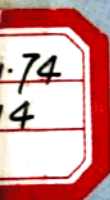


英国船舶试验设备 考察报告

赴英国船舶試驗設備考察小組



一九七七年二月

目 录

一、船舶水动力試驗設備和仪表	1
1. 船模試驗水池	1
2. 国家海运研究所的水筒試驗設備	16
3. 国家海运研究所循环水槽試驗室	22
4. 适航性船模試驗	29
5. 海洋表面波的测量和研究	37
6. 台卡雷达厂制造的夜航操纵模拟器	41
二、船舶結構試驗設備和測試技术	43
1. 小模型結構試驗	44
2. 大型結構試驗	48
3. 船舶結構中的断裂問題	60
三、计算机在船舶性能研究中的应用	63
1. 科学计算和技术管理	63
2. 試驗数据处理	67
3. 实时控制	67
四、船厂、学校和协会	69
A. 船厂	69
1. 斯科特·利思哥船厂	69
2. 圣德兰造船公司	70
3. 奥斯汀-皮克造船公司	70
B. 学校	72
1. 纽卡斯尔大学造船系	72
2. 爱丁堡赫里奥特-华特大学工程力学系消搖水艙試驗台	76
3. 帝国工学院結構試驗室	77
C. 协会	77
1. 皇家造船师协会	77
2. 英国船舶研究协会	78
3. 劳氏船级社	79
五、結束語	80

英国船舶试验设备考察报告

赴英国船舶试验设备考察小组

经国务院批准，由六机部702研究所和上海交通大学组成八人的赴英国技术考察小组，以“中国造船工程学会”的名义，于1976年10月12日至11月16日对该国的船舶试验设备、仪表和测试技术进行了34天的考察。考察组先后在伦敦、南安普敦、爱丁堡、纽卡斯尔、格拉斯哥五个城市和地区参观了十九个单位。其中，属政府部门的研究所三个，属协会性的单位三个，船厂及其他有关工厂十个，有造船及船舶结构专业的大学三个。

通过这次考察，我们对英国船舶试验设备有一个较为全面的了解，对英国造船工业及与造船有关的一些组织机构有了一般的了解。

遵照伟大领袖和导师毛主席关于“洋为中用”，以及“认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒”的指示，考察组回国后，在各级领导的关怀下，从四个方面的专业和内容进行了认真的总结，写成本报告。报告着重介绍英国船舶性能试验设备、仪表以及所采用的测试技术，某些方面，还与我国现有的船舶试验设备和我们自己所采用的测试技术进行对比说明。同时，还简扼地介绍参观过的船厂以及有关工厂和组织机构的情况。

现将这四个方面的内容详细报告如下：

一、船舶水动力试验设备和仪表

1. 船模试验水池

我们在英国考察期间，参观了国家海运研究所（National Maritime Institute，以下简称海运所——NMI。该所原是国家物理研究所——NPL之船舶部，于1976年7月独立成所）费尔顿3号水池，维克斯船模试验水池，鹰空艇公司2号、3号水池及纽卡斯尔大学水池。下面分三部分介绍他们的设备、试验技术、仪表及模型加工。

(1) 设备

a. 海运所费尔顿3号水池

海运所费尔顿3号水池于1960年秋季投产。该水池为钢筋混凝土结构，池身高于地面，以防止地下水影响，池底厚度1.22米，池壁厚度0.61米。水池房屋结构外层用石棉波纹板，里层用轻合金特殊材料，中间嵌有软木，尾樯是铝合金结构。其主尺度为长396.24米，宽14.6米，深7.6米，结构形式如图1所示。

3号水池有一个准备水池，用于进行水下船模安装及水面船试验前调整压载。在图2中，我们可以看到二个准备水池的轮廓及一条水面船模调整压载时的情况，还可以看到蜡模上的加强筋。

主拖曳池的拖车可用来拖曳长达12.24米、宽2.13米、重5吨的船模。速度范围为0.328米/秒~15米/秒，给定车速的稳定度为给定值的 $\pm 0.1\%$ ，给定车速的重复性为 $\pm 0.25\%$ 。

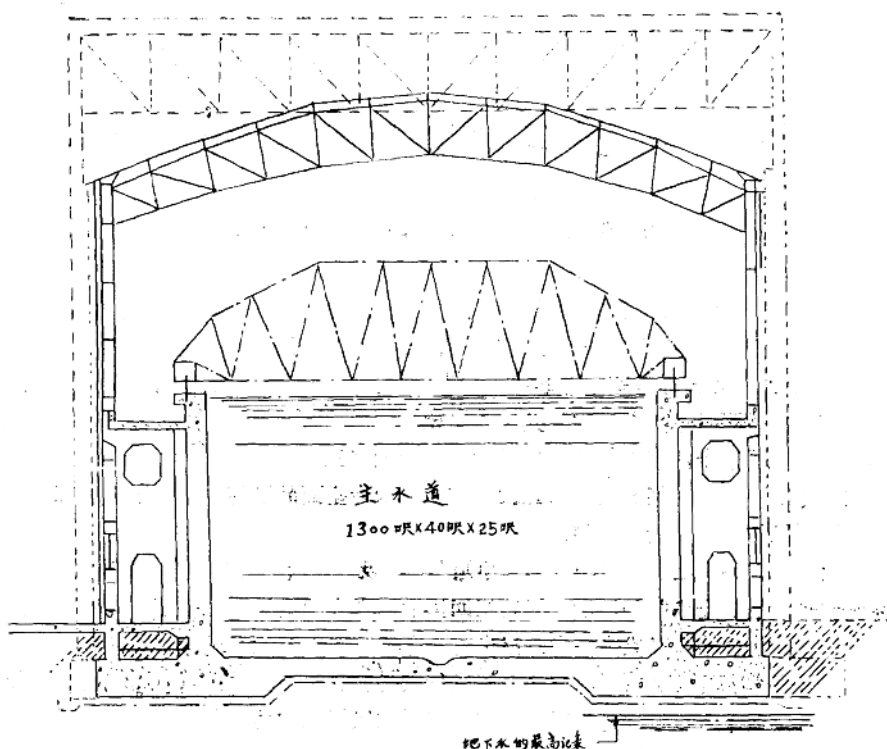


图 1 海运所費尔頓 3 号水池結構图

拖车结构为三角形构架组成的开架式矩形结构，构架材料采用钢管，既轻又坚固。构架底边长 15.24 米，宽 18.3 米，高 4.27 米，车架中间有一个 10.97 米 × 10.97 米的空间。此空间中心处是一个带有固定工作平台的纵梁，梁上安装阻力仪、测量仪器及记录器。纵梁和车架不是统一整体，纵梁可在拖车内的导轨上左右移动，必要时也可吊离。这样可缩短水下试验占用水池的时间，拖车重 40 吨，为了减少拖车震动对试验影响，拖车由四个双轮绞结机构驱动。设计时，将拖车和双轮绞结机构分成二个互不相关的部件。同时，使双轮绞结机构中的电机与齿轮箱对称，重心落在车轮上，加上导轮后，双轮绞结机构能单独在轨道上行驶，然后在这个机构的三个支点上安上橡皮垫，将整个拖车置于四个双轮绞结机构的 12 个支点上，通过橡皮垫，就可以达到减震目的。这样将大大地降低了试验精度对轨道的要求。图 3 和图 4 是双轮绞结机构单体和拆开的情景，图 5 是双轮绞结机构按装后的情况，图中还可看到制动机上的摩擦制动器。

