

泥 浆  
设 备  
手 册

7

# 离心机

〔美〕 格兰特·宾汉 比尔·卡格尔 查尔斯·格里克

石油工业出版社

泥浆设备手册 7

# 离心机

〔美〕 格兰特·宾汉 比尔·卡格尔 查尔斯·格里克  
王忠仁 译 王同良 校

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书原为国际钻井承包商协会泥浆循环分会组织编写的《泥浆设备手册》中的第八分册。书中介绍了离心机的基本工作原理和普遍使用的两种不同类型的离心机，并论述了离心机在石油工业中泥浆工程上的应用以及其机械特性、处理能力、安装、操作及维护等方面的内容。本书还附有测试钻井液的标准步骤、低密度固相和重晶石含量的计算方法、使用稀释法和离心机进行泥浆处理的成本分析以及其它有关资料。

本书可供石油钻井、矿场机械、泥浆专业技术人员和工人阅读，也可供离心机设计和制造人员参考，并可作为有关院、校师生的教学参考书。

MUD EQUIPMENT-MANUAL

Handbook 8,

Centrifuges

Grant Bingham Hill, Cagle, Charles Grichar

Gulf Publishing Company, 1983

泥浆设备手册 7

离心机

(美) 格兰特 宾汉 比尔·卡格尔 查尔斯 格里克  
王忠仁·译 王同良 校

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

北京顺义燕华营印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

850×1168毫米 32开本 3印张 77千字 印1—2,000  
1987年11月北京第1版 1987年11月北京第1次印刷

书号: 15037·2874 定价: 0.80元

ISBN 7-5021-0031-X/TE·31

# 目 录

7.1 离心机的应用 .....	( 1 )
7.1.1 钻井中固相的影响 .....	( 1 )
7.1.2 基本概念 .....	( 2 )
7.1.3 特性 .....	( 2 )
7.1.4 离心机在加重泥浆中的应用 .....	( 8 )
7.1.5 离心机在非加重泥浆中的应用 .....	( 24 )
7.1.6 在加重泥浆中关键操作的提示 .....	( 26 )
7.2 倾析式(实筒)离心机 .....	( 27 )
7.2.1 倾析式离心机原理 .....	( 28 )
7.2.2 倾析式离心机的应用 .....	( 32 )
7.2.3 倾析式离心机的处理能力 .....	( 38 )
7.2.4 倾析式离心机的分离效果 .....	( 39 )
7.2.5 安装和操作 .....	( 41 )
7.2.6 操作提示 .....	( 43 )
7.3 筛筒离心分离机 .....	( 45 )
7.3.1 设备部件 .....	( 45 )
7.3.2 基本原理 .....	( 48 )
7.3.3 分离特性小结 .....	( 53 )
7.3.4 旋转离心机的应用 .....	( 54 )
7.3.5 关键操作提示 .....	( 59 )
参考文献 .....	( 60 )
附录7A 测试泥浆的标准方法 .....	( 61 )
附录7B 低密度固相和重晶石固相的计算 .....	( 67 )
附录7C 离心机的经济效益 .....	( 78 )

附录7D 为减少低密度固相确定进口泥浆流量  
和循环次数 ..... ( 89 )

附录7E 本书非许用单位和许用单位换算表 ..... ( 91 )

## 7.1 离心机的应用

在五十年代初离心机问世以前，用振动筛和用水稀释是钻井作业中处理加重泥浆的唯一的、有效的方法。钻井中普遍采用的泥浆处理方法是，将一股两英寸水流加到一个池中，而将重晶石加到另一个池中，但必须是有规律地加，以避免溢出。幸运的是，如今的离心机已帮助淘汰了这种要浪费整个泥浆的、代价昂贵的做法。

