

文章编号:1671-1637(2013)03-0053-09

## 非流形造型的主船体快速分舱方法

管 官<sup>1</sup>, 林 焰<sup>1,2</sup>, 纪卓尚<sup>1,2</sup>

(1. 大连理工大学 船舶 CAD 工程中心, 辽宁 大连 116024;  
2. 大连理工大学 工业装备结构分析国家重点实验室, 辽宁 大连 116024)

**摘 要:**为解决自底向上逐一生成舱室的分舱方法需要花费大量时间,提出了一种自顶向下的船舶参数化分舱方法,利用舱壁位置参数与内壳折点位置参数驱动生成分舱理论面,再用分舱理论面切割主船体,利用非流形造型技术及其布尔运算生成舱室。分析结果表明:该方法只需舱壁位置与内壳折点信息,即可进行参数化分舱,避免了大量舱室型值信息的输入,降低了舱室定义的复杂性;通过非流形造型记录了分舱时的过程信息,修改模型时只需对这些信息重组即可,实现了分舱模型的快速重塑。可见,该方法能够快速实现船舶分舱与舱容计算,为船舶三维参数化设计奠定了基础。

**关键词:**船舶工程;快速分舱;参数化;自顶向下分舱;非流形造型;舱容

**中图分类号:**U662.2 **文献标志码:**A

## Quick subdivision method of main hull based on non-manifold modeling

GUAN Guan<sup>1</sup>, LIN Yan<sup>1,2</sup>, JI Zhuo-shang<sup>1,2</sup>

(1. Ship CAD Engineering Center, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, China;  
2. State Key Laboratory of Structural Analysis for Industrial Equipment, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, China)

**Abstract:** In order to solve the time consuming disadvantage of bottom-up subdivision method generating all compartments one by one, a new parametric top-down subdivision method was proposed. The parameters of bulkhead positions and inner knuckle positions were used to generate the subdivision planes to cut main hull. The non-manifold modeling technology containing Boolean operations was applied to generate compartments. Analysis result shows that the parametric subdivision is realized by taking bulkhead positions and inner knuckle positions as the only inputs, the complexity of compartment definition reduces because of avoiding the fussy input of compartments' offset. The non-manifold modeling maintains the whole process information so that the compartment models can be modified quickly by restructuring the information. So the subdivision and calculation of hold capacities can be finished rapidly by the method, which lays the foundation for 3D parametric design of ship. 3 tabs, 15 figs, 15 refs.

**Key words:** ship engineering; quick subdivision; parametric; top-down subdivision; non-manifold modeling; hold capacity

**Author resumes:** GUAN Guan(1983-), male, doctoral student, +86-411-84707485, guanguan3145@163.com; LIN Yan(1963-), male, professor, PhD, +86-411-84707485, linyanly@dlut.edu.cn.

收稿日期:2013-01-21

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项基金项目(201003024)

作者简介:管 官(1983-),男,辽宁丹东人,大连理工大学工学博士研究生,从事船舶 CAD 技术研究。

导师简介:林 焰(1963-),男,福建福州人,大连理工大学教授,工学博士。

## 0 引 言

船舶设计周期的长短对船舶经济性影响很大,缩短设计周期可以显著提高投资收益率,船舶分舱是整个船舶设计过程的重要部分,船舶舱室划分与建模过程的快速性直接决定了设计过程的经济性<sup>[1]</sup>,因此,研究船舶快速分舱方法,对提高船舶设计效率,增强行业的竞争力,具有重大意义<sup>[2]</sup>。

船舶分舱的本质是在船体曲面与甲板面给定的情况下如何对船体空间进行合理划分,其理论发展至今已经相当完善<sup>[3]</sup>。然而,船舶舱室众多,倘若整个分舱过程都采取手动方式完成,必定相当繁琐,需要耗费大量重复劳动,且容易出错<sup>[4]</sup>。当前,船舶设计单位普遍采用的分舱软件有 SIKOB、NAPA、TRIBON 与 Compass 等,这些软件所采用的建模方法都是自底向上的,只能逐个生成舱室。因为当前主流船型都由几十个到上百个舱室组成,所以这些方法都需要大量的时间和精力,而且与正常的设计思维不符,不利于设计者设计才能的发挥。SIKOB 只支持文本输入,无法直观地体现设计者的思想;NAPA 和 TRIBON 需要建立包裹舱室的每个面,导致相邻舱室间舱壁的重复定义,建模过程繁琐<sup>[5]</sup>;Compass 需要一一建立各个舱室的单元体,建模过程也比较繁琐、复杂。

为了克服这些问题,近几年,船舶设计者开始了自顶向下的分舱设计方法的研究<sup>[6]</sup>。Lee 等提出了切割主船体生成各个舱室的自顶向下的设计思想<sup>[5]</sup>,没有实现参数驱动舱室模型生成的功能,舱室模型建立过程中还需要人工进行图形交互操作;陈强等提出了有向分舱线的概念<sup>[4]</sup>,并结合船体参数化曲线对舱室进行划分,开发了基于 AutoCAD 的船舶分舱系统,但该方法主要是基于二维图形操作,可视效果差,不利于直观体现设计思想。自顶向下的分舱设计模式与人的正常思维模式相符,有助于真正实现设计者观念到计算机图形显示的快速转换,并提高设计效率,是目前研究的热点。

本文在研究了前人工作的基础上,提出了一种自顶向下的船舶参数化分舱方法,利用参数化技术生成分舱理论面,再用分舱理论面切割主船体进而生成舱室,本质上相当于将一个西瓜切割出若干小块作为舱室,再利用非流形造型技术建立舱室模型,记录切割信息。该方法实现了参数化分舱,有助于对分舱方案的快速设计与修改,提高了分舱设计效率;自顶向下的设计过程也更符合正常的设计思路,使设计者头脑

