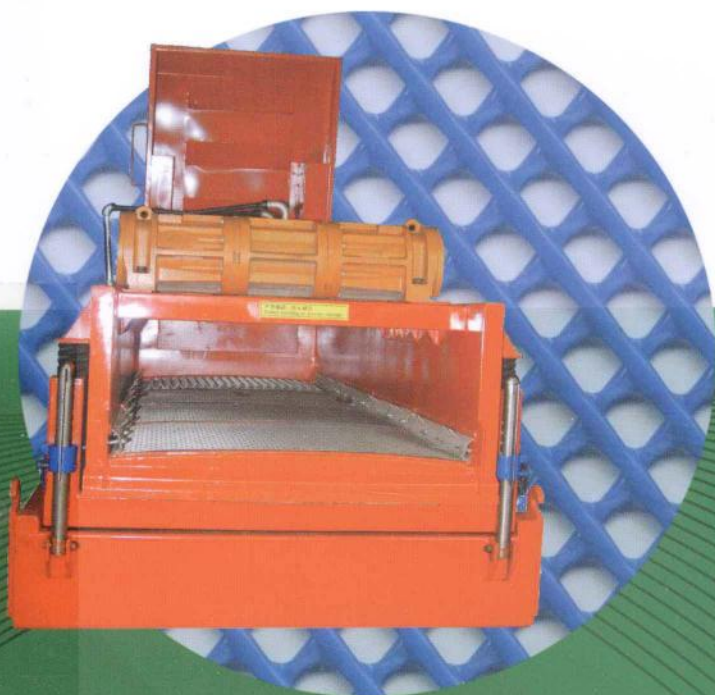


ZUANJING ZHENDONGSHAI DE
GONGZUO LILUN YU CESHI JISHU

钻井振动筛的 工作理论与测试技术

(第二版)

张明洪 邓 嵘 徐 倩 著



石油工业出版社

钻井振动筛的工作理论与测试技术

(第二版)

张明洪 邓 嵘 徐 倩 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是西南石油大学固控科研组近 30 年来对单质体双轴强迫同步与自同步平动椭圆惯性振动筛长期深入系统研究的成果总结。在 1996 年第一版的基础上,第二版又增加了近 10 多年来在理论分析和试验研究方面很多新的重要突破。主要内容包括钻井振动筛的筛分机理、钻井振动筛的设计与计算、振动筛测试技术、现代信号数字分析技术在钻井振动筛研制中的应用、钻井振动筛筛网宏观力学性能测试与试验模态分析等。

本书深入浅出,图文并茂。读者对象既涵盖了厂所院校的科研人员和高中级工程技术人员,也顾及到生产第一线的广大工程技术人员和技术工人。本书也可作为高等院校相关专业研究生和本科生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

钻井振动筛的工作理论与测试技术/张明洪等著. -2 版.
北京:石油工业出版社,2013.3

ISBN 978 - 7 - 5021 - 9342 - 3

I. 钻…

II. 张…

III. 钻井 - 振动筛 - 研究

IV. TE925

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 259435 号

钻井振动筛的工作理论与测试技术(第二版)

张明洪 邓 嵘 徐 倩 著

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523535 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013 年 3 月第 2 版 2013 年 3 月第 2 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:16.75

字数:427 千字

定价:75.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

《钻井振动筛的工作理论与测试技术》第一版 1996 年出版后,不仅受到石油行业广大读者的欢迎,而且得到相关行业的关注,对提高我国钻井振动筛和相关行业振动筛的设计、制造及应用水平发挥了很好的作用。

近 10 年来,随着石油钻井装备的迅速发展,作为钻井液固相控制系统主要设备的钻井振动筛也取得了很大进步,特别是西南石油大学在钻井振动筛工作理论和测试技术领域取得了多方面的研究成果,曾先后获得三次国家级科技奖和多次省部级奖励,并获得多项国家发明专利和实用新型专利技术。

本书的再版系统反映了当前国内外钻井振动筛的最新研究成果,重点是作者在新型平动椭圆振动筛工作理论与测试技术方面的最新研究成果。同时,应读者要求专门增加了关于钻井振动筛结构设计和计算方面的内容。全书理论与实用并重,提高与普及相结合,既可供设计、研发人员参考,也可供使用人员培训应用。

现在,我国已是世界钻机制造大国,但作为钻机重要组成部分的钻井液固相控制系统仍是钻机的主要薄弱环节之一,亟待加速提高,相信本书的出版对进一步提高我国钻井振动筛设计、制造和应用水平将会作出更大的贡献。

赵国珍

2012 年 8 月于北京

前 言

随着石油天然气钻井业的蓬勃发展和现代科学技术的飞速进步,对结构尽可能简单,性能效果尽可能优良,制造成本尽可能低廉的单质体、双轴、自同步惯性振动筛的需求越来越迫切。不仅在石油行业的钻井振动筛,在其他行业如矿山振动筛、与盾构工程配套的泥水分离振动筛、与跨越工程配套的振动筛等也都有同样的迫切需求。

《钻井振动筛的工作理论与测试技术》(第二版)是在第一版内容的基础上,增加了近十几年来西南石油大学固控科研组的最新科研成果,例如,平动椭圆振动筛的力心理论及非等质径积追随自同步与同步状态稳定性理论,现代信号数字分析技术在振动筛研制中的应用等。同时,应读者的要求又专门增加了关于钻井振动筛结构设计和计算方面的有关内容。

