

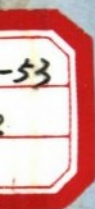
譯 文 77—02



廈門水產學院	
漁船製造系資料專用章	
總 號	分 號

廈門水產學院	圖書
漁業機械系資料專用章	
總 號	分 號
U-4	0128

船舶操纵模拟器译文集



第六机械工业部 第七〇二研究所
第七研究院

一九七七年六月

毛主席語錄

自然科学方面，我們比較落后，特別要努力向外国学习。但是也要有批判地学，不可盲目地学。

我們不能走世界各国技术发展的老路，跟在別人后面一步一步地爬行。我們必須打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期內，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。



目 录

前 言	1
一、训练效率是模拟器复杂度的函数	3
二、利用通用的高级失事潜艇操纵训练装置进行 SSN688 型潜艇设计效果的研究	48
三、潜艇安全潜水训练模拟器	77
四、潜艇模拟器	87
五、荷兰船模试验水池船舶机动和操纵模拟器	93
六、关于手操舵的船舶操纵运动的实验研究(一) ——关于手操舵时船舶航向稳定性方面的模拟器研究	107
七、环境条件及人员因素对船舶操纵性的影响	120
八、附 录	130

MS44/04

前 言

船舶操纵模拟器是利用模拟机或数字机,通过运动系统或显示系统复制船舶运动状态,从而实施船舶操纵的一种地面模拟设备。它与航空工程中常用的飞行模拟器相类似。

众所周知,地面模拟的概念,只是在飞机发明之后才产生的。危险的空中飞行威胁着人的生命,迫使人们不得不寻求一种地面设备,以预先研究飞机的性能,并训练驾驶员,尽量减少空中训练的时间。开始,这种地面设备只是一种单纯的训练器,用以训练驾驶员的操纵技巧。

到了40年代末期,由于实时模拟计算机的试制成功,才使这种训练器具备了模拟器的特征,它能够通过模拟机求解运动方程,从而复制飞行器的运动。之后,飞行模拟器在航空工程中开始了日新月异的发展。

到了60年代,由1个自由度到6个自由度的运动基础模拟器和固定基础显示模拟器已经是层出不穷了。70年代以来,由于数字机计算速度的日益提高,已经出现了不少用数字机控制的飞行模拟器,以实现更为精确的理论研究。

与飞行训练器一样,潜艇训练器也早已被世界上各海军国家所采用,因为潜艇运动的危险性并不亚于飞机,在二次大战中潜艇的沉没事件是屡见不鲜的。50年代以来,美国对潜艇模拟器的研制特别重视,到目前为止,研制的潜艇运动基础模拟器就有7、8种。

随着现代海战对潜艇机动的要求愈来愈高,潜艇操纵就日趋复杂,要求进行全艇操纵及武器的集中控制,潜艇运动模拟器就成了进行潜艇集中控制研究的重要工具。

水面船的情况却有所不同。甚至到70年代以前,人们都还没有感到有研制操纵模拟器的必要,因为对于水面船舶的航行,人类已有了长期的经验积累,驾驶员的训练过去一直是在实船上进行的,而在实船操纵方面也并未提出重大的问题需要解决。

可是,自从出现了巨型油轮以来,对于操船人员产生了一个过去从未遇到过的特殊操纵问题,巨轮的巨大惯性常使操船人员在操舵后不能发觉它的运动,而当它一旦运动之后操船人员又不能迅速制止它。如果没有巨型船的操船经验,操船人员面对这种情况往往措手不及。

另外,随着港口吞吐量的不断增加,港口内船舶往来穿梭、拥挤不堪,失事事件不断增加,特别在夜间进出港时,碰撞危险性更大。在这样的情况下,研制水面船操纵模拟器才成了当务之急。1970年荷兰试验池试制的巨型船操纵模拟器(显示模拟器)及美国海军训练装置中心试制的驱逐舰系泊模拟器(显示模拟器)成了两种不同用途的水面船操纵模拟器的样板。

由船舶操纵性的角度看,船舶操纵模拟器是实现船舶操纵性闭环研究的有效工具。这里,操纵人员(或自动操舵仪)作为船舶操纵系统中的一个环节。迄今以前的船舶操纵性只是研究船舶固有的特性,亦即所谓开环操纵性。由实用观点看,船舶操纵的好坏,不仅取决于船舶本身的特性,而且与操纵人员的生理学、心理学特性(或自动舵特性)即所谓人一机因素有关。

船舶操纵模拟器可以实现上述这类综合的操纵性研究。它除了可以利用计算机进行经典的船舶操纵性开环研究外,还可以研究受环境影响的人一机因素。例如研制、调整、鉴定自动舵、各种导航仪表或其它新的控制系统;研究流、波浪、浅水、风、雾等或夜间航行时对船舶操纵的影

响，以制订在各种外界条件下的船舶操纵性指标；研究巨型船的操纵性能，以设计新的海港（如确定海港水道宽度等）；研究潜艇的空间机动，以确定潜艇安全运行界限（如确定可能的最大纵倾角等）。

除此而外，船舶操纵模拟器尚可进行驾驶员、操舵人员等的训练；选定实船试验方案；在船舶操纵性设计的全过程中可用它进行初步设计方案的选择、选定船模试验方案、利用船模的操纵性试验数据再进而选定设计方案、在船舶建造过程中尚可利用它进行船舶操纵性修改设计、在新船出航前还可用以事先对该船进行操纵性鉴定等。

