

石油钻采机械

SHIYOU ZUANCAI JIXIE

国外资料专辑(一)

1983



TE 93

出 版 说 明

为扩大情报工作的服务范围，提高广大科技人员和工人的技术素质，推动石油钻采设备的发展。我们计划自1983年起陆续收集并编译出版一批国外石油钻采机械的科技资料。《国外资料专辑》（一）是1983年出版的第一个专辑。

江汉石油管理局 钻采设备研究所 资料绘图室

目 录

泥浆振动筛的选择与工作原理

〔美〕L·L·Hoberock 著

（一）提高钻井速度与泥浆振动筛的选择.....	（ 1 ）
（二）泥浆振动筛筛网的选择.....	（ 9 ）
（三）泥浆筛动力学对泥浆筛性能的影响.....	（ 22 ）
（四）用曲线图求取常规振动筛处理液流能力的极限.....	（ 30 ）
（五）非常规振动筛筛网处理液流能力的极限.....	（ 39 ）
（六）泥浆振动筛的现场使用.....	（ 46 ）
附录：流体的流动模型.....	（ 50 ）

泥浆振动筛的选择与工作原理

[美] L. L. Hoberock 著

(一) 提高钻井速度与泥浆振动筛的选择

已有许多文献介绍过，有效地控制钻井泥浆中的固相含量，可以得到经济效益。某些文献指出，有效地控制泥浆中的固相，可降低钻井扭矩，减少钻杆和测井工具遇卡的可能性，同时有助于套管顺利下至井底以及顺利地进行注水泥固井作业。

有关资料指出，有效地控制泥浆中固相含量，必然会提高钻井速度，延长钻头的使用寿命，减少起下钻次数以及使井壁比较稳定等。同时，也能够减轻设备的磨损。Lummus、Estes和Darley指出，不仅泥浆固相含量对钻井速度有影响，而且泥浆中固相的粒度分布也对钻井速度有影响。

Lummus指出，随着泥浆中的固相含量的增高，钻井作业中三项指标急剧下降（图1）。当固相含量达到10%以后，这种趋势有所缓和。Estes从微型钻头的试验得出，泥浆中细小的胶质颗粒对于钻头的机械钻速的影响，要比尺寸大的颗粒大得多。他进一步指出，尺寸小于1微米的颗粒对钻头机械钻速的影响，要比尺寸大于1微米的颗粒高11倍以上。

泥浆中的钻屑粒度

由上述结论可以看出，泥浆中的钻屑含量应越少越好。此外，清除钻井泥浆中粒度较大的钻屑要比清除那些重新循环到井底而又返回到地面上的粒度较小的钻屑容易得多。

由此可以看到，对保持低固相泥浆来说，振动筛是泥浆固相控制系统的关键部件，因为它首先除去了泥浆中最大的颗粒，同时这也减轻了其它固相控制设备（如除砂器、除泥器以及离心机）的负担。

所谓“粒度”一词容易使人误解，这是由于它未能说明颗粒的形状。实际上，对于某些物料（如坭土和粘土等），颗粒表面积对重量（或体积）的比率或许要比颗粒的粒度更为重要。

众所周知，完全水化的坭土呈薄片状而非呈球形，且绝大多数颗粒的最大尺寸均小于0.1微米。另一方面，美国怀俄明州阿朴顿的水化后的实验室纯级微晶高岭土的比表面积为800米²/克，这相当于每一百磅一袋的粘土表面积有14平方英里。

用比表面积要比用其它任何量度，能更好地说明坭土对于钻井三项指标的影响。然而，现有的各种固相控制设备只能处理最小尺寸大于1微米的颗粒，这样便可用一种有时称之为

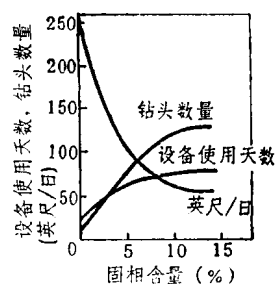


图1 泥浆固相含量的影响

“当量球径”的尺寸来说明颗粒粒度大小。采用这一名称是假定这些颗粒可以当作球体看待。这种“当量球径”的说法在多数情况下是适用的，只是对于那些从井口返出的颗粒呈薄片状和板状时不能适用。

表1是各种不同物料的尺寸对比（以微米计）。从中可以看出，正常人的视觉能看到的的最小尺寸为40微米，手指触觉感到的最小颗粒为20微米。

表2表示了泥浆中各种物料的尺寸和各种泥浆固相控制设备的分离固相粒度的范围。一般振动筛只能分离尺寸大于100微米的颗粒。

各种物料对比 表 1

项 目	尺寸(微米)
人类头发	30~200
花 粉	10~100
水泥粉末	3~100
磨碎的粉末	1~80
红血球	7
正常人视力	最小40
指尖灵敏度	最小20

泥浆中固相尺寸与设备分离范围 表 2

项 目	典型尺寸范围(微米)
水 化 坩 土	0.001~10
水 化 重 晶 石	0.1~100
钻屑(首次到达地面时的形状)	0.005~1000
泥浆振动筛清除的固相粒度 (150×150筛网、钢丝直径 0.0026英寸)	>100
除砂器(6英寸最佳)	>30
除泥器(4英寸最佳)	>15
离 心 机	>5

