

钻井液转化为水泥浆技术的研究

陈 礼 仪^{*}

(成都理工学院)

陈礼仪. 钻井液转化为水泥浆技术的研究. 天然气工业, 1998; 18(6): 57~ 59

摘 要 钻井液转化为水泥浆技术,是在钻井液中添加某些胶凝材料 and 外加剂将其转变成水泥浆直接用作固井材料的新型固井方法。在钻井过程中钻井液承担着冷却润滑钻头,携带岩屑,平衡地层压力,稳定井壁的任务。如果在完成钻井后将钻井液通过一定的方法转化为可固结的材料——固井液,就能达到封隔地层、支撑套管、防止层间流体窜通的目的,这种技术又称为 MTC(Mud to Cement)技术。文中从油气井开发提高效率、降低费用的技术要求出发,论述了采用 MTC 技术是一条可行的路子。实验研究得出用油井水泥,粒化高炉矿渣共同作为胶凝材料,优选合适的分散剂和促凝剂,提出了普通钻井液和聚丙烯酰胺低固相钻井液转化为水泥浆体系的优化配方。这种兼有钻井液和固井液作用的技术,能避免钻井液和水泥浆混合时发生的絮凝现象,提高环空顶替效率,降低废钻井液处理费用,减少固井材料,因而在提高固井质量和降低成本上有很大的潜力,可供生产部门参考。

主题词 钻井液 水泥浆 固井 技术 研究

研究现状与经济效益

1. 研究现状

目前研究 MTC 技术主要是通过两种途径来实现的,一种是用水泥、粘土(不用或少用)、水、缓凝剂(主要是糖类衍生物)及其它必要的化学处理剂配制成钻井用的钻井液,钻井结束后加入促凝剂使其转变成水泥浆。另一种是用矿渣和火山灰等材料、胶态粘土和水等配制成可水泥化的钻井液。矿渣、火山灰类材料一般是活性硅质材料,多含 SiO₂ 和不同百分含量的金属氧化物(如 MgO、Al₂O₃、BaO 等)。在这种钻井液中加入碱土金属氢氧化物(如 CaO、MgO 等)即可将其转变成成为可固结的材料。Miller 采用的可水泥化钻井液为不含粘土的镁盐钻井液,由硫酸镁、氧化钙、石膏等组成,在加入足够的氧化镁、石灰石和硫酸镁等时就会生成镁—羟基—硫酸盐聚合物而固结。上述两种技术方法的关键是控制所加材料的浓度以形成具有足够强度的固结材料。

2. 经济效益

国内外大量实践表明, MTC 技术比常规的水泥浆固井技术具有更好的经济效益,主要体现在减少了钻井液处理费用,减少了施工设备和取消了隔离液,降低了注水泥费用。钻完井的钻井液不是被废

弃,而是“回收”为有用的胶结水泥浆,在节省常规注水泥费用的同时也改善了环境。有文献报道了 MTC 技术与常规注水泥作业相比,固井成本可降低 85%~ 20%,主要由井所在位置、钻井液类型、转化方法以及井下条件等决定。

实现 MTC 技术的一般工艺流程和基本性能控制

1. 一般工艺流程

从提出 MTC 技术开始,就把利用钻井设备进行注水泥浆作为它的潜在优势。钻井液—水泥可以利用泥浆池、配料罐或水泥批量混合器来完成,泵送既可以用注水泥泵也可以用泥浆泵来完成。一般情况下, MTC 水泥浆都可以按图 1 所示的流程进行固井施工。

2. 基本性能控制

为了满足固井的要求, MTC 水泥浆必须有合适的性能,主要应关注 MTC 水泥浆的密度、稠化时间和流动度、失水量以及水泥石的强度。

(1) MTC 水泥浆的密度

固井对于水泥浆密度的基本要求是在注水泥期间既不造成井漏又不会发生井喷,同时应尽量减少水泥浆凝固前地层中油、气、水的侵入,并能提高水

^{*} 陈礼仪, 1957 年生, 硕士, 副教授; 1982 年 1 月毕业于原成都地质学院探矿工程专业, 一直从事钻井液和水泥外加剂以及相关内容的教学和科学研究工作。地址: (610059) 四川省成都市二仙桥东三路 1 号。电话: (028) 4078967。

