

管网仿真在城市燃气输配调度中的应用

北京市燃气集团有限责任公司(100035) 张应辉

摘要 介绍管网仿真的重要性、仿真模型分类及建模的技术要求;并以管网仿真模型在北京市城市燃气输配调度中的实际应用为例,对仿真建模过程及应用进行详细介绍。

关键词 管网仿真 输配调度 仿真模型

Network Simulation in City Gas Transmission and Distribution Scheduling

Beijing Gas Group Co.,Ltd. Zhang Yinghui

Abstract The importance of Network simulation, model classification and technical requirements of Network modelling are introduced. Combined with the actual example of Network simulation model in Beijing Gas scheduling, modelling process and applications are deeply introduced.

Keywords network simulation transmission and distribution scheduling simulation model

1 概述

作为城市燃气输配公司,需要建设 SCADA 监控系统监测管网运行数据,建设 GIS 地理信息系统管理管网图档资料,但为加强管网设计及调度运行的安全性、可靠性与科学性,则需要建设将管网运行工况数据及管网属性数据有机结合的管网仿真系统,也即建立管网模型对整个管网进行科学分析与预测,因此,SCADA 监控系统、GIS 地理信息系统及仿真系统已成为现代化燃气输配公司进行调度管理必备的科学手段。

2 管网仿真简介

管网仿真,又可称为管网建模、管网模拟等,是指通过真实系统的模型进行实际系统的分析和处理,其目的在于了解真实系统在不同条件下的运行情况以及增加或删除一些条件后系统可能发生的变化。压力-流量模型是应用一个真实管道系统的复

制系统来反映不同压力、负荷和不同布置方法之间的关系^[2]。压力-流量模型可用来评价实际系统中可能产生的不同运行条件,为运行决策提供可靠基础。在此,我们主要研究应用最为广泛的压力-流量数学模型在燃气输配调度中的应用。

燃气管网的建模工艺可提供不同条件下燃气管网工况变化的许多有价值的信息,是管网设计、调度运行和管理工程师最重要的决策工具之一,是提高燃气管网系统的设计能力、日常调度操作效率及运行安全的科学辅助手段。

2.1 根据建模目的分类

根据建模目的不同,分为设计模型和运行模型:

设计模型: 是管网规划及工程设计部门用于长输管线、城市管网及门站调压站等扩建、改建等管网规划的主要工具,根据预期的负荷需求及发展规划,设计人员建立模型以测算管网系统的能力、新管线、调压站及配套设施能力及布置,应更换或改造的管线、调压站设施等。

运行模型: 是为管网调度运行部门日常调度分

析提供准确信息的工具,模型要求实时地反映管网运行参数的变化,以及现有系统在不同近期运行条件下的可能状况,比如设备维检修时的停气状况,同压力级制调压站设定不同出气压力时的气量匹配状况等,以辅助管网调度运行工程师及管理人员做出调度决策;同时,还可以对管网系统运行管理人员的操作反应能力进行培训。

2.2 根据数据基础分类

根据建模采用数据的不同,分为稳态(静态)模型、瞬态(动态)模型和瞬态(动态)在线模型。

静态(稳态)仿真模型:使用管网某一特定时刻的压力-流量数据,该类模型一般用于管网规划及工程设计部门进行管网规划设计,以及管网调度运行部门对压力级制较低、规模庞大且没有实时监控数据的系统进行分析。

动态(瞬态)仿真模型:离线使用某一段时间的压力-流量数据,该类模型可用于管网调度运行及管网规划部门进行某段时间的特定任务的离线分析,模拟各种操作的实际状态及相对合理的“非正常”状态;同时,在培训中通过模拟系统的运行、事故状态等条件,可提高输配气人员在出现风险时的反应处理能力,并可在短期内提供过去需要长期经验积累才能获得的知识。