中的分舱方案即时反馈到了计算机图形上,实现了实时交互,分舱表达更加直观生动。

## 1 分舱理论面参数化定义

### 1.1 分舱理论面概念的提出

分舱理论面是指对船舶舱室划分起到边界作用的型表面,数学本质是一张参数化的曲面,能够描述船体舱室的空间位置关系与设计意图的曲面。分舱理论面可分为 3 类:船体外板理论面、尾封板理论面与甲板理论面等船体曲面对应的型表面;双层底理论面、双层壳理论面、底边斜板理论面、顶边斜板理论面、纵舱壁顶凳理论面与纵舱壁底凳理论面等船体内壳对应的型表面;横舱壁理论面、横舱壁顶凳理论面、横舱壁底凳理论面与纵舱壁理论面等舱壁对应的型表面。

### 1.2 参数驱动

本文研究的分舱主要是指在船体曲面与甲板面给定的情况下如何对船体空间进行快速合理划分,因此,第 1 类分舱理论面在型线设计阶段已经确定,不需要在分舱阶段建模,这里主要介绍第 2 类和第 3 类分舱理论面的快速设计方法。

#### 1.2.1 第 2 类分舱理论面

第 2 类分舱理论面在船舶平行中体处与船体基线平行,而在船艏和船艉处往往会因为船型变化而与船体基线不平行,设计参数较多,是空间三维结构,在分舱过程中往往需要频繁调整。

图 1 为某成品油船内壳折角线图,图中数据为内壳折角点的横向与垂向坐标,单位为 mm,FR 表示肋位。在传统船舶设计过程中,通常采用图 1 表达船体内壳的几何外形<sup>[7]</sup>,通过二维横剖面与尺寸标注来表达内壳的形状信息。这种方法基于二维表达,很不直观,无法使设计者清楚地看到分舱效果;而且文字性的尺寸标注没有实现参数化驱动造型的功能,设计模型无法动态变换和快速修改。针对这一问题,建立了第 2 类分舱理论面的三维参数化设计系统,见图 2, $V$  为竖直约束, $H_0$  为水平约束, $O$  为相合约束, $O_0$  为设定中心点。图 3 为生成的第 2 类分舱理论面模型。参数化系统包括如下 3 类几何图元。

(1)点:主要指折角点,通过位置参数来表达。

(2)线:主要分横向与纵向两类。内壳各横向位置剖面线包括双层底剖面线、双层壳剖面线、底边斜板剖面线、顶边斜板剖面线、梁拱线、纵舱壁顶凳剖面线与纵舱壁底凳剖面线等。通过纵向位置参数确