本书尽量做到深入浅出,图文并茂。努力做到雅俗共赏,理论分析与实际应用并重。在撰写过程中,力求能将课题组在振动筛研制中所荣获三次国家科技奖的成果内容介绍给读者。同时,参阅了大量的有关文献和专著,特在此向本书所引用文献和专著的作者表示诚挚的感谢。本书第二版得以问世,除了广大读者的迫切需求和大力支持外,石油工业出版社有限公司的资深编辑何莉女士对本书倾注了极大的热情和心血,在此,一并表示由衷的谢意。另外,在本书的撰写过程中还听取了校内外很多师生、工程技术人员和井场工人师傅们的意见和建议,在此也向他们表示深深的感谢。

本书共分七章,由西南石油大学张明洪教授主编和统稿,参加撰写的有西南石油大学邓嵘教授(第一章、第四章)、西南石油大学徐倩博士(第二章、第三章、第五章)和张明洪教授(绪论、第六章、第七章)。全书由我国石油天然气装备资深专家赵国珍教授审定。

由于笔者水平所限,书中缺点和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
第一节 钻井液固相控制及其对钻井振动筛的基本要求	(1)
第二节 钻井振动筛的基本类型和国内外发展现状	(2)
第一章 普通钻井振动筛	(6)
第一节 单轴钻井振动筛	(6)
第二节 双轴直线钻井振动筛	(13)
第三节 双轴自同步直线钻井振动筛	(18)
第四节 圆形钻井振动筛	(21)
第五节 其他类型钻井振动筛	(44)
第二章 平动椭圆钻井振动筛	(66)
第一节 平动椭圆钻井振动筛简介	(66)
第二节 双轴(或双电动机)惯性振动筛“力心”的唯一性与确定性	(69)
第三节 平动椭圆钻井振动筛的设计实施	(76)
第三章 钻井振动筛的筛分机理	(96)
第一节 干固相颗粒在筛面上的运动	(97)
第二节 淹没和湿颗粒在筛面上的运动	(103)
第三节 固相颗粒在钻井振动筛筛面上运移的计算机模拟和试验	(111)
第四章 钻井振动筛的设计与计算	(116)
第一节 钻井振动筛的结构设计	(116)
第二节 钻井振动筛弹性支承系统的设计	(128)
第三节 钻井振动筛有限元分析及动强度计算	(139)
第四节 钻井振动筛参数选择和处理量的实用计算	(149)
第五节 钻井振动筛的 Pro/E 设计	(155)
第五章 振动筛测试技术	(159)
第一节 测试基础知识	(159)
第二节 钻井振动筛主要动态特性参数的测试	(191)
第三节 钻井振动筛筛箱结构的电测强度分析	(205)
第六章 现代信号数字分析技术在钻井振动筛研制中的应用	(213)
第一节 简捷易行的锤击响应 FFT(快速傅立叶变换)分析法	(213)
第二节 基于秦氏模型的智能控件化振动筛动态特性参数检测仪	(226)

第七章 钻井振动筛筛网宏观力学性能测试与试验模态分析	(238)
第一节 编织筛网宏观力学性能的研究	(238)
第二节 筛网张紧力和张紧力矩的测定	(246)
第三节 筛网模态参数的试验识别	(248)
参考文献	(256)

绪 论

第一节 钻井液固相控制及其对钻井振动筛的基本要求

钻井液工艺技术是现代钻井工程的重要组成部分,特别是随着钻井新工艺、新技术的应用,对钻井液性能控制的要求日益提高。钻井实践经验表明,钻井液中固相的含量及固相颗粒的大小对钻井液的性能有很大影响。这里所指固相,按其作用可分为两类:一类是有用固相,如膨润土、化学处理剂、重晶石等;另一类是有害固相,如岩屑、劣质膨润土、砂粒等。所谓固相控制(简称“固控”)就是要清除钻井液中的有害固相,保存有用固相,以满足钻井工艺的要求。

国内外对钻井液中固相含量的影响进行了大量的室内单元试验和现场工业试验研究工作。研究结果证明,在一般情况下,增加固相含量,钻井液的密度、黏度、切力、滤饼厚度以及含砂量均会增加,失水量则有所下降。这些性能变化将会明显降低钻速,增加钻头用量,甚至有增加井漏、气侵、卡钻的可能性,导致钻井总成本的大幅度上升。图1是根据美国和加拿大上百口不同深度井平均统计数据绘制的固相含量对钻井速度、钻头用量以及钻井天数的影响曲线,由图可知,固相含量越低,则降低固相含量的效果越加明显。对于固相不分散钻井液,一般规定固相含量不能超过4%(体积分数),含砂量应小于0.5%。

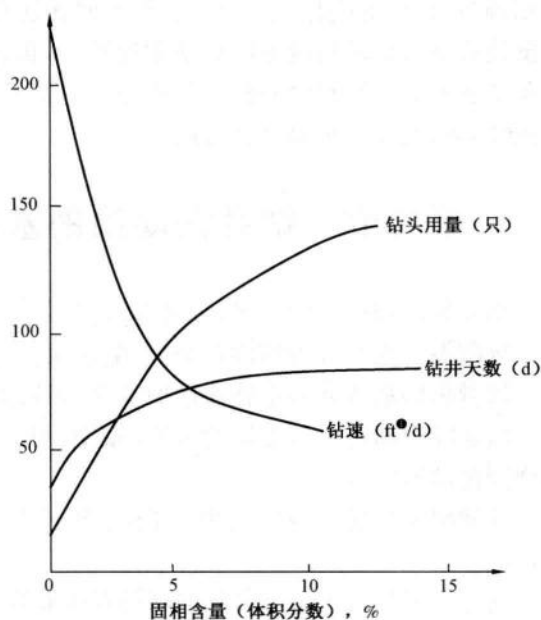


图1 固相含量对钻井的影响

现代钻机钻井液固相控制系统如图2所示,一般由钻井振动筛、除气器、除砂器、除泥器和离心分离机等组成,用于逐级清除不同粒度的固相颗粒,其中振动筛是由井口返回

钻井液的最基本的常规固相控制设备,它不仅要承担清除大量较大颗粒岩屑的任务,而且要为下一级固控设备的工作创造条件。振动筛工作不正常,则旋流除砂器也很难正常工作,因此,钻井振动筛的研究日益受到世界钻井界的普遍关注。

