

不同纵横牵引角度下拖轮艏拖桩结构强度分析

张 驰, 李俊来*, 谢永和

(浙江海洋大学 船舶与机电工程学院, 浙江 舟山 316000)

摘要: 以3 675 kW 拖轮为例, 利用有限元软件 MSC.Patran/Nastran 对其艏拖桩结构进行结构强度分析. 通过计算得出该艏拖桩结构强度能够满足法国船级社规范要求, 并得到了不同牵引角度下的应力分布规律, 为今后拖轮结构设计及营运提供了参考.

关键词: 拖轮; 艏拖桩; 牵引角度; 结构强度

中图分类号: U663.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 01-0094-05

经济的高速发展带动了船舶运输业的发展, 拖轮在航运中有着重要的作用. 拖轮的拖带需要承受较大的载荷^[1-4]. 因此, 需要对拖桩及其周围的船体结构进行应力分析, 这对研究拖轮结构强度具有十分重要的意义.

谭银朝等^[5]探讨了 54 000 DWT 散货船船体拖带与系泊设备支撑结构的有限元强度, 并提出拖桩区域结构的强化对船体结构强度影响较大; 潘英杰等^[6]计算了拖带与系泊设备支撑结构的强度, 提出对拖桩附近的纵向结构需要进行加强设计; 陈南华^[7]研究了铝制焊接拖桩的有限元强度, 提出桩柱及其连接结构的应力具有一定的分布规律. 以上研究主要针对船体结构进行局部加强来增加结构强度^[8].

本文利用 MSC.Patran/Nastran 结构有限元分析软件, 依照相关规范^[4]要求, 对 3 675 kW 拖轮艏拖桩在不同牵引角工况下的结构进行了强度应力分析, 得到了应力较小的工况, 以期为今后拖轮结构的设计及营运提供参考.

1 有限元分析

1.1 实船资料

实体船体主尺度为: 总长 32 m, 型深 5.36 m, 垂间线长 28 m, 吃水 4.3 m, 型宽 11.6 m, 航速 13 kn, 船体如图 1 所示.

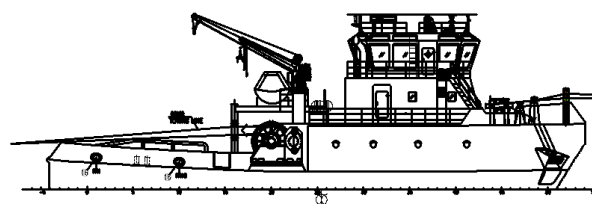


图 1 实体拖轮示意图

1.2 有限元模型

模型范围取第 50 道肋位至船艏端(包括艏部框架、甲板、舷侧列板以及拖桩等). 采用右手坐标系: x 轴向船艏为正方向; y 轴向船宽左舷为正方向; z 轴垂直向上为正方向. 有限元模型如图 2 所示.

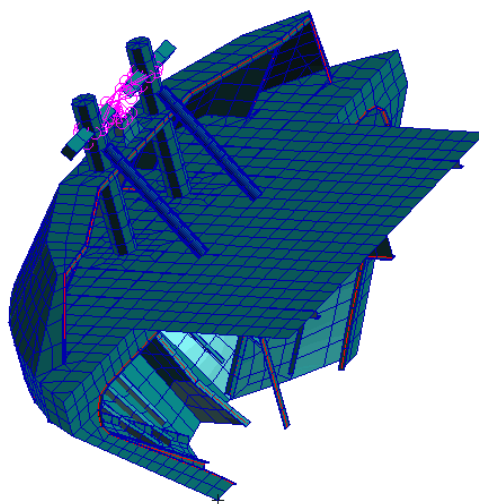


图 2 拖轮艏部结构有限元模型

收稿日期: 2017-01-19.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

第一作者: 张驰 (1992-), 男, 江苏常州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 船舶与海洋结构物设计与制造. E-mail: 626157690@qq.com

*通信作者: 李俊来 (1981-), 男, 浙江金华人, 副教授, 主要研究方向: 船舶与海洋结构物设计与制造. E-mail: 11059979@qq.com

1.3 边界条件

根据拖桩受力情况, 在所建模型后面设置了 3 个自由度的约束, 具体边界条件见表 1.