泥浆振动筛的功能和结构

泥浆振动筛基本上就是一台振动筛台，其主要用途是，在泥浆初次从井里返回地面时，从中分离出最粗的钻屑。通常，一台泥浆振动筛（图2和图3）包括一个进料罐，用来接收泥浆和控制筛台上泥浆的流动情况，一个包括筛网在内的振动床，一个安装在振动床上方的振动器，以及连接振动床与机座的挠性构件等。机座又包括一个收集泥浆的盆，通过筛网的净化泥浆由此流入在用泥浆系统。

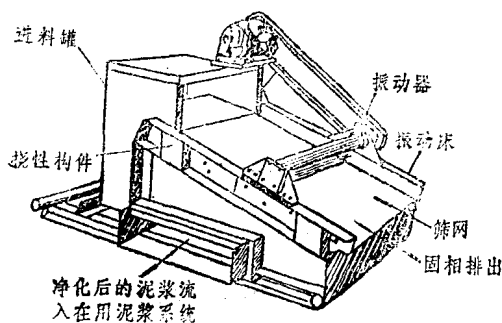


图2 端部进料式振动筛

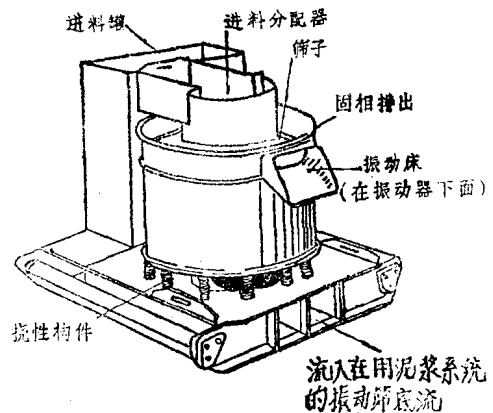


图3 中心进料式振动筛

驱动振动器的电动机可安装在振动床上，也可装在机座上。多数振动筛均具有专用的流

量导向计量板，用以使泥浆均匀地分布在筛网的进料端，保护筛子，以免流体撞击筛网。进料罐还配备旁通门或旁通孔，为的是在检修振动筛、更换筛网、流经筛子的泥浆太稠堵死筛网以及出现其它情况时，使泥浆绕过振动筛直接进入泥浆循环系统。

一台设计合理的泥浆振动筛，不仅要充分利用筛网分离出尽可能多的固相，而且还得很快地将分离出来的固相排出筛台，尽可能减少泥浆中液相损失以及使筛网保持干净等。

尽管泥浆振动筛可能是一部钻机上固相控制系统中最重要的设备，这种固相控制设备清除固相最多、花费最少，但它却常常为人们所忽视。泥浆振动筛的关键问题不是在于选择合适的振动筛方面的困难，而是在于振动筛的维护和保养。

目前，有两种振动筛，即“端部”进料式与“中心”进料式两种。其中以“端部”进料式泥浆振动筛应用最为广泛。图2和图3分别为两种泥浆振动筛结构简图。

“端部”进料式振动筛的筛台呈长方形。而“中心”进料式振动筛则为圆形。此外，这两种振动筛不仅振动特征有差别，而且固相和液相的运动轨迹也完全不同。

泥浆振动筛的运动方式十分重要，它不仅决定钻屑在筛台上的运动速度，而且控制着液相穿过筛网的通道。因此，在确定泥浆振动筛的固相处理能力时，筛台的运动方式是个关键因素。

假设有一个垂直平面，平行于“端部”进料振动筛筛台的侧边，在该平面与筛网的交线上任取一点，则该点的运动轨迹可以是圆形，也可以是椭圆形，如图4所示。此外，筛网上垂直于上述交线并通过交线上某个交点的垂直线上的各个点的运动轨迹与该垂直线上第1个交点的轨迹完全相同（即A-a垂线上各点的运动轨迹与A点相同）。

然而，根据振动筛的结构，上述交线上各点的固相颗粒运动的椭圆形轨迹也是各不相同的（即直线ABC上各点在垂直平面上的椭圆形轨迹的形状也是各不相同）。此外还发现，该点在A-a、B-b和C-c线方向上的运动速度为零。因此，“端部”进料式泥浆振动筛的运动方式是二维运动，即平面运动。也就是说，钻屑在筛网上的运动轨迹是一条直线。