钻井振动筛是20世纪30年代由矿山设备引入石油工业的,在采矿工业中,振动筛主要是用于物料筛分作业,其目的是使物料通过筛网分成各种颗粒分级,同时,矿业中振动筛也用于脱水、脱泥等作业。而石油钻井对振动筛性能的要求与采矿用筛有很大不同,在石油钻井作业中,振动筛主要用于清除钻井液中的岩屑和其他有害固相颗粒,它一方面要求有较大的处

① 1ft = 0.3048m。

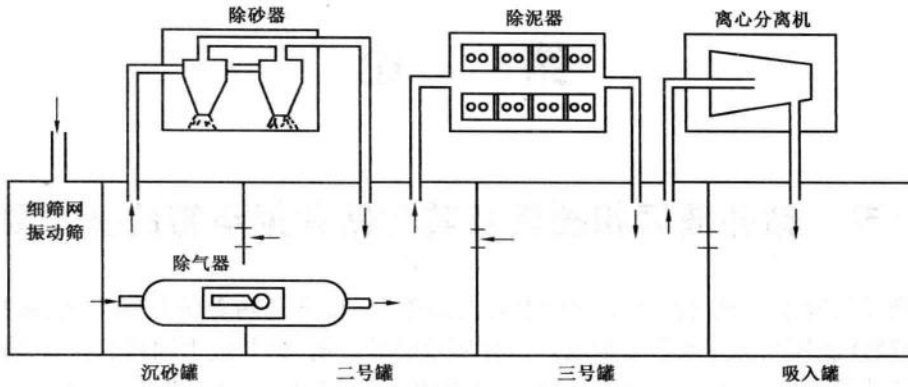


图2 钻井液固控系统组成示意图

理量,能尽可能多地回收成本较高的钻井液;另一方面又要求尽可能多地清除钻井液中的有害固相颗粒,最好能把相当部分小于筛网网孔的有害固相颗粒也清除掉,正是这项特殊的基本要求推动着钻井振动筛的不断更新和发展。同时,由于钻井振动筛一般工作在露天井场,工作条件非常恶劣,因此,对钻井振动筛的另一主要要求是不断提高整机和零部件的可靠性,特别是易损件如筛网等的可靠性和寿命。

第二节 钻井振动筛的基本类型和国内外发展现状

钻井振动筛的类型较多,分类方法也不尽相同。

按激振原理可分为惯性振动筛、电磁振动筛、液压振动筛和气动振动筛等。

按激振轴数可分为单轴惯性振动筛、双轴惯性振动筛和多轴惯性振动筛。

按运转中筛箱上各点运动轨迹(振型)可分为一般椭圆振动筛、圆振动筛、直线振动筛、平动椭圆振动筛等。

按筛网安装层数可分为单层振动筛、双层振动筛(上层筛孔较大、下层较小)和多层振动筛。

按振动筛组合方式可分为并联筛和串联筛。

直到20世纪50年代初期,清除钻井液中的固相颗粒主要使用单轴激振、椭圆振型的老式振动筛。随着钻井工艺技术,特别是喷射钻井技术的迅速发展和推广,对固控的要求不断提高,一般采用筛网在30目以下的老式常规筛已远不能满足要求,于是除采用了较细筛网的振动筛外,增加了水力旋流器,形成二级固控,继而又发展为三级固控。为了清除更细的有害固相,调节钻井液性能和回收重晶石,又增设了离心机,这样,整套固控设备结构越来越复杂、庞大,设备费用、维修费用和动力消耗都相应增加。由于组成环节增加,可靠性就相应降低,因此,研制既能满足越来越高的固控要求,又能简化结构、便于使用维修的新设备,正是20世纪80年代中期以后国内外固控设备发展的基本动向。概括起来,固控设备的发展趋势和途径主要有以下两个方面:

一种发展趋势是以改进钻井振动筛性能为核心,简化现有固控系统,力争在一般钻井条件下,用振动筛—离心机组成的两级固控取代现有的多级固控系统。

(1)多级固控系统。

多级固控系统主要由钻井振动筛、钻井液除气器、除砂器、除泥器、清洁器、离心机、搅拌器、离心砂泵、钻井液配浆装置等组成。

(2) 多筛—离心机固控系统。

用4台甚至6台超细目振动筛(使用筛网目数为100~210目)配离心机一台,去掉除砂器、除泥器等组成多筛—离心机固控系统。

(3) 一步式的固控装置。

① 早在1986年底美国 Remtack 公司就推出了 MAX 系统。但由于其处理量小、结构复杂、设备的可靠性差和所要求的真空度难以保证,因而,要用于钻井现场的实施还需要进行艰苦的研发工作。图3为该系统的示意图。这是根据真空过滤机理研制的一种抽吸式固控装置,据生产厂家介绍,该装置只经过一步过滤就可以除去95%的岩屑,亦可除去钻井液中的气体,所有固相在处理过程中不会破裂或分散开。可按最佳清除方式选定清除粒度的大小,使钻井液损失最少,并能适应各种工况。同时,这种装置所占空间和所需的功率都较小。但这种设备的最大难度在于要求保持较高的真空度,因此至今未能得到推广应用。

