

中国造船工程学会船舶力学学术委员会

# 論 文 集

(船舶性能学组第一届学术讨论会)



1985

中国造船编辑部

## 目 录

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| 上海船研所肥大船型研究综述 . . . . .            | ( 1 )   |
| 5000 吨多用途货船线型设计 . . . . .          | ( 26 )  |
| 浅吃水肥大船线型试验研究 . . . . .             | ( 33 )  |
| 浅吃水肥大大型双尾鳍船流态试验研究 . . . . .        | ( 52 )  |
| 肥大大型球尾船型的阻力及推进性能的研究 . . . . .      | ( 63 )  |
| 秦申线浅吃水肥大船性能研究 . . . . .            | ( 69 )  |
| 尾鳍形状变化对船舶阻力、推进性能的影响 . . . . .      | ( 83 )  |
| 浅吃水肥大船首部线型优选研究 . . . . .           | ( 91 )  |
| 36000 吨散货船改进型的实验研究 . . . . .       | ( 102 ) |
| 15000 吨油轮船模变球首长度静水阻力试验分析 . . . . . | ( 117 ) |
| 某护卫舰的尾型研究设计 . . . . .              | ( 127 ) |
| 浅吃水肥大船尾型、伴流场与螺旋桨旋向配合的研究 . . . . .  | ( 135 ) |
| 浅吃水肥大大型运煤船双尾鳍船型伴流场分析与评价 . . . . .  | ( 150 ) |
| 浅吃水双尾鳍肥大船自航因子分析方法探讨 . . . . .      | ( 170 ) |
| 考虑切向伴流分量的自航试验分析方法探讨 . . . . .      | ( 177 ) |
| 关于船模快速性自航试验结果的处理 . . . . .         | ( 189 ) |
| 三种单桨船型的相关分析报告 . . . . .            | ( 205 ) |
| 内河双桨船舶的相关分析探讨 . . . . .            | ( 214 ) |
| PC-1500 机在快速性预报上的应用 . . . . .      | ( 222 ) |
| 船舶无气室气膜减阻的试验研究 . . . . .           | ( 227 ) |

# 上海船研所肥大船型研究综述

陈阜生 周占群 宋家瑾 谢克振  
(交通部上海船舶运输科学研究所)

**提要** 本文系统地总结和分析了上海船研所十五年来对肥大船型研究的全部资料。分析了肥大船型的特点,推荐了肥大船主尺度分析的统计公式;探讨了肥大船线型选择、尺度比、方形系数及浮心纵向位置变化对船舶性能的影响;介绍了基于肥大船系列试验结果绘制的“肥大船系列试验图谱”;提出了性能较佳的肥大船新线型;简要介绍了当前正在研究的浅吃水肥大船一些结果;并对研究成果的应用及经济效益进行了分析。该成果已在造船、航运事业中起到很大的推动作用,收到了可观的经济效益。

## (一) 肥大船型的发展及其特点

### 1. 肥大船型的发展

肥大船型具有投资省、收效快、成本低、劳动生产率高的优点。近年来,世界各国从货运量和经济性考虑,对油轮、矿砂船、散货船等普遍采用肥大型船舶,且大型化发展的进程迅猛异常。因此,肥大型船舶已逐渐成为运输船舶中的主要新发展船型。由于船舶向巨型化发展,其结果是船舶尺度及功率增大。据统计,1960年时最大油轮为七万吨,功率二万匹马力,而到1975年时最大油轮为五十万吨,功率为四万五千匹马力。

近十几年来,为适应我国工农业生产和外贸航运事业发展的需要,各船舶研究、设计和制造部门相继开展了对肥大型船舶的研究,并陆续建造了一大批油轮、散货船及出口船,载重吨位从15000吨级到65000吨级的肥大型船舶。最近国务院下达的重大技术装备项目之一的秦申线浅吃水运煤船及自动卸煤船研制任务都是肥大型船舶。总之,要尽快实现四个现代化,提高经济效益,担负外贸、国内海上运输任务的主力——肥大型船舶将要更迅速发展。

### 2. 肥大船型的特点

肥大船型通常指方形系数  $C_B > 0.75$ , 航速傅氏数  $Fn < 0.20$  的大型油轮、散货船、矿砂船等运输船舶,其特点是:

(1) 船型短胖肥大。平底,长宽比  $L/B$  明显减少在0.7以下,方形系数  $C_B$  逐渐加大在0.8上下,宽度吃水比  $B/T$  增加,船中剖面系数  $C_M$  在0.99以上,浮心纵向位置  $LCB$  在船中前2%  $L_{BP}$  上下,平行中体长度在30%以上,满载水线进角在  $30^\circ$  以上。

(2) 航速略有下降的趋势,  $Fn < 0.20$ 。

(3) 摩擦阻力占总阻力60%左右。形状阻力(粘性压阻力)占总阻力30%左右, 而兴波阻力只占总阻力的5~10%。

(4) 肥大船模型试验出现了许多临界问题, 有时存在不稳定现象。

(5) 为了避免肥大船模阻力及桨特性的层流影响, 要求船模尺度较大, 由此出现了不可忽视的阻塞效应。

(6) 在肥大型船后的伴流观测试验中, 发现了一个粘性阻力的新成分, 这个阻力成分称为碎波阻力。

(7) 肥大船模型——实船换算问题。用传统的傅汝德方法由于把属于粘性的形状阻力归并到剩余阻力中去, 而使预报的有效马力EHP过大; 同时因水温、尺度不同也会造成EHP差别很大; 粗糙度补贴 $\Delta C_F$ 出现了负值, 因此不能解释其物理意义。而用休斯(Hughes)提出的 $1+K$ 方法换算是合理得多。但是形状因子 $K$ 值受试验精度影响很大, 且肥大船低速试验又极不稳定, 故确定 $K$ 值的方法尚在探讨之中。另外, 肥大船型上必然存在的分离、尺度效应远未研究清楚, 这就动摇了模型——实船换算的基础, 影响了换算精度。

综上所述, 肥大船由于丰满度和尺度比均与常规船不同, 因而船舶的快速性、操纵性、船体振动等均与常规船不同, 在试验研究中出现了许多新的问题。这些问题, 正是国内外造船学者热衷研究的课题, 有些已经解决, 但有许多问题至今还在进一步探讨之中。

