

分类号.....

密级.....

UDC.....

编号.....

中南大学

CENTRAL SOUTH UNIVERSITY

# 工程硕士学位论文

论文题目 顺南天然气输配站计算机监测控制

系统研究与开发

学科、专业 控制工程

研究生姓名 祝常红

导师姓名及  
专业技术职称 桂卫华 教授

分类号 VDC\_\_\_\_\_

密级\_\_\_\_\_

## 工程硕士学位论文

# 顺南天然气输配站计算机监测控制 系统研究与开发

ShunNan nature gas station computer monitoring  
system study and development

作者姓名： 祝常红  
学科专业： 控制工程  
学院(系、所)： 信息科学与工程学院  
指导教师： 桂卫华 教授  
副指导教师： 王 强

论文答辩日期\_\_\_\_\_

答辩委员会主席\_\_\_\_\_

中 南 大 学  
2005 年 05 月

## 摘 要

随着天然气开发和使用规模的不断扩大,天然气输配系统也日趋庞大和复杂。使得人们掌握输配管网的运行规律和分析处理、输配管网事故工况,准确、实时地对天然气进行计量监控都变得十分困难。因此迫切需要一种新型的、先进的天然气输配站的计算机监控系统。本文根据顺南天然气输配站存在的问题,开发了对计量点分散计量,集中查询与管理的监控系统,实现了对现场输配情况的自动检测和远程监控,完成了对天然气输配管网稳态/动态仿真,达到天然气输配管网调度优化运行,提高了天然气的利用率。

本文根据顺南天然气输配管网的结构,对其进行计算机硬件总体结构,对现场各计量点的信号采用 ADS125 芯片进行数据采集,设计测量信号传送中的抗干扰措施,通过组态软件 MCGS 进行接口参数设置和远程通讯设计,按照计量标准 (SY/T6143---1996) 中的规定,实现对天然气的实时计量,流量累计和历史参数的存储与管理。

本文给出了顺南天然气输配站计算机监控软件的总体结构,据国际标准天然因子,体积流量算法和补偿技术用 MCGS 组态软件对天然气计量进行脚本程序设计,对双机热备份检测过程进行软件编制,对计量监控系统进行数据库管理,便于快速把握天然气产、供、销的运行情况和分析决策。

最后,本文针对在输配管网线中的气体力学计算问题,利用数值分析法中的雅可比矩阵和特征线法,建立了天然气输配管网中稳态/动态仿真模型,采用 MCGS 组态软件对输配管网稳态/动态进行仿真,实现了天然气输配管网调度优化运行,使监控系统的运行更加精确、可靠、功能更强。

该监控系统已投入运行,经局技术监督处鉴定,天然气计量精度高于国家规定的天然气一级计量标准,可靠性高,达到工程设计要求。

### 关键词:

监控 流量补偿 数据采集 稳态/动态仿真

## **abstract**

When the development scale of natural gas is larger and larger, gas transmission and distribution system is bigger and more complicated. It is not easy for people to master the running regulation of pipe-network, to monitor ,control, analysis and treatment the process condition of pipe-network,to measure the natural gas precisely. It is necessary to develop a new and advanced computer monitor system for nature gas station. The paper analysis the main problem of ShunNan nature gas station ,develop a distribute measure central query, manage and monitor system, realize the process condition automatic detection and remote monitoring, complete steady-state simulation and dynamic simulation of pipe-network, optimize the nature gas scheduling, enhance the gas usage efficiency.

The paper based on the structure of ShunNan gas pipe-network, complete holistic design of computer hardware, collect site signal and data of every measure point by ADS125 chip, design anti-jamming way during the measured-signal transmission process, setup interface parameters and design long-distance communication based on configuration soft MCGS, according to the rule of measure standard SY/T6143—1996, realize the on time measure, add up flux and history parameters storage and management of nature gas.

The paper complete holistic design of ShunNan nature gas station computer monitoring soft, according to international standard about savageness gene, based on configuration soft MCGS design script programmer for nature gas measure with volume flux arithmetic and compensate technology, develop soft about measure process with two computer hot standby, manage the database of measure monitoring system. It is easy to master the production, provide, sell running condition of nature gas, and it is easy to make decision and analysis.

At last, the paper aim at the gas flux calculation problem in gas pipe-net, take advantage of numerical method's Jacobian matrix and method of characteristics, built the steady-state simulation and dynamic simulation model, realize the simulation by configuration soft MCGS, optimize the nature gas scheduling. It is more precise, reliable during the running of the monitoring system with stronger function.

The monitoring system have been run, identified by technology supervise section of bureau, the measure precision of nature gas is more precise than the first class measure of nature standard, reliable , and satisfy the engineering need.

### **KEY WORDS:**

monitoring system flow compensation data acquisition steady-state simulation dynamic simulation

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 摘 要.....                               | i  |
| abstract.....                          | ii |
| 第一章 绪 论.....                           | 1  |
| 1.1 背景.....                            | 2  |
| 1.2 国内外研究现状.....                       | 2  |
| 1.3 顺南天然气输配站现状分析和开发.....               | 3  |
| 1.4 主要研究内容的结构安排.....                   | 5  |
| 第二章 顺南天然气输配站计算机监控硬件总体结构.....           | 7  |
| 2.1 顺南天然气输配网管输配结构.....                 | 7  |
| 2.2 天然气计量监控硬件系统的结构.....                | 9  |
| 2.3 计算机计量监控工作站的设计.....                 | 10 |
| 2.5 远程通讯设计.....                        | 14 |
| 2.6 小结.....                            | 17 |
| 第三章 顺南天然气输配站计算机监控软件总体结构.....           | 18 |
| 3.1 监控计量软件系统的总体结构.....                 | 18 |
| 3.2 顺南天然气输配站的计量补偿.....                 | 20 |
| 3.2.1 天然气体积流量计算模块的编制.....              | 23 |
| 3.2.2 A/D 采集流量程序编制.....                | 23 |
| 3.2.3 双机热备份检测过程软件编制.....               | 26 |
| 3.3 监控计量系统数据库管理.....                   | 27 |
| 3.4 监控系统的实现.....                       | 29 |
| 3.4.1 流量计量参数设置.....                    | 29 |
| 3.4.2 监控系统的实现.....                     | 30 |
| 3.5 小结.....                            | 32 |
| 第四章 顺南天然气输配管网仿真监控.....                 | 33 |
| 4.1 天然气输配管网仿真监控.....                   | 33 |
| 4.2 天然气输配管网的稳态仿真.....                  | 34 |
| 4.3 天然气管网动态仿真数值计算.....                 | 41 |
| 4.3.1 在动态计算中的数学模型.....                 | 41 |
| 4.3.2. 特征线法的数学原理.....                  | 43 |
| 4.3.3 基于特征线法的动态仿真计算.....               | 46 |
| 4.4 工控软件 MCGS 在天然气输配管网稳/动态仿真监控的应用..... | 49 |
| 4.4.1 仿真监控模拟总体结构.....                  | 49 |
| 4.4.2 稳态仿真监控应用.....                    | 50 |
| 4.4.3 动态仿真监控应用.....                    | 52 |
| 4.5 小结.....                            | 53 |
| 第五章 结论与展望.....                         | 55 |
| 参考文献.....                              | 57 |
| 攻读学位期间主要研究成果.....                      | 60 |
| 致 谢.....                               | 61 |

## 第一章 绪 论

## 1.1 背景

煤、石油和天然气仍然是 21 世纪世界能源供应的三大支柱。天然气不仅是优质燃料，而且是化学工业的重要原料，在世界经济格局中占据着特别重要的地位。随着世界经济的发展，推动了世界能源市场的发展，但大气环境质量的严格要求又制约着煤和石油的发展，这必然要引起能源结构的改变。世界正朝着清洁能源的方向发展，如天然气，电力和再生能源等，这给我国天然气工业的发展提供了极好的发展机遇。

天然气是世界上公认的高效、洁净的能源，作为化工原料及能源燃料在世界上得到广泛的应用。一是发电：利用天然气发电效率高，可以起到较好的调峰作用。二是化工：发达国家的合成氨和甲醇几乎全部是用天然气生产，但在我国的利用率还很低。三是城市工业用气：主要是小型燃气热、电、冷联供（燃气轮机，余热锅炉、溴化锂制冷）用气。四是城市居民用气：城市居民用天然气替代煤炭，具有很好的环境效益和经济效益。五是其他途径：天然气在制氢，汽车用气等方面也有广泛的用途。

在天然气的输配送的过程中，计量环节的实时监控起着重要的作用，正确的选择测量方法与合理设计计量监控系统，将直接关系到能源的合理分配与企业的经济效益。目前市场有各种各样的流量计可用于测量天然气的流量。不管采用哪种方式进行天然气体积流量计量，往往需要采用补偿措施来提高测量的准确性。

天然气的开发与利用离不开输配管道的输送，储气与供（配）气，天然气输配系统主要由天然气输配管网，储配站，调压计量站等设施 and 运行管理操作组成。随着天然气开发规模和使用规模的不断扩大，天然气输配系统也日趋庞大和复杂。使得人们了解与掌握输配管的运行规律，分析处理和监控输配管的事故工况，论证和提出经济合理的优化运行方案都十分困难；因此人们迫切需要据天然气输配管网中的气体流动规律，找出气体输配管网中各个参数间的互相影响和流动关系，保证输配系统运行的可靠性、安全性，经济合理地进行天然气输配管网的供气优化调度，对天然气输配管网稳态/动态仿真也是不可缺少的组成部分。

## 1.2 国内外研究现状

国外从二十世纪 70 年代起对流体输配运行规律进行了广泛的理论研究。80 年代后期，国外天然气输配普遍采用快装气轮机和离心压缩机组实现无人值守，全自动运行管理，还具有压力监控，流量监控和安全保护功能。计量

装置具有较高的计量精度，除常用的孔板流量计和涡轮流量计外，正在研制超声流量计。

进入 90 年代随着计算机硬件的广阔发展，国外对天然气输配管网中的运行规律的研究有了长足的进步，充分利用计算机强大的计算能力对天然气在管道内全程监控，在此基础上提供了天然气输配的 SCADA 联机系统，并研制出天然气输配模拟及测量软件包。可以对大型复杂的天然气输配管网进行稳、动态模拟，实时监控。其代表有美国科学软件公司（SSI）的 TGNET 软件和 Stoner Associates Inc 软件，但其价格昂贵，系统开放性差，生成的生产数据很难进一步进行二次开发，不符合中国人的习惯等一系列的问题。

我国五十年代出现了机械补偿流量计，双波纹管差压式计是较早使用的位移平衡式机械仪表，它的结构简单，易操作，成本低，维护简单，具有较成熟的生产工艺，目前仍在天然气流量检测中使用，由于该仪表是纯机械仪表，精度低，使用一段时间，因磨损将导致不灵敏和线性误差增大。

八十年代出现了电动单元仪表，开始应用电动单元组合仪表的变送器和运算单元建立自动补偿系数，实现了自动连续补偿，检测精度也有所提高。它通过变送器检测出天然气的静压，差压和温度等参数，无须人工计算，温度、压力和差压在线检测计算，自动化程度提高，但它无法对天然气组成成分极其摩尔分量不断变化进行参数修正的补偿，使它的应用受到限制。

从九十年代开始，由于计算机具有极强的存储能力和极快速的运算能力，再配套高精度的智能变送器、数据采集卡，就可以完成对天然气输配管网的数据采集处理，数据储存，报表打印和报警等功能，极大的减轻人员的劳动强度。特别是现在通过计算机联网，可以实时监控天然气输配管网的数据，实现安全生产，同时使管理层据现场情况进行快速决策。在实际应用中，对天然气在输配管网内的运行规律和某些需经常改变的量（天然气组成成分及摩尔分量）进行修改时，可以通过计算机软件来完成。

### 1.3 顺南天然气输配站现状分析和开发

目前顺南天然气输配站监控站的技术比较落后，采用现场仪表设备对天然气的输配管网进行检测和监控，利用人工经验手动调节阀门达到期望值。这种方式效率低下，技术落后，存在很多问题。现归纳如下：

#### ✧ 测量精度低

天然气的流量测量需要进行温度、压力全参数补偿，转换到标准状况流

量，而顺南天然气输配站采用人工调节，根本无法做到补偿运算，温度则是由插入管线内的玻璃管温度计测量，每小时测量一次，再求当天的平均值，测量精度低。

#### ✧ 稳定性差

很多仪表抗干扰能力差，系统不稳定，有测量不准、跳变，控制错误等现象。

#### ✧ 管理落后

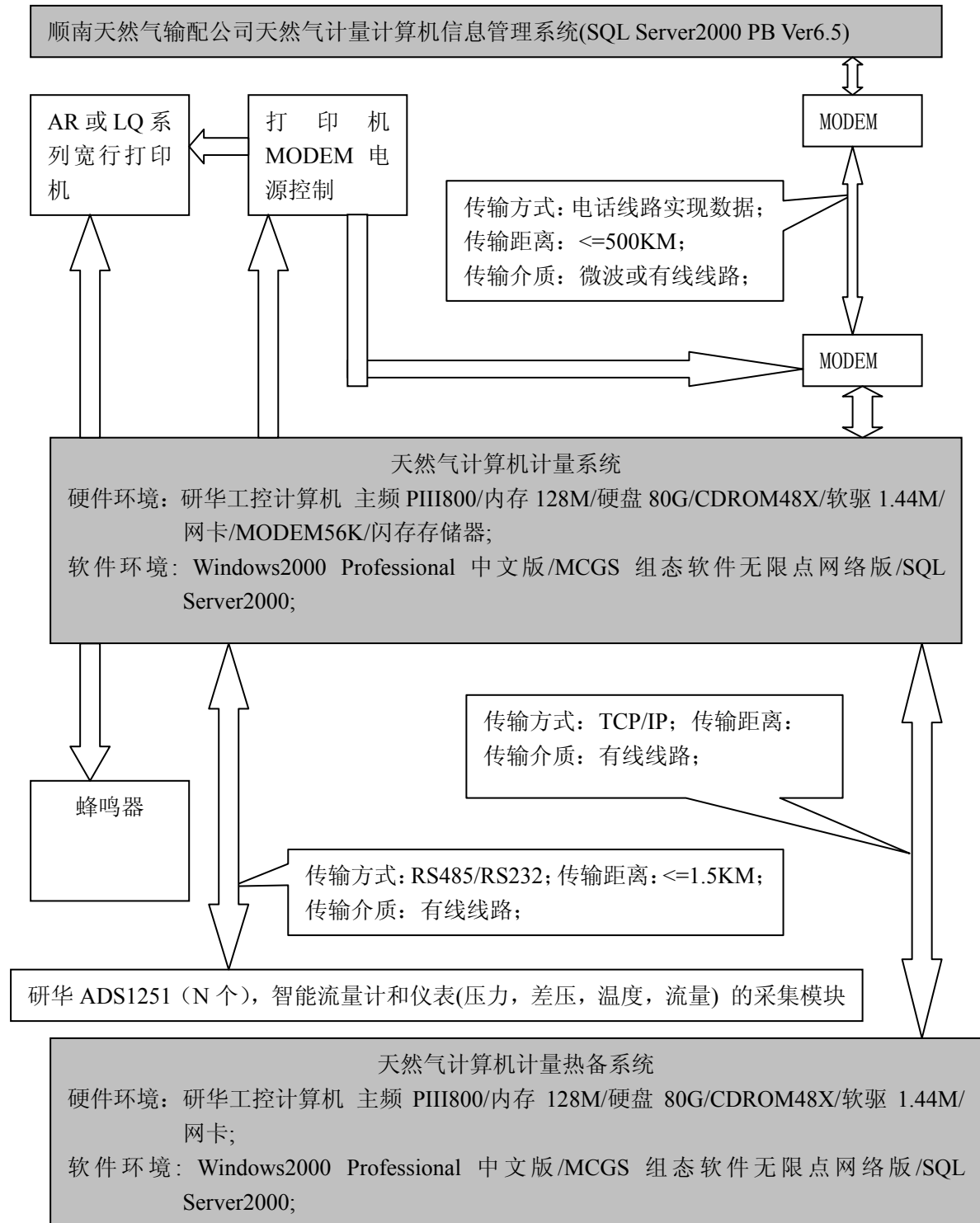
输配站控制中心没有数据管理，对一些事故状态没有记录，不能进行历史查询；而且对于抄表工作，都要操作工跑去现场，耗费了较多的人力物力。这些方式都表明了目前的顺南输配站管理技术落后。

#### ✧ 控制方法简单

顺南天然气输配站的控制系统没有稳态/动态仿真和优化调整，今天只能知道昨天的流量，而且只能是平均量，根本无法了解一天之中每条管线内流量的实时动态变化，使管理层难以确切调度各个用气单位的用量，造成用气单位有时不够用，有时过于充足，不能合理地调配高峰时段与低谷时段的合理送气，天然气利用率不高，生产效率低。

正是由于以上问题的存在，对一种新型，先进的天然气输配站的计算机监控系统的需求已经越来越迫切。顺南天然气输配站的计算机监控系统主要由计算机，采集板卡，智能变送器等部分组成，采用了 MCGS 全中文组态软件。根据生产需求实现系统的灵活配置。计算机和 MCGS 组态软件可实现 HMI 人机接口和数据管理平台，具有工艺流程图，实时动态显示（流量、压力、温度和时间），历史曲线图、报警、报表、数据记录和参数设定功能，智能变送器将现场信号转换为电信号送到采集板卡，数据采集板卡和 MCGS 组态软件实现数据采集、计算、补偿、存储和通讯等功能，针对天然气在输配管网线中稳态/动态气体动力学计算问题、利用数值分析法中的雅可比矩阵和特征线法，建立天然气输配管网中稳态/动态仿真数学模型，采用 MCGS 组态软件对天然气输配管网稳态/动态进行仿真，达到天然气在输配管网调度中的优化运行，提高了天然气的利用率。

