



冷藏船文集

薛安国选编 孙松鹤 陈孔时审

-53

中国船舶工业总公司第七〇八研究所
第七研究院

U674.13-53/444

责任编辑 周渝江
编辑 陈善汾 秦瑞兰

上海市新闻出版局
内部资料准印证(94)第104号

编辑出版:中国船舶工业总公司第七研究院第七〇八研究所
通讯地址:上海市新肇周路1340号情报室
邮政编码:200011
常熟市白云印刷厂印刷 内部资料

¥66.00

前 言

冷藏船作为一种专用特种运输船舶,近年来航运市场需求旺盛,特别是香蕉海运量大幅度增加,冷藏船队不断更新和大型化。冷藏船与其他货船不同,因其所运输的货物要求保质、保鲜,特别是香蕉一类的水果,极易变质、腐烂,不但要能保持合适的低温与相对湿度,而且要尽量缩短航行时间,因此冷藏船具有较高的航速,使之航行时间减少,以降低冷藏货仓能量的消耗。为了提高冷藏船的经济性,增加其揽货能力,现代冷藏船大多是多用途型的,除了能运装冷藏货外,还能装运集装箱、车辆、托盘货等,为了保持不同冷藏货要求温度有差异的特点,以及为了防止水果等冷藏货的受压,往往甲板层数较多。另外冷藏船还对制冷设备和自动控制温度和绝缘材料、仓盖型式等提出较高的要求。

80年代后期我国上海船厂接受了一批8艘现代冷藏集装箱船的出口任务。图纸由西德提供从进口的图纸中通过消化吸收,以及在建造过程中体会到了设计建造这类船有一定的难度和复杂性,而我国过去尚未自行设计过这类船舶,为此中国船舶工业总公司立题组织有关单位开发了8496、12744、16992立方米(30万、45万、60万立方英尺)的三种冷藏集装箱船,我所参加了其中一部分工作。与此同时组织力量收集了部分国内外的资料,出版了这本选集,这本选集除了翻译了部分国外先进冷藏船的资料外,同时结合我所做的工作,对冷藏船的总体设计、船型系数的确定、制冷系统的选择、冷藏货仓的温控自动化、绝热材料的选择、入级要求等提出了我们的看法。我们期望这本选集的出版能对我国自行开发冷藏船有所帮助。

孙松鹤

1994年11月

目 次

16 992 m ³ (600 000 ft ³) 冷藏/集装箱船	薛安国 张润民(1)
冷藏船总体设计中的一些问题	薛安国 张润民 孙松鹤(6)
确定船型系数的公式	薛安国编译 张炳炎校(32)
8 496 m ³ (300 000 ft ³) 冷藏船线型优化和节能装置的研究	李立人 钱文豪 赵汉魂(38)
世界最大的冷藏船“Ditlev Lauritzen”号	曹玉健编译(44)
18 974 m ³ (670 000 ft ³) 冷藏船 M/V “Choapa”号	徐菊英编译(48)
13 877 m ³ (490 000 ft ³) 冷藏船“Amer Himalaya”号	徐菊英编译(50)
世界冷藏船近况及其技术发展	俞忠德(52)
16 992 m ³ (600 000 ft ³) 冷藏船主机选型方案研究	薛安国 张富明译 徐永祥校(66)
冷藏船的电站与机舱自动化	黄建章 李磊磊(74)
16 029 m ³ (566 000 ft ³) 冷藏船货舱制冷装置的电气控制系统	李磊磊(84)
货舱制冷系统的选择	蔡劲松(88)
货舱制冷自动化	张智林(92)
冷藏货舱隔热结构的传热系数	蔡劲松(98)
船舶冷藏入级	张智林摘译 施鼎岳校(103)
货物冷藏系统的实践经验与建议	施鼎岳译 董兴章校(109)
船舶运输中进行冷处理的说明和标准	施鼎岳译 黄建章校(114)
世界冷藏船综合性能表	俞忠德编(117)

16 992 m³(600 000 ft³) 冷藏/集装箱船

薛安国 张润民

16 992 m³(600 000 ft³) 冷藏/集装箱船是根据中国船舶工业总公司船总科(1991) 631号文,按国家计委下达的重点企业技术开发项目而进行的技术开发项目之一,由船舶总公司七院第七〇八研究所承担,深度为合同设计阶段。

