基于 CATIA 和 Patran 的船舶液舱舱容变形量研究

撰文／青岛远洋船员职业学院　张俊　贠亚杰

船舶液舱舱容计量的方法很多，包括 B 样条法、tank 计算软件等，但目前使用的方法中均没有考虑液舱板架结构的变形这一因素。本文主要研究液舱板架结构在不同载况下的变形对舱容的影响：首先使用有限元分析软件 Patran 计算液舱变形，然后将变形后的节点数据导入三维建模软件 CATIA 并生产新的三维模型，由 CATIA 软件计算变形后的舱容。

国际石油贸易中石油主要采用水运方式运输，船舶运输的同时也作为测量石油等液货体积的计量器具。近年来，液货舱计量的精确性越来越受到重视。由于船舶本身形状及内部构造复杂，加上船舶浮态和载况多样，影响舱容测定的因素较多，测量难度大。当船舶航行时，受到不同载况的影响，会使液货舱发生不同的变形导致舱容改变。

一、CATIA 软件运用宏命令计算舱容

对于船舶来说，装载之后的液货舱虽然变形较小，显示出来的仍旧是规则舱形状，实际上液舱各个舱壁已变成了有微小凸起或者凹进的曲面，因此我们在研究中可以将液货舱看做一个曲面。CATIA 软件曲面造型功能很强，我们可以利用该功能来完成曲面的创建。

（1）对于节点数据较少的模型，可以利用 CATIA 中的 GSD_Point Spline Loft From Excel.xls 手动操作建模，先输入点坐标，再由点连成线、由线形成面。但本文中液舱节点数量大、曲线多，手工输入方法不可行。

（2）对于大量数据曲面拟合我们也可以采用编译宏命令来实现自动读入数据。

首先导出变形后的液货舱节点数据，然后利用宏命令将节点数据导入 CATIA 中，随即自动完成曲面造型。以某液舱为例，如图 1 所示。完成节点数据的输入后，我们需要使节点按照一定的顺序形成样条曲线，如图 2 所示。将曲线连成曲面，曲面拟合便可以得到变形后的液舱体积。

通过该方法的研究可以发现，该方法进行液货舱曲面拟合的前提是知道液货舱节点坐标，Patran 有限元计算后，虽然能够得到变形后节点坐标，但是不能直接导出变形后的节点坐标，而是分别导出变形前节点坐标以及变形后节点位移。因此利用该方法计算时必须手工将变形前的节点坐标以及变形后的位移导出，在进行节点数据的整理后才能得到坐标数据，并且整理时需要区分出内壳部分的节点坐标，操作比较繁琐，我们下面来介绍另一种更加简便的方法。

