

中大型汽车滚装船设计

张 敏 健

(上海船舶研究设计院, 上海 200032)

摘要: 阐述了当代世界中大型汽车滚装船 (PTCT) 的设计理念、方法和关键技术。

关键词: 汽车滚装船; 总布置; 滚装设备; 滚装通道; 结构设计; 防挠曲

中图分类号: U674.13⁺⁵.02

文献标识码: B

文章编号: 1005-9962(2010) 03-0022-05

Abstract: This paper describes typical design concepts, solution and key technology for contemporary medium and large size PCTCs (Pure Car and Truck Carrier).

Key words: PCTC; general arrangement; ro-ro equipment; access; structure design; anti-racking

0 前 言

汽车滚装船 (PURE CAR/TRUCK CARRIER, 简称 PCTC) 作为滚装船的一个发展分支, 除了具备普通滚装船的特点和装卸方式外, 还设有多层连续汽车甲板以及跳板、坡道、坡道盖和水/气密门等复杂的滚装通道设备, 船舷设有可供车辆在船岸之间上下的大型跳板, 汽车在甲板之间转移是通过斜坡道或升降机来完成, 船和码头不需设置起重设备等, 是大规模海上汽车专用运输船。由于比普通滚装船具备更强的特殊性, 因此在设计、建造等工艺方面提出了更高、更具有针对性和专业性的要求。

1 主尺度及主要参数

汽车滚装船尺度愈大, 甲板面积利用率愈高, 分摊到每辆车的船舶造价和营运费用愈低, 经济效益愈好。

由于产、运、销各方面都要求增加批量, 促使汽车滚装船的单船装载量迅速增加。其中小轿车的最大载车量, 1955 年为 300 辆, 1965 年增加到 2000 辆, 1985 年为 6200 辆, 现代单船运输小轿车的最大载车量已达到 8000 辆。

由于汽车的积载因数大, 又不能堆装, 提高汽车运输船的载车量就要求增大停车甲板的有效面积。因此设计船舶主尺度时, 首先要根据船的载车

数, 也就是所需停车甲板的有效面积, 在线型, 航速, 载重量, 主机尺寸, 满足船舶稳性的车辆甲板层数、层高, 燃油舱的布置和保护, 压载水舱等各方面都协调后, 再确定船舶的主尺度。这是需要经过一定的计算、分析才能逐次接近的过程。

1.1 船长

由于大型汽车滚装船船宽受巴拿马运河宽度限制, 车辆甲板的层数和层高又受船舶稳性要求的限制, 因此增加停车甲板面积的有效方法就是增加船长。但船长受制于建造成本, 船过长并不经济, 且港口收费标准是根据船舶长度制定的。因此, 主流汽车滚装船中 6000 车级的总长一般不大于 200m, 8000 车级的总长一般不大于 228m。

1.2 船宽

船宽增加能提高稳性, 还可增多甲板的层数, 使每层甲板排列的汽车也增加, 但船宽过大, 将影响船舶的航速。因此, 在规范许可的 L/B 、 B/d 范围内, 只要航道、码头等条件允许, 汽车滚装船的船宽应尽量做大。

1.3 型深

在保证船舶稳性和主机吊缸布置的条件下, 汽车滚装船的主甲板, 也就是干舷甲板的高度应尽量降低。由于汽车是经由设于该甲板的尾跳板和边跳板上下船舶, 因此, 降低甲板的高度, 意味着减小跳板的长度, 这样既减少了跳板占用的码头的面积又缩短了汽车的行驶距离, 提高了装卸效率。

按所装运的车辆高度设多层甲板以充分利用舱容, 包括设置多层升降甲板以兼顾小汽车和高车。目前主流船型的小车甲板净高一般都不小于

作者简介: 张敏健, 男, 研究员, 1959 年生。1982 年武汉水运学院流体力学专业毕业, 现从事船舶设计工作。

收稿日期: 2010-06-09

1.9m, 而高车甲板的净高在 4.2~6.8m。

1.4 吃水

在确定船舶吃水时, 除了要考虑汽车码头吃水、航道水深的限制外, 还应注意不同装载浮态、码头标高、潮差等对装卸车跳板处于正常工作状态的影响。

1.5 载重量、载车量

汽车的积载因数大, 自身重量不大, 因此对汽车船来说, 其主要的经济指标是载车量, 也就是甲板的有效载车面积, 其次才是载重量。

载车数一般以日本车 Corona-RT43L (长×宽: 4125mm×1550mm) 作为标准车型来考核。车与车之间的间距纵向 300mm, 横向 100mm, 车与舱壁、支柱等船体构件之间间距 300mm。经统计, 车辆甲板的有效载车面积与载车数之比通常在 8.2~8.4 之间。

