

深海平台组块运输船结构及其可靠性研究

余 杨, 曾晓辉

(中国科学院力学研究所, 北京 100190)

摘 要: 根据我国海洋油气开发的需要, 研究出一种可用于深海的大型构件、平台组块运输的新型甲板运输船。文中着重对其总纵强度和横向强度进行深入分析, 优化出可满足任何海域的结构形式, 并在此基础上进行可靠性的研究。

关键词: 甲板运输船; 可靠性; 结构设计; 总纵强度

中图分类号: P751

文献标志码: A

文章编号: 1003-2029(2011)02-0032-03

1 课题来源与研究现状

本课题来源于实际工程, 研究所依据的母船型为“海洋石油 226”甲板运输船, 其主要用于运送特大件或重大件。能源现在逐渐成为了世界各国的立国之本, 特别是随着近年来对海洋开发力度的不断加大, 致使其相关船业发展必须跟上节奏。工程设备甚至工程组块先在低劳动力成本地区建造, 再运输到项目地组装的建造模式被越来越多的国家和企业所接受。海洋工程类的重大构件以及特种杂货运力 2010 年总体呈平缓增长的状况。在这种条件下, 以甲板驳船为蓝本的运送海洋工程平台等重大构件的甲板运输船备受青睐。因其对甲板强度要求极高, 船宽过大导致总纵强度计算复杂, 因而在设计上存在一定的难点。

2 总解决思路与设计研究

船的主尺度为: 总长 205.2 m, 计算船长 197 m, 船宽 45 m, 型深 10 m, 设计吃水 7 m, 结构吃水 9 m, 方形系数为 0.873。

设计船因其用途, 应该具有较大的船宽, 较富裕的干舷以便使其静稳性曲线的稳距值更大、稳性消失角更大, 以获得很好的稳性。同时又因为所载货物具有重量大、重心高、体积大、受风面积大的特点, 故稳性也成为运输船能否实施的控制因素; 因其作业的环境, 故船长需满足一定要求, 以便该船能够具有较好的耐波性。

因载货形状的不规则和重量的不平均, 该船载货甲板的单位面积设计载荷达到了 16 t/m^2 , 应当指出甲板的强度, 特别是甲板边板的局部强度需要特别注意。当重大件货物装

载于驳船上运输时, 船体结构不仅要承受其重量, 而且因为绑扎加固使得货物不至于由于驳船的摇晃而移位或倾斜, 加固强度问题也需要考虑。

与传统的货物运输不同, 用于重大件运输的甲板驳是一种不同于一般货船的特殊船舶。该类驳船具有很大的开放式甲板, 适宜于装载重大件货物。也正因为如此对该类运输驳船的结构强度有特殊的要求。利用驳船运输重大件货物, 驳船总纵强度是能够调整的, 可以利用适当配载和压载很容易满足, 而驳船船体局部强度则是必需满足规范要求无法通过其他方法调整, 只能在构件选取时将问题考虑全面。

船东要求本船的型深需保持在 11 m, 但由于本船垂线间长已经达到 197 m, 因货物宽度以及稳性要求, 船宽也达到了 45m; 因此其惯性矩以及剖面模数如要满足规范要求, 则需要在构件选取上反复尝试。特别是某些构件的稳定性问题也需要引起我们一定的重视, 结构稳定性问题自从提出来以后一直受到学者们的高度重视, 并取得了丰富的研究成果。但是, 在工程实践中, 对这一问题往往没有引起足够的重视, 致使结构出现破坏时都归咎为强度不足所致。而且, 结构构件的失稳具有突然性和隐蔽性, 但其引发的对构件的影响更具破坏力。因此在选取构件时部分尺寸较大, 高度或腹板高度较大, 局部构造发生变化的, 需要将稳定性考虑其中。

作为一艘排水量超过 50 000 t 的甲板运输船, 某一个构件的选取都对耗材有不小的影响。原料上更要精打细算, 因此在结构计算时, 对于外板, 桁材, 骨材的选择中, 无论是型状, 还是尺寸都应反复比较, 力求使用最优方案。

3 结构设计研究

在对于主尺度较大的甲板运输船进行设计时, 有以下几点需要格外注意:

(1) 设计样船的长度达到 205.2 m, 宽度 45 m, 型深 11 m, 可以看为是一个扁长体。想要保证其总纵强度能够符

收稿日期: 2011-02-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10702246, 10702073); 国家高科技重大专项资助项目(2008ZX05026-005); 上海交通大学海洋工程国家重点实验室研究基金项目; 国家高科技研究发展计划(863 计划)资助项目(2008AA09Z307)

