

基于四面体单元的体素法计算 导管架浮心及浮力

刘 虢

(华南理工大学土木与交通学院, 广州 510640)

摘要: 导管架的浮心浮力计算可以归结于圆柱体与水平面的求交计算。但是圆柱体连接节点与水平面的求交计算很难使用解析方法。本文提出将导管架模型分解为四面体单元, 分析每个四面体单元与水平面的相对关系, 从而计算得到其浮力和浮心, 最终汇总得到整个导管架的浮力浮心。

关键词: 四面体; 体素法; 导管架

The Object Element Method Based on the Tetrahedral Element to Calculate Hydrostatic Properties of the Jacket

LIU Xiao

(South China University of Technology Guangzhou 510640 China)

Abstract: The object element method appeared in recent years has big advantages in computing hydrostatic properties of the floating object with complicated shape. This paper points out the problems in the intersection algorithm of the water plane and the object element. It also presents the object element method based on the tetrahedral element. The jacket can be divided into simple object elements, such as hexahedra, columns and triangle prisms. These object elements can be disassembled into more basic tetrahedral elements. After analyzing the relationship between the tetrahedron and the water plane, the individual element's displacement and floating center can be evaluated. So the hydrostatic properties of the whole jacket can be computed by summing up all the parameters of the tetrahedral elements..

Key words: Tetrahedron; Object element method; Hydrostatic properties; Jacket

1 前言

导管架平台在下水过程中的静水特性计算具有其特殊性和复杂性, 近年来, 许多学者对其进行了相关的研究。在对导管架平台进行建模计算时可以将其拆分为多个圆柱体单元, 然后通过每个单元与水平面的相交关系, 计算出其浮力和浮心, 最终通过叠加方式计算出整个导管架平台的浮力和浮心。估算方式有时误差很大, 张光发[1]将圆柱体与水平面的相交关系分为8种情况, 并得到圆柱体排水体积和浮心坐标的理论解。

但是这种算法并没有考虑圆柱体连接部位的“融合”情况。为了弥补这一不足, 本文在文献[2]的基础上将基于四面体单元的体素法运用于导管架的浮力和浮心计算。

2 基于四面体单元的体素法

文献[3] [4]提出了“体素法”的思想: ①将组合体“离

散”为多个规则单元体(“体素”)。体素的类型有: 四面体、六面体、三棱柱体、圆柱体等。②根据“体素”与水平面的相对关系, 计算其静水力要素(浮力和浮心坐标等), 最后“汇总”得到整体的静水力参数。

2.1 四面体与水平面的相交关系

水平面将空间分成两个区域: 正侧是与水平面法向同侧的区域, 负侧则是另一个区域。根据处于水平面负侧区域的顶点个数, 可将四面体与水平面的剖分关系分为以下5种。

- ① 没有顶点位于水平面正侧;
- ② 一个顶点位于水平面正侧(图1. a);
- ③ 两个顶点位于水平面正侧(图1. b);
- ④ 三个顶点位于水平面正侧(图1. c);
- ⑤ 全部顶点位于水平面正侧。

作者简介: 刘虢(1976-)男, 讲师。

收稿日期: 2010年3月13日

本课题得到了华南理工大学2009年校级实验教学改革研究项目(项目编号: x2tj-Y1090240)的支持”。

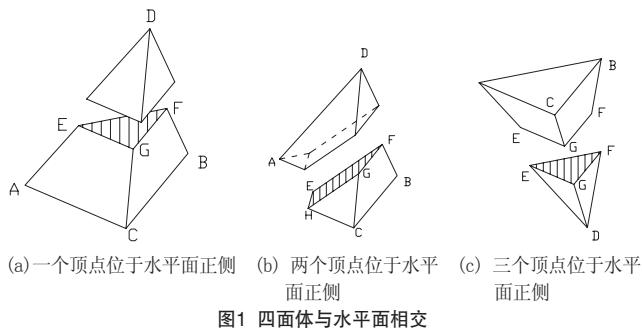


图1 四面体与水平面相交

2.2 基本体素分解为四面体单元

2.2.1 三棱柱分解为四面体单元

三棱柱ABC-DEF (图2) 可以分解为三个四面体: ①ABCE, ②ACDE, ③CDFE。

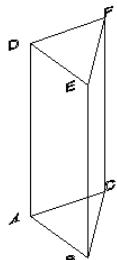


图2 三棱柱

2.2.2 圆柱体分解为三棱柱体素

假设圆柱体高为 h , 半径为 r , 可将其分为 n 个三棱柱 (图3)。

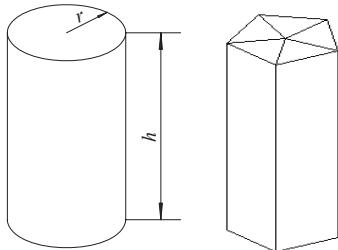


图3 圆柱体分解为三棱柱

用组合三棱柱代替圆柱体所产生的误差

$$\varepsilon = \frac{V_2 - V_1}{V_1} = - \left[1 - \frac{n}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right) \right]$$

