

正交设计选择泥浆配方初探

河北地质学院 沈洁清 巩象海 周 莉

江苏省南京大洼山矿区1010孔在使用无固相聚丙烯酰胺溶液作冲洗液钻进时,孔壁经常收缩或坍塌掉块,从而影响了金刚石绳索取心钻进的顺利进行。自采用正交设计和极差分析方法选定的低固相泥浆后,情况有了根本的变化。

一、泥浆的选择

(一)孔壁不稳定的主要原因

经分析,1010孔孔壁不稳定有两方面原因:

1.地质因素 该钻孔有很长一段孔壁裂隙发育,裂隙充填的是泥质、钙质胶结的砂岩物质。水渗入裂隙后,充填物极易水化分散,使岩体联结力减弱;此外,松散的粉砂质泥岩和泥质粉砂岩自身联结力差;泥质胶结的角砾岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩等岩层水敏性强,遇水容易水化分散和膨胀。

2.工艺因素 主要是原来所用冲洗液选型不当。从岩样浸泡试验可以知道它不能适应该地层护壁防塌的要求。

(二)泥浆配方的初步选择

根据本钻孔地层特点,在作了普通泥

浆、PHP溶液、PHP泥浆的浸泡试验后,决定选用PHP泥浆作为该孔的冲洗液。

1.性能指标要求的确定 根据孔壁不稳定原因及绳索取心钻进的特点,要求泥浆性能为:粘度22—28s、失水量8—12ml/30min,比重1.02—1.05g/cm³, pH值8—9。

2.配料选择 考虑到泥浆的类型和性能指标的要求以及机台条件,选用南京产的以水云母和高岭石为主的红粘土(这种土造浆能力差)。处理剂采用Na₂CO₃、Na-CMC、PHP(分子量为200万、浓度7%、水解度30%)。

3.处理剂用量 加土量为5%,Na₂CO₃用量以控制失水量、粘度和pH值为准,加量为粘土重量的3%;PHP以控制失水量和粘度为目标,根据试验(图1)初定为300ppm;Na-CMC用量根据试验(图2)选定为0.2%。

二、PHP低固相泥浆配方的确定

(一)正交试验设计

1.因素和水平的确定 泥浆由四种原料

内径,以降低沿程损失;其次,有必要选用更大泵压的水泵。随着泵压的增高,还应考虑选用连接强度更大的高压胶管接头,如拉紧式接头。

3.孔径大 也是煤田钻探与其他固体矿床勘探孔的不同之处。随着煤质化验项目的增多,要求煤心直径越来越大。由于钻孔

钻杆外环间隙也大,钻机转速提高受到限制,所以常规金刚石钻进的效果不理想。冲击回转钻进要求的转速却不高,恰好与煤田钻探现有设备相适应。但目前现有冲击器直径偏小,不能适应煤田钻探要求,应考虑设计Φ89mm或更大一级的冲击器,以适应实际施工的需要。

