



飞机设计技术丛书

SIMULATION AND ANALYSIS OF
**CARRIER BASED AIRCRAFT
CATAPULTING AND ARRESTING LOADS**

舰载机拦阻弹射载荷 仿真分析

罗延生 主编



航空工业出版社

014006751

V271.4
92

舰载机拦阻弹射载荷仿真分析

主 编：罗延生

副主编：杨卫平 冯蕴雯



航空工业出版社

北 京



北航

C1693806

V271.4
92

127300310

内 容 提 要

弹射起飞和着舰拦阻是舰载固定翼飞机在航母上起降过程中的两个非常复杂和危险的过程,本书以这两个过程为研究对象,对弹射起飞和着舰拦阻的工作原理、载荷计算方法及动力学仿真分析方法进行了阐述。本书是根据编者在多年的动力学研究和实际工程应用中积累总结的经验和资料编著而成。文中重点对弹射起飞载荷和着舰拦阻载荷的分析方法进行了介绍,并力求做到深入浅出。

本书可作为航空工程技术人员的设计参考用书,也可供高等院校航空设计专业高年级学生及研究生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

舰载机拦阻弹射载荷仿真分析 / 罗延生主编. -- 北京: 航空工业出版社, 2013. 9

(飞机设计技术丛书)

ISBN 978-7-5165-0238-9

I. ①舰… II. ①罗… III. ①舰载飞机—拦阻装置—载荷分析②舰载飞机—弹射动力装置—载荷分析 IV. ①V271.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 198570 号

舰载机拦阻弹射载荷仿真分析

Jianzaiji Lanzu Tanshe Zaihe Fangzhen Fenxi

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: 010-64815615 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2013 年 9 月第 1 版

2013 年 9 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 9.75

字数: 220 千字

印数: 1—1500

定价: 38.00 元

《舰载机拦阻弹射载荷仿真分析》

编 著 人 员

主 编 罗延生

副 主 编 杨卫平 冯蕴雯

编写人员 (按姓氏笔画顺序)

冯蕴雯 刘天兴 刘成玉 杨卫平 罗延生

郭圣洪 潘文廷 薛小峰

前 言

航空母舰(航母)作为一个供舰载机在海上起降的平台,因其使用空间有限,舰载机在舰上需要采用特殊的起降方式。从目前航母的发展趋势来看,弹射起飞和拦阻着舰是舰载机主要采用的起降方式。这种起飞和着舰方式都是利用航母上的特殊装置,使舰载机在短时间、短距离内能够迅速加速至起飞速度或者迅速由飞行状态降至停机状态。在这两个过程中,舰载飞机都需要承受几倍于陆基飞机的过载,而且这些过载在舰载机的每次起飞和着舰过程中都会出现,不可避免。这样一来,弹射起飞和着舰拦阻就成了舰载机设计必须考虑的主要载荷情况。另外,在弹射起飞和着舰拦阻过程中,舰体运动、海洋环境等因素也对飞机过载有直接的影响。这些因素的增加,使舰载机的舰面受载情况变得更加复杂。因此,弄清楚舰载机在弹射起飞和着舰拦阻过程中的载荷变化情况,就成了舰载机设计前必须完成的一项研究内容,也是舰载机设计顺利开始的前提和关键。

本书针对舰载机弹射起飞与着舰拦阻这两个复杂过程,采用数值分析和动力学仿真分析方法,对舰载机在这两个过程中的载荷变化情况和各影响参数的变化规律进行了深入研究,力求能够系统、完整地说明舰载机在弹射起飞和着舰拦阻过程中的受载情况。

全书共分14章。第1章为绪论,主要介绍了舰载机着舰拦阻及弹射起飞的基本概念。第2章至第6章为舰载机着舰拦阻载荷分析部分。其中,第2章着重介绍了舰载机着舰挂索动力学分析模型的建模过程,主要涉及舰载机着舰挂索后的纵向运动和俯仰运动数学模型;第3章主要构建了拦阻索弹性动力学分析模型,包括钩索冲击动力学分析、纵波反射与透射、索带分析模型及弯折波传递分析模型;第4章介绍了航母上液压阻尼装置的工作原理,建立了液压阻尼装置的数学分析模型;第5章则构建了综合考虑飞机、拦阻索及液压阻尼装置在拦阻过程中,各参数的时间历程数学模型,重点研究了弯折波在正撞、斜撞及偏心挂索时的弯折波传播过程;