为了避免拖车歪斜影响，在铺设轨道时，曾仔细地轨道加以对正安放，用千分尺调整。在整个水池长度内，水平的允许误差为 ±0.13 毫米。纵向校正是以一直线为基准面进行校正的。轨道用特殊的重型钢轨，重 129 公斤/米。二垫座之间距离为 1067 毫米。图 6 是典型轨道的一部分。整个轨道下部用电热丝加热，使轨道温度高于室温 1~2℃，以防止结露。

拖车电动机的能源由安装在水池电站的列翁拿德 (Ward-Leonard) 电动机发电机通过滑线供给，滑线沿水池二壁外侧敷设，与拖车集电弓相连。导电滑线全都是 T 形铜质线，分三层立式布置，如图 7 所示。

拖车由4台300马力的直流电动机驱动，其操纵和车速控制全部集中在拖车前面的控制台上。控制系统的工作原理是利用一个带有误差放大的电器比较系统，如图8所示。转矩是通过与电枢电流成比例的电动机绕组发出的启动信号进行控制，以防止车轮滑移，使放大器依照转矩的限定值进行工作。这些都依靠控制台上一电位计来调节。

速度信号取自交流感应测速发电机，其电压与频率输出与速度成比例。测速发电机的最佳转速范围是750~3000转/分，即4:1，但指定的转速控制范围是0.30米~15.24米/秒，即50:1。因此，为了适应设计上的要求，共使用了4台测速发电机，每台都具有4:1的范围，0.30米~1.22米/秒，0.635米~3.05米/秒，1.52米~6.1米/秒，3.81米~15.24米/秒，每台拖车电机通过一适应的比例增速传动装置来驱动测速发电机。因此，测速发电机速度范围仍可是750~3,000转/分。4台测速发电机的直流激磁绕组和标准电位计串联于电流的控制电路内，这样既保持了稳定的磁场电流，又因标准电流相应的变化而使磁场电流变化得到应有的补偿。测速发电机的输出电压经5:1的变压器升压后，再经整流，然后与标准电压进行比较，将误差信号送入二级推挽式电子

