

舰载机着舰装置的改进研究

摘要:

舰载机要降落在航空母舰的甲板上，必须依靠一系列的辅助设备，而拦阻索、拦阻网是必备的。但是随着舰载机吨位的增加，随着作战样式的多样化和作战任务的复杂程度的增加，舰载机着舰事故的发生率也不断增大，现有的阻拦装置本身的缺点也日渐明显。为此，本文对现有航母阻拦装置进行了局部改进，保留了原有的滑轮组减速结构，对舰载机着舰安全性有影响的阻拦索等结构进行了改进，从航母甲板和舰载机尾钩两方面对本方案的具体内容进行了阐述，在其中渗透了笔者对具体结构的创新设计及理论论证。

关键词：降落，甲板阻拦，舰载机，导航传感

1. 引言

我国即将装备自己的第一艘航母，而目前国内对航母的关键技术（如弹射、拦阻降落等）几乎处于空白阶段，国内对舰载机降落的研究也不是很多（许多资料都是对现役航母阻拦装置的介绍、分析）；国外的钢索阻拦装置技术比较成熟，阻拦索作为现在主流的阻拦装置，自然是各个发展航母的國家的首选。然而，随着舰载机吨位的增加，随着作战样式的多样化和作战任务的复杂程度的上升，舰载机着舰事故的发生率也不断增大（附录 1 是舰载机事故的典型案例），现有的阻拦装置本身的缺点也日渐明显。阻拦索作为现在主流的阻拦装置，虽然现在已发展得比较成熟了，但是在阻拦过程中，阻拦索本身存在的跳动、脱钩、对舰载机施力不均等问题在一定程度上非常明显。下面是现存航母钢索阻拦装置的特性及其存在的问题：

- 1、钢索有较好的韧性、变形性，对舰载机的冲击具有一定的缓冲作用，但是它的这一特性迫使舰载机降落时必须做到尽可能地对正、对中，否则，舰载机会受到阻拦索非对称力的作用^[1]，产生侧向运动，加上甲板的摇晃，舰载机很可能侧滑发生事故（如图 1. 1 为舰载机着舰前机身倾斜的情形）。
- 2、舰载机的非对称着舰，会使舰载机载荷不对称，主起落架一侧载荷较大，这样还会使主起落架受到甲板的侧向力，减速过程中会引起前起机轮摆振^[1]。
- 3、由于舰载机减速时钩索也会受到舰载机的反作用力，钩索之间产生相对滑动，然而这是比较危险的情况^[4]。
- 4、阻拦索阻拦的安全区域所占百分比仅为 20%^[5-6]，也就是说着舰的安全范围比较窄，如果采用符合要求的硬式阻拦杆（区别于阻拦索）则可以大大增加安全范围。
- 5、由于阻拦索的震动的存在，舰载机尾钩的半开结构使舰载机挣脱阻拦索很大，有可能冲出甲板或撞向甲板上其他飞机（案例见附录 1）。
- 6、钢索在舰载机巨大冲击作用下张力比较明显，当舰载机减速停止后，在还没有及时卸掉的拦阻力和钢索恢复形变的张力的作用下，舰载机会猛然回退。很明显，舰载机是不允许有快速的回退现象发生的，更何况这些过程是在短短几秒钟内完成的，突然地回退对舰载机和飞行员的负作用是非常大的。
- 7、舰载机滚转压过之后钢索可能会弹跳，这就可能会使飞机上的附属部件如油箱等被拦阻索钩到，对舰载机有潜在的威胁。
- 8、现有的阻拦装置很难做到阻拦力保持不变，如果采取多种生阻装置，由各装置互补配合，通过计算机控制易于控制的装置，则阻力变化的调节成为可能。

本报告针对现有技术存在的问题，对阻拦索甲板上下进行了局部改进，对气缸和滑轮组减速装置进行了保留（不予以阐述），对舰上阻拦索等装置进行了适当的改进，以弥补现有的不足。下面是对本方案的具体介绍。



