

## 61-64, 泡沫钻进流体压力损失的研究

封三

杨世忠 陈惟明 屠厚泽

(中国地质大学·武汉·430074)

p 634.6

A

为了研究泡沫钻进中泡沫流体压力损失的变化规律,建立室内模拟试验台。  
通过大量实验,得出结论。

关键词 泡沫流体, 压力损失, 实验设计

钻井液

泡沫钻进技术是以含压缩空气的泡沫气液混合物作冲洗介质,既用其作冲洗介质,又可兼作破岩机具的动力的一种新型钻进技术。为了了解泡沫在环空中的流动状态及流变特性,笔者建立了室内模拟试验台,利用垂直回转钻进循环模拟系统作为泡沫流动通道,配以空压机、泡沫发生器、可控硅无极调速回转装置,用多组精密传感器和各种仪表检测泡沫流体的各种动态参数,同时

通过 A/D 转换器由微机实时采集记录,然后对所测得的流动参数实时处理,形成数据文件,处理分析后,得出泡沫流体压损与气液比、回转速度等之间的关系。

## 1 实验装置与设备

实验时要求对泡沫流体压损进行实时采集,气液比和钻杆转速随机可调。整个实验设备框图如图 1。

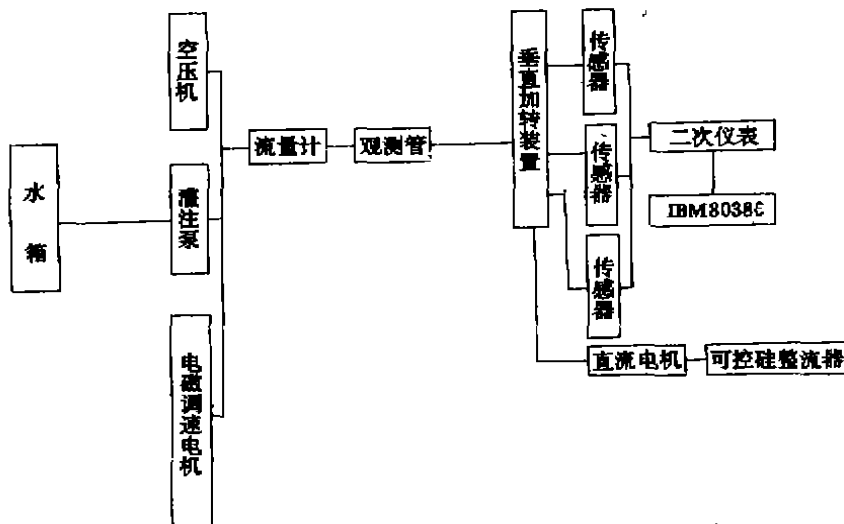


图 1 设备框图

从上面设备框图可以看出,整个实验装置可分为三大部分。

## 1.1 泡沫供给系统

供液系统是整个实验装置的基础,由水箱、空压机、三缸灌注泵和一台 JZTYZ2-4 型电磁调速异步电机组组成,通过调整空压机

风量或灌注泵泵量,改变输入实验的泡沫流体的气液比,由于灌注泵电机采用的是电磁无极调速异步电机,能得到其量程范围内任何大小的转速,因此可以产生所需的各种气液比。产生的泡沫流体通过一段水平管路进入到垂直回转环空中。水平管路上装有一透明有机玻璃管,用来观察泡沫流体流动情况。

### 1.2 回转系统

回转部分是整个实验的核心,由自行设计加工的垂直回转管、Z2-51型直流调速电机和KGSA型可控硅整流器组成。泡沫液由从水平管路进入垂直回转管环隙中。垂直回转管由 $\varnothing 89\text{mm}$ 的套管和 $\varnothing 50\text{mm}$ 的钻杆组成,试验段长度6.25m。下端通过密封轴承钻杆与皮带轮连接。根据实验的需要,钻杆中部留有一钻杆接头,目的是研究孔内变径处局部损失。外管上有一排小孔,可与传感器任意连接。可控硅整流器调整输出电流大小,随机改变直流电机的转速,通过皮带轮传动带动钻杆,以获得所需回转速度。进排液管处装压力表或压力传感器,排液管口装有阀门,以得到背压值。