现将这种运动方式同“中心”进料式振动筛的运动轨迹作一比较（见图5）。

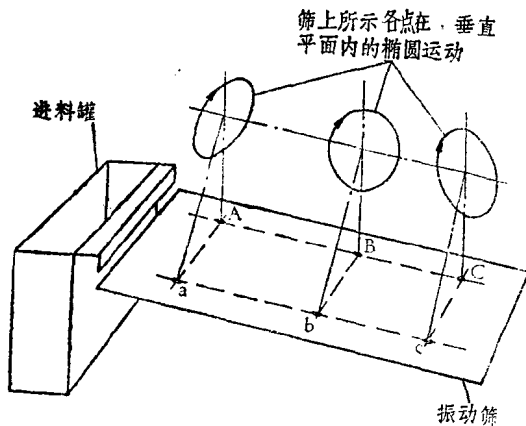


图4 “端部”进料式泥浆振动筛的运动轨迹

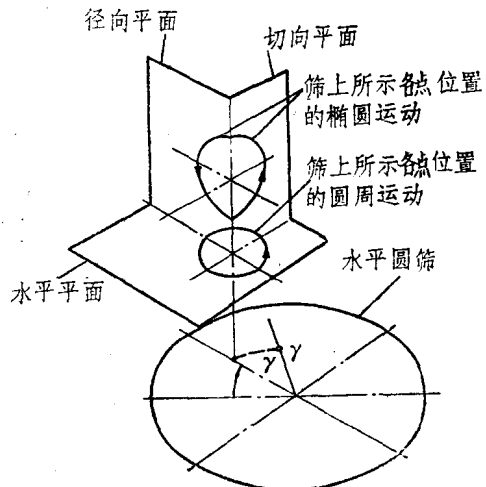


图5 “中心”进料式泥浆振动筛的运动轨迹

设想有一个垂直平面，垂直于筛网并通过圆形筛台的中心。在离中心某一径向距离处，

固相颗粒在该径向平面内的运动轨迹为椭圆形，此外，该点在垂直于径向平面的切向平面上，以及在与径向和切向相垂直的水平面上的运动轨迹，都是椭圆形。因此，这种泥浆振动筛上的固相颗粒的运动轨迹是三维的。

虽然上述三种运动轨迹的形状与大小在不同径向距离处各不相同，但在绕中心的同一半径任一角度处的运动轨迹却是相同的。在这种振动筛上，固相从中心向四周呈螺旋形运动。由于筛台有挡边，于是固相最终便沿着筛台四周向筛子的排出端运动。

端部进料的泥浆振动筛筛台的型式很多。所谓筛台，就是指安装筛网的振动床部分。图6所示的是各种筛台的结构模式。有几种单筛台的振动筛，其筛台是从进料端到排出端向下倾斜。

图6也表示了若干种多层筛台的结构模式。设计这类筛台的制造商特别推荐上层用粗筛网，中层用较细的，底层则用最细的。这样配备的特点是：在理论上较粗的筛网清除粗固相，减轻了下面较细筛网的负担，以便下层筛网能更有效地清除较细的固相，从而达到一个振动筛除去更多更细固相的目的。

多层筛台的缺点是：下层筛网的检查、清洗、维护保养和更换往往要比上层筛网困难。

有些多层筛台的制造商在上层筛台下面安装“回流盘”（见图6），以便使通过上层筛台的全部液流返回到下一层筛台的进料端。

有些单筛台振动筛的制造商认为除非泥浆固相含量很多，否则，多层水平筛台在理论上是无多大意义的。作者掌握一些未经公布的数据，足以说明实际上究竟哪一种结构的振动筛效果较好。市面上大部分振动筛均属端部进料形式，这种类型的振动筛都是在现场绷紧筛网的。然而，现在能够买到在制造厂预绷紧的筛网。筛网的绷紧是通过与筛网的两个边沿联成一体钩形钢带用绷紧杆来实现的。这些绷紧杆的一个边沿压入钩形钢带内，然后用下述两种方法中的一种方法绷紧筛网。

第一种绷紧方法是，将螺栓或挂耳穿过绷紧钢带并用筛台外侧上的螺母拉动绷紧杆，从而绷紧筛网。一般情况下，当筛网在使用中出现松动时，应拧紧螺母重新绷紧筛网，这往往要重复若干次。

另一种方法是，螺栓或挂耳是利用弹簧压力绷紧在筛台的外侧上的，这样，当采用不同方法使弹簧的压力大小选用得当时，筛网稍有松动便会自动绷紧，使筛网始终处在合适的绷紧状态。

应该指出的是，筛网绷紧是否合适对筛网的使用寿命影响很大。筛网未绷紧就会出现“死点”，于是固相堆积在这些“死点”上不移动，排砂能力不足，致使筛网先期磨损。

另一方面，筛网绷得过紧也会导致筛网经常在钩形钢带部位断裂。某些制造商认为，筛网绷紧的物理现象不是每个人所能很好掌握的，因此有待于设计中进一步试验研究。

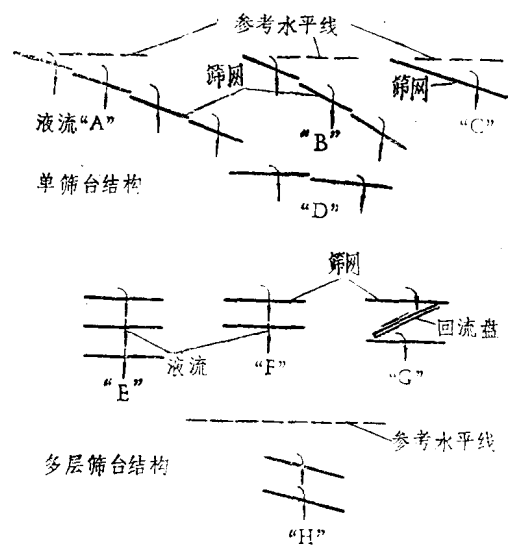


图6 “端部”进料泥浆振动筛筛台布置示意图

由于缺乏管理振动筛（包括更换、维修和调节筛网）的技术熟练的操作者，振动筛的定期绷紧与更换等操作就颇难实现。例如，一些制造厂商要求用扭力扳手上紧和调节筛网，这对许多井队来讲，是不易实现的事。

十分明显，许多采用非预绷紧筛网的振动筛急待改进。需要改进振动筛结构的内容有，无须使用专用工具就能自动绷紧筛网和自动保持合适的绷紧度；绷紧筛网不必卸去绷紧杆以及只需一人在数分钟内就能更换筛网等。

