

基于横向函数法的船体型线设计方法

刘 阳, 林 焰*

(大连理工大学 船舶 CAD 工程中心, 辽宁 大连 116024)

摘要: 船体型线设计是船舶设计过程中的重要环节. 在对各种现有的基于数学船型表达的型线设计方法进行优缺点比较的基础上, 提出了基于横向函数法的船体型线设计方法, 即先用数学函数表达纵剖线, 然后沿宽度方向将变化的纵剖线的参数表达为横向的函数关系, 并举例对该方法的实用性及局限性进行了分析. 经研究认为可以使用横向函数法解决型线设计中的某些特殊问题, 如不对称船型和破损船型, 将其与现有方法配合使用可以更好地进行型线设计.

关键词: 船体型线; 数学船型; 横向函数法; 参数化设计

中图分类号: U662.9; TP391.72 **文献标志码:** A

0 引言

船体型线设计可以归结为两个方面的工作, 即对现有船型的优化设计和新船型的开发. 根据工作侧重点的不同, 采用的方法也不一样. 目前应用较多的型线设计方法包括母型设计法、图谱设计法、自行设计法和数学船型法^[1].

其中, 数学船型法是利用一些能代表船舶特征的参数建立数学函数表达式对船体型线进行描述的方法, 是当今型线设计领域的研究热点. 采用该方法对现有船型进行优化设计和开发新船型都是行之有效的. 本文也着眼于这一方向, 并在现有研究工作的基础上提出基于横向函数法的船体型线设计方法.

1 数学船型设计

1.1 数学船型的意义

数学船型是用数学函数表达和设计船体型线, 船型的“参数化”从思想上给船舶设计理论研究注入了新的活力. 并且随着计算机科学的发展, 在生产设计过程中, 计算机辅助船舶设计(CASD)日益成为设计者的好帮手. 但船体本身是具有双曲度的复杂空间曲面, 难以用解析的表达式进行描述, 因此, 研究选用何种数学方法更适合表达船型的工作具有相当重要的意义.

1.2 数学船型的参数化

这里所提到的参数, 应该包括所有能反映船

舶某一方面特征的具体而量化的数. 狭义的参数是指形状参数^[2], 即设计者应用数学方程表达船型时所选择的控制变量, 如控制线变量、控制角变量等. 广义的参数则包括设计参数, 即船东在规格书中对于设计船技术性能和经济性能要求的量化指标, 如航速、载货量等. 前者只和船体形状有关, 后者则直接和船舶性能挂钩, 想要实现设计船在一定技术性能或经济性能约束条件下的优化设计, 就需要建立二者之间的联系.

1.3 数学船型的表达方法

用数学的方法表达船型可以分为曲线法和曲面法, 本文仅对曲线方法做进一步展开讨论. 如文献[3]的图1所示, 建立船体左手直角坐标系, 则现有的用曲线数学方程表达船型的方法可归纳为两大类.

(1) 纵向函数法

把船体外形看成沿船长方向(X)无限密布的横剖面, 并且按照一定规律构成船体曲面. 首先用数学函数表达各横剖线, 然后沿船体纵向将每个横剖线的参数表达成剖面位置的函数. 曲面方程可表达为

$$X = f(Z, y(Z)) \text{ 或 } X = f(Y, z(Y)) \quad (1)$$

式中: $y(Z)$ 、 $z(Y)$ 是[尾部最末端, 首部最前端]区间内某横剖面处横剖线选取不同自变量时的函数.

(2) 垂向函数法

将船体外形曲面视为沿高度方向(Z)按一定规

律变化的无限密布的水线面构成. 首先用数学函数表达水线, 然后沿高度方向, 将变化的水线的参数表达为高度的函数关系式. 曲面方程可表达为

$$Z=f(X, y(X)) \text{ 或 } Z=f(Y, x(Y)) \quad (2)$$

式中: $y(X)$ 、 $x(Y)$ 是[高度最小值, 高度最大值]区间内某吃水处水线的函数, 仅自变量的选取不同.