合规范的要求,全船甲板骨架就最好能保证较好的连续性。同时计算船舶满载出港状态时,因船肿大件货物重量很大,因此更需要构件保持连续性。

(2) 设计样船载货区域的设计单位载荷达到了 20 t/m²。这需要有尽量多的构件来分担甲板所传递的力,以使得各构件的弯曲都在一个较合理的范围之内。纵骨架式结构的受力、传力参与的构件更多,更利于用于高荷载的甲板使用。

(3) 设计样船的宽度 45 m,型深 11 m,b/d 的值很大,因此本船强度要求的船横剖面模数及刚度要求的船横剖面惯性矩如要满足规范,那么全船就必须有足够多的纵向构件。船艏部分,船体轮廓线收的比较厉害,延船长方向的宽度变化很快,在这里纵向构件的连续性就难以保证,而横骨架式恰恰能够给予其横向构件的连续性。

(4) 仅双层底舱全部进行压载,故发电机和主机都在船尾因此船尾机舱的重量较大,所以通常会发生尾倾,为了减少尾倾,船艏部需要使用双层底并且加大艏部双层底的高度。同时船首重量横骨架式略大于纵骨架式,提高了船艏重量,避免尾倾。

4 可靠性分析方法^[2]

结构系统安全裕度及失效衡准的生成,对杆元两端依次进行编号,这时刚域外侧的弹塑性杆元端(杆元编号为 t)的安全裕度

$$Z_t = R_t - C_t^T (X_t)_D \leq 0 \quad (1)$$

根据刚架结构系统失效的定义,只有当结构系统形成一定的塑性铰组合,使结构成为机构,系统才会失效。考虑刚域影响的杆元刚度方程:

$$(X_t)_D - (X_t^{(p)})_D = (k_t^{(p)})_D (\delta_t)_D \quad (2)$$

在对所有杆元都计算了修正刚度矩阵以及等效节点力之后,便可组成新的整体刚度矩阵:

$$K_D^{(p)} = \sum_{i=1}^n T_i^T (k_i^{(p)})_D T_i \quad (3)$$

于是考虑了刚域影响的总体刚度方程为:

$$K_D^{(p)} d_D = L + R_D^{(p)} \quad (4)$$

式中: L 为非载荷向量; $R_D^{(p)}$ 为对应于总体坐标系的等效节点向量。

$$R_D^{(p)} = -\sum_{i=1}^n T_i^T (X_i^{(p)})_D \quad (5)$$

由(3)可得对应于总体坐标系的总体位移向量;

$$d_D = K_D^{(p)-1} (L + R_D^{(p)}) \quad (6)$$

由式(6)可得杆元 i 对应于总体坐标系的节点位移向量

$$(d_i)_D = (K_i^{(p)-1})_D (L + R_D^{(p)}) \quad (7)$$

式中: $(K_i^{(p)-1})_D$ 是由矩阵 $(d_i)_D$ 中抽出的对应于向量各行组成的矩阵。

若 $(\delta_i)_D$ 与 $(d_i)_D$ 的关系通过坐标转换矩阵 T_i 表示成 $(\delta_i)_D = T_i (d_i)_D$,且把式(7)代入式(2),则杆元 t 的节点力向量为:

$$(X_t)_D = (b_t^{(p)})_D (L + R_D^{(p)}) + (X_t^{(p)})_D \quad (8)$$

$$\text{式中 } (b_t^{(p)})_D = (k_t^{(p)})_D T_i (K_i^{(p)-1})_D \quad (9)$$

当杆元端 r_1, r_2, \dots, r_{p-1} 失效后,没有失效的残存杆元端 i (杆元编号为 t) 的安全裕度方程为:

$$Z_t^{(p)}(r_1, r_2, \dots, r_{p-1}) = R_t + C_t^T (b_t^{(p)})_D \sum_{k=1}^n T_k^T (X_k^{(p)})_D - (X_t^{(p)})_D - C_t^T (b_t^{(p)})_D L = \quad (10)$$

$$R_t + \sum_{k=1}^{k-1} \alpha_{ik}^{(p)} R_{rk} - \sum_{j=1}^{mj} b_{ij}^{(p)} L_j$$

式中: $\alpha_{ik}^{(p)}$ 为残留强度影响系数; b_{ij} 为载荷影响系数; L_j 为外载荷。

关于引起结构系统失效的塑性破坏是否产生,分析方法为,当杆元端 r_1, r_2, \dots, r_{p-1} 已失效,修正总体刚度矩阵 $K_D^{(p)}$ 或节点位移向量 $d_D^{(p)}$ 满足下述条件,则认为产生塑性破坏:

$$\begin{aligned} |K_D^{(p)}| / |K_D^{(0)}| < \varepsilon_1 \\ \|d_D^{(0)}\| / \|d_D^{(p)}\| < \varepsilon_2 \end{aligned} \quad (11)$$

式中: $\|\cdot\|$ 为欧几里德范数; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 为判断破坏的常数。

