

# 航母的舰体结构

吴荣宝

## 航母舰体的发展过程

航母是一种以舰载机为主要作战武器的大型水面舰船,因此航母平台的结构形式应是一座海上机场。机场首要的条件应具备飞机起飞和降落的跑道。原始的跑道是在舰首甲板上铺设木制砖,后来的跑道发展成架设在船体主甲板上的平台结构,它只承受飞机的起降载荷,与船体的总强度关系不大,所以强力甲板仍然是船体主甲板。从英国在一战中改装的“百眼巨人”号航母的外貌上,可以看到飞行平台是靠支柱和桁架结构支撑着。

美国也把“木星”号运煤船改装成第一艘航母“兰利”号,其飞行平台的后部座落在尾楼上,而大部分的甲板则用桁架结构支撑着。可以很清楚地看到飞机都停靠在甲板上,甲板下除了支撑结构外,还

保留着煤舱的舱口盖。

经过进一步改进,又把飞行平台下的舱室设置成停放飞机的库房,这种结构称“开式机库”。机库甲板仍是船体梁的强力甲板,而飞行甲板则由横向框架支撑,以承受飞机载荷和扭转弯曲的作用力。

随着航母的不断改进,为了安全地储存携带的飞机,后来又把机库外侧板封闭起来。这样,封板便成为舰体舷侧的延伸部分,飞行平台真正过渡为飞行甲板,并且飞行甲板已成为承担船体总强度的强力结构。美国战后建造的“小鹰”号就是典型的全封闭航母,机库也称“闭式机库”。

二战后,喷气式战斗机上舰,使直通的起飞和降落跑道不堪重负。英国海军把直通式飞行甲板改为斜角式飞行甲板,将

起飞和降落的跑道分为2个独立区域,这样的改动就将飞行甲板的最大宽度比水线面宽度扩大了一倍。以美国航母“尼米兹”号为例,它的水线面宽为40.8米,而飞行甲板的最大宽度达72.8米。这种两舷极度外飘的外形就形成了航母特有的舷台结构,加上设置在中线面的升降机改放在舷侧,使飞行甲板结构变得更为复杂、更为重要了。

由于大量的航空舱室需要布置在飞行甲板附近,也考虑到飞行甲板结构的强度,现代航母在飞行甲板下面设置了一层称为“吊舱甲板”的结构,这种双层组合结构为大跨度的机库提供了坚固的顶棚。

航母抵御敌方的攻击能力很强,它不但具有名目繁多的各种主动防御武器,而且还有很强的自身防护系统。在结构防护上,中大型航母的舷侧都设置了若干层空舱或液舱,用于抵抗鱼雷和导弹的爆炸破损。大型航母的防护舱一侧多达5~6个,船体底部也设置3层底,形成了一圈水下防护结构。其中的防护壁子的强度和厚度也是十分特殊的。在二战期间,舰船的装甲可达127~190毫米。美国航母的飞行甲板和机库甲板在重要的舱室上部也进行了装甲加强,甲板防护可防御空中攻击的炸弹爆炸对重要舱室的破坏。