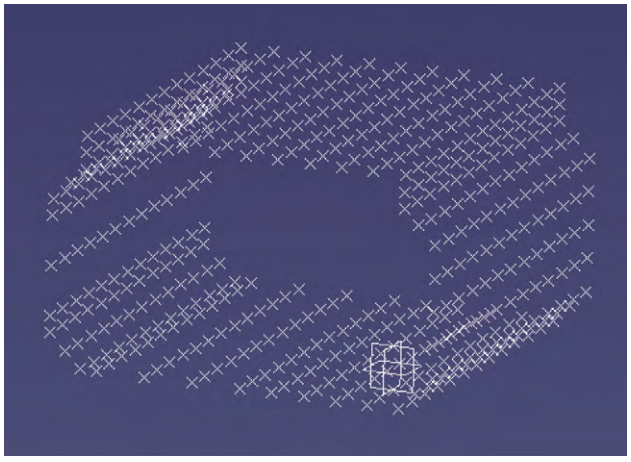

图 1 某液货舱节点云图

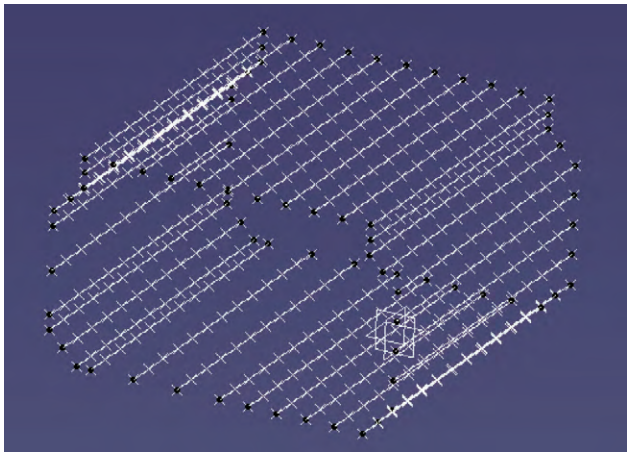

图 2 液货舱曲线

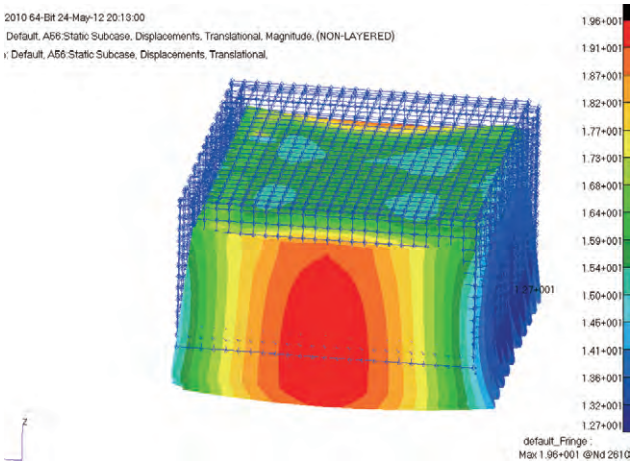

图 3 变形云图

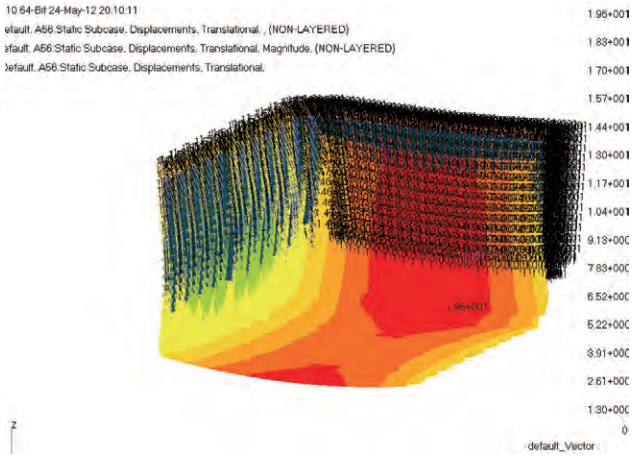

图 4 网格节点变形向量

二、基于 Patran 计算结果的容积计算方法

上述方法的主要问题集中在液货舱节点坐标导出这一环节上，现在介绍一种方法，避免了节点坐标导出这一环节，而是直接将变形之后的液舱模型导出，最终达到完成体积计算的目的。

首先在有限元软件 Patran 中进行计算，得到强度及变形结果，然后利用 Patran 软件将原模型的网格移动到变形后网格位置，再将变形之后的网格生成几何并输出到 CAD 软件中，就完成了变形后模型的导出。

以其中一种结构形式为例，图 3 为该结构装载后的变形云图（液舱内壳云图）。

（1）以向量表示变形结果。由于目的是计算变形后液舱舱容，因此对于双壳船，只需要知道变形后内壳容积即可，模型其他部分隐藏。网格节点变形向量如图 4 所示。

（2）创建 FEM 场及移动网格。为将液舱节点移动到变形之后的位置，在菜单中创建 FEM 场。

在工具中找到 FEM—Nodes/Node modify By Field 工具，并选择第二步中创建的 FEM 场，就完成了网格移动到变形之后的位置这一步。变形后网格如图 5 所示。