关于系统的失效概率,可采用 Ditlevsen 方法并辅以被舍弃路径对上界的贡献量进行计算。

根据以上方法,由此计算本船的横框架结构系统的可靠性指标为 5.37,满足无限海域的可靠度要求。因此本船具有较高的可靠度。

5 算例

设计船空载到港状态:如图 1~图 3 所示。(典型)

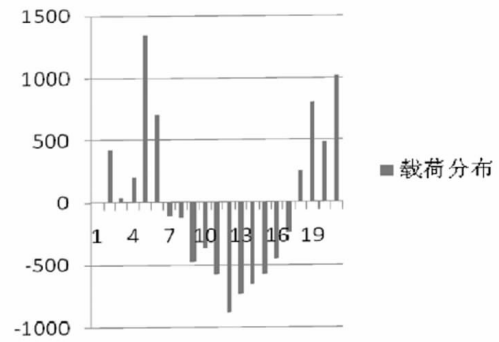


图 1 载荷分布

由于设计船型较为特殊,通常会出现 $\frac{L}{B} < 5, \frac{B}{d} > 2.5$ 的情况,属于规范所规定的直接计算范畴。在设计船型中发现其中弯曲应力 $\sigma < [\sigma] = 175/K$,符合规范要求。

但 $\tau \gg [\tau] = 110/K$,剪切应力力分布不符合要求。

根据文献[2]方法,由此计算本船的横框架结构系统的可靠指标为 5.37.船舶总纵强度可靠指标为 5.49。

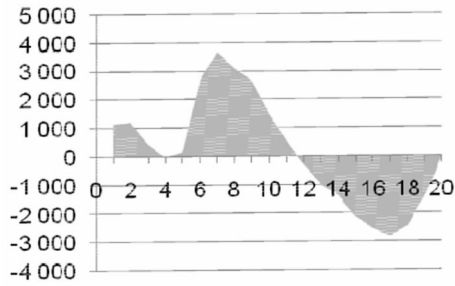


图2 剪力值

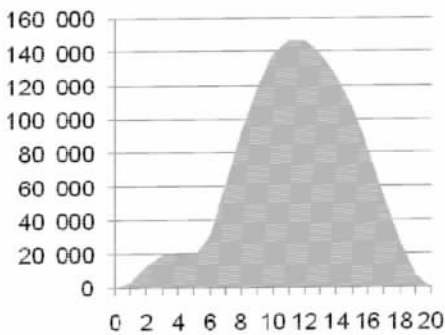


图3 弯矩值

6 结论

本设计船型的横向强度可靠性指标满足要求。在总纵强度的校核中发现沿船长方向局部的剪切力过大,修改方案通常为重新对压载水舱进行压载。在保证全船略微尾倾,船艏的球鼻艏不冒出水面的前提下,将个别压载较集中的边压载水舱、压载水舱中的水荷载调动到船尾部水舱一部分、船艏部水舱一部分以便减少某一位置上重量分布的突变,减小全船的最大剪切应力。同时,调整纵向构件的尺寸,在满足最小剖面模数和最小惯性矩的前提下,减小静矩。

通过对问题的进一步分析,发现解决局部剪切应力过大的根本方法是对于艏部和尾部的型线进行进一步的修改。因为实船比母型船宽很多,为了保证航速,艏部型线收的很厉害。虽然这减少了船艏部的阻力,但也减少了船艏部的浸水面积,影响到了浮力的均匀分布。同时对首尾吃水高度进行重新计算,提高准确度。

参考文献:

- [1] 吴仁元. 船舶结构[M].北京:国防工业出版社,1986.
- [2] 余建星. 船舶与海洋结构物可靠性原理[M].天津:天津大学出版社,2001.
- [3] 船舶结构理论与计算[M].北京:国防工业出版社,1986.
- [4] 陈雪深. 船舶原理与结构[M].上海:上海交通大学出版社,1996.
- [5] 杨代胜. 船体强度与结构设计[M].北京:国防工业出版社,1981.
- [6] 茆文玉. 船舶制图(修订本)[M].北京:国防工业出版社,1986.
- [7] 曾广武. 船舶结构强度计算与优化设计[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [8] 郑学祥. 船舶及海洋工程结构的断裂与疲劳分析[M].北京:海洋出版社,1988.

Study on Structure and Reliability of Ocean Platform Component Carrier

YU Yang, ZENG Xiao-hui

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: According to the needs of our ocean gas and oil exploitation, a new deck and hold supply carrier is researched, which is suitable for transiting heavy structural member and platform chunking. The longitudinal strength and transversal strength is analyzed mainly. The structural form to satisfy any maritime space and the reliability are studied at last.

Key words: deck and hold supply carrier; reliability; structural design; longitudinal strength