

# 煤层气田地面管网的在线模拟与预测系统\*

李晓平<sup>1, 2, 3</sup> 王英光<sup>4</sup> 武浩<sup>1</sup> 万璐<sup>5</sup> 陈树仁<sup>6</sup>

**摘要:** 为提高煤层气田地面管网的数字化与自动化, 实现地面设施监控及管理的智能化和无人化, 研发了煤层气田地面管网的在线模拟与预测系统。该系统通过在线网络即时地接收现场测量设备所测得的实时数据, 并将数据存入历史数据库和实时数据库中, 经过处理和分析, 实时地在线反馈实际信息和模拟结果。该系统可实现虚拟计量、确定输气管道清管周期等功能, 对气田生产运行起到很好的辅助作用, 有助于提高煤层气田精细化管理水平。

**关键词:** 在线模拟; 煤层气; 地面管网; 精细化管理

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.3.015

## The Online Simulation and Prediction System of Coal Bed Methane Gathering Pipeline Network

Li Xiaoping, Wang Yingguang, Wu Hao, Wan Lu, Chen Shuren

**Abstract:** The Online Simulation and Prediction System of Coal Bed Methane(CBM) Gathering Pipeline Network is developed, to improve coal bed methane gathering pipeline network digitization and automation, and to realize the intelligent and unmanned gathering facility monitoring and management. Based on the information from field measurement equipment via on-line network, the real-time state and the simulation results are shown immediately as well as stored in real-time database and history database. Further, this system has the functions of virtual measurement and determining pigging period, which may help CBM field operation and improve the fine management level.

**Key words:** online simulation; coal bed methane; gathering pipeline network; fine management

根据煤层气田区域的地形、管网及设备参数, 结合集输监测数据(压力、温度、流量), 在线模拟与预测系统能够在给定边界条件时模拟管网中任意管段、任意点的气流参数, 在线模拟与预测煤层气田地面集输系统运行状况, 使由于人为破坏、自然灾害以及腐蚀结垢等因素造成的管道运行安全问题得到及时检测和解决, 从而提高管道的安全性, 降低管道系统的损失及维护成本。在线模拟与预测系统的成功研发对于煤层气田的精细化管理有着重大的意义<sup>[1-9]</sup>。

## 1 系统技术方案及结构

### 1.1 系统基本要求

系统通过建立实时生产数据库, 即时地接收现

场测量设备所测得的数据, 并将数据存入历史数据库和实时数据库中, 经过处理和分析, 实时在线地反馈实际信息和模拟结果, 为操作人员及时地反馈全面的现场生产状况, 并为突发事件提供必要的数据依据。

### 1.2 开发方案

该系统程序采用MVC开发模式, 以Java作为编程语言。软件开发采用SSH框架组合, 使该系统拥有重用性, 方便系统随生产状况变化升级<sup>[10-12]</sup>。数据模型采用面向对象数据模型, 面向对象方法可以把空间实体的属性和行为封装成对象, 有利于提取空间对象的特征变化, 同时方便识别对象之间的相互关系。程序中还采用了脚本语言。系统功能由

\*基金论文: 国家科技重大专项“煤层气地面集输系统运行在线模拟与预测技术”(2011ZX05039-004-006)。

<sup>1</sup>中国石油大学(北京)油气管道输送安全国家工程实验室 <sup>2</sup>石油工程教育部重点实验室 <sup>3</sup>城市油气输配技术北京市重点实验室 <sup>4</sup>中油辽河工程有限公司 <sup>5</sup>中国石油规划总院 <sup>6</sup>中油管道物资装备总公司

4个主要部分组成：①基础数据的获取；②交互操作管理；③服务调用接口；④计算内核。

由于程序采用面向接口的编程理念，实现标准接口，使得程序能够随着煤层气集输工艺的不断发展而滚动开发。

### 1.3 系统结构

系统的M（模型）、V（视图）、C（控制）三者之间的协作关系如图1所示。

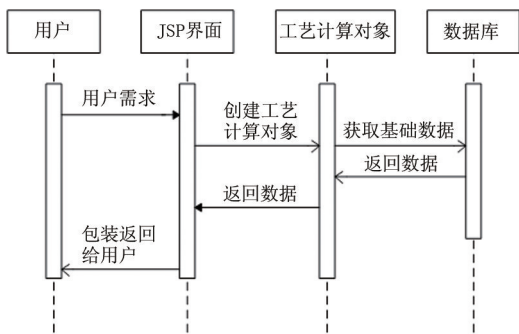


图1 系统结构示意图

用户发出请求后，由JSP界面模块接受，然后在控制模块的调度之下，激活工艺计算模块；工艺计算模块会访问数据库，获取相应的数据，完成计算后再将结果返回给界面模块；界面模块将计算结果封装后呈现给用户。

