

# 超宽“海上渔场” 海运砰击数值模拟与分析



交通运输部广州打捞局 李军

2021年10月

# 汇报内容目录

一 简介

二 引言与理论

三 工程实例及计算模型

四 砰击的数值模拟与分析

五 结果与结论

# 一、简介

## 目的

利用数值方法模拟分析半潜船跨洋远距离运输**超宽悬垂**大型结构物的**运动响应及砰击规律**情况，根据运动响应及砰击得到**运输容许极值**，并结合运输航线海况获得最优的海运方案。



# 一、简介

## 方法

利用波浪势流理论，模拟**超宽悬垂大型结构物**在海运过程中**不同海况、不同航行吃水、不同航速**下的运动响应及砰击发生概率的**变化规律**，获得**容许极值**并结合运输航线海况进行分析。

## 结果及结论

“海上渔场”海运过程砰击数值**模拟结果**与**工程实际**数据是十分吻合的，验证了分析方法的正确性，最终于2017年成功地完成了**青岛至挪威**“海上渔场”的**跨洋远距离运输**。

## 二、引言与理论

### 引言

- ◆ 有不少学者对**艏外飘型船体**、**半潜式平台**等砰击做了广泛研究，主要方向是船艏底部或海洋平台结构物底部所遭受的砰击载荷模及计算；



油轮遭遇巨浪砰击而破坏



半潜式平台甲板底部遭遇砰击



## 二、引言与理论

### 引言

- ◆ 货船运输**货物横向悬垂外飘**部分结构所受载荷**复杂、多变**，关于货船运输货物**横向悬垂外飘**部分结构所受波浪的砰击则**鲜有学者**进行研究。



半潜船运输军舰悬垂外飘



半潜船运输半潜平台悬垂外飘

## 二、引言与理论

### 引言



半潜船运输SPAR平台悬垂外飘



半潜船运输海洋平台上部模块悬垂外飘

## 二、引言与理论

### 基本理论

◆ 当外飘船舷侧部分结构物某关注点到水面的**距离小于0**的时候，**浸没**就会发生： $s > f$

◆  $f$  为船舶**干舷**， $s$  为关注点的相对**上下幅值**，通过下式计算： $s = \delta - z + x\Theta + y\Phi$

◆  $\delta$  为波浪幅值， $z$  为垂荡幅值， $x$  为关注点相对系统重心位置在船长方向差值， $y$  为关注点相对系统重心位置在船宽方向差值， $\Theta$  为纵摇角， $\Phi$  为横摇角。



## 二、引言与理论

### 基本理论

◆ 为了进行统计分析，上式可写成响应幅值因子的模式：

$$H_{s\delta} = H_{\delta\delta} - H_{z\delta} + xH_{\theta\delta} + yH_{\varphi\delta}$$

发生浸没的概率

$$P(\dot{s} > \dot{f}) = \exp\left[-\frac{\dot{f}^2}{2m_{os}}\right]$$

垂向速度超越临界值的概率

$$P(s > f) = \exp\left[-\frac{f^2}{2m_{os}}\right]$$

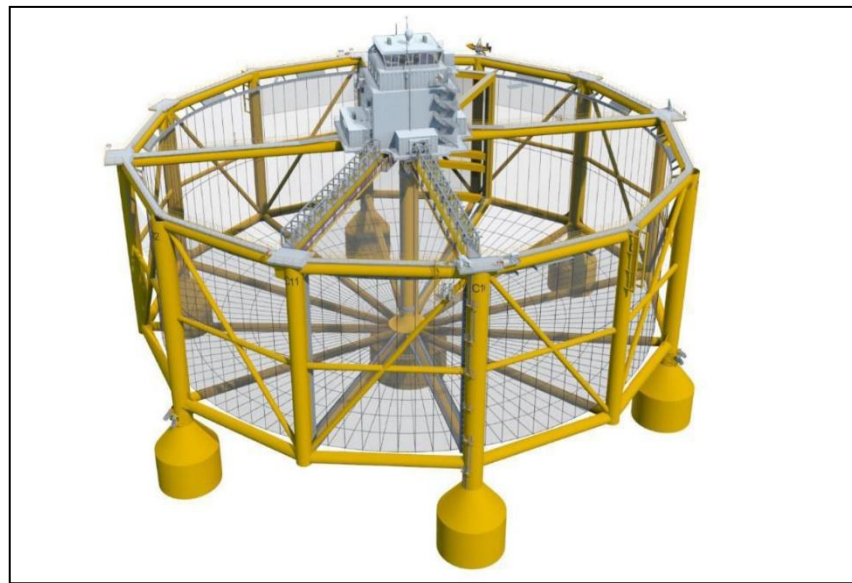
◆ 发生砰击的概率：

$$P(\text{slam}) = P(s > f)P(\dot{s} > \dot{f})$$

# 三、工程实例及计算模型

## 工程实例概况——货物“海上渔场”

- ◆ **当时世界上规模最大（2017年，项目执行时）**的半潜式智能海上渔场，它是一个巨大的圆柱体结构，总高69m，直径110m，外径122.6m，四周共有12个黄色柱子，底面还有6个圆锥形压载舱；
- ◆ 整体容量超过250,000m<sup>3</sup>。空载重量为7,720t，可抗12级台风。



# 三、工程实例及计算模型

## 工程实例概况——半潜船“华海龙”

总长:	182.2 m
垂线间长:	170.4 m
型宽:	43.6 m
型深:	11 m
设计吃水:	7.8 m
最大下潜深度:	23 m (距基线) , 12m (距主甲板)
甲板尺寸:	124.8 x 43.6 m
载重量:	30,002 tons





