**专 业 学 位 硕 士 学 位 论 文**

**丰源公司天然气生产监测管理系统**

**设计与实现**

**Design and Implementation of Natural Gas Production Monitoring Management System for Feng Yuan Company**

作 者 姓 名： 周丹娜

工 程 领 域： 软件工程

学 号： 41517075

指 导 教 师：

完 成 日 期：

大连理工大学

Dalian University of Technology

大连理工大学学位论文独创性声明

作者郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用内容和致谢的地方外，本论文不包含其他个人或集体已经发表的研究成果，也不包含其他已申请学位或其他用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

若有不实之处，本人愿意承担相关法律责任。

学位论文题目：

作 者 签 名 ： 日期： 年 月 日

# 摘 要

本文应用软件工程方法和技术论述丰源公司面向其天然气生产过程的监测软件的开发工作。论文基于对天然气生产作业及集输设备运行监测的具体要求，从需求分析、软件设计和程序实现及测试等方面进行阐述。

论文围绕丰源公司作业平台及其集输设施目前在天然气生产过程监测方面需解决的主要问题，基于该公司目前所采用的天然气生产工艺流程为基础展开分析，建立了主要的功能需求，具体从天然气生产作业基础数据管理、生产工艺环节及集输终端设备状态监测和监测工作站综合运行信息方面给出了分析，较详细地讨论了以基础数据管理、监测任务管理和监测工作站运行管理的主要功能，说明了每项功能需处理的数据和需要完成的计算任务并建立了用例模型。论文进而阐述了软件的设计工作，论述了架构组成方案、数据库设计方案、采气作业及集输装置状态监测算法流程和数据库表结构等内容。在程序实现方面，系统主要基于Windows运行环境和C++编程实现，对部分程序的实现方式进行了说明并概述了测试方法和结果。

该软件目前已投入试运行，其实施不仅有效地支持了及时的生产调控，而且能够为目前的油气生产设施的可靠性运维保障以及油气储运和销售业务提供及时、准确的定量数据，进入了较为稳定的运行阶段。

关键词：天然气生产; 采气作业监测; 集输装置监测

Design and Implementation of Natural Gas Production Monitoring Management System for FengYuan Company

Abstract

This thesis applies the methods and techniques of software engineering to describe the development on the production process monitoring system for natural gas production by Feng Yuan company. The thesis discusses the development works in requirements analysis, software design, programming and tests in accordance with the producer’s concrete demands on the natural gas exploration and transport terminal equipments running.

In requirements analysis this thesis establishes main functions of the system about the producer’s demands to be solved in the natural gas exploration and transport terminal equipments monitoring in the basic data management, monitoring tasks management and the monitoring work station running information management. For each requirement its desired data processing demands and computational tasks are discussed with the associated use case models presented. In the work of software design, this thesis establishes the software architecture and the related detailed design scheme, including main object data structures, database models, representative algorithm processing flowcharts and some example database table structures. In the work of implementation, this system runs on the platform of Windows operating system on the application server and is programmed with C++. Some programs are briefly described together with the system test methods and results.

This software has now been in application. This system’s application is now in relatively stable status which supports the company’s timely adjustment and control on the production as well as provides the timely and accurate data to support the related production infrastructure maintenance, gas sale, gas storage and transport.

Key Words: Natural Gas Production; Gas Exploration Monitoring; Transport Device Running Monitoring

目 录

[摘 要 I](#_Toc492531616)

[Abstract II](#_Toc492531617)

[1 绪论 1](#_Toc492531618)

[1.1 论文选题背景和意义 1](#_Toc492531619)

[1.2 生产流程计算机监测技术基础 2](#_Toc492531620)

[1.2.1 工业生产流程监测系统工作机理 2](#_Toc492531621)

[1.2.2 生产流程监测软件开发基础 3](#_Toc492531622)

[1.3 论文组织结构 5](#_Toc492531623)

[2 需求分析 7](#_Toc492531624)

[2.1 总体功能要求 7](#_Toc492531625)

[2.2 基础数据管理功能 8](#_Toc492531626)

[2.3 生产监测任务管理功能 10](#_Toc492531627)

[2.3.1 采气生产环节的状态监测 10](#_Toc492531628)

[2.3.2 集输终端设备的工作状态监测 13](#_Toc492531629)

[2.4 监测工作站信息管理 17](#_Toc492531630)

[2.5 其他功能概述 19](#_Toc492531631)

[3 系统设计 20](#_Toc492531632)

[3.1 软件组成框架 20](#_Toc492531633)

[3.2 数据库设计 22](#_Toc492531634)

[3.2.1 数据库逻辑方案设计 22](#_Toc492531635)

[3.2.2 数据库详细设计 23](#_Toc492531636)

[3.3 主要模块的详细设计 26](#_Toc492531637)

[3.3.1 基础数据管理模块 26](#_Toc492531638)

[3.3.2 监测任务管理模块 29](#_Toc492531639)

[3.3.3 监测工作站信息管理模块 34](#_Toc492531640)

[4 系统实现与测试 37](#_Toc492531641)

[4.1 系统软硬件 37](#_Toc492531642)

[4.2 基础数据管理程序实现 38](#_Toc492531643)

[4.3 监测任务管理程序实现 40](#_Toc492531644)

[4.3.1 采气生产环节的状态监测 40](#_Toc492531645)

[4.3.2 集输终端装置工作状态监测 41](#_Toc492531646)

[4.4 监测站信息管理程序实现 42](#_Toc492531647)

[4.5 测试 46](#_Toc492531648)

[4.5.1 基本测试方法 46](#_Toc492531649)

[4.5.2 上线测试 46](#_Toc492531650)

[结 论 49](#_Toc492531651)

[参 考 文 献 51](#_Toc492531652)

[致 谢………………………………………………………………………………… 53](#_Toc492531653)

[大连理工大学学位论文版权使用授权书 54](#_Toc492531654)

# 1 绪论

## 1.1 论文选题背景和意义

在新能源的开发业务不断扩展的形势下，丰源公司需要更为高效地从事油气开采作业工作，为此不仅需要采用新的设备硬件，同时还需要构建体现新的管理概念和方法的数字化管理工具。

先进的数字化管理工具的构建和实施是一项长期性的建设工作，丰源公司对此分阶段有步骤地推进实施，逐步实现涵盖完整业务的信息平台，同时在每个阶段借助于该总体平台的建设，不断改进亟需解决的关键问题。在现阶段，丰源公司认识到需着重解决以下制约性的问题。首先是解决目前对天然气生产作业的基础信息管理不充分和集成度不够高的问题，不能适应连续和高水平生产监测要求的问题。出于高水平管理和保障质量的要求，油气田开采过程的生产作业监测越来越需要结合类型较为广泛的基础信息，例如基本勘查类信息、当前作业区域的地质结构类信息、关键生产设备的技术指标信息、生产作业计划类信息、安全作业基准数据等。这些信息仍属于静态类型，但对每个批次的生产的作业监测都需要用到，而且最好能够随工业标准的更新而自动综合到系统平台中，以往本公司尚未能很完整地全面综合基础信息，对此本系统需要基于主流数据库技术来实现统一的管理。其次是针对天然气开采作业生产过程的监测管理，解决目前各方面生产信息不够完整和数据处理不够及时等问题。数字化的天然气开采作业是丰源公司较新进入的生产领域，以往的传统生产作业平台在工作流程和粗放型的管理模式等方面都不再适应，需要根据数字化天然气开采作业的工艺环节和传输环节实现有针对性的新的生产状态采集机制和数据指标的统计和计算方式，适应相应的数据对象和设备状态，同时要满足天然气生产指标数据的处理规程和设备特殊状态和工况下的监测要求。此外新的监测管理系统需要集成部分常用的事务性管理支持功能，例如对监测任务的分配调度，对故障设备的基本维护事务的信息管理等功能，这些是有效监测较大范围的作业所需要具有的辅助支持能力。最后是解决信息的报告手段和分析工具不足的问题。该系统需要实现在生产运行中心的图形工作站上的集中信息处理和部分作业指令的运行管理，要求对监测任务能够在线配置和调整，对所采集的生产状态既能够实现标准化的指标计算处理，同时也能够支持管理者针对特殊要求而定制监测任务的工作方式如特殊参数、监测周期以及同其他监测任务的关联方式等。对前端程序单元所采集的设备和开发作业工艺流程的状态信息，能够及时更新其动态变化并在基本数据基础上叠加显示当前的动态特性指标的数值和趋势变化。在其他方面，该系统的功能需要同时注重同其他信息如天然气销售信息平台的数据集成，同时要充分考虑到能够为外部平台提供生产动态数据，满足国家和行业技术标准。

因此，该天然气生产监测管理系统的构建开发是为解决丰源公司在实施油气开采作业管理过程中面临的生产作业的及时监测问题。以往的管理手段在天然气开发作业的连续性、安全性和经济性方面存在很多不足，同时也不能很好地适应新设备和新的运作规范的要求，因此该系统的基本思想是充分运用成熟的计算机软件技术以及网络技术，为本公司长期、高效实施油气田开采作业的数字化管理奠定生产作业监测方面的必要基础。

## 1.2 生产流程计算机监测技术基础

### 1.2.1 工业生产流程监测系统工作机理

基于计算机的生产控制和监测目前广泛应用于各类工业过程。工业生产过程有离散和连续两类，前者的典型代表是机械产品制造过程，后者如化学工程和油气处理等过程，两者有共性但也存在很大的差异。

从控制技术的角度看，针对连续性过程的完整控制包括对过程状态的测量和根据状态实施控制两个环节。两者在时间上都连续进行，在控制信号的生成关系上构成具有监测-控制-反馈的闭环形式[1-2]。

工业过程控制的组成单元有：

（1）测量单元；

（2）控制单元；

（3）执行单元。

测量单元对控制过程中的受控对象的状态变化进行实时测量，然后转换为某种形式的测控信号反馈到控制回路。先进的数字化测量单元通常是带有传感器件和部分信号转换能力的集成电路的装置，能够对测量信号完成部分处理，或者对测量工作的状态参数进行调节[3]。