就非预绷紧筛网而言，有两种支承筛网的方法：支承式和悬挂式（图7）。在悬挂式筛网中，筛网支撑条与筛网的顶面接触，各支撑条之间形成沟槽，用以使泥浆沿着筛网均匀流动。因此，如果泥浆一开始就均匀分布在各沟槽之间，那么，泥浆只能停留在这些沟槽内，即使筛台倾斜也不会聚集在筛网的中心低凹处。充分利用筛网面积是这种悬挂式筛网的最大优点。

然而，在采用细筛网时，筛网在支撑条处的磨损速度很快。此外，由于钩形钢带处的筛网必须承受整个流体和固相载荷，所以就有可能出现筛网受力过大。

诚然，支承式筛网也有可能发生异常磨损。然而有些制造厂商在细筛网下面加一层粗筛网，于是减轻了筛网的磨损。尽管支承式筛网有上述优点，但它的缺点是没有液流沟槽，使泥浆有可能集中在筛网两边沿着钩带向下流动，不起筛分作用。

“中心”进料式泥浆筛配备水平式筛台，而且也可装备多层筛台（图6）。这种振动筛可以配备预绷紧筛网，更换筛网会比“端部”进料式振动筛要容易些。这也是它的一大特点。此外，预绷紧筛网在工作当中不需要经常调节筛网的绷紧力。

表3介绍了现有的各种泥浆振动筛的技术特性。表中收集的资料尚不完备，因为新研制的振动筛层出不穷。

必须注意表3中“筛网总面积”一栏的数值，总面积的数值大并不一定意味着处理液相或固相的能力也大。

筛台的布置方式也十分重要。以一台顶层筛台的流体直接落在底筛上的双层振动筛为例，筛台总面积容易被人误解为振动筛的处理能力应等于顶层筛台的两倍（假如两个筛台上的筛网有相同的尺寸和相同的编织方式）。

此外，还需考虑到若干因素，例如：与筛网面积有关的筛网支撑条的数量，进料罐相对于筛网的高度，筛台与水平面的倾斜角度，振动型式，筛网的规格与编织方式，流体特征以及其它参数等。所有这些因素都会影响振动筛的工作性能。

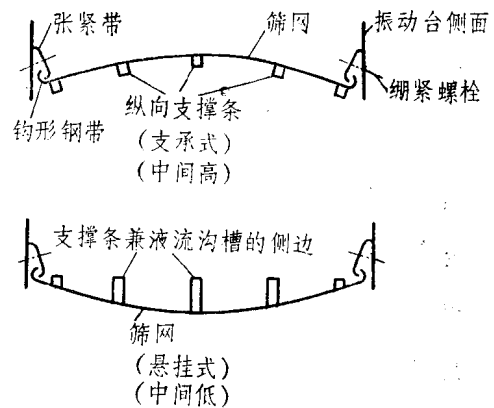


图7 非预绷紧筛网支承方法

注：本图从进料端向排出端方向看，筛网拱起部分予以夸大

表 3

各种泥浆振动筛性能表¹

制造厂家与型号	进料型式 ²	筛台数量	筛网数量	筛台倾斜角 ³	筛网安装型式 ⁴	筛网绷紧型式 ⁵	筛网总面积 ⁶ (英尺 ²)
Brandt 标准式 串联式	E.F	1	1	固定 -13°	U.S	N.P.T 一侧装有弹簧	20
	E.F	2	2	固定 0°	U.S	N.P.T 一侧装有弹簧	40
Dahlory 145	E.F	1	1	固定 -13°	O.S	N.P.T 一侧装有弹簧	20
	E.F	2	2	可调节 +3° ~ -15°	O.S	N.P.T 一侧装有弹簧	40
Demco	E.F	1	3	固定 -25°	O.S	N.P.T 一侧装有弹簧	28
	E.F	1	2	可调节 0° ~ -5°	O.S	N.P.T 无弹簧	40
Derrick	E.F	1	3	固定 -20°, -25° -30°	O.S	N.P.T 两侧装弹簧	23.3
	E.F	1	1	固定 -10°	U.S	N.P.T 一侧装弹簧	20
Geolograph-Pioneer ⁷ 45H-200	E.F	1	1	固定 -10°	U.S	N.P.T 一侧装弹簧	20
	E.F	2	2	固定 -10°	U.S	N.P.T 一侧装弹簧	40
	E.F	2	2	固定 0°	U.S	N.P.T 一侧装弹簧	40
45H-300SL	E.F	2	2	固定 -10°	上部-O.S 下部-U.S	N.P.T 一侧装弹簧 ¹¹	40
	E.F	1	1	固定 -8°	U.S	N.P.T 一侧装弹簧	20
Harrisburg 标准式 串联式 ⁸	E.F	2	2	固定 0°	U.S	N.P.T 一侧装弹簧	40
	E.F	1	1	固定 -13°	U.S	N.P.T 无弹簧	20
Hutchison-Hayes 4860 B4	E.F	2	2	固定 -13°	U.S	N.P.T 无弹簧	40
	E.F	2	2	可调节 +3° ~ -5°	U.S	N.P.T 无弹簧	40
4860 SUSI	E.F	2	2	固定 0°	U.S	N.P.T 一侧装弹簧	40
	E.F	3	3	可调节 +1° ~ -7°	U.S	N.P.T 一侧装弹簧	60
SS 101	E.F	2	2	可调节 +3° ~ -5°	O.S	N.P.T 无弹簧	48
	E.F	2	2	固定 0°	O.S	N.P.T 无弹簧	48
SS 201ST ⁹	E.F	3	3	可调节 +1° ~ -7°	O.S	N.P.T 一侧装弹簧	60
	E.F	2	2	可调节 +3° ~ -3°	O.S	N.P.T 无弹簧	48
Imco	E.F	2	2	可调节 +3° ~ -3°	O.S	N.P.T 无弹簧	48
NL Baroid 双盘式	E.F	2	2	可调节 +3° ~ -3°	O.S	N.P.T 无弹簧	48