对于加重泥浆，离心机主要是用来从钻井液中清除很小的固相颗粒。较大的固相（重晶石和钻屑固相）仍返回泥浆系统中。极小的钻屑固相、膨润土和重晶石固相将被清除。

在加重泥浆中，用离心机清除循环系统中的超细颗粒和胶体固相的含量，这一办法同时也解决了从前用水稀释而造成泥浆量过剩的问题。

在加重泥浆中，离心机还有其它用途，本书将对此进行极详细地论述。

离心机可提供一个相对来说比较干的底流，因此能用来处理液相昂贵的非加重泥浆。在这种情况下，通过底流清除了较大的固相，而溢流（溢流含有较小的颗粒）返回循环系统中。还有一些特殊的用途在后面论述。

有两种独特而又有商业价值的离心机：（1）倾析式实筒离心机（倾析式离心机）；（2）筛筒离心分离机（筛筒离心机）。这两种离心机主要的不同点之一是：倾析式离心机有一个比较干的底流；而筛筒离心机则有一个混浆底流。倾析式离心机将在7.2节中论述；筛筒离心机将在7.3节中论述。

### 7.1.1 钻井中固相的影响

在循环钻井液中添加固相是为了提供：（1）控制钻井中井下压力所需的泥浆密度；（2）悬浮加重材料的粘度；（3）清洗

井眼的流体性能；（4）很好的失水控制。钻进时，地层坍塌会引起一些无用固相进入泥浆中。

钻屑和坍塌的固相进入钻井液中是对钻井液的污染。任何多余的固相都将产生过高的摩阻、扭矩、当量循环密度、抽汲压力和激动压力（而这些可能导致卡钻和井漏）以及过高的粘度（这将降低钻速，限制了钻头水马力），将缩短设备（如泵、阀、钻杆和钻头等）的使用寿命，甚至对产层会造成损害。

在钻井中，固相的不利影响，可用稀释、化学添加剂和清除固相来控制。用沉淀法和机械设备也可控制固相的含量。振动筛和泥浆清洁剂可清除大颗粒固相（见第二分册《泥浆振动筛》和第六分册《泥浆清洁剂》）。靠离心力作用清除固相的水力旋流器（见第五分册《水力旋流器》）和离心机，与振动筛相比，它们可清除更小的固相。

### 7.1.2 基本概念

#### 固相粒度

机械清除装置分离固相是依据固相颗粒的尺寸或密度来进行的。泥浆中的固相颗粒的大小是不一样的，有的小得看不见，而有的胶结固相大得足以堵塞直径为10英寸的管子。通常，用来描述固相粒度的单位是微米。

$$25400 \text{ 微米} = 1 \text{ 英寸}$$

$$1587 \text{ 微米} = 1/16 \text{ 英寸}$$

$$397 \text{ 微米} = 1/64 \text{ 英寸}$$

一块30×30目的筛网，钢丝之间的标准间距是530微米；一块80×80目的筛网的钢丝标准间距是178微米。离心机设计的分离范围是2~4微米，相当于0.0000787~0.000157英寸。已制定了简单的固相粒度分级，这样有助于对钻井液中固相的讨论。API公报RP13B提出了最简单的分类（表7-1），API公报RP13C也提出了另一种分类。本书用的分类标准如表7-2所示。

#### 7.1.3 特性

在论述离心机的应用之前，必须弄清一些基本原理和术语。

表7-1 固相粒度分类

颗粒尺寸(微米)	分 类	目 数
大于74	砂	200
2~74	粉砂	
小于2	胶质粘土	

表7-2 固相粒度分类

颗粒尺寸(微米)	分 类	目 数
小于2000	粗	到10
2000~250	中粗	10~60
250~74	中	60~200
74~44	细	200~325
44~2	极细	
2~0	胶状	

### 1. 液流

在离心机的操作中要考虑四种液流：

- (1) 进口泥浆——是将要处理的泥浆。
- (2) 稀释液——是加到进口泥浆中的液体（通常是水）。
- (3) 溢流——是从离心机中排出的、较轻的排出物，与进口泥浆相比，其液体百分比较高，固相含量较少。
- (4) 底流——是从离心机中排出的、较重的排出物，与进口泥浆相比，其总固相含量百分比较高，固相颗粒较大。

