

Study on Optimized Operation Scheme of Water Injection System

Jiajun Xu¹, Dongxu He¹, Yuanfa Zhang¹, Xinchang Yu², Tao Ding³, Shouqin Li³

¹Shengli Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying Shandong

²College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Huadong), Dongying Shandong

³Dongxin Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying Shandong

Email: xujiajun507.slyt@sinopec.com

Received: Sep. 30th, 2018; accepted: Oct. 28th, 2018; published: Dec. 15th, 2018

Abstract

In consideration of the actual situation of pressure loss and energy consumption of the water injection system in the oil production plant, by using the finite element analysis and hydraulic principle, according to the topological structure characteristics of the oilfield water injection system, the mathematical model of the injection pump combination optimization and the simulation model of the oilfield water injection system were established, and the graphic methods of parallel operation of water injection pump were proposed. Based on the technical principle of simulation and optimization for oilfield water injection system, the water injection system management and optimization platform is established, the optimal scheme of pump station operation is found through optimization model, and the purpose of energy saving and consumption reduction in water injection system is achieved.

Keywords

Water Injection System, Mathematical Model, Simulation Model, Optimized Management Platform, Optimized Operation Plan

注水系统优化运行方案研究

徐加军¹, 贺东旭¹, 张元法¹, 于欣畅², 丁 涛³, 李守钦³

¹中石化胜利油田分公司胜利采油厂, 山东 东营

²中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东 青岛

³中石化胜利油田分公司东辛采油厂, 山东 东营

作者简介: 徐加军(1967-), 男, 高级工程师, 从事采油采气工艺技术应用工作。

Email: xujiajun507.slyt@sinopec.com

收稿日期: 2018年9月30日; 录用日期: 2018年10月28日; 发布日期: 2018年12月15日

摘 要

针对采油厂注水系统压力损失与能耗实际情况, 应用有限元分析和水力学原理, 根据油田注水系统管网拓扑结构特点, 建立了注水泵开泵组合优化数学模型和油田注水系统仿真模型, 提出了注水泵并联工作的图解法。根据油田注水系统仿真与优化的技术原理, 建立注水系统管理优化平台, 找出泵站运行的最佳方案, 达到了注水系统节能降耗的目的。

关键词

注水系统, 数学模型, 仿真模型, 管理优化平台, 优化运行方案

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前我国陆上油田基本上采用了注水开发方式提高油藏采收率。但同时注水耗能也成为了油田耗电大户, 据统计油田注水耗电约占油田总耗电的 40%左右。因此, 有必要对整个注水系统的效率进行评估研究, 找出潜力点, 合理匹配泵型组合。

油田注水系统的优化主要有 2 种型式: 设计型优化和操作(运行)型优化。近些年来, 国内外众多学者对注水系统进行了优化研究。文献[1] [2] [3] [4] [5]报道的注水系统的优化大多属于设计型优化, 而操作型的优化较少, 而且所涉及的注水系统的规模不大。实际的注水系统是由多个节点单元(注水站、配水间、注水井及管线交汇点等)、管道单元(注水干线、注水支线)和附属单元(阀门、弯头、三通等)组成的复杂大系统, 对其进行仿真计算和优化求解有相当的难度[6] [7] [8]。同时, 注水系统的规模越大, 系统优化和节能的空间也越大。通过建立注水泵开泵组合优化数学模型和油田注水系统仿真模型, 提出了注水泵并联工作的图解法; 根据油田注水系统仿真与优化的技术原理, 建立了注水系统管理优化平台; 通过优化模型找出泵站运行的最佳方案。

2. 某注水系统运行数据测试分析

某注水系统现场运行泵共 20 台, 其中离心泵机组 17 台, 柱塞泵机组 3 台(增压泵站内); 测试离心泵泵效合格共 17 台, 合格率 100%; 测试离心泵泵效节能 7 台, 占比 41.18%。压力损失情况见表 1, 现阶段平均注水压力 14.01 MPa, 站内管线压力平均损失 0.39 MPa, 注水管网平均压力损失 2.32 MPa, 其中管线压力损失 0.60 MPa, 注水阀组压力损失 1.72 MPa。

