

天然气智能调度计算机平台系统的设计与实现

邓盛男, 罗太宇, 黄静才, 任玉清, 宋伟, 苏畅, 雷立黎, 胡光辉, 徐红

引用本文

邓盛男, 罗太宇, 黄静才, 任玉清, 宋伟, 苏畅, 雷立黎, 胡光辉, 徐红. 天然气智能调度计算机平台系统的设计与实现[J]. 计算机科学, 2023, 50(6A): 220700258-7.

DENG Shengnan, LUO Taiyu, HUANG Jingcai, REN Yuqing, SONG Wei, SU Chang, LEI Lili, HU Guanghui, XU Hong. [Design and Implementation of Natural Gas Intelligent Scheduling Computer Platform System](#) [J]. Computer Science, 2023, 50(6A): 220700258-7.

相似文章推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[基于新闻的国际天然气价格趋势预测方法](#)

Prediction Method of International Natural Gas Price Trends Based on News
计算机科学, 2021, 48(6A): 235-239. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.201000056>

[面向5G通信网络的NFV内存资源管理方法](#)

NFV Memory Resource Management in 5G Communication Network
计算机科学, 2020, 47(9): 246-251. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.190800008>

[一种针对动态部分可重构SoC软硬件划分的高效MILP模型](#)

Efficient MILP Model for HW/SW Partitioning of Dynamic Partial Reconfigurable SoC
计算机科学, 2020, 47(4): 18-24. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.190300001>

[利用整数线性规划自动抽取多样性关键短语](#)

Automatic Extraction of Diversity Keyphrase by Utilizing Integer Liner Programming
计算机科学, 2019, 46(6A): 56-59.

[融合深度学习和因子分解机的兴趣点签到预测研究](#)

Study on Check-in Prediction Based on Deep Learning and Factorization Machine
计算机科学, 2019, 46(5): 185-190. <https://doi.org/10.11896/j.issn.1002-137X.2019.05.028>

天然气智能调度计算机平台系统的设计与实现

邓盛男¹ 罗太宇¹ 黄静才¹ 任玉清¹ 宋伟¹ 苏畅¹ 雷立黎² 胡光辉² 徐红³

1 中国石油西南油气田分公司重庆气矿 重庆 400021

2 重庆锦禹云能源科技有限公司 重庆 400060

3 中山大学中法核工程与技术学院 广东 珠海 519082

摘要 天然气是一种高效的绿色能源,在未来相当长一段时间内,天然气将是我国能源消费结构中的重要组成部分。重庆在天然气的开采和利用方面一直走在全国前列,但目前面临管网运行监控及优化调度难度日益增大的困难。为此,结合大数据和模拟仿真等技术迅猛发展的时代背景,介绍了一个正在开发研制的天然气智能调度计算机平台系统。该系统采用 browser/server(B/S)模式的体系结构,主要包含管网运行信息监控模块、计划检修调度方案模块和方案库管理模块。利用一个典型的实例对其核心功能(即智能调度优化方案研究)加以说明和验证。该系统有利于天然气管网智能调度和控制的实现,不仅可发挥天然气管网的最大产能,还可节约相关人力和能耗。

关键词: 天然气;管网;智能调度;计算机平台系统;整数线性规划

中图法分类号 TP315

Design and Implementation of Natural Gas Intelligent Scheduling Computer Platform System

DENG Shengnan¹, LUO Taiyu¹, HUANG Jingcai¹, REN Yuqing¹, SONG Wei¹, SU Chang¹, LEI Lili², HU Guanghui² and XU Hong³

1 Chongqing Division of Petrochina Southwest Oil & Gasfield Company, Chongqing 400021, China

2 Jinyuyun Energy Technology Co., Ltd., Chongqing 400060, China

3 Sino-French Institute of Nuclear Engineering and Technology, Sun Yat-sen University, Zhuhai, Guangdong 519082, China

Abstract Natural gas is an efficient green energy. For a long time in the future, natural gas will be an important part of China's energy consumption structure. Chongqing has been leading the country in the exploitation and utilization of natural gas. However, at present, it is facing increasing difficulties in monitoring and optimizing the operation of pipe networks. Therefore, combined with the background of the rapid development of information technology such as big data and simulation technology, this paper introduces a natural gas intelligent scheduling platform that is being developed. The platform adopts browser/server mode architecture, which mainly includes pipe network operation information monitoring module, working condition optimization scheduling module, planned maintenance scheduling module and scheme library management module. As for its core function, i. e., the intelligent scheduling optimization, this paper uses a typical example to illustrate it. The platform is conducive to the realization of intelligent scheduling and control of natural gas pipeline network. It can not only maximize the capacity of natural gas pipeline network, but also save relevant manpower and energy consumption. The research work in the near future will focus on the optimization scheduling of the pipeline network under abnormal and fault conditions.

