

舰载机着舰引导与控制

南京航空航天大学
2007.3



一、概述

- 舰载机的定义

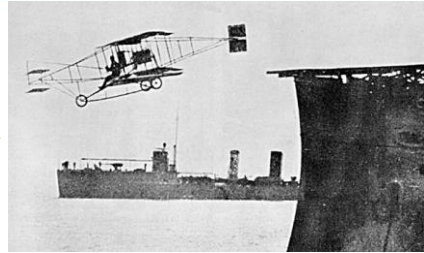
以航空母舰或特殊舰只为起落基地的飞机称为舰载飞机（Carrier Airplane, Shipboard Airplane）。其尾部装有专门的尾钩，在航空母舰甲板上（长度一般不超过300米）着舰时，尾钩钩住甲板上的拦阻索，飞机所具有的动能由与拦阻钢索相联的缓冲器吸收，一般只滑跑几十米就可停住。此外在舰上还有应急用的拦机网。舰载飞机的起飞可采用弹射器。为减少飞机的停放空间，机翼一般可折叠。



1.1 航空母舰的发展

首次起飞：

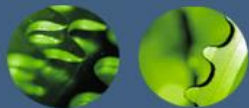
- 1910年11月
- 美国东海岸汉普顿锚地
- “伯明翰”号轻型巡洋舰
- “金鸟”号 — “寇蒂斯”单座双翼民用飞机（驾驶员:伊利）



首次着舰：

- 1911年1月18日
- 美国西海岸、旧金山
- “宾夕法尼亚”号重巡洋舰
- “金鸟”号 — “寇蒂斯”单座双翼民用飞机（驾驶员:伊利）

3



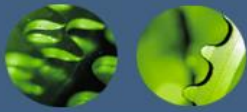
1.1 航空母舰的发展

第一次世界大战期间：

英国人E·邓宁于1917年8月4日驾驶“幼犬”式歼击机成功地降落在“暴怒”号航空母舰飞行甲板上，这是世界上最早的歼击机上舰试验。

1918年，第一次世界大战后期，英国皇家空军，在一艘由旧军舰改装的航空母舰上，进行了同时起飞与降落，并顺利完成了轰炸德国空军基地的任务。

4



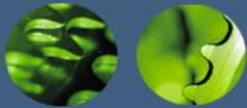
1.1 航空母舰的发展

第一次世界大战后：

世界上第一艘不用旧船改装的航空母舰是1922年日本建造的“凤翔”号航空母舰。其结构已接近现代航空母舰的形式，具有直通式的飞行甲板，长160米，航速25节，携带飞机21架。

从1935年起，美、英、法等国结束了用旧军舰改装航空母舰的历史，继日本之后进入了专门设计、建造新型航空母舰的阶段。到二次大战前夕，各国已有30多艘航空母舰，其中日本11艘，美国8艘，英国13艘，法国1艘。

5



1.1 航空母舰的发展

第二次世界大战期间：

1941年12月7日，一支以航空母舰为核心的日本庞大舰队**偷袭珍珠港**成功，充分显示了航空母舰有巨大的作战威力。珍珠港史无前例的战果给“巨舰大炮主义”一次很大的冲击，航空母舰也由此取代战列舰成为现代海战的主角。

二次大战中随着太平洋战争的扩大，美日之间以航空母舰为主要攻击力量的战斗，如**珊瑚海战**、**中途岛海战**等，均是通过大批舰载飞机的空袭来消灭对方的有生力量。航空母舰的参战，改变了海战的形式、条件及战术。以航空母舰为主的重大海战，震惊了世界各国，掀起了建造新型航空母舰的热潮。

6



1.1 航空母舰的发展

第二次世界大战后期：

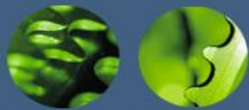
到第二次世界大战后期，比较成功的航空母舰有美国的“埃塞克斯”，它所配备的舰载飞机已达85~100架，航速为33节。

据统计，二次大战结束后，世界各国已有航空母舰200艘。

“埃塞克斯”
航空母舰



7



1.1 航空母舰的发展

第二次世界大战后的发展标志：

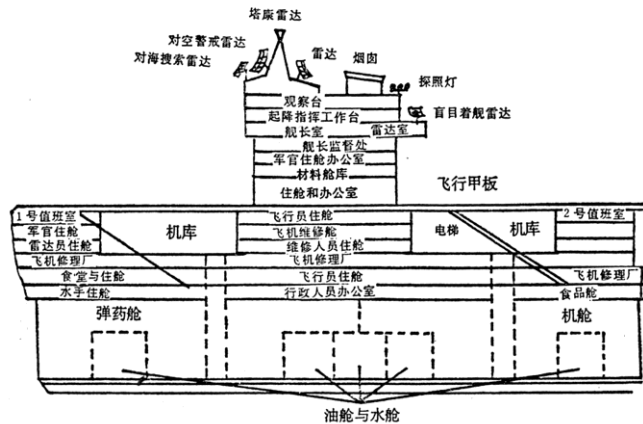
第二次大战后，科学技术迅速发展，出现了喷气式飞机、导弹、核武器和核潜艇等新式武器，出现了各种新型电子设备和大功率动力装置，极大地加速了航空母舰的发展。其主要标志是：

1、航空母舰上装载了喷气式作战飞机 例如美国的“福莱斯特”号、“小鹰”号、“企业”号、英国的“皇家方舟”号及法国的“克里蒙梭”号等，从而使航空母舰的空中攻击能力大大增强。

8



1.1 航空母舰的发展



美国“小鹰”级航空母舰中部舱室布置示意图

9



1.1 航空母舰的发展

第二次世界大战后的发展标志：

2、为适应喷气式飞机着舰与起飞的需要，增加了甲板面积，变直通式甲板为斜直两段式甲板，增加了弹射器功率，使航空母舰由5万吨增加到9万多吨。

3、战后航空母舰的另一标志是**装载了核武器**。1949年，美国最先在航空母舰上装载了核武器。

4、战后的航空母舰普遍**提高了反潜能力**。反潜直升机、反潜导弹、反潜鱼雷的出现，使航空母舰远洋反潜能力大为提高。如1963年，前苏联的“莫斯科”号航空母舰，就是以反潜为主要任务的航空母舰。