这些液流的关系可用下面的方程式表示：

进口泥浆 + 稀释液 = 溢流 + 底流 （加仑/分）

### 2. “分离点”或分离

离心机是根据固相的尺寸和密度进行分离的。如果说，离心



机对于重晶石的分离点是2~4微米，这就是指进口泥浆中的重晶石将分成两股液流，一股大部分都是小颗粒（小于2~4微米），另一股大部分都是大颗粒（大于2~4微米）。离心机把小颗粒从溢流中排出，而把大颗粒从底流中排出。

对于钻屑固相，使用同样的离心机，但得到的分离点是3~5微米的颗粒。根据重晶石（比重为4.2）和钻屑固相（比重为2.6）的比重以及重晶石的“分离点”，可计算钻屑固相的“分离点”范围为

$$\sqrt{\frac{\text{重晶石的比重} - \text{水的比重}}{\text{钻屑固相的比重} - \text{水的比重}}} \times 2 \text{微米} = 2.8 \text{微米}$$

至

$$\sqrt{\frac{3.2}{1.6}} \times 4 \text{微米} = 5.7 \text{微米}$$

如果离心机调节适当，溢流中可含有胶体固相和一些超细固相，而底流中含有一些超细固相和几乎所有较大的固相。

所以必须适当调节离心机，使之提供所需要的分离或分离点。在进口泥浆中的固相，根据其尺寸分布、比重、质量的不同，胶体固相缓慢进入溢流，而较大颗粒的固相进入底流。离心机的处理量和分离能力是由设备本身的能力以及调节是否适当来决定的。

例如，假设在进口泥浆中，所有固相都大于20微米，而离心机的分离点正好为10微米，那么，溢流就是纯的液体；底流中包含所有的固相。

另一个重要问题是要认识到机械装置不可能按照某一精确的颗粒尺寸作出完全地分离。要想描述设备的分离能力，至少需要以下两个数据：

$D_{50}$ 或分离点——进口泥浆颗粒粒度50%出现在底流，50%在溢流的点。

分离倾角——是指由90%和10%的两分离点之间连线（分离

曲线)的斜率决定的倾角。斜率越大,分离倾角越大。

### 3. 分离倾角计算举例

一台离心机的“分离点”或固相分离能力是随负荷条件和设备调节状况而变化的。若进口泥浆固相粒度已知,通过比较溢流和底流中已知粒度的固相量就能求得分离点。每一颗粒粒度的分离点能用下式表示:

$$\left( \frac{\text{底流}}{\text{进口}} \times 100 \right) \text{ 或 } \left( \frac{\text{溢流}}{\text{进口}} \times 100 \right)$$