Keywords Natural gas, Pipeline network, Intelligent scheduling, Computer platform system, Integer linear programming

1 引言

天然气是一种相对高效的绿色能源,其成分中甲烷占95%以上,因此使用中只会产生少量的CO₂和污染物,同时它也属于不可再生能源。从目前的地质勘测来看,俄罗斯拥有世界上最大的天然气可采储量(约38.9万亿立方米),其次分别是伊朗、卡塔尔、土库曼斯坦和美国等,上述国家占据了全球天然气可采量的约65%。我国天然气储量也相对丰富,探明的剩余可采储量为6.1万亿立方米,位列全球第七^[1]。

由于煤炭和石油的长期过度开发,我国能源结构逐步从煤炭石油向天然气转变^[2]。从长远来看,在相当长一段时间内,天然气将是我国能源消费结构中的重要组成部分,且消耗量

逐年增加,尤其是2017年之后,国家推动的“清洁供暖”和“煤改气”等政策,使得天然气消耗量大幅增加(部分地区还出现了供应不足的情况),2020年我国天然气占比已提升至约10%^[3]。

川渝地区在天然气的开采和利用方面一直走在全国前列^[4]。川渝地区天然气资源量居全国第一,是我国天然气勘探开发最具潜力的地区,2020年约占全国开采量的30%。2020年川渝地区能源消费中天然气消费占比均超15%,高出全国平均水平7%~8%。目前,重庆气矿所辖各种天然气场站近600座,天然气管道近5000公里,形成了“一张网”式的天然气集输系统,其中包括“三纵一横”的主要原料气干线网络,年集输能力达100亿方^[5]。

天然气开采主要包括以下流程,如图 1 所示。一般来讲,从井口采气开始,需要经过矿场集输、增压站、脱水站、集气站等一系列场站,最后进入净化厂进行脱硫后进入长距离输气干线,通过各级城市配气管网运送到各家各户,或进入大型工业用户,构成了一个统一密闭的供气系统。

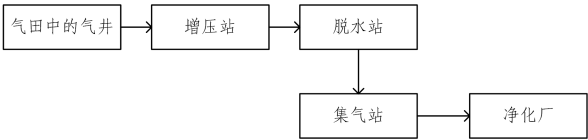


图 1 天然气生产流程涉及的主要场站

Fig. 1 Main stations involved in the natural gas production process

尽管重庆气矿近些年取得了很大成就,但也面临着重大挑战亟需解决:

(1)气矿原料气管网覆盖的地理空间跨度大,管网运行具有生产时效性强、工况复杂多变(不但管网系统拓扑几何复杂,而且有的管道在很多情况下还会双向流动,且部分气井的气会直接进入到集气站等)、集输系统不平衡系数逐渐增高等特点,导致管网运行监控及优化调度的难度日益增大^[6-7]。

(2)重庆气矿面临新增储量缓慢、成本不断上升、天然气产销矛盾突出、效益下降等严峻形势^[8]。

为了解决上述问题,提高气矿整体产量以及现有管网系统的利用率,发挥其最大产能并提高经济效益,同时保证气田生产组织处于安全平稳运行的良好状况,必须做到以下几点:1)开展地面井站和集输系统优化简化调整;2)开展重点设备技术应用科研攻关;3)打造气矿在线监测系统;4)建立气田开发技术中心。实际上,自“十二五”以来,重庆气矿就着手大量开展井站优化简化、增压、脱水运行优化等方面的工作。特别是近几年来,重庆气矿大力开展增压站、脱水站优化运行,通过分析各个气田的系统节能潜力,优化运行增压脱水设备,提高机组负荷率,减少机组的燃料气消耗^[9]。同时,重庆逐步对气矿进行了常态化生产动态分析,持续采用“精细化”控制手段,积极调整优化气田开发思路,切实有效地提升了气田生产开发系统的保障能力。

在当前互联网、大数据、人工智能、模拟仿真等信息技术迅猛发展的背景下,如何将其有效地与天然气生产调度相结合,构建满足安全生产、平稳输供气的天然气管网系统自适应高效运行模式,是迫切需要研究的问题。Wang 等全面分析了互联网和物联网技术在天然气上中下游产业链中的潜在应用^[10],Han 等进一步分析了物联网技术在天然气管网中的潜在应用^[11],研究结果均指出引入互联网和物联网技术有效地提升了天然气储存、运输的效率;Zhang 等分析了信息化和物联网在天然气产业升级中的重要作用^[12]。Fan 等将大数据方法引入天然气管网的效率分析中,并验证了相关方法的实用性^[13]。Manan 等使用人工智能技术对天然气管网的失效模式开展研究,准确率达到 70% 以上^[14]。