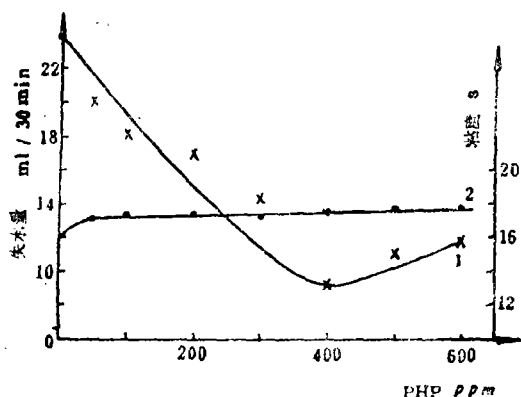


图1 PHP浓度对失水量、粘度的影响
1—失水量变化曲线；2—粘度变化曲线

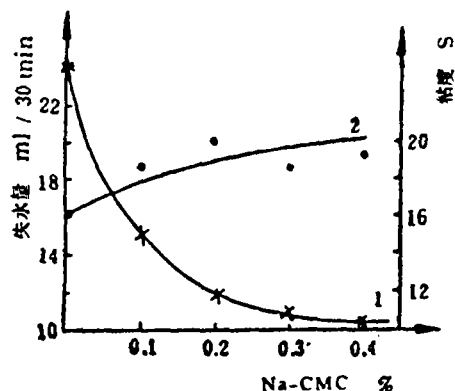


图2 Na-CMC对失水量、粘度的影响
1—失水量变化曲线；2—粘度变化曲线

配成，所以试验的因素共有10个，其中包括粘土、PHP、 Na_2CO_3 、Na-CMC的加量构成A、B、C、D4个基本因素，其他6个因素则由这4个基本因素的交互作用 $A \times B$ 、 $A \times C$ 、 $A \times D$ 、 $B \times C$ 、 $B \times D$ 、 $C \times D$ 构成。以初选量作为基本因素的中间等级，试验确定为3个水平（表1）。

2. 正交表的确定 根据试验因素数量(10)、水平数以及正交表选择原则，选用 $L_{27}(3^4)$ 正交表（该表最多可安排13个因素，因素的水平数为3，与本设计相一致）。设计要求做27次试验。正交表表头设计见表2。

3. 正交设计试验安排和计算结果

表1

水	因 素			
平	A(粘土) %	B(PHP) ppm	C(Na_2CO_3) %	D(Na-CMC) %
1	4	200	2	0.1
2	5	300	3	0.2
3	6	400	4	0.3

表2

列号	1	2	3	4	5	6
因素	A	B	$C \times D$	$A \times B$	C	$B \times D$

续表2

列号	7	8	9	10	11	12	13
因素	$A \times C$	$B \times C$	D	$A \times D$			

表3

因 素	列/序号	1	2	3	.....	25	26	27
A 粘土	1	1	1	1	.....	3	3	3
B PHP	2	1	1	1	.....	3	3	3
$C \times D$	3 水	1	1	1	.....	2	2	2
$A \times B$	4	1	1	1	.....	1	1	1
C Na_2CO_3	5	1	2	3	.....	1	2	3
$B \times D$	6	1	2	3	.....	3	1	2
$A \times C$	7	1	2	3	.....	2	3	1
$B \times C$	8 平	1	2	3	.....	3	1	2
D Na-CMC	9	1	2	3	.....	2	3	1
$A \times D$	10	1	2	3	.....	1	2	3
失水量 ml/30min		11.1	9	8	.....	9.8	7.9	10
试 泥皮强度 h		5.25	11.37	19.67	.....	20.5	25	20.5
粘 度 S		21	26.5	44	.....	33.5	53	27.5
结 比重 g/cm ³		1.024	1.025	1.025	.....	1.028	1.038	1.03
果 pH		7.8	8	9	.....	8	8.8	9
泥皮厚 mm		<0.5	<0.5	<0.5	.....	<0.5	<0.5	<0.5

分别列于表3、表4。

(二) 因素主次的确定与分析

由表4可以看到，不同因素影响下，泥浆某一性能指标的极差值是不同的。极差值的不同表明不同因素对泥浆性能有着不同程度的影响，极差值大，影响程度就大，反之则影响小。根据表4所列极差值的大小，可以列出10个因素对泥浆