第6章在前几章建立的数学模型的基础上,通过各模型之间的迭代关系,研究了拦阻钩载荷、飞机滑跑速度、滑跑距离、飞机航向加速度等主要参数在拦阻过程中随时间的变化规律,并与已有的试验数据进行了对比分析,验证了本书针对舰载机着舰拦阻载荷仿真分析所建立的整个数学模型的有效性及实用性。第7章至第14章为舰载机弹射起飞载荷分析部分。其中,第7章主要介绍了舰载机弹射起飞的基本原理及整个过程;第8章阐明了组成舰载机蒸汽弹射器的七大系统及其基本组成;第9章对蒸汽弹射器工作原理进行了分析说明,主要包括:蒸汽弹射器运行过程原理分析、弹射机系统蒸汽动力及液压控制部分的结构原理分析;第10章建立了舰载机蒸汽弹射器数学分析模型,包括蒸汽弹射物理过程、热力系、质量流及弹射起飞准备阶段、弹射起飞阶段的储汽罐、汽缸的数学分析模型;第11章及第12章分别建立了舰载机弹射起飞准备阶段和弹射起飞阶段的牵引释放装置数学模型及弹射起飞动力学分析模型;第13章以时间为迭代参量,在第10、第11、第12章所构建的数学模型基础上,考虑蒸汽弹射装置、舰载机和牵引释放装置三者之间的相互作用关系,建立了舰载机在弹射起飞准备、弹射起飞及自由滑跑阶段的动力学分析模型;第14章在工程案例分析的基础上,研究了舰载机航向加速度、速度、俯仰角等主要参数在弹射过程中随时间及冲程的变化规律。

本书在编写过程中,得到了许多从事设计工作的技术人员、研究人员的帮助和指导,对他们的辛勤付出,在此表示衷心的感谢。

本书涉及舰载机着舰拦阻及弹射起飞的最新成果,研究内容涵盖力学、热力学、流体力学等多个学科,涉及因素众多。为使本书的内容更加系统和完善,编者也查阅了大量的资料和文献,但由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2013年4月

符号说明

着舰拦阻部分

V_y ——下沉速度;

V_E ——啮合速度;

$V_{A/C}$ ——飞机水平速度;

V_w ——着舰最小甲板风速;

α ——迎角;

θ ——俯仰角;

γ ——相对甲板飞机下滑航迹角;

V ——飞机进场空速;

F_T ——发动机推力;

F_D ——气动阻力;

F_S ——舰面摩擦力;

F_L ——拦阻钩载荷 (拦阻力);

L_0 ——甲板宽度;

蒸汽弹射部分

φ ——机体俯仰角;

α ——拦阻钩拖曳角;

G ——舰载机重量;

ρ ——密度;

V ——体积;

q_m ——质量流;

γ ——水蒸气的绝热指数;

S ——发射阀的流通面积;

ν ——比体积;

μ ——流量系数;

U_i ——传热系数; (111)

T ——温度; (112)

P ——压强; (113)

$C_{\nu_{g,j+1}}$ ——定容比热容。 (117)

第12章 自由常压阶段舰载机起飞分析模型 (121)

12.1 自由常压阶段舰载机起飞分析模型 (121)

12.2 自由常压阶段舰载机起飞分析模型 (124)

第13章 综合考虑舰载机起飞分析模型 (126)

13.1 弹射起飞准备阶段分析模型 (126)

13.2 弹射起飞阶段分析模型 (127)

13.3 自由常压阶段分析模型 (128)

第14章 舰载机弹射起飞分析与仿真工程模型 (130)

14.1 主要分析参数 (130)

14.2 参数输入参数 (130)

14.3 舰载机弹射起飞仿真模型分析 (131)

14.3.1 舰载机主要参数在弹射过程中随时间的变化 (131)

14.3.2 舰载机主要参数在弹射过程中随时间的变化 (132)

参考文献 (141)

附录A 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

附录B 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

附录C 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

附录D 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

附录E 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

附录F 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

附录G 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

附录H 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

附录I 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

附录J 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

附录K 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

附录L 舰载机弹射起飞仿真模型 (141)