表 1 边界条件

位置	线位移约束			角位移约束		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
模型后面	固定	固定	固定	-	-	-

1.4 计算外载荷

根据设计方要求, 此拖轮在拖带工况下, 拖桩需要能够承载 294 kN 的牵引力. 根据规范要求, 数值计算时, 施加的计算载荷(Testing Force, CT)则为 588 kN.

本文主要考虑拖带工况下在拖桩结构受力的情况, 分析不同横纵牵引角度对拖桩强度的影响. 根据实际拖带力 F 的作用效果, 可以分解成 3 个方向的分力 F_x 、 F_y 、 F_z 形式施加到拖桩节点上(图 3), 力的分解方式为:

$$\begin{cases} F_x = F \cos \gamma \sin \varphi, \\ F_y = F \cos \gamma \cos \varphi, \\ F_z = F \sin \gamma, \end{cases}$$

式中: F 为拖轮实际牵引力; γ 为沿船长纵向牵引角度; φ 为沿船宽横向牵引角度.

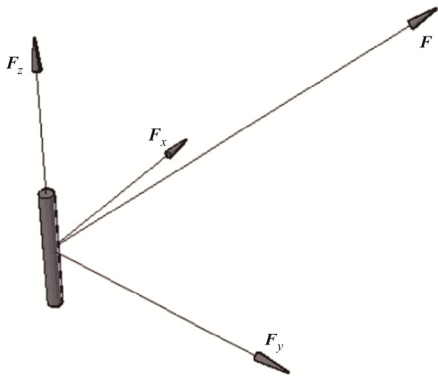


图 3 力的分解

根据设计要求, 计算工况. 选取 30°、45°、60° 纵向牵引角度, 横向牵引角度分别为 0°、10°、20°、30°、40°、50°, 共计 18 种牵引拖带工况, 各工况下拖桩的计算载荷见表 2.

1.5 许用应力

根据规范要求, 本船拖桩结构的许用应力值的计算公式为:

$$\tau \leq 0.65 \frac{R_y}{\gamma_R \gamma_m},$$
$$\sigma_E \leq \frac{R_y}{\gamma_R \gamma_m},$$

式中: τ 为剪切应力; σ_E 为等效应力; γ_R 为抵抗安全局部系数, 在此取 1.25; γ_m 为材料局部安全系数, 这里取 1.02; R_y 为最小屈服应力, 这里取 235 kN·mm⁻².

表 2 各工况下拖桩的计算载荷

工况	纵向牵引 角度/(°)	横向牵引 角度/(°)	F_x /kN	F_y /kN	F_z /kN
LC1	30	0	0	509.22	294.00
LC2	30	10	88.43	501.49	294.00
LC3	30	20	174.16	478.52	294.00
LC4	30	30	254.61	441.00	294.00
LC5	30	40	327.32	390.09	294.00
LC6	30	50	390.09	327.32	294.00
LC7	45	0	0	415.78	415.78
LC8	45	10	72.20	409.46	415.78
LC9	45	20	142.20	390.70	415.78
LC10	45	30	207.89	360.07	415.78
LC11	45	40	267.26	318.52	415.78
LC12	45	50	318.51	267.26	415.78
LC13	60	0	0	294.00	509.22
LC14	60	10	51.05	289.53	509.22
LC15	60	20	100.55	276.27	509.22
LC16	60	30	147.00	254.61	509.22
LC17	60	40	188.98	225.22	509.22
LC18	60	50	225.22	188.98	509.22

2 计算结果与分析

2.1 计算结果

通过有限元计算, 得到拖桩在各工况下的最大应力值(表 3). 典型工况下的应力云图如图 4 所示.

2.2 结果分析

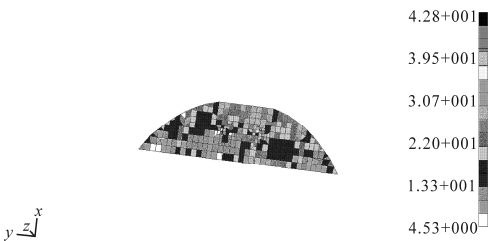
图 5 为不同横纵牵引角度工况下, 拖桩相关部位(甲板, 舷墙和桩柱)的最大等效应力和剪切应力的分布.

