

船舶性能

B型螺旋桨系列新设计图谱 的校核和对问题的分析

浙江省船舶运输设计研究所 陈京海

摘要: 本文根据荷兰水池提供的B型螺旋桨系列推力系数和扭矩系数的多项式回归方程, 计算了设计图谱中涉及的有关数值, 对荷兰水池于1975年制作的三叶至七叶螺旋桨的42张 $B_{P1} \sim 1/J$ 及 $B_{P2} \sim 1/J$ 设计图谱进行了校核。校核结果显示, 所有该系列设计图谱纵标线(螺距比)在制作时都有差错, 文中分析了造成图谱差错的原因并给出了该设计图谱所得螺距比与正确螺距比的换算关系式。文中还就最佳直径问题, 将新图谱与以前发表的三叶至五叶B型螺旋桨图谱作了比较。

关键词: 螺旋桨 设计图谱

一、概 述

船舶螺旋桨的设计可分为理论设计法和经验设计法。经验设计法所采用的资料来源于实验, 故计算结果比较可靠, 计算方法也较简便, 为人们在一般船舶设计中所采用。目前在经验设计法中, 仍相当广泛地采用图谱设计的方式。

荷兰瓦根宁根船模试验池的B型螺旋桨系列是世界上最著名, 也是目前广为使用、效率较高的一种, 其设计图谱最初由楚思德^[1] (Troost) 发表, 1969年兰曼伦^[2] (Lammeren) 作了修改。之后, 奥氏 (Oosterevld) 对由120只螺旋桨模型组成的B系列的试验资料, 采用多元回归分析方法借电子计算机重新整理和分析, 并对雷诺数的影响作了修正, 最后将试验结果用一组多项式来表示^[3], 且据此于1975年制作了一套新形式的设计图谱^[4], 图谱是对应于雷诺数 R_n 为 2×10^6 的情形。该设计图谱的范围从三叶至七叶, 盘面比从0.35至1.

05, 其中有与习惯上采用的 $B_p \sim \delta$ 图谱相似的 $B_{P1} \sim 1/J$ 设计图谱, 及用来确定螺旋桨最佳转速的 $B_{P2} \sim 1/J$ 设计图谱各21张, 在本文中除另加说明外, 以下所述的图谱系指该设计图谱。

二、设计图谱的校核

根据文献[5], B型螺旋桨的推力系数 K_T 及扭矩系数 K_Q 可由进速系数 J 、螺距直径比 Pd 、盘面比 Ad 及叶片数 z 组成的多项式表示为:

$$K_T = \sum_{s, t, u, v} C_{s, t, u, v} \cdot (J)^s \cdot (Pd)^t \cdot (Ad)^u \cdot (z)^v$$

$$K_Q = \sum_{s, t, u, v} C_{s, t, u, v} \cdot (J)^s \cdot (Pd)^t \cdot (Ad)^u \cdot (z)^v$$

对于给定叶片数 z 及盘面比 Ad 的情况下, 上式可仅由 J 及 Pd 组成的多项式表示, 即可写成:

$$K_T = F(1/J, Pd) \dots\dots\dots ①$$

$$K_Q = F(1/J, Pd) \dots\dots\dots ②$$

其散水效率可表示为:

$$\eta_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q} = H(1/J, Pd) \dots\dots\dots ③$$

对于 $B_{P1} \sim 1/J$ 设计图谱, 由关系式 $K_Q^{1/4} J^{-5/4} = 0.1739 \sqrt{B_{P1}}$ (式中 $B_{P1} = P_s^{0.5} \cdot N \cdot V_a^{-2.5}$, 其中 P_s 为螺旋桨收到马力, N 为转速, V_a 为进速), 考虑到式②, 有 $K_Q^{1/4} J^{-5/4} = [G(1/J, Pd)]^{1/4} \cdot J^{-5/4} = \phi_1(1/J, Pd)$, 即

$$\phi_1(1/J, Pd) = 0.1739 \sqrt{B_{P1}} \dots\dots\dots ④$$

由二维变量 $1/J$ 及 Pd 构成的区域记为 Ω , Ω 中的点记为 P_i , 即

$$P_i \in \Omega, \text{ 其中 } \Omega: \begin{cases} 1/J \in (0.7, 4.6), \\ Pd \in (0.5, 1.4) \end{cases}.$$