## (二) 上海船研所十几年来进行的 肥大船型研究

上海船研所从六十年代末开始进行肥大船型研究, 其主要工作如下:

### 1. 肥大船主尺度分析论证

(1) 提出建造二万五千至三万吨级江海直达油轮的提议<sup>[1]</sup>。

(2) 提出五万吨油轮, 十万吨油轮的提议, 并编写了设计任务书<sup>[2][3]</sup>。

(3) 秦申线浅吃水肥大运煤船营运经济技术论证<sup>[4]</sup>。

### 2. 十五种肥大船选型试验研究, 见表1。

3. 进行“大庆406”轮实船试验, 对浅吃水江海直达油轮在海上航行时的性能进行研究<sup>[5]</sup>。

4. 进行肥大船测试技术研究, 其中包括重复性试验、水池阻塞效应试验<sup>[6]</sup>。及尺度效应试验<sup>[7]</sup>等研究。

### 5. 肥大船系列试验研究

进行了大方形系数 $C_B = 0.800 \sim 0.850$ 的肥大船系列试验<sup>[8]</sup>, 编制了“肥大船系列试验图谱”<sup>[9]</sup>。该项研究荣获交通部1981年重大科技成果奖。

6. 肥大船换算方法<sup>[10]</sup>, 实船——船模相关分析方法的探讨<sup>[11]</sup>。

7. 浅吃水肥大船型研究<sup>[12][13][14]</sup>。

上述研究是我所肥大船型系统科学研究的开端, 填补了我国这方面的空缺, 给肥大

船型设计提供了非常实用且水平较高的设计依据。

表1 十五种选型试验研究的肥大船船型参数一览表

| 编号 | 船名         | L <sub>BP</sub><br>(米) | B<br>(米) | T<br>(米) | △<br>(吨) | C <sub>B</sub> | LCB<br>(%L <sub>BP</sub> ) | L/B   | B/T   | 研究<br>时间 |
|----|------------|------------------------|----------|----------|----------|----------------|----------------------------|-------|-------|----------|
| 1  | 15000吨油轮   | 152                    | 20.6     | 8.8      | 21020    | 0.741          | 1.35                       | 7.38  | 2.34  | 1969     |
| 2  | 15000吨经济货轮 | 140                    | 21.2     | 9.0      | 20902    | 0.759          | 1.07                       | 6.6   | 2.36  | 1980     |
| 3  | 15000吨多用途船 | 150                    | 20.3     | 9.2      | 23350    | 0.736          | 2.2                        | 7.39  | 2.21  | 1983     |
| 4  | 16000吨油轮   | 154                    | 21.0     | 8.8      | 21500    | 0.737          | 1.21                       | 7.33  | 2.39  | 1972     |
| 5  | 16000吨散货船  | 153                    | 22.0     | 8.8      | 22600    | 0.764          | 1.47                       | 6.95  | 2.50  | 1974     |
| 6  | 18000吨多用途船 | 146                    | 22.66    | 9.0      | 22629    | 0.735          | 1.45                       | 6.44  | 2.52  | 1981     |
| 7  | 20000吨多用途船 | 156                    | 22.86    | 9.5      | 27428    | 0.794          | 1.68                       | 6.824 | 2.406 | 1982     |
| 8  | 24000吨油轮   | 170                    | 25.0     | 9.5      | 32185    | 0.778          | 1.98                       | 6.8   | 2.63  | 1973     |
| 9  | 25000吨油轮   | 176                    | 27.7     | 9.2      | 33420    | 0.76           | 0.943                      | 6.35  | 3.01  | 1973     |
| 10 | 25000吨散货船  | 172                    | 23.2     | 9.8      | 32600    | 0.8087         | 2.9                        | 7.47  | 2.37  | 1971     |
| 11 | 35000吨散货船  | 185                    | 27.2     | 11.0     | 45430    | 0.796          | 1.76                       | 6.8   | 2.47  | 1982     |
| 12 | 50000吨油轮   | 210                    | 31.0     | 12.0     | 63974    | 0.7983         | 1.735                      | 6.77  | 2.58  | 1974     |
| 13 | 65000吨油轮   | 220                    | 35.6     | 12.3     | 79093    | 0.821          | 2.854                      | 6.18  | 2.89  | 1982     |
| 14 | 100000吨油轮  | 253                    | 40.5     | 15.0     | 131280   | 0.825          | 2.5                        | 6.25  | 2.7   | 1976     |
| 15 | 秦申线浅吃水运煤船  | 175                    | 32.0     | 9.5      | 43888    | 0.8251         | 2.317                      | 5.469 | 3.368 | 1983     |

### (三) 肥大船主尺度分析

对所有运输船舶, 包括油轮、矿砂船等所提出的要求是:

(1) 最佳的营运经济指标;

(2) 满意的航行性能。

要实现这两个基本要求, 在选择性能优良的线型之前, 必须合理地选择设计船舶的主要尺度和船型系数。

为了熟练地解决上述问题, 必须阐明主尺度、船型系数及航速之间的关系。应该指出, 常规船这些关系已有相当数量的研究, 而对于油轮、矿砂船等肥大船虽然近年来有些学者发表了一些资料, 但彼此之间出入很大, 且不符合我国港口航道的要求。

为此, 我们收集了国内外五百多条油轮、矿砂船资料, 对这类肥大船的主尺度与各

船型系数之间的关系进行分析,得出了一些平均相关关系公式。使用表明,所提出的统计关系式其结果较与实船接近,精度较高。

### 1. 主尺度

现代肥大船的特点是:吨位大,航速低,船体短胖。船体短胖就是吨位大和航速低的综合效果。降低造价和修理费成为肥大船营运中追求降低成本的主要问题。由于减小船长对达到上述目的最为有利,便导致选用较小的  $L/B$  和稍大的  $B/T$ 。目前,燃料价格上涨,所以追求最低燃料消耗也是应该重视的。同时对肥大船还要兼顾港口、航道、船坞、船闸等对船体长度、宽度和吃水的限制。