近年来,重庆天然气开发逐步引入生产信息化平台系统、物联网等先进技术^[15],基本实现了一线场站开发生产数据的实时采集和远传,为气矿生产实现天然气智能调度奠定了基础。系统实现了原料气集输干线和净化气集输干线的数字孪生虚拟 3D 展示,集成了原料气和净化气智能调度算法,为

天然气运行生产提供智能辅助决策,全面提高了不同业务应用需求的气矿管网数据质量监测和治理能力。通过建立重庆气矿原料气管网运行调配数字化模型、净化气管网运行调配数字化模型、融合三维数字孪生技术手段,实现了原料气和净化气产运联动监测及分析预测系统化、管网运行调配管理智能化,强化了生产现场全面感知,为气矿调度中心统筹生产提供了决策依据,也为重庆气矿管网数字化转型提供了样板示范。

本文介绍了重庆气矿目前正在开发的天然气智能调度计算机平台系统。第 2 节将重点介绍结构设计、运行环境和性能设计以及功能设计(主要包括 4 个功能模块),其核心任务是天然气站场及管线的智能控制及调度。第 3 节介绍完该平台系统所采用的整数线性规划方法后,专门引入一个实际案例来介绍本平台系统的智能调度结果。

2 总体设计

2.1 结构设计

本智能优化调度计算机平台系统采用 B/S(Browser/Server,浏览器/服务器)模式的体系结构^[16],它是 Web 兴起后的一种网络结构模式,主要利用不断成熟的 Web 浏览器技术,Web 浏览器是客户端最主要的应用软件^[17]。这种模式统一了客户端,将系统功能实现的核心部分集中到服务器上,简化了系统的开发、维护和使用^[18]。系统示意图如图 2 所示。

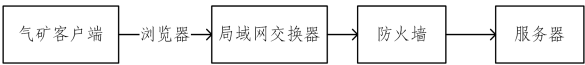


图 2 天然气智能调度计算机平台系统 B/S 结构示意图

Fig. 2 B/S structure diagram of the natural gas intelligent scheduling computer platform system

客户机上只需安装一个浏览器,服务器安装 SQL Server,Oracle,MYSQL 等数据库。浏览器通过 Web Server 同数据库进行数据交互。图 3 显示了气矿客户端浏览器的登录界面。在客户端浏览器输入系统访问地址,打开系统界面,输入用户名和密码点击“登录”即可实现系统访问。而生产调度中心的实物场景如图 4 所示。



图 3 天然气智能调度计算机平台系统登录界面

Fig. 3 Login interface of the natural gas intelligent scheduling computer platform system



图 4 生产调度中心

Fig. 4 Production scheduling center

B/S 模式最大的优点就是可以在任何地方进行操作而不用安装任何专门的软件,只要有一台能上网的电脑就能使用,客户端零安装、零维护。同时,B/S 模式要实现系统扩展非常容易。

2.2 运行环境与性能设计

图 5 给出了 B/S 模式的天然气智能调度计算机平台系统分别在服务器端和客户端的硬软件配置要求。服务器安装在内网工作环境,客户端安装在气井、增压站等场站。通常服务器端和客户端之间的网络通信速度(带宽)达到 100 Mbps 以上即可满足网络数据传输的要求。

服务器端	硬件方面(推荐配置) CPU: I7-7700K; 显卡: Nvidia GTX1060 6G; 内存: 8G; 硬盘空间: 100G以上; 软件方面: 系统: Windows Server2018及以上; 必要软件: MATLAB等.
客户端	硬件方面(推荐配置) CPU: I5-5300; 显卡: Nvidia GTX1080Ti 8G; 内存: 16G; 硬盘空间: 10G以上; 软件方面: 系统: Win10/Win11; 必要组件: .NetFramework 4.5, visual c++等.

图 5 天然气智能调度计算机平台系统运行环境与性能设计
Fig. 5 Operating environment and performance design of the natural gas intelligent scheduling computer platform system

2.3 功能设计

目前气矿调度存在的两个具体问题有:一是未实现一张图看全局,管网运行情况不直观;二是正常/异常工况生成气量调配方案主要依靠人工计算,决策失效低。重庆气矿天然气运行智能调度计算机平台系统就是针对以上两个问题而开发的。该系统可以通过一张图监控重庆气矿各个单位、各个不同生产环节的当前生产状况,可针对不同的工况和运行情况生产调度方案,减少人工计算和决策易出错,以及计算复杂的情况,其核心功能包括原料气和净化智能调度算法、原料气和净化气智能联动、生产数据动态监控、天然气管网三维可视化、智能报表分析和各类工况监控和预警。为此,在开发天然气管网运行智能调度系统时,主要考虑了以下几个模块(见图 6)。

