

泥 浆
设 备
手 册

5

水力旋流器

〔美〕G·S·奥姆斯比

(北京)

2-62
-5

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》中的第六分册。本书简单地概括了泥浆中固相颗粒粒度对钻井作业的影响以及水力旋流器用于处理泥浆的重要作用。着重介绍了水力旋流器的工作原理、类型和设计。讨论了对水力旋流器的各种选择方案、安装、现场操作以及维修方法。

本书可供钻井、矿场机械工程技术人员和工人阅读，也可作为院、校钻井和矿场机械专业师生的教学参考书。

MUD EQUIPMENT MANUAL

Handbook 6:

Hydrocyclones

George S. Ormsby

Gulf Publishing Company, 1982

泥浆设备手册 5

水 力 旋 流 器

〔美〕G.S. 奥姆斯比

陈俊勇 译 李继康 校

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲 8 6 号)

北京昊海印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

850×1168 毫米 32开本 2印张 45千字 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: 15037·2914 定价: 0.55 元

ISBN7-5021-0065-2/TE·65

目 录

5.1 前言	(1)
5.1.1 振动筛、水力旋流器的使用性能对钻速的影响	(1)
5.1.2 固相颗粒上的粘附液体	(2)
5.1.3 再循环固相颗粒的粒度变化	(3)
5.1.4 要点	(3)
5.2 水力旋流器的设计和工作原理	(4)
5.2.1 旋流器的结构和几何形状	(5)
5.2.2 工作原理	(5)
5.2.3 除泥器、除砂器的尺寸和设计	(9)
5.3 现场操作	(11)
5.3.1 水力旋流器的调试	(11)
5.3.2 用于处理非加重泥浆钻井时旋流器的操作	(13)
5.3.3 用水力旋流器降低加重泥浆的含砂量	(17)
5.4 维护和保养	(21)
5.4.1 进口水头、离心泵、进口和出口管线	(21)
5.4.2 用户与制造厂家的关系	(21)
5.4.3 日常维护和保养	(23)
5.4.4 突然故障的检修	(23)
5.5 水力旋流器的安装	(28)
5.5.1 安装示意图	(28)
5.5.2 离心泵安装规则	(31)
5.5.3 水力旋流器的安装规则	(32)
5.6 水力旋流器的选择	(34)

5.6.1	除泥器——最后一级或唯一的一级旋流装置	(34)
5.6.2	除砂器——如果需要, 它是第一级旋流装置	(35)
5.6.3	特殊问题	(36)
5.6.4	选择制造厂家	(36)
附录 5A	用小直径水力旋流器降粘 (仅针对加重的水基泥浆)	(39)
附录 5B	故障及处理对照表	(43)
附录 5C	本书非许用单位和许用单位换算表	(57)

5.1 前 言

振动筛固然是从钻井液中清除固相所必需的首要设备，但使用水力旋流器对非加重和加重泥浆体系所起的固控作用也越来越重要。

5.1.1 振动筛、水力旋流器的使用性能对钻速的影响

钻井液通过井眼循环，不断地把新的钻屑颗粒带到地面。这些颗粒大小不一，从胶粒到可被悬浮的最大颗粒。到达地面的钻屑颗粒的大小，受许多因素的影响，但最主要的两个影响因素是所钻的地层和所用钻头的类型。

软而疏松的地层，其钻屑通常被钻头射流分散成细小的颗粒。这些颗粒可能是粘土（或胶粒）、泥、砂或砾石（极少）。如果固控设备能有效地除掉这些钻屑，一般来说，该地层就会钻得很快。但钻进速度常常因固控设备跟不上而受到限制。

在较致密且非常软的地层里，用长齿钻头钻进。通常可获得相当高的机械钻速。在这种地层中钻进所产生的钻屑，几乎都比 API 标准所规定的砂的粒度（74 微米）大。

如果钻速等于或低于 20 英尺/小时，则产生的钻屑有 90～100% 是非常细小的固相颗粒，它们都比 API 标准的砂子小。也就是说，钻屑几乎都是泥和一些粘土粒度范围内的固相颗粒。