在初步设计阶段肥大船的主尺度可按下式求得〔15〕:

$$\frac{LB}{1000} = 1.244 \left( \frac{dw}{1000T} \right) + 1.15$$

此式为 300 多条油轮、散货船资料统计平均值,见图 1。若考虑油轮防止海洋污染所需专用压载水舱等,则建议采用下式:

$$\frac{LB}{1000} = 1.244 \left( \frac{dw}{1000T} \right) + 1.35$$

在确定载重量  $dw$  及吃水  $T$  后,选取适当的  $L/B$  值便可求得  $L$  及  $B$ 。

### 2. 方形系数 $C_B$

方形系数  $C_B$  是船体肥瘦程度最普通的表征。大型油轮及矿砂船的特点之一是  $C_B$  大,其选择与  $L/B$ 、 $B/T$  密切相关。在初步设计阶段可按下式求得〔15〕:

$$C_B = 0.943 - 0.7015Fn$$

此式是从大型油轮及散货船的船模阻力试验结果按临界速度分析其  $Fn$  与  $C_B$  的关系而得,见图 2。其值在  $Fn = 0.165 \sim 0.17$  范围内与国外有关公式甚为接近。

### 3. 浮心纵向位置 $LCB$

浮心纵向位置  $LCB$  决定了船中前和船中后船体的相对丰满度。从阻力方面看它改变了前体兴波阻力和后体形状阻力的比例。因此存在一个阻力最小的最佳  $LCB$  位置。在其它船型参数相同情况下,排水量沿纵向分布可方便地以浮心纵向位置来体现。 $LCB$  的合适位置在很大程度上取决于船舶航行时的速长比,过去曾有许多资料发表,可是各人推荐值并不一致,况且  $C_B$  最大只到 0.80,对于  $C_B > 0.80$  的肥大船并不适用。在肥大船初步设计阶段,  $LCB$  可按下式求得:

$$a = 17.949C_B - 12.3$$

式中  $a$ ——以  $L_{BP}$  百分比表示的距船中距离。此式收集了  $C_B > 0.76$  的几个系列资料及 106 条肥大船资料分析而得,见图 3。肥大船变  $LCB$  试验结果与此式颇为接近,详见文献〔16〕。

### 4. 船中剖面系数 $C_M$

大型油轮及矿砂船的船中剖面系数  $C_M$  没有很大变动, 都在 0.99 以上。如果选用的方形系数  $C_B$  已达到傅氏数  $Fn$  所允许的上限, 则取尽可能大的  $C_M$  以降低棱形系数  $C_P$ 。

#### 5. 平行中体长度

肥大船一般都有较长的平行中体, 除对缩短施工周期、降低造价有利之外, 同时还能增大仓容, 方便装卸, 因而使用性能改善。从阻力观点来说, 有一个所谓最佳的平行中体长度, 随着  $C_B$  增加, 最佳平行中体长度也随之增大。

试验结果表明: (1) 在主尺度及方形系数相同时, 随着平行中体长度增加, 阻力形状因子  $K$  都有增加的趋势。(2) 在平行中体长度及位置相同时, 减少舭部半径阻力略有增加。(3) 在增加平行中体长度的同时, 如能适当的增大舭部半径, 则阻力的增加是极为有限的, 平行中体长度增加  $10\%L_{BP}$ , 有效马力约增加  $2\%$ 。一般对  $C_B=0.825$  的船舶, 平行中体长度在  $30\% \sim 35\%L_{BP}$  左右。

### (四) 肥大船测试技术研究

在肥大船试验研究中, 除对肥大船模型激流、污底影响进行探讨外, 又对下列几项进行了专门研究。

#### 1. 重复性、稳定性试验

为了校验水池中肥大船模试验结果的可靠性、稳定性, 对几条肥大船模型作了多次重复性试验。从试验中总结出肥大船模型试验应遵循下列事项进行:

- (1) 严格控制等水时间, 一般为 10 分钟左右。
- (2) 试验前应充分扰动池水, 至少扰动 1~2 次。
- (3) 试验应连续做完, 中途不应长时间间断。
- (4) 严格掌握松放船模时间。

图 4 为一条船模深水阻力重复性试验结果, 其稳定性是较好的, 在实用速度范围内离差为  $1.5\%$  以内。

#### 2 水池阻塞效应试验

肥大船航速较大, 为了避免层流对船模阻力及桨特性的影响, 船模应选得尽可能大, 这样不得不考虑水池的有限深宽对试验结果的影响。

为此, 选了 10 条不同类型船模进行了两种水池截面的阻力试验, 得到下列水池阻塞修正公式:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{m}{1 - m - F_{nh}^2}$$

式中  $m = \frac{a_m}{A}$ ,  $a_m = BT C_M$ 。该公式适用于  $m < 2.7\%$ , 速度  $Fn < 0.32$ , 水池宽深比 3:1 情况<sup>[6]</sup>。

#### 3. 尺度效应试验

为了从船模试验结果正确地掌握实船的性能, 必须考虑船模与实船间的尺度影响。

并且肥大船模有愈来愈大的趋势,于是又产生大、小船模资料如何比较的问题。为此作了下列工作:

#### (1) 50000 吨油轮几何相似船模试验

试验结果表明:肥大船采用休斯的三因次方法换算比傅汝德方法换算所得的结果合理,尺度效应影响小<sup>[7]</sup>。

#### (2) 关于船模尺度较小所须的阻力修正量

根据水池历年来试验资料,将6条长度为3~4米的陶德(Todd)系列线型的船模阻力结果换算到400英尺实船时与陶德图谱的计算结果进行了比较,并用直线回归得到了小船模相对于6米船模的阻力修正量<sup>[17]</sup>,见图5。

### (五) 肥大船线型试验研究

在肥大船线型研究工作中,我们将肥大船前后体分开考虑选择。主要出发点是由于这类 $C_B = 0.80$ 左右的肥大船具有较长的平行中体,且通常设计速度时速长比及傅氏数较低。因此,可以认为这类肥大船首尾端兴波未必会发生干扰,即首尾波系互不相干。且日本三菱长崎水池提出的船型可分原理设计法<sup>[18]</sup>及J. R. Shearer<sup>[19]</sup>也都有相同的观点。

肥大船应集中力量研究降低形状阻力,而前后体变化对形状阻力的影响则是主要的。对于给定的主尺度,合理考虑的方法是:在所给定的总长内先寻求最佳的船体形状,得出结果后再进一步加装球首或球尾等。

上海船研所对表1中所列的15000吨级~100000吨级肥大船线型研究做了大量工作,通过前后体形状的精心设计,使船之阻力明显降低,并使推进效率显著提高。从而积累了许多线型研究资料,提高了一些有代表性的优秀线型。本文将这些资料综合分析,重点介绍。