目 录

符号说明	(1)
第 1 章 绪论	(1)
1.1 舰载机拦阻着舰概述	(1)
1.2 舰载机弹射起飞概述	(3)
1.2.1 拖索弹射起飞过程	(4)
1.2.2 前轮拖曳弹射起飞过程	(5)
第 2 章 舰载机着舰挂索动力学分析模型	(8)
2.1 舰载机着舰挂索前运动分析	(8)
2.2 舰载机着舰纵向运动数学模型	(10)
2.3 舰载机着舰俯仰运动数学模型	(12)
2.3.1 舰载机机体俯仰角	(12)
2.3.2 拦阻钩拖曳角	(13)
2.3.3 舰载机俯仰运动分析	(16)
第 3 章 拦阻索弹性动力学数学分析模型	(18)
3.1 胡克定律推广	(18)
3.2 应力波推导	(19)
3.2.1 纵波波速	(19)
3.2.2 横波波速	(22)
3.3 钩索冲击动力学分析	(24)
3.3.1 弯折波波速	(24)
3.3.2 索应力	(26)
3.3.3 弯折角	(28)
3.4 纵波反射与透射	(31)
3.5 索带分析模型	(32)
3.6 弯折波传递分析模型	(33)
第 4 章 拦阻阻尼装置数学分析模型	(35)
4.1 液压阻尼转子式拦阻机系统组成及原理	(35)

4.1.1	系统组成	(35)
4.1.2	拦阻原理	(37)
4.2	液压阻尼转子式拦阻机阻尼计算模型	(37)
第5章	综合考虑飞机、拦阻索及阻尼装置的时间历程数学分析模型	(40)
5.1	着舰拦阻时间历程数学分析模型	(40)
5.2	不同着舰方式下弯折波传递过程分析	(40)
5.2.1	正撞弯折波传递过程分析	(42)
5.2.2	斜撞的弯折波传播过程分析	(46)
5.2.3	偏心挂索的弯折波传播过程分析	(49)
第6章	舰载机着舰拦阻载荷与仿真工程案例分​​析	(53)
6.1	主要分析参数	(53)
6.2	原始输入参数	(53)
6.3	正撞结果分析	(54)
6.3.1	拦阻钩载荷、飞机滑跑速度、滑跑距离、飞机航向加速度等 主要参数在拦阻过程中随时间的变化规律	(54)
6.3.2	甲板拦阻系统的参数影响分析	(55)
6.4	斜撞结果分析	(60)
6.4.1	拦阻力、加速度等随时间变化规律分析	(60)
6.4.2	不同偏航角对结果的影响分析	(61)
6.5	偏心挂索结果分析	(64)
6.5.1	拦阻钩载荷、飞机滑跑速度、滑跑距离、飞机航向加速度等 主要参数在拦阻过程中随时间的变化规律	(64)
6.5.2	不同偏心距对结果的影响分析	(67)
第7章	蒸汽弹射起飞基本原理	(70)
第8章	蒸汽弹射器组成	(72)
8.1	蒸汽系统	(72)
8.2	弹射机系统	(72)
8.3	液压系统	(73)
8.4	润滑系统	(74)
8.5	张紧系统	(75)
8.6	复位与驱动系统	(75)
8.7	弹射控制系统	(75)

第9章 蒸汽弹射器工作原理分析	(77)
9.1 蒸汽弹射器运行过程原理分析	(77)
9.2 弹射机系统蒸汽动力部分结构原理分析	(78)
9.2.1 发射阀组件	(78)
9.2.2 喷气/排气单元	(79)
9.2.3 排气阀组件	(80)
9.2.4 开槽汽缸	(81)
9.2.5 活塞与滑车	(81)
9.2.6 前起落架连接组件	(82)
9.2.7 水力制动装置	(83)
9.3 弹射机系统液压控制部分结构原理分析	(83)
9.3.1 发射阀控制系统	(84)
9.3.2 排气阀控制系统	(87)
第10章 蒸汽弹射器数学分析模型	(89)
10.1 蒸汽弹射物理过程	(89)
10.2 热力系	(91)
10.3 质量流	(92)
10.4 储汽罐数学模型	(94)
10.4.1 弹射起飞准备阶段	(94)
10.4.2 弹射起飞阶段	(97)
10.5 汽缸数学模型	(98)
10.5.1 弹射起飞准备阶段	(98)
10.5.2 弹射起飞阶段	(100)
第11章 牵引释放装置数学模型	(104)
11.1 牵引释放装置介绍	(104)
11.1.1 牵引装置	(104)
11.1.2 释放装置	(104)
11.2 牵引释放装置工作原理概述	(105)
11.2.1 弹射起飞准备阶段	(105)
11.2.2 弹射起飞阶段	(106)
11.3 牵引释放装置数学建模	(109)
11.3.1 牵引装置力学方程	(109)
11.3.2 释放装置力学方程	(109)
第12章 舰载机弹射起飞动力学分析模型	(111)
12.1 舰载机弹射起飞动力学过程概述	(111)