1.6 线型

汽车滚装船的空船重量大、重心高, 所载部分车辆也处于较高的位置, 为满足稳性要求, 需具有较大的 KM 值。为此, 线型为 V 型。同时也需注意 KM 值过大对船舶航速产生的不利影响。另外, 由于尾跳板重量大, 距船中又远, 重心位置偏后, 为保持浮态, 浮心也较由快速性要求的最佳位置偏后。

汽车滚装船的线型为极 V, 为追求更大的甲板面积且有较大的外飘, 增加了首、尾部拍击破坏的风险。在线型设计和结构设计中应予以重视和协调。

2 总布置

汽车滚装船一般多为单机、单桨、单舵, 设多层连续甲板和宽大的水上甲板面积, 推进方式采用低速柴油机带定距桨, 机舱位于船舶的后部, 船员居住舱及驾驶室设于船舶的中前最上方。

2.1 分舱

对于汽车滚装船来说, 其干舷甲板以上甲板层数众多。由于汽车运输船的特殊性, 无论是从船舶的使用方便还是设计考虑, 都希望水(气)密甲板、水(气)密舱壁设置得越少越好, 为了使车辆在上下船时能快速行驶, 要求各甲板间和货舱是相通无阻碍的。因此船舶如何分舱, 使之既能满足破舱稳性和防火要求, 同时又能满足使用要求, 是汽车滚装船设计的关键技术之一。

2.1.1 船舶破舱稳性

SOLAS (国际海上人命安全公约) (MSC194 (80)) 新的破舱稳性要求已经生效。一般认为此次规则的修改对滚装船, 包括汽车滚装船等这一类具有通畅甲板的船舶影响最大。为满足新规则要求, 同时将由由此产生对船舶经济指标的影响和建造成本的增加降到最低, 经过多方案比较计算后确定其最有效的方法是在干舷甲板上方再设一层水密甲板 (一般为 7 甲板), 底部压载舱的空气管高度设于 7 甲板之上。如此, 代表生存率的因数 S 明显增大。

根据不同船东的各自使用习惯和偏好, 干舷甲板以下的水密划分有 2 种方案, 当今主流船型都有采用。一种是在船舶二舷各设一道水密纵舱壁, 燃油舱设于舷侧的双壳内, 形成保护。另一种方法是干舷甲板以下车辆舱内设 1~2 道水密横舱壁加移动水密门, 设 2 层双层底, 燃油舱设于上方, 形成保护。

2.1.2 车辆舱的防火分隔

汽车滚装车的车辆舱防火问题较为突出, 车辆一般都带有部分燃料油, 且车辆数众多。必须重视对车辆舱的防火分隔。在做防火分隔时应结合水密舱的划分, 使二者统一。各气密区容积的大小相差不易过大, 以合理、有效的配置 CO₂ 容量, 并便于通风风道的设计和风机的配置。一般采用水平分隔, 1 层高车辆甲板或 2~3 层小车辆甲板形成气密独立区域。

2.2 车辆舱的通风和灭火

汽车滚装船车辆舱通风是该船型中另一个很突出的问题, 单个气密区容积巨大, 按 SOLAS 的规定, 如果要危险区控制在气(水)密甲板上 450mm 高度范围之内, 车辆舱通风次数至少到 10 次/小时。

每一气密区都有其独立的通风系统, 一般采用分区域横向通风, 舷进舷出。通风的方式采用机械式进风、自然出风, 也可采用自然进风、机械式抽风或二种方式联合采用。风道可以设置于船体的舷侧强肋骨内, 也可设圆形的独立风道。

