

文章编号: 1007-7294(2007)05-0752-07

基于 ANSYS 的船舶纵向下水弹性计算方法

钟骏平, 程远胜, 刘 均, 曾广武

(华中科技大学交通科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要:随着建造的船舶载重吨位的逐年增大,下水过程中船体和船台结构的安全性越来越受到业界的关注。文章提出了基于 ANSYS 的船舶下水弹性梁计算方法,采用 ANSYS 参数化设计语言实现下水全过程仿真计算。所开发的程序考虑了船体梁弹性弯曲和墩木等支撑结构的弹性变形,可以准确地预报船舶尾浮及全浮滑程并判断是否存在尾弯及首跌落现象,计算出下水全过程中船体弯矩、剪力、墩木反力及其变化,为校核船体及船台强度提供了准确的荷载。文中还提出了在船尾部安装浮筒以克服尾弯的新措施。

关键词: 船舶纵向下水; 弹性梁; ANSYS; 参数化设计语言; 浮筒

中图分类号: U671.5

文献标识码: A

Elastic calculation of ship end launching using ANSYS

ZHONG Jun-ping, CHENG Yuan-sheng, LIU Jun, ZENG Guang-wu

(Faculty of Traffic Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: As tonnage of ships increases, the safety of ship-hull and slipway during ship launching is paid much attention in shipbuilding community. In this paper, the method of the elastic calculation of ship end launching using ANSYS is proposed and ANSYS parametric design language is employed to code simulation calculation of ship end launching. In the analysis, the elastic flexibility of ship-hull and the elasticity of block system are considered. The developed program can be used to compute block reactions, shear force and bending moment of ship-hull accurately, which can be employed to check the strength of the ship-hull and the slipway. The program can be also used to determine the skid distances where stern lifting and full floating as well as to judge whether the tipping and dropping occur or not. A new way overcoming tipping is proposed by fixing a pontoon at stern and shown to be efficient.

Key words: ship end launching; elastic beam; ANSYS; parametric design language; pontoon

1 引 言

长期以来国内采用的下水计算方法,仍沿用传统的刚性船体计算方法^[1],其基本思想是认为船体是一根刚性梁,其重量集中在重心;船台是一个刚性基础,以重力矩和浮力矩的平衡作为判断船体姿态变化的依据。一旦浮力对首支点的力矩超过重力矩,船体尾部即与船台脱离,全部反力集中到首支点处。这一做法显然高估了首部结构受力。另一方面,传统的刚性船体下水计算方法不能预报下水过程中支墩的反力及其变化,因此,无法准确地评估船体结构和滑道、船台的安全性。

为保证船舶下水过程中船体及船台结构的安全性,文献[2]提出了一种船舶弹性下水计算方法,认为船体是一根弹性梁,船台-滑道板-墩木(下水横梁)-船底局部结构是船体梁的弹性支承,船体梁

收稿日期: 2006-10-31

作者简介: 责任作者 程远胜(1962-),男,博士,华中科技大学教授,博士生导师。

在重力、浮力和支墩反力作用下处于平衡状态。采用有限元分析方法可预报下水全过程中每个支墩反力的大小与变化,进而实现船体总强度与局部强度的校核。这种弹性下水计算方法在实船下水计算中取得了满意的结果。文献[3]也提出了类似的船舶弹性下水计算方法,采用有限元法编制程序进行了一系列计算,并用试验方法验证了弹性下水计算方法计算结果的正确性。

本文借助大型有限元计算软件 ANSYS, 开发了一种基于 APDL (ANSYS Parametric Design Language) 的船舶纵向下水弹性计算方法。由于利用了 ANSYS 本身强大的有限元计算功能,免除了自行开发有限元程序的工作量,并可利用 ANSYS 本身的前后处理功能,方便地输入原始计算数据和显示查看计算结果。实例计算表明,该方法能有效地预报船舶下水全过程墩反力的大小及其变化,为正确判断船舶下水过程中何时尾浮、全浮,是否会发生尾弯和首跌落提供了强有力的计算方法,为评估下水过程中船体结构、船台、栈桥等的安全性提供了准确的荷载。

