

# 考虑半潜式平台变形的垫木优化设计

刘起成, 蔡连财, 刘旭

(中远海运特种运输股份有限公司, 广州 510623)

**摘要:** 半潜式平台通常采用半潜船干拖的方式进行长距离远洋运输, 平台采用打横装的积载方案时, 平台旁通及立柱通常外伸于半潜船舷侧, 若采用常规等高度的垫木铺设方式, 忽略外伸结构导致的平台变形对垫木压力分布的影响, 半潜船舷侧附近平台结构以及垫木会发生损坏, 从而影响平台远洋运输的安全性。本文提出一种在等高度的垫木上添加厚度三合板的方法, 使得半潜式平台的重量更加均匀的分布在垫木上, 提高半潜式平台远洋运输的安全性。

**关键词:** 半潜式平台; 半潜船; 垫木优化设计; 结构强度

**中图分类号:** U693 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 02—0111—03

半潜式平台通常采用半潜船干拖的方式远洋运输, 其重量通常达到数万吨, 且其通常打横积载于半潜船船中或者船中偏船首位置。半潜式平台的旁通长度通常远大于半潜船的船宽, 且平台立柱通常部分或者全部悬出半潜船舷外, 平台的大部分重量通过立柱传导下来, 使得平台在静载下出现中拱现象, 如图 1 所示。常规等高度的垫木铺设方式假定货物为刚体, 没有考虑货物的变形对垫木应力分布的影响<sup>[1]</sup>。通过有限元分析发现, 在等高度的垫木铺设方式下, 静载工况下会出现半潜船船中部分垫木受载较小甚至不受载而舷侧部分垫木过载的情况, 导致舷侧部分垫木损坏, 货物局部结构强度不足, 进而影响货物的运输安全。

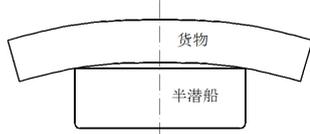


图 1 外伸货物变形示意图

本文以某 5 万吨半潜船装载某半潜式平台为例, 通过有限元分析的方式, 在等高度垫木方案的基础上提出了一种新的优化方法, 使得半潜式平台等外伸较多的重大件货物的重量能更加均匀的分布到垫木上, 从而提高半潜式平台等外伸较多的重大件货物远洋运输的安全性。

## 1 等高度垫木设计

某 5 万吨半潜船装载某半潜式平台积载方案示意图如图 2 所示。根据以下原则设计等高度垫木<sup>[1]</sup>:

(1) 采用软木类型的垫木;

(2) 根据货物底部强结构的位置铺设相应的垫木, 一般首先考虑货物的纵横舱壁位置, 其次考虑纵向桁材、实肋板等强结构处, 同时应考虑避开牺牲阳极, 海底阀箱边缘等突出物;

(3) 根据不同的作业海况, 不同的垫木高度采用不同的垫木固定方式, 通常采用扁铁和角钢焊接对木头进行固定, 保证装卸货及航行过程中木头一直保持在原位;

(4) 根据货物积载在半潜船上的重心位置, 将垫木均匀的布置在重心位置附近较大区域, 防止偏心压力造成局部垫木受力过大导致损坏。

根据以上原则铺设垫木, 如图 3 所示, 按此布置方案, 假定货物为刚体, 核算出垫木的最大静压力为  $0.9\text{N}/\text{mm}^2$ 。

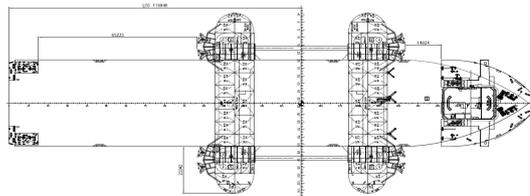


图 2 半潜式平台积载示意图

参考文献:

- [1] 王平义, 李健, 王梅力等. 建设人工运河, 打造西部南北水运出海大通道 [J]. 中国水运, 201(07).
- [2] 中国河湖大典编撰委员会. 中国河湖大典 (长江卷) [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [3] 中国河湖大典编撰委员会. 中国河湖大典 (珠江卷) [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.