其中: 圆柱体体积 $V_1 = \pi r^2 h$

$$\text{三棱柱组合体体积 } V_2 = \frac{1}{2} nr^2 \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right) h$$

表1 用多个棱柱代替圆柱体所产生的体积误差

等分数 n	误差 %
10	-6.45
20	-1.64
30	-0.73

根据表1计算结果可知: 当等分数 $n > 30$ 就可以很好的降低误差。

2.2.3 六面体分解为四面体单元

六面体ABCD-EFGH (图4) 可拆分为5个四面体: ①ABCF, ②HFCG, ③AFHE, ④AHCF, ⑤AHCD。

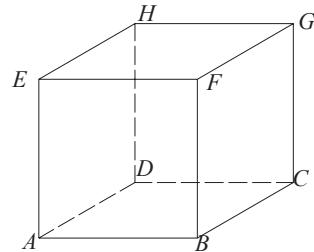


图4 六面体

2.3 计算组合体的静水力特性

将浮体分解为各类体素, 然后就可以分别计算每个体素的排水体积和体积矩。最终可以计算得到整个浮体的排水体积和浮心坐标。假设浮体可以分解为 n 个体素, 则

$$\text{体积 } V = \sum_{i=1}^n V_i \quad (1)$$

$$\text{体积矩 } V_x = \sum_{i=1}^n V_i x_i, V_y = \sum_{i=1}^n V_i y_i \quad (2)$$

2.4 管结点

本文算法的精度取决于模型的精细程度。比如图5中半潜式海洋平台在圆圈区域内两个圆柱体的交接处 (管结点) 如果按照图6的方式建模, 则会对计算精度产生不利影响。

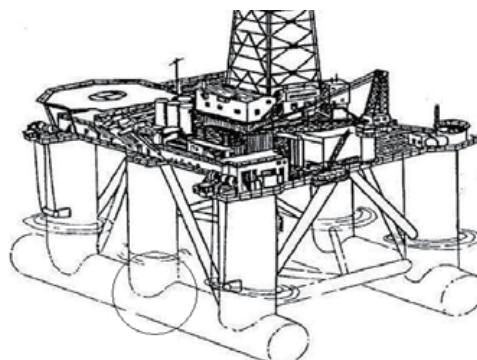
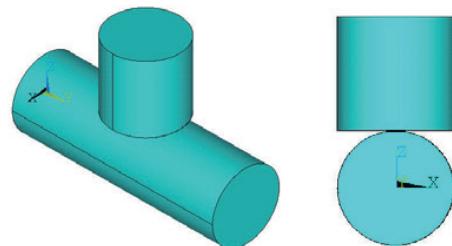


图5 某半潜式海洋平台

(a) 三维视图

(b) 主视图



(a) 三维视图

(b) 主视图

图6 错误的管结点模型

正确的做法应该考虑两个圆柱体在“管结点”相交部分的“融合” (图7), 在融合部分采用六面体或四面体单元建模,

其它部分采用圆柱体素建模。

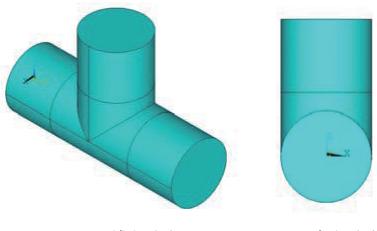


图7 正确的管结点模型

3 算例

3.1 圆柱体与水平面相交

文献[1]对一直径为4m的圆柱体和水平面相交的14种典型状态进行了分析(图8)，并给出了排水体积的精确解。本文则用三棱柱体素对该圆柱体进行网格划分，同样得到这些状态下圆柱体的排水体积(表2)。

