

近海多功能混凝土平台选型与优化

衣 伟 宋玉普 张燕坤

(大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室, 大连 116023)

摘 要 提出了一种适合近海边际油田开发的多功能混凝土平台型式, 并对其进行了优化设计. 分析了各约束对平台造价的影响, 确定了平台的应用范围. 优化分析中采用了约束单调性分析、初始点自动给定等方法, 加快了优化的迭代收敛速度, 并对初稳性高度 GM 值采用了模糊优化方法, 考虑了影响 GM 值的主观因素.

关键词 混凝土平台 边际油田 型式选择 结构优化 单调性分析 模糊优化

1 引言

我国近海地区有着丰富的油气资源, 正在进行勘探开发, 如何加快近海勘探开发速度, 降低近海勘探开发成本, 是近海各油田共同面临的问题.

迄今我国近海勘探开发主要依靠钢制平台, 对它的设计、建造、施工和使用经验比较成熟, 它也有许多优点, 但由于其耗钢量大、造价高、维修困难, 且很难做到钻、采、储、运多种作业, 故需寻找新的结构型式. 混凝土平台以其众多的优点在国外发展很快, 它节约钢材、造价低、无需海上打桩作业. 混凝土具有良好的抗疲劳、抗冲击、抗海水腐蚀能力、耐久性好、易于维修, 可以设计成多用途平台, 特别是可以在水下储油, 比较安全, 这些优点比较适合我国国情.

我国近海油田多为边际油田, 储油构造块小、分散, 若采用常规开发技术, 不具备商业开发价值, 因此要求平台可重复使用, 使一个平台的投资由几个油田分担. 我国沿海缺少像北海沿岸的挪威等国家拥有的深水港湾和航道, 不宜完全照搬国外的重力式混凝土平台型式, 因此必须采用新的结构型式来适应近海地区边际油田开采的需要.

根据渤海地区环境及地质条件, 针对渤海油田, 选择了适合近海边际油田开发的混凝土平台型式. 对平台进行了优化计算, 分析了各约束对平台造价的影响, 确定了平台的应用范围.

2 平台选型

国外已建成的混凝土平台一般具有钻、采、储三种功能, 甲板上部设施中钻井设备占了相

本文于 1997-08-12 收到, 修改稿于 1997-11-10 收到.

* 国家自然科学基金资助重大项目(编号: 59895410).

第一作者简介: 衣 伟, 男, 28 岁, 博士, 从事钢筋混凝土结构设计理论研究.

当大的比重,钻井与采油一般不在同一阶段进行,采油期间钻井功能闲置.渤海石油公司拥有几条自升式钻井船,可以满足渤海油田开发的需要,而且目前许多边际油田已有了预钻井口,因此为了简化平台上部设施,混凝土平台仅具有采、储和重复使用功能.

混凝土平台的型式应根据渤海油田的环境及地质条件来选择.首先渤海地区没有像挪威那样的深水航道,平台吃水不宜过大;渤海边际油田储量小、开采期短,要求平台可重复使用,因而初步选定平台下部为混凝土沉箱用于储油,上部为钢质腿柱,这不仅充分发挥了材料的特性,同时满足了吃水、初稳性、起浮及适应不同水深的要求.此外渤海海底表面为承载力极低的淤泥,海域冰情严重,且处于地震区,平台在巨大的水平荷载作用下,地基承载力很难满足要求.在软基上建造重力式混凝土平台有三种途径:前两种是设法降低基底压力,如采用大底面积的沉箱或采用分离式基础,另一种是将罐体下卧到承载力较高的土层上.最后选定的平台型式如图1.由于油田日产量小、储罐不大,沉箱基础底面积不宜太大,因此采用后两种方法:采用三腿分离式基础,罐体之间采用桁架连接,并将罐体下卧到表层淤泥下较好的土层上.罐体下卧借鉴了沉井工程及海-5平台实际应用的经验,采用了改进的射水吸排泥方法.底板为与水平面成 30° 锥面,用可伸缩移动的射水吸泥管将罐体下的淤泥打成泥浆并吸走,并配合罐外壁直管射水管射水来减小侧壁摩阻力,使平台下卧,下卧后向罐底灌砂,由于砂的自然安息角是 30° ,与罐底板角度相同,因此砂可自动充满罐底,再用射水管充当振捣棒捣固.平台起浮过程与下卧过程相反,先用直管射水管沿罐外壁射水至裙板端部以消除侧壁摩阻力,再吸出罐底所填之砂,然后逐渐排出油罐内的压载水,使之产生浮力,同时向吸泥孔口灌水增加底板下的扬压力,使平台缓缓上升.

