



30万t油轮坞墩横向荷载分布研究

管波^{1,2}, 朱浩^{1,2}, 孙大鹏¹, 孙志国²

(1. 大连理工大学 建设工程学部, 辽宁 大连 116024;

2. 中交理工交通技术研究院有限公司, 辽宁 大连 116023)

摘要: 我国现行干船坞设计规范颁布时间早, 对于现代很多大型船舶不相适宜, 亟待修订。针对30万t原油船舶, 运用有限元软件ANSYS, 建立了船体的标准段和坞墩有限元模型, 分析了该船型坞墩在自重、压舱水作用下不同工况的横向荷载分布系数, 与现行干船坞规范相比较, 分布系数具有不同的特点, 可供干船坞规范修订参考。

关键词: 干船坞; 坞墩; 横向荷载分布; ANSYS

中图分类号: U 673.331

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)08-0048-04

On distributions of lateral load for VLCC of 300 000 DWT

GUAN Bo^{1,2}, ZHU Hao^{1,2}, SUN Da-peng¹, SUN Zhi-guo²

(1. Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. CCCC & DLUT Institute of Communications Technology Co., Ltd., Dalian 116023, China)

Abstract: The current design code for dry docks was published early and it is not suitable for many modern large ships, so it is in an urgent need of revising. In view of the 300 000 DWT crude oil tanker, finite element models of standard section of hull and piers are built by ANSYS. This paper analyzes the distributional coefficient of lateral load in different conditions of gravity and ballast, makes a comparison with dry dock design specification. There are different characteristics on distributional coefficient of lateral load to reference for revising of dry dock design specification.

Key words: dry dock; pier; distribution of lateral load; ANSYS

现行《干船坞设计规范》是1987年颁发的, 当时我国最大的干船坞为5万吨级, 由于受到技术条件和经济规模的制约, 规范主要参考日本20世纪70年代的研究成果给出标准和规定。

近年来, 我国建成了大量30万吨级以上的大型干船坞, 其修造船工艺、设备、坞墩布置方式等都在不断地改进和更新, 而现行规范对于非常重要的坞墩荷载分布的算法比较笼统, 与目前实际船型和布墩方式不相适应, 因而对《干船坞设计规范》中坞墩荷载分布进行研究就显得极为必要; 随着计算机技术和数值模型的发展和应用,

建立求解复杂结构荷载分布的数学模型成为可能, 通过数值模拟, 探讨和寻求坞墩荷载分布的新算法, 其成果既可作为《干船坞设计规范》修订的技术储备, 又可供设计和施工参考。

油船在众多船型中有着鲜明的代表性^[1]。本文以30万吨级原油船为代表船型, 建立了大型干船坞坞墩荷载计算的有限元模型, 研究其坞墩的横向荷载分布。

1 有限单元法及ANSYS程序

有限元法是将一个结构或连续体的求解域

收稿日期: 2012-02-22

作者简介: 管波(1985—), 男, 硕士研究生, 研究方向为港口、海岸及近海工程。

离散成若干个子域(单元),并通过边界上的节点相互联结成为组合体。用每个单元内部假设的近似函数分片表示全部求解域内待求的未知场变量,而每个单元内的近似函数由未知场在单元各个节点上的数值和与其对应的插值函数来表示。这样,就将原来待求场函数的无穷自由度问题转换成求解场函数节点值的有限自由度问题^[2]。

ANSYS软件可以进行结构、传热、流体、电磁、声学等问题的专题及耦合分析,是国际上使用最多、最流行的商业化软件之一^[3]。该软件最大的特点就是既提供基于图形界面的直接操作方式,又提供有限元分析过程的命令流语言(APDL)^[4]。

本文基于ANSYS软件平台,应用APDL,建立了多种工况下的有限元计算模型,研究了在多种工况下的坞墩横向荷载分布情况,从而建立了利用ANSYS软件分析坞墩荷载横向分布这一实际工程问题的计算分析方法。