续表 3

制造厂家与型号	进料型式 ²	筛台数量	筛网数量	筛台倾角 ³	筛网安装型式 ⁴	筛网绷紧型式 ⁵	筛网总面积 (英尺 ²)
SM II	E.F	2	2	可调节 +3~-3°	O.S	N.P.T 无弹簧	40
Swaco	E.F	1	2	固定 0°, -5°	O.S	N.P.T 两侧装弹簧	32
Sweco ^{7,8}	C.F	1	1	固定 0°	N.A	P.T	12.56 (25.12) ⁸
Thompson ¹² A54与B54	E.F	1	1	固定 -15°	O.S	N.P.T 无弹簧	20
Thule United ^{9,10}	E.F	2	2	可调节 顶0~3° 底0~+5°	顶U.S 底N.A	顶部: 无弹簧 底部: P.T	48
Totco(Milchem) EVS32	E.F	1	4	固定 -15°, -15° -18°, -19°	O.S	N.P.T 装有弹簧	32
EVS24	E.F	1	3	固定 -8.5°, -11.5° -12.5°	O.S	N.P.T 两侧装弹簧	24
Tri Flo	E.F	1	2	固定 0°, -5°	O.S	N.P.T 两侧装弹簧	24
Watco ¹⁰	E.F	2	4	固定 -2.3°	N.A	P.T	44.3

注:

1. 本资料来源于1980~1981年第34版本的“油田设备与服务综合产品目录”中的有关图表,很多制造商将本表列举的若干种振动筛组装为橇式,该橇装组件要比只有一台振动筛的处理能力大。该组合装置不包括在本表内。某些制造商也提供一些比本表列举的筛网面积要小的振动筛。本表只列举了筛网总面积为20英尺²或高于此值的振动筛。

2. E.F指“端部”进料, C.F指“中心”进料。
3. 负角指筛台从进料端向下倾斜的角,正角表示向上倾斜。
4. U.S指悬挂式, O.S指支承式, N.A表示未提供。
5. N.P.T表示“非预绷紧”, P.T表示“预绷紧”。
6. 筛网总面积大并不意味着流体与固相的处理能力也大。
7. 该制造商推销一种采用中心进料式振动筛的泥浆清洁器。
8. 只在装置上装双滑橇时销售,复合筛总面积为25.12英尺²。
9. 筛台间备有回流盘。
10. 振动频率可调节。
11. 两个筛台上的筛网同时绷紧。
12. 该制造商也推销一种用于粗页岩分离的无振动转筒筛。

李君勤 译自美国《油气杂志》第79卷,第47期,第107~118页,1981年11月23日

张启昌 校

(二) 泥浆振动筛筛网的选择

筛网是泥浆振动筛的最重要部件，所以需要很好地掌握筛网的选择方法。本文在此谨对泥浆振动筛的各种类型筛网以及确定筛网特性和规格的各种方法予以详细介绍，探讨筛网分离效率的一些基本要素，并将各种筛网的中分点制成表格进行比较。

泥浆振动筛存在着其它工业筛选作业所不存在的问题，因为泥浆筛网处理的大部分物料为液体，而不是固体。本文作者曾进行过有关泥浆振动筛处理固液能力的实验和理论研究，据此制定出振动筛处理泥浆能力的计算机验证模型，该模型可用来研究各种振动筛的结构。研究表明，影响泥浆振动筛的处理能力的可变参数有许许多多，其中主要有：泥浆的流变特性；钻屑的类型、数量和粒度分布；筛网的目数和编织型式；筛网面积；筛网上各点的振动频率、振动加速度、固相运动轨迹；筛网的倾斜角以及溢流堰高出筛网的高度等。

可以看出，泥浆振动筛的最大处理能力取决于分离出的钻屑排离振动筛的能力与净化处理后的泥浆穿过筛网的能力。例如，如果将筛网向下倾斜的角度加大，提高固相排离筛网的能力，则会有更多的液体从筛网上流失，排除的固相湿度较大；如果将筛网向下倾斜的角度减小，虽可减少液相的流失，但却降低了固相排离筛网的速度，当筛网向上倾斜到某个角度时，固相便会堆积在筛网上而堵住筛孔。

换一句话说，振动筛的最大处理能力往往为钻井泥浆中的最大液相处理能力和最大固相处理能力两种要素所决定。尽管对泥浆振动筛筛网排离钻屑的能力和泥浆中液相流过筛网筛孔的能力进行过研究，但是迄今尚未有可资利用的综合性数学模型来预测振动筛处理特定泥浆中固相含量的能力。

然而，可通过测定振动筛处理不含固相的特定流变性泥浆的能力作为其处理能力的上限。换言之，如果用 Q_1 来表示某个泥浆振动筛处理不含固相的特定钻井液的流量极限（加仑/分），那末，该泥浆振动筛处理含有钻屑的相同钻井液的能力（或流量）要小于这一极限。如果钻井液中含有大量的粒度等于或大于筛孔尺寸的钻屑固相，则实际处理能力可能仅为 Q_1 的几分之一。

