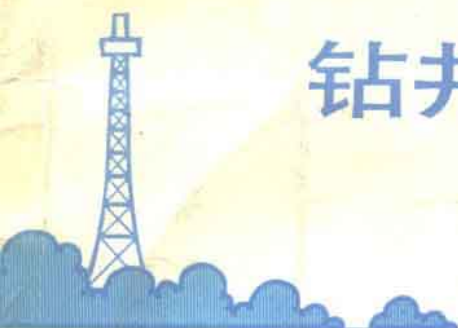




钻井液的净化

〔苏〕M·H·列兹尼琴科 著

地质出版社

25465

钻井液的净化

[苏]И.Н.列兹尼琴科 著

顾振发 译

高 森

地 质 出 版 社

前 言

本书系译自苏联《НЕДРА》出版社1982年出版的《钻井液的准备、加工和净化》一书的第六章。

正如原书作者在绪言中所指出的那样，钻井液质量是关系到能否缩短成井周期的一个基本因素；而钻井液质量除了与采用优质材料、制备工艺有关外，还与钻井过程中对钻井液性能的调节、净化设备和净化工艺有关。

本书阐述了钻井液净化的基本理论；介绍了苏联和美国等国目前采用的各种振动筛、水力旋流除砂器、水力旋流除泥器、水力喷射旋流除泥器和离心分离机等净化装置；并阐述了各种净化装置的结构、工作原理、有关的理论研究、设计计算、工作参数确定和诺谟图的用法等；此外，还介绍了采用各种净化装置的地面循环系统的工艺流程简图。

本书对从事钻探作业和钻井液净化设备研制的石油、地质等部门的工程技术人员有一定的参考价值。

目 录

第一节	钻井液固相含量及其成份对钻进技术指标的影响.....	(1)
第二节	钻井液的净化技术和工艺.....	(3)
第三节	振动筛净化钻井液的方法.....	(8)
第四节	水力旋流器净化方法.....	(30)
第五节	非加重钻井液的净化系统.....	(43)
第六节	加重钻井液的净化.....	(52)
第七节	国外水力旋流器应用情况.....	(70)
第八节	离心分离机净化方法.....	(77)
第九节	地面循环系统工艺流程图.....	(88)

参考文献

附录：计量单位对照表

第一节 钻井液固相含量及其成份对钻进技术指标的影响

钻进过程中，由于钻井液中呈分散状态的岩屑不断富集，将使钻井液结构-力学指标剧增，钻速下降，水力机械磨损加剧，甚至导致孔内事故的发生和孔内情况复杂化。显然，钻井液固相含量及成份对钻进技术指标有着直接的影响^[1,2]。

钻井液中的固相含量每降低 1%，钻头工作性能指标即提高 7~10% (图 1)。而不同类型的固相颗粒对钻进技术指标的影响也是不同的。图 2 是根据美国俄克拉荷马大学对 317 个钻头在同一矿区同一地层中钻进情况的分析资料绘制的，可以看出，对钻进速度 (机械钻速) 影响最大的是钻井液中呈分散状态的粘土颗粒 (曲线 2)，其次是岩屑 (曲线 1)，而重晶石颗粒 (曲线 3) 对钻进速度的变化影响甚微^[2]。