控制单元在概念上是完成控制律的环节，根据反馈的测量信号按照控制方程所预期的状态轨迹生成控制信号，然后通过执行器完成控制的动作。

在计算机控制系统中，控制单元或程控制器通过计算生成控制变量的实际数值。通过应用计算机技术特别是软件技术，能够实现丰富的过程控制机制，对连续性的工业生产过程实施创新的控制，典型的例子有：

基于某种控制准则的最优控制或次优控制，优化控制的准则包括时间度量最优、

能耗最优、精度或误差最优等[4-5]；

基于变量匹配和解耦机制的数字控制律[6]；

基于不确定动态环境的适应性控制律，例如被控对象的动态特性信息不完备、某些参数未知或变化的情况[7]；

在随机环境下的最优或次优控制，典型情况有[8-9]：

外部测量和控制执行过程存在不可避免的随机干扰；

某些重要的特性参数位置或具有随机性的变化规律。

在适应性控制的情况下，控制器不仅要根据反馈数字信号计算控制变量的当前数值，而且需要在计算的中间过程对被控对象的内部状态和未知又难以直接测量特性参数进行估计，该项任务需要应用先进的数字信号和随机性信号的处理理论与算法，因此这类控制器执行的算法相对更为复杂，要求具备的精度和实施性都较高。

过程控制系统的执行单元将控制器输出的数字信号转换为驱动信号，例如阀门开度、温度、化学反应物的喷注速率等。在复杂系统中，执行器本身也可能是具有一定计算能力的计算单元，例如工控平台的下位处理机，同时驱动多个物理单元。

总之，基于计算机软件的连续性工业过程的控制越来越离不开创新性的硬件和软件，特别是软件的应用使之得以实现高度创新性的控制律，除了前面的优化控制方式外还有望实现基于学习机制的智能控制和超精密控制。此外目前的大型连续性过程监测系统通常具有分布式的特点，需要同时协调控制多个节点上的多个动态过程并且具有低误差小、强实时性和高稳定性要求[10]，对应用软件技术和系统软件技术的创新提出了很多有益的新课题。

### 1.2.2 生产流程监测软件开发基础

连续性动态过程的监测与控制软件通常属于较为复杂的工业应用软件，其复杂性表现在这类软件需要将信号的检测、数据处理、控制变量的计算等任务集成在一套程

序中以实现闭环控制[11-12]，因此对实时性、稳定性、容错性的要求都很高。

从软件开发的角度，这类软件既需要遵循软件工程领域的普遍的科学规律，又要充分融合特定工业控制过程的特殊性和技术要求，将两者的特点合理结合，以创造出切实解决问题的软件系统。

就软件工程的普遍性规律而言，这类软件的开发首先需要遵循普遍的原则即[13-15]：

以用户需求为驱动因素；

以软件架构为核心；

在开发进展上按循序渐进和逐步积累的模式演进。

连续性工业过程监测软件的用户需求通常较为明确，例如具有明确的技术指标和时间响应指标。在这方面，开发者更多地需要评估分析这些指标所蕴含的难度，也就是技术风险程度及其影响因素，确定关键性指标及其风险评测，以此确定这类软件开发需解决的核心问题[16]。通常而言，响应时间和精度的要求属于关键性的指标范畴，而通常这两类要求是彼此冲突的，因此需要开发者在确定需求时深入论证，对此可能需要局部的验证试验和评估[17]。

软件的体系架构是合理组织软件功能、均衡性能指标及其实现方式的重要工具，在工业应用软件中尤其对整个项目的成功具有重要影响[18]。软件架构对项目开发的技术核心作用体现在多个方面，包括：

确定软件的功能单元，将需求方面具有共性的某些用例功能进行分解和重组，使得在程序的层次上最大程度地实现模块功能的相对独立。

确定软件单元的调用方式，例如单向的线性调用模式还是基于共享数据机制的异步调用模式等，后者可能需要考虑基于特定信号量的同步机制[19]，为此基本原则是尽可能简化调用方式，但是在需要保障性能如数据吞吐量或任务的响应时间的情况下，多任务并发是必要的选择。

确定软件单元的组成对象（object），包括对象的类型及其组合关系和继承关系，明确对象的接口设计、接口调用的语义和参数。

在动态任务的设计方面，确定进程或线程对象调用的时序关系。

软件工程为上述设计提供了相应的UML模型，通过类图、状态图、时序图等形式模型从多个方面准确描述软件组成对象的静态和动态关系[20-21]。

从应用的特殊性角度而言，目前很多领域如工业监测的连续性过程已经对架构方案建立了符合自身特性要求的成熟模式。总体而言，连续监测的采样周期越短、响应时间要求越严格，则这类软件的技术难度和风险相应越高，反之则复杂性和难度随采样周期增大而下降[22]。对监测采样周期较长例如达到数十秒以上的情况，该类软件易于采用线性架构模式，优点是内部单元任务的分配关系明确且调用关系简单，而且由于时间响应边界较宽因此能够满足性能要求[23]。对于监测采样周期很短、响应时间要求有很高的过程监测软件，例如快速化学反应过程的计算机控制，则需要具有很高并行程度的软件架构方案[24]，同时需要仔细选择控制器的算法以平衡控制精度和响应时间的要求。

在软件实现的层面上，上述任务单元的设计方案特别是具有较高多任务并行要求的设计方案需要依赖于具有实时特性的编程模型，以及具有实时能力的操作系统平台的支持。具有普通程度实时性要求的工业应用软件可基于Windows或Linux等操作系统的实时能力来实现[25]，包括Java的线程编程模型在适当的平台上也具有合适的基本性能。更大型的多任务连续监测软件则需要更专门的实施操作系统如VxWorks和QNX等为平台[26]。这些运行环境不仅具有高实时能力而且稳定性高，广泛应用于大型自动化生产系统、化学工程控制系统等领域，编程开发和在线算法在技术和理论层面都有了较为深入的发展。

总之，工业生产流程的连续监测技术及其软件实现为众多的精益生产模式提供了强有力的支撑。图1.1以油气开采生产过程为例，描述了一种面向生产工艺处理环节的控制模型，每个工艺环节监测分配相应的控制单元，同时通过工艺执行装置的信号采集和计算达成对工艺状态的在线监测。在国外较为先进的生产平台上，生产监测和控制构成总体优化控制的组成部分，两者通过较复杂的算法构成闭环控制回路实施精密高效和低能耗的生产过程。

高压控制

节流控制

汇气控制

气体集输

控制

分离

聚集

低压控制

热交换

控制

高压/低压

引射控制

图 1.1 采气工艺流程及控制模型

Fig. 1.1 Gas exploration process and control model

## 1.3 论文组织结构

第一章从论文主题的背景和意义、相关软件开发的理论和技术基础方面进行综述，为后续的论证做概念性的准备工作。

第二章从总体功能的分析开始，从基础数据、油气开采生产环节和集输终端设备状态的监测任务以及监测工作站运行信息等方面阐述需求分析，建立用例模型。

第三章从总体架构设计开始，对数据库设计、模块设计及内部对象组成结构进行阐述，给出类图模型和部分程序的时序图模型。

第四章概述程序的C++编程实现、运行信息和测试工作，最后从开发工作和满足应用目标等方面总结全文。

# 2 需求分析

## 2.1 总体功能要求

该天然气生产监测管理系统的构建开发，是为解决丰源公司在实施油气开采作业管理过程中面临的生产作业的及时监测问题。针对天然气开发作业的连续性、安全性和经济性，以往的管理手段存在很多不足，同时也不能很好地适应新设备和新的运作规范的要求，因此该系统的基本思想是充分运用成熟的计算机软件技术以及网络技术，为本公司长期、高效实施油气田开采作业的数字化管理奠定生产作业监测方面的必要基础。为此着重分析公司目前在油气田生产管理方面所亟需克服的瓶颈因素，归纳为以下几个方面的问题。

首先是解决目前对天然气生产作业的基础信息管理不充分，集成度不够高，不能适应连续和高水平生产监测要求的问题。出于高水平管理和保障质量的要求，油气田开采过程的生产作业监测越来越需要结合类型较为广泛的基础信息，例如基本勘查类信息、当前作业区域的地质结构类信息、关键生产设备的技术指标信息、生产作业计划类信息、安全作业基准数据等。这些信息仍属于静态类型，但对每个批次的生产的作业监测都需要用到，而且最好能够随工业标准的更新而自动综合到系统平台中，以往本公司尚未能很完整地全面综合基础信息，对此本系统需要基于主流数据库技术来实现统一的管理。

其次是针对天然气开采作业生产过程的监测管理，解决目前各方面生产信息不够完整和数据处理不够及时等问题。数字化的天然气开采作业是丰源公司较新进入的生产领域，以往的传统生产作业平台在工作流程和粗放型的管理模式等方面都不再适应，需要根据数字化天然气开采作业的工艺环节和传输环节实现有针对性的新的生产状态采集机制和数据指标的统计和计算方式，适应相应的数据对象和设备状态，同时要满足天然气生产指标数据的处理规程和设备特殊状态和工况下的监测要求。

此外新的监测管理系统需要集成部分常用的事务性管理支持功能，例如对监测任务的分配调度，对故障设备的基本维护事务的信息管理等功能，这些是有效监测较大范围的作业所需要具有的辅助支持能力。

最后是解决信息的报告手段和分析工具不足的问题。该系统需要实现在生产运行中心的图形工作站上的集中信息处理和部分作业指令的运行管理，要求对监测任务能够在线配置和调整，对所采集的生产状态既能够实现标准化的指标计算处理，同时也能够支持管理者针对特殊要求而定制监测任务的工作方式如特殊参数、监测周期以及同其他监测任务的关联方式等。对前端程序单元所采集的设备和开发作业工艺流程的状态信息，能够及时更新其动态变化并在基本数据基础上叠加显示当前的动态特性指标的数值和趋势变化。

在其他方面，该系统的功能需要同时注重同其他信息如天然气销售信息平台的数据集成，同时也要充分考虑到能够为外部平台提供生产动态数据，满足国家和行业技术标准。以上是本软件的总体功能要求，它们构成在目前阶段所亟需解决的主要问题，以下从具体的数据和处理等方面分别进行更细化的分析。

## 2.2 基础数据管理功能

基础数据管理是实现高质量的天然气开采过程生产作业监测的基本保障。基础信息仍属于静态类型，但对实现各种类型的生产作业监测任务都需要用到，而且最好能够随工业标准的更新而自动综合到系统平台中。