动态(瞬态)在线仿真模型:在线使用 SCADA 监控系统提供的实时压力-流量数据,进行在线实时管网工况分析,并可提供调度运行最需要的又是监控系统所缺乏的管网运行前景预测,增强管网调度的安全性与高效性。城市天然气输配系统的供气调度是要根据分配管网的技术特性不断改变输配系统的供气量,以适应用户的用气不均匀性,保证用户用气设备所需压力和流量,对于管网调度运行部门最为关注的高压及次高压系统,不仅安装了 SCADA 监控获取实时工况数据,同时可以利用动态实时模

型的支持全面掌握管网运行的整体工况,包括管网未来压力流量的趋势,以及时做出合理的调度调整。

3 管网建模仿真技术要求

管网建模过程一般可分为若干个阶段,第一阶段是收集描述管网系统的信息,包括对这些信息进行核实和修正,以保证模型接近于真实系统;第二阶段是确定管网系统出气节点负荷量和供气点即气源;第三阶段是利用计算机软件建立模型,并设定压力-流量等条件,进行水力计算;第四阶段是将计算结果输出成为对使用者有意义的形式。根据以上阶段的不同任务需求及图 1 燃气管网的建模流程所示,需要对管网建模所涉及的 GIS 系统、SCADA 系统以及用户管理系统等提出相应的技术要求。

3.1 管网建模对 GIS 管网图档系统的要求

对于节点和管段数量庞大的大规模燃气管网,对原始数据收集、整理与修改需较长的时间,因此应借助 GIS 管网图档系统的管网拓扑关系及属性数据,这就要求 GIS 管网图档系统具有通用数据库或能够生成 DBF 数据文件用来自动建模。

一般 GIS 管网图档系统侧重图像数据的图绘展示,比如 GIS 系统可以没有接点数据,线与线的连接依据上下游点坐标相近来确定,然而在复杂管网中,管线常互相交叉却没有连接,用坐标相近来判断线线相连会造成很大困扰;人工录入图形或数据过程中也难免出现偏差,而管网建模对管网数据完整性和准确性的要求远高于 GIS 系统,因此要求 GIS 管网图档系统具备针对管网建模的纠错和改错功能。

在前期对 GIS 地理信息系统的设计中应充分考虑仿真建模所需数据要求,未来只需对唯一一个管网数据库进行维护,不会造成模型信息与地理信息系统信息不同步问题。

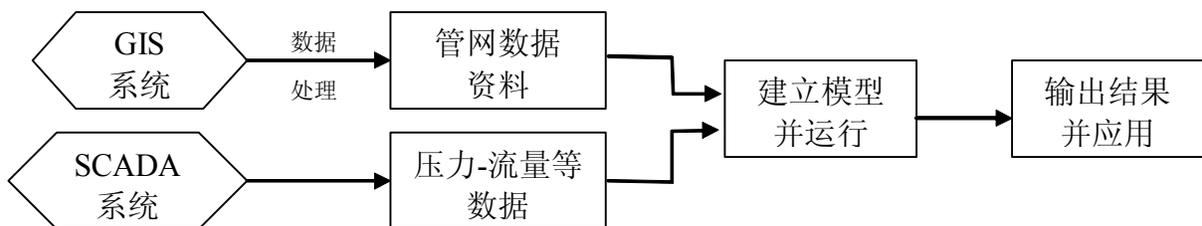


图 1 燃气管网建模流程图

设计开发 GIS 地理信息系统时具体应考虑的仿真建模数据包括:节点名、XY 坐标、标高;接线名、上下游节点名、管长、管径(内径)、管材;调压站名、上下游节点名、开口径;除此之外,可以根据特定需求增加管网的其它信息数据。

3.2 管网建模对 SCADA 系统的要求

SCADA 系统主要用于提供建模所包含的气源点、负荷点以及调压站的压力-流量及其它数据,具体包括上、下游压力、气体温度、流量、比重、热值、气体组成成分等,根据管网模型的具体及特定操作要求,可添加其它数据。以上测量数据对压力、流量、温度及其它计量的可靠性、敏感性、稳定性及准确性有一定要求,在管网建模尤其是在线仿真系统中,压力、流量、温度是相辅相成的,任何一个测量数据的不可靠或不准确都会对建模仿真效果产生影响。