3 平台优化

3.1 优化数学模型

平台优化是一个复杂的约束非线性优化问题,其一般形式为

$$\left. \begin{array}{l} \text{求最小值: } f(X) \\ \text{约束条件: } \left. \begin{array}{l} g_j(X) \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \\ x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max} \quad i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right\} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

式中, $f(X)$ 为优化目标函数; $g_j(X)$ 为优化约束条件; $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 为优化设计变量.

本文以平台造价为优化目标函数 $f(X)$.根据《沿海港口建设工程概算预算编制规定(1994)》,平台总造价包括工程费、工程建设其他费、预留费及建设期利息,其中后三项费用是以工程费为基础制定的,而工程费又包括建筑工程费、安装工程费、设备购置费.对同一种平台型式其安装工程费及上部设施费基本相同,主要是建筑工程费和海上施工时基础下卧吸排泥费不同,因此本文仅以建筑工程费和吸排泥费之和为目标函数.建筑工程费包括材料费和加工浇筑等施工费用.假定吸排泥费与吸排泥体积成正比.本文设定目标函数为

$$f(X) = \alpha_c V_c + \alpha_s W_s + \alpha_{sb} W_{sb} + \alpha_d V_d, \quad (2)$$

式中, V_c 为混凝土体积用量; W_s 和 W_{sb} 分别为所用钢材和钢筋重量; V_d 为吸排泥体积; α_c 、 α_s 和 α_{sb} 分别为混凝土、钢材、钢筋的单价(包括加工浇筑等施工费); α_d 为海上施工时吸排单位

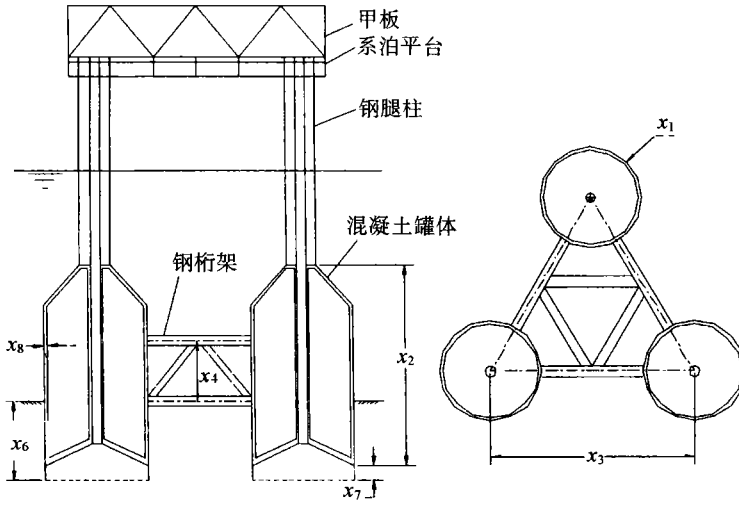


图 1 平台型式

体积淤泥所需费用。

选定的 8 个优化变量为罐体半径 x_1 、罐体高度 x_2 、罐体中心间距 x_3 、连接桁架高度 x_4 、连接桁架截面积 x_5 、下卧深度 x_6 、裙板高度 x_7 、罐体外壁厚 x_8 ，如图 1 所示。其他设计参数如罐体外壁配筋可根据静力分析和截面设计得出，截面配筋设计中配筋应满足最小配筋率及钢筋最大间距的要求。