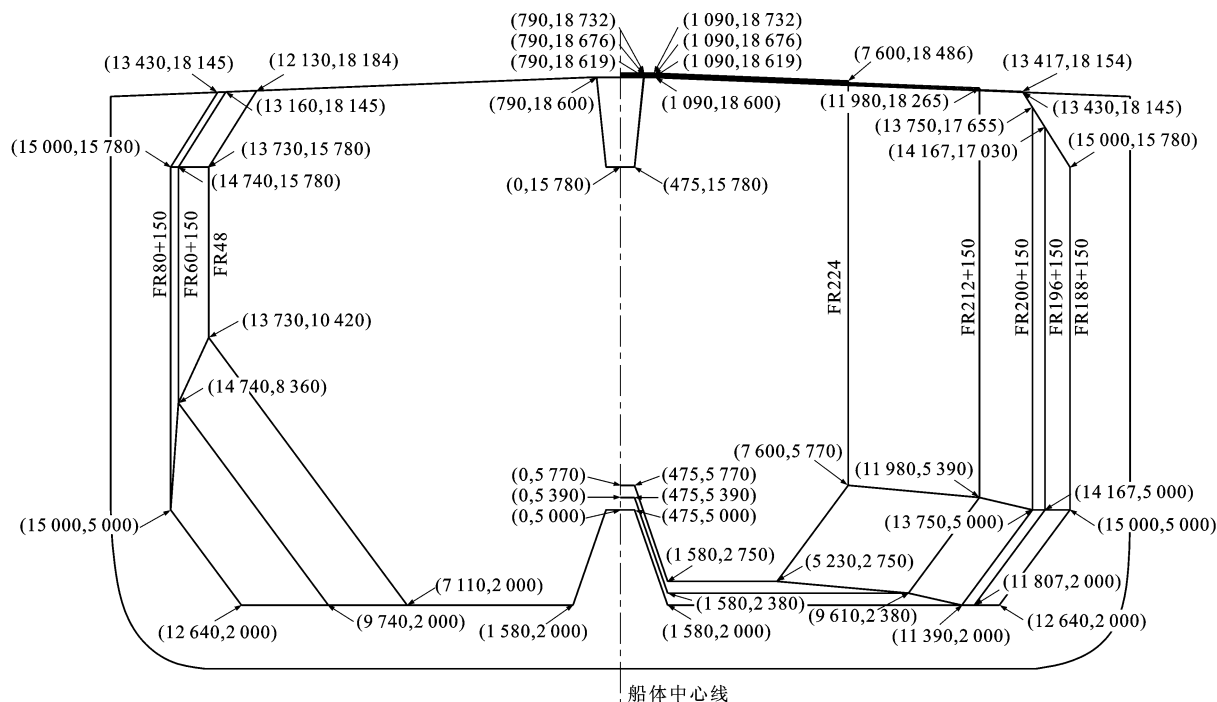


图1 某油船内壳折角线

Fig. 1 Inner knuckle lines of oil tanker

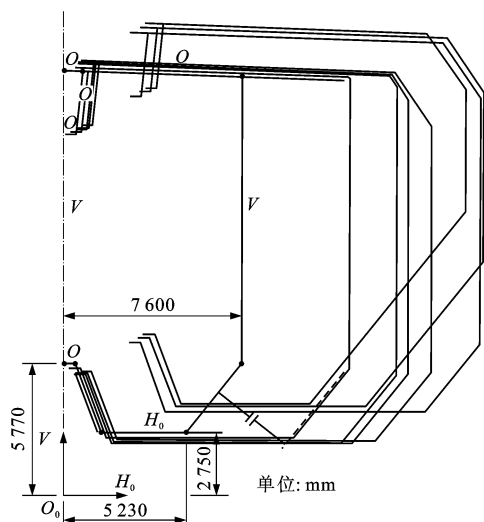


图2 第2类分舱理论面参数系统

Fig. 2 Parametric system of No. 2 subdivision planes

定各横剖面纵向位置,通过在各横剖面上、各对应折角点之间创建线来表达内壳各横向位置剖面线,通过在相邻横剖面上相互对应的折角点间创建线来表达内壳沿船长方向的边。

(3)面:包括双层底面、双层壳面、底边斜板面、顶边斜板面、甲板面、纵舱壁顶凳面与纵舱壁底凳面等内壳面。内壳面均由4条线围成,即相邻横剖面对应的2条边线和连接这2条边线的沿船长方向的边线,因此,通过平面填充运算可获得内壳面。

参数化技术旨在通过尽量少的输入参数快速设

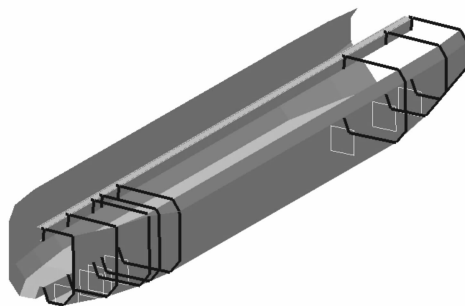


图3 第2类分舱理论面模型

Fig. 3 Models of No. 2 subdivision planes

计出产品模型,通过添加几何约束来控制上述几何图元的拓扑关系与尺寸信息可以减少参数的输入量,达到快速设计的效果。利用参数化系统对双层底添加水平约束,对双层壳添加竖直约束,对各剖面相同的图元构件添加三维投影相合约束,对梁拱线等由船体外曲面确定的图元添加固定约束,对各剖面不相同的底边斜板添加空间平行约束以保证其为平面结构,对各剖面纵舱壁顶凳与底凳添加等长度约束以保证其在纵向范围内形状一致,对各剖线的连接关系添加相合约束以保证其相连,添加对称约束来表示左右舷的图元对称。以上这些约束的添加体现出了设计者对内壳形状控制的设计意图,当然,不同船型也可以采用不同的约束方法,设计者可以灵活地设置约束以实现设计目标。

添加约束控制后,设计者只需要确定少量输入

参数即可快速生成第 2 类分舱理论面,改变这些参数即可快速地重建模型。需要输入的参数主要有:有折点的横剖面的纵向位置参数,内壳宽度参数、内底高度参数,顶边斜板折点定位参数、底边斜板折点定位参数,纵舱壁顶凳与底凳的形状与位置参数。

可见,添加约束后,需设计者确定的参数量远远少于传统二维非参数化内壳折角线图所需确定的参数量。应用该三维参数化设计系统确定的第 2 类分舱理论面包含了传统二维内壳折角线图的全部信息,而且第 2 类分舱理论面的三维参数化表达更直观,为内壳的可变性与可重用性等提供了手段,提高了设计效率。

### 1.2.2 第 3 类分舱理论面

第 3 类分舱理论面包括纵舱壁理论面与横舱壁理论面(包括顶凳与底凳),按结构形式可分为平面形和槽形,同样,应用参数化技术进行设计。对于平面形,比较简单,只需给出其横向或纵向的位置参数即可生成分舱理论面。下面详细介绍槽形理论面的设计。

#### (1) 槽形舱壁理论面参数化定义

位置参数  $S$ :对于横舱壁,要给出距船舫纵向距离参数;对于纵舱壁,要给出距中纵剖面横向距离参数;当然,也可以根据具体情况添加等距约束,这样修改一个舱壁位置,其他舱壁位置也会随之移动,提高了修改效率。形状参数:包括槽形面板宽度  $a$ 、槽形宽度  $b$ 、槽形斜板宽度  $c$  与槽形深度  $d$ ,其中: $c = (b - a) / 2$ ,因此,在实际设计中只需输入其中 3 个参数即可确定槽形形状。端点参数:用来定义单位槽形的折曲方向  $T$  与起始位置的相关参数  $F$ 。各参数代表的具体几何信息见图 4。

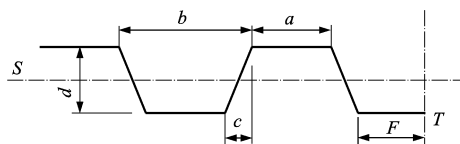


图 4 横舱壁理论面参数

Fig. 4 Parameters of bulkhead plane

#### (2) 顶凳与底凳理论面参数化定义

位置参数:由于横舱壁位置参数已经确定,所以这里只需给出距基线的垂向距离参数  $H_1$ ,见图 5。形状参数:主要由图 5 中的 4 个形状参数( $a_1$ 、 $b_1$ 、 $h$ 、 $H$ )确定形状。

