

# 船体结构应力集中数值计算

王甲畏 何祖平 王德禹

上海交通大学船舶与海洋工程学院结构力学研究所

# 船体结构应力集中数值计算

## FEM Computation for the Stress Concentration of ship structures

王甲畏 何祖平 王德禹

上海交通大学船舶与海洋工程学院结构力学研究所 200030

**摘要：**结构在不连续及开口处容易产生应力集中，进而会产生结构的局部破坏，危害到整船的安全性。本文通过有限元数值计算，对某船体进行了整体有限元计算，并选取部分构件进行了应力集中分析。针对该船体的结构特点，模型主要采用板梁单元，采用大型通用有限元软件 MSC.Nastran 进行了数值模拟分析。计算结果显示，在开口的部位应力集中现象很明显，通过与利用光弹性试验得到的结果比较，发现两种方法的结果中应力集中的位置基本吻合，大小也比较接近，证明了有限元计算的可靠性。

**关键词：**有限元 应力集中 船体结构 MSC.Nastran

### 1 前言

根据有关资料，某型船分别在甲板，侧壁和内底上有较大的开口。由于几何形状的突变，当船体在波浪上行驶时，大开口角隅处会产生较大的应力集中，这种现象将是造成角隅处低周疲劳破坏或脆性断裂的主要因素，从而导致对船体总强度安全的严重威胁。为了保证船体强度，必须对这种应力集中现象做细致的分析，并对应力集中系数比较大的区域采取必要的加强措施。

### 2 力学模型

限于篇幅的大小，本文主要选择该船的机舱段来研究。该机舱段主要由内底、外板、舱壁、纵桁和肋板等结构组成。本机舱段位于总船的中部。其结构相对比较简单，同时在内底上有若干的开孔，这些地方都可能产生应力集中。针对机舱段的结构特点，忽略内底上的一些小的开孔，只保留两处比较大的且重要的开口（此处取为开口 1，开口 2，见图 1）。针对船体的结构特点，模型建立时主要采用板梁单元对船体结构进行模拟，为了分析的精确性及方便性，采用梁单元模拟纵骨、舱壁和围壁的扶强材，强横梁，纵桁以及强肋骨等 T 型材的腹板用板单元来模拟，翼缘板用矩形梁单元模拟。本模型节点数 6495 个，单元数 13859 个。