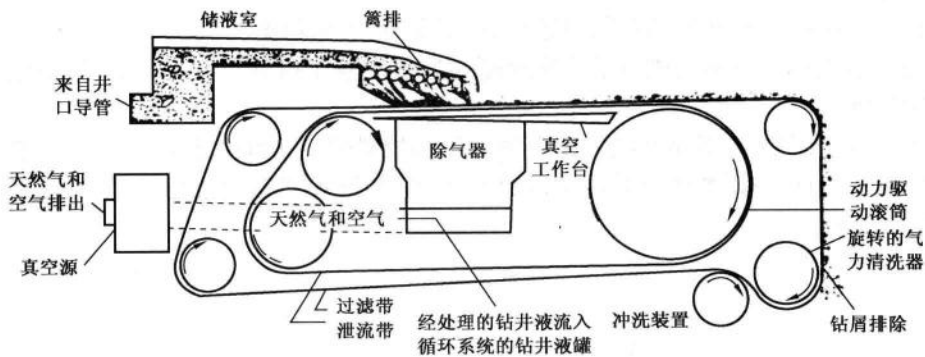


图3 MAX 真空过滤固控系统工作流程

② 英国 Pansep 型一步式过滤装置。Pansep 型一步式过滤装置(图4)是一种环状、非振动、连续传输式筛分装置。

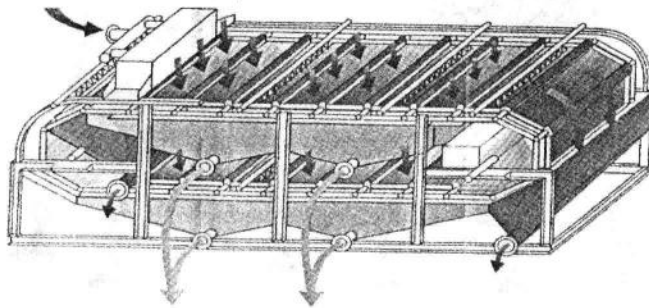


图4 Pansep 型一步式过滤装置

它的筛网装在柔性筛盘上,筛盘分块由轴连接在一起,形成闭环结构。筛盘分里外(或上下)两层,上筛盘装粗筛网,下筛盘装细筛网,筛网的目数可根据需要选择。上筛网除了筛分粗颗粒之外,还对下筛网起保护作用。设备工作时由电动机带动链轮,链轮驱动筛盘旋转。在此过程中,井内返出的钻井液通过液流分配管流到转动的筛盘上,通过上下筛网对钻井液进行

两次筛析。

实现振动筛—离心机两级固控的核心问题是细化筛网,改善和提高振动筛的工作性能。近年来,国内外围绕这一问题作了大量的理论分析和室内及现场试验研究工作,使钻井振动筛工作理论的研究不断深入,由椭圆振型筛到圆振型筛、直线振型筛,再到目前我国已率先研制成功的平动椭圆振型筛,使钻井振动筛的性能得到不断提高,特别是黏结叠层细筛网的研制成功,有效地提高了筛网的工作寿命,这些都为筛网细化和扩大使用细目筛、超细目筛创造了条件。分析研究国内外有关资料和厂家产品目录,可看出当前钻井振动筛的主要发展方向是:

(1)深化振动筛工作理论研究,包括合理振型、筛面固相颗粒运移规律、透筛机理以及影响处理量各项因素的研究。

(2)细化筛网,加速发展细目(80目以上)、超细目(200目以上)振动筛。同时,为使单筛实现超细目要求,振动筛多为双层筛,上层筛网目数一般为10~60目,下层筛网目数为200目以上。为满足处理量要求,筛网面积一般较大,有的达 3m^2 以上。

(3)不断改进振动筛的控制、调节性能。振动筛工作性能参数(包括筛箱坡角)大都是可调的,有的还可方便地调节激振频率。

(4)进一步提高整机和零部件的可靠性,特别是筛网的使用寿命。

(5)通过采用现代传感器测试技术提取筛面带屑泥浆中所含反映井下钻进状况信息的智能型钻井振动筛。

另一种全新的发展趋势是我国西南石油大学固控科研组正在从事的一种建立在动态连续压滤机理基础上的动态压滤固控系统的研究——“钻井液动态激励压滤机”(见图5和图6),研究工作正在进行中。

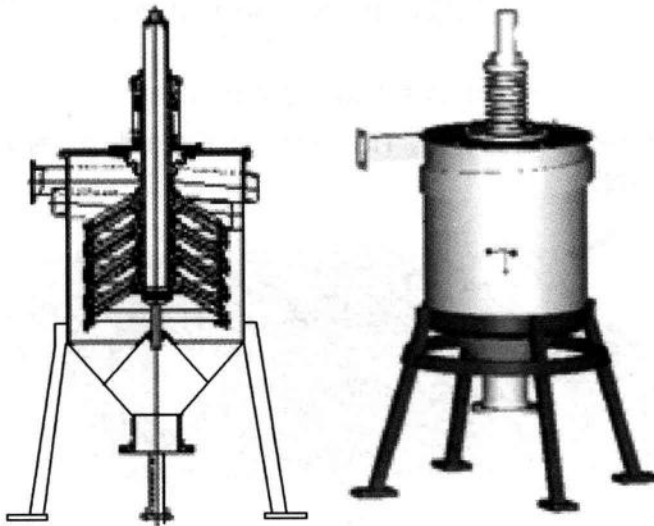


图5 钻井液动态激励压滤机(一)