按照开采高效连续天然气的生产平台的特点，该软件对基础数据的管理分三个方面的功能进行组织，分别是：

天然油气田的基础信息管理功能；

天然气开采作业平台（生产平台）的基础信息管理功能；

集输处理站的基础信息管理功能。

对每类以上基础信息，系统按照细化的分类信息组织相应的子功能。例如对天然油气田的基础信息管理，具体按照有地质及水文类基础信息、气井工作特性基础信息、开采工艺类信息、油气等混合物成分的分离工艺信息、油气混合物及硫化氢等物质的物元特性参数等多种子类型。系统对每类信息按照基本模板进行组织，用户可以末班为基本单元创建、编辑和更新基本信息，例如设置新的气井的工作属性参数，关联气井的地质类信息等项操作。所支持的其他基础数据还包括基本勘查类信息、当前作业区域的地质结构类信息、关键生产设备的技术指标信息、生产作业计划类信息、安全作业基准数据等。

天然气开采作业平台的基础信息主要针对生产平台的硬件组成部分及其工作特性指标，包含平台的发配电设备的工作特性数据，油气处理装置的特性数据，生产过程的物质检验装置的特性指标，多级分离器容量特性等。该组功能以作业平台为基本对象进行组织，用户可展开每个平台对象的关联单元的工作指标，如上述的发配电设备特性指标等，以及该平台的分布位置，基本尺寸和重量，每根主桩的结构重量、深度、桩径和桩距等作业平台布置信息。

集输处理站的基础信息针对天然气采集系统的核心组成部分，主要包含管线设施基础数据、集输设备工作特性以及工况标准数据等指标。上述基本数据用于生产动态过程状态指标的监测计算和异常判别，要求以每类设备为基本模板来创建，同时以设备集输设备模板为对象来组织附属信息的维护和更新操作。

图2.1描述了基础信息管理模块的功能用例。

油气分离工艺

基础信息管理

油气田地质类基础信息管理

油气成分检测装置

基础信息管理

平台发配电设备

额定指标管理

管线基础信息管理

天然油气田

基础信息管理

采气作业平台

基础信息管理

工程师

<<include>>

<<include>>

<<include>>

集输处理站

基础信息管理

<<include>>

气井生产作业

基础信息管理

油气处理装置

指标/组态参数管理

油气物质基本

特性参数管理

集输泵站设备

基础信息管理

工况标准信息管理

<<include>>

<<include>>

<<include>>

<<include>>

<<include>>

<<include>>

　　　　　　　　　　　　 　图2.1 天然气生产监测基础信息管理功能

Fig. 2.2 Basic information management function for natural gas production monitoring

## 2.3 生产监测任务管理功能

生产监测任务管理功能的目的，是针对天然气开采作业生产过程的监测要求，解决目前各方面生产信息不够完整和数据处理不够及时等问题。公司实施数字化天然气开采作业是较新型的生产领域，以往完全面向传统生产方式的作业平台在工作方式和数据处理工具等方面都不再适应新的要求，需要根据天然气开采作业的工艺环节和传输环节实现有针对性的新的生产状态采集机制和数据指标的统计和计算方式，适应相应的数据对象和设备状态，同时要满足天然气生产指标数据的处理规程和设备特殊状态和工况下的监测要求。从软件实现的角度，该系统将天然气生产过程监测划分为不同类型的任务单元，通过对任务单元的管理来强化两方面的能力：

采气生产环节的状态连续监测；

集输设备工作状态的动态监测。

上述第一类功能主要面向作业平台的生产过程，第二类功能则主要面向连接生产平台和集输系统的设备装置的工作运行，具体的功能要求分别阐述如下。

### 2.3.1 采气生产环节的状态监测

针对采气生产环节的状态监测功能着重实现以下几个方面的功能任务：

（1）采气作业状态的监测数据处理；

（2）气井状态的监测指标计算；

（3）监测装置的调控管理。

在这几项功能中，采气作业状态的监测数据处理任务基于生产设备的在线状态数据计算开采各环节的主要物元成分的产量，具体包括：

（1）油气产量数据；

（2）二氧化碳产量数据；

（3）凝析处理状态指标数据；

（4）含硫化氢产出量的指标数据

（5）附属碳氢化合物质的产出量数据等。

上述产量数据以时间序列的形式进行组织，内部程序按照设定的工作周期访问作业设备的接口驱动程序来采集原始样本数据，然后通过后处理例程完成必要的数据转换处理以及多设备样本数据的合并统计。该组数据的样本序列用以反映对采气作业产量的连续变化过程。

气井状态的监测指标计算任务主要是基于水下气井监测硬件装置的实测数据周期性地计算钻井进度，钻井轨迹的唯一数据，钻井轨迹数据以及地质特性指标的数据变

化等特征指标。该组监测指标同样也以时间序列的形式进行组织和处理。

监测装置的调控管理任务执行对作业工艺的异常状态进行判别，监测作业负荷以及非安全物质如含硫化物质的安全流量，并根据集控站的质量调控监测任务的工作参数和工作模式。例如对含硫化物的过载监测任务单元需实现的工作方式为：

（1）按国标规范对所采集的实测数据进行计算；

（2）判定所得出的指标等级范围；

（3）根据基准偏差计算监测装置控制变量的调节增量；

（4）生成监测参数调控指令并提交驱动程序单元执行处理。

该系统对每个工艺环节的监测数据处理作为独立的任务单元进行调度管理，这样易于明确执行每个环节的测量数据采监测制、指标计算和工艺组态参数的更新调控任务。每个工艺环节按照设定的周期执行采样和数据计算，其中关键性的环节如油气分离等的采样周期相对较短，以执行更频繁的连续监测。

监测指标每采样周期计算一次，不能连续超过三个周期出现任何指标超过异常上限的情况，否则系统生成告警事件并进而倍增采集和计算检验的频率。以上全部数据同时作为时间序列在系统内部存储。如果以上指标连续三个周期出现超过误差普通上界但仍低于异常上界的情况，则该系统通过执行装置的调控处理功能完成工艺组态参数的调节和请求工艺设备单元驱动程序变更工作状态。

考虑到采气生产作业的各工艺环节执行过程的控制机理差别较大同时响应时间的要求相对较宽，因此调控功能的基本参数和指令在监测工作站上基于监测指标的计算来统一生成，然后下达到前端工控机装置执行，后者的程序将指令参数按照硬件单元的规格要求转换为驱动信号或开关量实施控制。

在总体上，该软件需要适应不同规格的生产设备共存的情况，为此需要在内部管理维护监测规则映射表，将每项监测指标同某项或多项工艺环节相关联，为监测控制程序确定相应的反馈控制规则。表项以监测指标为索引，每个表项包含的记录属性主要有监测指标及其正常边界数值，在超界条件下的调节工艺标识以及工艺组态参数同指标偏差数量之间的关系，后者在简单的情况下如油气脱水处理是以线性比例增益数组来表示，等价于对工艺组态进行比例积分调节，复杂的情况如凝析处理和热交换处理则标识需调用的内部计算程序，通过特定调控计算的任务单元来完成计算，程序执行装置需更新的工作参数和新的控制信号量。

在面向用户的操作方式上，上述功能允许用户基于工艺环节设定监测任务，也允许基于设备硬件装置设定监测任务管理，相应的任务自动被关联被监测工艺或设备的状态指标。上述功能的用例描述如图2.2。

二氧化碳产量

监测/计算

气井状态指标监测计算

附属碳氢化合物

产量监测/计算

告警事件处理

采气作业状态

监测数据处理

油气产量监测/计算

油水分离状态监测/计算

含硫化氢指标

监测/计算

监测装置

调控管理

工程师

钻井日进度

钻井轨迹东西位移

钻井轨迹南北位移

合成轨迹类指标

气井地质类指标

等

<<include>>

<<include>>

<<include>>

<<include>>

<<include>>

<<include>>

<<include>>

普通调控任务处理

<<include>>

过载指标监测

　　　　　　　　　　　　 　 图2.2 采气生产环节状态监测功能

Fig. 2.2 Gas exploration production status monitoring functions

### 2.3.2 集输终端设备的工作状态监测

集输设备工作状态的动态监测功能的具体任务主要是面向连接平台和陆上系统硬件装置的工作运行状态监测，具体分为以下几类监测任务：

（1）集输设备工作状态基本指标监测；

（2）集输管线的流量监测；

（3）能耗监测和统计；

（4）集输设备的过载事件监测和记录；

（5）集输设备系统的历史记录查询和统计分析。

在这些监测任务中，面向集输设备基本工作状态的监测任务需要着重采集和计算集输管线的压力状态指标及其分布数据以及集输终端装置的故障事件判定和记录。监测指标每采样周期计算，如果连续超过四个周期出现任何指标超过异常上限的情况则生成告警事件并进而倍增采集和计算检验的频率。状态样本集合作为时间序列在系统内部存储。如果工作状态指标连续四个周期出现超过误差普通上界但仍低于异常上界的情况则该软件通过终端装置的调控程序单元接口调节集输终端工作参数。

集输管线的流量监测任务通过访问不同物元成分的集输流量传感单元的实测样本统计和计算以下流量指标：

（1）天然气集输流量；

（2）附属油气产品流量；

（3）化工原料类附属产品流量；

（4）集输终端输入端流量信号。

用户可按照集输终端装置设定分配监测任务，例如选择管线，管汇装置，电液控制和分配装置，戊烷及稳定轻烃单元等实体，则该软件要能够根据任务模板和终端实体的工作特性参数生成任务单元的实例，分配任务所访问的设备驱动例程接口和工作参数表。用户可以创建新的技术设备单元和设定新的任务模板，也可以直接创建任务单元，设定监测任务参数然后分配到特定的设备单元。

上述功能的用例模型如图2.3所示。

对集输分系统的另外几项监测管理功能是其运维信息的管理功能以及相应的事务处理功能，具体对集输装置运维基础信息实行标准分类组织和检索功能，集输终端装置的周期性检验测试和试验的数据记录，对集输装置的运维事务处理，其中按照运维流程环节分别实现运维申报、运维任务审核和运维后的验收评估记录等子功能。每项子功能为用户提供标准化的事务模板，用户对其执行创建/编辑和审核处理。