总之，根据顺南天然气输配站的实际情况开发了对计量点采用分散计量，集中查询的监控系统，实现对现场输配气情况的自动检测，同时也可以管理中心实现计量检测，该系统的模拟设计符合相关的石油天然气行业标准（SY/T6143-1996）中的“计算机应用一般原则”及“天然气流量的标准计量方法”的数学模型，可以远程监测和控制现场的生产情况，方便了天然气输配站的集中管理与调度。系统配置如图 1-1 所示：



1.1 顺南天然气输配站公司微机计量系统配置图

## 1.4 主要研究内容的结构安排

(1) 本文在绪论中分析与比较国内外天然气输配管网监控系统现状和发展方向, 针对顺南天然气输配站监控站存在的问题, 提出了一种用 MCGS 全中文组态软件, 计算机, 采集板卡, 智能变送器等部分组成的新型的, 先进的天

然气输配站的计算机监控系统，使监控系统更加精确、可靠，功能更强。

(2) 第二章据天然气输配管网输送工艺的要求，进行了顺南天然气输配站硬件计量监控的总体设计，介绍了 ADS1251 采集卡的工作原理，解决了 ADS1251 采集卡在 MCGS 组态软件中时间性能的设置和计量数据采集的通道的设计，采用了电磁兼容设计，光电耦合器和用电流传递距离模拟信号进行信号传送中的抗干扰措施，保证了天然气计量系统的整体硬件精度优于 0.1%。

(3) 第三章是顺南天然气输配站计算机计量监控软件设计系统，运用 MCGS 组态软件的模块、MCGS 软件进行设备接口参数和脚本程序设计，完成天然气流量补偿程序编制，A/D 采集流量程序编制，双机热备份检测过程软件编制，远程通讯设计，实现了历史数据库浏览，声音报警及处理，生产数据报表生成，动画显示等软件模块的设置，使所有输送管线内天然气的参数能在线实时监测。

(4) 第四章是据顺南天然气输配管网实际结构，利用数值分析法中的雅可比矩阵和特征线法，采用节点压力法，气量的平衡方程，建立了天然气输配管网中稳态/动态仿真数学模型，采用 MCGS 工控软件对“顺南天然气输配站”的管网系统进行仿真分析，采用最优、最经济的运行方案，使天然气输配管网系统更加安全、稳定。

(5) 第五章是对本文的顺南天然气输配站计算机控制系统进行总结，提出了天然气计算机监控的发展方向。

## 第二章 顺南天然气输配站计算机监控硬件总体结构

在顺南天然气输配站计算机控制系统中,对现场各流量计量点的信号(差压、压力、温度)通过数据采集卡进行 A/D 转换,通过 MCGS 软件进行设备接口参数设置,按照计量标准(SY/T6143-1996)中计算流量的规定,计量示出与之对应的天然气瞬时流量和累计流量,监控台的工控机通过 RS-232 和 RS-485 接口采集流量的计量数据,实现对天然气流量的实时计量,流量累计和对历史数据,历史参数的存储与管理。

### 2.1 顺南天然气输配管网输配结构

#### 一、顺南天然气输配管网输送工艺

天然气输配系统是一个综合设施,主要由天然气输配管网,储配站调压计量站,控制设施和运行管理操作等部分组成,各部分之间的联系如图 2-1 所示:

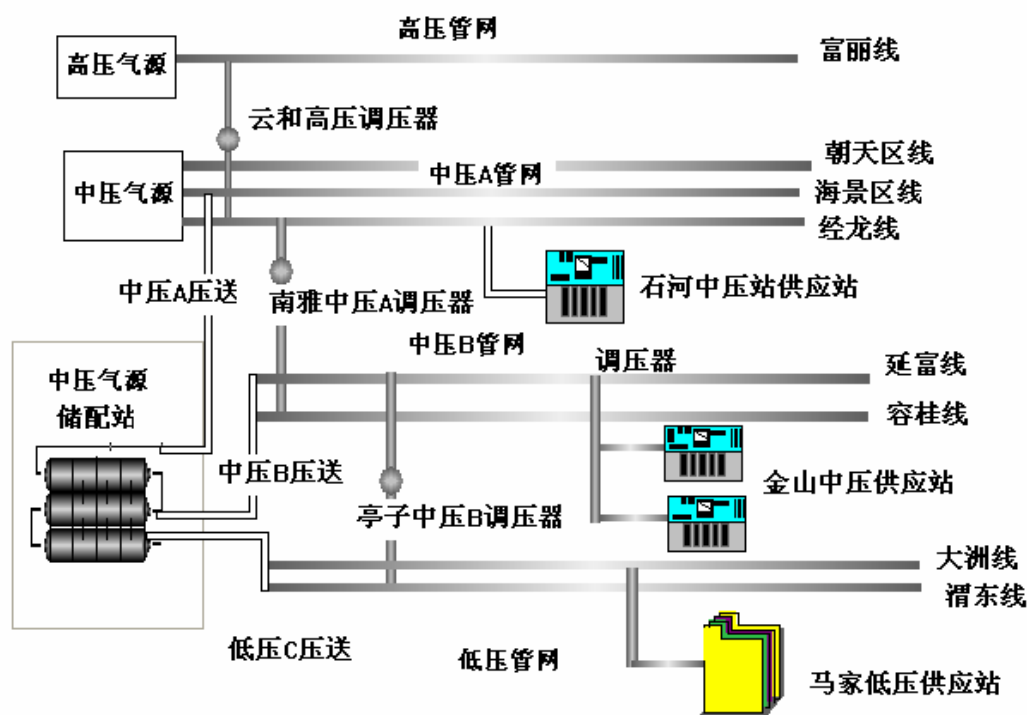


图 2-1 天然气输配系统

在城市配气管网中设有储配站来储存天然气和降低天然气压力的气体调压器,通过这些气体调压器,把不同压力的输配气管连接在一起。天然气从

干线输配气管通过配气站送入城市配气管网，其全部管段与压缩机站互有联系，个别管段或个别站的工况的变化将影响到全部输配气管或整个输配气管系统。引起干线输配气管工况偏离计算的原因可能是：耗气量波动，个别压缩机组或整个压缩机站的关闭等。

## 二、高-中-低三级制管网系统

高压燃气从佛山的天然气接收站（天然气门站）输出，由富丽线高压管网输气，经云和高压调压器调至中压，输入中压管网，再经南雅中压 A 调压器调至中压，输入中压管网，再经区域亭子中压 B 调压器调成低压，由低压管网供应燃气用户。如图 2-2 所示。

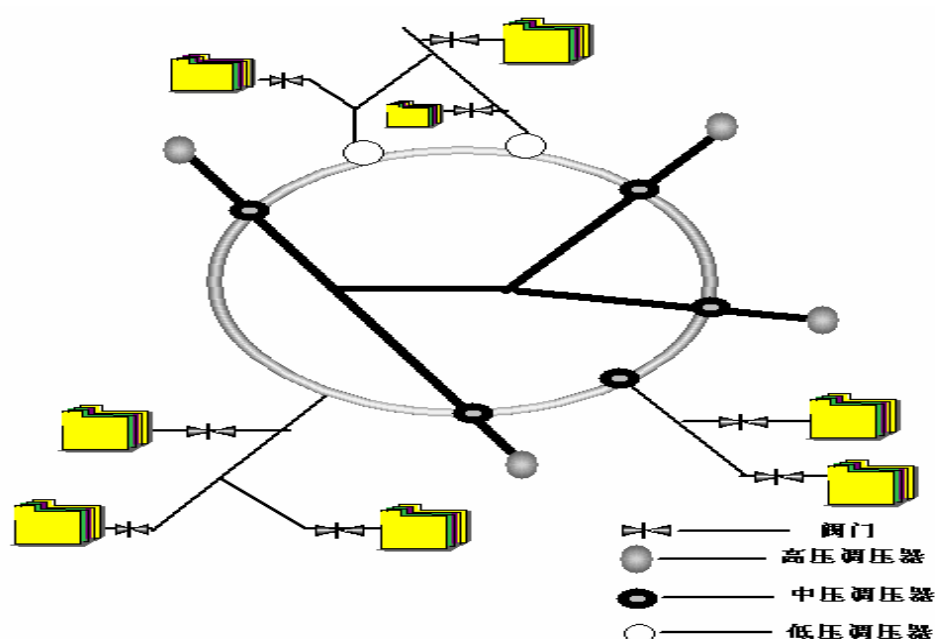


图 2-2 高-中-低三级制管网系统

三、高-中-低三级制管网系统的特点是：

1. 高压管道的输送能力较中压管道更大，需用管径更小，故管网系统的投资和运行费用较经济。
2. 因采用管道储气，可保证在短期停电等事故时供应燃气。
3. 图 2-2 高-中-低三级制管网系统因三级制管网系统配置了多级管道和调压器，增加了系统运行维护的难度。

## 2.2 天然气计量监控硬件系统的结构

顺南天然气输配管线计量点主要集中在容桂（容桂线、海景区线），陈村（富丽线、经龙线）、龙江（渭东线、延富线）、大州（大州线、朝天区线）四个地区，我们在上述四个地方分别设置了现场计量工作站，顺南天然气输配站负责 8 条管线的天然计量，为了实时监测各个工作站的实际计量情况，必须将这四个地区的工作站连接成网络，这时就需要一个中枢——数据库服务器，通过输配站调度中心室的数据库服务器将四个计量工作站连接起来，构成一个完整的网络体系。如图 2-3 所示：

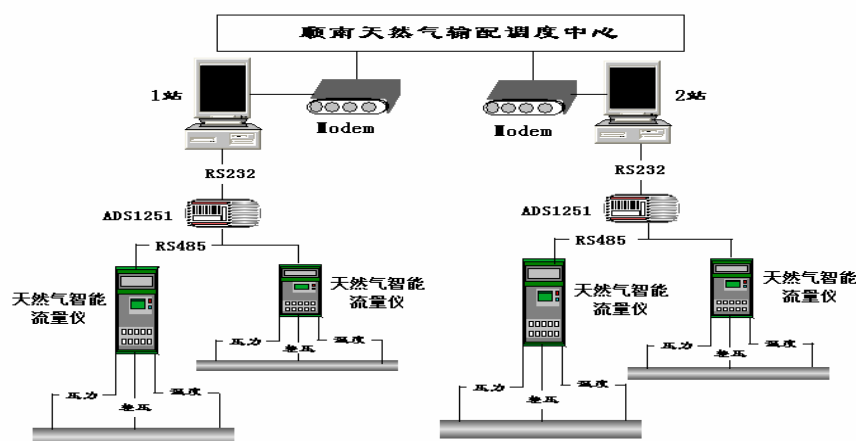


图 2-3 顺南天然气计量硬件系统

顺南天然气计量系统由上位机（工控微机）、通信模块、智能变送器和数据采集板卡，现场智能仪表和智能流量计等组成。

如图 2-2 所示：各地区的工作站与工控微机与通信模块可通过 RS-232 串行总线、RS-485 并行总线相连接，各站到顺南输配站调度中心要经过马路，电磁干扰严重，为保证通讯线路和网络的通讯质量，在软件中提供相应手段保证通讯的成功率。传输介质：有线线路；传输方式：TCP/IP 协议，此外还有特殊需求：

1. 声报警：蜂鸣器，识别距离 = 80M；
2. 远程系统升级： 可以通过远程服务的方式对系统进行升级；
3. 离线系统功能： 系统可根据历史数据进行数据采集模拟，累计产量复核功能。

配置了大功率蜂鸣器，采用双机热备实现离线系统功能。调度室的数据库服务器利用 SQL Sever 数据库，接收各个站点的实时数据汇总、存储、处理、显示输配管网的天然气供气和配气的实时情况，以便及时作出判断和决

定。

## 2.3 计算机计量监控工作站的设计

现场计量工作的主要任务是完成天然气实时参数的采集，并计算瞬时流量，向服务器上传数据，保存数据，报警处理，实时显示（数据和趋势曲线），定时报表打印等功能。为保证计量系统的实时性、高精度、高可靠性，首先要从硬件上保证。现场工作站的结构图如图 2-4 所示：

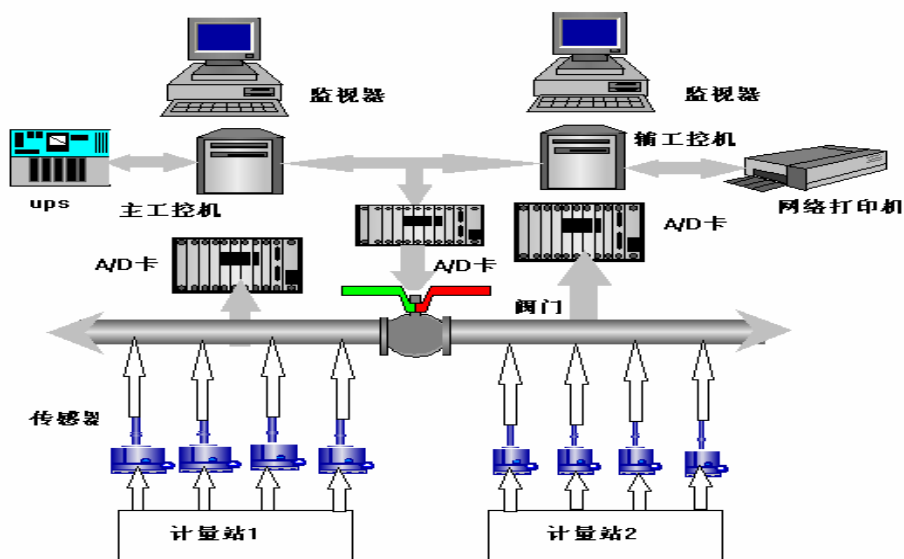


图 2-4 工作站的结构图

计量改造的目的就是提高天然气流量计量的精度，所以首先要保证硬件系统各个环节的精度。天然气的主要实时参数是绝对压力、差压、温度，而且天然气流量对它们都很敏感，稍小的变化，将引起流量的巨大变化，所以保证实时参数的精度意义重大。

### 一、EJA430A 压力智能变送器

为了高精度地测量绝对压力、差压、温度，我们选用了优良的传感器。测量绝对压力和差压，我们使用日本横河川仪有限公司 EJA430A 压力智能变送器和 EJA110A 差压智能变送器。采用了世界上较先进的单晶硅谐振式传感器技术，精度达到 $\pm 0.075\%$ ，过压影响为 $\pm 0.03\%14\text{Mpa}$ 。该设备自投放市场以来，以其优良的性能受到广大用户的好评。

### 二、铂电阻

铂电阻是一种较理想的温度传感器，长期以来被大量地作为高精度的测温传感器件，并被作为复现国际温标的标准器。目前工业上大量使用铂电阻

进行 $-200\sim 850^{\circ}\text{C}$ 温区内的温度测量，Pt100 是指当被测温度为  $0^{\circ}\text{C}$  时，铂热敏电阻为  $100\ \Omega$ 。我们这套天然气计量系统中，温度范围是 $-30\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，所以我们选用以 A 级精度 Pt100 为核心的 HK-AR121 系列隔离型热电阻变换模块作为测温仪器。该模块以三线制热电阻信号为输入（减小连接导线电阻的影响），二线制  $4\sim 20\text{mA}$  标准电流环输出（便于远距离传输），模块内自带线性的补偿，电流输出与热电阻温度为线性关系，基本精度优于  $0.1\%$ 。

为了便于远距离传输，测量压力、差压和温度的结果信号都是以  $4\sim 20\text{mA}$  标准电流环输出，而 A/D 采集卡采集的是  $0\sim 10\text{V}$  电压信号，所以选用一个  $0.01\%$  精度的绕线精密电阻转化电流为电压。

### 三、数据采集

#### 1. 模数转换器

采用了北京康拓工业公司的 ADS1251 芯片，是采用  $\Sigma-\Delta$  结构的单片 16ADC，其主要特点是，非线性误差  $0.0015\%\sim 0.003\%$ ，片内有自校准电路，低通滤波器的转折频率（ $0.1\sim 10118$ ）可设置，模拟输入电压范围  $0\sim +10\text{V}$  或  $\pm 10\text{V}$ ，输出数据速率为  $4\text{KSPS}$ ，ADS1251 芯片采用二阶  $\Sigma-\Delta$  调制器和六阶等斯数字低通滤波器。当主时钟频率为  $4.096\text{MHz}$  时，过采样频率  $Kf_s=16\text{KHz}$ ，样倍率  $K=800$ ，滤波器的转折频率  $f_s/z=10\text{Hz}$ 。

#### 2. 数据采集

多路同步采集多路转换系统：

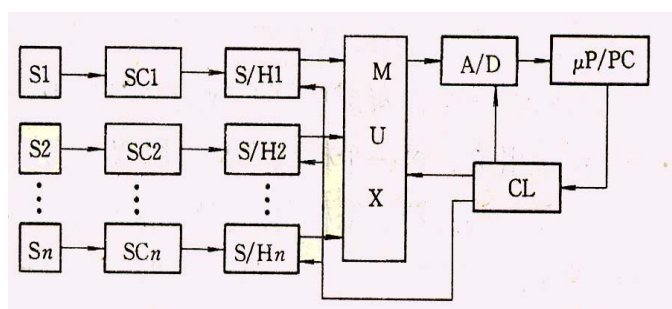


图 2-5 多路同步采集多路转换系统

如图 2-5 所示采用结构是多路同步采集多路转换系统。其特点是对每一路输入信号分别配置了从信号调理电路到 A/D 转换电路的所有器件。解决了由于分时多路工作而导致数据采集速度慢，效率低的问题。因此，电路结构具有以下优点：