同样,设计者只需要确定这些参数即可快速生成第 3 类分舱理论面,改变这些参数即可快速地重建模型。图 6 为第 2、3 类分舱理论面与船体曲面模

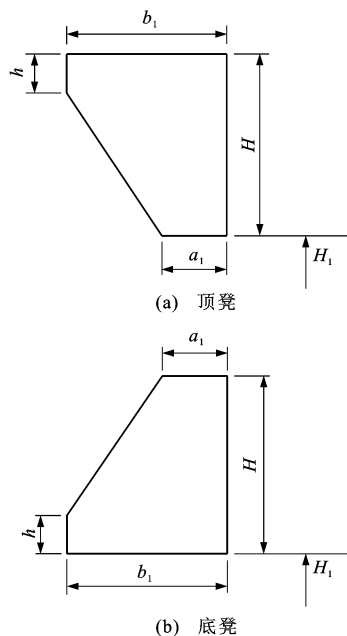


图 5 顶凳与底凳理论面参数

Fig. 5 Parameters of upper stool and lower stool planes

型,其中局部图展示了第 3 类分舱理论面的三维参数驱动部分(折线部分),以及特征造型生成的槽形横舱壁、顶凳与底凳理论面模型。

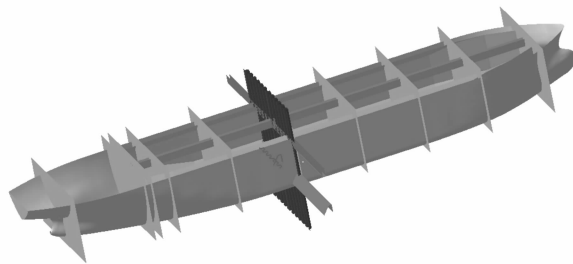


图 6 第 2、3 类分舱理论面与船体曲面模型

Fig. 6 Models of No. 2 and 3 subdivision planes and hull surfaces

## 2 非流形造型与布尔运算

### 2.1 非流形造型

传统三维几何造型技术是将几何模型表达为线框模型、曲面模型或实体模型。B-rep(边界表达法)和 CSG(实体几何法)是目前实体造型主流的表示方法,在各个工程领域中应用广泛<sup>[8-9]</sup>。但船舶工程对三维造型所提出的要求也不断显现出传统造型技术的局限性,其主要表现在以下 3 方面。

(1) B-rep 和 CSG 分别以二维表面流形和  $r\_set$  集为其数学基础,实体模型表示不完整。

(2) 传统实体造型覆盖域有限,要求模型边界必须等价于流形,这样就对许多船舶工程需要的形体不能提供必要地支持。

(3) 传统实体造型没有将线框、表面和实体统一

在同一框架中表达,无法满足在船舶设计过程中对不同表达模型的需要。

对主船体进行舱室划分并生成舱室模型必然会混合使用到线框、曲面、实体模型;在模型建立过程中,常常会出现非流形模型,而且需要利用布尔运算通过多次修改操作建立或修改舱室模型。非流形几何造型可以很好地满足这些造型要求。

随着工业产品模型造型技术的发展,代数拓扑学中复形与骨架等概念被引入到三维几何造型中,因而产生了非流形造型理论<sup>[10-14]</sup>。表1为非流形模型与复形中拓扑元素的对应关系。非流形模型是指三维欧几里德空间的不同维数的单元复形的集合,以数学方式表达为满足以下3个条件的 $n$ 维单元复形的集合

$$C = \bigcup e_{\lambda} \quad (1)$$

$$E_{\lambda} - e_{\lambda} \subset \{e_{\mu} \mid \mu < \lambda\} \quad (2)$$

$$e_{\lambda} \cap e_{\mu} = \emptyset \quad \lambda \neq \mu \quad (3)$$

式中: $C$ 为单元复形; $e_{\lambda}$ 为 $\lambda$ 维单形; $E_{\lambda}$ 为 $e_{\lambda}$ 的闭包。

表1 拓扑元素的对应关系

Tab. 1 Corresponding relationship of topological elements

数学中的拓扑元素	造型中的拓扑元素
复形	非流形结构物体
0-骨架	顶点集
1-骨架	线框模型
2-骨架	曲面模型
3-骨架	实体模型
0-单形(0-胞腔)	顶点
1-单形(1-胞腔)	边
2-单形(2-胞腔)	面
3-单形(3-胞腔)	体

式(1)表示三维单元复形可以由0~3维单元的集合表达,在非流形造型中可以包括点、边、面和体;式(2)表示每个单元的全部边界都是由低维的单元构成,单元复形总是封闭的;式(3)表示非流形模型中所有拓扑元素不能两两相交,也不能自相交。非流形模型的层次结构见图7。

非流形造型主要包括以下操作:单形生成,即生成顶点、边、面与体;原子操作,如生成顶点打断边,产生边分离面等操作。原子操作与传统的Euler操作相似,保持复形的有效性;复合操作用于布尔运算,包括边截边、边截面、边截体、面截面和面截体等操作。