从另一方面来说，如果钻井液中含有少量的“过大粒度”的钻屑，则振动筛的处理能力将非常接近于 Q_1 。尽管不可能确定 Q_1 的实际偏差究竟有多大，但是有了处理能力的上限就等于有了可供对各种筛网和振动筛处理能力进行对比的基础。

确定泥浆中的液相通过振动筛网的能力

我们将泥浆看作是一种塑性粘度为 μ_0 ，屈服值（静切力）为 τ_0 、比重为 ρ 的单纯Bingham塑变流体，而Armour和Cannon二人将筛网看成是一种孔隙度为 ϵ 、厚度为 B 、平均筛孔尺寸为 D ；钢丝表面积与体积之比为 a 的薄滤层（多孔介质）。那末，当筛网两边的压力降 ΔP 恒定不变时，单位面积的流量，即液流穿过筛网的速度可用下式计算：

$$\Delta P = \left[\alpha \frac{Ba^2}{\varepsilon^2} \mu_0 \right] V + \left[\beta \frac{\rho B}{\varepsilon^2 D} \right] V^2 + \left[\gamma \frac{a}{\varepsilon} \right] \tau_0 \quad (1)$$

式中， α 、 β 和 γ 均为实验常数。压力降 ΔP 为筛网振动运动的复杂函数，必须利用有关文献中所介绍的已进行了广泛试验和验证的数学模型用计算机计算。

公式(1)等号右边的第一项涉及的是层流效应，末尾一项为屈服值(静切力) τ_0 引起的效应。对于大多数钻井液来说，在所有三项中，层流效应值最大，屈服值 τ_0 最小。

暂时可将其它两项略去不计，通过变换公式(1)可求得液流速度 V 的近似值，即：

$$V \approx \left[\frac{\varepsilon^2}{\alpha a^2} \right] \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\Delta P}{B} \quad (2)$$

$$\text{现在，再将带括号的一项用 } k \text{ 来表示，那末， } k = \frac{\varepsilon^2}{\alpha a^2} \quad (3)$$

由此可得：

$$V \approx \frac{k}{\mu_0} \cdot \frac{\Delta P}{B} \quad (4)$$

该表达式被公认为液流通过厚度为 B 的多孔介质的达西定律，由此可见， k 为多孔介质或筛网的渗透率。

为了简化起见，将筛网渗透率和厚度合并成一个新的系数项 C ，称之为筛网的传导率，可用下式来表示：

$$C = \frac{k}{B} = \frac{\varepsilon^2}{\alpha a^2 B} \quad (5)$$

因此，公式(2)可变成：

$$V \approx \frac{C}{\mu_0} \cdot \Delta P \quad (6)$$

因此，一般说来，传导率越高，液体通过筛网的流速越大。然而表达式(6)仅仅是一个近似的计算公式。

根据公式(1)，传导率和流速(包括“紊流”和屈服值)之间的实际关系为：

$$\Delta P = \left[\frac{\mu_0}{C} \right] V + \left[\beta \frac{\rho B}{\varepsilon^2 D} \right] V^2 + \left[\frac{\gamma_0}{\sqrt{k}} \right] \tau_0 \quad (7)$$

式中， γ_0 为实验常数，可根据 $\gamma_0 = \gamma \sqrt{\alpha}$ 求出。

事先必须测定的筛网参数是孔隙率 ε ，厚度 B 和钢丝表面积与体积之比 a 以及筛孔平均尺寸 D ，除了Cagle和Wilder所介绍的“层迭式”筛网之外，给定筛网的目数和钢丝直径，各种不同编织型式的筛网参数就可由有关文献中给出的公式求取。

本文作者推导出计算层迭式筛网上述参数的公式，计算结果列于表4之中。筛网厚度 B 是最容易测定的参数。对于正方形和长方形网格的筛网，筛孔平均尺寸 D 亦是容易测定的参数。例如，对于每平方英寸的目数为 n 和钢丝直径为 d (英寸)的正方形网格的筛网，其筛孔平均尺寸 D 可通过下式计算出来：

$$D = (1/n) - d \quad (8)$$

对于层迭式筛网，筛孔的平均尺寸 D 是用一个复杂的公式考虑到两层不同目数的筛网迭置在一起而形成的曲折流道计算求得的。可以看出，筛孔的平均尺寸 D 接近于(但不等于)筛

网分离的中分粒度 D_{50} 。

筛网类型

在筛分作业中，筛网的编织型式及结构是多种多样的，在有关文献中对此已进行了全面的介绍。泥浆振动筛最常用的筛网是普通正方形网格的筛网（见图1a）。对于这种筛网，每英寸的钢丝数称为网目，不仅在经线方向（即其在编织机上的长度尺寸）上，而且在纬线方向（即其在编织机上的宽度尺寸）上，钢丝的直径和数量都是相同的。

然而，对于给定目数的筛网，也可能由很多种不同直径的钢丝编织而成。例如，在Matthews所介绍的细密正方形网格筛网的图表中，列有600多种不同直径的钢丝与目数匹配的筛网品种。最常用的筛网可分为六个等级，这主要是根据钢丝直径来划分的。这六个等级是：特重级、重级、中级、常规级、磨粒级和螺栓绷紧级筛网。不论哪种目数的筛网，以螺栓绷紧级筛网的钢丝直径最小，特重级筛网的钢丝直径最大。

a. 普通正方形网格式

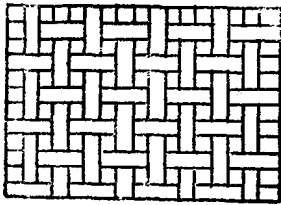
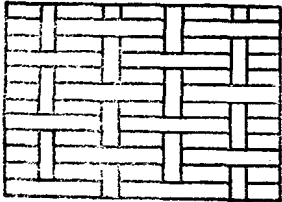


