

# 天然气输配管网优化调度与管理综述

中国石油西气东输管道分公司豫鄂管理处(430073) 陈坤明  
 广东省天然气管网有限公司(510045) 吴华丽  
 西南石油大学(610500) 朱卫平

**摘要** 天然气输配管网的优化调度与管理的主要任务是在满足管网各节点用户需求的前提下,提高管网的输送能力和管道运营商的经济效益。它涉及的子问题范围广,包括管网各节点的天然气销售的定价机制、管网节点的负荷预测、管网稳态分析方法、管网优化调度数学模型的求解以及基于 SCADA 系统的管网的信息化管理等。本文建立了天然气输配管网的优化调度模型,对涉及的以上子问题一一进行了分析阐述,并提出了问题的求解方法。

**关键词** 天然气 调度 管理 优化算法 预测

## The Review about Optimally Scheduling and Managing Transmission and Distribution for Natural Gas Pipeline Network

West-to-East Gas Pipeline Company YU-E Management Department, PetroChina Chen Kunming  
 Guangdong Natural Gas Pipeline Ltd Guangdong Guangzhou Wu Huali  
 Southwest Petroleum University Zhu Weiping

**Abstract** Under meeting every customer's request, the task of optimally scheduling, transmission and distribution of the natural gas pipeline network is to enhance the capability of transportation and increase the economic benefit of piping companies in operation. It involves many different sub-problems, which include mechanism of fixing the gas price, the network's node load forecasting, methods of steady-state analysis of the network, resolution of the network optimal scheduling model, network information management based on the SCADA system and others. The thesis has set up the network optimal scheduling model and analyzed the above sub-problems, then has put forward the solution to these problems.

**Keywords** natural gas scheduling management optimal algorithmic prediction

### 1 引言

随着天然气资源的大力开发和广泛利用,天然气输配技术水平得到了很大提高,输配管网系统规模也日趋庞大和复杂,管网的优化调度和管理也已成为管道运营商迫切关注的问题。天然气输配管网的优化调度与管理的主要任务就是在满足管网各节点用户需求的前提下,提高管网的输送能力和管道运营商的经济效益。

### 2 天然气输配管网的优化调度模型

天然气输配管网的调度是在满足管网中节点负荷、节点压力及管道强度等约束条件下,通过对各气源点的压力(或流量)控制以及调节管网中各压气站的运行工况,以达到提高管网的输气能力和追求管网运行的最大经济效益的目的。管网的输气能力即管网中天然气的最大流量,它是管网中各气源节点进入系统中的总流量。管网运行的经济效益<sup>[1]</sup>即管道

运营部门的最大收益,它是通过管网销售天然气的收入减去购买天然气的费用与管网的运营管理费用所得到的收入。建立的管网优化调度模型可表示如下:

$$[F_1, F_2] = f(\bar{Q}, \bar{\varepsilon}, \bar{P}_2)(1)$$

上式中: $F_1$ 为管网的输气能力,即气源点进入管网的总流量; $F_2$ 为管网运行的经济效益,即销售天然气的利润减去管网的运行管理费用所得到收入; $\bar{Q}$ 为管网各节点流量; $\bar{\varepsilon}$ 为管网中压缩机的压缩系数; $\bar{P}_2$ 为管网中压缩机的出口压力。

### 3 管网节点天然气销售定价机制<sup>[2][3]</sup>

目前,我国天然气的价格一般是居民用气价格最低,工业、商业用气价格高。但是,随着能源结构的调整,居民气在用气负荷中的比例将逐步减小,而当前这种价格政策不仅加大了负荷平稳、用气量大的用户的用气费用,使其难以承担,无形中限制了这类大用户的发展,从而将造成民用、工业用气的比例失调。长期下去将会加大供气调度的难度,降低输配系统的利用率,给管网的安全运行带来影响。