## 2.2 非流形造型布尔运算

从代数拓扑学看,布尔运算是通过几何运算

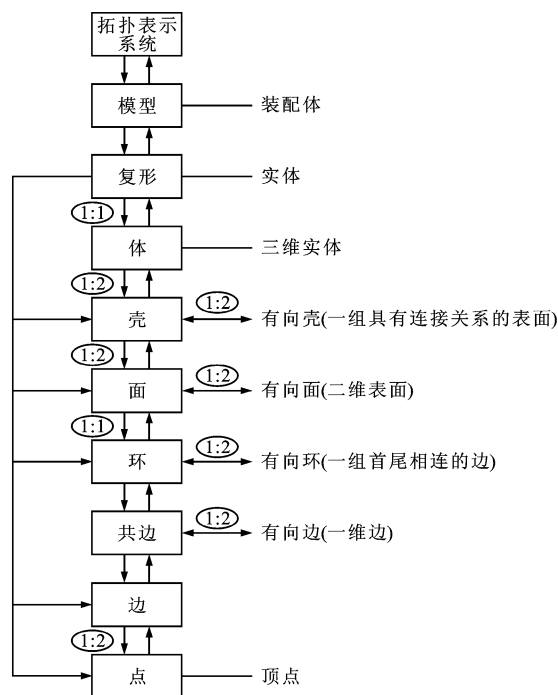


图7 非流形模型的层次结构

Fig. 7 Data structure of non-manifold model

与拓扑运算,重新生成新的结构。布尔运算在实体造型中被普遍运用,但传统的布尔运算存在一些弊端:中间步骤执行的布尔运算如果被修改,全部布尔运算必须重新执行,这样就会导致重新生成一个由布尔运算得到的B-rep模型,非常耗时;对于CSG模型,虽然通过修改CSG树来重新生成模型很容易,但新边界的表达同样非常耗时。可见,频繁运用传统布尔运算来建成一个复杂模型是非常繁琐的。

针对上述问题,非流形造型应用分解的布尔运算——合并运算与抽取运算实现了布尔运算的快速重建,能够快速生成一个由布尔运算生成的实体边界模型,适用于需要反复修改的船舶分舱设计。

### 2.2.1 合并运算

合并运算的结果不依赖运算顺序,称为合并体。在运算过程中,计算实体的交集,拓扑结构随之修改,合并体的所有拓扑元素都与原始体的相应属性关联。每次修改,相应属性也随之修改。具体算法如下:假设原始体A和B合并,合并体的所有拓扑元素都给出指示A、B拓扑元素的属性;在个体上生成相交的点和边;合并点在点、边和面序列上一致的拓扑元素及其属性。若有多面共享一边,就要将这些面的序列记录下来。当然,合并体也可能被分割,通过检测被分割的体分界面来重建,重建模型的属性也要记录下来。在合并运算中,原始体被合并,若某

个原始体的拓扑元素被分割,它的全部属性也要复制到分割出的拓扑元素上。在整个合并运算中,原始体的拓扑元素无论被分割或是合并,都不被删除,也就是说,合并体和它的原始体一直保持关联。

### 2.2.2 抽取运算

抽取运算的结果依赖运算顺序,称为抽取体。在运算过程中,从合并体中抽取出相关拓扑元素作为抽取体,并记录它们。这一过程不执行任何拓扑修改与计算,只是遍历合并体中的相关拓扑元素。假设合并体由原始体  $A$  和  $B$  定义,由  $V(A)$  表示  $A$  的拓扑元素,  $V(B)$  表示  $B$  的拓扑元素,则合并体拓扑元素组为  $V(A)$  和  $V(B)$ ;由  $V_{in}(A)$  表示在  $V(A)$  中不作为其他拓扑元素边界的拓扑元素,由  $V_{in}(B)$  表示在  $V(B)$  中不作为其他拓扑元素边界的拓扑元素。提取体的拓扑元素的选择由布尔运算的类型决定,原始体的并、差和交(分为保留退化元素和删除退化元素两类)分别由  $\oplus$ 、 $\ominus$ 、 $\otimes^+$  和  $\otimes^-$  表示;拓扑元素的并、差和交分别由  $+$ 、 $-$  和  $\cap$  表示。提取体运算为

$$V(A \oplus B) = V(A) + V(B)$$

$$V(A \ominus B) = V(A) - V(B)$$

$$V(A \otimes^+ B) = V(A) \cap V(B)$$

$$V(A \otimes^- B) = V_{in}(A) \cap V_{in}(B)$$

## 2.3 非流形造型在船舶分舱上的应用

### 2.3.1 实现几何信息完整表达

传统实体造型只表示舱室模型的边界信息,缺少附加线、面信息,如对称轴面、开孔中心线等,而这些信息对设计过程具有重要意义,非流形造型可以表示各维几何信息,实现了完整几何信息的表达。

### 2.3.2 对分舱设计方法的支持

基于三维几何约束与特征造型的参数化设计是当今先进的分舱设计技术。目前,舱室形状特征表达一般是基于传统实体造型,主要是 B-rep 和 CSG,存在 2 个问题:舱室形状特征的形式一般是线框、曲面、实体或彼此组合,它们之间不是孤立的,而是存在拓扑关系的,建模中应把这些关系作为约束用于控制舱室造型;舱室造型过程中会有特征相交的情况,传统造型方法会因此丢失部分信息,也会改变拓扑关系。针对上述问题,非流形造型提供了良好的技术支持。对于问题 1,将非流形模型和基于约束的参数化设计技术相结合,建立并求解约束模型即可,这样提高了分舱造型的快速性,更直接地表达了设计意图,支持船舶概念设计;对于问题 2,应用非流形造型技术可以完整表达舱室建模过程中的几何信息,几何图元间的拓扑关系也可以得到

很好维护。

### 2.3.3 支持分舱方案的快速修改

船舶舱室划分处于船舶设计的初期,是螺旋上升逐步修改完善的设计过程<sup>[15]</sup>,因此,反复的模型修改是必不可少的。布尔运算是三维建模中运算量最大的操作,只要布尔运算可以快速执行,模型修改就可以快速完成。传统实体造型的记录方法只记录造型结果,而不记录造型过程中各图元边界分割后的交信息,因此,模型重塑时需要重新计算边界,非常耗时。而基于非流形的布尔运算记录了造型过程中的全部信息,因而修改模型时只需对现有信息重组即可,实现了分舱模型的快速重塑。