- [4] 全国内河航道与港口布局规划 [M]. 北京: 交通部, 2007.

- [5] 刘晓玲, 吴鹏, 王海霞, 张婧姝, 王桃. 乌江航道等级提升志在通达达海 [J]. 中国港口, 2017(04).

- [6] 马伟. 乌江航道通航能力评估与对策 [D]. 重庆交通大学 2017.

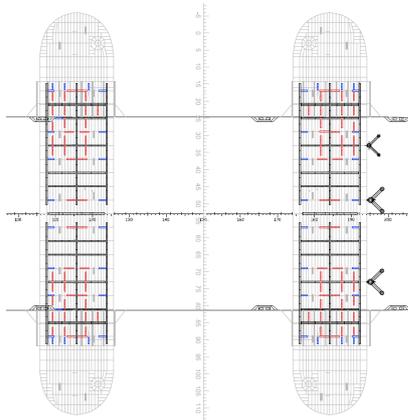


图3 垫木布置示意图

## 2 等高度垫木强度分析

上文中等高度垫木初步设计方案中未考虑货物变形对垫木压力的影响,本章根据上文中铺设的等高度垫木,采用有限元方法对垫木的应力分布进行分析。本文假定半潜船为刚体,即不考虑半潜船船体变形的影响。

### 2.1 有限元模型

采用有限元软件 GeniE 64 对半潜式平台进行有限元建模,对外板、纵横舱壁、强肋板、桁材的腹板等采用板单元模拟,桁材上的面板及扶强材等采用梁单元模拟,对大型设备等采用质量单元模拟,质量单元与平台结构之间采用刚性梁连接<sup>[2-3]</sup>。通过调整各部分结构的密度,将平台有限元模型的重量重心调至与实际基本一致。平台总重量约为 25000ton,有限元模型如图 4 所示。

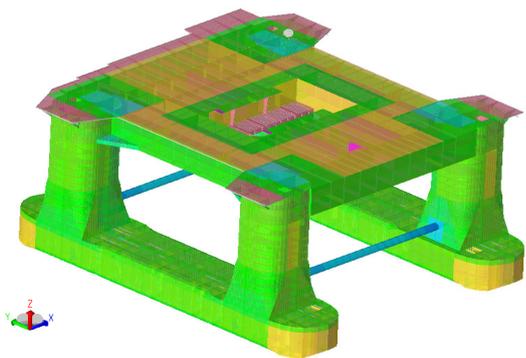


图4 半潜式平台有限元模型

采用板单元对垫木进行模拟,板厚设为垫木的宽度,垫木模型如图 5 所示:

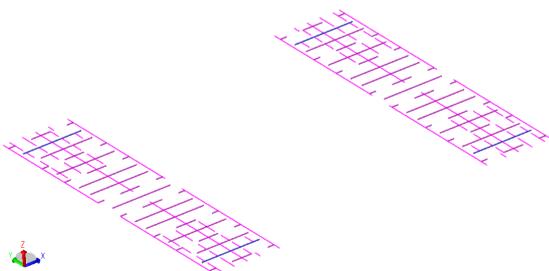


图5 垫木有限元模型

考虑到垫木采用了扁铁进行固定,对模拟垫木的板单元下沿六自由度进行约束,如图 6 所示。

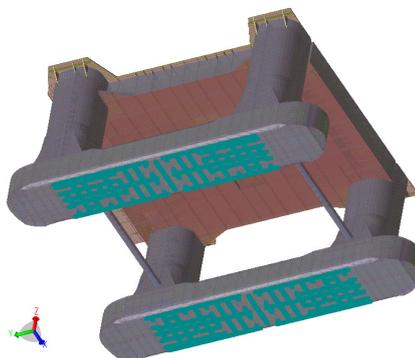


图6 模型约束

### 2.2 结果与分析

在重力作用下,平台的变形云图如图 7 所示,从图中可以看出,平台在自重下发生中拱;垫木的压力分布如图 8 所示,从图中可以看出,中间很大一部分垫木受载很小甚至不受载,而靠近半潜船舷侧部分垫木压力过大,最大达到  $12.45\text{N/mm}^2$ ,远超规范<sup>[4]</sup>中规定的垫木许用压力  $2.0\text{N/mm}^2$ 。垫木受载严重不均,会对货物及垫木的结构安全产生严重影响,需要采取适当措施使得平台重量更加均匀的分布到垫木上。

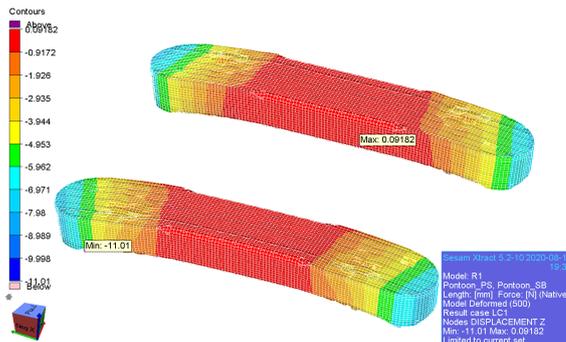


图7 平台变形云图

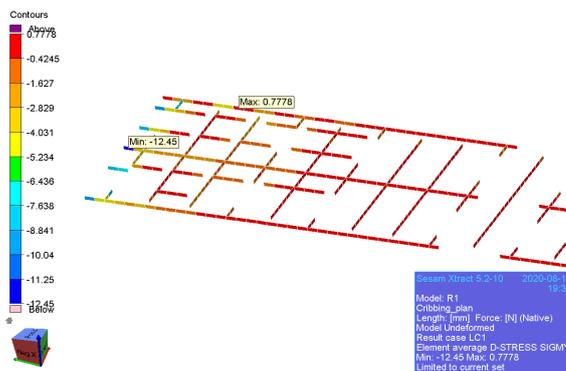


图8 垫木应力云图

## 3 垫木优化方法介绍

本章介绍一种方法,考虑外伸货物变形对垫木压力分布的影响。通过预先调整垫木高度,即在等高度的垫

木方案基础上增加变高度的三合板,达到货物静载荷重新分配,使得货物重量更加均匀的分布到垫木上。

### 3.1 模型调整

为了使得货物的重量更加均匀地分配到垫木上,可以假定货物放置在非常柔软的支撑上,货物在自重下发生变形。为此,根据工程经验,将垫木的弹性模量降低一千倍。

### 3.2 约束及载荷

为了防止货物在XY平面移动,除了对模拟垫木的板单元下沿六自由度进行约束,还需对平台旁通上选取两个点施加约束,一个点约束x和y向,另外一个点约束y向,如图9所示。

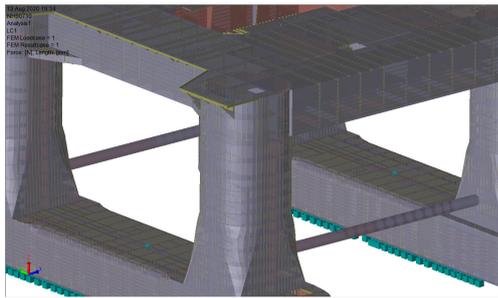


图9 半潜式平台约束

仅考虑重力加速度,  $g$  取  $9.81 \text{ m/s}^2$ 。

### 3.3 计算结果

在重力作用下,平台在非常柔软的支撑作用下的变形如图10所示。垫木的压力分布如图11所示,从图中可以看出,舷侧垫木压力稍大于中间部分垫木压力,但总体垫木受力非常均匀,约为  $0.93 \text{ N/mm}^2$ ,和理论评估值非常接近,证明了有限元方法的准确性和可靠性。