表 3 有限元分析计算结果 MPa

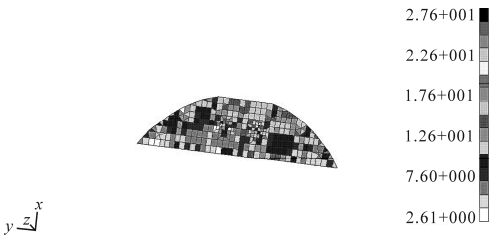
工况	位置	等效应力	最大剪切应力	许用等效应力	许用剪切应力
LC1	甲板	45.4	26.0	184.31	119.8
	舷墙	97.5	48.8		
	桩柱	128.0	70.6		
LC2	甲板	47.5	27.1	184.31	119.8
	舷墙	74.6	38.1		
	桩柱	138.0	75.0		
LC3	甲板	48.2	27.5	184.31	119.8
	舷墙	76.5	39.5		
	桩柱	144.0	77.6		
LC4	甲板	47.6	27.2	184.31	119.8
	舷墙	91.2	46.5		
	桩柱	147.0	78.4		
LC5	甲板	45.7	26.0	184.31	119.8
	舷墙	102.0	52.6		
	桩柱	147.0	77.2		
LC6	甲板	44.2	25.0	184.31	119.8
	舷墙	110.0	56.4		
	桩柱	143.0	74.2		
LC7	甲板	38.5	21.9	184.31	119.8
	舷墙	97.4	49.0		
	桩柱	119.0	65.2		
LC8	甲板	40.2	22.8	184.31	119.8
	舷墙	78.5	39.8		
	桩柱	127.0	69.1		
LC9	甲板	41.4	23.8	184.31	119.8
	舷墙	59.5	30.7		
	桩柱	132.0	71.2		
LC10	甲板	42.8	24.3	184.31	119.8
	舷墙	57.2	29.9		
	桩柱	135.0	71.8		
LC11	甲板	43.4	24.6	184.31	119.8
	舷墙	66.1	34.4		
	桩柱	134.0	70.8		
LC12	甲板	43.2	24.5	184.31	119.8
	舷墙	72.0	37.4		
	桩柱	131.0	68.2		
LC13	甲板	36.4	20.5	184.31	119.8

续表

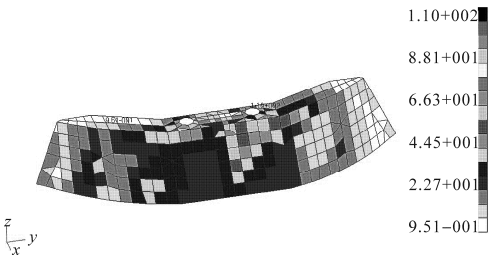
工况	位置	等效应力	最大剪切应力	许用等效应力	许用剪切应力
LC13	舷墙	90.9	46.0	184.31	119.8
	桩柱	102.0	56.1		
LC14	甲板	36.5	20.9	184.31	119.8
	舷墙	77.4	39.4		
LC15	甲板	38.0	21.7	184.31	119.8
	舷墙	63.3	32.4		
LC16	甲板	39.0	22.2	184.31	119.8
	舷墙	48.8	25.3		
LC17	甲板	39.4	22.4	184.31	119.8
	舷墙	38.3	20.0		
LC18	甲板	39.3	22.3	184.31	119.8
	舷墙	33.1	17.9		
	桩柱	110.0	57.7		