海洋平台设计时要考虑的约束很多，本文考虑了其中

主要的 13 种约束条件：

- | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|------|
| (1) g_1 : 罐体净储量 | $V \geq [V]$, | (3) |
| (2) g_2 : 平台吃水深度 | $H_p \leq H_h - H_f + H_c$, | (4) |
| (3) g_3 : 拖航时初稳性高度 | $h_1 \geq GM_1$, | (5) |
| (4) g_4 : 下沉时初稳性高度 | $h_2 \geq GM_2$, | (6) |
| (5) g_5 : 基底剪切应力 | $\tau_{mob} \leq \tau_d$, | (7) |
| (6) g_6 : 平台设计倾覆力矩 | $K_0 M_q \leq M_w$, | (8) |
| (7) g_7 : 基底压力 | $\frac{r_f F_v}{A'} q_d$, | (9) |
| (8) g_8 : 桁架应力 | $r_f \sigma \leq \frac{f}{r_m}$, | (10) |
| (9) g_9 : 平台起浮时垂直荷载 | $r P_v \leq P_f$, | (11) |
| (10) g_{10} : 罐外壁配筋率 | $\rho \leq \rho_{max}$, | (12) |
| (11) g_{11} : 罐外壁钢筋间距 | $a \geq a_{min}$, | (13) |
| (12) g_{12} : 平台横向尺寸 | $L \leq L_{cw} - L_w$, | (14) |
| (13) g_{13} : 水下罐体距海面距离 | $z \geq z_{min}$, | (15) |

式中， $[V]$ 代表设计储油量； H_h 为航道水深； H_f 为安全预留深度； H_c 为拖航赶潮潮位； GM 为容许初稳性高度； τ_d 为抗滑剪切应力； M_w 为抗倾覆力矩； q_d 为地基允许承载力； A' 为有效基础面积； f 为钢强度； P_f 为平台起浮能力； ρ_{max} 为容许最大配筋率； a_{min} 为钢筋容许最小间距； L_{cw} 为船坞宽度； L_w 为建造时船坞内平台两侧施工所需宽度； z_{min} 为考虑潮差影响使储罐不露出水面的距离。

3.2 优化方法

对约束优化非线性规划子问题至今有三类基本算法：(1) 构造无约束极值子问题，如惩罚

函数法、增广拉格朗日乘子法(ALM法);(2)构造线性规划子问题,如序列线性规划法;(3)构造二次规划问题,如二次逼近算法(SQP法).第三类算法在构造二次规划子问题时,应用了目标函数及约束条件的二阶导数信息,这样就比其他两类基本算法运用的信息多,算法的收敛性质一般也好得多,被认为是目前最有效的非线性规划算法之一,因此本文采用 Biggs 型二次逼近算法^[1],并引入了起作用约束的单调性分析和初始点自动给定技术,对 Biggs 二次逼近算法进行了改进.

Biggs 型二次逼近算法是从等式约束问题惩罚函数 $P(X, r) = f(X) + h(X)^T h(X)/r$ 的极小点出发在迭代点 $x^{(k)}$ 构造如下二次规划子问题:

$$\left. \begin{aligned} \text{求最小值:} & \quad \nabla f(X^{(k)})^T d + \frac{1}{2} d^T [H^{(k)}] d \\ \text{约束条件:} & \quad h(X^{(k)}) + [A^{(k)}] d - \frac{r^{(k)}}{2} \lambda = 0 \end{aligned} \right\}, \quad (16)$$

式中, d 为搜索方向; $[H]$ 为拉格朗日函数 $L[X^{(k)}, \lambda^{(k)}] = f[X^{(k)}] - \lambda^{(k)T} h[X^{(k)}]$ 的 Hesse 矩阵的近似阵, h 为等式约束, λ 为拉格朗日乘子; r 为惩罚因子; $[A]$ 为等式约束的一阶偏导数矩阵. 此二次规划子问题具有如下解析解:

$$\lambda^{(k)} = \left\{ \frac{r^{(k)}}{2} [I] + [A^{(k)}] [H^{(k)}]^{-1} [A^{(k)}]^T \right\}^{-1} \times \{ h[X^{(k)}] - [A^{(k)}] [H^{(k)}]^{-1} \nabla f[X^{(k)}] \}, \quad (17)$$

$$d = - [H^{(k)}]^{-1} \{ [A^{(k)}]^T \lambda + \nabla f[X^{(k)}] \}, \quad (18)$$

此解析解满足惩罚函数序列最优解的一阶必要条件: $\nabla P[X^{(k)} + d, r^{(k)}] = 0$, 因此二次规划子问题序列所产生的一系列迭代点接近于惩罚函数子问题的极小化轨迹, 当 $r^{(k)}$ 趋向于某一正数时, 二次规划子问题趋向于原优化问题的约束极小点.