天然气输配管网中各供气节点根据供气对象的不同可分为居民、商业和工业三大类别,对不同类型的节点用户,采用不同的定价机制。不同类型用户价格的制定应遵循安全成本原则、平均利润原则、长期边际成本定价原则、比价合理原则以及供求平衡原则。在以上原则下对负荷稳定和用气量大的用户采用折扣价。具体做法可参考文献<sup>[2]</sup>。这样将有利于能源结构的优化调整,降低供气调度的难度和提高输配系统的利用率。

### 4 管网节点负荷预测

由于在不同的调度时段管网中各用气节点对天然气的需求量也不同。因此,为保证给用户供气,这就需要对管网中用气节点的需求量进行科学而精确的预测。管网节点负荷预测是管网运行的基础,是制定管网优化调度的根本依据。

#### 4.1 灰色预测

灰色预测法是利用灰色系统理论进行预测的一

种方法<sup>[4][5]</sup>。所谓灰色系统,是指既含有已知信息,又含有未知信息或非确知信息的系统。灰色预测即利用这些信息,建立灰色预测模型,从而确定系统未来的变化状态。对管网节点负荷预测来说,是将管网节点的负荷作为灰色系统,采用累加生成法对节点负荷的历史数据进行灰数生成,建立GM(1,1)模型进行求解,再采用累减还原法得到预测值。采用灰色预测方法不但简洁易行,而且在历史数据很少的情况下,也可以通过灰数生成建立GM(1,1)模型。该方法的缺点是预测误差随历史数据的离散程度增大而增大,且预测的时间越长,误差越大。

#### 4.2 神经网络预测

神经网络是现在研究的热点,它是一种模拟人脑行为的网络系统,具有自主学习、信息记忆、知识推理和优化计算的特点,对数据有非常好的逼近能力。它可以将影响管网节点负荷的天气、季节、节假日等具有高度非线性和随机性的因素考虑在内,通过不同的数据处理方法,建立不同的神经网络模型,从而达到对节点负荷的准确预测。目前,预测中应用的神经网络模型主要有:灰色神经网络模型,基于混沌的神经网络,基于模糊-RBF神经网络和基于神经网络-模糊推理综合模型等<sup>[5][6]</sup>。它们在负荷预测方面都取得了良好的效果。

#### 4.3 组合预测方法

组合预测方法<sup>[5][7]</sup>是综合利用各种方法所提供的信息,以适当的加权平均形式得到组合预测模型。它能避免单一预测模型丢失有用信息的缺陷,减少随机性,提高预测精度。天然气负荷预测方法很多,但各方法的适用条件和特点不同,各调度期内天然气负荷有时既具有一种模型的特点,又具有另一种模型的特点,那么就可以将几种模型进行优化组合,其预测效果将得到大大提高。常用的组合有模糊逻辑和神经网络的组合、灰色理论和神经网络的组合等。根据组合预测权系数是否发生变化把组合预测方法分为不变权重和变权重两类,变权重方法比不变权重方法更科学,预测效果也更好。

### 5 管网的稳态分析

矩阵是表示管网图最简单和有效的方法,便于数学处理,因此一般用矩阵方程来表示管网稳态分

析的数学模型。

节点-管段关联矩阵  $A=[a_{ij}]_{N \times M}$ , 其中  $N, M$  分别为管网中节点数和管段数。

$$a_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{当管段}j\text{进入节点}i\text{时} \\ -1, & \text{当管段}j\text{离开节点}i\text{时} \\ 0, & \text{当管段}j\text{于节点}i\text{不相连时} \end{cases}$$

管段-环路关联矩阵  $B=[b_{ij}]_{K \times M}$ , 其中  $K$  为管网中独立环路数。

$$b_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{当管段}j\text{与环路}i\text{有相同的方向时} \\ -1, & \text{当管段}j\text{与环路}i\text{有相反的方向时} \\ 0, & \text{当管段}j\text{不在环路}i\text{上时} \end{cases}$$