(a) 甲板最大等效应力



(b) 甲板最大剪切应力



(c) 舷墙最大等效应力

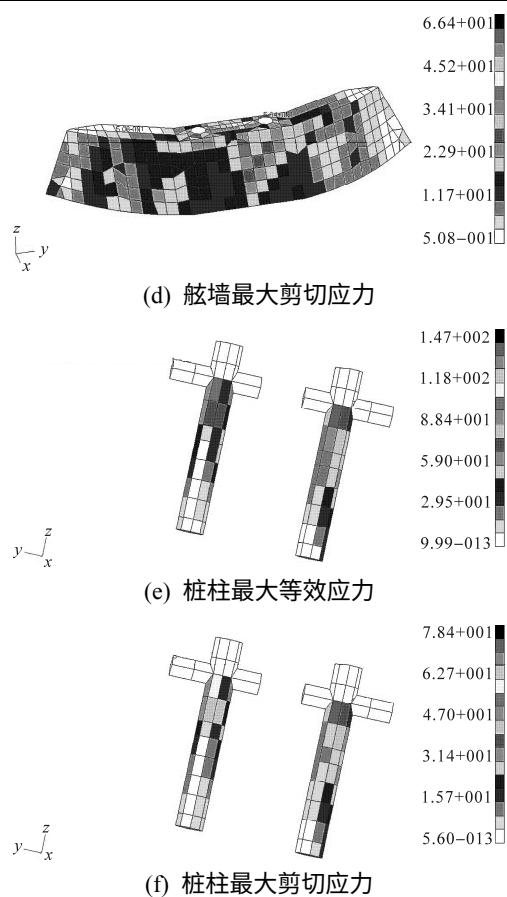


图4 不同工况下相关部位的最大应力云图

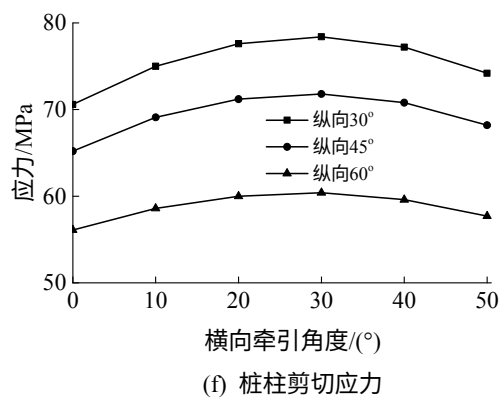
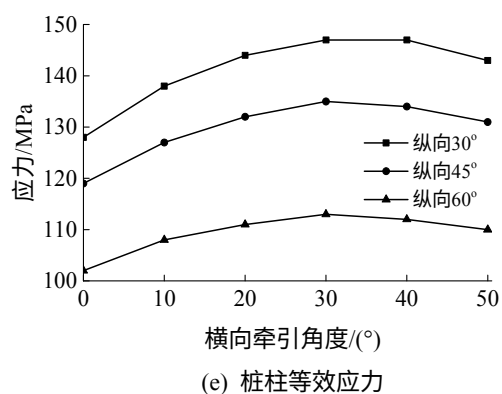
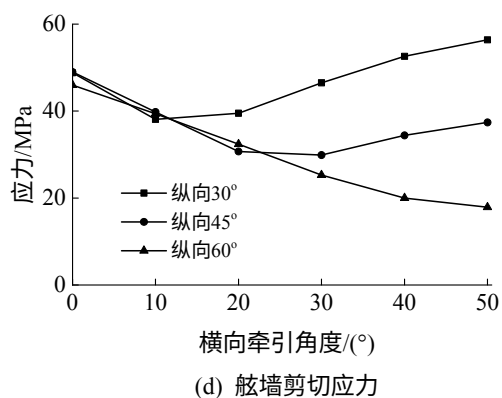
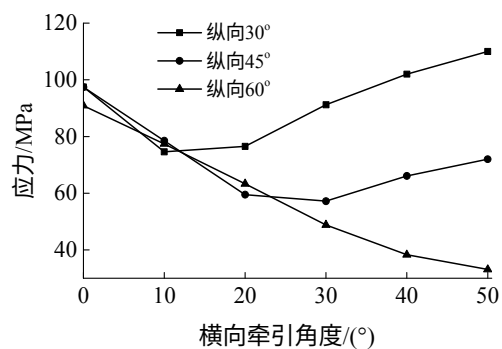
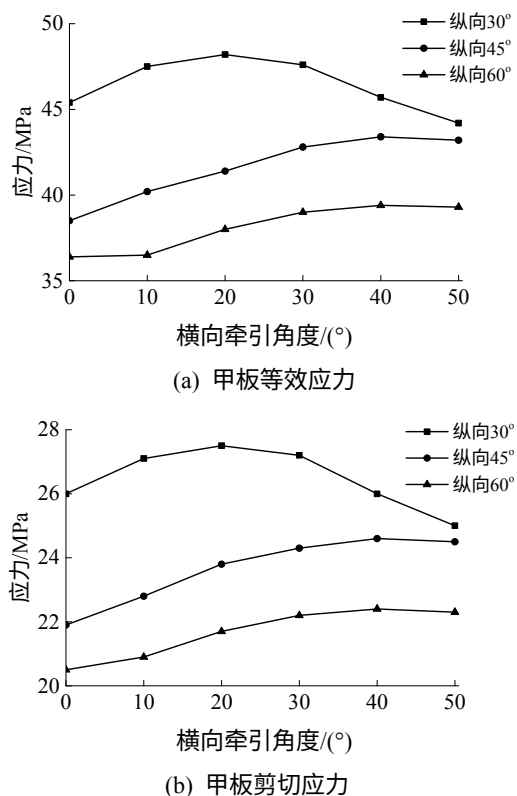


