

文章编号:1001-150X(2001)06-0007-05

基于稳定的导管架海洋平台的多目标优化设计

王兴国^{1,2}, 周晶¹, 康海贵¹, 王立诚¹

(1. 大连理工大学, 大连 116024; 2. 河北理工学院, 唐山 063009)

摘要:把导管架海洋平台看作钢框架结构, 并把多目标优化设计方法用于结构的设计中。以结构的总重量和结构构件的长细比为优化目标, 以导管的平均直径和壁厚作为设计变量, 考虑强度、刚度和稳定等约束条件, 并以胜利油田埕北-11单井采油平台为例进行了计算, 计算结果表明此方法对海洋平台的设计具有一定的参考意义。

关键词:导管架平台; 多目标优化; 钢框架

中图分类号: P772

文献标识码: A

1 引言

桩基导管架式海洋平台是目前海上石油生产普遍采用的结构型式, 其结构系统主要有三部分组成: 上部甲板、导管架和桩基。由于上部甲板刚性很大, 因此, 优化设计时只考虑导管架和桩基。这样, 将其视为钢框架结构, 研究结构在环境荷载作用下的优化问题。在结构的优化设计中, 人们追求的目标往往是多样的, 希望设计的结构既具有良好的性能又有较低的造价。但是, 一般情况下, 各优化目标之间往往是相互矛盾的, 不存在使所有目标都达到最优的绝对最优解, 只能求得满意解集。目前求解多目标问题的方法有很多, 如, 化为单目标问题、分层序列法、引入多目标次序、直接求多目标满意解等。

结构构件除需满足强度和刚度条件外, 还应满足整体和局部稳定要求, 因为构件失稳常常发生在尚未达到屈服强度之前, 而破坏是突然的, 容易造成事故。所以对于构件的稳定问题, 应予以足够的重视。

本文以衡量结构稳定性能的结构构件长细比和衡量结构造价的结构总重量为优化目标, 利用多目标优化方法对导管架海洋平台结构进行了优化设计。

2 基于稳定的导管架海洋平台结构多目标优化的数学模型

导管架海洋平台结构基于稳定的优化设计模型为

$$\text{find } D, t$$

$$\min W(D, t), \lambda(D, t),$$

$$\text{s.t. } \sigma_{\max} - [\sigma] \leq 0 \quad (1)$$

$$\tau_{\max} - [\tau] \leq 0 \quad (2)$$

$$\sigma_{\max} - [\sigma_c] \leq 0 \quad (3)$$

$$u_{\max} - \bar{u} \leq 0 \quad (4)$$

$$P_{\max} - [Q_d] \leq 0 \quad (5)$$

收稿日期: 2001-07-24

作者简介: 王兴国(1966-), 男, 在读博士, 副教授。

基金项目: 国家自然科学基金重大项目资助(59895410)。

$$S_{\max} - [Q_k] \leq 0 \quad (6)$$

$$\frac{D}{t} \leq D_i \leq \bar{D}_i \quad (7)$$

$$\frac{t}{t_i} \leq t_i \leq \bar{t}_i \quad (8)$$

2.1 设计变量

D 为构件的平均直径; t 为构件的壁厚度。

2.2 目标函数

模型中的 $\lambda(D, t)$ 和 $W(D, t)$ 分别为结构的构件长细比和总重量。本文将多目标优化问题化为单目标优化问题求解, 取两个目标函数的某种加权线性组合形式作为优化问题的单目标, 这样, 目标函数可以表示为

$$F(D, t) = \alpha \left(\frac{\lambda(D, t)}{\lambda_0} \right) + \beta \left(\frac{W(D, t)}{W_0} \right) \quad (9)$$

$$(\alpha, \beta \geq 0, \alpha + \beta = 1)$$

式中, λ_0 和 W_0 分别为构件长细比和重量的初始值; α, β 为加权系数, 可适当选取, 当 $\alpha = 0, \beta = 1$ 时, 或 $\alpha = 1, \beta = 0$ 时, 多目标优化问题退化为单目标优化问题。

结构的构件长细比计算可根据《海上固定平台入级与建造规范》(1992)确定:

$$\lambda(D, t) = KL/r \quad (10)$$

式中, K, L, r 分别为计算长度系数、构件长度和构件的回转半径。 K 按规范中的规定选取, r 为圆管时取 $0.35 D$ 。

结构重量的计算表达式为

$$W(D, t) = \sum_{i=1}^I \left(\sum_{m \in i} \pi g \rho_i D_i t_i l_{im} \right) \quad (11)$$

式中, I 为构件的组数; ρ_i 为 i 组构件密度; D_i 和 t_i 分别为 i 组构件的平均直径和壁厚; l_{im} 为 i 组构件中 m 号构件的长度。

2.3 约束条件

模型中(1)式和(2)式为强度约束, $\sigma_{i, \max}$ 为 i 组构件的最大正应力, $\tau_{i, \max}$ 为 i 组构件的最大剪应力; $[\sigma]$ 和 $[\tau]$ 分别为容许正应力和容许剪应力。

