

用综合加权评分法优化钻井泥浆配方的研究

吴建民¹, 陶菊春²

(11 甘肃农业大学; 21 西北师范大学)

摘 要: 通过对影响泥浆质量因素的分析, 进行了泥浆配方试验, 并运用多指标试验的综合加权评分法, 结合直观分析、极差分析, 寻找出了一个最优泥浆配方, 在实践中产生了良好的经济效益。

关键词: 钻井泥浆配方; 综合加权评分法; 试验优化

中图分类号: S27712; TE25 文献标识码: A 文章编号: 100226819(2002)020045204

泥浆(钻井液)是钻井(高原水井、油井)不可缺少的材料, 其配方的优劣直接影响着井壁质量、钻井速度和生产效率。

1 因素分析与试验设计

为了寻找性能稳定、生产效率高、经济效益好的钻井泥浆配方, 进行了试验研究。借鉴以往的试验结果和理论分析, 本次试验初步拟定流动指数(n)、塑性粘度(p_v)、悬浮能力(S_0)、失水(w)及钻头水眼粘度(G 为重点考核反映泥浆质量好坏的指标, 并筛选出钾盐 KCl、聚丙烯酰胺 PAM、聚丙烯酸钙 CPA、腈钠 HPAN、改性淀粉 CM S、改性沥青 SA S、搬土、温度为考察因素, 还要考察钾盐与聚丙烯酰胺、钾盐与聚丙烯酸钙的交互作用。因此, 该项试验是一个多因素多指标试验。因素水平见表 1。

表 2 试验方案

Table 2 Experiment design

因素	A	B	A × B	A × B	C	A × C	A × C	D	E	F	G	H	误差
列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

2 计算各配方试验结果的综合加权评分值

综合加权评分法是将多指标试验的结果, 根据每个指标的权值(重要程度)化为一个单指标的试验结果(综合加权评分值), 然后利用单指标试验结果的分析方法分析其试验结果的一种分析方法。

2.1.1 各指标权值的确定

在该项试验的 5 个指标中, 根据以往的经验, 钻井技术要求认为流动指数 n 对流型和洗井质量影响很大, 是这 5 个指标中最重要的一个, 故给予权值

表 1 因素水平表				
Table 1 Table of experiment factors and levels				
因素		水平		
		1	2	3
A	钾盐 KCl 6%	2	3	4
B	聚丙烯酰胺 PAM 0%	011	0115	0125
C	聚丙烯酸钙 CPA 0%	0115	0125	0135
D	腈钠 HPAN 0%	011	0115	012
E	改性淀粉 CM S 0%	011	0115	012
F	改性沥青 SA S 0%	1	3	6
G	搬土 0%	2	3	4
H	温度 0	常温	120	15

用正交试验设计安排试验, 选 $L_{27}(3^{13})$ 正交表, 试验方案见表 2, 试验结果见表 3。

013; 塑性粘度 p_v , 它不但决定泥浆携岩效果, 而且影响钻井速度, 权值为 0125; 悬浮能力 S_0 影响泥浆凝胶强度和结构, 权值为 0125; 失水 w 是决定井壁稳定性的参数之一, 也是衡量对壁面保护度的指标之一, 权值为 011; 钻头水眼粘度 G 既影响泥浆的抗剪能力和稀释能力, 又影响钻井速度, 权值为 011。

2.1.2 处理方法及计算结果

根据权值的实质(在该项试验中主要指各指标对整个试验问题的影响程度所占的比例系数), 在综合加权评分值中, 流动指数(n)指标的加权评分值应占的比例大一些才符合实际, 但由于它的数量级小于 p_v 等指标的数量级, 如果直接把它观察值和权值相乘与其它指标(p_v 、 S_0 、 G 、 w)的观察值与权值乘积相比较, 很可能使它的评分值失去可比性。例如

收稿日期: 2001208207 修订日期: 2002202220
作者简介: 吴建民, 教授, 兰州市安宁区 门村 1 号 甘肃农业大学机电工程系, 730070

失水的加权评分值会远远大于流动指数的加权评分值,这就与实际相悖。还有些指标,由于变化趋势不同或量纲不同,如流动指数 n 、塑性粘度 $p v$ 、悬浮能力 S_0 3 个指标,其值大了、小了都不好,而是达到某一稳定值($n= 0158$ 、 $p v= 11$ 、 $S_0= 1015$)是最好,对于 w 、 G 两个指标,则其值越小越好。因此,不能直接计算综合加权评分值。为了解决此问题,须采取以下处理措施。