因而、船舶操纵模拟器不失为联系理论研究、产品设计、实际操纵这三者的桥梁，也是实现研究、设计、使用三结合的重要手段之一。相信在今后的年代中，它必将在船舶操纵性研究中发挥更大的作用。

本译文所收集的七篇文章，四篇是潜艇运动模拟器，三篇是水面船操纵模拟器。并列出了部分参考文献。最后还把1976年前世界各国已建的部分潜艇及水面船操纵模拟器的图片登载于本译文集的附录上，以供参考。

译 者

1977年6月



訓練效率是模拟器复杂度的函数

美国海军訓練装置中心

前 言

(一) 目的 本研究的目的是比较为实施某些操纵课目而具有各种不同模拟度的训练装置的效率。本研究所选的操纵课目是高速潛艇航向和深度的单人控制。在下列的一些潛艇操纵和下潛训练器上测定潛艇在深度、航向单独变化或两者同时变化时的航行性能。

1. 多能的潛艇模拟器(21B20A 装置)。它是一台非常复杂而又逼真的模拟器,具有完整的运动方程程序以模拟“鸚鵡号”(DART-ER)潛艇。该模拟器的性能作为成功地进行下潛和操纵的标准。

2. 一台简化的纵、横倾倾斜台,可以用包括有 47 台放大器和 7 台伺服乘法器的(PA-CE)型计算机编排运动方程程序的电动舰艇局 EB 模拟器。该模拟器仅在某些次要方面与 21B20A 装置有所不同。例如:仪表布置稍稍紧凑些,使用表头而不用同步机以示简化。

3. 可以用包括有 20 台放大器的道纳(Donner)型模拟计算机编排运动方程程序的电动舰艇局 EB 模拟器。方程可模拟前进加速度及纵倾、横倾和偏航角速度的偶合影响。

4. 可以用包括有 18 台放大器的道纳型模拟计算机编排运动方程程序的电动舰艇局 EB 模拟器。此训练器与前一训练器相类似,只是把在迴转时代表侧向速度的那一项的模拟由方程中除去。

5. 与前一训练器相类似,只是倾斜台不运动的电动舰艇局 EB 模拟器。

(二) 意义 操纵设备要完全复制,一般价格昂贵,而且在许多情况下为了进行有效的训练并无此必要。训练的关键因素在于把在训练中所获得的技巧、知识及技术状态用到实际的操作中去。本研究为设计训练装置提供宝贵的资料,以便获得对操纵状态进行有效的训练所必需的模拟。如果训练装置的造价可得以节制,则这样的资料是特别有价值的。

研究的结果表明,潛艇运动方程如采用 18 台或 20 台放大器编排的模拟计算机程序就可得到满意的近似。然而,如果从增加一些投资而能得到较高的训练效率的观点出发,建议采用带有 20 个放大器的训练器。可以预料,使用一个简单的训练器来进行有效的训练,将大大减少其投资费用。

简 介

以下的介绍分两节,分别提出了潛艇操纵和下潛训练器的某些主要要求。并当作潛艇操纵控制基本原理,传授给没有经验的海员。

第一节专门介绍由本研究报告提出的一些研究结果。也就是根据试验数据分析而对仪表、控制及系统动态特性方面提出的某些要求。

第二节对该类训练装置提出总体要求。这些介绍是根据美国海军潛艇学校的教员们对“需要什么型式的训练以及使用什么训练装置”的讨论结果的一部分记录。这一节也是根据进行有效训练所建立的心理定律以及电动舰艇局的模拟器对原子潛艇“飞鱼号”和“海

神号”上的船员进行服役前训练的经验。

(一) 系统特性的专门介绍

1. 潜艇运动方程用 20 台放大器编排的模拟计算机程序可以得到满意的近似。这相应于试验中的状态 3, 其详细描述见技术附录。

2. 为模拟对船舶操纵性有影响的前进加速度或减速度而增加的计算机程序的复杂度只使训练效率稍有改善。由于这种改善太少, 因此运动方程中这一项可以不考虑。

3. 要求模拟器能作加入纵、横倾运动感觉的基本技巧训练。但是如果为了大大减少投资费用, 不加入运动感觉也是可以的。当然, 这样的装置是一种效果稍差的训练器。

4. 在本研究中对仪表、控制及模拟器外形所作的改变, 对于一个只作基本技巧训练的训练器而言是满意的。专门介绍如下:

(1) 利用表头运动, 仪表就可以得到满意的模拟, 当然对连续转动如罗经等则除外。

(2) 仪表的相对位置应和艇上一样, 并有相同的尺度比。但并不需要和艇上完全相同的尺寸及安装位置。

(3) 操纵控制设备应该在型式、尺寸及运动范围方面模拟实艇的操纵装置。弹簧载荷就可产生满意的控制“感觉”。

(4) 操纵装置的工作空间、大小、尺寸不需要照原样复制, 只要操纵人员感到舒适就可以了。

(5) 在模拟器上仅包括基本仪表设备, 而辅助仪表对基本技巧训练来说并不需要。

(二) 一般性介绍

1. 训练器应该有象现代建筑那样便于安装, 实用而紧凑。

2. 该装置应只需极少的维护保养费用和不高造价, 以便为训练大批艇员而能大量购置。

3. 水面及近水面影响不需模拟。在浮出水面时不需要改变浮力。在模拟器上应能实现潜艇浮出水面和从水面下潜的机动, 但不应增加方程的复杂度。

4. 只需要有一个能模拟纵倾和压载影响的基本系统, 它应直接由教员控制。而许多基本训练将处于零纵倾和零剩余浮力状态下, 这状态应该很容易由教员来调整。

5. 如舱内布置都一样, 封闭式的模拟器比开式的为好。这样能防止受训人员把墙和地板当作判断空间方位的依据。

6. 评分装置应该能使教员在训练时给学生以直接的反馈并提供某些象征学生操纵技巧有否进步的指数。

7. 不需要进行连续的速度变化。但应能够把前进速度分成 5 挡, 并由教员来实施速度改变。

8. 希望有能模拟各类船型的能力。但是, 作为基本训练并不需要模拟许多不同船型的精确的运动性能。应该模拟到什么程度是一个研究课题。不过快速攻击艇及大型慢速反应船之间的模拟度被认为是极小值。

9. 训练器应有两个下潜站位。每个站位操纵员应有单独或同时控制水平舵、方向舵的能力。

10. 训练三个阶段的介绍——讲课和课堂练习除外。

第一阶段:

应在简单的基本训练器上训练, 在模拟器上进行四小时到十小时的实际练习(具体时间视训练内容而异)可以取得满意的结果。受训人员可以学到为了单独或同时操纵水平舵、方向舵所需的基本技巧。

第二阶段:

应在更为复杂的训练器上训练。因为已经学到了很化费训练时间的基本技巧, 故这一阶段对基本技巧的训练过程很短。主要训练应着重于艇员们的协同操作, 包括失事挽回的训练。

最后阶段:

将在海上进行。训练的模拟其结果并不能完全代替实船训练中艇员所产生的信心和启发。可是, 用了模拟器后, 将使需要培养熟练的潜艇操纵技巧的那种实船训练大为减小。

研究概况

(一) 引言 当用一个训练装置去模拟实艇的操纵设备时, 总要提出这样的问题, 即模拟器应该与实物达到怎样的相似程度。在要求的相似度增加时, 则模拟一个复杂系统的投资费用将按指数曲线增长。但是, 假如在模拟器内省去了操纵设备的一些重要部分, 训练装置的效率并不是按比例地下降。本研究是模拟高速潜艇的航向和深度的单人控制。针对三种主要操纵课目(单独或同时改变深度和航向)取得了在五种不同的模拟仿真度情况下的不同的训练效率。

(二) 试验计划 本研究的基本计划是要求有五组人员进行训练。在每一种具有不同复杂度的模拟器上分别都有一组人员参加。训练后, 五组人员都到和实艇最为接近的最复杂的模拟器上进行技术考核。当然, 最好是在实艇

上而不是在模拟器上进行该项技术考核, 可是, 由于行政管理上和经济上的原因不可能这样做。在用模拟器进行技术考核时, 假定它与实艇已足够的相似, 则操纵模拟器的熟练技巧直接标志着操纵实艇的熟练技巧。对这一假定虽未验证过, 但是已经被采用了。这是由于它有很明显的真实性, 而且从另一方面(即有经验的潜艇艇员能很好地操纵该模拟器)证明了其有效性。但是, 由于该类模拟器装置需当作训练潜艇人员之用, 为了今后制造训练器的需要应该进行试验以确定其有效性范围。在该模拟器上受训人员的受训成绩标准已经提出来, 可见于附录C。

由此计划中可以确定四只简化的模拟器中的任何一只的训练收获的大小。与在进行最后技术考核的同一个模拟器上进行训练的相应第五组人员的受训成绩进行了比较, 假如, 在简化的装置上进行训练的人员获得与在复杂模拟器上进行该类训练的人员一样的平均考分, 这

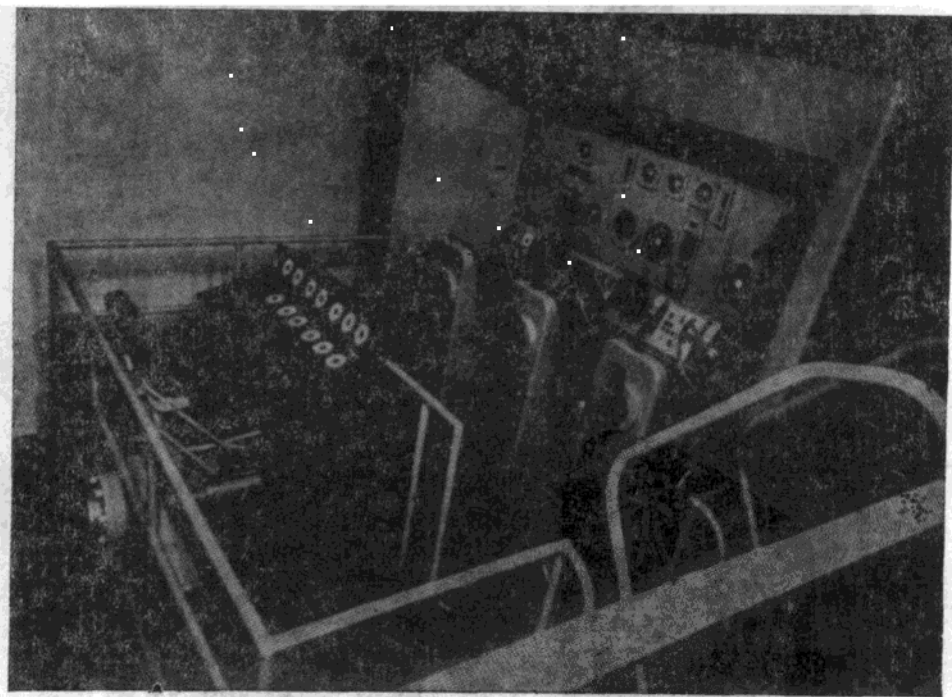


图1 装置 21B20A

就意味着简化模拟器和复杂模拟器在该项特定的操纵课目中是等效的。

(三) 模拟器的复杂度 五种用于训练的模拟器仿真度描述如下。最复杂的模拟器 21B20A 装置是用于最后技术考核的训练器。对这些训练器更为完整的描述可见附录 A。

