

基于FAHP的深水半潜式平台钻井设备选型^①

肖文生, 田雪, 吴磊, 夏新艳

(中国石油大学(华东) 机电工程学院, 青岛 266580)

摘要: 钻井设备选型的合理性关系着平台的总体性能. 将模糊层次分析法(FAHP)应用于深水半潜式平台钻井设备的选型, 以钻井泵为例, 综合考虑技术性和经济性两方面建立钻井泵选型的评价模型. 分别利用FAHP和AHP计算出各因素的权重, 对备选方案进行综合评价. 结果表明, 模糊层次分析法能有效地解决钻井设备选型问题. 通过对比分析两种方法的结果, 总结出二者的适用范围, 为决策者综合运用两种分析方法奠定了基础.

关键词: 半潜式平台; 钻井设备; 选型; 模糊层次分析法; 钻井泵

Selection of Drilling Equipments on Deepwater Semi-Submersible Platforms Based on FAHP

XIAO Wen-Sheng, TIAN Xue, WU Lei, XIA Xin-Yan

(College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: The reasonability or drilling equipments selection is critical to the overall performance of the platforms. In this article, Fuzzy analytic hierarchy process was applied to select drilling equipments of deepwater semi-submersible platforms. In the case of drilling pump, selection evaluation model was established by considering technical factors and economic factors. The weight of each factor was calculated out by using FAHP and AHP respectively, then optional schemes were sorted out by integrated factor. The result show that the fuzzy analytic hierarchy process can solve the problem of drilling equipments selection effectively. The applicable scope of FAHP and AHP was summarized by comparing the results of two methods. In this way, we can lay a foundation for policymakers to use these analysis methods.

Key words: semi-submersible platform; drilling equipment; selection; Fuzzy analytical hierarchy process; drilling pump

钻井设备的合理选择是半潜式钻井平台设计过程中的关键技术, 直接关系到平台的作业效率、安全性、可靠性, 必须予以重视^[1]. 钻井设备选型是一个多层次、多因素的复杂评价问题, 需要从定性与定量两方面来着手解决.

目前, 常用的评价方法有专家判别法、案例推理法(CBR)、层次分析法(AHP)等^[2]. 每种方法都有一定的应用价值, 但都存在局限性. 专家判别法简单易行, 可以充分发挥专家的知识潜力, 但易受专家主观因素的影响, 难免带片面性. 案例推理法推理速度快、判断效果较好, 但针对新领域的复杂决策问题存在局限性. 层次分析法具有决策过程清晰直观的特点, 减少了决策的主观性, 但该方法不能处理决策者不确定和不精

确的判断^[3].

基于以上分析, 本文针对钻井设备选型的多因素影响问题, 引入模糊层次分析法, 并对其加以改进, 以钻井泵为例来说明模糊层次分析法在方案优选中的应用.

1 模糊层次分析法基本原理

模糊层次分析法(Fuzzy Analytic Hierarchy Process, FAHP)是层次分析法与模糊综合评价相结合的一种方法. 其基本思想和步骤与AHP基本一致, 两者的不同点在于判断矩阵的构建及因素权重的确定^[4].

本文针对传统层次分析法的缺陷, 提出一种改进的模糊层次分析法. 该方法通过采用三标度来判断矩

^① 收稿时间:2014-08-14;收到修改稿时间:2014-10-08

阵标度,使得专家很容易对两两因素做出谁相对重要的决策;并且由优先关系矩阵改造的模糊一致矩阵满足一致性条件,无需再进行一致性检验;在准则层向对象层进行层次展开时采用隶属度矩阵和模糊加权变换法,充分考虑到各种因素的共同作用,真正体现了综合性.

具体步骤^[5]如下:

1)建立递阶层次结构模型

在深入分析实际问题的基础上,将有关的各个因素按照不同属性自上而下地分解成若干层次,同一层的诸因素从属于上一层的因素或对上层因素有影响,同时对支配下一层的因素或受到下层因素的作用.最上层为目标层,最下层通常为方案或对象层,中间可以有一个或几个层次,通常为准则或指标层.当准则过多时应进一步分解出子准则层.

2)确定优先关系矩阵

利用三标度法对每层因素采用两两比较的方法比较他们的相对重要性,得出相应的优先关系矩阵 $F = (f_{ij})_{n \times n}$:

$$f_{ij} = \begin{cases} 0 & s(i) < s(j) \\ 0.5 & s(i) = s(j) \\ 1 & s(i) > s(j) \end{cases} \quad (1)$$

式中, $s(i), s(j)$ 分别表示指标 f_i 与 f_j 的相对重要性程度.