模块 1(管网运行信息监控) 通过地图管网分层级、分单位显示管网运行状况,展示气井生产数据,显示气井、增压站、脱水站、集气站、净化厂、输配气站等场站信息。

模块 2(工况优化调度方案) 根据当前生产数据调用智能调度算法,计算出当前工况的优化调度方案以及所有生产气井和原料气管线,覆盖所有原料气场站。

模块 3(计划检修调度方案) 通过计划库上传的检维修计划,对应不同的检维修工况生产智能调度方案,可手动配置关井范围和约束参数。

模块 4(方案库管理) 将典型的生产方案保存至方案库,可进行方案库方案信息和工况对比。

此外,为了更好地支持平台系统工作,还设计了用户权限、地图编辑、系统日志、组织结构、自动配置、数据治理等辅助功能。

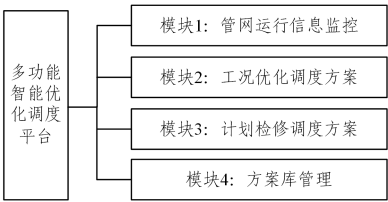


图 6 天然气智能调度计算机平台系统功能模块
Fig. 6 Functional modules of the natural gas intelligent scheduling computer platform system

2.3.1 管网运行信息监控模块

管网运行信息监控模块接入实时生产数据,将实时管线、站点的运行状态通过可视化数字管网进行三维再现,该模块主要包括“地图监测”和“生产监控”两个页面。

在“地图监测”页面的中部显示了气矿管网地图范围和相关的监控信息。如图 7 所示,在页面左侧设计了相关的监控菜单,包括所关注的气矿区域范围、数据显示的参数、异常告警的站点或者管线等。该页面主要实现以下功能:

(1)查看当前管网的实时运行状况,可通过鼠标拖动地图,放大缩小,选择不同的地图层级,实现气矿干线管网及关键分输场站生产运行监控、生产计划管理执行情况监控分析等功能。

(2)通过鼠标移动到所关注的站点或者管线上,查看该站点或管线的实时生产数据信息,实现产运联动,以及生产趋势 24 小时滚动分析展示,可查看气井开、关状态及管线、关键生产装置启、停状态切换弹窗提示。

(3)在界面下方可看到当前生产的气井数量、脱水站数量、增压站数量、集气站数量、高含硫气井数量、输气站数量、配气站数量等信息。

在“生产监控”页面,可以选择“概览统计”和“详情统计”,如图 8 所示。在“概览统计”中,可以看到气矿当前的生产数据,包含今日开井数量、今日产气量、今日产水量、今日页岩气量以及气矿销量等数据;今日风险作业信息概览,及风险提示;今日产销趋势和本月产销趋势,储气罐本月注气量趋势和采气量趋势;日产销计划的完成情况、月产销计划的完成情况、年度产销计划的完成情况等数据图表。在“详情统计”中,可选择查看每一日的生产详情,内容包含每个气田的产量统计情况,可勾选作业区查看每个作业区当日的产量统计和对外供气量统计,还可查看重要客户的供气量统计表。



图 7 天然气智能调度计算机平台系统管网运行信息监控模块(地图监测)
Fig. 7 Pipeline network operation information monitoring module of the natural gas intelligent scheduling computer platform system (map monitoring)

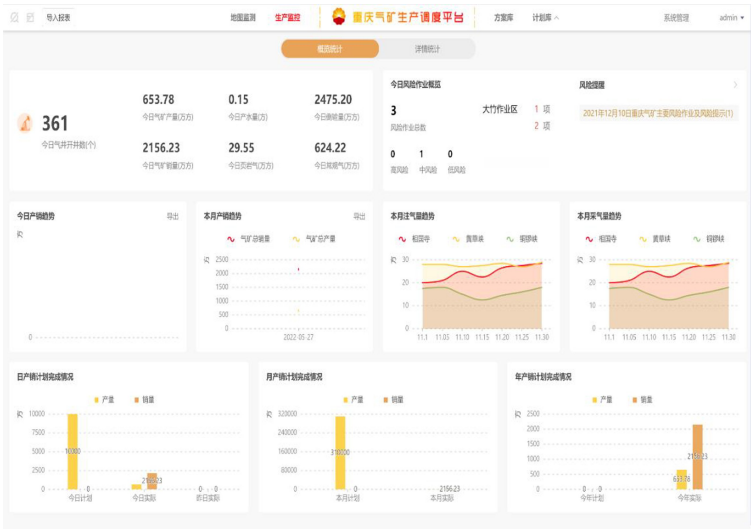


图 8 天然气智能调度计算机平台系统管网运行信息监控模块(概览统计)

