

关于码头护舷的探讨

秦皇岛建港指挥部 杜国斌

11653.2

摘 要

本文以秦皇岛煤港的橡胶护舷使用情况为依据, 对系泊船舶护舷的力学性能和材质要求进行了详细论述, 并对各种护舷的使用效果和经济效益进行了比较, 强调了对橡胶护舷科学造型的重要性, 并对今后的护舷造型提出了建议。

ABSTRACT

Based on the experience in Qinghuangdao Coal Terminal where rubber fenders are used, the author presents in his paper a detailed review on the mechanical properties and material quality of fenders as required for moored vessels and a comparison between the effect and the economical benefit of various types of fenders. The author stresses the significance of a scientific selection of rubber fenders and presents also his recommendations for future selection of fenders.

1. 前言

世界能源大港秦皇岛煤码头的建成与投产, 橡胶护舷的好坏始终制约生产泊位的使用, 困扰码头与船方引航置泊的安全, 影响生产船只调度的时序。橡胶护舷损坏的成因, 并非偶然事故和操作管理问题, 而是有着深层理论根源, 解决它首先应在护舷设计选型、材质制造上去分析研究最佳对策。港务局曾就这方面的问题, 召开过多次专题会, 笔者拟就橡胶护舷的设计制造与使用内涵与外延作深层探讨, 以资新建工程借鉴, 进一步提高秦港护舷质量和选型的决策意识。

2. 护舷与泊稳的关系

为了减小船舶靠离停泊码头时的冲击力, 防止与码头发生直接碰撞而造成船舶和码头的损坏事故, 码头前沿均需设置防冲设备。我国各港口在 1970 年前后开始逐步采用橡胶护舷, 目前世界各国采用的橡胶护舷可分为压缩型、充气型、剪切型、转动型及水压型五类, 其中前两种型式采用最为广泛。我国现在各港采用的橡胶护舷大部分为国产压缩型护舷, 其中有圆筒型、D 型、V 型、鼓型、漂浮型及泡沫橡胶式。

随着码头结构型式不同, 秦港安装各种橡胶护舷共有 3771 个, 其中鼓型 24 个、充气帽型 59 个、D 型 2948 个、V 型 460 个、筒型 274 个以及漂浮型。护舷结构型式的选择取决于船型、码头结构型式及潮汐、风浪等条件。橡胶护舷具有吸能大、反力小、耐磨、耐虫蛀、安装简单、维修方便等优点, 国内外护舷已到了橡胶化的程度, 我国各港口每年护舷投资总和可达四千万元左右。

橡胶护舷布置的间距和高程很重要, 要保证船舶在规范允许的最不利靠泊角度下, 能够不直接碰到码头岸壁, 并应保证船舶在不同潮位、不同吃水的情况下都能安全靠泊, 对不同吨位的船舶停靠具有较强的适应性。在选择和决定煤码头一、二、三期护舷布置方案时, 对不同类型吨级船舶的安全作业的泊稳条件必需予以满足, 它实际上反映了码头对防浪掩护程度的要求。护舷是船舶泊稳吸能设备, 反力的大小决定船舶三维空间运动量, 无掩护半开敞式的秦港煤码头, 由于风、浪、流的作用以及码头方位差、港池在小波高长周期波浪影响下, 都能产生很大的船舶撞击靠船墩能量, 这就要求新采用的护