钻井液动态激励压滤机由滤网机构、增压泥浆箱体、螺旋排屑机构、激励机构、弹性支撑底座5部分组成。

它的主要特点在于:

(1)来自井筒环空返回地面的钻井液经本动压机一步式过滤就可除去钻井液中的有害固相颗粒,并可除去进入钻井液的气体。

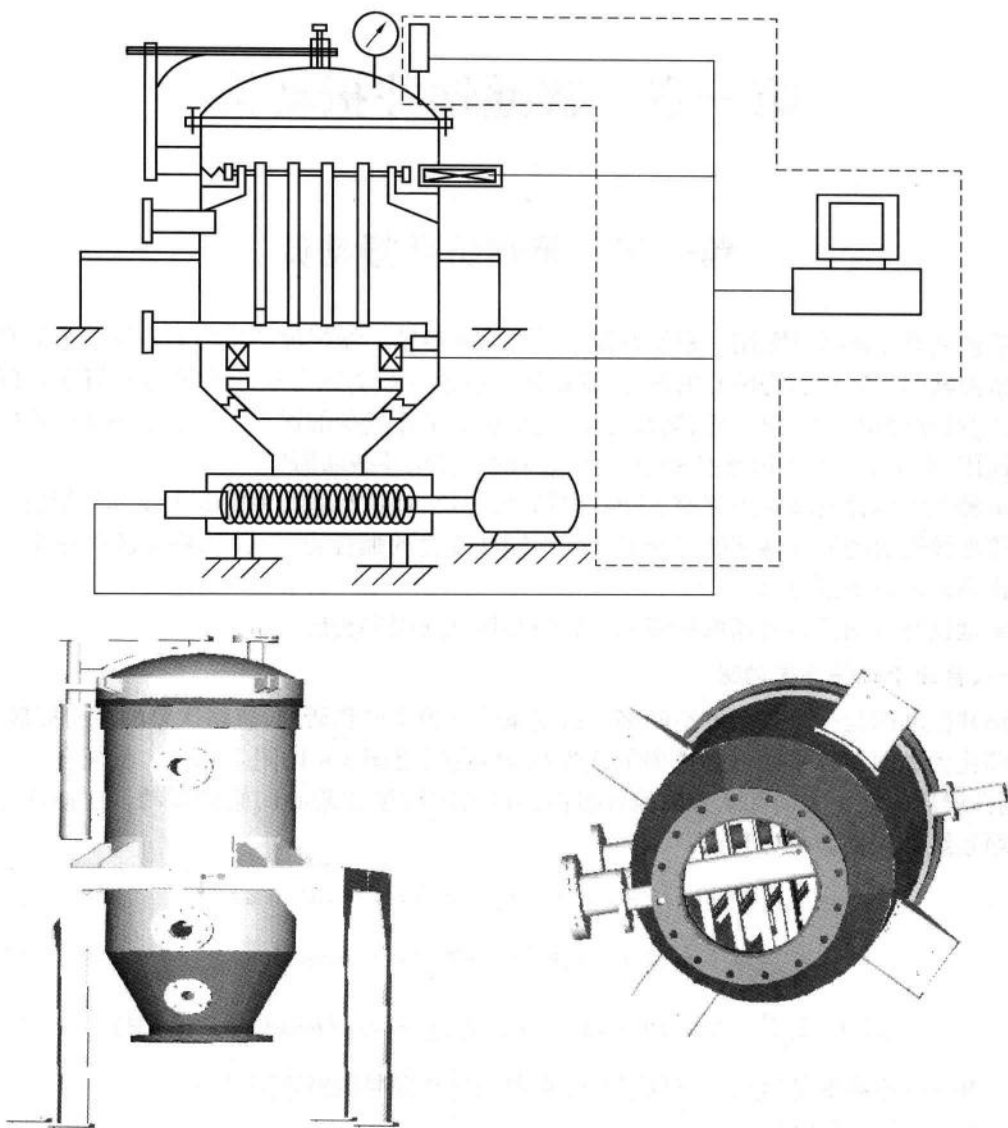


图6 钻井液动态激励压滤机(二)

(2)可按最佳清除方式选定清除粒度的大小,能有效控制泥浆的处理粒度值。

(3)较普通固控设备,可使钻井液损失最少、排出的泥饼密实度高,故对环境的污染可减低到最小值,保护生态环境。

(4)能同时适应常规钻井及特殊钻井(如低压、沙漠、海上和泡沫等钻井)工况的需要。

(5)当滤网用到 $0.075/0.05\mu\text{m}$ (200目),甚至 $0.045/0.032\mu\text{m}$ (325目)时,则在离心机之前的设备,包括除砂器、除泥器、清洁器等就可完全省去,使固控设备和系统大为简化,从而产生巨大的经济效益和社会效益。

为环境保护的需要,西南石油大学还正在开发研制“泥浆岩屑后处理机”。其主要用途在于对经现有振动筛钻井液固相控制处理后排除的带浆岩屑进行第二次再处理,以便满足施工现场对环境保护工作提出的越来越高的要求。

第一章 普通钻井振动筛

第一节 单轴钻井振动筛

单轴钻井振动筛只采用一根带有偏心质量的激振轴。激振轴产生的离心惯性力矢端是一个以激振轴的回转中心为圆心的圆,其筛箱运动轨迹一般为圆形或渐变圆形。与双轴惯性筛相比,它具有结构简单、成本低、运移方便、维修保养工作量少的优点。在石油钻井行业中曾经大量使用,也是 20 世纪 80 年代初由国外进口的主要钻井振动筛型。

单轴惯性钻井振动筛由筛箱、筛网、主轴、偏心块、轴承和隔振弹簧等主要部件组成。由偏心块等部件构成的激振器旋转运动时产生周期性变化的惯性力,迫使筛箱等部件在平面或空间内作谐振动或准谐振动。