具有一定规模的燃气管网系统,一般要求 SCADA 监控系统具有通用数据库或针对仿真建模特定要求开发数据接口,但对于规模较小的管网系统,也可以通过查询 SCADA 系统并手工读出及写入模型的方式实现压力-流量等数据的设定,完成稳态模型的建立过程。如果希望利用瞬态仿真模型及实时在线仿真系统对压力级制较高的管网系统进行模拟运算,则必须利用 SCADA 监控系统提供的实时测量数据,这即需要对 SCADA 监控数据扫描频率及输出数据文件频率提出要求,以上指标取决于正常运行状态的变化情况,一般要求至少每 5min 对管网数据扫描一次。

3.3 对燃气用户管理系统的要求

当建立压力级制较低,比如中压的管网模型时,压力-流量数据无法完全从 SCADA 提供获得,即需要利用用户管理系统获取模型节点所需负荷量。此时需要数据库尽量完整,不能存在信息缺失、统计标准不统一等问题,最好与 GIS 系统整合,可将用户负荷信息准确对应到管网模型节点。

4 管网仿真系统在北京市配气管网中的应用实例

4.1 建立管网水力模型

4.1.1 对 GIS 管网基础数据进行处理

对于北京市如此大规模管网建立水力计算模

型,工作量可想而知。因此,需根据仿真建模对 GIS 数据要求,对 GIS 燃气管网图档系统进行二次功能开发,以实现批量基础数据预处理功能,具体包括:

- * 检查管线的拓扑关系,包括管线间连接性、管线与设备间连接的逻辑关系等。

- * 检查管线属性完整性,校正并补全管线及设备的基本属性等。

4.1.2 提取并生成数据文件

根据现有水力计算软件定义中间数据的格式,依据格式和具体数据需求提取所需压力级制的管网图元数据,同时附带必要的属性信息,形成管网基础属性文件。

北京市现状城市管网规模庞大、管线级制及设备类型复杂,包括高压、次高压、中压与低压不同压力级制管线,门站、储配站、调压站等不同类型站点及配套设施,因此需对管线及设备类别给出明确定义,并可按照管网类别和属性等进行管线的优化合并。以北京市中压模型为例,生成的数据文件中包括近 21 万条管线记录,涉及到的节点类型就达到 12 种之多,因此必须事先对数据文件字段进行分类定义,以便于下一步建立及设置运行模型。

4.1.3 利用数据文件建立模型并调试运行稳态模型

根据水力计算软件编写特定的指令文件,然后利用数据管理功能读入管网属性数据文件,建立模型并设定模型运行条件,最后调试通模型。此处所指的运行条件即管网某一特定时刻的压力-流量数据,压力数据可来自于 SCADA 监测系统,节点流量即用气负荷也可以来自于 SCADA 系统监测,但是当建立压力级制较低管网模型时,负荷数据需要通过燃气用户管理系统或专用统计台帐获取,这一过程的实际操作也相当复杂,是对 GIS 管网图档系统与燃气用户管理系统数据资料一致性的一个考验。

建立稳态模型的特定时刻为高峰时刻,针对北京市燃气集团冬供高峰期锅炉用户、大型工业用户以及 CNG 用户用气负荷对管网的水力工况影响较大的情况,建模过程负荷录入重点即放在这些用户上,以此对庞大的数据资料进行简化,但同时又最大限度的保障模型不失真。经过对用户管理系统及统计台帐资料的整理、分析,最终进行了一些合并处理,比如对锅炉房进行筛选,保留总容量 $\geq 4\text{t/h}$ 或 2.8MW 的锅炉房。原因是 4t/h 锅炉房占北京市锅炉

总吨数的绝大部分,而其数量则相对较少,同时 4t/h 以上锅炉房对管网水力工况影响更为明显和重要。经过整理后此类用户约 2000 多个,大大简化了录入工作量,有效缩短了建模时间,在录入节点负荷同时,可进一步核实和完善相应负荷点的其他注释内容,如:调压站名称、用户单位等。