12.2	舰载机弹射起飞动力学分析基本假设	(111)
12.3	蒸汽弹射作用阶段舰载机动力学分析模型	(112)
12.3.1	舰载机弹射起飞准备阶段分析	(112)
12.3.2	弹射起飞阶段舰载机纵向运动数学模型	(113)
12.3.3	弹射起飞阶段舰载机俯仰运动数学模型	(117)
12.4	自由滑跑阶段舰载机动力学分析模型	(121)
12.4.1	自由滑跑阶段舰载机纵向运动数学模型	(121)
12.4.2	自由滑跑阶段舰载机俯仰运动数学模型	(124)
第13章	综合考虑蒸汽弹射器和舰载机的时间历程数学分析模型	(126)
13.1	弹射起飞准备阶段分析模型	(126)
13.2	弹射起飞阶段分析模型	(127)
13.3	自由滑跑阶段分析模型	(128)
第14章	舰载机蒸汽弹射起飞载荷与仿真工程案例分析	(130)
14.1	主要分析参数	(130)
14.2	原始输入参数	(130)
14.3	舰载机弹射起飞仿真结果分析	(131)
14.3.1	舰载机主要参数在弹射过程中随时间的变化	(131)
14.3.2	舰载机主要参数在弹射过程中随冲程的变化	(138)
参考文献		(141)

第1章 绪 论

舰载机在航空母舰上的起降是一项非常复杂和危险的飞行过程，它必须遵守一套非常严格的操作流程，弄清楚这些流程，是了解舰载机在舰面起降过程中的受载状态，进行起降动力学分析的前提，这可以使设计和分析工作做到有的放矢。

1.1 舰载机着舰拦阻概述

现代喷气式舰载机的着舰速度为 $200 \sim 300\text{km/h}$ ，如果不经过拦阻，飞机着舰后至少要滑行上千米才能停下来，而一般航空母舰着舰区的飞行甲板长度只有 $200 \sim 300\text{m}$ ，所以需配置拦阻装置。航母拦阻装置是实现舰载机在飞行甲板有限长度内安全着舰的特种重要设备。拦阻装置分为拦阻索装置和拦阻网装置。在国外搭载固定翼舰载机的现役航母飞行甲板上，着舰区布置着 $3 \sim 4$ 台液压缓冲式拦阻索装置，其中尾向第一根拦阻索距舰艏约 55m ，然后向舰艉方向每隔约 14m 布置一根拦阻索；一般在第 3 与第 4 根拦阻索之间设置一部拦阻网装置，拦阻网装置仅应用于当舰载机拦阻钩放不下、拦阻钩损伤或舰载机受伤、燃油不多而无法复飞及其他非正常着舰情况下的应急拦阻设备。拦阻网网带只能使用一次，并且在拦阻过程中会对舰载机造成一定的损伤；而拦阻索装置可以重复使用多次。舰载机拦阻示意图如图 1-1 所示。



图 1-1 舰载机拦阻示意图

一般固定翼舰载机在执行完作战任务之后，需要返回航母。为安全着舰，须经过航母上的着舰引导官通过光学助降装置或全天候电子助降装置引导舰载机沿正确而稳

定的下滑航线着舰,以使舰载机拦阻钩能钩住第2或第3根拦阻索;除了舰载机沿正确的着舰下滑线之外,还须准确对中,使舰载机拦阻钩与拦阻索的啮合位置正好在拦阻索的中间且拦阻钩运动速度方向垂直于拦阻索。

