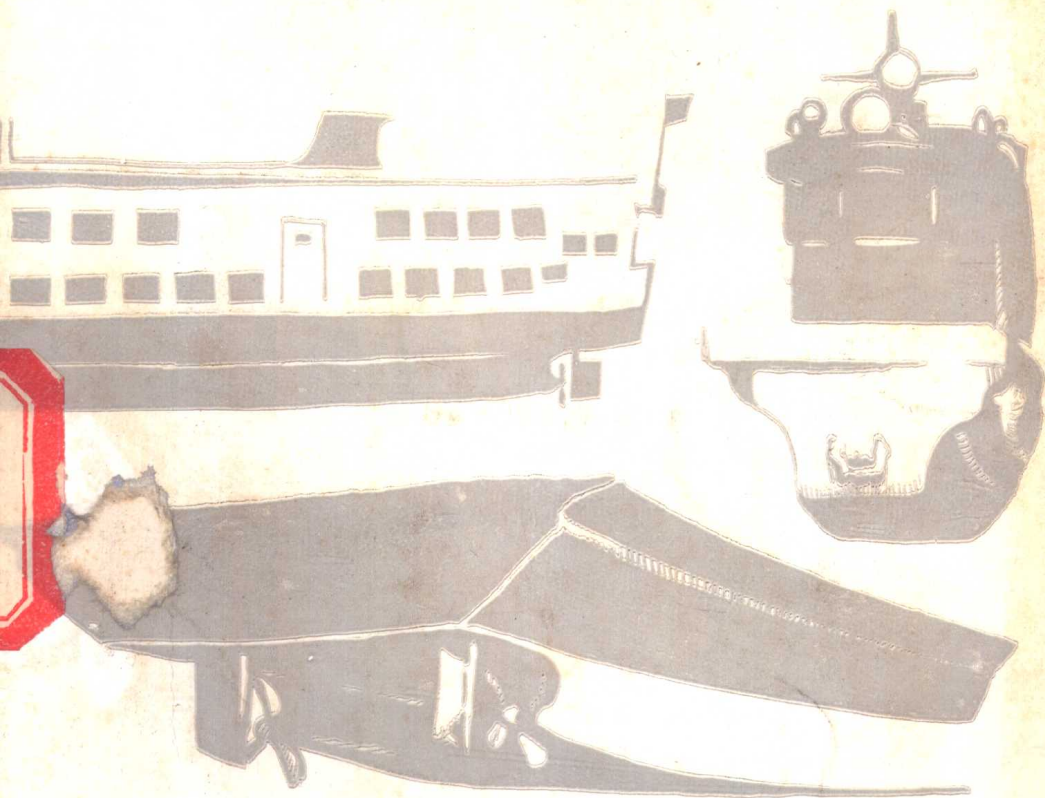


PINGTOU WOWEI  
CHUANXING  
YUANLI  
YU  
SHEJI



薛中川 著

# 平头涡尾船型原理与设计



# 平 头 涡 尾 船 型 原 理 与 设 计

薛中川 著

华中工学院出版社

## 内 容 简 介

本书叙述了平头涡尾新船型的原理、试验性能和设计方法,可供高等院校有关专业作为教学参考书,亦可供工程技术人员参考应用。

### 平头涡尾船型原理与设计

薛中川 著

责任编辑,叶见欣

华中工学院出版社出版

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所发行

武汉大学出版社印刷总厂印刷

\*

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 5.5 插页: 2 字数: 130,000

1985年8月第一版 1985年8月第一次印刷

印数: 1 - 500

统一书号: 15235 - 054 定价: 2.00元

## 前 言

在最近二十多年中，作者对“平头涡尾”船型进行了大量研究。自从1977年由作者及其同事们成功地设计出“平头涡尾”新船型（以下简称PW船型）以来，PW船型不仅在船模对比试验中充分显示了它的良好性能（它具有航速较高、兴波较小、稳性较好、效率高、省功率的显著优点），而且在实船的运行中也显示了它的显著优点，因此，在内河运输中它的优越性日益明显。越来越多的中小船厂争相要求制造PW船型，PW船的用户也越来越多。广大船舶设计人员、船舶工程技术人员都希望能得到有关PW船型方面的技术资料，希望能了解PW船型的设计方法。为此，作者根据自己的研究心得和经验编写了此书。