# 三、工程实例及计算模型

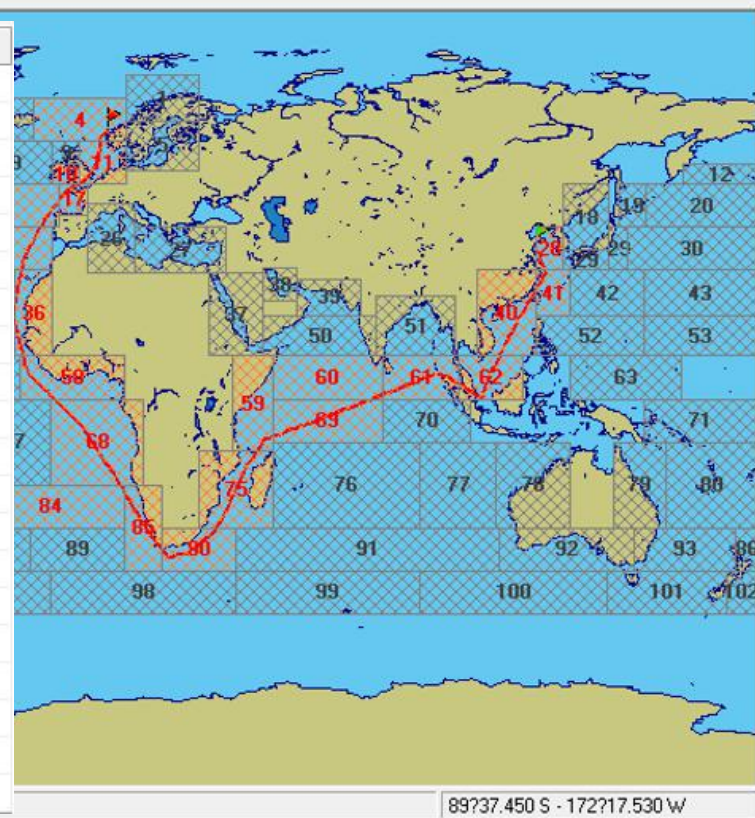
## 工程实例概况——运输航线

运输时间：2017年6月17日- 2017年9月6日

◆ 运输航线：中国青岛→好望角→挪威，总航程大约15,552海里。

Area	Season	Hours	Direction	Hs
28	All year	44.3	0.00 - 360.00	6.85
41	All year	41.9	0.00 - 360.00	7.69
40	All year	132.1	0.00 - 360.00	8.89
62	All year	134.6	0.00 - 360.00	6.87
61	All year	162.8	0.00 - 360.00	6.33
60	All year	24.3	0.00 - 360.00	6.03
69	All year	210.3	0.00 - 360.00	6.66
59	All year	40.0	0.00 - 360.00	5.58
75	All year	155.1	0.00 - 360.00	8.62
90	All year	117.6	0.00 - 360.00	10.80
85	All year	118.0	0.00 - 360.00	8.85
84	All year	15.3	0.00 - 360.00	6.04
68	All year	199.7	0.00 - 360.00	6.32
58	All year	101.3	0.00 - 360.00	4.90
36	All year	56.3	0.00 - 360.00	6.30
49	All year	16.5	0.00 - 360.00	5.36
35	All year	23.8	0.00 - 360.00	6.08
36	All year	57.8	0.00 - 360.00	6.32
25	All year	81.5	0.00 - 360.00	8.92
16	All year	54.9	0.00 - 360.00	10.34
17	All year	37.6	0.00 - 360.00	8.91
10	All year	1.3	0.00 - 360.00	3.82
11	All year	82.4	0.00 - 360.00	9.03
4	All year	22.4	0.00 - 360.00	7.86

Area	Season	Hours	Direction	Hs	Wind
28	Apr-June	44.3	0.00 - 360.00	1.95	28.90
41	Mar-May	33.1	0.00 - 360.00	2.96	32.69
40	Mar-May	140.8	0.00 - 360.00	3.74	30.28
62	Mar-May	134.1	0.00 - 360.00	1.69	23.72
61	May-Sept	159.3	0.00 - 360.00	4.61	29.33
60	May-Sept	28.3	0.00 - 360.00	4.27	33.95
69	June-Sept	207.8	0.00 - 360.00	5.05	27.58
59	May-Sept	42.5	0.00 - 360.00	3.45	28.94
75	June-Aug	155.1	0.00 - 360.00	6.59	33.99
90	June-Aug	116.1	0.00 - 360.00	10.52	46.25
85	June-Aug	118.5	0.00 - 360.00	7.95	40.72
84	June-Aug	16.3	0.00 - 360.00	4.51	33.48
68	June-Aug	199.7	0.00 - 360.00	4.79	28.53
58	June-Aug	101.3	0.00 - 360.00	2.51	27.09
36	June-Aug	154.3	0.00 - 360.00	4.00	29.39
25	June-Aug	81.5	0.00 - 360.00	3.46	28.79
16	June-Aug	50.9	0.00 - 360.00	4.35	33.77
17	June-Aug	41.6	0.00 - 360.00	3.43	32.34
11	June-Aug	83.6	0.00 - 360.00	3.47	33.24
4	June-Aug	22.4	0.00 - 360.00	2.66	34.43



Map: World

Scatter database: GWS (DNV)

Voyage: qinadao to norway.vxml

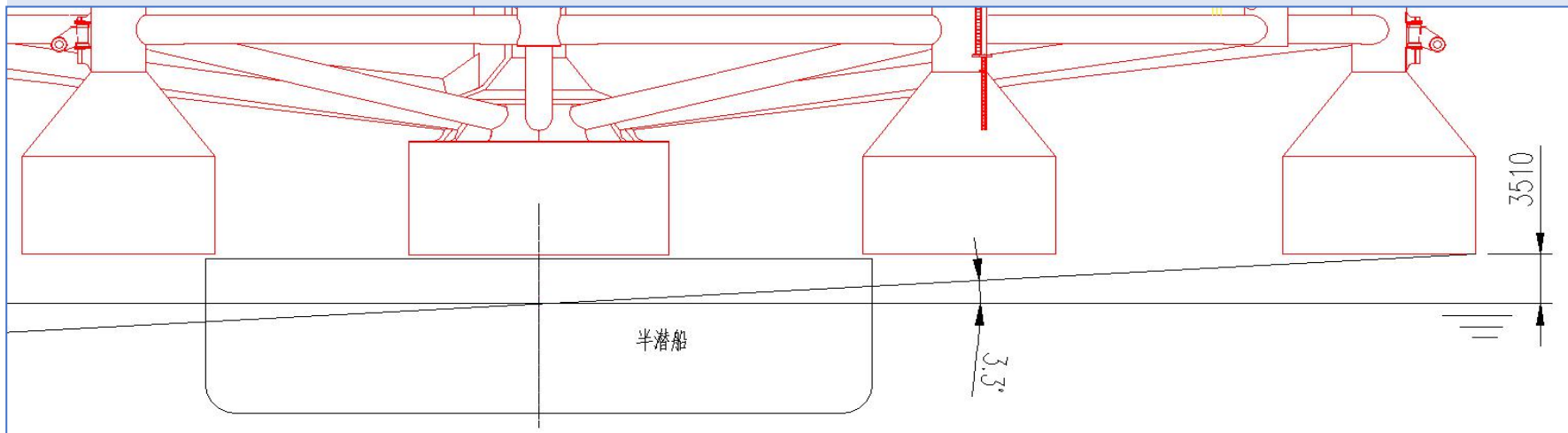
Browse...



