

◀工具与设备▶

# 用主成分投影法评价和优选钻头

张 辉 高德利

(中国石油大学(北京)石油天然气工程学院, 北京昌平 102249)

**摘要:** 在钻井过程中, 钻头的合理选型对提高钻进速度、降低钻井综合成本起着非常重要的作用。钻头性能评价是钻头选型工作的重要环节, 评价方法的好坏直接影响到钻头选型结果的合理性。为了全面、系统地评价钻头性能的优劣, 必须综合考虑钻头的使用效果和使用条件。在合理选取钻头性能评价指标的基础上, 提出了一种新的钻头性能评价方法——主成分投影法。该方法不仅考虑了评价指标的权重, 而且通过正交变换解决了指标间的信息重叠问题。它以各决策向量在理想决策向量上的投影值作为钻头性能的综合评价值, 根据该值的大小对各种型号的钻头进行优劣排序。借助于Matlab软件, 该方法计算简单、实用, 具有良好的推广应用价值。应用结果表明, 该方法是合理的。

**关键词:** 钻头工作指标; 综合评价; 主成分投影法

**中图分类号:** TE921<sup>+</sup>.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-0890 (2006) 01-0039-03

钻头的合理选型无论是对安全钻井还是对降低钻井总成本都具有重要意义。钻头性能评价是钻头选型工作的重要环节, 评价方法的好坏直接影响到钻头选型结果的合理性。前人在钻头性能评价方面进行了大量研究, 提出了多种评价方法, 如: 每米钻井成本法、比能法、模糊综合评判法、灰关联分析法、属性层次分析法、神经网络法、地层综合系数法等<sup>[1-8]</sup>。这些方法多选用钻头进尺、钻头寿命、机械钻速、钻头成本等几个指标作为判断钻头性能优劣的依据。然而, 在实际钻井中, 钻头性能的优劣受多方面影响。例如, 有的钻头在某一地层的寿命很短, 这有可能是由于钻井参数选用不当造成的, 而不一定是钻头本身性能差。因此, 进行钻头性能评价必须综合考虑钻头的使用效果和使用条件。钻井实践证明, 各项钻头性能评价指标并不是独立存在的, 而是存在着错综复杂的相关关系。在评价过程中, 各指标之间的相关关系会造成评价信息相互重叠和干扰, 从而难以客观地反映各决策向量的相对地位。为此, 笔者在合理选取钻头性能评价指标的基础上, 提出了应用主成分投影法进行钻头性能评价的新方法。

## 1 钻头性能评价指标选取及评价步骤

### 1.1 钻头性能评价指标的选取

对于具有相同岩石力学性质的地层, 不同型号的钻头会表现出不同的钻进效果, 而钻进效果的优劣又受钻井参数的影响。因此, 为了全面、系统地评价钻

头性能的优劣必须综合考虑钻头的使用效果和使用条件。笔者选取机械钻速、进尺、纯钻时间、钻头磨损、钻头成本、钻压、转速、泵压以及泵排量等9项指标作为钻头性能评价指标。其中, 前5项反映的是钻头的使用效果和经济效益, 后4项反映的是钻头的使用条件。

### 1.2 评价步骤

应用主成分投影法进行钻头性能评价的新方法是在对评价指标值进行规范化和适当加权处理的基础上, 通过正交变换将原有的指标转换为彼此正交的综合指标, 消除了指标间的信息重叠影响, 并利用各主成分设计一个理想决策向量, 以各被评价对象相应的决策向量在该理想决策向量方向上的投影值作为钻头性能的综合评价值, 根据该综合评价值的大小可对各种型号的钻头进行优劣排序<sup>[9]</sup>。其具体评价步骤包括规范化处理、给指标赋权、指标的正交变换、根据求出的理想决策和决策投影进行综合评价。

#### 1.2.1 规范化处理

设有  $m$  个评价对象,  $n$  个评价指标 ( $n=9$ ), 形

---

收稿日期: 2005-03-07; 改回日期: 2005-10-29

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目 (编号: 90410006) 及教育部“长江学者和创新团队发展计划”项目 (编号: IRT0411) 资助

作者简介: 张辉 (1971—), 女, 1994年毕业于石油大学 (华东) 钻井工程专业, 工程师。

联系电话: (010) 89733702

成原始指标数据矩阵  $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n}$ 。为了便于各指标间的比较, 需要对原始指标值进行规范化处理, 将其化为  $[0, 1]$  区间内的数。