图 1.2

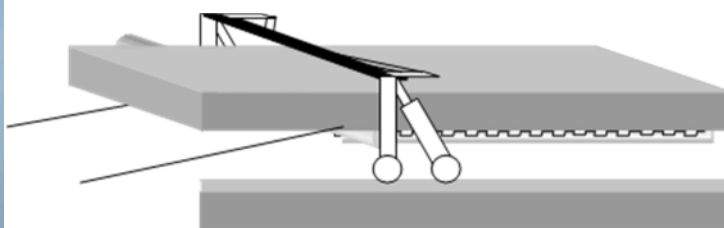


图 1.1

2. 着舰装置的介绍

2.1 装置组成

2.1.1 甲板部分：阻拦杆组件、弹簧组件、滑轨组件。

1、阻拦杆组件：

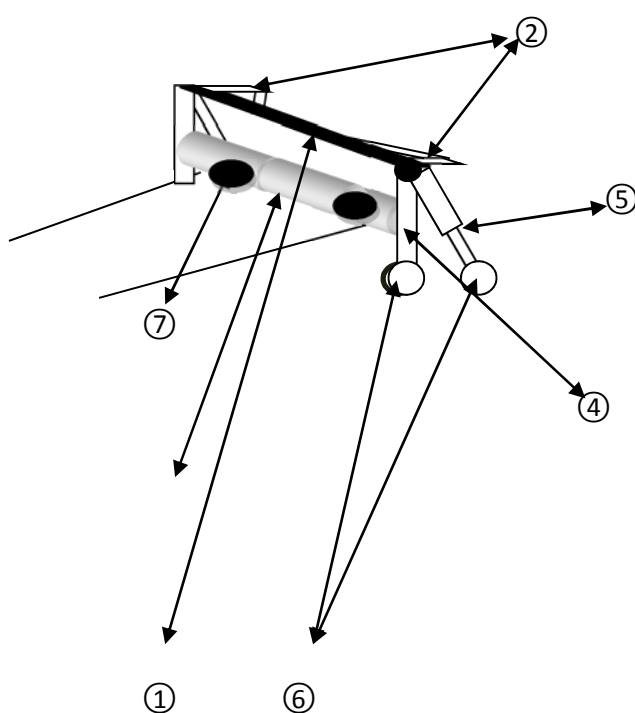


图 2.1

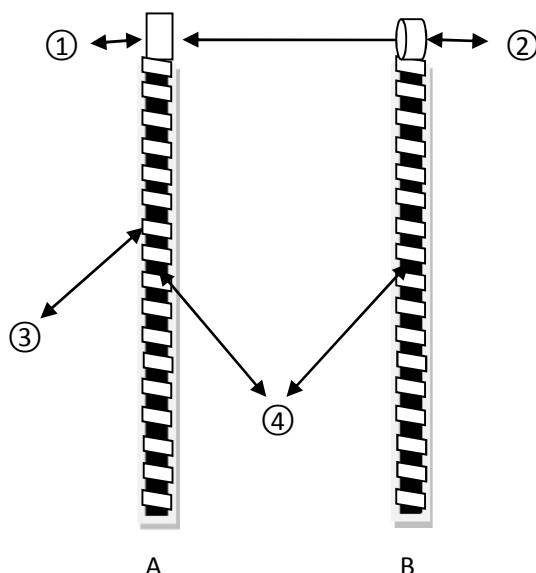


图 2.2

（为了表述明了，图示均为简易结构）

如图 2. 2：①阻拦杆：舰载机尾钩所钩部位，由硬度比较大而且韧性较好的材料制作。

目前有两种选择，一是采用对低合金高强度结构钢通过正火、淬火、弥散强化、固溶强化等材料加工技术来满足需求^[7]；二是采用高阻尼金属基复合材料，母体金属可选用高强度钢或者其他满足要求的金属材料，阻尼层数可以视情况选取，阻尼厚度在一定范围内可以根据需要调整^{[3][8]}。阻拦杆高出甲板 50—70cm, 布置在距离甲板尾部 50m 左右的位置。

②加强柱：由于舰载机尾钩对金属阻拦杆的巨大冲击作用，阻拦杆的形变是难以避免的，采用加装加强柱束缚阻拦杆的方式可以有效地解决阻拦杆形变大的问题，这是钢索阻拦因其柔软所不具有的优势。采用此装置，舰载机在着舰停机后就不会受到强烈的回退力。

③ 主杆：起压缩弹簧和拉动滑轮组绳索的作用，此部件强度要求比阻拦杆更大。它和④为一体。（主杆后方所连为拉有滑轮和液压装置活塞的绳索，前方为弹簧组）

④ 滑轮支柱：起支柱滑轮和连接主干的作用，其上有滑轮制动装置，制动力可以视舰载机吨位和阻拦要求调整。

⑤ 液压滑轮支柱：由液压系统组成，工作原理和飞机后轮液压装置基本类似（压缩后不复位，内有单向阀门），起缓冲作用，这样可以分散一部分冲击和减轻阻拦杆和滑轮支柱上的负荷。