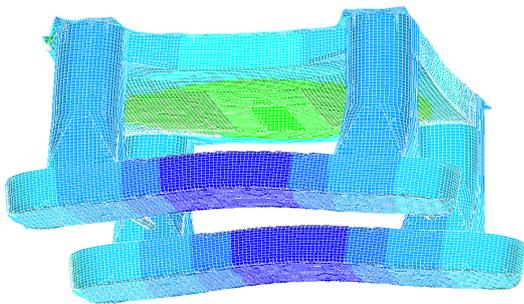


图10 平台变形云图

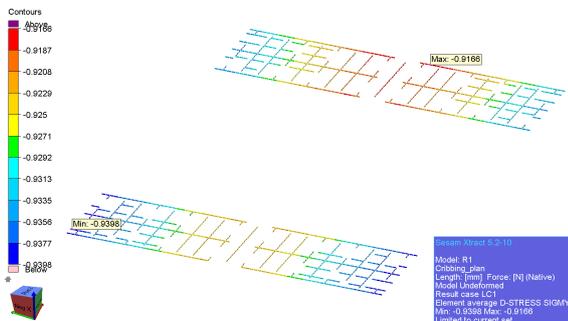


图11 垫木应力云图

### 3.4 垫木高度调整

图中红色和蓝色曲线分别表示的是左舷和右舷旁通的变形曲线。为了模拟垫木沿着旁通纵向的高度变化,选用不同厚度的三合板铺设在原等高度的垫木上,按工程经验,选用4mm,6mm,9mm,12mm等四个厚度的三合板进行设计,可以保证设计值与理论值之间误差不大于4mm。选用过小的厚度梯度对于实际工程不太现实,选用过大的厚度梯度将会导致垫木压力分布出现应力集中现象。基于平台旁通的变形曲线,可以设计出沿着平台纵向三合板分布的高度曲线,如图12中绿色折线所示。旁通中间附近采用较大的厚度可以使得更多载荷分配到船中处的垫木上,减少舷侧及外伸部分下垫木承受的载荷。

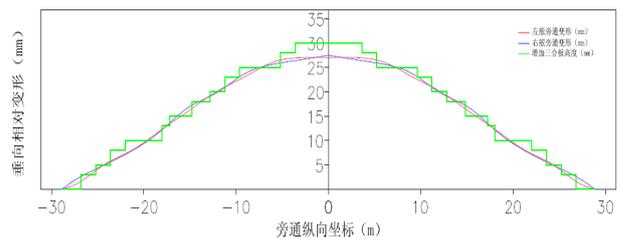


图12 平台变形及三合板高度变化曲线

## 4 结果与讨论

本文讨论了半潜式平台在远洋运输过程中,若采用常规的等高度的垫木方案,会出现垫木应力分布严重不均,从而导致垫木和货物局部结构强度不足而发生损坏。为此提出一种垫木优化方法,即在等高度的垫木方案基础上进行优化,基于平台在自重作用下位于柔软支撑上产生的变形形状,设计出三合板沿着平台旁通纵向的高度变化曲线。参照此曲线形状选择合适的厚度梯度铺设三合板后,货物坐在变高度的垫木上,静载作用下重新较为均匀的分布到垫木上,提升了货物远洋运输的安全性,对于类似外伸较多的货物在进行远洋运输垫木设计时具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 张乐. 基于工程船远洋运输的枕木设计与分析 [J]. 中国水运, 2019(5):75-77.
- [2] 黄贤俊, 杨平. 有限元程序在重特大件运输中的运用 [J]. 世界海运, 2004, 27(1): 20-22.
- [3] 梁学先, 孙伟英, 樊之夏, 黄山田. 深水半潜式平台运输结构强度分析 [C]// 第十五届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集:495-498.
- [4] DNV-GL Marine Operations and Marine Warranty DNVGL-ST-N001,2020.