## 2 系统功能

### 2.1 虚拟计量

由于煤层气田生产现场采用的流量计较为贵重，无法为每一口井安装一台，因而多采用轮询计量流量的方式，单井轮询计量工艺如图2所示。

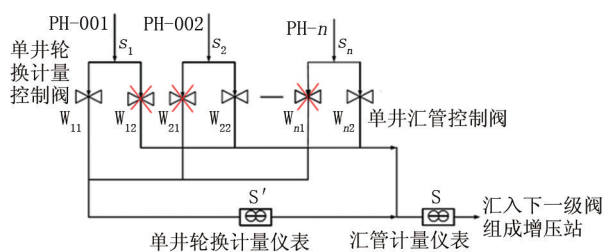


图2 单井轮询计量工艺

采用压力表，单井及阀组的压力数据容易获取。系统利用虚拟计量，即利用数学关系式（式1）建立起流量和可测量的压力、温度等参数之间的联系，辅助测得各点的实时流量值，弥补了由于轮询计量所造成的空白时间。

$$Q = C_o \sqrt{\frac{(P_0^2 - P_z^2 e^{\alpha \Delta s}) D^5}{\lambda Z \Delta_k T L} \frac{\alpha \Delta s}{e^{\alpha \Delta s} - 1}} \quad (1)$$

式中： $Q$ ——气体（ $P_0=0.101\ 325\ \text{MPa}$ ， $T=293\ \text{K}$ ）的流量， $\text{m}^3/\text{d}$ ；

$C_o$ ——系数， $0.038\ 48\ (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{1/2} \cdot \text{kg}^{-1})$ ；

$P_0$ ——输气管道计算段的起点压力（绝），MPa；

$P_z$ ——输气管道计算段的终点压力（绝），MPa；

$D$ ——输气管道直径，cm；

$z$ ——气体的压缩系数；

$\Delta_k$ ——气体的相对密度；

$T$ ——气体的平均温度，K；

$L$ ——输气管道计算段的长度，km；

$a$ ——系数， $a=0.068\ 3\ (\Delta/ZT)$ ；

$\Delta s$ ——输气管道终点和起点的标高差，m；

$\lambda$ ——水力摩阻系数。

### 2.2 确定输气管道清管周期

采出的煤层气中含有水蒸气，随着温度的变化，管道中会有水析出，通过计算管道中饱和含水率等参数可以估算管道持液率，从而对管道能耗的估算等具有指导意义。

通过对管道中饱和含水率的实时模拟监控，根据地形信息还可找到需要重点监测的管道位置（低点），并根据输气管道的输气效率制定清管周期<sup>[13]</sup>，可防止管道积液从而防止冬季冻堵并提高输气管道的输气效率，降低能耗，提高效益。

清管周期判别标准为

$$\frac{Q_r}{Q} < 90\% \quad (2)$$

式中： $Q_r$ 为实际流量； $Q$ 为理论流量；

### 2.3 气田生产状态评价

在相关课题中，利用新概念（匹配性的概念）对生产井的生产状况进行评价，并提出利用匹配性系数对地面生产单位进行评估。

## 3 核心技术

生产现场的实际集输管网是一种似神经网络的复杂管网，其中的气井数量众多，管网复杂并且集输模式多种多样，井间相互影响关系复杂<sup>[14-15]</sup>；这就造成了井网参数模拟的复杂性，使得模拟运算变得十分困难，而要实现实时的监控、模拟与反馈则更加不易。

该系统采用了“十二五”国家重大科研专项中39-2项目中的离线计算模型，但该模型适用于离线运算，并不适合实时模拟运算的要求。为了满足煤层气田的在线模拟需求，对模型进行了调整。

(1) 离线算法调整。离线模型运算过于复杂，为了适应在线计算的要求，需要降低模型的复杂

度, 缩短其运算时间。将公式(1)中指数函数展开成多项式运算, 如式(3)所示。

$$\begin{cases} Q = C_o \sqrt{\frac{(P_o^2 - P_z^2 e^{\alpha \Delta s}) D^5}{\lambda Z \Delta_k T L}} \frac{\alpha \Delta s}{e^{\alpha \Delta s} - 1} \\ e^{\alpha \Delta s} \approx 1 + \frac{\alpha \Delta s}{1!} + \frac{(\alpha \Delta s)^2}{2!} \end{cases} \quad (3)$$

