

文章编号:1001-4500(2006)06-0024-04

基于遗传算法的超深水半潜式平台优化

陈新权,谭家华

(上海交通大学,上海 200030)

摘 要:综合了平台设计中需要注意的问题,建立了超深水半潜式平台的数学模型,并用遗传算法进行优化,得到的结果表明模型和算法可行,能得到全局最优解,适用于半潜式平台的优化设计。

关键词:深水;半潜式平台;优化;遗传算法

中图分类号:P752

文献标识码:A

1 引言

海洋油气资源的开发是海洋资源开发的重要组成部分。全球海洋的平均水深为 3730m,海洋面积的 90%以上水深在 200~6000m 之间,74%以上的水深在 3000~6000m^[1,2]。而目前已探明的海洋石油储量 80%以上在水深 500m 以内,广大的深海海域还有待勘探。随着陆上及近海常规水深的开发已趋饱和,海底油气的开采向深水域(水深 450~1500m)和超深水域(水深 1500m 以上)发展,作为钻采生产系统的深海平台亦成为研究的热点。

随着水深的增加,传统的导管架和重力式等平台由于自重和成本的大幅度增大而不适合深水开发。近几十年来,由于墨西哥湾、巴西、西非、北海等深水油气的不断开发,涌现出多种适于深海油气钻采生产的平台形式:半潜式平台(Semisubmersible)、张力腿平台(TLP)、单柱式平台(SPAR)等。

和 SPAR 与 TLP 相比,半潜式平台具有相对总投资少^[3,4],更大的甲板空间和甲板可变载荷,以及具有多种工作功能,无需海上安装,波浪中的运动性能好,全球全天候的工作能力和自存能力等优点,更能适应水深超过 3000m 的深海作业。半潜式平台出现以来,经过几十年的实践和发展,在设计建造、安全作业、海上定位、维护改造方面积累了丰富的经验,随着油气开发向深海进军,水下技术的进步,更适合超深水作业的湿采油树的成熟应用^[5],半潜式平台进入了新的发展期。根据最新统计,包括正在建造的 22 艘新一代半潜式平台,目前已有半潜式平台 187 艘,工作水深超过 3048m 的有 18 艘,最大作业水深达到 3657m,钻井深度达到 15240m^[6]。

半潜式平台的船体建造和舾装成本在总成本中占了近一半,除了工作需要的特殊设备外,船体钢材是成本中比重较大的一部分。在满足工作要求的条件下,船体钢材的减少对减少成本和增加平台的可变载荷具有重大意义。本文以船体钢材重量为目标,考虑平台的排水量、可变载荷、稳性和垂荡周期等要求,采用遗传算法,对一深海半潜式平台的主尺度进行初步优化设计。

2 平台结构

半潜式平台由立柱提供作业所需的稳性,因此又称为柱稳式平台,自 1962 年出现以来,半潜式平台的结构形式历经了多次演变,外形趋向简单,最终发展成现今的下浮体-立柱-上甲板结构。

巨大的下浮体提供迁航和作业时所需的浮力,一般有双下体和环形下体两种形式,内设舱室,可装载油水、压载水、系泊等设备。

收稿日期:2006-05-08

作者简介:陈新权(1980~),男,博士生。

基金项目:2005 年上海市引进技术的吸收与创新计划项目(05CJBT-32),深海油气勘探和开发装备关键技术研究。

立柱连接下浮体和上部甲板,工作时,下浮体和部分立柱沉入水下,大大减小了水线面积及波浪作用在船体上的载荷,其较大的水线面惯性矩提供了平台工作时所需的稳性。为考虑破舱稳性和经济性,立柱的数目一般为4个或6个,内设舱室,可装压载水和工作设备。截面一般为圆形或矩形,近来新造的半潜式平台多采用方形截面,使得建造更加简便,排水和舱容增大。立柱的布置应尽量使平台具有相近的横稳性高和纵稳性高^[7]。