# 三、工程实例及计算模型

## 工程实例概况——技术难题

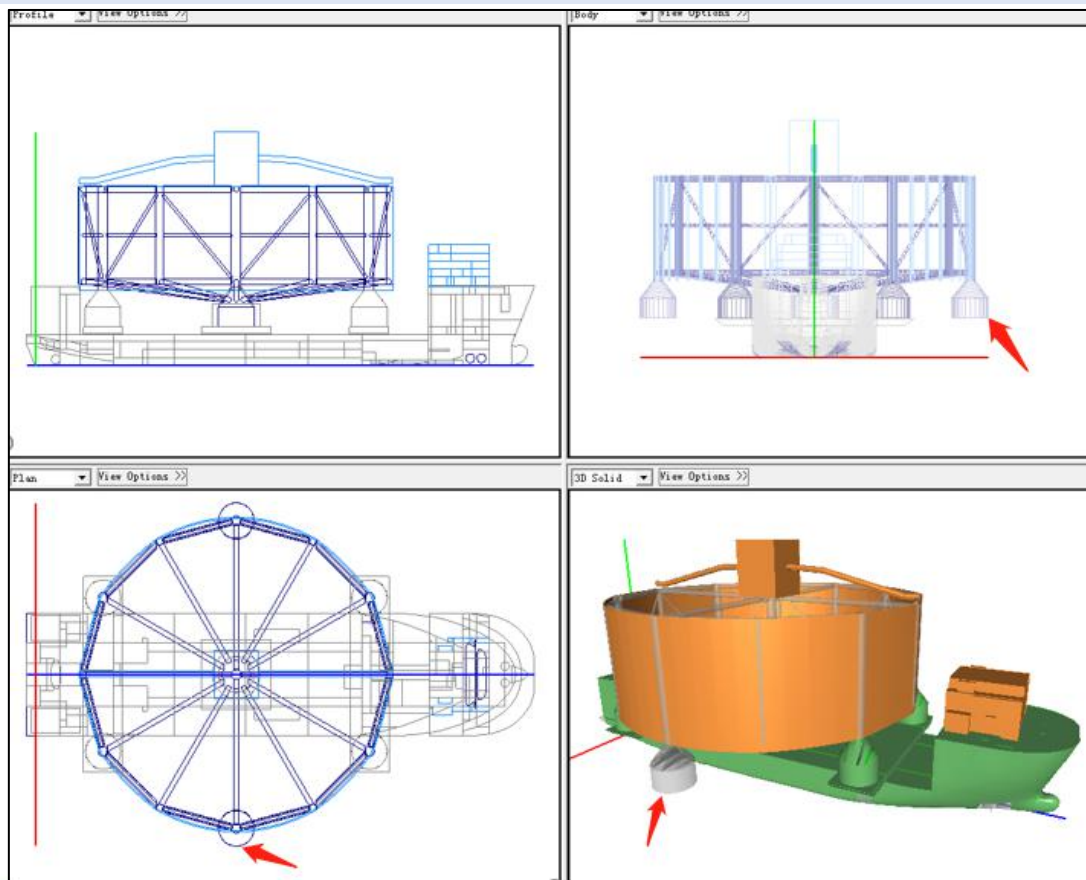
- ◆ 渔场超宽，横向悬垂总距离79m，**约为船宽两倍，世界之最**；
- ◆ 渔场结构单薄，难以承受运输过程中的动态载荷；
- ◆ 运输航线跨越海区多，且海况恶劣（长期统计**有义波高接近11m**）常规运输设计难以满足要求，因此需要根据运动响应、抨击等分析，获得**容许极值**，然后通过滞航、绕航、首向、速度控制等方式进行调整。



# 三、工程实例及计算模型

## 工程实例概况——配载方案

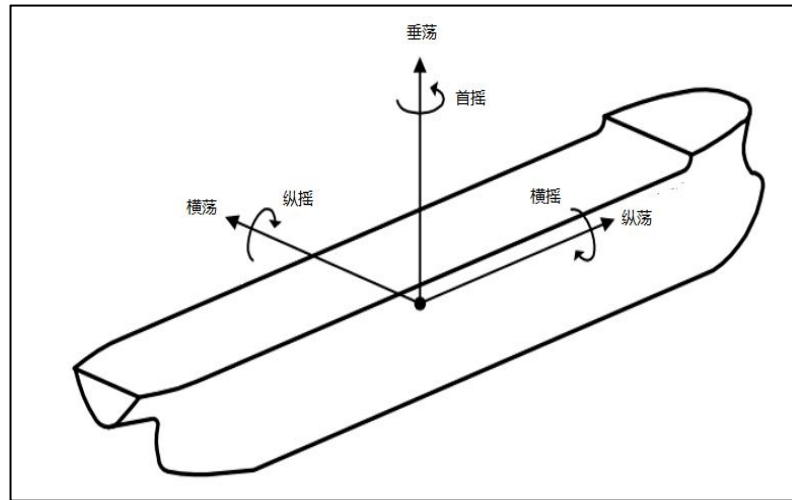
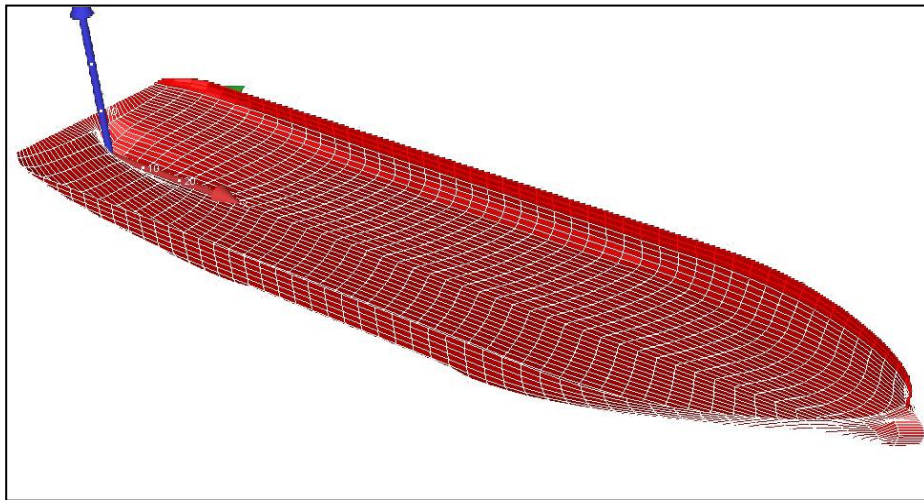
在渔场底部增加支撑梁的方式，增大“海上渔场”距水面空隙。



