

运用固井设计与仿真模拟系统 辅助现场提高固井质量

徐璧华* 郭小阳 张玉隆

(西南石油学院石油工程系)

摘 要 在注水泥施工过程中,如何合理控制井下各种参数的变化^{*,},对保证注水泥顶替质量是非常重要的。介绍近年合作开发的注水泥设计与仿真系统基本功能结构、设计思路和主要的模型特点;并着重介绍了该系统在现场的应用情况,分析了这一系统的适用性,提出了如何运用该系统辅助现场提高固井质量的一些方法。并通过大量的现场使用结果可以看出,整个系统所建立的设计模型是合理的、准确的。为现场提供了从水泥浆参数设计、用量、计算、顶替排量要求到注水泥过程动态模拟等多种设计功能,方便了施工人员掌握应用。

主题词 固井 注水泥 流变学 计算机 辅助设计 应用

在注水泥施工过程中,要保证注水泥顶替质量,必须有合理的施工措施,并能有效控制井下各种参数的变化。而要做到这些工作,施工前的科学设计是必不可少的。国外各大公司,如 Hallibaton、DS、Western 等,都建立有自己的注水泥仿真模拟系统,使得他们的注水泥作业能在科学、规范的技术指导下完成,以获得良好的质量保证。但国内还没有完全使用施工设计与施工仿真模拟系统,从而使得整个注水泥施工过程控制带有很大的盲目性,在很大程度上影响了注水泥顶替质量的提高。

从 1991 年开始,我们先后与多个油气田合作,开发适合各油气田自己情况的注水泥设计与仿真模拟系统,经过这几年的努力,开发的固井设计与仿真模拟系统已基本完善,并在几个油田的实际应用中取得了良好的效果。

1. 系统的基本结构与主要特点

系统主要由固井工程设计、固井作业过程计算机仿真、知识管理三大部分组成;采用了国内外固井工艺设计方面的最新研究成果与设计方法,将固井工程设计中涉及到的主要问题全部集成到了该系统,并提供了方便灵活的知识处理功能,使该系统可以在大量的现场经验与专家知识支持下进行有关设计,能完成从直井到水平井的各种固井施工设计与仿真模拟,设计结果更加合理可行。该系统的基本结

构如图 1 所示。

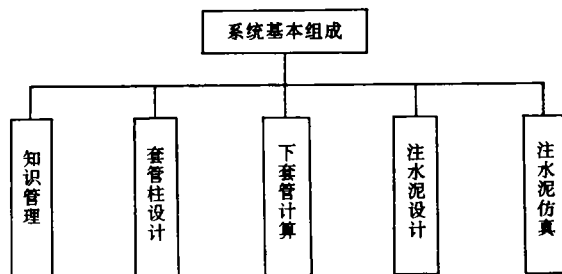


图 1 系统主体结构

Fig. 1. System main structure.

整个软件的编制均采用了目前流行的操作格式,全汉字操作提示,设计结果显示、打印方便灵活,图文并茂,支持多种输出设备(数字化仪、各种打印机、绘图仪),现场技术人员极易操作使用。

注水泥设计部分能在有关专家知识的指导下,推荐出所需水泥浆的密度、水泥浆柱结构以及性能要求,并可推荐出油气田可用的水泥浆配方,最后能设计出有利于提高顶替效率的施工计划。

仿真模拟部分能根据实际的施工设计要求,模拟出在该施工计划下,井下各种参数的变化情况,如注水泥过程中井下各种液体的流速、流态、顶替位

* 徐璧华,讲师;1984年毕业于西南石油学院钻井专业,1991年获硕士学位;从事油气井固井与完井方面的教学与科研工作,先后参加国家和部级科研项目 10 余项,并为多个油气田开发了固井设计和数据管理方面的计算机软件。地址:(637001)四川省南充市石油东路。电话:(0817)2224433 转 2913。