上甲板是设备存放、人员居住工作的主要场所,主要的钻井器材和材料都堆放在甲板上,甲板中间开有月池,方便平台钻井采油。上甲板有框架型和箱型两种形式。框架型甲板由承载甲板及其余甲板组成,箱型甲板则包括具有双层底的下甲板结构、一层或多层中间甲板和一层主甲板。

很多平台在立柱间设直径1~2m的横向桁撑以保证船体产生类似的“中拱”和“中垂”现象时甲板的结构安全^[8]。

本文研究的对象为适应超深水作业的两浮体四立柱型半潜式平台(见图1)。平台型长约100~120m,型宽70~80m,型深35~45m。工作水深3000m,钻井深度9000m,钻井作业时排水量约50000t,吃水约24m。钻井时的可变载荷要求为10000t,其中甲板可变载荷为7000t。

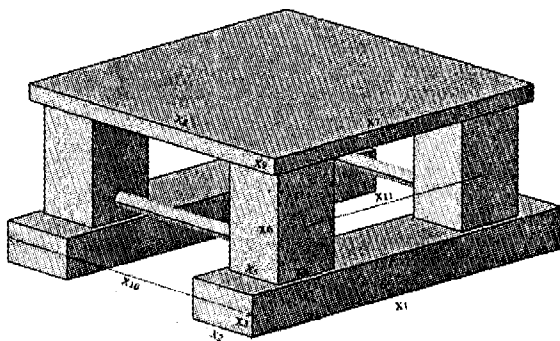


图1 半潜式平台

3 主尺度优化

3.1 数学模型

半潜式平台的主尺度优化包含设计变量、约束条件和目标函数。在这里,考虑平台的建造成本,取平台的钢材重量最小化为目标函数,它与各部分的尺寸密切相关。P. W. Penny 和 R. M. Riiser^[9]于上个世纪80年代进行了一系列工作,搜集了常见半潜式平台的数据,通过统计,得到常见形式的浮体、立柱、甲板和桁撑重量与其尺寸关系的经验公式,从而得到平台的钢材重量。各类半潜式平台的主要差别在于工作要求的不同而使得配备的设备差别很大,而随着向深水发展,平台尺寸增大,这些经验公式在平台初步设计估算钢材重量时仍然适用。本文采用这些经验公式计算平台的钢材重量作为优化的目标。

取平台各部分的尺寸(见图1)和平台作业吃水作为设计变量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_j)$, 根据设计要求和现有的两浮体四立柱的超深水半潜式平台的资料,对设计变量的各分量进行限制。

在初步设计阶段,应对平台的主要性能进行评估,以保证平台能够安全作业。本文主要考虑排水量($Disp$)、初稳性高(GM)、固有垂荡周期(T_z)和气隙($Airgap$)。

平台应具有足够的排水量,以保证平台能够漂浮在海面上作业,并使得平台具有正常工作所需要的可变载荷。根据设计要求,取作业时的排水量 $Disp \geq 50000$ 。

在移动式平台出现以后,各研究机构和船级社对其稳性进行了一系列研究,由于半潜式平台柱稳式的特点,有些机构对其初稳性高不做限制或仅要求大于0即可,但是DNV基于对二阶波浪力矩引起的定常倾侧的重视,同时考虑到 GM 大些有利于方便操作,规定各种状态下的 $GM \geq 1.0$ 。根据资料,现有平台的 GM 一般都大于2.0m,因此本文取工作时的 $GM > 2.0m$,并使平台具有相近的横稳心和纵稳心高,以保证平台在各种方向的环境载荷作用下平稳工作。

由于现今的深海半潜式平台都配备动力定位,另外,横摇和纵摇的固有周期明显大于遇到的波浪周期,因此为了保证平台能获得较好的运动性能,应使得垂荡固有周期落在波能谱的低频区域,本文取固有垂荡周期 $T_z \geq 19$ 。

