

## 方舟如何避免倾覆？

初步海上试验表明，船首安装的鳍片在方向稳定性方面具有优势。这在诺亚方舟或古代造船的背景下该如何解读？

船首安装的刚性“帆”或鳍片展现出显著的转向效果。最佳设计应使其尽可能靠前（最大化偏航运动范围），位置相对较高（提高风速并远离波浪引起的空气湍流），高度足以避免与波浪接触，并且尺寸尽可能大，同时又不影响稳定性（风力引起的横倾运动）。

通过最大化横向风力和水力中心之间的距离，可以在保证足够偏航运动的同时，将船体特征的尺寸控制在最小。当波浪冲击船尾时，该区域的形状需要类似于典型的船首——一定的外飘角以偏转波浪，相对较小的入水角以切入波浪而不是越过波浪。如果船尾抬升过多，则存在横倾的危险。

这往往导致船首出现悬垂的、叶片状的特征，船尾出现浸没的突出物（如船尾鳍或固定舵）。

看起来眼熟吗？它让人想起地中海海军舰艇，比如这艘希腊三列桨战舰。



有趣的是，许多古代船只的一个显著特征是船首和船尾的船首上翘角度极大，远远超过了仅仅为了偏转波浪所需的角度。一种说法是，这是从埃及芦苇船传承下来的传统，芦苇船的船首和船尾通过防船首下沉的拉索拉紧。对于像希腊三列桨战船这样的大型木制船只来说，船首先上翘的设计所带来的被动式抗风暴性能才是更合理的解释。这些船只的工程技术不太可能将如此多的精力（和重量）浪费在船尾的装饰上。

这种对上翘茎的普遍强调可能意味着：

- 它们的形状源自诺亚方舟——人类历史上第一艘船。
- 他们需要它的原因有很多，比如抵御风暴。

## 方向保持功能

你有没有想过为什么浮木最终会横着漂向海浪？漂流的船只也会发生同样的情况。巨浪容易使船只侧翻，这背后有着成熟的理论基础。

## 引出这个话题

船舶的长度大于宽度，这可以减少阻力，使船舶能够更舒适、更安全地穿越波浪。缺点是，当波浪侧向涌来（横浪或船舷迎浪）时，船舶有倾覆的危险。横倾（船舶转向船舷）是船舶在恶劣海况下面临的最大风险，动力损失（进而导致失控）可能造成严重后果。因此，对于像诺亚方舟这样的漂流船来说，横倾风险必须加以考虑。

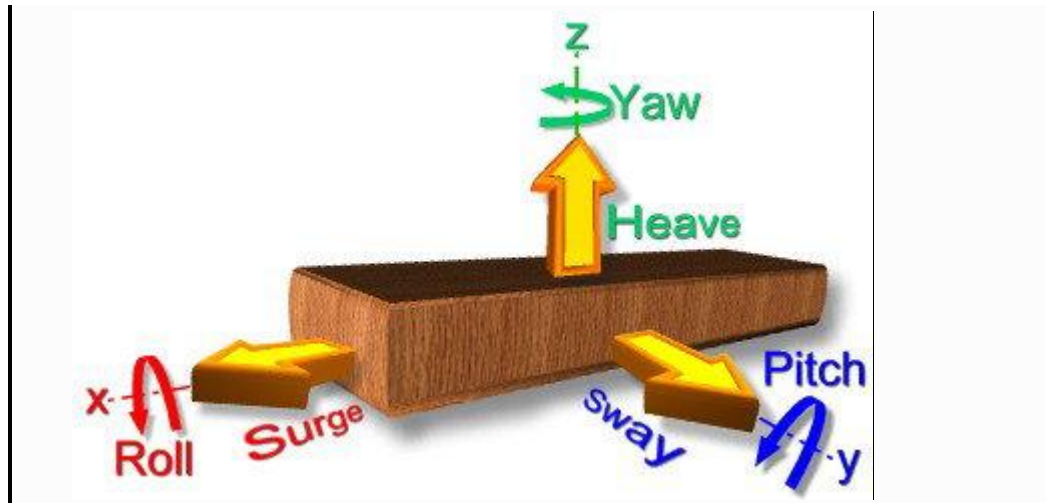
船舶设计的重要参考资料是瑞典 [船舶工程师学会 \(SNAME\)](#) 出版的《船舶结构原理》。以下摘录论述了波浪引起的偏航运动。随后，摘录并附上（经许可）俄罗斯关于船舶设计中有关风暴耐波性研究的图表。

**3.16 偏航、横摇、横向漂移、横倾。** 船舶绕其重心附近垂直轴的旋转称为偏航。偏航是不利的，因为纠正偏航需要使用舵，这会增加推进阻力；而且偏航还会产生横摇，迄今为止，没有任何稳定装置能够阻止横摇。大多数常见船型的船舶，其横梁和舵足以在静水中有效地消除偏航，但在波浪中，航行中的船舶会受到各种力和运动的影响，从而产生偏航。可以识别出三种不同的力和运动：

(a) 水的静压，通常在船的两侧不在同一水平面上；

(b) 波浪中水的轨道运动引起的动压力；

(c) 由于对纵摇船施加横摇运动而产生的陀螺静力矩。



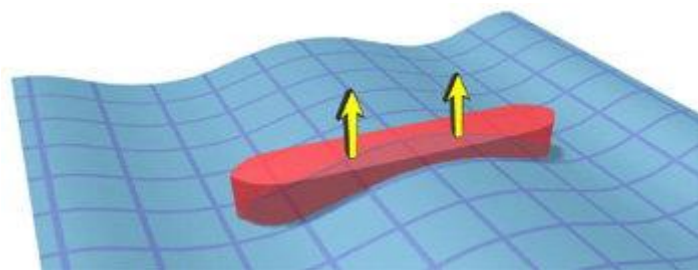
这六种运动分别是偏航、垂荡、翻滚、纵荡、摇摆和俯仰。

除非船舶与波浪方向完全垂直，否则船体两侧的波浪剖面会有所不同，通常情况下，船体两侧的压力中心纵向位置也不相同。这会产生一个力偶，使船舶绕垂直轴旋转。随着波浪经过船舶，该力偶的方向会发生变化，从而使旋转运动转变为与波浪视周期相同的振荡。当船舶航向与波浪前进方向的夹角约为 45 度或 135 度时，由此力偶引起的偏航幅度最大，因为此时船体两侧的静压差最大。