粒度大于 1/4 英寸的固相颗粒，一般都是由于欠平衡钻进和井壁坍塌所产生的。坍塌物中也有细小的颗粒。由坍塌（或垮塌）所引起的固相体积增长速度可能较高，甚至会超过钻速最快时的钻屑体积增长速度。这些粗大的固相必须在振动筛处被除

掉，以防止堵塞下游的水力旋流器（简称旋流器）及其它设备。

我们知道，软而且钻速快的地层一般在表层，当在这种地层中钻进时，振动筛的主要作用是保护水力旋流器，避免过大的岩屑堵塞旋流器的进口或底流口。在这种情况下，旋流器必须充分发挥其固控效率，以高排量排除细小的固相颗粒通常是最经济的方法。

当地层非常硬、钻进速度慢时。其固控任务主要由水力旋流器来完成。因为在这种情况下，所产生的绝大部分钻屑太细，振动筛不可能将它们除掉。如果在软地层中使用寿命长的短齿钻头，钻进速度慢，这时所产生的钻屑至少和在硬地层中以相同速度钻进时所产生的钻屑一样细。

当在钻速可达到或超过 100 英尺/小时的中硬地层中钻进时，所产生的大部分钻屑都可以被振动筛除掉。尽管如此，合理使用水力旋流器装置，仍将会改善井眼条件，降低钻井成本，并减少对泥浆体系的维护处理。

5.1.2 固相颗粒上的粘附液体

当固相从泥浆中除掉时，其表面包裹着一层自由液体薄膜。如果泥质大小的固相颗粒上没有这一层附着的液体薄膜，它们将不可能被旋流器除掉。振动筛除掉的固相颗粒上也同样有附着的液体膜。只有倾析式离心机除掉的固相颗粒上没有液体薄膜，但有吸附水分。

当固相从泥浆中除掉时，所附带液体的数量与其单位重量的表面积和泥浆粘度有关。单位重量的细颗粒固相的表面积（比表面）比粗颗粒单位重量的固相的表面积大。因此，除掉相同重量的岩屑，较细的岩屑所携带的泥浆液体要比较粗的岩屑所携带的多。同样，从高粘液体中除掉一定量和一定粒度大小的固相。其所携带的自由液体要比在相同条件下从低粘液体中所携带的多。

5.1.3 再循环固相颗粒的粒度变化

岩屑初次到达地面时，其粘度最大，振动筛、旋流器或离心机等应及时将它们除掉。如果不迅速除掉，这些颗粒将通过泵循环再次进入井眼。其结果不但会导致井壁泥饼厚度的增加，而且当它再次返回地面时，已被破碎成更多的小颗粒。这种小颗粒固相比原来大的颗粒更难除掉。即使能够除掉，它们也将从泥浆中携带出更多的液体。变小的固相颗粒通常具有较高的抗破碎强度。

5.1.4 要点

如果要想在泥浆损失量最少的条件下获得最成功的固相控制，那么，要求只要当泥浆循环时，就必须使用水力旋流器和振动筛，并使泥浆粘度保持在其它要求所允许的范围内并尽可能低。

要想有效地使用好水力旋流器，就必须仔细阅读和掌握本分册的内容。如果只选读其中某些段落就想迅速解决问题，则欲速而不达。那时，还得重新阅读所跳过的那部分。该手册的其它分册同样有助于掌握泥浆系统的基本原理。

5.2 水力旋流器的设计和工作原理

水力旋流器似乎很简单，几乎在钻台上工作的任何人员都可以做到更换磨损部件和调节其工作性能。所有这些导致人们认为水力旋流器的使用维护很简单。其实不然，要想有效而又经济地