单轴钻井振动筛有普通振动筛和自定中心振动筛两种类型。

一、普通单轴钻井振动筛

钻井振动筛是一个复杂的空间多自由度系统。为了简化研究,忽略次要的横向摇摆振动,将其简化为纵向对称平面内刚性梁的线性振动问题(见图 1-1、图 1-2)。系统有三个自由度:刚性梁质心在 x 方向和 y 方向的直线振动以及刚性梁绕质心的俯仰振动。由振动理论可得筛箱系统的振动微分方程为:

$$(M+m)\ddot{x} + c_x\dot{x} + (k_{x_1} + k_{x_2})x = mr\omega^2 \cos\omega t \quad (1-1)$$

$$(M+m)\ddot{y} + c_y\dot{y} + (k_{y_1} + k_{y_2})y = mr\omega^2 \sin\omega t \quad (1-2)$$

$$J\ddot{\theta} + (k_{y_1}l_1^2 + k_{y_2}l_2^2)\theta + (k_{y_2}l_2 - k_{y_1}l_1)y = mr\omega^2 b \cos(\omega t + \alpha + \beta) \quad (1-3)$$

式中 M ——筛箱质量(包括筛框质量、激振器质量和泥浆的折算质量);

m ——偏心块质量;

r ——偏心距;

x, y ——分别表示质心在 x 和 y 方向的位移;

θ ——筛箱绕其质心的角位移;

c_x, c_y ——分别表示 x 和 y 方向的等效阻尼系数;

k_{x_1}, k_{x_2} ——筛箱两端支承弹簧 x 方向的刚度;

k_{y_1}, k_{y_2} ——筛箱两端支承弹簧 y 方向的刚度;

l_1, l_2 ——筛箱两端支承弹簧到质心的距离;

J ——筛箱及偏心块绕其质心轴的转动惯量;

b ——激振器回转中心到筛箱质心的距离;

β ——激振器回转中心到筛箱质心连线与筛面法线的夹角;

α ——筛箱的安装倾角;

ω ——激振器的回转角速度。

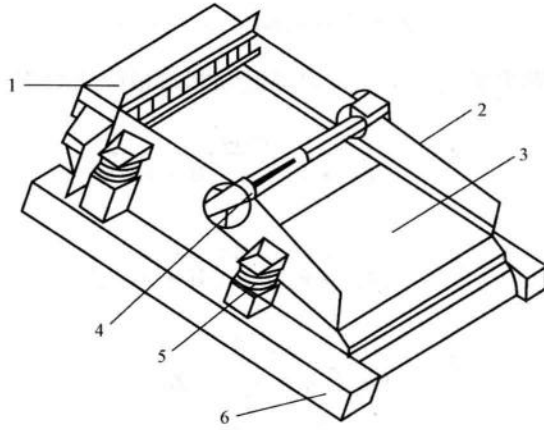


图 1-1 钻井振动筛示意图

1—泥浆缓冲器;2—筛箱;3—筛网;4—激振器;5—支撑隔振弹簧;6—底座

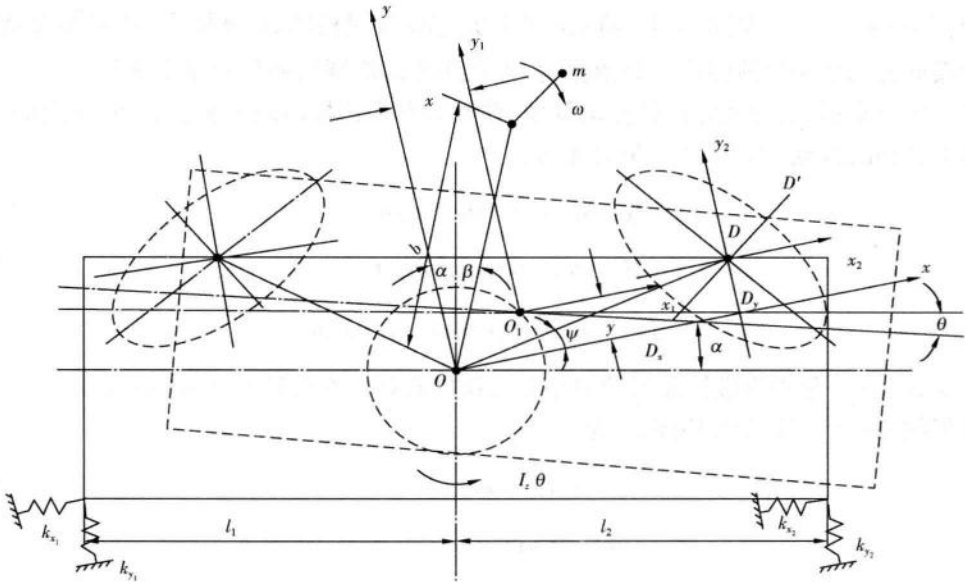


图 1-2 单轴钻井振动筛动力学模型和筛箱各点运动轨迹

在实际的钻井振动筛中,阻尼力相对来说一般是很小的(即 c_x , c_y 很小),为简化计算,可忽略不计。因此,振动方程可简化为:

$$(M + m)\ddot{x} + (k_{x_1} + k_{x_2})x = m r \omega^2 \cos \omega t \quad (1-4)$$

$$(M + m)\ddot{y} + (k_{y_1} + k_{y_2})y = m r \omega^2 \sin \omega t \quad (1-5)$$

$$J\ddot{\theta} + (k_{y_1} l_1^2 + k_{y_2} l_2^2)\theta + (k_{y_2} l_2 - k_{y_1} l_1)y = m r \omega^2 b \cos(\omega t + \alpha + \beta) \quad (1-6)$$