泥石的强度。因此, MTC 水泥浆的密度必须控制在一定范围内, 这个合适的密度范围随不同井深及不同的井内条件而异。

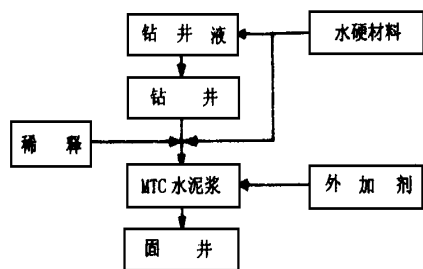


图 1 MTC 水泥浆工艺流程

(2) MTC 水泥浆的稠化时间和流动性

控制水泥浆稠化时间是保证注水泥施工安全的重要指标, 它是指在相应的井温和压力条件下能用泵将水泥浆泵至井内环形空间预定高度的最小时间。稠化时间的测定比较复杂, 作为浅层油气开发施工部门也可用流动性指标来控制, 一般要求稠化时间应大于 90 min, 则流动度应大于 180 mm。

(3) MTC 水泥浆的失水量

水泥浆失水将造成水泥浆急剧变稠, 大大影响其流动性, 甚至造成水泥浆顶替不到位。另外, 水泥浆失水还将严重影响油气产量和水泥石的致密性及其强度。所以, 在保证施工条件下, 应尽量减少水泥浆的失水, 失水量一般应控制为 20 mL/30 min·0.7 MPa。

(4) MTC 水泥的固结强度

对水泥固结强度提出要求的目的是支撑和加强套管以及抵抗钻进时的冲击载荷等。除上述要求外, 水泥浆在凝固时应尽量保持体积不收缩和微膨胀, 并形成致密的抗渗透性水泥固结体和抗硫酸盐的侵蚀。根据浅层气开发的特殊要求, 一般要求水泥固结体 24 h 抗压强度应达到 2.5~3.5 MPa。

MTC 水泥浆的设计

1. 确定基本配方和计算用量

由质量均衡原理可知, 水泥浆量、钻井液用量、水泥用量(或矿渣用量)以及清水用量之间的关系为:

$$\rho_{MTC} V_{MTC} = \rho_m V_m + \rho_n V_n + W_c + W_s \quad (1)$$

式中: ρ_{MTC} 为 MTC 水泥浆密度; V_{MTC} 为 MTC 水泥浆用量; ρ_m 为钻井液密度; V_m 为钻井液用量; ρ_n 为清水密度; V_n 为清水用量; W_c 为水泥用量; W_s 为

矿渣用量。

假设混合物总体积等于各组分体积之和, 则有体积方程:

$$V_{MTC} = V_m + V_n + (W_c/\rho_c + W_s/\rho_s)$$

式中: ρ_s 、 ρ_c 分别为矿渣与水泥密度。

令 $A = W_c + W_s$, $\theta = W_s/W_c$, 并解方程(1)、(2)可得:

$$V_m = \frac{\rho(\theta) - \rho_{MTC}}{\rho(\theta) - \rho_m} V_{MTC} - \frac{\rho(\theta) - \rho_n}{\rho(\theta) - \rho_m} V_n$$

$$A = \frac{\rho_{MTC} - \rho_m}{1 - \rho_m/\rho(\theta)} V_{MTC} + \frac{\rho_m - \rho_n}{1 - \rho_m/\rho_n} V_n$$