#### 1. 前体形状变化对阻力的影响

对于 $C_B > 0.75$ 及 $Fn < 0.20$ 的肥大船型首部压力的局部升高是阻力增加的主要原因。这个压力升高伴随着在首柱处形成首波,波高随着前体水线的丰满度的增加而增加。丰满船型的阻力变化特性直接与水线进角的大小有关。基于上述观点,先后设计了许多种形式的前体及球首,其效果明显、制造工艺简单的有下面几种:

##### (1) 撞角形大球首

对大方形系数船型降低阻力的根本办法是使满载水线附近范围内做得瘦削些。对于很丰满的船和短的进流段使它变尖的唯一办法是使一部分排水体积移到首柱之前结果便形成了一个撞角形球体。

图6为50000吨油轮选型试验中设计的最佳方案II-2,其首部为一撞角形球首,参数为 $A_{20}/A_M = 12.31\%$ ,  $1/L_{BP} = 3.1\%$ ,  $h/T = 41.6\%$ 。方案II-2比方案II-1(陶德船型)满载16节、压载17节时均能减少有效马力15%以上<sup>[24]</sup>。该球首被选定为50000吨油轮线型,可惜在建造时球首未装。

##### (2) 柱形首

肥大船型在减小进水角时,可导致水线前肩的曲率迅速增加。这样,尽管在首柱处的首

波减小了,可是前肩处的压力和兴起波高将增大,使前体压力的整体增大。因此,在  $C_B = 0.80 \sim 0.85$  范围内柱形首船型将是减小肩波的理想船型<sup>[20]</sup>。图7为肥大船系列母型选择中设计的柱形首船型,可比常规首满载15节、压载16节减少有效马力6%和2.5%以上<sup>[21]</sup>。

### (3) S形首、小流鼻

肥大船模前体流动可看到沿边壁的流动很厉害地横过艏部,于是这一股流动遇到了沿船体的前后流动,在这儿两股流汇合产生强迫的分离形成一个涡,称为艏涡。欲减少首部艏涡,应该使船首的流态尽可能从前端向后呈径向流动,而避免流线钻入船底的周向流动。图8为肥大船系列选母型中参考BSRA  $C_B = 0.85$ 系列设计的S形横剖面前体,可比常规首满载15节、压载16节减少有效马力7%和2%以上<sup>[21]</sup>。

此外,在24000吨选型试验中,基于上述观点设计的在S形剖面前体上加一流线形小球首(简称小流鼻)的II-6可比常规首II-1在满载15.6节、压载16节时,减少有效马力7.5%和9%以上。这种小流鼻伸出首柱1%  $L_{BP}$ 左右,减阻效果好,可用在不允许加装大球首的沿海船上。

### (4) 折角S形首

图8所示的S形首在肥大船系列选母型中为最佳船首,但由于该线型变化曲率较大,在实船上应用较困难。为使该船型应用于实船,参考了16000吨多用途船的折角线型,将其修改成带有折角线的S形首,见图9。试验结果表明,折角S形首与原S形首阻力几乎完全一样<sup>[22]</sup>。据此将带折角线的S形首设计成35000吨散货船前体,并配以一个蚌壳形小球首,即SM8204线型,见图10。试验结果可见,该前体比丹麦折角首、剃刀首、圆柱形首都优,是阻力性能最佳的首形<sup>[23]</sup>。见图17。该线型在65000吨油轮选型试验<sup>[25]</sup>及浅吃水肥大运煤船选型试验<sup>[14]</sup>中,再一次证明为较佳首形。

### 2. 后体形状变化对阻力的影响

肥大船尾部横剖面形状的影响比较复杂,船尾线型不当可能引起涡流或边界分离,不仅使形状阻力增加,而且影响推进器的工效,严重的还将引起船体振动。

图11、13为肥大船系列选母型中阻力性能较佳的两个后体SM705、SM708线型<sup>[21]</sup>。这是因为它们都具有较小的后肩,SM708后体剖面形状为V形,所以阻力性能较好,而SM705后体虽是中U形,但具有较长的去流段,所以阻力性能也是较好的。

### 3. 后体形状变化对推进性能的影响

从自航试验结果可以看出:SM705伴流分数较高,船身效率较大,因此总的推进效率高。这就再一次证明了U形尾比V形尾推进效率高的论点<sup>[26]</sup><sup>[27]</sup>。

### 4. 后体形状变化对伴流分布的影响

图11、12、13为中U型、中V型及极V型三种尾型,用五孔毕托管进行了标称伴流测量,见图14、15、16。根据试验所得资料用SSPA及十五届ITTC所建议的伴流判据资料进行综合分析得出中U型尾满足要求,而中V型和极V型不满足要求<sup>[28]</sup>。

### 5. 球尾的研究

国外球尾的研究与大型球鼻首的研究是同时开始的,但在实际船型上采用还只是最近的事。由上述资料可知,尾部用V形在阻力上比U形好,但在推进方面则不及U形。

所以在三十年代 Kempf 就建议在后体尽可能保持 V 形,但在尾轴与龙骨之间,尾框之前要把它膨胀出来,这个设计的不利点是尾轴以下在桨盘前的水线去流角太大。Hogner 试图减小伴流的周向不均匀性,试验了一个后体为轴对称的形状,同时使球形轴包与船体的间隙加大,以减小轴心上部的伴流<sup>[29]</sup>。

球尾是在船尾螺旋桨的前方的主轴周围,光顺地连接一个小型或者稍长一些比较大型的圆筒状的球状物。球尾的作用主要是为了改善自航要素。球尾设计得好,具有下列好处:

- (1) 减少桨的激振;
- (2) 改善阻力;
- (3) 有较好的推进效率;
- (4) 船体有较好的操纵性;
- (5) 有较低的造价;

基于上述观点,并参考了日本高桥肇球尾资料<sup>[31]</sup>,我们在  $B/T = 3.6$  浅吃水肥大船选型中设计了一个球尾,其阻力推进性能都较佳<sup>[22]</sup>,见图 18。基于该球尾资料,在 35000 吨散货船上设计了一个球尾 SM8204 后体<sup>[23]</sup>,见图 10。该球尾比其它方案的折角尾、球尾的阻力、推进性能都优。该球尾在 65000 吨油轮试验中表明比其它尾形都好,是一种较佳的单桨肥大船尾型。其伴流分布见图 19。