- 1) 可实现高速多路采集，且采集效率不受通道数目的影响。
- 2) 精度高。电路避免了采样/保持器中由于被测信号长时间保持而使得

保持电容中电荷泄漏所带来的误差。

3) 该电路属多路同步采集系统,但也可根据需要灵活设置每一道的采样频率和相位。即可据每一输入通道的信号频率分别配置速度不同的 A/D 转换器,以便合理分配资源和成本。

#### 四、康拓的 ADS1251 采集板卡的时间性能

1. 采集周期: 由系统采集点数和康拓 ADS1251 采集周期决定,若(设定)本系统有 8 个康拓模块,每个模块最小采集周期为 500 毫秒,总采集周期大约 4 秒左右;
2. 数据处理周期: 1—60S;
3. 工况数据存储周期: 1—60S;
4. 系统状态记录周期: 1—60S;
5. 天分隔点: 上一天 08: 00: 00 ~ 当天 07: 59: 59;
6. 月分隔点: 上月最后一天 08: 00: 00 ~ 本月最后一天 07: 59: 59;
7. 年分隔点: 上年 12 月 31 日 08: 00: 00 ~ 本年 12 月 31 日 07: 59: 59;
8. 系统时间设置: 单机由用户手工设置,双机或多机有网络上的时间服务器统一设置时间;

#### 五、设备窗口的设备驱动配置:

康拓 ADS1251 输入输出板

| 属性类型 | 属性名称     | 内容(连接变量)    | 备注 |
|------|----------|-------------|----|
| 基本属性 | 设备名称     | 康拓 ADS1251  |    |
|      | 初始工作状态   | 启动          |    |
|      | 最小采集周期   | 1000 毫秒     |    |
|      | 板卡地址     | 150H        |    |
|      |          |             |    |
| 通道链接 | DO 输出 00 | 控制打印机电源     | 输出 |
|      | DO 输出 01 | 控制 MODEM 电源 | 输出 |

通用串口父设备及康拓 ADS1251 系列驱动

| 属性类型 | 属性名称 | 内容(连接变量)    | 备注 |
|------|------|-------------|----|
|      | 设备名称 | Dev 串口通讯父设备 |    |

|      |        |         |  |
|------|--------|---------|--|
| 基本属性 | 初始工作状态 | 启动      |  |
|      | 最小采集周期 | 1000 毫秒 |  |
|      | 端口号    | COM1    |  |
|      | 通讯波特率  | 9600    |  |
|      | 数据位位数  | 8       |  |
|      | 停止位位数  | 1       |  |
|      | 数据校验方式 | 无校验     |  |
|      | 数据采集方式 | 同步采集    |  |

康拓 ADS1251 模拟量采集模块 (1~8)

| 属性类型 | 属性名称   | 内容 (连接变量)              | 备注 |
|------|--------|------------------------|----|
| 基本属性 | 设备名称   | Dev 康拓 ADS1251 (01~08) |    |
|      | 初始工作状态 | 启动                     |    |
|      | 最小采集周期 | 1000 毫秒                |    |
|      | 设备地址   | 1~8                    |    |
|      | 是否求校验  | 无校验                    |    |
| 通道链接 | AD0    | 管线 (1~8) 温度            |    |
|      | AD1    | 管线 (1~8) 压力            |    |
|      | AD2    | 管线 (1~8) 差压            |    |
|      | AD3    |                        |    |

## 2.4 信号传送中的抗干扰措施

### 1. 电磁兼容设计

电磁兼容设计即时将电气、电子装置设备, 或系统的电磁骚扰的发射电平限制在允许的电平范围, 以达到保护电磁环境(包括电源网络), 同时在电磁骚扰的环境下具有不降低运行性能的能力。

微机系统的供电电源是干扰进入的主要途径。电源干扰主要是通过供电线路的阻抗耦合产生的, 各种大功率用电设备是主要的干扰源。

输配气控制器采用了开关电源技术, 通过闭环反馈技术和 PWM 调制原理, 可以在原边电压很大程度的波动范围内, 能够输出稳定电压。在电源的入口处加了低通滤波器, 如图 2-6 所示。

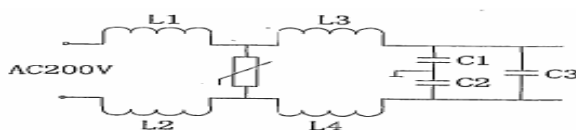


图 2-6 低通滤波器

低通滤波器可以吸收掉电源中的大部分“毛刺”，图中的 L1 和 L2 用来抑制高频差模电压，L3 和 L4 是用等长的导线后向绕在同一磁环上的，50Hz 的工频电流在磁环中产生的磁通互相抵消，磁环不会饱和。两根线中的共模干扰电流在磁环中产生的磁通是叠加的，共模干扰被 L3 和 L4 阻挡。图中的 C1 和 C2 用来滤除共模干扰电压，C3 用来滤除差模干扰电压。R 是压敏电阻，其击穿电压略高于电源正常工作时的最高电压，平常相当于开路。遇尖峰干扰脉冲(如雷击过的电压脉冲)时被击穿，其端电压等于击穿电压。

高频干扰信号不是通过变压器的绕组耦合，而是通过初级、次级绕组之间的分布电容传递的。在初级、次级绕组之间加绕屏蔽层，并将它和铁芯一起接地，减少绕组间的分布电容，提高抗高频干扰能力。

电解电容是用两层薄膜卷绕而成的，高频时相当于一个电感。它对高频干扰信号的滤波效果不好，在滤波电路中将高频特性好的瓷片电容或聚碳酸电容(0.1 $\mu$ F 左右)与电解电容并联使用。

## 2. 使用光电耦合器

光电耦合器的原边是一个发光二极管，副边是一个光敏三极管，信号用电光传递的。原边与副边之间完全没有电的联系。电磁感应产生的干扰电压在线路悬空时可能很高，但是能量并不大，在闭合回路中产生的电流一般不足以使发光二极管产生足够的亮度，因此光电耦合器能有效地抑制干扰信号。

顺南天然气输配站的计量监控的信号采样采用 ADS1251 芯片，它与 CPU 之间的通讯通过光电耦合器隔离传送，这样就提高了信号传送的抗干扰性。

## 3、用电流传递距离模拟信号

远距离传送模拟量电压信号时，很容易引入干扰，电流传送的抗干扰性要好的多。顺南天然气输配站控制系统的现场变送仪表输出 4-20mA 电流信号，ADS1251 板卡接收端用 250 $\Omega$  的电阻将电流转换成 1~5V 的电压，然后送给 ADS1251 采集板卡，板卡输入端的模拟量信号都与大地之间设置了滤波电容，滤除了在信号线上的高频差模干扰信号。分别测量天然气流量，管道压力、温度等，通过用 PhotoMOS 断路器隔离的多通道分时切换采样，大大提高了采样的抗干扰能力。

## 2.5 远程通讯设计

### 一、实现步骤：

#### 1. MODEM 的初始化在组态环境下的“工具”菜单“中，点击”Modem

设置工具”，进行本地 Modem 和远程 Modem 的初始化工作。首先将作为本地的 Modem 接在本地计算机的空余串口上（如 COM1 口），按照下图 2-7 所示进行初始化。

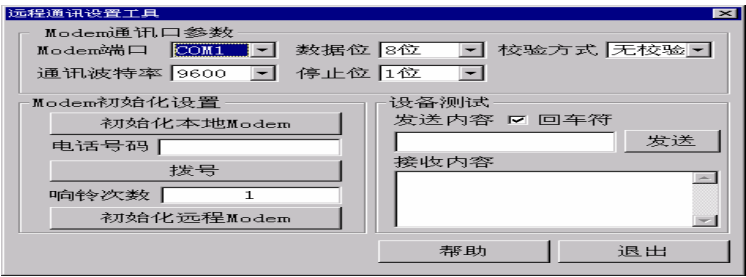


图 2-7 远程通讯口参数设置

\* 设备的连接：初始化工作完成后，可以进行图 2-8 的物理连线工作。

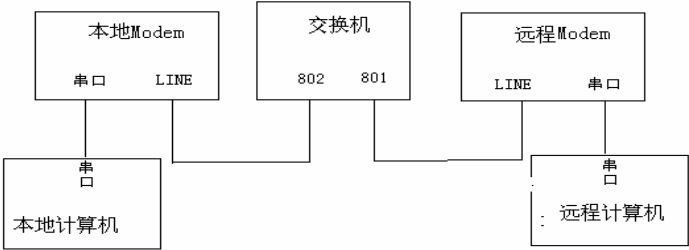


图 2-8 方案的接线图

2. 设备组态： 本地计算机和远程计算机上进行相同的组态。
- 1) 创建一个新工程，命名为“远程通讯.mc9”。
  - 2) 添加 4 个变量，分别命名为“温度 1-4”。均为数值型。
  - 3) 添加设备：打开设备窗口，顺序添加低速网络：**modem**；网络数据同步设备；模拟设备。本地计算机上在模拟设备中连接上变量温度 1 和温度 2。远程计算机的模拟设备连接温度 3 和温度 4。
  - 4) 创建一个新的窗口，命名为“通讯”在窗口中建立两个显示标签用于显示温度 1 和温度 2（本地机）[温度 3 和温度 4（远程机）]，两个输入框用于温度 3 和温度 4 的数值输入（本地机）[温度 1 和温度 2（远程机）]。
  - 5) 组态：



图 2-9 设备组态

双击低速网络：modem图2-10设置其基本属性：



图 2-10 网络设置

设置好串口端口号，通讯波特率，数据校验位，校验方式，停止位，（要求两台计算机设置一致）。电话号码留空为拨入方，即被拨叫方。另一台计算机上应填写对方计算机上的号码（如 801）。

进行一下图 2-11 “设备测试”，检验两台计算机通过 Modem 能否通讯成功。在发送文本中填入要发送的内容，按下“发送一次”进行测试。



图 2-11 设备测试

发送成功后（即通讯成功），进行下面的步骤。

6) 双击网络数据同步，设置其属性。在基本属性设置页里，设置设备名称，处理周期，以及通道个数。在网络属性里，远程目标设备名称要填写远程计算机中对应设备的名称（如设备 1）。在通道连接和设置中，将已经定义好的 4 个变量连接到 1~4 个通道内，设置好对应的方向，在这里，将温度 1 和温度 2 设置为输出，温度 3 和温度 4 设置为输入（本地计算机）。远程计算机上对应的设置应该相反，即输出对应输入，输入对应输出。

两台计算机进入运行环境。在本地计算机的两个输入框内应该可以看到远程计算机上温度3和温度4的数值。同样，本地计算机上模拟设备产生的温度1和温度2的数值也传送到了远端计算机上。

综合上面我们采用的硬件设备（从传感器到采集卡）都保证了精度优于 0.1%，从而保证了天然气计量系统的整体硬件精度优于 0.1%。

## 2.6 小结

本章根据顺南天然气输配管网的输配结构，采用了 ADS125 芯片进行数据采集，设计测量信号传送中的抗干扰措施，通过组态软件 MCGS 进行接口参数设置和远程通讯设计，按照计量标准（SY/T6143---1996）中的规定，实现对天然气的实时计量，流量累计和历史参数的存储与管理。

## 第三章...顺南天然气输配站计算机监控软件总体结构

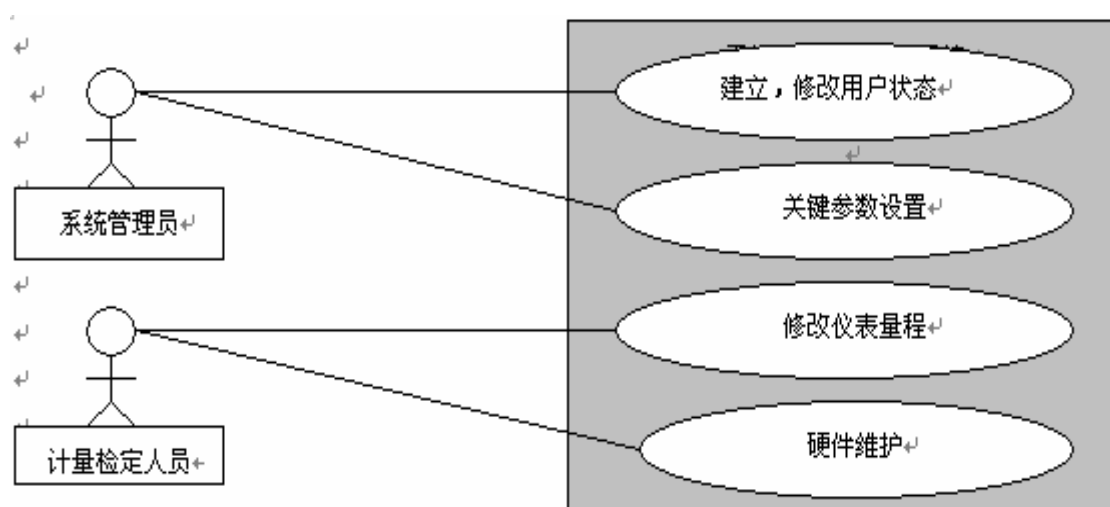
### 3.1 监控计量软件系统的总体结构

当计量系统的硬件部分搭好后，就需要编制软件应用程序来实现计量任务和用户的各种需求。软件的系统分析直接关系到程序的编制和以后的维护，为了软件系统的高可靠性，一次到位，必须预先认真做好软件系统的总体设计和系统需求分析，考虑操作系统，编程软件和数据库的选择。

#### 一、监控计量软件系统的总体流程

天然气计量系统的软件用例图（程序界面、流程控制）如图3-1所示：用MCGS组态软件完成，功能模块软件（设备构件或策略构件）用VB编制成动态链接库（dll），供MCGS软件调用。MCGS组态软件的运行是以线程为单位来完成处理功能的，在整个运行过程中，线程以事件的方式被触发，按优先级的大小顺序执行。打印任务作为一个独立的线程运行与后台，可实现与其它任务的并行处理。

总之，实时数据库成为应用系统的核心，是系统各个部分交换数据的公用区，同时也是系统模块操作和驱动的对象。在我们这套计量系统中，共有8条管线计量点，所以设立8个数据组，每一组对应数据库中的一个数据表，每个表由天然气参数（压力、温度、差压）和计算结果（实时流量、干气流量积累、湿气流量积累）等实时数据字段组成。除了把这些实时数据设置为浮点数外，同时设定它们的存盘属性（每3秒存盘一次），并对天然气参数（温度、压力、差压）设定它们的报警上限和下限。



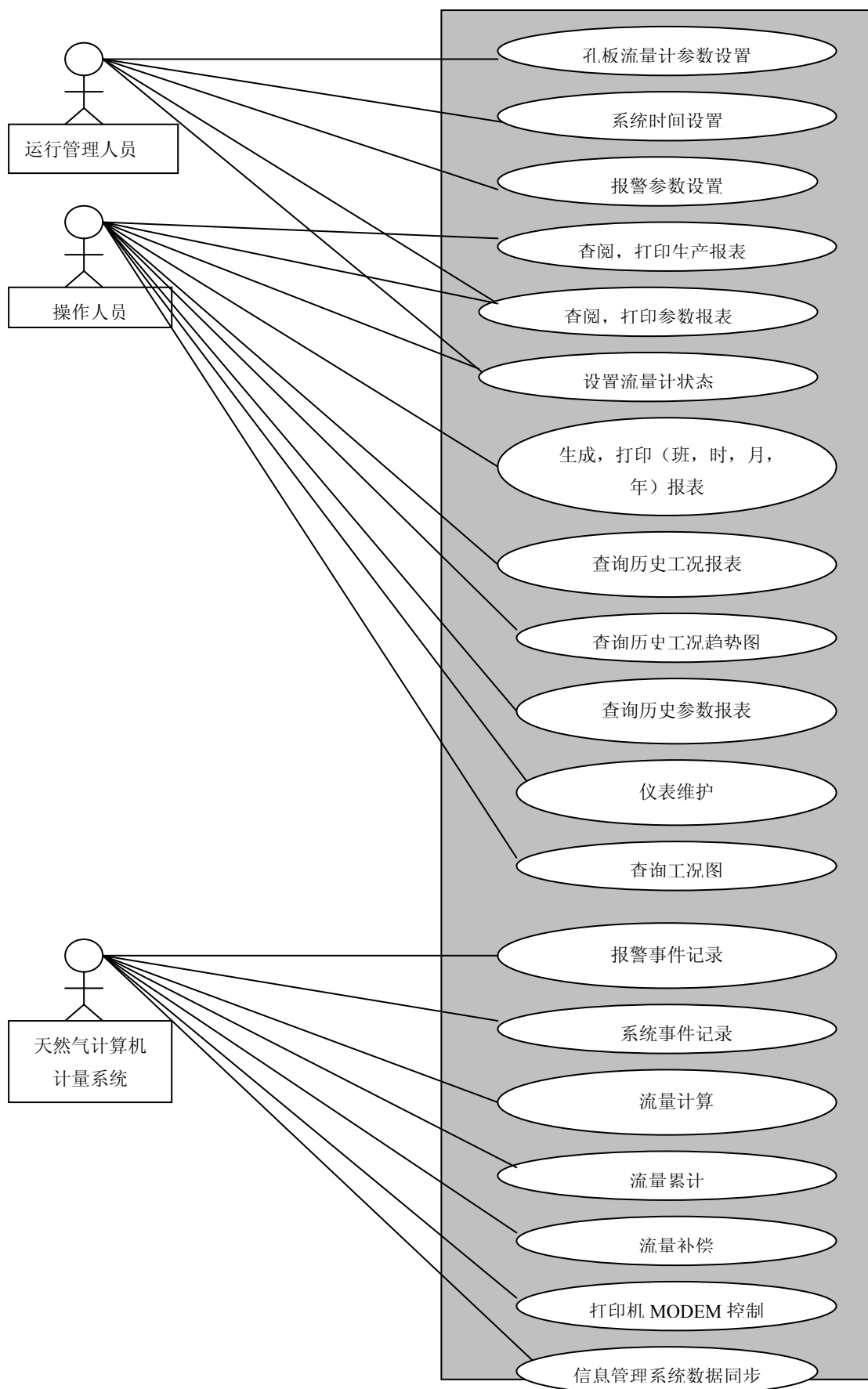


图 3-1 顺南天然气微机计量系统软件用例图

现场工作站主机的主要流程如图 3-2 所示。主机进行 A/D 采集得到天然气的实时参数，接着读辅机数据。然后进行主、辅机实时参数的比较取值，同时进行超量程报警处理。接着将比较后的参数送入天然气体积流量计算模块计算，然后进行干气和湿气的流量累积。再接着数据显示，存盘数据、最后把当前的实时数据发送到服务器。

