

大功率钻井泥浆泵出口流量测量方法分析

李军

(中原石油工程有限公司钻井二公司 河南 濮阳 457001)

摘要: 本文针对当前现有测量方法在对大功率钻井泥浆泵出口流量测量时, 存在测量结果与实际相差较大的问题, 开展对测量方法的设计研究。在不接触泥浆泵的情况下, 为实现对其出口流量的测量, 设置一个与出口连接的缓冲罐。在完成缓冲罐基本结构的设计后, 首先确定其孔口的形状和尺寸; 其次分析影响出口流量的因素, 确定流量系数; 最后, 通过计算的方式得到出口流量的具体数值。通过实例证明, 新的测量方法在实际应用中可以实现对出口流量的准确测量, 并且能够对钻井液溢流或井漏问题给予反馈, 大大提高了大钻井作业的工作效率和安全性。

关键词: 大功率钻井泥浆泵; 流量测量; 出口流量

0 引言

泥浆泵是用于井壁泥浆的加压输送设备, 由闸阀和高压管线等组成。我国西南地区目前使用的大功率钻井泥浆泵, 主要是宝鸡 F-1600HL 泥浆泵、兰石 P2200 泥浆泵、宝鸡 F-1600 等大功率泥浆泵。由于不同厂家的泵功率存在一定的差异, 在现场测试后得到的流量数据也会有一定的差异。加之受泥浆泵运行时周围环境的影响, 使得对泥浆泵出口流量的测量极易出现误差, 进而影响到后期泥浆泵的调试及其他工作的顺利开展^[1]。溢流和井漏是钻进工作开展过程中十分常见的问题, 若不能及时发现, 则会造成井塌、井喷等复杂情况, 轻者会影响到钻井的效率及效益, 重者会造成严重的安全事故, 威胁现场工作人员的人身安全^[2]。因此, 针对这一问题, 为确保钻井的安全性并提升钻井效率, 本文将开展大功率钻井泥浆泵出口流量测量方法研究。

1 设置大功率钻井泥浆泵缓冲罐

为实现对大功率钻井泥浆泵出口流量的测量, 在出口位置增设一个缓冲罐, 并将其与出口相连接^[3]。将出口位置上流出的钻井液, 沿着设置的缓冲罐底流入到内部, 同时在缓冲罐的两个侧面各开设一个方形孔口。

带有方形孔口的缓冲罐基本结构设计图如图 1 所示。在此基础上, 在缓冲罐上设置 A ~ C 三个测点, 为后续流量设置的具体测定提供条件。将缓冲罐方形孔口的上端打开, 并直至缓冲罐顶部。钻井液从

泥浆泵出口流出后, 会从该孔口流入到振动筛, 同时在缓冲罐当中也会形成具有一定高度的液面。该液面的高度可以充分反映泥浆泵出口位置的流量变化情况, 以此通过缓冲罐可实现对泥浆泵出口流量的间接测量, 并保证测量的安全性^[4]。在不改变钻井液流量的情况下, 这种液位高度保持不变; 在发生溢流、井漏、发动机转速改变、上水不良等情况下, 缓冲器中的钻井液液面也会随之上升或下降。因此, 缓冲器中的液位可以反映出钻井液的流速, 并能实时地获得钻井液流量, 更重要的是能够实现对溢出和泄漏的监控^[5]。

对泥浆泵出口溢流、井漏进行监控的传统方法, 存在传感器易损坏、传感器受外部干扰影响精度低、预测不准确等缺陷。而通过上述设置缓冲罐的方式, 基本上不会对传感器造成损伤, 而且当发生溢流或