10



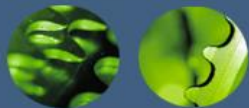
1.1 航空母舰的发展

第二次世界大战后的发展标志：

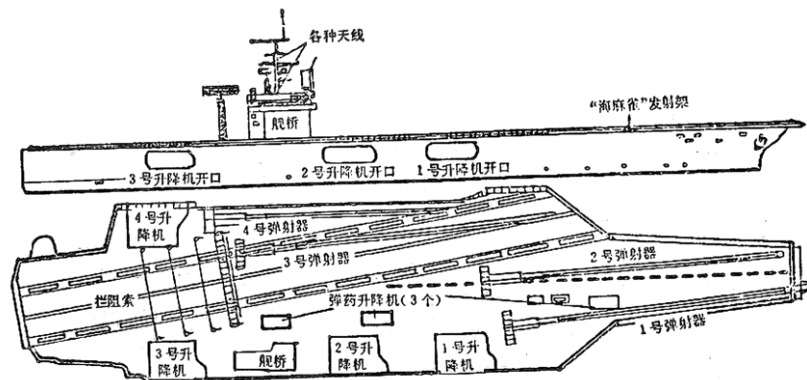
5、为适应远洋作业的需要，美国于1961年建成了世界上第一艘核动力航空母舰“企业”号，它被称为第四代核动力航空母舰。

1976年美国建成的“尼米兹”级航空母舰也是核动力的，它能装10000吨供飞机用的航空燃油及3000吨弹药，能供五、六十架飞机连续作战两星期之用（按每架飞机每天起飞四次计算），满载排水量为91400吨，长332.9米，宽76.8米，是目前世界上最大的航空母舰。

11



1.1 航空母舰的发展



美国“尼米兹”级航空母舰

12

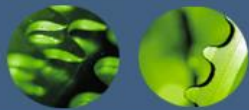


1.2 现代航空母舰的类型

一般按排水量大小可将航空母舰分为大、中、小三类：

- 6万吨以上为大型；
- 2万到6万吨为中型；
- 2万吨以下为小型。

13



1.2 现代航空母舰的类型

按所担负的作战使命也可分为三类：

- **攻击型航空母舰**的排水量大（4~9万吨），攻击能力强，能携带以歼击机和攻击机为主的飞机70~100架。它是航空母舰的主力，如美国的“小鹰”、“企业”号航空母舰。
- **反潜型航空母舰**的主要作战任务是与敌方潜艇作斗争，也可以支援登陆作战，进行垂直登陆等。它的排水量较小（4万吨以下），但反潜能力很强。它是从第二次世界大战中的护航航空母舰发展起来的。如“硫磺岛”级等。
- **通用航空母舰**是介于上述两种航空母舰之间的一种多用途航空母舰，混装了多种类型飞机，使它具有攻击型和反潜型航空母舰的共同特点。“尼米兹”级就是通用型航空母舰。

14



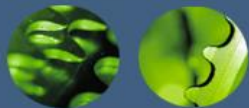
1.3 美国航空母舰的战斗群

航空母舰战斗群为美国航空母舰的最基本作战编制，战斗群内配备有反潜、对空等不同作用的护航舰，这些护航舰的任务为保护航空母舰免受来自水底或空中的威胁，使之能够以完备的状态执行任务。

航空联队的一般编制

机型	类别	飞行队	机数
F-14A/B/D Tomcat	战斗机	1	14
F/A-18C Hornet	战斗攻击机	3	36
EA-6B Prowler	电子战机	1	6
E-2C Hawkeye	预警机	1	4
SH-60F/HH-60H Seahawk	反潜及救援直升机	1	4/2
S-3B Viking	反潜机	1	8
ES-3B Shadow	电子侦察机	1	2
C-2A Greyhound	运输机	1	2

15



1.4 美国航空母舰的作战任务

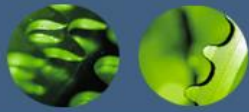
- **长距离攻击任务**

人造卫星和电子侦察机提供了航空母舰或战斗群的探测能力，可完成多种长距离作战计划，延长了作战半径。

- **制空任务**

制空攻击任务就是攻击敌方的战斗机以取得目标空域的制空权。这种作战由EA-6B、E-2C及F-14等机型配合完成。

16



1.4 美国航空母舰的作战任务

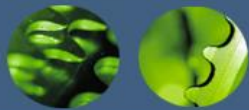
- **对地对海攻击任务**

当成功取得制空权后，攻击机便会起飞执行对地或反舰攻击任务，今天的舰载攻击机以F/A-18C为主，只有少量的A-7仍在服役。

- **反潜作战任务**

反潜作战任务主要分为两个方面即索敌与攻击。搜索敌方潜艇的工作主要由S-3B反潜机负责。

17



1.4 美国航空母舰的作战任务

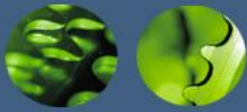
- **电子战**

电子战是每一场战争的一部份，主要针对敌方的电子系统进行“攻击”，使其失效。

航空母舰上载有EA-6B电子战机，此种电子战机可以携带特殊的导弹，专攻击敌方的雷达系统，导弹追踪敌方雷达系统所发出的电波进行攻击，把敌方的雷达系统摧毁，失去其效力。

此外，电子战机亦会配合攻击机或战斗机执行任务，进行电子干扰以阻碍敌方的通讯和其它电子系统的运作，使其失去组织力和效力。

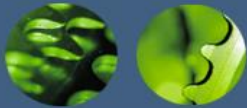
18



1.5 中国海军的使命

我国是一个具有960万平方千米国土面积的大国，有18000米的海岸线，200万平方千米的大陆架（占国土面积的1/5以上），6500多个岛屿和300万平方千米的海洋经济区。中国海军肩负着保卫领土，领海和巨大的海洋资源的神圣使命。

19

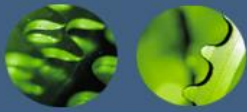


1.6 舰载飞机的发展

舰载飞机自问世以来已经走过了90年的历程。从技术发展的角度看，大体可以把这段历史划分为4个阶段，即

- 1、螺旋桨飞机阶段
- 2、喷气式飞机阶段
- 3、综合舰载飞机群阶段
- 4、常规舰载飞机与垂直/短距起降舰载飞机并存阶段

20



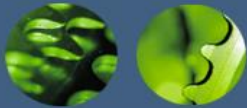
1.6 舰载飞机的发展

1、螺旋桨飞机阶段

1918年英国用一艘巡洋舰改装成世界上第一艘航空母舰，它能载20架飞机，飞机可在甲板上起飞和降落，这标志着航空母舰—舰载飞机武器系统的诞生。从那时起，直到第二次世界大战结束为止，舰载飞机都是活塞螺旋桨飞机。

由于活塞螺旋桨飞机着舰速度一般为140km/h，起飞离舰速度和着舰啮合速度低，对航空母舰起飞弹射设备和着舰拦阻设备能力要求也不高，飞机着舰时，由母舰上的引导员用**信号旗和信号牌**等来引导飞行员，这种助降方式对气象条件、飞行员的驾驶水平以及引导员和驾驶员的判断能力和经验都有较高的要求，因此不安全因素较多。