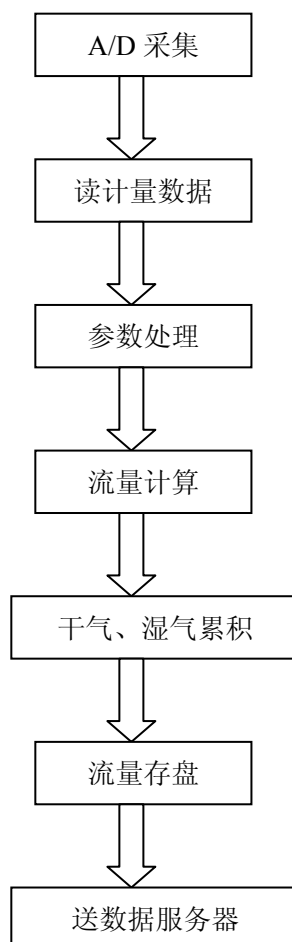


图 3-2 工作站计量程序的总流

这个流程一直循环进行的同时，会响应各种事件的触发，并完成相应的操作，例如到每日的 6 点整，就会调用自动报表策略，完成报表的生成和自动打印的功能。

## 3.2 顺南天然气输配站的计量补偿

顺南天然气输配站监控系统只有在精确测量天然气流量的前提下，才能实现正确、稳定、有效控制。

按照目前最流行、最广泛的分类法，流量计可分为：容积式流量计、差压式流量计、浮子流量计、涡轮流量计、电磁流量计、流体振荡流量计中的

涡街流量计、质量流量计和插入式流量计。

不管采用哪种流量计，往往需要采用补偿措施，来提高测量的准确性。顺南天然气输配站采用孔板节流装置测量天然气流量，本节主要介绍孔板测量天然气的补偿原理和软件设计。

所谓流量补偿，就是对流量计读数系统误差的修正。流量计输出信号与被测流量之间的刻度关系只能依据某一特定工艺状况来确定，如果流量计的实际刻度系数已经发生变化，这时仍按原刻度关系读取流量，显然会产生误差。

工作中当液体工况偏离原刻度所依据的状态，会引起不同程度的系数误差，甚至使流量读失去意义。如用差压式流量计检测饱和蒸汽的测量，设计压力为 0.5Mpa，当蒸汽压力变化到 1.0 Mpa 时，其流量误差大约 26%左右。差压式气体流量计，如设计温度为 0℃，当气体压力不变时，温度每升高 1

℃，将引起流量产生一  $\sqrt{\frac{1}{273}}$  的误差。工况变化越大，引入的误差越大。所以，在一些需要精确计量的场合，或者工况波动范围大而且波动频繁的场合，必须采用补偿措施。

流体计量补偿技术，就是针对不同流量计，检测不同流体而建立的一种修正方法，由仪表读数准确推算出流体的实际流量，因而流量补偿技术在流体计量中具有重要意义。

## 一、天然气流量计量的数字模型

### （1）标准孔板计量方法的测量原理

天然气流经节流装置时，流束在孔板处形成局部收缩，从而使流速增加，静压力降低，在孔板前后产生静压力差（差压），气流的流速越大，孔板前后产生的差压也越大，从而可通过测量差压来衡量天然气流过节流装置的流量大小。这种测量流量的方法是以能量守恒定律和连续性方程为基础的。

中国石油天然气行业标准 SY/T6143-1996 推荐了天然气标准体积流量的实用公式，即： $Q_n = A_s C E d^2 F_G \epsilon F_z F_T \sqrt{P_1 \Delta P}$  式中：

$Q_n$ —标准状态下天然气体积流量， $m^3/s$ ；

$A_s$ —秒计量系数，此式中  $A_s=3.1794 \times 10^{-6}$ ；

$C$ —流出系数；

$E$ —渐进速度系数；

$D$ —孔板开孔直径，mm；

$F_c$ —相对密度系数；

$\varepsilon$ —可膨胀系数;

$F_z$ —超压缩因子;

$F_T$ —流动温度系数

$P_1$ —孔板上游侧取压孔气流绝对静压, Mpa;

$\Delta p$ —气体流经孔板时产生的差压, pa。

数,其定其中天然气超压缩因子  $F_z$  是天然气特性偏离理想气体定律而导出的修正系义为:  $F_z = \sqrt{\frac{Z_n}{Z_1}}$

式中:  $Z_n$ —天然气在标准状态下的压缩因子;  $Z_1$ —天然气在流动状态下的压缩因子。

## 2、天然气含水补偿

天然气的组分复杂,甚至在天然气输气管道内有液态游离水,即水蒸气达饱和状态。为了精确计量,就必须对天然气流量含量进行含水的补偿。参照日本国家标准 JISM8010-1993《天然スカ计量方法》<sup>[22]</sup>,我们给标准体积流量  $Q_n$  乘上水因子  $F_w$  进行补偿,  $F_w$  定义如下:

$$F_w = (P_f - \Phi \cdot P_{smax}) / P_f$$

式中:  $P_f$ —实测的绝对压力值, Mpa;

$\Phi$ —天然气管线内的相对湿度;

$P_{smax}$ —相应露点温度下的饱和水蒸压, Mpa

根据中国国家标准 GB11605-89《湿度测量方法》中冷凝露点法测量原理<sup>[21]</sup>:用等压冷却的方法使被测气体中的水蒸气开始出现露或霜,测量此时的温度,刚好为该气体的露点。根据该方法提供的相对湿度、绝对湿度、体积比计算式得到相对湿度  $\Phi$  和体积比  $V_j$  的关系式:

$$\Phi = P_0 \cdot P_0 \cdot V_j / [P_f \cdot E_c \cdot (V_j + 1000000)]$$

式中:  $P_0$ —取样期间的大气压值, Mpa

$P_f$ —实测的绝对压力值, Mpa

$E_c$ —气样在相应温度下的饱和水蒸气压值, Mpa

$V_j$ —实测的绝对湿度转换为体积比的值,  $10^{-6}$ 。

$P_{smax}$ —相应露点温度下的饱和水蒸压, Mpa

## 3、流出系数 C 的修正

节流装置在长期使用中,会遭受天然气冲刷、腐蚀。调查表明,特别是对孔板直角入口边缘和测量管内壁的冲刷腐蚀尤为严格,将影响到孔板直角入口边缘圆弧半径  $R_k$  和测量管内壁相对粗糙度  $K/D$  的规定标准,流出系数  $C$  将发生变化,流量测量不确定度超出估计数。为了避免这种超差,必须对流出系数  $C$  修正才能保证流量的精确计量,方法为:将原流出系数  $C$  乘上孔

板尖锐度系数  $b_K$  (由  $R_K$  确定) 或粗糙度系数  $Y_{Re}$  (由  $K/D$  确定), 或同时乘这两个系数 (若两项均出现偏离)。

其中:  $R_K$ —孔板直角入口边缘园弧半径

$K$ —混合物体积参数

### 3.2.1 天然气体积流量计算模块的编制

为了快速计算天然气体积流量, 对天然气参数进行的分类, 分成实时采集参数 (动态) 和预先设定的参数 (静态)。

一、实时采集量: 温度 ( $^{\circ}C$ ), 压力 (Mpa), 差压 (pa), 含水量 (PPm);

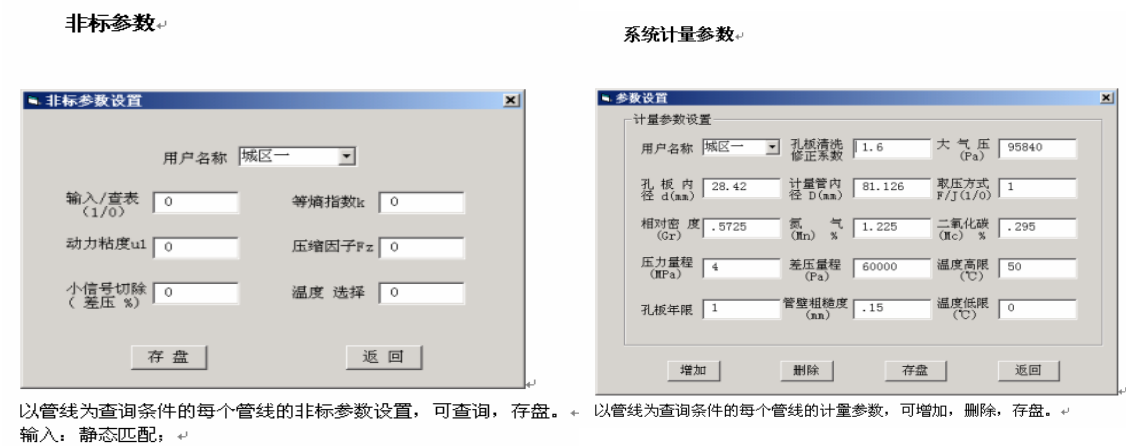


图 3-5 预先设定的参数

二、预先设定的参数, 如图 3-5 所示

- 1、节流孔板阀中的测量管参数 (材料和管径);
- 2、节流孔板阀中的孔板参数 (材料和管径);
- 3、当地大气压值 (Mpa);

4、采用的计量标准 (国家标准、行业标准)——主要影响到压缩因子的计算方法; 采用的计量方法 (角接取压、尘半取压、文丘利管)——主要影响流出系数的计算方法;

5、孔板直角入口边缘圆弧半径  $R_K$ ——用于修正流出系数 (当节流装置遭受磨损时);

### 3.2.2 A/D 采集流量程序编制

外部参数信号要传入计算机, 就必需通过 A/D 采集卡。压力、差压智能变送器和温度传感器的输出为 4~20mA 电流 (以电流为输出是利于远距离传输), 我们在电流线上串接 500  $\Omega$  的万分之一精度的绕线电阻, 将电流转化为

2~10V 电压。

由于采集卡硬件的零点有时会偏移,这就必须针对 16 通道分别进行硬件调零。方法是:用标准的电流源的零点电流 4mA 测出电压的零点  $V_0$ , 把它作为变量零点  $P_0$  的对应的电压值,用标准电流源的 20mA 测出电压的满量程值  $V_F$ , 并把它作为变量满量程  $P_F$  时的电压值。利用  $V_0$ 、 $V_F$ 、 $P_0$ 、 $P_F$  和实测的电压值  $V$  通过差分法求解变量值  $P$ :

$$P=P_0+(V-V_0)/(V_F-V_0)*(P_F-P_0)$$

为了最大程度的减少误差,须对参数进行多次采集,再取平均值作为某一时段瞬时值,同时按照石油天然气行业标准 SY/T6143-1996《天然气的标准孔板计量方法》对天然气进行流量补偿、天然气流出系统的修正。

程序编制算法如下:

1. 天然气流量计量算法:符合 SY/T6143-1996 标准,
2. 流量计量算法(参见 SY/T6143-1996 标准和原流量计量设备驱动构件):

A: 读取流量计量参数;

B: 流量计算参数和公式;

$Q_n$  = 标准状态下天然气体积流量;

$A_s$  = 秒计量系数;

$C$  = 流出系数;

$E$  = 渐进速度系数;

$d$  = 孔板开孔直径;

$F_g$  = 相对密度系数;

$\epsilon$  = 可膨胀系数;

$F_z$  = 超压缩因子;

$F_t$  = 流动温度系数;

$P_1$  = 孔板上流侧取压孔气流绝对静压;

$\Delta P$  = 气流流经孔板时产生的差压;

$$Q_n = A_s * C * E * d * d * F_g * \epsilon * F_z * F_t * \sqrt{P_1 * \Delta P}$$

C: 流量计算流程:

IF 流量计算条件 = TRUE THEN

IF 流量 >= 小流量切除 THEN

获取绝对温度值,大气压值,二氧化碳值,氮气值,相对密度值;

用行业标准或 ISO 标准计算压缩因子;

计算直径比;

查表计算粘度  $\mu$ ;

查表计算甲烷的定压比热  $C_p$ ;

计算可膨胀系数;

查表计算某温度下的饱和水蒸气压力;

计算含水因子  $FM$ ;

排除文丘利管;

计算迭代常数  $A$ ;

迭代计算求  $Q_n$  ;

对流出系数进行孔板尖锐度系数  $b_k$  的修正

对流出系数进行粗糙度系数  $Y_{Re}$  的修正

计算出最终流量;

计算等熵指数、气体粘度、压缩因子、相对密度;

END IF

END IF

流量单位换算(万立方米 -- 立方米)

4: 流量累计算法 (参见 SY/T61434-1996 标准和原流量累计设备驱动构件):

A: 读取流量累计参数;

B: 流量累计参数和公式;

$Q$  = 流量;

$QA$  = 累计流量;

$DT$  = 累计周期;

$QA = QA + DT * Q$ ;

C: 流量累计流程:

时间计数值初始化

判断流量时间单位, 计算累计周期

IF 累计条件 = TRUE THEN

IF 流量  $\geq$  小流量切除 THEN

累计流量 = 累计流量 + 累计周期 \* 流量

END IF

END IF

5: 流量补偿算法;

(1) 仪表维护的流量补偿算法

A: 正常计算, 显示, 保存各检测工况参数和瞬时流量;

B: 不计算累计气量, 显示, 保存累计气量为特定值 (0 或 -1);

C: 维护后, 第  $X$  加 1 周期对累计气量一次补偿;

D: 补偿累计气量 = (维护前 X 次瞬时流量值 + 维护后 X 次瞬时流量值) / 2 \* X \* 仪表维护时间;

(2) 清洗孔板的流量补偿算法

A: 正常计算, 显示, 保存各检测工况参数和瞬时流量;

B: 不计算累计气量, 显示, 保存累计气量为特定值 (0 或-1);

C: 维护后, 第 X 加 1 周期对累计气量一次补偿;

D: 补偿累计气量 = (清洗前 X 次瞬时流量值 + 清洗后 X 次瞬时流量值) / 2 \* X \* 清洗时间 \* 孔板清洗系数;

(3) 系统正常关闭或异常关闭的流量补偿算法

A: 补偿累计气量 = (关闭前 X 次瞬时流量值 + 恢复后 X 次瞬时流量值) / 2 \* X \* 关闭时间;

(4) 系统时间校正的流量补偿算法

A: 补偿累计气量 = (校正前 X 次瞬时流量值 + 校正后 X 次瞬时流量值) / 2 \* X \* (+/-校正时间差);

注: 以上时间应≤4 小时, 否则采用手动补偿的办法。

### 3.2.3 双机热备份检测过程软件编制

双机热备份计量系统由两台工控机组成(分为主机和辅机)。它们的硬件设备完全一样, 包括各自一套 A/D 采集卡, 它们通过 100M 网卡和 100M 网线连接在一起, 网线采用跳线方式, 即主机一端的 8 根网线中的 1、2、3、6 分别对应辅机一端的 3、6、1、2, 双机之间以 TCP/IP 协议进行点对点数据通讯以特别的心跳信息技术进行相互监测。两台工控机同时对从外面引进来的天然气参数信号进行采集和模数转换。在缺省情况下, 由主机完成与服务器之间的通讯(包括心跳信息和实时数据的传输)和每日的生产数据报表的生成和打印功能。当双机系统中的任何一台计算机工作失败, 另外一台立即切换为主机, 这时, 该主机就以自身 A/D 采集卡得到的数据为准进行流量计算, 并承担主机的所有任务。当工作人员排除故障并重新启动后, 又将恢复到正常的工作状态。