3)优先关系矩阵转化为模糊一致矩阵

若矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 满足: $r_{ij} = r_{ik} - r_{jk} + 0.5$, 则为模糊一致矩阵.可以按照下面的步骤将优先关系矩阵进行转化:对 F 按行求和,记为

$$r_i = \sum_{k=1}^n r_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

然后做变换:

$$r_{ij} = \frac{r_i - r_j}{2n} + 0.5 \quad (3)$$

由此建立的判断矩阵就保证了模糊一致性^[6].

4) 计算指标权重

文献^[7]给出了三种排序方法的排序结果相同的结论,此处选用按行求和归一化法^[7]来计算指标权重.指标 f_i 对上层因素的指标权重为:

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^n r_{ik}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij}} = \frac{2}{n^2} \sum_{k=1}^n r_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

5) 计算综合指标权重

根据上一步指标权重的计算结果,将方案层因素的指标权重与准则层各个因素的指标权重相乘再求和即得各个选择方案的综合指标权重.综合指标权重最大者即为最优方案.

2 在钻井泵选型中的应用

2.1 钻井泵选型影响因素分析

钻井泵作为钻机的关键设备之一,其选型好坏直接影响钻机的钻井效率和成本.钻井泵选型首先应该满足钻井工艺的要求,在此基础上尽可能提高钻井泵的工作性能和可靠性^[8].受海洋钻井作业环境影响,钻井泵的体积、重量、运移性等指标也要严格控制.为满足各种新型钻井工艺的要求,钻井泵向着大功率、大排量、高泵压和轻量化方向发展^[9].

第六代深水半潜式钻井平台需配备 2200 马力及以上大功率、工作压力 50MPa 左右的钻井泵.针对这一要求,可选用的钻井泵型号及技术参数如表 1 所示.

表 1 目标平台钻井泵的可选方案

| 型号 | 3NB2200DBZ | F-2200HL | QDP-3000 | HEX 240 | 14-P-220 |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 生产厂家 | 宏华 | 宝石 | 宝石 | NOV | NOV |
| 额定输入功率(hp) | 2200 | 2200 | 3000 | 2540 | 2200 |
| 最高工作压力(MPa) | 51.7 | 52 | 52.0 | 51.7 | 51.7 |
| 额定冲次(冲/分) | 105 | 105 | 117 | 107 | 105 |
| 最大缸套直径 x 冲程(mm) | 230x356 | 230x356 | 180x300 | 114.3x300 | 230x356 |
| 最大排出量(l/s) | 77.65 | 77.65 | 76.34 | 65.26 | 52.2 |
| 泵组外形尺寸(mm) | 5740x3817x3322 | 5740x3211x3217 | 5715x3520x2074 | 4100x3000x2800 | 5544x3194x2139 |
| 泵组重量(kg) | 49900 | 43080 | 41018 | 39370 | 37195 |
| 配备数量 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 |

2.2 钻井泵选型评价模型

在进行钻井泵选型时,一般从技术性、经济性、

等方面择优选择.综合考虑以上影响因素,建立钻井泵选型的递阶层次模型,如图 1 所示.

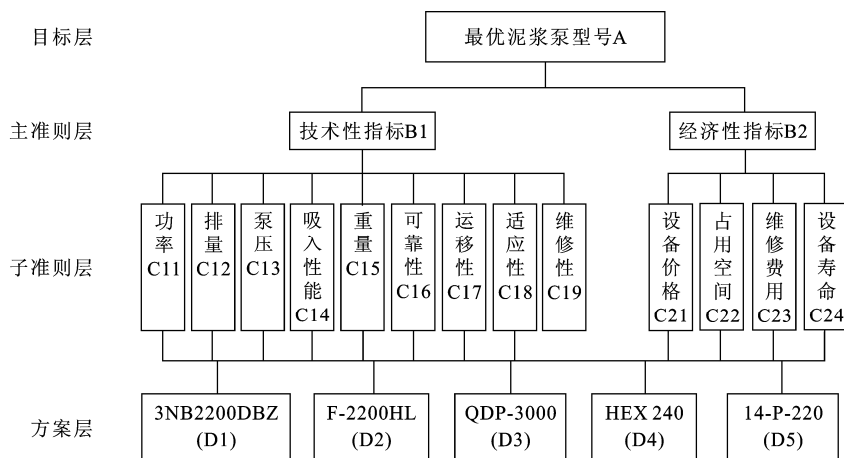


图 1 钻井泵选型递阶层次模型

2.3 基于 FAHP 计算

由五位专家组成的评价团队,对相应的评价准则和指标进行两两比对,再对待选的钻井泵根据各指标进行两两比对,得到优先关系矩阵.需要注意的是,这里钻井泵选用的数量不同,除了 QDP-3000 选用 3 台之外,其余型号的均需要选用 4 台,所以在进行重量、占用空间因素计算时,要考虑这一点.