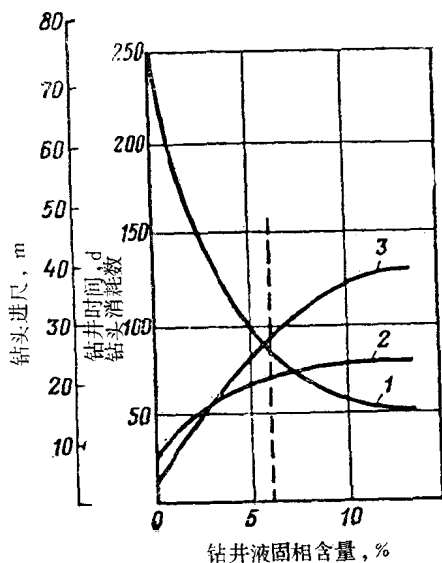


图 1 钻头进尺(1)，钻进时间(2)及钻头消耗数(3)，与钻井液相含量的关系

若分别在钻进中采用固相含量相等的两种钻井液，固相成

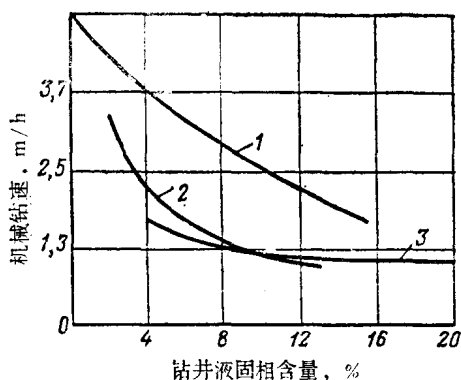


图 2 机械钻速与钻井液固相含量的关系
1—岩屑；2—粘土颗粒；3—重晶石

份一为岩屑，另一为重晶石，则前者导致钻速下降的幅度为后者的一倍多。另外，在提高钻井液密度方面，重晶石的效果又比岩屑高一倍。因此，用重晶石取代部分岩屑（如使钻井液中重晶石成份占总的固相成份的四分之三），则既可满足对钻井液密度的要求，又可避免钻

速降低。

钻井液固相含量和成份对钻进指标的影响，主要同孔内液柱压力与地层压力之间的压降变化有密切关系。德·麦法 (Д. Мафа) 的研究指出，当压降变化范围在 ± 3.5 MPa 时，对钻速的影响最大 (见图 3)。当孔内压降为正值 ($+3.5$ MPa) 时，在大部分页岩地层钻进几乎都会导致钻速成倍地下降；压降为负值 (-3.5 MPa) 时，钻进同样岩层，机械钻速将提高一倍。

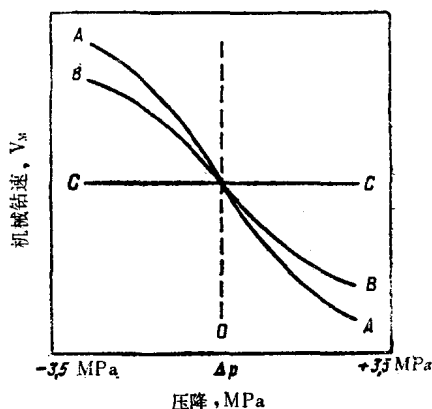


图 3 机械钻速与压降的关系
A—不透水页岩；B—砂质或淤泥质岩；C—白云石或石灰石类硬岩

钻井液粘度对机械钻速有着重要的影响，而粘度又是固相含量及成份的函数（见图

4）。有趣的是，当钻井液粘度增大而超过 $0.04 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 时，对机械钻速的影响不明显；而当粘度小于 $0.028 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 时，影响最大。

在井底温度高的情况下, 过量的固相成份将使钻井液热稳定性急剧下降, 粘土颗粒出现明显的胶溶和凝聚过程, 而在一般情况下, 此类现象不易发生。

钻井液净化质量差是钻井发生事故和井内情况复杂化——如钻井

液大量漏失、卡钻、套管挤夹、坍塌掉块等——的基本原因。相反, 钻井液净化质量好, 能有效地清除岩屑, 即是降低调节钻井液性能的处理剂消耗及提高钻井技术经济指标的重要因素。国外经验表明, 采用机械方法每清除 1 m^3 岩屑, 节约的费用可达 1, 60 美元^[3]。

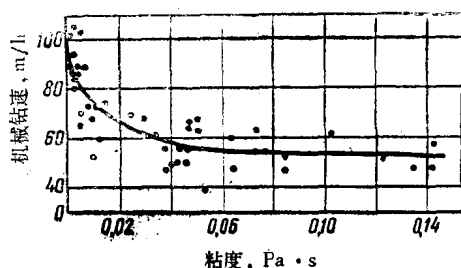


图 4 机械钻速与钻井液粘度的关系

第二节 钻井液的净化技术和工艺

在钻井液净化方面, 苏联各地区目前广泛使用CB-2、CB-2B型振动筛、全苏石油机器制造科学研究设计院 (ВНИИ нефте-маш) 研制的1ПГК型水力旋流除砂器 (由四个直径为 150mm 的ГГЦ-150型水力旋流器组成) 和古比雪夫石油工业科学研究所 (Куйбышев НИИ НП) 研制的ЦСГО型水力旋流除砂器 (仅一个直径为 400mm 的水力旋流器)。

