



码头护舷设备的规划设计与施工

Dennis V Padron

安装码头护舷系统的目的是为了防止船舶在靠泊或系泊过程中，码头与船舶相互冲撞损坏。因当船舶向码头靠泊时，具有相当大的动能，撞上码头后，这个功能必然要释放。对于小船，其冲撞动能较低，作用过程也较短，所以释放的能量也很低。对于较大的船舶，则需要码头设计人员重视这个系泊冲击力，并提供一个能够吸收足够能量的护舷系统，以防码头及船舶受损。

对于小型码头，木护舷应用最为广泛。当然，某些大型码头也使用。木护舷系统是因木质纤维受压变曲，甚至局部压碎而吸收能量的，但它的能量吸收能力很低。当高能冲力出现时，木护舷由于吸收很大的附加能量通常会被撞坏，因而，木护舷系统常常设计成便于更换的单独构件。增加木护舷吸能量最早、最普遍的方法是在传统的木护舷与码头结构之间，装备一系列挤压变型的橡胶构件。实际上，目前这种护舷系统已广为应用，但它的能量吸收能力仍然不够大。

起初所研究的大吸能量护舷系统导致了重力式护舷系统的发展。这些护舷系统的理论依据是能量转换定律，即通过加大护舷重量将船舶的动能转换为势能。然而，重力式护舷耗资多用量大，支撑系统结构的维修工作量也大。二、三十年前，护舷设施流行使用钢质弹簧作为吸收能量的构件，当时之所以能引起人们的兴趣，是由于其吸收能量高，且不需要高价结构来支撑其重量。存在的主要问题是构件易

于锈蚀。随着橡胶护舷构件的不断发展，钢弹簧也渐渐被取代而改为它用了。

最初的橡胶护舷是具有高吸能量的雷金式消能垫，它的工作原理是通过钢垫上的橡胶构件受剪压而吸收能量。尽管六十年代有相当一部分地区安装了雷金式消能垫，但到七十年代就有大部分被另一种廉价、单位吸能量高又无需频繁维修的橡胶护舷所取代。

一、护舷类型

目前市场上的橡胶护舷构件有多种类型，每种类型都有不同的特征和一定的优缺点。护舷设备中广泛应用的型式通常有以下几类：

- 1、压曲型；
- 2、充气型；
- 3、泡沫型；
- 4、侧向受荷圆柱型（鼓型）；
- 5、对接V型（即X型）；
- 6、柔性桩型。

图1表明了以上各种类型的反力—变形特征。在图中，各类护舷在同一个设计反力下都有一个对应的吸能量。也就是说，若反力—变形曲线下的面积相等，则其吸能量相同。由图中可看出，压曲型护舷对于给定的最大反力，其吸收能量的变形比其它各类均小得多，尽管它还有某些缺点，但这种小变形特性仍使其得到相当广范的使用。设计船型吨级以内的大部分船舶在系泊期间都会出现最大反力，许多压曲型护型对船体会造成相当大的压力，

因而，常常要用一块板把压力分散减小。当承受与护舷面不垂直的外力时，这种护舷吸收冲击能的能力还将大大减小。

充气型和泡沫型护舷，有相同的反力—变形曲线。由图中可见，它们显然比压曲型护舷变形大，因此，需要装配设备的外伸距也较大。在这种类型中，大型的圆形悬挂式护舷构件，对于船体接触压力较小，因此，在船体与护舷间就不需要加贴面板了。而对于小型的直接安装在码头结构上的护舷设备则必须加贴面板。至于充气型或泡沫型护舷在使用期间，其反力达到或接近最大设计反力的情况极少出现或不出现。

对于能量吸收要求不太高的地方，普遍应用大型的侧向受荷圆柱型（鼓型）护舷，尽管其对船舶接触压力相当大且安装紧固比较困难，但是，相对低廉的价格使其仍有一定的竞争力。V型护舷在与上述相同条件的地方也很有市场，有一些V型护舷上被装上一个单向贴面板，使其吸收能量的面积更大些。