（3）将壳单元生成几何面。

（4）最后将几何体导出，由于我们使用 CATIA 软件来进行后续的计算，因此导出为 IGES 格式，导出时注意 Patran 导出几何体的默认单位为英尺，因此需要将单位修改为毫米。

（5）导出文件并在 CATIA 中打开。变形后的模型如图 6 所示。

几何体导入后，进行简单的结合及封闭操作就得出该封闭几何体的体积，如图 7 所示。

该方法操作比较简单，没有大量的数据整理过程，可以减少错误出现的概率，可行性比较强，是一种比较简单有效的舱容计算方法，本论文中多采用该方法计算变形后的舱容。

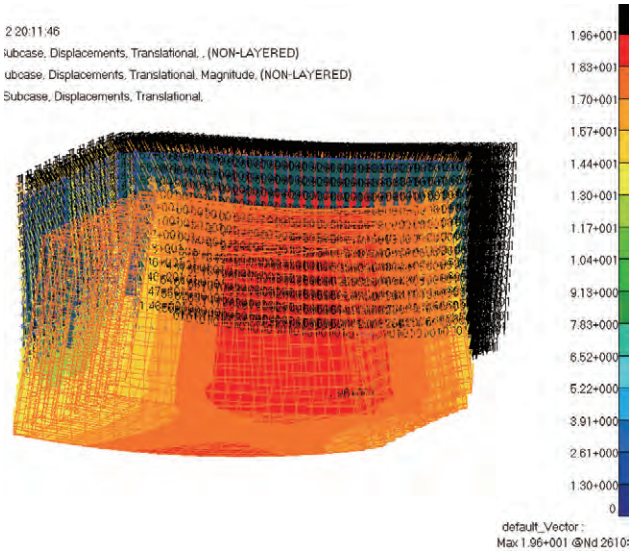

图 5 变形后网格

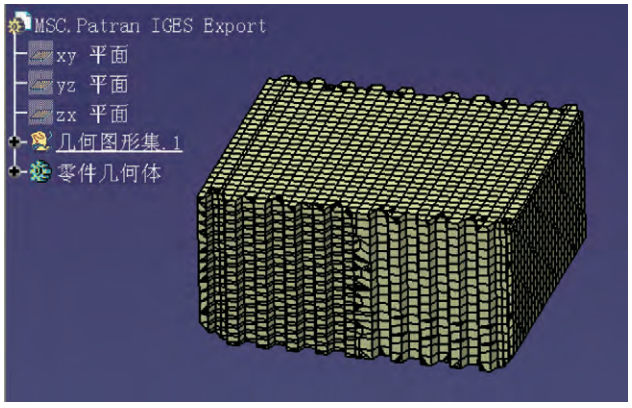

图 6 变形后模型

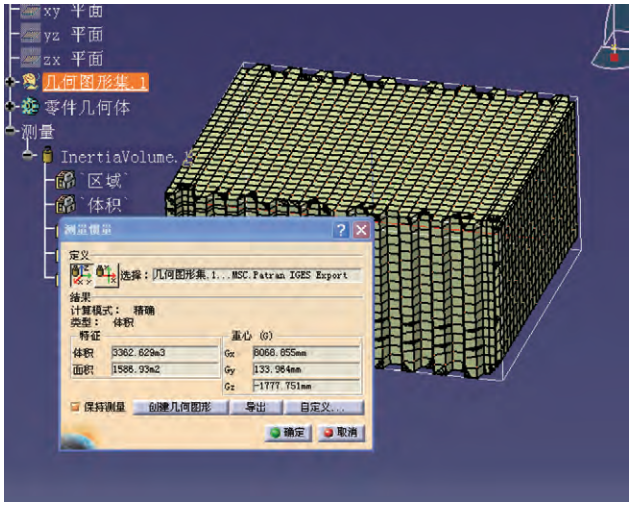

图 7 容积计算

三、以 11800 吨油船为例计算液舱舱容

1. 11800 吨油船模型简介

实船主要参数为：总长为 134.85m；垂线间长为 126.00m；型宽为 22.00m；型深为 10.60m；双层底高为 1.50m；设计吃水为 7.50m；结构吃水为 7.80m；载重量为 11800t。油船结构图如图 8 所示，典型横剖面图如图 9 所示。