全苏石油钻井和钻井液科学研究所 (БНИИКР нефть) 与各地石油科学研究设计院一起, 对全国各地使用净化设备的工作效果进行了评价。他们的研究结果如表 1 所示。从表中可知, 各地主要采用振动筛净化钻井液, 其岩屑清除量平均不超过 11%。如采用除砂器, 岩屑清除量可达 19%。采用振动筛和除砂器两级

表 1

联 合 体	净 化 设 备 数				钻 进 千 米		筛网总 消 耗 量 m ²	净 化 设 备 工 作 性 能 指 标						加重剂 消耗量 kg/h
	振 动 筛		除 砂 器		筛网消耗量 m ²	岩 屑 清 除 %		筛 网 消 耗 量		净 化 中 钻 井 液 消 耗 量		除 砂 器		
	总 数	在 用 数	总 数	在 用 数				振 动 筛	除 砂 器	振 动 筛	除 砂 器			
乌克兰油田	50	39	29	19	15.6	39.8	3256	2.2	—	2.2	0.005	—	24.1	
鞑靼油田	160	142	11	4	2.0	2.4	2091	12.1	—	12.1	0.030	—	14.2	
奥列布尔油田	51	38	45	36	5.3	5.4	1721	39.7	30.5	70.2	0.003	0.045	—	
曼格什拉克油田	48	40	41	38	6.5	3.9	2020	2.1	4.6	6.7	0.001	0.007	—	
西西伯利亚油田								5.6	21.9	27.5	—	0.400	—	
斯塔夫罗波尔油气田	62	52	45	15	19.4	30.2	9537	34.0	—	34.0	0.019	—	—	
格罗兹内油田	175	153	—	—	37.5	25.0	1910	14.6	—	14.6	0.009	—	53.0	
二叠油田	81	35	18	1	7.0	1.5	2650	26.2	—	26.2	0.030	—	—	
萨拉托夫油气田	130	96	—	—	5.8	5.8	493	14.2	—	14.2	0.0005	—	0.8	

净化系统，清除岩屑总量则达25~35%。

振动筛配用筛面的筛孔尺寸大：0.7×2.3；1×1.5；2×2；2.5×2.5；3×3；4×4；1×4；1×5；5×5mm。当钻进浅部粘土质地层时，可采用筛孔尺寸较大的筛面（斯塔罗波夫油气田，西西伯利亚油田，曼格什拉克油田），而钻进深部时，应采用筛孔尺寸较小的筛面。

表2系克拉斯诺达尔油气田联合体对钻进过程中采用各种方法进行净化的研究结果。表列数据说明，采用振动筛的净化程度，对非加重钻井液是8.67%，而对加重钻井液是4.42%。

在西西伯利亚油田，钻井液净化效果平均为23~40%^[4]。因此，在钻进较厚的砂质沉积岩时，不得不大量更换循环系统中的钻井液，并导致钻井过程延缓。通过我们和各地石油科学设计院对全国不同地区岩屑固相成份的分析证实，岩屑颗粒尺寸大多小于0.074mm（图5）。清除此类细小颗粒宜采用水力旋流器、除泥器和除（细）泥器，采用目前普通的净化方法只能清除掉2~5%。

采用振动筛所能清除的1mm以粗的颗粒，在岩屑总量中一般只占很小比例，仅在个别情况下可达15%（鞅鞅油田）。尺寸为1~0.074mm的中间组份颗粒，平均占岩屑总量的12%，此类颗粒从钻井液中总共可清除掉19~52%。为了提高除砂器的净化效果，必须首先致力于提高振动筛的净化效果，如进一步完善其结构并装上筛孔尺寸小的筛面等。

应根据钻进地层条件和钻井液密度，成套地选用适合清除岩屑的钻井液净化设备，以便综合使用取得最佳经济效果。振动筛可用于任何地层条件下的钻井液净化；除砂器和除泥器宜用于净化非加重钻井液。

钻进时如选用轻度加重的钻井液（密度低于1.5g/cm³），除了振动筛，循环系统还应备有专门的除砂装置。在钻进粘土质地层时，为了清除过量的粘土，循环系统中除了振动筛，还应备有离心分离器、涡轮旋流器、水力旋流除泥器。