本船适用于运载香蕉、水果、冻肉、冻鱼、集装箱、小汽车及托盘货等多种货物,是一种代表当今世界造船先进水平的新型冷藏船型。本船的特点是容量大、航速高,营运于世界主要冷藏货航线。在货仓内装冷藏货,甲板上装集装箱时的经济性高。设有球鼻首,小球尾等节能装置,快速性好。采用大侧斜螺旋桨,噪音、振动小。

一、总体性能

1. 主要尺度

总长(L _{OA})	166.40 m
两柱间长(L _{BP})	158.00 m
型宽(B)	23.00 m
型深(H)	14.00 m
香蕉吃水(T)	7.00 m
最大吃水(T _{max})	9.00 m

2. 载重量及载货量

T=7.00 m	T=9.00 m
载重量(t) 7 800	13 700
载货量(t) 5 160	10 300

3. 主要技术性能

(1) 航速

在 T=7.00 m,主机发出 C. S. R, 并有 15%海上风浪裕度下,航速为 21.5 kn

(2) 主机油耗 56.48 t/d

(3) 续航力 15 000 n mile

(4) 容积

冷藏货舱容积 17 700 m³(624 000 ft³)

集装箱数 甲板上 174 TEU

舱内 148 TEU

共计 322 TEU

其中包括冷藏集装箱 50 TEU 或 FEU

燃油 1900 m³

柴油 270 m³

淡水 450 m³

压载水 2 900 m³

甲板面积 约 7 000 m²

可装托盘数 约 5 200 个

(5) 吨位 约 14 000 t

(6) 船级及船旗

按西德劳氏船级社规范进行设计

船级符号: GL+100 A5E "Refrigerated cargo ship" "Equipped for carriage containers" + MCE AUT+KAZ

船旗: 塞普鲁斯或利比里亚

(7) 稳性

各种典型装载情况的稳性,包括分舱和破舱稳性均满足 IMO 有关规范和规则的要求。

(8) 干舷

满足 1966 年国际载重线公约对 B 型船的有关要求。本船为富裕干舷船。

(9) 振动和噪声

振动满足 ISO 6954 的要求。

噪音满足 GB 5979-86 的要求及 IMO 有关规定

4. 总布置

本船设有 4 层纵通甲板, NO. 1 货仓部分设有长首楼, 尾部设有尾楼, 住仓及驾驶室均设于尾部。本船设有 4 个货仓, 每仓又由甲板分隔成 4 层, 每个货仓又分成上下 2 个独立的货区, 由货仓分隔壁 (A 型) 和合和

NO. 2 货仓之间及 NO. 3 货仓和 NO. 4 货仓之间设有 353 kN (36 tf) 的甲板克林吊, 在 NO. 2 货仓和 NO. 3 货仓之间及 NO. 4 货仓后边设有 98 kN (10 tf) 的甲板克林吊。货仓内的仓口区可装载五层集装箱, 上甲板和仓

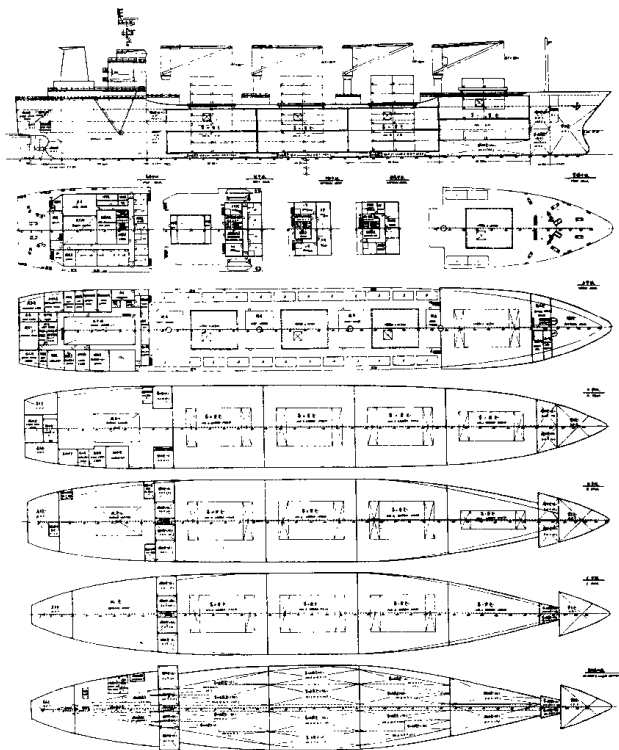


图 1 总布置图

二、船体结构

计,船体材料采用低碳钢,部分采用个金钢。
结构采用纵横混合式。

本船的船体结构按德国劳氏规范进行设

仓底,甲板的设计载荷如下表:

	均匀载荷	集装箱	
		6.1m (20ft)	12.2 m(40 ft)
舱 底	86 kN/m ²	120 t/叠 (5层)	150 t/叠 (5层)
中间甲板	20 kN/m ²	—	—
上 甲板	17.16 kN/m ²	45 t/叠 (3层)	60 t/叠 (3层)

舢剖面图如图 2 所示。

三、舢装设备

1. 锚设备

首锚 2 只,每只重 5 610 kg

2. 舵设备

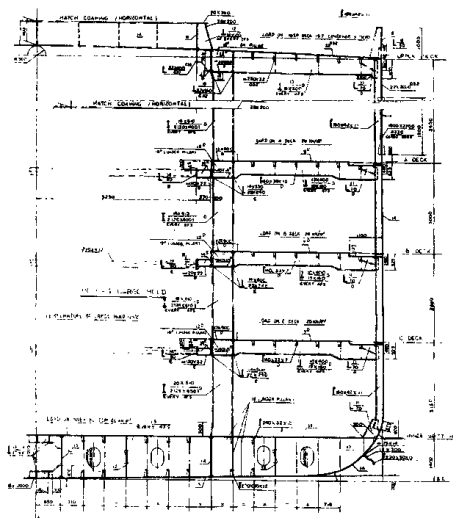


图 2 舢剖面图

采用玛琳纳型半悬挂舵,舵面积比约为

1.9%

3. 起货设备

电动液压克林吊 353 kN×26 m×1 台
353 kN×28 m×1 台
98 kN×20 m×2 台

食物吊 29.4 kN×1 台

4. 货舱长度及开口尺寸

	货舱长度(m)	货舱结构开口 长×宽 (m) (仅首楼甲板及上甲板)
NO. 1 货舱	25.92	12.96×10.70
NO. 2 货舱	25.92	12.96×10.70
NO. 3 货舱	25.92	12.96×10.70
NO. 4 货舱	25.92	12.96×10.70

货舱内净高:2.2 m

在每一货舱口盖上均设置一只 2.5 m×2.5 m 的香蕉舱口盖。

在每一货舱的两侧各设置一扇液压开启的舱门,尺寸为 2.2 m×1.9 m。

5. 货舱口盖

上甲板及首楼甲板:液压风雨密折叠式舱口盖。

中间甲板及 NO. 1 货舱上甲板:液压非水密折叠式舱口盖

6. 系泊设备

丙纶系船索 $\varnothing 64 \times 190$ m 8 根

钢缆拖索 $\varnothing 52 \times 220$ m 1 根

7. 救生设备

24 人全封闭救生艇两艘,其中一艘兼作救助艇。25 人救生筏两只,6 人救生筏一只。

8. 消防设备

机舱采用 CO₂ 灭火和水灭火;货舱采用 CO₂ 灭火。

9. 空调

本船采用中央集中式空调系统对所有居住舱室进行空气调节。

四、冷藏货舱

本船设有 4 个货舱,每个货舱分成上下 2 个制冷区,全船共设 8 个制冷区

1. 设计基准值

货舱容积:16 992 m³(600 000 ft³)

货舱数量:4 个,每舱又分成四层

空气循环区域:16 个

隔热温区: 8 个

环境空气温湿度:35℃、70% RH

平均环境温度:42℃

平均传热系数 K: 0.49 W/m²·K

制冷剂: R22/NaCl₂盐水

电机: AC400V、60Hz、3 ϕ

2. 货舱条件

香蕉 柑桔 冻货

货仓维持温度(℃) +12 +4 -25

空气循环次数 90 90 45

新风换气次数(最大) 2 1 /

积载系数(t/m³) 0.32 0.42 0.55

呼吸比热(W/T) 52 26 /

进货温度(℃) +30 +20 -18

打冷时间(h) 36 72 60

3. 规范和规则

GL 规范,冷藏货舱入级标志为 KAZ *

美国农业部(USDA)对动植物防护和检疫的有关规定。

4. 货舱温度精度

货舱装载香蕉:±0.15℃

货舱装载冻货:±0.5℃

5. 制冷装置

采用四套 R22 螺杆式制冷装置,包括螺杆压缩机 4 台,冷凝器 4 只,贮液器 5 只,隔热盐水冷却器 4 只,冷却水泵 4 台,R22 集管,阀站等。

其中压缩机:

SAB 163 HF 2 台

SAB 128 HF 2 台

在+30℃/-15℃ 工况下

SAB 163 HF $Q_0=606 \text{ kW}$

$N_e=176 \text{ kW}$

配用功率 $N=300 \text{ kW}$

SAB 128 HF $Q_0=296 \text{ kW}$

$N_e=84 \text{ kW}$

配用功率 $N=132 \text{ kW}$

SAB 型螺杆压缩机由计算机控制,具有自动监控和报警功能。

6. 盐水系统

设有 4 根盐水总管,其中 3 根总管用于货舱制冷;另一根为热盐水管,用于空气冷却器的融霜和当环境温度偏低时对货舱空气的加热。

盐水系统的设备包括盐水泵 6 台,盐水冷却器 4 只,盐水集管及其闸站,盐水加热器,平衡箱混合箱,电动三通调节阀 32 只,电动喷射阀 1 只等

7. 空气循环系统

甲板舱内的冷风气流按无风道系统设置。

冷藏货舱共设置 32 台冷风机,总传热面积约 $12\,800 \text{ m}^2$,共含 136 台循环风机,由变频装置控制其循环风量;另有 8 台新风送风机,8 台换气抽风机。

8. 自动监控和管理系统

货舱制冷系统的监控和管理主要采用丹麦 Sabroe 公司生产的计算机 RCM 温度控制/数据记录系统,具有控制、记录、报警、报警闭锁及其它特殊功能。

监测控制和管理系统主要设备有:

制冷装置组合起动屏 1 块

风机组合起动屏 4 块

频率变换器 8 台

制冷装置专用计算机 1 台

货舱专用计算机 4 台

PC 机 3 台

打印机 2 台

货舱制冷装置及冷藏货舱计算机控制的监控和报警点,共 295 点。

9. 隔热

本船共设四个货舱,每个货舱组成 2 个隔热温区,全船共 8 个货舱隔热温区。货舱隔热结构设计满足如下条件:

环境温度 $+42^\circ\text{C}$

海水温度 $+32^\circ\text{C}$

货舱温度 $+12^\circ\text{C} \sim -25^\circ\text{C}$

香蕉打冷时间 36 h

货舱甲板包括舱盖的均匀载负

17.1 kN/m^2

铲车总重量 7.0 t

货舱净堆装高度 2.2 m

用于货舱内的全部材料适宜于 -30°C 到 $+75^\circ\text{C}$ 的温度,不产生而且不吸收臭气,气味,阻燃并符合规范要求。

10. 重量和总配用功率

货舱制冷设备,管系、隔热结构的总重量约 734 t

本船货舱制冷系统所有设备的配用功率为 2 115 kW

五、推进装置及机舱设备

1. 主机

SULZER 9RTA 58 低速柴油机 1 台、燃油用 3500 秒 R1/100F 重燃油,功率满足任务书规定的航速要求。

2. 柴油发电机组

1 320 kW AC 450V 60HZ 3 台

燃油用 3 500 秒 R1/100F 重燃油

应急发电机:

90 kW 1 台

3. 锅炉

全自动燃油废气混合锅炉 1 台

4. 冷却系统

主机和辅机冷却系统采用中央冷却系统

5. 防污染装置

设机舱舱底油水分离器 1 台,生活污水处理装置 1 台,焚烧炉 1 台

冷藏船总体设计中的一些问题

薛安国 张润民 孙松鹤

一、现代冷藏船的特点

1. 航速高

冷藏船与其他货船不同,因其所运输的货物要求保质、保鲜,特别是香蕉一类的水果,极易变质、腐烂,不但要能保持合适的低温与相对湿度,而且要尽量缩短航行时间,由此要求冷藏船具有较高的航速,以减少航行时间,降低冷藏货舱能量的消耗。因此,冷藏船的航速比一般杂货船要高得多。80年代所造冷藏船的平均航速与DW的关系曲线如图3所示,由图可见,冷藏船的服务航速随DW的增大而提高,载重量10 000t以上的冷藏船航速差别较大,低的有17 kn的、高的有23 kn多的,同一载重吨的船,航速差别有6 kn之多,离平均线上下偏离约为3 kn。10 000载重吨以下的冷藏船航速偏离较小,平均线上下偏离约为1 kn。就其平均航速而言,与普通杂货船相比,其航速高出的数字约为:

载重量(t)	航速高出数(kn)
2 000	2.0
5 000	2.5
7 000	3.0
10 000	5.0
15 000	6.0

2. 多用途

冷藏船本身是杂货船装运冷藏货的专用化,因为专用船与多用途船相比,其效率高、成本低。但专用船往往无法解决货源的长期性与稳定性以及回程空放问题,所以反过来

又要求多用途化,增加其揽货能力,以适应货源变化的要求。所以,现代冷藏船又都是多用途化的,除了能装运冷藏货外,还能装运集装箱、车辆、托盘货等等,以此来提高船的经济效益。

3. 积载因素大

冷藏船除了要装运冻肉一类的冷藏货外,还要装运香蕉、柑桔、苹果一类的水果货,以香蕉为代表,其积载因素约为3.0,约为冻肉的1倍。所以在冷藏货舱的容积上,冷藏船必须考虑以香蕉为代表的水果的情况。为了解决这个矛盾,冷藏船一般都考虑两个吃水,满载吃水,即重载吃水,主要考虑冻肉一类的重货;香蕉吃水,即轻载吃水,主要考虑香蕉一类的水果货。

因此,与杂货船相比,冷藏船有较大的型深吃水比,其H/T的平均值约为1.46。

4. 甲板层数多

由于水果不能受压,堆货不能太高,要求制冷均匀,不同冷藏货要求温度有较大的差异等特点,就决定了冷藏船必须具有较多的甲板层数。目前一般甲板层数如下:

冷藏船冷藏舱容量	甲板层数
5 664 m ³ (20 万ft ³)以下	2~3
5 664~10 478 m ³ (20 万~37 万ft ³)	3
10 478~16 425 m ³ (37 万~58 万ft ³)	4
16 425 m ³ (58 万ft ³)以上	5

由于需要装运托盘,舱内要开铲车,要求货舱甲板间净高达到2.2 m,现代冷藏船的甲板间净高一般在2.2~2.35 m之间。

5. 其 他

在吨位方面,有大型化的倾向,但估计发展不会明显。多用途化减少了冷藏船的空载率,给吨位大型化创造了一定的条件,但毕竟受到冷藏货物货源的限制。

为了提高装卸效率,普遍采用舷侧装卸系统;为了减少船员,采用无人机舱;由于大量载运集装箱,起货装置由甲板回转吊代替吊杆等等。

二、冷藏船舱容 W 与载重量 DW 的关系, W/LBH 与 DW 的关系

冷藏船的大小一般不以其载重量面以冷藏货舱的容积来衡量,所以冷藏货舱容积是冷藏船的一个主要指标。根据统计资料,冷藏舱容积 W 与载重量 DW 之间的关系如图 1 所示,或可用下式来估算:

$$W = 4.494 (DW/1\ 000) - 0.335 \pm 5 (10^4 \text{ ft}^3)$$

式中 DW 为最大吃水时的载重量, t。

由图 1 或上式,可根据冷藏船冷藏舱的容积估算其载重量,或根据冷藏船的载重量估算其冷藏舱的容积。例如,可由图 1 查得:

冷藏舱为 $8\ 496 \text{ m}^3$ (30 万 ft^3) 的船,其载重量约为 $6\ 800 \text{ t}$;

冷藏舱为 $11\ 328 \text{ m}^3$ (40 万 ft^3) 的船,其载重量约为 $9\ 000 \text{ t}$;

冷藏舱为 $14\ 160 \text{ m}^3$ (50 万 ft^3) 的船,其载重量约为 $11\ 200 \text{ t}$;