# 三、工程实例及计算模型

## 数值计算模型

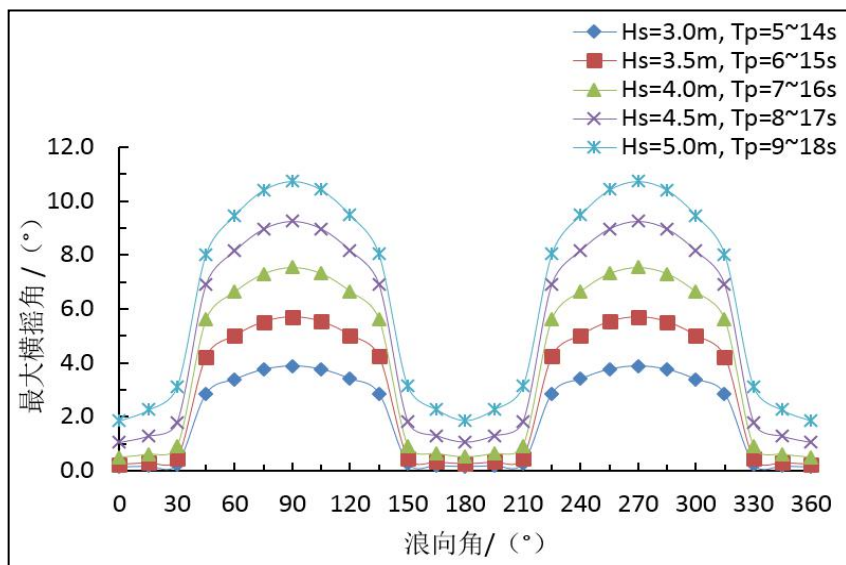
- ◆ 采用OCTOPUS软件建立建立半潜船的三维运动响应**计算模型**；
- ◆ 数值模型与船模耐波性的**RAO**进行了对比**修正**，确保模拟的准确性；
- ◆ 半潜船装载“海上渔场”后的**工况信息**(吃水、初稳性、转动惯量等)。



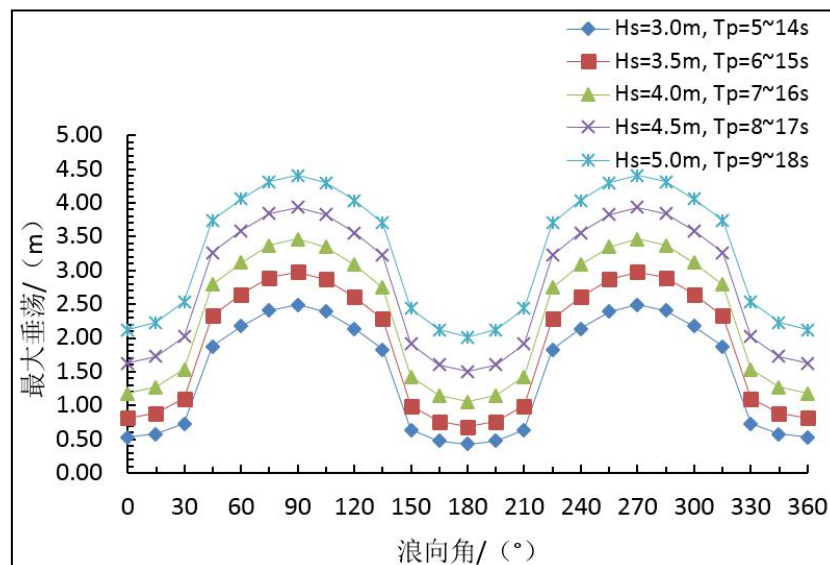
# 四、砰击的数值模拟与分析

## 海况变化对砰击的影响

海运过程中，需**跨越不同的海区**，所遭受的海况差别很大，因此模拟不同有义波高和谱峰周期海况下的**船舶运动响应、外飘结构砰击发生的概率及砰击载荷**的变化情况。



横摇



垂荡

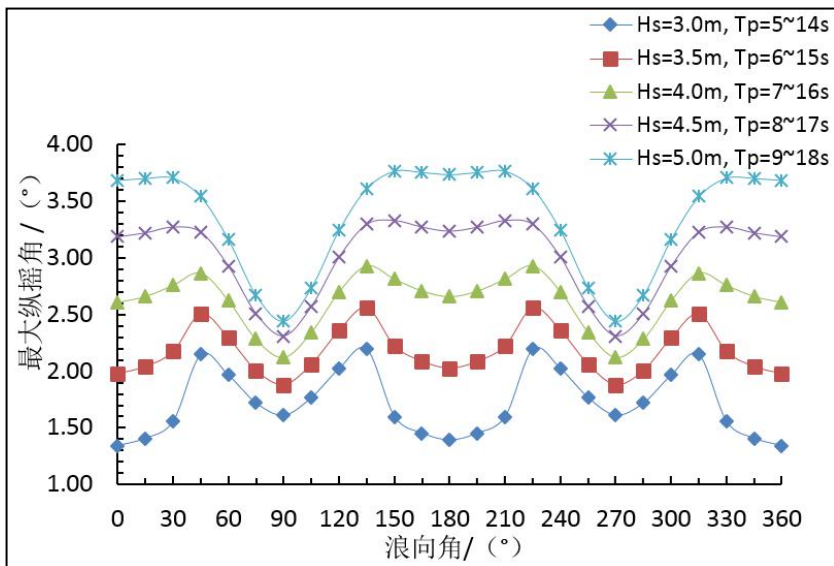
横摇和垂荡：在首浪和尾浪响应最小，在横浪响应最大，随Hs的增加而增加，且横摇在横浪时随Hs增加的幅度明显。