集输装置故障监测

设备过载

事件记录

历史数据查询

能耗监测/统计

集输流量

监测管理

基本工作状态

指标监测管理

集输管线

压力状态监测

天然气流量

监测/计算

<<include>>

<<include>>

<<include>>

<<include>>

<<include>>

采气作业平台

输入信号监测

工程师

<<include>>

附属油气产品

流量监测/计算

化工原料类

副产品

流量监测

图2.3 集输终端设备工作状态监测管理功能

Fig. 2.3 Collection and transport device status monitoring management functions

集输装置的故障信息检索功能按照集输设备和故障类型两类实体进行索引和组织,集输装置的稳定性评估功能则是按照装置的标准指标类型在内部管理按到预定的指标例程，根据当前的试验测试样本执行单项稳定性评测和综合加权类型的稳定性评测。

该模块按照集输终端设备类型具体划分对应的功能任务。以气井井口集输驱动装置的运行监测为例，图2.3概要归纳了针对该类装置的子功能，表2.1归纳该项功能的具体指标组。

表2.1 气井井口集输驱动装置监测管理功能指标

Tab. 2.1 Gas well entry transport driving device monitoring management indicators

|  |  |
| --- | --- |
| 指 标 | 目标数值 |
| 状态采样精度 | 16位（2-进制） |
| 异常状态记录精度 | 故障前1分钟和故障后五分钟 |
| 指令正确率 | 100% |
| 状态模拟量传输延迟上界 | 2秒 |
| 状态开关量传输延迟上界 | 1秒 |
| 指令往返延迟上界 | 1.5秒 |
| 告警延迟上界 | 1秒 |
| 状态记录时间分辨率 | 2毫秒 |
| 状态更新周期: |  |
| 普通(最低优先级)测量样本 | 5秒 |
| 次优先级样本 | 3秒 |
| 高优先级 | 1秒 |
| 压强测量精度 | ±0.01Hz |
| 导压调节相对误差 | ±0.2% |
| 无阻流量相对误差 | ±0.5% |
| 孔隙度相对误差 | ±0.2% |
| 渗透率误差  含气水油饱和度 | ±0.1%  ±0.1% |
| 时钟精度(过载保护单元) | ±1秒 |
| 监测数据流负载率上界 |  |
| 稳定状态 | 10% |
| 普通故障状态 | 30% |
| 历史数据容量 |  |
| 样本周期(最小) | 1分钟 |
| 样本周期(最大) | 30分钟 |
| 模拟状态量存储分辨率 | 1200点/周期 |
| 开关状态量存储分辨率 | 4500点/周期 |
| 脉冲电度量存储分辨率 | 200点/周期 |

图2.4是集输装置运维信息管理功能用例模型。

集输装置运维事务

基础信息管理

测试/试验数据管理

运维事务处理

故障信息检索

运维申报/故障确认

集输装置

稳定性评估

运维任务审核

验收/评估信息记录

单项稳定性评测

工程师

<<include>>

<<include>>

<<include>>

<<include>>

<<include>>

综合稳定性评测

图2.4 集输装置运维信息管理功能

Fig. 2.4 Collection and transport devices maintaining information management use-case

## 2.4 监测工作站信息管理

以往丰源公司对天然气生产过程缺乏完整的数字化监测管理机制，主要基于设备本身的基本管理功能执行工艺状态监测和作业状态调节，因而不能可靠实施较高精度和低能耗指标的连续处理。在过去生产规模相对不大的情况下，这种弱点尚未严重显现，但在目前情况下则成为生产管理方面的瓶颈，因而有必要通过计算机程序对上述的监测指标执行全面的计算处理和实时分析，以多状态指标和图形化的方式集中显示，为工程师提供完整和及时的信息。

天然气生产作业监测工作站信息管理本身不是要实现相对于前面几类功能而言全新的功能，而是实现对前述监测任务的灵活组合、配置和综合性的信息显示，以方便工程师对天然气生产过程进行高效监测。在此原则指导下，监测工作站运行信息管理主要包含以下三组功能：

（1）监测任务编组管理；

（2）生产作业运行报告管理；

（3）全生产工艺流程运维信息管理。

监测任务编组管理功能是对某些较复杂的运行监测任务组合处理，例如工程师通过该项功能指派将特定集输终端配置的全部工艺装置的监测指标作为一个任务单元，设置生效后，该系统将该单元的监测指标数组作为一个整体来进行综合性的趋势分析和指标等级评估。

该项功能也允许工程师按照天然气生产监测指标来编组任务，例如将全部流量变量指标作为一个监测单元，针对流量指标为用户生成动态视图。在系统内部，所有的基本数据除计算的机制与前述功能相同，主要差别是针对上述编组单元在视图层次上重构状态变量的动态显示方式。

监测任务编组管理功能中的启停时序/指令表管理子功能为用户提供设定特殊监测任务的能力，针对可能存在故障的集输装置进行在线调试。

天然气生产监测运行报告管理功能为工程师生成各类标准格式的运行报告，用户可设定指标组合及其特定条件，例如只报告监测等级低于临界水平的状态、或仅针对特定工艺环节等，供用户灵活应用。

全生产工艺流程运维信息管理功能对确认的天然气采气工艺装置故障信息提供完备的检索功能，除工艺装置本身的技术指标外，还生成在故障状态下的相关工艺环节运行状态指标序列。全流程指标趋势计算和显示子功能按照用户指定的时间区间和指标编组计算运行指标的趋势图。上述功能的用例模型如图2.5。

管理监测

任务编组

编制运行报告

创建任务编组

设置报告表单

计算与显示

指标曲线

管理全生产周期

运维信息

维护状态采集

时序/指令表

关联任务

/设置参数

设置关联条件

生成监测报告

<<include>>

>>>>

<<include>>

>>>>

<<include>>

>>>>

<<include>>

>>>>

<<include>>

>>>>

<<include>>

>>>>

<<include>>

>>>>

<<include>>

>>>>

<<include>>

>>>>

管理故障信息

>>>>

管理检修事务信息

>>>>

生产

工程师

图2.5 生产监测工作站信息管理功能

Fig. 2.5 Production monitoring working station information management functions

## 2.5 其他功能概述

该软件相对次要的附属功能有天然气生产环节成本统计和图形动态显示两类。

图形动态显示要求在天然气生产平台工艺装置的位形图上用直观的颜色显示工艺装置的工作状态和采气作业监测指标的动态范围，例如采用红色显示当前状态指标接近边界值的装置或硬件组成单元等。

天然气生产工艺运行成本统计功能主要基于前面记录的油气分离等工艺装置工作状态计算出直接成本，如电量成本和分离装置介质材料的消耗成本，同时根据运维作业的事务数据计算间接性成本。

