

基于全孔取心之深厚覆盖层取心方法比较优选

石雷雷 (山西晋城市能源局, 山西 晋城 048000)

闫 丰 (河北农业大学国土资源学院, 河北 保定 071001)

许 超 (山西兰花煤层气有限公司, 山西 晋城 048000)

摘要: 为评比优选出适合深厚覆盖层(400m~700m)的钻探取心方法, 本文从钻井液流阻计算、fluent 流体模拟分析、施工效率三方面对绳索取心和单管提钻取心进行了全面分析比较。结果表明, 同等泵量条件下, 绳索取心钻井流阻约为单管取心的 2.6 倍, 绳索取心压强数值约为提钻取心的 7 倍, 速度矢量约为单管取心的 2.3 倍, 极大增加了对井壁的冲刷, 破坏井壁的稳定, 且 500m 以深地层施工效率方面, 绳索取心与单管取心相当。通过分析比较得出, 单管取心是更适合深厚覆盖层的取心方法。

关键词: 全孔取心; 深厚覆盖层; 绳索取心; 单管取心

0 引言

随着我国经济的快速发展和对资源消耗的增加, 地表和浅部探明资源(煤炭、油气等)已近枯竭, 保有资源量严重不足, 不能满足生产需要。为了摆脱资源困境, 中深部的找矿成为必须途径。中西部地区作为我国重要资源勘探开发地区, 其主要地层特点是上部覆盖层厚度大, 可达 400m~700m, 给钻探取心工作带来了极大地困难。国内外钻探工作中遇到覆盖层厚度多在 300m 以下^[1-3], 且对于常用的单管取心和绳索取心多有争议。从指导生产的实际出发, 优选出适合深厚覆盖层的钻探取心方法, 对促进施工安全, 提升施工效率, 降低施工成本具有重要意义。

1 常用取心方法

1.1 绳索取心

绳索取心是指在取心钻进施工中, 岩心管中充满岩心后, 不提起整个的钻杆, 以钻杆内作为通道, 使用绳索和特制打捞工具, 将岩心管和贮存于岩心管中的岩心提升到地面的钻进方法^[4]。

1.2 单管取心

单管取心是最先出现, 结构最简单的取心工具, 由于钻进过程中钻具的晃动、泥浆的冲刷等使得取心的质量也是最差的, 无法获得完整、原始的地层资料。

2 钻井液循环压阻计算比较

为定量分析绳索取心和单管取心结构差别所造成的钻井液循环压阻, 通过对现有的计算泥浆循环压力损失模型: Z-F 预测井下循环压力损失精确水力模型^[5]、Z-W 水力损失计算模型^[6]、L-Z 的小井眼环空压耗计算模型^[7]、达尔西-费斯巴哈公式的比较, 结合工程应用实际, 选取 700m 作为设计深度, 使用达尔西-费斯巴哈公式对 S75 的绳索取心(S71×61)和单管取心(S67×55)进行比较^[8]。钻井液泵量根据 BW-250 钻井液泵的参数设定为 96L/min, 钻井液密度选为 $1.06 \times 10^3 \text{kg/m}^3$, 分别计算地面、钻杆内、钻头、环空间隙的压力损失。

绳索取心 P_n^s 和单管取心 P_n^d 循环压阻 ($n=1, 2, 3, 4$)

2.1 地面管道水力损失—— P_1

$$P_1^s = P_1^d = 0.811 \lambda_1 l_1 \rho_p * Q^2 / d_1^5 = 0.185 \times 10^4 \text{Pa}$$

其中:

λ_1 取值为 0.029;

$l_1=10\text{m}$;

$\rho_p=1.06 \times 10^3 \text{kg/m}^3$;

$Q=1.6 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$;

$d_1=51\text{mm}=5.1 \times 10^{-4} \text{m}$ 。

2.2 钻杆内水力损失—— P_2

$$P_2=0.811 \lambda_2 l_2 \rho_p * Q^2 / d_2^5 \text{ Pa}$$

计算可得:

$$P_2^s = 3.648 \times 10^4 \text{Pa}, P_2^d = 6.122 \times 10^4 \text{Pa}$$

其中:

λ_2 值为 0.020;

$l_2=700\text{m}$;

$\rho_p=1.06 \times 10^3 \text{kg/m}^3$;

$Q=1.6 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$;

$d_2^s = 61\text{mm}=61 \times 10^{-3} \text{m}$;

$d_2^d = 55 \times 10^{-3} \text{m}$ 。

2.3 钻头水力损失—— P_3

当岩心钻探时, 岩心管与钻头处的压力损失根据《经互会成员国钻探设备标准参数确定法》取 $4.9 \sim 11.8 \times 10^4 \text{Pa}$ 。