直接求解二次逼近算法中的 Hesse 矩阵十分困难, 目前最好的方法是运用 BFGS 拟牛顿公式构造矩阵 $[B^{(k)}]$, $[B^{(k)}]$ 近似于 $[H^{(k)}]^{-1}$, 在最优点, $[B^*]$ 趋近于 $[H^*]^{-1}$. 矩阵 $[B^{(k)}]$ 的更新的 BFGS 公式为

$$[B^{(k)}] = [B^{(k-1)}] + \left([I] + \frac{\gamma^T [B^{(k-1)}] \gamma}{\delta^T \gamma} \right) \frac{\delta \delta^T}{\delta^T \gamma} - \left(\frac{\delta \gamma^T [B^{(k-1)}] + [B^{(k-1)}] \gamma \delta^T}{\delta^T \gamma} \right), \quad (19)$$

式中, δ 是 $X^{(k)}$ 与上个迭代点 $X^{(k-1)}$ 之差; γ 是拉格朗日函数在 $X^{(k)}$ 与 $X^{(k-1)}$ 点的一阶导数向量之差. 为保证 $[B^{(k)}]$ 正定, 在本文优化迭代中仅当 $\delta^T \gamma > 0$ 时, 才应用 BFGS 公式对 $[B^{(k)}]$ 进行更新.

将数学规划算法应用到工程优化问题时需考虑实际工程问题的特点. 平台优化问题有如下特点:(1)目标函数本身并不复杂;(2)约束均为不等式约束;(3)由于环境条件恶劣,约束条件复杂而苛刻,设计变量可行域狭小;(4)在最优点处存在相当数量不起作用的约束条件;(5)优化解一般在某些约束边界处,即许多不等式约束条件在优化点起作用,可转化为等式约束,这些等式方程可决定相当数量的设计变量;(6)设计变量具有模数问题;(7)与大部分约束有关的波浪力及罐体应力分析的有限元计算十分耗时.

从上述特点可以看出,平台优化最主要的问题是约束问题,本文采用起作用约束集的策略^[2],即在一定迭代点 $X^{(k)}$,定义一组起作用约束集合 E^{m_1} ,将起作用不等式约束转化为等式约束,忽略其他不等式约束,将平台优化原问题转化为如下等式约束子问题:

$$\left. \begin{array}{l} \text{求最小值:} \quad \nabla f[X^{(k)}] \\ \text{约束条件:} \quad h[X^{(k)}] = 0 \quad h \in E^{m_1} \end{array} \right\}. \quad (20)$$

此子问题的约束条件数目远远小于原问题,且仅包含等式约束条件,可直接应用 Biggs 二次逼近算法进行优化.

起作用约束集首先应包括在 $X^{(k)}$ 迭代点违反了的约束条件,对剩下的约束条件可根据单调性分析来确定是否为起作用约束条件. 单调性分析步骤:由二次规划子问题求得搜索方向 d , 设 α 为沿 d 方向运动的步长, 则从 $X^{(k)}$ 出发的运动可表达为 $X^{(k+1)} = X^{(k)} + \alpha d$. 目标函数和约束函数 $X^{(k)}$ 点沿 d 方向的单调性可由其一阶导数确定:

$$\left(\frac{df}{d\alpha} \right)_{\alpha=0} = \{\nabla f[X^{(k)}]\}^T d, \quad (21)$$

$$\left(\frac{dg_j}{d\alpha} \right)_{\alpha=0} = \{\nabla g_j[X^{(k)}]\}^T d, \quad j = m_2, \dots, m. \quad (22)$$