心跳信息技术: 定时检测一个全局变量是否在变化, 如果在规定的片段内没有变化, 就判定对方死亡的一种方法。图 3-3 显示了辅机感知主机的心跳情况。

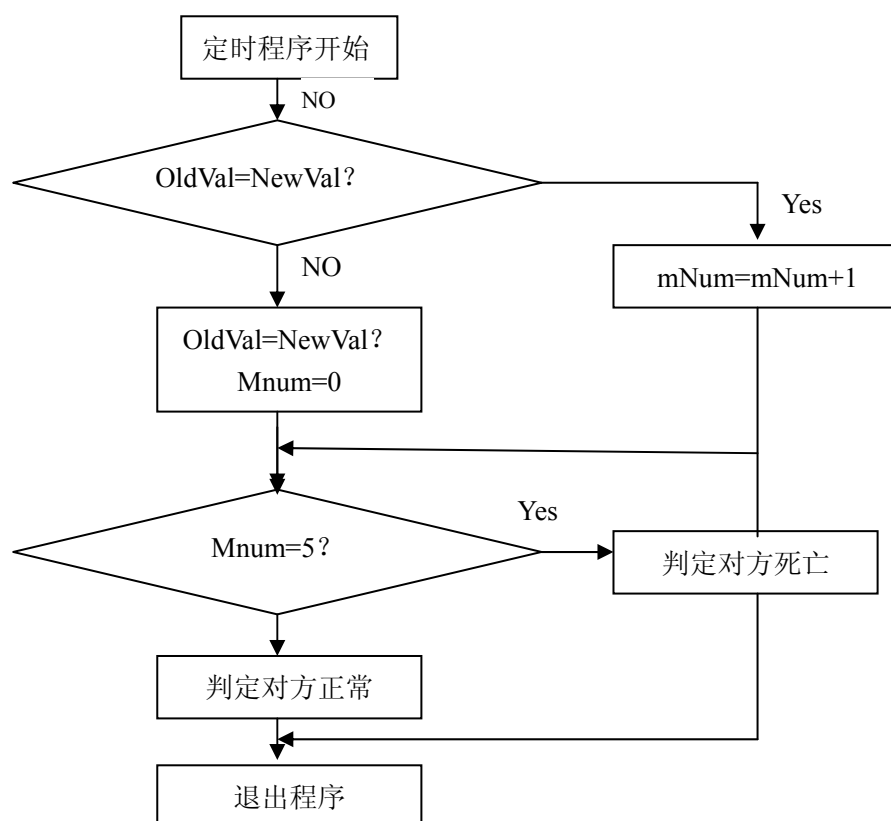


图 3-3 心跳信息检测过程

当主辅机都正常工作时，计算天然气体积流量的参数必须从主机和辅机 A/D 卡采集的数据中进行取舍。我们采用这样的原则：当主辅机的数据几乎相等时，以主机的数据为准；当主辅机的数据相差较大时，看哪一个符合实际情况，如果都符合，也以主机数据为准，如果主机数据偏差太大，超出正常值范围，而辅机的数据在正常值范围内，则以辅机数据为准。当双机中有一台工作失败，另一台自动转换为主机，执行主机任务，这时流量的参数就以本机的数据为准。

由于我们采用主辅机都进行流量计算、累积、存盘等操作，所以当主机失败时，辅机能够迅速接替主机的工作，延时几乎很短。实现了现场工作站双机系统与服务器的实时数据的传输过程。

### 3.3 监控计量系统数据库管理

#### 一、报表处理

报表的意义：将庞大的数据库内容浓缩和汇总，生成各种一目了然的数

据表格，它使上层领导在全球上快速把握天然气产、供，销的运行情况，便于决策和分析。报表的生成完全由计算机自动完成，它极大地减轻劳动工作量和劳动强度，提高办事效率，和办公自动化程度。报表有生产监控型、实验监控型两种通用报表，顺南天然气输配站现场能够连续稳定的长时间运行，设备是以秒级进行定时采集，以秒级进行实时刷新，以秒级进行定时且连续存盘并需要多次数据提取。

主要报表类型：监控型系统报表的主要特点是进行定期统计和打印，有年报表、月报表和日报表等形式。一个日报表有 24 条记录，一个月报表有 31 条记录，一个年报表有 12 条记录。

- 1、数据来源：选择“MCGS组对象对应的存盘数据表”，选择“存盘数据组”；
- 2、数据选择：将“温度1”～“温度3”，“压力1”～“压力3”，从左侧添加到右侧；
- 3、数据输出：选中“数据输出到MCGS的存盘数据库”，将“数据表名”设置为“日报表”。
- 4、时间条件：“时间列名” 设置为“MCGS\_Time”，“天的分割时间点” 设置为“8时0分”，选取“提取前一天所存盘的数据”；
- 5、数据源：选取“Access数据库文件”，设置“D:\MCGS\Work\单页历史报表D.MDB”，选择“日报表”如左下图所示；
- 6、数据列设置：单击“自动查找”搜索所有的变量名称，若包含“MCGS-TimeMS”，如下图所示：



图 3-4 数据源配置

- 7、时间条件：选择“时间列名”为 MCGS-Time；
- 至此，日报表的组态工作已全部结束，运行该工程，每日8时将自动打印该报表，格式是每小时取一次平均值，每日24个数据。
- 月报表的组态过程与此类似，可以在日报表数据的基础上以日为间隔进行二次提取，每月一日定时提取打印。

3.4 监控系统的实现

3.4.1 流量计量参数设置

一、输入数据属性设置

输入数据设置属性是配合存盘数据库和输出数据属性使用的。为存盘数据库和输出数据提供处理后的输入数据，如图3-5所示。

二、存盘数据库属性设置

存盘数据库属性用以设置实时报表存盘数据的保存方式，存盘间隔和保存时间，如图 3-6 所示。



图 3-5 输入数据属性设置

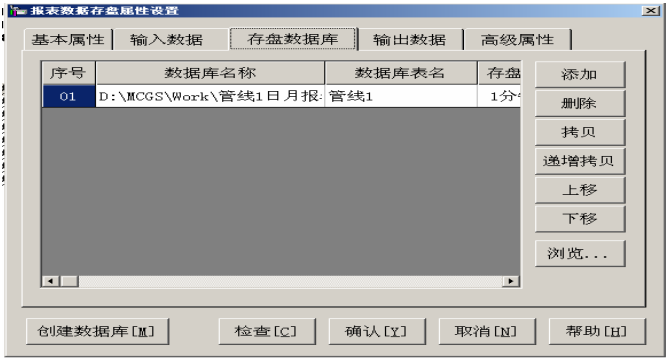


图 3-6 存盘数据库属性设置

三、输出数据属性设置

指定本输出通道连接到的实时数据库对象。可以直接在表格中输入数据对象的名字，也可使用鼠标右键来弹出数据对象浏览对话框，进行选择。如图 3-7 所示



图 3-7 输出数据属性设置

四、高级属性设置

高级属性设置用于设置数据补偿的相关参数如图 3-8 所示。停机重起进入系统时自动进行补算：运行环境退出，重新启动后，构件自动执行数据的补算处理和相关操作。条件补算：使用条件补算时，需要输入条件表达式，表达式为真时，才进行补算。补算时间范围：设置补算的时间范围，单位为小时，停机的时间长度超过这个范围后，不进行补算。

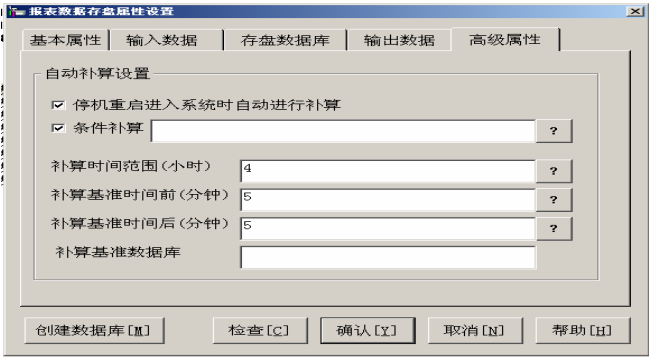


图 3-8 输出数据属性设置

3. 4. 2 监控系统的实现

样例工程：天然气计量系统.MCG。

1、流程全貌：



图 3-9 顺南输配站流程全貌

2、计量监控系统



图 3-10 计量监控系统

3、管线运行状态：



图 3-11 管线运行状态

4、报警监控



图 3-12 报警监控

5、管线计量报表的生成：

Microsoft Access

文件(F) 编辑(E) 视图(V) 插入(I) 格式(O) 记录(R) 工具(T) 窗口(W) 帮助(H)

全部粘贴(P) 项目(O) -

管线1\_MCGS: 表

|  | MCGS_Time          | MCGS_TimeMS | 管线1_压力    | 管线1_差压    | 管线1_温度  | 管线1_工作时间 | 管线1_瞬时流量 | 管线1_日累计流 | 管线1_月累计流 |
|--|--------------------|-------------|-----------|-----------|---------|----------|----------|----------|----------|
|  | 2004-4-12 15:14:05 | 160         | 1.83181   | 1.83181   | 2.83181 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:05    | 161         | .908521   | .908521   | 1.90852 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:06    | 163         | .209806   | .209806   | 1.20981 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:07    | 164         | .00648751 | .00648751 | 1.00649 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:08    | 166         | .373629   | .373629   | 1.37363 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:09    | 217         | 1.17468   | 1.17468   | 2.17468 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:10    | 218         | 2.09749   | 2.09749   | 3.09749 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:11    | 290         | 2.794     | 2.794     | 3.794   | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:12    | 291         | 2.9928    | 2.9928    | 3.9928  | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:13    | 343         | 2.62141   | 2.62141   | 3.62141 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:14    | 344         | 1.81801   | 1.81801   | 2.81801 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:15    | 406         | .895557   | .895557   | 1.89556 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:16    | 407         | .204074   | .204074   | 1.20407 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:17    | 471         | .00796394 | .00796394 | 1.00796 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:18    | 472         | .383644   | .383644   | 1.38364 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:19    | 534         | 1.18573   | 1.18573   | 2.18573 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:20    | 535         | 2.11129   | 2.11129   | 3.11129 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:21    | 607         | 2.79968   | 2.79968   | 3.79968 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:22    | 608         | 2.99125   | 2.99125   | 3.99125 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:23    | 650         | 2.61134   | 2.61134   | 3.61134 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:24    | 651         | 1.80695   | 1.80695   | 2.80695 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:25    | 713         | .881787   | .881787   | 1.88179 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:26    | 714         | .196546   | .196546   | 1.19655 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:27    | 766         | .00917022 | .00917022 | 1.00917 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:38    | 732         | .275528   | .275528   | 1.27553 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:39    | 734         | 1.02221   | 1.02221   | 2.02221 | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:40    | 735         | 1.9492    | 1.9492    | 2.9492  | 789      | 1        | 0        | 0        |
|  | 4-4-12 15:14:41    | 737         | 2.70686   | 2.70686   | 3.70686 | 789      | 1        | 0        | 0        |

图 3-13 管线计量报表

用 MCGS 组态软件监控各条管线内天然气体积流量的计算机网络系统，能及时反映各个测试点的实时流量情况，保证了天然气计量的高精度，高可靠性和实时性。

3.5 小结

本章给出了顺南天然气输配站计算机监控软件的总体结构，据国际标准天然因子，体积流量算法和补偿技术用 MCGS 组态软件对天然气计量进行脚本程序设计，对双机热备份检测过程进行软件编制，对计量监控系统进行数据库管理，便于快速把握天然气产、供、销的运行情况和分析决策。

## 第四章 顺南天然气输配管网仿真监控

### 4.1 天然气输配管网仿真监控

顺南天然气输配管网实际结构各部分之间的联系如图 4-1 所示：高压管网起到调节气量和气压的作用，其中管道富丽线的输气量为 27.6 万方/天，压力为 5.9Mpa；中压管网通过石河站、金山站、南雅中压调压器和亭子中压调压器供气，16.9 万方/天，低压站马家站通过的气量分别（0.12 万方/天和 0.31 万方/天），作用不是很明显。



图 4-1 管网实际结构

在天然气输配管网系统运行的过程中，一方面要接收调压站的来气，另一方面要将气体输送到用户，由于部分节点用户用气量的变化，对整个管道系统各节点压力和输入、输出量带来一定的影响，使得管道中的流量与储气量也随着变化；因此为了研究天然气在输气管内的运行规律，为了完成一定的输气生产任务，为了选择一种技术上可行，经济上合理的优化运行方案，为了提高管道系统的优化运行，利用数值分析法中的雅可比矩阵和特征线法，采用节点压力法，气量的平衡方程，建立天然气输配管网中稳态/动态仿真数学模型，采用 MCGS 工控软件对“顺南天然气输配站”的管网系统进行仿真分析，模拟计算结果与实例数据基本吻合，正常误差最大为 3%。

## 4.2 天然气输配管网的稳态仿真

如图 4-2 所示，天然气管网是由节点和节点连接元件构成的有向图，节点是系统的压力参考点，进出气点或元件连接点，用节点压力和节点输入来描述；管网系统通过节点同外界联系（用户、气源），元件是连接于节点间的输送设备，用来传输介质的输气管道、调节阀、压缩机等，它们实现了待定的输气管道的工艺要求。

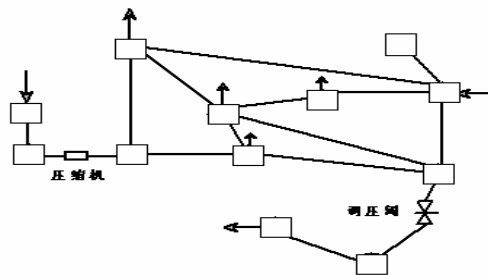


图 4—2 天然气网管节点和元件有向图

### 一、元件的模型：

对于系统中各处元件，可写出它们的稳态分析模型，它们是以节点压力的自变量的元件通过量的表达式。

#### 1、管道模型

简单输气管道的基本公式为：

$$M = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{(P_Q^2 - P_Z^2)}{ZRT(\lambda \frac{L}{D} + 2 \ln \frac{P_Q}{P_Z})}} \quad \text{公式 (4-1)}$$

式中 M——天然气质量流量，kg/s

$P_Q$ ——输气管道计算起点压力，Pa

$P_Z$ ——输气管道计算终点压力，Pa

D——管道内径，m

$\lambda$ ——水力摩阻系数

Z——天然气压缩系数

R——天然气的气体常数， $\text{m}_2/(\text{s}_2.\text{k})$ ；

T——天然气的平均温度，K

L——输气管道计算段的长度，m

## 2、压缩机模型

天然气经过压缩机，其进、出口压力、流量以及压缩机功率之间满足方程：

$$H_p = M \left( K_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{k_3} - K_2 \right) \quad \text{公式(4-2)}$$

式中  $H_p$ ——压缩机功率，W；  
 $M$ ——压缩机排量，kg/s；  
 $p_1$ 、 $p_2$ ——压缩机进出口压力，Pa；  
 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ ——与压缩机特性有关的参数，

## 3、调压阀模型

$$M = K_0 \sqrt{p_1(p_1 - p_2)} \quad \text{公式(4-3)}$$

式中  $M$ ——经过调压阀的天然气流量，kg/s；  
 $K_0$ ——调压阀系数，kg/s\*Pa；  
 $p_1$ 、 $p_2$ ——天然气进、出阀压力，Pa。

## 4、止回阀模型

止回阀只允许天然气单向流过，其模型由下式描述：

当  $p_1 > p_2$  时，

$$M = \sqrt{K_0(p_1^2 - p_2^2)} \quad \text{公式(4-4)}$$

当  $p_1 \leq p_2$  时，

$$M = 0$$

式中  $M$ ——经过阀的天然气流量，kg/s；  
 $K_0$ ——止回阀阻力系数， $\text{kg}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-2}$ ；  
 $p_1$ 、 $p_2$ ——天然气进、出阀压力，Pa。

## 5、一般阻力元件模型

$$M = \sqrt{K_0(p_1^2 - p_2^2)} \quad \text{公式(4-5)}$$

式中  $M$ ——经过阀的天然气流量，kg/s；  
 $K_0$ ——装置阻力系数， $\text{kg}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-2}$

$P_1, P_2$ —天然气进、出阻力装置压力, Pa。

## 6、站场模型

$$P_2 = P_1 - \Delta P \quad \text{公式(4-6)}$$

$$M_2 = M_1 - \Delta M$$

式中  $P_1, P_2$ —站场进、出口压力, Pa;

$M_1, M_2$ —站进场、出口流量, kg/s;

$\Delta P$ —站场压力损失, Pa;

$\Delta M$ —站场流量损失, kg/s。

## 二、天然气管网静态仿真数值计算

在计算中, 为了简化, 常将气体的流动按稳定流动计算, 即指管道内流动状态与时间无关。所谓“静态仿真”是指系统状态与时间无关的工况模拟。而“动态仿真”是指系统状态与时间有关的非稳态工况模拟。

1. 系统模型: 节点压力法以节点压力为待求量, 根据节点的连续性原理即进出节点的流量总和为零建立系统模型——非线性代数方程组, 方程的个数等于系数中节点的个数。结合图 4-3 进行说明。规定流出点流量为负号, 流入节点流量为正号, 则其节点流量平衡方程为:

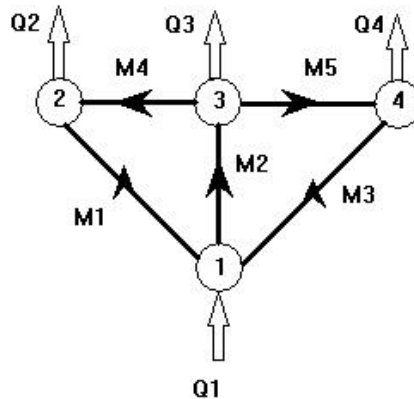


图 4-3 进出节点的流量系统模型

### (1) 节点连续性方程

$$\sum M_i = 0 \quad \text{公式(4-7)}$$

式中:  $n$  为该节点所连接的元件总数;

$i$  为节点所连元件号,  $i=0 \sim n$ ;