借助关联矩阵表示的节点方程和环路方程为:

$$AQ=L_z \quad (2)$$

$$B\Delta P=0 \quad (3)$$

式中:  $L_z$  为节点流量向量( $N \times 1$ ),  $Q$  为管段的流量向量( $M \times 1$ ),  $\Delta P$  为管段压力降向量( $M \times 1$ )。

为了求解未知量, 可以将节点方程和环路方程联立求解, 但更好的做法是采取组合变形的办法, 将其转化为更简单、易于求解的方程组, 常用的方法有环路流量法和节点压力法<sup>[8][9]</sup>。环路流量法的思想是: 在迭代过程中, 给出管段流量的初始值以保证各个节点的流量平衡, 为满足环路方程, 引入环路流量对管段流量进行修正, 不会影响到节点的流量平衡, 当环路方程满足时, 就得到了管段流量的真实值, 然后就可以直接确定其余未知量; 节点压力法的基本思想是: 首先给出节点压力初始值, 由此确定各管段流量, 修正节点压力以满足节点方程, 最终得到节点压力的真实值, 因为是由节点压力确定管段流量, 所以每步迭代必满足环路方程。可见虽然两种方法不同, 但其基本思想是一致的, 即: 在满足节点方程和环路方程二者之一的前提下, 去求解另外一个方程。节点压力法更灵活, 适于处理多气源的复杂管网, 并且更适合于计算机求解。

## 6 管网优化调度模型的求解方法

天然气管网的优化调度是一个非线性的复杂的多目标优化问题。传统的方法一般很难求解。随着计算机技术和人工智能的发展, 优化理论技术不断更新和完善, 遗传算法, 微粒群算法和蚁群算法等一些新兴的智能优化方法在解决这类非线性的多目标问

题具有很大的优势。

### 6.1 遗传算法

遗传算法是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法。它能在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识, 并自适应地控制搜索过程以求得最优解。遗传算法采用种群的方式组织搜索, 这使得它可以同时搜索解空间的多个区域, 简单的遗传操作和优胜劣汰的自然选择也使得遗传算法具有不受搜索空间限制性条件(如可微、连续、单峰等)及其它辅助信息(如导数)制约的特点。也正是这些特点遗传算法具有比传统优化算法无法比拟的优越性。遗传算法在求解多目标非线性优化问题中取得较好结果<sup>[10][11]</sup>。

### 6.2 微粒群算法

微粒群算法<sup>[12]</sup>是由 Kennedy 和 Eberhart 在 1995 年开发的一种演化计算技术, 它来源于对一个简化社会模型的模拟。微粒群算法与其他演化算法相似, 也是基于群体的, 根据对环境的适应度将群体中的个体移动到好的区域。然而, 它不像其他演化算法那样对个体使用演化算子, 而是将每个个体看作  $D$  维搜索空间中一个没有体积的微粒, 在搜索空间以一定的速度飞行。这个速度根据它本身的飞行经验以及同伴的飞行经验动态调整。与进化算法比较, 微粒群算法保留了基于种群的全局搜索策略, 其采用的速度-位移模型操作简单, 避免了复杂的遗传操作。它特有的记忆使其可以动态跟踪当前的搜索情况调整其搜索策略。与进化算法比较, 微粒群优化算法是一种更高效的并行搜索算法。基于向量求值的微粒群算法(QPSO)对求解多目标的非线性问题具有很好的效果<sup>[13]</sup>。

### 6.3 蚁群算法

蚁群算法是一种崭新的仿生模拟进化算法, 其思想是模拟蚂蚁寻食行为, 即使用大量蚂蚁在搜索空间中随机搜索, 并且用信息素来加强搜索路线, 引导其他蚂蚁的搜索, 同时引入信息素的挥发机制来避免陷入局部最优, 这种引入挥发机制的正反馈使得该算法能够找到全局的多个最优解, 而不会像其他搜索算法那样很快陷入局部最优解, 并且因其本身的并行性, 所以能够方便地实现并行计算。蚁群算法用于多目标问题的求解时, 能通过随机搜索与同概率搜索结合, 多个蚂蚁并行求解, 从而快速得到多