每给定 B_{P1} 及 Pd 值, 就可由式④确定 $1/J$, 再由式③确定散水效率 η_0 , 即可对 $B_{P1} \sim 1/J$ 设计图谱进行校核。

每给定 B_{P1} , 记满足式④的点 $\{P_i\}$ 组成的子域为 ω , 由式③有最佳效率 $\eta_{opt} = \max_{P_i \in \omega} \{H(P_i)\}$, 使该式取得最大值的点记为 P_j , 则 P_j 所对应的坐标值 $(1/J, Pd)$ 就能校核 $B_{P1} \sim 1/J$ 设计图谱中的最佳效率线。

对于 $B_{P2} \sim 1/J$ 设计图谱, 由关系式 $K_Q^{1/4} J^{-3/4} = 1.75 \sqrt{B_{P2}}$ (式中 $B_{P2} = P_s^{0.5} \cdot D^{-1} \cdot V_a^{-1.5}$, 其中 P_s 为螺旋桨收到马力, D 为螺旋桨直径, V_a 为进速), 考虑到式②, 有 $K_Q^{1/4} J^{-3/4} = \phi_2(1/J, Pd)$, 即

$$\phi_2(1/J, Pd) = 1.75 \sqrt{B_{P2}} \dots\dots\dots ⑤$$

与校核 $B_{P1} \sim 1/J$ 设计图谱相同的计算原理, 由式⑤和③, 每给定 B_{P2} 及 Pd 值, 就可对 $B_{P2} \sim 1/J$ 设计图谱的 $1/J$ 和 η_0 进行校核, 同样可校核给定 B_{P2} 处最佳效率线上的 $1/J$ 及 Pd 值。

实际上, 本文的校核工作对应于 $B_{P1} \sim 1/J$ 设计图谱, 取 $0.1739 \sqrt{B_{P1}}$ 的值分别为

0.2, 0.3, 0.4, ..., 2.2; 对应于 $B_{P2} \sim 1/J$ 设计图谱, 取 $1.75 \sqrt{B_{P2}}$ 的值分别为 0.2, 0.3, 0.4, ..., 1.1, 计算了最佳效率线上对应的散水效率 η_{opt} , $1/J$, Pd , 并取 Pd 的值分别为 0.5, 0.6, 0.7, ..., 1.4; 计算了各个 B_{P1} 及 B_{P2} 所对应的散水效率 η_{opt} 和 $1/J$ 值。

对 42 张设计图谱的校核结果显示:

所有图谱关于 B_{P1} 及 B_{P2} , 在最佳效率线处的散水效率 η_{opt} 和 $1/J$ 值正确, 其螺距比 Pd 的值在图谱纵标中央处与计算值吻合, 但是, 随 Pd 的值增大, 图谱中 Pd 读数偏小; 随 Pd 的值减小, 图谱中 Pd 读数偏大。取各个 Pd 时, 计算所得的散水效率 η_0 及 $1/J$, 在暂不管图谱 Pd 标值的条件下, η_0 , $1/J$ 在 B_{P1} 及 B_{P2} 处的值与图谱的读数完全吻合; 然而图谱中 Pd 的标值线的偏差与最佳效率线校核时的状况相同。而且所有图谱 Pd 读数值关于 Pd 至纵标中央距离的相对偏差约为 4%。