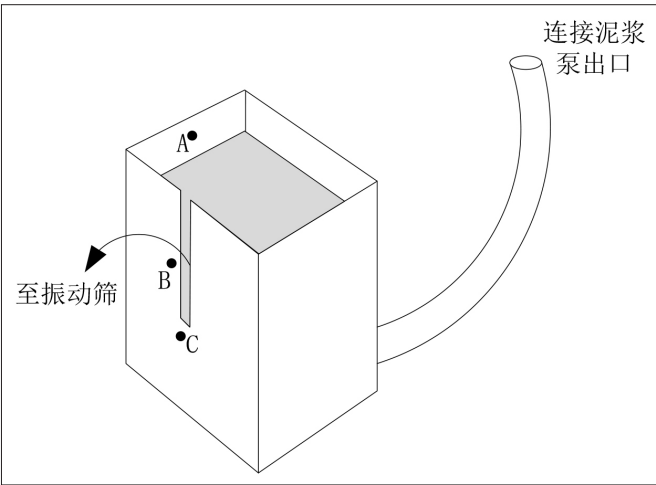


图 1 带有方形孔口的缓冲罐基本结构图

井漏后,在钻井液容积没有明显改变的情况下,也能准确地判定出井漏和溢流^[6]。在实际应用中,仅需要对现场现有设备进行一定程度的改装。通过设置集成式录井机的方式实现对现场数据的测量。集成式录井机具有信号线、采集通道、采集系统、标定、报警等多种功能,只要将液位传感器置于缓冲罐上方,对已有缓冲罐进行轻微的改装,就可以对缓冲罐的液面进行实时监控,实现对钻井液出口流量的在线检测,同时对溢流、井漏进行监控^[7]。

2 确定缓冲罐孔口尺寸

在理论层面上,方形孔口的尺寸大小不同而产生的不同流量都会在缓冲罐中出现一个相应的高度液面。但在实际应用中,液面的变化还是会受到一定限制。其具体限制为:第一,液位高度变化的幅度不宜过小,否则会导致测量精度不高,出现大的偏差,特别是出现不那么严重的溢出和井漏时;第二,液面高度的变化幅度不宜过大,过大会造成作业难度,例如液位传感器难以安装、缓冲槽周围环境不能保持清洁,有时会导致钻井液回流。在正常使用大功率钻井泥浆泵进行钻井作业时,钻井液的流量变化在 $0.04 \sim 0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ 之间,缓冲罐内的液面高度在 0.25 m 上下最为适宜。同时,在正常情况下,出口钻井液的重力加速度取值为 9.86 m/s^2 ,由此可以计算得出缓冲罐孔口位置的宽度大小为:

$$b = \frac{3Q'}{2h^{3/2}(2g)^{1/2}} \quad (1)$$

式中: b — 缓冲罐孔口位置的宽度大小;

Q' — 正常情况下已知的钻井液流量;

h' — 钻井液的高度;

g — 重力加速度。

根据上述公式计算得出方形孔口的宽度,其具体取值应当在 $0.22 \sim 0.35 \text{ m}$ 范围内。

3 确定出口流量系数

通过对大功率钻井泥浆泵在作业时的具体情况分析得出,有两个影响其出口位置流量系数的因素。第一是当钻井液从方形孔中流出时,其收缩作用的大小主要由方形孔的开口和孔的形状决定。若未设置管口(即薄壁排水),则按有关数据计算,其流量系数为 0.62 ;若采用膨胀管,其流量系数为 0.45 ;若安装外伸管口,其流量系数为 0.82 ;若采用流线

式喷嘴,其流量系数为 0.98 。第二是钻井液的黏度对其影响较大,导致其实际流量比理论值低^[8]。根据有关数据,发现在不同黏度的钻井液中,对钻井液的影响因子约为 0.80 。通过两种因素的乘积,可以得到流动系数。从这一点可以看出,不同类型的钻井液,其流量系数取值有很大的差异。为了精确地测量流量,必须精确地确定流量系数,精确的流量系数取值可用试验方法测量,通过测量流量和液位的相对高度来确定,在正常情况下,流量系数的计算公式可以通过下述流量与液面高度关系式推导得出:

$$Q' = \frac{2K(2g)^{1/2}}{3} \quad (2)$$

式中: K — 流量系数。

4 计算出口流量

在确定出口流量系数后,通过对钻井液在缓冲罐方形孔口位置流出时的截面进行分析,对出口位置的流量进行计算,出口流量计算示意图如图 2 所示。

图 2 中, h_A 为 A 点位置上的钻井液高度; h_B 为 B 点位置上的钻井液高度。 h_A 与 h_B 之间存在下述关系:

$$h_A + \frac{p_A}{g} + \frac{v_A^2}{2g} = h_B + \frac{p_B}{g} + \frac{v_B^2}{2g} \quad (3)$$

式中: p_A — A 点位之上钻井液的压力;

p_B — B 点位置上钻井液的压力;

v_A — A 点位置上钻井液的流动速度;

v_B — B 点位置上钻井液的流动速度;

g — 钻井液的重度。

由于在实际情况中, A 点经常暴露在空气环境中,且 A 点位置上的钻井液也是处于相对静止状态,因此 p_B 的取值一般为 0 。而 B 点位置处于方形孔口开口位置,同样也是暴露在空气环境当中,因此的取值也为 0 。假设将缓冲罐内液面作为平面坐标系的横坐标,沿着缓冲液内液面的垂直方向设置纵坐标,将 A 点与 B 点之间的距离设置为 h ,则根据上述公式可以计算得出在缓冲罐方形孔口截面位置上任意一个 B 点钻井液的流动速度,其公式为:

$$v_B = (2gh)^{1/2} \quad (4)$$

由于钻井液的粘性很大,所以当钻井液从正方形

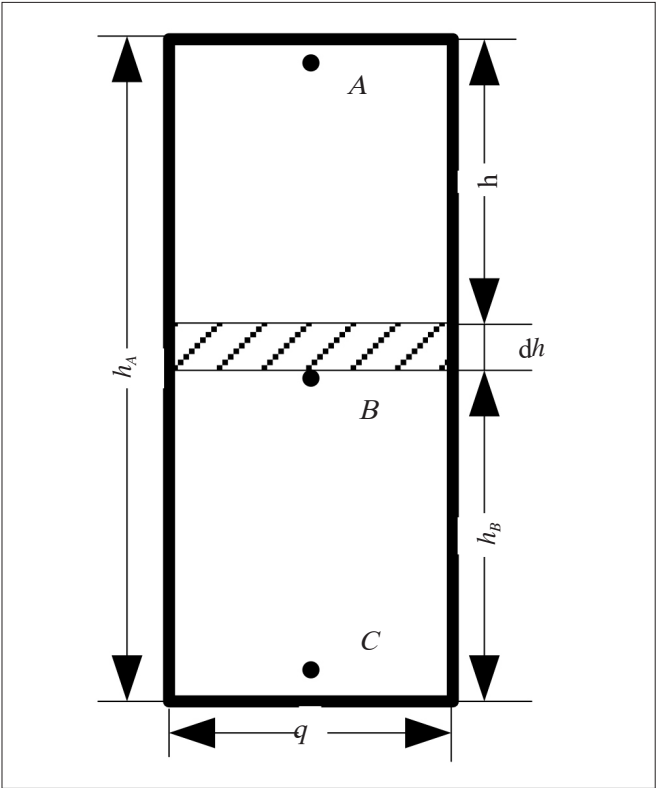


图 2 出口流量计算示意图

孔中排出时，会产生与外界的摩擦、冲撞，从而使实际流速低于理论值；由于钻井液的惯性作用，在正方形孔的两边，钻井液不会平行地排出，反而会出现收缩作用，从而使流速减慢^[9]。因此，应该再乘以一个流量系数 K ，并且 $K < 1$ 。则在与流量系数相乘后，当 A 点与 B 点之间的距离 h 取值不同时，在 B 点位置上的速度 v_B 的取值也不同。此时，沿着缓冲罐方形孔口垂直方向上钻井液是不均匀分布的。在 B 点上选择一个微分面，并将其定义为 dh ，假设在缓冲罐方形孔口的宽度为 b ，则可以进一步计算出截面上任意一个微分面的面积，其公式为：

$$dS=b dh$$

(5)

式中： dS —截面上任意一个微分面的面积。

在该已知面积的微分面上，流量可以通过下述公式计算得出：

$$dQ=v_B dS$$

(6)

式中： dQ —微分面的流量。

按照上述逻辑，再计算出 A 点与 C 点之间的距离，即液面高度，则总流量可以通过下述公式得出：

$$Q=\int_s dQ=K(2g)^{1/2} b \int_0^{h_A} h^{1/2} dh$$

(7)

式中： Q —最终得出的泥浆泵出口位置上的流量取值。

5 实例应用分析

在完成对新流量测量方法的设计后，为验证该方法在实际应用中的可行性和可靠性，选择以某钻井工程为例，对该工程中使用的 HYPD-4 型大功率泥浆泵在作业时出口位置的流量进行测量。在钻井的过程中，采用上述方式设置一个适用于大功率钻井泥浆泵的缓冲罐，将缓冲罐的孔口宽度设置为 0.55m，要求泥浆泵采用单泵的形式钻井，钻井液在入口位置上的流量为 0.023m³/s，此时测定缓冲罐内部钻井液的高度为 0.125m。在这一过程中，实时监测计算机上显示的泥浆泵电压值，分别记录在不同电压值情况下，计算出的缓冲罐中不同液面高度对应的泥浆泵出口流量，并通过多点标定得到流量测量结果。在得到测量结果后，若泥浆泵实际出口位置的流量测量结果与本文提出的测量方法结果相同，则说明该测量方法可行，并且不需要在现场直接对泥浆泵进行测定即可得到泥浆泵的出口流量大小；反之，若二者测量结果之间存在差异，则说明本文提出的测量方法不可行。根据上述论述，将测量过程中产生的相关数据进行记录，并得到结果如表 1 所示。