共建立了 16 个优先关系矩阵,目标层与主准则层之间的矩阵为 A-Bi,主准则层与子准则层之间的矩阵为 B1-Ci、B2-Ci,子准则层与方案层之间的矩阵为 C11-Di、C12-Di.....C24-Di,如表 2 和表 3 所示.

表 2 A-Bi 优先关系矩阵

| | | |
|----|-----|-----|
| A | B1 | B2 |
| B1 | 0.5 | 1 |
| B2 | 0 | 0.5 |

表 3 B2-Ci 优先关系矩阵

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| B2 | C21 | C22 | C23 | C24 |
| C21 | 0.5 | 1 | 1 | 1 |
| C22 | 0 | 0.5 | 1 | 0.5 |
| C23 | 0 | 1 | 0.5 | 1 |
| C24 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 |

表 4 C11-Di 优先关系矩阵

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| C11 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
| D1 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0.5 |
| D2 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0.5 |
| D3 | 1 | 1 | 0.5 | 1 | 1 |
| D4 | 1 | 1 | 0 | 0.5 | 1 |
| D5 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0.5 |

限于篇幅,其他矩阵不一一列出.

基于改进的模糊层次分析法,编制 MATLAB 程序进行计算,求得相关因素的权重,由表 2 计算出两个主准则的权重为:

$$W_1=0.625(\text{技术性});$$

$$W_2=0.375(\text{经济性}).$$

依次求得子准则层各指标的相对权重和综合权重,如表 5 所示.

表 5 各指标权重

| 主准则权重 | 子准则指标相对权重 | 子准则指标综合权重 |
|-------------|------------|-----------|
| B1 0.625 | C11 0.1481 | 0.0926 |
| | C12 0.1481 | 0.0926 |
| | C13 0.1481 | 0.0926 |
| | C14 0.1235 | 0.0772 |
| | C15 0.0926 | 0.0579 |
| | C16 0.1111 | 0.0694 |
| | C17 0.0926 | 0.0579 |
| | C18 0.0617 | 0.0386 |
| | C19 0.0741 | 0.0463 |
| B2 0.375 | C21 0.3281 | 0.1230 |
| | C22 0.2344 | 0.0879 |
| | C23 0.2656 | 0.0996 |
| | C24 0.1719 | 0.0645 |

按照同样的步骤计算出方案层各因素 Ci 对指标层的指标权重.按照步骤 5 计算各方案的综合权重,最终结果如表 6 所示.

表 6 评价结果

| 层次 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | 各指标综合权重 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| C11 | 0.16 | 0.16 | 0.28 | 0.24 | 0.16 | 0.0926 |
| C12 | 0.26 | 0.26 | 0.20 | 0.16 | 0.12 | 0.0926 |
| C13 | 0.16 | 0.26 | 0.26 | 0.16 | 0.16 | 0.0926 |
| C14 | 0.16 | 0.16 | 0.28 | 0.24 | 0.16 | 0.0772 |
| C15 | 0.12 | 0.16 | 0.28 | 0.20 | 0.24 | 0.0579 |
| C16 | 0.16 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.12 | 0.0694 |
| C17 | 0.12 | 0.16 | 0.28 | 0.20 | 0.24 | 0.0579 |
| C18 | 0.12 | 0.16 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.0386 |
| C19 | 0.14 | 0.26 | 0.2 | 0.26 | 0.14 | 0.0463 |
| C21 | 0.28 | 0.24 | 0.2 | 0.12 | 0.16 | 0.1230 |
| C22 | 0.12 | 0.16 | 0.28 | 0.24 | 0.20 | 0.0879 |
| C23 | 0.14 | 0.26 | 0.2 | 0.26 | 0.14 | 0.0996 |
| C24 | 0.12 | 0.16 | 0.22 | 0.28 | 0.22 | 0.0645 |
| 方案综合权重 | 0.1688 | 0.2085 | 0.2411 | 0.2113 | 0.1703 | |

2.4 基于 AHP 计算

AHP 与 FAHP 的计算步骤基本一致,限于篇幅,计算过程不再一一列出,只给出最终各方案的综合权重 $W=\{0.1624, 0.2125, 0.2476, 0.2093, 0.1682\}$

2.5 结果分析

通过对比可以发现,两种方法的计算结果不同,但差异不是很大.采用 FAHP 方法,最优方案为 QDP-3000 钻井泵,次优方案为 NOV 的 HEX 240 钻井泵;采用 AHP 方法,最优方案也为 QDP-3000,但次优方案为 F-2200HL.产生差异的原因在于对模糊因素的考虑,FAHP 强化了问题分析的突出点,使得评价结果更加贴合实际.根据以上分析,我们可以总结出两者

的适用范围:当决策者对问题比较肯定时,宜采用 AHP,当决策者对问题分析不那么确定时,宜采用 FAHP.