由振动理论可知,以上强迫振动方程的稳态解为:

$$x = A_x \cos \omega t \quad (1-7)$$

$$y = A_y \sin \omega t \quad (1-8)$$

$$\theta = A_{\theta} \cos(\omega t + \alpha + \beta) \quad (1-9)$$

式中 A_x, A_y 及 A_{θ} 分别为质心在 x, y 方向的振幅和筛箱绕质心俯仰振动的角振幅,且:

$$A_x = \frac{mr\omega^2}{(k_{x_1} + k_{x_2}) - (M + m)\omega^2} \quad (1-10)$$

$$A_y = \frac{mr\omega^2}{(k_{y_1} + k_{y_2}) - (M + m)\omega^2} \quad (1-11)$$

$$A_{\theta} = \frac{mr\omega^2 b}{(k_{y_1} l_1^2 + k_{y_2} l_2^2) - J\omega^2} \quad (1-12)$$

式(1-7)和式(1-8)两式表示筛箱质心的运动轨迹。因一般支承弹簧的 x 方向与 y 方向刚度是近似相等的,即 $(k_{x_1} + k_{x_2}) = (k_{y_1} + k_{y_2})$,则由式(1-10)和式(1-11)可知: $A_x = A_y$ 。这样,式(1-7)、式(1-8)两式是圆参数方程,筛箱质心的运动轨迹是圆。从理论上讲,当 $(k_{x_1} + k_{x_2}) \neq (k_{y_1} + k_{y_2})$,则 $A_x \neq A_y$,筛箱质心的运动轨迹是椭圆,但实际上,因单轴振动筛的弹性力和阻尼力远小于机体惯性力和激振力,筛箱质心的椭圆轨迹是很难实现的。

还应进一步指出,在实际钻井振动筛中,弹性力对筛箱振动的影响也很小,在近似计算中,可以略去,因此,振动方程可进一步简化为:

$$(M + m)\ddot{x} = mr\omega^2 \cos\omega t \quad (1-13)$$

$$(M + m)\ddot{y} = mr\omega^2 \sin\omega t \quad (1-14)$$

$$J\ddot{\theta} = mr\omega^2 (b_y \cos\omega t - b_x \sin\omega t) \quad (1-15)$$

式中 b_y, b_x ——分别为激振器回转中心至筛箱质心在 y 方向和 x 方向的距离。

方程的特解(筛箱的稳态响应)为:

$$x = A_x \cos\omega t \quad (1-16)$$

$$y = A_y \sin\omega t \quad (1-17)$$

$$\theta = A_{\theta x} \sin\omega t + A_{\theta y} \cos\omega t \quad (1-18)$$

式中的振幅和角振幅分别为:

$$A_x = -\frac{mr}{M + m} \quad (1-19)$$

$$A_y = -\frac{mr}{M + m} \quad (1-20)$$

$$A_{\theta x} = \frac{mrb_x}{J} \quad (1-21)$$

$$A_{\theta y} = -\frac{mrb_y}{J} \quad (1-22)$$

由此可求得筛箱上任意一点 P 的运动方程为:

$$x_P = x + l_{Py}\theta = A_{\theta x}l_{Py}\sin\omega t + (A_x + A_{\theta y}l_{Py})\cos\omega t \quad (1-23)$$

$$y_P = y - l_{Px}\theta = (A_y - A_{\theta x}l_{Px})\sin\omega t - A_{\theta y}l_{Px}\cos\omega t \quad (1-24)$$

式中, l_{Py} 、 l_{Px} 为所求任意点 P 至筛箱质心在 y 方向和 x 方向的距离。

当 l_{Px} 、 l_{Py} 及 A_x 、 A_y 、 $A_{\theta x}$ 、 $A_{\theta y}$ 的值求得以后, 将一周期内的 ωt 分成若干等分, 代入式(1-23)和式(1-24), 可求出对应于 ωt 为不同值时的 x_P 和 y_P , 进而可画出筛箱上任意点的运动轨迹。

[例] 已知某单轴钻井振动筛, 筛箱及偏心块总质量为 350kg, 筛箱及偏心块对筛箱质心的转动惯量 J 为 $450\text{kg}\cdot\text{m}^2$, 激振力为 $m\omega^2 = 20\text{kN}$, 角速度为 $\omega = 125\text{rad/s}$, 偏心块轴心对重心的坐标为 $b_x = 0, b_y = 30\text{cm}$ 。

求 $A(0, 60\text{cm}), O(0, 0), B(40\text{cm}, 60\text{cm})$ 三点的运动轨迹。

解: 根据已给数据可求得:

$$A_x = A_y = -\frac{20000 \times 100}{350 \times 125^2} = -0.36\text{cm}$$

$$A_{\theta x} = 0, \quad A_{\theta y} = -\frac{20000 \times 0.3}{450 \times 125^2} = -0.000853\text{rad}$$

因而, 任意点 P 的运动方程为:

$$x_P = (-0.36 - 0.000853l_{Py})\cos\omega t$$

$$y_P = -0.36\sin\omega t + 0.000853l_{Px}\cos\omega t$$

将 l_{Px} 、 l_{Py} 及 $\omega t = 0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}, \dots, 2\pi$ 的值代入上式, 即可求出 x_P 及 y_P 的值, 从而可以作