本书力图尽可能地阐述PW船型的基本原理。书中讨论了PW船型运用了现有一些船型的那些原理及吸收了它们的那些优秀性能，还讨论了它与这些船型的区别，并据此指出作者发展的一些基本理论。可以运用这些理论来建立常规船型与新船型之间的联系，也可用它来指导对新船型的研究工作。

本书还叙述了设计新船型所要遵循的一些基本理论，以及它们赖以确立的实验数据。阐述了新船型的设计要素和设计的步骤，同时，还指出常规船型局部相似的设计方法不能用于设计涡尾端体的道理，以供广大船舶设计师和造船工作者设计、研制这种新船型时参考。

为了使读者对新船型的良好航行性能和需要注意的关键技术有个认识，作者将列出二十多年来的研究工作中作出的一些主要的试验数据和在研究中解决的一些主要问题。由于有关PW船型的大量的资料作者以前从未正式发表过，而在本书中又仅能选一

部分主要的资料来叙述，因此如有时间和可能，本书付印后将再编印 P W 船型的论文集，以满足广大读者的需要。

在本书的编写过程中，得到了一贯对 P W 船型的研制给予指导的上海交通大学教授林杰人、教授何友声等的多方面的帮助，并对本书稿作了详细的审阅，提供了许多宝贵的意见，在此仅向他们致以深切的谢意。感谢丙村、许巨林等同志对本书所作的修改和补充，并向一起研制 P W 船型的同志们致以由衷的感谢。

由于作者的业务水平和编写时间所限，书中可能出现错误及不妥之处，恳切地希望读者不吝指正。

作者

于华中工学院

# 目 录

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| 第一章 PW船型的原理.....                    | ( 1 )   |
| § 1-1 PW新船型的发展简介.....               | ( 1 )   |
| § 1-2 船型与阻力.....                    | ( 11 )  |
| § 1-3 纵流机理.....                     | ( 13 )  |
| § 1-4 压浪机理.....                     | ( 20 )  |
| § 1-5 假尾机理.....                     | ( 23 )  |
| § 1-6 有效水线的增长作用.....                | ( 26 )  |
| § 1-7 涡尾机理.....                     | ( 34 )  |
| § 1-8 隧道尾机理.....                    | ( 43 )  |
| § 1-9 导管螺旋桨机理.....                  | ( 44 )  |
| § 1-10 船首、船尾的作用.....                | ( 45 )  |
| § 1-11 船舶快速性和稳性的关系.....             | ( 54 )  |
| § 1-12 PW船型的稳性计算.....               | ( 55 )  |
| 第二章 大径深比PW船型试验.....                 | ( 57 )  |
| § 2-1 船模主尺度.....                    | ( 57 )  |
| § 2-2 船模阻力试验.....                   | ( 58 )  |
| § 2-3 螺旋桨敞水试验.....                  | ( 62 )  |
| § 2-4 系泊试验.....                     | ( 65 )  |
| § 2-5 自航试验.....                     | ( 67 )  |
| § 2-6 拖曳自航试验.....                   | ( 91 )  |
| § 2-7 四川岷江1.4径深比PW拖轮的 车 叶要素和性能..... | ( 142 ) |
| § 2-8 220千瓦大径深比PW拖轮性能与常规拖轮的对比.....  | ( 149 ) |
| 第三章 PW船型的设计.....                    | ( 153 ) |
| § 3-1 PW船型湿表面面积的估算.....             | ( 153 ) |
| § 3-2 PW船阻力的估算.....                 | ( 157 ) |
| § 3-3 PW船型的横剖面面积曲线.....             | ( 158 ) |

|       |                     |         |
|-------|---------------------|---------|
| § 3-4 | PW船型船首设计·····       | ( 160 ) |
| § 3-5 | PW船型船尾设计·····       | ( 163 ) |
| § 3-6 | 首、尾导流板的作用 和 设计····· | ( 164 ) |

# 第一章 PW船型的原理

本章首先介绍平头涡尾新船型（PW船型）的研究过程，借以了解新船型的发展概貌和研究阶段。接着从船舶阻力、推进、原理和设计等方面来论述新船型哪些方面遵循了常规船型的规律，又有哪些不同于常规船型的异常现象。在分析清楚这些同异点的基础上，提出新船型所特有的一些机理，再根据这些机理，提出可以采用常规船型系列试验的数据来估算新船型阻力的方法，同时，指出了新船型具有各种良好航行性能的原因和利用常规倾斜试验法难以正确确定新船型重心高度的原因。