1) 当第  $j$  项指标为望大型时, 指标值  $x_{ij}$  越大越好, 变换公式为:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\}}{\max_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\} - \min_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\}} \quad (1)$$

2) 当第  $j$  项指标为望小型时, 指标值  $x_{ij}$  越小越好, 变换公式为:

$$y_{ij} = \frac{\max_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\} - \min_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\}} \quad (2)$$

3) 当第  $j$  项指标为望目型时, 指标值  $x_{ij}$  在区间  $[m_1, m_2]$  内最佳, 变换公式为:

$$y_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\}}{m_1 - \min_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\}} & \min_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\} \leq x_{ij} \leq m_1 \\ 1 & m_1 \leq x_{ij} \leq m_2 \\ \frac{\max_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\} - m_2} & m_2 \leq x_{ij} \leq \max_{1 \leq i \leq m} \{x_{ij}\} \end{cases} \quad (3)$$

式 (1) ~ (3) 中,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ 。

经规范化处理后, 指标数据矩阵  $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n}$  化成了决策矩阵  $\mathbf{Y} = (y_{ij})_{m \times n}$ ,  $y_{ij} \in [0, 1]$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ 。决策向量  $\mathbf{d}_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im})$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ 。

### 1.2.2 给指标赋权

用指标的权重  $w_j$  对决策矩阵  $\mathbf{Y}$  进行加权处理。令  $z_{ij} = w_j y_{ij}$ , 得到赋权后的决策矩阵  $\mathbf{Z} = (z_{ij})_{m \times n}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ 。决策向量  $\mathbf{d}_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{im})$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ 。目前, 确定权重的方法有数十种之多, 这里不作介绍, 请参考文献[10]。

### 1.2.3 指标的正交变换

为了消除各指标间的相关性影响, 过滤掉各指标间的重复信息, 采用正交变换。

令  $\mathbf{U}_{m \times n} = [\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_n] = [\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_n] \cdot \mathbf{A} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{A}$ , 正交阵  $\mathbf{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ , 满足:

$$\mathbf{U}'\mathbf{U} = \mathbf{A}'(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_n \end{bmatrix}, \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n \quad (4)$$

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  为矩阵  $\mathbf{Z}'\mathbf{Z}$  的特征值, 所对应的单位特征向量分别为  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ 。通过正交变换得到新的决策矩阵为  $\mathbf{U} = (u_{ij})_{m \times n}$ 。 $\mathbf{U}$  的每一个行向量对应一个新的决策向量  $\mathbf{d}_i = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in})$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ 。 $\mathbf{U}$  的每一个列向量代表由  $n$  个无量纲加权指标  $z_j$  的线性组合表示的一个新的综合指标。新的  $n$  个综合指标两两正交, 从而消除了信息的重叠。

### 1.2.4 求出理想决策和决策投影, 进行综合评价

构造理想决策  $\mathbf{d}^* = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ , 其中  $d_j = \max_{1 \leq i \leq m} \{u_{ij}\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ 。将  $\mathbf{d}^*$  单位化得:

$$\mathbf{d}^* = \frac{\mathbf{d}^*}{\|\mathbf{d}^*\|} = \frac{\mathbf{d}^*}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}} \quad (5)$$

求出各决策向量在理想向量方向上的投影:

$$D_i = \mathbf{d}_i \cdot \mathbf{d}^* = \frac{1}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}} \sum_{j=1}^n d_j u_{ij} \quad (6)$$

式中,  $i = 1, 2, \dots, m$ 。

以各决策向量的投影值  $D_i$  作为钻头性能的综合评价值。 $D_i$  越大, 钻头性能越优。

## 2 主成分投影法的优点

于润桥曾应用主成分分析法, 综合考虑钻头的使用效果和使用条件, 提出了评价钻头性能的“综合指数法”[11]。该评价方法考虑因素比较全面, 有效地减少了评价指标的数目, 消除了指标间的相关性影响。与笔者所提出的主成分投影法相比, “综合指数法”存在如下不足: 1) 其评价结果受选取的主成分个数的人为影响; 2) 其评价结果没有考虑各评价指标的权重影响(一般来讲, 使用效果指标的权重大于使用条件指标的权重), 难以全面反映各钻头性能的优劣; 3) 该方法计算繁杂。笔者所提出的用主成分投影法评价钻头性能的方法不仅考虑了评价指标的权重, 而且解决了指标间的信息重叠问题, 借助于 Matlab 软件, 计算简单、实用。因此, 该方法比“综合指数法”更具有优越性。

