

客滚船车辆甲板疲劳问题分析

朱丽红

(中远海运客运有限公司, 辽宁 大连 116001)

摘要: 疲劳是在循环载荷的反复作用下, 在原材料的局部缺陷或结构的局部应力集中处逐渐形成裂纹并扩展到失效的一种行为。在重载车辆作用下, 车辆甲板因其功能的特定性和结构的复杂性更容易产生疲劳破坏。车辆甲板材料本身的缺陷、构造细节缺陷、车辆超载等多方面的原因, 都可能导致车辆甲板的疲劳破坏。本文概括和总结了车辆甲板疲劳破坏的机理和影响因素, 对某轮车辆甲板因局部应力集中产生的疲劳破坏进行了简要的分析和介绍, 就改善车辆甲板抗疲劳性能的措施做了初步的探讨, 对延缓车辆甲板疲劳破坏的发生有一定的指导意义。

关键词: 车辆甲板; 疲劳; 影响因素; 措施

中图分类号: U674.12

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2020) 07—0100—02

客滚船在营运过程中, 载荷是随机变动的; 船舶承受的波浪载荷、风载荷以及航行时产生的各种惯性力也是随机变化的, 这种不断变化的载荷使船体内部产生交变应力^[1]。在长期交变应力的作用下, 变化载荷周期的累积效应造成了船舶的疲劳破坏。因疲劳破坏造成的海损事故时有发生, 1972年瑞典公布85条大型船舶结构破坏情况的调查, 在船体破损中因疲劳问题造成的破坏比例占70.45%^[2], 第七届船舶结构力学大会指出, 船长超过200m的船舶总损伤的70%属于疲劳损伤^[3], 1994年9月“Estonia”号滚装轮渡航行至波罗的海北部海面时艏门与船体连接处发生疲劳断裂, 在风浪联合作用下海水迅速涌入车辆甲板, 导致船舶迅速下沉, 900多人丧生。各种实船研究报告表明, 疲劳破坏是船舶结构破坏的主要形式之一, 是航运管理中必须重视的问题。

1 车辆甲板疲劳破坏的机理

微观机理: 车辆甲板钢板内部晶粒结构不同, 不同方向各向异性并且不均匀, 不均匀的微观结构下应力分布也是不均匀的。在高应力作用下, 金属内部薄弱晶粒易出现位错运动, 位错由变形能力强的区域, 滑移到变形能力较弱的区域, 当位错不能继续滑移时, 部分晶粒局部出现短而细的滑移线, 并出现相继错动的滑移台阶; 随着循环次数的增加, 原滑移线附近出现新的滑移线并形成较宽较深的滑移带, 继续增加应力循环次数, 滑移带尺寸及数量增加明显, 最后滑移带数量接近饱和, 微裂纹在大量滑移带中产生。循环载荷作用下, 微裂纹继续扩展和连接, 逐渐形成主裂纹。

宏观机理: 船舶在制造过程中不可避免的存在缺陷, 船体结构中的微裂纹总是存在的。在交变载荷的作用下, 微裂纹进一步扩展, 形成宏观裂纹。同样, 在应力集中部位, 由于高应力的存在, 即使材料没有缺陷, 在循环应力的作用下, 也会产生裂纹, 出现疲劳问题。

2 车辆甲板疲劳破坏影响因素

2.1 局部应力集中

客滚船车辆甲板的结构, 为了满足使用要求和设计要求, 制造工艺复杂, 节点类型和细节构造多样, 复杂结构和不同的几何形状易于产生应力集中。车辆载荷通过车轮作用于车辆甲板, 但是由于车轮与甲板作用面很小, 接触面压力很大, 整个甲板载荷分布极其不均匀, 局部应力集中现象突出^[4]。疲劳破坏总是出现在应力集中的地方。

笔者曾参加了某轮车辆甲板疲劳破坏原因分析和探讨修复方案的全过程。该轮车辆甲板局部甲板发生疲劳破坏, 裂纹长度约10cm, 深度约2mm, 破坏范围如图1(阴影部分为破坏范围)。分析疲劳破坏的原因如下: ①车辆超载; ②重载车辆轮印处载荷较大, 当轮印处于No.10甲板纵骨两侧, 且轮印落在纵向强框架之间时(此时甲板载荷最大), 轮印左侧为单板格结构, 右侧为三板格结构, 左侧板格结构偏弱, 在重载车辆载荷的作用下左侧甲板发生屈曲变形; ③轮印下结构不连续, No.9水密舱壁垂直扶强材上端肘板与No.10甲板纵骨连接处, No.10纵骨向舷侧未设置对应的肘板构件(图2), 形成轮印下局部应力集中。综合分析, 在重载车辆载荷的作用下, 因局部板格强度不同, 结构不连续, 车辆甲板出现局部变形, 经过数次循环载荷的作用, 甲板由局部变形发展直至疲劳破坏。