另外,弹射和拦阻等特种装置的加强结构、舷侧机库大门及升降平台的加强结构、岛式上层建筑的固定结构、4轴4桨的附体支撑结构等都是航母所特有的结构形式。

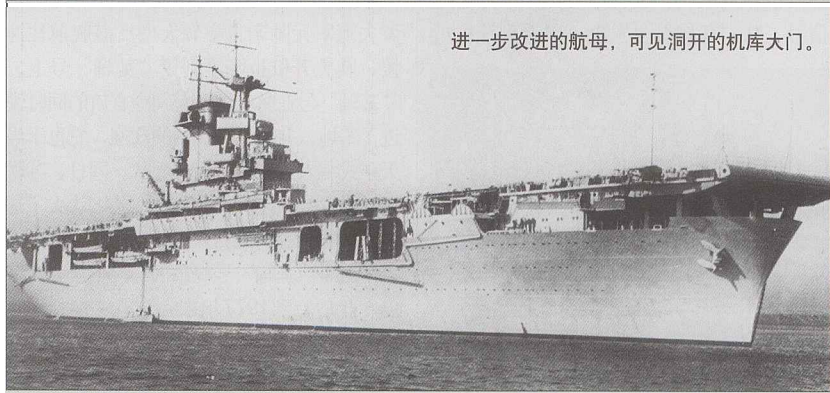
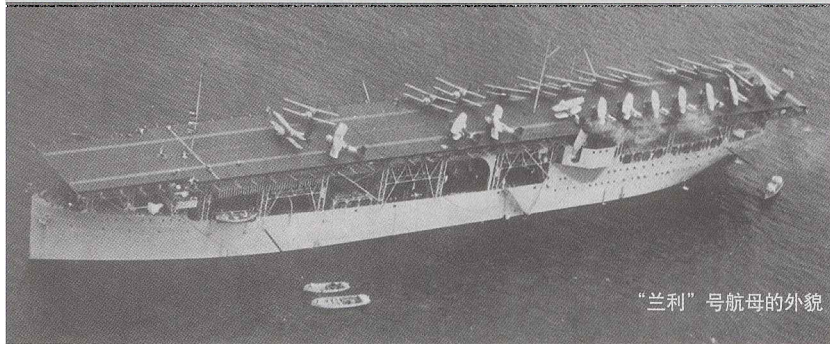
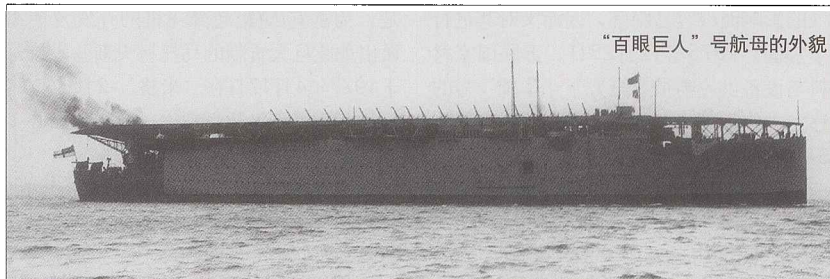
相应地,航母的建造过程也有它的特殊性。由于航母具有巨大的左右舷台,在建造总装时应该先完成主船体,后安装舷台。另外,舷侧防护结构的加工和装配、为设置弹射器的近百米的甲板槽型开口施工、拦阻装置的定位安装、机库大门和升降平台的安装、蒸汽动力装置或核动力装置的安装、岛式上层建筑的整体吊装等都是航母特有的建造工艺。

## 航母总体布置和舰体结构特点

航母的结构与其他水面舰船相比,由于其作战性能的特殊性,所以在设计和布置上有很大的不同,主要有如下的总体布置和船体结构上的特点。

### 总体的分层布置

航母的内部分层可以根据舰的大小来确定,对于大中型航母的主船体一般可分成十层左右,上层建筑一般有七层左右。



现代航母已是全封闭式航母，机库也称“闭式机库”，而舷侧结构愈加复杂。



具体可见美国某航母剖面图。

#### 航母舱室的布置

航空母舰主要的作战武器是舰载机，因此除了宽大的飞行甲板能满足舰载机的起降之外，还要有庞大的机库以及飞机的维修、油料供应、弹药储备、人员工作和生活的舱室，所以航母的舰体内布置有相当数量的舱室。以美国“小鹰”号航母为例，全舰共有1500个各种用途的舱室，其中人员居住舱室有150个左右，舱室总面积达8200平方米左右。通道约140条，弹药舱120个，各种油水舱和隔离舱900左右，机舱和操控室有57个，储藏舱150个左右。全舰共有通风空调舱室470个，通风管的总长度达32万米，全舰的电缆长度

达68.5万米。

航母舰体内的舱室布置按甲板层序大致如下：首层为飞行甲板，主要分为降落区、起飞区和待机区；第2层为吊舱甲板，首部主要布置弹射汽缸和附属设备，中部是飞行员住舱和食堂，以及战斗值班室，尾部布置有阻拦装置及其附属设备；3、4甲板中部是机库大开口，两舷设置了维修人员和雷达人员的住舱，首部为锚链舱，尾部为系统装置舱；5甲板大部是机库和附属舱；6甲板为飞机修理场；7甲板为士兵舱和生活舱室；8甲板为食品库和行政办公室。8甲板以下3层主要设置机舱、发电机舱、弹药舱和航空燃油舱。底部及舷侧设有动力燃油舱。