汽车滚装船车辆舱多采用 CO₂ 固定式气体灭火系统。对大型汽车滚装船来说, CO₂ 容量相当大, 采用低温低压储藏罐比采用常温高压气瓶投资和所占空间都较省, 维护也更方便。

2.3 车辆甲板

汽车滚装船的车辆甲板层数和层高在满足船舶稳性的条件下根据设计的载车数、车型 (包括外

形尺寸和重量)确定。甲板根据其功能分为水密、气密和非密性甲板。主流船型的重车甲板一般设 3~4 层。而单一的纯小汽车运输船(PCC)已比较少见。

为充分利用高舱舱容,兼顾各型车辆,可在舱内加设升降甲板。大型汽车滚装船的升降甲板层数一般设 3~4 层,最多设 5 层,多数甲板会有 2 个停靠位置,以适应不同高度的车辆。

各甲板的载荷依据其所停载的车辆重量、轴距、胎印以及平均负荷确定。一般小车甲板(包括升降甲板)的平均载荷 $0.2\sim 0.3\text{t/m}^2$,重车甲板的

平均载荷 $1\sim 3\text{t/m}^2$ 。作为强力甲板、舱壁甲板和液舱边界的车辆甲板还必需满足其它相关的要求。

3 滚装通道、滚装设备

汽车滚装船的装卸过程是通过连接船与码头的设于船上的跳板完成。

跳板按位置可分为艏跳板、侧跳板和艏跳板 3 种。由于中大型汽车滚装船甲板层数多,为了容易理货提高装卸速度,除了设艏跳板外,往往在船中部设舷侧跳板,见图 1。

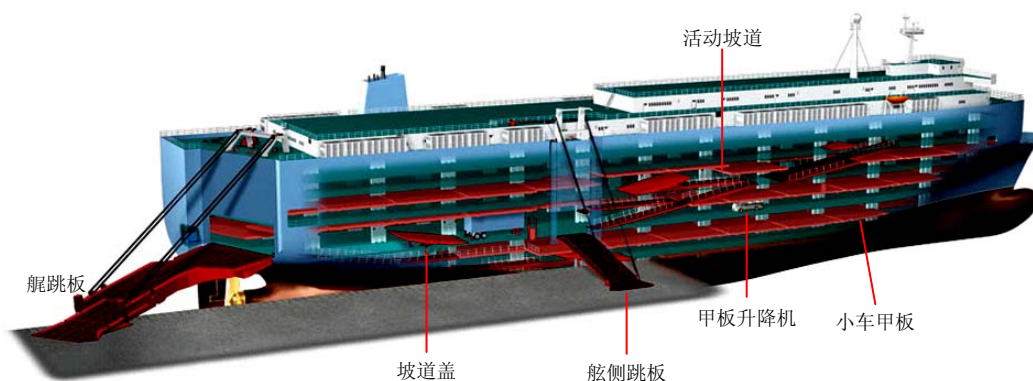


图 1 主要滚装通道

船舶内部各层甲板间、货舱间通道的连接是由固定斜坡道、活动斜坡道、水(气)密门组成。多数通道设备,如水密门、水(气)密盖自身又可兼作车辆通道跳板或斜坡道。

3.1 艏边门(跳板)

艏边门(跳板)布置在干舷甲板(一般为 5 甲板)的艏部一舷,打开时作为车辆上下船的跳板,关闭时作为水密门保证船舶的水密完整性。艏边门(跳板)与船体中心线一般成 $30^\circ\sim 45^\circ$ 夹角,这既可使车辆通道首端有流畅的弧度,便于车辆快速进出,又减小了跳板占用的码头面积。

跳板尺寸应根据干舷甲板与码头面在不同潮位、浮态下的最大设计落差,跳板与水平面的最大工作夹角(为避免重型车上坡产生困难,该夹角一般不大于 13°)确定,尽量减小跳板的总长度,以缩短车辆上下船的行驶距离。跳板宽度应保证车辆能同时上下船,并包括一条不小于 600mm 宽的人行通道。整个跳板一般由 3 节组成,第 3 节包括翼板。第 1 节兼作水密尾门用,与船体结构形成密封。