如果不外加清水, 则 $V_n = 0$, 则有

$$V_m = \frac{\rho(\theta) - \rho_{MTC}}{\rho(\theta) - \rho_m} V_{MTC} \quad (3)$$

$$A = \frac{\rho_{MTC} - \rho_m}{1 - \rho_m/\rho(\theta)} V_{MTC} \quad (4)$$

若取不同的 θ 值, 即改变水泥与矿渣的重量比, 可以得到不同的 V_m 、 W_c 和 W_s , 若只加水泥, 式(3)、(4)中有 $W_c = A$ 、 $\rho(\theta) = \rho_c$, 故

$$V_m = \frac{\rho_c - \rho_{MTC}}{\rho_c - \rho_m} V_{MTC}$$

$$W_c = \frac{\rho_{MTC} - \rho_m}{1 - \rho_m/\rho_c} V_{MTC}$$

若只加矿渣, 上式中的 ρ_c 以 ρ_s 代替, W_c 以 W_s 代替, 故

$$V_m = \frac{\rho_s - \rho_{MTC}}{\rho_s - \rho_m} V_{MTC}$$

$$W_s = \frac{\rho_{MTC} - \rho_m}{1 - \rho_m/\rho_s} V_{MTC}$$

由于推导上述公式时, 作了一些近似假设, 因此计算出的水泥和矿渣用量以及钻井液的体积都是近似值。

2. 室内配方试验研究

针对浅层气开发特点, 试验选用了普通钻井液和聚丙烯酰胺低固相钻井液两种方案, 配制的 MTC 水泥浆可满足浅层油井或天然气井的固井要求。在所有试验中抗压强度为 75 °C 恒温条件下养护 24 h 的值, 失水量为 0.7 MPa 压差条件下经 30 min 所测数据, 矿渣(BFS)细度为 320 目。

(1) 普通钻井液的转化

实验室配制的普通钻井液密度为 1.25 g/cm³, 性能为: 失水量 18.0 mL/30 min·0.7 MPa; $\eta_p = 12.5 \times 10^{-3}$ Pa·s; $\tau_{动} = 3.1$ Pa; $\tau_{初} = 0.8$ Pa; $\tau_{终} = 1.3$ Pa。

试验选用 G 级油井水泥和矿渣(BFS) 共同作为胶凝材料, 氢氧化钠作为矿渣激发剂, 分别试验了丹宁(SMT)、铁铬盐(FCLS)、腐钠、NF 作为分散剂,

CaCl₂、NaCl、Na₂SiO₃、三乙醇胺作为促凝剂的效果, 最后确定了普通钻井液转化为水泥浆的最佳配比方案(见表 1)。

表 1 普通钻井液转化为水泥浆的最佳配比方案

组 分							试 验 结 果				
钻井液 (mL)	水泥 (g)	BFS (g)	NaOH (g)	SMT (g)	Na ₂ SiO ₃ (g)	三乙醇胺 (滴)	密度 (g/cm ³)	流动度 (cm)	稠化时间 (min)	失水量 (mL)	抗压强度 (MPa)
400	200	120	3	11	10	6	1. 64	19. 0	123	9. 6	3. 45

(2) 聚丙烯酰胺低固相钻井液的转化
实验室配制的聚丙烯酰胺低固相钻井液密度为 1. 05 g/cm³, 性能为: 失水量 15 mL/30 min·0. 7

MPa; $\eta_p=14.5\times10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$; $\tau_{\text{动}}=3.5\text{ Pa}$; $\tau_{\text{初}}=1\text{ Pa}$; $\tau_{\text{终}}=1.5\text{ Pa}$ 。试验方法和程序与普通钻井液的转化相同, 得出其最佳配比方案(见表 2)。

表 2 聚丙烯酰胺低固相钻井液转化为水泥浆的最佳配比方案

组 分							试 验 结 果				
钻井液 (mL)	水泥 (g)	BFS (g)	NaOH (g)	SMT (g)	Na ₂ SiO ₃ (g)	三乙醇胺 (滴)	密度 (g/cm ³)	流动度 (cm)	稠化时间 (min)	失水量 (mL)	抗压强度 (MPa)
400	240	120	3	11	13	6	1. 55	19. 5	133	7. 4	3. 14