以 B3-35 螺旋桨的 $B_{P1} \sim 1/J$ 设计图谱为例, 在给定 $0.1739 \sqrt{B_{P1}}$ 为 1.80 及 Pd 为 0.800 时, 按上述方法计算所得正确的 $1/J$ 为 3.3024, η_0 为 0.4011, 而查图谱得 B_{P1} , $1/J$, η_0 吻合处的 Pd 值却为 0.806。

三、问题分析

设计图谱中 Pd 读数的差错在一定程度上影响到所得螺旋桨的工作负荷。如某 235kW 拖轮采用 B4-55 桨的 $B_{P1} \sim 1/J$ 设计图谱按自航状态确定螺旋桨要素, 其设计点 $K_Q^{1/4} J^{-5/4}$ 为 0.857 (收到功率常数 B_{P1} 为 24.28), 得 $1/J$ 为 2.056 (直径适当放大, 以照顾拖航的特点), 螺距比 Pd 为 0.673; 而正确的螺距比 Pd 值应为 0.661。前者与后者相比, 主机负荷相差 3.5%。故应对 $B_{P1} \sim 1/J$ 设计图谱读得的螺距比值进行修正。

考虑到该系列设计图谱是由计算机支

持绘制的(这可从图谱校核中 $1/J$ 及 η_0 等值线对应于 B_p 值的绘制精度得到证实),其螺距比座标刻度线绘制所需的数据当然会出自同一份数据文件,设计图谱中 $1/J$ 及 η_0 等值线绘制时图面单位长度代表的螺距比增量值与座标刻度绘制时取值的不一致性,导致所有设计图谱纵标线的偏离都具有相同的特征。所以有理由将图谱读得的螺旋比 Pd_s 值与正确的螺距比 Pd 值用关系式表示为:

$$Pd - Pc = e(Pd_s - Pc),$$

式中 $Pc \in (0.9, 1.0)$ 为图谱纵标中央处的螺距比值; $e \in (1.03, 1.05)$ 为比例系数。当关系式中取 e 为 1.040 及 Pc 为 0.95 时,则由于 Pc 或 e 取值的差异造成螺距比 Pd 的修正误差约为 0.002。实际上从设计图谱 Pd_s 读值过程可达到的误差精度亦约为 0.002(设计图谱在螺距比每增加 0.1 值所对应的图面长度约为 15mm 时,其图线宽约为 0.2mm,读数分辨能力按 0.3mm 计)。因此,其换算式的精度是符合要求的,且可写成:

$$Pd = 1.040Pd_s - 0.038$$

不过,在初步设计中,当由 $B_{p2} \sim 1/J$ 设计图谱来确定螺旋桨最佳转速时,其重点不在于螺旋桨的详细尺寸,通常就不必去考虑螺距比的正确与否了。

四、最佳直径比较

附图中绘出了荷兰水池三叶至五叶 B 型螺旋桨新旧设计图谱对应于收到功率常数 B_p 的最佳直径系数 δ_{opt} 及其敞水效率 η_{opt} 曲线。图中实线代表新图谱所得值,单点划线代表楚思德图谱值,双点划线代表兰曼仑图谱值。

对于 B3-35 桨楚思德图谱所得的最佳直径系数及其敞水效率要比新图谱值

高,其直径相对差值在 B_p 约为 30 处取得极值,极值处前者直径较后者约大 5%。比较 B3-50 桨新旧图谱的 δ_{opt} 及 η_{opt} 曲线,其与 B3-35 桨相似,在 B_p 为 140 处直径相差达 5%。B3-65 桨新旧图谱 δ_{opt} 及 η_{opt} 曲线相交叉,在 B_p 约为 30 处直径相差约 3%,在 B_p 为 160 处直径相差达 5%。