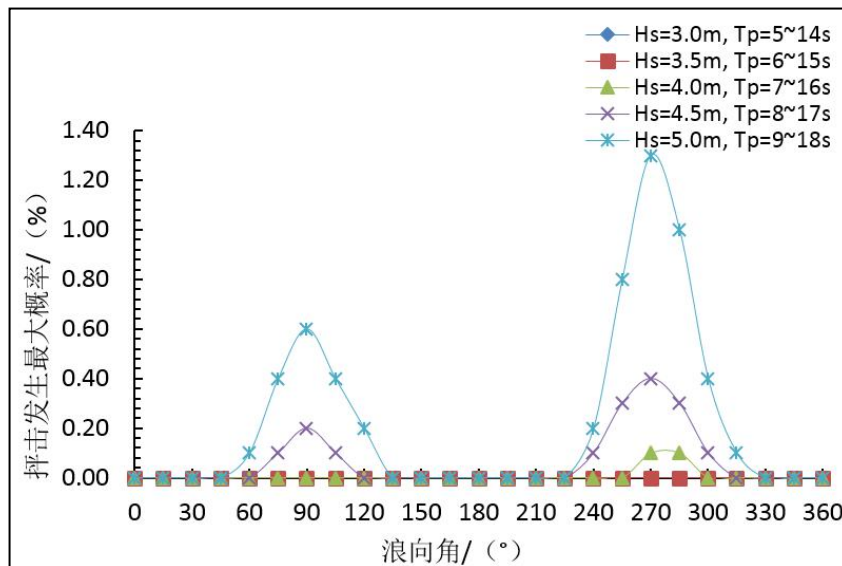
# 四、砰击的数值模拟与分析

## 海况变化对砰击的影响

### 纵摇



### 砰击概率

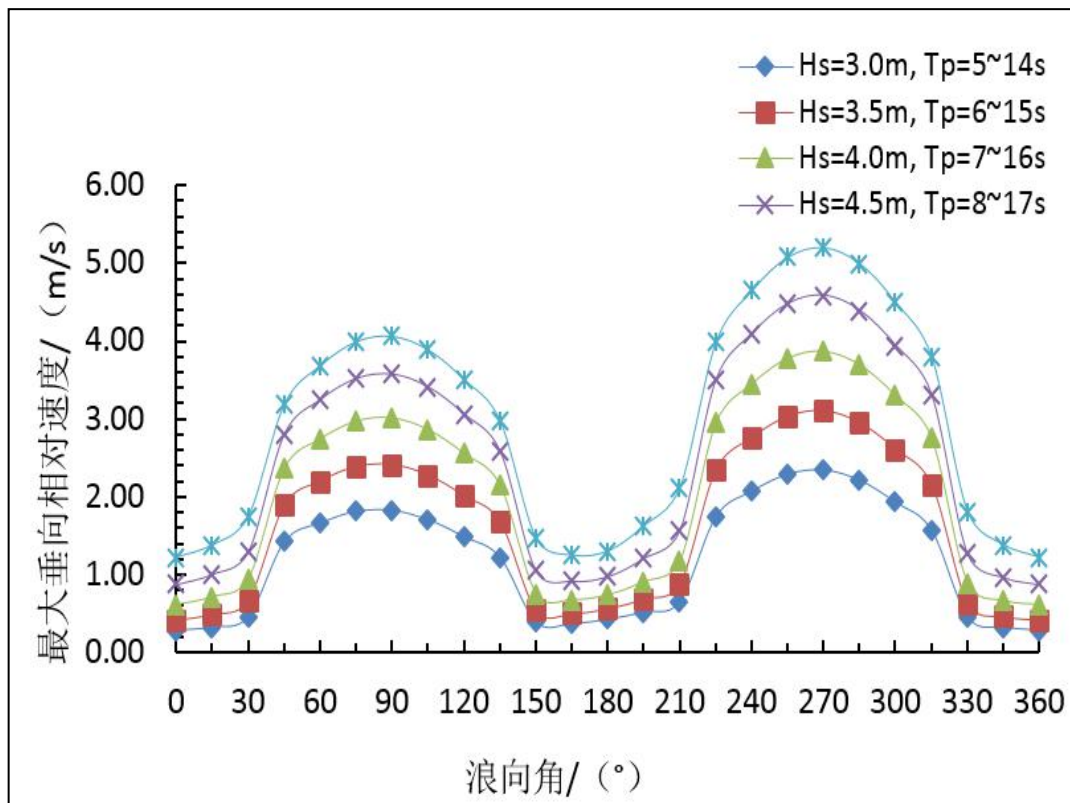


纵摇随浪向角的变化则和横摇基本相反，其随遭遇海况Hs的基本呈线性。

关注点发生砰击概率：在首尾浪响应最小，在横浪响应最大，均随同侧横浪（左舷来浪，浪向角270°）Hs增加增加显著，且在Hs小于4.0m的情况下发生砰击的概率均为零，大于4.0m后的发生砰击的概率，在同侧横浪下增加特别显著。

# 四、砰击的数值模拟与分析

## 海况变化对砰击的影响



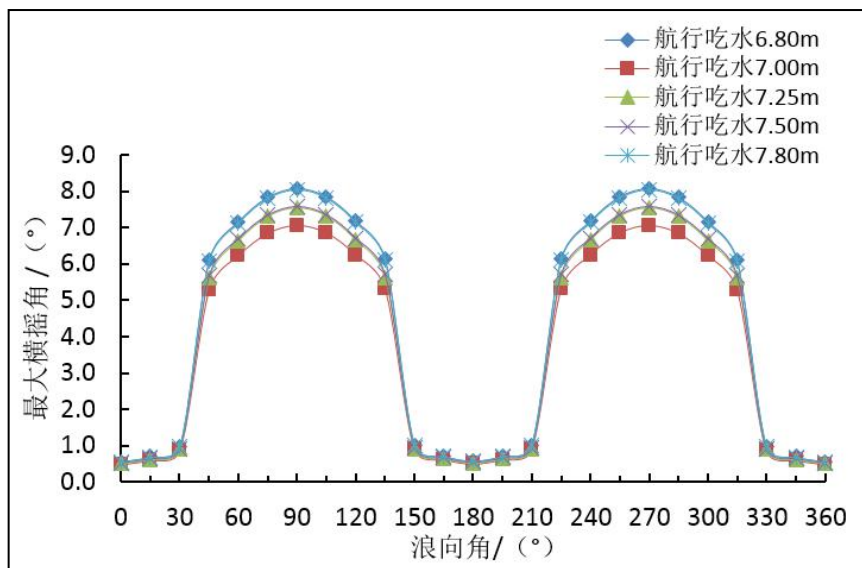
垂向相对速度

关注点垂向速度：和发生概率类似，在首浪和尾浪响应最小，在横浪响应最大，均随同侧横浪（左舷来浪，浪向角 $270^\circ$ ）有义波高增加增加显著。

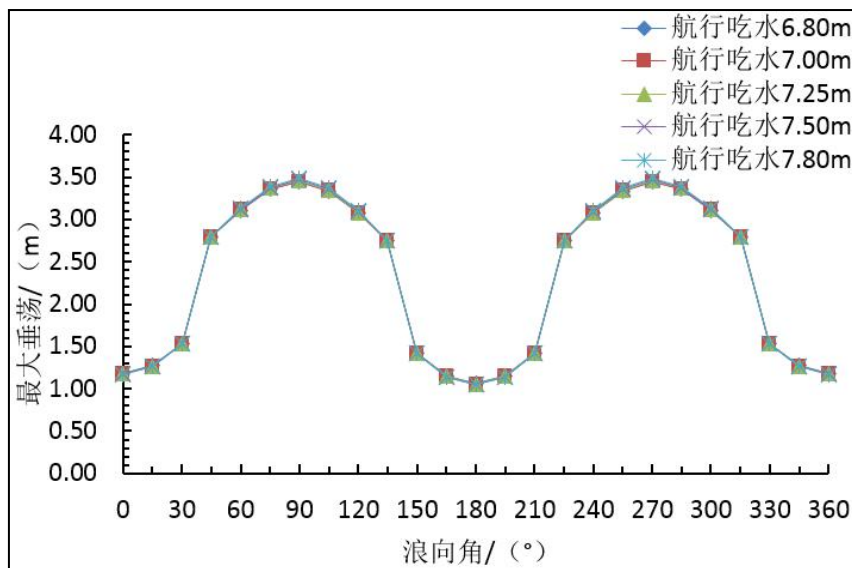
# 四、砰击的数值模拟与分析

## 航行吃水变化对砰击的影响

船舶**干舷**就会越大，相对而言外飘结构发生砰击的概率就会降低，但如果航行吃水太小，其他的运动响应可能会加剧，因此模拟不同航行吃水下的**船舶运动响应、外飘结构砰击发生的概率及砰击载荷**的变化情况。