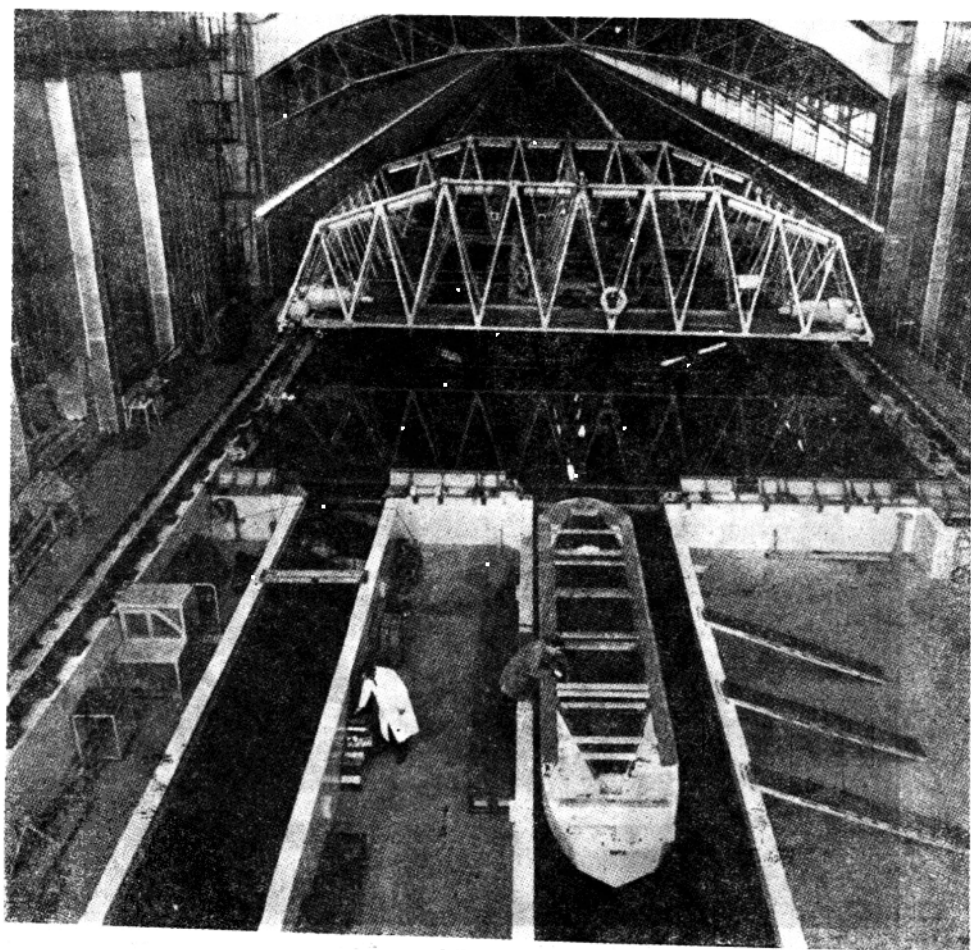


图2 准备水池

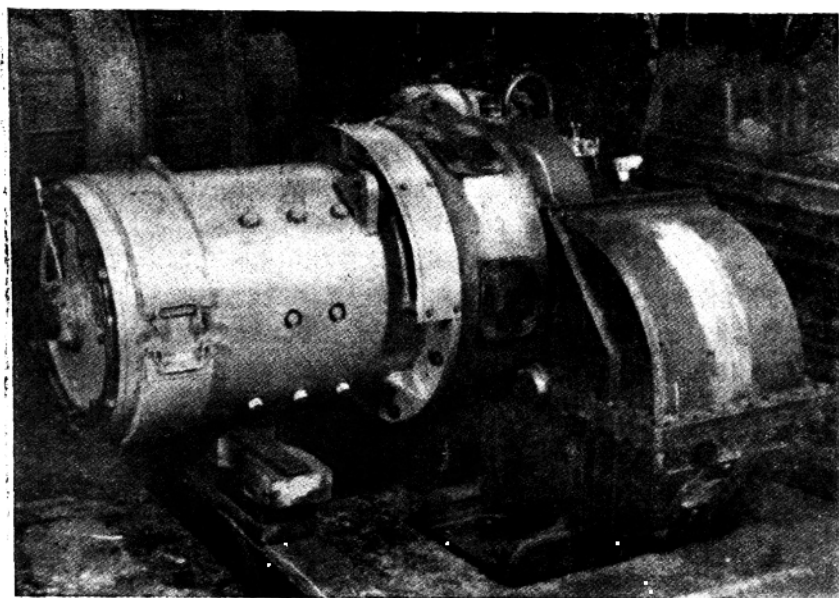


图 3 双輪絞結構单元

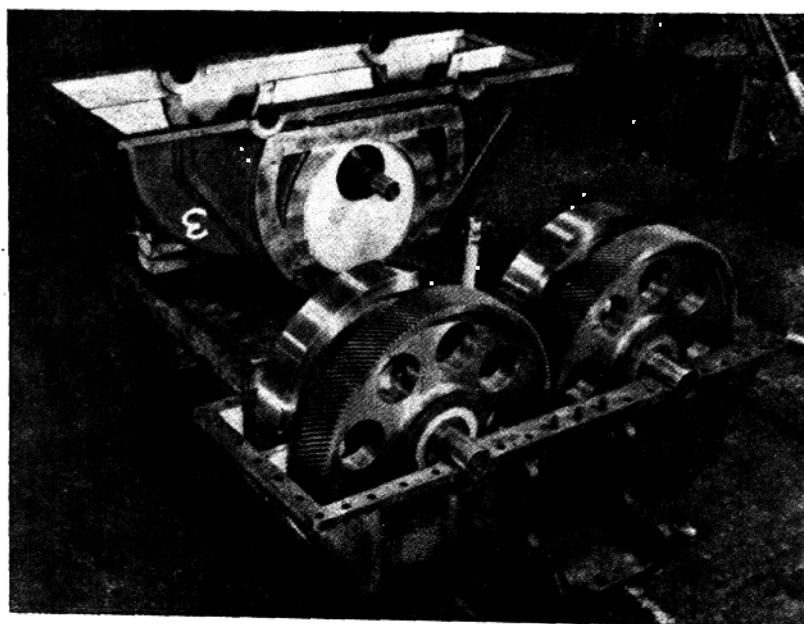


图 4 双輪絞結構拆开后的情景

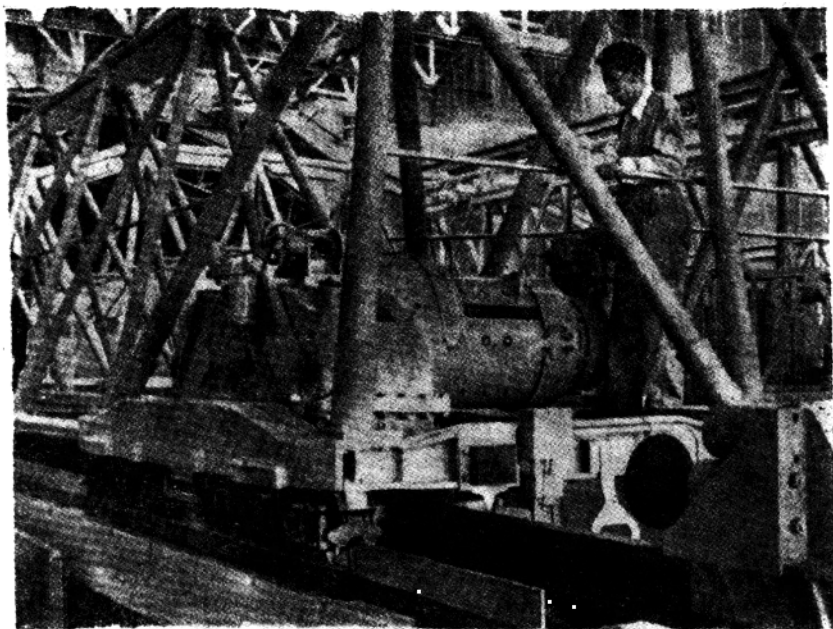


图 5 双輪絞結机构安装后的情景

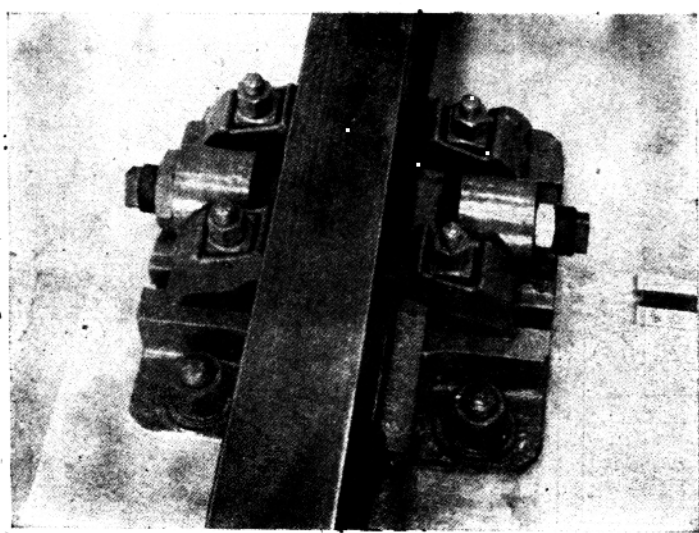


图 6 軌道与垫座

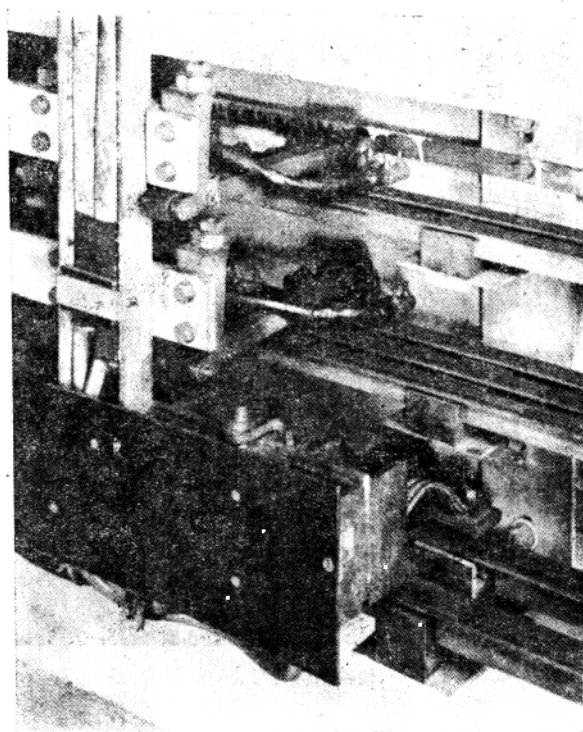


图 7 滑线布置图

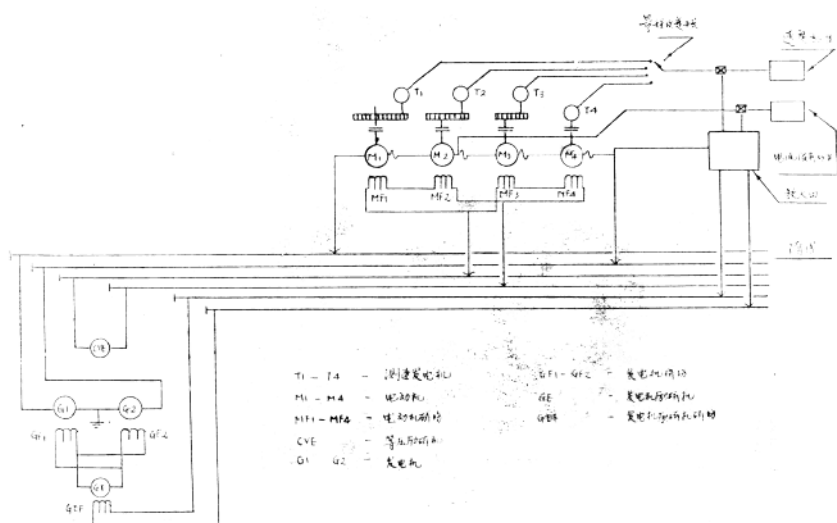


图 8 控制系统工作原理

放大器的第一级。这里的输出供给高速反应薄片形的励磁器的磁场，再由它去供给主发电机磁场，电压反馈回路保证了伺服回路的稳定，而反馈回路从驱动电机的电枢电压取得信号。电流限幅放大器从二台驱动电机串联磁场的电压降中取得电流信号，它的输出将误差信号限制到二级放大器。在加速或制动时，二个方向都能限制电流。电流限制值可调整，以适应所选定的加速度和制动减速度。为了抵消电机磁场由负荷变化和电源波动而招致的效应，给等压励磁机加了一个自动电器调节器。发电机、励磁机、直流电路断路器和控制设备都安装在水池一侧的房间里。

