

注水泥过程中的U型管效应

钟 兵* 刘绪全

(西南石油学院)

内容提要 本文分析了注水泥过程中产生U型管效应的原因,建立了模拟注水泥全过程的数学模型,进行了实例计算并对有关因素进行了详细分析。

主题词 固井注水泥 U型管效应 数学模型

固井注水泥过程中注入的各种流体(水泥浆、隔离液、前置液、替泥浆等)及原浆的密度是各不相同的,当这种密度差使得管内外液柱压力不相等时,就会出现所谓的U型管效应,即当管内液柱压力大于环空压力时,返出排量将大于井口注入排量,并在管内井口处出现真空段。之后,若环空液柱压力逐渐大于管内压力,则真空段逐渐减小直至完全消

失,此时返出排量又等于注入排量。这种客观存在的U型管效应可能给固井施工带来一系列危害。例如,由于环空返出排量可能大于也可能小于注入排量,所以不能保证环空各部分水泥浆的流态自始至终都是紊流,不能保证其流速都大于所需的临界值,因而固井质量难以保证。另外,若环空返速过大,所增加的环空摩阻压降有可能使套管鞋附近的薄

结 论

(1)综合总目标函数从不同侧面全面地反映了计算结果与气藏实际动态规律的吻合程度,又反映了计算结果与气藏理论动态与气藏理论动态规律的偏差程度。其综合总目标函数最优化方法在计算水驱气藏储量和水侵量时,比以往单目标最优化方法更具综合性和代表性。

(2)在进行最佳方案的挑选时,由于各目标函数值间不具高低一致性,应用相对海明距离分析和关联度分析,可以综合定量地反映各较优方案的好坏程度,使最佳方案的挑选变得直观和简单。

(3)ZX水驱气藏储量为 $117.702 \times 10^8 \text{m}^3$,1988年底累积水侵量为 $391.1 \times 10^4 \text{m}^3$,水体储量为 $4.36 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

参 考 文 献

- 1 史乃光等.最优化方法在气藏储量计算中的应用.天然气工业,1987;4
- 2 刘学中等.用关联度和海明距离确定多目标优化问题的最优解.西南石油学院学报,1990;1
- 3 陈元千著.油气藏的物质平衡方程式及其应用.北京:石油工业出版社,1984

(本文收稿 1992-12-28)

* 637001,四川省南充市。

弱地层发生破裂。因此应采取减小 U 型管效应。

近年来,国内外开始重视对 U 型管效应的研究,本文在有关文献的基础上,全面考虑 U 型管效应的影响因素,建立模拟注水泥过程的数学模型,以期全面地掌握注水泥的全过程及各种因素的影响,为采取有效措施降低 U 型管效应对固井施工的影响提供有力的理论依据。

数学模型

如图 1 所示设任一时刻的井口注入排量

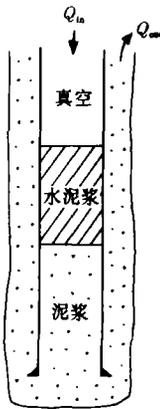


图 1

为 Q_{in} , 环空返出排量为 Q_{out} , 井内流体流动加速度为 a , 井口有一真空段。则此时管内流体所受压力: 井口压力 p_s , 静液柱压力 p_c , 流体流动压降 p_{fc} 。另外, 当井口处出现真空段时, 注入的流体将以一初速 Q_{in}/A_1 作自由下落 (A_1 为管内横截面积), 冲击管内液柱, 从而对其产生一冲击压力 p 。环空流体所受压力: 静液柱压力 p_n , 流体流动压降 p_{fn} 。则由动力学原理可导出各压力在任一时刻均应满足的关系式:

$$p_s + p + p_c - p_n - p_{fc} - p_{fn} = p_{ci} + p_{ni} \quad (1)$$

$$\text{式中 } p_c = \sum_{i=1}^N L_{ci} \cdot \gamma_i \cdot \cos \alpha_i \quad (2)$$

$$p_n = \sum_{i=1}^N L_{ni} \cdot \gamma_i \cdot \cos \alpha_i \quad (3)$$

N, n ——环空、管内的流体种类;