表 4

数 据 名 称	水 平 号	因 素									
		A	B	C × D	A × B	C	B × D	A × C	B × C	D	A × D
		列					号				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
失水量 平均值 K'	1	9.13	8.96	9.02	9.47	9.07	9.89	8.89	8.59	9.86	9.47
	2	9.27	9.03	9.24	8.6	9.06	8.76	9.43	9.1	9.1	9.13
	3	8.54	9.02	8.78	8.98	8.92	8.43	8.72	9.36	8.11	8.89
极差值 $R' = K'_{max} - K'_{min}$		0.73	0.07	0.46	0.87	0.15	1.43	0.071	0.77	1.75	0.56
泥皮强度 平均值 K''	1	15.86	14.79	13.5	19.77	18.48	14.9	17	17.73	11.32	15.1
	2	18.1	17.15	17.53	14.74	15.81	20.53	15.28	16.21	20.76	16.84
	3	17.24	19.28	20.18	17.32	16.93	15.78	18.93	17.28	19.16	19.28
极差值 $R'' = K''_{max} - K''_{min}$		2.24	4.49	6.68	4.43	2.67	5.63	3.65	1.52	9.44	4.18
粘 度 平均值 K'''	1	30.1	35.2	34.3	32.1	35.1	30.8	36.2	37.8	24.1	31.2
	2	27.4	33.8	31.3	33.3	31.3	35.7	30.9	30.2	32.2	37.6
	3	43.7	32.1	35.5	35.8	31.8	34.7	34	33.2	44.8	32.4
极差值 $R''' = K'''_{max} - K'''_{min}$		16.3	3.1	4.2	3.7	3.8	4.9	5.3	7.6	20.7	6.4

表 5

序	号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
指标		主要因素					次要因素				
失水	极差值	1.75	1.43	0.87	0.77	0.73	0.56	0.46	0.15	0.071	0.07
	因 素	D	B × D	A × B	B × C	A	A × D	C × D	C	A × C	B
粘度	极差值	20.7	16.3	7.6	6.4	5.3	4.9	4.2	3.8	3.7	3.1
	因 素	D	A	B × C	A × D	A × C	B × D	C × D	C	A × B	B
泥皮强度	极差值	9.44	6.68	5.63	4.49	4.43	4.18	3.65	2.67	2.24	1.52
	因 素	D	C × D	B × D	B	A × B	A × D	A × C	C	A	B × C

主要性能影响主次顺序表 (表 5)。

由表 5 看出, 影响泥浆失水量、粘度和泥皮强度的主要因素是 D (Na-CMC); 影响各项性能的因素, 各有不同主次排列顺序。

1. 影响失水量的因素

(1) 除 Na-CMC 之外, 第二位的是 PHP 与 Na-CMC 的相互关系 (B × D)。根据交互作用计算值, 可作图 3。从图 3 可以看出, 当 Na-CMC:PHP = 0.3%:200 ppm 时, 泥浆失水量最小, 并有继续下降

的趋势; 当 PHP 为 300 ppm 时, 随着 Na-CMC 浓度的增加, 失水量开始上升, 然后下降; 当 PHP 为 400 ppm 时, 则先下降而后上升。由此可以看出, Na-CMC 与 PHP 的搭配是否合理对失水量影响很大, 因此, 必须认真确定其搭配关系。

有文章认为 Na-CMC 与 PHP 对粘土的作用方式不同, 前者起分散作用, 后者起絮凝作用, 两者不能同时用于一种泥浆。从本次试验情况看, 不完全是这样。它们之间有