总之,根据计算结果得出,宝鸡石油机械有限公司的 QDP-3000 钻井泵为最优选择.此钻井泵的体积小、重量轻、功率大,排量均匀,最高工作压力达到 52MPa,非常适用于海上钻井平台装备以及需要快速移动的撬装钻机的配置需求.

3 半潜式平台主要钻井设备选型

将模糊层次分析法应用于钻井设备选型中,得到 3000m 水深半潜式平台关键设备的最终配置单如表 7 所示.

表 7 深水半潜式钻井平台主要设备配置

| 设备名称 | 设备主要参数 | 数量 | 推荐型号 | 生产厂家 |
|-------|-------------------------------------------------|----|---------------|----------------|
| 绞车 | 最大输入功率:4400kW(6000HP);钢丝绳直径:1-7/8"(Φ48mm) | 1 | JC-120DB | 宝鸡石油机械厂 |
| 顶驱 | 钩载:1000sT, API-8C, PSL-1 | 1 | TDS-1000 | Varco |
| 转盘 | 开孔直径:1536.7mm;额定静载荷:11250kN | 1 | ZP605Y | 宝鸡石油机械厂 |
| 天车 | 最大载荷:9000kN;钢丝绳直径:1-7/8"(Φ48mm) | 1 | TC-900 | 宝鸡石油机械厂 |
| 大钩 | 最大钩载:9000kN | 1 | DG900 | 宝鸡石油机械厂 |
| 游车 | 最大静载荷:9000kN;钢丝绳直径:1-7/8"(Φ48mm);滑轮数为 7 | 1 | YC-900 | 宝鸡石油机械厂 |
| 水龙头 | 最大静载荷:9000kN;最高转速:300r/min;通孔直径:75mm | 1 | SL900 | 宝鸡石油机械厂 |
| 液压猫头 | 液压系统额定压力:16.6 Mpa;钢丝绳牵引力:160 kN | 2 | YM-16 | 宝鸡石油机械厂 |
| 振动筛 | 筛板数:4;处理量:900GPM (68.19L/s) | 4 | FLC-504 | Derrick |
| 除气器 | 效率:≥95%;处理量:200-240m ³ /h | 2 | Vacu-Flo 1200 | Derrick |
| 中速离心机 | 转鼓转速:1800r/min;最大处理量:50m ³ /h | 1 | LW450-1000N | 广汉西部石油勘探装备有限公司 |
| 高速离心机 | 转鼓转速:3800r/min;最大处理量:50m ³ /h | 1 | LW355-1242N | 广汉西部石油勘探装备有限公司 |
| BOP | 18 3/4" - 15,000 Psi | 1 | | Shaffer 公司 |
| 钻井泵 | 5 缸单作用泵;额定功率:3000HP;最大排出量:76.34L/s;最高工作压力:52Mpa | 1 | QDP-3000 | 宝鸡石油机械厂 |

4 结语

(1) 针对层次分析法的缺陷, 提出一种改进的模糊层次分析法, 并将其应用于钻井设备选型中。

(2) 以钻井泵选型为例, 综合考虑技术性因素和经济性因素两方面, 建立了钻井泵选型评价模型。并分别利用 FAHP 和 AHP 两种方法确定了各因素在选型中的权重大小。结果表明, 模糊层次分析法能有效地解决钻井设备选型问题。

(3) 对比分析 FAHP 和 AHP 两种方法的计算结果, 总结了两种方法的适用范围。

(4) 模糊层次分析法应用于钻井设备选型, 使得方案优选工作变得简单、直观, 并且在选型计算过程中实现了定性因素与定量因素的结合, 克服了人为主观臆断带来的弊端。

参考文献

- 1 赵建亭. 深海半潜式钻井平台钻机配置浅析. 船舶, 2006, 4:37-46.
- 2 刘成俊, 何正春等. 层次分析法在企业设备技术改造决策中的应用. 重庆工业高等专科学校学报, 2005, 20(1):60-62.
- 3 方明. 基于改进模糊层次分析法的复杂装备可靠性分配研究. 电子设计工程, 2014, 22(10):117-118.
- 4 李洪文, 李成标, 曹琼. 基于模糊层次分析法的石油生产设备 ABC 分类研究. 技术与方法, 2013, 32(11):227-228.
- 5 李永, 胡向红, 乔箭. 改进的模糊层次分析法. 西北大学学报, 2005, 35(1):11-12.
- 6 姚敏, 黄燕君. 模糊决策方法研究. 系统工程理论与实践, 1999, (11): 61-64, 70.
- 7 张吉军. 模糊一致判断矩阵 3 种排序方法的比较研究. 系统工程与电子技术, 2003, 25(11):1370-1372.
- 8 秦大鹏, 吴汉川, 任云超. 1300HP 五缸钻井泵机组设计. 石油天然气学报, 2006, 28(4).
- 9 杨琴. 国内外钻井泥浆泵发展概况. 机械工程师, 2008.