### 1.3 采集系统

采集系统由传感器、二次仪表、A/D转换器和IBM386微机组成,是整个实验系统的关键部分。采集硬件系统框图如图2。

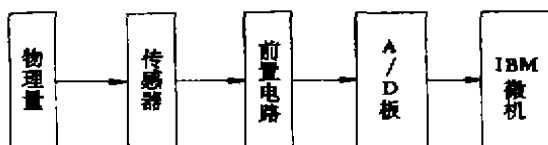


图2 硬件系统框图

泡沫流动时的各种瞬时参数通过安装在垂直回转管上的传感器组传递给二次仪表(前置电路),由二次仪表处理后经过A/D数模转换器进行模数转换,最后微机进行实时采集,得到所需的精确数据。传感器型号有KYC-WB型,量程0.03MPa,编号93001和93023;美国MT差压传感器,量

程0.01MPa,B级精度,编号01和02。二次仪表包括稳压电源板(12V)和放大电路板、滤波电路及对传感器输出信号的模拟处理。A/D板系16通道数模转换板,采样脉冲频率为102.564kHz和1000.0kHz两种,可随时选择。此A/D板转换为逐次逼近型。数字输出格式为串行输出。

## 2 实验设计及方法

对几种不同发泡剂所形成的泡沫流体进行实验,测量在各种气液比、不同回转速度下的压力损失值。

实验中采用的发泡剂主要有两种:ADF发泡剂和ABS发泡剂。作发泡效果实验结果表明:ADF发泡剂的最佳发泡浓度为3%,ABS发泡剂为5%。故实验时ADF浓度为3%,ABS的浓度为5%。

拟采用三组不同气液比,分别定为300:1,200:1,100:1。根据空压机压缩空气量( $Q_a = 1.6\text{m}^3/\text{min}$ )泡沫液灌注泵泵量和转速关系,得出气液比对应发泡剂加量和泡沫液灌注泵转速间的关系为表1。

表1 气液比与之对应泵转速关系表

| $Q_a/Q_m$           | 100:1 | 200:1 | 300:1 |
|---------------------|-------|-------|-------|
| $Q_m(\text{l/min})$ | 15.0  | 7.5   | 5.0   |
| $n(\text{r/min})$   | 1125  | 575   | 400   |

采用的回转速度为500n/min,400n/min和300n/min,对应的电流值分别为25A,20A,15A。

传感器01号跨距为0.4m,与A/D转换器上0通道对应连接,93001号跨距1.2m,其跨段孔内有钻杆接头,与A/D转换器上1通道对应接口,93023号跨距亦为1.2m,对应2通道。以上三传感器依次由下向上排列连接于管外壁小孔上。

实验顺序:先做ADF发泡剂,调3%浓度。ADF压损数据文件对应状态由表2所示。

完成 ADF 发泡剂流体的各组实验后, 再进行 ABS 发泡剂流体的实验(表 3)。

表 2 ADF 标准压损数据文件

| $\frac{Q_a}{Q_w}$<br>$ch$ |     | 300 : 1 |         |         | 200 : 1 |         |         | 100 : 1 |         |         | 0       |         |         |
|---------------------------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                           |     | 0       | 1       | 2       | 0       | 1       | 2       | 0       | 1       | 2       | 0       | 1       | 2       |
| n                         | 500 | ADF13C0 | ADF13C1 | ADF13C2 | ADF13C0 | ADF12C1 | ADF12C2 | ADF11C0 | ADF11C1 | ADF11C2 | ADF10C0 | ADF10C1 | ADF10C2 |
|                           | 400 | ADF23C0 | ADF23C1 | ADF23C2 | ADF23C0 | ADF22C1 | ADF22C2 | ADF21C0 | ADF21C1 | ADF21C2 | ADF20C0 | ADF20C1 | ADF20C2 |
|                           | 300 | ADF33C0 | ADF33C1 | ADF33C2 | ADF32C0 | ADF32C1 | ADF32C2 | ADF31C0 | ADF31C1 | ADF31C2 | ADF30C0 | ADF30C1 | ADF30C2 |
|                           | 0   | ADF43C0 | ADF43C1 | ADF43C2 | ADF42C0 | ADF42C1 | ADF42C2 | ADF41C0 | ADF41C1 | ADF41C2 | ADF40C0 | ADF40C1 | ADF40C2 |