表 2

钻井液	泥浆泵		钻井液		固 相		含 量		钻 井 液 净 化 程 度		筛						
	泵 量	密度 ρ , g/cm ³	相对粘度 T, s	总量	颗 粒 尺 寸 组 份				固相总含 量	颗 粒 尺 寸 组 份							
					mm					mm							
					0.04	1.0	1.0 ~0.5	0.5 ~0.25		0.25 ~0.1		0.1 ~0.04	0.04	1.0	1.0 ~0.5	0.5 ~0.25	0.25 ~0.1
非加重 钻井液	26.0	$\frac{1.23}{1.22}$	$\frac{40.0}{39.1}$	$\frac{373.7}{354.6}$	$\frac{8.43}{0.54}$	$\frac{19.96}{15.56}$	$\frac{14.73}{13.37}$	$\frac{23.80}{22.90}$	$\frac{22.23}{21.13}$	5.11	17.58	93.59	22.04	9.23	3.79	4.94	
加重钻 井 液	27.1	$\frac{1.62}{1.60}$	$\frac{47.7}{47.0}$	$\frac{511.9}{492.7}$	$\frac{2.24}{0.20}$	$\frac{19.03}{14.22}$	$\frac{15.33}{13.94}$	$\frac{25.91}{24.94}$	$\frac{30.70}{29.19}$	3.73	11.50	91.03	25.20	9.01	3.67	4.86	
平均 值											4.42	14.54	92.31	23.62	9.12	3.73	4.90
振 动 筛																	
非加重 钻井液	29.0	$\frac{1.24}{1.22}$	$\frac{42.0}{38.6}$	$\frac{394.4}{360.2}$	$\frac{8.17}{0.35}$	$\frac{11.14}{6.43}$	$\frac{12.85}{10.63}$	$\frac{19.73}{18.13}$	$\frac{16.14}{15.14}$	8.67	25.50	95.70	42.28	17.41	8.13	6.19	
加重钻 井 液	28.6	$\frac{2.01}{1.98}$	$\frac{49.0}{43.6}$	$\frac{543.5}{519.3}$	$\frac{1.62}{0.11}$	$\frac{13.38}{7.98}$	$\frac{14.88}{12.40}$	$\frac{25.28}{23.34}$	$\frac{39.41}{37.00}$	4.45	14.60	93.20	40.80	16.67	7.67	6.11	
平均 值											6.56	20.05	94.45	41.54	17.08	7.90	6.15

说明: 1. 分子表示的是净化前对钻井液试样分析所得数据的平均值, 而分母则是相对应的净化后的数值。

2. 对加重钻井液, 在其总固相成份含量中不包括加重剂。

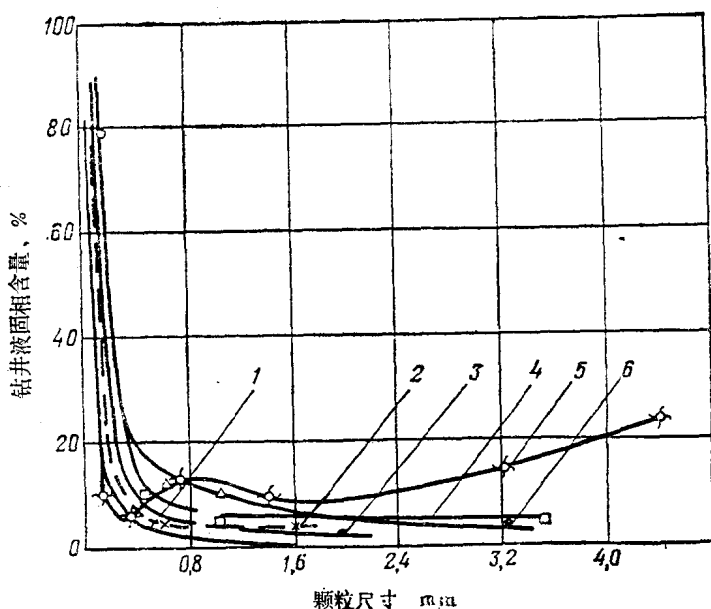


图 5 不同矿区钻井液固相成份变化曲线图

1—西伯利亚；2—西乌克兰；3—格罗兹内；4—萨拉托夫，
5—鞑靼；6—斯塔夫罗波尔

表 3 列举了美国现行固相颗粒分级及其净化方法。

表 3

颗粒尺寸分级	颗粒尺寸 μm	净化方法和净化设备
粗颗粒	2000	振动筛
中粗颗粒	250~2000	振动筛
中细颗粒	74~250	水力旋流除砂器
极细颗粒	2~44	离心分离机，并借助选择性絮凝剂进行沉淀
胶体颗粒	2	离心分离机，钻井液预先用水稀释