模型中(3)式为稳定约束, $\sigma_{i, \max}$ 为 i 组构件中受压构件的最大轴向稳定应力; $[\sigma_c]$ 为 i 组构件容许轴向稳定应力。

模型中(4)式为刚度约束, $u_{i, \max}$ 为导管架顶部节点侧位移最大值, \bar{u} 为节点顶部容许侧位移。

模型中(5)式 $P_{i, \max}$ 为受压桩中所有工况下桩顶轴向压力最大值, $[Q_c]$ 为桩基容许极限承载力。

模型中(6)式 $S_{i, \max}$ 为受拉桩中所有工况下桩顶最大轴向拉力, $[Q_u]$ 为桩基容许极限抗拔力。

模型中(7)、(8)式为几何约束 $\frac{D}{t}$ 、 $\frac{t}{t_i}$ 和 \bar{D}_i 、 \bar{t}_i 分别为设计变量的下限和上限。

3 算例

3.1 结构分析模型

以胜利油田埕北11井单井采油平台为例, 结构计算模型如图所示, 整个平台由四根桩支撑, 桩入土深度25m, 桩间距11m; 导管架简化成空间框架, 有36个节点, 60个梁单元, 导管与桩的组合按双壁管考虑; 桩基离散成梁单元, 有60个节点, 36个梁单元, 用弹簧元模拟桩-土横向作用, 每个节点上有两个水平弹簧支撑, 弹簧刚度确定方法: 首先由加权平均法确定地基弹性模量变化系数, 得到连续的弹簧刚度, 然后再把连续的弹簧刚度转化成等效节点弹簧刚度; 桩基底部轴向简支; 上部甲板用刚性膜模拟。

平台构件容许正应力 $[\sigma] = 192\text{MPa}$, 容许剪应力 $[\tau] = 128\text{MPa}$, 导管架顶部节点容许侧位移 $\bar{u} = 5\text{cm}$ 。平台构件分为四组: 桩、导管腿、弦管和斜撑, 截面设计变量 8 个。

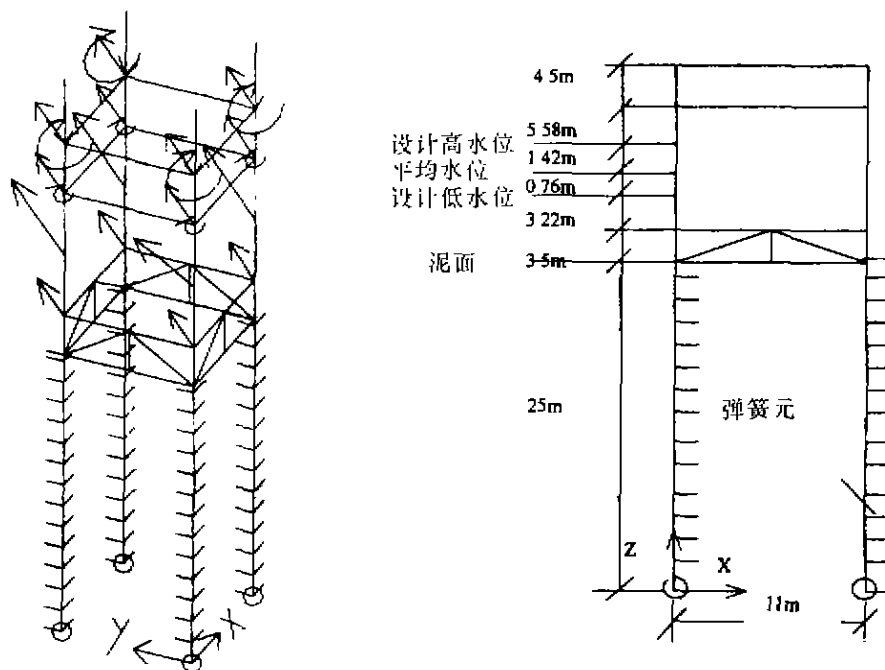


图 结构计算模型

3.2 优化结果及分析

结构分析采用 ANSYS 软件进行总体分析, 优化算法采用成熟的约束变尺度方法。计算时采用了不同的加权系数组合, 表 1 为设计变量的上、下限及原设计值, 表 2 和表 3 为部分优化结果。原设计重量为 $10.7 \times 10^5\text{N}$ 。

表 1 设计变量的上、下限值及原设计值

设计变量	D_1	D_2	D_3	D_4	t_1	t_2	t_3	t_4
上限 (m)	1.000	1.100	0.600	0.500	0.030	0.020	0.012	0.010
下限 (m)	0.800	0.900	0.350	0.250	0.015	0.015	0.007	0.007
原设计 (m)	0.800	1.030	0.529	0.426	0.020	0.015	0.007	0.007

表 2 最终目标函数值

加权系数 α	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0
加权系数 β	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
构件长细比 λ_1	71.13	71.13	71.43	71.43	71.43	71.43
λ_2	28.52	28.52	28.52	28.52	28.52	29.99
λ_3	26.18	26.18	26.18	26.18	26.18	41.89
λ_4	33.52	33.52	33.52	33.52	33.52	67.04
重量 ($\times 10^5\text{N}$)	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26	8.41