对于 B4-40 桨,楚思德图谱的最佳直径及其敞水效率均比新图谱值高,在 B_p 为 80 处直径约大 9%,而兰曼仑图谱当 $B_p \in [80, 180]$ 时其直径较新图谱值约小 3~5%。对于 B4-55 桨,当 $B_p > 20$ 时旧图谱的敞水效率较新图谱值低;当 $B_p > 30$ 时楚思德图谱的最佳直径较新图谱值大,在 B_p 为 180 处直径约大 4%;而兰曼仑图谱的最佳直径较新图谱值约小 3~4%。对于 B4-70 桨,当 $B_p > 80$ 时楚思德图谱的最佳直径较新图谱值大,在 B_p 为 120 处直径约大 6%;而兰曼仑图谱的最佳直径及其敞水效率均较新图谱值低。对于 B4-85 桨兰曼仑图谱的最佳直径及其敞水效率均较新图谱值略低。

对于 B5-45 桨,楚思德图谱的最佳直径较新图谱值大,在 B_p 为 80 处直径约大 13%,而兰曼仑图谱的最佳直径较新图谱值小,当 $B_p \in [80, 160]$ 时其直径较新图谱值减小了 3~4%。对于 B5-60 桨,楚思德图谱的最佳直径较新图谱值大;而兰曼仑图谱的最佳直径较新图谱值约小 2~4%。B5-75 桨兰曼仑图谱的最佳直径及其敞水效率较新图谱值小,其直径约小 3%。B5-105 桨兰曼仑图谱的最佳直径与新图谱值相当接近,前者的敞水效率较低。

在最佳直径线附近,当给定收到功率常数 B_p 及直径系数 δ 时,新旧设计图谱求得的螺距比的差异反映了其扭矩系数的变化,以下将三叶至五叶 B 型桨新图谱经换算式修正后的螺距比与旧图谱值作一比

较:

B3-35 桨新旧图谱的螺距比完全吻合。B3-50 桨新旧图谱的螺距比基本吻合,只是当 $B_p < 35$ 时,旧图谱的螺距比略小,其差值不超过 1.5%。对于 B3-65 桨新旧图谱的螺距比当 $B_p < 20$ 时吻合,当 $B_p < 20$ 时旧图谱的螺距比偏大,其差值在 25% 之内。

对于 B4-40 桨,当 $B_p < 40$ 时楚思德图谱的螺距比与新图谱值吻合,而兰曼仑图谱的值略偏大;当 $B_p > 40$ 时兰曼仑图谱的螺距比与新图谱值吻合,而楚思德图谱的值略偏大。对于 B4-55 桨,楚思德图谱的螺距比要较新图谱值小;而兰曼仑图谱的螺距比当 $B_p < 18$ 时较新图谱值大约 1%,当 $B_p > 25$ 时两者吻合。对于 B4-70 桨,楚思德图谱的螺距比要较新图谱值约大 15%;而兰曼仑图谱的螺距比与新图谱值吻合。对于 B4-85 桨兰曼仑图谱的螺距比与新图谱值吻合。

对于 B5-45 桨,楚思德图谱的螺距比仅当 $B_p \in [10, 40]$ 时与新图谱值吻合,在 B_p 为 80 处差值高达 7%;而兰曼仑图谱的螺距比与新图谱值吻合。对于 B5-60 桨,楚思德图谱的螺距比与新图谱值基本吻合。随 B_p 的增大略偏小,其偏差值在 1.5% 之内;而兰曼仑图谱的螺距比要较新图谱值约小 2%。B5-75 桨兰曼仑图谱的螺距比要较新图谱值约小 3%。B5-105 桨兰曼