横摇



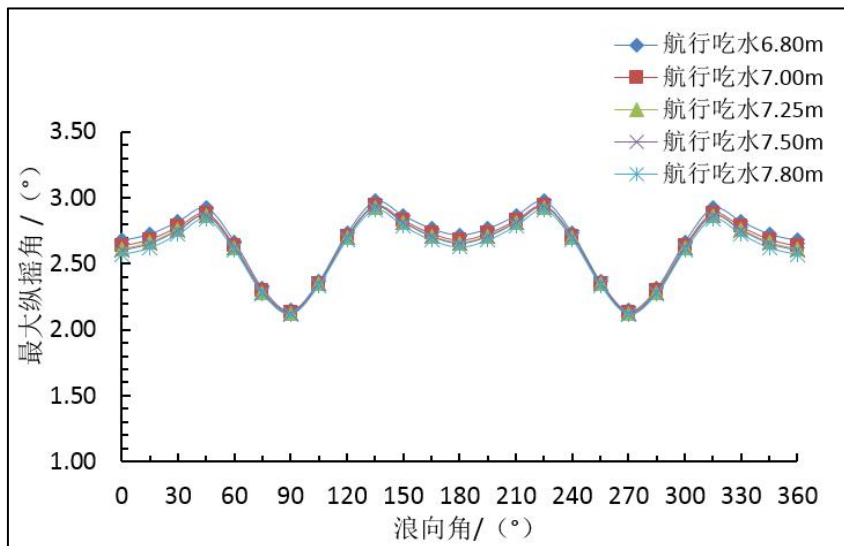
垂荡

横摇和垂荡：在首浪和尾浪响应最小，在横浪响应最大；横摇随在横浪时航行吃水的增加而增加，其他浪向角影响微小。垂荡随航行吃水的变化微小。

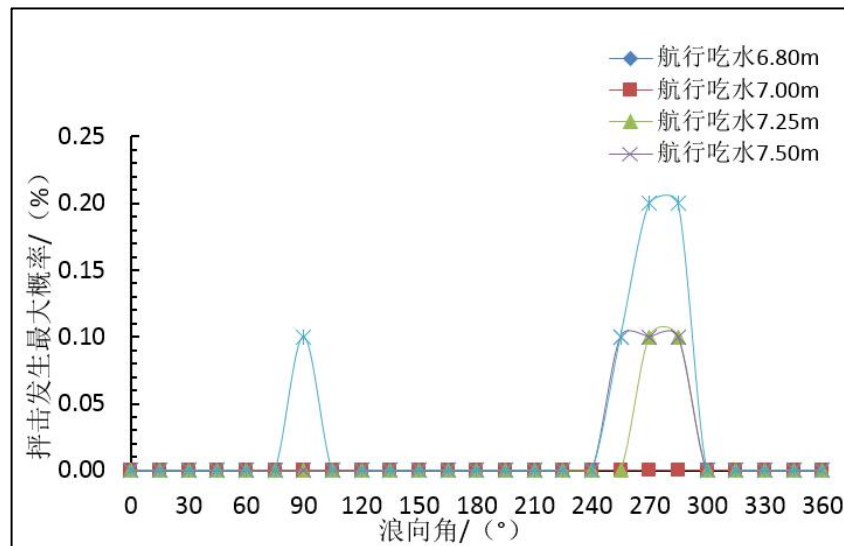
# 四、砰击的数值模拟与分析

## 航行吃水变化对砰击的影响

### 纵摇



### 砰击概率



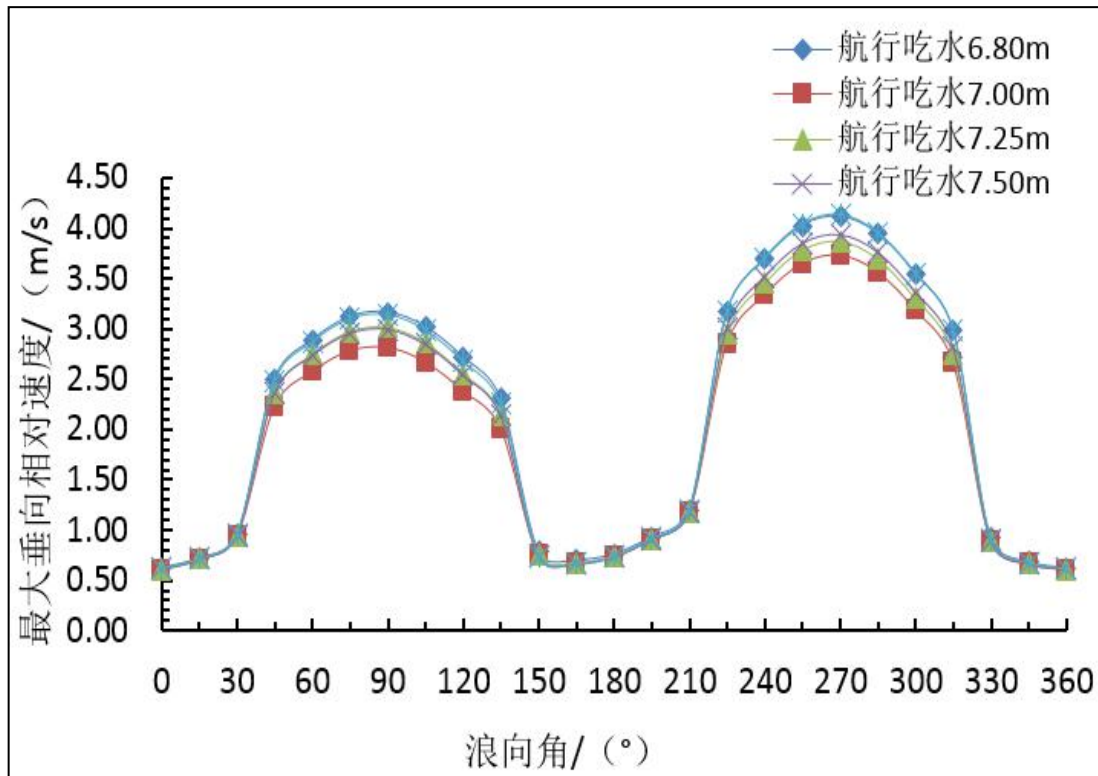
纵摇随浪向角的变化则和横摇基本相反，且随航行吃水的变化微小。

关注点发生砰击概率随航行吃水增加而显著增大。



# 四、砰击的数值模拟与分析

## 航行吃水变化对砰击的影响



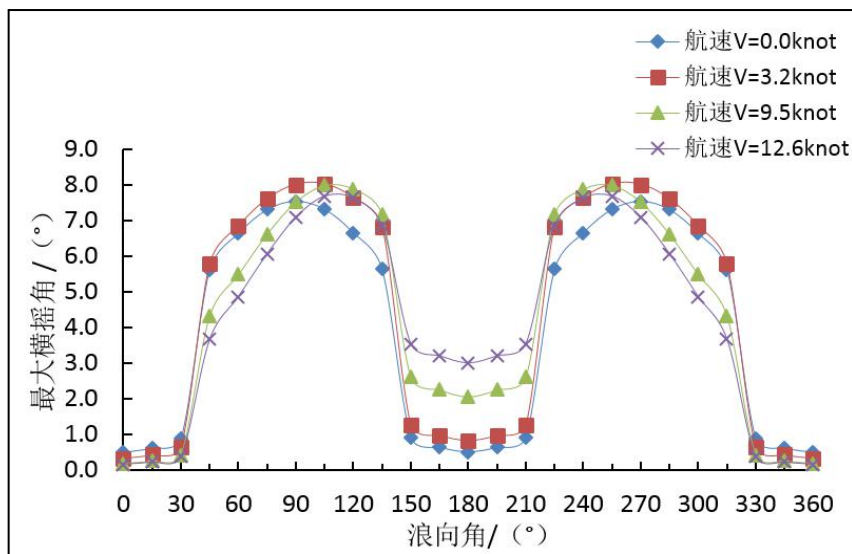
垂向相对速度

关注点垂向速度：在首浪和尾浪响应最小，且随吃水变化不大，但在横浪响应最大，均随同侧横浪（左舷来浪，浪向角270°）航行吃水增加而增加。

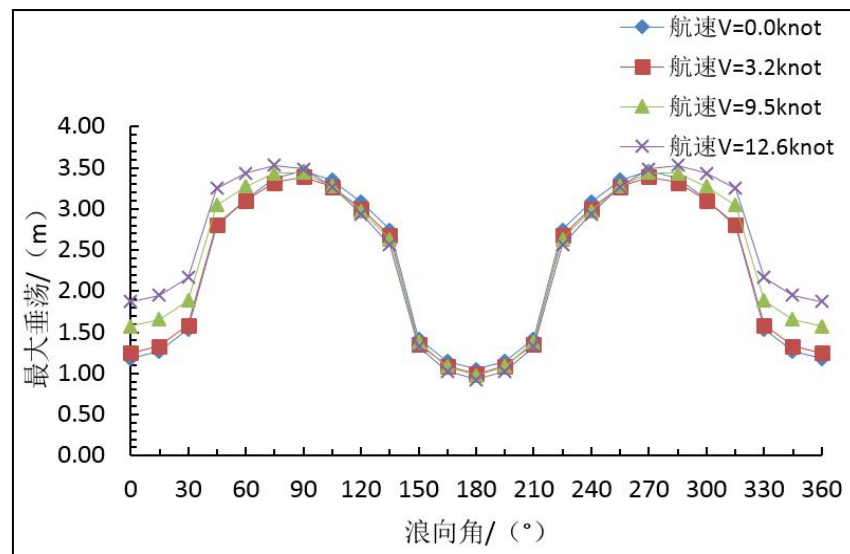
# 四、砰击的数值模拟与分析

## 航行速度变化对砰击的影响

船舶通常利用**调整航速**的方式，来控制船舶的**横摇**等，但除了有垂向的砰击外，还有因船舶航行速度的拖拽力，因此模拟不同航行速度下的**船舶运动响应、外飘结构砰击发生的概率及砰击载荷**的变化情况。