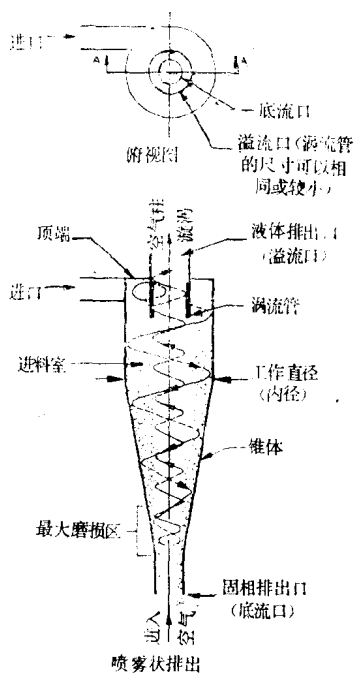


图 5-1 平衡设计的水力旋流器，以典型的“喷雾”状底流正常地排出固相

使用好旋流器，就必须对它有更全面的了解。

5.2.1 旋流器的结构和几何形状

水力旋流器的进料室（见图 5-1）通常为圆筒形，固相排出末端为圆锥形，泥浆中的固相和液相在固相排出口（底流口）发生分离。位于顶部中心的是液体排出口（溢流口）。同样，位于中心并延伸到旋流器里面的是涡流管，它是溢流所必经的液体排出通道。

泥浆进口（或进料口）位于进料室的顶端，并且正切于进料室圆筒内壁。进口可以略大或略小于底流口，但二者都比溢流口小得多。水力旋流器的所有几何尺寸、比率和角度都是设计变量。

水力旋流器的内壁，要受到泥浆中固相物质的研磨，因此，内壁通常采用具有抗研磨性的弹性或塑性橡胶材料。有些旋流器完全采用塑料制成，而有些只是部分地采用塑料部件。弹性材料的抗研磨特性比任何金属或陶瓷都要好，而且成本较低。

5.2.2 工作原理

水力旋流器工作时，由固相和液相组成的泥浆，由于受进口压力或进口水头的作用，获得高速从旋流器进口进入。进口水头由制造厂家推荐（进口水头^①是指按进口处泥浆液柱压力折算的水头高度）。水力旋流器所需要的进口水头是由离心泵来提供的。高速进入进料室的泥浆高速旋转而产生离心力，涡流管使旋转液流向底流口方向螺旋下行。离心力和惯性的作用，使得下行旋流中的固相紧靠内壁运动。

固相的分离是按照其粒度和密度的大小来进行的。在钻井液中的固相颗粒密度范围内，粒度的影响远大于密度的影响。所以说，最大的固相颗粒最先也最快发生分离。

① 进口水头这个概念在第三分册《离心泵》中作了更详细的讨论。

随着旋流器锥体越来越小，下行旋流的液体靠近底部旋转中心时，由于离心力的增加，因此，旋转的液流沿轴向方向返回，形成溢流。在平衡设计的水力旋流器中，旋转下行的固相颗粒由于惯性很大，并且朝下运动的速度很快，因此当液体朝中心运动并朝上往溢流口走的时候，不可能随溢流返回，而从底流口排出。这里，固相实际上是由于惯性除掉的，而不是靠沉降处理掉的。底流流量和底流密度随分离固相的数量和粒度大小而变化。

1. 淹没底设计

水力旋流器的另外一种设计类型，我们称之为淹没底设计，其溢流出口具有一个回压，底流口起阻流器的作用，液流通过底流口时产生一个压力降。这是通过一定的内部设计和（或）溢流管汇的安装所产生的。其底流量仅受阻流器（底流口）的开口大小的控制，与泥浆中是否有可分离的固相无关。

2. 喷雾状底流排出（仅限于平衡设计的旋流器中）

由于水力旋流器不断向外分离固相和锥形体末端越来越小，可变空间缩小了，沿锥体下行旋转的固相颗粒被浓集。对于平衡设计的旋流器，如果下行旋流中没有过量的固相（指体积含量），其底流非常象图 5-1 所示的喷雾状底流排出情况。但有时固相颗粒从底流口排出时运动得很快，给人们一个簇射的外观轮廓。这与下落的雨点使人们认为象一条线所产生的错觉一样。喷雾状底流排出时，底流中固相携带液体的数量随颗粒大小而变化。当仅分离细小的固相时，其数量达到总底流量的 90%；当分离粗大固相时，所携带的液体量占总底流量的 50%。