冷藏舱为 $16\ 992 \text{ m}^3$ (60 万 ft^3) 的船,其载

重量约为 $13\ 500 \text{ t}$;

据参考文献[4]推荐,在方案计算中,可初步按下式由船的主尺度估算冷藏舱的容积 $W = 0.385LBH - 1\ 150 \text{ (m}^3\text{)}$,误差约为 $\pm 10\%$

冷藏货舱容积与船立方数 LBH 之比的统计如图 2 所示。由图可见, DW 为 $4\ 000 \sim 17\ 000 \text{ t}$ 的船,此平均值均为 0.35 左右,上下偏差约为 0.07 ,与 DW 的大小无明显关系。

$$W/LBH \approx 0.35 \pm 0.07$$

在选用型船的舱容数据时,要特别注意型船是否具有长首楼、凸型甲板等特殊情况。

三、航速 V_s

现代大型远洋冷藏船的航速一般在 $18 \sim 20 \text{ kn}$,近几年建造的冷藏船航速有所提高,达到 $21 \sim 23 \text{ kn}$ 。中型冷藏船的航速约为 $17 \sim 19 \text{ kn}$,小型冷藏船 $12 \sim 16 \text{ kn}$ 。

冷藏船满载服务航速与 DW 关系以及与 W 关系的统计如图 3.4 所示。由图可见:

1. 冷藏船的满载服务航速 V_s 随 DW 的增大而增加; DW 大于 $10\ 000 \text{ t}$ 后,增加明显变慢。

2. 在 DW 为 $1\ 500 \sim 10\ 000 \text{ t}$ 范围,不同冷藏船的 V_s 与平均值的偏离较小,约为 $\pm 1 \text{ kn}$,在 DW $10\ 000 \text{ t}$ 以上时,航速与平均值的偏离明显变大,约为 $\pm 3 \text{ kn}$ 。

3. 从统计曲线平均值来说。不同吨位冷藏船适宜的满载服务航速如下:

冷藏容积 (m^3 /万 ft^3)	载重量 (t)	满载服务航速 V_s (kn)
8 496/30	6 800	17.5
11 328/40	9 000	19.0
14 160/50	11 200	20.5
16 992/60	13 500	21~22