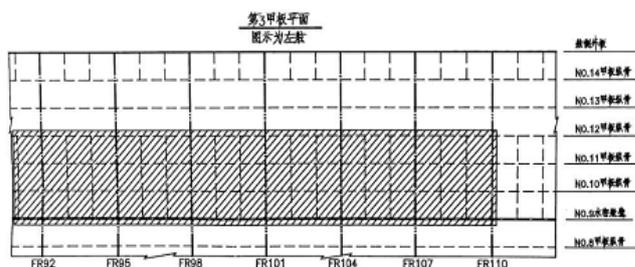


图1 局部甲板发生疲劳破坏

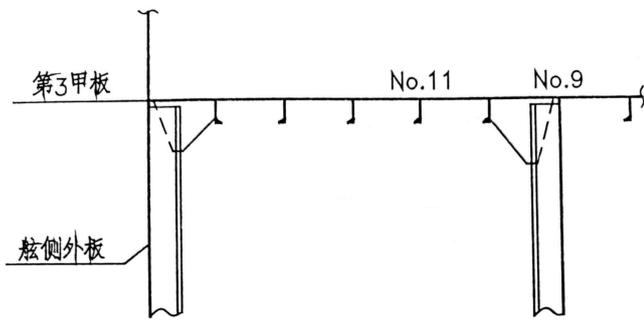


图2 轮印下结构不连续

2.2 应力循环次数

应力循环次数是指在循环载荷的作用下应力由最大到最小的循环次数。在不同的应力幅值作用下，车辆甲板产生疲劳破坏的应力循环次数不同，应力幅值越高，导致疲劳破坏的循环次数越少，相反则越多。车辆甲板产生疲劳破坏的应力循环次数随着应力幅值迅速变化，重载车辆载重越大，应力水平越高，产生疲劳破坏的循环次数越少，即较少装卸载次数也会导致甲板的疲劳破坏。研究表明，对于车辆甲板的疲劳，当工作载荷低于疲劳极限时，车辆装卸次数对疲劳破坏影响较小；但是如果疲劳破坏以某种方式开始，即便工作载荷低于疲劳极限，疲劳破坏也将继续进行。

2.3 应力幅值

一般来说，应力幅值是影响疲劳破坏的主要因素，车辆甲板以运输载重车辆为主，超重现象比较普遍，车辆甲板同时作用着次数较少的低应力循环载荷和次数较多的高应力载荷，大小载荷交互作用于车辆甲板，若干循环次数下施加高应力载荷和少量高低应力的交错载荷更容易产生疲劳破坏。应力幅值越高，疲劳破坏所需时间越短。

2.4 平均应力

反应金属结构疲劳性能的S-N曲线，是在恒幅应力作用下由试验求得。对于复合应力作用下的船舶，按等效损伤的原则，疲劳破坏程度为多个恒幅应力作用下疲劳破坏的叠加。图3为平均应力、应力幅值、循环次数关系曲线。

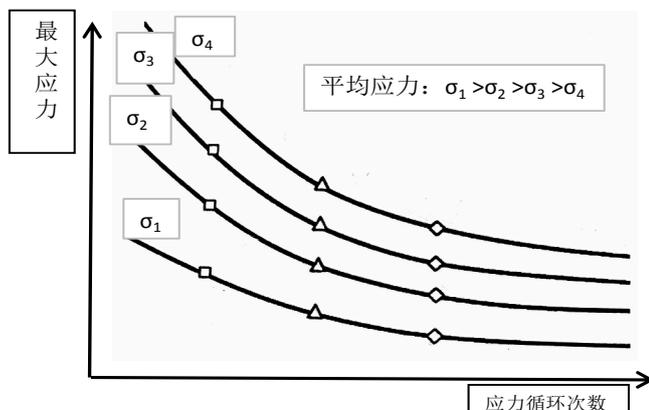


图3 平均应力、应力幅值、循环次数关系曲线

3 减缓车辆甲板疲劳破坏的措施

延长车辆甲板的抗疲劳性能，是船舶技术管理人员面临的重要问题。对车辆甲板而言，合理的工作载荷和优良的设计是延缓车辆甲板疲劳破坏的重要方法。纵观疲劳破坏的影响因素，载荷循环次数、应力幅值和应力集中是客观存在的事实，改善车辆甲板疲劳性能的主要因素是消除或减少应力集中，合理装载和配载。具体措施如下：

(1) 采用合理的结构。结构的疲劳破坏多数开始于最大应力处，所以设计之初应采用合理结构：对必须的开口，应考虑选择合适的形状和位置，尽可能增大过渡处的圆角，位置尽量布置在低应力区；

(2) 减少截面突变。避免出现尺寸突变的不连续结构，横截面尺寸突变时尽可能光顺和平滑过渡，确保应力的有效传递。

(3) 营运过程中合理装载配载，车辆载荷符合甲板设计要求，降低应力幅值和平均应力。

4 结语

疲劳破坏是影响船舶安全营运的重要因素。对客滚船来说，营运过程中要从可控因素改善车辆甲板疲劳性能，使可能出现的疲劳问题降至最小程度。提高对疲劳问题的重视程度，及时发现和消除疲劳破坏隐患，才能确保船舶的安全，避免人员生命和财产的损失。

参考文献：

- [1] 中国船级社. 船体结构疲劳强度指南 [Z]. 人民交通出版社, 2001.
- [2] Vedeler G. To What Extend do Brittle Fracture and Fatigue Interest Shipbuilders Today[R]. Houdremont Lecture 1962, Sveiseteknikk, 1962.
- [3] Kjellander S L. Hull Damadge on Large Swidish-built Ships. Styrelsen for Teknisk Utveckling[R], 1972.
- [4] 蒋志岩, 古长江. 滚装船车辆甲板强度分析 [J]. 船舶, 000(2):20-23.