以上对本系统的需求分析从总体目标到具体功能的主要内容进行了阐述，为以下的设计工作建立了基础。

该天然气生产监测管理系统的构建开发，是为解决丰源公司在实施油气开采作业管理过程中面临的生产作业的及时监测问题。针对天然气开发作业的连续性、安全性和经济性，以往的管理手段存在很多不足，同时也不能很好地适应新设备和新的运作规范的要求，因此该系统的基本思想是充分运用成熟的计算机软件技术以及网络技术，为本公司长期、高效实施油气田开采作业的数字化管理奠定生产作业监测方面的必要基础。为此着重分析公司目前在油气田生产管理方面所亟需克服的瓶颈因素，归纳为以下几个方面的问题。首先是解决目前对天然气生产作业的基础信息管理不充分，集成度不够高，不能适应连续和高水平生产监测要求的问题。出于高水平管理和保障质量的要求，油气田开采过程的生产作业监测越来越需要结合类型较为广泛的基础信息，例如基本勘查类信息、当前作业区域的地质结构类信息、关键生产设备的技术指标信息、生产作业计划类信息、安全作业基准数据等。这些信息属于静态类型，但对每个批次的生产的作业监测都需要用到，而且最好能够随工业标准的更新而自动综合到系统平台中，以往本公司尚未能很完整地全面综合基础信息，对此本系统需要基于主流数据库技术来实现统一的管理。其次是针对天然气开采作业生产过程的监测管理，解决目前各方面生产信息不够完整和数据处理不够及时等问题。数字化的天然气开采作业是丰源公司较新进入的生产领域，以往的传统生产作业平台在工作流程和粗放型的管理模式等方面都不再适应，需要根据数字化天然气开采作业的工艺环节和传输环节实现有针对性的新的生产状态采集机制和数据指标的统计和计算方式，适应相应的数据对象和设备状态，同时要满足天然气生产指标数据的处理规程和设备特殊状态和工况下的监测要求。此外新的监测管理系统需要集成部分常用的事务性管理支持功能，例如对监测任务的分配调度，对故障设备的基本维护事务的信息管理等功能，这些是有效监测较大范围的作业所需要具有的辅助支持能力。最后是解决信息的报告手段和分析工具不足的问题。该系统需要实现在生产运行中心的图形工作站上的集中信息处理和部分作业指令的运行管理，要求对监测任务能够在线配置和调整，对所采集的生产状态既能够实现标准化的指标计算处理，同时也能够支持管理者针对特殊要求而定制监测任务的工作方式如特殊参数、监测周期以及同其他监测任务的关联方式等。对前端程序单元所采集的设备和开发作业工艺流程的状态信息，能够及时更新其动态变化并在基本数据基础上叠加显示当前的动态特性指标的数值和趋势变化。在其他方面，该系统的功能需要同时注重同其他信息如天然气销售信息平台的数据集成，同时也要充分考虑到能够为外部平台提供生产动态数据，满足国家和行业技术标准。基础数据管理是实现高质量的天然气开采过程生产作业监测的基本保障。基础信息属于静态类型，但对实现各种类型的生产作业监测任务都需要用到，而且最好能够随工业标准的更新而自动综合到系统平台中。针对采气生产环节的状态监测功能着重实现以下几个方面的功能任务：采气作业状态的监测数据处理；气井状态的监测指标计算；监测装置的调控管理。在这几项功能中，采气作业状态的监测数据处理任务基于生产设备的在线状态数据计算开采各环节的主要化学成分的产量，具体包括油气产量数据；二氧化碳产量数据；凝析处理状态指标数据；含硫化氢产出量的指标数附属碳氢化合物质的产出量数据等。上述产量数据以时间序列的形式进行组织，内部程序按照设定的工作周期访问作业设备的接口驱动程序来采集原始样本数据，然后通过后处理例程完成必要的数据转换处理以及多设备样本数据的合并统计。该组数据的样本序列用以反映对采气作业产量的连续变化过程。气井状态的监测指标计算任务主要是基于水下气井监测硬件装置的实测数据周期性地计算钻井进度，钻井轨迹的唯一数据，钻井轨迹数据以及地质特性指标的数据变化等特征指标。该组监测指标同样也以时间序列的形式进行组织和处理。监测装置的调控管理任务执行对作业工艺的异常状态进行判别，监测作业负荷以及化学物质如含硫化物质的安全流量并根据集控站的质量调控监测任务的工作参数和工作模式。按照开采高效连续天然气的生产平台的特点，该软件对基础数据的管理分三个方面的功能进行组织，分别是天然油气田的基础信息管理功能；天然气开采作业平台的基础信息管理功能；增压处理站的基础信息管理功能。对每类基础信息，系统按照细化的分类信息组织相应的子功能。例如对天然油气田的基础信息管理，具体按照有地质及水文类基础信息、气井工作特性基础信息、开采工艺类信息、油气等混合物成分的分离工艺信息、油气混合物及硫化氢等物质的化学特性参数等多种子类型。系统对每类信息按照基本模板进行组织，用户可以末班为基本单元创建、编辑和更新基本信息，例如设置新的气井的工作属性参数，关联气井的地质类信息等项操作。所支持的其他基础数据还包括基本勘查类信息、当前作业区域的地质结构类信息、关键生产设备的技术指标信息、生产作业计划类信息、安全作业基准数据等。天然气开采作业平台的基础信息主要针对生产平台的硬件组成部分及其工作特性指标，包含平台的发配电设备的工作特性数据，油气处理装置的特性数据，生产过程的物质检验装置的特性指标，多级分离器容量特性等。该组功能以作业平台为基本对象进行组织，用户可展开每个平台对象的关联单元的工作指标，如上述的发配电设备特性指标等，以及该平台的分布位置，基本尺寸和重量，每根主桩的结构重量、深度、桩径和间距等作业平台布置信息。增压处理站的基础信息针对天然气采集系统的核心组成部分，主要包含管线设施基础数据、增压设备工作特性以及工况标准数据等指标。上述基本数据用于生产动态过程状态指标的监测计算和异常判别，要求以每类设备为基本模板来创建，同时以设备增压设备模板为对象来组织附属信息的维护和更新操作。该天然气生产监测管理系统的构建开发，是为解决丰源公司在实施油气开采作业管理过程中面临的生产作业的及时监测问题。针对天然气开发作业的连续性、安全性和经济性，以往的管理手段存在很多不足，同时也不能很好地适应新设备和新的运作规范的要求，因此该系统的基本思想是充分运用成熟的计算机软件技术以及网络技术，为本公司长期、高效实施油气田开采作业的数字化管理奠定生产作业监测方面的必要基础。为此着重分析公司目前在油气田生产管理方面所亟需克服的瓶颈因素，归纳为以下几个方面的问题。首先是解决目前对天然气生产作业的基础信息管理不充分，集成度不够高，不能适应连续和高水平生产监测要求的问题。出于高水平管理和保障质量的要求，油气田开采过程的生产作业监测越来越需要结合类型较为广泛的基础信息，例如基本勘查类信息、当前作业区域的地质结构类信息、关键生产设备的技术指标信息、生产作业计划类信息、安全作业基准数据等。这些信息属于静态类型，但对每个批次的生产的作业监测都需要用到，而且最好能够随工业标准的更新而自动综合到系统平台中，以往本公司尚未能很完整地全面综合基础信息，对此本系统需要基于主流数据库技术来实现统一的管理。其次是针对天然气开采作业生产过程的监测管理，解决目前各方面生产信息不够完整和数据处理不够及时等问题。数字化的天然气开采作业是丰源公司较新进入的生产领域，以往的传统生产作业平台在工作流程和粗放型的管理模式等方面都不再适应，需要根据数字化天然气开采作业的工艺环节和传输环节实现有针对性的新的生产状态采集机制和数据指标的统计和计算方式，适应相应的数据对象和设备状态，同时要满足天然气生产指标数据的处理规程和设备特殊状态和工况下的监测要求。此外新的监测管理系统需要集成部分常用的事务性管理支持功能，例如对监测任务的分配调度，对故障设备的基本维护事务的信息管理等功能，这些是有效监测较大范围的作业所需要具有的辅助支持能力。最后是解决信息的报告手段和分析工具不足的问题。该系统需要实现在生产运行中心的图形工作站上的集中信息处理和部分作业指令的运行管理，要求对监测任务能够在线配置和调整，对所采集的生产状态既能够实现标准化的指标计算处理，同时也能够支持管理者针对特殊要求而定制监测任务的工作方式如特殊参数、监测周期以及同其他监测任务的关联方式等。对前端程序单元所采集的设备和开发作业工艺流程的状态信息，能够及时更新其动态变化并在基本数据基础上叠加显示当前的动态特性指标的数值和趋势变化。在其他方面，该系统的功能需要同时注重同其他信息如天然气销售信息平台的数据集成，同时也要充分考虑到能够为外部平台提供生产动态数据，满足国家和行业技术标准。基础数据管理是实现高质量的天然气开采过程生产作业监测的基本保障。基础信息属于静态类型，但对实现各种类型的生产作业监测任务都需要用到，而且最好能够随工业标准的更新而自动综合到系统平台中。针对采气生产环节的状态监测功能着重实现以下几个方面的功能任务：采气作业状态的监测数据处理；气井状态的监测指标计算；监测装置的调控管理。在这几项功能中，采气作业状态的监测数据处理任务基于生产设备的在线状态数据计算开采各环节的主要化学成分的产量，具体包括油气产量数据；二氧化碳产量数据；凝析处理状态指标数据；含硫化氢产出量的指标数附属碳氢化合物质的产出量数据等。上述产量数据以时间序列的形式进行组织，内部程序按照设定的工作周期访问作业设备的接口驱动程序来采集原始样本数据，然后通过后处理例程完成必要的数据转换处理以及多设备样本数据的合并统计。该组数据的样本序列用以反映对采气作业产量的连续变化过程。气井状态的监测指标计算任务主要是基于水下气井监测硬件装置的实测数据周期性地计算钻井进度，钻井轨迹的唯一数据，钻井轨迹数据以及地质特性指标的数据变化等特征指标。该组监测指标同样也以时间序列的形式进行组织和处理。监测装置的调控管理任务执行对作业工艺的异常状态进行判别，监测作业负荷以及化学物质如含硫化物质的安全流量并根据集控站的质量调控监测任务的工作参数和工作模式。按照开采高效连续天然气的生产平台的特点，该软件对基础数据的管理分三个方面的功能进行组织，分别是天然油气田的基础信息管理功能；天然气开采作业平台的基础信息管理功能；增压处理站的基础信息管理功能。对每类基础信

# 3 系统设计

## 3.1 软件组成框架

该天然气生产监测系统的软件设计工作分为概要设计和详细设计两个步骤展开。概要设计工作着重于确定软件的总体组成架构，然后在稳定的架构基础上进行各个组成模块的详细设计。

该软件的组成架构在总体上按照监测工作站运行信息管理、监测任务管理和数据库三个层次的模块进行组织，其中工作站的运行信息管理模块负责面向用户执行交互式事务处理和实际天然气生产的运行状态的显示。监测任务管理模块面向天然气的采气和集输装置及其监测单元的运行调节任务，根据工作站程序指令完成监测过程变量的计算和生成监测装置需执行的任务指令。该模块有以下组成子模块：

生产/集输状态监测子模块，具体有以下单元模块组成：

油气产量监测和计算；

二氧化碳产量监测和计算；

油气分离状态指标监测和计算；

含硫化氢物元指标监测和计算；

其他附属化合物过滤处理监测和计算；

气井的工作状态监测和计算。

上述每个单元模块在系统内部作为独立的任务单元周期性访问对应的生产流程监测装置数字接口，根据原始样本换算监测指标变量的实际数值。

监测告警子模块，针对偏离正常状态的偏差事件进行判定和生成告警信息。

硬件设备装置的稳定性监测子模块，根据运行状态数据对短期故障特征进行判定，对长期性的运行故障信息进行统计分析，同时实行装置的运维事务处理。因此该子模块有以下单元模块：

硬件装置的故障信息管理；

硬件装置的运维事务信息处理；

装置的运行状态及其任务状态指标统计。

基础数据管理模块，为生产及集输装置的技术特性提供内部的分类创建与维护功能，同时与数据库平台相结合对系统的监测样本数据、任务单元及硬件单元组态参数以及事务性数据实现长期存储。此外该系统通过数据库同外部系统交换工艺数据和工装置的运维检测事务类信息。该软件的框架组成如图3.1。