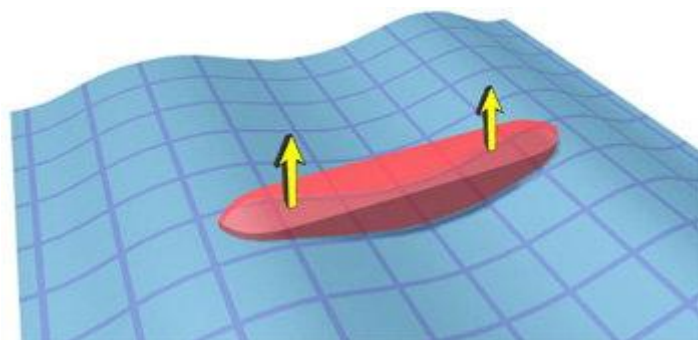
## 静压（静力学）

将船首和船尾部分的浮力分开处理比较方便。在以下对称情况下，两个浮力合力相等，但它们的位置和角度可以不同。

当船舶与波浪垂直时，由于前后方向的浮力均为垂直方向，因此不会产生偏航效应。船体会因波浪的拱起和拱下而产生弯曲运动，但不会产生净偏航（转向）运动。



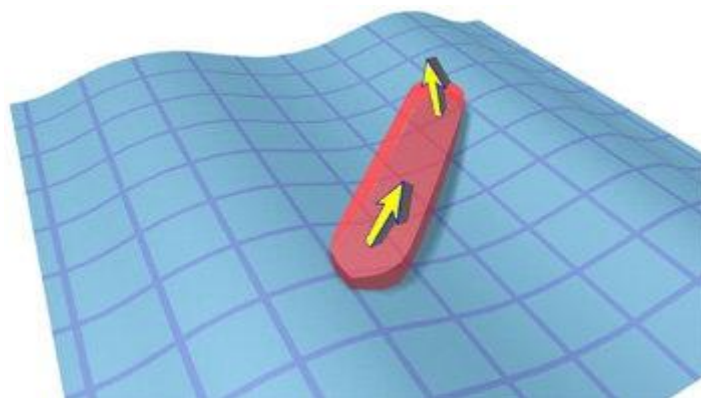
霸占，与波浪呈 90 度角。



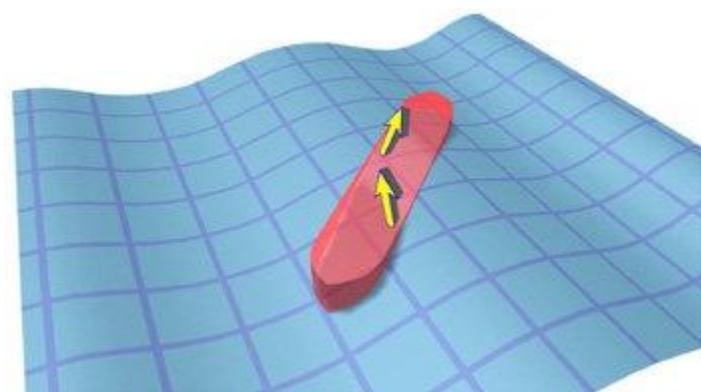
下垂，与波浪呈 90 度角。

当船体与波浪成 45 度角时，船首的浮力会使船头向左舷摆动。假设波浪波长处于最不利情况，船尾也会受

到浮力作用，使其向右舷偏转。最终结果是产生偏航运动，在本例中为逆时针方向。（从上方观察。）



船体下垂，与波浪呈 45 度角。强烈的逆时针偏航。



船首下倾，与船尾呈 45 度角。微弱的顺时针偏航。  
据 PNA 报道，“当波浪经过船只时，该力偶的方向会发生变化，因此旋转运动会变成振荡，其周期与波浪的表观周期相同。”

然而，当把浮力看作一对力（前后方向分离）时，很明显，船体下垂时的偏航运动会比船体上翘时更大，因为运动臂更长。因此，强烈的逆时针偏航后紧接着

微弱的顺时针偏航的“振荡”会产生一个净的逆时针偏航运动。从静水力学的角度来看，规则波会使任何细长的漂浮物横向移动，尤其当波长接近船体长度时。

## 轨道运动

水并非由波浪输送，而是沿圆形路径运动。偏航受这种轨道运动的水平分量影响，该分量在波峰处为零，在波峰处向前达到最大值，在波谷处向后运动最大。这是一种振荡效应，在两个方向上似乎相等，因此随着时间的推移，净偏航作用应该为零。如果船舶偏航角度超过 45 度静水压力最大值，则轨道运动可能导致横倾。然而，静水压力偏航的最坏情况是有效波长等于船长，而轨道偏航的有效波长等于船长的两倍。因此，综合效应的临界波长应该介于这两个极限值之间。

如果一艘原本处于纵摇状态的船发生横摇，例如当船斜向波浪航行时，横摇轴并非空间中一条固定的水平线，而是一条自身振荡的轴，振荡幅度等于纵摇的角振幅。横摇轴的这种振荡会产生一个陀螺力矩，从而导致偏航……

由陀螺力矩产生的偏航方向取决于船舶横摇和纵摇周期与表观波周期的关系。[在]当波周期大于横摇周期的情况下，产生的偏航与第一种情况类似；船舶倾向于横向驶向波峰和波谷。