## § 1-1 PW新船型的发展简介

PW船型是在继承我国古代和近代优秀的平头船的基础上发展起来的。同时，它既吸收了国外的蜗槽尾船型的优点，又有进一步的改进。鉴于新船型主要吸收了平头船和蜗槽尾船型的原理，故取名为“平头涡尾新船型”。

目前的PW船型除吸收了平头船的原理外，还综合了压浪船型、方尾船型、多鳍尾（双尾是其中的一种）船型、隧道船型、球尾和导管螺旋桨等的优点。所以从学术角度上来说，目前以“平头涡尾”来称呼新船型已经不很科学了，但为了避免不断改名带来混乱的麻烦，而又能对它们加以质的区别，作者采取了第二代平头涡尾新船型、第三代平头涡尾新船型等名称。当然，从取得的试验效果来看，每一代新船型都取得了较重大的进展。

远古时代中国就出现了方头、方尾的独木舟，尔后几千年的演变，发展成了沙船。沙船发展到唐代已经基本定型，沙船的应用

在造船历史上有其特别重要的意义,是历史上最重要的船型之一。

沙船的发源地是江苏省,沿长江各省也有其踪迹。随着造船技术的不断进步和沙船的进一步完善,沙船在沿海航线(诸如北洋航线)以及远洋航运中也得到了应用。到清代估计有沙船万艘。沙船不但在我国军事、经济等方面起了重要作用,在我国远洋贸易史上也作出了积极作用。郑和七次下西洋,组成了当时世界上最强大的航海船队,二十多年间访问了三十多个国家,从而在世界航海史上写下了光辉的一页。据考证,郑和所率的船队的主力船型便是采用沙船船型(参见文献〔1〕)。

近几十年来,虽然造船技术的迅猛发展使得人们可以采用新型工艺建造复杂船型,但由沙船发展成的现代民间平头船仍然在我国内河运输中得到广泛采用。这是什么原因使得平头船具有这旺盛的生命力呢?正确了解平头船的性能便成了我国许多造船专家十分关心的问题。

长江东西横贯我国中部,构成了我国内河航运的大动脉。1959年,在国家造船十年(1959~1968年)科研计划中就把建造上海至重庆间往返的快速客货班轮的研究列为重点课题,以加速国民经济建设的发展。1964年作者结合该重点课题,曾写出论文指出了这种快速客货班轮的各种要素应该如何确定(参见文献〔2〕)。也提到现有客货班轮经常浪翻小船和影响捕捞鱼苗作业的缺点,很有必要对它们进行改进。欲要提高船速,又不致浪翻小船和影响捕捞鱼苗,就必须研究出能消波的新船型。此外,新船型还必须有良好的节能效果,以缓和和提高航速和经济性的矛盾。

国内有关单位对该重点课题分别做了大量有意义的工作,说明光是搬用双体船型、球鼻船型、压浪板船型等先进船型是难于解决这个我国国民经济建设中提出的重点课题的。

1965年在兄弟单位改进登陆艇阻力的启示下,参考民间平头船型的机理和压浪板消浪的机理,设计了三艘独特的“申渝快速客货轮”(其中之一的消浪船型线型如图1-1所示),并进行了十