2 计算方法

2.1 计算模型

船舶坐落在滑道墩木上,可将船体梁简化为一根沿船长方向具有分布质量和抗弯刚度的空间薄壁变截面梁。下水横梁、直梁、木质墩、水泥墩和活络铁墩等视为弹性支撑,船舶下水计算模型为具有一系列弹性支座的变截面连续梁,如图1所示。

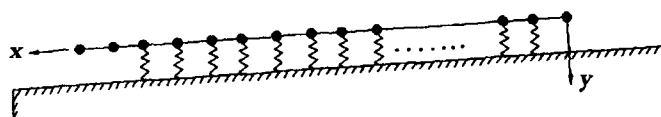


图1 船舶下水计算模型示意图
Fig.1 Schematic diagram of ship end launching calculation model

船舶下水过程任意滑程时,船体梁都处在重力、浮力、墩反力、摩擦力、水阻力及惯性力作用下平衡。本文仅考虑静力问题,即将重力、浮力和墩反力分解为垂直于滑道及平行于滑道的两种力分量,后者不会引起船体弯曲而不予考虑,仅把垂直于滑道的分量作为考察对象。基于此方法,可利用 ANSYS 的求解器直接求解得到全船的弯曲变形和墩木的墩反力,为后续的船体总强度校核、船底局部强度校核、下水横梁强度校核、船台、栈桥强度校核以及墩木强度校核等提供正确的荷载。

2.2 下水过程的力学分析

根据船舶下水过程中运动的特点,一般把船舶纵向下水过程分为四个阶段进行研究。第一阶段为船舶开始下滑到船体尾端接触水面为止;第二阶段为船体尾端开始接触水面到船尾开始上浮为止;第三阶段为船尾开始上浮到全浮为止;第四阶段为从船全浮到船舶停止运动为止。

尾浮前阶段(包含上述传统下水前两个阶段),尾部浮力尚不足以克服尾部重力托起船体。如果尚没有支墩滑出滑道,则全部支墩与船体接触,船体梁的计算即为具有确定弹性支座的变截面梁弯曲,通常情况下尾部支墩反力逐渐减小。

如果滑道长度较短,或尾部型线尖瘦,当尾部最末端支墩滑出滑道时浮力都未能托起船体,则会导致仍在滑道上的尾部末端支墩反力增大。如果持续处于这种状态,船体梁将会总体呈现出以尾部支墩为轴心的逆时针旋转,该状况下滑道末端区域的支墩将承受非常大的集中力,危及对应区域船底结构和滑道结构的安全,此即具有传统意义上尾弯的危险。计算中判断尾弯发生的判据是首部支墩脱离船底,在仿真计算中表现为首部最前端弹簧处于拉伸状态。

一旦出现尾弯,传统工艺上有两种做法来消除尾弯:一是调整重量分布使重心向首部移动,包括减小尾部压载水和减少尾部装船设备;另一种方法是使相同滑程下浮力增加,包括等待下水潮位上升和增加滑道长度。

如果船舶下水重量已经无法做实质性改变,滑道也已经无法再加长,短时间内又等不到更高的潮位,此时必须考虑新的工艺措施克服尾弯,保证船舶顺利安全下水。本文提出带浮筒下水新工艺,即在

船尾合适的位置安装合适大小的浮筒,达到在相同滑程下增加浮力的目的。该方法设计便捷,安装工艺简单,而且可以重复利用,成本低,是解决尾部线型尖瘦大型船舶安全下水的有效方法。国内某大型汽车滚装船下水的实践已充分说明了本措施的有效性。

随着滑程增大,浮力逐渐增大。当浮力逐渐增大到一定程度时船体尾部抬升,还未滑出滑道的尾部最末端支墩首先脱离船底,即仿真计算中出现尾部弹簧处于拉伸状态,此时表明船舶开始尾浮。尾浮开始后,最靠近首部的下水横梁在船舶开始尾浮后的某一时刻受力达到最大值,而后逐渐减小。