制动系统有三种形式：再生式、气动液压式和紧急刹车。再生式制动系统是用在低速（6.1米/秒），以减速度为0.1g使拖车平稳地停止。气动液压式制动系统用来制动高速行驶的拖车，借助于拖车上的闸瓦块，在液压作用下，抱在拖车轨道外侧的刹车专用钢轨上，见图5，引起较大摩擦，能保证拖车以最快速度停下来。紧急刹车是用特殊的液压制动系统，当前二套刹车系统失灵时使用，它的结构如图9所示。

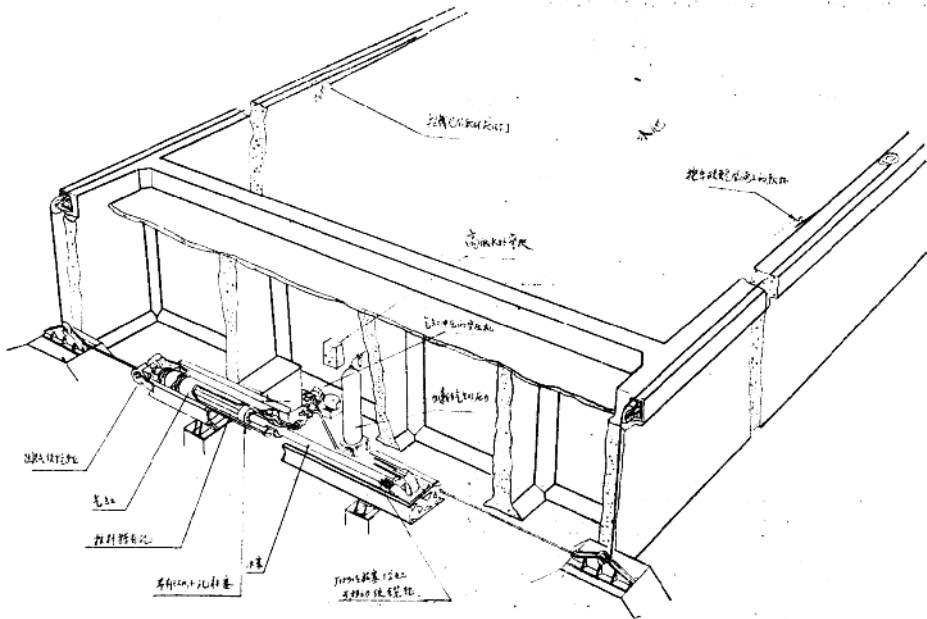


图 9 - 紧急刹车

当拖车越过最后一道行程开关时，池壁上的拖钩将拉住拖车上的尼龙绳套，通过液压系统，使拖车紧急制动。

海运所3号水池四周均装有消波岸。它的边消波是采用玻璃钢材料,呈抛物线型板铰结在水线以上的支架上。消波支架和枢轴均系青铜制成。在走道上,操纵连结机构可使消波岸上升和下降。

在水池始端的消波器为浮筒式。它由翼状消波器、浮筒和青铜导轨三部分组成。浮筒底部及二头浮筒箱内装有橡皮，以达到缓冲的目的。若要将消波器升出水面消波，先在浮筒里充气，使浮筒上升到一定高度，从池壁中伸出一个支架，然后再在浮筒中注水，使浮筒搁置在支架上即可。造波机前面的消波器与边消波岸相仿。在造波时，消波器被绞车吊离水面。

拖曳水池的造波机为电控液压驱动的冲箱式造波机，装在水池西端。造波机的性能如下：
最大波长 40 呎。在 40 呎波长时，最大波高为 24 吋。
最小波长为 5 呎。在 5 呎波长时，最大波高 6 吋。

造波机的冲箱为一楔形体，横跨水池长 14.61 米，高 5.2 米，顶宽 2.1 米。楔形体系的线形依理论计算的理想曲线弯曲而成。图 10 是造波机冲箱和导轨的示意图。