横摇



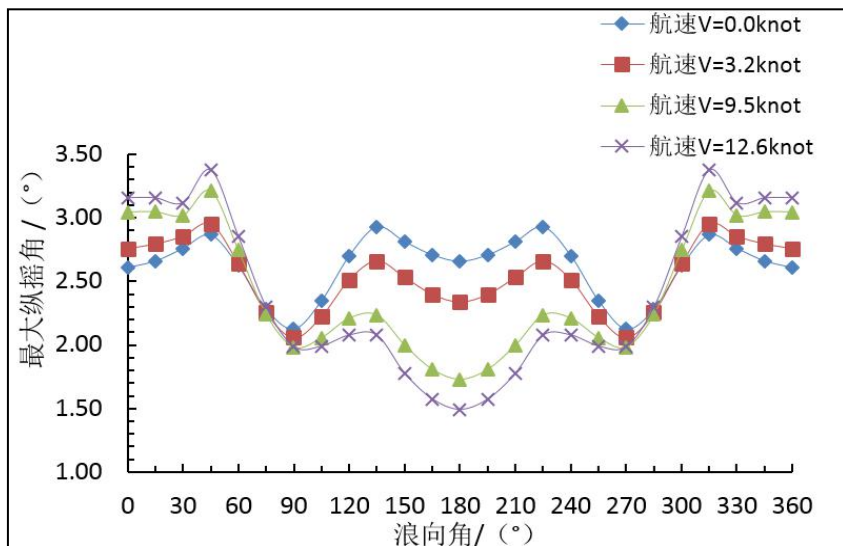
垂荡

横摇和垂荡和前述情况基本一致：在首浪和尾浪响应最小，在横浪响应最大，横摇和垂荡随航行速度的增大而增加。

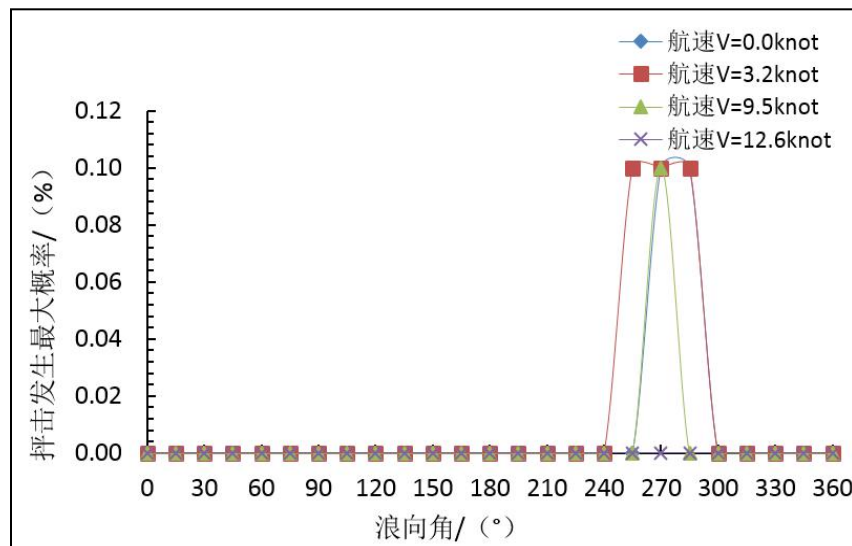
# 四、砰击的数值模拟与分析

## 航行速度变化对砰击的影响

### 纵摇



### 砰击概率

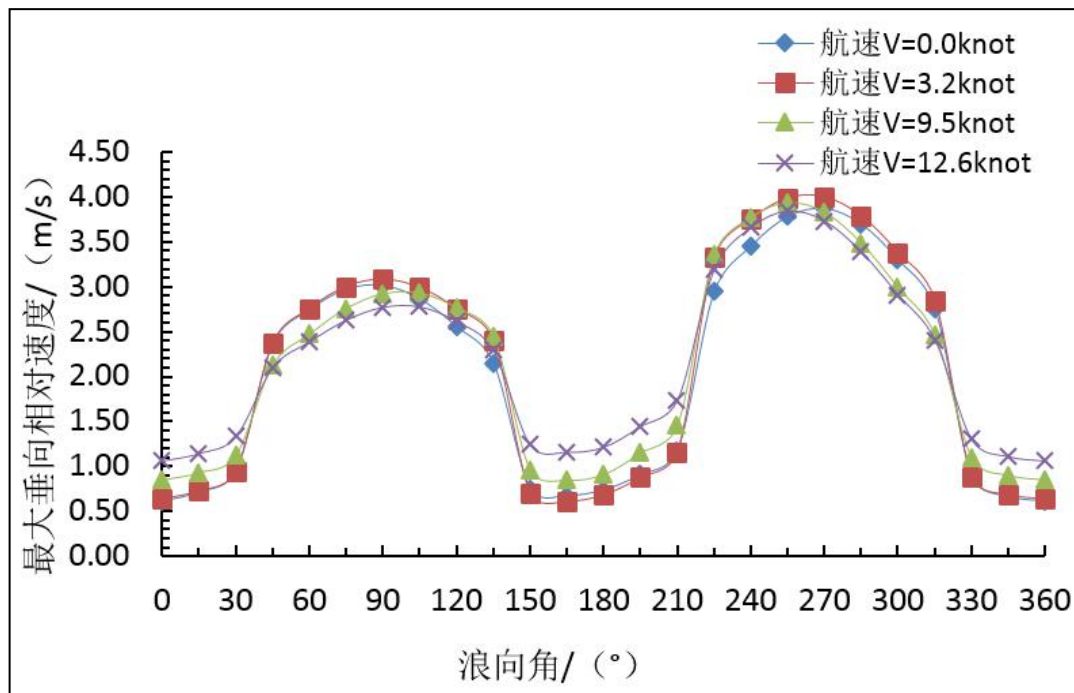


纵摇随浪向角的变化则和横摇基本相反，且纵摇随航行速度的变大而减小。

关注点发生砰击概率则随航行速度增加变化不明显。

# 四、砰击的数值模拟与分析

## 航行速度变化对砰击的影响



垂向相对速度

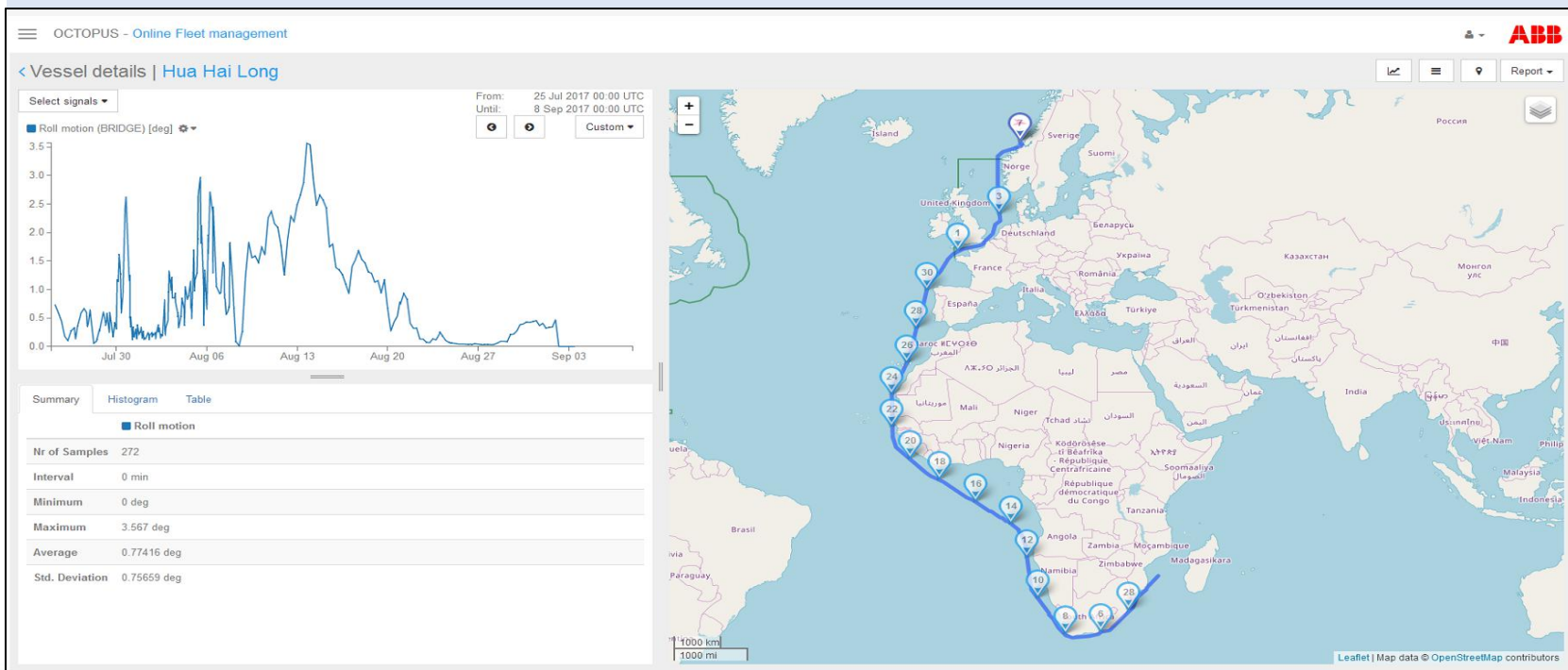
关注点垂向相对速度：  
在首浪和尾浪响应最小，  
且随吃水变化不大，但在横浪响应最大，均随同侧横浪（左舷来浪，浪向角270°）航行吃水增加而增加。



# 五、结果与结论

## 结果

根据数值模拟结果（如 $H_s < 4m$ ，减少遭遇横浪等）指导工程实践设计，**工程实际数据与模拟计算结果**误差在工程容许范围内，证明了模拟分析方法是合理可行的。



# 五、结果与结论

## 结论

- ◆ 不同浪向下，横摇和砰击发生概率在**首浪和尾浪下最小，在横浪时最大**，且随遭遇海况有义波高增加而增加显著，尤其是外飘货物同侧横浪，关注点发生砰击的概率更为显著，因此航行中必须进行航行**海况限制 ( $H_s < 4m$ )**和**首向的控制**，减少遭受有义波高及横浪。
- ◆ 关注点发生**砰击概率则随航行吃水增加而显著增大**，因此减小航行吃水，**增大干舷**，发生砰击的概率也会显著降低。
- ◆ 横摇和垂荡随**航行速度的增大而增加**，纵摇随航行速度的变大而减小，而关注点发生砰击概率则随航行速度增加变化不明显。

汇报完毕，请各位专家批评指正！