** 本课题属国家“八五”重点科研攻关项目 85-204-04 研究内容。

置、紊流接触时间、在环空中对地层产生的压力变化、失重情况等,并能帮助分析模拟结果,提出改进方案。如图2、图3为注水泥设计与仿真模拟部分的设计流程。

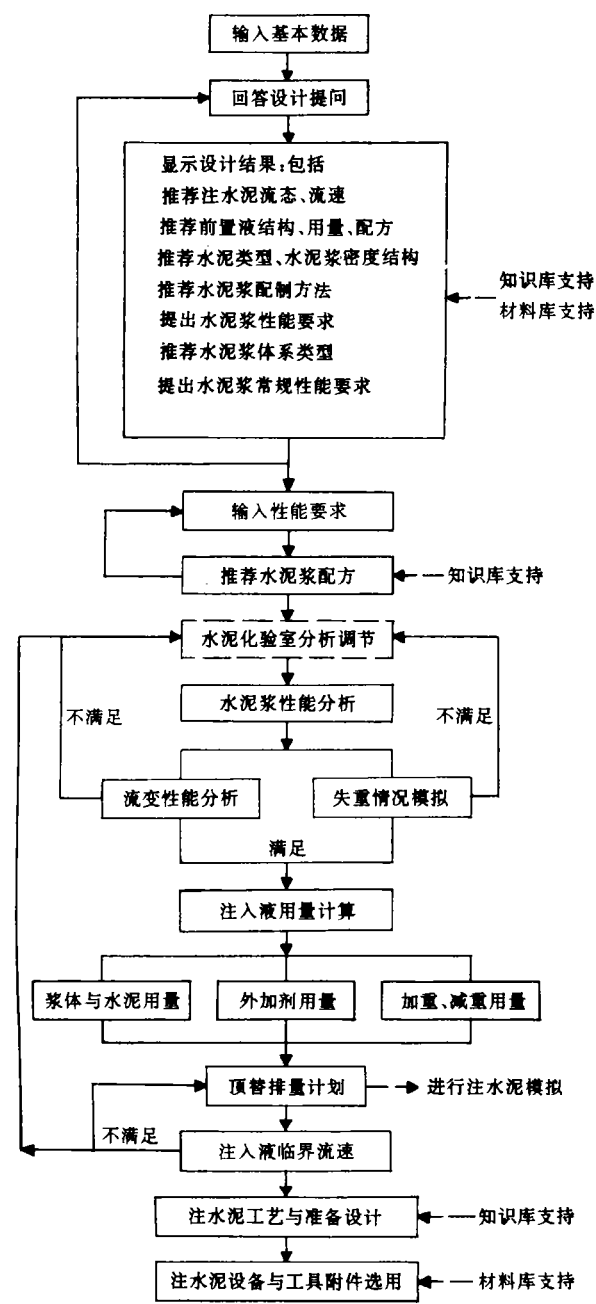


图2 注水泥设计基本流程
Fig. 2. Cementing design basic flowchart.

2. 系统模型原理及其特点
整套系统采用了专家系统的设计原理,将大量的专家设计知识与理论模型有机地结合起来,通过如图4所示的推理模型进行有关求解。

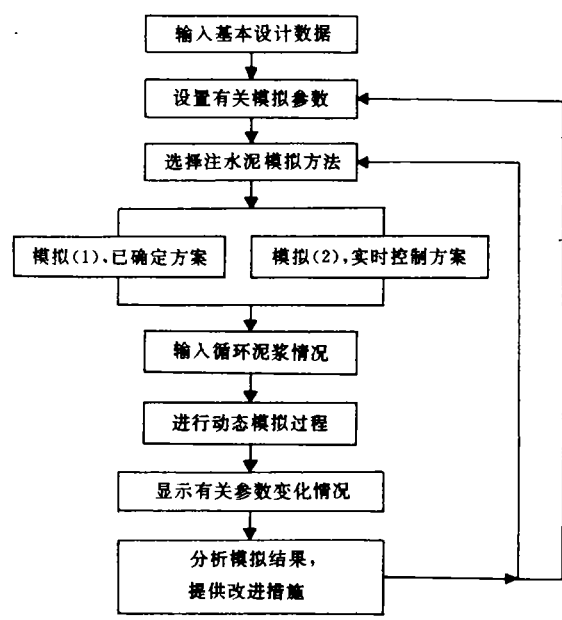


图3 注水泥仿真模拟基本流程
Fig. 3. Cementing emulation basic flowchart.

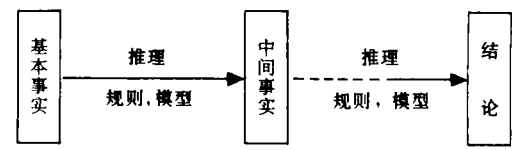


图4 设计与推理过程示意图
Fig. 4. Schematic drawing of design and inference procedure.