对于设置好压力-流量数据的稳态模型,即可进行调试运行,此过程应充分利用软件特有的调试工具进行。

4.1.4 利用稳态及动态模型进行分析计算

利用调试运行过的管网水力模型进行模拟计算,可根据具体分析需要调整压力流量参数,利用稳态模型对管网进行现状分析、运行方案设计以及规划改造分析。比如对现状管网运行压力级制、输气能力进行分析;对门站及调压站布局合理性,供应规模及设施匹配性进行分析;对各压力级制联络线及同压力级制连通线进行分析等等。利用动态模型可以对现状管网储气调峰系统布局及合理性进行分析;通过对各种正常工况及事故工况的分析,模拟计算天然气配气系统的调峰能力。对规划期内北京市天然气季调峰量、日调峰量进行测算,模拟计算管网不同时期的管存量,并对规划的储气调峰设施的调峰形式、布局、规模进行研究。基于以上对管线、门站调压站及调峰系统的稳态动态模型分析,提出存在的问题和改造方案,并且为今后进行管网规划提供模型基础。

4.2 利用 SCADA 监控系统采集的实时测量数据建立在线动态模型

为实现管网仿真模型的在线调整、气源跟踪分析、压力流量实时分布情况分析等功能,利用已建立的稳态仿真模型以及 SCADA 管网数据采集监控系统的实测数据,北京市燃气集团还创建了在线动态仿真模型。在线实时模型可以在线调整管效率等参数并输出文件,应用于稳态模型,使模型最大限度的逼近实际管网状况及运行工况,提高模拟仿真精度及准确性;对于北京这种多气源的城市燃气管网,气源跟踪能够实现对各气源供气范围的实时分析;压力流量情况实时分析更是为管网输配调度提供了科学的辅助分析工具;同时,在线模型还具有依据当前管网工况及预设条件预测管网未来可能的情况等等

功能。

在线动态模型的具体实现过程是通过特定接口将 SCADA 监控系统采集的实时数据输出,建立并通过转换形成仿真系统能够读懂的文件格式,SCADA 监控系统以每 5min 一次的频率对管网数据进行扫描并输出 Snapshot 数据文件,此频率可以根据具体要求进行设定调整,以此建立仿真模型与 SCADA 系统的数据交互,实现动态模型的实时运行。

4.3 模拟仿真结果采集及发布

为实现管网仿真模型运算结果的共享,北京市燃气集团还建立了仿真数据发布系统,通过该系统,管网工况分析工程师可将在线实时动态仿真、离线动态仿真以及稳态仿真结果进行采集及 web 发布,用于调度人员进行工况调整时的辅助参考以及支持领导决策,使其结果以对使用者更为有意义的形式变现出来,并实现了管网仿真系统在燃气输配调度中的完整应用过程。

截止 2007 年底,北京市燃气集团所属天然气管线约 7 500km,调压站箱(含自管箱)约 10 000 座,管道材质主要为钢管和聚乙烯复合管(PE 管),管线管径最大为 DN1 000,最小为 DN50;北京市天然气管网是一个规模庞大的多级管网系统,包括高压 A(PN 4.0MPa)、高压 B(PN 2.5MPa)、次高压 A(PN 1.0MPa)、中压 A(PN 0.4MPa)、低压等 5 种压力级制。

经过收集并修正管网信息、确定管网节点负荷量、利用软件建立模型并设定压力-流量等条件及进行水力计算、将计算结果输出 4 个阶段,北京市燃气集团建立了多个稳态模型,并首次实现了管网仿真系统与 SCADA 监控系统实时数据库的链接,实现了在线实时仿真系统在国内燃气领域的首次应用,并成功指导了调度运行。

参考文献

- 1 严铭卿,廉乐明.天然气输配工程[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- 2 李猷嘉.燃气输配系统的设计与实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- 3 段长贵.燃气输配[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.