

尖锐坠落物冲击下甲板结构损伤的试验研究

张新宇, 由遥巍

(海装沈阳局驻大连地区某军事代表室, 辽宁 大连 116000)

摘 要: 运用试验方法研究了科考船甲板板架结构在三棱锥形尖锐冲头坠落冲击作用下的变形及损伤特性。采用带直角的正三棱锥模拟集装箱角隅, 设计并制备了实尺度的甲板板架结构及增强型甲板板架结构, 运用冲击试验塔完成了坠落物冲击试验。冲击试验结果表明尖锐冲头冲击下, 甲板易于产生撕裂失效。在两扶强材之间添加骨材进行增强, 则可有效地提升结构的抗撞击性能。研究成果可为船舶甲板板架抗跌落设计提供参考。

关键词: 甲板结构; 坠落物; 实尺度模型; 冲击试验

中图分类号: U661.4

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 07—0092—04

工程船舶及海工平台上, 坠落物冲击事故的发生频次较高、产生后果严重。一般而言, 工程船及海洋平台的甲板起吊作业任务繁多, 因此重物坠落事故发生较为频繁。据统计, 重物坠落冲击事故约占海洋平台事故总量的 1/3 以上, 位居榜首^[1, 2]。坠落物冲击将直接造成甲板变形及损伤, 进而威胁人员、设备安全甚至结构物的整体安全^[3-5]。

为减小坠落物冲击对甲板结构安全性的影响, 应当对甲板结构在坠落物冲击下的变形及损伤问题进行研究。与船-船碰撞相比, 撞击物尺寸小, 被撞击甲板的变形损伤的范围较小, 即使是小能量的坠落物冲击也能造成较大的甲板结构变形损伤^[2], 因此该问题也引起众多学者的重视。王醒等^[6]研究甲板板架在钻杆跌落冲击

下的损伤行为, 并总结出了板架穿透的临界能量计算式。Zhou 等^[7]研究了冲击角度对海洋平台抗击圆管坠落冲击特性的影响。Liu 等^[8]研究了吊运过程中当油桶以不同的接触角坠落于钻井平台甲板时对甲板结构造成的损伤。杜之富^[9]、刘英芳^[10]等人也运用有限元数值模拟方法研究了船舶结构在管形坠落物冲击作用下的结构变形及损伤。

上述研究主要集中在圆管型坠落物对船舶及海工平台甲板结构的冲击变形及失效, 而对其他形状坠落物的冲击研究较少发表。对于工程船、科考船、海洋平台等而言, 在甲板上吊放的集装箱也可能发生坠落, 在集装箱坠落载荷冲击下甲板结构的损伤规律也值得研究。为此, 本文针对箱形坠落物冲击作用下甲板结构的变形

扬州市河道生态治理工程需要进行改进, 当然在施工过程的每一个步骤都会影响到最后的工程质量。河道生态治理工程应该要预计施工时间, 再做好施工准备, 然后依次按照施工放线、河道岸坎开挖、抛石施工、填筑及压实、护岸及驳岸工程施工和植被复垦工程的顺序进行施工, 一定要在规定时间内完成, 因为其受冬季结冰期和汛期的时间控制。而且还要保证每一个工程的施工质量, 这样才能保证最终的河道工程可以顺利运行, 保证扬州市周边居民的安全。河道生态治理工程的顺利完成减少城市的污染, 最大化还原其环境, 加快区域经济的发展, 让城市可以更加繁荣富裕。

参考文献:

[1] 朱云仓. 生态护坡技术在河道治理工程中的应用 [J].

水利建设与管理, 2021, 41(04): 60-65.

[2] 董文津. 河道治理工程植草护坡混凝土成型方法试验研究 [J]. 吉林水利, 2021(04): 7-9+21.

[3] 刘文娟. 上海崇明地区河道生态治理工程建设探讨 [J]. 水利技术监督, 2021(04): 86-88.

[4] 赵晨光, 赵英东, 张哲. 生态修复技术在界河流域治理中的应用 [J]. 山东水利, 2021(03): 44-45.

[5] 陈正新, 何慧, 郭春香. 优化河道治理与环境保护的措施分析 [J]. 资源节约与环保, 2021(03): 18-19.

[6] 段会波. 山区河道的生态化治理措施探讨 [J]. 工程技术研究, 2021, 6(06): 241-242.

[7] 刘学军. 多方位生态修复技术在河道水环境治理工程的应用 [J]. 水利规划与设计, 2018(06): 49-52.