仑图谱的螺距比要较新图谱值略小,其差值在 0.8% 之内。

五、结 论

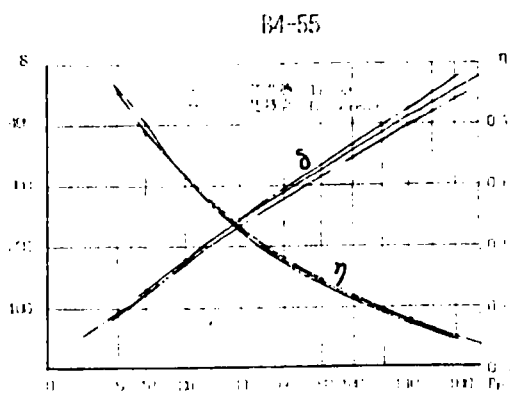
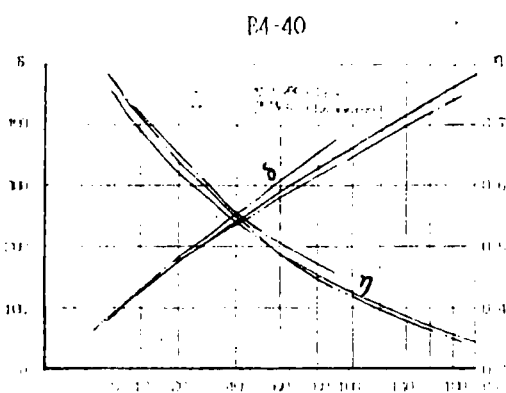
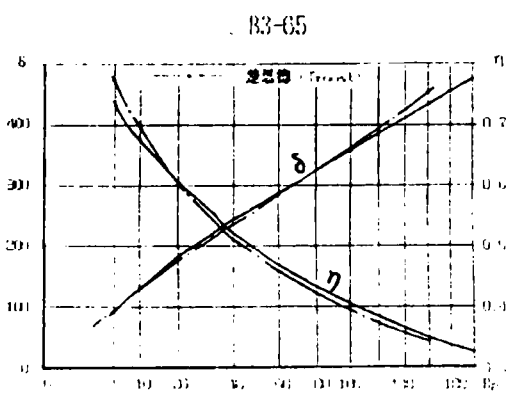
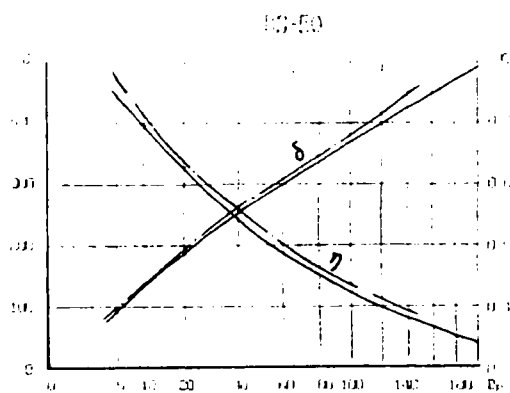
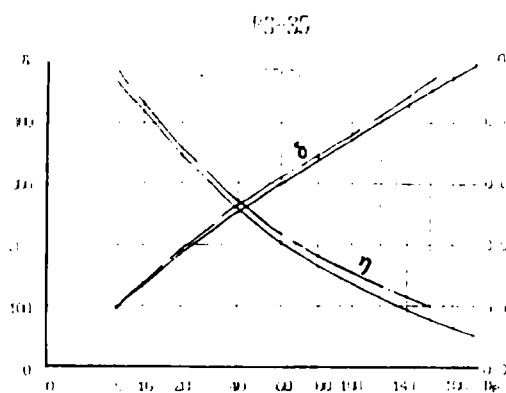
1. B 型螺旋桨系列的所有 42 张 $B_{P1} \sim 1/J$ 及 $B_{P2} \sim 1/J$ 设计图谱纵标线(螺距比)在制作时都有差错,随着螺距比值远离纵标中央,其与正确值的偏差也随之增大。