图 8 油船结构图

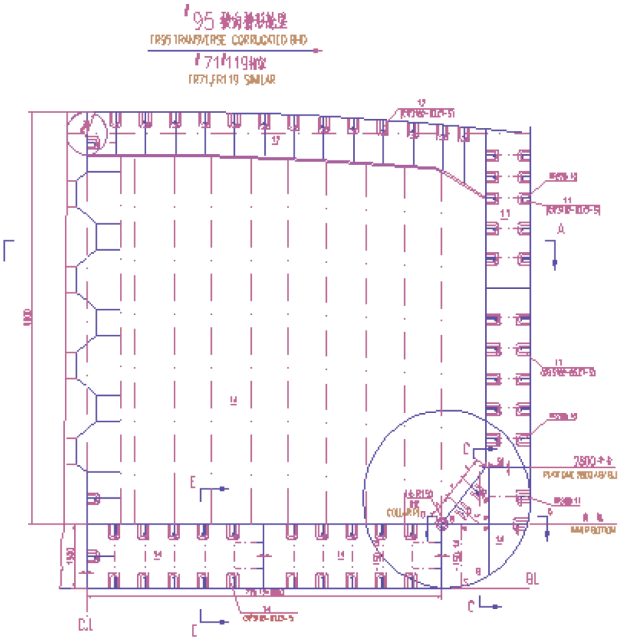

图 9 典型横剖面图

首先建立该油船的典型舱段模型即第三油舱，将该舱段作为舱容变形研究的典型舱段，并且按照规范，建模时采用 1/2+1+1/2 形式建立模型，为 #83 肋位至 #131 肋位之间结构。建模时务必使模型更贴近真实结构以保证研究的准确度。

根据该油船的结构图资料，在 Patran 软件内进行有限元建模。图 10 为主要部分限元模型。

2. 载荷计算与加载

根据规范规定的边界条件计算船体在满载工况下的弯矩与剪力，得出弯矩剪力值后，直接在 Patran 中完成加

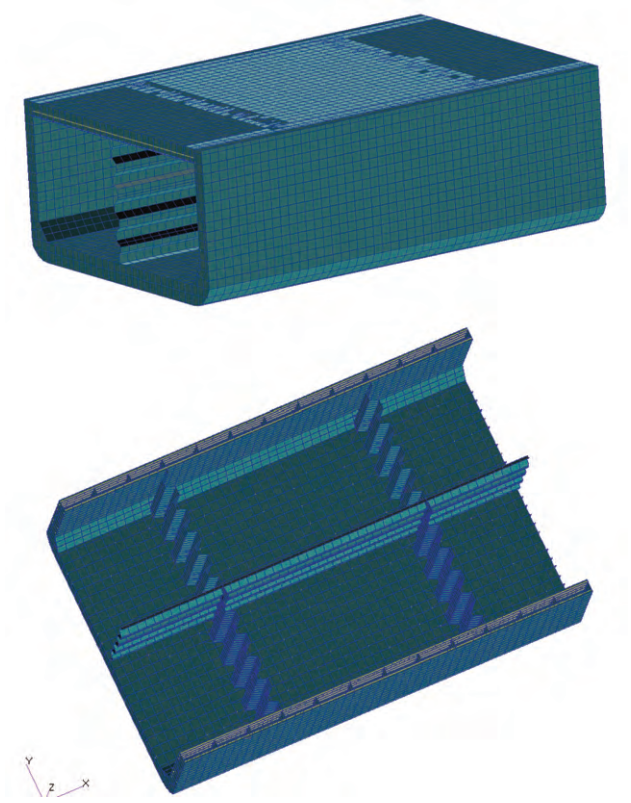

图 10 有限元模型

载。其中载荷值可以采用 Maxsurf 软件计算以下是计算出的 #83 肋位与 #131 肋位的弯矩剪力值。表 1 为载荷表，表 2 为边界条件表。

表 1 载荷表

	弯矩	剪力
#83 肋位	-60.179×10^{7}N · m	-1.908×10^{7}N
#131 肋位	-64.705×10^{7}N · m	1.698×10^{7}N