表 3 试验结果及评分值
Table 3 Experimental results and marking values

试验号	n	$p v$	S_0	w	G	n^3	$p v^3$	S_0^3	$n^{3\ 3}$	$p v^{3\ 3}$	$S_0^{3\ 3}$	$w^{3\ 3}$	$G^{3\ 3}$	$y^{3\ 3}$
1	0178	615	1215	213	2147	012	415	2	46151	5117	2134	0	66187	34116
2	0175	715	1715	20	2119	0117	315	7	39153	4012	10116	20	50	31146
3	015	715	5215	22	2116	0108	315	42	1816	4012	64184	23	48119	38197
4	0147	5	40	86	118	0111	6	2915	25158	69	45131	96	26151	4815
5	0184	1115	15	1415	2193	0126	015	415	60147	5175	6125	14	94158	32
6	0189	213	2	15	1148	0131	817	815	72109	100	1215	15	7123	51198
7	0168	1012	33	915	2183	011	018	2215	23126	912	34138	8	88155	27153
8	015	416	32	2515	1179	0108	614	2115	1816	7316	32181	27	2519	37146
9	0165	1018	41	50	2174	0107	012	3015	16128	213	46188	55	83113	30199
10	1101	611	- 015	16	2109	0143	419	11	100	5613	16141	16	43198	54118
11	015	312	23	30	1157	0108	718	1215	1816	8917	18175	32	12165	37115
12	0157	1115	60	1416	3102	0101	015	4915	2133	5175	76156	14	100	32168
13	0157	10	5215	1215	2164	0101	1	42	2133	1115	64184	12	77111	28169
14	0176	415	10	40	1189	0118	615	015	41186	7417	0	43	31193	38173
15	0169	515	1715	2715	2116	0111	515	7	25158	6312	10116	29	48119	33174
16	0164	415	1715	27	1199	0106	615	7	13195	7417	10116	28	37195	32
17	0155	13	75	9175	2195	0103	2	6415	6198	23	100	9	95178	43132
18	0162	315	15	4515	1171	0104	715	415	913	8612	6125	49	21108	32191
19	017	215	715	35	1136	0112	815	3	27191	9717	3191	37	0	37148
20	0166	11	40	1315	2196	0108	0	2915	1816	0	45131	13	96139	27185
21	0149	415	3215	43	1166	0109	615	22	20193	7417	33159	47	18107	39186
22	0153	6	3715	2115	2	0105	5	27	11163	5715	41141	22	38155	34126
23	0179	219	515	37	1145	0121	811	5	48184	9311	7103	40	5142	44123
24	0158	10	50	10	2196	0	1	3915	0	1115	60194	9	96139	28165
25	017	815	25	37	2156	0112	215	1415	27191	2817	21188	40	72129	32126
26	0153	418	2915	30	119	0105	612	19	11163	7113	28191	32	32153	34198
27	0187	5	5	25	1189	0129	6	515	67144	69	7181	26	31193	45122

21211 统一指标值的变化趋势

因为该项试验的 5 个指标中,有两个指标值要求越小越好,所以将其余 3 个指标也统一成要求越小越好的指标。方法是

$$y_{ij}^3 = B y_{ij} - y_i^3 B \quad i= 1, 2, 3 \quad j= 1, 2, \dots, 27 \quad (1)$$

式中 y_{ij}^3 为统一趋势后,第 i 个指标的第 j 号试验的指标值; y_{ij} 为第 i 个指标第 j 号试验的观察值; y_i^3 为第 i 个指标的稳定值。用式(1)计算 n 、 $p v$ 、 S_0 的统一趋势后的指标值 n^3 、 $p v^3$ 、 S_0^3 见表 3。因为 w 、 G 两个指标值本身要求越小越好,不再统一变化趋势。