在有利于偏航的条件下，陀螺力矩很少很大，通常需要比偏航的其他原因更小的舵角来控制它。

这种情况会产生横摇效应。增加横摇周期至超过波浪周期或许能带来一些优势，但通常会降低横摇稳定性。然而，PNA 的作者得出结论，由陀螺力矩引起的偏航“很少很大”。但是，结合之前提到的波长（1 到 2 个有效船长），横摇周期长于波浪周期或许是明智之举。这可能意味着为了降低横摇恢复力而降低整体稳定性。此外，它还能提高横摇惯性（质量惯性矩），这可以通过以下方式实现：将载荷集中在船体壁上，但保持船体中心开放；使用厚重的船顶；以及可能在远处增加质量，例如使用高桅杆。

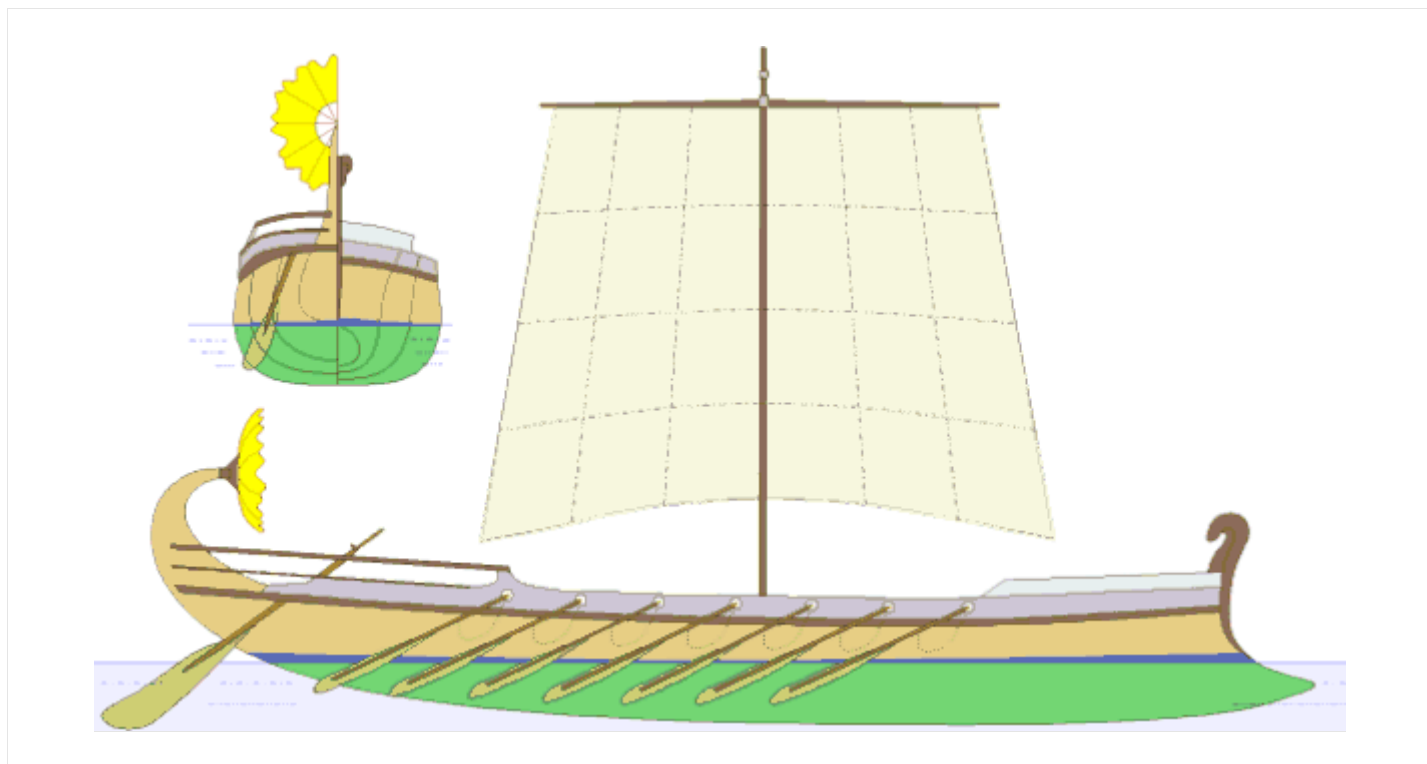
## 俄罗斯设计的“通用船舶”

摘自 Vasily N. Khramushin 的《船舶耐波性的技术和历史分析》[2](#)