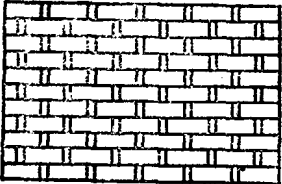
图1 泥浆振动筛筛网的编织型式



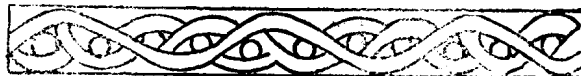
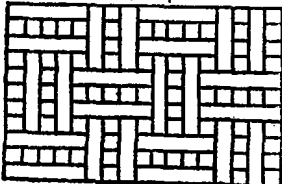
b. 斜纹正方形网格式



c. 普通荷兰编织式



d. 长方形网格式



例如，根据有关文献列出了上述六个等级中三种不同网目的钢丝直径。由表1可以看出，一定网目的各个等级的筛网，其筛孔尺寸D是各不相同的。从举例说明中可知，要鉴别筛网的特性，必须要掌握钢丝直径和筛网目数。

确定筛网的规格，除了要测定筛孔的尺寸外，还需要确定筛网筛孔面积百分比OA，后者等于筛网的面积减去钢丝所占的投影面积再除以筛网面积并乘以100。只要知道筛网目数和钢丝直径，即可以计算出这一参数。对于正方形网格的筛网，筛孔面积百分比可通过下式计算出来：

$$OA = (1 - nd)^2 \times 100 \quad (9)$$

筛孔面积比OAR等于筛孔面积百分数除以100。表1中列出的筛网筛孔面积百分数通常用来测定筛网传递液体的能力。根据推测，敞露的筛孔面积大的筛网传递的液体量要大于敞露筛孔面积小的筛网。在下文中将可以看出，筛网的导液率是筛网传递液体能力的一个较好的量度标准。

细密正方形网格筛网的规格

表 1

20×20网目(钢丝数/英寸)	特重级	重级	中级	常规级	磨粒级	螺栓 绷紧级
钢丝直径, 密耳	25.7	22.9	18.1	16.1	14.0	9.0
筛孔尺寸, 密耳	24.3	27.1	31.9	33.9	36.0	42.0
筛孔面积百分数	23.6	29.4	40.7	46.0	51.8	67.2
60×60网目(钢丝数/英寸)						
钢丝直径, 密耳	—	8.5	—	8.0	—	4.0
筛孔尺寸, 密耳	—	8.2	—	8.7	—	12.7
筛孔面积百分数	—	24.0	—	27.0	—	57.8
120×120网目(钢丝数/英寸)						
钢丝直径, 密耳	—	—	4.0	3.7	—	2.6
筛孔尺寸, 密耳	—	—	4.3	4.6	—	5.7
筛孔面积百分数	—	—	27.0	30.9	—	47.3

注：1密耳 = 10^{-3} 英寸

大多数用于筛分钻井液的正方形网格的筛网均为常规级或接近于常规级的筛网。主要是因为许多事实证明，对于大多数泥浆振动筛的结构来说，这种等级的筛网在强度（钢丝直径）和筛孔面积两个方面都能很好地兼顾。

另一方面，在下文中可以看出，在筛孔尺寸相等的情况下，螺栓绷紧级筛网所传递的液量远大于常规级筛网，这是由于前者的导液率较大的缘故。

为了克服正方形网格筛网的筛孔被“近似筛孔粒度”的固相颗粒所堵塞这一问题，通常采用图1b*所示的长方形网格的筛网来代替正方形网格的筛网。采用这种长方形网格的筛

网较之采用筛孔尺寸与长方形筛孔最小尺寸相同的正方形网格的筛网,更能增加筛孔面积比。

顾名思义,长方形网格筛网的筛孔是呈长方形的,因此,不但经纬线方向的网目数不同,而且经纬线的钢丝直径亦不尽相同。

偶而,人们可能会遇到图 1 c所示的荷兰编织式的筛网,其经纬线钢丝直径不同,较细的钢丝致密地排列在一起,彼此相互接触。荷兰编织式的筛网敞露筛孔面积百分数通常为零,尽管其导液率(还有筛网孔隙率)不为零,但却小于正方形或长方形网格的筛网。

这就是为什么敞露筛孔面积百分数不是测定筛网导液率的一个很好量度标准的另一个原因。

有时人们还能看到一种称为“斜纹”编织型式的筛网(如图 1 d** 所示)。正方形网格、长方形网格或荷兰编织式均可采用这种“斜纹”编织型式。当钢丝弯曲应力太大或要求筛网编织不那么紧密时往往采用“斜纹”编织型式。对于这种编织工艺,钢丝的穿织根数是“2上2下”,而不是象在普通编织型式中那样“1上1下”。

最近,市场上出现的一种较新的产品是所谓的层迭式筛网。如图 2所示,这种筛网的顶层为一细密正方形网格筛网,底层为稍大一些的正方形网格的筛网,支承层为一加重的、网格非常大的筛网。这三层筛网都封固在钩形连接板内(见图 2)。实践证明,层迭式筛网能防止被“近似筛孔粒度”的固相颗粒所堵塞,并且具有很高的导液率。