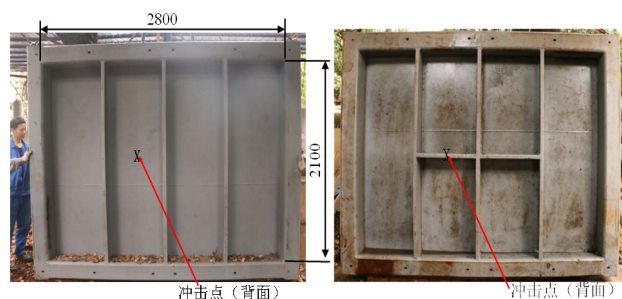
[8] 王浩, 孟现勇, 林晨. 黑臭河道治理关键技术及其应用 [J]. 人民长江, 2020, 51(11): 1-9+108.

及损伤行为进行了研究。设计制造了两种实尺度甲板结构试验试样,运用塔式冲击试验装置开展低速冲击试验,研究甲板结构在三棱锥形冲头坠落冲击作用下结构的响应规律,为甲板结构的抗坠落物冲击设计提供理论指导。

1 试验设计

1.1 试验模型

坠落物冲击试验研究的对象是实尺度的长方形加筋板结构。以某科考船甲板结构为参照,设计并制备实尺度的长方形加筋板试样,其尺寸为 2,800mm×2,100mm×15.6mm (板厚);该板沿长度方向均匀布置 3 根 20 号球扁钢作为加强筋,加强筋之间的间距为 700mm。试样四周焊接 200mm×220mm×16mm 方管进行加强,以模拟实船甲板纵桁及甲板强横梁的边界条件,如图 1(a) 所示。试件底面开孔与基座通过螺栓固定连接。考虑到板格结构的跨中是结构抗冲击承载的薄弱部位,为不失一般性,将冲击点设定在两根扶强材之间板的中心位置。同时,为研究增强结构对甲板结构抗冲击性能的影响,还设计制造了如图 1(b) 所示的加强结构,该结构在两根扶强材的中间,设置一根与扶强材相垂直的加强结构,加强结构同为 20 号球扁钢。



(a) 原始结构

(b) 加强结构

图 1 实尺度甲板结构试样

试验之前还需测定结构试样所采用的材料的基本力学性能。运用万能拉伸试验机进行标准拉伸试件的单轴拉伸试验,以获取所用板材的静态材料属性。拉伸试件采用线切割工艺直接从原板材上割取,所用引伸计初始宽度为 50mm,拉伸试验机以 3mm/min 的速度将试件拉伸至断裂。试验过程中采集了引伸计范围内的试件变形-时间曲线 ($s-t$) 以及拉力-时间曲线 ($F-t$),最终利用式: $\sigma_{eng} = F/A_0$; $\varepsilon_{eng} = s/l_0$ (式中, σ_{eng} 和 ε_{eng} 分别为材料的工程应力和工程应变; A_0 为试件拉

伸范围的截面积; l_0 为试件初始标距的长度), 将试验测量的拉力和变形转化为板材的名义应力-应变曲线,如图 2 所示。材料的密度为 7,850kg/m³, 弹性模量为 210GPa, 泊松比为 0.3, 屈服极限为 376MPa, 抗拉极限为 635MPa。

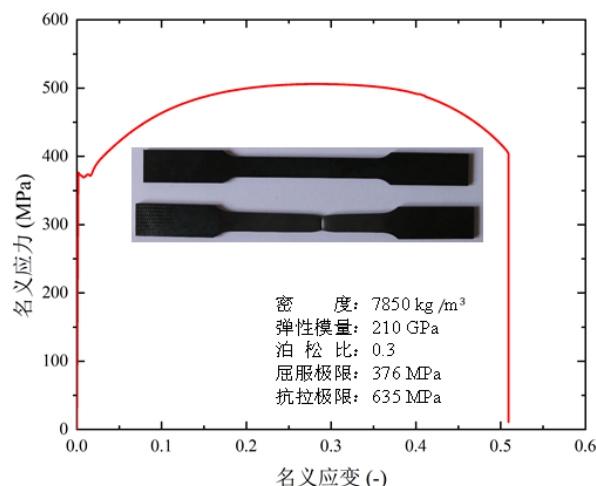


图 2 材料的名义应力-应变关系

1.2 冲头

采用三棱锥形冲头以模拟倾斜跌落的集装箱尖锐的角隅部位对甲板结构的冲击。如图 3 所示,三棱锥相当于集装箱的一个切角,包含三个直角面和一个底面,其中直角面是两腰长度为 200mm 的等腰直角三角形,底面是等边三角形。考虑最典型的冲击方向,即冲头向下运动的方向与三棱锥的中心线重合,因此采用如图 3 中所示的旋转方向,将冲头旋转,使得三棱锥的底面与水平面保持平行,这样即可保证冲击方向与三棱锥的中心线重合。三棱锥由高强度模具钢经机加工制成,并进行了淬火、回火处理,在冲击试验中可将其视作刚体。冲头在等边三角形的底面上钻有螺纹孔,通过螺纹与试验装置相连接。