找出全部与目标函数 $f[X^{(k)}]$ 具有相反局部单调性的约束条件 $g_j (j = 1, \dots, J)$. 计算上述约束条件在起作用时 α 的线性近似解:

$$\alpha_j = \frac{g_j[X^{(k)}]}{\{\nabla g_j[X^{(k)}]\}^T d}, \quad (j = 1, \dots, J). \quad (23)$$

设 $\alpha_d = \min\{\alpha_j, j = 1, \dots, J\}$, 则具有解 α_d 的约束条件 g_d 是可能起作用的约束条件. 沿方向 d 前进一步: $X^{(d)} = X^{(k)} + \beta \alpha_d d$, 在点 $X^{(d)}$ 计算目标函数 $f(X)$ 沿方向 d 的一阶导数. 如果 $df/d\alpha$ 在这点的符号与 $(df/d\alpha)_{\alpha=0}$ 的符号相同, 可认为 g_d 是局部起作用的, 归于起作用约束集 E_1^n , 否则, 目标函数 $f(X)$ 在 $X^{(k)}$ 与 $X^{(d)}$ 之间沿 d 方向存在极值点, 通过一维搜索求出这个点 $X^{(k+1)}$, 作为二次逼近算法的下一个迭代点.

由于波浪力及罐体应力分析的有限元计算十分耗时, 本文对其采用拟静力法, 即当罐体尺寸变化不大时, 采用变化前的波浪力及罐体应力计算值, 并在每次迭代后予以校正. 此外, 桁架各构件截面积在初始点按齿行法优化确定, 在优化过程中各构件截面积的比值保持不变, 只在最后再按齿行法进行校正.

对于平台尺寸应符合模数的问题, 可从两方面考虑: 一方面, 若求数学上绝对精确的最优解, 则平台优化问题成为复杂的整数规划问题, 增加了问题的复杂性; 另一方面, 考虑过高的精度对工程上优化是不必要的, 在实际工程优化中, 最优解常常处在一个“平坦的高原”上^[3], 可采取连续规划的解取整的方法, 且在本文中根据各设计变量的模数确定迭代收敛的精度, 避免了设计变量在模数间不必要的迭代.

平台优化的目的并不只是为了得到一定条件下的优化值, 而是要针对各种不同的环境条件和约束条件进行大量的优化, 分析优化结果, 得出平台应用范围及主要影响因素, 因此, 在优化时将每次优化结果的信息存储到一数据库中, 在以后优化时, 根据相近条件的前期优化结果, 在设计变量的容许范围内, 插值得到本次迭代的初始点. 存储的优化结果信息包括各环境条件值、设计变量优化值、各约束最终值及起作用状态. 由于二次逼近算法对初始点的给定较为敏感, 平台优化可行域狭小, 不易给出较好的初始点, 通过采用上述初始点的给定方法, 自动给出优化解附近的初始点, 大大改善了二次逼近算法的稳定性和收敛速度.

3.3 优化结果及分析

以渤海地区边际油田为背景对不同水深进行了平台优化,其中地质条件及油品特性取BZ28-1油田的实测数据,环境条件如波高、波周期根据各油田50年一遇的统计值确定;罐体设计储油量根据BZ28-1油田日产量计算取为3 000 m³. 混凝土罐体在渤海石油公司船坞中制造,坞室门口宽41 m,航道底标高-0.8 m. 拖航时容许初稳性高度GM₁取1.0 m,下沉时容许初稳性高度GM₂取0.3~1.0 m. 不同水深平台建筑工程费*f*与GM₂关系如图2. 图中水深为12.5~27.5 m. 当水深为12.5 m、GM₂取0.9和1.0 m时,无可行解;水深大于30 m时也无可行解;水深在15.0~27.5 m均有可行解,表明此种平台型式适用于水深15.0