舷有很好的吸能特性, 码头前允许波高累积频率一般取 4%, 国外有采用有效波高的 3%, 由于影响码头前允许波高的因素比较复杂, 顺浪、横浪、斜浪对码头的船舶撞击能量和所引起的船舶运动参数必须经过计算。煤码头一、二、三期工程码头前允许波高及风力是按横浪 $H_{1/10} = 1.0\text{m}$ 、顺浪 1.5m 、风力 ≤ 6 级 $10.8 \sim 13.8\text{m/s}$ 时, 所产生的船体对码头撞击力是通过护舷来保护码头结构和船身安全的。根据不同吨级船舶横摇周期计算, 应避免船舶撞击码头与波浪共振的可能, 允许波高宜取低值。橡胶护舷的变形量及其相应的反力吸能, 反映了码头前允许波高、风力及允许水流条件。船舶承受流压力与其流压角大小有关, 海流与码头方位接近, 这时的横流影响较小, 护舷反力亦小, 但波浪对船舶作业不利影响仍然存在, 护舷最不利的受力条件是在横浪、高水位和船舶压载状态下的组合。煤码头 3.5 万至 5 万 DWT 在波浪 $H = 1.0 \sim 1.5\text{m}$, 周期在 6 至 8 秒, 船升沉量为 0.5m 左右、横荡在 0.2m 左右、横摇 $2^\circ \sim 3^\circ$ 左右, 这时橡胶护舷应能承受一定剪力, 然而秦港充气护舷根部发生断裂的海事事故屡见不鲜。为此, 本文按以下程序探讨: 代表船型及其靠岸速度的确定; 代表船型有效靠岸能量的计算; 用防冲设备反力的计算去确定防冲设备的型式、布置及附属设备。

3. 探讨护舷设计, 看其损坏原因

根据国内外不同计算方法, 以帽型为例对不同吨级泊位的不同尺度和性能的护舷作了定量分析。首先针对护舷损坏率最高的 301 泊位验算, 这是 10 万吨级码头, 相应船舶满载排水量 122000 吨, 船长 260m, 船宽 40m, 满载吃水 15.2m, 三分之一压载为 53000t, 当 SSW 波浪 10 年一遇 $H_{1/10} = 2\text{m}$ 时, 波浪周期为 6 秒, 这时排水量肥脊系数按 $\delta = \frac{V}{LBT}$ 计算为 0.8m, 相应吃水为 6.6m,

按万吨级轮系泊时撞击能量计算:

$$\frac{E}{H^2} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \left(1.4 - 2.7 \frac{D}{B} \right) \cdot \frac{L_{0A}}{260} \cdot T^{2.5}$$

其中: $D = 6.6L_{0A} = 260\text{m}$, $B = 40\text{m}$, α_1 为船舶横剖面上偏心撞击时折减系数; α_2 为潮位变化时影响系数; α_3 为船舶系缆条件变化所引起的系数; α_4 为波向变化时修正系数, 即 $\alpha_4 = 0.05 + 0.95\sin^4\theta$ (取 $\theta = 110^\circ$), 则 $\alpha_4 = 0.8$, 撞击能量 E 为:

$$E = 67.34t - m \cdot H^2 = 270t - m$$

根据第 24 届国际航运会议论文选 M. cirgrch 论文介绍, 采用能量设计标准: $E = \frac{D}{120 + \sqrt{D}}$, 当 D 为三分之一压载排水量 53000t 时, 该式用于码头局部防冲设备和孤立靠泊点, 此时 $E = 151t - m$; 当满载排水量 $D = 122000\text{t}$ 时, E 为 $260t - m$ 。

根据荷载规范计算船舶靠岸对码头的撞击力:

$E_0 = \rho \cdot \frac{1}{2} M \cdot V_b^2$ 其中: V_b 为靠岸时船对码头撞击法向速度, 取 V_b 为 0.15m/s 时, $E_0 = 112t - m$

若按 24 届国际航运会文选中排水量与撞击速度关系表, $V_b = 0.18\text{m/s}$ 时 $E = 103.5t - m$; 按 0.18m/s 靠岸速度时 $E = 149t - m$ 。

按日本规范满载排水量计算:

$W_1 = 122000\text{t}$, $W_2 = \frac{\pi}{4} D^2 L W_0$, 式中吃水 D 为 15.2m , 船长 L_0 为 260m , 海水容重 W_0 取 1.025t/m^3 , $W = W_1 + W_2$ 为 170330t , 算得撞击能量为 $161t - m$ 。

根据“波浪引起船舶撞击力计算”:

影响船对码头撞击法向速度:

$$V_b = \alpha \cdot H/T \cdot L/B \cdot d/D$$

深水波长 $L_0 = gT^2/2\pi = 56.18\text{m}$

$d/L_0 = 0.1381$, 查表 $d/L = 0.1734$, 由此

可知波长为 44.75m, V_0 为 0.212m/s, 这是 1/3 压载时法向速度, 其有效撞击能量为 $E_0 = 1/2 C_M \cdot M \cdot V_0^2$ (C_M 取 1.3), 则 E_0 为 158t-m, 分配在每个靠船墩上有效撞击能量为:

$E = K \cdot E_0 / n \cdot K_0$ 式中: K 为靠船墩之间有效撞击能量分配的不均匀系数, 取 $K = 2$; n 为靠船墩数取 3, 由此可得 E 为 137t-m。考虑到 301 泊位 10 万吨级仅能按 5 万吨级使用期间, 靠船墩距较大 (中到中为 55m) 船舶有效靠泊能量:

$E = WV^2 / 2g \cdot [1 + (\frac{L}{\gamma})^2]$, 式中 L 为船舶和接触点沿码头岸线方向至船舶重心的长度, 可取靠船墩间距一半的 0.8 倍即 22m; γ 为绕通过船舶重心垂直轴而水平旋转的回转半径; W 为船舶假想重量即为船排水量和附加重量之和为 106000t; 这时撞击能量为 196t-m。根据日本 A、B、F 护舷曲线查得:

$$f(V_i) = (R, E)$$

V_i ——压缩量%

R ——反力 (t), E ——吸能 (t-m)

选用充气帽型高为 2100mm, 直径为 2800mm 的护舷。

同理, 对 302、303 泊位作了计算, 3.5 万吨泊位撞击能量为 84t-m, 选型为 $\varnothing 2400 \times H2000$ mm CM 护舷, 从煤三期两种泊位护舷受力分析后, 又进一步对橡胶制品结构设计作了分析。因为帽型护舷是以空气作为缓冲介质来吸收船舶的运动能量, 根据波义耳定律, 视为等温状态可近似应用公式 $PV^n = \text{not}$, 即 $V_0 P_0 = P_x V_x$, 当船靠码头护舷发生变形为 x 时, 其内压为 P_x , 体积为 V_x , 则应满足:

$$(1 + P_0) V_0 = (1 + P_x) V_x$$

$$\text{所以 } P_x = (1 + P_0) (V_0 / V_x) - 1$$

当压缩变形在 30% 以前时, 护舷的几何形状为椭圆柱, 容积变形按长短轴半径比 1/2, 则 $V = \int_0^x \pi \cdot \frac{b^2}{a} (a^2 - x^2) dx$

通过体积变化求出变形后的内压 P_x , 并求出受压面积 $F_x = y^2 \pi$

$$y = b/a \cdot \sqrt{a^2 - x^2}$$

当内压 P_x 及受压面积 F_x 求出后则作用于船舶或码头的反力为:

$$N_x = P_x \cdot F_x$$

那么, CM 型护舷所吸收能量为:

$$E = \int_0^x N_x dx$$

303, 302 泊位选用 3.5 万吨级泊位护舷 $\varnothing 2400 \times H2000$ 压缩变形 60%, 算得 P_x 为 3.5kg/cm², 相应反力约为 158t, 能量为 87t-m。满足力学性能的橡胶制品材质配方非常重要, 产品的扯断强度、伸长率、硬度、撕裂强度、耐海水性能、压缩永久变形、老化性能、耐油性能、气密性等物化性能都是通过橡胶制品工艺配方完成的。内胶气密性外胶耐老化、耐磨、耐腐蚀性是配方的主要设计依据, 配方组成应包含天然橡胶、顺丁橡胶、氧化锌、硬脂酸、硫化剂、促进剂、防老剂、炭黑、软化剂等, 从物理机械性能看, 外胶扯断强度为 217kg/cm², 内胶为 263kg/cm²; 撕裂强度外胶为 81kg/cm², 内胶为 58kg/cm²; 扯断伸长率外胶 641.5%, 内胶 565.5%, 其它压缩变形及老化性能都要稳定。