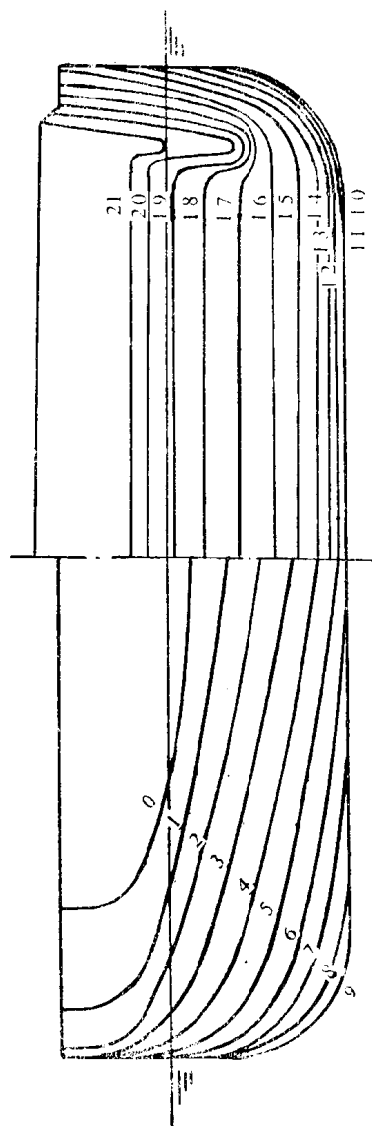


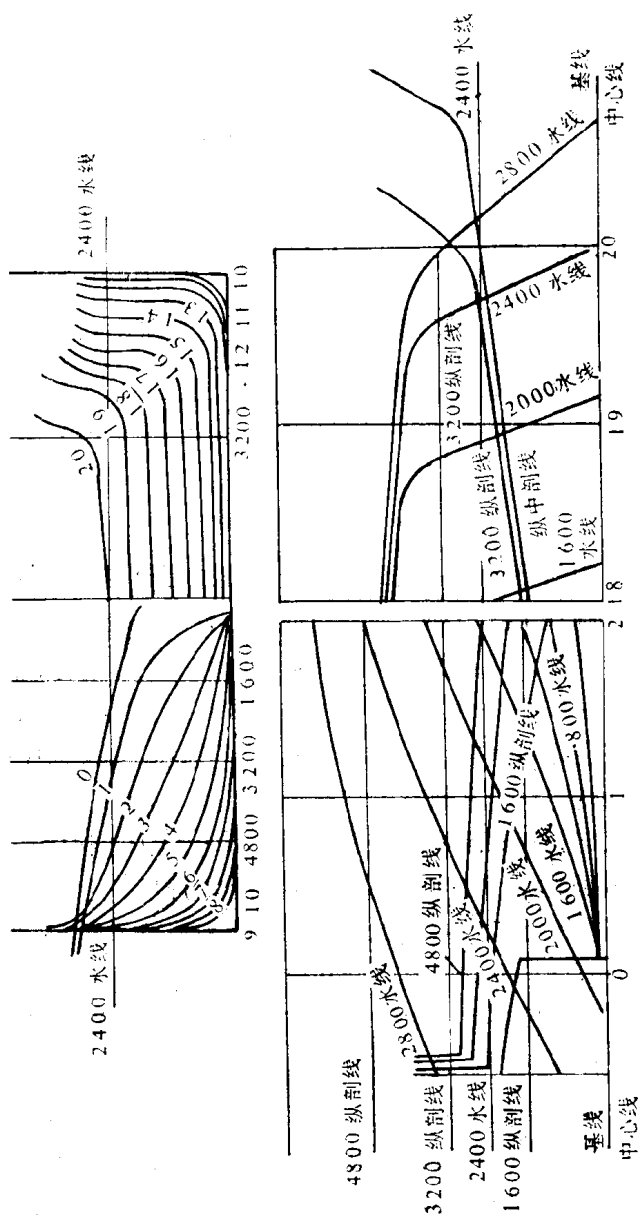
图1-1 平头消浪船型（附导流板）

九次船模阻力试验，取得了显著的消波减阻效果。作者曾将研究结果于1966年5月整理写成“申渝快速客货轮方案设计分析之三”的论文，印送国内有关单位。作者还曾于1979年在《中国造船》上刊登了有关的文章（参见文献〔3〕、〔4〕）。

图1-1的平头消浪船型中，船首两侧的突出物称为导流板。安装导流板的目的是，使船首底部成 $\Pi$ 字形，形成一个半封闭的管道，从而迫使流经船体的绝大部分水流流向船底。这样做是用管道和压浪板的作用原理来减少船首的兴波。除设计了如图1-1所示线型的三艘浮心位置各不相同的消浪船型的船模外，还进行了其他大量的研究工作，如采用改型的方法，研究了船首宽度、导流板的大小和形状以及有无导流板对船舶阻力和船舶兴波的影响，并进行了浅水试验。