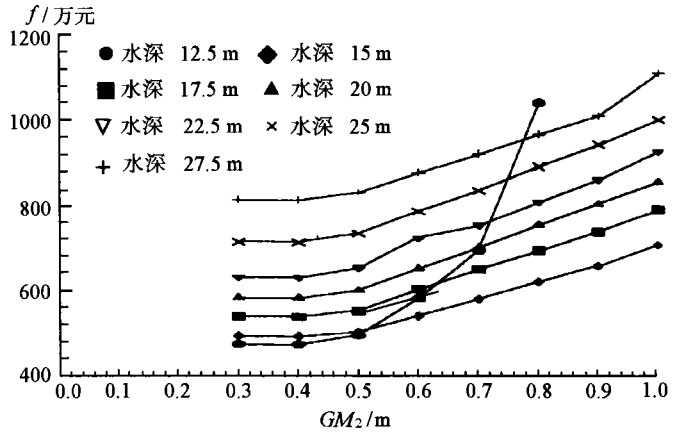


图2 不同水深*f*与GM₂关系

~27.5 m的地区,这一水深范围覆盖了大部分渤海油田,说明此种平台型式十分适合渤海地区的边际油田开发,同样对其他地区相近水深的边际油田也适用. 对于不同的水深及GM₂值在优化解处起作用的约束见表1. 由表可知,当水深为12.5 m、初稳性高度GM₂在0.5~0.8 m时,起作用约束为g₁、g₄、g₈、g₁₃,为满足约束g₁₃(保证混凝土罐体不露出水面),12.5 m水深的平台费用必将高于15 m水深的平台费用(见图2),且当GM₂≥0.9 m时,无法满足约束g₁₃,无可行解. 其他水深起作用约束主要为g₂、g₃、g₄、g₈,在水较深时还有g₅. 由图2可看出,容许初稳性高度GM₂对平台工程费影响较大.

表1 优化解处的起作用约束

水深/m	GM ₂ /m							
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
12.5	g ₁ g ₈ g ₁₃			g ₁ g ₄ g ₈ g ₁₃				无可行解
15.0			g ₁ g ₈				g ₄ g ₈ g ₁₃	
17.5	g ₃ g ₈				g ₂ g ₄ g ₈			
20.0	g ₃ g ₈				g ₂ g ₄ g ₈			
22.5	g ₃ g ₈				g ₂ g ₄ g ₈			
25.0	g ₃ g ₈				g ₂ g ₄ g ₅ g ₈			
27.5	g ₃ g ₈				g ₂ g ₄ g ₅ g ₈			

从纯理论角度讲,只要计算初稳性高度值*h*≥0.01 m,平台就不会倾倒,但由于有许多不确定性因素,各国均要求初稳性高度大于某一值. 各国对初稳性要求见表2. 由表2可看出各

国对 GM 值规定差别很大,对本文提出的新型混凝土平台如何给定一合适的 GM 值是一关键问题. 由表 1 可看出,拖航时初稳性高,即使取各规范的最大值 $GM_1 = 1.0\text{ m}$ 也容易满足,通常不是起作用约束条件,因而取 $GM_1 = 1.0\text{ m}$. 至于混凝土平台在下沉状态时的容许初稳性高度 GM_2 各国规范并未给出其值,在缺少相关经验数据的情况下,可按模糊集理论考虑不确定的主观性因素来给定其值. 影响容许初稳性高度的不确定的主观性因素包括:(1) 结构的重要性;(2) 施工队伍的水平;(3) 计算的精确性;(4) 施工时自然环境的要求. 将约束 g_4 转换为模糊约束,其形式为

$$h_2 \geq GM_2 = GM_2^u - \alpha d, \quad d = GM_2^u - GM_2^l, \quad (24)$$

式中, GM_2^u 和 GM_2^l 分别为 GM_2 容许值的上、下限,取 $GM_2^u = 1.0\text{ m}$,即各国规范的最大值,取 $GM_2^l = 0.3\text{ m}$; α 为容许度,最优解与 $\alpha \in [0, 1]$ 的取值有关,这便是王光远提出的“ α 水平截集”模型^[4],关键问题是确定一个合理的 α . 用 11 级容许度构成一个决断集: $\alpha = \{0, 0.1, 0.2, \dots, 1.0\}$,根据 Zadeh^[5]的建议,不确定因素的大小可用表 3 所列的一个模糊集来主观地表达.