情况 1——21B20A 装置。

在此情况下, 21B20A 装置用于模拟一艘潜艇。图 1 所示的训练器是通用动力公司电动舰艇局为美国海军制造的通用潜艇模拟器, 采用如飞机座舱中所用的那种操纵杆控制装置。它是一台高度逼真和复杂的模拟器。在制造该装置时对其模拟仿真度基于这样的考虑, 即其仿真度如再欲增加, 将大大增加投资费用。

情况 2——带 PACE 计算机的 EB 模拟器。

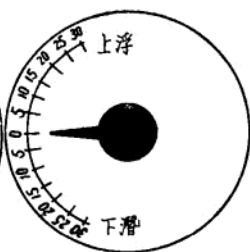
在这种情况下用于训练的模拟器使用电动舰艇局为开展研究工作而研制的纵、横倾倾斜平台。图 2 表示出该倾斜平台。该模拟器中所设置的仪表显示器之间的相对位置保持与 21B20A 装置相同。因为其工作空间较小, 仪表的布置比 21B20A 紧凑。此外用表头运动代替同步机进行简化, 它使仪表的尺度稍有变化。在这种情况下所用的显示器表示在图 3。该情况下的运动方程可以用一台 PACE (电子型) 模拟计算机来编排程序, 计算机包括 47 台放大器 and 7 台伺服乘法器。它仅在某些次要方面与 21B20A 装置有所区别。这些区别的详细说明见附录 A。



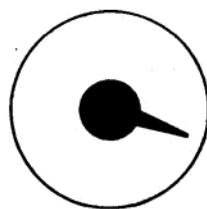
图 2 电动舰艇局倾斜平台



垂直舵角指示器



舵水平舵角指示器



纵倾角指示器

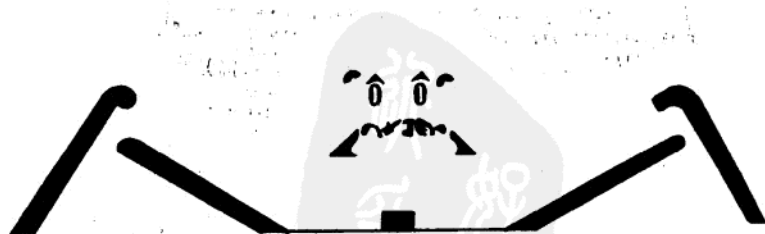
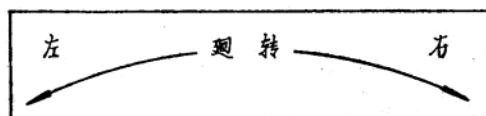
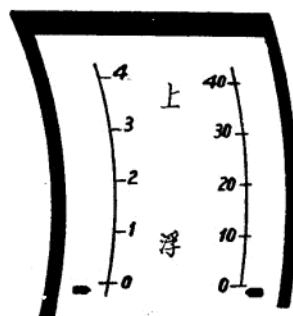


图 3 电动舰艇局模拟器仪表显示

情况3——带有20台放大器的道纳计算机的EB模拟器。

这种情况下用于训练的模拟器与用于情况2中的模拟器的区别仅在于运动方程。对该方程进行三种主要的简化。前进(轴向)加速度方程完全略去,这样意味着在所有情况下速度保持不变。其次,假定纵倾、横倾及偏航角很小,因而横倾角速度不会很明显地受到纵倾和偏航的影响,而且偏航角速度亦很少受到纵、横倾的影响。最后,在这种情况下,速度分量间的偶合影响比情况2为小。这样处理可以达到适当的近似,特别当船的机动不太快时更是这样。这样的简化就使运动方程可以用20台放大器的道纳模拟计算机编程序。

情况4——带有18台放大器的道纳计算机的EB模拟器。

这种情况下用于训练的模拟器与用于情况3中的模拟器的区别仅在于该情况下把迴转时代表侧向速度的项由运动方程中略去。这样做降低了航向控制的逼真性,但对计算机的要求也降低了。本情况用一台带有18台放大器的道纳模拟计算机求解方程。

情况5——无运动感觉的EB模拟器。

这种情况下所用的模拟器与情况4相同,只是不用倾斜平台,因而对受训人员不能产生运动感觉。

(四) 操纵课目的选择 所有受训人员学习三种基本课目:单改变航向、单改变深度及同时进行迴转和潜水。

在航向改变时分别向左、右迴转 30° 、 60° 及 90° 。深度改变时分别上浮、下潜100呎、200呎、300呎。在同时改变航向和深度的情况下,航向改变 60° 时分别作上浮、下潜100呎、200呎、300呎的深度改变。在这些操纵机动中,单变化航向为的是简化其比较。 60° 是当作有代表性的中间值而选定的。