⑥ 滑轮：左右两侧共两组，单个滑轮组有三个滑轮组成，采用前三点式布局。前面的一个滑轮结构类似于火车轮胎，后面两个边缘宽平，与轨道摩擦很大。滑轮自带制动装置（见支柱），滑轨提供阻力，见（图 2. 3）。

⑦ 簧孔：在压缩弹簧时供弹簧校正杆穿过，校正阻拦杆的方向，可以保证阻拦杆平行横向移动；同时与校正杆接触面有摩擦，提供部分阻力，吸收舰载机部分动能。

①—⑦ 共同组成金属杆件。

2、弹簧组件

如图 2. 1：该装置属于减速校正装置，起一定的缓冲减速作用，但主要调整两弹簧的长度，使两者时刻等长，从而保证金属阻拦杆时刻保持横向，避免因阻拦杆的不平行运动使舰载机受力不均而发生侧滑事故。具体介绍如下：

① ② 是使用类似于 PSD 距离测量电路的传感器^[11]，① 为发射装置，发射激光，② 为接受装置。当 A 弹簧受力过大导致压缩程度较 B 弹簧大时，② 的激光感光点上移，在极短的时间内，传感器会将此信号传给计算机，从而有适当强度大小的电流流过 B 弹簧，B 弹簧受力压缩，直到 A B 对齐。B 弹簧压缩过大时同理。其电能可以由蓄电池提供，如果发电装置可以的话，电力来源可以来自气缸转化的电能，并将其储存。

③ 结构弹簧：弹性模量比较大，能够对气缸巨大的阻力和舰载机非对正降落的非对称力起到平衡的作用，同时弹力范围比较要宽，能够承受巨大的冲击。

④ 弹簧校正杆：对弹簧起纵向校正作用，保证弹簧在压缩过程中不偏离初始方向。同时能够通过簧孔穿过主杆，对主杆也有校正作用，此外还有阻碍作用（如前⑦所述）。

3、滑轨组件

滑轨纵向安放，有滑轨中间为突起的结构，类似于火车工字型轨道，与前轮接触；

在其左右两侧各有一个阻尼皮带，两皮带为一组，由电机反向带动，对阻拦杆提供阻力。两皮带中间隔有工字型轨道，皮带与后轮接触。如下图 2. 3:

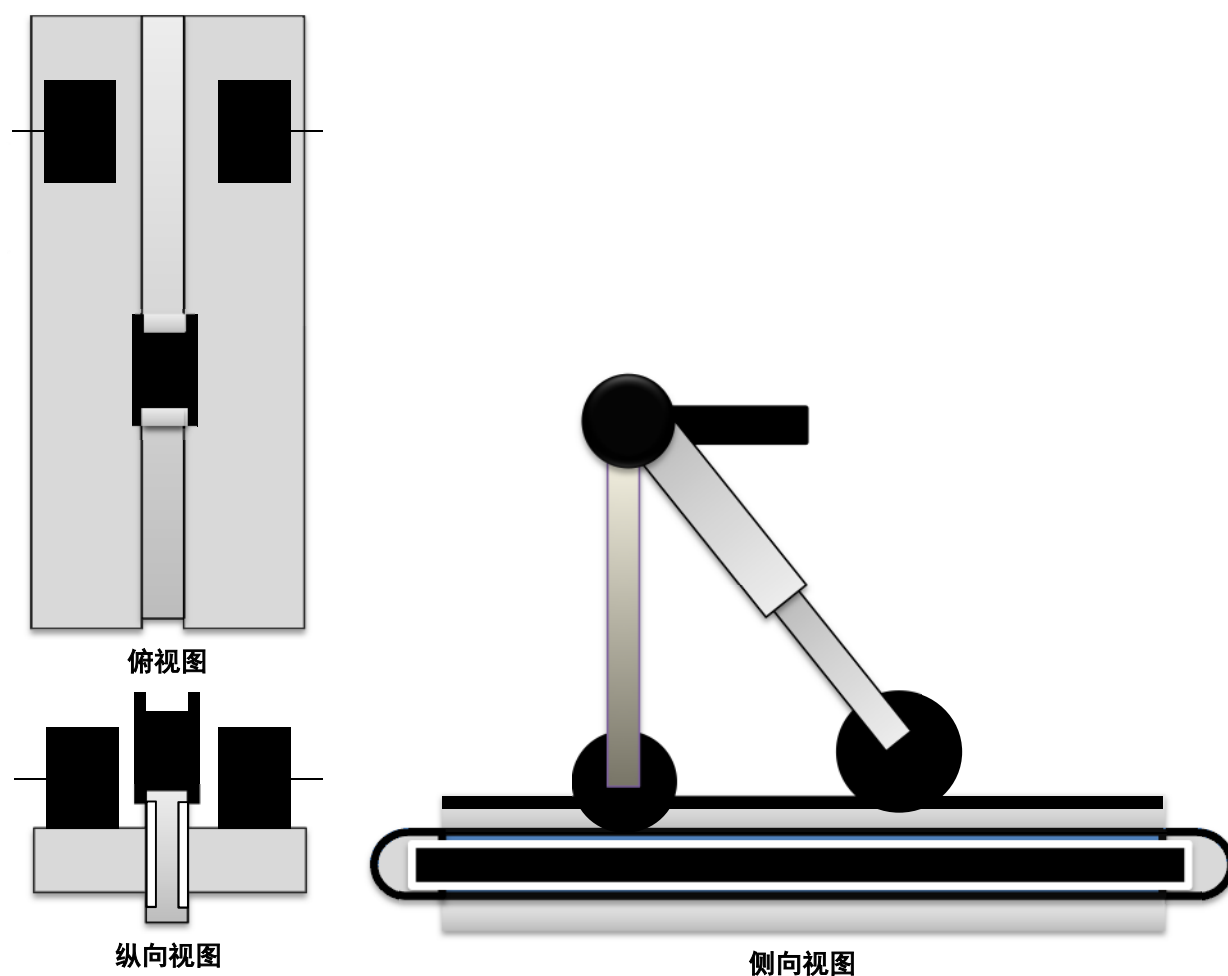


图 2.3

滑轮滑轨组件的构造不仅对阻拦杆的滑动提供阻力，同时还对阻拦杆有方向矫正作用，与弹簧组件和矫正杆作用类似，有提供阻力和矫正方向的双重作用，这样的组合有互补的特性，可靠性无疑很大。

以上金属阻拦杆组件、弹簧组件、滑轨组件再加上原有的滑轮组和气缸部分以及导航助降系统和其它预备应急装置（见 2.2），共同组成甲板阻拦系统。

2.1.2 舰载机部分

1. 拦阻挂钩——智能钩杆

舰载机降落时靠多种导航方式引导，舰载机着舰正朝着多传感器联合^[2]、高精度、高自主性的方向发展，同时，舰载机尾钩钩面和钩面角之间的矛盾（减小钩面而加大钩面角能够改善钩子的逃逸特性，但是过大的钩面角会降低拦阻钩的拦套成功率^[9]，只有

智能尾钩能做到兼顾两者)使得尾钩的局限性在一定程度上难以避免,本方案对舰载机尾钩结构做了改进,加装了与结构相匹配的传感器。

拦阻钩一般装置于后机身腹部中央,着陆时由飞行员在飞机座舱仪表板上按下释放拦阻钩按钮,拦阻钩在很短时间(如 2 秒)内放下,舰载机下降高度,尾钩着地,纵向缓冲器压紧在道面上(如图 P1),滑向阻拦杆(如下图状态 1—4)。在此过程中阻拦杆上的距离探测器发射特定频率的信号,当尾钩后面的接收器接收到信号时,通过机载计算机的判断,确定尾钩与阻拦杆的相对位置,并把这种信号传给舰载机自动着舰系统,实时调节舰载机的姿态和尾钩的位置;当距离小于某一值时,传感器执行装置触发,尾钩活动部位在极短的时间内完成向上闭合(如图 P2),同时尾钩主杆上的按钮被按压下去,尾钩分离,打开 20° 左右的角(如图 P3),此后尾钩钩住阻拦杆横向减速,完成着舰。(过程见图 2. 4)