Fig. 8 Pipeline network operation information monitoring module of the natural gas intelligent scheduling computer platform system(overall statistics)

2.3.2 工况优化调度方案模块

在管网运行信息监控页面点击“工况优化调度”可针对当前的生产情况进行工况优化调度,可调整净化厂、气田、脱水站、增压站相关参数。比如,对于净化厂,可调整各个净化厂的最小和最大日处理量以及硫化氢浓度;对于气田,可查看其下不同气井的名称、硫化氢浓度、日产量和开关状态(常开或者常关,默认情况是所有气井均可参与调度);对于脱水站,可调整日处理量和硫化氢浓度;对于增压站,可调整其最小和最大日处理量、在运机组台数和备用机组台数等。对于具体调度优化方案的求解,只需要通过设置这些约束,在平台系统后台即可实现优化调度的运算,生成算法结果,最终形成气量调配预案推荐并弹幕提示。此外,该模块还可实现管网管存空间动态预测和分析。该优化调度模块是本平台系统的核心,将在第 3 节中通过实例详细介绍。

2.3.3 计划检修调度方案模块

该模块能够实现生产动态监测预警分析和计划性检修工况气量调配方案推荐等。系统主界面上展示当前管网运行监控情况,并显示异常告警信息,点击“更多”查看异常告警列表。在列表中主要显示异常告警发生的时间、异常类型、发生的站场点位和相关参数值等。如图 9 所示,该页面显示了 2022 年 1 月 5 日在金山站发生了进站压力超压的异常情况。

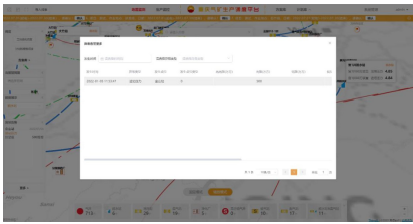


图 9 天然气智能调度计算机平台系统计划检修调度方案模块
Fig. 9 Planned maintenance scheduling plan module of the natural gas intelligent scheduling computer platform system

2.3.4 方案库管理模块

方案库管理模块保存了所有的历史调度方案,包括每个方案的详细数据,显示根据具体工况生产的方案详细净化厂、脱水站、增压站和气井开关数据。图 10 显示了某优化调度

方案所涉及的净化厂参数情况,包括净化厂的处理量和硫化氢浓度。

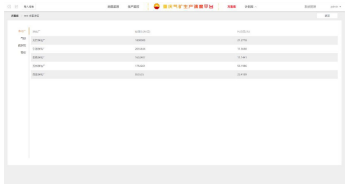


图 10 天然气智能调度计算机平台系统方案库管理模块
Fig. 10 Solution library management module of the natural gas intelligent scheduling computer platform system

3 调度算法

智能调度计算机平台系统通过可视化界面展示原料气管网运行调度模型,根据不同业务场景(正常工况、净化厂检修、管网故障等)对气矿天然气管网数据质量的差异化需求生成智能调度方案,覆盖所有气井生产、管线及天然气脱水装置、增压装置的生产工况。并可通过配置手动调整相关管线输送量和场站的处理量约束,满足所有站点的关键参数约束条件。这些关键参数包括气井产量、气井硫化氢浓度、脱水站最大处理气量、脱水站最大处理硫化氢浓度、增压站最大处理气量、净化厂最大处理气量、净化厂最大处理硫化氢浓度,它们的选取是根据实际工程情况而定的。所以智能调度计算机平台系统的调度优化问题可以转化为一个数学问题:以上述关键参数和对应的约束条件,建立天然气原料气管网调度的整数线性规划^[19-20]数学模型。

3.1 调度模型

(1)目标函数

在实际生产运行时,由于很多环节都存在约束条件,所以并不是所有气井都能被打开。在考虑关键约束条件的情况下,我们的目标是保证天然气产量最大化,目标函数如式(1)所示:

$$\max x_1 h_1 + x_2 h_2 + \cdots + x_m h_m \tag{1}$$

按照顺序设置优化变量: $x_1, x_2, \cdots, x_m$, m 表示共有 m 个气井需要调度,每个优化变量的取值为 0 或 1。 $h_1, h_2, \cdots, h_m$

表示不同气井的产量。

(2)约束条件

根据脱水站约束,一个脱水站连接若干个气井,这些气井需要符合最大处理量、硫浓度两个关键约束;设第 k 个脱水站从第 n 个气井开始,包含 t 个气井,则最大处理量约束为:

$$0 \leq x_n h_n + x_{n+1} h_{n+1} + \dots + x_{n+t-1} h_{n+t-1} \leq T_k \quad (2)$$