在这里取:

$$P_3^s = 8 \times 10^4 \text{Pa}, P_3^d = 6 \times 10^4 \text{Pa}$$

2.4 冲洗液流经钻杆与孔壁之间的环状空间水力损失—— P_4

$$P_4=0.81 \lambda_6 \rho_2 l Q^2 / [(D-d)^3(D+d)^2] \text{Pa}$$

其中, 由于冲洗液上返过程中携带岩屑密度会变大, 设定其密度:

$$\rho_2=1.08 \times 10^3 \text{kg/m}^3, Q=1.6 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$$

①绳索取心时: $D=75 \times 10^{-3} \text{m}$, $d=71 \times 10^{-3} \text{m}$, 钻杆外环空间冲洗液平均速度 3.49m/s , 设定阻力系数: $\lambda = 0.003$;

$$P_4^s = 0.81 \lambda_6 \rho_2 l Q^2 / [(D-d)^3 (D+d)^2] = 1.513 \times 10^6 \text{ Pa}$$

②单管取心时: $D=75 \times 10^{-3} \text{ m}$, $d=67 \times 10^{-3} \text{ m}$, 钻杆外环空间冲洗液平均速度 1.79 m/s , 设定阻力系数: $\lambda = 0.003$;

$$P_4^d = 0.81 \lambda_6 \rho_2 l Q^2 / [(D-d)^3 (D+d)^2] = 4.555 \times 10^5 \text{ Pa} = P_a$$

2.5 综合比较

综合计算知, $P^s=1.513 \text{ MPa}$, $P^d=0.578 \text{ MPa}$ 。同等泵量下绳索取心环空间隙的上返速度: $v^s=3.49 \text{ m/s}$, 接近单管取心环空间隙上返速度: $v^d=1.79 \text{ m/s}$ 的两倍, 在很大程度上增大对井壁的冲刷, 破坏井壁的稳定。

3 数值模拟比较分析

利用 gambit 软件建立 S75 绳索取心 ($S71 \times 61$) 和单管取心 ($S67 \times 55$) 井筒模型, 导入 gambit 中进行布尔减运算和网格划分, 最后利用 fluent 软件进行模拟, 并对其速度云图和压力云图进行分析比较。因绳索取心和单管取心建模过程及网格划分过程相同, 本文只列出绳索取心的建模和网格划分过程。

3.1 模型建立

参考现场实际工况, 为控制变量, 并考虑到计算机的计算能力, 设置井壁直径 $\Phi 75.5$, 井筒长度 1000 mm , 采用相同的钻头, 钻头参数: 胎体高度 50 mm , 水口数 8 个。水口宽度 8 mm , 高度 20 mm 。在 solidworks 中建立钻杆和钻头模型, 连接处采用无缝连接, 之后建立井筒模型, 井筒直径设置参数为 $\Phi 75.5 \text{ mm}$, 长度和钻杆长度匹配。建立好钻杆模型和井筒模型后, 采用同心、平行的配合方式, 使钻头唇面接触井孔底部, 自然接触, 不施加任何外力。

3.2 网格划分

在 Gambit 中进行网格划分时, 为了使得网格划分尽可能的完全, 采用了混合网格划分的方法, Interval size 值设置为 2, 划分过程由面到体。

3.3 边界条件设置

在完成网格的划分之后, 进行边界条件的设置, 限制流体的流动通道。其中, 流体进口为钻杆横切面, 名称设置为 in, 类型选择 velocity, 流体出口为钻孔的环状间隙, 名称设置为 out, 类型选择 outflow, 其他边界面类型选择 wall, 由 Gambit 系统自动设置。

3.4 流体模拟

利用 fluent3D 流体模拟软件^[9], 对在 gambit 中划分好网格的绳索取心钻具和提钻取心钻具模型进行流体模拟计算。设置相同的模拟条件, z 方向的重力加速度为 9.8 m/s^2 , 采用多相流中的 Mixture 模型, 流体为水和岩屑两相流体, 其中岩屑参数设置 C_p (Specific Heat)、Density、Thermal Conductivity、Viscosity 四个参数的值分别为 1100, 2600, 0.3, 1.8×10^{-5} , 水流入口速度为 0.85 m/s , 岩屑速度为 1 m/s , 壁面粗糙度系数为 0.00004572。最后设置计算 Number of Iterations 为 2000 进行迭代求解。

3.5 结果分析

①比较压强云图, 绳索取心相对提钻取心, 造成的

压强数值差异明显, 最大范围方面, 绳索取心为 $3.33 \times 10^6 = 333$, 提钻取心为 $4.16 \times 10^1 = 41.6$, 相差了 7 倍 (图 1);