### 3 载荷工况和边界条件

计算中考虑机舱受一沿船体长度方向的拉力作用，由于我们只关心应力集中现象，而不考虑应力的实际大小，为了便于数据分析，取拉力的值的大小为 1 牛顿。

实际在有限元模型中施加载荷时，考虑结构的受一总体拉力的作用，在前端面首部首先定义一个节点，把前端面上的所有节点都定义成一个 MPC，然后把作用力加在这个节点上。

边界条件的选取为：把后端面刚性固定，即完全限制这些点的线位移和转动。

## 4 材料参数

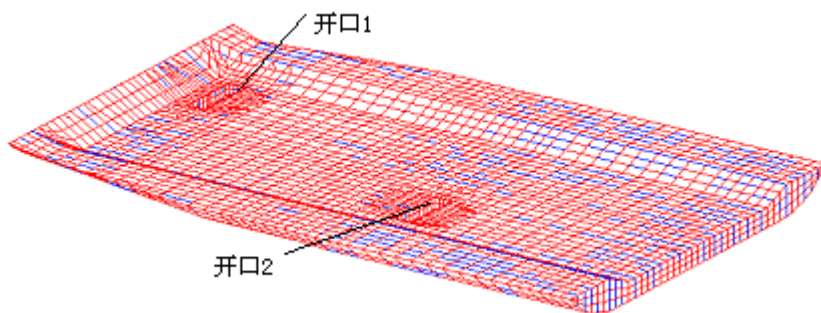
计算中取材料特性如下

弹性模量： $E = 210 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$

泊松比： $\nu = 0.3$

质量密度： $\rho = 7.8 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$

长度单位：mm



1 机舱段整体有限元模型

## 5 计算结果

### 5.1 内底开口 1 处

图 2 和表 1 分别是内底开口 1 处的应力分布云纹图和应力值。

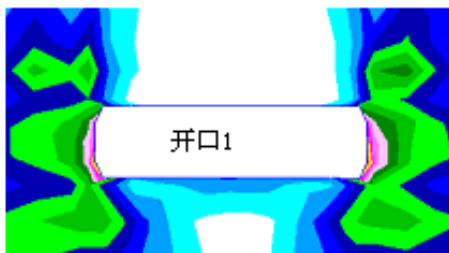


图 2 开口 1 处的应力云纹图

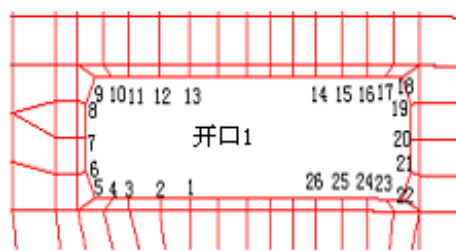


图 3 开口 1 处的节点标号

表 1 开口 1 处的各节点应力值 (Mpa)

节点标号	MISES 应力	节点标号	MISES 应力
1	4.285E-007	14	1.106E-007
2	3.609E-007	15	1.472E-007
3	3.230E-007	16	2.614E-007
4	7.412E-007	17	4.153E-007
5	1.562E-006	18	9.721E-007
6	1.981E-006	19	1.469E-006

7	1.444E-006	20	1.628E-006
8	1.432E-006	21	2.071E-006
9	9.352E-007	22	1.549E-006
10	4.072E-007	23	7.529E-007
11	2.292E-007	24	3.585E-007
12	1.427E-007	25	3.389E-007
13	1.172E-007	26	3.833E-007

## 5.2 内底开口 2 处

图 4 和表 2 分别是内底开口 2 处的应力分布云纹图和应力值。

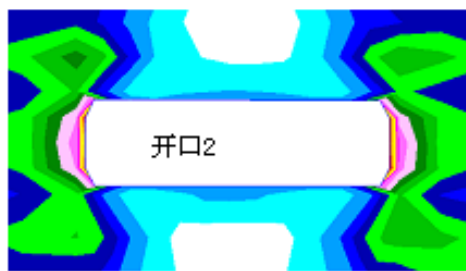


图 4 开口 2 处的应力云纹图

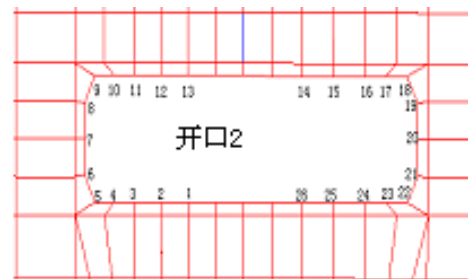


图 5 开口 2 处的节点标号

表 2 开口 2 处的应力值 (Mpa)

节点标号	MISES 应力	节点标号	MISES 应力
1	5.008E-007	14	4.468E-007
2	4.181E-007	15	4.143E-007
3	4.493E-007	16	4.214E-007
4	6.616E-007	17	6.196E-007
5	1.349E-006	18	1.355E-006
6	1.974E-006	19	1.972E-006
7	1.772E-006	20	1.907E-006
8	2.092E-006	21	2.093E-006
9	1.469E-006	22	1.440E-006
10	6.800E-007	23	6.724E-007
11	4.419E-007	24	4.258E-007
12	4.035E-007	25	4.116E-007
13	4.364E-007	26	4.848E-007

## 5.3 光弹试验结果

图 6、7 是利用光弹性试验得到的应力云纹图。图 6、7 中的阴影区不是应力云纹，而是构件连接处。

表 3 列出了相应的最大应力，平均应力以及应力集中系数。

表 3 光弹试验结果

开口号	最大应力值 (以条纹级表示)	平均应力 <sub>平均</sub> (以条纹级数表示)	应力集中系数 $k$
1	1.9908	0.9065	2.196
2	1.9597	0.9065	2.162