其中, T_k 为该脱水站的最大处理量。

硫浓度约束为:

$$\frac{x_n h_n p_n + x_{n+1} h_{n+1} p_{n+1} + \dots + x_{n+t-1} h_{n+t-1} p_{n+t-1}}{x_n h_n + x_{n+1} h_{n+1} + \dots + x_{n+t-1} h_{n+t-1}} \leq P_k \quad (3)$$

其中, p_n 为第 n 个气井的硫浓度, P_k 为第 k 个脱水站最大硫浓度限值。实际上,式(3)不是一个线性约束,因此需要转换为:

$$x_n h_n (p_n - P_k) + x_{n+1} h_{n+1} (p_{n+1} - P_{n+1}) + \dots + x_{n+t-1} h_{n+t-1} (p_{n+t-1} - P_{n+t-1}) \leq 0 \quad (4)$$

对于增压站约束,设第 k 个增压站从第 l 个气井开始,包含 z 个气井,增压站要求 z 个气井的处理量必须有最大值和最小值,如果低于最小值,所有气井需要关闭,则约束为:

$$y_k \cdot Z_k^l \leq x_l h_l + x_{l+1} h_{l+1} + \dots + x_{l+z-1} h_{l+z-1} \leq y_k \cdot Z_k^h \quad (5)$$

$$y_k = 0 \text{ or } 1$$

其中, Z_k^l 表示第 k 个增压站的最小处理量, Z_k^h 表示第 k 个增压站的最大处理量。

对于净化厂约束,设第 k 净化厂从第 d 个增压站开始,包含 j 个增压站,净化厂要求 j 个净化厂的处理量必须有最大值和最小值,则约束为:

$$J_k^l \leq x_d h_d + x_{d+1} h_{d+1} + \dots + x_{d+j-1} h_{d+j-1} \leq J_k^h \quad (6)$$

其中, J_k^l 表示第 k 个净化厂的最小处理量, J_k^h 表示第 k 个净化厂的最大处理量。

同时考虑脱水站、增压站、净化厂的约束,以最大化单井总产量为目标,所以目标问题及约束为:

$$\begin{aligned} & \max x_1 h_1 + x_2 h_2 + \dots + x_m h_m \\ & \begin{cases} 0 \leq x_n h_n + x_{n+1} h_{n+1} + \dots + x_{n+t-1} h_{n+t-1} \leq T_k \\ \frac{x_n h_n p_n + x_{n+1} h_{n+1} p_{n+1} + \dots + x_{n+t-1} h_{n+t-1} p_{n+t-1}}{x_n h_n + x_{n+1} h_{n+1} + \dots + x_{n+t-1} h_{n+t-1}} \leq P_k \\ y_k \cdot Z_k^l \leq x_l h_l + x_{l+1} h_{l+1} + \dots + x_{l+z-1} h_{l+z-1} \leq y_k \cdot Z_k^h \\ y_k = 0 \text{ or } 1 \\ J_k^l \leq x_d h_d + x_{d+1} h_{d+1} + \dots + x_{d+j-1} h_{d+j-1} \leq J_k^h \\ x_1, x_2, \dots, x_m = 0 \text{ or } 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

为了方便求解,将原始目标问题进一步简化为矩阵形式:

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \begin{bmatrix} h_{11}, h_{12}, \dots, h_{1i}, 0_{N-i} \\ h_{21}, h_{22}, \dots, h_{2m}, 0_{N-m} \\ \vdots \\ h_{r1}, h_{r2}, \dots, h_{rl}, 0_{N-l} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1r} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2r} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i1} & x_{m2} & \dots & x_{lr} \\ 0_{N-i} & 0_{N-m} & \dots & 0_{N-l} \end{bmatrix}^T \\ &= \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_r \end{bmatrix}^T [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_r]^T \\ &= \mathbf{Hx} \end{aligned}$$

其中, h_r 表示第 r 个净化厂对应气井的生产量, x_r 表示第 r 个净化厂对应气井的开关状态。 0_{N-l} 表示 $N-l$ 维 0 向量, N 表示大于 m 的正数。

3.2 实例计算

3.2.1 实例及相关约束

本文使用的天然气原料气管网系统的参数情况如表 1 所列,所辖范围共 41 个气田,分布着 307 口气井,增压站数为 22,脱水站数为 13,净化厂数为 5。

表 1 实例输入数据

Table 1 Input data of the example

气田数	气井数	增压站数	脱水站数	净化厂数
41	307	22	13	5

其中每个气田的气井数如图 11 所示,而各气井的日产量和硫化氢浓度分别如图 12 和图 13 所示(参考数据为当地某区域日报表数据)。如上一节所述,一般情形下增压站、脱水站和净化厂还需要满足一定的约束条件,即脱水站最大处理气量、脱水站最大处理硫化氢浓度、增压站最大处理气量、净化厂最大处理气量、净化厂最大处理硫化氢浓度。