尾浮后,自尾向首各对支墩逐渐脱离船底,直到剩下首部最前端的少数支墩保持与船体接触。在接近全浮前的滑程时,船体梁将绕着首部少数几个甚至一个墩木转动调整吃水。在仿真计算中将至少保留最后两个墩与船底接触,以保证计算能达到平衡状态。随着滑程的加大,如果最后两个支墩(弹簧)处于拉伸状态,则意味着该船全浮;相反,如果最后两个支墩即将滑出滑道末端而仍处于受压状态,则意味着将发生首跌落。首落重量即为此时支墩受到的压力之和。

2.3 基于 ANSYS 的仿真实现

根据前述原理建立图 1 所示的船舶弹性下水计算模型。船体梁结构单元可选用 Beam188 梁单元模拟,做数据准备工作时可在 ANSYS 中建立船体典型横剖面有限元模型,直接获得剖面的惯性矩、横剖面积等截面特性数据,并通过简单的换算直接用来定义 Beam188 梁单元截面几何特性。由下水横梁、直梁、木质墩、水泥墩、活络铁墩等组成的弹性支撑系统,可根据其布置的相互关系,在 ANSYS 中建模计算其刚性系数,并用 Combin14 单元模拟。船舶重力以线载荷的形式施加在梁单元上。对应确定的滑程,有一个唯一的吃水分布,根据邦金曲线即可得到每个梁单元上浮力分布,其以梯形线载荷施加到梁单元上。

建立好梁-弹簧系统有限元模型后,本文采用 APDL 在 ANSYS 中实现下水全过程计算。APDL 是 ANSYS 参数化设计语言,是一种解释性语言,可用来自动完成一些通用性强的任务。APDL 还包括其他许多特性,诸如重复某条命令、宏、if-then-else 分支、do 循环、标量、向量及矩阵操作等^[4]。图 2 给出了采用 APDL 编制命令流实现下水全过程的流程图。

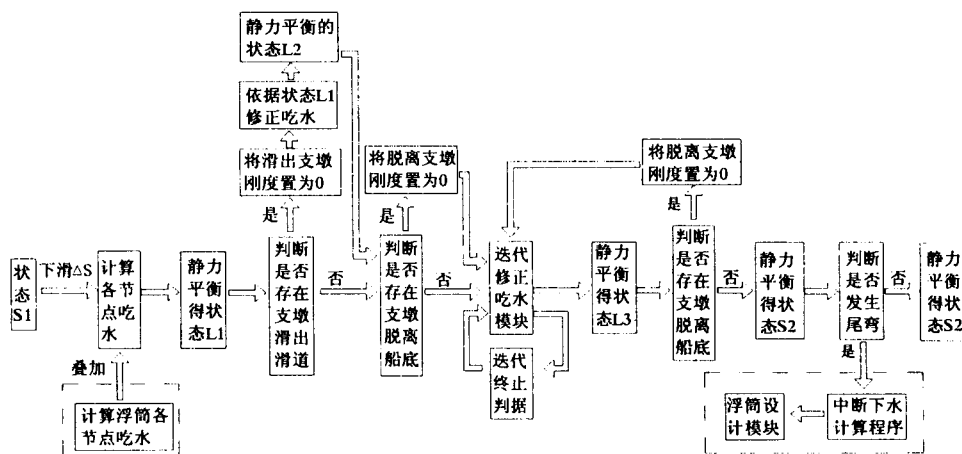


图 2 APDL 编制下水计算程序流程图

Fig.2 Flowchart of launching calculation program using APDL

设下水过程中任意滑程位置,船体梁为 S1 状态,下滑 ΔS ,平衡后为 S2 状态。状态的含义指船体梁的姿态及变形。如何找到某滑程下对应的唯一吃水是决定下水计算准确性的关键。本文迭代修正吃水模块采用下述迭代方法确定吃水:设下水过程中船体梁处于平衡状态 S1,下滑 ΔS ,船体梁某节点吃水为 T1,船体梁下滑 ΔS 过程中认为船体梁变形状态保持不变,则根据船台参数可以确定下滑 ΔS 后该节点处吃水为 $T1+\Delta T$,以该吃水计算浮力,并与重力共同施加于船体梁得到新的变形状态 L1,新变形状态与 S1 做比较,如果二者差值大于事先规定的精度要求,说明船体梁没有达到平衡状态。此时,