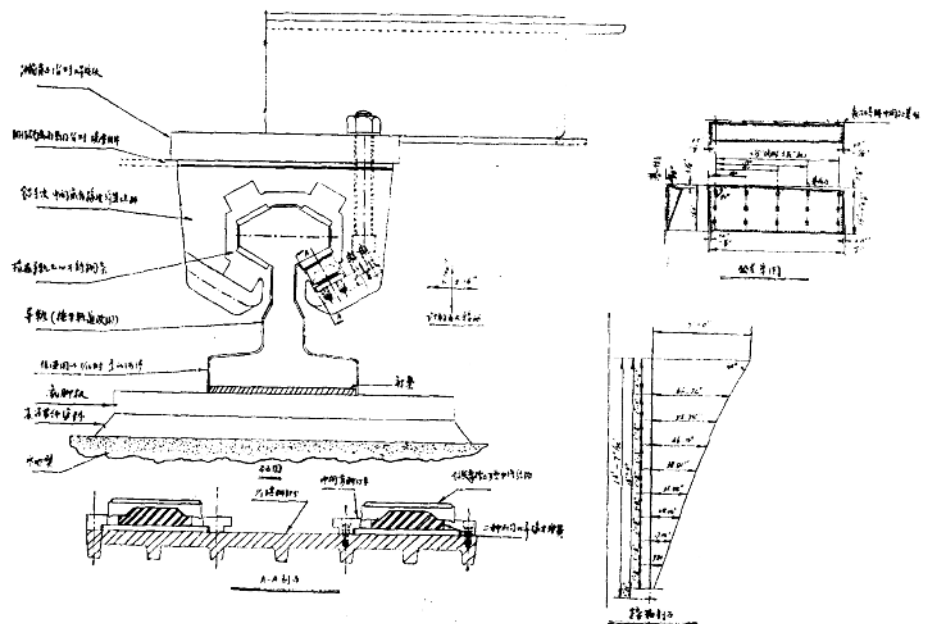


图 10 造波机的冲箱和导轨

造波机频率取决于冲箱运动速度，而波高由运动的振幅决定。近年来海运所对造波机控制系统进行了改造，用 KEELAVITE HYDRAULICS 公司生产的随机波形发生器控制造不规则波，不再使用 16 种正弦波调和综合器控制造不规则波。

关于水质处理，该水池每隔一小时取样测定一次，累计数据，如发现微生物增多，采取药物措施，保持水面清洁的方法采用简单的木板，经常拖水。

水池的理想条件是保持一个恒定温度 68°F，相对湿度 55% 的环境。由于英国夏季不热，因此海运所水池重点解决冬季通风送暖问题。他们采用 7 台温、湿度控制设备，昼夜不停地将水池里潮湿不新鲜空气排出去，同时将新鲜空气抽入和回风混合，并过滤干燥送入水池内。在夏季不送冷，只开通风机，进行适当的空气交换即可。它的布置如图 11 所示。

b. 维克斯船模试验池

本水池位于伦敦北郊圣·奥尔本斯 (St. Albans)。1911~1912 年间建造。二次世界大战期间进行了水上飞机研究工作。在 1939~1945 年间为海军部作了研究工作。战后，配合油轮及快速客货轮的设计进行了各种试验。该水池是英国最大的私营船模水池，池长 136.6 米，宽 6.4 米，深 3.4 米，拖车重 9 吨，为钢管焊接结构。1956 年装了新的冲箱式造波机，最大波长 12.2 米，波高约 0.6 米。造波机由 25/100 马力电机驱动，波高由偏心矩控制，频率由电机控制，不规则

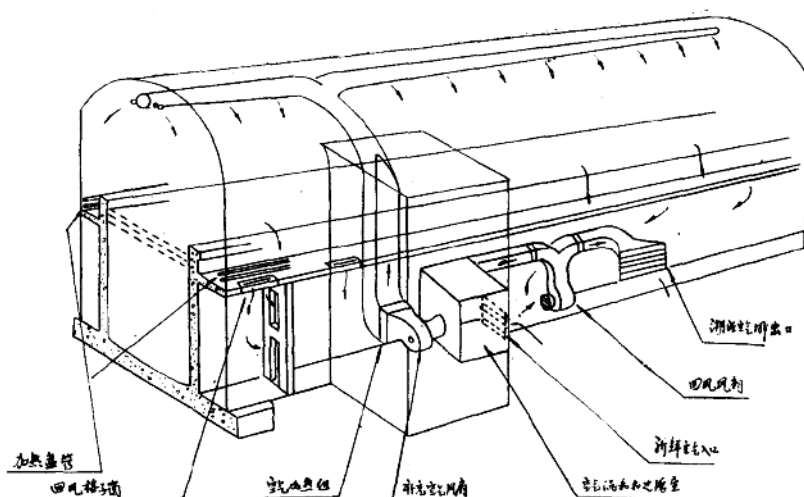


图 11 温、湿度控制设备布置图

波通过一个同时兼有 20 种正弦波的调和谐合器控制。

c. 腾空艇公司 2 号和 3 号水池

腾空艇公司 2 号水池长 250 呎，宽 12 呎，深 5.5 呎。该水池与我国六机部 708 所水池相仿。结构形式是单轨拖曳式水池。由于拖车比较轻，便于制动，因此拖车最高速度可达 30 呎/秒。

腾空艇公司 3 号水池长 670 呎，宽 15 呎，深 5.5 呎。该水池能进行尺度较长的低速船模的试验及水翼艇、腾空艇试验，拖车速度 0.5 呎~50 呎/秒。二个水池均有造波机，也能造不规则波。

(2) 船模试验技术和测试仪表

在参观过程中，我们看了一些水面舰船的常规试验和测试仪器，现综合叙述如下：

a. 水面船阻力试验

海运所、维克斯水池进行水面船阻力试验时，车船连接系统与我国基本相同，但它的船艏导航杆是二根可自由转动的纵向杆件。拖曳方法也与我国相同，但拖线形式是杆件绞链结构。拖点位置基本上安装在水线附近。船模保护用的夹紧装置与上海交大水池相同，在手动操作下，控制夹板的收放。

维克斯水池的阻力仪为机械式。海运所 3 号水池阻力仪采用机电混合式，如图 12 所示。

海运所每次试验后，等水 20 分钟。维克斯水池等水 7 分钟。速度测量，仍测量拖车对地的速度，对水速度计没有看到。维克斯水池用三块船模艏部横剖面形状的薄板置在水池里，宏观地观察拖曳后的残流速度。在海运所循环水槽里看到用直径 5 厘米大小螺旋桨式流速仪测量水流速度的装置。

为了防止残流的影响，海运所水池除了采取等水的办法外，在阻力试验时，选择的试验点从中速开始（对一条船模试验速度而言），然后以跳跃方式向二头发展。从他们放在拖车上的整个试验的阻力曲线看来，试验过程中的误差还是比较大的，一条曲线需要补点 7 次左右。

腾空艇公司船模试验的安装方法与上述二个水池略有不同，由于它采用应变式阻力仪，因此一根导航杆下部带有应变阻力仪，另一根导航杆用双支点的绞链式活动支架。图 13、14、15 分