2 模型计算的有限元原理

本文建立的结构有限元模型,旨在模拟模型刚度和质量的分配,下面以4节点*i, j, m, p*的四边形单元为例(图1),对刚度矩阵的建立进行推导。对单元进行力学特性分析的目的在于确定单元节点力与节点位移之间的关系,这一关系称为单元刚度方程,用矩阵表示为:

$$F^e = K^e \times \delta^e \quad (1)$$

以*i*节点为例,存在的内力为一个力(W_i)和两个力矩(M_{xi}, M_{yi}),可用矩阵 $F_i = [W_i, M_{xi}, M_{yi}]^T$ 表示。在节点*i*上存在一个线位移(挠度 w_i)和两个角位移(绕*x, y*轴的转角 θ_{xi}, θ_{yi}),可用矩阵 $\delta_i = [w_i, \theta_{xi}, \theta_{yi}]^T$ 表示。这样,整个单元4个节点的节点力可表示为 $F^e = [F_i^T, F_j^T, F_m^T, F_p^T]^T$,整个单元的节点位移可表示为 $\delta^e = [\delta_i^T, \delta_j^T, \delta_m^T, \delta_p^T]^T$, K^e 为单元刚度矩阵。

用单元节点位移表示单元中任一点的应变,得:

$$\varepsilon = B \times \delta^e \quad (2)$$

式中: B 为应变转换矩阵。

用单元节点位移表示单元中任一点的应力,得:

$$\sigma = D \times \varepsilon = S \times \delta^e \quad (3)$$

式中: D 为弹性矩阵, $S = D \times B$ 为内力转换矩阵。

利用虚位移原理建立单元节点力与节点位移间的关系,得:

$$K^e = \int_V \varepsilon^T B^T D B dV \quad (4)$$

式(4)建立了单元刚度矩阵 K^e 的一般表达式,适用于各种类型的单元, dV 为单元内微元体的体积。在建立了单元刚度矩阵 K^e 和节点载荷列阵 R^e 后,就可按一定的方式,形成结构刚度方程:

$$R = K \times \delta \quad (5)$$

式(5)表示了整个结构的节点载荷与节点位移之间的关系,它是以节点位移为未知数的线性代数方程组,求解这一方程组,就可得节点位移,回代到式(2)和(4)中,进而可求出应力与应变。

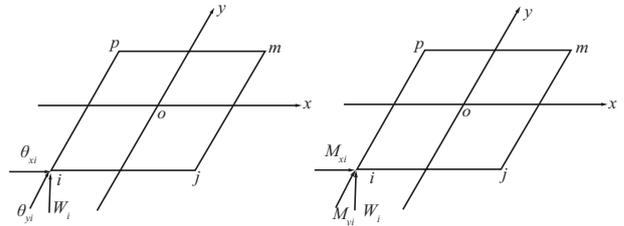


图1 4节点四边形单元

3 有限元模型建立

3.1 模型单元的选取

本文所讨论的30万吨油船,自质量约45 000 t,总长为333.5 m,型宽为58.0 m,型深为31.0 m,强弱框架等间距排布,间距为2.82 m。建立有限元模型,着力于模拟船体的重力分布与刚度分布,无需对船体本身的结构做细致计算,因此尽量采用简单单元,节省计算时间。BEAM188单元适合于分析从细长到中等粗短的梁结构,船体的型钢梁为T型和直角型,采用BEAM188单元对船体的型钢梁进行模拟;采用SHELL63单元模拟具有不同厚度的船体钢板,采用BEAM4单元对坞墩进行模拟。

3.2 结构的简化

本文研究的是坞墩的横向荷载分布,选取整个船体进行分析并不会比选取船中典型标准段进行分析精确很多,整个船体的建模也是一个非常繁琐庞大的工作,因此本文选取船中标准段的3个连续框架进行建模,即“弱-强-弱”框架,如图2所示。坞墩布置在强框架下,恰好承担两侧弱框架的重力;建模中忽略了细小的船体构造构件;将弧形钢板简化为直边钢板。这些措施都有效地