柔性桩型护舷一般用于土壤条件适合的地方，因为它把护舷的功能与靠船构件结合起来。桩的吸能量取决于其长度，因而，这类防撞系统特别适合在深水中应用。

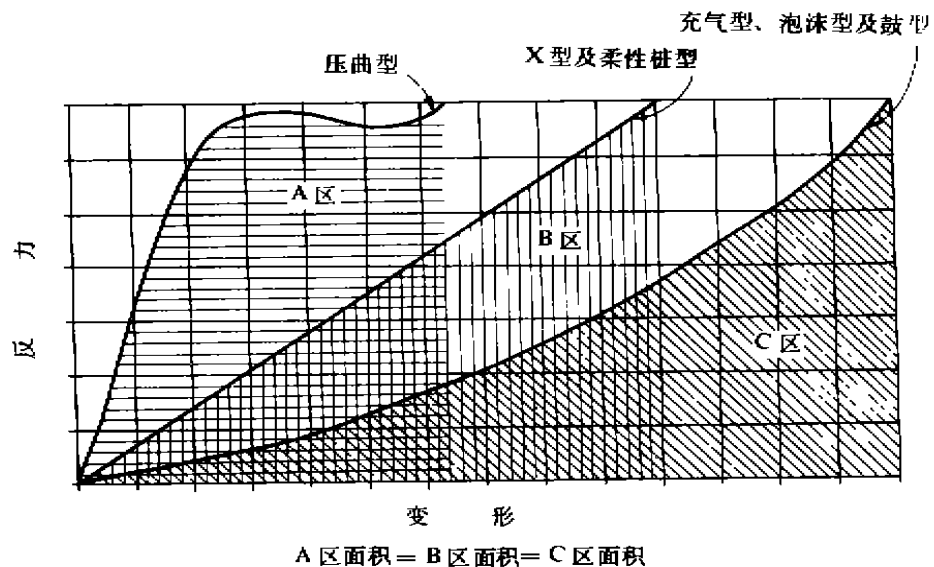


图1、各种护舷的反力—变形特征曲线

二、设计步骤

迄今为止，还没有一个统一的海港（船舶）防护系统设计规范。1978年，国际航运联合常务委员会（PIANC）成立了

一个改进护舷系统设计的国际委员会，目的是制造一份指导护舷设施设计的文件。委员们提供了各种各样有关护舷设计的重要问题，大量不同的观点载入文献并在



1984年公开发表。它作为最全面最权威的护舷设施设计指导文献、推荐给与护舷设施设计有关的各个方面。

在PIANC学术报告中,叙述了关于护舷系统吸能量计算的三种基本方法。即,数理统计方法;数学模型法;动力学方法。其中,应用时间最长、范围最广的是动力学法。它的理论基础是动能方程,即物体运动产生的动能(这里指系泊动能)等于物体质量与其运动速度平方乘积的一半($E=1/2mv^2$)。但是,船舶运动的全部动能并不能全部被护舷系统吸收,通常,我们计算吸能量时,把船舶的总动能乘以一个系数 f 。这个系数由四部分组成,即:离心因数 C_e ;附加质量因数 C_m ;柔度因数 C_s 和码头岸壁形状因数 C_c 。

$$f=C_e \times C_m \times C_s \times C_c$$

离心因数决定于船舶挤靠力作用点相对于船舶重心的位置。大约20年前提出的计算 C_e 的方法很简单,即 C_e 等于船舶惯性半径的平方除以惯性半径的平方与船舶重心到冲撞作用点距离的和。当然,还可更精确地计算,但一般无此必要。对于典型的连续护舷系统, C_e 取0.5~0.6;对于单个的靠船墩, C_e 取0.7~0.8。

当船舶撞击护舷时,不仅船体本身被减速,与船舶一起运动的一部分水体也被减速了,因此,要考虑附加质量因数 C_m 。通过大量的模型试验和实体实验,归纳测定出的 C_m 值,在典型情况下,设计者可取1.2~2.0。对于 C_m 的求法,PIANC学术报告中讨论了九种不同的计算公式。附加质量因数是一个与水深、龙骨下富裕水深、到障碍物或墙体的距离、浸没在水下的船体形状、靠泊速度、水流、船舶减速运动及船壳净度等有关的函数,因此,没有统一的数值和计算公式并不奇怪。龙骨下富裕深度大的,或者说水