在舰载机着舰之前,舰载机飞行员须向航母上的着舰引导官或主飞行控制室的飞控官联系并通报将要着舰的舰载机型号和重量^①,以便对拦阻装置的工作参数进行必要的调整,为舰载机着舰安全拦阻做准备,同时也便于引导官或飞控官判断舰载机是否适合着舰,也就是说要判断舰载机的重量和着舰速度所构成的着舰动能是否小于拦阻装置的最大可吸收能量。在应急情况下舰载机飞行员可以要求以应急拦阻网形式进行着舰。

在舰载机拦阻钩钩住拦阻索的一瞬间,即开始了舰载机的真正拦阻过程,一般现役航母上舰载机的拦阻冲程距离(即从挂钩到舰载机停止)约100m,拦阻过程历时3~4s。舰载机在拦阻终点停止之后由航母舰面人员将拦阻索从拦阻钩上脱卸下来,并将舰载机引导至停机区停放,同时拦阻索复位,准备迎接下一架舰载机的着舰。最理想的着舰拦阻状态是舰载机拦阻钩、主起落架三点同时着舰,在实际情况下由于着舰引导和飞行员着舰技术或拦阻钩触舰弹跳等原因存在着拦阻钩可能钩不上任何一根拦阻索的现象,因此一旦舰载机触舰,飞行员须加大发动机油门,以应对拦阻失败而采取着舰复飞的措施。

采用拦阻网应急拦阻过程,大致与拦阻索过程一样,所不同的是准备阶段须在第3与第4根拦阻索之间设置一部拦阻网,对中撞网前须关闭发动机,由于拦阻网装置的主体吸收能量的部件仍为拦阻机,同时由于拦阻网带的韧性,拦阻过程冲程和时间要稍长些。舰载机冲进拦阻网时一旁待命的消防车迅速靠近舰载机,喷出防火剂,防止火灾的发生;同时救护小组迅速接近舰载机救出机组人员,航空医疗人员用升降机把救出的机组人员送进航母内的医院里。

从第1台拦阻装置诞生至今有90多年的历史。在此过程中,拦阻装置曾研究发展过重力型拦阻装置、摩擦刹车式拦阻装置、液力式拦阻装置、液压缓冲式拦阻装置、电磁式拦阻装置等,其中液压缓冲拦阻装置是目前所有现役航母上使用的唯一一种拦阻装置。

第一艘安装重力型拦阻装置的航母是“兰利”号,在两舷各竖立一个支撑塔以支撑重量,拦阻索通过一个八重滑轮组连接到十字头上,飞机钩索后将拦阻索拖出,从而带动重物沿支撑塔上升。重物的大小由飞机的重量和着舰速度确定。

MK2制动型拦阻装置是于1924年开始设计的,这种称为“诺登装置”的拦阻装置主要由缆鼓、制动系统、回收马达和弹簧缆索张紧器等组成,除张紧器外MK2型拦阻装置在甲板上面的设备与今天的液压拦阻装置十分类似。MK2制动型拦阻装置首次安装在“列克星敦”号航母上。

1930年,美国海军航空局在诺福克海军船厂在MK2的基础上设计并建造了第一台试验用液压型拦阻装置——MK3,并进行了试验。它基本上是现在用的拦阻装置的雏形。MK3型拦阻装置有几个基本特点:第一,允许缆索等长拉出,而且它还允许

^① 本书“重量”指“质量”概念,单位为kg。

对蓄能器进行设定和储存气压,以实现拦阻索张紧和快速收回。第二,取消了原装置上的马达,不再依靠该马达提供动力。1934年,首台MK3型拦阻装置安装到正在建造的“突击者”号航母上。后来,该型装置又安装到“列克星敦”号和“萨拉托加”号航母上。

与前几型拦阻装置比较,MK4型拦阻装置的拦阻能力更大,可以拦阻重量以及着舰速度更大的飞机。该型拦阻装置在第二次世界大战(二战)中大量使用,开始用在“列克星敦”号、“萨拉托加”号、“突击者”号、“约克城”号、“企业”号、“黄蜂”号和“大黄蜂”号等航母上。此外,大量的MK4型拦阻装置还安装在各航空试验站,同早期的弹射装置相配合用于训练驾驶员的弹射起飞和拦阻着舰技术。