## 6. 小结

综合分析上述资料,可见 SM8204 线型是单桨肥大船的较优线型。其前体为带折角线 S 形前体配以蚌壳形小球首,具有较小前肩与水线进角,制造工艺简单。其后体为一球尾线型。该线型被选定为 35000 吨散货船线型。

## (六) 肥大船系列试验研究

### 1. 系列范围

与国外系列试验一样,选择对阻力影响最大的  $C_B$ 、 $L/B$ 、 $B/T$  为本系列的三个主要船型参数,其变化范围是<sup>[15]</sup>:

|       |         |               |
|-------|---------|---------------|
| $C_B$ | 0.800 ~ | 0.850         |
| $L/B$ | 5.25 ~  | 6.75          |
| $B/T$ | 2.2 ~   | 3.2           |
| $LCB$ | 1.5 ~   | 3.5% $L_{BP}$ |

### 2. 系列船型

根据所搜集的资料,共设计了九种基本线型方案,再将各基本方案的前、后体分别从阻力、推进方面考虑,重新组合十五种新方案,进行阻力、自航试验及尾部伴流测试,选出了阻力与推进性能都较佳的 SM705 为系列母型,见图 20。该线型前后肩都较小,首部横剖面面积曲线呈直线形,去流段较长,后体剖面形状为中 U 型,致使伴流均匀,伴流分数较高,总的推进效率亦高<sup>[21]</sup>。系列母型与其它方案的比较见图 21,与日本运输省图谱估算值比较见图 22。

### 3. 变尺比系列试验

对选定母型按上述范围进行变 $L/B$ 及 $B/T$ 的系列试验。图26中给出了 $L_{BP}=253$ 米。实船满载状态 $V_S=16$ 节时海军常数 $C_1=\sqrt{\frac{V}{V'}}/EHP$ 随尺度比变化的趋势〔17〕。

#### 4. 变方形系数系列试验

为了探讨方形系数变化对阻力的影响,对系列母型进行变三个方形系数( $C_B=0.80$ 、 $0.825$ 、 $0.85$ )系列试验。图27为方形系数对阻力的影响曲线〔16〕。

#### 5. 变浮心纵向位置系列试验

为了探讨浮心纵向位置变化对阻力的影响,并确定其最佳浮心位置,对系列母型进行变浮心纵向位置( $LCB=1.5$ 、 $2.5$ 、 $3.5\%L_{BP}$ )的系列试验。图28为浮心纵向位置对阻力的影响曲线〔16〕。

#### 6. 肥大船系列试验图谱

“肥大船系列试验图谱”是上述肥大船系列试验结果编制的〔30〕,它适用于正常单螺旋桨肥大型运输船舶。

该图谱包括以下几个图谱〔9〕。

- (1)  $0.800\sim0.850$  方形系数船型型值图谱;
- (2)  $0.825$  方形系数阻力图谱;
- (3) 变方形系数阻力修正图谱;
- (4) 变浮心纵向位置阻力修正图谱;
- (5) 系列船型湿面积系数⑤等值图谱;
- (6) 各种状态不同船长的实船摩擦阻力系数 $C_F$ 图谱。

阻力图谱及修正图谱如图23、24、25所示。

根据这些图谱设计者可以迅速查得系列范围内任何船型值及其相应的阻力值。因此,它有以下几种基本用途:

- (1) 估算船舶深水裸体阻力;
- (2) 用于方案设计时之船型尺度的分析论证;
- (3) 提供了我国肥大船阻力性能的比较标准;
- (4) 系列船型可供造船设计部门应用。

### (七) 浅吃水肥大船型试验研究

浅吃水肥大船是我国重点建设物资煤、矿、散货运输的技术关键,亦是重点新发展船型之一。采用浅吃水肥大船运输效率显著提高,适合我国港口航道水浅的条件,可大大减少航道整治投资。

#### 1. 单桨浅吃水肥大船系列试验

基于上述肥大船系列线型,扩充设计并试验了宽度吃水比 $B/T=4.0$ 的肥大船系列试验,其结果与上述系列一起光滑,编制了“浅吃水肥大船系列试验阻力图谱”〔12〕,对于单桨浅吃水肥大船可以参考使用。

#### 2. $B/T=3.6$ 的浅吃水肥大船选型试验

为了进一步探讨浅吃水肥大船线型变化对性能的影响,以肥大船系列船型为基础,设计了S形首、折角S形首以及球尾、折角尾等线型,分别进行阻力、自航试验,结果

表明折角S形首、球尾性能较佳〔22〕。

### 3. 双尾鳍浅吃水肥大船变尺度、变方形系数试验研究

该试验是结合国家重大技术装备项目之一的秦申线浅吃水肥大运煤船的任务进行的。在试验分析归纳中,延伸了尺度比变化范围,使长宽比和宽度吃水比扩展为 $L/B=4.75\sim 6.25$ ,  $B/T=3.0\sim 5.0$ 。试验结果绘制成一组阻力估算曲线〔13〕,可供设计双尾鳍浅吃水肥大船估算阻力之用。由试验结果可见,在船舶一定的主尺度条件下,双尾鳍船型的阻力较单桨阻力为低。

### 4. 双尾鳍浅吃水肥大船选型试验研究

#### (1) 前体线型、双尾鳍位置、螺旋桨大小及旋向对阻力和推进性能的影响

在确定秦申线运煤船主尺度后,为优选阻力小、推进效率高的船型,选择设计了常规首、折角S形首、椭圆首、丹麦折角首等前体线型及变双尾鳍间距( $b/B=24\%$ 、 $31\%$ 、 $38\%$ )和倾斜角( $\theta=7^\circ$ 、 $14^\circ$ 、 $21^\circ$ )的三个尾型进行大小桨、内外旋自航试验。由试验结果可见折角S形首阻力性能最佳,尾鳍间距 $31\%$ 船宽较为合适,大桨( $D=140\text{mm}$ )可获得较高的螺旋桨敞水效率,其推进效率较小桨( $D=106\text{mm}$ )高 $20\%$ 左右,小桨内旋比外旋具有较高的相对旋转效率和船身效率,满载时内旋桨的推进效率QPC较外旋高 $7\%$ 〔14〕。