个全局最优解<sup>[14][15]</sup>。

## 7 管网的信息化管理

信息系统在管网管理中有极其重要的作用<sup>[16]</sup>。管道运营商可以利用信息管理系统建立信息交流的快速通道,实现管网的优化调度、流程自动化、处理高效化和信息化管理,从而保证输配气系统可靠、安全以及经济合理地进行管网的供气优化调度。天然气输配管网的管理控制系统<sup>[17]</sup>一般由公司总调度中心、各分公司及所控各储配站和输气管网控制节点的自动化远程终端单元组成 SCADA 系统。SCADA 系统实现了天然气控制管理所需的所有功能,包括实时数据采集、模型计算、实时控制及监测、天然气输配调度方案及优化、管网维护及故障处理、报警及预测、用户信息管理、经营管理、金融服务、数据通信、数据库存储管理、GIS 站系统编制及管理、画面显示、报表编制和打印、模型及软件开发与维护、网络故障的诊断和报警等。管网的信息化管理使管网运行的调度和决策更加快速、科学,能大大提高管道运营商的整体经济效益。

### 参考文献

- 1 李波.天然气管网系统输配气运行方案优化[J].石油规划设计,2001:12(5).
- 2 童澄教.对“日本东京都天然气价格制度”的剖析[J].能源研究与信息,2001:17(1).
- 3 邓翔.国外天然气价格制定的原则和经验[J].天然气工业,1994:14(3).
- 4 鲁德宏.我国天然气中长期消费水平的预测[J].油气储运,2002:21(11).
- 5 苏欣,段康,等.城市天然气负荷特点及其预测研究[J].油气储运,2007:26(1).
- 6 杨昭,金国民,等.基于模糊 RBF 神经网络的天然气负荷预测[J].暖通空调,2005:35(3).
- 7 陈学锋,袁宗明,等.一种新的天然气管网负荷预测方法[J].天然气工业,2006:26(3).
- 8 段常贵,徐彦峰,等.燃气管网的稳态分析[J].煤气与热力,2000:20(2).
- 9 江茂泽,徐羽镗,等.输配气管网的模拟与分析[M].石油工业出版社.北京:1995.
- 10 脱伟,熊劲松,等.遗传算法在多级压气机气动优化设计中的应用[J].航空动力学报,2007:22(2).
- 11 王赛一,王成山.基于多目标模型的城市中压配电网规划[J].中国电力,2006:39(11).
- 12 谢晓锋,张文俊,等.微粒群算法综述[J].控制与决策,2003:18(2).
- 13 基于向量求值的 QPSO 算法在多目标优化中的应用[J].计算机工程与应用,2007:43(2).
- 14 张勇德,黄莎白.多目标优化问题的蚁群算法研究[J].控制与决策,2005:20(2).
- 15 唐泳,马永开.用改进蚁群算法求解多目标优化问题[J].电子科技大学学报,2005:34(2).
- 16 朱勇,罗敏,等.DSS 技术在天然气应急调度管理中的应用.天然气工业,2004:24(11).
- 17 宋萍.城市天然气输配调度管理系统.煤气与热力,2002:22(2).

## 江苏涟水天然气项目通过评审 2020 年全面竣工

涟水天然气项目 2008 年 8 月 29 日通过专家评审,首期工程将为涟水工业、商业及 2 万居民用户提供用气服务。该项目由省天达投资公司承建,分两期建设,一期工程 2008 年至 2012 年,二期工程 2012 年至 2020 年,2020 年全面竣工,总投资 7 500 万元,民用气规模设计为 8 万户。

(摘自燃气在线)