$M_i$ : 为元件  $i$  流入或流传流出节点的质量流量, 流出为负。

该方程反映了节点的质量守恒关系, 即同一时刻进出节点的气体总量零。

$$M_1 - M_2 - M_3 + Q_1 = 0$$

$$M_1 + M_4 - Q_2 = 0$$

$$M_2 - M_4 - M_5 - Q_3 = 0$$

$$M_3 + M_5 - Q_4 = 0$$

将公式 (4-1) 代入上面方程组, 可得到一个关于 4 个节点压力和流入 (出) 量共 8 个变量的方程组。

同理, 对于有几个节点的管道系统, 节点流量平衡方程组可写成如下形式:

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} M_{ij} + Q_i = 0 \quad \text{式(4-8)}$$

式中:  $Q_i$ ——输入节点的流量, kg/s;

$M_{ij}$ ——通过  $i$ 、 $j$  节点间管内流量绝对值, kg/s 且  $M_{ij} = M_{ji}$ ;

$a_{ij}$ ——系数, 若流量从  $i$  节点流向  $j$  节点  $a_{ij} = -1$ ; 若流量从  $j$  节点流向  $i$  节时,  $a_{ij} = 1$ ; 若  $ij$  节点在无管道连接时,  $a_{ij} = 0$

将公式 (4-1) 代入式 (4-8) 后, 分析式 (4-8) 可看出, 对于有  $N$  个节点的管道系统, 考虑每一个节点的压力  $P_i$  和输入 (出) 量  $Q_i$ , 共有  $2N$  个未知变量, 须指出的是, 如果管道系统含非管元件时, 必须考虑它们对管道系统流量的影响。

## 二、模型分析和解模方法:

### 1. 解模条件

设式 (4-8) 的个数为  $N$ , 因此, 方程组中未知量的个数最多只能是  $N$  时才能使得式 (4-8) 封闭和有解。根据实际管网系统, 只会在下列情况下才使得方程组式 (4-8) 有解且解有效。

1) 已知各节点输入 (出) 流量  $Q_i$ , 各节点压力未知。此时, 可通过前面元件模型, 方程组公式 (4-8) 变为系统关于系统节点压力的一组封闭的非线性方程组。

2) 已知部分节点压力和另外其余节点输出 (入) 流量  $Q_i$ , 元件模型方

程组公式（4---8）变为关于系统节点未知压力和未知输出（入）流量的封闭非线性方程组。

3) 系统节点未知压力和输出（入）流量的个数大于系统节点总数，其大于的数值必须小于或等于已知流量  $Q_{ij}$  的管道个数，此时根据方程组和已知的  $Q_{ij}$ ，消除多余的节点未知压力个数，保证非线性方程式（4---8）的封闭性和解的唯一性。

## 2. 解模方法

管网系统稳态分析模型实际上是一个与系统特征和规模有关的非线性方程组。求解模型实际上是求解非线性方程组。求解非线性方程组在数学上也是一个很复杂的问题，虽然方法很多，但却没有一种特别有效的方法，这主要是由于问题的求解与迭代初值有关密切的关系。随着方程组维数的增加，初值就很难给好。这里我们采用广义阻尼牛顿一拉夫逊法求解，通过对阻尼系数的选取来放宽对迭代初值的要求。

设非线性方程组的一般形式为：

$$F_j(x)=0$$

其中， $X = (X_1, X_2, \dots, X_N)^T$ ，它是关于待求知量组成的  $N$  维空间向量。

$$X^{(K)} = X^{(K-1)} - \xi^{(K)} \delta X^{(K-1)} \quad \text{公式 (4-9)}$$

式中： $X^{(K)}$  ——关于  $X$  的第  $K$  次迭代值；

$\xi^{(K)}$  ——第  $K$  次迭代阻尼矩阵。

$$\xi^{(K)} = \begin{bmatrix} \xi_1, 0, 0, \dots, 0 \\ 0, \xi_2, 0, \dots, 0 \\ \dots \dots \dots \\ 0, 0, 0, \dots, \xi_N \end{bmatrix} \quad \text{式 (4-10)}$$

$\delta X^{(K-1)}$  由下面线性方程组求得：

$$J^{(K-1)} \delta X^{(K-1)} = F^{(K-1)} \quad \text{式 (4-11)}$$

其中  $F^{(K-1)} = (F_1, F_2, \dots, F_N)^T$ ，它是关于  $N$  维的函数向量：

$J$  为迭代函数列  $F$  对迭代变量的 Jacobi 矩阵，形式如下：

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial \chi_1} & \cdots & \frac{\partial F_1}{\partial \chi_N} \\ \frac{\partial F_2}{\partial \chi_1} & \cdots & \frac{\partial F_2}{\partial \chi_N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial F_N}{\partial \chi_1} & \cdots & \frac{\partial F_N}{\partial \chi_N} \end{bmatrix} \quad \text{式(4-11a)}$$

- 1) 选定迭代初值  $X^{(0)} = (X_1, X_2 \cdots X_N)^T$ ，计算函数列  $F^{(K-1)} = (F_1, F_2 \cdots F_N)^T$  和雅可比矩阵  $J$ ；
- 2) 按式 (4-11) 式计算出  $\delta X^{(K-1)}$ ，然后代入公式 (4-9) 式得出新的近似值  $X^{(K)}$ ；
- 3) 如果  $\|\delta X^{(K-1)}\|$  或  $\|F^{(K)}\|$  小于给定的精度，则迭代终止，以  $X^{(K)}$  作为问题的解，否则进入 4)；
- 4) 如果迭代次数超出给定的次数，或雅可比矩阵奇异，则迭代失败，需对初值进行修正或修改数据文件；否则，以  $X^{(K)}$  重新计算函数列和雅可比矩阵，转入 2) 继续迭代。

由于 **Jacobi** 矩阵每行、每列所含非零元的个数与对应节点所连接的元件数相等，一般管道系统节点所连接的元件数不会很多，因此，**Jacobi** 矩阵是稀疏矩阵。如果按照通常存贮方法，当管网系统规模很大时，就需要大量的存贮单元来存放零元，使得计算机存贮单元的有效性降低，由于管网系统分布的随机性，**Jacobi** 矩阵是无对角优势的稀疏矩阵，采用主元原位消元，并引进快速消元和高速消元两种方法，扩大分析规模，加快求解速度，在具体求解式 (4-10) 时，还会由于每步需要选主元而访问大量的零元使得计算时间增加。针对这些情况，我们在求解式 (4-10) 时，应用模拟定序、符号 **LU** 分解、重选主元以及回代过程等步骤来求解线性方程组扩大了分析规模，缩短了计算时间。

公式 (4-9) 是仿真条件或目标，改变  $X^{(K)}$  的值，可实现不同的计算目标。这样就将天然气管网静态流动化为——非线性代数方程组，解此方程组就实现特定目标的静态仿真。

图 4-4 给出了计算程序框图：

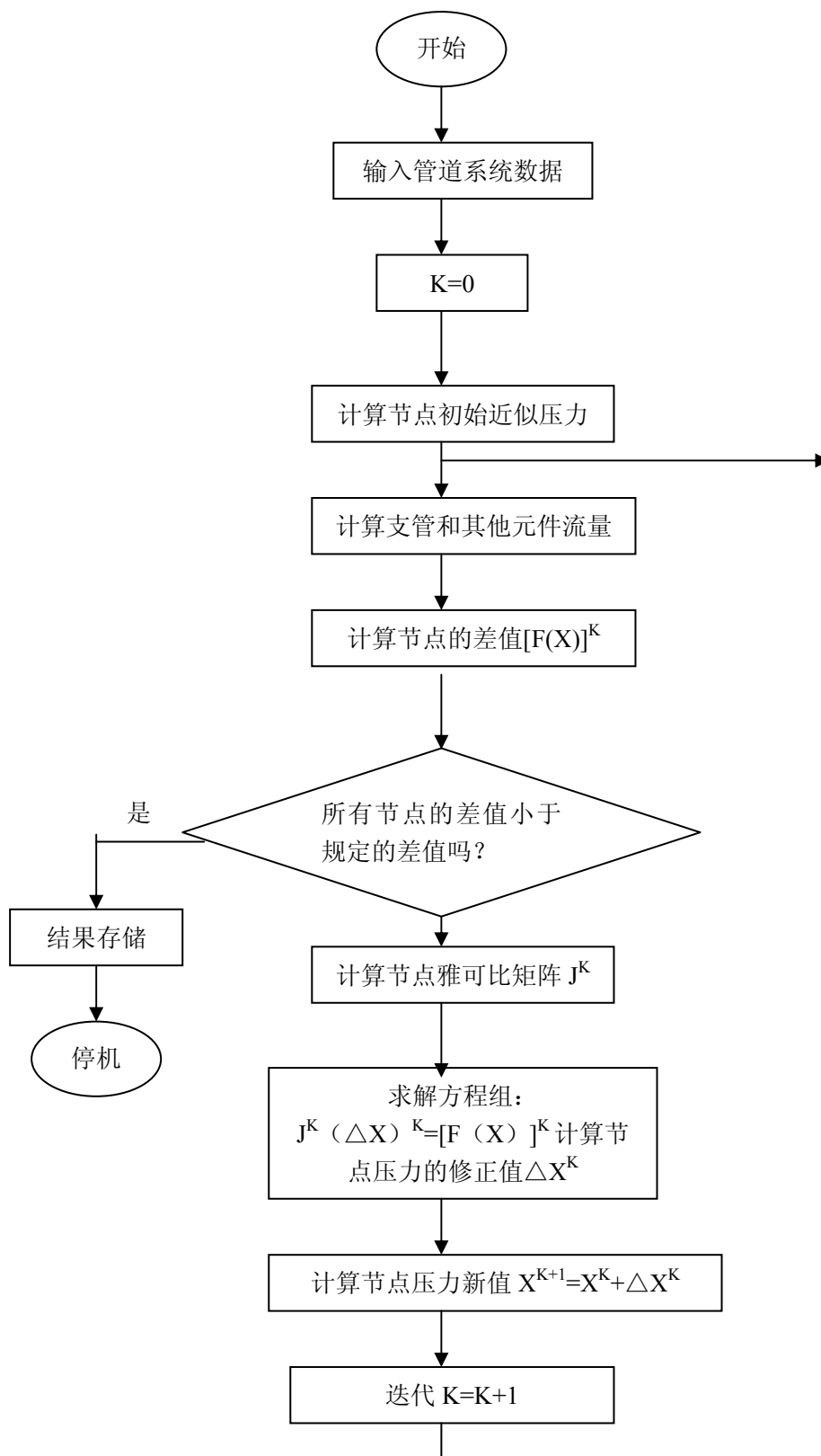


图 4-4 计算程序框图

### 4.3 天然气管网动态仿真数值计算

天然气在不同输气管中的流动在许多情况下是不稳定的，即随时间而变化，其压力和流量随时间在输气管沿线不断发生变化。天然气在管网中不稳定流动问题可以采用各种数值解法并借助计算机来进行有效的分析，目前广泛采用的数值法的特征线法、显式法和隐式有限差分法等。

特征线法是从纳维—斯托克斯方程（Navier-Stokes 方程）和连续性方程出发，结合流体实际流态状况及摩擦损失函数等，可以处理复杂的边界条件，即可以处理层流，又可以处理紊流摩阻损失及局部损失。该方法的实质是基于描述流体管路瞬态特性的基本方程具有满足一阶双曲型拟线性偏微分方程这一特有性质，引入特征方向将偏微分方程转化为常微分方程的求解方法。

它不要求解庞大的非线性方程组，便于求解，计算机编程方便，并具有足够高的计算精度，所以它成为研究天然气管网系统动态性能的一种有效方法。

#### 4.3.1 在动态计算中的数学模型

数学模型是一种借助于数学模型从定量方面与定性方面来描述各种过程的方法。应用数学模型时，要把实际的工艺过程进行简化，概括，然后用数学方法对所得到的工艺过程的模型进行描述。在这种模型中应考虑所有本质的因素，而不应堆砌许多数学分析复杂化和与实际应用无关的细节。决不能忽略的是：输配管路系统的参数应该根据实际操作数据和实验数据确定。在有关干线输气管的不稳定过程分析的著作中，天然气在输配管道内的流动，通常采用的是下列方程组。

$$F \cdot \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad \text{公式(4-11a)}$$

$$F \cdot \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\lambda M |M|}{2D\rho F} + \rho g F \frac{dZ}{dx} = 0 \quad \text{公式(4-11b)}$$

$$P/\rho = ZRT \quad \text{公式(4-11c)}$$

式中  $F$ ：管道流通截面积， $\text{m}^2$ ；

$\rho$ ：天然气密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$D$ ：管径， $\text{m}$ ；

T: 天然气温度, K;

Z: 压缩系数;

t: 时间, S;

M: 天然气质量流量, kg/s;

$\lambda$ : 水力摩阻系数;

x: 管长变量, m;

P: 天然气绝对压力, Pa;

g: 重力加速度, m/s<sup>2</sup>;

Z: 管道高程, m。

公式 (4—11a) 式表示的是气量的平衡。

公式 (4—11b) 式考虑了消耗的能量损失、克服管路高差的能量损失、以及克服惯性阻力的能量损失。

公式 (4—11c) 式为气体的状态方程。

为简化此方程组, 我们引入一个系数 $\alpha$ 称为压力波传播速度:

$$\alpha^2 = ZRT \quad \text{公式 (4-12)}$$

式中: R——摩尔气体常数

把公式 (4—12) 式带入公式 (4—11c) 中, 可得;

$$\rho = P / \alpha^2 \quad \text{公式 (4-13)}$$

把公式 (4—13) 带入公式 (4—11a)、公式 (4—11b) 中, 可得:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\alpha^2}{F} \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad \text{公式 (4-14a)}$$

$$\frac{1}{F} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\lambda \alpha^2 M |M|}{2DF^2 p} + \frac{pg}{\alpha^2} \sin \theta = 0 \quad \text{公式 (4-14b)}$$

式中  $\theta$ : 管道与水平面间的夹角。

公式 (4—14) 式即为天然气在管道内瞬态流动特性的动力学方程。

为求解实际问题, 一般给定初始条件和边界条件<sup>[31]</sup>

(1) 初始条件: 就是所给定的初始时刻的压力分布, 例如:

$$P(x, 0) = P_0(x) \quad \text{式 (4-15)}$$

(2) 边界条件: 就是所给定的在输气管两端的压力或流量随时间的变化。根

据不同的实际问题，边界条件可以取以下几种组合方式：

1) 给定  $x=0$  和  $x=l$  处的压力随时间的变化：

$$P(0,t)=P_0(t); P(l,t)=P_1(t) \quad \text{式(4-16)}$$

2) 给定  $x=0$  和  $x=l$  处的流量随时间的变化：

$$M(0,t)=M_0(t); M(l,t)=M_1(t) \quad \text{式(4-17)}$$

3) 在输气管的一端给定压力（或流量）随时间的变化，而在另一端给定流量（或压力）随时间的变化：

$$P(0,t)=P_0(t); M(l,t)=M_1(t) \quad \text{式(4-18a)}$$

$$\text{或} \quad M(0,t)=M_0(t); P(l,t)=P_1(t) \quad \text{式(4-18b)}$$

上述方程组可用来描述简单输气管中气体不稳定流动的各种情况。除此之外，该方程还可用来研究沿线有集中分气或进气的这样复杂输气管中的种种过程。

在这种情况下，从一个分气点到另一个分气点之间的每一管段都要用有各自初始条件、边界条件和方程组来加以描述，同时，各管段边界处的条件必须一致。

#### 4.3.2. 特征线法的数学原理

设方程组为

$$\begin{cases} a_{11} \frac{\partial u}{\partial t} + a_{12} \frac{\partial v}{\partial t} + b_{11} \frac{\partial u}{\partial x} + b_{12} \frac{\partial v}{\partial x} = g_1 \\ a_{21} \frac{\partial u}{\partial t} + a_{22} \frac{\partial v}{\partial t} + b_{21} \frac{\partial u}{\partial x} + b_{22} \frac{\partial v}{\partial x} = g_2 \end{cases}$$

式(4-19)

式中  $u=u(x,t)$ ,  $v=v(x,t)$  是因变量,  $x, t$  是自变量。系数  $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$  都是  $x, t, u, v$  的函数，且：

$$\frac{a_{11}}{a_{21}} \neq \frac{a_{12}}{a_{22}} \neq \frac{b_{11}}{b_{21}} \neq \frac{b_{12}}{b_{22}} \neq \frac{g_1}{g_2} \quad \text{式(4-20)}$$

式(4-19)是拟线性的。求解该方程的困难是它包含有两个方向 ( $x, t$ ) 的导数。如果我们在  $x, t$  平面内找到两个方向使沿这两个方向上式 (4-19) 式变为常微分方程，我们就可以分别沿这两个方向积分求解。

设沿特征方向可求得  $\mu$  及  $\nu$ ，则：

$$\begin{cases} du = \frac{\partial u}{\partial t} dt + \frac{\partial u}{\partial x} dx \\ dv = \frac{\partial v}{\partial t} dt + \frac{\partial v}{\partial x} dx \end{cases} \quad \text{式(4-21)}$$