21212 统一指标的数量级和量纲

为了消除各指标数量级和量纲对其加权评分值的影响,使各指标的加权评分值具有可比性,应统一各指标的数量级和量纲,由式(2)可得到各指标的同数量级、无量纲的评分值 $n^{3\ 3}$ 、 $p v^{3\ 3}$ 、 $S_0^{3\ 3}$ 、 $w^{3\ 3}$ 、 $G^{3\ 3}$,见表 3。

$$y_{ij}^{3\ 3} = 100(y_{ij}^3 - y_{\min}^3) \div (y_{\max}^3 - y_{\min}^3) \quad i= 1, 2, \dots, 5 \quad j= 1, 2, \dots, 27 \quad (2)$$

式中 $y_{ij}^{3\ 3}$ 为第 i 指标第 j 号试验的评分值; y_{ij}^3 为统一趋势后第 i 个指标第 j 号试验的指标值; y_{\max}^3

y_{min}^3 分别表示统一趋势后, 第 i 个指标的最大值和最小值。

21213 计算综合加权评分值

每号试验的综合加权评分值 y^3 可由 (3) 式计算得出, 见表 3。

$$y_j^3 = \prod_{i=1}^5 p_i y_{ij}^{3/3} \quad j=1, 2, \dots, 27 \quad (3)$$

式中 y_j^3 为第 j 号试验的综合加权评分值, p_i 表示第 i 个指标的权数, $0 < p_i < 1, \sum_{i=1}^5 p_i = 1, y_{ij}^{3/3}$ 意义

同 (2) 式。

3 试验结果分析

311 直观分析

根据综合加权评分值越小越好的原则, 从正交试验方案得第 7 号试验结果最好, 其组合为 $A_1 B_3 C_1 D_3 E_3 F_3 G_2 H_2$ 。

312 极差 R 分析

根据加权评分值计算每个因素的 k 值, R 值见表 4。

表 4 综合分析表

Table 4 Table of synthetical analysis

	A	B	A × B	A × B	C	A × C	A × C	D	E	F	G	H	误差
k_1	111102	111126	106165	106	109169	10515	114	118165	111145	11219	11616	10411	10311
k_2	111113	113159	122198	115	109106	10918	101	105168	119151	105151	10019	10317	11412
k_3	108126	105156	100178	109	111167	11511	115	106109	99145	11214	11219	11916	11312
R	2187	8103	2212	912	2161	916	1312	12197	20106	7139	1517	1519	1111

31211 因素的主次

由 R 值可得因素的主次为: $A \times B \ E \ H \ G \ A \times C \ D$ 误差 $B \ F \ A \ C$ 。从因素的主次可见: 虽然 A 、 C 因素都是次要因素, 但 $A \times B$ 、 $A \times C$ 为主要影响“因素”, 故 $A \times B$ 、 $A \times C$ 的交互作用不可忽略。

31212 水平的优劣

A 、 B 、 C 因素水平的优劣由交互作用决定, 交互作用的大小由交互作用搭配表来计算, 根据试验方案和综合加权评分值计算 $A \times B$ 、 $A \times C$ 的交互作用见表 5、表 6。由表 5、表 6 可得 $A_1 B_3 A_1 C_2$ 组合最好。 A 、 B 、 C 因素的较优水平为: A_1 、 B_3 、 C_2 ; D 、 E 、 F 、 G 、 H 因素的较优水平由 k 值确定。由表 4 的 k 值得 D_3 、 E_3 、 F_3 、 G_2 、 H_2 为较优水平。

表 5 $A \times B$ 的搭配表

Table 5 Table of $A \times B$ groups

	A 1	A 2	A 3
B_1	34186	41137	35106
B_2	44116	33172	35171
B_3	31199	36108	37149

31213 较优配方

由以上分析得较优配方为 $A_1 B_3 C_2 D_2 E_3 F_2 G_2 H_2$ 。即: KC1 为 2%、PAM 为 0.125%、CPA 为 0.125%、HPAN 为 0.115%、CM S 为 0.12%、SAS 为 3%、搬土为 3%、温度为 120℃。与直观分析的主要因素水平是相同的。

表 6 $A \times C$ 的搭配表

Table 6 Table of $A \times C$ groups

	A 1	A 2	A 3
C_1	36173	33172	37149
C_2	33164	36108	35106
C_3	40165	41134	35171

经过直观析、 R 分析及交互作用分析选出的最优泥浆配方为 $A_1 B_3 C_2 D_2 E_3 F_2 G_2 H_2$ 。用此配方重新做了试验, 结果综合加权评分值降为 812, 所配的泥浆性能稳定, 钻井速度快, 井壁质量好。