二战初期,在使用MK4型拦阻装置时感觉到其能力明显不足,因为每天的正常着舰作业都要求该装置以最大额定能力工作。由于埃塞克斯级航母需要搭载当时最先进的飞机,所以要求有比MK4型拦阻装置能力更大的拦阻装置。MK5型拦阻装置的能力是MK4型能力的3倍,第1台MK5型拦阻装置在1944年10月安装到“本宁顿”号航母上,其余的航母也都安装了该型拦阻装置,一些早期的航母也都换了该型拦阻装置。

MK7型拦阻装置是装在攻击型航母上的设备。它供拦阻现代舰载机使用,是现代航母上的主要拦阻装置。MK7型拦阻装置的重要特点是其配备了定长冲跑控制阀,能使挂索的各型舰载机停在着舰甲板的指定区域;该型拦阻装置的另一个特点是安装了滑轮缓冲系统和钢索末端缓冲系统,从而解决了现代舰载机要求着舰挂索速度高而产生拦阻索和相关钢索工作张力过大、钢索松弛等问题。

1.2 舰载机弹射起飞概述

舰载飞机采用弹射起飞的方式,克服了舰载飞机自身动力不足的弱点,使其能以较大的起飞重量安全离舰,自飞机上舰以来一直是短距起飞的最佳选择。滑跃起飞方式出现后,曾经有观点认为战斗机的陆改舰采用滑跃起飞最为简单,但俄罗斯苏-33的发展实践却说明这种看法并非完全正确。现在人们意识到,陆基战机上舰采用弹射起飞更能达到改装的目的,只需要适当加强机身和起落架强度,并在相应结构上安装弹射受力牵引杆和拦阻钩就可以了。当然,这也要看采用何种弹射连接方式,若是拖索弹射,则改装较为简单,但如果是采用前轮拖曳弹射方式,则情况又有所不同。早期的舰载水上侦察机是通过一个弹射滑轮与机身连接的,而在二战前和二战后数十年时间中,舰载机从航母上弹射起飞一直采用的是拖索弹射。第二代舰载机上舰后,前轮拖曳弹射又逐渐代替了拖索弹射。前轮拖曳弹射方式是把弹射杆安装在前起落架上,以致舰载机的前起落架系统显得非常庞大,并成为舰载机付出结构增重代价的重要原因。

从弹射起飞技术发展的历史来看,可将弹射方式分为拖索弹射和前轮拖曳弹射。

两种弹射方式各有其特点。下文将对两种弹射方式的过程及其特点进行详细介绍。

1.2.1 拖索弹射起飞过程

拖索弹射起飞方式在舰载机刚出现时就开始运用,其过程可分为下面4个阶段,具体示意图如图1-2所示。

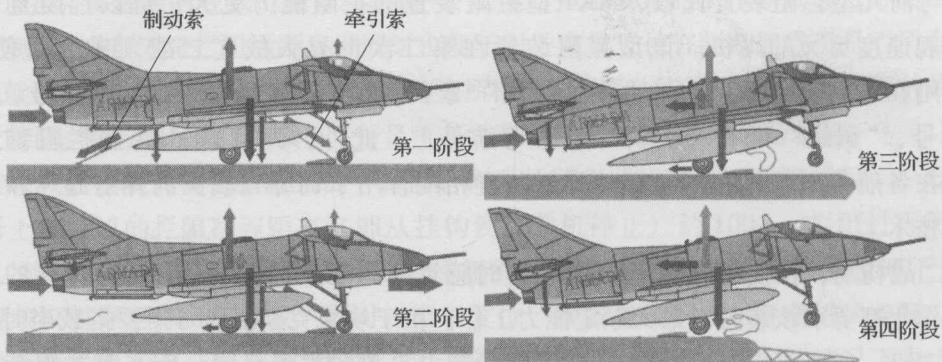


图1-2 拖索弹射起飞示意图

(1) 第一阶段: 弹射准备。当舰载机进入弹射位置后,挂索员先用制动索将飞机“拉住”,然后再用弹射牵引索把飞机与弹射器的弹射滑块连接起来。弹射员此时适当往弹射汽缸里放些气,推动弹射活塞稍微向前移动一些距离,就可以把飞机固定在弹射器上。此时飞机机身结构承受的力不但有前起落架和主起落架对飞机的向上的支撑力,同时还有弹射器弹射滑块上的拖索和制动索作用在飞机结构上的拉力。此时如果飞机结构不结实的话,机身会被拉成两节。如果飞机是开着发动机进入弹射位置,并且不停车,则还应考虑发动机的推力。