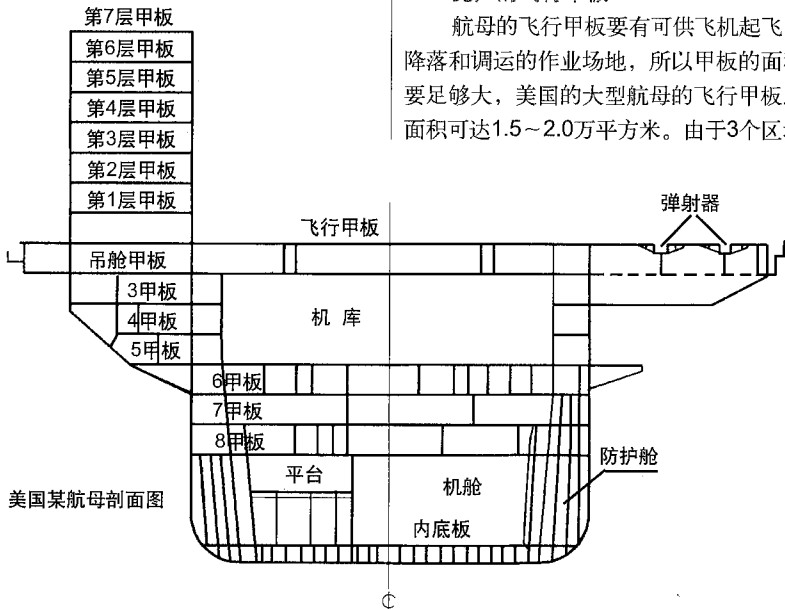
#### 宽广的飞行甲板

航母的飞行甲板要有可供飞机起飞、降落和调运的作业场地，所以甲板的面积要足够大，美国的大型航母的飞行甲板总面积可达1.5~2.0万平方米。由于3个区域

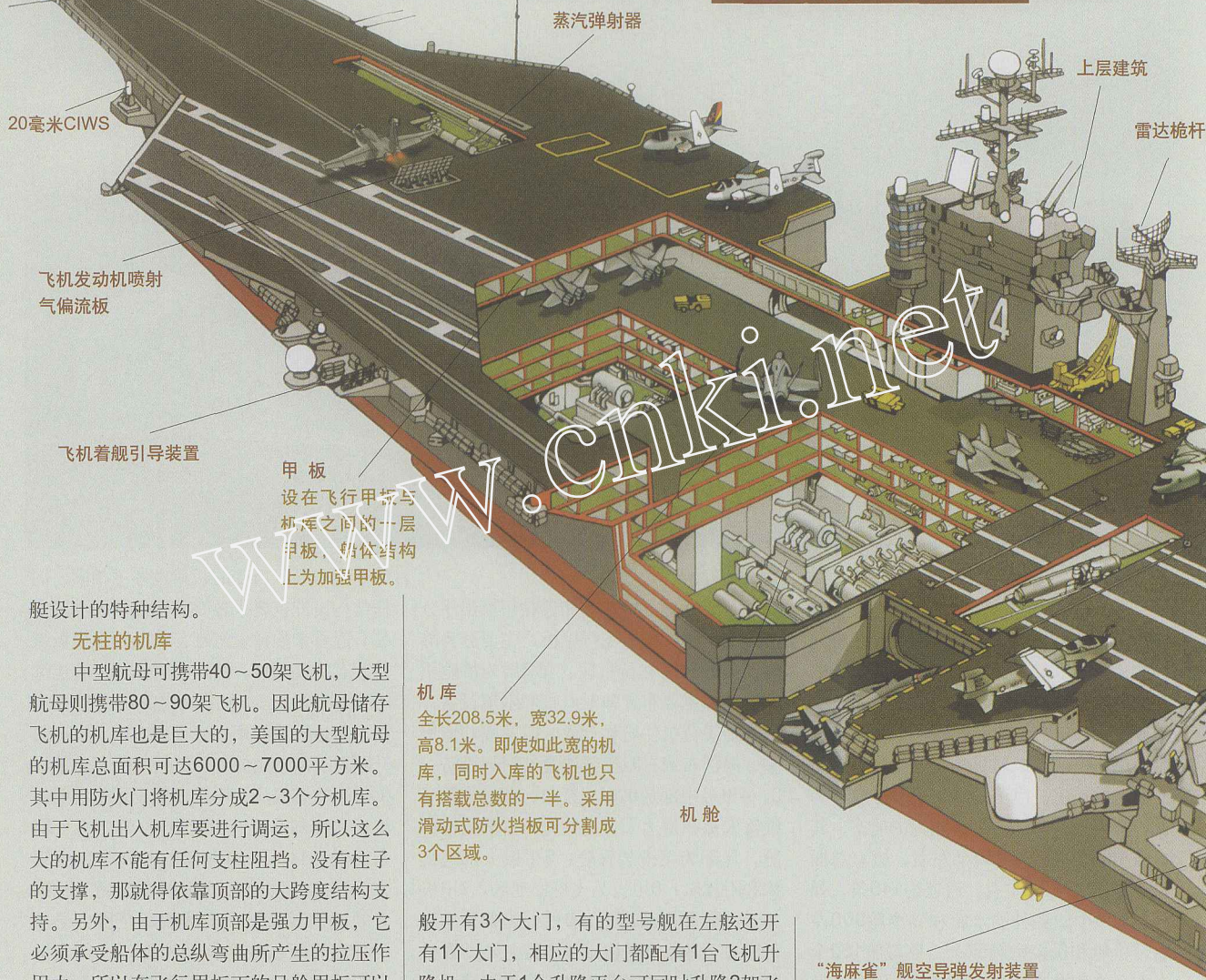
的功能不同，所受的载荷也各不相同，同样结构设计也要求各有其特点。起飞区安装有近百米的弹射汽缸，所以起飞甲板就得开有特长槽口，槽口的箱体下面有连续的支撑结构。对于滑跃式的起飞甲板来说，跑道区域的甲板必须考虑由飞机在斜升跑道上所作用的轮子载荷。为了阻挡飞机起飞的燃气流，甲板设置了可起伏的偏流板和冷却水管，由此甲板开有 $4.5 \times 11$ 米的大开口，开口角隅的加强得用计算方法确定。降落区的甲板要受到飞机的着舰冲击载荷，在降落跑道范围内必须要加大甲板板厚和构架密度。在待机区内要考虑飞机调运时的轮载作用力。大型航母的飞行甲板还要作为机库的防护装甲层，所以飞行甲板的板要成倍地加强。按常规设计飞行甲板还得计及风浪和雪载等的作用力。