通常是用底流百分率表示分离点。

图7-1是一个表示离心机分离倾角的例子。

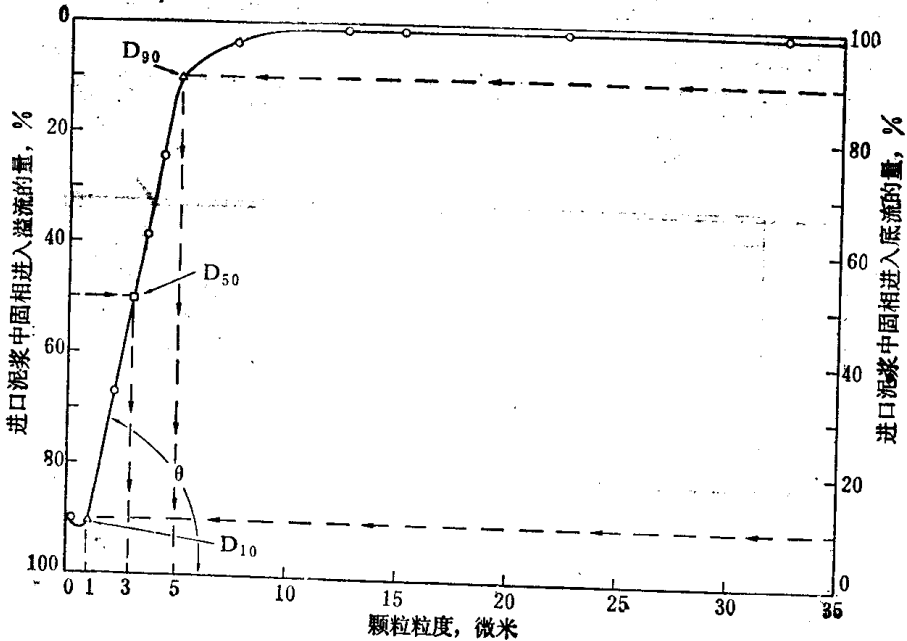


图7-1 离心机分离曲线

$D_{50}$ 分离点是3微米。这是先从50%点作一水平线交于分离曲线,然后由交点作垂线交于横坐标上的微米刻度,读数3微米。分离倾角的数字表示为

$$\text{斜率} = \text{tg}\theta = \frac{90-10}{D_{90}-D_{10}}$$

这是底流轴上 $D_{90}$ 到 $D_{10}$ 之间分离曲线的斜率。

从图7-1中可看出， $D_{90}$ 是5微米， $D_{10}$ 是1微米，因此

$$\text{斜率} = \text{tg}\theta = \frac{90-10}{5-1} = \frac{80}{4}$$

$$\text{斜率} = 20 \quad \theta = 87.2^\circ$$

曲线下面的所有固相都属于底流。曲线上面的固相属于溢流。例如在5微米处，曲线表明这个尺寸颗粒的90%在底流，10%在溢流。这个意思是，如有100粒5微米的颗粒进入离心机中，10粒将在溢流中而90粒将在底流中。

如果一台离心机调节不当或过载，它就不能再保持这个分离倾角。如图7-2所示。

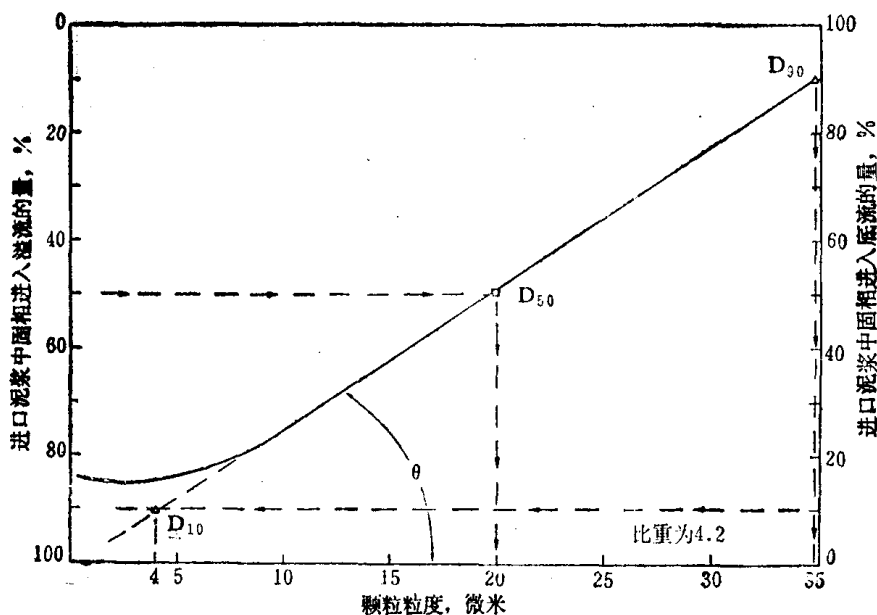


图7-2 由于调节不好或机器超负荷运转引起的分离倾角变化

由图7-2可见， $D_{50}$ 是20微米，分离曲线的倾角是

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{80}{35-4} = \frac{80}{31} = 2.58$$

$$\theta = 69^\circ$$

进口泥浆中30微米的固相，78%在底流中，22%在溢流中。离心机这时的分离效果不好。

离心机在允许的负荷范围内工作或为了保持合适的分离倾角，适当地调节离心机是很重要的。对于加重泥浆，颗粒尺寸小，当需要一定分离倾角时，如果离心机操作不适当，那么胶体固相和塑性粘度将立即减小。而且易造成排出量过多，结果是完成作业的费用将比需要的高。