表 1 新测量方法测量成果记录表

测量次数	计算机显示电压值/V	泥浆泵出口实际流量数值/(m³/s)	本文方法测量结果/(m³/s)
第一次	2.5	0.035	0.035
第二次	3.0	0.038	0.038
第三次	6.0	0.042	0.042
第四次	9.0	0.050	0.050
第五次	0 (停泵)	0	0

从表 1 中记录的测量结果可以看出，利用本文提出的测量方法对该大功率钻井泥浆泵出口流量进行测量，五次测量的结果均与实际流量数值相同，未产生测量误差。因此，证明本文提出的测量方法在实际应用中可以实现对大功率钻井泥浆泵出口流量的高精度测量。同时，从第五次测量结果可以看出，在泥浆泵停止运行时，钻井液流量会逐渐下降到 0，此时通过对现场缓冲罐中的液面测量高度，其数值也逐渐降为 0。因此可以进一步说明，采用本文提出的测量方法不仅可以实现对出口位置流量的测量，同时还能够及时

发现钻井液溢流或井漏问题，保障钻井工作的顺利进行，为作业人员人身安全提供保障条件。

6 结语

针对泥浆泵尤其是大功率钻井泥浆泵的各项运行参数测定，具有十分重要的现实意义。基于此，通过本文通过增设缓冲罐的方式提出了一种新的流量测量方法，并通过实例实现了对这一测量方法应用可行性与可靠性的验证。在实际应用本文上述测量方法时，设置缓冲罐时，除了可采用本文提出的方形孔口外，还可根据实际情况设置圆形孔口，相应地需要对相关计算参数进行适当调整，以此提高该测量方法的适应性，也为钻井安全提供更大保障。

参考文献：

[1] 张东东. 齿轮副几何参数对直线共轭内啮合齿轮泵流量脉动特性的影响 [J]. 机床与液压, 2021, 49 (17): 169-172.

[2] 韩祥, 孙泽刚, 杨莽. 基于 FLUENT 的斜盘式轴向

柱塞泵流量脉动分析和节流槽优化设计 [J]. 煤矿机械, 2021, 42 (05): 24-27.

[3] 周孔涛, 崔建昆, 吴鲁超. 基于数值建模的直线共轭内啮合齿轮泵流量特性分析 [J]. 机械设计, 2021, 38 (03): 10-15.

[4] 董飏, 王远光. 加氢反应进料泵流量偏低与轴位移偏大关联性原因分析 [J]. 石油化工设备技术, 2021, 42 (02): 40-43.

[5] 郑进福, 周志刚, 赵加宁, 等. 热源循环泵流量对热电联供系统优化运行影响 [J]. 煤气与热力, 2021, 41 (02): 6-10.

[6] 张占东, 姚丽英, 姚利花, 等. 多柱塞阀配流往复容积泵流量脉动的理论与仿真分析 [J]. 机床与液压, 2021, 49 (02): 128-135.

[7] 韩啸, 王佳浩, 杨新杰. 与 LNG 相关船型甲板水雾系统覆盖区域及泵流量计算 [J]. 广东造船, 2020, 39 (04): 95-97.

[8] 叶天明, 李珊珊. 城市污水处理厂进水泵房潜污泵流量问题的分析及建议 [J]. 浙江化工, 2020, 51 (08): 26-28.

[9] 王锡钢, 安海骄, 张璋. 隔膜式计量泵流量参数校准方法研究及不确定度分析 [J]. 中国计量, 2022 (08): 101-104.

作者简介: 李军 (1972.07-), 男, 汉族, 四川巴中人, 本科, 工程师, 研究方向: 钻井设备管理。

广告征订



版位 Format	价格 Price (RMB)
特殊版位 Specified Ads. Position	
封面	25,000
封二	16,000
封三	12,000
封底	18,000
扉一	15,000
扉二	10,000
后扉一	12,000
后扉二	9,000

版位 Format	价格 Price (RMB)
正常版位 Editorial Page	
编辑页	10,000
编辑页跨页	15,000
1/2编辑页	5,000
1/3编辑页	3,500
1/4编辑页	2,500

注: 所有特殊版位广告均为4C广告, 正常版位广告均为黑白色; 所有广告需提供成熟设计稿, 如需编辑部制作需单独收费。

优惠说明:
在原价格基础上, 连续预定3期, 优惠8%; 连续预定6期, 优惠15%; 连续预定12期, 优惠20%; 连续预定18期, 优惠30%; 连续预定36期, 优惠40%。另, 如提前一次性付款, 可在享受优惠的基础上享受8%的额外折扣。

广告预定热线 : 010-6741 0664 / 1368 332 6370