式(4-19)和式(4-21)联立得方程组式(4-22)式。

由于沿特征方向  $\frac{\partial \mu}{\partial t}$  ,  $\frac{\partial \mu}{\partial x}$  ,  $\frac{\partial v}{\partial t}$  及  $\frac{\partial v}{\partial x}$  不能唯一确定, 且对应系数比不相等, 所以方程组式(4-22)中偏导数的系数行列式  $\Delta=0$ , 可得式

$$\begin{cases} a_{11} \frac{\partial u}{\partial t} + a_{12} \frac{\partial v}{\partial t} + b_{11} \frac{\partial u}{\partial x} + b_{12} \frac{\partial v}{\partial x} = g_1 \\ a_{21} \frac{\partial u}{\partial t} + a_{22} \frac{\partial v}{\partial t} + b_{21} \frac{\partial u}{\partial x} + b_{22} \frac{\partial v}{\partial x} = g_2 \\ dt \frac{\partial u}{\partial t} + 0 + dx \frac{\partial u}{\partial x} + 0 = du \\ 0 + dt \frac{\partial v}{\partial t} + 0 + dx \frac{\partial v}{\partial x} = dv \end{cases} \quad \text{式(4-22)}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & b_{11} & b_{12} \\ a_{21} & a_{22} & b_{21} & b_{22} \\ dt & 0 & dx & 0 \\ 0 & dt & 0 & dx \end{vmatrix} = 0 \quad \text{式(4-23a)}$$

式(4-23a)将其第一列乘  $dx$  减第三列乘  $dt$  作为新的一列, 再以第二列乘  $dx$  减第四列乘  $dt$  作为新的第二列, 化简可得式(4-23b)式:

$$\begin{vmatrix} a_{11}dx - b_{11}dt & a_{12}dx - b_{12}dt \\ dx - b_{21}dt & a_{11}dx - b_{22}dt \end{vmatrix} = 0 \quad \text{式(4-23b)}$$

令特征方向为  $dx/dt=k(x,t,\mu,v)$ , 则:

$$\begin{vmatrix} a_{11}k - b_{11} & a_{12}k - b_{12} \\ a_{21}k - b_{21} & a_{22}k - b_{22} \end{vmatrix} = 0 \quad \text{式(2-23c)}$$

展开后得:

$$Hk^2 + Mk + N = 0 \quad \text{式(4-24)}$$

式中

$$H = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}$$

$$N = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{vmatrix}$$

$$M = -H - N$$

研究一下式 (4-24):

(1) 当  $M^2 - 4HN < 0$  时  $k$  无实根, 即无特征方向, 方程为椭圆型;

(2) 当  $M^2 - 4HN = 0$  时  $K$  有一个实根, 即只有一个特征方向, 方程为抛物型;

(3) 当  $M^2 - 4HN > 0$  时  $K$  有两个实根, 即存在两个特殊性征方向, 方程为双曲型; 即一阶拟线性双曲型偏微分方程将存在两族特征线方向各为:

$$dx/dt = k_i \quad (i=1,2)$$

由于沿特征方向上, 函数  $\mu$  及  $v$  可以唯一确定, 其偏导存在, 因而有  $\Delta 1 = 0$

( $I=1,2,3,4$ ), 因为这四个系数行列是等价的, 可以任取, 如取  $I=3$ , 则:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & g_1 & b_{12} \\ a_{21} & a_{22} & g_2 & b_{22} \\ dt & 0 & du & 0 \\ 0 & dt & dv & dx \end{vmatrix} = 0$$

第一列乘  $d\mu$  加上第二列乘  $dv$  减三列乘  $dt$  作为新的一列, 再以第二列乘  $dx$  第四列乘  $dt$  作为新的第二列, 化简可得:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_{11}d\mu + a_{12}dv - g_1dt & a_{12}dx - b_{12}dt \\ a_{21}d\mu + a_{22}dv - g_2dt & a_{22}dx - b_{22}dt \end{vmatrix} = 0$$

展开之得特征线上的特征关系为:

$$(k_i H + D) d\mu + E dv + F dt + G dx = 0 \quad \text{式 (4-25)}$$

式中

$$H = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \quad D = \begin{vmatrix} b_{12} & a_{11} \\ b_{22} & a_{21} \end{vmatrix} \quad E = \begin{vmatrix} b_{12} & a_{12} \\ b_{22} & a_{22} \end{vmatrix}$$

$$F = \begin{vmatrix} g_1 & b_{12} \\ g_2 & b_{22} \end{vmatrix} \quad G = \begin{vmatrix} a_{12} & g_1 \\ a_{22} & g_2 \end{vmatrix}$$

由此我们得四个常微分方程:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = K_i \\ (K_i H + D)du + Edv + Fdt + Gdx = 0 \end{cases} \quad \text{式(4-26)}$$

这样我们将求解有两个变量的一阶拟线性双曲型偏微分方程问题转化为求解  $x, t$  平面上的两族特征方向及沿此方向的特征关系式的问题。

#### 4.3.3 基于特征线法的动态仿真计算

将式(4-14a)和式(4-14b)分别改写成如下形式:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + 0 + 0 + \frac{\alpha^2}{F} \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad \text{式(4-27)}$$

$$0 + \frac{1}{F} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + 0 = - \frac{\lambda \alpha^2 M |M|}{2DF^2 P} - \frac{pg}{\alpha^2} \sin \theta \quad \text{式(4-28)}$$

与式(4-21)比较, 得:  $a_{11}=1, a_{12}=0, b_{11}=0, b_{12}=a^2/F, g_1=0,$

$$a_{21}=0, a_{22}=1/F, b_{21}=1, b_{22}=0, g_2 = - \frac{\lambda \alpha^2 M |M|}{2DF^2 P} - \frac{pg}{\alpha^2} \sin \theta, \mu=P; v=M$$

由此可算得:

$$\begin{aligned} H &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = 1/F & N &= \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{vmatrix} = -\alpha^2/F \\ M &= - \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = 0 & G &= \begin{vmatrix} a_{12} & g_1 \\ a_{22} & g_2 \end{vmatrix} = 0 \\ D &= \begin{vmatrix} b_{12} & a_{11} \\ b_{21} & a_{21} \end{vmatrix} = 0 & E &= \begin{vmatrix} b_{12} & a_{12} \\ b_{22} & a_{22} \end{vmatrix} = a^2/F^2 \\ F &= \begin{vmatrix} g_1 & b_{12} \\ g_2 & b_{22} \end{vmatrix} = \frac{\lambda \alpha^2 M |M|}{2DF^2 P} - \frac{pg}{\alpha^2} \sin \theta \\ Ki &= \frac{-M \pm \sqrt{M^2 - 4HN}}{2H} = \pm \alpha \end{aligned} \quad \text{式(4-29)}$$

所以我们求得两个特征方向为:

$$C_L: dx/dt=k_1=+\alpha$$

$$C_R: dx/dt=K_2=-\alpha \quad \text{式(4-30)}$$

由此我们得特征线法求解管道内天然气瞬态特性的四个常微分方程:

$$C_L: \begin{cases} Z \frac{dM}{dt} + \frac{dp}{dt} + f(t) = 0 \\ \frac{dx}{dt} = \alpha \end{cases} \quad \text{式(4-31)}$$

$$C_R: \begin{cases} Z \frac{dM}{dt} - \frac{dp}{dt} + f(t) = 0 \\ \frac{dx}{dt} = -\alpha \end{cases} \quad \text{式(4-32)}$$

Z: 管道的特征阻抗,  $Z=\alpha/F$ ;  $f(t)$ : 摩擦损失函数:

$$f(t) = -\frac{\lambda \alpha^2 M |M|}{2DF^2 P} - \frac{pg}{\alpha^2} \sin \theta$$

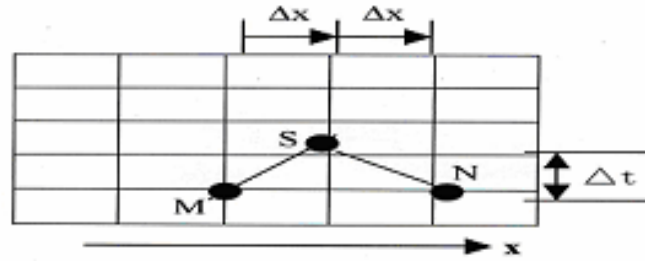


图 4-5 特征线法  $x, t$  网络

为了采用计算机求解, 还必须把式 (4-31), 式 (4-32) 变为有限差分方程。分别取时间步长和管段步长为  $\Delta t$  和  $\Delta x$ , 可将连续的  $x, t$  管道平面网格化, 如图 4-4 所示, 沿左特征线  $C_L$  自 M 积分至 S, 沿右特征线  $C_R$  自 N 积分至 S, 两特征线的差分方程分别为:

$$Z(M_S - M_M) + P_S - P_M + \Delta t/2[f_S(t) + f_M(t)] = 0 \quad \text{式(4-33)}$$

$$Z(M_S - M_N) - P_S + P_N + \Delta t/2[f_S(t) + f_N(t)] = 0 \quad \text{式(4-34)}$$

将上两式移项得:

$$P_S = P_M + ZM_M - \Delta t/2[f_S(t) + f_M(t)] - ZM_S \quad \text{式(4-35a)}$$

$$P_S = P_N - ZM_N + \Delta t/2[f_S(t) + f_N(t)] + ZM_S \quad \text{式(4-35b)}$$

由于摩擦力损失  $f_S(t)$  是未知的, 可近似为<sup>[41]</sup>

$$f_S(t) = 1/2[f_M(t) + f_N(t)]$$

代入 (4-35) 式, 并且与 (4-31) 和 (4-32) 比较得:

$$C_L = P_M + ZM_M - \Delta t [3/4f_M(t) + 1/4f_N(t)] \quad \text{式(4-36a)}$$

$$C_R = P_N - ZM_N \Delta t [1/4f_M(t) + 3/4f_N(t)] \quad \text{式(4-36b)}$$

将式(4-36)代入(4-35)式, 可得:

$$P_S = C_L - ZM_S \quad \text{式(4-37a)}$$

$$P_S = C_R + ZM_S \quad \text{式(4-37b)}$$

$$\text{由此可得: } \begin{cases} P_S = \frac{1}{2(C_L + C_R)} \\ M_S = \frac{1}{2Z(C_L - C_R)} \end{cases} \quad \text{式(4-38)}$$

根据边界条件, 管道首末端压力  $P_1$ ,  $P_N$  可由式(4-31)和式(4-32)得管端方程分别为:

$$P_1 = ZM_1 + C_{R2} \quad \text{式(4-39)}$$

$$P_N = C_{1N-1} - ZM_N \quad \text{式(4-40)}$$

求解天然气管网系统中多根管道时, 可按其流态等分别选用上述相关公式, 然后对每根管道独立求解每一时刻各内分点上的压力和流量关系式, 再根据管端的边界条件, 即管网系统规定的压力和流量间的关系式和管端相应的式(4-39), 式(4-40), 确定每根管道端点的流量和压力。其程序框图如图4-6所示。

仿真的准确性极大地影响着天然气管网系统的生产、调度和运行, 在进行天然气管网动态模拟计算时, 还存在一个合理选取其计算时间步长  $\Delta t$  值的问题, 即在满足计算精度要求的前提下, 采用合适的简化处理方法, 使得  $\Delta t$  值尽可能大, 并使其简化处理的误差尽可能小, 同时还要保证特征线差分方程的收敛和稳定性,  $\Delta t$  和  $\Delta x$  间必须满足 Courant-Lewy 稳定条件, 即:

$$\Delta t \leq \Delta x / \alpha \quad \text{式(4-41)}$$

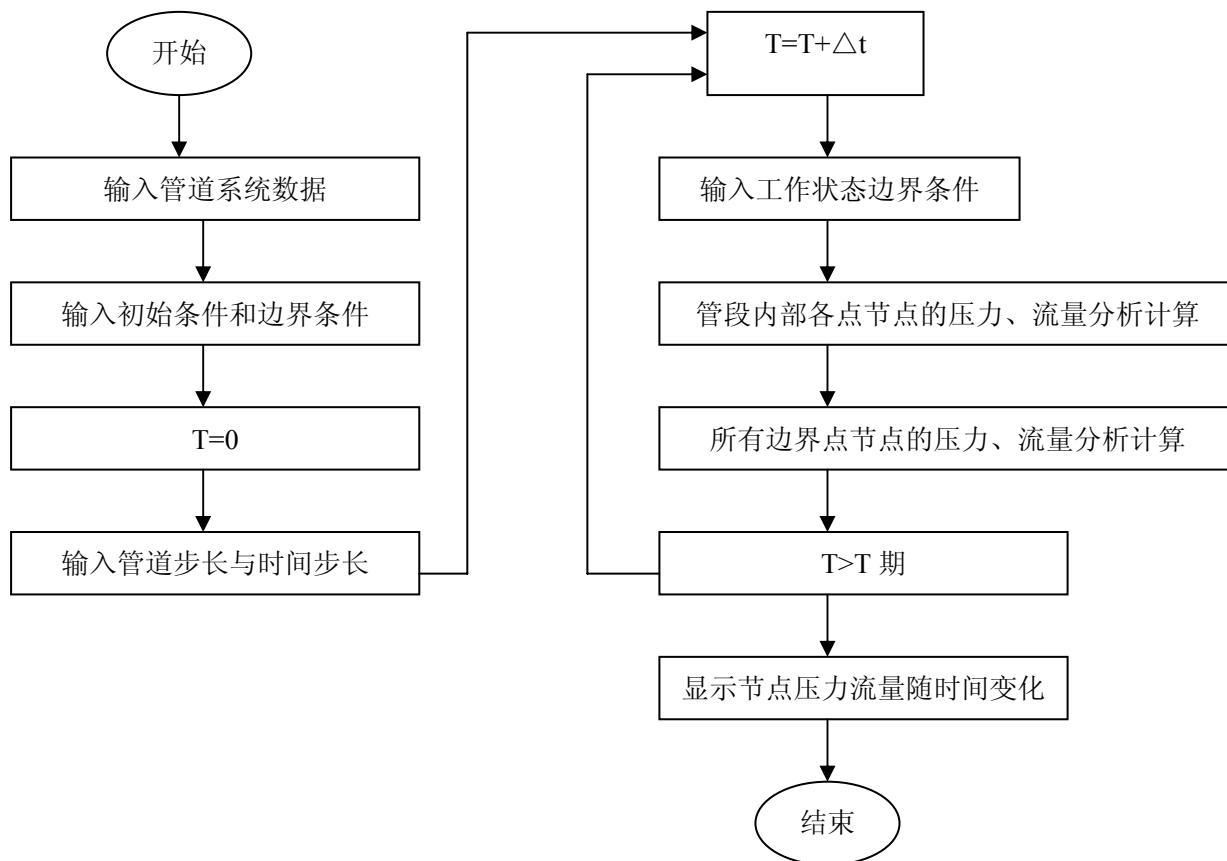


图 4-6 管道仿真模拟程序框图

#### 4.4 工控软件 MCGS 在天然气输配管网稳/动态仿真监控的应用

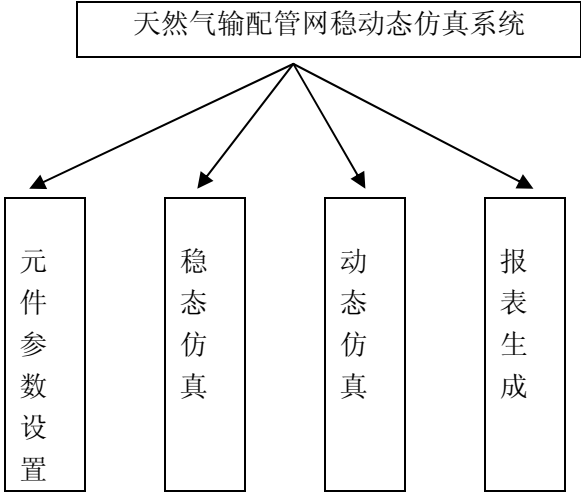
天然气输配管网的运输管理与检测控制是一个重要的技术经济问题，必须据管网系统的特性，建立合理的数学模型，通过应用 MCGS 全中文组态软件，采用 VB 语言编制脚本程序进行天然气输配网管仿真，实现以下功能：

- 1、天然气管网调度方案分析及评价；
- 2、天然气管网储气能力及调峰方案分析；
- 3、天然气运行状态分析（是否有泄漏和需要清洗等）；
- 4、天然气运行趋势分析；

##### 4.4.1 仿真监控模拟总体结构

为保护证实天然气输配管网系统安全、稳定运行，最优的方案，运用经济手段促进天然气产、供、销的管理，应用工控组态软件 MCGS 设计完成天

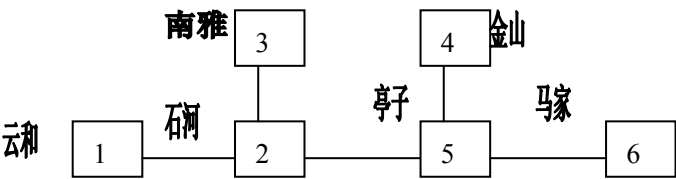
然气输配管网稳/动态仿真控制系统。总体功能如图 4-6 所示：



4.4.2 稳态仿真监控应用

根据实际的管理网结构，可以计算管网中各个站点的进出口压力和各站点的分输量，在进行稳态仿真之前，先要对管网中各个元件的参数进行设置，其稳态仿真的计算实例操作如下：

- 1. 技术要求与参数设置：
- 2. 由于集输气站场压损小，在绘制仿真图时，把站场看成一个节点，即气体在站场不产生压降，只在管件上产生压降，而流量的变化只能出现在节点上，元件内部不产生流量的变化。图4-7是顺南天然气输配站集输管网仿真模拟图。



a. 气体组分，见表1

| 表1 气体组分          |      |                  |      |
|------------------|------|------------------|------|
| 组分               | 含量,% | 组分               | 含量,% |
| C <sup>-1</sup>  | 90.0 | He               | 1.0  |
| C <sup>-2</sup>  | 1.0  | N <sub>2</sub>   | 1.0  |
| C <sup>-3</sup>  | 1.0  | O <sub>2</sub>   | 1.0  |
| C <sup>-4</sup>  | 1.0  | H <sub>2</sub> S | 0.4  |
| C <sup>-5</sup>  | 1.0  | CO <sub>2</sub>  | 0.1  |
| C <sup>-14</sup> | 1.0  | CO               | 0.2  |
| C <sup>-15</sup> | 1.0  | H <sub>2</sub>   | 0.3  |

b. 气体性质

气体温度：293.15K

气体密度：0.7800kg/m<sup>3</sup>

气体粘度：0.0104Mpa.s

c. 管道数据

表2 仿真模拟管道数据表

| 节点 | 管线名称     | 规格长度<br>mm×mm—km | 摩阻<br>系数 |
|----|----------|------------------|----------|
| 1  | 富丽线      | 500×13—28.067    | 0.0100   |
| 2  | 朝天区<br>线 | 159×7—8.54       | 0.0100   |
| 3  | 海景区<br>线 | 273×8—32.465     | 0.0100   |
| 4  | 经龙线      | 426×9—18.75      | 0.0100   |
| 5  | 延富线      | 426×9—4.0        | 0.0100   |
| 6  | 容桂线      | 426×9—23.308     | 0.0100   |
| 7  | 大洲线      | 426×9—12.466     | 0.0100   |
| 8  | 渭东线      | 273×8—7.0        | 0.0104   |