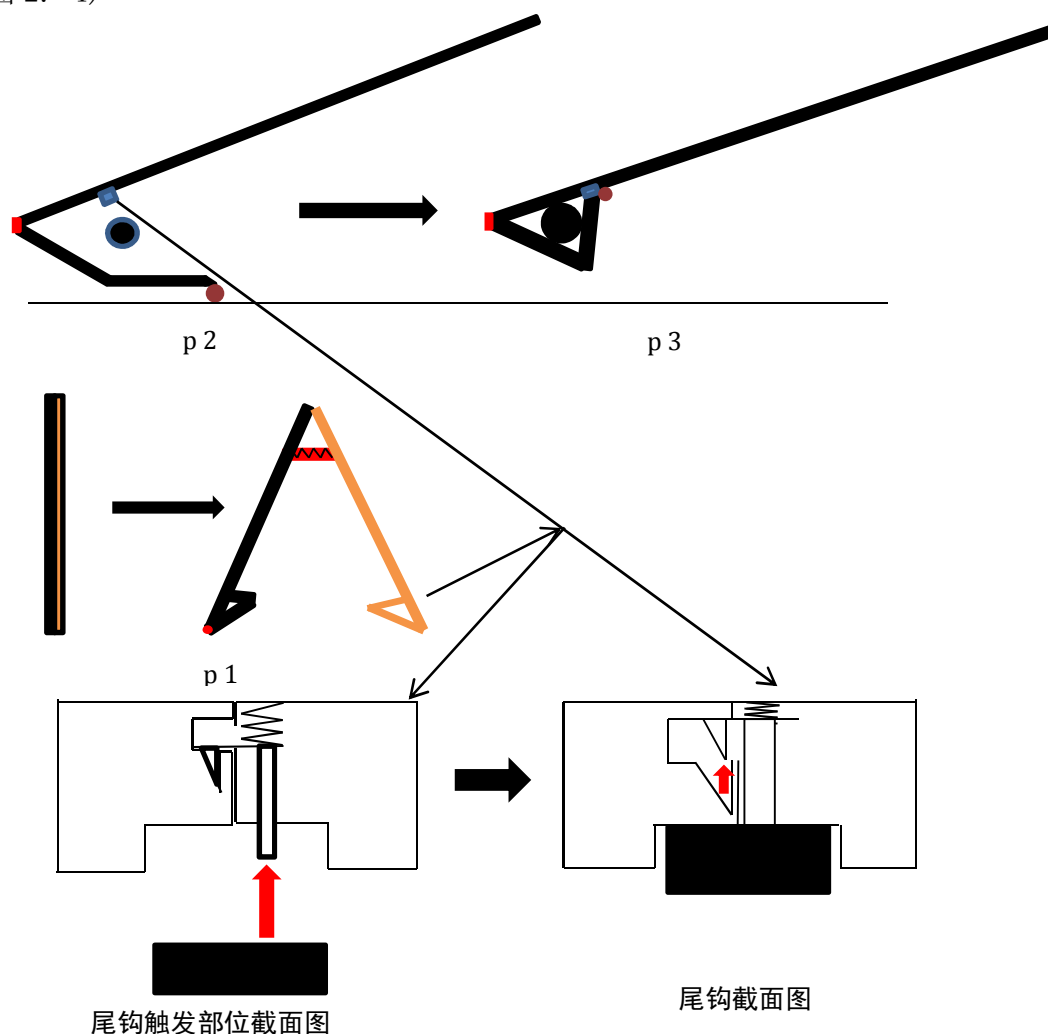
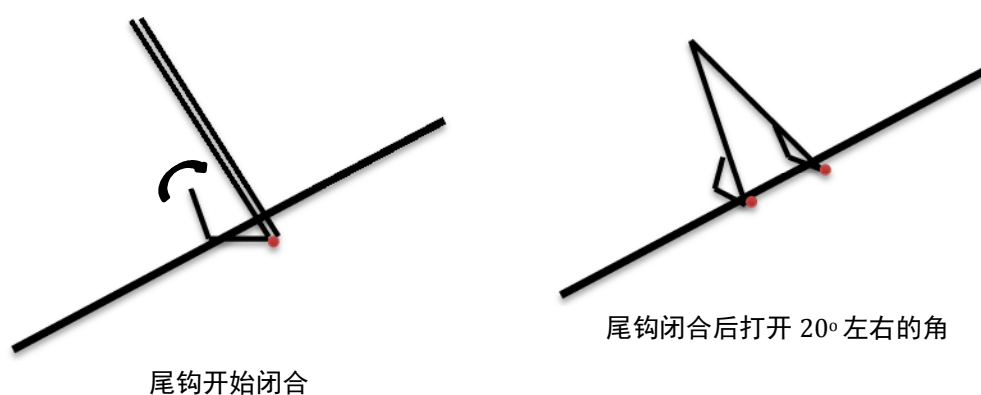