另外，以高速朝溢流口上行运动的内部液体，由于摩擦作用，携带着空气与它一起运动。这股在漩涡里向上运动的空气由通过底流口向上进入的空气不断地补充（见图 5-1）。

3. 绳状底流排出（底流口过载）

如果在快速钻井中，旋流器固相载荷过大，其底流口处可能

没有足够的空间来排出所有向下运动的固相颗粒，致使一些颗粒在出口附近慢慢堆集，形成一个“死区”，如图 5-2 所示。这时旋流器清除固相的效率严重降低。这里，我们不可能在这些图表中说明相应的底流液体。在绳状排出的底流中 液体约占其总底流体积量的 50%，有时更少。

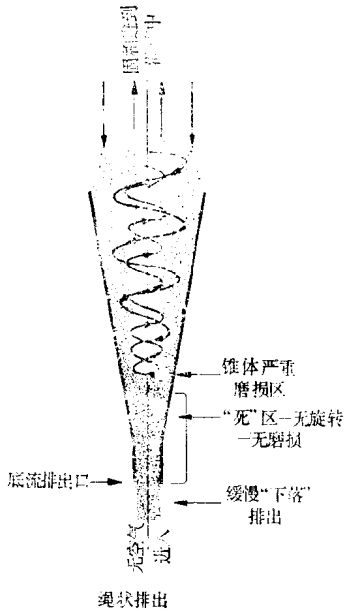


图 5-2 典型的以绳状底流排出时低效率工作的平衡设计水力旋流器

不能在绳状底流中排除的固相颗粒会立即卷入中心液流，并带到出口溢流中。在这种情况下，几乎所有小而轻的固相颗粒都会被溢流带走，只有那些具有最大惯性（最大质量）的颗粒才能通过底流口而被除掉。有时甚至一些较大的固相也将随向上的溢流从溢流口返回泥浆循环系统！绳状底流浆中几乎不含有细小的

固相，因此，与喷雾状底流排出的固相相比较，这种绳状排出底流中单位重量的固相的表面积要小。

表面积小说明单位重量的底流固相所吸附的液体也少。所以，绳状排出底流的密度大于喷雾状排出时的底流密度（在进料相同的条件下）。然而，绳状排出时，由于大部分细的固相进入到溢流中，使得其溢流的密度同样高于喷雾状排出时溢流的密度，但不可能高于进口泥浆密度。这时，回到泥浆罐的泥浆中将含有可以被喷雾状底流排出所能除掉的固相。

以上关于底流排出类型的讨论并不完全。由于篇幅限制，这里不作更多的描述。如果对以上底流类型有错误的理解，可能造成大多数设备运转不良。因此，我们必须充分地加以了解，以便获得好的固控效果。

4. 概述

（1）尽管绳状排出时的底流密度大，但不如喷雾状底流排出时的效果好。

（2）当底流呈绳状排出时，其溢流的密度同样较大。也就是说，水力旋流器在以绳状底流排出工作时，使非加重泥浆的密度增加，其增值要比旋流器以喷雾状排出工作时的增值快。

（3）对于非加重泥浆，如果旋流器以绳状底流排出工作，则大部分细的固相随溢流回到泥浆循环系统中。这时，要除掉这些细小的固相颗粒，唯一的方法是通过昂贵的替换稀释（即废弃部分旧泥浆，用添加剂来重新配制新的泥浆体系），这意味着比旋流器以喷雾状底流排出工作时损失更多的液体和有用胶体。

（4）绳状底流排出时，会导致旋流器的涡流管、溢流口部件、锥形衬套以及泥浆泵液力端的快速磨损，并且使非加重泥浆的密度增加以及在泥饼中产生不希望的固相。

（5）水力旋流器清除固相的效率降低表现为：需要的进口

水头在推荐的范围之上；溢流泥浆的漏斗粘度升高；变为球形的固相（岩屑）颗粒较少；固相颗粒粘度减小；底流口变小；以及由于进口泥浆中固相含量过高而导致旋流器过载等。

5.2.3 除泥器、除砂器的尺寸和设计

水力旋流器已经在钻井液循环系统中经过实验或常规使用、旋流器的直径从 20 毫米（0.8 英寸）到 30 英寸以上。最早使用的是大尺寸旋流器，用来降低泥浆中 API 含砂（颗粒粒度大于 74 微米）量，并且越来越普遍地被人们称之为“除砂器”，但没有专门的性能标准。然而，1954 年和 1957 年间至少有两种非常好的 6 英寸旋流器，定名为“除砂器”进入市场，并且使用性能良好。