应该根据离心机的设计来确定其负荷能力和调节步骤，以及根据厂家的介绍来了解机器的分离特性和操作，这是非常重要的。

#### 4. 处理加重泥浆时离心机的效率

当离心机用于加重泥浆循环系统中来减少细、极细和胶质固相的含量，而保留较大固相（大部分是重晶石）时，有两个参数对描述离心机的特性是很有用的。

$$\text{重晶石回收率} = \frac{\text{底流中的重晶石 (磅/分)}}{\text{进口泥浆中的重晶石 (磅/分)}} \times 100\%$$

低密度固相清除率

$$= \frac{\text{溢流中的低密度固相 (磅/分)}}{\text{进口泥浆中的低密度固相 (磅/分)}} \times 100\%$$

应注意，100%的比率是毫无意义的。这实际上相当于通过一根管子泵入泥浆，并且在进口标上“进口泥浆”和在出口标上“底流”，就可获得100%的重晶石回收率。如果在进口标上“进口泥浆”和在出口标上“溢流”也可获得100%的低密度固相清除率。

考虑离心机效率时必须综合分析以上两个参数。每个最优值

取决于具体的应用场合，但必须小于100%。处理加重泥浆时使用离心机的主要目的是，在保留大部分重晶石的同时，从泥浆中清除低密度胶体固相。低密度固相的清除率是很重要的，若调节离心机，使重晶石（比重为4.2）的D<sub>50</sub>分离点是2微米，那么对低密度固相（如粘土或钻屑固相，比重为2.6），离心机的分离点大约是3微米。若对比重4.2的重晶石的D<sub>50</sub>分离点是4微米，那么对于比重2.6的固相的D<sub>50</sub>分离点是5.7微米。

分离点的大小以及溢流或底流的固相排出量（磅/小时）主要取决于进口泥浆流量、颗粒粒度分布、进口泥浆中每一粒度的固相含量、固相的比重、离心机的设计和调节。

#### 5. 处理非加重泥浆时离心机的效率

离心机通常用于处理非加重泥浆，使除砂器和除泥器的底流中的固相脱水，或清除无用的钻屑固相而回收液相。因此，对其效率应有更多的考虑。

##### (1) 处理除砂器和除泥器的底流

离心机效率

$$= \frac{\text{离心机底流固相 (磅/分)}}{\text{水力旋流器底流固相 (磅/分)}} \times 100\%$$

式中的两个数据是相关的，但可用来调节离心机以更好地使用或比较不同设计类型的离心机性能。

##### (2) 从循环系统中回收液相，清除固相

离心机效率

$$= \frac{\text{离心机底流固相 (磅/分)}}{\text{离心机进口固相 (磅/分)}} \times 100\%$$

这两个数据是相关的，也可用于调节和比较离心机。

#### 7.1.4 离心机在加重泥浆中的应用

##### 1. 简介

在钻井作业中，离心机最初的和主要的用途是减少加重泥浆系统中的胶体固相或增粘粘土的含量。这种应用的经济效果是基

于用离心机清除胶体固相和用稀释法降低固相含量的成本相对比。因为昂贵的重晶石和一些钻屑固相返回到循环系统中了，所以只需根据回收重晶石来比较经济效益问题。

如果要用储备的加重泥浆，离心机可用于提高泥浆比重，并且也能用于起下钻之前准备加重泥浆。

最近，旋转离心机(RMSTM)●的特殊应用，能使油包水泥浆分离成两种不同密度的泥浆，而不增加其泥浆量。这种离心机在未稀释的条件下也能够工作，它不希望有大的分离倾角，溢流和底流中需要有各种粒度的固相。