#### (2) 尾部线型与流场关系的研究

尾部线型与流场关系的研究是秦申线浅吃水运煤船性能研究的主要攻关项目之一。

为优选尾部线型,我们利用循环水槽进行流线观察,将上述较优方案SM8318A后体线型纵剖线的最大去流角减少至 $15^\circ\sim 17^\circ$ ,尾鳍桨轴间距 $b/B$ 从 $31\%$ 增至 $35\%$ ,尾鳍与垂线夹角从 $14^\circ$ 增到 $20^\circ$ ,并增大内折角线间距,尾鳍形状略带球尾形状。修改后线型为SM8424,其阻力较SM8318A降低 $5\sim 6\%$ ,推进效率提高 $2\sim 3\%$ 〔14〕〔15〕。

内旋桨一般以桨代舵操纵不灵,尾部流场也容易引起与普通单桨肥胖船类似的空泡、激振的危害。为此,利用循环水槽对SM8424后体线型进行多方案改进,修改中保持尾鳍轴心距不变,增加尾鳍倾斜角,加大尾鳍,并将尾鳍修改成不对称形状,从而改善伴流分布,降低伴流峰值,使流场的切向速度方向适应于螺旋桨外旋方向,形成了SM8424E线型。其阻力、推进性能优良,伴流质量可以满足BSRA的伴流衡准条件,流态稳定,提高了外旋桨的推进效率,从而解决了以车代舵操纵与推进性能的矛盾〔32〕。

#### (3) 波浪中优选线型试验

船舶线型选择中考虑其耐波性已日益受到人们的重视。为提高船舶营运的经济效益,必须在线型优选阶段开展波浪中快速性能和运动性能的试验研究,为此进行下面两项工作〔33〕:

- a. 对从静水中快速性观点出发所选出来的船进行全面的耐波性试验;
- b. 从波浪中快速性观点出发研究一些新船型。

#### (4) 操纵性能试验研究

秦申线运煤船宽度吃水比及方形系数都比较大,影响操纵性能,为保证该船具备足够的操纵性能,对舵面积系数及舵的横向位置变化等舵效的影响,以及在浅水低速条件下的操纵性能等一系列问题进行了试验研究〔34〕。

### (八) 研究成果的应用及经济效益

上海船研所对肥大船型的研究是结合新船设计进行的。表1中所列的大多数船舶早已建造完工或即将完工投入营运,是我国石油、煤炭、散货运输的主力船只,对加速四个现代化,促进国民经济的发展起到巨大的推动作用。

尤其应该强调指出的是:“肥大船系列试验图谱”自1980年鉴定评议后,各科研设计、建造、航运、学校等20多个单位在50多项设计中广泛使用,诸如出口船、报价、远洋船、沿海船、远洋规划、海运规划等工作中应用,推动了造船科学技术的发展,并已产生很大的经济效益和社会效益。

我们的一切研究工作都从节能出发,着眼于经济效益。表2为四种船型经济分析比较表。从表中可见,对各种船型优秀线型方案比其它方案每年可节约燃料费20多万元。

表2 经济分析比较表

| 船 名         | 35000<br>吨散货船 |        | 24000<br>吨油轮 |       | 50000<br>吨油轮 |       | 65000<br>吨油轮 |       |
|-------------|---------------|--------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| 方 案         | SM8204        | SM8203 | II-6         | I-1   | II-2         | II-1  | III-1        | I-2   |
| 航 线         | 秦皇岛—上海        |        | 秦皇岛—上海       |       | 大连—湛江        |       | 大连—湛江        |       |
| 航 程 ( 哩 )   | 1376          |        | 1376         |       | 3120         |       | 3120         |       |
| 机器马力 ( 匹 )  | 8770          | 10200  | 10119        | 11599 | 15493        | 17840 | 12400        | 13119 |
| 节约马力 ( 匹 )  | 1430          | 0      | 1480         | 0     | 2347         | 0     | 1050         | 0     |
| 航 速 ( 节 )   | 14.5          |        | 14.5         |       | 16           |       | 14.5         |       |
| 每航次节油 ( 节 ) | 18.049        | 0      | 17.879       | 0     | 58.179       | 0     | 28.726       | 0     |
| 每年航次        | 38            |        | 38           |       | 18           |       | 18           |       |
| 每年节油 ( 吨 )  | 685.86        | 0      | 679.4        | 0     | 104722       | 0     | 516968       | 0     |
| 每年节约燃料费(万元) | 21.23         | 0      | 21.03        | 0     | 32.41        | 0     | 16.00        | 0     |

### (九) 将来的研究

上述研究是我所肥大船型系统科学研究的开端,填补了我国这方面的空缺,对造船科学技术的发展起到巨大的推动作用。

肥大船型是在继续发展的新船型。这类船舶的许多性能与常规船不同尤其是目前正在研究的浅吃水肥大船,这就要求我们必须不断总结经验,继续向肥大船型研究的深度和广度探讨。

我所 NO.2 水池建成(长 195 米、宽 10 米、深 4.5 米),并正式投产使用。循环水槽也已建成。这些试验设备技术先进,精度可靠,可进行船舶性能多方面的研究,这就给今后研究肥大船型提供了可靠的保证。

我所成功地建立起以 KGY—5A 浪高仪和 LSI—11/23 微机为中心的船模自动测试及实时处理系统,使波型测量开始成为我所大水池的常规试验项目。此外,我所又进行了首次尾流测试,分析结果表明尾流测试系统是成功的,这样可以通过阻力分量的直接测试为各种理论计算方法提供了有用的校核数据,有利于阻力理论的发展,也为改进船型创造了一个新的试验手段。

我所即将利用现有试验设备和测试手段进行比较全面的肥大船性能研究,诸如肥大船线型、推进方式、耐波性、操纵性等综合性研究工作。并借助先进的电子计算机技术广泛开展肥大船型理论和试验方面的研究工作。