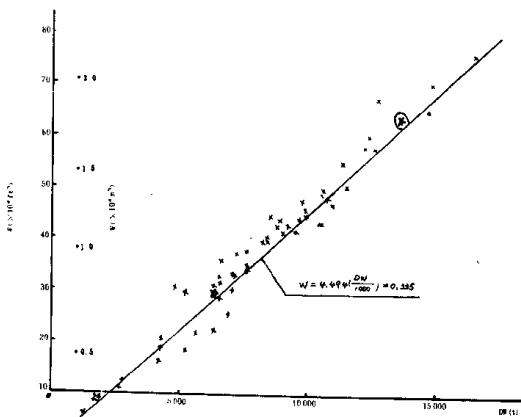


图1 隐藏仓位体积 W 与 DW 的关系

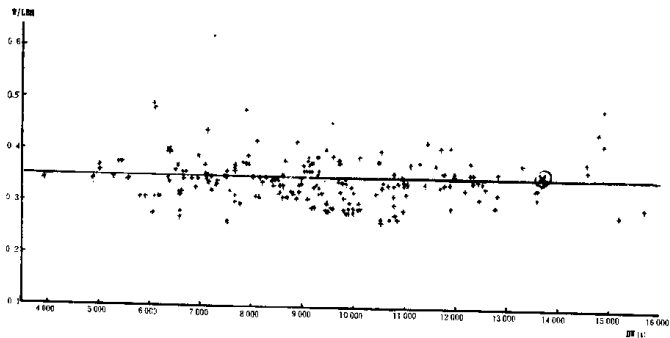


图2 $\frac{W}{LBH}$ 与 DW 的关系

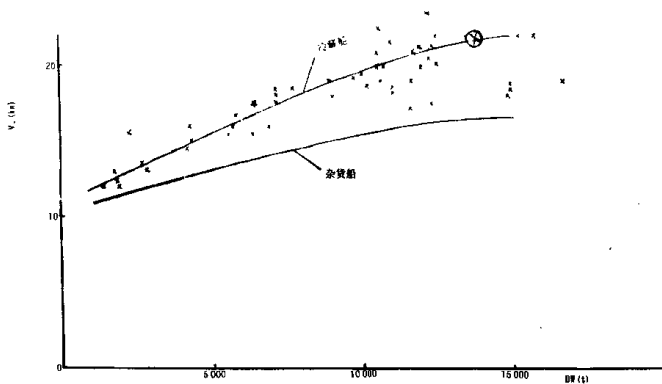


图3 航速 V_s 与排水量 DP 的关系曲线

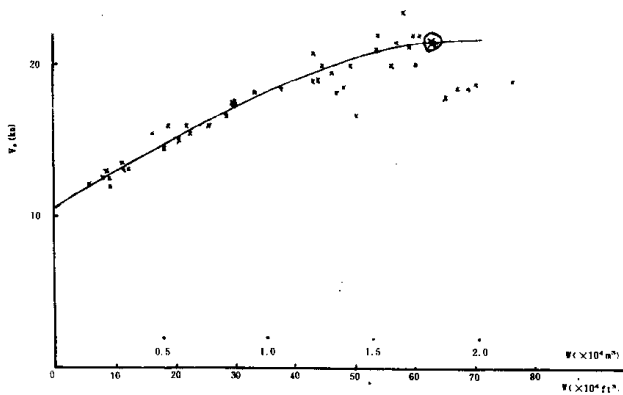


图4 航速 V_s 与重量 W 的关系曲线

对于 $16\,992\text{m}^3$ (60万 ft^3) 的冷藏船从统计图上看,其 V_s 约为 $18\sim 23.5\text{ kn}$ 。从目前国外船东报价要求来看,似以 20 kn 以上的航速为宜。

四、载重量系数 η_{dw}

据参考文献[4]推荐,多用途冷藏船的载重量系数在轻载吃水时 η_{dw} 约为 0.50 ,在满载吃水时约为 $0.55\sim 0.60$ 。

据对日本所造冷藏船的统计(图5)可见, η_{dw} 随 DW 的增加而有所增加: $2\,000\text{ t}$ 时约为 0.60 ; $5\,000\text{ t}$ 时约为 0.625 ; $13\,000\text{ t}$ 时约为 0.65 。此处的 DW 为满载吃水时的载重量, t 。

这些统计资料中的冷藏船均是采用吊杆为起货设备,装载集装箱数很少的船舶,对于采用克林吊的情况,应对 η_{dw} 予以适当减小。

另外,前苏联所造的船舶可能空船重量稍为偏重,相应的 η_{dw} 稍为偏小,应用时应根据具体船的情况予以适当修正。

五、海军系数 C

海军系数 $C = DW^{2/3} V_s^3 / \text{CSR}$ 与 DW 关系曲线的统计如图6所示,可用下式表示:

$$C = 19.4(DW/1000) + 131$$

式中: DW 为最大吃水时的载重量, t ;

V_s 为最大吃水时的航速, kn 。

六、方形系数 C_b

冷藏船方形系数的统计如图7所示,其平均数值与欧锐克冷藏船方形系数统计式相符。所以在设计中可应用欧锐克公式[3],即:

$$C_b = 0.91 - 1.1 F_1 \pm 0.06$$

或者应用 $C_b = 0.395 \pm 0.12/F_1^{1/3}$

七、排水量长度 l

由于冷藏船航速很高,故从航速角度确定船长是必要的,即在初定了满载排水量之后,根据满载航速确定其排水量长度,再由此算其船长。

排水量长度的统计如图8所示,结果表明其与欧锐克统计公式[3]相符,即:

$$l = 4.47 + 0.06V \pm 0.3$$

式中: V ——服务航速, kn 。

故可在设计中采用欧锐克公式。

八、主要尺度及尺度比

冷藏船主要尺度的统计如图9a、9b所示, L/B 、 B/T 、 H/T 的情况如图10~12所示。

确定多用途冷藏船的主尺度是一个很复杂的问题。冻肉和香蕉是必须考虑的两种典型情况,其积载因素约相差一倍,前者为满载状态的典型情况,后者为香蕉吃水即装运水果的典型情况。对于冷藏/集装箱船还需考虑集装箱装载状态。

因冷藏船载重量系数很低,且离散又较大,故依靠 η_{dw} 确定主要尺度也显得较为复杂,最好能找到接近的型船。在无型船的情况下,可根据 η_{dw} 初定主尺度后逐步近似。