表 3 ABS 标准压损数据文件

| $\frac{Q_a}{Q_w}$<br>$ch$ |     | 300 : 1 |         |         | 200 : 1 |         |         | 100 : 1 |         |         | 0       |         |         |
|---------------------------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                           |     | 0       | 1       | 2       | 0       | 1       | 2       | 0       | 1       | 2       | 0       | 1       | 2       |
| n                         | 500 | ABS13C0 | ABS13C1 | ABS13C2 | ABS12C0 | ABS12C1 | ABS12C2 | ABS11C0 | ABS11C1 | ABS11C2 | ABS10C0 | ABS10C1 | ABS10C2 |
|                           | 400 | ABS23C0 | ABS23C1 | ABS23C2 | ABS22C0 | ABS22C1 | ABS22C2 | ABS21C0 | ABS21C1 | ABS21C2 | ABS20C0 | ABS20C1 | ABS20C2 |
|                           | 300 | ABS33C0 | ABS33C1 | ABS33C2 | ABS32C0 | ABS32C1 | ABS32C2 | ABS31C0 | ABS31C1 | ABS31C2 | ABS30C0 | ABS30C1 | ABS30C2 |
|                           | 0   | ABS43C0 | ABS43C1 | ABS43C2 | ABS42C0 | ABS42C1 | ABS42C2 | ABS41C0 | ABS41C1 | ABS41C2 | ABS40C0 | ABS40C1 | ABS40C2 |

每次实验完毕,均要记录静止基值。

### 3 结果分析及结论

由于采集时是几个通道同时进行,并且所有通道的数值按一定规律存于一个数据文件内,因此首先必须对数据进行分离归

类;然后对这些单个传感器的数据文件进行数据滤波;由于目前传感器性能尚不能充分满足高线度重复性要求,为了弥补它的线性度不足问题,就必须对数据进行线性平滑处理。再通过求均值、方差、标准差及相关分析、频谱分析、回归分析等得出具体结论。

表 4 01 传感器压损均值方差标准计算(ADF)

| 文件名<br>计算值 | ADF13C0               | ADF12C0               | ADF11C0               | ADF23C0               | ADF22C0               | ADF21C0               | ADF33C0              | ADF32C0               | ADF31C0              |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| 均值         | 1.307                 | 1.459                 | 1.461                 | 1.277                 | 1.296                 | 1.298                 | 0.769                | 0.815                 | 0.820                |
| 方差         | $8.70 \times 10^{-5}$ | $8.61 \times 10^{-3}$ | $1.64 \times 10^{-2}$ | $1.13 \times 10^{-2}$ | $1.25 \times 10^{-2}$ | $1.35 \times 10^{-3}$ | $4.1 \times 10^{-3}$ | $5.15 \times 10^{-3}$ | $6.9 \times 10^{-3}$ |
| 标准差        | $9.34 \times 10^{-2}$ | $9.30 \times 10^{-2}$ | $1.28 \times 10^{-1}$ | $1.06 \times 10^{-1}$ | $1.1 \times 10^{-1}$  | $1.2 \times 10^{-1}$  | $6.4 \times 10^{-2}$ | $7.2 \times 10^{-2}$  | $8.3 \times 10^{-2}$ |