21



1.6 舰载飞机的发展

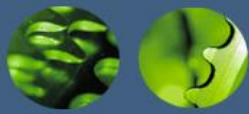
2、喷气式飞机阶段

最早的喷气式舰载战斗机是美国北美公司的**FJ-1“狂怒”**，1948年3月进行着舰试飞，这是美国实用型喷气式战斗机在舰上的首次起降。英国最早的舰载喷气式战斗机是“**海鹰**”，1953年3月起配备舰队并一直使用到上世纪70年代初。

这个时期的航空母舰弹射起飞设备和着舰拦阻设备、助降设备等都有了较大的改进。英国发明第一种光学助降装置——**反射镜助降装置**，以替代引导员和信号旗的助降方式。

进入50年代中期，一批高性能的后掠翼喷气式舰载飞机，如美国的**A-4“天鹰”**攻击机、**F-8“十字军战士”**战斗机等开始上舰服役。这个时期的航空母舰普遍采用了**斜角甲板**，航空母舰向超过6万吨级的**大型航空母舰**发展，并开始采用**核动力**。

22



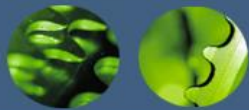
1.6 舰载飞机的发展

3、综合舰载飞机群阶段

从1960年起，舰载飞机不再像以往那样主要是战斗机和攻击机，而是逐步成为由战斗机、攻击机、预警机、反潜机、侦察机、电子战飞机、加油机、直升机和运输机等组成的综合机群，它们互为补充，共同构成了空中、海面、水下和电磁的强大作战能力。

在助降系统方面，除了更为先进的光学助降系统——**菲涅尔透镜系统**外，也开始使用包括雷达和计算机组成的**航母全天候助降系统（AWCLS）**，可以在黑夜或多种恶劣条件下引导舰载飞机安全着舰。

23



1.6 舰载飞机的发展

4、常规舰载飞机与垂直/短距起降舰载飞机并存阶段

上世纪70年代初，英国海军决定研制搭载改型的“鹞”式垂直/短距起落攻击机（取名“海鹞”）和直升机的“无敌”级直通甲板指挥巡洋舰来代替当时服役的航空母舰。

“海鹞”在舰上垂直/短距起落可不依赖舰上弹射器和拦阻装置，占据甲板面积小（只需30米见方的甲板就能起落），所以可以在中、小型舰艇上使用，并受风速、风向和甲板运动的影响很小。

美国的**V-22“鱼鹰”**是一种倾转旋翼飞机。这种飞机的海军型HV-22A承担的主要任务是战斗、搜索、救援和反潜。该机兼备直升机和固定翼飞机的优点，可以在航空母舰上垂直起飞或滑跑起飞。

在新型舰载直升机方面，如英国和意大利联合研制的**EH101型多用途直升机**。该直升机装有3台发动机，大量采用复合材料以及最新的机载设备。该机尺寸不大，适于在机库尺寸较小的护卫舰上使用。

24



1.7 舰载飞机的主要技术特点

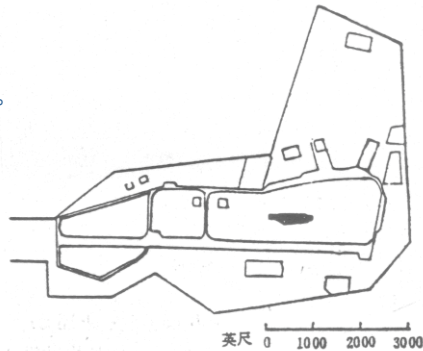
由于舰载飞机与岸基飞机的使用条件有很大的不同，因此舰载飞机在某些技术上具有如下特点：

1、飞机外形

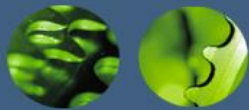
航空母舰飞行甲板的长度和面积是无法与陆地上的机场相比的，如图所示。

因此，舰载飞机在外形上有如下特点：

- ☑ 普遍采用增升设计和增升装置
如：大展弦比，大机翼面积等
- ☑ 为节省停放时的占用空间，
机翼或机头和垂尾设计成可折叠的
- ☑ 为舰载飞机的座舱一般比较高，
以改善飞行员的视界



25



1.7 舰载飞机的主要技术特点

2、重量增加

导致舰载飞机重量增加的因素有很多

- ☑ 舰载飞机加大机翼面积，采取各种增升措施，以及折叠机翼，都会造成舰载飞机重量的加大
- ☑ 由于下降速率大，弹射起飞等原因，飞机的起落架必须加强，从而增加了飞机重量
- ☑ 机体、油箱、发动机以及所有机载设备的结构、工作状态和安装强度、刚度都必须经受得住高达6g的纵向过载，从而进一步增加了舰载飞机的重量。
- ☑ 着舰钩、海上降落防沉措施等也会进一步增加舰载飞机的重量。

这些因素合在一起造成的增重效果就很可观了，如YF-17改为F/A-18A后，共增重1030千克，约占YF-17总重量12150千克的8.5%。

26



1.7 舰载飞机的主要技术特点

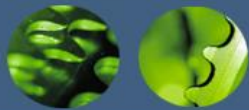
3、先进结构和新型材料

舰载飞机为了获得**较高的强度重量比**，一般都尽量采用先进的结构形式和新型材料，如F/A-18A飞机采用了损伤容限结构，**广泛采用钛合金和复合材料**。

机翼蒙皮、襟翼、水平和垂直安定面、检查口盖等采用**石墨环氧树脂**制造，约占结构重量的10%。另有占结构重量12%的钛合金构件。

同时，由于所有舰载飞机都需要有**防潮湿、防盐雾、防霉菌**的能力，所以在选材、密封、成件选择、维护程序的设计等方面都要考虑这一点，例如英国在把空军型“鹞”改装成海军型“海鹞”时，为了防止海水腐蚀，就换掉了机体上的7个镁合金部件和发动机上的两个较大镁合金部件。

27



1.7 舰载飞机的主要技术特点

4、高可靠高加速性能的发动机

舰载飞机对发动机的要求与岸基飞机相比除了一般的对航空发动机的通用要求外，更加强调可靠性和维护性，以适应海上飞行和舰上起落的特点。

此外，对舰载飞机发动机的其它要求还有：

- ① **加速性能要好**，以便着舰上钩失败后能够逃逸复飞；
- ② **抗腐蚀能力强**，以适应常年在海上飞行和停放的需要；
- ③ **高温环境工作特性好**，以适应在热带和亚热带地区作战等。

28



1.7 舰载飞机的主要技术特点

5、机载设备高度自动化

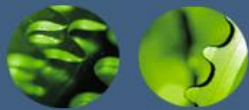
为了适应舰载飞机在海上各种复杂恶劣的气象条件下作战和在航空母舰上安全起落，舰载飞机的自动化程度，特别是对通讯、导航、飞行控制等多种机载设备的要求比岸基飞机要高。