与诺亚方舟相比，商船受到的限制更多，尤其是在前进运动中需要降低阻力，以及能够在不改变航向直接迎浪（或顺浪）的情况下航行。

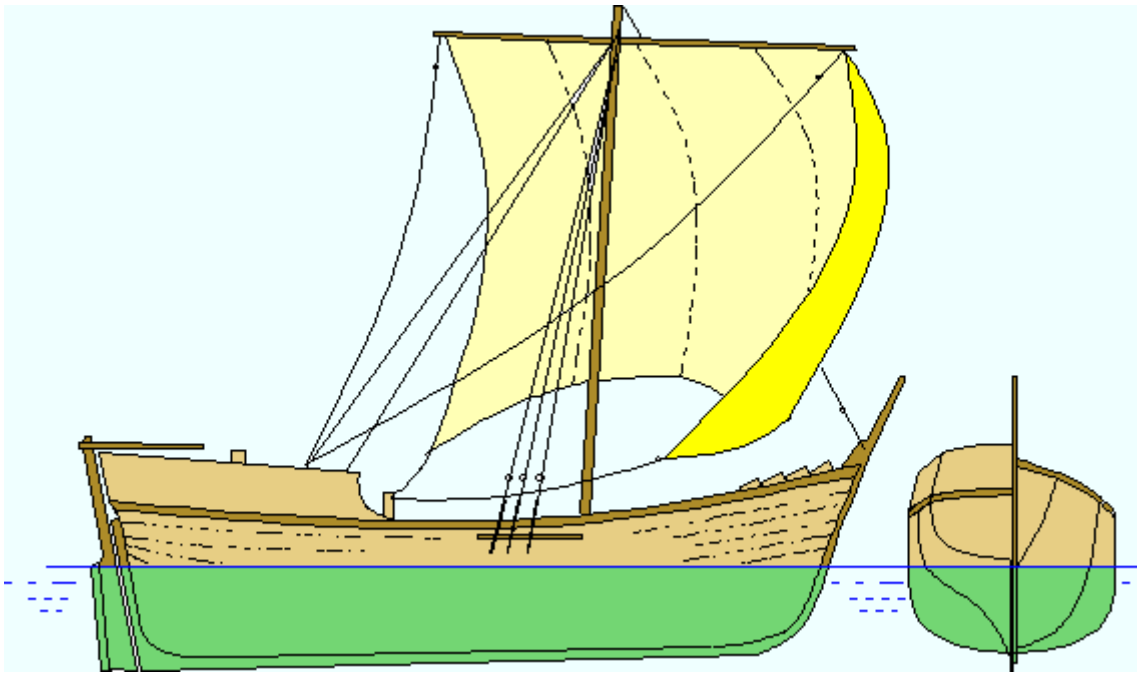
克拉穆申列举了历史上适合风暴航行的船只设计实例，重点介绍了船体特征，例如横向不对称、圆润的横向船体形状，以及迎浪或顺浪航行的风暴航行方法。例

如，希腊式船只的船体横向阻力中心偏向船首，而横向风阻中心则偏向船尾。显然，在严重的风暴中，船帆会被移除。



**迎风而立。**图中描绘的是“阿尔戈英雄之船”，它继承了腓尼基战船的适航性。船体侧面的不对称设计使其自然地迎风而立，从而能够船头朝前逆风航行（迎风而立）。图片来源：

[https://khramushin.narod.ru/Vlad\\_E1.html](https://khramushin.narod.ru/Vlad_E1.html)，经许可使用。3



**顺浪船。**俄罗斯波莫尔人（维京时代以大胆的北极航行而闻名的沿海居民）的渔船。船体形状使其能够在狂风巨浪中灵活操控，借助暴风帆和船尾的拖曳装置，使船只能够顺浪航行。<sup>4</sup>

以下摘录由蒂姆·洛维特改写。参见俄文原文。5

根据瓦西里·N·赫拉穆申的说法，通用容器满足三个相互依存的约束条件：

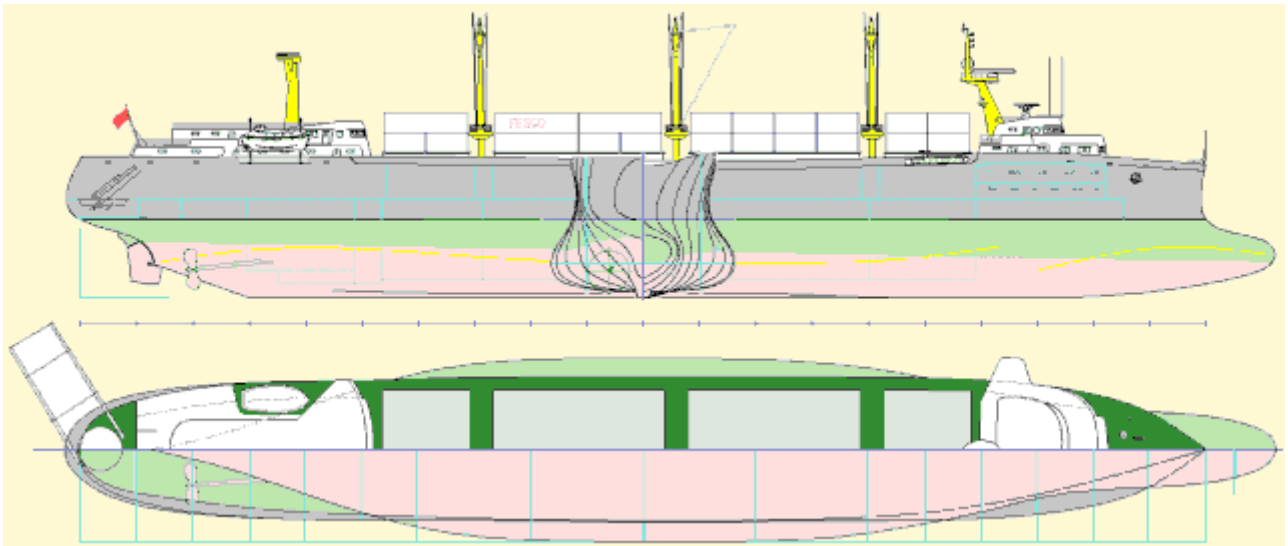
1. 船舶的推进性能
2. 船体稳定
3. 航行安全。

该方案考虑了风暴等实际航行问题。为了在满足上述约束条件的同时，参考船舶设计特点的历史分析，提出了以下六种设计理念：

1. 浮心向船首移动，突出的球鼻艏使横向阻力动态中心前移。这将提高稳定性，并为无论航向如何都能安全进行风暴航行创造前提条件。
2. 通过减小水线面面积、横向和纵向惯性矩，以及加尖船首和船尾，可以降低中等海况下的波浪载荷，并在正常远洋航行中降低阻力。
3. 船体两侧内凹，但横截面在水线以上部分向外展开。这种设计解决了风暴天气导致的过大加速度以及波浪对船体和甲板的冲击问题，同时也便于主动控制船舶航向。
4. 减小船首和船尾的体积。如果横向风区中心大致位于船体中部，则可提高风暴操控性。但通过减小水线处