## 2. 加重泥浆中的固相的粒度和分布

因离心机是根据固相的粒度和比重来分离固相，所以了解在加重泥浆中的固相的粒度分布很重要。固相可按照其作用分为对钻井有用的固相和有害的固相。

有用的固相有增粘剂、降失水剂和加重材料，但不能过量。无用固相通常是由钻头破岩和地层坍塌产生的。

重晶石颗粒粒度主要范围是2~74微米，增粘剂和降失水剂通常都是胶体颗粒(小于2微米)。重晶石的粒度分布在某种程度上取决于原矿石的成分和所采用的研磨方法。典型的重晶石粒度分布如图7-3所示。其中：(1)大约8%的重晶石小于2微米，(2)大约76%的重晶石是小于30微米，(3)大约83%的重晶石是小于40微米。

假如离心机对重晶石的 $D_{50}$ 分离点是2~3微米，那么大部分小于2微米的重晶石将被清除。(粒度分布如图7-3，这样的颗粒大约是泥浆中所有重晶石的8%)。在加重泥浆中，固相的粒度范围如图7-4。

由钻头破岩产生的固相，粒度范围是从超微粒到粗粒，而且粗粒能有1/4英寸(6350微米)那么大，所有由钻头破岩产生的超微粒固相最后都将被清除。一般来说，普通金刚石钻头和牙轮

● RMSTM是Totco公司旋转离心机的商标。——译者

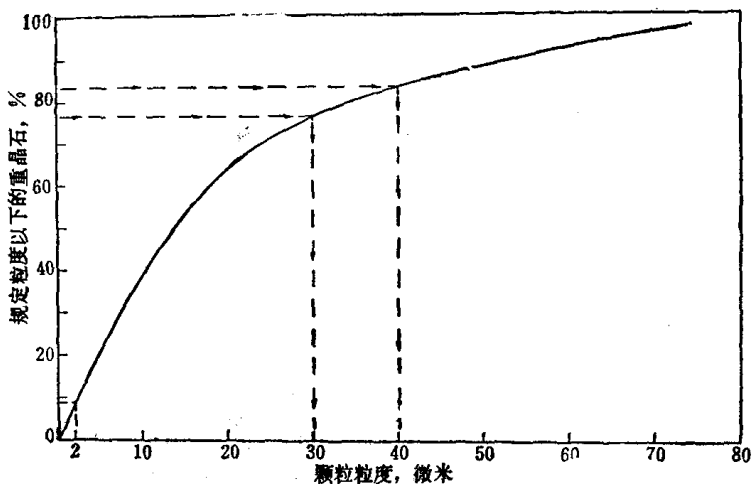


图7-3 典型的重晶石颗粒粒度分布

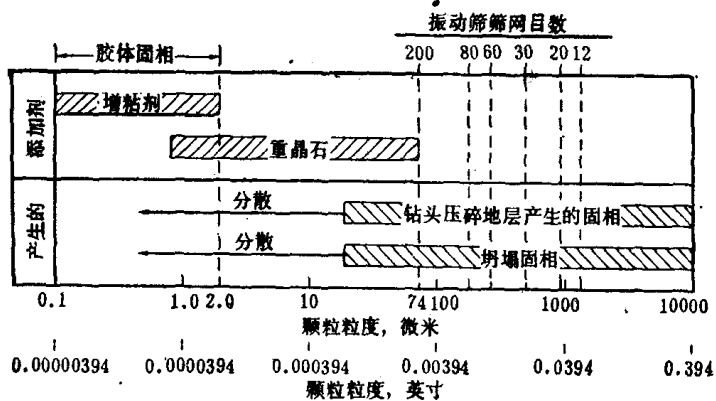


图7-4 加重泥浆中的固相颗粒的粒度范围

轴线不偏移的钻头产生的超微粒固相的总量比长齿钻头多。

有的固相是从裸露地层中坍塌到井中的。通常这些固相的粒度范围较大，从胶体固相到直接可用振动筛清除的大颗粒。

当固相在井眼中循环或重复循环时，所有的固相都有分散的

趋势（分散是指颗粒分成更小的颗粒）。粘土和页岩容易分散成胶体大小的固相，而且能分散到小于0.1微米。坚硬的、惰性的固相（如砂岩和白云岩）分散较慢，但最后也能分散成胶体大小的颗粒。