以各节点处差值修正节点位置处的吃水大小,重复循环计算,直到连续两个状态的差值小于事先规定的精度要求。这时重力、浮力和墩反力达到平衡,得到下滑 ΔS 后船体梁新的状态 S2。

如果计算发现有尾弯发生,则进入中断下水计算程序,进入浮筒设计模块。浮筒设计模块主要包含两方面的功能:一是根据尾弯时重力与浮力对滑道末端力矩差值来估算浮筒在各滑程下需提供的浮力矩;另一方面是根据尾部舵、桨的安装情况及尾部型线的状况确定浮筒安装位置,据此确定浮筒需提供的浮力大小,并进而设计出浮筒的几何尺寸(关于浮筒位置及大小对船舶下水的影响将另文讨论)。

确定浮筒安装位置及大小后,在下水计算过程中将浮筒产生的浮力分布与船体产生的浮力分布叠加得到新的浮力分布,再对船体梁进行静力平衡计算。

3 计算示例

某船船长 182.8m,垂线间长 170.2m,下水总质量 14 747.7t,重心距舭-7.458m,在坡度为 1/22 船台上建造。下水时船底基线与水面的交点至滑道末端的距离为 85.5m,下水时潮高 5.8m,零潮位时滑道末端水深-1.0m,下水时滑道末端水深 4.8m,船底基线距滑道面高度 0.9m。滑道面上布置滑板,单侧总长 156m,首部设置大小不等 12 根下水横梁,尾部设置大小不等 15 根下水横梁,中间部位为每隔 1m 设置一个木墩,木墩上面布置木直梁,采用油脂纵向尾下水法。

本文在建立船体梁模型时,将船体梁划分为 2 073 个梁单元,按支墩实际布置位置建立 106 个弹簧单元,将弹簧单元一节点与船体梁连接,另一节点全约束。

下水计算中,船体梁尾浮前以 5m 为一个滑程,尾浮后由于船体梁倾斜度会逐渐减小,为了能较快地实现迭代收敛,减小为 0.5m 一个滑程。虽然滑程步长减小会增加总的计算次数,但却极大地减小了每个滑程下平衡位置计算的迭代次数,从总体来看是有助于减少总计算量的。

计算发现,首部最前端横梁在滑程为 170m 时出现了脱离船底现象,反映在计算结果中就是墩反力为零,该现象在 180m 处表现尤为明显,前后持续了 21m 的滑程,如图 3 所示,这说明发生了尾弯。对应 180m 滑程滑至滑道末端区域的墩反力达到了 8 651kN、8 735kN 和 7 236kN,过大的墩反力对船底局部强度及滑道强度都是很大的威胁。为证实该船目前状态下确实存在尾弯问题,本文采用传统刚性梁下水计算方法,编制 MATLAB 程序对该船进行了刚性梁下水计算,并绘制了下水曲线图(见图 4)对弹性梁计算的结果进行了验证。

图 4 中, M_v 为浮力对滑道末端矩曲线, M_w 为重力对滑道末端矩曲线。由图 4 可以发现, M_v 曲线与 M_w 几乎相切,表明处于发生尾弯的临界状态。可见两种计算方法均预报出会发生尾弯。