的船体侧面，可以稳定波浪引起的运动，而不会增加纵摇和摆动，因为船体会倾向于刺破波浪。

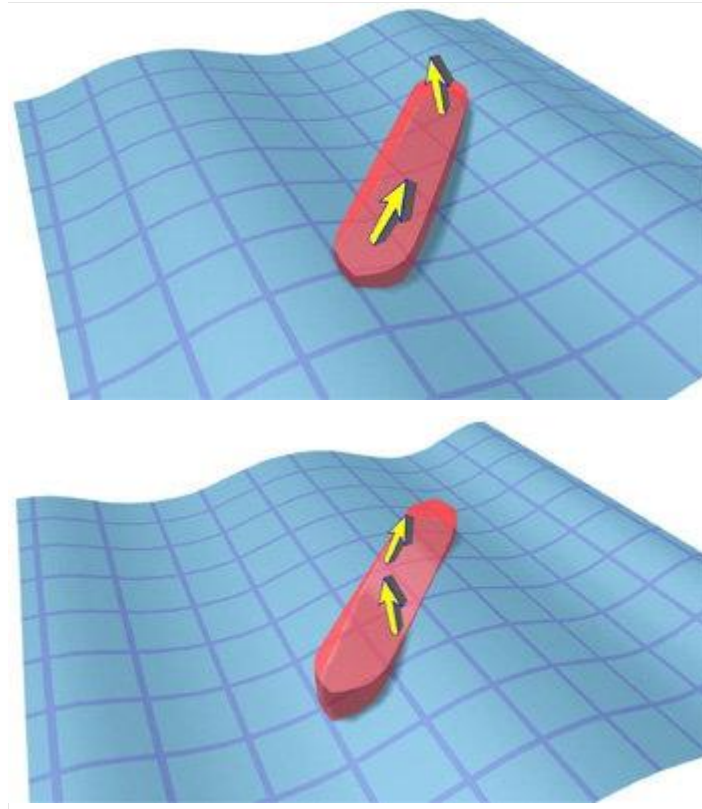
5. 与前一点相平衡，应尽量将水面以上的容积集中在船尾（但要避免使用宽而平坦的船尾）。通常情况下，船首容积位于水下，船尾容积位于水面以上，包括船尾垂直于水面之后。这样，船舶就能安全地经受风暴，船首始终指向波浪。这种方案适用于典型的风暴，但在飓风中心变幻莫测的条件下则不适用。船尾水面以上容积的增加和后甲板高度的提高并不会降低船舶的运动效率和操控性（因为螺旋桨产生的加速水流会将船尾“压”向波浪的平均高度）。
6. 减少风阻并降低上层建筑高度，使流线型船体内部能够容纳合适的舱室和房间。这正应了那句格言：“船舶之美在于船上摒弃不必要的物品。”无需因风暴而改变航向，风向倾斜也被降至最低。虽然初始稳心高度有所降低，但船体对波浪的横摇并不敏感。另一个优势是其独特的破冰方案，即向上抬起冰块。



## “通用容器” 6

### 大型船舶的横倾

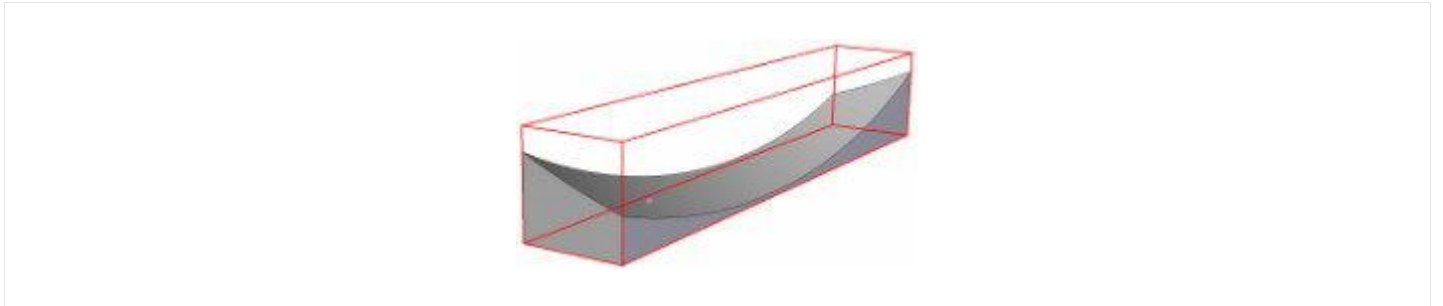
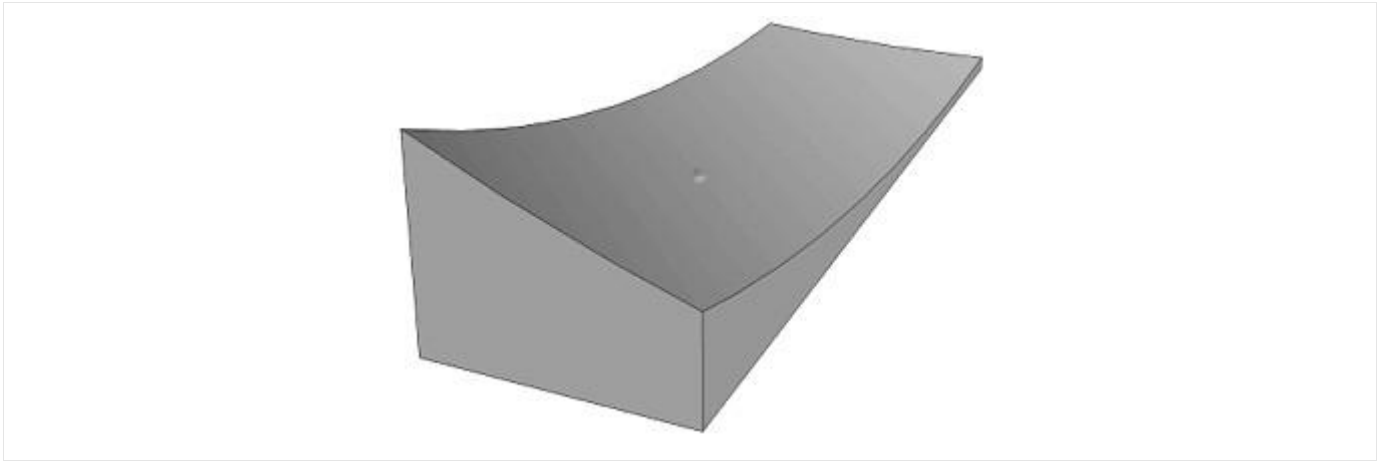
假设静水偏航是船舶在波涛汹涌的规则海况下产生横摇的重要因素，那么或许可以提出一种合适的船体形状。在船体下沉时尽量减小主导偏航，在船体上翘时尽量增大较弱的恢复偏航，可以使船体形状更接近独木舟而非方体（方体系数低）。降低船首和船尾的浮力，可以使船舶在波谷航行时浮力集中在船体中部附近，从而最大限度地减少主导偏航。