L_{ni}, L_{ci} ——环空、管内第 i 段流体长度;

γ_i ——第 i 种流体密度;

α_i ——第 i 种流体所在井段的平均井斜角。

$$p_{ci} = M_c \cdot a \cdot A_2 / A_i^2 \quad (4)$$

$$p_{ni} = M_n \cdot a / A_2 \quad (5)$$

式中 A_2 ——环空横截面积;

M_n, M_c ——环空、管内流体总质量。

$$p_{fc} = \sum_{i=1}^N p_{fci} \quad (6)$$

$$p_{fn} = \sum_{i=1}^N p_{fni} \quad (7)$$

$$p = \rho \cdot Q_{in} \cdot (\sqrt{Q_{in}^2 + 2 \cdot g \cdot V \cdot A_1 - A_2 \cdot v_a}) / A_i^2 \quad (8)$$

式中 ρ ——注入流体密度;

V ——真空体积;

v_a ——流体环空返速。

$$\text{则 } a = \frac{p_c + p - p_n - p_{fc} - p_{fn}}{M_n / A_2 + M_c \cdot A_2 / A_i^2} \quad (9)$$

$$\text{井底压力 } p_b = p_{fn} + p_n + M_n \cdot a / A_2 \quad (10)$$

$$v_a = \frac{Q_{in}}{A_2} + \int_{t_1}^{t_2} a dt \quad (11)$$

式中 t_1 ——U 型管效应开始时刻;

t_2 ——U 型管效应开始后的任意时刻。

$$V = A_2 \int_{t_1}^{t_2} v_a dt - Q_{in} (t_2 - t_1) \quad (12)$$

在求解过程中应注意, 计算压力应按实际流速计算, 而不应以注入速度计算, 在 U 型管效应发生期间, 两者是不同的。

实例分析

上述模型可编程序计算, 现举一例。

实例数据见表 1、2。

表 1 井身数据

参 数	平均井径 (cm)	套管外径 (cm)	套管内径 (cm)	井深 (m)
数值	22.8	17.78	15.7	2030

表 2 流体数据

流 体	注入体积 (m ³)	注入排量 (l/s)	密 度 (g/cm ³)	流性指数	稠度系数 (Pa·s ⁿ)
原 浆			1.25	0.9	0.09
前置液	6.40	22	1.0	0.95	0.057
水泥浆	24.23	25	1.85	0.49	1.2
替泥浆	26.46	20	1.25	0.9	0.09

1. 可能出现的 $Q_n = 0$ 时 U 型管效应的影响

注水泥过程中由于发生事故等而使得某一时间段内注入排量 Q_n 可能暂时为零,图 2、图 3 分别为是否存在注入排量为 0 的时间段时注入排量、返出排量与时间的关系曲线。图 4 为这二种情况下真空体积与时间的关系曲线。可以看到,当存在 $Q_n = 0$ 的时间段时返出排量在 $t = 24.40\text{min}$ 达到最大,为 49.69 l/s 。当不存在 $Q_n = 0$ 的时间段时返出排量在 $t = 24\text{min}$ 达到最大,为 54.44 l/s ,前者小于后者。这主要是由于当存在 $Q_n = 0$ 时间段时,当 $Q_n \geq 0$ 时,管内流体在内外静液压差作用下继续返入环室,由于得不到流体的补充,则管内流体液柱高度降低,真空体积增加(见图 4),管内外静液压差逐渐降低,返出排量就会逐渐减小乃至为零。显然, $Q_n = 0$ 时间段越长,返出排量降得越低,管内外压差越小,之后再继续注入流体,则所能产生的管内外最大压差一定不会超过不存在 $Q_n \geq 0$ 时间段时所能达到的最大压差,因而所对应的最大返出排量也就相应地小些。

相应地,不存在 $Q_n = 0$ 时间段与存在 $Q_n = 0$ 时间段时所产生的井底压力相比,前者为 30.652MPa ,后者为 29.12MPa ,相差近 1.5MPa , $Q_n = 0$ 时段越长,这个差值将越大。