结构设计上, 内胶设计厚度为 5mm, 确保气密性; 外胶层厚 8mm, 骨架层选用强度高并经增粘处理的尼龙帘布, 经向 10 层, 轴向 5 层, 贴合角度 90°, 本体顶部厚 45mm, 帽身部壁厚 30mm。

通过强度计算底板 A_3 钢板厚 24mm 压环板 A_3 钢板厚 36mm, 为保证气密性底板未设孔, 只设充气伐, 强度设计通过计算求出压变 60% 时, 护舷内压 3.5kg/cm², 安全系数为 4, 验算布层厚度:

$t = n \cdot p \cdot R / f$, 式中 R 为护舷半径, f 为帘布抗张强度 (kg/cm²), 由此求出径向帘布

层数为 10 层,根据薄壁原理筒状物在内压作用下轴向受力是径向受力的一半,则护舷轴向帘布层数为 5 层,经纬共 15 层。从理论上验算 15 层帘布最大耐压强度:

$P_B = 2K_B \cdot i \cdot C_i / D$, 式中 P_B 为爆破压力 (kg/cm^2); K_B 为胶布强度 (kg/cm^2); i 为胶布层数; D_i 为胶布层不均匀修正系数:

$C_i = D / (i - 1) \sigma$, σ 为胶布厚度 (cm); D 为筒状物直径 (cm), 这样可求得: $P_B = 14.6 \text{kg}/\text{cm}^2$, 该值基本与内压值相符。301 泊位曾因船舶不合理碰撞超过 P_B 极限值而发生爆破。要避免护舷集中受力的不合理状况发生,有时船舶移位时未离开码头护舷就动车,因墩式码头船舶靠泊时经常造成舷梯不到位就已经靠上码头,再想离开码头移动因风浪影响,操作很难完全避免动车,此时使护舷受到侧向剪切力,造成护舷根部拉扯产生撕裂破坏,造成泊位停产和护舷更新所带来的直接经济损失很大。

通过以上分析计算,秦港新建煤四期码头和成已码头橡胶护舷的科学选型尤为重要。

4. 建议与对策

煤四期码头仍然处在无防波堤掩护的开敞水域。虽然帽型与鼓型均可适用作防冲设备,从性能稳定上看,煤一期的鼓型优于煤二、三期的帽型,鼓型不但初置总值比帽型低得多,每年护舷维护费帽型是鼓型的 5 倍,每年平均损坏率鼓型仅为帽型的 1/10,从经济上分析鼓型也优于帽型护舷。

鼓型当代已发展成超级鼓型护舷,力学性能更加优化,国内已能生产引进日本技术开发超级鼓型 (SVC),其单位反力吸能量 (E/R) 值较高;每公斤橡胶能量 (E/W) 值也较大;耗材合理。SVC 鼓型与 CELL 普通鼓型护舷比较可以看出护舷根部的的外形结构不同,作了改善性的设计,使其设计压缩变形量与最大压缩变形量都较普通鼓型有了较

大提高。由于变形量上有显著增加,护舷的物理性能也大为提高,在护舷高度、规格相同,橡胶配方也相同的情况下,SVC 超级鼓型可保持与普通鼓型有相同的反力;但吸收能量 E 却提高了 15%;根部外形结构特殊设计,使根部应力集中的现象大为改善,根部应力分散性能好,使用中更具有耐久性;在安装的尺寸上与普通鼓型有互换性,适用煤四期 3.5 万吨级泊位或 5~10 万吨级码头。