### 参考文献

- (1) 陈阜生等:“对海船进江原油运输船型的意见”,上海船研所《船舶运输研究》,1973 年。
- (2) 陈阜生等:“50000 吨油轮设计技术任务书”,上海船研所,1973 年。
- (3) 陈阜生等:“远洋 100000 吨油轮设计技术任务书(初稿)”,上海船研所,1975 年。
- (4) 王世廉:“秦申线浅吃水肥大运煤船营运技术论证”,上海船研所,1984 年。
- (5) 顾家彪、周占群等:“大庆 406 轮实船试验方法探讨”,上海船研所《船舶运输研究》,1973 年。
- (6) 谢克根等:“水池阻塞效应试验探讨”,上海船研所《船舶运输研究》,1978 年。
- (7) 宋家瑾等:“对估算形状因子实用方法的探讨”,上海船研所,学报,1979 年。
- (8) 周占群等:“肥大船系列试验”,《中国造船》,1982 年。
- (9) 周占群、宋家瑾等:“肥大船系列试验图谱”,上海船研所,1980 年。
- (10) 陈阜生等:“肥大船形状因子的估算”,上海船研所,学报,1982 年。
- (11) 谢克振、周占群等:“24000 吨油轮实船——船模相关分析”,上海船研所,1974 年。
- (12) 周占群、宋家瑾等:“浅吃水肥大船系列试验阻力图谱”,上海船研所,1981 年。
- (13) 周熊等:“双尾鳍浅吃水肥大船阻力估算方法”,上海船研所,1983 年。
- (14) 周熊等:“秦申线浅吃水肥大运煤船线型优选试验研究(一)(二)(三)”,上海船研所,1984 年。
- (15) 周占群等:“肥大船系列尺度范围及母型主参数的选择”,上海船研所,1980 年。

- [16] 周占群、谢克根等：“肥大船系列变方形系数和浮心纵向位置试验”，上海船研所，1980年。
- [17] 谢克振等：“肥大船系列变尺度试验”，上海船研所，1980年。
- [18] “船型可分原理及び肥大船型の新设计法”，《日本造船学会论文集》120号，1966年。
- [19] “Some Aspects of the Resistance of Full Form Ship”，INA，(1970)。
- [20] V. M. Stumpf: “A Study of Hull Form Effects on the Resistance of large Tanker”，IMAS，(1969)。
- [21] 周占群、谢克振等：“肥大船系列母型试验”，上海船研所，1980年。
- [22] 宋家瑾等：“ $B/T=3.6$  浅吃水肥大船选型试验”，上海船研所，1983年。
- [23] 宋家瑾、周占群：“35000 吨散货船船模试验报告”，上海船研所，1982年。
- [24] 谢克振、周占群等：“50000 吨油轮船模试验报告”，上海船研所，1974年。
- [25] 周占群等：“65000 吨油轮船模试验报告”，上海船研所，1982年。
- [26] 横尾幸一：“巨大船の船型と推进性能との关系”，《日本造船学会誌》第466号，1968年。
- [27] 横尾幸一等：“バルブ付き肥大船型の推进性能に関する研究”，日本造船技术研究所报告，第4卷第5号1967年9月。
- [28] 叶立钦“十万吨油轮船模伴流测试与分析”，上海船研所，1978年。
- [29] R. Brenke: “The bulbous Stern—a brief history”，(1966)。
- [30] 周占群等：“肥大船系列试验图谱编写说明”，上海船研所，1980年。
- [31] 高桥肇等：“船尾バルブ形状变化の推进性能に及ぼす影响”，《第12回船舶技术研究发表会讲演概要》。
- [32] 叶立钦等：“尾部线型与流场的关系的试验研究”，上海船研所，1984年。
- [33] 王维宇等：“波浪中优选船舶线型试验研究”，上海船研所，1984年。
- [34] 倪士龙等：“秦申线浅吃水肥大大型运煤船操纵性试验研究(一)(二)(三)”上海船研所，1984年。
- [35] 宋家瑾等：“浅吃水肥大大型双尾鳍船流态试验研究”，上海船研所，1984年。