#### 巨大的舷台结构

航母在左舷斜设了降落跑道，右舷又设有升降平台和岛式上层建筑，这造成了飞行甲板的宽度比主船体宽一半以上，所以在主船体的左右舷应加装巨大的舷台。舷台的甲板是飞行甲板的延伸部分，舷台的外板斜撑在机库甲板下面的6甲板上。舷台结构设计要计及舷台的自重、甲板面所受的飞机载荷以及外飘舷台所受的波浪抨击载荷。舷台在机库大门区段布置有升降平台大开口，开口的角隅处也需要作专门的加强。因为升降平台的传动装置就安装在平台的两侧，这就会引起该处的结构受有很大的平台提升载荷。舷台结构是航空母舰的一项重要的、有别于其他水面舰



美国“尼米兹”级航母剖视图



艇设计的特种结构。

#### 无柱的机库

中型航母可携带40~50架飞机,大型航母则携带80~90架飞机。因此航母储存飞机的机库也是巨大的,美国的大型航母的机库总面积可达6000~7000平方米。其中用防火门将机库分成2~3个分机库。由于飞机出入机库要进行调运,所以这么大的机库不能有任何支柱阻挡。没有柱子的支撑,那就得依靠顶部的大跨度结构支持。另外,由于机库顶部是强力甲板,它必须承受船体的总纵弯曲所产生的拉压作用力。所以在飞行甲板下的吊舱甲板可以与飞行甲板组成双层组合结构,它与机库两侧的双层纵壁形成巨大的箱形结构。

#### 硕大的动力机舱

航母的动力系统一般采用4桨4轴,4套蒸汽轮机装置和8套锅炉装置占据硕大的空间,安装这些装置的基座结构以及用于减振装置的结构是十分复杂的。而机舱顶层的甲板到双层底有3层甲板的高度,由顶层的8甲板上部所传下的8层甲板的合力是巨大的,要顶住这么大的合力,也只能采用诸多粗大的支柱或特殊隔壁给以支撑。机舱位于水线以下,由于它是全舰的动力源,是保证舰的生命力和战斗力的重要舱室,所以机舱区域的两侧设有装甲防护舱予以防护。

#### 舷侧的机库大门开口

大型航母的机库长约210米,宽约32米,高约8.1米。一般机库的大门布置在右舷,中型航母开有2个大门,大型航母一

般开有3个大门,有的型号舰在左舷还开有1个大门,相应的大门都配有1台飞机升降机。由于1个升降平台可同时升降2架飞机,平台的长度要超过20米,所以机库大门的宽度也要在20米左右,而大门的高度应比折叠后的飞机要高。机库大门的开口尺寸一般在 $20 \times 7.0$ 米。机库的开口位于吊舱甲板附近,该区域的内力分布十分复杂,尤其是在开口的角隅处,为减小该处的内力大小,开口的长边做成半圆形,成为椭圆开口。椭圆的半圆形处用加厚板和加大构架的方法进行加强。加强后的方案还必须用计算方法作强度校核。