深与船舶吃水比值达1.5倍的, C_m 可取1.5,对于水深仅为船舶吃水深度1.1倍的, C_m 可取1.8。

柔度因数 C_s 系考虑船舶与护舷刚度之间的关系,通常对“柔性”的护舷, C_s 取1.0,“刚性”的护舷取0.9。然而,对于大型新式的护舷,由于它们的挠度较大,简单计算表明,此系数精确值接近1.0,故推荐 C_s 常取1.0。

关于码头形状系统 C_c ,系考虑船舶和码头岸壁之间挤压水的缓冲作用,当船舶相对于码头实体岸壁平行停靠时, C_c 值取0.8左右,对于透空型结构或只能使船与码头岸线成 5° 以上角度的情况, C_c 应取1.0。

由于动能与船舶系靠速度的平方成正比,所以,靠船速度的选择是设计的关键。然而,因为它涉及到的因素太多,所以,对此值的选择没有硬性规定。为此,人们不得不由熟悉现场条件的,有经验的工程师们选定这一数值。作为一般参考,下面给出一些常用值:

在很好的条件下	10 厘米/秒
一般情况下	15 厘米/秒
在很不利的条件下	25 厘米/秒

在选择设计靠泊速度时,一定要进行稳妥的判断,这一点无论怎样强调也不过份。过低地估价这一点,往往会使人们的生命财产受到损害。

作为一项准则,较大船舶靠泊时的速度要低于较小的船舶。由于一些泊位系为一定吨级范围的船舶靠泊,也可能出现较小船舶的靠泊能与较大船舶的靠泊能相当的情况。

三、护舷的选择

现在,已经确定出了计算所需吸能量的方法,设计者必须根据算得的所需吸能量的大小,选择一种能够满足此吸能量的



护舷设施。选定特定条件下的最佳护舷设备需考虑众多因素，通常也有各种可供选用的护舷，这些设备一般能满足吸能量的需要，但设计者必须根据其它各种因素进行比较，最后选定最佳护舷。须考虑的主要因素列举如下：

- 1、作用于船体和码头靠船构件的反力；
- 2、护舷吸收船舶动能后其变形的大小；
- 3、护舷变形产生作用于船体的反力；
- 4、护舷的相对刚度；
- 5、非正向挤靠时护舷吸能的有效性；
- 6、护舷设备使船舶靠泊速度减速的速率；
- 7、船舶停泊期间，环境条件的变化；
- 8、护舷系统与船体间的摩擦系数；
- 9、导致护舷或支撑护舷构件撞环的因素；
- 10、护舷系统和支撑构件的基建投资及其维护费用；
- 11、靠泊码头的设计船舶的吨级范围；
- 12、船体与护舷的接触方式；
- 13、水位变化范围；
- 14、与波浪作用力间的夹角。

护舷系统的设计人员，主要任务是对每种因素进行评价以适应特定情况、选择最佳方案。最佳护舷系统通常是指投资最低、使用寿命最长，同时还应考虑到基建投资和年维修耗资（包括护舷、靠船构件及船舶的维修费）。

这里要强调指出，安装护舷系统的具体情况变化很大，没有一种安在什么地方都最合适的护舷，甚至在相同情况下，不同的设计者对影响护舷设计的各种因素也有不同的侧重面，所以，所选的最佳护舷系统也不一定相同。设计者应该不断增加对护舷设计原则的深入了解，进而运用自

己的知识和智慧，研制能够满足特殊工程需要的护舷系统。

四、几个参考实例

下述三个由 HPA (Ham--Padron Associates) 研究的最新设计，充分阐明了以上观点。HPA 是纽约市一家咨询服务工程公司，主要承担规划和设计海港码头及水运工程建筑物。该公司为满足不同的条件设计了各式各样的护舷设施。无论在什么情况下，所有工程具体考虑护舷设施与其支撑结构的相互影响，充分发挥创造力，用最好的护舷设施适应特定情况。

国际海运码头的 PLaquemines Parish 煤运中转站南码头建于 1982 年，座落在密西西比河西岸，距新奥尔兰约 60 公里处。该码头能接纳从 1.3 万吨远洋驳到十五万吨级散货船。为使码头维修量降至最低，码头上部结构采用预应力混凝土，基础采用钢管桩。鉴于码头上只供人员出入，设计采用了不设码头面板的桁架结构（即甲板结构）。这种结构型式，混凝土用量很少，同时可以大量预制，使桩上所受恒荷载最大限度地减小。