(2) 消除模型的多解性。系统引用了多重约束——历史数据拟合与油嘴模型来消除模型的多解性, 使模型更加适合在线模拟。历史数据拟合见图3, 油嘴模型见图4。

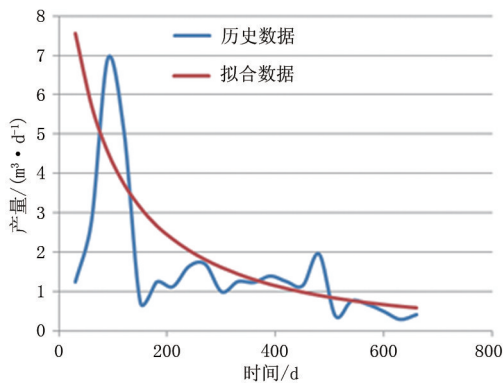


图3 历史数据的拟合

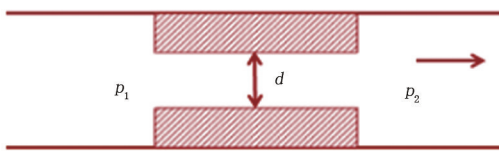


图4 油嘴模型

(3) 稀疏矩阵技术。由于煤层气田生产现场集输系统的空间复杂度, 以及实时监控所导致的时间复杂度, 造成参数多、计算量大, 计算时间较长。针对这一点, 系统采用了“稀疏矩阵技术”及“并行运算技术”, 有效缩短了运算时间。

## 4 结语

(1) 系统可以实时监测地面管网的生产状况, 并对监测及模拟的数据进行实时管理和即时反馈。

(2) 该系统可以进行煤层气的相关水力计算、虚拟计量、直观地呈现井口地理位置以及实现与数据库的连接, 对管道生产运行起到很好的辅助作用。

(3) 该系统的开发成功, 将有效地促进油气藏模拟技术在煤层气产业的应用, 改善气田的经济效

益并提高煤层气田的管理水平。

## 参考文献

- [1] 朱达江, 孙洪亮, 周峰, 等. 川东石炭系气藏气井结垢预测及防治[J]. 断块油气田, 2012, 19(6): 792-795.
- [2] 陈元强, 肖锴, 王振华, 等. 气井井筒结垢的预防与清除[J]. 科技创业, 2010, 23(3): 156-157.
- [3] 黎洪珍, 刘畅, 梁兵, 等. 气井堵塞原因分析及解堵措施探讨[J]. 天然气勘探与开发, 2010, 33(4): 45-48.
- [4] 刘健, 邵春磊, 方程, 等. 注气井井筒结垢预测研究[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2014, 34(4): 47-49.
- [5] 魏丽. 典型油气田成本分析实务研究[J]. 中外能源, 2013, 18(3): 41-45.
- [6] 陈武, 陈光海, 杨旭, 等. 气田气井增产措施经济极限分析研究[J]. 钻采工艺, 2003, 26(5): 32-33.
- [7] 陈墨. 迪那2凝析油气田输气管线工况模拟研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2007.
- [8] 李鹏, 宋丽丽, 高春华, 等. 靖边气田开发中后期气井增产的几种方法介绍[J]. 石油化工应用, 2011, 30(7): 50-53.
- [9] 范志刚, 李翠楠, 王燕, 等. 流速对天然气输气管道腐蚀的影响规律研究[J]. 钻采工艺, 2010, 33(2): 88-90.
- [10] 谢安俊, 范启中, 何名轩, 等. 陕京输气管道SCADA/POAS系统[J]. 天然气工业, 1998, 18(1): 73-76.
- [11] 周昊, 王磊, 王晓刚, 等. 数字化管道技术在在役输气管道上的应用研究[J]. 天然气与石油, 2007, 25(1): 3-6, 59.
- [12] 王阳. 油气田开发系统实时控制模拟方法研究[J]. 天然气勘探与开发, 1998, 21(2): 6-8.
- [13] 赵金省, 杨玲, 魏美吉, 等. 苏里格气田输气管道清管周期的确定[J]. 油气储运, 2010, 30(1): 71-72.
- [14] 宋振强. 延长油田子长采油厂精细化生产运营管理研究[D]. 西安: 西北大学, 2012.
- [15] 冯喆. 油田产能建设项目成本精细化管理研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2012.

## 作者简介

李晓平: 副教授, 博士, 硕士生导师, 2005年毕业于中国石油大学(北京)油气储运专业, 从事油气长距离管输技术研究以及油气田集输理论与技术等方面的研究, 13520075183, lxpmpf@cup.edu.cn, 北京市昌平区府学路18号, 102249。

收稿日期 2015-06-10

(栏目编辑 李娜)