全部训练日程安排表可看附录A。这些机动和训练程序是在美国海军潜艇学校船舶操纵教员们的协作下制定出来的。受训人员进行四

天训练,每天一小时。第五天进行一小时的技术考核。训练一开始是进行简短的指导性的讲解。对每个受训人员讲解的教材及讲授说明书可看附录D。第一天着重对深度改变进行一些初步的操纵练习。第二天继续进行改变深度的练习,但着重于航向改变。在第三和第四天继续这两方面的练习,不过同时改变航向和深度的练习将佔去该训练週期中的大部分时间。在第五天的技术考核中,受训人员执行在第三、第四天的训练中相同的操纵课目。

(五) 受训成绩标准 要求受训人员在下列时间间隔内完成的各项操纵机动有:

改变深度100呎	60秒
改变深度200呎	90秒
改变深度300呎	120秒
改变航向 30° 、 60° 或 90°	60秒
在航向改变 60° 的同时分别	
改变深度100呎、200呎	
或300呎	120秒

在规定的时间内使模拟潜艇处于指令深度的 ± 10 呎及(或)指令航向的 $\pm 3^\circ$ 范围内的真实时间作为受训成绩的指标。这些标准是参考“达到指令航向及(或)深度的时间”这类报告。上述使用的这些范围近似地相应于在海上许多航行情况下潜艇操纵的允许误差。

为进一步确定受训成绩,根据受训人员在技术考核时开始和最终的操纵机动中与他们的操纵技巧有关的十项特性来对受训人员进行评分。为此目的的评分标准见附录E。这些评分工作全部由艇长或低一级军士长来进行。所有这些军士长均具有极为熟练的船舶操纵技巧,他们都是在潜艇上服役十五年以上的老兵。大部分的评分是由有十九年潜艇航行经验的艇长来确定。评分员除了知道80名受训人员在某种类型的模拟器上进行训练情况外,也知道那些受训人员是在21B20A装置上进行训练的。

(六) 受训人员(对象) 一百名美国海军的应征人员被派遣作为试验的受训人员。他们的年龄为17岁—29岁,平均年龄19.2岁。其

中两名是设计人员、八名轮机兵、廿九名见习轮机兵、廿一名水兵及四十名见习水兵。他们都是进入美国海军潜艇学校的志愿兵。他们并非志愿进行该类试验。而是被指定作为受训人员的。这些人中没有一个人在潜艇操纵方面有任何经验。其中大多数刚刚到学校报到还未开始上课。受训人员情况的更详细的分类可见附录 A。

(七) 训练内容 把 20 名受训人员随意分配一下, 参加五种训练情况中的任一种。有关仪器的作用及操纵动作等简单的原理在训练之先已向所有受训人员介绍。每一受训人员进行每次为一小时的四次训练课及技术考核。除了极少的例外, 训练课要隔开 24 小时, 通常至少相隔四小时再进行。每一次训练课中每次操纵机动间的休息时间为 30 秒钟。在训练时间较长或更为复杂的操纵机动间的休息时间间隔是一分钟。

在每次机动操纵结束时进行评分。当受训人员所操纵的模拟器处于所要求的航向及(或)深度范围时训练教员应立即告诉他们。

第一天训练时, 训练教员要回答有关各种仪表的作用的任何问题。当受训人员懂得他们应该怎样操纵时, 训练教员就算是满意地完成了自己的任务。但是他们只是进行了一般的讲授, 并未对受训人员进行训练。详细的讲授说明书见附录 D。受训人员并不知道试验目的, 而且连最后一天的技术考核也未向受训人员强调。技术考核的内容与前两天的训练相同, 只是改变了四种不同的模拟器情况, 且对前述两种操纵机动要由艇长进行评分工作。

(八) 结果和讨论

1. 一般结果

本研究的一般结果的概要见图 4。该图表示出的五种模拟度的相对效率是对它们估算的投资费用的函数。由这些结果可以得出结论, 在相对造价低廉和简单的潜艇模拟器上练习之后, 人们就能够进而操纵更为复杂和花钱较多的模拟器和得到较为满意的评分。图 4 中表示出训练效率的百分率, 它是由详述于附录 B

中的公式计算出来的。它们是包括了各种合适的航向改变、深度改变及同时进行操纵机动时的组合量度。应该指出, 这些百分率仅是受训人员在四种试验模拟器上进行训练后与操纵 21B20A 装置的技巧的相对数值。将 21B20A 上进行训练的人员的受训成绩作为比较的基准, 假定这样的模拟器的效率当作百分之百。当然这是一种人为的规定, 因为假如人们试图操纵实际的潜艇, 则 21B20A 装置并不是百分之百地有效。但是, 由图 4 可看到, 在简单模拟器上进行试验的效率并非是模拟器投资费用的线性函数。该资料暗示训练效率与投资费用的关系是负的加速关系。如在简单的模拟器投资费中再加一笔钱所带来的训练效率的增加比同一笔钱加到更为复杂和花钱多的模拟器上要大得多。但是, 在说明这一情况时, 必须懂得为增加简单的模拟器的效率, 对模拟器改进后所需的性能必须慎重选择。仅仅一味地增加模拟器的制造经费并不能保证训练装置效率的增加。

2. 操纵技巧的评分

逐项分析评分标准的资料表示在附录 B。

对每一项进行考核以确定:

(1) 假如受训人员在不同的模拟情况下进行训练, 那末在考核中对他们的评分会有多大的不同。

(2) 假如技术考核的第一次和第二次评分间有所不同, 那末其操纵技巧是否有显著的提高。

(3) 假如操纵技巧有了提高, 那末这到底是对普遍的训练情况还是只对某种个别的训练情况。

这些分析的结果表明, 在五种不同情况下进行训练的各组人员间一般的评分并无多大差别。只有很少一些项目有所不同, 主要的差异是在无运动感觉的情况(情况 5)下训练的人员所获得的评分要比在其它情况下训练的人员为低。十个项目中有七项的第一次和第二次评分间有很大的差别。在所有的项目中, 第二次

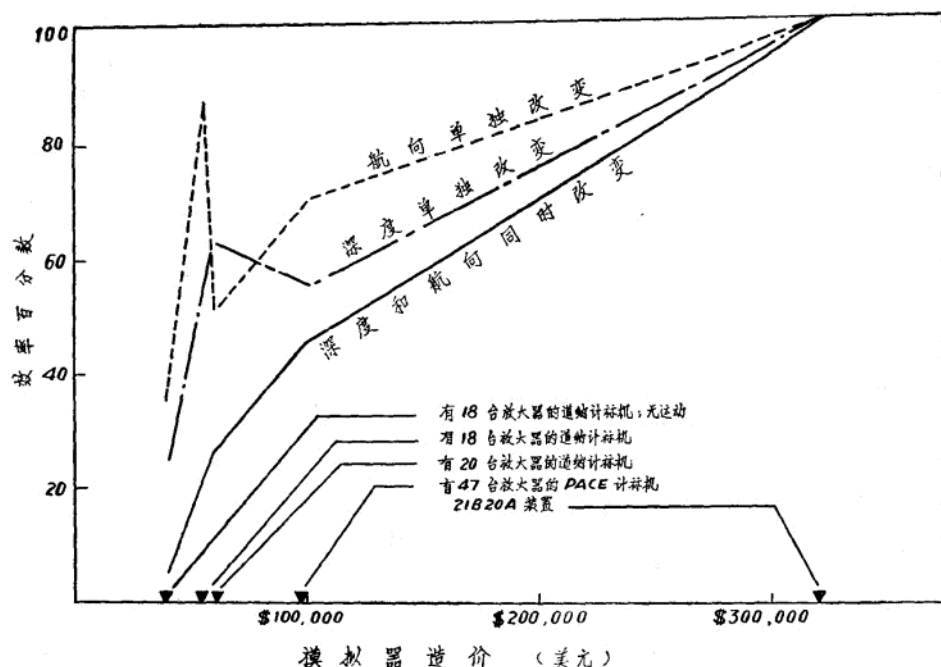


图4 当作模拟器造价函数的训练效率

评分平均高于第一次评分，这种操纵技巧的进步是带普遍性的，并非专门针对某种个别的训练情况。

这些结果意味着，虽然在受训人员所得的评分中有所不同，但是有经验的潜艇艇员并不能发觉在不同状态下受训人员的受训成绩有任何差别。但对在不提供运动感觉的模拟器上进行训练的受训人员而言则是唯一的例外。

3. 试验对象评分

有关试验对象评分的分析见附录B。其试验结果根据统计分析而得，由于这些数据对于三种形式的操纵机动都是不同的，因此，对每一种机动分别进行如下的讨论。

(1) 深度改变

表1表示深度改变200呎及300呎时受训人员的平均操纵技巧评分。在该项课目中要进行若干训练试验及一次个人考核性试验。附录A中图9到图12表示出这些试验的结果。进行了统计试验以确定在任何操纵机动时其平均

值的不同概率中何处有较大的概率。这些试验的结果在图上表示为靠近技术考核数据点的垂直线。落在垂直线限界内的所有点的评分仅差5%。反之，不在这唯一的垂直线限界内的任何点表示评分有很大的差异，等于或超过5%。例如，深度由160呎改变到400呎(图9)，在三种皆使用带有纵、横倾运动的电动舰艇局模拟器的情况下(情况2、3及4)受训人员的技术考核评分一般并无多大差别。虽然这三种情况间无多大差别，但它们与在21A20B装置(情况1)上及无运动感觉的情况下(情况5)进行试验的人员的平均评分就有所不同了。在进行两种300呎深度改变机动时，在21B20A装置上的受训人员与任何其它模拟器上的受训人员的试验评分是不同的。而在进行200呎操纵机动时，在21B20A装置上与其它情况下训练人员的评分间并没有什么不同。对深度改变机动所进行的训练试验(头四天)的分析指出，该训练能够起到学习的效果。这就是反映在不同试验

中平均评分间有着可靠的统计上的差别。同样的分析也指出，一般讲，为了获得训练效果，

不得不考虑供人员训练用的模拟器的复杂度，有关这些结论的分析，在附录 B 中概要说明。

表 1 深度操纵技巧的平均评分

	情 况①				
	1	2	3	4	5
操纵课目②	装 置 21B20A	PACE 计算机 (47 台放大器)	道纳计算机 (20 台放大器)	道纳计算机 (18 台放大器)	道纳计算机(18 台 放大器, 无运动)
100→400 呎 深度改变	43.72	28.31	29.27	32.02	16.83
400→100 呎 深度改变	37.92	24.44	21.18	21.20	16.08
100→300 呎 深度改变	22.30	20.41	27.00	18.87	15.40
300→100 呎 深度改变	21.50	11.87	17.75	15.14	8.18
总 平 均	31.36	21.26	23.82	21.81	14.12