硬件装置稳定性监测

生产基础信息管理

生产装置基础数据管理

生产/集输状态监测

监测告警

工艺/工况标准

数据管理

装置运维信息管理

运行状态/任务统计

偏差特征判别

油气产量监测/计算

二氧化碳监测/计算

油气分离监测/计算

硫化氢监测/计算

监测任务管理

天然气生产监测工作站运行信息管理

系统数据库

工艺装置/集输装置/运行标准/运行数据/监测指标/故障记录/运维曲线等

监测

任务

配置

装置故障信息管理

气井工况监测/计算

集输装置

基础信息管理

工艺装置

基础信息管理

物质成分

基准数据管理

附属物质监测/计算

运行

视图

显示

生产流程

状态信息

查询

图3.1 软件系统框架

Fig. 3.1 Software system framework

## 3.2 数据库设计

### 3.2.1 数据库逻辑方案设计

系统数据库的设计采用关系数据模型，主要实体的实体/联系图如图3.2。

采气工艺环节

生产装置

生产状态数据

监测数据

生产监测装置

运行指标数据

运行特性

基准

设置

状态

处理

配置

能耗

特性

工作参数

记录

连接

集输终端装置

运行状态数据

1

1

1

1

1

1

1

1

1

n

n

n

n

n

1

n

n

n

n

1

能耗数据

告警信息

告警

n

1

集输监测记录

监测

n

1

运维记录

运维

n

1

基准

组态参数

控制

工艺参数

测量

n

1

1

n

图3.2 数据库实体/联系图

Fig. 3.2 Entity/Relationship diagram of database

### 3.2.2 数据库详细设计

数据库的数据实体需要具有较强的结构化特征，每类实体具有明确的属性和引用关系，这些要求都较适合于本系统的情况。以下是部分数据实体的关系数据表的详细设计方案实例。

表 3.1 监测数据表

Tab. 3.1 Monitoring data table

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 字段 | 描述 | 数据类型 | 主键/外键 |
| MCTSEQ | 监测序号 | INT | PK |
| MSTID | 监测装置序号 | INT | FK |
| RTM | 记录时间 | DATETIME |  |
| RCDT | 平台天然气产量 | DECIMAL |  |
| FLICT | 终端流入量 | DECIMAL |  |
| FLOC | 终端流出量 | DECIMAL |  |
| LCO2 | 液态二氧化碳产出量 | DECIMAL |  |
| HSERF | 含硫化氢物质流量 | DECIMAL |  |
| MMFVL | 气井套压 | DECIMAL |  |
| CYCTL | 气井输压 | DECIMAL |  |
| CYCTMS | 二氯甲烷分压指数 | DECIMAL |  |
| MAVL | 碳化物分压指数 | DECIMAL |  |
| MVTSR | 氯分压指数 | DECIMAL |  |
| PWSL | 捕集循环率 | DECIMAL |  |
| GWSTL | 气井编号 | INT | FK |
| TPSN | 增压率 | DECIMAL |  |
| COD | 负压指数 | DECIMAL |  |
| RCDT | 浮油指数 | DECIMAL |  |
| IDF | 分散油指数 | DECIMAL |  |
| VALC | 气液渗透率系数 | DECIMAL |  |
| PPTR | 钻孔涌出量 | DECIMAL |  |
| ERCL | 射孔井段长度 | DECIMAL |  |
| ACDCV | 气井孔隙度 | DECIMAL |  |
| CPP | 临界压差 | DECIMAL |  |
| GPSR | 气藏压强 | DECIMAL |  |
| SLP | 溶解油指数 | DECIMAL |  |
| OWVS | 油水粘度 | DECIMAL |  |

表3.2是采气生产作业的监测装置基本工作参数表，直接包含了大部分监测计算所需要经常访问的工作参数，同时将某些更复杂的参数如按照作业工况分段的校正系数通过外键关联方式存储到单独的数据表中以避免数据表过于复杂。

表3.2 监测装置工作参数表

Tab. 3.2 Monitoring device working parameters table

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 字段 | 描述 | 数据类型 | 主键/外键 |
| CFDIS | 组态标识 | INT | PK |
| DVSEQ | 装置序号 | INT | FK |
| DVSTID | 装置类型 | INT |  |
| PMSIDX | 参数索引号 | CHAR（2） |  |
| TSP | 物元基准参比数组号 | INT |  |
| TSS | 单元接口序号 | INT |  |
| SNR | 灵敏度（%） | DECIMAL |  |
| EFLP | 最大量程 | DECIMAL |  |
| PSLP | 参数标识号 | CHAR（4） |  |
| RCVC | 检测指令类型码 | CHAR（2） |  |
| PCNLX | 指令组索引号 | INT |  |
| LCFFS | 分段校正数组编号 | CHAR（6） |  |
| CPROC | 监测周期 | INT |  |
| GWTV | 天然气脱水率均值 | DECIMAL |  |
| GTMCS | 天然气烃露点控制系数 | DECIMAL |  |
| PSCR | 前端静压均值 | DECIMAL |  |
| OBSTC | 后端静压均值 | DECIMAL |  |
| OBS | 定压热膨胀系数 | DECIMAL |  |
| LND | 蒸汽饱和度 | DECIMAL |  |
| LNDEXT | 油气活度系数上界 | DECIMAL |  |
| LNDCNT | 油气活度系数下界 | DECIMAL |  |
| IMPC | 油气运动粘度 | DECIMAL |  |
| IMPF | 油气动力粘度 | DECIMAL |  |
| VTMCS | 节流膨胀校正系数 | DECIMAL |  |
| CTPM | 校正温度下界 | DECIMAL |  |
| MVRIDS | 测量基准流量 | DECIMAL |  |
| NTSEQ | 脱脂液等焓系数 | DECIMAL |  |
| TIDNZ | 脱脂液绝热交换系数 | DECIMAL |  |
| DCRV | 基准导压系数 | DECIMAL |  |

表3.3 生产状态数据表

Tab. 3.3 Production status data table

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 字段 | 描述 | 数据类型 | 主键/外键 |
| RSQN | 记录序号 | INT | PK |
| PRCMTU | 工艺序号 | INT | FK |
| MTT | 监测时间 | DATETIME |  |
| GWSTL | 气井编号 | INT | FK |
| BNSCL | 含油率 | DECIMAL |  |
| MALCD | 气井底部压强 | DECIMAL |  |
| STX | 无滑脱持气率 | DECIMAL |  |
| PSVL | 气液混合密度 | DECIMAL |  |
| FSTRUN | 气相逸度 | DECIMAL |  |
| PRSCTSN | 烷烃浓度 | DECIMAL |  |
| SVRCNT | 平均凝析率 | DECIMAL |  |
| CFGUT | 脱脂络合指数 | DECIMAL |  |
| PROCIDX | 油压指数 | DECIMAL |  |
| CFCHF | 气相双脂指数 | DECIMAL |  |
| LCFTM | 气相苯氨指数 | DECIMAL |  |
| CFGDSP | 气相苯乙酸指数 | DECIMAL |  |
| RSP | 气相苯乙胺指数 | DECIMAL |  |
| DFLP | 平均热扩散指数 | DECIMAL |  |
| DFVL | 稳产流压 | DECIMAL |  |
| CSTALT | 分离沉降指数 | DECIMAL |  |
| RCT | 节流负压 | DECIMAL |  |
| ASTP | 天然气水合物指数 | DECIMAL |  |
| NHTU | 气相烃分压 | DECIMAL |  |
| NCMTL | 凝析系数变化率 | DECIMAL |  |
| CH | 校深 | DECIMAL |  |
| MSCL | 循环脱脂率 | DECIMAL |  |
| PMSKLD | 渗滤检测类型 | CHAR（1） |  |
| ELSYP | 采收检测类型 | CHAR（1） |  |
| REUPVL | 校深误差上界 | DECIMAL |  |

以上的工艺环节作业状态数据表将天然气生产环节的状态变量集中存储记录，缺点是每项记录具有很多空字段，损失了存储效率，但总体而言所损失的存储容量并不高，优点则是在单独数据表中描述完整的工艺状态从而简化编程。

限于篇幅，其他数据库表数据结构在此从略。

# 3.3 主要模块的详细设计

### 3.3.1 基础数据管理模块

基础数据管理模块通过标准的数据库接口组件存取数据库平台上的采气生产工艺及集输装置等实体的工作参数和配置信息，同时通过将这些信息按照生产流程整体性的要求进行组合与转换，为其他程序模块的调用提供同当前的生产作业流程和油气集输过程相匹配的数据输出。

在模块的内部设计有以下类型的软件对象组成：

天然气生产平台作业监测装置类DtdDvCls；

天然气生产平台作业工艺装置类ActDvCls；

天然气生产工艺类ProcCls。

对作业监测装置类DtdDvCls，按照不同类型的测量装置的基本参数和指标数据计算方式不同划分以下的子类：

（1）温度测量装置类TmpDtdDvCls；

（2）压力测量装置类PsDtdDvCls；

（3）附属化合物流量测量装置类FluxDtdDvCls；

（4）油气流量测量装置类LvDtdDvCls；

（5）含硫化氢物质成分监测装置类HsDtdDvCls。

作业监测装置类DtdDvCls的数据结构封装子类对象的公共接口函数和数据变量，主要的成员变量和函数有：

（1）装置的安装单元标识号；

（2）前置作业工艺环节标识号；

（3）后置作业工艺环节标识号；

（4）下位调控单元端口号；

（5）当前批次监测样本数组；

（6）数据转储函数；

（7）工作参数初始化函数；

（8）工作参数更新函数；

（9）指标计算函数。

这些接口函数中的工作参数处理和指标计算函数在子类上重载以实现具体的前端数据处理算法。

该模块类似地按照生产及集输装置的类型的不同划分以下子类：

过滤装置类FtrActDvCls；

凝析处理装置类DptsActDvCls；

捕集器类CtrGtActDvCls；

伺服器驱动/调节装置类EmActDvCls。

父类ActDvCls所封装的成员变量和接口函数有：

（1）生产工艺或集输终端装置序号；

（2）关联监测装置采集通道数组；

（3）组态参数数组；

（4）工作状态初始化函数；

（5）状态变量计算函数；

（6）监测数据读取函数等。

以分离装置类DptsActDvCls为例，该类对状态变量如分离系数计算函数如下：

计算分离器的阀阻比；

根据当前温度计算介质临界压强；

计算含脂混合物阻塞系数；

计算混合物粘度系数的校正值；

按照分离装置位形参数和工作状态方程计算凝析处理系数。

基类ProcCls封装天然气生产指标的基准数据及转换计算的接口函数，例如：

有害物质成分浓度阈值及统计分析参数；

工艺规范指标，例如脱脂分离率指标、吸附介质类指标、混凝剂参数、用于测算监测变量的参数基值等。

ProcCls类的子类有：

（1）预处理工艺类PxProcCls；

（2）过滤工艺类FtrProcCls；

（3）热交换工艺类HtExProcCls；

（4）油气脱水工艺类EsmProcCls；

（5）凝析处理类DpxProcCls。

每个ActDvCls类执行装置对象关联某个特定的ProcCls类工艺对象，每个DtdDvCls类对象关联某个ActDvCls类对象，两者在工艺处理类型上匹配，例如温度监测类装置同热交换器装置组合，前者向后者提供在线测量数据及其必要的预处理结果。对于处理的计算目的是为了能够对具有不同构型和机理的监测装置生成同单元的