表 2 各国不同组织规定的容许初稳性高度 GM 值

法国船级社 BV(1975)	美国海岸警卫队 USCG(1978)	挪威海事管理局 NMD(1981)	日本港湾技术 协会(1980)	中国交通部 (1987)	中国船检局 (1992)	挪威船级社 DNV(1982)
0.3m	0.05m	0.3m	吃水的 5%	0.3m	钢质平台 1.0m, 混凝土平台在锚泊飘浮状态 0.3m	拖航 1.0m, 临时状态 0.5m

表 3 隶属度 μ_j

α_j	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
小	1.0	0.9	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
比较小	0.7	0.9	1.0	0.9	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
中	0.0	0.0	0.4	0.7	0.9	1.0	0.9	0.7	0.4	0.0	0.0
比较大	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.7	0.9	1.0	0.9	0.7
大	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.7	0.9	1.0

假定把四个不确定因素定性描述为:(1) 结构的重要性(对应于模糊集“小”);(2) 施工队伍的水平中等(对应于模糊集“中”);(3) 计算较精确(对应于模糊集“比较大”);(4) 施工时要求自然环境较好(对应于模糊集“比较大”). 根据这些信息可构造一个模糊关系矩阵如下:

$$R = [\mu_{ij}] = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.4 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.4 & 0.7 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.4 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.4 & 0.7 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.7 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.4 & 0.7 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.7 \end{bmatrix}. \quad (25)$$

设四个因素的权相同,即因素的权矩阵 $[\lambda]$ 为

$$[\lambda] = \{0.25 \quad 0.25 \quad 0.25 \quad 0.25\}, \quad (26)$$

则 α 集中各元素的隶属度 μ_j 可由下式计算:

$$\mu_j = \sum_i \lambda_i \mu_{ij} \quad (27)$$

然后用加权平均的准则来决定容许度: $\alpha = \sum \alpha_j \mu_j / \sum \mu_j = 0.580$. 按式(24)计算 GM_2 , $GM_2 = GM_2^0$, $-ad = 0.6$ m, 因此选取下沉时初稳性高度 GM_2 为 0.6 m.

上述利用模糊集理论确定 GM_2 的方法, 是结构优化中考虑非统计的主观不确定因素影响的一种探索, 可避免受主观判断的影响, 但考虑到工程上优化的目的主要是为了提供较优方案供决策者参考、选择, 可以认为这种方法是一种有效的方法.

4 结论

4.1 本文提出的多功能混凝土平台形式适合于渤海边际油田的开发, 根据优化计算结果, 此种平台适用水深为 15.0~27.5m, 此水深范围覆盖了渤海边际油田的大部分区域.

4.2 平台优化采用约束单调性分析和初始点自动给定的方法, 加快了优化的迭代收敛速度, 对平台优化这种约束条件严格, 且需大量相近条件优化的问题, 是一种十分有效的方法.

4.3 本文利用模糊集理论确定优化中模糊性约束, 不仅对平台优化是一种有效的方法, 而且对其他类似的需要考虑非统计的主观不确定因素的问题也是一种可行的解题方向.

参考文献

- 1 扬 冰. 实用最优化方法及计算机程序. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1994
- 2 历衡隆. 单调性与起作用约束集. 运筹学杂志, 1985, 9 (2): 12~18
- 3 钱令希. 我国结构优化设计概况. 大连理工大学学报, 1982, 21 (3): 1~10
- 4 王光远. 结构模糊优化设计. 计算结构力学及其应用, 1984, 1 (2): 67~73
- 5 汪培庄. 模糊集合论及其应用. 上海: 上海科学技术出版社, 1983

Style selection and optimum of offshore concrete platform

Yi Wei,¹ Song Yupu,¹ Zhang Yankun¹

1. State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023

Abstract—A kind of multi-function concrete platform suitable for offshore marginal oil fields is presented. Style selection and structure optimum of the platform are finished. The effects of the constraint conditions on the cost of the platform are analysed. The application conditions of the platform are given. The method of analysis constrains monotonicity and auto-giving the initial value is used in optimum. The initial metacentric height is given with fuzzy theory to consider the subjective information.

Key words Concrete platform, margin oil field, style selection, structure optimum, monotonicity analysis, fuzzy optimum