艏边门(跳板)收藏操作一般由带刹车的双滚筒液压绞车带钢索完成。绞车安装在车辆舱顶层甲

板。另有 1 只顶推油缸可使艏跳板从收藏位置向外倾倒,然后在其自身重力的作用下使跳板达到开启状态,该油缸亦作碎冰之用。当艏跳板处于收藏位置时,2 只液压绞车把第 2 节和第 3 节跳板垂直收藏。

3.2 边门(跳板)

边门(跳板)一般设置于船舯靠后与艏边门(跳板)一舷,与船体中心线成 90° 夹角,水平面的最大工作夹角一般不大于 15° 。作为车辆上下船的另一条通道,主要用于轻型车和供驾驶员车辆往返的通道。为适应不同港口的码头高度,跳板一般可在 2 层甲板(干舷甲板和其上一层或下一层甲板)开启并收藏于较低一层甲板作为水密门以保证船舶的水密完整性。

边门(跳板)一般由 2 部分结构组成。第 2 部分结构为翼状板,由铰链与第 1 部分结构相联接。跳板由 1 台液压绞车收起和放下,用 1 个液缸滑车来调节高度。

3.3 滑动式水密门

为满足船舶的破舱稳性要求,干舷甲板下车辆舱内需设置一定数量的水密横舱壁,为保证车辆出入,水密横舱壁上设滑动式水密门。

水密门的操作是由液压操纵锁紧/拉动机构把

门从水密位置开启,同时启动由液压操纵的链条驱动系统把门移到开的位置或关的位置。门的下部装有双凸缘的滚轮,在甲板上的导轨上滚动。

3.4 铰链式水密门

在干舷甲板以上的水密水平分隔采用铰链式水密门。水密门设于固定斜坡道的端口,由安装于门和船体结构间的液压油缸直接操控门的开关。

3.5 铰链式、折叠式气密门

在固定斜坡道的端口设置气密门。气密门有铰链式和折叠式2种形式,前者安全可靠,后者在开启时占据更小的车辆舱空间。

3.6 固定斜坡道

上下车坡道的布置有多种。舱内每一斜坡道位置的设置应与全船的上下车路线、艉边门(跳板)、边门(跳板)、船体构件、密性分隔等有机地结合起来,做到合理、高效、连续,尽量减少车辆在舱内的掉头次数、逗留时间和行驶距离。坡道前3、4个车位内应避免有支柱等障碍物,斜坡道与水平面最大夹角一般不大于 9.46° (1:6),坡道呈“S”型,以防止车辆底盘与坡道的碰擦。考虑到车辆在通过斜坡道时车体外形会产生1条大于其自身高度的弧线(弧线的最高点与车辆长度、轮轴间距有关),因此斜坡道2端出口处的净高应大于相应的车辆甲板净高。斜坡道的设计载荷与其所达到的甲板载荷相同。

3.7 活动斜坡道

汽车滚装船的不同车辆甲板的运费是不相同的,重、高车甲板的收费远高于小车甲板。采用活动斜坡道以替代固定斜坡道,其下的重、高车甲板位置还是能停泊大车。另外,根据其所在的甲板的密性要求,在收藏位置,还可设为水密活动斜坡道和气密活动斜坡道。

活动斜坡道的布置原则与固定斜坡道的基本相同。活动坡道均为开式组合梁结构,并带有折角。活动坡道的升降是由液压油缸操作或与升降汽车联合操作。

3.8 车辆绑扎系统

为防止车辆移动发生货损和产生倾覆力矩,车辆需加以绑扎固定。车辆的绑扎系统包括甲板上的固定装置和用于绑扎车辆用的各种器材。固定装置即甲板上的绑扎孔(件),绑扎器材有尼龙编织带、尼龙绳、钢质钩、垫块等。