为了减轻舰载飞机驾驶员的工作负荷，多数现代舰载飞机都装有自动着舰系统，并且要求显示仪表与控制系统一体化。

6、具有单机综合作战能力

在武器系统方面，除必须考虑能携带海军特有的武器外，由于一个航空母舰战斗群的飞机数量有限，因此要求舰载飞机具有单机综合作战能力。体现为：搜索发现距离大，瞄准精度高，攻击命中概率大，自身保护、逃避能力强。

29



1.7 舰载飞机的主要技术特点

7、优良的维护性要求

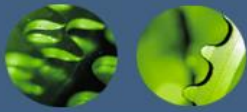
舰载飞机在机库内或飞行甲板上进行维护时，**空间狭小**，有时**照明情况也不尽如人意**，另一方面，必须**尽量缩短维护时间**以保证随时有足够数量的飞机可以升空作战，因此，舰载飞机必须**具有良好的维护开敞性**。此外，很多舰载飞机的机头可以折叠，这样作的目的，除了减少停放面积外，也是为了便于维修人员对机头段的舱内设备进行检查。

8、对飞行员及空勤人员的培训有严格的要求

舰载飞机飞行员所处的环境较之岸基飞机要复杂得多。舰载飞机飞行员要在云层低、能见度差的情况下在航空母舰上降落，有较大的技术难度。因此舰载飞机飞行员**需要经过严格的专门训练**。

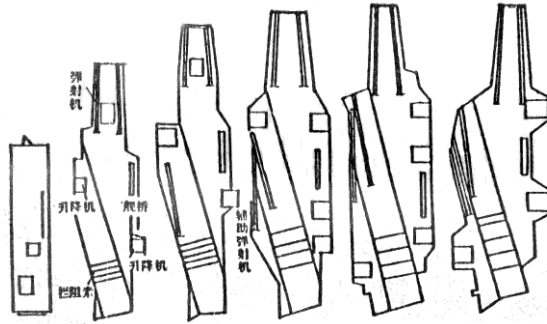
舰载飞机空勤人员有许多舰载飞行所特有的培训项目，在着舰技术培训方面要涉及到**近舰下降时下滑通道的保持、对付舰尾大气流场影响的措施、上钩技术、逃逸技术、撞网技术以及意外情况下的海上逃生技术**等。

30

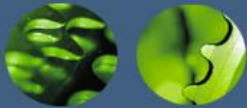


1.8 飞行甲板配置

飞行甲板是飞机起降的作业场所，它的布置直接影响飞机的使用效能。目前航空母舰飞行甲板分为三个区域，即着舰区、停放区和弹射（或滑跃）起飞区。



31

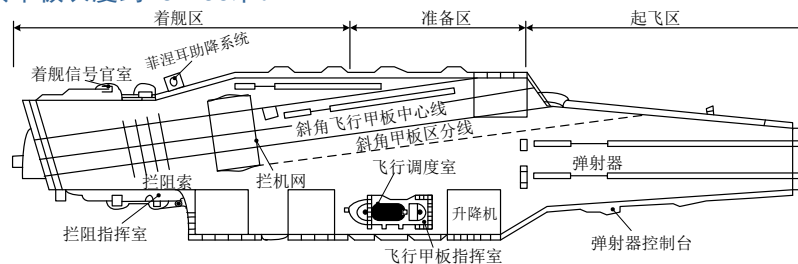


1.8 飞行甲板配置

斜直两段式飞行甲板

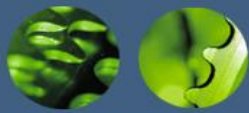
斜角甲板位于飞行甲板左侧，与舰艇首尾中心线夹角为 $6^{\circ} \sim 13^{\circ}$ 。长220~270米，宽27~30米，相当于陆地机场跑道的十分之一。斜角甲板专供飞机降落使用，上面装有拦阻装置。

直通甲板专供起飞，它上面装有两座弹射器，每次可弹射两架飞机起飞，其甲板长度约70~90米。



“福莱斯特”级航空母舰

32

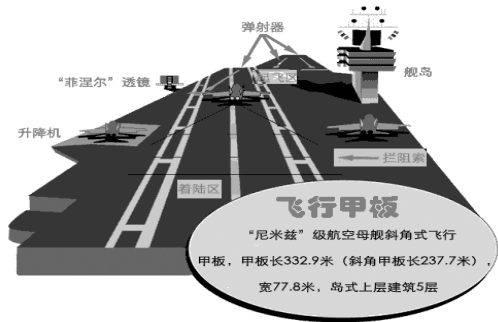


1.8 飞行甲板配置

斜直两段式飞行甲板

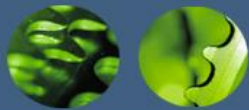
“尼米兹”级航空母舰飞行甲板前方和斜向甲板共计装有4座蒸汽弹射器，弹射器旁边设有弹射控制台。

斜向甲板装备有制动钢缆以及尼龙阻拦网。左舷狭窄通道中央设有菲涅尔助降系统（FLOLS），而着舰信号官（LSO）平台则设于左舷通道后方。



“尼米兹”级航空母舰

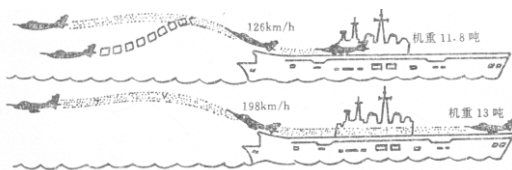
33



1.8 飞行甲板配置

滑跃式 (Ski-jump) 起飞甲板

上世纪70年代后，为适应垂直/短距起降飞机上舰的需要，英国又发明了一种滑跃式 (Ski-jump) 起飞甲板。如英国的“无敌”号航空母舰，和前苏联的“库兹涅佐夫”号航空母舰。

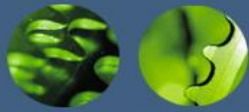


滑跃式甲板起飞过程



滑跃式起飞甲板

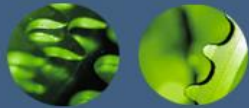
34



1.9 飞行甲板中的狭窄通道

在飞行甲板两舷延伸出一条十分狭窄的通道。这条通道有着多方面的用途，大部份的甲板运作控制台都设于此，包括弹射器的控制台、着舰指挥用的FLOLS、LSO控制台、舰载机燃料输油管及消防设备都设在这条通道上。此外，这条通道亦是甲板勤务人员的“避难所”。当飞机进行弹射、降落或者发生意外时，甲板上的勤务人员都会到此“避难”。同时在此还设有通往舰内的出入口。

35



1.10 弹射起飞器

航空母舰飞行甲板起飞区只有八、九十米，而现代喷气式飞机需要加速到350km/h的速度才能离地起飞，这就需要弹射器使飞机加速，在60米左右的距离内起飞。弹射器目前主要有三种：液压弹射器、蒸汽弹射器、内燃弹射器。