① 在情况 2、3、4 及 5 中的练习性试验是在带有各型计算机的 EB 模拟器上进行的。

② 100 呎深度改变不包括在表中，见附录 A 中所述的原因。

(2) 航向改变

在航向改变的情况，由于机动所需的时间较短，可以进行两次技术考核评分。在试验期间的开始及结束时各进行一次。根据技术考核中所得到的一些实践的结果可以证实操纵技巧有某些提高。技术考核的平均评分可见于表 2。在附录 B 中，全部数据用图解表示在图 13 到图 15。统计分析显示出由于不同的训练条件将引起某些具有统计意义的差别。这无论在第一次或第二次技术考核时皆是如此。象深度改变一样。图中与垂直线相邻近的数据点包括相互间评分无多大差别的所有点。对表 2 中技术考核数据的进一步分析表明，由第一次考核到第二次考核的受训成绩有所提高。而在某些情况下提高更大。在无运动感觉情况下（情况 5），受训人员的受训成绩一般不如其它情况下提高得那么多。其完整的分析见附录 B。

对三种航向改变机动的训练试验进行考核

后表明可获得某些训练效果。在不同装置上的受训人员所获得的评分间有很大的差别，这表明在某些模拟器上进行航向控制比其它模拟器容易。此外，在训练试验中操纵成绩的差别也与模拟器的复杂度有关。这些数据的分析概要见附录 B。

(3) 同时改变航向和深度

同时进行下潜和迴转的技术考核的平均评分见表 3。进行了两次深度改变 300 呎的技术考核，一次在试验之初，另一次在该试验之末。这可检验技术考核期间学习的效果。

附录 B 的图 16 到 21 以图解表示出同时进行航向和深度改变的数据。从深度改变 100 呎到 400 呎的资料分析表明，在第二次技术考核时五种情况间的评分并无多大差别。而在第一次技术考核中 21B20A 装置上的受训人员比之在其它模拟器上的受训人员的评分要高得多。这可由图 16 中垂直线所靠近的数据点来证实。

表 2 航向操纵技巧的平均评分

操 纵 课 目	考核试验次数	情 况①				
		1	2	3	4	5
30° 迴 轉	1	22.95	13.70	13.40	14.56	17.97
	2	20.60	20.03	16.86	21.60	13.44
60° 迴 轉	1	13.17	9.80	9.51	9.27	10.57
	2	16.27	14.75	14.60	15.51	11.99
90° 迴 轉	1	14.08	6.60	10.03	7.62	10.95
	2	13.84	8.18	6.88	10.25	8.72
总 平 均	1	16.73	10.03	10.98	10.48	13.16
	2	16.90	14.32	12.78	15.79	11.38

① 在情况 2、3、4 及 5 中的练习性试验是在带有各型计算机的 EB 模拟器上进行的。

进一步的分析表明，第一次与第二次技术考核间有非常明显的差别，且在所有的情况下操纵技巧提高的程度是一样的。在进行航向和深度改变由 400 呎到 100 呎(即上浮代替下潜)时，可看到有与上相似的受训成绩间的差别。上述两种机动间的差别，主要是由于在技术考核过程中考核试验的次序不同。还进行了四种其它形式的联合迴转和下潜的机动，并表示在表 3 中。其中包括 100 呎和 200 呎的深度改变。虽然在这些课目中只收集了很少的数据，但是其结果与深度改变 300 呎的相同。在上述四种机动状态下，在 21B20A 装置上及两台更为简化的模拟器上的受训人员的技术考核评分间无多大差别。全部分析见附录 B。

对联合迴转和下潜机动的考核试验的考察表明，通过训练练习，受训成绩有很大提高。在各种训练情况下所获得的评分有很大的差别。训练时操纵技巧的提高量在很大程度上随模拟

器复杂度而变化。和航向单独改变操纵训练的情况一样。某些简化的模拟器较容易操纵。在这些容易操纵的装置上受训时使操纵技巧提高更快。

(九) 结 论

对受训成绩的主观和客观的评定指出在任何简化的模拟器试验中所获得的训练效果应有效地转换到 21B20A 装置上。

在只进行深度改变的情况下，模拟度不是很重要的。但是，在训练器上提供运动感觉将带来某些好处。

在只进行航向改变的情况下，使用各种不同模拟度的模拟器时受训成绩也稍有差别。此外，在没有运动感觉的情况下，受训人员的受训成绩稍差。它并不象较为复杂的深度改变的课目那样，航向改变情况下的受训成绩甚至可以用一条平滑的训练效果曲线来表示。但是这种训练装置的相对等效性并非它们有特定的模拟

表 3 航向和深度的操纵技巧平均评分

课 目②	考核试验次数	情 况①				
		1	2	3	4	5
100→400呎深度改变	1	10.69	4.51	5.82	2.57	1.55
右 轉 60°	2	12.73	7.46	6.20	7.79	6.32
400→100呎深度改变	1	12.87	7.12	7.98	2.19	2.07
左 轉 60°	2	17.62	10.12	6.86	4.31	1.71
总 平 均	1	11.78	5.82	6.90	2.38	1.81
	2	15.18	8.79	6.53	6.05	4.02
100→200呎深度改变 左 轉 60°		15.36	12.67	9.08	7.70	7.64
400→200呎深度改变 右 轉 60°		18.63	10.12	9.12	8.44	4.72
400→300呎深度改变 右 轉 60°		16.44	15.04	4.72	14.48	8.45
100→300呎深度改变 左 轉 60°		18.16	15.02	16.00	12.60	4.53
总 平 均		17.15	13.21	9.73	10.67	6.34