当较大的钻屑固相分散成较小的固相时，泥浆中的固相颗粒的数量和固相的表面积会大大增加。

一个直径516微米的球形颗粒可通过30×30目的筛网。如果一个516微米的颗粒分散成直径5微米的球形微粒，那么在泥浆中至少有一百万个这样的颗粒，而且表面积也比原始状态大100倍（见表7-3）。

如果分散成直径1微米的微粒，那么一个516微米的颗粒在泥浆中就会变成 $1 \times 10^8$ 个固相颗粒，而且表面积会增加500倍。在泥浆中，胶体固相过多导致粘度过高对钻井不利。固相表面积增大，就需要更多的化学外理剂来降低剪切率、粘度。

表7-3 颗粒数目和总表面积随颗粒分散变化情况

分 数	直 径		固相颗粒数目	总表面积 (英寸 <sup>2</sup> )
	英 寸	微 米		
1/32~1/64英寸	0.0203	516	1	1.00
	0.00787	200	17	2.58
	0.00394	100	137	5.16
	0.00197	50	1099	10.32
	0.00157	40	2147	12.90
	0.00079	20	17174	25.80
	0.000394	10	137388	51.60
	0.0002	5	1099105	103.20
	0.00004	1	137388096	516.00
	0.00002	0.5	1099104768	1032.00

化学处理剂开始能控制粘度，但随着泥浆量增大，胶体固相增加，它也就随之而不起作用了。最后就需要用稀释法或机械方法清除固相，来达到控制粘度的目的。

3. 离心机在加重泥浆循环系统中的应用



离心机应用于加重泥浆循环系统中的目的就是减少系统中的胶体固相（增粘固相）。在此应用中，仅有循环系统中的一小部分液流通过离心机进行处理。

因为重晶石和其它加重材料的价格高昂，所以希望除去所有比重晶石大的钻屑和过量的胶体固相。振动筛和泥浆清洁器是用来清除大固相颗粒（粗、中粗和中等）的固控设备，而离心机则主要是用来清除胶体和某些超微粒固相的固控设备。

离心机溢流排出物中，大部分是液体和较小的固相，而且较小的固相多属钻屑或地层坍塌固相。溢流中还有增粘剂和化学处理剂，当重新调整泥浆性能时，必须将这些处理剂换掉。

离心机底流回收物中，大部分是较大的重晶石固相和较大的而且未被振动筛或清洁器清除的钻屑和坍塌固相。

#### 4. 什么时候用离心机

当胶体固相过量时，必须开动离心机。遗憾的是，没有一个方法能够准确地确定何时发生这种情况。不可能要求两种泥浆具有完全相同的性能。若没有丰富的地区经验，则无法确定什么时候开离心机，开多长时间。

有三个泥浆性能参数可用来确定何时开离心机以及开多长时间，这三个性能参数是：粘度、干馏固相百分比和亚甲基蓝测定值。

##### （1）粘度

泥浆的粘度要足够大，以便能从井中携带出岩屑和悬浮重晶石。如果粘度太大，循环系统中的压力损失和压力激动就会过大，井漏和其它问题发生的机率就可能增加。如果粘度是由低密度钻屑固相引起的，则可能形成质地较差的泥饼，从而导致压差卡钻的机会增加。还有，如果循环系统中的压耗过大，则将降低钻头处清洗井底的压力，从而导致机械钻速降低。

##### （2）马氏漏斗

测量粘度的最简单方法是马氏漏斗测量法。这种测量对静切应力、屈服点和泥浆的固相含量是灵敏的。如果这些因素中的某