2 横向函数法的提出

2.1 传统二维设计法的局限性

传统的基于横剖面面积曲线的母型变换法, 是二维设计法的代表方法. 该方法建立沿船长方向(X)分布的横剖面面积和船长之间的函数关系, 并可用数学函数表达为

$$X=f(A) \quad (3)$$

式中: A 是[尾部最末端, 首部最前端]区间内某横剖面处的横剖面面积.

二维设计法的优点在于形式简单、操作方便, 且具有相当的精度和工程实用性. 但船体本身是三维实体, 以二维来近似代替三维, 必然存在相关信息的丢失, 不利于船舶的深化设计. 以基于横剖面面积曲线的母型变换法为例: 将每个横剖面处 X 、 Y 两方面的信息统一用 A 来表达, 则无法反映 X 对 Y 或者 Y 对 X 的变化关系.

2.2 横向函数法

为了克服二维设计法的局限性, 超二维设计法应运而生. 前文提到的纵向函数法和垂向函数法都可以归于超二维设计的范畴. 在目前的条件下, 超二维设计可行、有效, 是型线设计的重要手段; 并且进一步挖掘该方法的潜力, 是有意义、也是有必要的.

既然船体本身是一个三维的实体, 那么对应于纵向函数法和垂向函数法, 应该还存在一个横向函数法. 基于这一思想, 可以对横向函数法做如下描述:

认为船体外形曲面是由沿宽度方向(Y)按一定规律变化的无限密布的纵剖面构成的. 首先用数学函数表达式表达纵剖面, 然后沿宽度方向, 将变化的纵剖面的参数表达为横向的函数关系式. 曲面方程可表达为

$$Y=f(X, z(X)) \text{ 或 } Y=f(Z, x(Z)) \quad (4)$$

式中: $z(X)$ 、 $x(Z)$ 是[船体最左舷, 船体最右舷]区间内某纵剖面处纵剖面选取不同自变量的函数.

由于船体通常关于中纵剖面对称, Y 也可以代表半宽, 则 $z(X)$ 、 $x(Z)$ 相应地变成[中纵剖面, 船体一舷]区间内某纵剖面处纵剖面选取不同自变量的函数.

分析横向函数法长期以来一直没有得到人们足够重视的原因, 主要有以下几点:

(1) 客观原因

① 与长度相比, 船体的宽度要小得多, 再考虑到船体的对称性, 通常用半宽来代替宽度, 这时宽度的度量可能比高度还要小.

② 一般情况下, 船舶的横剖线和水线都是关于中轴对称的, 但纵剖线不具有这样的对称轴.

③ 横剖线和水线端点的边界条件容易确定; 而纵剖线端点的边界条件视具体的首尾形式可能出现更复杂的情况.

④ 对于采用非常规首尾形式的船舶, 其复杂形状决定了在单条纵剖线上可能出现比单条横剖线或水线更多的控制变量.

⑤ 船体纵剖线在第三向的变化规律并不像横剖线和水线那样单调. 当船体采用双尾鳍或多船体形式时, 这一点体现得尤其明显.

基于以上几点原因, 相对于两种现存超二维设计方法而言, 用数学函数表达单个纵剖面需要的参数更难确定; 用数学函数拟合横向切片的难度也更大.

(2) 主观原因

相对于纵向函数法和垂向函数法, 采用横向函数法反映参数信息不够直观. 为了方便说明问题, 暂时回到传统的基于横剖面面积曲线的母型变换法. 从横剖面面积曲线上可以直观获得的信息包括型排水体积, 纵向棱形系数, 浮心纵向位置, 最大横剖面面积及其位置, 平行中体、进流段和去流段的长度, 曲线两段端部形状等. 那么, 基于更高维数的超二维设计纵向函数法, 在反映上述信息的基础上, 还可以反映更多的参数信息.

同样, 和高度密切相关的参数信息, 诸如垂向棱形系数、浮心垂向位置、每厘米吃水吨数等, 也能够通过超二维设计垂向函数法得到体现. 相比前两者, 横向函数法违背了人们的设计习惯, 它所反映的参数信息也不够直观.