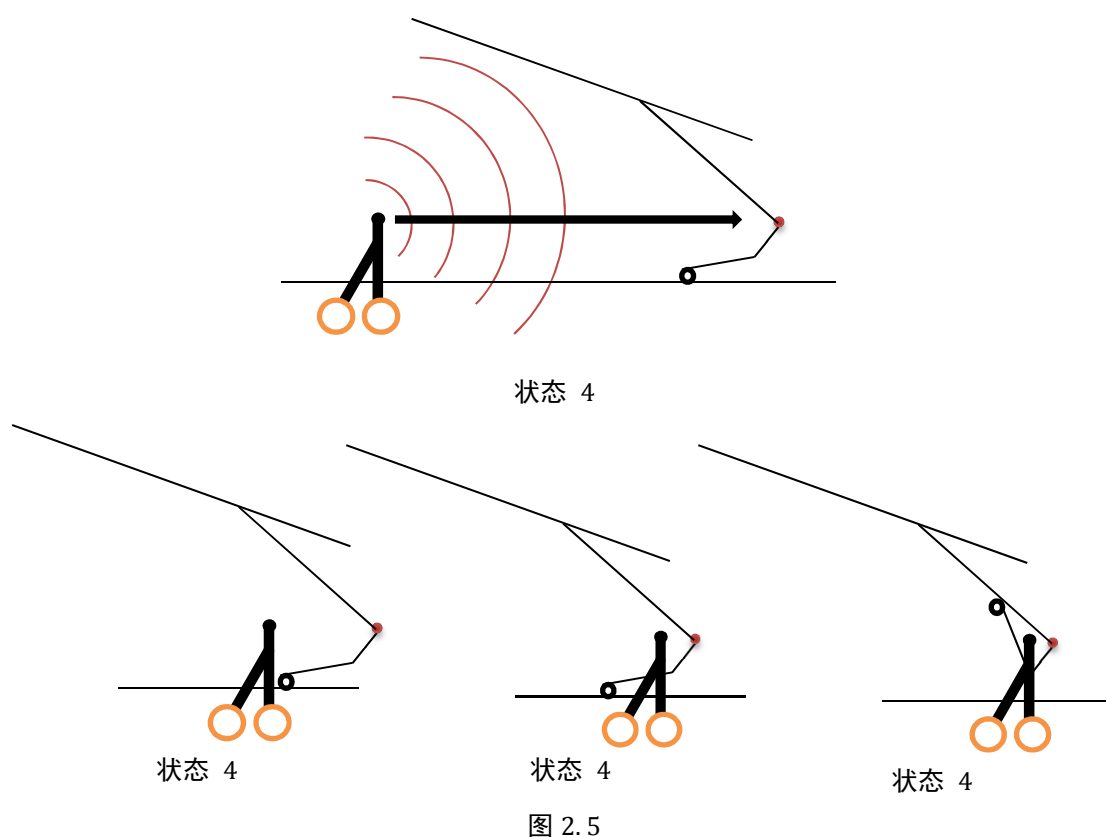