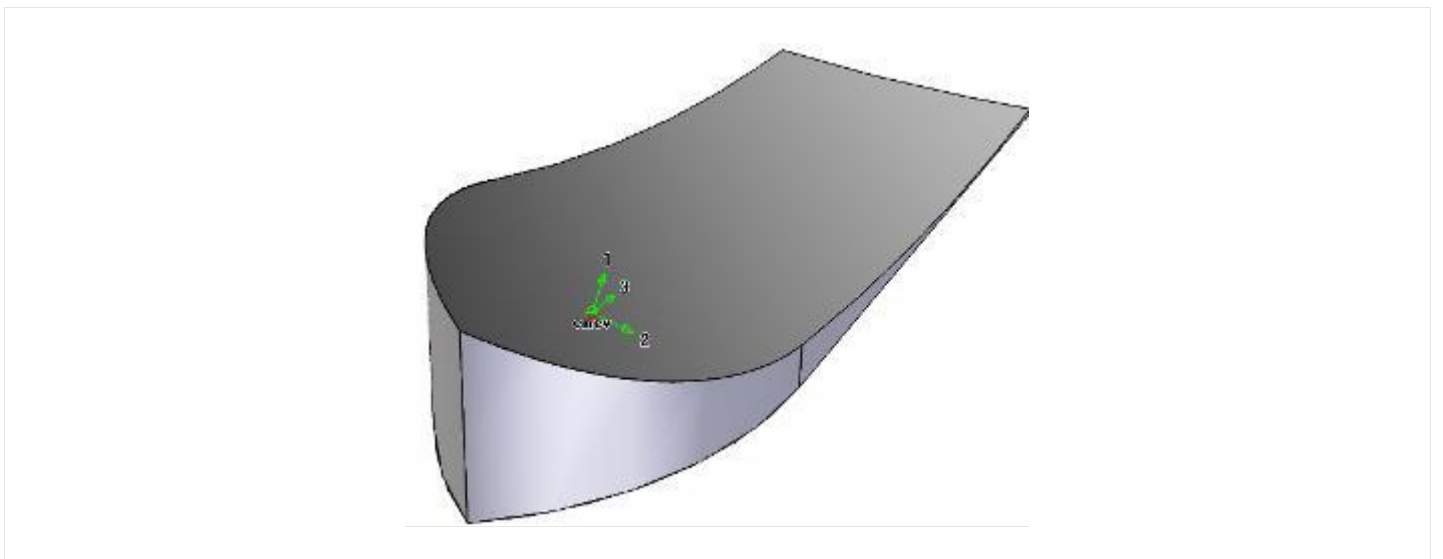
尽量减少下垂时的主要偏航（ACW），并尽量增加猪跳时恢复的偏航（CW）。

相反，纯方块形船体预计更容易发生横摇。由于两种船体都具有相似的平行中部，因此其船首下沉情况不会改变。然而，当船体跨越波谷（下沉）时，船体两端会产生较大的偏航运动。在这种情况下，整个横截面都浸入斜波最陡峭的部分，导致偏航运动显著增加（由于波峰或波谷向船首或船尾方向更陡，因此偏航运动的增加量大于相应的体积增加量）。