值得指出的是，在“申渝快速客货轮方案设计分析之三”的论文中，曾推荐去掉导流板的方案，这一方案在其后的十年中所建造的一批平头船上得到了应用，并证明是行得通的。同时，作者也推荐了船首处向下排水时的进流角（亦称为纵流角 $\phi$ ）为 $5.5^\circ$ ，这也为以后的变进流角试验所证实，它是各种航速下船舶阻力较小的最佳纵流角。相应的水深吃水比为4的浅水试验又表明，其临界速度显著后移，阻力性能良好。使人吃惊的是，1965年试验用的平头消浪船型的船首形状和现在的平头涡尾新船型的船首形状甚至没有显著的区别。可见当年的研究作为纵流压浪船型的发展奠定了良好的基础。而且，试验结果使我们认识到，平头消浪船型的基本机理是将纵流和压浪原理有机地结合在一起，这就为纵流压浪船（平头船）和平头涡尾船型的进一步研究提供了理论基础。

1967年~1969年期间，作者同国内有关单位的同事们合作，用船模试验证实了平头消浪船型较相应的东方红38号轮有着较好的消浪性能、快速性能和操纵性能，建议投入实船建造。这时期的代表船型如图1-2所示。



这段时期在船型研究上的进展有二个方面，一方面通过系列改变纵流角的试验，了解了纵流角对有效功率的影响，并且得出了最佳纵流角为 $5.5^\circ$ 左右。另一方面，把船形改造成了横剖面为矩形，首尾形状均为纵流压浪船形的一种新形式（如图1-3所示）。

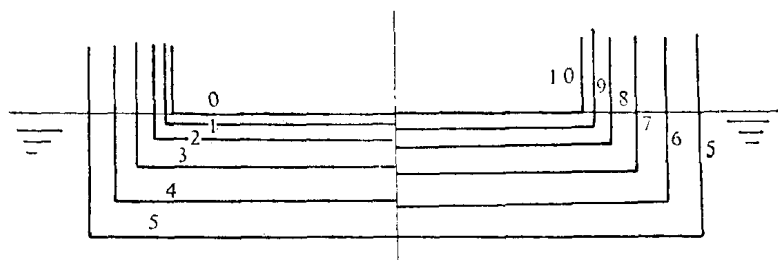


图1-3 纵流压浪船型

纵流压浪船型，可以做到船体表面的外壳板均由单曲面所组成，因此，制造十分方便，而且它的阻力性能也较好。

1972年前后，建造了88千瓦航标艇和东方红118轮等平头船型的实船，多年的使用证实其消浪性能和快速性能较常规船型的为好，且有良好的操纵性，尤其在乱流中其良好的操纵性更引人注目。从而使得88千瓦航标艇建造了多批，东方红118轮也被全国定型会议定为宜昌至重庆间的定型客货轮。总的来说，这期间平头船的科研成果已在实船上得到了应用和推广。

船首形状改变后，有效地降低了阻力和消减了艏部兴波高度。这时，船尾处的兴波高度就相应地需要进一步加以改进，才能适应船舶的整体要求。对这一问题，1965年作者对图1-1所示的船型进行倒拖试验时，就观察到了尾浪较小的现象，并且，当时就在论文中设想了采用纵流尾消减尾浪的方案。直至1976年，才由长江船舶设计院、中山大学和华中工学院一起协作，研究了如图1-4所示的纵流尾船型和如图1-5所示的双尾鳍船型。

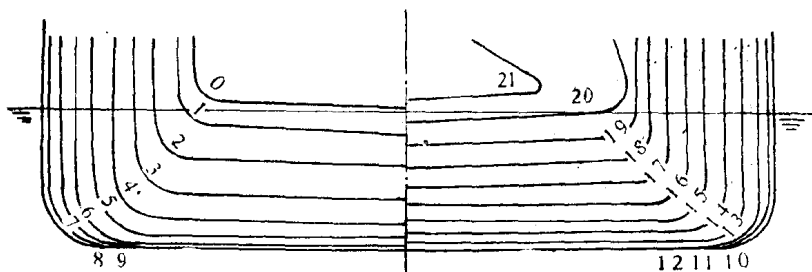


图1-4 纵流尾船型

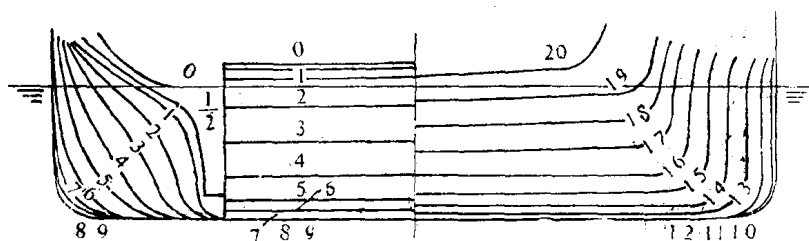


图1-5 双尾鳍船型

试验表明，舰部采用纵流尾时，当 $F_r > 0.32$ 时，其舰部处的最大波高值可比相应常规船型的小10~20%；当 $F_r = 0.30 \sim 0.36$ 时，其剩余阻力降低了36~46%。