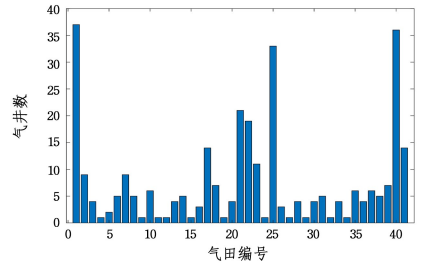


图 11 实例中各气田的气井数

Fig. 11 Number of gas wells in each gas field in the example

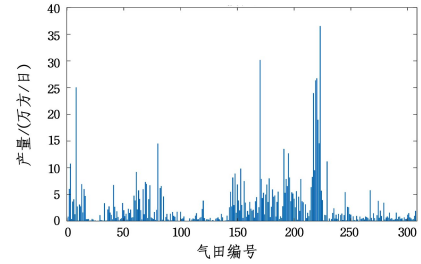


图 12 实例中各气井的产量

Fig. 12 Production of each gas well in the example

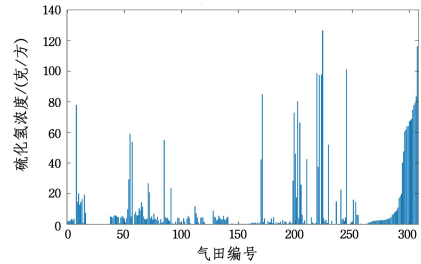


图 13 实例中各气井的硫化氢浓度

Fig. 13 Hydrogen sulfide concentration of each gas well in the example

3.2.2 实例结果

在满足气井、增压站、脱水站和净化厂约束的前提下,开展整数线性规划,最终得出如下结果:

(1) 307 个气井中有 11 个气井不满足约束条件而必须关闭。

(2)由于最优化调度中约束的要求,22个增压站中只有19个运行,其日处理量和硫化氢浓度如图14所示。

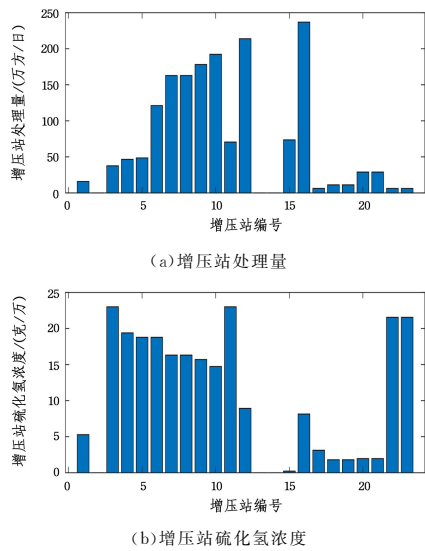


图14 增压站处理量和硫化氢浓度

Fig. 14 Booster station processing capacity and hydrogen sulfide concentration

(3)13个脱水站全部使用,根据线性规划结果,每个脱水站的日处理量和硫化氢浓度如图15所示。

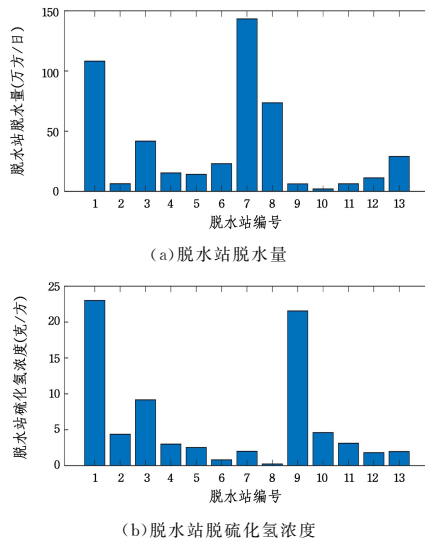


图15 脱水站处理量和硫化氢浓度

Fig. 15 Dewatering station processing capacity and hydrogen sulfide concentration

(4)为了满足约束,只有4个净化厂投入运营,如表2所列,每日气矿总产量达760.18万方,而硫化氢含量高达156129千克。

表2 实例净化厂气量调配结果

Table 2 Gas volume allocation results of purification plant in the example

净化厂编号	处理量/(万方每日)	硫化氢/(克每方)	总硫/(千克)
杨琴1	0	0	0
2	230.00	10.72	24656
3	243.15	8.49	20643
4	177.03	55.00	97366
5	110.00	12.24	13464
总产量	760.18		156129