1962 年有一种 3⁷/₈ 英寸的水力旋流器，定名为“4 英寸”旋流器，首先在较大的井口设备中使用，并且能够进行全排量循环。在快速钻井地区，该旋流器的目的是用来减少用非加重泥浆钻井时的卡钻事故，其效果比预计的要好。而且最后发现，通过使用这种旋流器，并获得了一些未曾预料的经济效益，如：

- （1）钻头寿命增加；
- （2）泵的费用降低；
- （3）机械钻速提高；
- （4）泥浆成本降低等。

尺寸小的旋流器，对泥浆起除泥的作用，且效果比较好，所以都叫“除泥器”。由于没有一个可靠的工业机构来制定性能标准，因此，任何尺寸小于 4 英寸的水力旋流器都叫做“除泥器”；而大于 4 英寸的旋流器都定名为“除砂器”。但有些旋流器的工作性能与其名称不相符合。

在现场，有 6 英寸，甚至 12 英寸的水力旋流“除砂器”。在一定的钻井情况下，它们从每桶供给的泥浆中除掉的固

相比 4 英寸旋流“除泥器”所除掉的要多。但如果二者设计原理、供给的泥浆和进浆情况相同时，较小的旋流器（除泥器）的分离效果好。购买 4 英寸旋流器而其性能又不能超过大的除砂器，则是浪费钱。因此，用户在购买设备时，应根据典型的工作状态，考察所买设备的性能。

在大多数钻机上，由于设备的安装不当和泥浆系统的操作使用有误，使得各种设备的不同的工作性能得不到发挥。本手册的目的，包括本分册，就是要改善这种状况。

5.3 现场操作

5.3.1 水力旋流器的调试

大部分钻井作业开始时，泥浆罐都装满了清水，因此，在钻进开始前，应调节旋流器使其平衡，把它们调到“湿平衡”状态下工作。

1. 平衡调节

启动离心泵，给水力旋流器（除砂器或除泥器）进料，并把所有旋流器底流口打开。这时，通常有一薄层旋流水呈空心柱状从底流口排出，并形成水雾状，见图 5-3a。

在现场，大多数平衡设计的水力旋流器有一个底流口调节装置，如果把以上全开的底流口慢慢地调节到某一较小的位置，直到水雾变成缓缓下滴的水珠为止，这时旋流器处于平衡状态，如图 5-3b 所示。用相同的方法调节所有旋流器使其处于平衡状态，并在钻进期间对它们进行观察。当进浆中有它们能够分离的固相时，就会有颗粒从底流口排出；如果没有，它们将又回到液体缓缓下滴状态，自动地节省泥浆。

2. 干底旋流器和“干堵塞”

如果底流口全开而没有清水排出，这种现象被称之为旋流器“干底”现象。这种现象一般是由于设计不合理，或者是底流口调节过小所造成的，如图 5-3c 所示。这种情况下，分离的固相要想排出，必须通过一段“干湿区过渡带”。如果底流口较大，能使粗大的砂子排出，那么这些粗大的砂子可以通过干湿区过渡带而被除掉。细和中等大小的泥质固相（小于 44 微米²），大多数不可能通过，相反，它们会粘附到干湿区过渡带上，形成非常致密的“干堵塞”层，并越来越硬，导致很难从旋流器中除掉。这