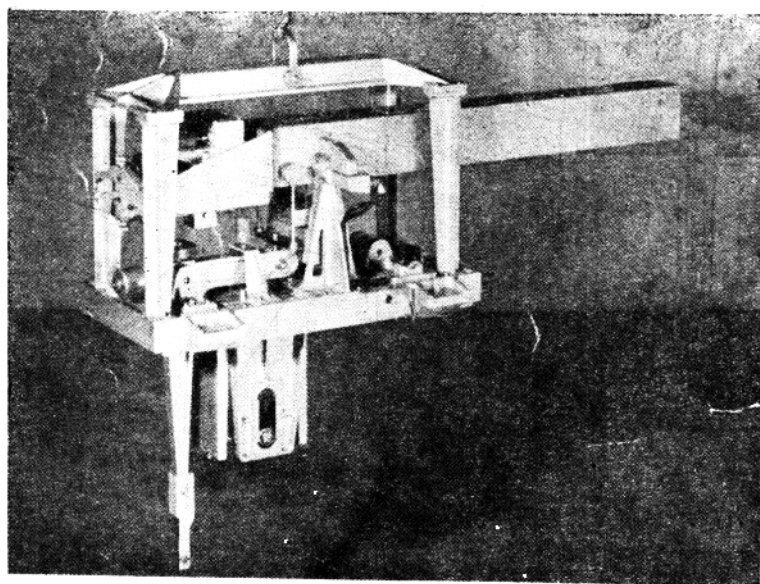


图 12 海运所机电混合式阻力仪

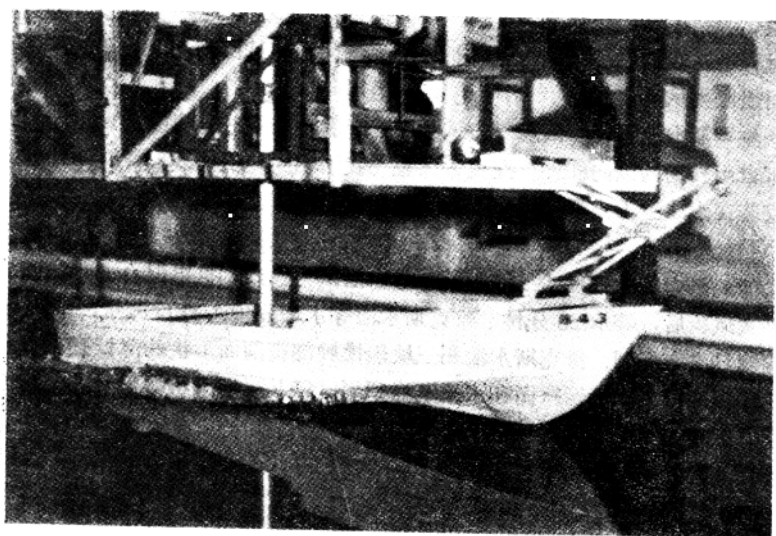


图 13 高速游艇阻力试验

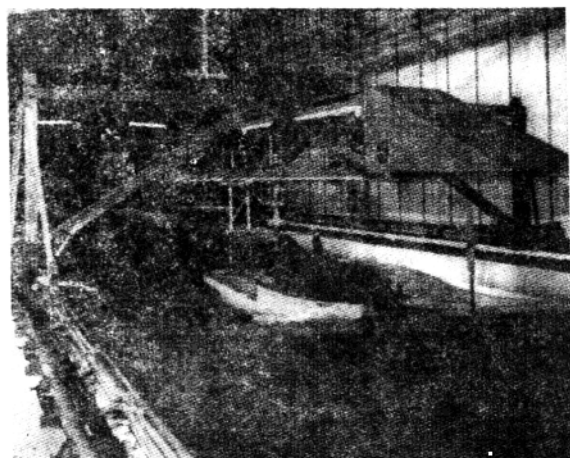


图 14 低速船适航性试验

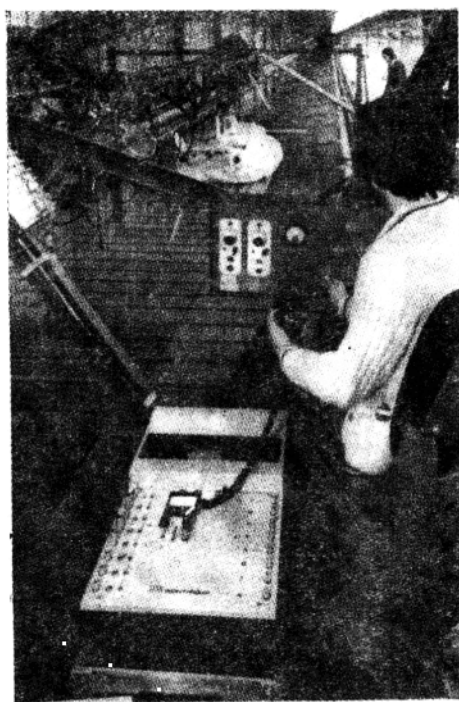


图 15 腾空艇阻力试验

别是高速游艇阻力试验、低速船适航性试验、腾空艇试验的安装图。

阻力仪形式是一个简单的可拆式平行四边形弹性元件测力装置，拖曳力产生的形变，经应变片输出，其结构如图 16 所示。应变阻力仪的一侧，附有旋转变压器，它通过齿轮与船模连接，用来测量船模的纵倾。