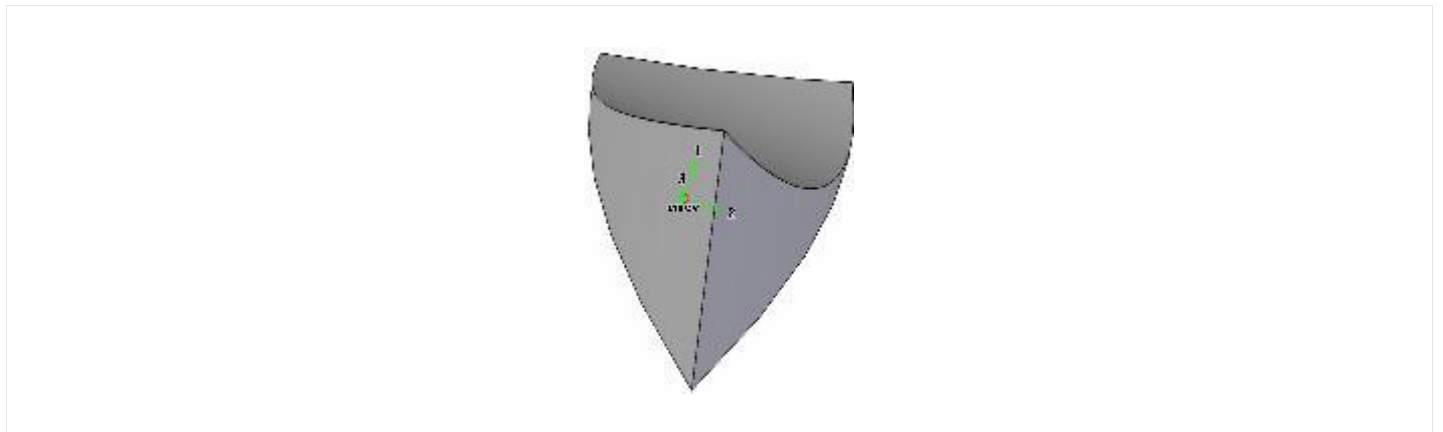
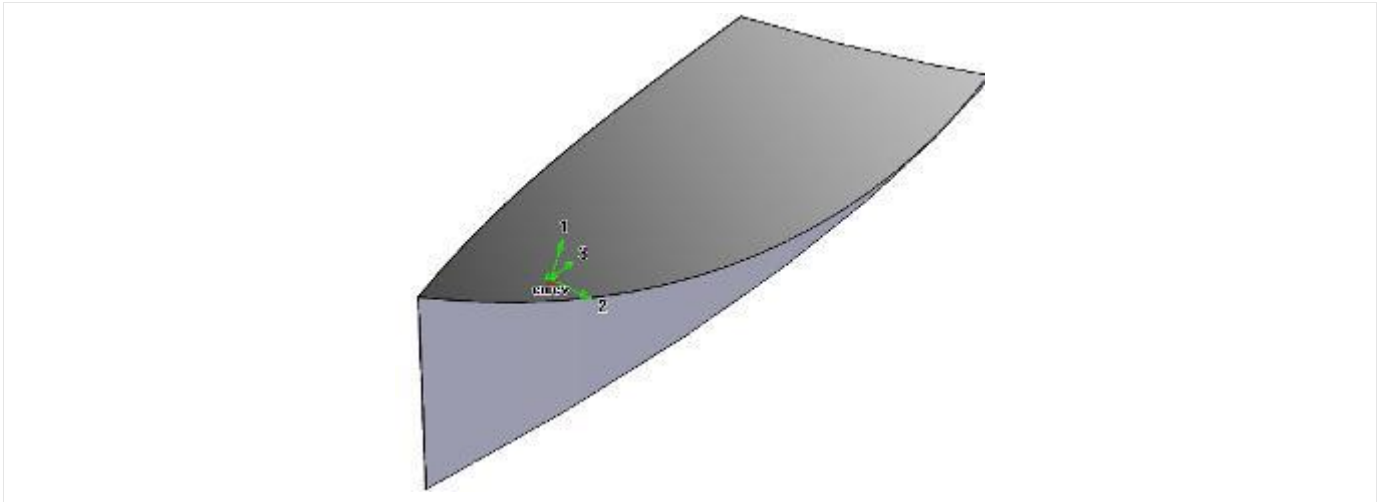
船体一半与波浪成 45 度角时，船体下沉（船中部波谷）时的排水量比较



块状船体预计会产生最大的横倾效应。



更精细的船首和船尾设计可以减少静水波引起的偏航。



独木舟形船体预计具有最低的净静水压横倾力矩。任何船体形状（长度大于宽度）都无法克服船舶横摇的自然趋势，但最小的偏航运动有助于保持船舶与波浪垂直。由于横向拉力较小，利用水力作用中心和风载荷之间的横向不对称性来操纵船舶所需的力也更小。有多种方法可以实现这种方向控制，例如设置风阻障碍物（帆或突出的前甲板）、调整船尾姿态（船尾降低，船首升高）、使用海锚或增加船尾的横向水阻（例如，船尾龙骨、舵或其他水中障碍物）。

为了最大限度地降低横倾风险，应采用相对纤细的船首和船尾，同时又不影响浮力。这显然不利于采用方

正的船体。当然，船舶设计中还有其他因素，但当波浪较大且漂流船舶的长度是其宽度的六倍时，横倾无疑是一个需要优先考虑的问题。此外，船体越接近方正的形状，加速度就越大。

与普通船舶相比，诺亚方舟的设计要求较低，例如阻力较小。在顺浪航行时，避免横倾是首要任务，但对于一艘漂流的船只来说，其他航向都是不可取的。此外，方舟无需高速航行。虽然绝对稳定性对于避免被侧浪掀翻至关重要，但尽可能降低加速度也是合乎逻辑的，这算是一种折衷方案。

## 突然的疏导

顺浪航行可能很危险。如果船首浮力不足，从后方袭来的巨浪会抬起船尾，并将船首推入水中。这可能导致船体突然横倾，甚至倾覆。



图片来源：NOAA.gov

在这些情况下，可以通过避免使用宽而平坦的船尾、降低船尾浮力并增加船首浮力来降低横倾风险。更纤细的船尾（双头船尾）也有帮助，使其形状更接近迎浪航行时的船首。

## 保持迎浪方向

在波涛汹涌的海面上，最糟糕的情况莫过于船身侧倾，迎着波浪，在某些情况下，即使是大型船舶也会倾覆。在严重的风暴中，船首通常会保持迎风，有时甚至会向后倾斜。即使是古代船舶也具备一些旨在防止横倾的设计。<sup>8</sup>

诺亚方舟并非立方体，立方体无法均匀地应对来自各个方向的波浪。[创世记 6:15](#) 中记载的尺寸显示，方舟的船体长度是宽度的六倍，这一比例与现代船舶非常接近。这意味着在恶劣海况下，方舟能够避开横浪（侧向波浪）。在世界性洪水期间，预计会出现巨浪，尤其是在狂风肆虐的时期（[创世记 8:1](#)）。