多道舷侧防护舱壁  
由于航母是海上作战编队的核心舰艇,是争夺战区制空权和制海权的关键力量,所以航母是敌方的重点打击对象。航母除了具有主动防御的飞机和对空武器之外,还具有装甲和水下舷侧防护舱壁等被动防护能力。在敌方的攻击武器冲破反击火力网时,船体遭到直接爆炸破损后,还应能保证航行能力和作战能力。舷侧防护

#### 多道舷侧防护舱壁

舱壁就是防御水下鱼雷和水雷直接命中的一种特殊结构。它是若若干层纵向壁子分隔成几组舱室组成的,组成防护舱的每个舱室具有不同的功能,空舱是为了减缓由爆炸产生的高聚集能量,液舱室能吸收大量的爆炸能量,使爆炸后的冲击能量经过各个舱的吸收和缓和达到防御的作用。大型航母一般每舷设5个以上的隔舱,空舱和液舱的组成方案以及隔舱的结构设计需采用非常复杂的计算和巨大的实体爆炸试验方法确定。

“海麻雀”舰空导弹发射装置

#### 发动机试验室

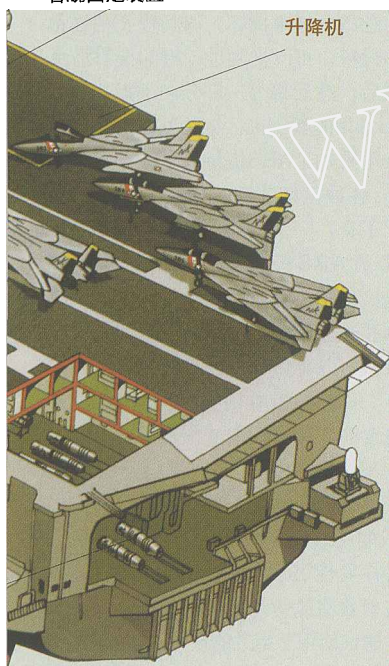
特种起飞装置的加强结构  
特种起飞装置是航母所特有的,它的装舰将会对舰体结构提出各种加强要求,需要进行专门的理论研究和试验验证。例如,起飞用的弹射器、汽缸、活塞车、制动水缸等装置结构都要进行合理的

#### 特种起飞装置的加强结构

特种起飞装置是航母所特有的,它的装舰将会对舰体结构提出各种加强要求,需要进行专门的理论研究和试验验证。例如,起飞用的弹射器、汽缸、活塞车、制动水缸等装置结构都要进行合理的

加强。飞机在助飞时弹射器将受到很大的牵引力,最大的预警机的重量可达二十几吨。从飞机制动器的启落、飞机开始启动到加速直至起飞,整个过程的受力是相当复杂的。飞机完成助飞脱钩后,活塞牵引车又要在很短的距离内制动下来,这瞬间的巨大载荷都要由支撑制动水缸的加强结构来承受。飞机降落用的阻拦装置,阻拦索、导引滑轮装置、还有阻拦网柱子,也要在飞机降落时受到瞬间的冲击制动载荷。飞机升降平台在起吊飞机时要受到机重和摇摆惯性力的作用,并要求平台结构保持足够的刚度,在起降过程中不发生平

着舰固定装置



台卡轨的现象。还有飞机在甲板上和机库内的系留力等,都要作仔细的分析和研究工作。

#### 舰体采用的材料

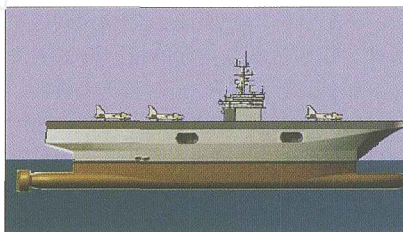
由于航母的舰体庞大,结构复杂,强度要求苛刻,为增加飞机和武器的有效载荷,又必须控制舰体的自重,所以航母舰体一定要采用高强度合金钢。钢材的屈服强度一般在5000~8000千克/平方厘米。美航母舰体采用的材料是HY-80、HY-100等钢材,俄航母采用的是AK系列合金钢。英国在二战中的航母习惯采用的软钢,其屈服强度也加强到3200千克/平方厘米。各国航母的主船体不管用何种强度的钢材,但防护装甲的用材,却都是该国拥有的强度、硬度和韧性均最好的合金钢材。