### 2.3.4 支持二维工程图到三维模型的建立

目前,船舶二维工程图仍被广泛使用,若能实现二维工程图快速转换为三维模型,那么船舶设计环境就可以提高到空间 3D 化。在转换过程中,要依次生成线框、曲面、实体模型,而且生成的三维模型要满足原二维图的三向约束关系。传统的转换方法很费时,由于最终的三维模型要从大量候选形体中选择,是一个 NP 问题。为解决这一搜索问题,可利用非流形模型作为中间统一模型,用该模型来维护约束关系,从中间模型中通过抽取运算获得最终的三维模型。

### 2.3.5 支持后期有限元模型的自动生成

根据船级社规范要求,部分船型要进行有限元计算。传统实体模型生成的有限元网格只能是单一类型的,难以处理由多种有限单元组成的模型。而非流形造型可以实现混合维有限单元的自动生成,非流形舱室模型自动生成有限元网格后可以用于后期有限元计算。

### 2.3.6 支持全过程设计

在船舶设计过程中,不同阶段需要不同层次的模型,即自由曲线面与实体的各种表示。基于实体造型的船舶 CAD 系统只能表达各阶段独立的模型,也就是说只能支持部分设计过程。而不同模型间的数据转换是不可避免的,这种转换应该是双向的,因此,为了实现并行设计,这些模型应该集成起来。虽然 STEP 标准在产品信息建模方面提供了一种独立于任何系统而又能完整描述产品信息的表达机制,实现了不同模型间的数据传递,但传统的造型技术还是无法将多个应用模型统一为一个集成模型,无法实现设计的双向并行。而基于非流形的船舶 CAD 集成模型可以支持船舶全过程设计,对集成模型进行抽取运算可获得各设计阶段的应用模

型。集成模型利用非流形技术在拓扑上将应用模型各自的约束关系关联,构成一个完整的约束空间,对其求解可以得到满足全过程设计要求的设计结果。

### 3 分舱步骤

(1)根据设计要求,建立三维约束系统。

(2)确定第2类分舱理论面的输入参数,生成第2类分舱理论面。

(3)确定第3类分舱理论面的输入参数,生成第3类分舱理论面。

(4)利用非流形造型与其布尔运算,得到分舱理论面与船体曲面相交的提取结果。

(5)显示三维分舱模型。

(6)利用非流形造型与其布尔运算,生成舱容计算模型,进而得到舱容、容心与自由液面惯性矩等。具体流程见图8。

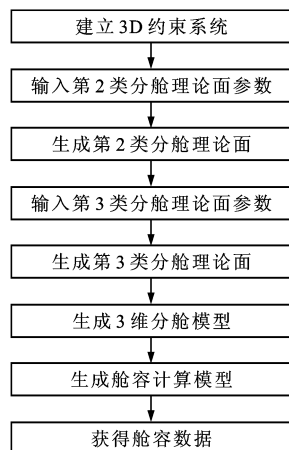


图8 分舱流程

Fig. 8 Subdivision flow

### 4 分舱结果分析

以辽河油田海运有限公司50 000 DWT成品油船舱室划分为例,说明分舱方法的使用过程。油船主尺度见表2。预计划分12个货舱与2个污油舱。

表2 油船主尺度

Tab. 2 Principal dimensions of oil tanker

主要参数	量值/m
总长	195.00
垂线间长	186.00
型宽	34.00
型深	18.00
设计吃水	11.50
结构吃水	12.50

#### 4.1 分舱结果分析

图9~15显示了整个分舱过程。首先设计者根据设计要求,输入参数,生成第2、3类分舱理论面,图9为第2类分舱理论面,图10为第3类分舱理论面。利用非流形造型与其布尔运算获得各分舱理论面和船体曲面相交切割后的分舱模型,图11~13为一个槽形横舱壁(包括顶凳与底凳)的生成过程,图14为最终的分舱模型。通过布尔运算可生成舱容计算模型见图15,舱容要素信息见表3。

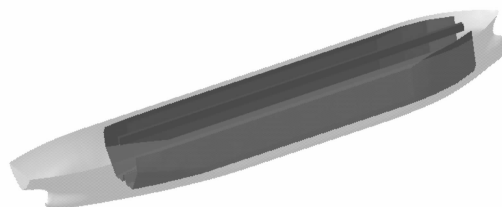


图9 第2类分舱理论面

Fig. 9 No. 2 subdivision planes

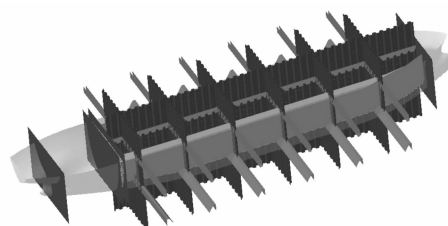
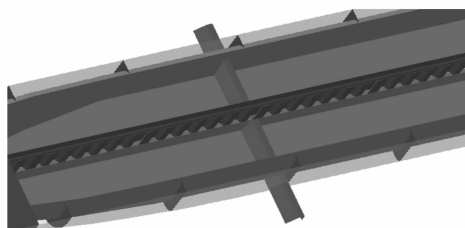
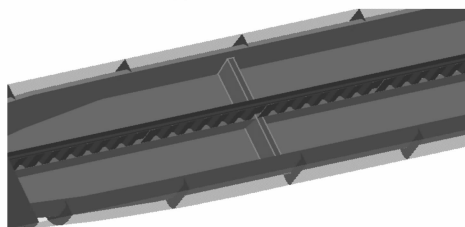