表 5 01 传感器在 ABS 发泡剂下压损数值

| 文件名<br>计算值 | ABS13C0              | ABS12C0              | ABS11C0              | ABS23C0              | ABS22C0              | ABS21C0              | ABS33C0              | ABS32C0              | ABS31C0              |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 均值         | 1.259                | 1.274                | 1.726                | 1.305                | 1.317                | 1.331                | 1.288                | 1.301                | 1.334                |
| 方差         | $4.4 \times 10^{-3}$ | $5.6 \times 10^{-3}$ | $5.8 \times 10^{-3}$ | $6.2 \times 10^{-3}$ | $6.0 \times 10^{-3}$ | $6.1 \times 10^{-3}$ | $3.4 \times 10^{-3}$ | $2.3 \times 10^{-3}$ | $1.7 \times 10^{-3}$ |
| 标准差        | $6.6 \times 10^{-2}$ | $7.5 \times 10^{-2}$ | $7.6 \times 10^{-2}$ | $7.9 \times 10^{-2}$ | $7.7 \times 10^{-2}$ | $7.8 \times 10^{-2}$ | $5.8 \times 10^{-2}$ | $4.8 \times 10^{-2}$ | $4.2 \times 10^{-2}$ |

以上两表为 ADF 发泡剂和 ABS 发泡剂所形成的泡沫流体在 01 传感器所测得的压损值均值及方差和其标准差。均值单位 0.01MPa/m。

传感器 93001 和 93023 在 ADF 发泡剂和 ABS 发泡剂泡沫流体所测的压损均值、方差及标准差对比值分别见于表 6、7、8、9、10(单位:0.01MPa/m)。

表 6 93001 传感器压损均值、方差、标准差计算(ADF)

| 文件名<br>计算值 | ADF13C1              | ADF12C1              | ADF11C1              | ADF23C1              | ADF22C1              | ADF21C1              | ADF33C1              | ADF32C1              | ADF31C1              |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 均值         | 0.165                | 0.203                | 0.205                | 0.161                | 0.216                | 0.231                | 0.159                | 0.181                | 0.197                |
| 方差         | $2.4 \times 10^{-3}$ | $5.7 \times 10^{-3}$ | $4.5 \times 10^{-3}$ | $1.4 \times 10^{-3}$ | $2.3 \times 10^{-3}$ | $3.4 \times 10^{-3}$ | $1.5 \times 10^{-3}$ | $2.4 \times 10^{-3}$ | $2.1 \times 10^{-3}$ |
| 标准差        | $4.9 \times 10^{-2}$ | $7.5 \times 10^{-2}$ | $6.7 \times 10^{-2}$ | $3.7 \times 10^{-2}$ | $4.8 \times 10^{-2}$ | $5.0 \times 10^{-2}$ | $3.9 \times 10^{-2}$ | $4.8 \times 10^{-2}$ | $4.6 \times 10^{-2}$ |

表 7 93001 传感器在 ABS 发泡剂下压损数值

| 文件名<br>计算值 | ABS13C1              | ABS12C1              | ABS11C1              | ABS23C1              | ABS22C1              | ABS21C1              | ABS33C1              | ABS32C1              | ABS31C1              |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 均值         | 1.15                 | 1.230                | 1.241                | 1.167                | 1.246                | 1.300                | 1.201                | 1.218                | 1.320                |
| 方差         | $5.0 \times 10^{-3}$ | $1.8 \times 10^{-3}$ | $4.4 \times 10^{-3}$ | $2.9 \times 10^{-3}$ | $4.3 \times 10^{-3}$ | $6.5 \times 10^{-3}$ | $5.5 \times 10^{-3}$ | $7.6 \times 10^{-3}$ | $6.2 \times 10^{-3}$ |
| 标准差        | $7.1 \times 10^{-2}$ | $4.3 \times 10^{-2}$ | $6.6 \times 10^{-2}$ | $5.4 \times 10^{-2}$ | $6.5 \times 10^{-2}$ | $8.2 \times 10^{-2}$ | $7.4 \times 10^{-2}$ | $8.7 \times 10^{-2}$ | $7.9 \times 10^{-2}$ |