钻井液转化为 MTC 水泥浆机理探讨

本实验研究采用水泥和矿渣共同作为胶凝材料, 这是因为矿渣具有与水泥极其相似的化学成分, 但它却不会因遇水而迅速凝结硬化, 这使得它与钻井液有较好的配位性, 不会因此而改变钻井液性能。另一方面由于矿渣中 CaO 含量不足胶凝能力差, 而水泥中 CaO 含量却高达 70%, 两者的结合既可保证钻井液的流动性, 又可弥补化学组分的不足, 为充分发挥碱性激发剂的激活作用提供必须的条件。碱性激发剂 NaOH 加入钻井液中, 由于 OH⁻ 浓度高, 它比水分子较易进入矿渣网状结构的内部空穴, 并能比较激烈地与活性阳离子作用, 促进矿渣的分散和溶解。同时, 水泥进行水化反应本身也会生成 Ca(OH)₂, 对矿渣也有激活作用。另外, Ca(OH)₂ 与矿渣中的活性 SiO₂ 和 Al₂O₃ 作用也会加速硅酸钙和水化铝酸钙的生成。

分散剂的主要作用是吸附—分散, 它可以使水泥—水体系处于相对稳定的悬浮状态, 并使体系在加水初期形成的絮凝网状结构分散开来, 释放自由水, 提高体系的流动性。

促凝剂主要通过吸附作用使水泥颗粒更充分地与水接触加强吸附分散效应, 加速 C₃A 的反应和钙矾石的生成, 对水泥的凝固起催化促凝作用。

结 论

- (1) MTC 技术是提高固井质量、降低固井成本和减少环境污染的一条有效途径。
- (2) 在油气井开发中, 应用 MTC 技术可以改变常规注水泥程序, 缩短施工时间, 减少注水泥设备, 降低施工费用, 是一项值得推广的新技术。
- (3) 实验研究表明, 水泥和矿渣搭配使用, 其转化效果要比它们单独使用时的转化效果好。
- (4) 不同分散剂和促凝剂的配合, 具有不同的性能。在两种钻井液的转化中, 磺化丹宁、硅酸钠和三乙醇胺的配合使用有最佳的效果。

参 考 文 献

1 Wilson W N, Carpenter R B. Conversion of Mud to Cement. SPE20452

2 Javanmardi K, Nahm J J. Mud to Cement Technology Proven in Offshore Drilling Project. OGJ SPECIAL Feb. 15. 1993

3 吴达华等. 泥浆转化为水泥浆技术综述. 钻井液与完井液, 1995; 12(1)

4 冯玉军等. 泥浆转化为水泥浆. 钻井液与完井液, 1995; 12(6)

5 孙展利, 邓皓. 泥浆转变为水泥浆的室内研究. 钻井液与完井液, 1994; 11(1)

(收稿日期 1998-06-23 编辑 钟水清)

DESIGN AND FIELD EXPERIMENT OF A NEW THRUSTER

Huang Wanzhi, Lin Yuanhua and Shi Taihe (Southwest Petroleum Institute) and Peng Guorong (Changqing Petroleum Exploration Bureau) and Liang Xiakun and Yang Xiuyong (Sichuan Petroleum Administration). *NATURAL GAS IND.* v. 18, no. 6, pp. 54~56, 11/25/98. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

ABSTRACT: The amount of drilling the slimhole, high-angle hole and horizontal hole increases more and more. How to effectively apply the weight to the bit is a problem commonly concerned by drilling engineers. Generally the drill string is used for applying the weight to the bit in rotary drilling and turbo-drilling. However, in drilling the high-angle hole and horizontal hole, some shortcomings exist in the conventional way. They are: ① the along-wellbore component of the gravity of drill string is too low to satisfy the expected WOB; ② the normal pressure against borehole wall caused by the weight of drill string increases, thus enlarging the frictional drag of drill string and the power consumption of rotary table. The frictional drag is one of the important factors affecting the development of both high-angle well and horizontal well, therefore a new thruster has been developed, which is a pressurization device taking drilling fluid pressure as its dynamic force. By use of the thruster, the weight can be smoothly applied to the bit, the bit-made axial vibration of drill string above the thruster is reduced, the fatigue failure of the drill collar and drill pipe is decreased, the live time of the drill string and bit can be prolonged and the drill cost may be cut down. Through the experiments in oil fields, it is shown that the thruster is of high reliability and safety. By use of it, not only the problem of applying WOB during drilling the high-angle hole and horizontal hole can be efficiently solved, but also the force applying to the drill string can be greatly changed.