4 结 论

综合加权评分法是分析多指标试验结果严密、有效的方法之一。本文应用综合加权评分法解决了钻井泥浆配方中各指标变化趋势不同、数量级不同带来的指标间没有可比性的问题; 克服了多指标分析中可能产生的矛盾; 提出了确定权值的方法。从实践过程看, 用该方法所筛选出的钻井泥浆配方钻井速度快、井壁不倒塌、洗井容易, 节省成本 18% 左右, 提高生产率 15%, 经济效益显著。

[参 考 文 献]

[1] 北京大学数学系试验设计组 正交试验法[M] 北京: 科学普及出版社, 1979.

[2] 何月娥等著 农机试验设计[M] 北京: 机械工业出版社, 1986 1~ 30

[3] 张尧庭 概率统计[M] 北京: 中央广播电视大学出版社, 1984 19~ 26

Experimental Study on Optimizing Mud Prescription for Well Drilling by Using Comprehensively Weighted Grading Method

Wu Jianmin¹, Tao Juchun

(1)Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2)Northwest China Teachers University, Maths and Information College, Lanzhou 730070, China)

Abstract: On the basis of the analysis of the factors affecting mud quality, the experiments of mud prescription for well drilling were conducted and the weighted grading values of the multi-target tests were calculated. With the combination of directly analyzing, ultra-difference analyzing, the best mud prescription was obtained and better economic benefit was produced by using this prescription in practice.

Key words: mud prescription for well drilling; comprehensively weighted grading method; prescription optimization by experiment

(上接第 40 页)

3 稿中的公式、外文字母、符号必须分清大小写、正斜体、上下脚标。文中图表力求简明清晰,只附最必要的,一般要求图表合计不超过 6 幅。表格采用三线表;插图须用绘图纸清绘,计算机绘图用激光打印,照片须用清晰原照。常用度量衡一律采用法定国际单位,单位符号以英文缩写字母表示。

4 请用打印稿和软磁盘投稿,也可用电子附件投稿,但应注意插图和表格的传送(有时图表打不开或发送无效)。来稿请附作者单位、详细通讯地址、邮编、电话、电子邮件地址及最快捷的联系方式。请自留底稿,不论刊用与否,恕不退稿。

5 来稿刊登与否由编委会经严格“三审制”审定,拟特请部分英文写作水平较高的同行专家审稿。对选用的稿件本刊有权修改、删节。对已录用刊发的论文收取 1500 元版面费。

6 参考文献只择最主要的著录,未公开发表的资料请勿引用。欢迎参考了解本刊已发表的有关成果。请按国标规定的格式著录参考文献。

8 本刊编委会及编辑部将向有关院士、专家及本刊编委组稿、特约稿,来稿要求及发表费用同样遵循本刊要求。

其他要求请参照本刊 2001 年第 1 期英文辑和本期刊登的“投稿须知”。

关于向国外宣传介绍中国农业工程院校和科研机构的事宜

本期英文版,继续向国外选择介绍中国部分

知名农业工程院系及科研机构。对于 2001 年第 1 期已做过一次介绍的单位,若愿意再宣传,可优惠刊登。对于没有宣传的单位,若愿意宣传,请速与编辑部联系。介绍图片资料要求如下:

11 介绍篇幅以 1~2 个 16 开彩页为限,提供所要介绍的彩色照片及英文介绍材料,包括图片文字说明。

21 介绍内容由各单位自定,可以介绍本单位的特色、规模、重点学科、博士点、博士生导师及专家教授、主要的教学和科研成果,与国内外专家的学术交流与合作等。总之,把你们最想宣传的传播出去。

31 宣传费用标准:介绍一页收取 2000 元,介绍二页收 3500 元。

41 欲介绍的院校请务于 2002 年 8 月 10 日前将介绍材料寄至本编辑部。

请各院校负责人尽早准备,也请本刊编委协助组稿、推荐介绍单位和提供寄送英文期刊的国外院校、科研机构和文献检索数据库等通讯地址。

来稿请寄:北京市朝阳区麦子店街 41 号,农业工程学报编辑部

邮 编: 100026

Email: Transcsae@agri.gov.cn

tcsae@sohu.com

联系人: 王应宽

联系电话: 010265929451, 65910066 转 2503