由于篇幅限制,文中仅介绍其注水泥部分有关模型的主要特点。

- (1)模型的基本模拟条件
- 1)井眼环空由若干段(任意段)组成,各段的井径、井斜以及偏心率等均可不同;
 - 2)管内部分由若干段组成,各段的内径、井斜可不同;
 - 3)考虑地层破裂压力对地层空隙压力的限制;
 - 4)考虑井壁稳定性的限制;
 - 5)考虑套管在环空处于一定的偏心状态;
 - 6)考虑井眼内同时注入多种液体,各液体性能可不同;
 - 7)考虑“U型管效应”现象的出现与影响;
 - 8)考虑局部流动阻力作用。

(2)整个设计模型主要体现了如下特点

1)注水泥顶替模型考虑了注水泥时“U型管”效应的影响,考虑多种液体在多尺寸管道和环空同

时流动的状态,可同时处理多种流变模式;

2)泥浆与水泥浆均为非牛顿液体,在管内或环空流动时的临界雷诺数将随液体的流变性能等变化,故本文采用由 Z 值法演绎后的雷诺数来判别液体流态;即实际液体的紊流临界雷诺数是根据液体的性能而定;

3)模型中考虑了液体流动局部阻力,通过考虑套管浮箍、浮鞋等位置的局部阻力影响,其局部阻力系数(ξ)可用循环泥浆时实测压力排量求得。

$$\text{局部流动阻力 } P_f = \sum_{i=1}^K \xi_i \rho_i Q_i^2$$

4)对套管偏心的处理;

由于套管偏心后,液体流动时流态的判别、流动阻力大小都将有所变化,因此在仿真模型中着重考虑了这一问题。即先根据套管所加入扶正器的情况,模拟出套管在井下的偏心变化,然后,将在其整个模型中考虑上偏心数据的影响。对流态的计算使用下面给出的偏心流动综合雷诺数的计算式(赫巴液体):

$$N_{Re} = \frac{12^{1-n} \times 100^{2-n} \times \rho v^{2-n} (D_w - D_c)^n}{10K \left(\frac{2n+1}{3n} \right)^n \left[\frac{1}{G^n} + \frac{2n+1}{n+1} \left(\frac{D_w - D_c}{400v} \frac{n}{2n+1} \right)^n \frac{\tau_s E}{K G} \right]}$$

5)考虑现场情况的多变,在流动计算时软件可根据循环泥浆的情况自动控制计算误差。

3. 现场应用分析

软件在辽河、长庆、四川等油田使用了 200 多口井,对提高注水泥设计水平、提高注水泥顶替效率、保障固井质量起到了较明显的效果;如辽河油田钻井二公司平均固井优质率为 62%左右,而在使用本软件设计和指导注水泥的全部 169 口井中,平均固井优质率提到了 82.25%。

根据该系统的使用情况,可从如下两个方面对该系统的使用情况进行分析,从而说明该系统用于现场指导施工后,可较好地帮助现场人员提高施工技术,改善固井质量。

(1)计算模型的准确性

使用根据上述计算模型编制的软件,对长庆石油勘探局钻井二公司进行的一些固井施工的结果进行了验算。由于实际施工过程中没有记录井口返出排量的变化数据,也未记录施工过程的井口压力变化数据。因此,只能使用实际顶替结束时的最终压力进行分析,其软件计算的数据与实测数据见表 1。

表 1 软件计算的数据与实测数据比较表
Table 1. Comparion between the data of software
compulation and the measured ones

井 号	井 深(m)	注水泥浆量 (m ³)	注水泥浆排量 平均值(L/s)	顶替排量平均值 (L/s)	顶替压力(MPa)		
					实测值	计算值	相对误差
中 29—162	1 558	34.0	11.8	14.3		9.61	
新元 8—10	1 642	40.0	15.9	17.6	11.0	12.25	11.36%
华 160	1 901	51.0	13.3	14.3	14.0	13.71	-2.07%
元西 5—5	1 540	41.7	13.4	15.0	12.5	12.55	0.40%
华 171	1 930	42.5	17.3	19.8	12.0	12.33	2.75%
新中 289	1 705	39.68	18.4	11.0		10.66	
新北 78	1 674	56.5	11.8	14.2	14.0	12.40	-11.43%
华 41—11	1 464	34.0	11.1	13.0	11.0	10.43	-5.18%
洼 5—11	1 762	52.5	10.5	18.0	15.0	14.47	-3.53%
中 201—2	1 665	33.2	9.9	8.8	10.0	10.35	3.50%
北 58—2	1 745	40.0	17.1	16.3	13.0	11.16	-14.15%
镇 12	2 154	51.0	18.9	19.2	13.0	14.43	11.00%
元东 2—11	1 620	51.0	18.5	20.7	12.0	11.21	-6.58%
洼 10—9	1 724	59.5	24.2	16.8	12.0	11.27	-6.08%
元东 1—11	1 607	42.0	18.4	27.5	12.0	11.93	0.58%
华 9—28	1 335	34.0	17.7	15.1	11.0	9.38	-14.73%
华 12—29	1 436	34.0	16.2	24.5	12.0	12.38	3.17%
新玄 12	1 130	34.0	16.7	17.7	14.0	12.12	-13.43%