简化模型, 节约计算机资源, 对结果也不会有较大影响。

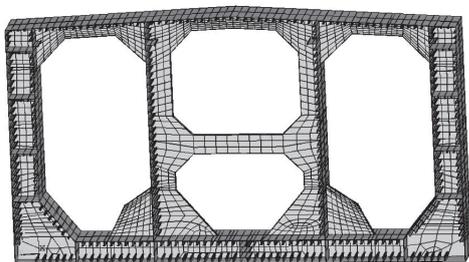


图2 船体标准段有限元模型

3.3 网格划分与荷载施加

在建模过程中, 考虑了船体尺度模数, 在无须进行船体细部计算的前提下, 对船体梁单元的划分采用较粗的网格, 对钢板网格的划分采用映射与自由划分相结合。

本文考虑的荷载有船体重力和压载水的均布压力, 船体均为钢材, 在建模阶段赋予密度即可。压载水为海水, 船上设有海水泵, 把海水抽到压载舱, 在修船时, 为了配合调节船舶坐墩的稳定性, 一般都需要注入压载水。压载水的质量一般按照船舶吨级的1/30~1/10来考虑, 本文考虑1/20和1/10两种情况, 将水的重力转化为均布力即可。

4 工况计算与分析

坞墩需布置在船体刚度较大的部位, 以免船体受损或出现较大形变。本文考虑了在强框架布置11列墩的情况(即除中墩外, 两侧各对称布置5列), 考虑了自重作用, 自重和1/20中舱压舱水作用, 自重和1/10中舱压舱水作用, 自重和1/20全舱压舱水作用, 自重和1/20全舱压舱水作用5种工况。坞墩编号自一侧向另一侧递增, 6#墩为中墩, 见图3。

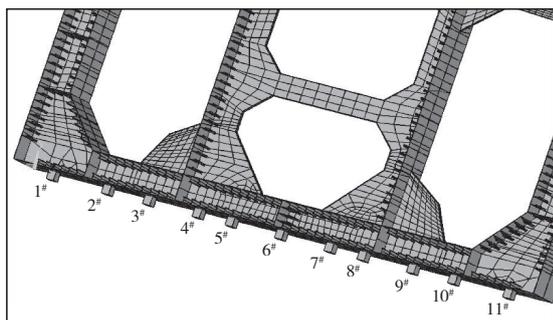


图3 坞墩分布编号

由于模型并非完全对称, 有局部加强肋偏向于模型一侧, 所以计算结果也并非完全对称, 但是差别不大, 在实际应用中可认为是左右对称。

从表1可以看出, 在船体自重工况下, 中墩反力最小, 最外侧边墩反力最大, 最外侧边墩反力约为中墩的3倍, 其他墩的反力比较均匀。2#~10#之间的坞墩, 反力最大为550 kN, 满足坞墩反力一般限值, 700 kN, 1#与11#坞墩最大反力达到1 196 kN, 需要加密坞墩, 使坞墩反力趋于均匀。

表1 自重工况下坞墩反力

墩号	墩反力/kN	墩反力/总重	墩反力/中墩反力
1#	1 196	0.178	2.83
2#	482	0.072	1.14
3#	501	0.075	1.18
4#	549	0.082	1.30
5#	415	0.062	0.98
6#	423	0.063	1.00
7#	415	0.062	0.98
8#	550	0.082	1.30
9#	502	0.075	1.19
10#	491	0.073	1.16
11#	1 190	0.177	2.81

从有限元模型也可以看出, 目前油船为双壳船, 中舱部分为空, 大部分自重集中在外侧。《干船坞设计规范》第4.2.5条规定, 中墩荷载系数, 一般取0.8; 边墩荷载系数, 一般取0.7^[5]。这两个系数是根据早期船型和日本的早期研究, 考虑1.5的安全系数得出来的, 早期船型自重主要集中在中部, 如果不考虑安全系数, 则中墩为0.533, 边墩为0.467, 表中墩反力/总重即荷载系数, 中墩为0.063, 边墩为0.937, 由于船体结构和布墩方式的不同, 坞墩横向荷载的分布有很大差异。