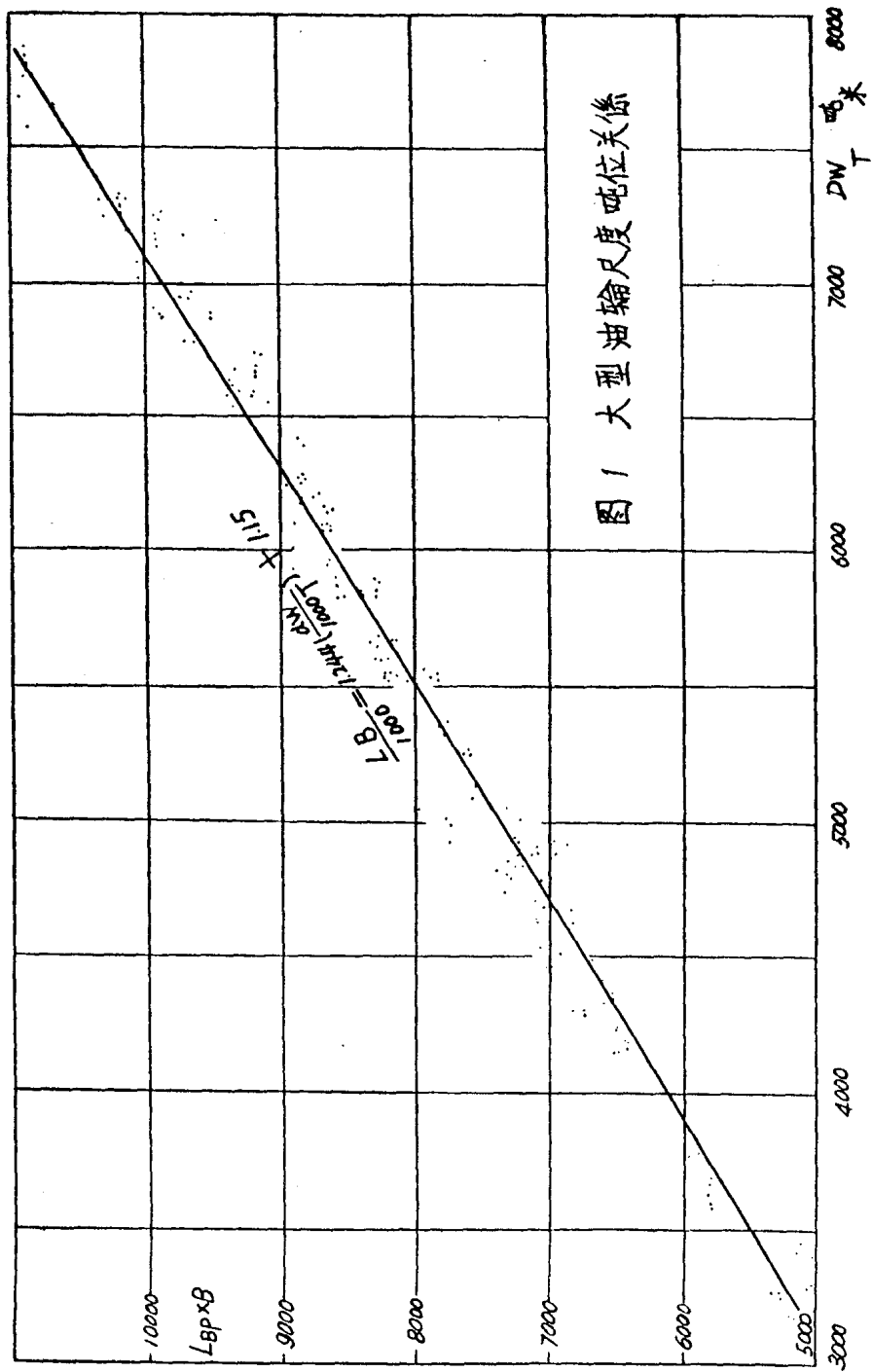


图 1 大型油轮尺度吨位关系

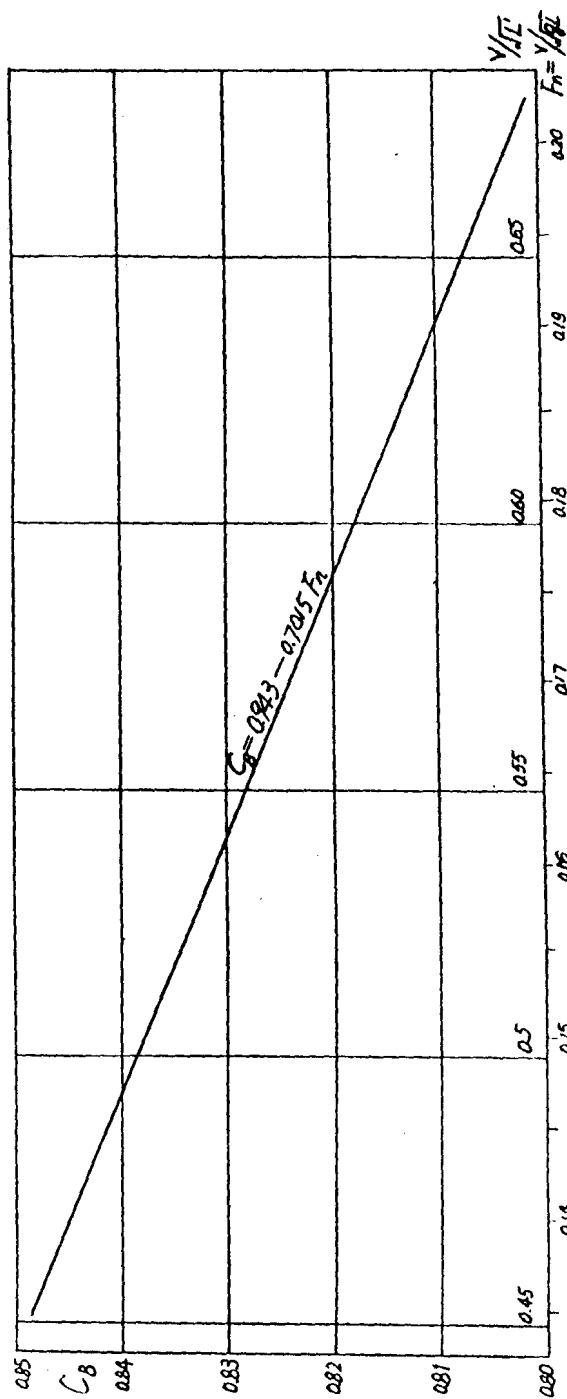


图 2  
 $C_B - V/L$   
( $F_n$ )统计公式

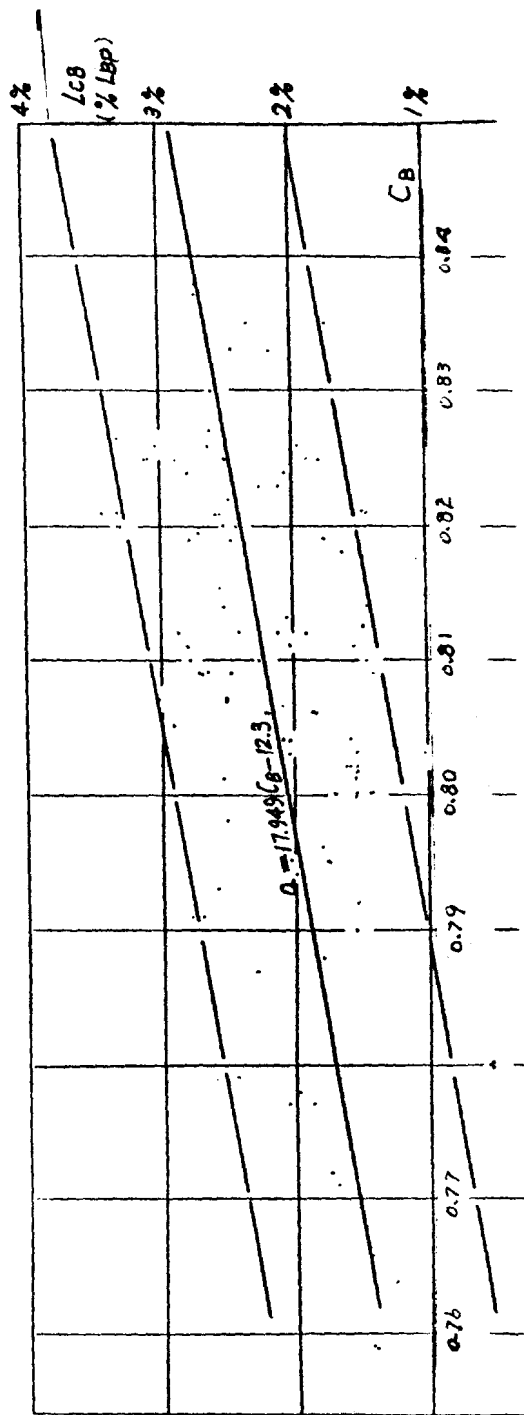


图 3  
 $LcB - C_B$  曲线