从表 1 可看出,所计算的 20 口井中,除两口井没有实测数据无法比较外,其误差一般均在 10%以

内,8口井总的平均误差为6.97%。

如图5是辽河油田一口井(曙1—42—043)进行注水泥施工时的实测返出排量与井口压力变化数据曲线(计算注入排量,实测井口压力)。可以看出,

与计算曲线(实测返出排量,计算井口压力)相比其误差是较小的。这说明,用该软件所计算的结果是符合现场施工情况的,也说明该软件所建立的这套模型是合理的、准确的。

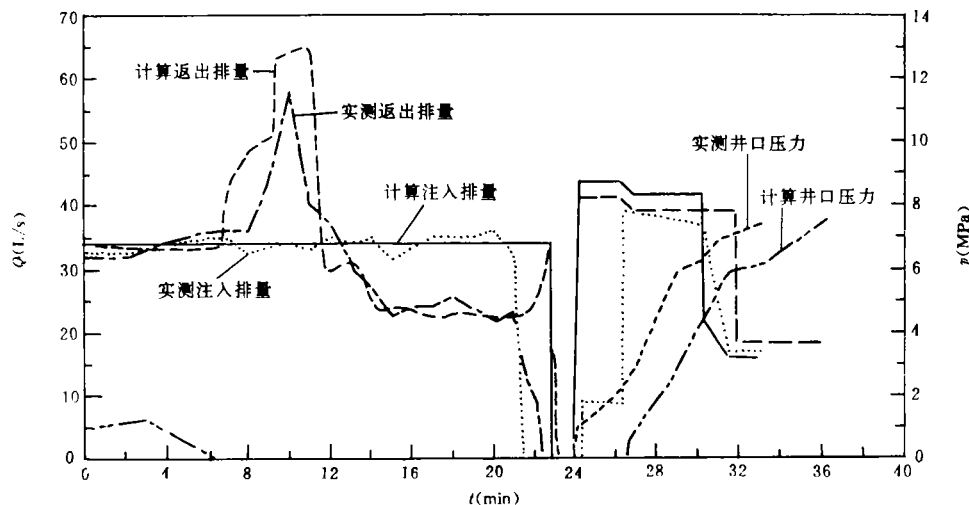


图5 曙1—42—043井实测返出排量、井口压力与模拟曲线对比图

Fig. 5. Contrasts between measured discharge-returning and analog one and between measured wellhead pressure and analog one of well Shu 1—42—043.

(2) 系统在现场的作用*

从使用情况来看,该系统主要发挥了两个方面的作用,一是用于注水泥前的施工设计,二是用于施工后的有关技术分析。

1) 施工前的有关设计与仿真模拟

用于施工前的水泥浆性能、用量、施工排量等内容的设计。例如,针对长庆石油勘探局钻井二公司所钻井眼与地层情况进行有关设计计算后表明,由于受到地层破裂压力的限制,要增大顶替排量使水泥浆达到紊流顶替是较危险的,极易压漏地层。同时水泥浆又是按满足某些特殊性能要求而配制的,其流变性在施工顶替排量下是不易达到紊流的(对前面提供的20口井的井眼情况而言,其使用水泥浆达到紊流的临界排量一般在40~65 L/s之间)。为此,根据这一情况制定了提高顶替效率的一些措施,如加大前置液用量,保证一定的紊流接触时间(经计算一般在7~10 min之间),合理安放扶正器,尽量保证套管居中等。

2) 施工后的技术分析

在施工完成时,由于具体施工中控制的流体性能,注替过程的排量都可能与设计参数有所不同,而造成施工质量出现变化。使用该软件,将实际施工过程的有关参数输入后,便可将实际施工过程中的

有关井下参数的变化情况描述出来,如由于“U型管”效应造成的返出排量的变化,井下压力的变化,液体流态、紊流接触时间的变化等。通过分析这些参数的变化,可帮助技术人员合理地评价施工结果。