船舶的靠泊挤靠力主要产生水平荷载，在码头前沿安装的高效能压曲型护舷使这种水平荷载降至最低限度。这种护舷系由 Seibu 公司制造的 TTV 型构件。为了使护舷传到单桩上的反力很小，上部结构设计为一个水平桁架，这样，作用于桩的水平力由许多桩共同承受。斜桩的斜度控制在 1: 8，桩的柔性相当好，这就更改善了船舶挤靠力的传递和分布。

这种轻微的倾斜几乎对桩的竖直承载力没有多大影响。自然，斜桩是用来既承担竖直荷载又承担水平荷载，因为码头没有直桩。

得克萨斯州的 Exxon Baytown 炼油厂，情况则大不相同。它的一号码头建于 1921 年，至 1947 年扩建时，在 2 万吨级



的码头岸壁上安装一种新型的钢弹性护舷系统。到 1982 年这种护舷已残旧不堪，而码头又需停靠 4.7 万吨散货船和驳船。由于码头前沿疏浚加深，加之近年来码头上部结构上恒荷载的增加，基础状况又不明，使得新的护舷系统不能对码头产生任何荷载。

过去的 25 年，贝顿 (Baytown) 地区的地面沉降超过了 3.0 米多，码头面更接近水面，使护舷系统的竖向使用范围相对变小。在新型护舷的选择上还受到码头航道对护舷设施突出距离的限制，和当护舷损坏更新时，必须保证码头正常作业及船舶安全靠泊的要求。

HPA 公司确定的最佳方案，是使用一种木护面的钢架结构，该钢架沿码头全长布置，架在橡胶护舷上。这种压曲型橡胶护舷由摩尔斯橡胶生产公司 (Morse Rubber Products Co) 专门制造，它依次支撑在扭曲的托架上，扭曲托架固定于新打的垂直钢桩上，垂直钢桩又与新打的斜桩固定在一起。所有的直桩沿纵向与焊接在扭曲托架后面的连续固定梁相联接，以便安装时无需各桩准确对位。

每一个桩组 (包括一个直桩和一个斜桩) 支撑一套四个护舷，每组排桩纵向支撑间距为 5m-5m-3m。选择这种布置型式主要考虑了三个设计因素：1、提供吸能量所需足够的集中排桩；2、提供与原有码头支撑互不相关的空间型式；3、提供典型的既好用又易于搬运的护舷面板尺寸，以便施工 (选用了十二米长的贴面板)，图 2 即为这种新型护舷系统的一个断面图。

图 2 得克萨斯州贝顿 Exxon 提炼厂一号码头新型护舷系统断面图。

护舷构架的横撑按大小排列，以便当任一位置受撞击时其邻近的护舷都能产生足够的挠曲度。这样，当船舶以设计动能冲撞护舷系统时，受力的四个压曲型护舷

构件能发挥相当于三个护舷的吸能量。护舷构架采用高强度钢，以减轻压曲型橡胶护舷支撑构架的自重，这些构架依靠压曲型橡胶护舷的支撑，增加其柔性，进而使其吸能量增加。

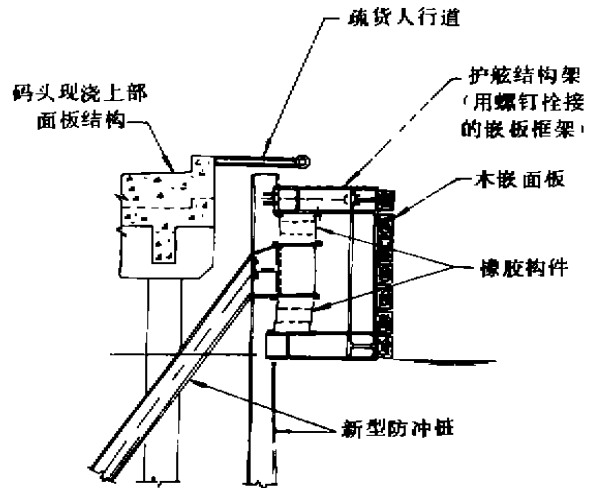


图 2、得克萨斯州巴顿的尼克松提炼厂所装配的一号码头新型护舷系统断面图

护舷系统的构架包括为完全预制的木护面板。这些预制构件与支撑在桩上的橡胶护舷构件用螺栓固定在一起，为使这些护舷构件便于安装且不影响其吸能量或承载能力，在构件各方面均有 5 厘米左右的间隙。护舷面板通过销钉或铰链相互连接在一起，这种连接方式适合于现场的快速安装，但对它的弯曲度有很大限制，且在护舷面板安装使用后还要弯曲，这样就要求最大限度地减小其尺寸和重量。