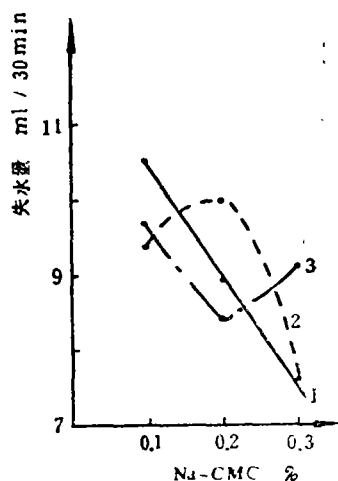


图3 B、D交互作用对失水量的影响

1—B为200ppm; 2—B为300ppm; 3—B为400ppm

矛盾的一面,如两者处于同一水平时,泥浆失水量达最大值。但从图2、图3的比较中又可以发现,只加入Na-CMC,没加入PHP的泥浆,其失水量都比同时加入两种处理剂的大(前者为15—11ml/30min,后者为10.5—7.5ml/30min)。我们认为它们对粘土的作用机理与无机处理剂是不同的。它们属高分子聚合物,都具有吸附基团和水化基团,都是通过分子链的吸附基团吸附粘土颗粒,使其分散稳定,形成网状结构的。只是PHP以吸附基团为主,而Na-CMC以水化基团为主,两者侧重不同罢了。如果两者搭配关系得当,它们的特长就可同时得以发挥,从而使泥浆形成既有吸附大量水分子的PHP与Na-CMC,又有粘土颗粒架桥联结的致密网状结构。问题的关键在于如何搭配得当。

(2) 粘土与PHP的交互作用对失水量的影响见图4。从图4可以看到,当加土量为4%、5%时,随着PHP的增加,失水量变化的趋势总的来说是下降;当加土量为6%时,PHP增加,失水量上升。在PHP含量为200ppm时,加土量增大,失水量下降,当加土量为6%时,失水量最低,为

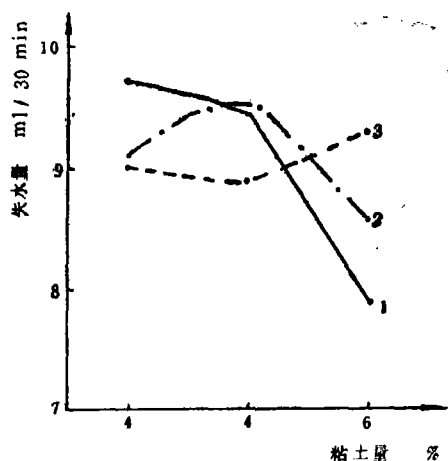


图4 A、B交互作用对失水量的影响

1—PHP含量为200ppm;

2—PHP含量为300ppm;

3—PHP含量为400ppm

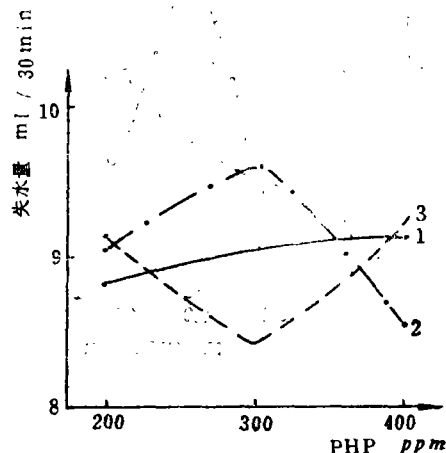


图5 B、C交互作用对失水量的影响

1—C(Na_2CO_3)为2%;

2—C为8%; 3—C为4%

7.87ml/30min。

(3) PHP与 Na_2CO_3 交互作用对失水量的影响见图5。图5表明,加碱量太低时,失水量随PHP浓度增加而上升,PHP浓度太低时,失水量随加碱量增加而上升。在讨论的范围内,加碱量为4%,PHP浓度为300ppm时,失水量最小为8.43ml/30min。

2. 影响泥皮强度的因素 本文所指泥皮强度,是岩样浸泡出现松塌剥落的时间。因

为在岩样相同的条件下,浸泡时间的长短,直接反映了泥皮质量的好坏。

由表5可知影响泥皮强度的各因素的主次顺序。而Na-CMC与 Na_2CO_3 、Na-CMC与PHP的交互作用情况见图6、图7。

由图8可以看到,当Na-CMC加量为0.1%时, Na_2CO_3 加量的改变对泥皮强度影响不大;Na-CMC加量增加后, Na_2CO_3 加量的改变对泥皮强度影响较大。在Na-CMC加量为0.2%、加碱量为4%时,泥皮强度最大。从图8可以看出,Na-CMC加量为0.2%时,PHP加量改变对泥皮强度影响不大;当Na-CMC加量增加或减小时,PHP加量的改变对泥皮强度影响较大。