同时，试验还表明，纵流压浪尾船型与纵流压浪船首船型一样，都能消减相应船体处的兴波并减少阻力。此外，纵流压浪船首还能消减船尾处的兴波高度。

四十年代，门勃采用了单桨船尾伴流分数较高的原理来提高双桨船的推进效率，从而发展成一种多鳍船。近年来出现的双尾船型亦是参考这个原理而发展起来的（参考文献〔5〕）。

1978年，我们根据国际上的蜗槽尾船原理，结合多年来研究的纵流压浪船型（平头船），设计出如图1-6所示的平头蜗尾新船型。并把它与相应的常规船型（如图1-7所示）作了对比性研究（参见文献〔6〕、〔7〕）。实验结果表明，平头蜗尾船型较之

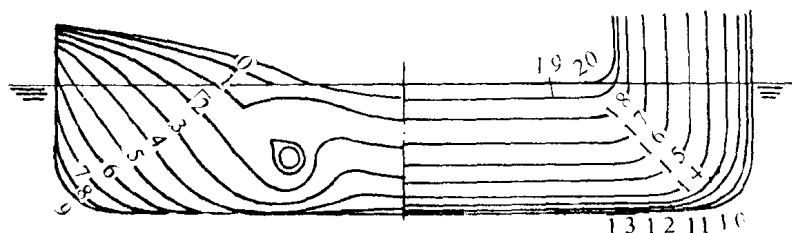


图1-6

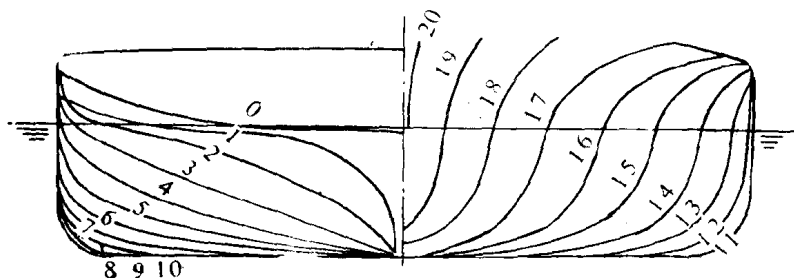


图1-7

图1-7所示的常规船型有较显著的优点，比双鳍船也有显著优点。图1-5所示的双鳍船，当 $F_r > 0.32$ 时，其艉部的最大波高值可比相应常规船型的小10~20%。当 $F_r > 0.34$ 时，双鳍船的兴波阻力曲线比较平坦，加上自航时已不需要增加人字架、轴包架等附体，所以，阻力性能较好。其拟是推进系数在 $F_r = 0.28$ 时，可比相应的常规船型的提高23.5%，船速越高，它的拟是推进系数比相应常规船型的改进就越多。其后的改进船型在800客位汉渝线客货轮中得到应用，效果较好。

1979年根据研究结果，研制成了100客位水泥平头涡尾客轮，这就是第一代平头涡尾新船型的实船。

水泥平头涡尾客轮的试航结果表明，比其相应的常规船型节约能源15~22%。特别使人印象深刻的是，在水泥小客轮的首部已不大能辨认出船首兴起的波浪，船尾处的波浪也只在和船尾距

离 $1/5$ 船长的地方才显著,目测螺旋桨后水流无明显螺旋运动。

1981年初,平头涡尾新船型向较大的船宽吃水比( $B/d$ )值发展,同时,吸收了隧道尾船型的特点,拟是推进系数 $Q.P.C.$ 与相应敞水螺旋桨的比值,由原先的 $1.1$ 左右提高到 $1.26\sim 1.49$ ,自航船模的拟是推进系数达到 $0.65\sim 0.83$ (如图1-28所示),这就是图1-8所示的第二代平头涡尾船型。该船型可用于内河客货轮和机动驳船。

