有效手段之一。同时,在型号立项阶段进行经费预测时,还应考虑未来可能出现的新的研制内容,充分考虑各个状态之间的差别,也是防止大型武器装备未来经费增长的途径。

AST

参考文献

[1] National Defense Research Institute. Root Cause Analyses of Nunn-McCurdy Breaches, Volume 1; Zumwalt-Class Destroyer, Joint Strike Fighter, Longbow Apache, and Wideband Global Satellite[R]. 2011.

[2] Methodologies in Analyzing the Root Causes of Nunn-McCurdy Breaches, 2012.

[3] United States Government Accountability Office. Assessments of Selected Weapon Programs[R], 2003~2013.

作者简介

但星亭,工程师,主要从事科研计划管理工作。

张海涛,工程师,主要从事军用飞机与无人机系统全寿命周期费用研究。