## 3 应用实例

对某油田某开发区块某地层的钻头使用情况进行了统计, 并应用笔者所提出的新方法对各种型号的钻头性能进行了评价, 其评价结果见表 1。

由表 1 可知, 采用 HJ537GL 钻头钻进该地层效果最好。该地层推荐的钻头型号从优到劣依次为: HJ537GL、HJ537、HA517、HA537、HJ517、HA437、H437、HJT517LG、H517、HAT127。在

表1 某油田某地层钻头性能评价结果

钻头型号	综合评价值	钻头型号	综合评价值
HJT517LG	0.0046	HJ537	0.0296
H517	0.0012	HJ537GL	0.0332
HA437	0.0096	HJ517	0.0119
HA537	0.0171	H437	0.0083
HA517	0.0274	HAT127	0.0002

该区块某试验井该地层的实际钻进过程中,甲方选用了HJ537GL钻头。结果表明,HJ537GL钻头取得了良好的钻进效果,其平均机械钻速比邻井同组地层提高了20% (见表2)。

表2 现场试验结果

指标	平均机械钻速/ $m \cdot h^{-1}$	进尺/m	纯钻时间/h
试验井	28.60	350	12.24
邻井	23.82	348	14.61

## 4 结论

1) 提出了应用主成分投影法进行钻头性能评价的新方法。该方法综合考虑了钻头的使用效果和使用条件,考虑的因素比较全面。

2) 该方法不仅考虑了评价指标的权重,而且通过正交变换解决了指标间的信息重叠问题,它以各决策向量在理想决策向量上的投影值作为钻头性能的综合评价值,根据该值的大小可对各种型号的钻头进行优劣排序。

3) 该方法借助于Matlab软件,计算简单、实

用,具有良好的推广应用价值。现场应用结果表明,该钻头性能评价方法是合理的。

## 参考文献

- [1] 冯定. 神经网络在钻头选型中的应用研究 [J]. 石油钻探技术, 1998, 26 (1): 43-45.
- [2] 潘起峰, 高德利. 利用地层综合系数法评价及优选钻头 [J]. 石油钻探技术, 2003, 31 (5): 36-38.
- [3] 樊顺利, 郭学增. 牙轮钻头的模糊综合评判 [J]. 石油钻采工艺, 1994, 16 (3): 12-16.
- [4] 杨进, 高德利. 一种钻头选型新方法研究 [J]. 石油钻采工艺, 1998, 20 (5): 38-40.
- [5] Falcao J L, Maidla E E. PDC bit selection through cost prediction estimates using crossplots and sonic log data [R]. SPE/IADC 25733, 1993: 525-534.
- [6] Hussain Rabia. Specific energy as a criterion for bit Selection [J]. JPT, 1985, (7): 1225-1229.
- [7] 王俊良, 刘明. 用灰色关联分析评价和优选钻头 [J]. 石油钻采工艺, 1994, 16 (5): 14-18.
- [8] 毕雪亮, 阎铁, 张书瑞. 钻头优选的属性层次模型及应用 [J]. 石油学报, 2001, 22 (6): 82-85.
- [9] 李明远. 多指标决策与评价的新方法——主成分投影法 [J]. 数理统计与管理, 2000, (5): 45-48.
- [10] 张辉, 高德利. 嫡权理想点法在油气钻井技术评价中的应用 [J]. 天然气工业, 2004, 24 (8): 59-61.
- [11] 于润桥. 用“综合指数”方法选择钻头类型 [J]. 石油钻探技术, 1993, 21 (3), 46-50.

[审稿 邹德永]

## Evaluation and Selection of Bits Based on the Principal Component Projection Method

Zhang Hui Gao Deli

(College of Petroleum & Gas Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Changping, Beijing, 102249, China)

**Abstract:** The selection of proper bits is of great importance for higher ROP and lower drilling cost. Evaluation of bit performance acts as a key factor for bit selection. In order to determine bit performances, both bit application conditions and results must be taken into consideration. Based on rational evaluation index system, a new bit performance evaluation method (the principal component projection method) is presented. This method not only considers the index weight but also overcome the data overlapping by using orthogonal change. By use of this method, decision-making vector is projected on ideal decision-making vector and projection value is regarded as comprehensive evaluation value of bit performance, and then all kinds of bit types are sorted. With the help of Matlab software, the calculation of this method is very simple and practicable. This method is superior to other methods and can be applied widely. The application results indicate that this method is feasible.

**Key words:** bit performance; comprehensive evaluation; principal component projection method

《石油钻探技术》祝广大作者、读者新春愉快