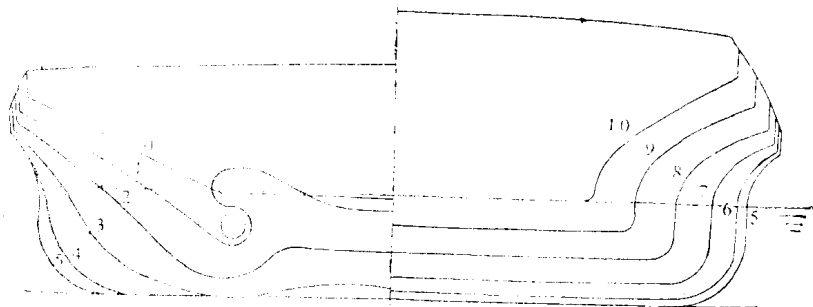


图1-8 第二代平头涡尾新船型线型图

图1-8的船体线型图中, $L_w/d = 35$ ,  $B/d = 7$ ,  $\delta = 0.55$ ,其船模试验结果见图1-28。航行于宜昌至重庆间的500客位客轮的船体,将根据 $L_w/d = 32$ 的线型图进行制造,目前正进行技术设计。

第二代平头涡尾船型亦在进一步加以改进,以形成具有三大特点的平头涡尾机动驳船。其三大特点是,大宽度吃水比( $B/d = 7\sim 11$ ),大径深比( $D/d = 1.2\sim 1.4$ )和大方型系数( $\delta = 0.70\sim 0.85$ )。已完成技术设计的50吨平头涡尾机动驳船就具有这些特点(该船 $B/d = 8.78$ 、 $D/d = 1.37$ 、 $\delta = 0.7$ )。

1984年开始,在宽度吃水比较小( $B/d = 4.5$ )的平头涡尾船型上采用了深隧道尾和盆式横剖面形状,又利用船尾构成了半导管螺旋桨,同时加装舵导流板。这一改进使螺旋桨直径与船舶吃

水比值达到了1.4左右的所谓大径深比值。试验表明，船模的拟是推进系数在中、高速时，达到0.80左右（如图2-21所示），甚至在拖曳状态时，当船速为11~17.4千米/小时，其拟是推进系数也可达0.55~0.75。从而第三代平头涡尾新船型以其初步显示出的优秀性能为我们展示了更为广泛的研究前景。图1-9所示的便是第三代平头涡尾新船型的线型图，其 $B/d = 4.5$ 、 $L_w/d = 23.5$ 、 $\delta_w = 0.474$ 。

目前正根据图1-9的船型进行四川岷江220千瓦大径深比平头涡尾拖轮的设计。还准备在该实船上研究涡尾的反桨效应。

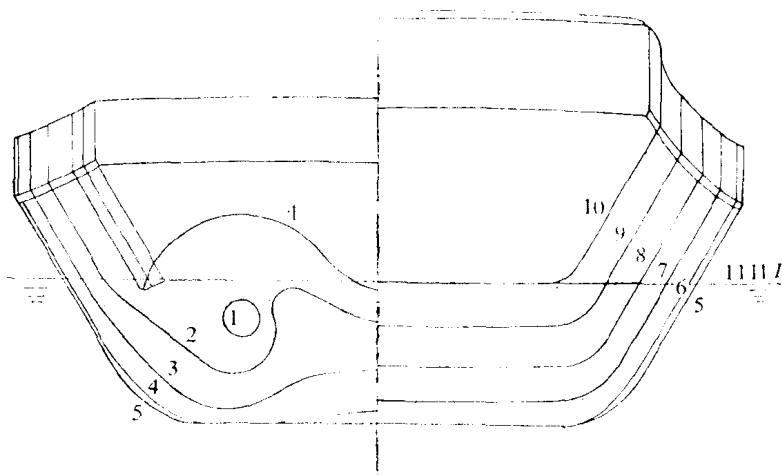


图1-9 第三代平头涡尾新船型线型图

由于拖（推）驳船是内河货运的主要方式，而第三代平头涡尾船型正可以作为各式拖（推）轮，因此，其有着较大的使用价值。

诚然，平头涡尾船型尚有一些问题有待探讨和进一步研究，更有许多潜力有待进一步去挖掘。可以预期，随着第三代PW船型的深入研究，更优秀的PW船型会层出不穷。