图5 不同工况下相关部位的应力分布

从图5可以得出: (1)应力在同一位置的分布规律相似, 并且各工况下的应力均小于许用应力. (2)

横向牵引角度一致时,拖桩各个部位应力随牵引纵向角度的变大而减小。(3)甲板与桩柱的应力规律相似,当纵向牵引角度一定时,应力随着牵引横向角度的增大而增大,分别在 20° 和 30° 时达到最大值,之后应力随角度增大而变小。(4)同种工况下,桩柱所受应力比甲板以及舷墙所受的应力要大很多。(5)纵向牵引角度一定时,舷墙处应力随横向牵引角度增大而减小,到 30° 之后开始随角度增大而增大。

3 结论

通过有限元对该拖轮拖桩结构进行强度分析,结果表明该拖桩满足规范要求。根据分析可以得到最大应力点处于桩柱上,因此必须对桩柱附近结构进行加强以保证拖桩区域的结构强度。在进行拖带作业时,应尽量使横向牵引角度小,纵向牵引角度大,这样可以降低桩柱处应力,减小桩柱结构的损伤,提高桩柱的使用寿命。

参考文献:

- [1] 顾俊. 基于有限元的 25000 吨成品油船船体拖带及系泊支撑结构强度分析[J]. 青岛远洋船员职业学院学报, 2012, 33(2):10-13.
- [2] 刘兵山, 黄聪. Patran 从入门到精通[M]. 北京: 中国水利出版社, 2003:354-377.
- [3] 宋书博. 打桩船桩架强度及稳定性校核计算[J]. 船舶与海洋工程, 2013, 96(4):29-33.
- [4] 王春雪. 20000TEU 集装箱船舱段强度分析[J]. 船舶工程, 2015, 37(S2):47-48.
- [5] 谭银朝, 刘国平, 李国强. 54000DWT 散货船船体拖带与系泊设备支撑结构的有限元强度分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, 34(5):296-300.
- [6] 潘英杰, 杨后. 拖带与系泊设备支撑结构强度计算及加强[J]. 造船技术, 2008, 281(1):11-15.
- [7] 陈南华. 铝质焊接拖桩结构强度有限元分析及加强[J]. 广东造船, 2016, 147(2):35-37.
- [8] 谢永和, 吴建国. 船舶结构设计[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2011:109-114.

The strength analysis for tug stem pile structure with different transverse and longitudinal traction angles

ZHANG Chi, LI Jun-lai*, XIE Yong-he

(School of Marine and Electrical Engineering, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China)

Abstract: The study for the strength analysis for tug stem pile structure is of great significance for the research of tug. This paper takes 5 000 hp tug as an example, then using the finite element software MSC.patran/nastran to make stress analysis for its stem pile structure according to BV regulations. According to the calculation results, it is concluded that the strength of stem pile structure meets the requirements of the classification society of France, and the stress distribution rules under different towing angles are obtained which can provide practical reference for the design and service of tugs.

Key words: towing; transverse and longitudinal traction angle; structural strength; strength analysis

(责任编辑 史小丽)