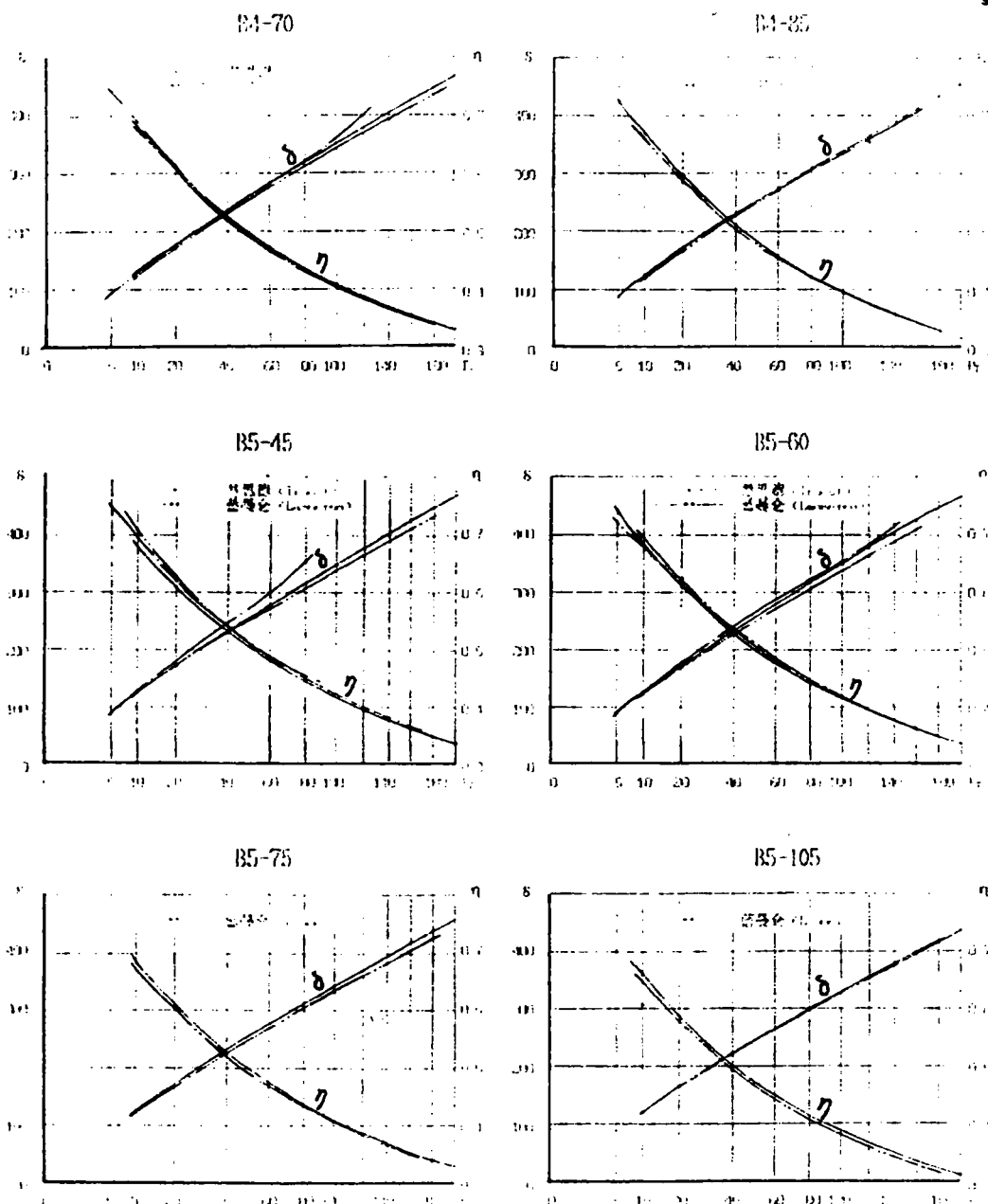
2. 正确的螺距比值 P_d 可通过换算式 $P_d = 1.040 P_{d_s} - 0.038$ 求得,其中 P_{d_s} 为从 $B_{P1} \sim 1/J$ 或 $B_{P2} \sim 1/J$ 设计图谱中读得的螺距比。