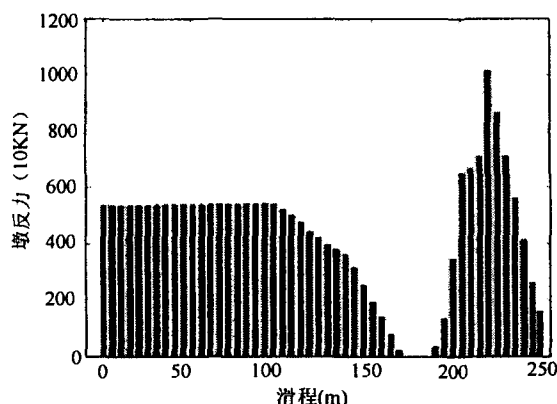


图 3 首部最前端横梁墩反力变化图

Fig.3 Reactions of the fore first launching beam under different skid distances

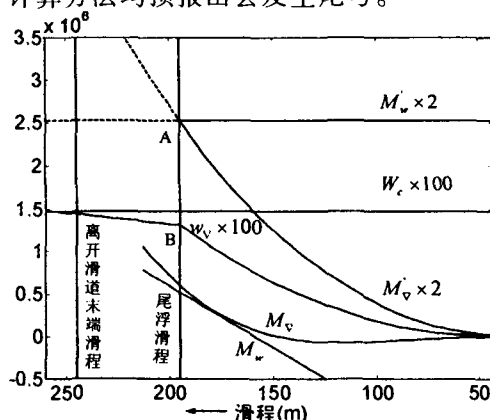


图 4 下水曲线图

Fig.4 Launching curves

在水重、潮位、船台长度不变的前提下,本文计算了在尾部安装浮筒的下水方案(浮筒总浮力为 300t,浮筒浮心距尾垂线 1.4m),图 5-6 分别给出了滑程为 75m 和 150m 时墩反力沿船长的分布,图 7 为首部第一根横梁承载变化图,图 8-9 分别给出了 5 个典型滑程时船体梁剪力与弯矩沿船长的分布图。

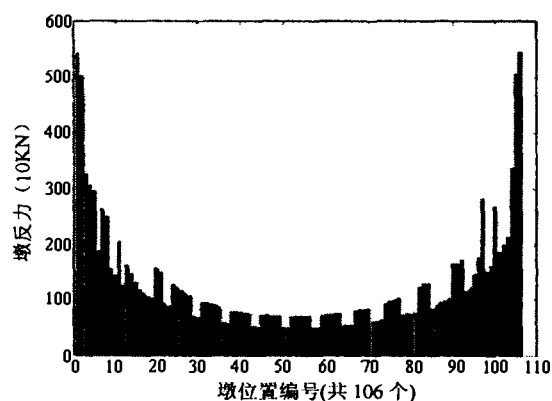


图 5 滑行 75m 时墩反力分布图(浮筒下水)
Fig.5 Distribution of blocks reactions at skid distance of 75m (with pontoon)

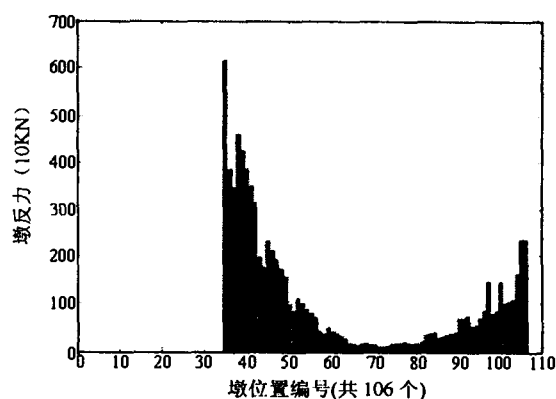


图 6 滑行 150m 时墩反力分布图(浮筒下水)
Fig.6 Distribution of blocks reactions at skid distance of 150m (with pontoon)

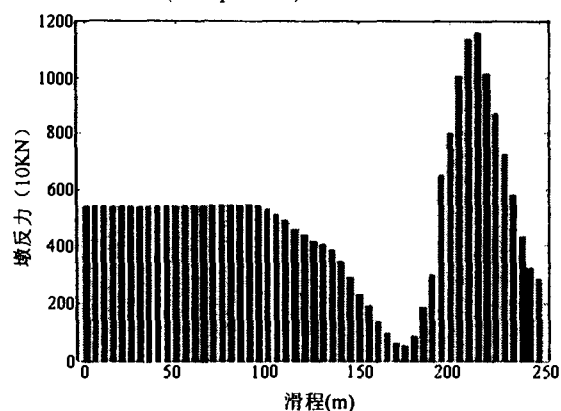


图 7 首部第一根横梁承载变化图(浮筒下水)
Fig.7 Reactions of the fore first launching beam under different skid distances (with pontoon)