HPA 设计的第三个工程要求创造性地解决美国 Connecticut New London 潜艇基地独特的护舷设施。该基地第 17 号突堤码头建于 1946 年，为两个浮 (船) 坞的靠泊设施，由于使用要求的改变，美国海军指示将其中一个坞调离，并改码头的一侧为潜艇服务，另一侧为维修另一个浮坞服



务。改建包括突堤码头的桩和面板复原及面板结构的改造，同时，增加一些公共设施所需的工艺管沟，如新装的暖气管、消防水管、淡水管和污水管等管道系统、新建配电、照明设施，增设一个独特的护舷系统以吸收系泊潜艇的冲力，然而，原突堤码头并非为承担这样的挤靠力所用，何况还要引进使工程得以实施的新概念，并在工程上采用大量的创造性措施。

在广泛应用计算机进行设计工作之前，为估算沿码头长度方向系泊挤靠力的分布，采用了保守的经验估算方法算。计算结果表明，码头每一排桩须抵抗大约总冲力的 20%，而码头面板，则如水平横梁一样把系泊冲力传布到许多排桩上，这种力的准确分布取决于码头面板结构和桩的相对刚度。通过计算机分析认定，一排桩所抵抗的冲力仅占全部冲力的 8%，显然，码头的实际抗挤靠力与经验计算法结果相差 1.5 倍。计算机的使用使新型护舷设备的安装趋于合理，同时加快了工程进度。

在投资受到限制的情况下，提供高吸能量、低维修量的潜艇护舷系统是一个极其难以解决的问题。由于潜艇的船型特点，其挤靠力作用点在码头面板支撑护舷的点到海底之间的中点附近，使护舷桩如同一根长 15 米左右的支撑横梁。当潜艇挤靠护舷设施的瞬间，挤靠力有一个横向速度分量和一个纵向速度分量，横向悬臂梁就会在两个方向产生很大挠度。

归结起来，问题就在于原突堤码头横向受载能力相当小，使改建工程受到限制。为了避免码头斜桩超负荷受载，使护舷设施的选择受到严格的限制。

HPA 公司设计的 17 号码头所使用的新型护舷设施，在满足美国海军通用标准方面可谓首屈一指。其设备吸能量是目前 New London 潜艇基地其它护舷设备的三倍多，这种护舷设备是由摩尔斯橡胶生产