同时应考虑气隙的要求以避免平台工作时波浪对甲板结构的冲击,考虑到平台要在恶劣的海况下工作和自存,本文取 $Airgap \geq 13$ 。

综上,平台的优化模型如下:

$$\begin{aligned} \min Wh &= \sum_i f(x_i) \\ \text{s. t. } Disp &\geq 50000 \\ GM &\geq 2 \\ T_z &\geq 19 \\ Airgap &\geq 13 \end{aligned}$$

3.2 遗传算法

遗传算法(GA)是模拟自然界生物进化过程与机制求解极值问题的一类自组织、自适应的人工智能技术,通过全面模拟自然选择和遗传机制,形成了一种具有“生成+检验”特征的搜索算法。遗传算法把问题的参数集表示成个体(即染色体),以编码空间代替原问题的参数空间。并以此为进化基础,采用一定的遗传策略,对个体的编码位串进行操作,即以适应度函数为评价指标,通过选择、交叉、变异操作,不断随机重组编码位串中重要的基因,使新一代的位串集合优于老一代的位串集合,从而使群体的个体不断进化,逐渐接近最优解。在迭代过程中,遗传算法提供了一种在复杂解空间上进行有向随机搜索的方法,并具有运算并行性,可以同时评价搜索空间内的多个点,具有很强的全局优化搜索能力。

运用遗传算法解决优化问题的步骤如下:

(1) 选择编码策略。把原问题的参数集合转换为位串空间,用基因代表优化问题的设计变量,选择不同的编码方式可以产生不同的个体;

(2) 产生初始种群。确定种群规模,一般取种群规模 N 为偶数,然后用随机的方法产生初始群体;

(3) 定义适应度值函数(它通常是优化算法的目标函数),以对个体进行评价;

(4) 选择:根据适应度值函数,按照个体入选种群的概率 $p(x_i) = f(x_i) / \sum_j f(x_j)$ (其中 $f(x_i)$ 是对象函数值, $\sum_j f(x_j)$ 是群体里所有函数值的和),采用轮盘赌方法决定哪个个体被复制;

(5) 交叉:模仿生物学中杂交的方法,随机选择要交配的个体对,根据位串长度随机选取交叉位置,按照交叉概率 P_c ,使个体对在交叉位置处相互交换各自的部分内容,从而形成新个体。交叉概率 P_c 一般取为 0.40~0.99;

(6) 变异:模拟自然界生物进化过程中染色体上某位基因的突变现象,按变异概率 P_m 对个体的某位基因进行翻转,即由 1 变为 0 或 0 变为 1,以避免进化过程中有效基因的缺失,从而保持种群多样性,防止早熟收敛。变异概率 P_m 一般取 0.0001~0.1;

(7) 迭代:对生成的子代群体进行评价,并重复上述步骤直到得出满意的解或完成了预先设置的迭代数。

3.3 计算结果

图 2 给出了目标函数值的变化和收敛的过程。计算的收敛速度和变量初值及算法参数的选择有关,经过一定次数的迭代,能够得到全局最优值。最终的计算结果见表 1 与表 2。

表 1 尺寸优化结果

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
100.0	17.70	11.06	16.52	15.00	25.95	73.58	71.91	8.00	74.60

表 2 计算结果

作业吃水 (m)	排水量 (t)	初稳性高 (m)	气隙 (m)	垂荡固有周期 (s)	船体钢料重量 (t)
24.0	53244	4.39	13.0	19.41	11557.5