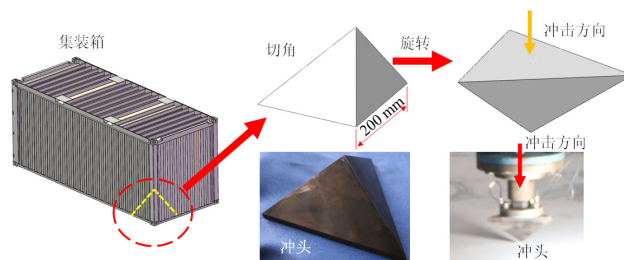


图 3 集装箱切角示意与冲头设计

1.3 试验装置

跌落冲击试验由塔式冲击试验装置完成。如图 4 所示,试验装置由轨道、安装架、冲头、配重、力传感器及位移传感器等组成。两条轨道垂直安装,为冲头等提

供垂直导向。冲头与压电式力传感器相连接，并固定在安装架下方；安装架的左右两侧装有小轮，小轮与轨道相接触；安装架的上方还可以安装可调节的配重，可模拟不同重量的集装箱跌落冲击行为。试验前，提升机构将安装架连同冲头、传感器等提升至指定的高度，冲击能量主要由提升高度进行调节。试验时，释放机构将冲头等从空中释放，冲头等经自由落体并冲击下方的结构试样。



图4 冲击试验装置

2 试验结果及分析

分别对两种实尺度甲板板架结构试样进行冲击试验，并比较结构的塑性变形、失效模式、冲击力-位移结果。在实际的甲板结构抗冲击考核中，考虑重量为14.8t的集装箱从0.3m高度跌落的情形。然而，落锤冲击塔试验装置因承载能力限制，无法满足14.8t中的冲头配重，因此必须对试验方案进行调整。考虑到坠物冲击属于低速冲击，应变率效应对冲击变形、失效模式、冲击力响应等结果的影响较小^{[11]、[12]}，因此在试验中可适当降低落锤的重量、提高落锤的冲击速度，以符合冲击能量相等的原则。经调整配重，将落锤的重量调整至795kg，提升高度设定为5.6m，这样即可保证试验冲击能量与实际集装箱坠落的能量保持一致。

2.1 变形及失效

在尖锐的三棱锥冲头的冲击作用下，原甲板板架结构及增强型甲板板架结构出现了不同程度的面板撕裂破坏现象，如图5、图6所示。图5是原甲板板架结构的损伤效果，从图中可看出，由于冲击点位于两扶强材之间的面板的中部，面板的变形及损伤仅局限在两扶强材之间的局部范围内，面板产生了花瓣状撕裂变形，且撕裂的形状与三棱锥形冲头的形状保持一致。图6是增强型甲板板架结构的变形损伤效果，从图中可看出增强型

结构的变形及失效也局限在局部范围之内，并且其撕裂程度明显小于原板架结构的撕裂程度。



图5 原甲板板架结构冲击失效变形



图6 增强型甲板板架结构冲击失效变形

2.2 冲击力-位移曲线

两种试样的冲击力位移曲线结果表明，增强的扶强材结构可大大提升甲板板架结构的抗冲击性能。图7中列出了，两种结构在同一种冲头冲击下的冲击力-位移响应，增强型试样的力增长趋势更为明显，最大冲击力提高了约50%，最大冲击位移（冲深）则降低了约30%。对于无增强的原甲板板架结构而言，在冲击起始阶段冲击力增长较快，但很快增长幅度大幅下降。这是由于在尖锐的冲头冲击下，甲板结构面板很快产生了局部撕裂。而随着位移的进一步增大，花瓣状撕裂的裂纹长度也进一步增大，因此冲击力仍能出现一定程度的增长。冲击的末尾阶段，冲头产生了回弹。相比之下，对于增强型甲板板架结构而言，布置在背部且位于冲头正下方的增强结构，对结构起到了较好的增强作用，甲板的面板不至于过早地被撕裂。同时，位于冲头下方的增强构件也参与变形吸能。两种因素共同作用下，冲击力在一定范围内维持了较高的增长速度。随着位移的进一步增大，增强型甲板板架的面板也发生撕裂失效，冲击力增幅放缓。同样，在冲击的末尾阶段，冲头也产生了回弹。