SUBJECT HEADINGS: Slim hole drilling, Bit weight, Hydraulic energy source, Pressurization, Design, Testing

Huang Wanzhi (associate professor) born in 1943, graduated from the Department of Mechanical Engineering, the Southwest Petroleum Institute, in 1967 and received his Master's degree in 1981. Now he is engaged in the research and teaching works of the petroleum mechanical engineering and drilling tools. Add: Nanchong, Sichuan (637001), China Tel: (0817) 2603433-3015

A RESEARCH ON THE TECHNIQUE OF TRANSFORMING DRILLING FLUID INTO CEMENTING SLURRY

Chen Liyi (Chengdu College of Technology). *NATURAL GAS IND.* v. 18 no. 6, pp. 57~59, 11/25/98. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

ABSTRACT: The technique of transforming drilling fluid into cement slurry is a new cementing method which through adding in some gelling materials and additives, the drilling fluid can be transformed into cement slurry directly used as a cementing material. In drilling, the drilling fluid undertakes cooling and lubricating bit, taking up cuttings, balancing formation pressure and stabilizing borehole wall. After well completion, if the drilling fluid can be transformed into a consolidating material—well cementing fluid, the goal of plugging formation, sustaining casing and preventing the interzonal fluids from channeling may be achieved. Such a method is also called MTC (mud to cement) technique. In order to raise the production efficiency and reduce the cost of oil and gas wells, adopting the MTC technique is a feasible way. Through experiment, it is thought that by taking both oil-well cement and granulated blast-furnace slag as the gelling materials and optimizing suitable dispersant and accelerant, an optimum formulation of transforming the conventional drilling fluid and polyarylamide low-solid mud into a cement slurry system may be obtained. Such a technique which has the function of both drilling fluid and cement slurry can prevent the flocculating effect from being formed when the drilling fluid is mixed with the slurry, raise the displacement efficiency in annular space, reduce the cost of treating waste drilling fluid and decrease the consumption of cementing materials, thus having great potentialities in improving cement job quality and reducing cost, being able to give a reference to production units.

SUBJECT HEADINGS: Drilling fluid, Cement slurry, Well cementing, Technique, Research

Chen Liyi (Master, associate professor), born in 1957, graduated in exploration engineering from the former Chengdu College of Geology in 1982. He is always engaged in the teaching and research works of the drilling fluid and cement additive. Add: No. 1, East Third Road, Erxianqiao, Chengdu, Sichuan (610059), China Tel: (028) 4078967

APPLYING THE MATCHING TECHNIQUE OF RAISING DRILLING SPEED TO THE GAS WELLS IN CHISHUI REGION OF GUIZHOU PROVINCE

Xiong Jiyou and Liao Rongqing (Southwest Petroleum Institute) and Wang Jianbo and Qu Jia (Dian-Qian-Gui Petroleum Exploration Bureau). *NATURAL GAS IND.* v. 18 no. 6, pp. 60~62, 11/25/98. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

ABSTRACT: The fractured carbonate reservoirs in Chishui region of Guizhou Province are of the properties as well developed fractures, many faults, more than ten gas-producing formations found in vertical, non-uniformly developed fractures in each producing formation, a large lateral change in lithology, forming many pressure systems owing to the disconnected fracture systems in each formation; in addition, the mud densities used were high and the mud loss and well blowout were coexisting in drilling because of abnormal pressures, which caused the drilling