物理特性相独立的输出，使后续的工艺或集输装置状态计算和工作组态的调节完全有

程序按照技术标准来进行。上述对象的类图模型如图3.3所示，限于篇幅略去描述工艺类对象的子类。

|  |
| --- |
| 工艺监测装置类 |
| DtdDvCls |

|  |
| --- |
| 温度测量装置类 |
| TmpDtdDvCls |

|  |
| --- |
| 附属物测量装置类 |
| FluxDtdDvCls |

|  |
| --- |
| 压力测量装置类 |
| PsDtdDvCls |

|  |
| --- |
| H2S成分测量类 |
| HsDtdDvCls |

|  |
| --- |
| 工艺装置类 |
| ActDvCls |

|  |
| --- |
| 油气测量装置类 |
| LvDtdDvCls |

|  |
| --- |
| 过滤装置类 |
| FtrActDvCls |

|  |
| --- |
| 捕集器装置类 |
| CtrGtActDvCls |

|  |
| --- |
| 伺服驱动装置类 |
| EmActDvCls |

|  |
| --- |
| 分离装置类 |
| DptsActDvCls |

|  |
| --- |
| 工艺类 |
| ProcCls |

图3.3 基础数据对象类图

Fig. 3.3 Class diagram of the basic data objects

### 3.3.2 监测任务管理模块

监测任务管理模块对油气采集工艺和集输状态的监测处理在以下类型对象中完成：

类ProcStxCls执行天然气生产作业状态的监测数据计算处理；

类ProcExitCls执行集输终端装置监测指标计算；

类CtrDvCls执行监测装置的工作状态调控。

类ProcStxCls的不同的子类在针对生产平台作业状态的监测数据的计算的具体算法，按照天然气生产的工艺规范和过程的物理模型执行计算，具体有：

（1）类PtpProcStxCls执行预处理工艺的状态监测指标计算；

（2）类EtmProcStxCls执行油气TEG-脱水处理工艺的状态监测指标计算；

（3）类HtExProcStxCls执行热交换处理工艺的状态监测指标计算；

（4）类DptsProcStxCls执行凝析处理处理工艺的状态监测指标计算；

（5）类FtrProcStxCls执行甘醇接触式分离处理工艺的状态监测指标计算等。

每个ProcStxCls类对象处理作为独立的任务实例进行调度管理，执行每个环节的测量数据采监测制、指标计算和工艺组态参数的更新调控任务。每个对象按照设定的周期执行采样和数据计算，其中油气脱水和凝析处理计算任务的对象的样本周期相对较短，以执行更频繁的连续监测。

类ProcExitCls的对象执行对天然气生产集输终端装置监测指标的分析计算，每个该类对象分配到某个特定的流程的实例，对工艺流程处理结果计算其连续监测指标。该对象作为独立的任务单元周期性地访问物质成分监测装置类HsDtdDvCls，通过以下接口函数执行计算：

出口监测样本安全性检验函数，判定出口样本是否满足有害附属化合物安全指数基准，基本指标有天然气生产后的二氧化硫分压指数、硫化氢分压指数以及烷烃物当量去除率和脱脂率等。

出口监测指标稳定性检验函数，对有害物质成分数据表所记录的数据指标逐项计算统计性稳定指标。

油气等产出品出口流量的相关性计算函数，计算统计相关系数并判定是否高于误差阈值。以类ProcExitCls的出口样本检验函数为例，其程序逻辑描述如下：

WHILE（SMP=当前采样数组）

BEGIN

根据当前样本计算作业指标IVL，如天然气流量、液态二氧化碳流量、

含硫化氢物元当量等；

FOR 每个指标IVL[i]

/\*T表示当前周期\*/

BEGIN

IF（IVL[i][T]>普通阈值[i]

AND IVL[i][T-1]>普通阈值[i]

AND IVL[i][T-2]>普通阈值[i] ）AND

（IVL[i][T]<过载阈值[i]

OR IVL[i][T-1]<过载阈值[i]

OR IVL[i][T-2]<过载阈值[i]）

THEN

BEGIN

检索配置数据表

确定指标IVL[i]的关联调控装置的对象CRTCLS[i]；

调用CRTCLS[i]的反馈调节接口函数；

END ELSE

IF （IVL[i][T]>=过载阈值[i]

OR IVL[i][T-1]>=过载阈值[i]

OR IVL[i][T-2]>=过载阈值[i]）

THEN

BEGIN

检索配置数据表

确定指标IVL[i]的关联调控装置的对象CRTCLS[i]；

调用CRTCLS[i]的异常处理接口函数；

生成告警消息；

END

记录数据到数据库；

END

END

在总体上，该模块对天然气生产及集输过程监测的工作方式按以下步骤循环处理：

按照质量标准对采集的测量数据进行计算；

判定所得出的状态指标的等级范围；

根据基准偏差计算被测装置的控制变量的调节增量；

生成驱动信号调节执行装置。

上面对本模块完成数据处理的主要对象及其任务执行方式做了阐述，图3.4是本模块监测处理对象的类图模型，图3.5描述生产流程作业监测任务对象执行监测信息处理的时序图模型。

|  |
| --- |
| 工艺状态  监测计算类 |
| ProcStxCls |

|  |
| --- |
| 预处理工艺状态  监测计算类 |
| PtpProcStxCls |

|  |
| --- |
| 热交换工艺状态  监测计算类 |
| HtExProcStxCls |

|  |
| --- |
| 工艺装置  调节控制类 |
| CtrDvCls |

|  |
| --- |
| 分离工艺状态  监测计算类 |
| FtrProcStxCls |

|  |
| --- |
| 生产流程出口  指标计算类 |
| ProcExitCls |

|  |
| --- |
| 脱水工艺状态  监测计算类 |
| EtmProcStxCls |

|  |
| --- |
| 凝析工艺状态  监测计算类 |
| DptsProcStxCls |

图3.4 工艺状态监测计算对象类图

Fig. 3.4 Class diagram of the process status monitoring and computing objects

：ProcExitCls

：CtrDvCls

数据采样

（如果指标过载）

反馈过载指标

生成调节请求

物元成分样本数据

计算控制

变量增量

生成调节

指令

（下个周期）数据采样

过载阈值

检验

计算工艺

出口指标

：McxDtdCls

计算指标

稳定性

调控信号

图3.5 工艺状态监测时序图

Fig. 3.5 Time sequence diagram of the process status monitoring and computing

类CtrDvCls的对象在内部管理控制规则映射表，将每项监测指标同某项或多项工艺环节相关联，为监测控制程序确定相应的反馈控制规则。该表具有线性队列结构ListCls类型，表项以监测指标为索引，每个表项包含的记录属性主要有监测指标及其正常边界数值，在过载条件下的调节工艺标识以及工艺组态参数同指标偏差数量之间的关系，后者在简单的情况下如油气脱水处理是以线性比例增益数组来表示，等价于对工艺组态进行比例积分调节，复杂的情况如凝析处理和热交换处理则标识需调用的内部计算程序，通过特定调控计算的任务单元来完成计算。

除上述计算任务，该模块对天然气集输终端装置的工作状态管理通过以下类型的

对象来执行：

（1）类FrsDvCls，执行集输装置运行状态及故障特征判别检验处理；

（2）类MtmDvCls，执行集输装置运维事务信息管理；

（3）类TskDvCls，执行集输装置监测任务统计；

（4）类StsDvCls，执行集输装置运行状态统计。

以类FrsDvCls为例，该类封装的主要接口函数执行以下任务：

（1）根据集输装置工作状态变量数组周期性计算故障特征变量；

（2）计算特征变量的稳定性指标；

（3）计算状态变量的误差指标；

（4）判定是否存在异常偏差。

类FrsDvCls派生的子类有井口集输驱动类装置故障信息检验类PwFrsDvCls、渗滤类装置故障信息检验类PfFrsDvCls等，对上述接口函数按照技术标准所规定的算法执行故障特征检验。

类MtmDvCls执行工艺装置运维事务信息存取，每个维修流程关联某个该类对象实例，接口函数主要执行以下任务：

（1）检索运维基础数据；

（2）检索试验测试数据；

（3）记录当前维修事务；

（4）校验和更新试验测试数据；

（5）更新运维数据；

（6）统计长期稳定性指标。

（7）长期性稳定性指标如平均故障间隔时间、等效稳定性综合指数。

类MtmDvCls包含子对象来描述特定集输装置的测试检验数据。子对象以ExpDataCls为基类，公共成员变量有集输装置试验类型、试验时间、本批次试验参数组等，主要接口函数有：

（1）试验数据的数据库检索函数；

（2）试验数据存储更新函数；

（3）数据统计函数等。

类StsDvCls通过调用类MtmDvCls的ExpData类子对象的上述接口函数完成运行状态统计。该组计算结果存储在数据库，供类FrsDvCls的相应子类在特定的时间周期上计算集输装置的当前稳定性指数和集输工作介质余量等变量。

图3.6是集输装置工作状态监测相关的对象类图，图3.7是该组对象时序图。

|  |
| --- |
| 集输装置  工作状态管理类 |
| FrsDvCls |

|  |
| --- |
| 集输驱动装置  状态管理类 |
| PwFrsDvCls |

|  |
| --- |
| 动力泵类装置  状态管理类 |
| PfFrsDvCls |

|  |
| --- |
| 集输装置  运维事务类 |
| MtmDvCls |

|  |
| --- |
| 管线类装置  状态管理类 |
| HtFrsDvCls |

|  |
| --- |
| 集输终端装置  试验数据类 |
| ExpDataCls |

图3.6 集输装置工作状态监测管理对象类图

Fig. 3.6 Class diagram of the transport device working status monitoring management objects

### 3.3.3 监测工作站信息管理模块

天然气生产监测工作站的主程序以WStnCls类对象为主封装面向用户交互式处理的视图接口函数，同时封装同下层的工艺监测执行程序交互的接口函数。

WStnCls类的程序实现以下处理任务：

对前述的ProcStxCls类对象设置工作参数组。

对象从ProcStxCls类对象接收工艺处理状态数据，生成状态视图。

接收生产工程师设置调控命令，例如对特定工艺环节设置新组态或暂停运行等，将交互式方式设置的输入组装成命令控制块的信息单元。

：MtmDvCls

：ExpDataCls

运维事务请求

检索试验测试数据

故障特征

检验判定

更新测试

试验数据

记录维修

事务信息

：FrsDvCls

计算稳定性

指标

试验测试数据

图3.7 集输装置工作状态监测管理时序图

Fig. 3.7 Time sequence diagram of the transport device working status monitoring management objects