3 横向函数法的实用性分析

尽管横向函数法本身存在一些缺陷, 但在特定条件下, 通过横向建模表达船体型线的方法仍然能够发挥重要作用, 可以解决其他方法难以处理的问题.

3.1 表达局部不对称船型型线

通常情况下船体都是左右对称的, 但同时也确实存在一些局部不对称的船型. 例如, 为改善伴流、提高推进效率而设计的不对称船尾.

在这种情况下,整体的对称性和局部的不对称性产生矛盾,不论采用纵向函数法还是垂向函数法都难以找到合适的表达式进行描述. 而利用横向函数法,对左右两个半船体分别加以分析,建立不同的函数表达式,则刚好避开这一矛盾,理想地解决问题.

3.2 表达破损船型的型线

即使对于左右完全对称的常规船型,当船舶由于海事事故而发生破损时,也可能导致局部不对称的产生. 故而当船舶破损性能作为主要设计参数之一时,也应该考虑采用横向建模的方法.

3.3 解决特殊问题

如图1所示,某船舶首部采用撞角型球鼻首. 显然水线面 A-A 和横剖面 B-B 均被分为两个部分. 在这种情况下,无论纵向函数法还是垂向函数法都难以用一个连续的函数同时描述两段曲线,二者同时失效. 采用横向函数法则能使问题得到满意的解决.

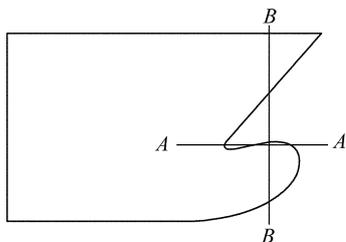


图1 某撞角型球鼻首船

Fig. 1 A ship with bulbous bow of embolon style

类似的例子还有:当某船尾部采用双尾鳍或球尾时,其尾部必然存在至少一处的横剖面被分为多个部分,纵向函数法失效. 再比如小水线面

船、穿浪船、多体船、半潜式海洋平台等,其水下部分存在至少两个浮体,故而每个横剖面均被分成多个部分,纵向函数法再次失效.

综上所述,无论是纵向函数法、垂向函数法,还是横向函数法,都有其自身的优势和不足. 针对具体的设计问题,应根据实际情况灵活地选择适当的方法.

4 结 语

(1) 横向函数法可以作为纵向函数法和垂向函数法的有益补充,并与后两者一起构成完整的超二维设计方法体系. 在实际应用中可以分别采用多种方法进行设计,对结果进行验证;也可以充分发挥各自的优势部分,将三者结合使用.

(2) 船体型线参数化设计发展的关键技术在于:如何建立从设计参数到形状参数的反向联系,即“反问题”的研究.

(3) 随着科学的发展、技术的进步,基于三维表达的设计方法将是船体型线设计的发展方向.

参考文献:

- [1] 王世连, 刘寅东. 船舶设计原理[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2000
- [2] 李彦本, 林 焰, 纪卓尚, 等. 数学船体型线设计方法研究[J]. 大连理工大学学报, 1998, 38(4): 382-386
(LI Yan-ben, LIN Yan, JI Zhuo-shang, et al. Research on new design method for mathematical ship lines [J]. J Dalian Univ Technol, 1998, 38(4): 382-386)
- [3] 林 焰, 纪卓尚. 船舶型线设计方法研究[J]. 上海交通大学学报, 1994, 28(1): 16-23

Design method of hull lines based on transverse function method

LIU Yang, LIN Yan*

(Ship CAD Eng. Cent., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116024, China)

Abstract: Design of hull lines plays an important role in the process of ship design. Depending on comparison between the advantages and disadvantages of existing design methods of hull lines which are based on mathematical expression, a new method named design method of hull lines based on transverse function method is put forward. The main idea of this method firstly describes longitudinal lines using mathematical function, then relates the variational parameter of longitudinal lines to transverse function in width. Practicability and limitations of the method are analyzed by illustration. In conclusion, some particular problems in design of hull lines such as dissymmetrical hulls and damaged hulls, can be settled by transverse function method. Moreover, cooperating the method with existing ones will lead to better use.

Key words: hull lines; mathematical ship form; transverse function method; parameterized design