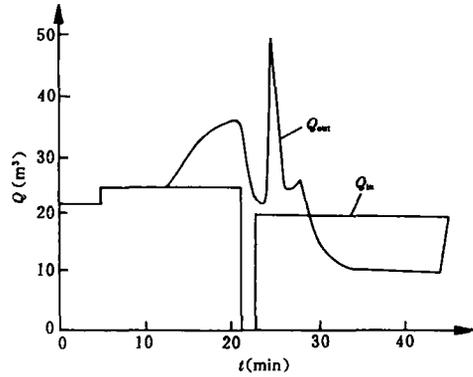


图 2 有 $Q_n = 0$ 时段时 Q_{out} 曲线

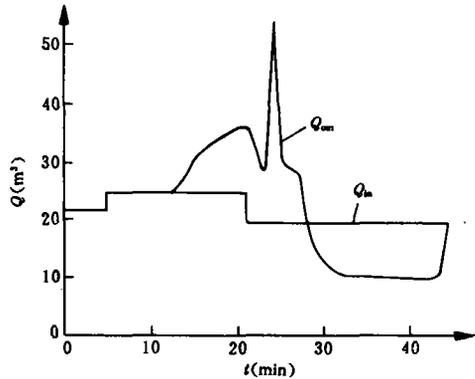


图 3 无 $Q_n = 0$ 时段时 Q_{out} 曲线

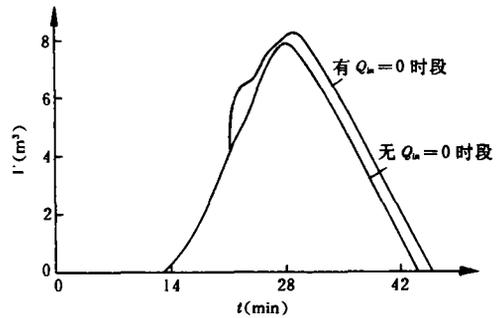


图 4 有无 $Q_n = 0$ 时段 V 曲线

由此可见,为防止产生过大的返出排量,以免压漏地层,可以在适当时候暂停注入流体,当返出排量降到一定数值后,再继续注入。

2. 冲击压力影响

图 5 所示为冲击压力与时间的关系曲

线。它是伴随着真空体积的存在而存在的,真空体积越大,冲击压力也就越大,其值在 $t = 21\text{min}$ 时达到最大,为 $14.3 \times 10^{-2}\text{MPa}$ 。冲击压力主要是对加速度的影响较大,这说明,在井较浅,注入排量较小的情况下,可以不考虑冲击压力的影响,反之,则有必要考虑。

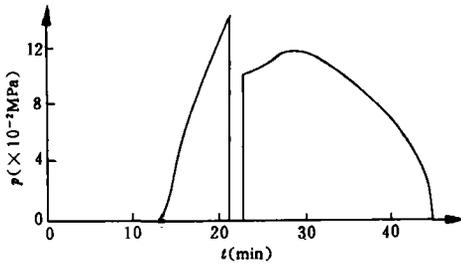


图 5 冲击压力曲线

3. 摩擦阻力的影响

表 3

最大参数	返出排量(l/s)	真空体积(m ³)
考虑摩擦阻	49.69	8.45
不考虑摩擦阻	66.31	16.32

如表 3,流体流动过程中存在的摩擦阻力有助于减弱 U 型管效应。为此,注水泥施工时,可以考虑在保证套管鞋处地层安全的前提下,给环空施加一回压,以最大限度地减小返出排量和注入排量之间的差值,从而减

弱乃至消除 U 型管效应,提高固井质量。

结论和建议

(1)分析表明,U 型管效应存在于注水泥过程的始终,当密度差较大,井深较大时,应考虑 U 型管效应对固井质量和安全的影响;

(2)当 U 型管效应使得返出排量远较注入排量时,可以考虑暂停流体的注入,待返出排量降到一定数值后,再继续注入;