失去动力的船舶非常脆弱，因为推进系统无法维持航向。在这种情况下，可以使用海锚。海锚实际上就像一个水下降落伞，当风浪将船向后推时，它会拉动船首。

需要注意的是，波浪并不输送水流，而是使水在原地或近乎原地振荡。虽然波浪看起来是从船边流过，但

水本身几乎是静止的，因此海锚往往能保持其位置。尽管海锚有效，但需要经常维护，因为绳索容易缠绕，而且波浪并非总是从同一方向涌来。一种变体是减速伞，它设计用于在顺浪航行时拖曳在船后，通过拉动船尾来提高航向稳定性。相比之下，海锚系在船首，阻力要大得多。海锚的维护需要耗费大量人力，而且漂浮物（例如树干）也会造成严重问题。

## 横向不对称

为了让方舟像风向标一样保持航向，船尾可以拖在水里，船头则可以迎风。船尾的阻力可能来自船体本身的突出部分（例如木头等），或者仅仅是由于船体设计不够流线型。船头则需要某种阻挡风的装置——例如像方舟体验馆里展示的那种鳍。

如果风力使船体侧倾（横倾），迎向波浪（横浪），则存在倾覆的风险。使对称船舶摆脱这种状况的最简单方法是增加船体纵倾角（船体在水中从船首到船尾的倾斜度，通常是由于载荷不均造成的）。例如，向船尾倾斜会使船尾更深地进入水中，从而使船首能够吸入更多空气而减少水流，进而实现船体的摆动。这种调整的有效性取决于船首和船尾水下轮廓的相对差异，这决定了横向水压中心相对于横向风载荷中心的位置。即使没有刻意制造船首和船尾之间的浮力差异，也可以通过在船尾装载重物来实现纵倾。

## 冲浪和波浪速度

采用船尾鳍设计的船只航速会比故意拖曳船尾的船只更快，但这可能会（也可能不会）导致危险的斜渡状态，即船只几乎开始“冲浪”。冲浪之所以危险，是因为船只不稳定，需要控制（你试过冲浪吗？）。答案在于风力驱动的船只的相对速度与波浪的视速度（波速）之间的比较。在开阔的海域，当波浪较大且发育良好时，波浪之间的距离（波长）很长。波速随波长的增加而增加，因此预计在涨潮后期，风力驱动的波浪相对于船只的航速而言速度会更快。艾伦·马格努森博士估计，风力驱动的方舟航速只有几节。深海波浪的高速和低坡度正是为什么你只能在波浪速度减慢且坡度变陡的浅水区看到冲浪者的原因。



艾伦·马格努森博士（哲学博士，注册工程师）研究了诺亚方舟的潜在船体形状，并调查了木船的建造和内部结构布局。

1987 年我得救之前，曾在主日学代课，讲授创世记第六章。当时我认为创世记是一部寓言或传说。在备课时，我意识到[创世记 6 章 15 节](#)中描述的方舟的尺寸和比例与现代货船相当。那一刻我明白了，上帝设计方舟是为了把它当作一艘远洋船，而动物则是船上的货物。这强烈地促使我决定信主。此后不久，我公开接受基督为我的救主。（2005 年 7 月 20 日）

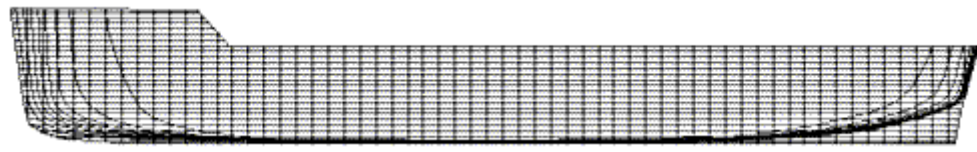
这意味着船尾承担了劈开波浪的所有工作，而这通常是船首的工作。



强风正将方舟推向画面右侧。一个浪头刚刚掠过船尾。图片来源：蒂姆·洛维特，2004 年。图中未显示任何防横倾装置。



美国帆船“领航者号” (*Ringleader*) 建于 1853 年。A. V. Gregory 的画作描绘了这艘船在南大西洋“顺风而下”的景象。在波涛汹涌、狂风呼啸的海面上，存在着横倾的风险。船帆集中在船首，后桅（第三桅）完全裸露，这有助于保持船头迎风。



船尾龙骨和前甲板设计。图片来源：Allen Magnuson，2005 年。

船首隆起的部分（船首楼）受风力推动，而船尾的鳍状龙骨（尾鳍）则防止船体横向移动。尾鳍的作用类似于冲浪板的鳍——抑制船体在水中的横向运动。这是船体的标准设计，通常与船尾向上倾斜的船底相结合。



船尾的龙骨设计可减少横向水阻，从而提高方向稳定性。图片来源：Allen Magnuson、Tim Lovett，2005 年。这种布局在大多数现代船舶上都能见到，但典型的散货船则相反。上层建筑位于船尾，有助于“引导”船舶，使船首始终指向风向。如果上层建筑位于船首，风浪就会使船首向船尾后方移动，造成横倾。

读完这篇文章，你心里是否有一些触动？有没有一些新的想法，或者值得你认真思考的问题？或许，你也开始重新思考自己的信仰和人生的方向。

如果你愿意，现在就可以向上帝祷告，打开心门，成为祂的儿女。祷告不需要华丽的言辞，只要一颗真诚的心。你可以这样祷告：

天父上帝，

今天我来到你面前，愿意立定心志，宣告我相信耶稣基督是我的救主，是我生命的主。我愿意离开过去那些不讨你喜悦的生活方式，求你赦免我的过犯。靠着你的恩典，帮助我学习顺服你、爱人如己，活出你所赐的新生命。求圣灵每天引导我、扶持我，使我一生荣耀你的名。奉主耶稣基督的名祷告，阿们。

如果你已经做了这个祷告，愿你知道，你并不孤单。信仰的道路需要陪伴和成长。鼓励你在自己居住的地方，寻找一间合适的教会，与弟兄姐妹一同聚会、学习和成长。

如果你有任何疑问，或在信仰上需要帮助，欢迎随时写信与我们联系。我们愿意倾听，也愿意与你一同前行。