②比较速度矢量图坐标最大范围值, 绳索取心最大范围为 $5.05 \times 10^0 = 5.05$, 提钻取心为 $2.23 \times 10^0 = 2.23$, 最大相差约 2, 3 倍。

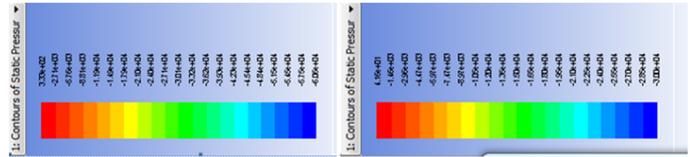


图 1 绳索取心 (左) 与提钻取心 (右) 模拟结果之压强云图

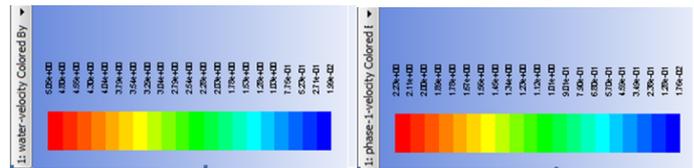


图 2 绳索取心 (左) 与提钻取心 (右) 模拟结果之速度矢量图

由上分析可知, 相同口径的绳索取心钻具和提钻取心钻具, 由于结构和尺寸的差异, 使得绳取带来的流体压强及流速都远远高于提钻取心, 加大了对井壁的冲刷, 增加了井壁失稳的可能。

4 施工效率比较分析

对取心钻进方法进行评价的最主要指标是钻探施工经济性, 影响钻探经济效益的因素包括: 施工工艺技术、地层特性、钻探设备等, 本文主要从施工的时间方面来评价取心方法的施工经济性^[10-11]。

4.1 施工时间评价方法

取心钻进主要特点是岩心管充满岩心后或者岩心管堵塞后 (假设岩心管不堵塞), 进行取心。因此, 我们主要通过对比单回次取心钻进所需时间的比较, 之后根据钻孔深度所需时间的多少来选取取心方法^[12]。

4.1.1 绳索取心的单位进尺时间计算方法

时间指的是钻孔每加深 1 m 所需要的时间, 绳索取心钻进每米所需时间可以按照以下公式计算:

$$T_{sq} = (T_{qx} + T_z + T_{ly}) / L_1 = [2D_{zs} / V_{qx} + L_1 / V_z + (L_1 / L_{dl}) t_{dl}] / L_1 = 3D_{zs} / (V_{qx} L_{bit}) + 1 / V_z + t_{dl} / L_{dl} = 3D_{zs} / (V_{qx} L_{bit}) + 1 / V_z + 0.3 / L_{dl} + D_{zs} / (1800 V_{dl} L_{dl})$$

式中:

T_{sq} — 绳索取心钻进, 单位进尺所需时间, h/m ;

T_{qx} — 每个回次起下钻所需的时间, h ;

T_z — 回次钻进时间, h ;

T_{ly} — 回次捞岩心时间, h ;

L_1 — 提钻间隔, m ; 绳索取心钻进中, 排除其他因素, 钻头寿命决定了提钻间隔, 提钻间隔必定小于钻头寿命, 根据经验公式, 假设提钻间隔为钻头寿命 $2/3$, 即: $L_1 = 2/3 L_{bit}$ (由于此计算基于经验, 所以实际中有区别);

D_{zs} — 钻孔深度, m ;

V_{qx} - 起下钻平均速度, m/h, 实际施工中, 下钻比提钻快, 而且, 每次起钻后, 要对钻具进行检查更换等工作, 为简化计算, 令: 起下钻平均速度 = 两倍钻井深度 / 从起钻到下钻之间的总时间;

V_z - 机械钻速, m/h;

L_{dl} - 绳索取心间隔, m;

t_{dl} - 绳索取心单次捞取岩心时间, h, 单次打捞岩心时间包括捞取下入岩心管的时间、孔口操作时间, 令孔口操作时间为 0.3h, 则:

$$t_{dl}=0.3+D_{zs}/(1800V_{dl});$$

V_{dl} - 捞取岩心速度, m/s;

L_{bit} - 钻头的使用寿命, m。

4.1.2 提钻取心单位进尺时间计算

提钻取心钻进的单位进尺时间可按式计算:

$$T_{iq}=(T_{qx}+T_z)/L_i=2D_{zs}/(V_{qx}L_i)+1/V_z$$

式中:

T_{iq} - 提取钻进的每米进尺时间, h/m。

4.1.3 钻进总时间计算

钻探施工分为几个不同的孔段, 在不同孔段采用不同的施工取心方法。将每一段特定取心方法单位进尺所需的时间乘以孔段长度可以得到此孔段的施工时间, 再将不同孔段的施工时间进行累加, 则可以得到施工的总时间。