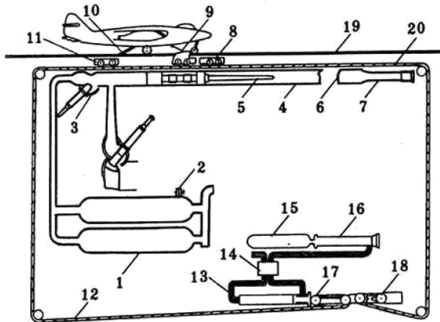
现代航空母舰从上世纪50年代开始，大都采用新式的蒸气弹射器。其可弹射20~40吨重的固定翼飞机，为了使多架飞机同时升空，重型航空母舰一般装有3~4部弹射器。

蒸汽弹射器就是一台往复式蒸汽机，只不过其动力冲程很长，目前已近百米。蒸汽弹射器由发射系统、蒸汽系统、拖索张紧系统、复位系统、润滑及控制系统等部分组成。

36

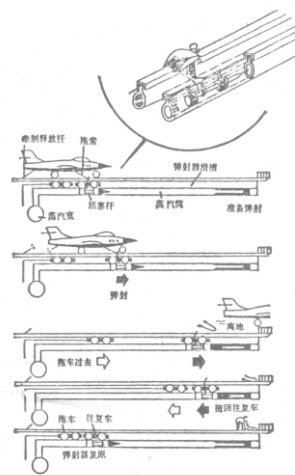


1.10 弹射起飞器



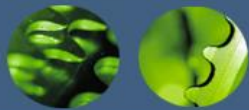
1. 储汽筒 2. 蒸汽进口 3. 弹射阀 4. 弹射汽缸 5. 活塞 6. 密封条
7. 制动水缸 8. 往复车 9. 拖索 10. 牵止杆 11. 托拽车 12. 复位
钢索 13. 复位机 14. 控制阀 15. 空气瓶 16. 蓄压器 17、18. 固
定滑轮 19. 甲板 20. 导向滑轨

弹射器结构图



弹射起飞机理

37



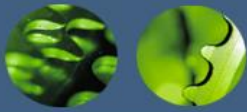
1.11 着舰拦阻设备

舰载飞机在着舰后仍以每小时100~200公里的速度向前滑跑，这就要求在航空母舰上设置一种使舰载飞机减速的拦阻装置——拦阻索。它可以使舰载飞机在降落后70~90米距离内停止滑跑。

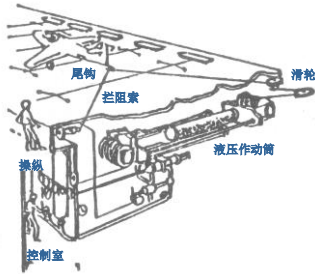
距斜角甲板尾端60米处开始，向前每隔12米横设一条粗钢索，这样连设3~5根。就是利用这些拦阻索来拦阻高速滑跑的舰载飞机，使它迅速停下来。每个拦阻索下面，均有两个弓形弹簧把它顶起一定高度。拦阻索的两端，则通过滑轮与甲板下的液压阻尼缓冲器相连。

舰载飞机在降落前，先在空中放下起落架，同时，把舰载飞机特有的尾部着舰钩放下准备降落。飞行甲板的拦阻索同时升起，拦阻装置处于准备状态。当飞机着舰后向前高速滑跑时，飞机的尾钩就可以钩上甲板上3~5根中的任意一根，然后再向前滑跑70~90米后停住。此时，工作人员将拦阻索从飞机尾钩上脱掉，飞行员开始折起机翼，并将飞机迅速滑出降落区，同时拦阻索自动复位，迎接下一架舰载飞机的着舰。

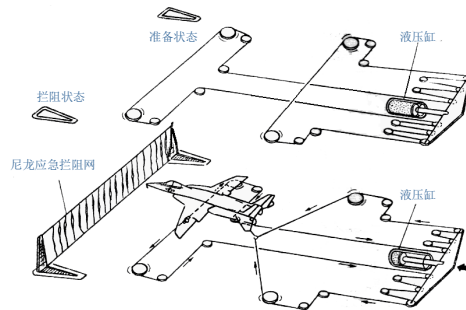
38



1.11 着舰拦阻设备



拦阻索和液压阻尼缓冲器

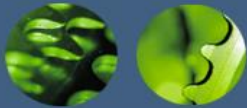


应急拦阻主要用于下列情况

- 飞机遭受战斗损伤；
- 尾钩、起落架或发动机等失灵；
- 燃油不足以使飞机第二次通过甲板拦阻索；
- 飞行员疲劳或受伤，用正常手段已不可能成功着舰。

拦阻装置工作过程

39

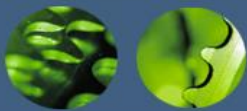


1.13 航空母舰的机库及舰岛

机库一般位于飞行甲板下部，是飞机停放、检修和充氧、加油、加气的场所。重型航空母舰的机库一般长180~290米，宽25~38米，高7~11米；中型航空母舰的机库长约150米，宽22~24米，高约5米；轻型航空母舰的机库长110~140米，宽15~16米，高5~7米。舰载飞机的60~70%可放入机库内。

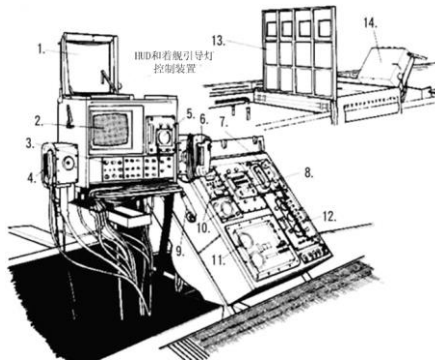
早期航空母舰整个舰面是平坦的飞行甲板，没有突出部分。而现代航空母舰基本上是把舰桥、烟囱等集中在飞行甲板的一侧，好象一个小岛，它就是“舰岛”。

40



1.14 着舰信号官 (LSO) 平台

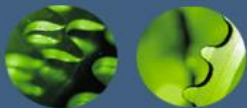
舰信号官 (LSO) 是向飞行员发出操纵指令, 使处于下滑道上的飞机能安全着舰的指挥官。LSO 工作的岗位就是 LSO 平台, LSO 平台设置于航空母舰斜向甲板后方左舷伸出去的位置, 在平台上设置了用于监督飞机着舰过程的各种装置、各种着舰引导装置的控制器以及与飞机和舰内通信的各种通信器材等。



1. 风挡 2. 电视屏幕 3. HUD控制器 4. 电话 5. 喇叭 6. 电话 7. 电话 8. 喇叭 9. FLOLS控制器
10. FLOLS开关 11. 飞机信息屏幕 12. 电话调整面板 13. 风挡 14. 控制装置