注：表中的摩阻系数为在现场测量压力，流量参数后利用管道模型计算的数量

d. 管道系统边界条件（2004年4月生产数据）见表3

表3 仿真模拟数据系统边界条件表

| 节点 | 站名  | 压力，MPa | 流量，<br>10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> |
|----|-----|--------|---------------------------------------|
| 1  | 亭子站 | 0.15   | -402.0                                |
| 2  | 金山站 | 0.20   | -6.0                                  |
| 3  | 南雅站 | 0.35   | +25.2                                 |
| 4  | 云和站 | 5.90   | +119.0                                |
| 5  | 马家站 | 0.004  | -10.0                                 |
| 6  | 石河站 | 0.30   | +40.0                                 |

注：进气为“+”，出气为“-”

3. 仿真模拟计算

稳态模拟：通过仿真计算，各节点压力与现场实测数据基本吻合，见表4

表4 仿真模拟计算压力实测压力对比表

| 节点 | 站名  | 压力，MPa |       | 误差，<br>% |
|----|-----|--------|-------|----------|
|    |     | 计算结果   | 实测数据  |          |
| 1  | 马家站 | 0.004  | 0.004 |          |
| 2  | 金山站 | 0.1938 | 0.200 | 1.3      |
| 3  | 南雅站 | 0.2073 | 0.220 | 2.4      |
| 4  | 云和站 | 5.559  | 5.90  | 5.8      |
| 5  | 亭子站 | 0.1118 | 0.120 | 0.4      |
| 6  | 石河站 | 0.3156 | 0.412 | 1.8      |

从表4可以看出，石河站实测压力小于模拟计算值，原因可能有两个：

- a. 石河站实测压力有误差：
- b. 经龙线摩阻系数值过大

在计算中，摩阻系取某一时间的计算值，而在实际生产中，摩阻系数是随生产状况且不同而变化的，管线使用年限越长或管内越脏，其摩阻系数越大，从而其管输压损也将越大。下面是在其它条件不变的情况下，改变其中一段的摩阻系数（云河经龙线南雅）由0.010改为0.0151进行仿真计算，其计算的节点压力与实测压力对比见表5

表5 稳态模拟计算压力实测压力对比表

| 节点 | 站名  | 压力, MPa |       | 误差, % |
|----|-----|---------|-------|-------|
|    |     | 计算结果    | 实测数据  |       |
| 1  | 亭子站 | 0.004   | 0.004 |       |
| 2  | 金山站 | 0.1938  | 0.200 | 1.3   |
| 3  | 南雅站 | 0.2073  | 0.220 | 1.9   |
| 4  | 云和站 | 5.559   | 5.900 | 5.8   |
| 5  | 马家站 | 0.1118  | 0.120 | 0.4   |
| 6  | 石河站 | 0.3156  | 0.325 | 1.8   |

从表5可看出，将容桂线的摩阻系数改大之后，模拟计算出的石河站压力也变大，由此可见，若改变整个系数和摩阻系数，整个管网系数的节点压力也将发生变化，这与理论和实际相吻合。

#### 4.4.3 动态仿真监控应用

前面的模拟计算仅为稳态模拟，若要进行动态模拟，需加入另外时间层的参数进行模拟。下面是石河站延富线金山站进行动态模拟，模拟计算结果与实测数据吻合良好，见表7。一、产生误差的原因：

产生误差的原因很多，计算的本身有精度要求，会产生累积误差，现场录取的数据的人为误差和表误差；为了处理方便，将站现场看成一个无压损的节点，而实际上每个站场都有压损，如有计算时，金山站压力取0.100Mpa，而实际进金山站的实际压力为0.113Mpa；另外，在模拟计算时，摩阻系数取自现场仪器测量压力、流量利用管道模型进行模拟计算的值，但在现场录取资料时存在人为误差和表误差，同时管道内的工况是随时间变化的，即摩阻系数是随时变化的，因而对计算结果存在较大影响。

表7 动态模拟计算压力实测压力对比表

| 节<br>点 | 站名  | 压力, MPa |       | 误差, % |
|--------|-----|---------|-------|-------|
|        |     | 计算结果    | 实测数据  |       |
| 1      | 石河站 | 0.2696  | 0.264 | 1.2   |
| 2      |     | 0.2696  | 0.263 | 1.4   |
| 3      |     | 0.2696  | 0.264 | 1.2   |
| 4      |     | 0.2697  | 0.265 | 1.0   |
| 5      |     | 0.2695  | 0.263 | 1.4   |
| 6      |     | 0.2696  | 0.264 | 1.2   |
| 1      | 金山站 | 0.0985  | 0.100 | 0.3   |
| 2      |     | 0.0987  | 0.101 | 0.5   |
| 3      |     | 0.0981  | 0.100 | 0.4   |
| 4      |     | 0.0988  | 0.102 | 0.6   |
| 5      |     | 0.0987  | 0.100 | 0.3   |
| 6      |     | 0.0988  | 0.101 | 0.4   |

## 二、仿真模拟计算结果优点：

利用输管网仿真模拟，可在以下三方面得到很好应用：

1. 进行管网优化系统设计。
2. 确定优化运行方案，为了完成一定的输（配）气生产任务，为了从多种方案中选择一种较优方案，就可以采用仿真模拟进行方案比较，从中选择一种技术上可行，经济上又合理的优化运行方案。
3. 分析管网系统事故工况，泄漏和堵塞是天然气管网系统中常见的两种事故工况，当事故工况出现后，流量和压力沿着管线将发生变化，且与时间有关，是一个不稳定的过程，经过一定时间后管网系统将建立一个新的平衡，利用仿真模拟即可确定管网系统是否堵塞或泄漏以及具体位置。

自2004年3月启动该项目，运行人员每日均所得到顺南天然气输配站与各分站点的工况运行情况，为天然气输配管网的安全调度提供了保障，系统的稳/动态模拟计算能够满足用户要求，运行稳定，可靠。

## 4.5 小结

本章针对在输配管网线中的气体力学计算问题，利用数值分析法中的雅可比矩阵和特征线法，建立了天然气输配管网中稳态/动态仿真模型，采用MCGS 组态软件对输配管网稳态/动态进行仿真，实现了天然气输配管网调度优化运行，使监控系统的运行更加精确、可靠、功能更强。



## 第五章 结论与展望

综上所述，顺南天然气输配站计算机控制系统属于计算机，通信、传感器等先进技术的综合典型应用。正是基于采用了世界上先进 EJA430 智能压力传感器，智能差压传感器 Pt100 温度测量和 24bit 精度的 A/D 转换卡采集数据等技术的先进特性，结合计算机和 MCGS 组态软件的信息处理，通过网络通信可以方便处理各个计量站天然气实时流量并上传至管理计算机，同时对输配气管稳/动态仿真，在生产过程中制定优化运行方案，供调度在线运行决策，保证了天然气计量的高可靠性、实时性和精确性，减少了许多人为因素对计量的影响，提高了生产管理、决策的效率。自投入运行半年来，在提高流量精度方面超出了预先的效果，令用户满意，极大地改变了原来落后状况，其成功主要体现在以下几方面：

1. 将国际标准天然气压缩因子算法运用天然气计量，同时采用先进的含水补偿，孔板流出系数补偿等技术，其精度优于 0.53%。

2. TCP/IP 协议，Modem、232 串行总线和 485 并行总线，这三种通讯方式的混合运用和采用 MCGS 组态软件实现了所有输配管网线内天然气参数和瞬时流量在线实时监测。动态数据库的实时性为安全生产提供了保障。

3. 报表管理系统方便地解决了过去对现场旧式记录仪的定时数据抄写、维护及繁锁的数据处理，提高了企业办公自动化能力和管理水平，取得了显著的经济效益和社会效益。

4. 建立了天然气输配管网中稳态/动态仿真数学模型，采用 MCGS 组态软件对天然气输配管网稳态/动态仿真的应用，实现以下功能：

- 1) 天然气管网调度方案分析及评价；

- 2) 天然气管网储气能力及调峰方案分析；

- 3) 天然气运行状态分析（是否有泄漏和需要清洗等）；

- 4) 天然气运行趋势分析；

- 5) 对提供调度输配管在线运行决策，生产过程制定优化运行方案有重要意义。

鉴于目前我国国家的“西气东输”，四川“气化全川”以及重庆市的“清洁能源工程”等大的背景下，本系统在天然气工业应用领域和城市民用天然气的计量与管理方面有着广阔的应用前景。

目前我国天然气的计量主要以差压式孔板方式测量体积为主，从长远来看，超声波流量在其主要贸易伙伴结算中的逐步应用也预示着这两种计量方式将在相当长的时间内并存。

我国天然气贸易计量方法是在法定的质量指标下，按体积计量，随着市场经济的不断完善和 WTO 的即将加入，要求我国天然气贸易计量方法尽快与国际执着轨，计量方式将从体积计量向能量计量发展，我国正加快进程开展相应的准备工作。

不管采用何种方式测量天然气流量、计量监测系统的表现形式将逐步由模数混合阶段逐步过渡到全数字化现场总线阶段。我们深信，全数字化的、高精度的、能量测量的天然气流量计量系统将代表着该领域的发展方向。

## 参考文献

- [1] 王志昌. 输气管道工程. 北京: 石油工业出版社, 1997:2~16
- [2] 袁恩熙. 工程流体力学. 北京: 石油工业出版社, 1993:24~65
- [3] 曾自强, 李长俊. 天然气集输管网静态仿真优化运行及改造方案分析. 南充: 西南石油学院, 1996:16~19
- [4] J. M. Stuchly, C. Kedge 著. 姚安林, 王元, 王寿喜译. 石油天然气集输系统的动态模拟. 南充: 西南石油学院, 1996:34~36
- [5] 赵丁选. 机光电一体化设计使用手册. 北京: 化学工业出版社, 2003:20~27
- [6] 李学琪, 贾峰. 自动控制基础与调节仪表. 中国计量出版社, 1990:99~108
- [7] 徐文渊, 长安. 天然气利用手册. 中国石化出版社, 2002:207~209
- [8] 吕崇德, 任挺进, 姜学智、程芳真. 大型火电机系统仿真与建模. 清华大学出版社, 2002:2~10
- [9] 姜正侯. 燃气工程技术手册. 同济大学出版社, 1993:471~523
- [10] 廖磊. 通信电源集中监控系统设计与实现. 西南交通大学硕士论文 1999:101~108
- [11] 周东华. 容错控制理论及其应用. 世界仪表与自动化, 2002, (01):12~16
- [12] 文汉云. 工控软件的标准化复用技术研究. 工业控制计算机, 2000, (05): 20~23
- [13] 邓文浪. 在 VB 环境下分布式测控系统多机通信的实现. 工业控制计算机, 2000, (02): 34~38
- [14] 李建华, 郭明编著. RS-232 和调制解调器高级通信编程. 人民邮电出版社, 2001:201~207
- [15] 傅德薰, 马延文. 计算流体力学. 高等教育出版社, 2002:178~189
- [16] 李鹏. 计算机通信技术及其程序设计. 西安电子科技大学出版, 1998:77~90
- [17] 唐月. 串行异步通信软件设计中的注意事项. 电子技术, 2000, (09): 41~46
- [18] (美) Jeffrey P. Mc Marmus 著. Visual Basic6 数据库访问技术(, 赵军

- 锁, 龚波等译). 机械工业出版社, 1999:34~56
- [19] (美) Roger Jennings 著. Visual Basic6 数据库开发人员指南(, 前导工作室译). 机械工业出版社, 1999:70~75
- [20] 中国石油天然气总公司发布的行业标准. SY/T6143-1996. 天然气流量的标准孔板计量方法, 1998:40~55
- [21] 中国国家标准. GB 11605-89. 湿度测量方法, 1991:23~30
- [22] 日本国家标准. JIS M8010-1993. 天气カス计量方法, 1995:78~90
- [23] 刘智勇, 蒋耘晨, 齐秋群. 天然气流量的计算机计量算法, 工业计量, 1999: 25~32
- [24] 张宇, 晓虹, 红英. 计算机环境下双机系统的研究. 测控技术, 1999. 08: 7~16
- [25] (美) Jim Groves 著、全正等译. Windows NT 技术问答. 清化大学出版社, 1993:30~35
- [26] 刘炳宏. MS SQL SERVER V6.5 轻松入门. 北京: 机械工业出版社, 1998:77~90
- [27] 冯正鸣, 赵学红, 吕丽那. 采用 RS-485 串行接口测试系统的远距离通讯. 计量技术, 1997, (03): 25~28
- [28] 潘立登, 盛乃军. 网络通信中的基本安全技术, 电子技术应用, 2000 . 1. 2: 57~56
- [29] 蔡亦刚, 盛敬超. 流体管道瞬态响特大型综合实验指导书. 浙江大学流体传动及控制教研室, 1985:50~65
- [30] 陆金甫, 关治. 偏微分方程数值解法. 清华大学出版社, 1990:77~89
- [31] 蔡启仲. 控制系统计算机辅助设计. 重庆大学出版社, 2003:3~6
- [32] 黎洪珍. 天然气集输网稳动态仿真模拟基本原理及应用探索. 天然气与石油, 2001. 01: 23~26
- [33] 王伯雄. 测试技术. 清华大学出版社, 2003:475~492
- [34] 刘君华. 智能传感器系统. 西安电子科技大学出版社, 1998:74~81
- [35] 张倩, 刘少强. 检测技术与系统设计. 中国电力出版社, 2002:88~102
- [36] 杨大地, 谈骏渝. 实用数值分析. 重庆大学出版社, 2002:62~67

- [37] 施 仁, 刘文江、郑辑光. 自动化仪表与过程控制. 电子工业出版社, 2004:32~38
- [38] 龚乐年. 现代调节技术. 东南大学出版社, 2003:72~78
- [39] [英] J. H. 威尔金森. 代数特征值问题. 科学出版社, 2001:52~158
- [40] 俞金寿, 蒋爱平, 刘爱伦. 过程控制系统和应用, 机械工业出版社, 2003:23~38
- [41] 诸静. 智能预测控制及其应用. 浙江大学出版社, 2000:15~22
- [42] Weber, John B. ActiveX, Visual Basic invade human-machine interface. Control Engineering, 1998, 45(5):33-34
- [43] Microsoft Corporation 著, 微软(中国)有限公司译. Visual Basic6.0 中文版程序员指南. Microsoft Press, 1998, 342-355
- [44] Echelon Corp. Neuron Chip DataBook, 1998
- [45] Linda Wills, Suresh Kannan. An open platform for reconfigurable control. IEEE Control Systems, 2001, 21(3): 49-63
- [46] Echelon Corp. Neuron C Programmer' s Guide, 1996

## 攻读学位期间主要研究成果

- [1] 祝常红. 浅谈 Internet 网站和网站建设. 现代技能开发. 2003, (03):94
- [2] 祝常红, 黄国明, 彭坚. PLC 及其组态软件在自动焊接机中的应用. 机电一体化. 2003, (05):65~68
- [3] 祝常红, 桂卫华. PLC 及嵌入式 MCGS 组态软件实现的自动罐装机控制系统. 电工技术. 2004, (04):33~34
- [4] 祝常红参与“PLC、变频调速在恒压供水教具中的应用”课题, 获 2002 年度顺德教育科研二等奖
- [5] 祝常红主持“PLC 及其组态软件在自动焊接机中的应用”课题, 获 2002 年度顺德教育科研二等奖;
- [6] 祝常红主持“汽车燃油喷射实时监控与仿真教学系统”课题, 获佛山市首届教育科研优秀成果评选一等奖。

## 致 谢

经过几年的学习，特别是在本项目的研究和论文总结期间，感谢我的导师桂卫华教授，他渊博的知识，细致的作风，严谨的学风，科学的指导才让我们的项目得以实施，论文得以完成。同时感谢中南大学信息科学学院的王雅琳副教授、阳春华教授、喻寿益教授和朱洪前博士等，在本课题实施完成论文时，都给予了关怀与帮助，特别感谢顺南天然气输配站公司，顺德高职院校的合作人员和高级工程师王强，对该项目的实施都给予了关心、指导和支持，并提供了技术帮助。

在完成工程硕士的学业后，将更加努力地提高业务和专业水平，勤奋学习，以优异的成绩回报我的导师、老师、亲人和朋友，更多地回报我业成于之的单位乃至整个社会！