为适应各种不同类型的汽车,充分利用甲板面积,小车的绑扎孔(件)间距纵、横向一般在500~1000mm,重大型车绑扎孔(件)间距纵向不

大于2500mm、横向2800~3000mm(IMO要求)。根据甲板的密性要求,在绑扎孔(件)的下方配有保证密性的气密/水密杯(罩)。

车辆绑扎件通常有埋入式和凸突式2种,为便于保养,接触液面的甲板多采用凸突式绑扎件,而其他甲板均采用埋入式绑扎件,以保护汽车轮胎驶过时免受损害。

4 结构设计

汽车滚装船车辆甲板层数多,且大部分的连续甲板位于干舷甲板上,当船舶受到波浪的作用而产生横摇时,左右舷水压不对称产生较大的横向弯矩,所装载的车辆的重力和因横摇面产生的作用在汽车上的惯性力反过来作用在甲板上,产生非对称载荷,见图2。在剪切效应的作用下,汽车运输船的横向强框架会发生倾斜,使得干舷甲板上的船体相对下面船体发生偏转,导致结构发生挠曲变形,见图3。由此可见汽车滚装船结构设计中的横向强度问题是关键技术。

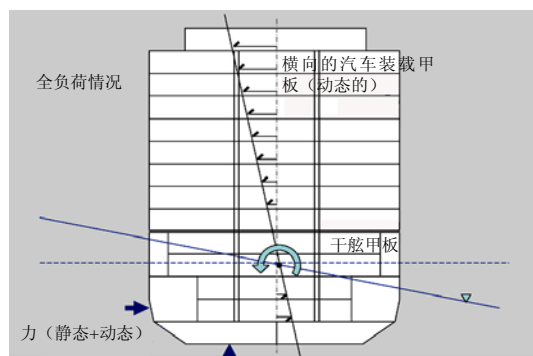


图2 横向受力

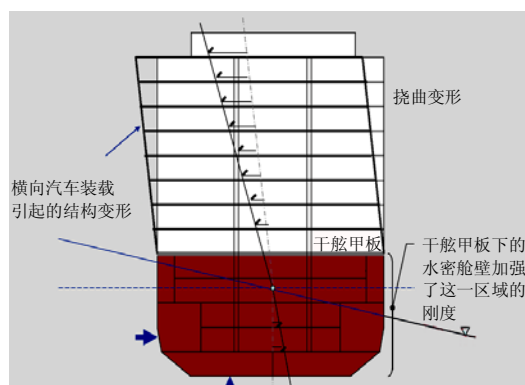


图3 挠曲变形

汽车滚装船结构设计一般有两种形式。

4.1 传统设计

传统设计是指在结构设计中采用通常的船舶

结构力学原理和方式来解决船舶的横向强度问题。通过在干舷甲板上下设置半横舱壁和全横舱壁与强肋骨、甲板强横梁组成横向防挠曲框架。在设置全横舱壁时应与船舶的水密分割一并考虑,相互对应,达到同时满足船舶的破舱稳性要求。而车辆在干舷甲板以下车辆舱内的通行则通过设于水密横舱壁上的水密门来实现。干舷甲板以上半舱壁的宽度直接影响到车辆的通畅程度和车辆的装载数量。半舱壁的宽度过于狭窄,会大大增加干舷甲板处半舱壁的应力值,也会增加普通强肋骨的尺寸。通过全船有限元直接计算,分析比较后确定半舱壁尺寸、数量。由于计算手段的提高,对各半舱壁处以及水密横舱壁门孔处的应力水平有了客观精确的评估,半舱壁设计成下宽上窄的形式,其根部在主甲板处的最大宽度大大减小,一般控制在 15% 的船宽左右,对船舶的载车量和装卸效率都有所提高,见图 4。