← LSO正在工作

41



1.15 助降系统

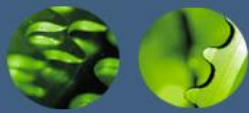
助降装置是引导飞机沿正确航线安全降落在航空母舰上的重要设备, 又称为引降系统。按助降方式的不同有光学助降系统、电视助降系统和雷达引导系统等。

菲涅尔透镜助降装置主要由菲涅尔指示灯组件、辅助灯组件、稳定机构、LSO显示控制台(HUD)、LSO主控台、光学下滑道稳定遥控板和灯光遥控板等组成。



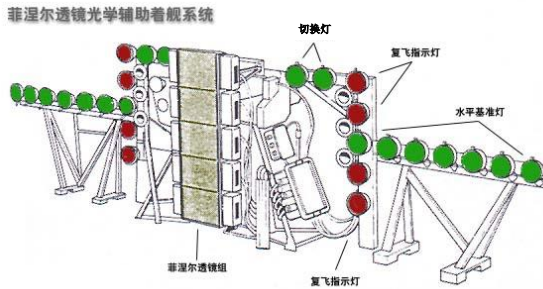
菲涅尔指示灯组件、辅助灯组件及其支架和稳定机构作为一个整体安装于**航母斜角甲板中部左舷**。

42

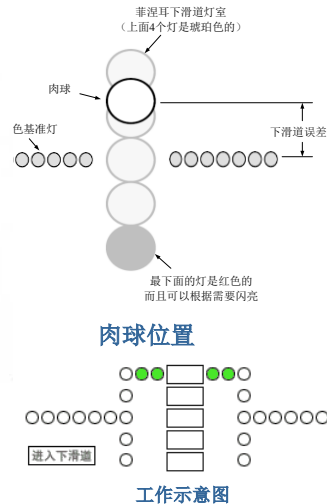


1.15 助降系统

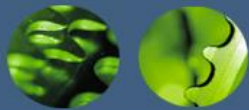
1、菲涅尔指示灯组件及辅助灯组件



菲涅尔透镜光学助降系统灯组



43



1.15 助降系统

2、稳定机构

由于航母受风浪影响，不可避免会产生摇摆，如果不采取措施，光学助降装置射出的光学下滑道是不稳定的，给舰载机飞行员截获下滑道和安全降落带来不利影响。稳定机构可以确保光学助降装置提供的下滑道是稳定的。

3、LSO显示控制台（HUD）

主要是在综合显示屏上为LSO提供舰载机、航母甲板摇摆运动、飞行甲板状况等的实时信息和数据，并预估其变化趋势。

4、LSO主控台

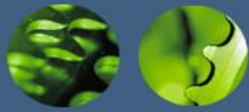
放在LSO显示控制台(HUD)右侧，其组合了数个LSO必备的设备。

5、光学助降指示灯组的调整

光学助降指示灯的位置调整是通过钩一眼（H/E）遥控板完成的。所谓钩一眼距离是驾驶员眼睛到飞机尾钩的垂直距离，各种飞机是不一样的。

需要说明的是：目前美国已有改进后的光学助降系统（IFLOLS），它引入了激光远程引导系统，着舰点移到离舰尾10海里以外。使驾驶员有充分的时间将飞机调制到正确的下滑线上，有效地提高了着舰成功率。

44

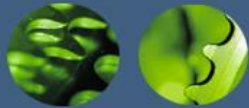


二、舰载飞机着舰环境数学模型

着舰环境包括：

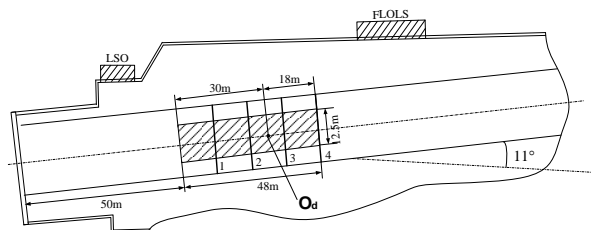
- 1、着舰甲板的几何
- 2、着舰时的海洋环境
- 3、甲板运动
- 4、舰尾气流等

45

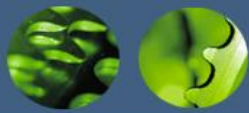


2.1 着舰甲板的几何

在着舰时，舰载飞机必须要钩住4根拦阻索中的一根，这就要求着舰范围必须限制在长度约为42m，宽约12.5m的范围内（另有文献报导着舰范围长130ft，宽30ft范围），约2个网球场大小。该区域离舰尾约50m。理想着舰点设置在第2根与第3根拦阻索之间。美国的自动着舰引导系统规范，要求实际着舰点离的平均误差在 $\pm 7.62\text{m}$ 以内，相对于平均值的离散误差（均方根差RMS）小于17.3m。着舰点侧向误差离理想着舰点 $\pm 1.52\text{m}$ 以内。

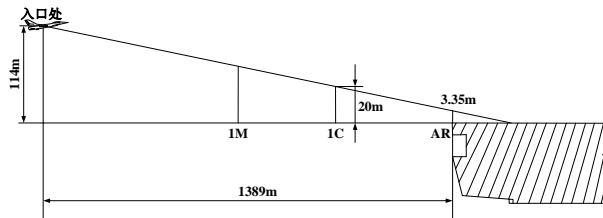


46

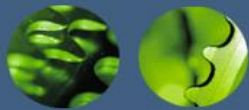


2.1 着舰甲板的几何

F/A-18A飞机进入菲涅尔助降系统入口点后的着舰几何轨迹为：离舰尾0.75海里（1389m），飞行高度114m为飞机入口点，飞行速度为64.25m/s，迎角 8° ，以下滑轨迹角 3.5° 下滑。飞行约20秒后着舰，着舰下沉撞击速度为3.96m/s。1M为菲涅尔着舰路径的中间点，1C是3/4的路径点，是决定是否复飞的决定点，此时飞行高度为20m。飞机通过舰尾有约11ft（3.35m）的高度间隙，飞行员为了安全，十分关注舰尾处10ft~12ft的高度间隙，即所谓净空。

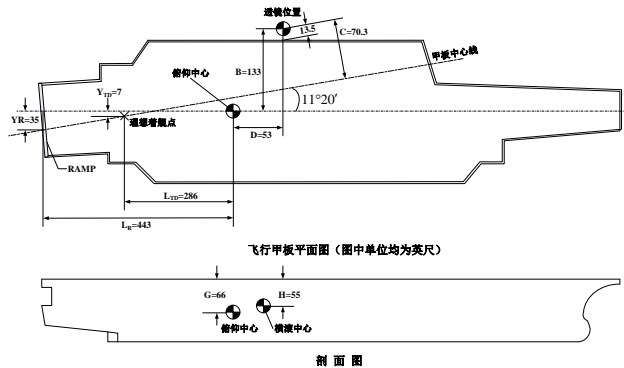


47



2.1 着舰甲板的几何

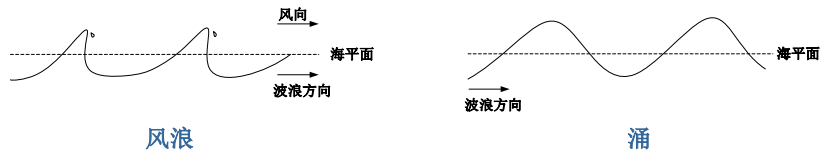
某中型航空母舰的特征几何如下图所示，图中给出了俯仰与横滚中心的位置，理想着舰点的位置，以及菲涅尔透镜位置。由该特征几何尺寸便可对助降系统的控制律进行设计。