表 2 边界条件表

自由度	前端面（独立点 A）	纵舱壁	后端面（独立点 B）
μx	Link （0）	——	Link （——）
μy	—— （0）	0	—— （0）
μz	Link （0）	——	Link （0）
φx	—— （0）	0	—— （0）
φy	Link （——）	——	Link （——）
φz	Link （0）	0	Link （0）

表注：（1）不施加约束。（2）相关：所有纵向单元节点与中心线中和轴处的独立刚性连接。

3. 结构及参数对舱容变形影响的计算

由于本文主要研究板厚和构件强度对于舱容变形的影响，为了充分研究，因此需要合理更改船舶各个参数，使研究结果更加全面。下面就分别更改板厚、构件强度来进行舱容变形计算。板厚为 8mm 变形计算结果如图 11 所示。

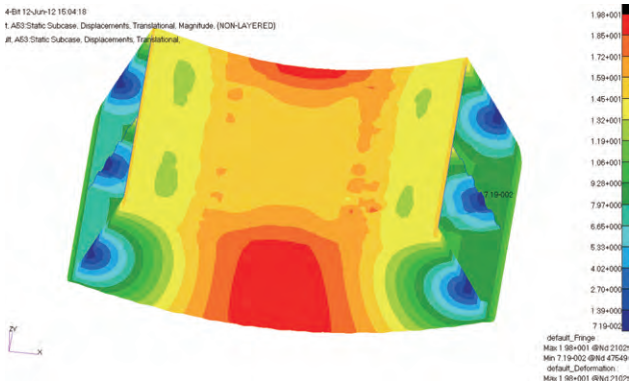

图 11 变形云图

根据有限元计算结果，利用以上方法，将原模型网格移动到变形之后的网格位置后，导入 CATIA 中计算舱容结果，如图 12 所示。

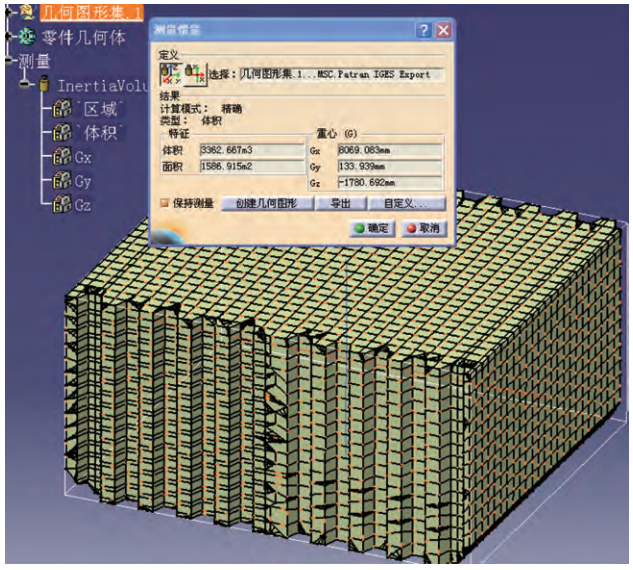

图 12 舱容计算

由于油船装载时油舱内满载是指 98% 装载，因此在计算体积时应该忽略甲板变形。模型导出时是将变形后的液舱模型导出，这其中也包含甲板变形。因此需要计算甲板变形而导致的舱容变化量，将该值与变形后舱容值加和算出舱容变形后的实际体积。甲板导致变形舱容量计算如图 13 所示。