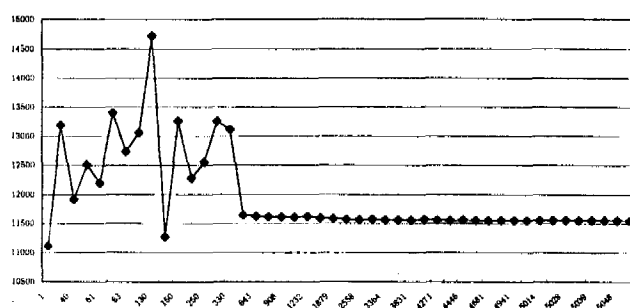


图 2 计算迭代过程

在设计中,立柱的纵向距离主要受垂荡固有周期约束及横纵稳性相近约束。设立柱中心距浮体首尾的距离为 l ,立柱长度为 cl (即变量 x_4),则在其他条件不变的情况下,目标值与 l/cl 之间有如图 3 所示关系。可见在纵向,立柱之间距离越小,优化后所得的目标值越小。约束条件不同, l/cl 有不同的上限值。但在设计中不能不加考虑就取 l/cl 的上限值以取得更小的船体钢材重量,应根据已有资料综合考虑甲板面积、排水量以及可变载荷的需要加以约束。

4 结论

概述了半潜式平台设计中需要注意的一些问题,建立了适于 3000m 作业水深的半潜式平台主尺度的数学模型,并用遗传算法对其进行优化,成功地得到了半潜式平台各组成部分的尺寸。该算法具有全局搜索能力强,不易陷入局部最优的特点,在计算过程中,可根据计算情况对算法参数进行调整,加快收敛速度。计算结果显示了算法的有效性和可靠性,适于半潜式平台的形式优化问题,可用于平台的初步设计。

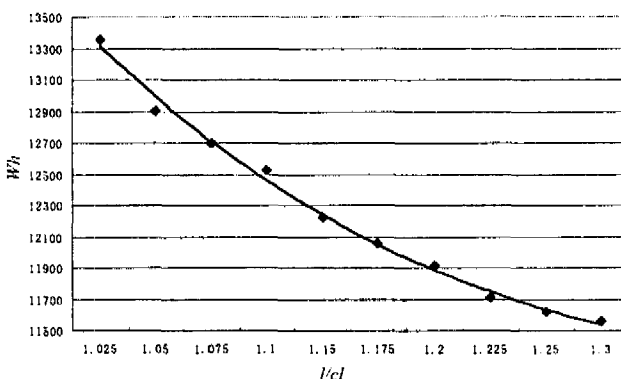


图 3 $Wh \sim l/cl$

参考文献

- [1] 鲍莹斌,李润培,顾永宁,张力腿平台研究领域和发展趋势[J]. 海洋工程, 1998, 16.
- [2] 廖漠圣. 国外超深水钻采平台的发展给我们的启迪[J]. 中国海洋平台, 2003, 18(5).
- [3] 比尔·索斯特,近海深水油气生产平台技术[M]. 2005.
- [4] Grecco M G., Corp U. Deepwater Development Economics[A]. Offshore Technology Conference[C], 1987.
- [5] Ronalds B F. Deepwater Facility Selection[A]. Offshore Technology Conference[C], 2002.
- [6] www.rigzone.com.
- [7] Haslum K. Design the Trosvik Bingo 3000, The Naval Architect, March 1981.
- [8] Brown D T, Patel M H, Kitney N, Ketting H. Wave Induced Motions and Deck Loads Of Unbraced SEMI—SUBMERSIBLES[A]. Transactions of Royal Institution of Naval Architects[C], 2004.
- [9] Penney P W, Riiser R M. Preliminary Design of Semi—Submersibles, North East Coast Institute of Engineers & Shipbuilders, pp. 49—69, October 1984.
- [10] 马志良,罗德涛. 近海移动式平台[M]. 北京:海洋出版社,1993.
- [11] 玄光男,程润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [12] 李敏强,寇纪淞,林丹,李书全. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2003.

PRINCIPAL DIMENSIONS OPTIMIZATION OF SEMISUBMERSIBLE FOR ULTRA—DEEPWATER BASED ON GENETIC ALGORITHM

CHEN Xinquan, TAN Jiahua

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030 China)

Abstract: In this paper, a mathematic model of semisubmersible for ultra deepwater is proposed and optimized on the basis of generic algorithm. The result shows that the model and algorithm are reliable for optimization of semisubmersible during design.

Key words: ultra deepwater, semisubmersible, optimization, genetic algorithm