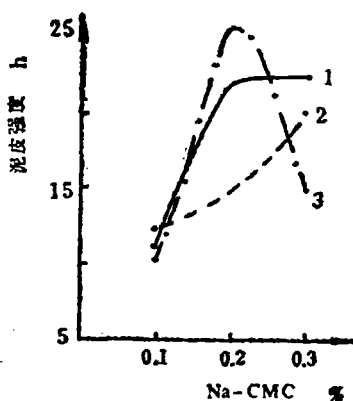


图6 C、D交互作用对泥皮强度的影响

1—C为2%; 2—C为3%; 3—C为4%

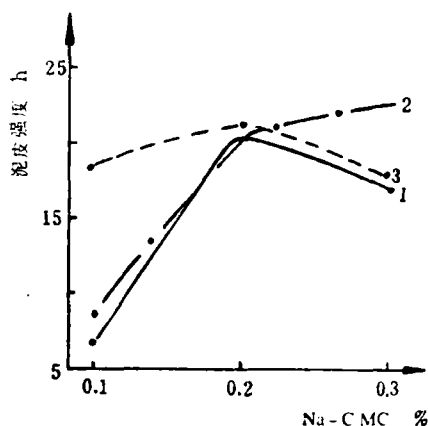


图7 B、D交互作用对泥皮强度的影响

1—B浓度为200ppm; 2—B为300ppm;
3—B为400ppm

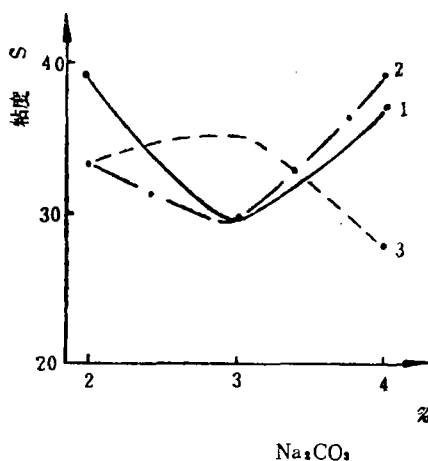


图8 B、C交互作用对粘度的影响

1—B为200ppm; 2—B为300ppm; 3—B为400ppm

当PHP加量为300ppm, Na-CMC为0.3%时,泥皮强度最大。

3.影响粘度的因素 由极差分析表5可知,影响泥浆粘度的各因素的主次顺序是:Na-CMC、加土量以及PHP与 Na_2CO_3 的交互作用。其中,Na-CMC和粘土对粘度的影响人所共知,不再赘述,至于PHP与 Na_2CO_3 的交互作用对粘度的影响可见图8。

(三)基本因素水平的确定

为分析方便起见,泥浆失水量、泥皮强度和粘度分别用 K' 、 K'' 、 K''' 表示(见表4),并将影响因素及水平标注在 K' 、 K'' 、 K''' 的右下角,如 K'_{A1} 、 K'_{B2} 、 K'''_{C3} 。

1.根据失水量确定基本因素的水平 各因素不同水平失水量平均值的关系如下:
 $K'_{A3} < K'_{A1} < K'_{A2}$, $K'_{B1} < K'_{B3} \leq K'_{B2}$,
 $K'_{C3} < K'_{C2} < K'_{C1}$, $K'_{B3} < K'_{B2} < K'_{B1}$ 。若以各基本因素下失水量平均效应最小来考虑,基本因素的水平确定为 $A_3B_1C_3D_3$ 。若以各基本因素的交互作用的影响来选取, $B_1 \times D_3$ 、 $A_3 \times B_1$ 、 $B_2 \times C_3$ 时泥浆失水量最小,故最后确定各基本因素的水平为 $A_3B_1C_3D_3$ 。