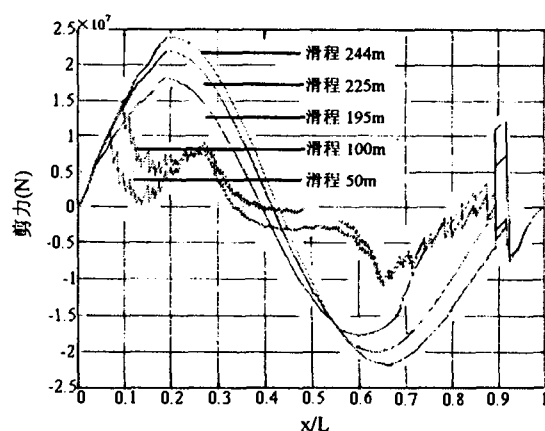


图 8 典型滑程剪力分布图(浮筒下水)
Fig.8 Distribution of shear force along longitudinal direction under different skid distances (with pontoon)

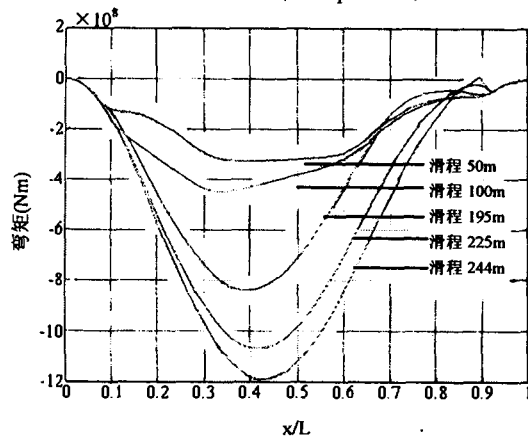


图 9 典型滑程弯矩分布图(浮筒下水)
Fig.9 Distribution of bending moment along longitudinal direction under different skid distances (with pontoon)

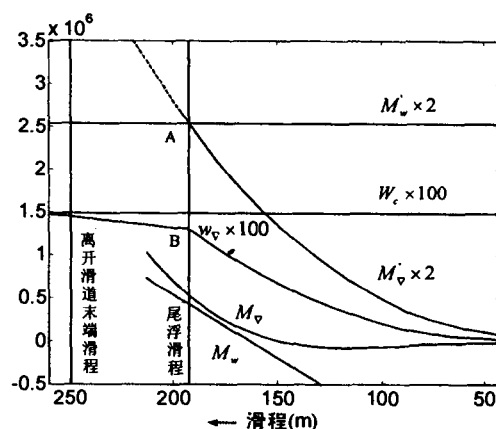


图 10 下水曲线图(浮筒下水)
Fig.10 Launching curves (with pontoon)

4 结果分析

4.1 墩反力分布分析

由图 5 可以发现, 船体尾浮前, 整个墩反力分布呈现出两端反力大, 中间反力分布较均匀的现象。这是由于船体梁首尾均有一部分悬伸在最首(尾)端下水横梁之外且首尾下水横梁刚度比船体梁中部支墩刚度大所造成的。

该船船底尾部型线较为尖瘦, 平底线内面积较少, 尾部入水后浮力增加缓慢。而船台滑道相对较短, 尾部横梁滑出滑道时尾部尚未浮起, 导致尾部末端横梁滑出滑道时船体尾部下压, 仍在滑道上的尾部横梁承载加大。从下水整个计算的结果来看, 滑至滑道末端处的横梁都承受了较大载荷, 这对船底相应位置局部强度不利。随着滑程增加, 浮力逐渐增加, 托起船体, 尾部支墩反力开始减小, 首部横梁反力逐渐加大, 直到滑程至 193m 时出现尾浮。

从图 7 可以发现, 首部第一根横梁承载先经历了一段变化不大的阶段, 然后逐步减小, 再迅速增加, 最后又迅速减小。其原因是在下水第二阶段由于浮力不足以托起船体, 加上不断有尾部支墩滑出滑道, 导致船体尾部下坠, 船体梁呈现出首翘尾压的姿态, 首部受力减小。从图 7 可以看出, 首部第一根横梁受力已经没有出现零值情况, 说明安装浮筒后有效地解决了尾弯问题。船体能安全地滑至 193m 达到尾浮。