图 2. 4

尾钩活动杆闭合后,触发按钮启动,如上图。之后尾钩打开,钩住阻拦杆,最后完成着舰。

2. 尾钩杆上距离探测器的工作模式分

如图：状态 1 舰载机放下尾钩，尾钩着地，由纵向缓冲器压紧在道面上^[9]滑向阻拦杆，阻拦杆上的电磁波发射装置以一定的频率发射电磁波，当舰载机尾钩上的传感器接收装置接收到特定频率的电磁波，随着舰载机尾钩不断靠近阻拦杆，如图状态 2 到状态 3，当探测距离小于一定值时传感器执行装置触发，尾钩末端向上闭合，如图状态 4。在末端向上闭合的冲击作用下，尾钩主杆上的按钮被按压下去，触发装置启动，极短的瞬间内尾钩打开 20° 的角(如下图 1、2)，两根子尾钩钩住阻拦杆减速，这样有助于保证舰载机的横向稳定性。(该技术用在具有矢量尾喷管的舰载机上最佳)。



2.2 阻拦装置的配置

本方案相对每一根阻拦索而言可靠性更高，弥补了不少缺点，提高了一次着钩的成功率，减小了舰载机的着舰风险。但是本装置却存在一个缺点，即：甲板上只安装有一套阻拦杆，不像传统阻拦索一样有四至五根。也就是说一旦第一次没有着钩成功，舰载机就没有阻拦杆可钩了，即使装置的可靠性再高此情况也是可能发生的，因此，本方案需要与应急预备装置结合使用。以下是工作轨道的初步布置方式：

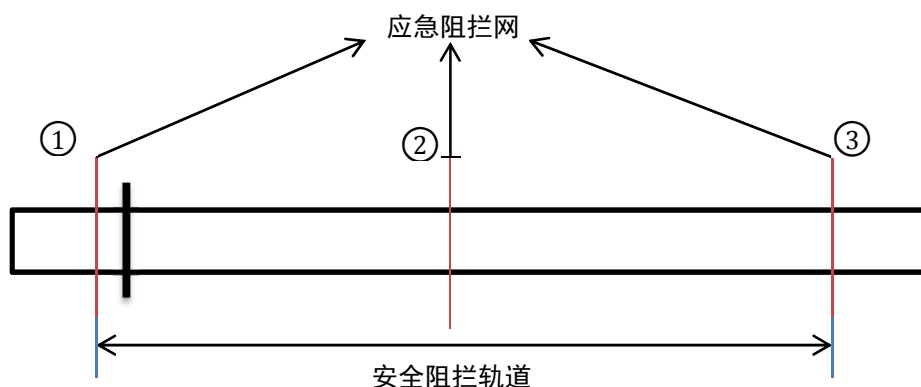


图 2.7

如上图，阻拦杆安置在距离甲板尾部 50m 左右的位置（舰载机在此位置已经降到可以钩杆的高度）；此外，设有三道阻拦网分别在 ① ② ③ 位置，与阻拦杆的配合使用。

① 号位的阻拦网是在舰载机受损或其他不能正常降落的情况下使用；② 号位是在舰载机没有成功钩住阻拦杆的情况下使用；③ 号位是在舰载机着舰失控冲向甲板前方的时候使用。

注：

阻拦装置的配置与航母类别和战术任务有关，本方案只提出一种作为参考，其他配置在具体使用的情况下决定。

3. 可行性分析

3.1 拦阻力连续变化的实现

$$\text{一架 20t 重的舰载机着舰时所受的恒定阻拦力 } F_h = \begin{cases} -22.9024S_x^3 + 1266.1S_x^2 & 0 \leq S_x \leq 36.856 \\ 573270 & 36.856 \leq S_x \leq 83.77 \\ 0 & S_x > 83.77 \end{cases}$$

其中 S_x 为拦停距离，恒定阻拦力为最大阻拦力和最小阻拦力的平均值，这是由文献[10]提供的算例和数据，据其分析可知，舰载机拦停所需时间 2.63s；飞机拦停距离为 83.77m；飞机最大加速度为 24.744m/s^2 ，航向过载为 2.53，小于指标 3^[10]。

本方案的气缸和滑轮组已经完全可以满足拦阻力的大小要求，在本方案中，气缸和滑轮组提供小于传统阻拦力的大小，其余阻力有阻拦杆的滑轮和弹簧提供。其中阻拦杆滑轮组的制动装置的制动力可由计算机控制，这样阻力可连续在一定范围内变化。这一装置以现有的自动控制技术可以实现。

3.2 阻拦杆横向的保持

前面叙述阻拦杆横向的保持时是通过弹簧、矫正杆、阻拦杆滑轮三者共同实现的。其中，经查数据，电流对线圈的作用力与阻拦舰载机的力相比非常小，所以其在矫正方向上所起的作用不大，但是它的传感器可以为三者提供信号；弹簧矫正杆对主杆的阻碍作用非常明显，可以控制材料接触面的特征来适应不同作战要求的航母；阻拦杆滑轮对制动力的控制比较灵活，而且提供的阻力相当可观（可以看做陆基飞机的制动力）。通过三者的配合或者取消弹簧部分来达到连续调整阻力，使总的拦阻力尽可能保持对称，从而保证阻拦杆横向移动，同时还可以保持总的阻力近似恒定，是舰载机尽可能以恒定的加速度减速。这在实施的过程中是可以实现的。