48



2.2 海况及其影响



按波高，风浪通常分为10级，涌分为5级。

波浪等级表

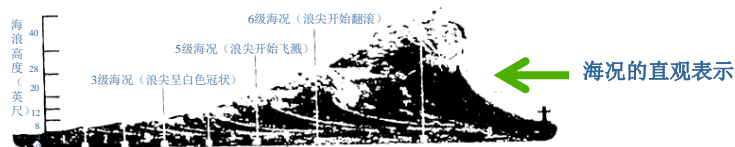
浪级	风浪名	涌名	波高范围 (米)	浪级	风浪名	涌名	波高范围 (米)
0	无浪	无涌	—	5	大浪	大涌	2.0—3.4
1	微浪	小涌	小于0.3	6	巨浪		3.5—6.0
2	小浪		0.3—0.7	7	狂浪	巨涌	6.1—8.5
3	轻浪	0.8—1.2	8	狂涛	8.6—11.0		
4	中浪	1.3—1.9	9	怒涛	11.0以上		

49



2.2 海况及其影响

一般要求舰载飞机在6级海况下完成着舰任务。

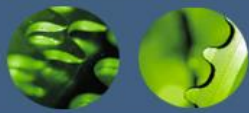


各级海况的详细描述

1级海况 (SS1)	平静：海面泛着波纹，但不起泡沫。风极弱，风速1~4节。面部没有感觉。
2级海况 (SS2)	微澜：海面出现细浪，但仍无泡沫。微风到清风，风速4~10节。蒲福级2~3级。面部有风感，可以吹动较轻的旗子。
3级海况 (SS3)	中等：海面涌起波浪，浪尖开始破碎。清风到中等风，风速7~15节。蒲福级3~4级，可以使较轻的旗子完全飘起。
4级海况 (SS4)	汹涌：海面涌起中等强度波浪，很多浪头呈白色冠状，部分还会溅起泡沫。中等风到大风，风速14~27节。蒲福级4~6级，可以鸣响绳索。
5级海况 (SS5)	极汹涌：海面上海水被拍高，并且伴有飞溅的浪花和条纹状泡沫。大风到狂风，风速27~40节。蒲福级6~8级，迎风步行很难行进。
6级海况 (SS6)	狂暴：海水开始翻滚，泡沫条纹更加密集，飞溅的浪花更多。狂风更为强烈，风速40~48节。蒲福级9级，松动的家具和帆机会被吹走。
7级海况 (SS7)	极狂暴：波浪滔天，浪头极高。随着泡沫在条纹中游走，海面泛起白色，海上能见度降低。此时的海风是真正意义上的狂风了，风速高达48~55节。蒲福级10级。
8级海况 (SS8)	巨峰般的海面：海浪高的像山峰般，而且在翻滚和相互撞击。海面上遍布泡沫，能见度很低。暴风大作，风速55~65节。蒲福级11级。

●海况与风力之间的描述是很不确定的，它依赖于风区长度和风力持续时间。

50



2.3 舰的甲板运动模型

航空母舰舰体的摇晃对舰载飞机下滑着舰有很大的影响，当纵摇周期较短时（如20s），着舰更加困难。

1、确定性甲板运动数学模型

航空母舰在作30海里/小时（15.4m/s）典型速度行驶，海浪及风作用于舰，将引起舰的俯仰、侧滚与偏摆运动。研究表明可以按正弦波的组合来描述舰的三轴运动。在中等海况下：

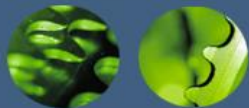
俯仰运动 $\theta_s(\text{度}) = 0.5 \sin(0.6t) + 0.3 \sin(0.63t) - 0.25$

侧滚运动 $\phi_s(\text{度}) = 2.5 \sin(0.5t) + 3.0 \sin(0.52t) + 0.5$

偏摆运动 $\psi_s(\text{度}) = 0.25 \sin(0.7t) + 0.5 \sin(0.1t)$

起伏运动 $Z_s(\text{英尺}) = 4.0 \sin(0.6t) + 1.0 \sin(0.2t)$

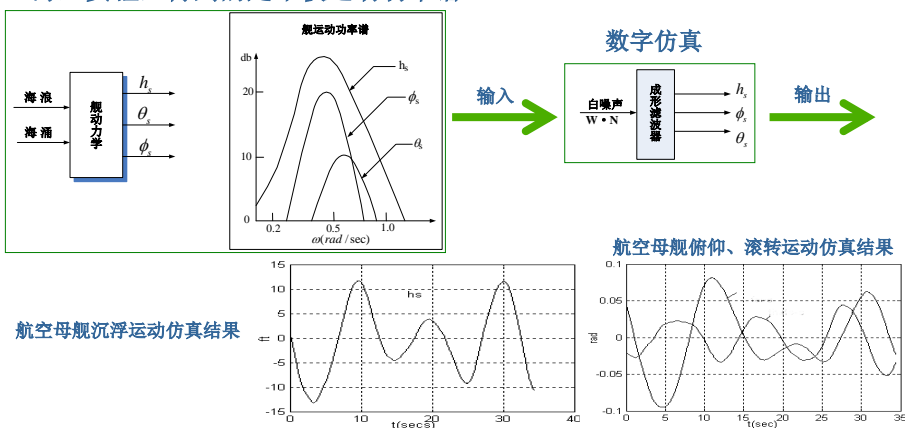
51



2.3 舰的甲板运动模型

2、甲板运动的随机模型

实际的甲板运动是一个随机过程，不能用确定性函数来描述。经大量的海上实验，得到的是甲板运动功率谱：



52



2.3 舰的甲板运动模型

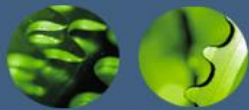
美国海军规定着舰时，俯仰（纵摇）不得超过 2° ，横滚（横摇）不得超过 7° ，沉浮小于 3m ，浮沉速率不超过 3m/s ，而舰尾下沉不得超过 1.5m 。