第三节 振动筛净化钻井液的方法

采用振动筛清除岩屑，是钻井液净化工作的第一步。因此，在钻井液净化系统的配套设备中，振动筛是最重要和必不可少的一环。如果缺少振动筛，将导致其它设备净化负担过重，难以有效地工作。净化加重钻井液时，往往只使用振动筛，其净化质量更是直接关系到为维护钻井液性能而采用化学处理剂和加重剂的耗用量。振动筛净化程度愈高，岩屑清除量愈多，处理剂耗量就愈少，经济效果也愈好。

在钻井液地表循环系统中，振动筛均安装在井口附近，以防止岩屑在槽中磨细和沉淀。所有振动筛的工作原理都是相同的，其区别仅在于某些结构特点和工艺指标的不同。

在苏联生产了由全苏石油机器制造科学研究设计院研制的CB-2和CB-2Б型振动筛，从1978年起又生产了由卡巴尔达-巴尔卡尔(КБ)石油机械联合体研制的结构更完善的BC-1型振动筛。

一、CB-2型振动筛

CB-2型振动筛(图6)由下列部件组成：支架1、分流槽2、一对电动机3、防护罩4、振动框架5、缓冲器6、紧筛筒7。

支架由一个用槽钢制作的四个滑道底座，焊上侧壁后形成贮罐，以盛放经过筛选的钻井液。分流槽和两个振动框架固定在支架上。振动筛分流槽的结构可使钻井液从三个方向流入，并在钻井液液面达到一定高度时，又可通过两个溢流槽流向筛面。在溢流槽内设有匀流器，它既可促使液流沿筛面宽度均匀地流出，又可在它处于最低位置时完全挡住槽断面。

在分流槽中部还有一个盖着角状挡板的排水口，与贮罐相通。当匀流器封闭溢流槽时，角状挡板稍微抬起，钻井液即可不经过筛面，直接从分流槽流向池子。

驱动振动筛的两台电动机，装在分流槽上部。

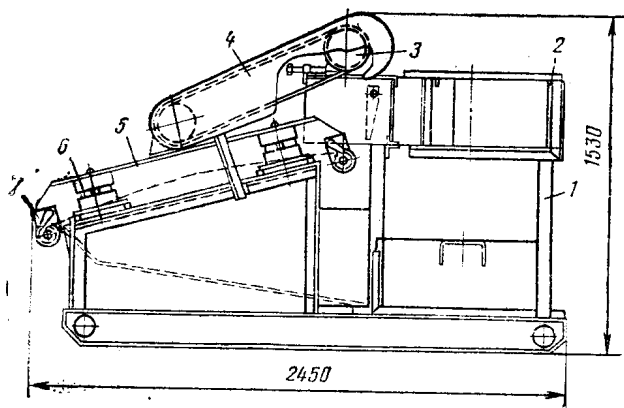


图 6 CB-2型振动筛

每个振动框架均配备带偏心轮的振动器，并分别支承于四个橡胶缓冲器上。振动器系由同步电动机单独驱动。在框架的两端装有两个带棘轮机构的圆筒。筛面即通过圆筒绷紧，并支承于框架横拉件上。上圆筒所缠储备筛面的长度超过筛网工作长度的两倍。使用过程中，随着筛面磨损，可不断转动下面筒，移动筛面，换出储备在上圆筒上的好筛面。通过上下圆筒倒换筛面，可一直进行到储备筛面全部更换完为止。采用这种结构可以更合理地利用筛面。

CB-2型振动筛技术性能

钻井液流量, L/s	50~60
筛面每分钟振动次数	1,600和2,000
筛孔净尺寸, mm	1×5
单个框架上筛面长度 (含备用量), mm	4,500
筛面宽度, mm	900
电动机	
数量	2