2.以泥皮强度确定基本因素的水平 各基本因素不同水平泥皮强度平均值的相互关

系为: $K_{A2}'' > K_{A3}'' > K_{A1}''$; $K_{B3}'' > K_{B2}'' > K_{B1}''$;
 $K_{C1}'' > K_{C3}'' > K_{C2}''$; $K_{D2}'' > K_{D3}'' > K_{D1}''$ 。

若以泥皮强度最大平均效益为标准来选取水平, 应选 A2B3C1D2。若根据图6、图7, 以交互作用的影响选取, 则选 C3×D2、C1(C2)×D2、B2×D3、B3×D2。结合两者进行选取, 最后确定为 A2B2C3D2。

3. 以粘度选取基本因素的水平 根据各基本因素不同水平的粘度平均值的大小关系: $K_{A2}' \leq K_{A1}' < K_{A3}'$, $K_{B3}' < K_{B2}' < K_{B1}'$, $K_{C2}' \leq K_{C3}' < K_{C1}'$, $K_{D1}' < K_{D2}' < K_{D3}'$, 以粘度最小值确定水平, 选取 A2B3C2(或C3)D1。以交互作用的影响选取, 根据图8应为 B3×C3或B1(B2)×C2。综合两种要求, 选取 A2B3C3D1。

综合以上三种方法选定的配方: A3B1C3D3、A2B2C3D2、A2B3C3D1, 结合重点控制失水量, 降低固相含量(绳索取心钻进的要求)和减少泥浆费用的要求, 最后确定配方为 A2B1C3D3。

由表5可知, 对泥浆性能影响最大的因素是 Na-CMC(D)。为进一步验证它的作用, 配制了 A2B1C3D1、A2B2C3D2、A2B1C3D3 泥浆, 其性能列于表6。从表6中可以看到 A2B1C3D3 配方的失水量最小, 泥皮强度最大, 当然其粘度也最大, 不过这是意料之中的事, 只要泥浆剪切稀释作用好, 对于本钻孔还是有利的, 故最后确定使用这种配方的泥浆进行钻进。

三、生产试验

泥浆配制过程是这样的: 先把 Na-

表 6

配 方	粘度 s	失水量 ml/30min	泥皮强度 h	泥皮厚 mm	比重 g/cm ³	pH 值
A2B1C3D1	27	11.8	18	<0.5	1.03	8.5
A2B1C3D2	36	9	23	<0.5	1.03	8.5
A2B1C3D3	44	7.5	25	<0.5	1.02	8.5

CMC、PHP 分别溶解成低浓度溶液, 然后在水中依次加入土、Na₂CO₃、Na-CMC, 搅拌10分钟, 再加入PHP溶液, 再搅拌20分钟即成。在添加溶液时, PHP和Na-CMC的加入顺序是不可颠倒的, 否则, 泥浆将出现絮凝, 以后即使加入Na-CMC, 絮凝物也不会分散。

钻进试验是从孔深 630 米处开始的, 此后钻进地层主要是炭质泥岩及泥质粉砂岩, 均属水敏性地层, 岩石较破碎, 夹层多。试验结果证明, 泥浆具有较好的护孔固壁的能力。

(1) 起下钻畅通无阻, 没有再出现夹卡现象。

(2) 从取出的岩心来看, 结构比较完整, 黑色炭质粉砂岩里极薄的泥岩夹层, 都能被完整保留。在 635m 处取出的岩心中, 30mm 夹层与砂岩接触良好, 未出现脱落。

(3) 以往因孔壁不稳定, 转速只能开到 355r/min。换浆后, 曾多次转速提高到 415 r/min, 甚至 500r/min, 钻具仍能运转平稳, 并无掉块卡钻现象。

生产试验表明, 采用正交设计法配制泥浆, 只要基本因素、水平选取得当, 可以以最快速度选得最佳配方。本孔采用的 A2B1C3D3 配方, 对于抑制孔壁坍塌, 维护孔壁稳定性是很有效的, 而且不妨碍绳索取心钻进, 只是不适合于漏失地层。