图10 第3类分舱理论面

Fig. 10 No. 3 subdivision planes



(a) 底凳理论面



(b) 底凳

图11 底凳

Fig. 11 Lower stool

由于生成的三维模型保存了约束条件与特征造型全过程,因此,如果要修改模型,设计者只需通过输入新参数即可实现快速修改。例如:要修改底凳面板高度,设计者只需输入新的底凳面板高度,约束系统便会自动求解出新的底凳理论面,特征造型系

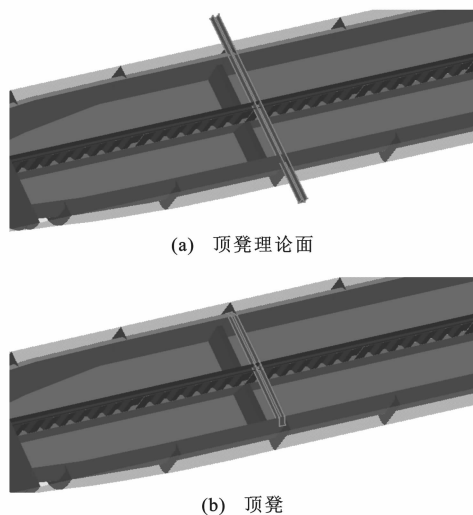


图 12 顶凳  
Fig. 12 Upper stool

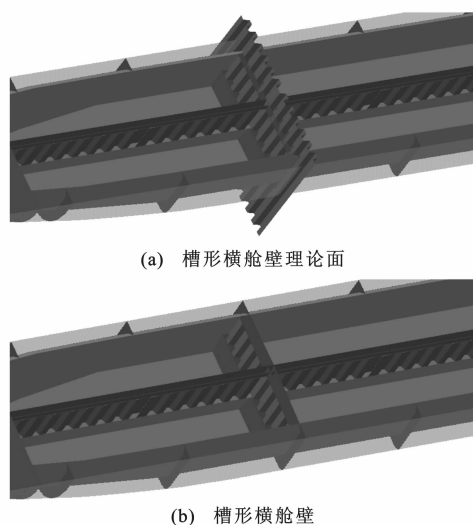


图 13 槽形横舱壁  
Fig. 13 Corrugated bulkhead

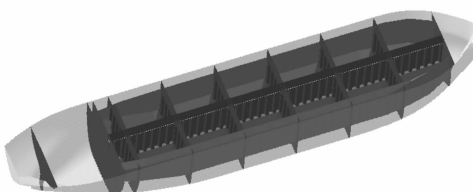


图 14 三维分舱模型  
Fig. 14 3D subdivision model

统会自动修改与其相交的构件,以生成新模型,如槽形舱壁会自动变形以与新底凳匹配,无需人工参与,这就是由于非流形造型技术保存了设计过程(槽形舱壁与底凳的相交运算),而不仅是设计结果,所以当底凳改变时,模型由于记录了这个设计过程,槽形舱壁便可以自动变形以与新底凳匹配了。可见,本文方法可以实现主船体的快速分舱与修改。

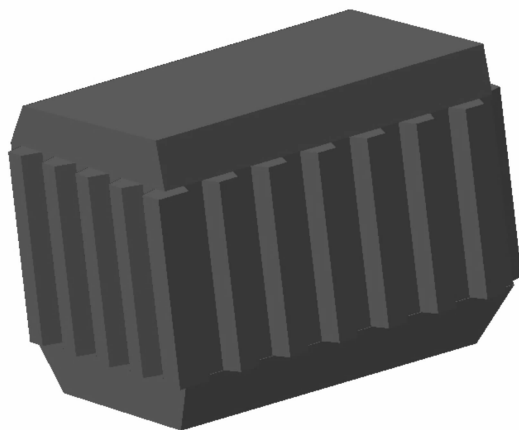


图 15 舱容计算模型  
Fig. 15 Calculation model of hold capacity

表 3 舱容

Tab. 3 Hold capacities

舱名	舱容/ $\text{m}^3$	容心坐标			惯性矩/ $\text{m}^4$
		$x/\text{m}$	$y/\text{m}$	$z/\text{m}$	
货舱 1P	3 981.0	69.42	-6.08	10.40	3 488.84
货舱 1S	3 981.0	69.42	6.08	10.40	3 488.83
货舱 2P	4 889.0	47.92	-7.46	10.10	5 954.69
货舱 2S	4 889.0	47.92	7.46	10.10	5 954.69
货舱 3P	4 915.1	25.85	-7.49	10.10	6 050.89
货舱 3S	4 915.1	25.85	7.49	10.10	6 050.89
货舱 4P	4 915.1	3.73	-7.49	10.10	6 050.90
货舱 4S	4 915.1	3.73	7.49	10.10	6 050.90
货舱 5P	5 085.1	-18.00	-7.49	10.09	6 328.57
货舱 5S	5 085.1	-18.00	7.49	10.09	6 328.57
货舱 6P	4 676.0	-39.86	-7.31	10.20	5 955.65
货舱 6S	4 676.0	-39.86	7.31	10.20	5 955.63
污油舱 P	1 251.6	-54.19	-6.53	10.67	1 453.01
污油舱 S	1 251.6	-54.12	6.53	10.67	1 452.99

## 4.2 分舱方法优势

### 4.2.1 参数化技术的应用

传统分舱方法需要输入每一个舱室的型值信息,而且模型参数传递主要通过设计者手工实现,人工工作量很大,而本文方法应用基于几何约束的参数化技术实现了参数驱动舱室模型的生成,只需输入舱壁位置与内壳折点参数,即可进行参数化分舱,避免了大量舱室型值信息的输入,降低了舱室定义的复杂性。