关于尺度比,参考文献[4]建议:

$$(H/T)_{\text{香蕉}} = 1.45 \sim 1.55;$$

$$(H/T)_{\text{冻肉}} = 1.70 \sim 1.85;$$

$$(B/T)_{\text{香蕉}} = 2.5 \sim 2.6;$$

$$(B/T)_{\text{冻肉}} = 2.7 \sim 2.9。$$

根据统计:

H/T 的平均值约为 1.45 ,基本上不随船的大小而变化(图10)。

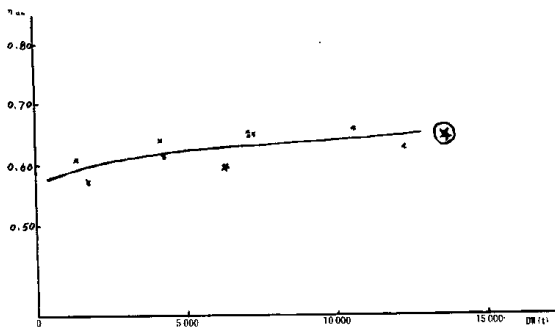


图5 载重量系数 η_{dw} 与 DW 的关系

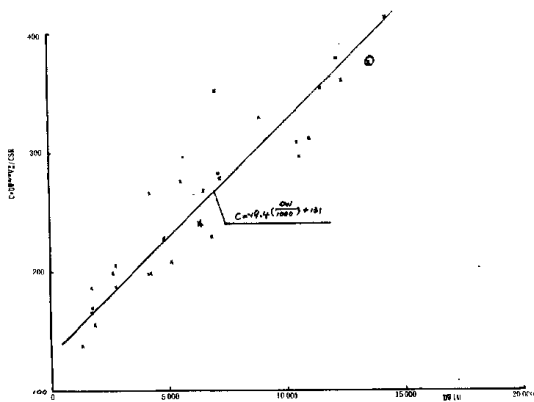


图6 海军系数 C 与 DW 的关系

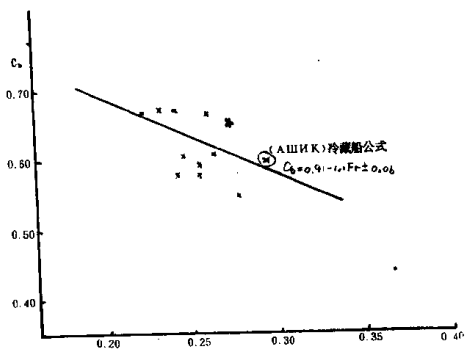


图7 方形系数 C_s 与傅氏数的关系

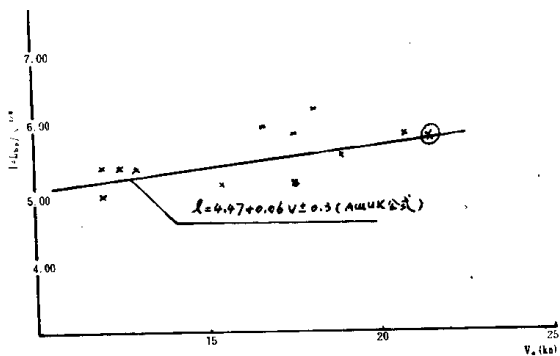


图8 水阻力系数 l 与速度 V 的关系

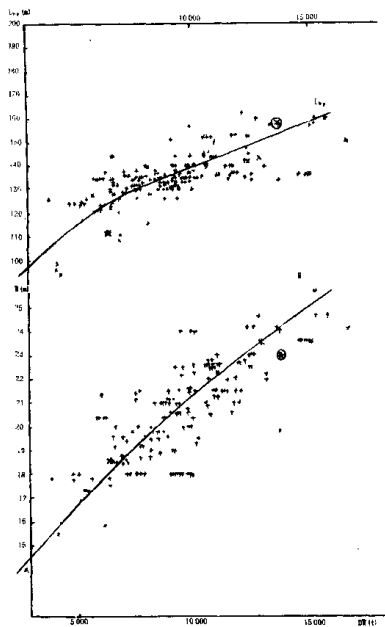


图 9a 主尺度与 DW 的关系