结束语 结合当前重庆气矿所遇到的技术困难以及互联网、大数据、人工智能、模拟仿真等信息技术迅猛发展的时代背景和需求,本文介绍了一个正在开发研制的天然气智能调度计算机平台系统。该平台系统采用B/S模式的体系结构,主要包含管网运行信息监控模块、工况优化调度方案模块、计划检修调度方案模块和方案库管理模块,并详细介绍了各模块的主要功能。对于其核心功能,即智能调度优化方案研究,本文利用了一个典型的实例加以说明。在实例中,气矿由多个气田(和相关气井)、增压站、脱水站和净化厂等站场和管线构成。根据各站场的约束条件,建立了天然气原料气管网调度的整数线性规划数学模型,并利用平台系统完成了求解。本文所介绍的平台系统有利于天然气管网智能调度和控制的实现,不仅可发挥天然气管网的最大产能,还可节约相关人力和能耗。接下来将专门针对管线出现异常和故障的工况下的调度问题展开研究。

参考文献

[1] CHEN J, WU D, LEI Y, et al. Current Situation and Utilization Trend of Global Natural Gas Resources[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2019, 39(5): 118-125.

[2] LIU M, DAI T. A Probe into the Status Quo and Development Prospects of Natural Gas Resources in[J]. Petrochemical Industry Technology, 2020, 27(9): 52-53.

[3] ZHENG M G, WANG P, ZHONG C. Forecast of China's natural gas demand from 2020 to 2030[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(2): 7-13.

[4] HE R M, ZHOU J. Development Report on Natural Gas Industry in Sichuan-Chongqing Region[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2020.

[5] WU J. Current Situation and Management Ideas of Energy Saving Technology Application in Chongqing Gas Mine[C]// Proceedings of the 31st National Natural Gas Academic Annual Conference, 2019.

[6] YOU Y, WANG S, PENG X, et al. Natural Gas Pipeline Network Economic Benefit Research and System Design[J]. Journal of Beijing Institute of Petrochemical Technology, 2021, 29(1): 45-50.

[7] ZHANG J. Analysis on the Effect of Measures for Improving Quality and Efficiency of Chongqing Gas Mine[J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25(6): 267.

[8] CHEN Z. The annual natural gas production of Chongqing Gas Mine exceeds 4 billion cubic meters[J]. China Petrochem, 2011(17): 72.

[9] DENG Q, WANG W, WANG B. Design and Implementation of a First Line Station Report Application System Based on Real Time Database Data[J]. Informatization of China, 2021(1): 60-62.

[10] WANG W, ZHANG Z. Analysis of the Role of IoT Technology in the Natural Gas Industry Chain[J]. Chemical Engineering Management, 2018, 20: 163.

[11] HAN L, JIANG H. Research on the Application of IoT Technology in the Natural Gas Pipeline Industry[J]. Chemical Engineering Management, 2020, 1: 153-154.

[12] ZHANG W, ZHOU J, YANG Y. The Role and Development Trends of IoT Technology in the Natural Gas Industry Chain

[J]. Communication & Shipping,2013,22(1):94-97.

[13] FAN M W, AO C C, WANG X R. Comprehensive method of natural gas pipeline efficiency evaluation based on energy and big data analysis[J]. Energy,2019,188:116069.

[14] MANAN A, KAMAL K, RATLAMWALA T A H, et al. Failure classification in natural gas pipe-lines using artificial intelligence; A case study[J]. Energy Reports,2021,7:7640-7647.

[15] XU H, WU H, LI P. Design of Temporal-spatial Data Processing Algorithm for IoT[J]. Computer Science, 2020, 47(11): 310-315.

[16] XU P, WANG K. Electronic Bill System Based on Browser/Web Server Model[J]. Computer Science,2001,28(1):106-110.

[17] LI W, ZHOU Z, ZHOU B. Design and Implementation of the Special Browser/Server System Mode[J]. Journal of Computer Applications,2004(2):76-77,81.

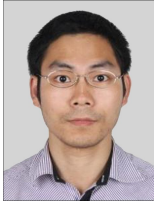
[18] JI T. Medical metering equipment information system based on browser/server architecture[J]. Automation & Instrumentation,2018(5):198-201.

[19] CHEN B. Optimization Theory and Algorithm (2nd version) [M]. Beijing: Tsinghua University Press,2005.

[20] LI S, CHEN L, TANG Y. Automatic Extraction of Diversity Keyphrase by Utilizing Integer Liner Programming[J]. Computer Science,2019,46(S1):56-59,70.



DENG Shengnan, born in 1988, post-graduate. Her main research interests include petroleum engineering, intelligent system for oil and gas field surface engineering, etc.



XU Hong, born in 1982, Ph.D, associate professor. His main research interests include artificial intelligence, big data, machine learning, energy internet, smart energy, etc.