① 情况 2、3、4 及 5 中的练习性试验是在带有各型计算机的 EB 模拟器上进行的。

② 两次考核试验是在深度改变 300 呎的情况下进行的，一次在试验之初，一次在试验结束时进行，在其它机动时只进行一次技术考核。

特性，而是在于该项课目本身只需很少的训练就够了。

在同时进行航向和深度改变的机动中可看到其转换度（即训练效果的转换——译者注）比之单独进行迴转或下潜机动时要小得多。而在 21B20A 装置上和简化的模拟器上的受训人员间的技术考核的平均评分一般就不再有统计上的意义。当进行训练以实施这些机动时，提供运动感觉也会带来某些好处。

如忽略其统计上的意义，并只考察其所获得的评分，一般的趋势是技术考核的平均评分按模拟器复杂度的次序排列。正如所想象的那

样，在试验情况 1 中进行训练的人员，其评分始终是较高的。在使用 PACE 计算机情况下（情况 2）进行训练的人员次之。具有 20 台放大器和 18 台放大器的道纳计算机程序的情况 3 及 4 更次之。最后，在训练器上没有加上运动感觉的情况 5 往往导致技术考核的平均成绩最差。

技术附录

附录 A 试验方法

（一）训练效率问题

评定一台模拟器训练效率的主要问题是测定该训练装置最终所欲进行的课目的训练转换度。在潜艇迴转和下潜技巧训练的情况下,它意味着,对于一台模拟器,如果人们在它上面进行训练后能够操纵实艇,那末就可认为它是有效的。但实际上这一问题是很复杂的,它取决于许多因素。首先是要选定一种转换度的度量。许多受训人员在潜艇操纵上直接反映出来的操纵技巧可以判断其受训所用的训练器是否有效,或是否还需进行足够次数的实艇训练以补救操纵技巧的不足?可是在实艇上很少有可能会对受训人员重新进行这方面的技术考核。即使有这种可能,受训成绩评分的设备也不适用于实艇上。因此,模拟器的效率经常是根据表观逼真性和对操纵实艇装置的受训人员的操纵技巧的主观考察(即海员之眼)来决定。

本研究针对四种迴转和下潜训练器作出客观的评价。在有关转换度研究的全部上课时间内对操纵技巧进行连续测定,以此作为转换度的标准。所研究的四台模拟器的效率并没有对照实艇装置进行测定(虽然进行该项测定是很有意义的)。而是使用一台比需要给予评价的那些模拟器更为复杂和逼真的模拟器,把它作为与其它模拟器比较的标准。这一模拟器(21B20A装置)作为操纵训练潜艇之用,已有一年多时间,它有高度的表观逼真性,而且根据对训练结果的主观评定认为性能良好。它在本研究中使用时的主要缺点是并没有客观的明证来说明它是最为有效的训练装置。而只能讲它是实际上已制成的最逼真的模拟器。它的主要优点是可以进行客观的评分,并且在操作实际装置时所引起的某些紧张不会与操纵技巧的测量相混淆。这最后一点是极为重要的。经常会发生这样的情况:即使在模拟器中已经训练得具备了高度熟练的操纵技巧的人,在第一次出海时,其操纵能力往往很差。因为在实际操纵中所产生的紧张和顾虑在操纵模拟器时并不出现。

可以进一步证实一台复杂的模拟器可作为

评定各种简化训练器时的比较标准,因为已建议简化训练器只作基本操纵技巧训练,而使用更为复杂的装置以进行高级训练。由于总是需要使用一台复杂训练器,而这样的训练器在逻辑上提供了一个可采用的直接标准,纵使其对最终标准的关系尚未确定。

本研究中所评述的模拟器是用作训练基本操纵技巧的。盖格涅(Gagne)[6]曾经指出,按实用观点来看,精确模拟显得没有操纵技巧的测定那么重要,而测定完成操纵动作的能力是主要目的。因此,就有可能对模拟器进行某些简化,并涉及简化到什么程度的问题。为进行潜艇迴转和下潜操纵而设计的模拟器可在下列五个主要方面进行简化。

1. 简化运动方程式以利于采用容量较小的计算机。
2. 在视觉显示的模拟中采用适中的方案,例如,缩小仪表尺寸以致可以用表头代替同步机。
3. 在颜色、灯光、噪音及其它环境条件的模拟采用适中的方案。
4. 在模拟控制触觉时采用适中的方案,用弹簧载荷控制以代替更精确的系统。
5. 忽略由潜艇运动所引起的运动感觉。

上述的某些适中的方案已在有关转换效果的心理学文献中涉及到。其中包含有环境条件[8]、显示模拟[2、10]及控制的作用和感觉[7、9]等的转换值的研究。而这些研究的大部分涉及到飞机的模拟。为了证实使用简化的潜艇训练器是有效的,上述的一些研究结果可以提供有关模拟器如何简化的一些具体资料。此外,虽然布里格斯(Briggs)、菲茨(Fitts)及巴莱克(Baehrick)[1]所进行的试验表明可以达到相当高的转换度,但是有关显示和控制间的复杂关系的简化对转换度的影响的资料还是很少的。

本研究旨在回答某些有关潜艇模拟器的专门问题,从而使模拟器的复杂度在今后全部的系统性的研究中能够一直保持不变。必须很慎