Table 1. The pressure loss

表 1. 压力损失情况

注水系统名称	注水泵 排出压力/MPa	注水站 出口压力/MPa	注水井 阀前压力/MPa	注水井 井口压力/MPa	站内管线 压力损失/MPa	注水管线 压力损失/MPa	注水阀组 压力损失/MPa
宁海注	14.05	13.75	13.62	11.73	0.3	0.46	1.89
胜一注	14.4	12.9	12.83	11.04	1.5	0.07	1.79
胜四注	13.69	13.5	13.04	11.31	0.19	0.46	1.73
胜五注	14.5	14.2	13.41	12.61	0.3	0.79	0.8
胜六注	13.7	13.55	12.56	11.59	0.15	0.99	0.97
胜七注	14.9	14.5	13.84	12.17	0.4	0.66	1.67
胜八注	13.15	13.00	12.22	9.27	0.15	0.78	2.95
胜九注	13.70	13.57	13.01	11.08	0.13	0.56	1.93
平均	14.01	13.62	13.06	11.35	0.39	0.60	1.72

注水系统能耗情况见表 2, 整体有效能量输出为 18,837.1 kW, 占系统整体能耗 59%; 机组损失 7562.5 kW, 占系统整体能耗 24%; 站内损失 540.2 kW, 占系统整体能耗 2%; 管线损失 2296.8 kW, 占系统整体能耗 7%; 阀组损失 2510.5 kW, 占系统整体能耗 8%。

Table 2. The energy consumption in water injection system

表 2. 注水系统能耗情况

注水系统名称	注水系统 输入能量/kW	泵机组 损失能量/kW	站内管线 损失能量/kW	注水系统 回流损失/kW	注水管线 损失能量/kW	注水阀组 损失能量/kW	注水系统 输出能量/kW
宁海注	1628.5	466.3	24.8	0	10.7	156.5	970.2
胜一注	2477.7	495.7	206.5	0	10.0	246.0	1519.5
胜四注	2018.9	492.7	21.2	0	237.2	168.3	1099.5
胜五注	6755.7	1710.4	93.1	0	275.5	0.2	4396.8
胜六注	5057.3	1130.0	43.0	0	582.1	253.7	3048.5
胜七注	4227.6	961.8	77.0	0	442.9	331.5	2414.5
胜八注	5375.0	1275.6	40.6	0	243	921.4	2894.5
胜九注	4485.9	1030.0	34.0	0	495.4	432.9	2493.6
总计	32,026.6	7562.5	540.2	0	2296.8	2510.5	18,837.1

3. 注水系统优化模型

3.1. 数学模型

注水泵开泵组合优化数学模型为:

$$j = \alpha \sum_{i=1}^m \frac{(p_{2i} - p_{1i}) Q_i}{\eta_{pi} \eta_{ei}} \quad (1)$$

$$f = \alpha \frac{\sum_{i=1}^m \frac{(p_{2i} - p_{1i}) Q_i}{\eta_{pi} \eta_{ei}}}{\sum_{i=1}^m Q_i} \quad (2)$$

式中: j 为注水总电能, kW·h; f 为单位注水耗电量, (kW·h)/m³; m 为一个注水站的注水泵台数; Q_i 为第 i 台注水泵的排量, m³/d; p_{2i} 为第 i 台注水泵的出口压力, MPa; p_{1i} 为第 i 台注水泵的进口压力, MPa; η_{pi} 为第 i 台注水泵的效率, %; η_{ei} 为第 i 台注水电机的效率, %; α 为单位换算系数, $\alpha = 0.2778$ 。

根据注水管网模拟结果, 在确定了注水站的出口流量和出口压力后, 确定注水系统离心注水泵的型号、开泵台数、泵的出口压力、工作流量、工作扬程与泵匹配的电动机型号及功率。

3.2. 仿真模型

注水系统仿真数学模型的建立主要研究系统中各单元的能量方程和管网中各节点的流量平衡方程, 采用相邻矩阵描述管网拓扑结构。

拟采用直接迭代与牛顿迭代的混合迭代方法对仿真模型进行迭代求解。在实际研究过程中发现对于复杂管网的仿真模型求解时, 由于牛顿迭代法需计算函数的导数值, 使得到的特性矩阵的元素非常复杂且规律性较差, 难以对大型注水系统实现仿真计算。考虑到注水系统的结构复杂, 系统方程维数较高, 为了保证计算的可靠性, 研究中拟采用简单迭代法对仿真模型进行求解。

4. 注水系统管理优化平台

4.1. 技术原理

基于有限元分析的思想和水力学的原理, 根据油田注水系统管网拓扑结构的特点, 建立油田注水系统仿真模型。把水力摩阻系数改变造成的误差转变成等效管长的思想, 建立管网的管段校核模型。将泵的开停方案和泵的配注流量作为优化变量, 以泵站总消耗最小为目标建立优化计算模型, 并应用智能算法来进行求解。整个注水管网系统的节点和管段的参数值都可以由仿真模型得到, 并且可以通过优化模型找出泵站运行的最佳方案, 以达到注水系统节能降耗的目的。