型号	A02-31-4
功率, kW	2.2
外形尺寸, mm	2,450 × 2,650 × 1,530
重量, kg	1,380

二、CB-2B型振动筛

CB-2B型振动筛既适用于标准结构形式的钻井液净化装置分立件上,也适用于其它结构形式的贮罐上。

该型振动筛(图7)由下列部件组成:支架1;紧筛筒2;缓冲器3;振动框架4;防护罩5;电动机6;分流槽7。

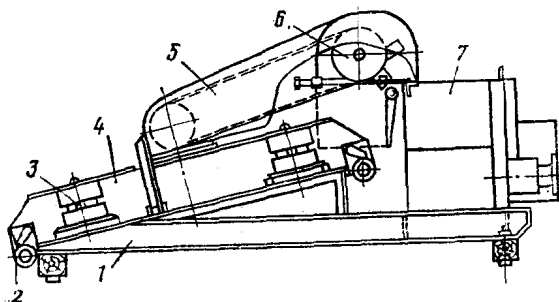


图 7 CB-2B型振动筛

支架由四条纵向槽钢组成,并焊有四根支柱和分流槽。在分流槽后壁焊有两根带法兰盘的连接管,直径分别为325和60mm。钻井液通过管道及与其相连的直径为325mm的连接管,流入分流槽。直径为60mm的连接管通过阀门与净化分立件的其它辅助管道相通。

分流槽内壁焊有两个溢流槽。每个溢流槽内都有匀流器,它既可以促使液流沿筛面宽度均匀地流出,又可在它处于最低位置时完全挡住槽断面。在分流槽底部还有一个盖着挡板的排水口,当匀流器堵住溢流槽时,稍抬起挡板,钻井液可不经筛面,直接从分流槽流到分立件净化贮罐。在分流槽上面还装有两台供驱

动振动器的电动机。

CB-2B型振动筛的振动框架、紧筛筒和振动器驱动装置的结构，均与CB-2型振动筛相似。两者技术性能指标也相同，只是外形尺寸和重量有所区别。CB-2B型振动筛的外形尺寸为 $2,490 \times 2,200 \times 910\text{mm}$ ，重量为 987kg 。

CB-2B型振动筛设计时即已考虑了可直接装在泥浆贮罐上，因此它本身并没有设置盛放经过筛选的钻井液的容纳池。

多年使用振动筛的经验表明，紧筛装置这部分的结构是不够完善的，特别是采用筛孔尺寸小的筛面，往往导致筛面过快地磨损和流量降低。古比雪夫石油天然气联合体的科研工作者倡议并采用暗匣式装置横向绷紧筛面，以代替紧筛筒。改进后的振动筛经使用证明，可明显地提高净化程度和流量。

如表4所示，CB-2B和CB-2型振动筛采用了暗匣式装置，就允许选用 $0.8 \times 0.8\text{mm}$ 筛孔尺寸代替 $4 \times 4\text{mm}$ 筛孔尺寸的筛面，使净化程度提高二倍。筛面使用寿命与其类型、尺寸有关(表5)，约为 $196 \sim 518$ 小时，明显地高于采用紧筛筒绷紧的筛面的使用寿命。

表 4

井场和 钻井号	井深 m	机械 钻速 m/h	钻头 直径 mm	筛孔净 尺寸 mm	钻 井 液 参 数								净化 程度 %
					净 化 前				净 化 后				
					密度 g/ cm ³	相对 粘度 s	静切力 pa	固相 含量 %	密度 g/ cm ³	相对 粘度 s	静切力 pa	固相 含量 %	
穆哈诺夫斯基822号	300	7.5	394	4.0×4.0	1.18	25	—	11	1.16	20	—	10.30	8.2
马尔托夫斯基7号	2,158	4.5	215	0.8×0.8	1.16	45	$\frac{15.2}{17.3}$	10	1.11	43	$\frac{14.6}{15.4}$	6.88	31.0
特维尔斯基134号	3,063	1.5	212	0.6×0.8	1.16	45	$\frac{10.0}{13.1}$	10	1.12	42	$\frac{8.2}{11.2}$	7.52	24.8

表 5

筛孔尺寸 mm	分析的钻井数	筛面平均寿命 h	筛 面 材 料
4.0×4.0	3	515	12×H9T钢 (ГОСТ5632-72)
2.0×2.0	1	430	12×H9T钢 (ГОСТ5632-72)
1.5×1.6	9	360	12×H9T钢 (ГОСТ5632-72)
1.2×1.2	2	301	12×H9T钢 (ГОСТ5632-72)
0.8×0.8	5	518	12×H9T钢 (ГОСТ5632-72)
0.4×0.4	4	196	12×H9T钢 (ГОСТ5632-72)
0.8×0.8	1	123	Лавсан