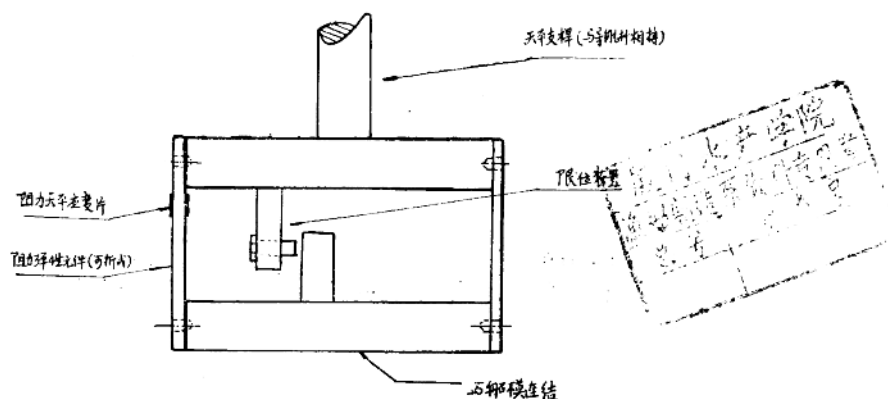


图 16 腾空艇公司应变式阻力仪原理图

b. 敞水和自航试验

海运所做水仪形式与西德 Kempf & Remmers 公司生产的 H29 应变式敞水仪（我国已有进

口)相同。

维克斯水池、腾空艇公司的自航仪形式也与西德 Kempf & Remmers 公司 R25 应变式自航仪(我国已有进口,并仿制成功)相同。

在海运所,我们参观了一条四桨巡逻艇自航模型安装过程。自航仪形式与图 17 相同,但量程较小,重量在 32 公斤以下。

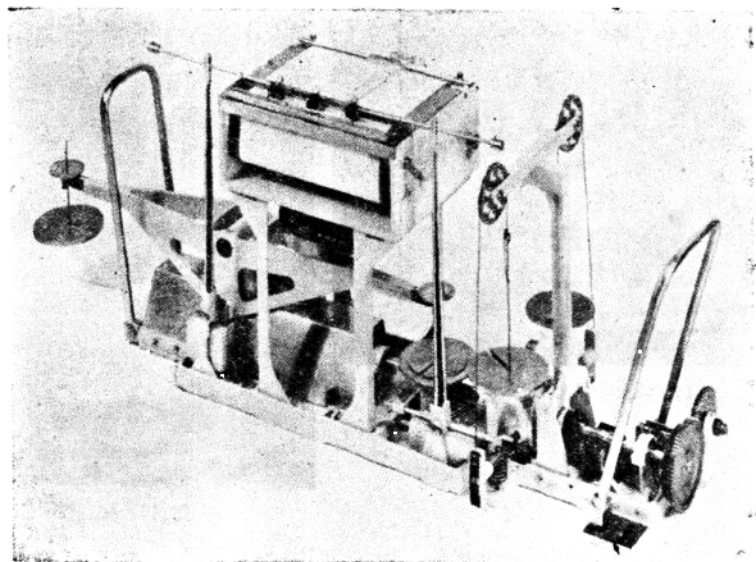


图 17 海运所机械式自航仪

自航方法采用强迫自航、强制力的测量方法与阻力测量方法相同,拖杆或倾斜式连结在巡逻艇艏部。

c. 试验精度和换算方法

60 年代,海运所水池造了一批玻璃钢船模,用作校验各水池的性能,我们几乎在每一个水池都问了与此有关问题,英方没有展示这些模型。在海运所, Bowden 先生讲述了该水池的测试精度:阻力试验误差为 $\pm 1\%$,推进器试验误差为 $\pm 3\%$ 。目前,英国各水池都试验 6 米长的大船模。它的修正办法均按照 14 届国际水池会议论文集集中叙述方法。实船换算方法仍为 $(1+X)$ 法。

d. 流线观察及水下摄影

维克斯水池的流线观察装置是用日本 Sony 公司的录像设备进行改装的。首先在船模上粘贴丝线,并按照阻力拖曳状态按装船模。然后将摄影机或摄像头装在一个密封的流线型的罩壳里,安装在船尾一侧距模型 1.5 米远的地方,摄像头对准船尾部,罩壳上端用支杆固定在车架上。对流线型的罩壳里充气,使罩壳内压力略大于水压力,以防止渗水。这样,通过一次拖曳试验可以对流线状况进行拍摄电影或磁带录像,然后拿到工作室回放、观察。据介绍,流线型罩壳产生流场和波浪对拖曳船模的流线状态有一定影响,但不大,海运所流线观察可以在循环水槽中进行,也可以在长水池北侧的观察窗中观察。

e. 尾部流場測量

維克斯水池尾部流場測量是用五孔梳狀畢托管，如圖 18 所示。

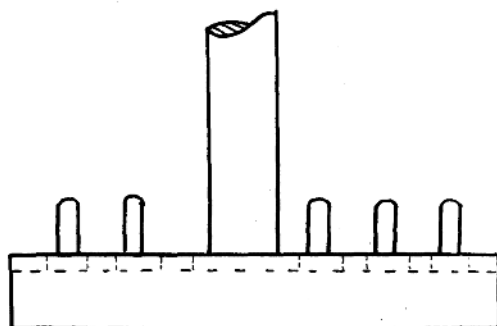


圖 18 維克斯水池五孔畢托管

畢托管沿推進器徑向分布。畢托管之間的距離可移動鍵槽中的滑塊任意調節，每個畢托管中又有五個測量點，共計 25 個測量點。測量尾流時，將畢托管的長軸從船尾置入船模內。測壓孔的壓力經直徑 1 毫米塑料管，通過長軸分別接到壓力傳感器中（傳感器型號為美國 Σ ENDEYCO 公司生產的 8503-4，SNZA21 專利號 3,351,880 或 3,501,732），然後用巡回檢測裝置採樣、放大、打印。當一次採樣打印完畢後，用步進馬達順序發生器（角度控制箱），使五孔畢托管轉一定的角度（一般間隔為 15° ）再記錄一次，它的框圖如圖 19 所示。

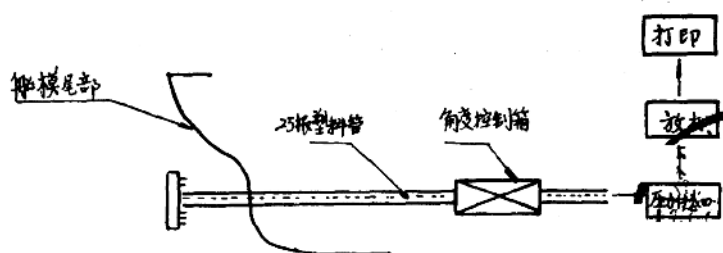


圖 19 五孔畢托管測量示意圖

f. 其他

浪高測量一般用電容式浪高儀，精度僅 $\pm 5\%$ 。海運所在第 14 屆國際水池會議上提出船舶阻力預測的新方法，即粘性阻力與產生渦流強度、渦流、渦系和湍流而消耗的那一部分能量有關，興波阻力與產生重力波而消耗的能量有關，浪花阻力與產生浪花而消耗的能量有關。浪花阻力一般認為是在高速情況下存在的，如滑翔艇、水翼艇、氣墊船等。近代排水量船小到可以忽略不計。與此對應提供了一整套的測量儀器和分析方法。海運所特丁頓 2 號水池波形測量已經自動化，分析方法是採用縱向切割法。尾流觀察測量也能自動化，但需專人管理。這些裝置雖經要求，英方沒有讓我們參觀，僅展示了特丁頓 1 號水池用浪高儀測量波形的照片，如圖 20 所示。