3. 关于三叶至五叶 B 型螺旋桨,由新图谱求得的最佳直径较兰曼仑图谱查得的值要大,但基本上要较楚思德图谱查得的值要小。

参考文献

- [1] Troost, L., Open - Water Tests with Modern Propeller Forms, Trans. NECI, 1938, 1940, 1951.
- [2] Lammeren, W. P. A. Van, Manen, J. D. Van and Oosterveld, M. W. C., The Wangeningen B-Screw Series, Trans. SNAME, 1969.
- [3] Oosterveld, M. W. C. and Oossanen, P. Van, Further Computer - Analyzed Data of the Wangeningen B-Screw Series, ISP, July, Vol. 22, No. 251, 1975.
- [4] 朱典明编, 荷兰船模水池 B 型螺旋桨系列新图谱, 哈尔滨船舶工程学院, 1982.





Journal of ship design

NO. 1(85) MARCH 1995 QUARTERLY

CONTENTS

The Design and Research of a 12000/15000DWT Sea—River Through Cargo Ship

Yang Peiyi

This paper concisely describes the research and design of a 12000/15000DWT sea/river through cargo ship and gives its main particulars.

The Optimum and Economic Coal Carrier Sailing Minjiang Waterways

— A 40000DWT Shallow—draft Full Form Bulk Carrier

He Guangzhuang

The 40000DWT shallow—draft full form bulk carrier is evolved and optimized from a 35000DWT shallow—draft full form bulk carrier of II type, twin engine and twin propeller. The author expounds and proves the feasibility of the ship in respect of the waterways, ports and technical performances in this paper. The author considers that the ship possesses popularized and practical value.

The Final Calculation of Stability for a 700TEU Container ship

Dai Youfen

This paper mainly describes the feature of the stability calculation for a 700TEU container ship, and presents some problems to which the attention must be paid.

The Design of Waterjet Inlets and Calculation Method of the Two—Dimensional Inviscid Flow

Hu Zhi'an

The cavitation minimization of the waterjet inlet is an important matter in designing the inlet configuration for high speed ship. This paper deals with the design procedure of inlet configuration and the calculation method of the two—dimensional potential flow by using the spline function. The pressure on arbitrary point of inlet surface can be estimated by means of this method to make the cavitation minimized.

On the New—Type Diagrams of B—Screw Series

Chen Jinghai

This paper gives checking results of 42 $B_{P1}-1/J$ and $B_{P2}-1/J$ diagrams of B-screw series, drawn in NSMB in 1975, with blade numbers ranging from 3 to 7, according to the polynomials of trust and torque coefficients from NSMB, which presents that the lined vertical coordinates, i. e. pitch-diameter ratios, were wrongly made in all the diagrams. The formular for modifying the pitch-diameter ratios is provided by analysing the causes. On the optimum diameter problem of 3 to 5 blade B-propellers, the new diagrams are compared with the old ones.

The Electrical Power Supply and distribution System of Floating Dock "Hengshan"

Zhao Tongchun

This article introduces the features of selecting the 10kV high-voltage electrical power and electrical equipment used in the power supply and distribution system of the floating dock "Hengshan", and the characteristics of system protection are also presented in the paper.

A Brief Discussion of the Development, Management and Service of Scientific and Technical Information — A New Idea of Improving the Library Work

Zhang Yuzhen

With the development of science and technology, the volume of scientific and technical information is growing fast. In order to execute the thought that the science and technology is the first productivity, the library and scientific and technical information department must change their views, catch up with this new situation and accelerate the modernization of the methods of management and service, thus strengthening the market competition ability of our Institute.

Arbitration

Jiang Binglin

The arbitration, which is the popular method to solve the disputes occurring during the foreign trade in the world, is discussed in this paper. The characteristic of arbitration, the program of arbitration and the arbitration clause are introduced. Meanwhile, the program and rules of the arbitration organs in foreign countries and the laws to admit and execute foreign adjudication are also presented in the paper.