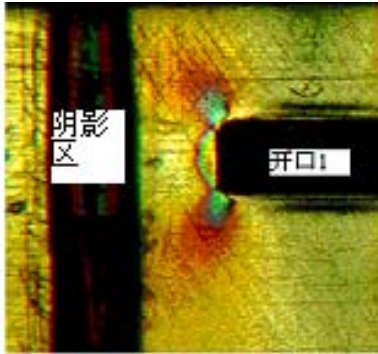


图 6 开口 1 处光弹试验云纹图

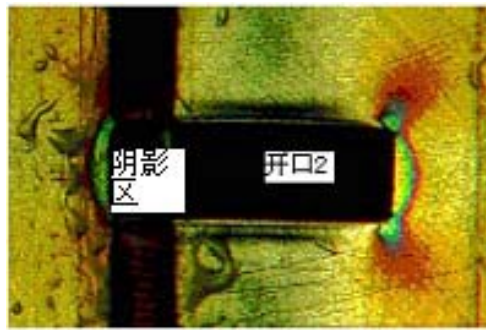


图 7 开口 2 处光弹试验云纹图

## 6. 结论

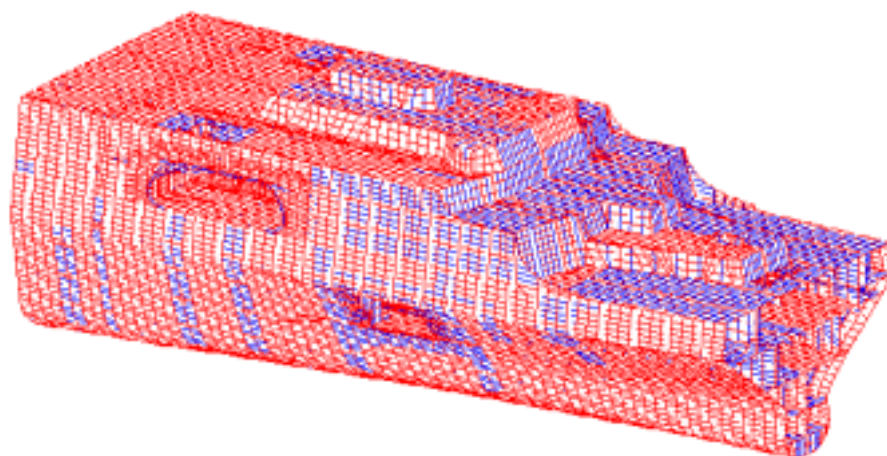
由于最关心的是应力集中现象，而不是应力的实际大小，从上面的结果中可以看出，利用有限元计算得到的应力集中云纹图与用光弹性试验得到的光谱图非常符合。这也验证了有限元计算结果的可靠性与准确性，另外，根据计算结果，可以对应力集中现象比较明显的区域进行相应的改进或保护措施，以增加整个结构的安全性。