三、BC-1型振动筛

BC-1型振动筛具有更完善的结构，能在保持允许流通量的情况下，清除尺寸小至0.16mm的岩屑颗粒。

如图 8 所示，BC-1型振动筛由下列部件组成：底座1；振动

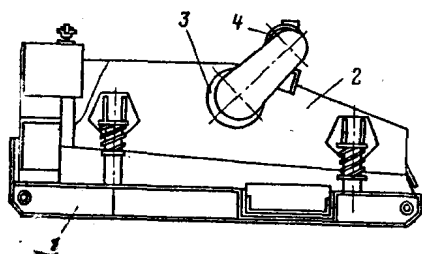


图 8 BC-1型振动筛

框架 2；振动器 3；电动机 4。框架由四个弹簧支撑，并与振动器、电动机等相连。框架上装有两个串联布置的筛面。

第一个筛面水平放置；第二个筛面倾斜 5° 。

借助螺栓和弹簧的暗匣式

装置，用于横向绷紧和固定筛面。每台振动筛配备三套筛面。每套筛面包括分别装在卷筛暗匣里的下列五种规格的筛面：0.9×0.9；0.4×0.4；0.25×0.25；0.2×0.2；0.16×0.16mm。

BC-1型振动筛技术性能

可清除的岩屑颗粒的最小尺寸，mm

0.16

清水钻进时的最大流量

(筛面尺寸 $0.16 \times 0.16\text{mm}$), m^3/s	0.038
筛面工作面积,	
筛面宽度为 $1,300\text{mm}$ 时	2.67
筛面宽度为 $1,000\text{mm}$ 时	1.85
电动机功率, kW	3
振幅为 8mm 时的每分钟振动次数	1,040
外形尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高), m	$3.0 \times 1.9 \times 1.3$
重量, kg	1,800

BC-1型振动筛在苏兹达尔3号试验井试验。试验目的是研究采用各种不同筛孔尺寸筛面时,振动筛的流通量和净化能力。试验时采用非加重钻井液和加重钻井液(密度为 $1.4 \sim 1.6\text{g}/\text{cm}^3$),固相含量为 $2 \sim 10\%$ 。固相粒度组成为:大于 0.2mm 至小于 0.5mm 的颗粒占 35% ;大于 0.5mm 至小于 3mm 的颗粒占 30% 。

试验结果见表6。由表知,振动筛如采用筛孔尺寸为 $0.16 \times 0.16\text{mm}$ 的筛面,流通量可达 $10 \sim 20\text{L}/\text{s}$;相应地筛孔尺寸为 $0.4 \times 0.4\text{mm}$,流通量为 $25 \sim 27\text{L}/\text{s}$;筛孔尺寸为 $0.9 \times 0.9\text{mm}$,流通量为 $100\text{L}/\text{s}$ 。

单筛面振动筛对各个粒度组份固相颗粒的筛选能力,首先取决于筛面筛孔尺寸的大小。实际上,试验时选用的筛面虽然不同,但尺寸大于 0.8mm 的岩屑颗粒,均可筛选出来。如选用筛孔尺寸小于 0.9mm 的筛面,尺寸在 $0.4 \sim 0.65\text{mm}$ 之间的岩屑颗粒清除量平均为 $75 \sim 85\%$ 。

值得注意的是,相当数量小于筛孔尺寸的岩屑颗粒,总可以从钻井液里筛选出来。如采用 $0.4 \times 0.4\text{mm}$ 的筛面,筛选出的颗粒就有 15% 以上是尺寸小于 0.4mm 的。这主要是由于尺寸较小的岩屑颗粒以复杂方式运动,并相互聚结的缘故。

随着岩屑颗粒筛选出去而产生的钻井液损耗小于 1% 。只有在选用筛孔尺寸为 $0.16 \times 0.16\text{mm}$ 的筛面时,钻井液损耗为 $1.4 \sim 2\%$ 。振动筛试验时间超过 $1,500$ 小时,未发生严重损坏。筛孔尺寸为 $0.16 \times 0.16\text{mm}$ 的筛面,使用寿命为 196 小时。