由表2和表1对比可知, 在中舱灌水时, 对靠近外侧边墩的支反力影响较小, 1#, 2#, 10#, 11#墩的反力变化很小, 1#和11#墩反力还有少许削弱, 6#中墩反力增大最多, 这是由油船本身的结构所决定的。在自重和1/20中舱压舱水工况下, 1#墩反力增加-3.0 kN, 11#墩反力增加-4.0 kN, 6#中墩反力增加733 kN; 在自重和1/10中舱压舱水工况下, 1#墩反力增加-7.0 kN, 11#墩反力增加-7.0 kN,

表2 自重和中舱压舱水工况下坞墩反力

墩号	1/20中舱压舱水			1/10中舱压舱水		
	墩反力/kN	墩反力/总重	墩反力/中墩反力	墩反力/kN	墩反力/总重	墩反力/中墩反力
1 [#]	1 193	0.130	1.03	1 189	0.102	0.63
2 [#]	486	0.053	0.42	490	0.042	0.26
3 [#]	607	0.066	0.53	714	0.061	0.38
4 [#]	879	0.096	0.76	1 209	0.103	0.64
5 [#]	853	0.093	0.74	1 292	0.111	0.68
6 [#]	1 156	0.126	1.00	1 890	0.162	1.00
7 [#]	9853	0.093	0.74	1 292	0.111	0.68
8 [#]	880	0.096	0.76	1 210	0.103	0.64
9 [#]	608	0.066	0.53	715	0.061	0.38
10 [#]	495	0.054	0.43	499	0.043	0.26
11 [#]	1 186	0.129	1.03	1 183	0.101	0.63

6[#]中墩反力增加1 467 kN。比较表2和表1中“墩反力/中墩反力”的值可知,船的重力向中部集中,且压载水越重,效果越明显,由此可见,在中舱灌水,水的重力主要由中墩及中墩附近的几个墩来承担,船体最外侧在中舱压载水的作用下还有向上翘曲的趋势,墩反力有所减小,这种压载方式有利于墩反力的均匀分配。发生这种变化是由船底板的挠度变化引起的,将船体的刚度和质量等效转换到船底板上,船体和坞墩便可视为一个连续梁,在中舱灌水,相当于在梁的中部加载,两边的支反力就会有所削弱。

由表3和表1对比可知,在全舱灌水时,压载

水的重力由所有墩来承担。在自重和1/20全舱压舱水工况下,1[#]墩反力增加25 kN,11[#]墩反力增加24 kN,6[#]中墩反力增加278 kN;在自重和1/10全舱压舱水工况下,1[#]墩反力增加49 kN,11[#]墩反力增加49 kN,6[#]中墩反力增加556 kN,中墩反力的增幅最大,由此可见,在全舱灌水的情况下,压载水的重力仍然主要依靠中墩承担。由“墩反力/中墩反力”的值可知,1/10全舱压载水和1/20全舱压载水较自重情况下均匀,而1/10全舱压载水较1/20全舱压载水情况更为均匀,由此可知,全舱压载也有利于坞墩反力的均匀化,但趋于均匀化的程度不及中舱压载的方式。

表3 自重和全舱压舱水工况下坞墩反力

墩号	1/20全舱压舱水			1/10全舱压舱水		
	墩反力/kN	墩反力/总重	墩反力/中墩反力	墩反力/kN	墩反力/总重	墩反力/中墩反力
1 [#]	1.221	0.143	1.74	1.245	0.120	1.27
2 [#]	0.645	0.076	0.92	0.809	0.078	0.83
3 [#]	0.704	0.083	1.00	0.907	0.088	0.93
4 [#]	0.739	0.087	1.05	0.930	0.090	0.95
5 [#]	0.601	0.070	0.86	0.787	0.076	0.80
6 [#]	0.701	0.082	1.00	0.979	0.095	1.00
7 [#]	0.601	0.070	0.86	0.787	0.076	0.80
8 [#]	0.740	0.087	1.06	0.930	0.090	0.95
9 [#]	0.705	0.083	1.00	0.908	0.088	0.93
10 [#]	0.654	0.077	0.93	0.818	0.079	0.84
11 [#]	1.214	0.142	1.73	1.239	0.120	1.27

(下转第61页)