公司制造的，它是用一对弯曲型的橡胶构件，使之富有弹性，然后再与高强度的弹性护舷钢桩相结合，在护舷钢桩的外侧表面又壤上一种翼型的橡胶护舷构件（如图 3 所示）。

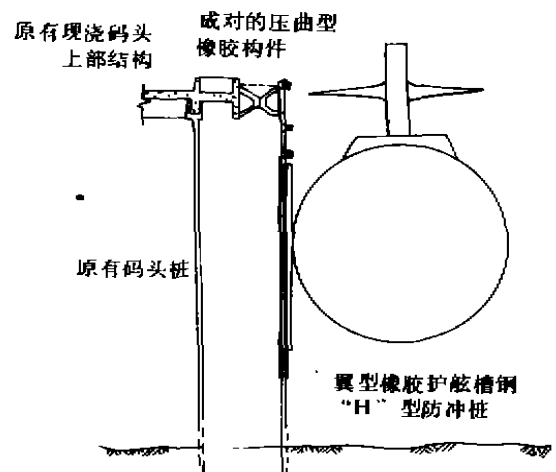


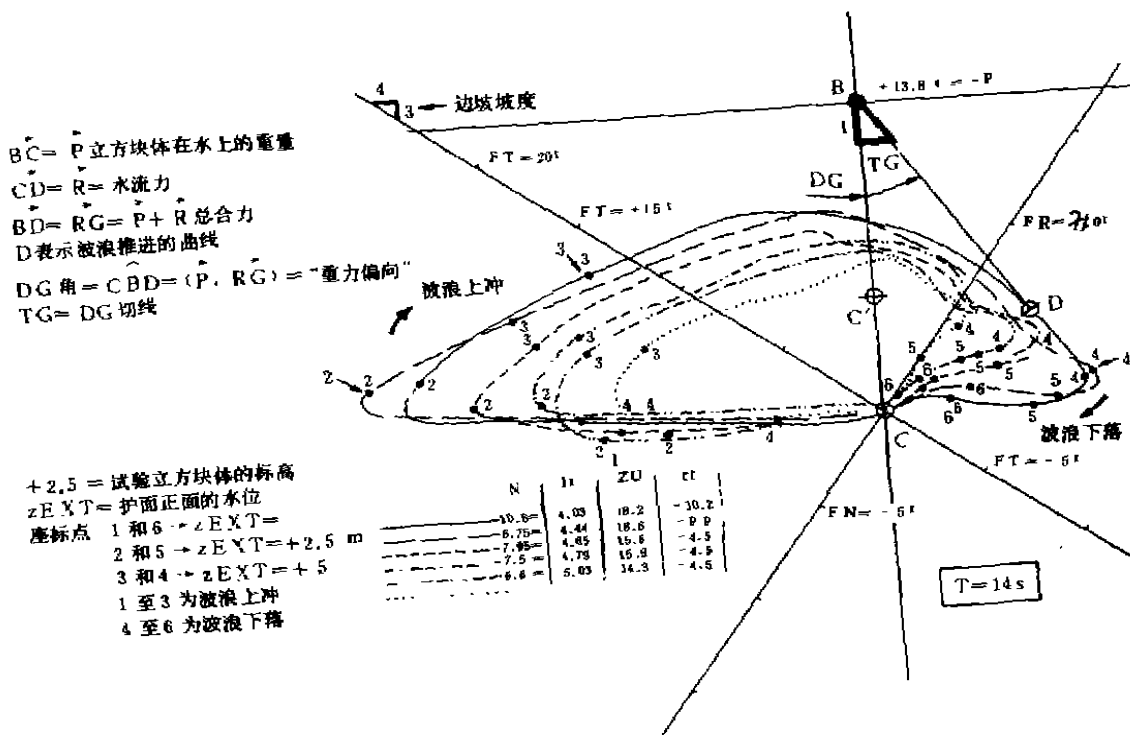
图 3、康涅狄格州纽伦顿美国海军水下基地 17 号码头所装配的防冲系统断面图

图 3 美国 Connecticut New London 潜艇基地 17 号码头所装配的护舷系统断面图。

“对接 V 型”护舷构件中心间距 3 米配置一对，面对面用螺栓把“V”型护舷对接在一起成“X”型。这样，它的吸能量为单个“V”型护舷吸能量的二倍，而反力却与单个构件相等。每对护舷都固定在码头面板的前沿与护舷钢桩栓接在一起。

护舷钢桩为“H”形，总长 40 米。泥面上 21 米是重型高强钢桩，泥面以下 19 米是轻型软钢桩。泥面以上部分均采用高强槽钢，预应力固定在法兰盘上。桩的上半部使用开槽高强钢，以防止既长又无支撑的钢桩因弯曲而引起的失稳，增加弯曲强度，减轻自重，提高柔性进而增强吸能量。

(下转 48 页)



王美荣译自《LA HOUILLE BLANCHE》1986年4-5期
 熊定国校

(上接 57 页)

在潜艇船体可能撞击的地方，护舷钢桩外侧面还安装有翼型橡胶护舷。这种护舷对艇体和钢桩起保护作用并发挥附加吸能作用。大约护舷系统所吸能量的 65% 由“X”型护舷构件承担，20% 由护舷钢桩承担，15% 由翼型构件承担。

这种护舷设施的施工，去年下半年就完工了，进度相当快。护舷钢桩包括开槽，装托架和翼型护舷等，完全在交货之

前运到现场预制。海底土壤特性适用把桩打到预定标高，再将木护面横撑就位，并用单个大螺栓将其固定在每根护舷钢桩上。

秦福寿译自《Dredging+Port Construction》

1986.6

鹿鹤松校