依次计算 9mm、10mm、11mm 和 12mm 板厚时的舱容以及不同板厚时对应不同型号构件的舱容。舱容计算结果如表 3 ～ 8 所示。

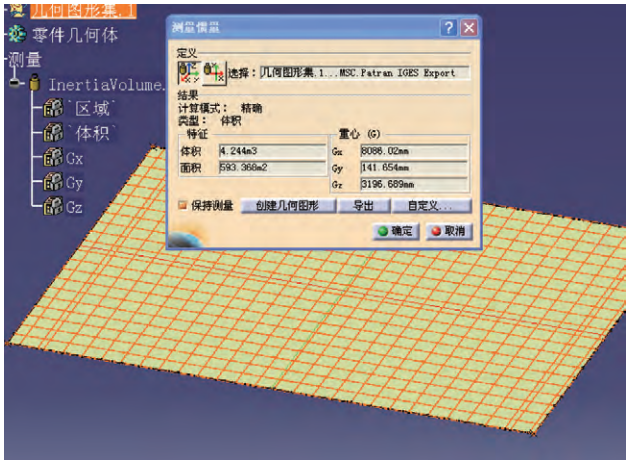

图 13 甲板产生变形体积

表 3 变形后舱容计算表

板厚	8mm	9mm	10mm	11mm	12mm
变形后舱容 (m^3)	3367.603	3367.228	3366.911	3366.639	3366.405
变形率	1.66657‰	1.55503‰	1.4607‰	1.37983‰	1.31023‰
前横舱壁最大变形 (mm)	16.7	15.3	14.1	13.1	12.2
后横舱壁最大变形 (mm)	16.1	14.8	13.6	12.7	11.8
左舷纵舱壁最大变形 (mm)	19.5	17.9	16.5	15.3	14.3
右舷纵舱壁最大变形 (mm)	19.5	17.9	16.5	15.3	14.3
内底板最大变形 (mm)	19.1	17.4	16.0	14.8	14
最大变形 (mm)	19.5	17.9	173	15.3	14.3
最大应力 (MPa)	207	188	173	161	149

表 4 变形后舱容计算表

板厚 8 (mm)	L100×63×10	L125×80×12	L160×100×14	L200×125×16
变形后舱容 (m^3)	3367.603	3367.35	3367.002	3366.733
变形率	1.66657‰	1.60564‰	1.4878‰	1.40779‰
前横舱壁最大变形 (mm)	16.7	15.7	14.3	13.6
后横舱壁最大变形 (mm)	16.1	15.2	13.9	13
左舷纵舱壁最大变形 (mm)	19.5	18.3	16.8	15.5
右舷纵舱壁最大变形 (mm)	19.5	18.3	16.8	15.5
内底板最大变形 (mm)	19.1	17.9	16.4	15.2
最大变形 (mm)	19.5	18.3	16.8	15.5
最大应力 (MPa)	207	198	188	178

表 5 变形后舱容计算表

板厚 9 (mm)	L100×63×10	L125×80×12	L160×100×14	L200×125×16
变形后舱容 (m^3)	3367.228	3367.014	3366.717	3366.485
变形率	1.55503‰	1.49137‰	1.40303‰	1.33403‰
前横舱壁最大变形 (mm)	15.3	14.4	13.2	13.8
后横舱壁最大变形 (mm)	14.8	14	12.9	12.1
左舷纵舱壁最大变形 (mm)	17.9	16.9	15.5	14.4
右舷纵舱壁最大变形 (mm)	17.9	16.9	15.5	14.4
内底板最大变形 (mm)	17.4	16.5	15.2	14.1
最大变形 (mm)	17.9	16.9	15.5	14.4
最大应力 (MPa)	188	181	171	163