3.3 舰载机尾钩

舰载机尾钩要求强度大、质量轻的材料，现在发展的金属基复合材料可以满足此要求；传感器虽然在现在的舰载机自动着舰技术的发展过程中日渐成熟，但是其可靠性与准确性还有待提高，不过，我们可以通过发射两种或三种复合频率的电磁波作为信号来解决干扰的问题。或者我们也可以采用其他较远距离内有效的传感器，从而提高其可靠性；舰载机与尾钩交接处强度要求高，有液压装置来控制其上下活动，从而及时做好调整。这些在现阶段也是可以实现。舰载机尾钩的构造（见前 2.1.2）也是简单的机械结构，可行性较好。

4. 结语

本文通过对现有舰载机阻拦技术的分析，阐述了我们的方案。我们摒弃了传统的束缚，从影响舰载机着舰安全的主要因素出发，将柔软的阻拦索换为阻拦杆，将难以控制的气缸、滑轮组阻力部分分担给容易自动控制的阻拦杆滑轮制动力。当然，由于本方案是初步设计，所以在设计中仅考虑最基本的设计要求。如果要将其应用，还得经过严格的测试，对舰载机着舰阻拦期间所受的诸力（含拦阻力、空气动力等）等进行动力进行分析，以确定拦阻钩最佳布置、阻拦装置的最佳配置和布置方式。相信在不断地验证、改进后，我们能够拥有属于自己的航母拦阻技术。

参考文献:

- [1] 牟让科. 飞机非对称着陆和滑跑载荷分析[J]. 机械科学与技术, 2010, (9) .
- [2] 唐大全等. 自主着陆/着舰技术综述[J]. 中国惯性技术学报, 2010, (5) .
- [3] 张小农 吴人洁 张荻 张国定. 高阻尼金属基复合材料的发展途径[J]. 材料工程, 1997, (9) .
- [4] 陶杨. 贾忠湖. 侯志强. 舰载机拦阻着舰动力学研究[J], 海军航空工程学院学报 2010, (2).
- [5] CURTIS P MRACEK, D BRETT RIDGELY. Missile longitudinal autopilots:comparison of multiple three loop topologies[C]//AIAA GNC Conference SanFrancisco, CA. 2005.
- [6] ADAMS R J, CONRARDY N M Design plant manipulations for implementation of an LQR controller in a classical three loop autopilot[R]. Raytheon Missile Systems, 2003.
- [7] 陈志源. 工程材料 [M]. 武汉理工大学出版社, 2003.
- [8] 蒋明华. 神奇的材料. 山东科学技术出版社 总编 王修智 主编.
- [9] 柳刚. 飞机着陆拦阻装置的设计方法研究 [D]. 南京航空航天大学, 2006, 3. 1.
- [10] 柳刚. 舰载飞机着舰拦阻钩碰撞及拦阻动力学研究[D]. 南京航空航天大学, 2009, 11.
- [11] 周严. 测控系统电子技术[M]. 科学出版社, 2007.

附录

1953 年 3 月 9 日，美国海军“本林顿”号航空母舰(CV-20)上一架 F-9F 舰载机降落时挣脱了阻拦索，冲向一个处于下降状态的升降台。恰好此时升降台上有另一架 F-9，于是两机亲密接触，导致了事故的发生。（新华网军事论坛）

1981 年 5 月 26 日，美国一架 EA-6B“徘徊者”电子战飞机在向“尼米兹”号航母二次降落时，没有对准降落甲板中线，而是位于跑道偏左，机头向着右侧，而且当时的降落速度远大于美国海军条令规定的最佳着舰速度，导致了事故的发生。（新浪军事）

2003 年 4 月 1 日，美国一架 S-3B 舰载机在航母飞行甲板降落区中线上滑行时出现了故障，滑向了甲板左侧，并最后冲出了甲板，落到了飞行甲板的防护网上，机上两名飞行员弹射出来后落入水中，接着这架飞机也掉到了 60 多米的海水中。（中国船舶信息中心 张信学）

2003 年 11 日，美国一架 F/A-18 战斗机在“乔治·华盛顿”号航空母舰降落时坠入海中，造成 12 人受伤。航母上的拦阻索与舰载机脱离导致舰载机是这起事故的原因。（新华网消息据路透社报道）