表 8 传感器 93023 压损均值、方差、标准差计算(ADF)

| 文件名<br>计算值 | ADF13C2              | ADF12C2              | ADF11C2              | ADF23C2              | ADF22C2              | ADF21C2              | ADF33C2              | ADF32C2              | ADF31C2              |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 均值         | 0.008                | 0.011                | 0.020                | 0.042                | 0.044                | 0.060                | 0.041                | 0.045                | 0.040                |
| 方差         | $4.3 \times 10^{-3}$ | $2.4 \times 10^{-3}$ | $5.2 \times 10^{-3}$ | $4.3 \times 10^{-3}$ | $4.1 \times 10^{-3}$ | $2.7 \times 10^{-3}$ | $3.7 \times 10^{-3}$ | $3.5 \times 10^{-3}$ | $3.8 \times 10^{-3}$ |
| 标准差        | $5.6 \times 10^{-2}$ | $6.4 \times 10^{-2}$ | $7.2 \times 10^{-2}$ | $6.5 \times 10^{-2}$ | $6.4 \times 10^{-2}$ | $5.1 \times 10^{-2}$ | $6.1 \times 10^{-2}$ | $6.0 \times 10^{-2}$ | $5.2 \times 10^{-2}$ |

表 9 93023 传感器在 ABS 发泡剂下压损数值

| 文件名<br>计算值 | ABS13C2              | ABS12C2              | ABS11C2              | ABS23C2              | ABS22C2              | ABS21C2              | ABS33C2              | ABS32C2              | ABS31C2              |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 均值         | 0.630                | 0.635                | 0.671                | 0.422                | 0.314                | 0.320                | 0.787                | 0.714                | 0.797                |
| 方差         | $4.5 \times 10^{-3}$ | $5.5 \times 10^{-3}$ | $5.9 \times 10^{-3}$ | $7.2 \times 10^{-3}$ | $6.8 \times 10^{-3}$ | $5.8 \times 10^{-3}$ | $4.5 \times 10^{-3}$ | $3.4 \times 10^{-3}$ | $4.2 \times 10^{-3}$ |
| 标准差        | $3.7 \times 10^{-2}$ | $2.8 \times 10^{-2}$ | $3.2 \times 10^{-2}$ | $4.4 \times 10^{-2}$ | $5.8 \times 10^{-2}$ | $2.1 \times 10^{-2}$ | $3.3 \times 10^{-2}$ | $1.7 \times 10^{-2}$ | $7.9 \times 10^{-2}$ |

下表为不同传感器压损相关系数表:

表 10 不同传感器压损相关系数表

| $r_{xy}$ | ABS13C0 | ABS12C0 | ABS11C0 | ABS23C0 | ABS22C0 | ABS21C0 | ABS33C0 | ABS32C0 | ABS31C0 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ABS13C2  | 0.32    | 0.08    | 0.02    | 0.17    | 0.05    | 0.00    | 0.12    | 0.04    | 0.00    |
| ABS12C2  | 0.06    | 0.25    | 0.07    | 0.05    | 0.13    | 0.01    | 0.03    | 0.10    | 0.04    |
| ABS11C2  | 0.01    | 0.09    | 0.38    | 0.02    | 0.07    | 0.14    | 0.00    | 0.04    | 0.12    |
| ABS23C2  | 0.21    | 0.04    | 0.00    | 0.32    | 0.09    | 0.04    | 0.15    | 0.02    | 0.00    |
| ABS22C2  | 0.02    | 0.11    | 0.04    | 0.08    | 0.27    | 0.14    | 0.00    | 0.07    | 0.03    |
| ABS21C2  | 0.01    | 0.00    | 0.03    | 0.00    | 0.01    | 0.10    | 0.00    | 0.01    | 0.01    |
| ABS33C2  | 0.09    | 0.07    | 0.02    | 0.11    | 0.05    | 0.01    | 0.28    | 0.10    | 0.04    |
| ABS32C2  | 0.00    | 0.01    | 0.07    | 0.05    | 0.12    | 0.04    | 0.10    | 0.37    | 0.07    |
| ABS31C2  | 0.07    | 0.11    | 0.14    | 0.04    | 0.01    | 0.10    | 0.00    | 0.08    | 0.29    |

从表 4、5、6、7、8、9 中可以看出:ABS 发泡剂泡沫流体的压损值要普遍大于 ADF 发泡剂的泡沫流体。传感器 01 的压力损失值要大于相同条件下 93023 的压损值;跨钻

杆接头的 93001 传感器的压损要明显大于 93023 之值。从每个传感器中均可看出,随着气液比的变化,压损值按一定规律变化。

从方差和标准差值可知实验数据典型,