4.2. 主要作用

1) 获得注水管网系统的运行参数。运用仿真计算模块可以获得油田注水系统中各个节点和管段的参数值(流量、压力), 由于注水过程的流量和压力经常会波动, 其运行过程并非一成不变, 从注水系统的流量和压力分布可以看出各个注水泵站的注水半径, 这为油田注水系统的运行提供了可靠的数据支持。

2) 校正发生改变的管网模型。由于注水系统长期运行, 管网系统中管段的摩阻系数发生改变, 其运行参数与原来的参数会产生较大差距, 利用校核模块可以找出发生改变的管段, 且校核后的参数值与实际值接近, 可以反映出实际管网的运行过程。

3) 找出注水系统的最佳运行方案。利用优化计算模块, 找出注水泵站的最佳开停方案和泵站中注水泵的最佳配注流量, 新的运行方案在满足注水管网各项要求的前提下, 使注水系统的总能耗降低, 整个系统的运行效率提高, 为油田注水系统节能, 降低其运行费用。

4) 拟合泵的特性曲线。利用泵的试验测试数据, 对注水泵的扬程 - 流量, 效率 - 流量曲线进行拟合。

5. 泵机组测试及优化模型分析

胜八注通过 3359 干线连通胜六注水站, 干线上包括有 7 个配水间, 水量为 $90 \text{ m}^3/\text{h}$; 通过 S4 干线联通胜四注, 受水量为 $30 \text{ m}^3/\text{h}$ 。胜九注通过 S6 干线连通胜六注, 干线上包括 3 个配水间, 水量为 $105 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

模型优化发现胜六注 - 胜八注水力平衡点位于 3359 配水间处。胜六注 - 胜九注水力平衡点位于 3-6-196 配水间处。由于胜八注站内干线测试受水量为 $30 \text{ m}^3/\text{h}$, 其水力平衡点并未处于连通线上, 建议对胜八注进行水力切断。

模型 1: 一台泵工作时的流量为 $160 \text{ m}^3/\text{h}$, 两台泵并联的总流量为 $297.8 \text{ m}^3/\text{h}$, 比单泵工作时增加了 $137.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 。通过现场测试, 胜五注为不同型号泵并联运行, 采用压力折算法进行泵机组并联效率分析。

模型 2: 运行 1[#]、3[#]、4[#]泵机组, 其额定排量分别为 350、400、450 m^3/h , 实际排量分别为 402.8、437.2、415.5 m^3/h , 实际排出压力分别为 14.4、14.4、14.5 MPa, 汇管压力为 14.2 MPa, 压力折损分别为 0.2、0.2、0.3 MPa。在该工况下 3 台泵分别对于最佳工况点偏移影响分别为 0.73%、0.68%、6.33%。通过现场测试, 胜六注为两台同型号、同水位的泵机组并联工况, 采用并联累加法进行泵机组并联特性分析。

模型 3: 一台泵当前工作点时的流量为 $500 \text{ m}^3/\text{h}$, 两台泵并联的总流量为 $1032 \text{ m}^3/\text{h}$, 比单泵工作时增加了 $532 \text{ m}^3/\text{h}$, 折算成效率影响为单泵同等压力工况点的 0.13%。通过现场测试, 胜八注为不同型号泵并联运行, 采用压力折算法进行泵机组并联效率分析。

参考文献

- [1] 贾光政, 常玉连, 邹龙庆, 等. 油田大型注水系统调速节能技术[J]. 大庆石油学院学报, 2000, 24(1): 58-62.
- [2] 张瑞杰, 常玉连, 任永良, 等. 油田注水系统生产运行优化[J]. 钻采工艺, 2005, 28(5): 44-46.
- [3] 高爱华. 油田地面注水系统规划设计及运行优化技术研究[D]: [硕士学位论文]. 南充: 西南石油学院, 2002.
- [4] 张和烽. 油田注水系统仿真与运行优化研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [5] 魏立新. 基于智能计算的油田地面管网优化技术研究[D]: [硕士学位论文]. 安达: 大庆石油学院, 2005.
- [6] 徐小力, 胡海, 赵栋梁, 等. 油田注水系统结构及优化分析[J]. 油气田地面工程, 2001, 20(6): 19-20.
- [7] 李从信, 刘贤梅, 陈淼鑫. 大型注水系统的优化运行[J]. 石油学报, 2001, 22(6): 69-72.
- [8] 魏立军, 王林平, 杨会丰, 等. 提高注水系统效率潜力分析——以长庆油田佳一注水系统为例[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2014, 36(10): 179-181.

[编辑] 帅群

Hans 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jogt@hanspub.org