出图 1-3 所示的筛箱各点运动轨迹的曲线。由图 1-3 可明显地看出, 对激振器位于筛箱质心上方的单轴振动筛筛箱质心的运动轨迹近似为圆, 而筛箱两端各点的运动轨迹则为长轴方向各异、长短不等的椭圆。进出口处椭圆长轴的延长线在筛箱上方相交。这种振动筛就是通常所说的第一代振动筛。最早应用于矿山行业, 20 世纪 30 年代, 这种振动筛直接被引入到石油行业中。由于激振力及弹性力不通过筛箱质心, 筛面对质心做俯仰振动。这种振型使岩屑在出口处运动速度减慢, 甚至出现“死区”和“回流区”, 形成岩屑堆积, 需要将筛面倾斜一个角度安装, 利用重力强行排砂, 以免砂粒有朝后抛掷的倾向。由此而来, 筛箱倾斜确实改善了砂粒的移动性能, 但降低了钻井液处理能力或造成钻井液跑失。出口处钻屑输送速度减小还会增加钻屑的透筛量。因此, 这种振动形式很难满足提高钻井液固相控制处理效果和减小钻井液流失的要求。

如将激振器安装在筛箱质心处, 并使激振力始终通过筛箱质心, 各支承弹簧的刚度一致并对称于筛箱质心布置。此时, $b_x = b_y = 0, A_x = A_y$, 筛箱随质心一起作平动运动, 筛面上各点轨迹均近似为相同的圆形, 如图 1-4 所示, 这就是所谓的第二代振动筛——圆运动振动筛。这种类型的钻井振动筛, 筛箱各点法向加速度和横向加速度相等, 筛面可以水平安装, 钻屑在筛面上没有堆积现象, 因而处理量较大, 理论分析和使用情况说明这是一种较好的振型。但是, 这种钻井振动筛的抛射角是筛面法向加速度的函数, 当法向加速度为 $(3 \sim 6)g$ 时, 抛射角可达 $70^\circ \sim 80^\circ$, 这样陡的抛射角使得钻屑在下落时惯性大, 易粉碎, 相应地增大了砂粒的透筛率, 对钻井液的固相控制处理不利。

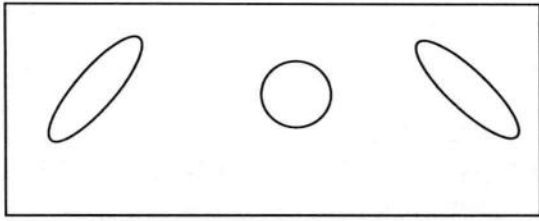


图 1-3 单轴普通椭圆振动筛各点运动轨迹

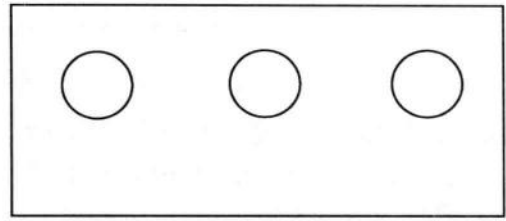


图 1-4 单轴圆振动筛各点运动轨迹

二、自定中心钻井振动筛

自定中心钻井振动筛与普通振动筛的主要区别在于皮带轮的位置和激振器的结构,前者皮带轮中心位于轴承中心线 $O-O$ 与偏心块质心之间,并使皮带轮中心线与偏心块和筛箱合成重心轴线重合,如图 1-5 所示;而后者皮带轮中心与轴承中心位于同一轴线上。普通钻井筛工作时,皮带轮不能作定轴转动。其后果是皮带轮随筛箱一起振动,引起胶带反复伸缩、跳动而加速损坏,也恶化了电动机的工作,并使钻井振动筛的振幅受到限制,一般振幅不能超过 3mm 。自定中心振动筛克服了皮带伸缩问题,为研制大振幅钻井振动筛提供了可能。

如前所述,单轴惯性振动筛的阻尼力与弹性力远小于惯性力和激振力,它们对筛箱的振动影响很小,为简化分析可忽略不计。于是,整个系统可简化为两个质量:一个是通过轴承和筛箱联结起来的偏心质量 m ;另一个是筛箱质量 M ,它包括筛框、筛网、轴承、主轴和钻井液折算质量等,偏心质量的质心与轴承中心的距离为偏心距 r ,见图 1-6。当无任何外力作用时,两个质量构成一个闭合系统。该系统旋转时合成重心轴保持不动,筛箱质量和偏心质量产生的惯性力“平衡”,即:

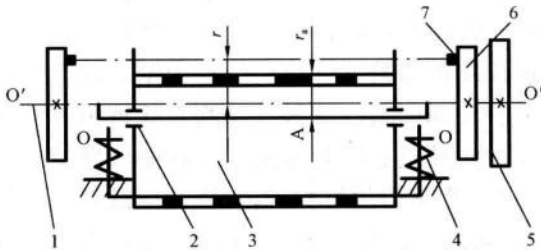


图 1-5 自定中心钻井振动筛(偏轴式)

- 1—主轴;2—轴承;3—筛箱;4—减振弹簧;
5—皮带轮;6—偏心轮;7—偏心块

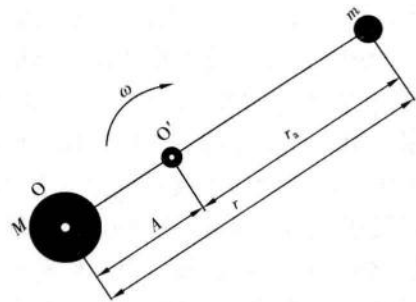


图 1-6 双质量振动系统

$$MA\omega^2 = mr_a\omega^2$$

$$A = \frac{mr_a}{M}$$

$$r = A + r_a$$

$$A = \frac{mr}{M + m}$$

(1-25)