然而,因层迭式筛网系采用非常细的钢丝制成,为了提高钢丝的疲劳强度和减少磨损,必须小心地将其支承和绷紧在振动筛的筛床上。层迭式筛网的筛孔面积比可通过两层筛网各自筛孔面积比的相乘求得。然而根据这一乘积结果并不能求出筛网传递液体能力的精确值。

筛网特性

一种最常见的错误概念是认为筛网的规格可通过给定“网目”或“网目数”来予以确定。如前所述,筛网的网目为筛孔的数目或经纬线方向上的每英寸的钢丝数目。然而根据表 1所示,并不能单纯地利用目数来确定某种筛网具有多大尺寸的筛孔和能分离多大粒度的固相颗粒。人们至少还要规定钢丝直径和筛孔尺寸。

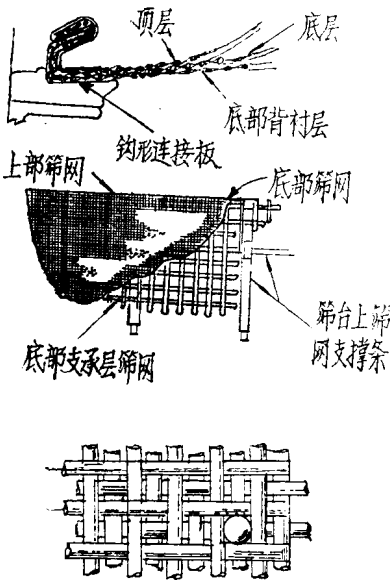


图 2 层迭式筛网的结构

许多泥浆振动筛用户不了解如果他们仅仅规定筛网的网目,则有可能被筛网制造商或其它人员将其理解成为国家标准局所制订的美国试验筛号。表 2中列出了美国试验筛的技术规范。

为了统一规范,美国石油学会于1977年5月制订了一个有关泥浆振动筛筛网技术规范暂行表示法。该暂行表示法要求规定经纬线两个方向上的网目,再加上筛孔尺寸(微米)和筛孔面

* 原文如此,似应为图 1 d——译者

** 原文如此,似应为 1 b——译者

美国试验筛规范及美国材料
试验学会标准规范 表 2

试 验 筛 号	筛 孔 尺 寸(微米)
20	841
25	707
30	595
35	500
40	410
45	354
50	297
60	250
70	210
80	177
100	149
120	125
140	105
170	88
200	74
230	63
270	53
325	44
400	37

积百分数。

例如, API规范 $30 \times 30(516 \times 516, 37.1)$ 表示正方形网格筛网在经纬线每个方向上具有30网目/英寸, 每个方向上的筛孔尺寸为516微米, 并且筛孔面积百分数为37.1%。这样, 才可根据图2或公式(9)求出此种规格筛网经纬线两个方向上钢丝直径为13密耳(0.013英寸)。

再举第二个例子来加以说明。例如API规范 $70 \times 30(178 \times 600, 40.3)$, 这表示长方形网格筛网在某个方向上具有70网目/英寸, 另一方向上具有30网目/英寸; 在70网目/英寸方向上的筛孔尺寸为178微米, 在30网目/英寸方向上的筛孔尺寸为600微米; 筛孔面积百分数为40.3%。利用公式(9)可求出钢丝直径为7.3密耳。

对于这种规范的筛网, 经纬线两个方向上的钢丝直径是相同的, 但一般说来, 亦可以是不同的。

这种API推荐表示法是泥浆振动筛技术规范的一种合理表示方法, 为买主提供了一个识别正方形和长方形网格筛网的方法。例如, 一些泥浆振动筛制造商在其出售的筛网上贴有商标或在筛网上和筛网包装箱上打印有型号参数。通过了解各种筛网的API推荐表示法, 用户可以容易地确定其所购买的筛网的技术规范。

另一方面, API推荐表示法并不很完善, 需要进行修改。现在业已提出用筛网的导液率代替筛孔面积百分数来作为筛网传递液体能力的量度标准。此外, API推荐表示法不能用来表示非标准筛网的规范, 例如, 有可能把层迭式筛网误解成荷兰编织式筛网。

钻井泥浆振动筛常用的筛网有常规级、螺栓绷紧级、层迭式和长方形网格等四种类型。其中前三种类型各有五种不同的规格, 后一种类型有三种不同的规格。表3中列出了上述筛网的技术规范。

业已选用五种规格的螺栓绷紧级筛网, 每种规格的螺栓绷紧级筛网的平均筛孔尺寸均接近于常规级筛网的筛孔尺寸。这是一种合理的筛网对比方法, 因为人们通常关注的是筛网能分离的中分粒度, 而平均筛孔尺寸与中分粒度是密切相关的。

层迭式筛网上相应地贴有“层迭式50”、“层迭式160”等标签, 以免名称混同。层迭式筛网的钢丝直径没有标注, 这是因为制造厂商没有提供这项资料。然而, 在市场上层迭式筛网是作为普通正方形网格常规级筛网的竞争产品而出现的, 即: 100型层迭式筛网与 100×100 型常规级筛网竞争; 84型层迭式筛网与 80×80 型常规级筛网竞争; 50型层迭式筛网与 40×40 至 60×60 型常规级的筛网竞争; 70型层迭式筛网与 60×60 至 80×80 型常规级筛网竞争。此外, 160型层迭式筛网与 150×150 型常规级筛网竞争(虽然前者筛孔略小于后者)。

对于各种型号的筛网来说, 其孔隙度的变化方式与筛孔面积百分数的变化方式类似。将