(2) 第二阶段: 弹射加速过程。为了达到最佳的加速过程,在即将开始弹射时,飞机的发动机通常是要开足马力,弹射操作员也将汽缸中的蒸汽压力进一步提高。这样,制动索和牵引索上所受到的拉力也将增加不少,机身受到的拉力也同样增加,起落架所承受的压力也随之增加。当弹射员按下弹射按钮时,汽缸中的压力迅速增加,弹射牵引索上的拉力也随着增加,而制动索上的定力拉断栓所能承受的拉力是有限的,达到一定值就会被拉断,于是飞机就在弹射器的强大弹射力和自身发动机推力的共同作用下开始向前加速滑跑。由于飞机加速滑行,轮子上就出现了阻力,同时机身上也因向前快速滑行而产生动阻力。弹射是一个时间不超过3s的短促加速过程,为了减轻飞行员负担和保险起见,平尾在弹射之前就已处于负迎角状态,和陆地起飞一样,机翼的各种升力装置也是打开的,因此升力也是随着速度的增加而加大的。弹射开始后,飞机后机身消除了牵引制动力,但弹射力产生的向下分力依然存在,因此前后起落架缓冲器一直是处于压缩状态。

(3) 第三阶段: 弹射结束前轮抬起。当弹射活塞运行到动力冲程尽头后,马上会冲入制动水槽中。当弹射力消失后,拖索自然脱落,被储存在前起落架缓冲器中的能量就释放出来,使起落架支柱伸长。平尾此时因速度的增加而产生很大的向下的负

升力,使得飞机抬头。

(4) 第四阶段:飞机离舰。当弹射行程结束后,飞机已经达到机翼能产生的足够升力以及由弹射力和发动机推力产生的速度使飞机离舰。此时起落架上承受的重力和摩擦阻力全部消失,空气阻力随速度的变化而增加。

弹射拖索作用在机身上的牵引力一般为舰载机起飞重量的3~5倍,而向下的弹射分力由于拖索相对于甲板有一定角度,因此也很大,故起落架承受的向下作用力要比机身重量大很多。在弹射过程中,飞机重心位置保持不变,发动机的推力相对于机身方向也是不变的,而主起落架在重心之后,这样飞机滑跑时主起落架向上支撑力就将阻止飞机抬头。当舰载机重载起飞时,情况会更严重,其结果是飞机在弹射结束后并不能马上抬头,不利于舰载机的起飞。

1.2.2 前轮拖曳弹射起飞过程

现代舰载机通常采用前轮拖曳弹射方式,这种弹射方式的特点是把弹射挂点和制动点设置在前起落架上,因此在弹射第一阶段机身受力与拖索弹射有所不同,主要是机身不存在弹射挂点和制动点之间的拉力。从早期喷气机的上舰实践看,如果采用拖索弹射方式,则陆基飞机上舰主要的改动就是加强机身的下部结构,但如果采用前轮拖曳弹射方式,就会引起前机身结构的重新设计和重心配置问题,因此战斗机陆改舰的改装难度实际上是通过前起落架的改进体现出来的。



图1-3 前轮拖曳示意图

那么,究竟是什么原因使得前轮拖曳弹射最终取代了拖索弹射呢?

作为一种帮助舰载飞机加速的装置,弹射器为了能有效地把大量的能量(电能、蒸汽机能等)转化成舰载机的动能,就必须通过一种传力方式把飞机与弹射器连接起来,而这个传力过程的时间又非常短暂,因此舰载机与弹射器之间的连接方式就成为弹射器设计的重要环节。上文中已经对拖索弹射过程做了描述,下面将对前轮拖曳弹射方式进行详细介绍。1964年,美国海军在A-6舰载攻击机上试验了一种新型的弹射器连接方式,这种被称为前轮拖曳弹射方式的特点是:舰载机的弹射承力点和制动承力点都设置在前起落架支柱上,即在前起落架支柱前面装有可收放的弹射杆,弹射器的弹射滑块上对应设置了一个供弹射杆搭接的凹槽,前起落架的后面则设置一个