为降低造价,合理地使用钢材,在船体结构设计时,各国舰船都根据不同的强度区域、不同的功能选用不同等级的钢材。航母也遵循这个原则,从防护装甲、强力结构、主船体不同区域的外壳板、普通结构、围壁结构,钢的等级可从高到低因材选用,为控制重量甚至采用铝材和复合材料。

### 航母船型展望

#### 小水线面船型

小水线面船型具有甲板面积大和稳性好的特点,是一种较理想的直升机或固定翼飞机航母。小水线面船一般由水下潜体、水上平台及支柱三部分组成。水下潜体内布置有推进系统、传动机构、其他特种设备及油舱、水舱、压载舱等,水上平台可布置飞行甲板、岛式上层建筑、机库、抗扭箱,也布置有主机、辅机、特种设备及住舱等。支柱是一个较薄的流线型



柱体,它将水下潜体与水上平台连接成一体。其水线面较小,内部可布置传动机构、电缆、管道系统和通道等。小水线面船的船体湿表面积较大,摩擦阻力较大,因此低速时快速性能较常规船差。但是小水线面船的推进系统的轴系无斜度,伴流大而均匀,推进效率可提高,特别是在波浪中失速率较常规船低得多,高速时其兴波阻力相对较小,所以小水线面船总的阻力可能有所下降。

小水线面船型目前只使用在千吨以下的船舶,没有建造过大吨位军舰的经验。虽然国外做过许多设计研究,但由于技术上的原因,近期还不能在航母舰体上得到应用。

#### 侧壁式气垫船型

侧壁式气垫航母是具有很大吸引力的设想方案。这种航母采用与气垫船相同的原理,专门装备一种能产生巨大升力以举起航母的风扇,能使航母飞离海面一定距离航行,又可在浅海或沼泽地行驶,使航母成为自由迁移在海上的“浮动机场”。它在海面航行时不再像传统航母那样靠水的浮力来支撑,没有水阻力的损耗,航速可超过100节。这样高的航速可以使舰上的常规起降飞机不需要借助弹射器即可起飞,也无需阻拦装置的帮助进行着舰,这

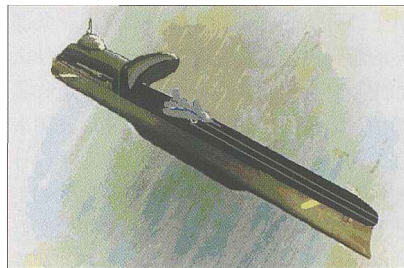


也是其他航母所不能达到的。

但是侧壁式气垫船型也只使用在高速艇上,目前国外只停留在几千吨的腾空船研制中,要在航母上实现,还有很大的技术困难,但是随着气垫技术和制造工艺的不断发展,新世纪里,排水量达万吨的气垫式航母将能够成为现实。

#### 水下潜水船型

航母及其编队在海上是一个巨大的游弋舰队,是敌方明显的打击目标。如何使具有快速反应的航母兼有隐蔽的突然袭击能力,是航母发展的关注热点。由于潜艇具有隐蔽性好、突击力强和续航力、自给力大等突出优点,航母船型借助潜艇的水下隐蔽性能是一条很好的途径。预想中的水下航母在深海它能像潜艇一样远距离隐蔽运动;当浮出水面时,则可作为战机的起降平台对敌发动出其不意的突袭效果。水下航母编队以水下航母为核心,与各种支援保障潜艇组成水下机动作战部队。它既可用于深海的反潜作战,也可对水面舰船、甚至对陆地进行攻击,是一种威力无比的战略舰艇编队。



二战期间日本就进行过这样的尝试,当时建造的“伊-400”型潜艇能携带3架“晴岚”式水上飞机。起飞时利用艇首的26米长的弹射器,完成任务后可用起重机回收。由于日本的战败,该级潜艇只能作为潜水航母的一个雏形而终结。目前,世界上大型潜艇的吨位已达到万吨以上,与轻型或中型航母不相上下,从理论上说大型潜艇已具有载机的能力。美国在这方面进行了一些研究,据相当乐观的预测,在21世纪,水下航母将可能出现在新型海战武器装备之列。