尾浮后, 由于船底平底面已经全部入水, 浮力增加较快, 船体梁开始顺时针旋转, 且旋转中心随着滑程的增大逐渐向船首移动。首部前端横梁反力继续加大, 靠近滑道末端的支墩反力开始减小, 且该区域不断有未滑出滑道的支墩脱离船底。

滑程为 215m 时首部横梁经历最大荷载, 随后, 首部横梁反力迅速减小。本文计算结果表明, 首部横梁最大承载力并不是出现在尾浮时, 而是出现在尾浮后的某个滑程, 这与文献[5]所述的实测结果是一致的。如果滑道长足以保证船体正常全浮的话, 则首部横梁反力是逐渐减小直到零。本算例中理想全浮滑程为 256.2m, 而滑行至 249.4m 时首部第一根横梁就将滑出滑道, 此时该横梁仍承受 2 851kN, 意味着发生了首跌落现象。

4.2 与传统刚性梁计算方法结果对比

带浮筒下水的刚性梁下水曲线如图 10 所示。基于刚性梁下水计算得到的尾浮滑程是 194.19m, 与弹性梁计算结果 193m 相比延迟了 1.19m。这是因为刚性梁的尾浮判断标准是以首支架位置为支点, 重力矩与浮力矩相等作为尾浮的判据, 而弹性梁计算的尾浮判断标准是尾部有支墩受拉, 即尾部支墩脱离船底为判据。因此, 刚性梁计算要达到尾浮要比弹性梁需要更大的浮力, 即尾浮对应的滑程更大。

从图 10 可以发现, M_V 曲线与 M_H 曲线已经分离, 说明浮力对滑道末端力矩一直大于重力对滑道末端力矩, 表明实施浮筒下水后不会发生尾弯。刚性梁计算得到的全浮滑程为 261.4m, 这与弹性梁的计算结果 256.2m 相近。弹性梁计算结果更小是由于船体梁浮起后是呈现一个中垂的姿态, 舳部平底多, 产生的浮力大。滑程为 249.4m 时首支架滑出滑道, 刚性梁计算首跌落时首支架受力 3 147kN, 弹性梁计算首部第一根横梁滑出滑道时受力 2 851kN, 两者相差 10.3%。总的来说, 两种计算方法在预报是否发生尾弯、首跌落, 尾浮滑程及全浮滑程这几个下水特征量方面基本上是一致的, 但弹性计算方法能给出墩反力及其分布, 能给下水安全性分析提供更多的信息。

5 结 论

基于 ANSYS 的船体弹性梁下水计算方法可以完整正确地预报船体下水全过程的受力历程, 提供船体强度校核及船台校核的所需载荷, 从而可以预先提出有效的船底加强措施和船台改造措施, 确保下水作业时结构的安全性。在 ANSYS 平台下采用 APDL 实现船体弹性梁下水计算免除了自行开发有

限元程序的工作量,且操作简便,前后处理方便。

安装浮筒下水是一种有效的克服尾弯的新工艺。该方法设计简单,成本低,实施方便,具有很大的推广应用价值。

致谢:本文的研究工作得到厦门船舶重工股份有限公司的资助,作者对此深表谢意。

参 考 文 献:

- [1] 盛振邦,杨尚荣,陈雪深. 船舶静力学[M]. 北京:国防工业出版社,1984.
- [2] 顾永宁. 船舶纵向下水弹性计算方法和结构安全性[J]. 上海交通大学学报,1996,30(10):104-110.
- [3] 卢镇光,束长庚. 船舶纵向下水试验及支座反力的计算[J]. 中国造船,1996,1(132):53-58.
- [4] 刘 涛,杨凤鹏. 精通 ANSYS[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [5] 向 溢,李 辉. 船舶纵向下水计算初探[J]. 广船科技,2003(4):1-4.