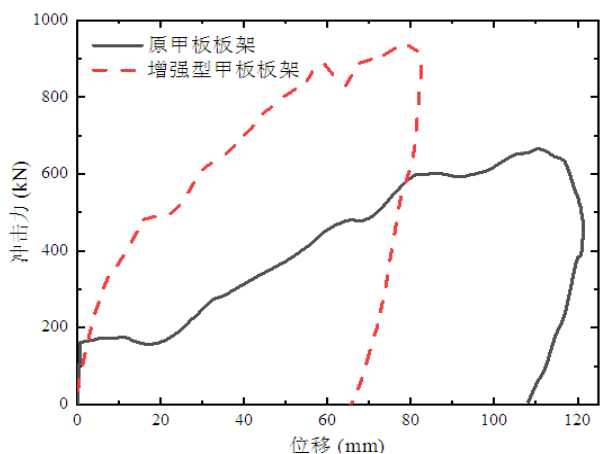


图7 两种甲板板架结构的冲击力-位移曲线试验结果

3 结论

本文以科考船甲板结构为基准,设计制备了实尺度甲板板架结构试样以及增强型甲板板架结构试样,设计制备了正三棱锥形的冲头以模拟集装箱角隅的坠落冲击,搭建冲击试验塔装置完成了尖锐坠落物冲击甲板板架结构的试验研究,得出的主要结论如下:

(1) 尖锐坠落物对甲板结构的损伤较为明显;在尖锐的三棱锥坠落物冲击下,即使较低的坠落高度也可能造成结构的永久塑性变形及面板撕裂损伤;

(2) 坠落物冲击造成的甲板损伤通常仅在局部范围内;在尖锐的冲头冲击作用下,甲板面板结构产生与冲头形状相吻合的花瓣状撕裂变形;受骨材的影响,变形及撕裂仅发生在相邻两根扶强材之间的局部范围之内;

(3) 增强的扶强材结构可大幅提升甲板板架抗坠落物冲击的能力;增强的扶强材结构提高面板刚度,且自身也参与变形吸能,因此可大大提高甲板结构的抗冲击承载能力,可有效地减小塑性变形的程度及塑性变形的范围。

参考文献:

[1] Li XH, Zhu H W, Chen GM. Optimal maintenance strategy for corroded subsea pipelines [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2017, 49: 145-154.

[2] 王秀飞, 刘昆, 费宝祥. 考虑细长杆件不同坠落角度的海洋平台甲板损伤预报方法 [J]. 中国舰船研究, 2021, 16(2): 125-133.

[3] 徐彻, 杨颢. 海上固定式平台结构安全储备研究综述 [J]. 海洋工程, 2014, 32(1): 117-124.

[4] 王刚, 徐长航, 陈国明. 自升式海洋平台倾斜事故综合安全分析 [J]. 中国海洋平台, 2014, 29(2): 33-39.

[5] Storheim M, Amdahl J. Design of offshore structures against accidental ship collisions [J]. Marine Structures, 2014, 37: 135-172.

[6] 王醒, 张延昌, 任慧龙. 钻铤坠物冲击下的平台甲板塑性失效分析 [J]. 船舶, 2014, (4): 27-37.

[7] Zhou SB, Zhang WJ, Liu HW. Nonlinear FEM analysis of dropped risers in offshore platform operations [C]// 37th Chinese Control Conference (CCC). Wuhan, China: IEEE, 2018: 8589-8595.

[8] Liu HW, Zhang WJ, Liu SC. PLS-based RBF network interpolation for nonlinear FEM analysis of dropped drum in offshore platform operations [C]// International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications. Singapore: Springer, 2018: 118-128.

[9] 杜之富, 高学静, 韩华伟. 海洋工程作业坠物跌落的非线性有限元分析 [J]. 船舶工程, 2011 S(1): 182-186.

[10] 刘英芳, 王海军, 石强. 海洋平台物体坠落安全分析 [J]. 船海工程, 2017, 46(1): 134-137.

[11] Yuqin Cheng, Kun Liu, Yao Li. Experimental and numerical simulation of dynamic response of U-type corrugated sandwich panels under low-velocity impact. Ocean Engineering, 2022, 245, 110492.

[12] Radford D D, Mcshane G J, Deshpande V S. Dynamic Compressive Response of Stainless-Steel Square Honeycombs. Journal of Applied Mechanics, 2007, 74(4): 658-667.