表 6 变形后舱容计算表

板厚 10（mm）	L100×63×10	L125×80×12	L160×100×14	L200×125×16
变形后舱容（m^3）	3366.911	3366.728	3366.526	3366.269
变形率	1.4607‰	1.40631‰	1.34622‰	1.26978‰
前横舱壁最大变形（mm）	14.1	13.3	12.3	11.9
后横舱壁最大变形（mm）	13.6	12.9	12	11.3
左舷纵舱壁最大变形（mm）	16.5	15.6	14.5	13.5
右舷纵舱壁最大变形（mm）	16.5	15.6	14.5	13.5
内底板最大变形（mm）	16.0	15.3	14.1	13.2
最大变形（mm）	16.5	15.6	14.5	13.5
最大应力（MPa）	173	166	159	158

表 7 变形后舱容计算表

板厚 11（mm）	L100×63×10	L125×80×12	L160×100×14	L200×125×16
变形后舱容（m^3）	3366.639	3366.482	3366.258	3366.08
变形率	1.37983‰	1.33314‰	1.26651‰	1.21356‰
前横舱壁最大变形（mm）	13.1	12.4	11.5	10.5
后横舱壁最大变形（mm）	12.7	12.1	11.2	10.6
左舷纵舱壁最大变形（mm）	15.3	14.6	13.6	12.7
右舷纵舱壁最大变形（mm）	15.3	14.6	13.6	12.7
内底板最大变形（mm）	14.8	14.2	13.2	12.4
最大变形（mm）	15.3	14.6	13.6	12.7
最大应力（MPa）	161	154	148	139

表 8 变形后舱容计算表

板厚 12mm	L100×63×10	L125×80×12	L160×100×14	L200×125×16
变形后舱容（m^3）	3366.405	3366.267	3366.069	3365.912
变形率	1.31023‰	1.26919‰	1.21029‰	1.16359‰
前横舱壁最大变形（mm）	12.2	11.6	10.8	10.6
后横舱壁最大变形（mm）	11.8	11.3	10.6	10
左舷纵舱壁最大变形（mm）	14.3	13.6	12.7	12
右舷纵舱壁最大变形（mm）	14.3	13.6	12.7	12
内底板最大变形（mm）	14	13.3	12.4	11.7
最大变形（mm）	14.3	13.6	12.7	12
最大应力（MPa）	149	162	150	141

4. 板厚及构件强度变化时的舱容曲线

根据计算结果，我们可以绘制出相应的曲线，如图 14 所示。为了对比明显，将舱容变化率作为曲线的纵坐标，将构件横截面积作为横坐标。5 条曲线分别代表不同板厚，每一板厚对应四种强度不同的构件，其横截面积为 $15mm^2 \sim 50mm^2$。

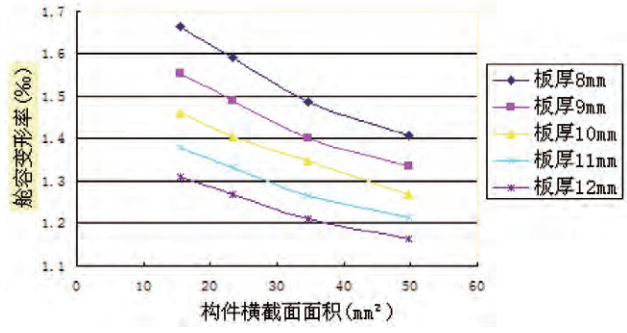

图 14 舱容变化率曲线

由图 14 可以看到，板厚越薄，舱容变化曲线的曲率变化越大，构件横截面面积对舱容的影响也就越大。并且，随着板厚增加，不同板厚、相同构件之间相比较，板厚厚度越大则板厚差相同时舱容变化量曲线越密集，板厚是影响舱容变化的一个主要因素，构件强度这一因素次之。

四、结语

本文主要应用有限元分析软件 Patran 和三维建模软件 CATIA 计算了船舶受力变形后对船舶液货舱舱容的影响，可以更精确地测量采用船舶运输的液货体积。本文中的计算方法可以得到受力变形后的几何模型，对其他类似问题也有参考价值。