超级鼓型护舷体为圆筒型橡胶体,好似一个圆筒形护舷立起来使用,具有各向同性的优势,也就是受到任何方面的剪切力或拉转力,护舷可以表现出同样的物理性能。

在船方损坏护舷的海事事故上,鼓型比帽型破坏频率低,因为船梯不到位船体压着护舷动车的情况不可避免,鼓型有贴面尼龙板,与船体的摩擦系数远远小于帽型本体与船体摩擦系数,而且鼓型根部受到的侧向剪切力比充气护舷要小得多,内应力分布均匀,受力后是经纬两个方向变形,吸能量大而反力低。帽型发生破坏事故率高,国家损失大,港务局与海运局同属交通部业务关系单位,对船方的索赔不好办,护舷折旧又无具体规定,索赔额度难以确定,处理结果往往港方损失较大。煤三期护舷 1989 年投产使用以来,帽型损坏率高,应急改造成一部分填充帽型护舷替代,由于它技术性能差,充气与填充两种帽型混杂使用,受力不均匀,填充式抗压、反力、抗剪扭能力都很差,吸能量低,使邻近的充气护舷处于不合理受力状况,加剧了充气型损坏程度,曾建议厂方对帽型充气护舷在技术性能上加以改进,加强根部强度,增加抗剪扭能力,减小帽套与船体摩擦系数等,但目前仍未解决好这些问题。

科学的对策是采用超级鼓型护舷,它将是大型码头理想的橡胶护舷,SVC 前端设置防冲钢板并有尼龙贴面板,因为它可以增大

(下转 18 页)

的破坏型式,其破坏的内在机理也是完全不同的。研究表明,对于不掺引气剂的砼,全面的冻结内水压力模型是破坏内在机理的合理描述;而对于掺引气剂的砼,由表及里的冻结内水压力,逐步地破坏气泡,造成表层砼破坏,而内部却由于气泡的“蓄水池”和“减压器”的作用而保持完好状态。

4. 结论

由试验和分析,可得出如下结论:

4.1 采用压汞法测试孔结构的结果与砼的抗冻性无明显的相关关系。这是因为采用压汞法测孔,仅能反映 $5\mu\text{m}$ 以下孔径的孔结构状况而无法反映较大孔径的毛细孔和掺引气剂产生的气泡,这些气泡的半径一般是 $200\mu\text{m}$;尤其是采用压汞法测孔,采样太小,部位局限性太大,代表性差。

4.2 气泡间距系数 L ,新拌砼含气量 A ,硬化砼含气量 A_L 以及平均每厘米切割的气泡数 n_L 分别与砼相对耐久性指数 DF 有一定的相关关系,利用它们的相关关系,可

制定一定的方法以拌制抗冻砼和检测硬化砼抗冻性,但量值标准尚需进一步加以确定。

4.3 掺引气剂与不掺引气剂砼的受冻融破坏的内在机理和表现型式相差很大。掺引气剂砼破坏是逐层剥落型式,而不掺引气剂砼是突发性的崩溃型式。对实际建筑物的抗冻性检查应区别对待这两种砼,尤其应注重对未掺引气剂砼的强度密实度等性能的检查而不应从砼表面状况评述,防止其发生突发性的崩溃,造成较大的危害。

参考文献

- [1] 水工混凝土试验规程(SD105-82),水利电力出版社,1983年第一版
- [2] 秦毓华,粉煤灰水泥砼的抗冻性,港口工程,1982年第2期
- [3] 陈联荣、黄士元,砼抗冻性与气泡结构,上海建材学院学报,1989年第3期
- [4] 气泡性质对砼抗冻性影响的研究,水利水电科学研究院结构材料所,1987年10月

(上接11页)

与船体的接触面积,能有效地减小对船体的面压;尼龙贴面板与船体钢板之间的摩擦系数小,相应的摩擦力也小,这样对护舷的剪切力也就减小,所以贴面板保护了护舷,尼龙贴面板材质与船体钢板相比质地较软,不致伤害船体。

从经济上分析,SVC鼓型每吨米能量价格和单位重量吸能量(E/W)、单位反力吸能量(E/R)都较好;其综合性能参数(E/R·

E/W)超级鼓型是普通鼓型的1.8倍,是小型橡胶护舷D型的7.2倍。

新建煤码头四期工程,当船舶受到S向浪斜向作用时,船向护舷的横移量较大,在SW向浪校核高水位时横移与纵移分别达到45.5cm和61.5cm,这比煤三期同吨级泊位护舷产生剪切力还要大,最好的对策是建议选用SVC型。

总之,今后在国家重点港口建设项目中,建立码头护舷科学决策体系已势在必行。