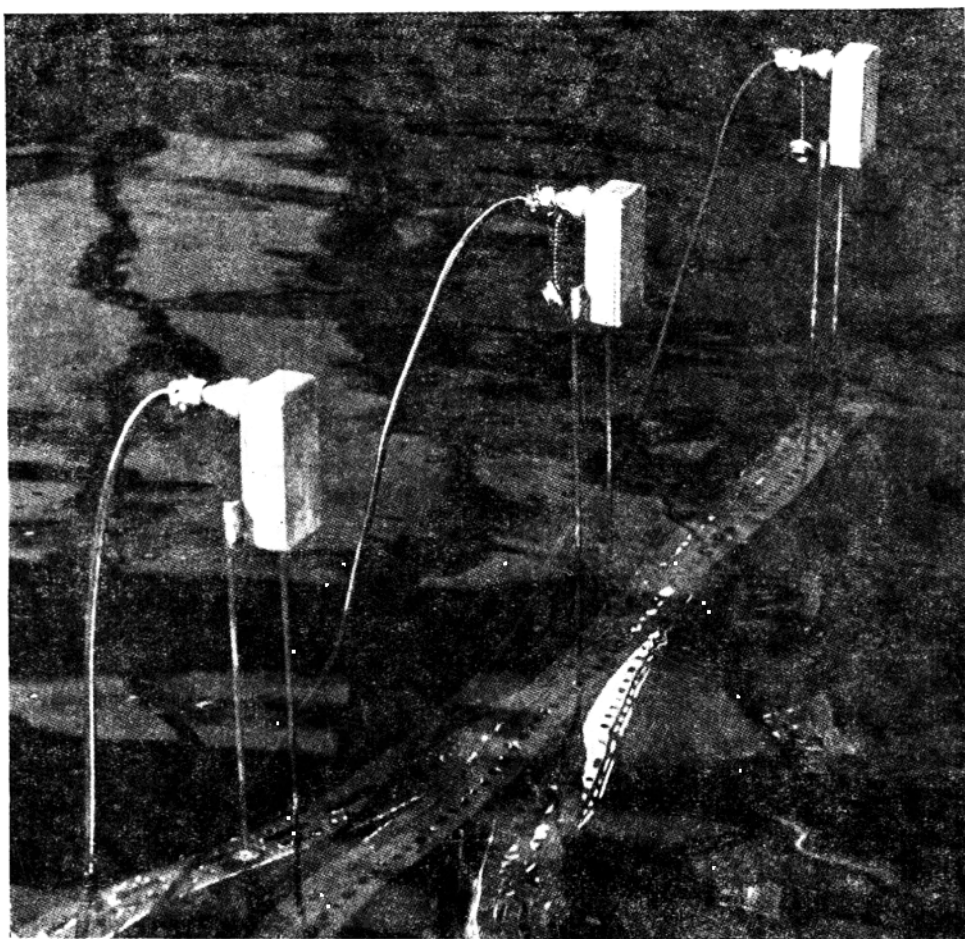


图 20 特丁頓 1 号水池測量波系的裝置

这个装置是一排浪高仪，置在 1 号水池一侧，当船模拖曳时，把产生的波系记录下来，并自动分析，给出波型阻力。

(3) 船模加工

英国用的试验模型大多数 6 米左右，模型长度误差为 4 毫米。但对蜡模来说，温度变化 10°F 可以改变模型长度 0.15%，船模加工仍用机械加工方法切削。船模制造的材料有四种：蜡模、木模、玻璃钢模、泡沫塑料模。现简述如下：

a. 蜡模

由于英国全年温差较小，一般全年最高温度为 30°C 左右，最低温度为 0°C 左右，因此，在六周内能完成敞水、自航、阻力试验的船模，一律采用蜡模。海运所熔蜡设备是几个普通的电热式炉子，它的工作流程如下：

(I) 制造横剖面卡板；

(II) 在 10 米长的泥池中做阴模；

(Ⅲ) 做一个模芯(阳模), 置在阴模之上, 二者间距 100 毫米;

(Ⅳ) 将加热的蜡注入阴模内;

(Ⅴ) 冷却后在泥池中注水, 蜡模浮起;

(Ⅵ) 运输加工。

关于蜡模气孔排除问题, 一般认为蜡使用次数越多, 在炉中可热时间越长, 浇铸温度 55°C 左右, 泥池干湿度相宜, 气孔就减少。

海运所蜡模成份如下:

石 蜡 97.5%

聚乙烯 0.5%

蜂 蜡 2.0%

纽卡斯尔大学 (Newcastle University) 蜡模浇铸方法在第四部分中介绍。

b. 玻璃钢模

由于制造玻璃钢模的费用较大, 只有当船模需长期保留及作适航性试验时才使用玻璃钢模, 其制作工艺流程如下:

蜡质阳模——玻璃钢阴模——涂塑料化学公司分离剂——上胶衣——糊玻璃钢壳体……玻璃钢模制成后, 平行舭体处的壳板厚度为 4 毫米, 沿纵向每隔 25 厘米糊一根加强筋。

c. 泡沫塑料模型

泡沫塑料模型一般用于适航性试验, 以达到减轻船模本身重量的目的。它是用 BAXENDEN 化学公司生产的硬质泡沫塑料加工成形, 用胶衣粘合后, 再磨光喷涂。

d. 木模

木模制作方法与我国相同。胶压设备也较陈旧。

e. 激流钉的安装

1975 年, 海运所对船模激流方式作了一个较全面的规定:

(I) 激流钉为柱形螺栓, 直径 3 毫米, 凸出船体 2.5 毫米, 间隔 25 毫米, 钉在船艏部侧面, 以产生湍流。

(II) 对方形系数小于 0.80 的船模

① 对于一般船艏, 激流钉安装方式按图 21 曲线图进行。

② 对于球鼻艏, 垂线前面一排激流钉安装在撞出船艏的船鼻部分, 第二排安装方式按图 21 曲线图进行。水下部分需与前一排平行。二排激流

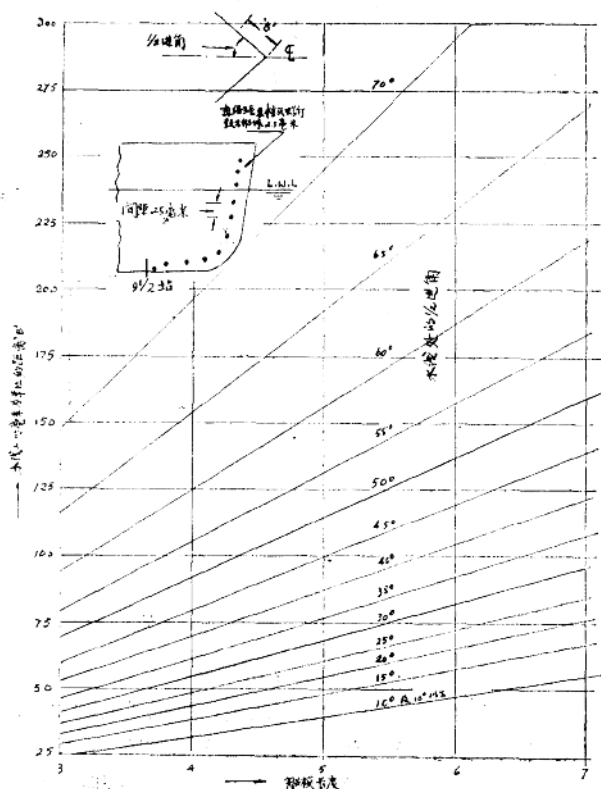


图 21 激流钉安装图