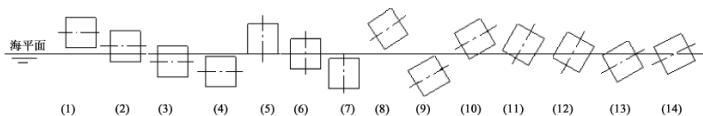


图8 圆柱体与水平面的关系

表2 圆柱体数据及计算结果

No	A(x)	A(y)	A(z)	B(x)	B(y)	B(z)	精确解	本文数 值解	误差%
1	0	0	3	4	0	3	0	0	0
2	0	0	1	4	0	1	9.827	9.705	-1.241
3	0	0	-1	4	0	-1	40.439	40.194	-0.606
4	0	0	-3	4	0	-3	50.265	49.899	-0.728
5	0	0	0	0	0	4	0	0	0.000
6	0	0	-2	0	0	2	25.133	24.949	-0.732
7	0	0	-5	0	0	-1	50.265	49.899	-0.728
8	0	0	3	3.464	0	5	0	0	0.000
9	0	0	-5	3.464	0	-3	50.264	49.898	-0.728
10	0	0	1	3.464	0	3	1.157	1.13	-2.334
11	0	0	-0.5	2	0	2.964	7.837	7.772	-0.829
12	0	0	-1.5	2	0	1.964	21.766	21.607	-0.730
13	0	0	-2	3.464	0	0	41.027	40.761	-0.648
14	0	0	-0.894	3.578	0	0.894	25.133	24.949	-0.732

注:表中A(x)、A(y)、A(z)与B(x)、B(y)、B(z)分别为圆柱体两端点坐标,单位为m。

3.2 圆柱体节点与水平面相交

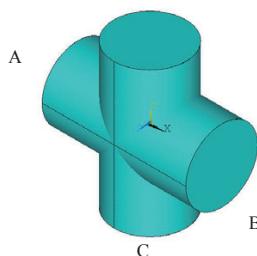


图9 圆柱体节点

两个圆柱体AB和CD构成一个“管结点”(图9)，直径10 cm，长度20 cm，通过十字交叉的形式连接在一起。圆柱体CD和圆柱体AB进行逻辑减运算，利用有限元软件ANSYS对剩下的部分

进行六面体单元网格划分(图10)。

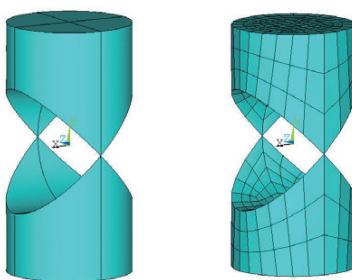


图10 管结点的网格划分

图11种列举了管结点的6种工况。其中①②③中管结点中心分别在水面以下:0 m、3 m、6 m。④~⑥分别是①~③中模型绕中心旋转45°的结果。6种工况下“管结点”的浮力和浮心坐标列在表3中。其中“AutoCAD解”是采用AutoCAD软件作图得到的结果，“文献解”是采用文献[1]的方法得到的结果，不考虑圆柱体在交叉处的“融合”。

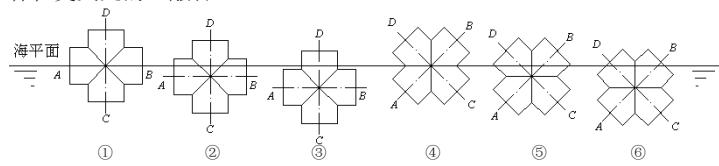


图11 管结点和水平面的相对位置 通栏

表3 各种工况下管结点的浮力和浮心

模型与 水平面 的相对 关系	AutoCAD解			文献解			本文解		
	体积	浮心高 度	体积	体积误 差%	浮心高 度	体积	体积误 差%	浮心高 度	
1	1 237.46	-3.93	1 570.80	26.94	-3.56	1 226.53	-0.88	-3.91	
2	1 805.07	-5.23	2 368.17	31.20	-4.87	1 791.93	-0.73	-5.22	
3	2 160.76	-7.16	2 827.43	30.85	-6.89	2 143.49	-0.80	-7.16	
4	1 237.46	-4.21	1 570.80	26.94	-3.76	1 226.49	-0.89	-4.20	
5	1 659.30	-5.73	2 237.23	34.83	-5.19	1 644.99	-0.86	-5.73	
6	2 169.82	-7.04	2 833.18	30.57	-6.80	2 152.05	-0.82	-7.03	

4 结语

- 1) 基于四面体单元的体素法可以比较精确的计算出导管架平台的浮力和浮心。
- 2) 如果不考虑圆柱体在交叉处的“融合”将会导致较大误差，本文方法很好的解决了这一问题。
- 3) 推广开来，对于任何复杂形状的浮体，本文方法同样适用。

参考文献

- [1] 张光发,纪卓尚,李铁骊,林焰.导管架下水过程中浮力及浮心精确计算[J].海洋工程,2007(1):15~20
- [2] 刘虓.基于四面体网格的静稳定性力臂计算方法[J].广东造船,2006(3):11~15
- [3] 雷栋.离散组合体稳定性曲线计算原理与程序实现[D].大连理工大学,2003
- [4] 孙承猛,刘寅东.组合体破损稳定性计算方法研究[J].中国海洋平台,2005(6):34~36