种现象要比由于绳状排出时造成的堵塞（这也是一种糟糕的情况）严重得多。

干堵塞在旋流器的工作中是一个很普遍的问题，并且往往是由于不懂得操作旋流器所造成的。应尽可能避免这种情况的发生（参见附录 5B：故障及处理对照表）。

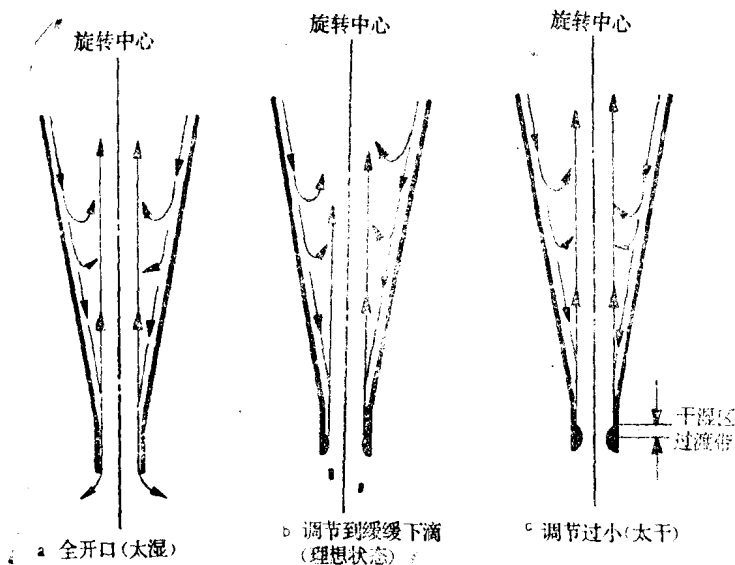


图 5-3 用清水进料时平衡式旋流器的不同底流调节

3. 淹没底式旋流器

如果旋流器用水测试时，其底流不象图 5-3 所示的任何一种情况，那么，它可能属于“淹没底”设计的旋流器。在这种旋流器的里面具有回压，底流口和涡流管部分起阻流作用，经过它们的液流产生一个压力降。图 5-4 是淹没底式旋流器的示意图。

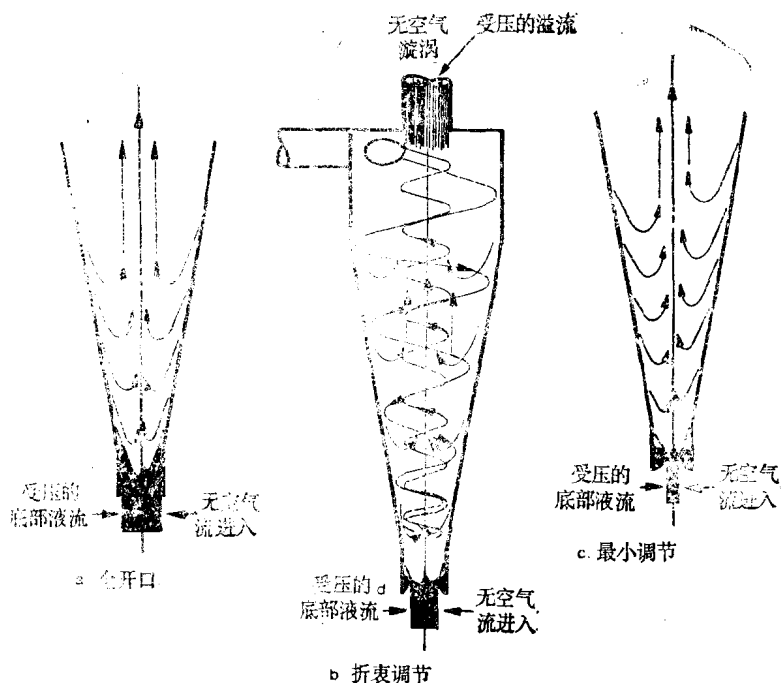


图 5-4 “淹没底”式旋流器用水或泥浆进料时的底流调节

淹没底式旋流器的调节，就是以下两种方法的折衷：即排出所有泥浆的全开口调节和最小开口的底部常闭状态。当然，在钻进期间，对淹没底式旋流器应根据钻速的变化进行再调节，使之满足钻井的需要。

5.3.2 用于处理非加重泥浆钻井时旋流器的操作

1. 准则

非加重泥浆可描述为“一种用钱来阻止其密度增加的泥浆”。