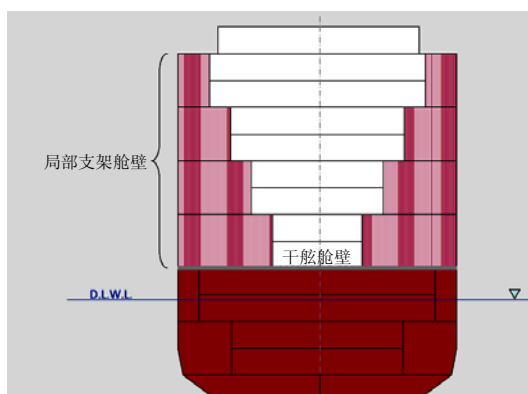


图 4 半舱壁

4.2 弹性设计

将弹性设计概念引入到汽车滚装船的结构设计,以解决船体结构发生挠曲变形的问题,是由挪威船级社(DNV)首先提出,并逐步发展完善和广泛使用。其基本理念是干舷甲板以上,用框架的横向位移(顶部的最大位移约 150~180mm,中部的平均位移约 75mm)减少构件上的应力水平。为此,干舷甲板以上不设防挠曲框架,以强肋骨取代重型防挠强肋骨或半舱壁。车辆舱内安装甲板横梁与垂直肋骨或支柱之间的弹性连接,也就是干舷甲板以上强横梁与强肋骨,支柱错开布置,强横梁两端自由旋转,没有弯矩传递,见图 5,图 6。为满足抗沉性要求,干舷甲板以下二舷贯穿整个车辆舱各设一纵舱壁,车辆舱内不设横舱壁,舷侧双壳内位于 3 档强肋骨间距设局部横舱壁,与机舱棚、艏部横舱壁形成防挠曲结构

体系,见图 7。

弹性设计最大的优点就是车辆行驶通畅,只需一条直上直下的通路,对装卸车辆更容易,更迅速。但对节点疲劳要求更高,对施工工艺要求严,针对在以往同类型船中的一些关键部位更容易出现裂纹,需要更多的结构解析。此外,结构设计中波浪载荷及随机载荷的考虑也是直接计算法的重要组成部分。

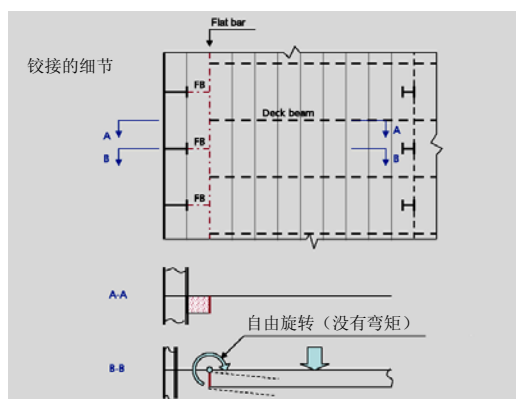


图 5 梁与支柱的布置

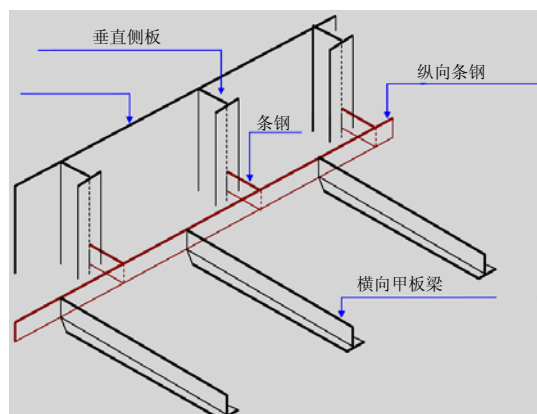


图 6 梁与肋骨的布置

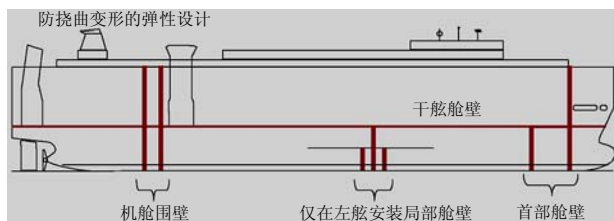


图 7 防挠曲力学模型

4.3 疲劳问题

汽车滚装船的使用特点决定了船体结构的布置,即横舱壁少,横向框架尺度受限制,所以,汽车滚装船的横向框架刚度要小于其他常规运输船。

(下转第 46 页)

力有限, 难有大型骨干企业那样的国际竞争眼光, 自然对船舶形态难有太多要求, 对市场竞争、经济效益缺乏长久考量。

3) 用户观念有待转变。部分用户习惯于以往传统的“1 拖 1”驱动形式: 操作简单且管理方便; 新船订购时在动力配备上往往也是储备越多越好。这同国外的认知存在着重大差异, 其结果不仅经济效益低下, 更不利于我国疏浚制造业的可持续发展。面对这种情形, 国内有关设计建造单位也只能满脸无奈。