注: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 分别为桩、导管腿、弦管和斜撑的长细比。

表3 最终设计变量值

加权系数	设计变量 (m)							
	D_1	D_2	D_3	D_4	t_1	t_2	t_3	t_4
$\alpha = 1.0$ $\beta = 0.0$	1.000	1.100	0.600	0.500	0.016	0.015	0.007	0.007
$\alpha = 0.8$ $\beta = 0.2$	1.000	1.100	0.600	0.500	0.016	0.015	0.007	0.007
$\alpha = 0.6$ $\beta = 0.4$	1.000	1.100	0.600	0.500	0.016	0.015	0.007	0.007
$\alpha = 0.4$ $\beta = 0.6$	1.000	1.100	0.600	0.500	0.016	0.015	0.007	0.007
$\alpha = 0.2$ $\beta = 0.8$	1.000	1.100	0.600	0.500	0.016	0.015	0.007	0.007
$\alpha = 0.0$ $\beta = 1.0$	1.000	1.016	0.350	0.250	0.016	0.015	0.007	0.007

从表2可以看出,对加权系数 $\alpha = 1.0, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, \beta = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ 的情况,构件长细比的目标值及重量的目标值都是一样的,重量比原设计值减少了13.46%。对 $\alpha = 0.0, \beta = 1.0$ 的情况,重量比原设计值减少了21.1%,可见,优化是必要的,从表2也可以看出,考虑稳定目标的优化设计,目标函数值对加权系数的变化并不敏感。另外,对于加权系数 α 不为零的情况,桩、腿、弦管及斜撑的平均直径都向上限逼近,壁厚都取下限;而 $\alpha = 0, \beta = 1$ 时,即仅仅考虑重量为目标函数时,桩和腿平均直径向上限逼近,弦管和斜撑的平均直径和壁厚都趋于下限,从安全稳定的角度考虑,在进行设计时,这一点应引起工程设计者的注意。

4 结语

本文所建考虑稳定问题的平台多目标优化设计模型,结合结构分析和优化算法软件对海洋平台进行优化设计,能达到工程实际应用的目的,使平台设计更安全、更经济。对海洋平台的设计具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 余俊、周济. 优化方法程序库 OPB-1-原理及使用说明[M]. 机械工业出版社, 1989.
- [2] 中国船级社. 海上固定平台入级与建造规范[S]. 人民交通出版社, 1992.
- [3] 陆文发, 李林普, 高明道. 近海导管架平台[M]. 海洋出版社, 1992.
- [4] 郭军, 肖熙, 朱静. 海洋工程结构的多目标模糊优化设计[J]. 海洋工程, 1991, 12(4).
- [5] 宋玉普, 封盛, 康海贵. 考虑结构-桩-土相互作用的导管架平台优化设计[J]. 海洋工程, 2000, 5(2).
- [6] Farkas J. Optimum design of circular hollow section beam-columns[J]. ISOPE, 1992, 4: 491-499.
- [7] ASOK. The optimum design of a stepped pipe for mining manganese modules with consideration for reducing its maximum axial stress[J]. ISOPE, 1996, 1: 29-36.

Multi-objective Optimization Design for Jacket Platform Based on Stability

WANG Xing—guo, ZHOU Jing, KANG Hai—gui, WANG Li—cheng

(Dalian University of Technology, Dalian, 116024, China)

Abstract: A multi-objective design is proposed by assuming the jacket platform as a steel frame structure. The total weight of the structure and the slenderness ratio of the structural element are selected to be optimal objective. The average diameter and wall thickness are taken as variables in the design. Constraint conditions such as strength, stiffness, stability have been taken into account. Taking Chengbei #11 Offshore Platform as an example, the calculation results show that this proposed method is rather satisfied.

Key words: jacket platform; multi-objective optimization; steel frame

✓ 计量仪检测管线的结垢情况 ①

积垢不仅会堵塞孔眼,还会缩小油管的直径,甚至降低切断阀的工作性能,在无人值守的卫星平台、深水管线等流量问题无法保障的地方这种现象尤为突出。

由于化学阻垢剂的费用昂贵,经营商总是尽可能地推迟投加阻垢剂的时间,直到万不得已方才使用阻垢剂,有时这样做会延误时机,造成较大的损失。

据斯伦贝谢公司的 Bertrand Thuveny 先生称,即使原油的含水量很低,甚至低至1%到2%也会结垢,而在北海油田,生产能力为 $4.77 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高温、高压油井则可能在24小时内完全被所积的垢堵死,以至停产。为解决这一问题,斯伦贝谢和挪威 Framo 工程公司研究开发出一项新技术。该技术采用一种双能量光谱伽马射线工具和一种文丘里流量计检测和监控积垢情况。早期发现积垢现象有助于经营商在恰当的时间注入阻垢剂,并确定阻垢剂的最佳投加量,以节约药剂的使用费用。

据称,该系统不仅可以检测到薄至0.2m的垢层,甚至还可以断定结垢的类型,确定结垢的速度,帮助经营商评估化学阻垢剂的阻垢效率,达到节约费用,避免停产的目的。

(高卫东译自《Hart's E&P》2001年3月)