(3)流动阻力有助于削弱 U 型管效应,在保证井下安全前提下,可考虑在注水泥过程中给环空施加一定回压,以削弱乃至完全消除 U 型管效应,提高固井质量;

(4)在密度差、注入排量和井深较大时,要考虑冲击压力对 U 型管效应的影响;

(5)对如何将 U 型管效应对固井施工的影响减小到最低限度的问题,还应从理论和实践两方面进行更深入的研究。

参 考 文 献

- 何源远.注水泥作业返出排量的理论计算.石油钻采工艺,1988;4
- 胡泽花,黄柏宗译.一次注水泥的自由下落现象.SPE,13045
- 李晓江,张文飞.固井施工中注水排量的优化设计.石油钻采工艺,1991;5

(本文收稿 1992-12-08)

欢迎订阅《中国石油文摘》

《中国石油文摘》是经国家科委批准,以文摘、简介、题录三合一的形式系统报道和积累中文石油科技文献的检索期刊。本刊集国内石油科技文献于一刊,是广大石油工作者了解国内外石油科技信息,快速、方便查找中文石油科技文献的重要工具。

本刊由中国石油天然气总公司信息研究所编辑和出版发行,双月刊,双月中旬出版。每期报道文献 900 篇左右。1994 年共出版 6 期,另附一期年度主题、著者和专利索引。每期约 28 万字,定价 7 元,包括年度索引全年订费 50 元。本刊还同时发行 1992、1993 和 1994 年精装合订本。凡需订阅者与本刊编辑部联系。

编辑部地址:北京安外安华里二区三号楼,邮政编码:100011,电话:2095935

Kuang Jianchao, Shi Naiguang and Yang Zhengwen: A Optimization Way of Synthesizing Overall Target Function to Calculate Reserve and Water Influx of Water Drive Gas Reservoir, NGI 13(6), 1993: 41~47

The method of calculating the reserve and water influx of water drive gas reservoir by using material balance method is improved. The optimum way of synthesizing overall target function is proposed which is, after calculating a vast amount of good schemes, through placing them in a competition by using relative Hamming distance and correlatively analysis to choose out the best one.

Subject Headings: water drive gas reservoir, synthesizing overall target, function, reserve, water influx, optimum way, optimum scheme choice.

DRILLING/PRODUCTION TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

Zhong Bin and Liu Xuquan: U Shape Tube Effect in the Process of Cementing, NGI 13(6), 1993: 47~50

The reason of producing U shape tube effect in cementing process is analyzed in this paper. A mathematical model of the whole cementing process is set up to calculate the concrete instance and study the relevant factors thoroughly.

Subject Headings: cementing, U shape tube effect, mathematical model.

Jiang Wei: Application of Top Drive Drilling in Area 36—1, NGI 13(6), 1993: 51~53

The top drive drilling technique was applied in the oil field SZ36—1 in Liaodong Bay of Bohai and its advantages are able to shorten drilling cycle and save drilling cost as to obtain a favorable economic benefit and accelerate the proceeding of developing oil field. It is necessary to master the technique and correctively cognize its characters for developing and constructing oil field.

Subject Headings: Bohai, Liaodong Bay, oil field SZ36—1, drilling technique, drilling cost, oil field development.

Mu Fei and Song Shufang: Influence of Upper Nozzle's Passage Shapes of Pulse Nozzle on Jet Flow Properties, NGI 13(6), 1993: 53~57

This paper studies the influence of upper nozzle's passage shapes (such as streamlined, tapered, equal change speed and three times curve shapes) of pulse nozzle on jet flow properties. The result from testing can help optimizing pulse nozzle and instructing field application. The influence of pump pressure on the characters of pulse jet flow is also studied in normal pump pressure, and the priming pulse pressure of causing pulse jet flow is obtained.

Subject Headings: pulse nozzle, upper nozzle, flow passage shape, pulse range, pulse jet flow character.

Chen Yuanquan: A Method of Calculating Condensate Equivalent Gas Volume and Its Application, NGI 13(6), 1993: 57~60

A method of calculating condensate equivalent gas volume is shown in this paper. It can be used to