结 束 语

使用本文介绍的设计系统,为现场提供了从水泥浆参数设计、用量计算、顶替排量要求到注水泥过程动态模拟等多种设计功能,方便了施工人员掌握应用。使工程技术人员能更全面、准确、合理地进行注水泥设计。

从大量的现场使用结果可以看出,整个系统所建立的设计模型是合理的、准确的。合理使用这一系统,可帮助现场技术人员提高设计水平,实现科学化、系统化的固井设计,为合理改进固井措施,提高固井质量将起到明显的作用。

参 考 文 献

- 1 刘崇建,刘孝良,徐璧华.《中华人民共和国石油天然气行业标准,油气井注水泥流变性设计》.北京:石油工业出版社,1993
- 2 何源远.注水泥返出排量的理论计算.石油钻采工艺,1988

(收稿日期 1996-07-18 编辑 钟水清)

* 该系统是在刘崇建教授指导、何世明等教师参加下完成的,并得到了辽河、长庆、四川油气田等单位的大力支持,已通过了有关专家的鉴定。

na Science and Technology University and engaged in researches on oil-gas percolation and the complex mixtures fluid in wellbore. Add: (230027)Hefei, Anhui. Tel: (0551)3601267.

Fan Xueping (*Chongqing Petroleum Higher Training School*), **Huang Jianming**: **NUMERICAL SIMULATION RESEARCH OF OIL-GAS STEADY PERCOLATION BY BOUNDARY ELEMENT METHOD**, NGI 16 (6), 1996: 30~33

ABSTRACT: Some difficulties are met in practice when applying numerical simulation method to oil-gas engineering in complex boundary conditions. In order to solve the problem, boundary element numerical method for steady percolation Laplace equation and Poisson equation is derived. With its calculation block diagram, the method is verified by an example. Because the method has the characteristics of reducing dimension, calculating fast, high precision and giving the inter solution easy, only dividing the research area boundaries, it should be widely used in reservoir numerical simulation.

SUBJECT HEADINGS: Oil-gas reservoir, Steady flow, Percolation, Numerical simulation, Differential equation, Boundary element method.

Xu Bihua (*Southwest Petroleum Institute*), **Guo Xiaoyang**, **Zhang Yulong**: **UTILIZING CEMENTING DESIGN AND ARTIFICIAL SIMULATION SYSTEM TO AID THE IMPROVEMENT OF FIELD CEMENTING QUALITY**, NGI 16 (6), 1996: 34~37

ABSTRACT: It is very important adopting rational techniques to control various parameters and to ensure displacement quality during cementing. Basic functions, structure, design thinking, main model characteristics and field application of a cementing design and simulation system cooperatively developed in recent years are introduced. Some methods of Utilizing the system to aid the improvement of field cementing quality are proposed out.

SUBJECT HEADINGS: Well cementing, Cementing, Rheology, Computer assisted, Application.

Xu Bihua, lecturer, graduated in drilling from Southwest Petroleum Institute with Master's degree in 1991; he is engaged in teaching and researching well cementing and completion; he has participated the researches on over ten national and ministerial science-technology projects, and developed the software of cementing design and data management for some oil-gas fields. Add: (630071)Nanchong, Sichuan. Tel: (0817)2224433-2918.

Liu Jubao (*Daqing Petroleum Institute*), **Zhang Xuehong**, **Sun Chao**, **Zhong Qigang**: **BENT BEAM UNIT ANALYSIS OF DRILL STEM DEFORMATION IN HORIZONTAL WELL**, NGI 16 (6), 1996: 38~40

ABSTRACT: In the light of the basic principle of finite element method, the arc bent beam units and rigidity matrix suited to the deformation analysis of drill stem in horizonat well are researched and the relevant computer procedure is worked out. Typical example and compulation result of mechanics analysis of horizontal well drill stem show: For the same structure and in the condition of constant computation precision, the number and computation time of bent beam units are less than those of straight beam units, which is very important for non-linear mechanics analysis of the horizontal drill stem with bigger curvature. So it is feasible replacing straight beam units by bent beam units to reduce computation time when doing the mechanics analysis of drill stem with bigger curvautre.

SUBJECT HEADINGS: Horizontal well, Drill stem, Deformation, Mechanics, Analysis.

Liu Jubao, associate professor, obtained Master's degree from Daqing Petroleum Institute in 1989; he is long engaged in teaching and researching. Add: (151400)Anda City, Heilongjiang. Tel: (0459)4653337.