钻孔施工总时间计算公式可表示为:

$$T_T=\sum_{i=1}^n T_{Ti}=\sum_{i=1}^n T_{xi}L_{Ri}$$

式中:

T_T - 钻探施工总时间, h;

T_{Ti} - 第 i 段钻孔 (整个钻孔分为 n 段) 的施工时间, h;

T_{xi} - 钻孔第 i 段的单位进尺时间, h/m;

L_{Ri} - 钻孔第 i 段的长度, m。

上式联解, 可计算出采用不同取心工艺技术施工时, 钻进一定深度钻孔所需要的施工总时间。

4.2 施工时间比较

表 1 两种取心工艺钻进时间技术指标

取芯钻进方法	起下钻速度 / (m·h ⁻¹)	起下钻间隔 / (m)	机械钻速 / (m·h ⁻¹)	打捞岩心间隔 / (m)	打捞岩心速度 / (m·s ⁻¹)
提钻取心	350	4	1.8		
绳索取心	200	50	1.1	2.8	1.4

表 2 两种取心钻进方法施工不同深度钻孔需要的时间 / d

取芯方法 / 孔深 (m)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
提钻取心	2.9	7.1	12.3	18.7	26.5	35.4	45.4	56.7	69.1	82.7
绳索取心	4.4	9.2	14.4	19.9	25.8	32.1	38.7	45.7	53.1	60.1

采用以上施工效率评价方法, 借鉴中国地质调查局的张伟对几种取心方法的研究进行了计算分析。根据现场施工资料分析得知, 不同方法的技术指标 (表 1) 和评价结果 (表 2)。

以上分析可知, 当孔深在 500m 以内时, 绳索取心

的施工效率并没有太大优势。随着钻孔深度的增加, 绳索取心方法的优势得以突出, 可以节省大量的施工时间和施工成本。

5 结论

通过取心工艺技术系统分析比较可知, 提钻取心适合作为深厚覆盖层钻探的取心工具: ①单管提心在结构上, 相对于绳索取心, 更加简单、耐用、造价低、适合各种地层; ②利用达尔西-费斯巴哈公式对于两种取心方法在泥浆循环压力损失的差别进行了计算, 绳索取心循环压阻是单管取心的 2.5 倍多, 井壁环空间隙的上返速度是单管取心的 2 倍, 加大了对井壁的冲刷, 是造成井壁不稳定的重要因素之一; ③利用 Gambit 软件对于两种取心方法的流道进行了建模、网格划分、边界条件设置, 并利用 Fluent3D 解算器进行了模拟, 从得到的压力云图和速度矢量图可以看出单管取心具有一定的优势; ④对绳索取心和提钻取心施工时间计算比较可知, 随着孔深的增加, 绳索取心的优势会逐步的显现出来, 但是在 500m 左右时, 并不具备太大的优势; ⑤综合分析认为, 单管提钻取心更适合深厚覆盖层施工。

参考文献:

- [1] 王光明, 阳正强. 金沙江其宗水电站上坝址深厚覆盖层钻进工艺探讨 [J]. 探矿工程, 2011,30(05):57-60.
- [2] 付兵, 邱太宝. 深厚砂卵石层金刚石钻探施工技术与工艺 [J]. 四川水利发电, 2007,26(1):87-89.
- [3] 李志远. 大渡河安宁水电站深厚覆盖层勘探技术与方法概论 [J]. 水利水电技术, 2012,43(9):81-86.
- [4] 屠厚泽. 钻探工程学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988.
- [5] 钟兵, 付建红, 施太和. 预测井下循环压力损失的精确水力模型 [J]. 天然气工业, 2003,23(1):58-60.
- [6] 朱宗培, 吴隆杰. 钻探工艺学 [M]. 北京: 地质出版社, 1981.
- [7] 刘文红, 张宁生. 小井眼环空压耗计算与分析 [J]. 西安石油学报, 2000,102:6-9.
- [8] KATARINA SIMON. The role of different rheological models in accuracy pressure loss prediction [J]. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 2004,00016:85-89.
- [9] 朱红钧, 林元华, 谢龙汉. FLUENT 流体分析及仿真实用教程 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [10] 张伟. 地质钻探领域应大力发展技术经济学研究 [J]. 探矿工程, 2007(ZL):7-10.
- [11] 张伟, 王达. 基于技术经济评价的取心钻进方法设计 [J]. 地质科技情报, 2007,26(5):95-99.
- [12] 张伟. 取心钻进工艺方法的技术经济学分析- 施工时间分析 [J]. 探矿工程, 2007(8):1-3.

作者简介:

石雷雷 (1988-), 男, 汉族, 山西晋城人, 硕士研究生学历, 晋城市能源局, 中级工程师, 固体矿产和油气资源勘探开发。