4) 现有设备配套能力的制约。国内中小型耙吸船在机型的选择上和大型耙吸船也不在一个档次, 多停留在引进和国产机型上, 而大多数这类机型目前还不具备复合驱动及其管理技术, 几年前长鲸 2 号上配置的大发机, 其复合驱动技术也还是即时开发的。这种情形无疑制约了国内中小型耙吸船动力配置的优化选取。

5) 节能减排、可持续发展理念的认知不足也是制约因素之一。

4 建议

面对如此突出的差距, 建议有关方面共同努

力, 积极引进国外新技术、新理念, 尤其是动力配置方面的成功经验, 加速配套机型复合驱动技术的研究, 尽快形成具有国际竞争力的产品, 使我国中小型耙吸船早日走上健康发展的道路。

可喜的是, 作为疏浚行业的一员, 708 研究所在大型耙吸船设计上所积累的经验的的基础上, 着手在中小型耙吸船动力装置设计中理念的更新, 在 6500m^3 耙吸船动力配置设计中积极采用新技术、新工艺, 为缩短中小型耙吸船国内外的差距迈进了一大步。可以相信, 通过努力, 我国现存中小型耙吸船动力配置方面的落后状态不久将面貌一新。

【参 考 文 献】

- [1] R. de Backer and F. Deroo. The use of "appropriate technology" in the design of new dredgers[R]. Jan De Nul NV, BE, CEDA Dredging Days, Antwerp, Belgium, 2008.
- [2] A.de Jager. A success story originating from ship research[J]. Ports and Dredging.E165,2006.
- [3] 中国疏浚协会.中国疏浚业发展战略研究[C].2008.
- [4] TSHD ABUL[J].Ports and Dredging.No.170,2008.
- [5] 5600m^3 trailing suction hopper dredger MARIEKE[J]. Ports and Dredging.E166,2006.
- [6] 刘厚恕. 国外挖泥船发展新态势[J].船舶.2009,(6).

(上接第 26 页)

在波浪中, 特别是横浪和斜浪的作用下, 波浪交变载荷长期作用下引起的裂纹会出现在汽车运输船的强横梁、强肋骨甚至半横舱壁的开口角隅处, 因此疲劳问题是结构设计研究的重点之一, 见图 8。

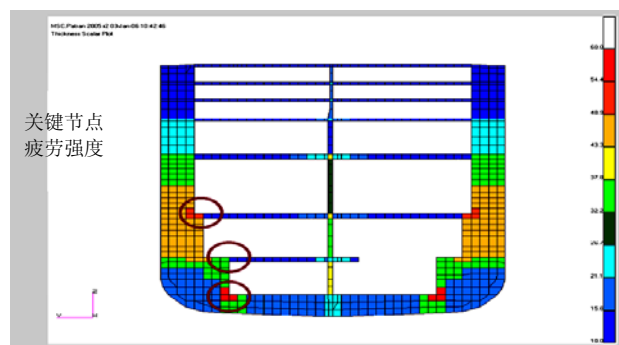


图 8 疲劳节点

在数值计算的基础上, 利用目前船级社较为成熟的有限元软件, 对疲劳敏感部位进行超精细模型分析。利用数值计算的结果和已经积累的设计经验, 对疲劳敏感部位进行节点优化设计, 在控制总

重量增加的原则下提高节点的抗疲劳能力。

5 结语

汽车滚装船由于运输货物的特殊性和专业性, 其设计具有非常鲜明的特点, 一艘汽车滚装船的成功设计应具备如下特点:

- 科学合理的总体布置;
- 各项性能优良的船体线形。(航速、油耗、伴流、稳性和浮态);
- 宽敞的甲板空间和整齐的甲板高度, 固定和移动式甲板;
- 流畅、无甲板障碍物的车辆通道, 固定和移动式坡道;
- 横向防挠曲结构;
- 安全有效的汽车绑扎系统;
- 强劲高效的车辆舱通风系统;
- 全船减振降噪措施;
- 舷侧开口的水密和成熟可靠的船艏和侧门跳板。