另外，除了机舱段，我们还对该船的前、后端部分别进行了分析，在此处，只列出一些有限元结果。图形列在附图中。

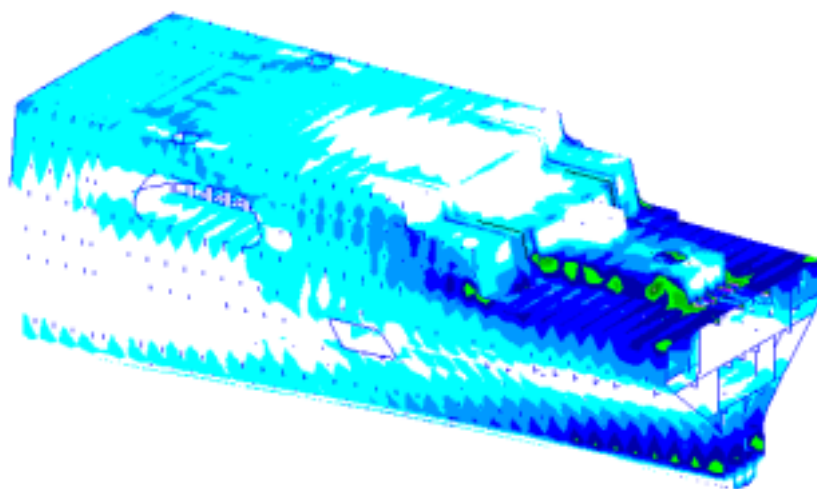
## 参考文献

[1] MSC.Patran User's Manual , MSC.Nastran User's Manual .

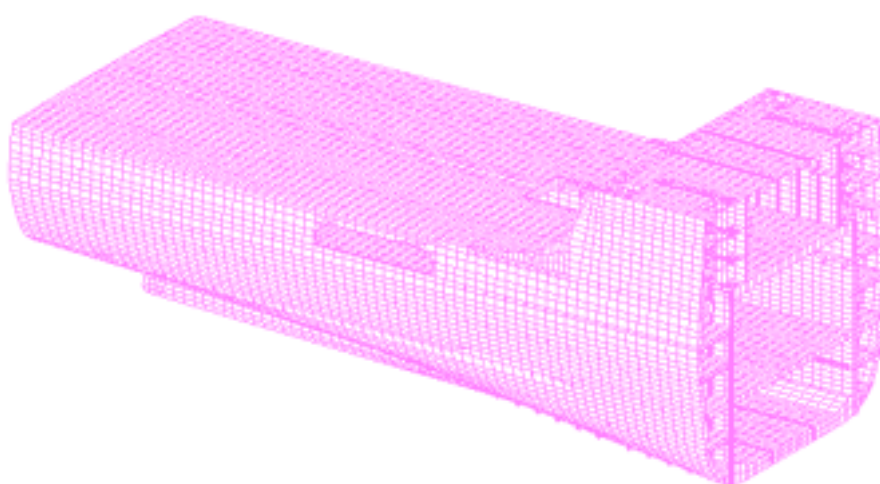
## 附图



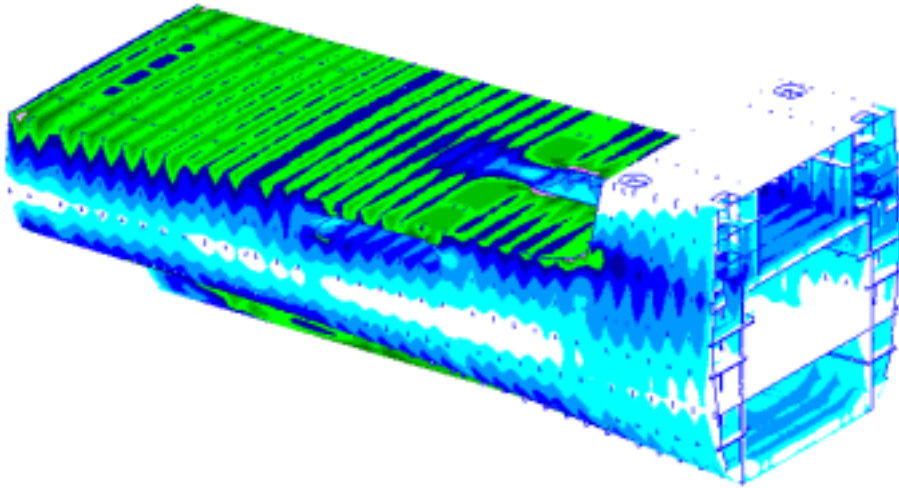
附图 1 船体前端有限元模型



附图 2 船体前端应力云纹图



附图 3 船体后端有限元模型



附图 4 船体后端应力云纹图