### 4.2.2 非流形造型技术的应用

传统分舱造型方法往往只记录造型结果,而不记录造型过程中各图元边界分割后的相交信息,这样就导致模型的可变性差,每次少量的参数修改都



需要重新计算这些过程信息,非常耗时。而本文方法应用非流形造型技术记录了分舱时的过程信息,修改模型时只需对这些信息重组即可,实现了分舱模型的快速重塑。

#### 4.2.3 自顶向下设计模式的支持

传统分舱方法是一种自底向上的设计模式,在分舱设计阶段,设计者往往先假定一组参数展开设计,而这些假定需要后续工作才能确定是否合适,如果计算后发现设计方案不满足某一船舶性能指标的要求,就需要重新修改设计参数再次展开设计,如此反复直到找到一组满足设计要求的设计参数。这一过程与正常设计思维不符,制约了设计者设计才能的发挥。而本文方法的设计思想是一种自顶向下的设计模式,能将常规的设计思维直观地体现在设计模型中,弥补了传统方法的不足。

## 5 结 语

本文将非流形造型技术、三维参数化技术及船舶舱室的具体特点相结合,提出了一种自顶向下的快速分舱方法,定义了分舱理论面的概念。非流形造型技术和参数化设计相结合使分舱模型保存了设计全过程的信息,而不只是设计结果,这样可以使模型具有很强的重塑性,便于分舱方案的快速修改与新分舱方案的快速设计,同时也实现了双向并行设计,解决了传统方法修改费时、模型可重用性差、重复性劳动量大等问题。实例表明,设计者应用该方法可以快速有效地执行分舱设计。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] LU Cong-hong, LIN Yan, JI Zhuo-shang, et al. Virtual tanks division and capacity calculation based on NURBS ship-form[J]. Journal of Ship Mechanics, 2007, 11(3): 435-443.
- [2] 战翌婷,刘寅东. 船舶分舱设计程序实现[J]. 船舶工程, 2007, 29(5): 48-51.  
ZHAN Yi-ting, LIU Yin-dong. Realization of the design process of ship subdivision[J]. Ship Engineering, 2007, 29(5): 48-51. (in Chinese)
- [3] 周晓明,张明霞,林 焰,等. 基于 VBA 的船舶交互式智能分舱方法[J]. 船舶工程, 2006, 28(4): 43-45.  
ZHOU Xiao-ming, ZHANG Ming-xia, LIN Yan, et al. Interactive intelligent subdivision method of ship cabins based on VBA[J]. Ship Engineering, 2006, 28(4): 43-45. (in Chinese)
- [4] 陈 强,马 坤. 基于 ObjectARX 的船舶快速分舱程序设计[J]. 中国舰船研究, 2010, 5(3): 67-73.  
CHEN Qiang, MA Kun. Program design for quick bulkhead subdivision based on ObjectARX[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2010, 5(3): 67-73. (in Chinese)
- [5] LEE S U, ROH M I, CHA J H, et al. Ship compartment modeling based on a non-manifold polyhedron modeling kernel[J]. Advances in Engineering Software, 2009, 40(5): 378-388.
- [6] DE KONINGH D D, KOELMAN H, HOPMAN H. A novel ship subdivision method and its application in constraint management of ship layout design[J]. Journal of Ship Production and Design, 2011, 27(3): 137-145.
- [7] CHEN Jing, LIN Yan, HUO Jun-zhou, et al. Optimization of ship's subdivision arrangement for offshore sequential ballast water exchange using a non-dominated sorting genetic algorithm[J]. Ocean Engineering, 2010, 37(11): 978-988.
- [8] YU Yan-yun, CHEN Ming, LIN Yan, et al. A new method for platform design based on parametric technology[J]. Ocean Engineering, 2010, 37(5/6): 473-482.
- [9] 于雁云. 船舶与海洋平台三维参数化总体设计方法研究[D]. 大连:大连理工大学, 2009.  
YU Yan-yun. Study on the method of ship and platform 3D parametric design[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2009. (in Chinese)
- [10] 张学明,施法中. 非流形几何造型及其布尔运算研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2000, 26(6): 714-717.  
ZHANG Xue-ming, SHI Fa-zhong. Research about non-manifold modeling system and its Boolean operation[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2000, 26(6): 714-717. (in Chinese)
- [11] MASUDA H. Topological operators and Boolean operations for complex-based non-manifold geometric models[J]. Computer-Aided Design, 1993, 25(2): 119-129.
- [12] 冯 力,叶尚辉. 非流形几何造型技术与应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1998, 10(5): 393-399.  
FENG Li, YE Shang-hui. Non-manifold geometric modelling techniques and applications[J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 1998, 10(5): 393-399. (in Chinese)
- [13] 寇欣宇,王以忠,彭一准. 基于非流形几何与特征树的异质材料实体可视化方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(4): 532-539.  
KOU Xin-yu, WANG Yi-zhong, PENG Yi-zhun. Heterogeneous object visualization based on non-manifold and feature tree representations[J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2008, 20(4): 532-539. (in Chinese)
- [14] 贾 超,聂绍珉,陈 飞. 基于特征的非流形结构及欧拉算子[J]. 燕山大学学报, 2003, 27(4): 331-335.  
JIA Chao, NIE Shao-min, CHEN Fei. Non-manifold structure supporting feature and Euler operation[J]. Journal of Yanshan University, 2003, 27(4): 331-335. (in Chinese)
- [15] ROH M I, LEE K Y. Generation of the 3D CAD model of the hull structure at the initial ship design stage and its application[J]. Computers in Industry, 2007, 58(6): 539-557.