《自动着舰导引系统验证指南》指出，当自动着舰导引系统工作时，规定了甲板运动在如下范围内才允许着舰：

俯仰	$\pm 1.25^\circ$ (RMS)
横滚	$\pm 5^\circ$ (RMS)
沉浮	± 4 英尺 (RMS)
舰尾 (RAMP)	± 20 英尺(最大值)

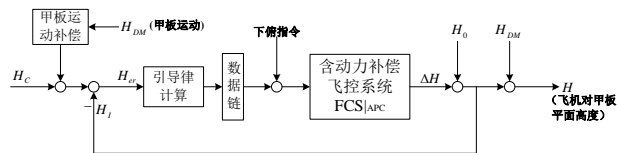
而当俯仰（纵摇）超过 $\pm 6^\circ$ ，横滚（横摇）超过 $\pm 10^\circ$ ，会超出助降系统稳定机构的工作范围，使助降系统不能工作。

53



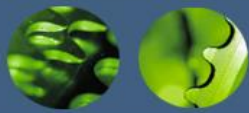
纵向甲板运动补偿技术

要求在着舰前的约 0.5 英里（ 800 米），也即着舰前约 12.5 秒，由SPN-42计算机再给出一个与甲板垂直运动成比例的垂直指令引入ACLs，以迫使飞机在相位上与甲板垂直运动同步。该指令称甲板运动补偿指令。



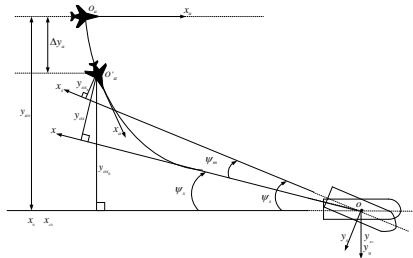
含甲板运动补偿的纵向ACLs

54

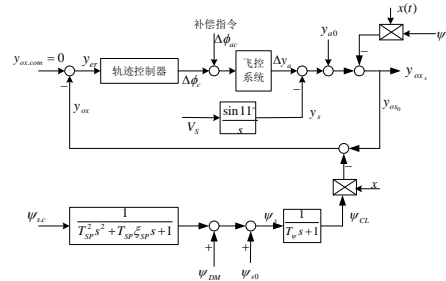


侧向甲板运动补偿技术

1、基于侧向着舰几何的甲板运动补偿策略

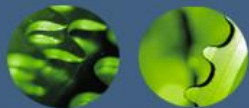


侧向甲板运动补偿时着舰几何



甲板运动补偿状态下侧向导引系统

55



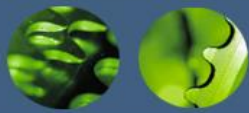
2.4 舰尾流扰动及其数学模型

飞机着舰时，最大误差来源是舰尾气流对飞机的扰动而引起的。美国在着舰规范中指出，应将着舰点的纵向水平误差控制在40ft（12.2米）以内。舰尾气流扰动有四部分组成。若不对飞机采取气流扰动抑制技术，仅其中的一种扰动，俗称“雄鸡尾”气流扰动，就可造成39m的水平着舰误差。

舰尾大气扰动分为如下四部分：

- 1、自由大气紊流分量
- 2、尾流稳态分量（雄鸡尾流）
- 3、尾流的周期性分量
- 4、尾流的随机分量

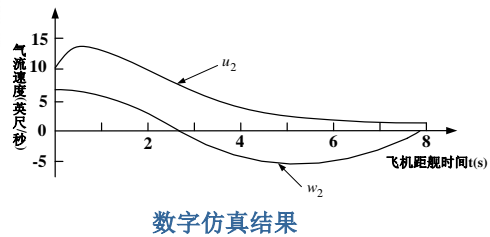
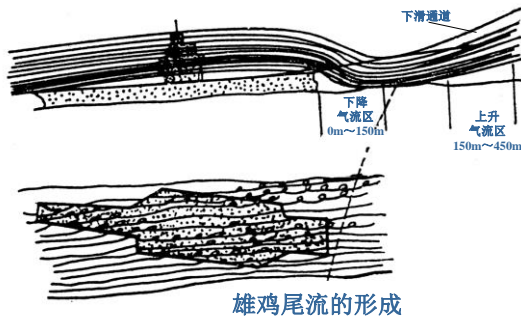
56



2.4 舰尾流扰动及其数学模型

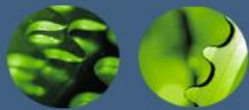
尾流稳态分量（雄鸡尾流）

这种气流是由于航空母舰迎风行驶，空气从其平坦的舰尾流出而造成的，其特点是在垂直方向，产生一种特有的雄鸡尾形状的风力，其风向与距舰尾的距离有关，临近舰尾是向下有效的风力，而离开舰尾处，向下的风力按距离的关系而减小，并且后来改为向上的风力。



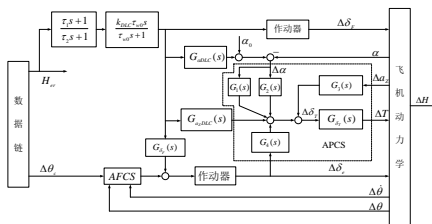
数字仿真结果

57

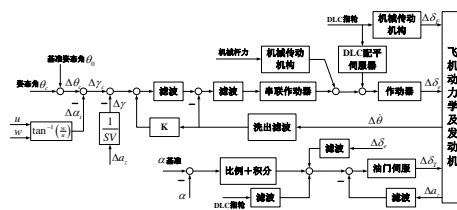


抑制气流扰动的着舰引导技术

具有直接升力控制的精确飞行轨迹引导技术

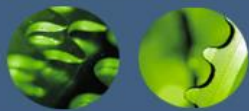


自动着舰状态



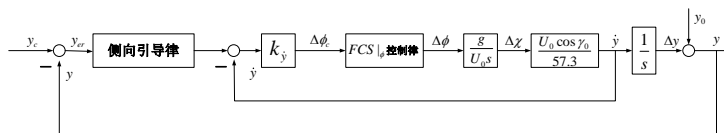
人工着舰状态

58

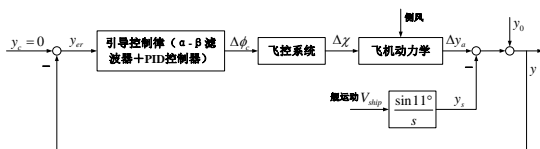


抑制气流扰动的着舰引导技术

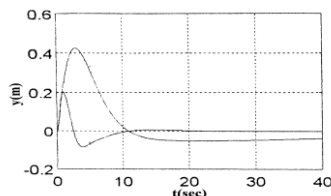
抗侧风气流扰动的着舰引导系统



含 \dot{y} 反馈飞控系统的侧向ACLs

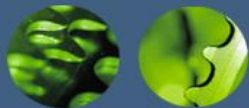


飞控系统的侧向基本ACLs



仿真结果

59



到此结束，谢谢！

60