在控制命令转换为进程的控制指令后调用CtrDvCls对象的任务接口函数，驱动后者执行任务控制变量的计算和向工艺或集输装置分配执行指令和控制变量。

CtrDvCls类对象接收工作站主进程的调控指令，在内部计算新的作业状态。

CtrDvCls类对象生成按照新的工艺状态计算和生成控制变量数值，然后调用ActDvCls类对象的某个同该控制变量相匹配的子类监测对象。后者计算硬件驱动程序的控制信号数值和指令码，然后执行调节控制。

在上述过程进行的同时，ProcStxCls类对象和其他类型的工艺或集输状态监测类对象的实例按设定的周期继续采样并向ActDvCls传输反馈测量数值，同时按设定的参数周期向WStnCls反馈生产运行状态。

以上过程循环执行直到WStnCls接收到用户的停止运行指令为止。图3.8描述该过程的某个周期循环。

：CtrDvCls

：ProcStxCls

生产状态采集参数设置

调控指令

视图

更新

生产状态反馈

请求执行

控制

计算更新

状态

：WStnCls

状态反馈

变量

计算

/输出

调节

变量

生产状态周期性报告

：ActDvCls

样本

采集/

指标

计算

生产状态周期性报告

生成控制

信号

图3.8 监测工作站程序工作时序图

Fig. 3.8 Time sequence diagram of the monitoring workstation processes

# 4 系统实现与测试

## 4.1 系统软硬件

丰源公司的天然气生产监测系统的运行环境采用通用操作系统平台，基于C++编程，同时与企业现有的管理信息系统的Oracle数据库集成。

该软件具有数据分散采集和计算集中处理的模式。该软件系统部署的主要物理硬件实体有：

（1）设备控制单元（Device Control Unit），用以实现生产和集输过程中的数据采集、控制指令传输和数据通信。

（2）数据存储/备份系统

（3）监测工作站服务器

（4）数据库服务器

（5）数据网络采用100Mbps工业以太网。

生产及集输终端运行监测装置数字控制单元硬件技术指标及配置如表4.1所示。

表4.1 监测单元硬件配置

Tab. 4.1 Monitoring Device control unit configuration

|  |  |
| --- | --- |
| 电源 | 24V AC 50/60 Hz （最低20V AC至最高30V AC） |
| 功率 | 最大50 VA |
| 数据保护电池 | 用于断电时数据保护。  12V 1.2Ah，21°C使用时间五年。 |
| 时钟电池 | 板式电池，用于断电时实时计时。  25°C时使用时间10年。 |
| 处理器 | 300 MHz GX1 MMX 增强型处理器（32 位） |
| 内存 | 256 MB 闪卡 EPROM  256 MB SDRAM （动态随机存取存储器）用于操作数据动态内存。 |
| 网络  及串行接口 | 双以太网接口；10/100 Mb；8针RJ-45型连接器；  双独立RS-485型N2总线接口，9600波特；  双RS-232C型串行端口；  支持所有标准波特率；  标准9针次D式连接器；  双USB串行端口，标准USB连接器；  一个LONWORKS 兼容端口，FTT10；  为内置调制解调器设计的一个电话接口；  最高速度56KB；  6针RJ-11型连接器。 |

## 4.2 基础数据管理程序实现

第三章阐述了该模块程序的主要组成对象，本节对其中部分对象类型的数据结构的实现描述如下。

//采气作业监测装置父类

class DtdDvCls{

//基本作业周期（秒）

int T;

//下位监测单元端口号

int IDP;

//其他变量略

//转储数据

int mtDbConn();

//加载工作参数

int mtPmsSetup();

//初始化测量任务

int mtInit();

//更新测量参数

int mtPmsIpdate();

//计算测量指标

int mtIdsEval();

（其他略）

};

//采气工艺装置父类

class ActDvCls{

//组态参数表

DVStruct dvDxf[MAX\_FCFGPMS];

//其他内部变量略

//初始化工作状态

int dvOpen();

//读取监测数据变量

int dvDataRtv();

//转换参数配置数组

int dvDataSnd();

//计算更新状态变量

int dvStxEval();

（其他略）

};

//采气生产工艺类

class ProcCls{

//加载工艺基准数据

int smpInputProc();

//加载油气物元指标参数

int smpErrStxProc();

//计算生产作业指标数值

int smpIdsCompt();

//计算误差校正

int smpErrAdProc();

（其他略）

}

以采气作业的凝析处理装置类DptsActDvCls 为例，该类是ActDvCls类的子类，对其凝析处理度状态变量计算函数如下

int DptsActDvCls ::dvStxEval(…){

//监测初始化

dtdDv=LoadDtdDvCls(this,…);

dtdDv->mtConn();

dtdDv->mtPmsSetup();

dtdDv->mtInit();

//工作循环

while(!tmOut(dtdDv->T)){

//判别终止信号

if(!exitTag()){

if(当前监测端口信号有效){

//读取工艺监测样本数据

//计算油气混合物分离器阀阻比

PDuc=dvDataRtv();

GRxfCompt(PLDuc);

//计算临界压强

cpv=cpIdsCompt();

}

//计算油气粘度校正值

vcf=vcfErrStxCompt();

smpErrAdCompt(vcf);

//计算凝析处理导压指数

ms=dvStxEval(vcf, cpv);

smpSave(ms);

//等待下个采样周期

tmWait(T);

}

}

## 4.3 监测任务管理程序实现

### 4.3.1 采气生产环节的状态监测

第三章阐述了采气平台的天然气生产工艺状态监测任务模块的对象组成和逻辑算法。以ProcExitCls类对象为例，对采气工艺状态的监测程序代码描述如下。

//加载计算参数和监测数据

wd=LoadDtdDvCls(this,…);

wd->wmLoad();

mh=wd->wmInit();

if(指标类型==物质成分) {

//油气流量计算

dx=mh->pmsDataLoad();

fp= pmsFit(dx);

pmsCompt(fp);

} else if (指标类型==附属物分析){

//计算液态二氧化碳流量

sd=mh->bvDataLoad();

fc= bvFit(sd);

bvCompt(fc);

} else {

//计算含硫化氢物质指标

sf=mh->mxDataLoad();

dp=mxCompt(sf);

mxEstv(dp);

//其他略

}

//数据存储

（略）

//对比指标阈值

Th=gdm->dataLoad();

Tdx=gdm->dnCmp(Th);

Ts=gdm->Hdn(Tdx);

if(Normal(Ts)) {

//符合正常调控准则

//调用工艺执行装置控制端口

ctf=Th->CtrDvObx(Tdx);

ctf->dnRun(Ts);

} else {

//生成告警消息

gdm->dStAlarm();

}

（其他代码略）

### 4.3.2 集输终端装置工作状态监测

以该程序模块的主要对象即集输终端状态管理类对象FrsDvCls为例，其主要的接口函数实现描述如下。

//设备运行状态监测

int FrsDvCls::DfvtEval(…)

{

//初始化（略）

//创建数据库会话MvtConn；

//读取稳定性基准参数

dmp=MvtConn->load(…);

ms= pdMdxGet(dmp);

while(!tmOut(T))

{

for(每类指标i)

{

//读取当前批次监测数据

ds=Pd[i] ->pdCps();

//按照集输过程稳定性基准数据

//计算稳定性特征指标

fs=Pd[i] ->RmLdCompt(ds);

//计算集输设备稳定性指数

wd=Pd[i] ->pdLdCompt(fs);

//失稳特征判定

if(!FdValid(wd))

{

//插入故障记录表

pdMvtramsSet(fs);

mrp=pdMvtEval(pms, wd);

st=PdWkPshSet (mrp);

}

(其他处理略)

}

tmNext(T);

}

}

该模块的其他程序描述在此从略。

## 4.4 监测站信息管理程序实现

如前所述，监测站信息管理程序的主要程序代码封装在WStnCls类对象中，该类的数据结构描述如下。

class ClsPdView

{

//视图窗口队列

WndObject wnd[MAX\_PSTWND];

//当前指令

struct ctrInst ProcRunIst;

//监测变量端口数组

DVEntry dvList[MAX\_FCFGPMS];

//视图更新周期

int T;

//生成监测调控命令

int dvIstSet();

//传输监测调控命令

int IstSndToCtrDv();

//设置工艺状态采集工作参数

int ProcStxPmSet();

//转储数据到数据库

int IdsTsf();

（其他略）

};

本节略去对WStnCls类对象的程序描述，在图4.1到图4.5显示监测站的部分视图输出，分别显示油气生产环节的运行监测状态和油气集输装置的工作状态监测的图形输出。

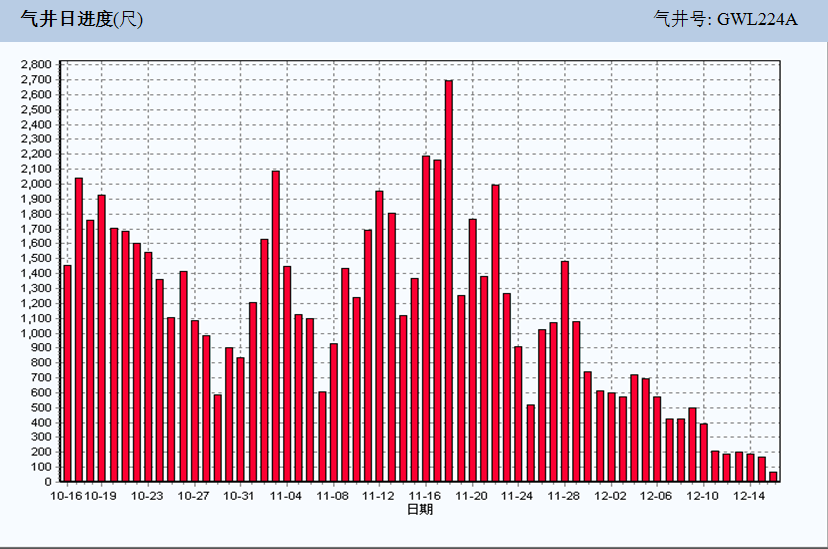


图 4.1 气井作业进度显示

Fig. 4.1 Gas well working progression display

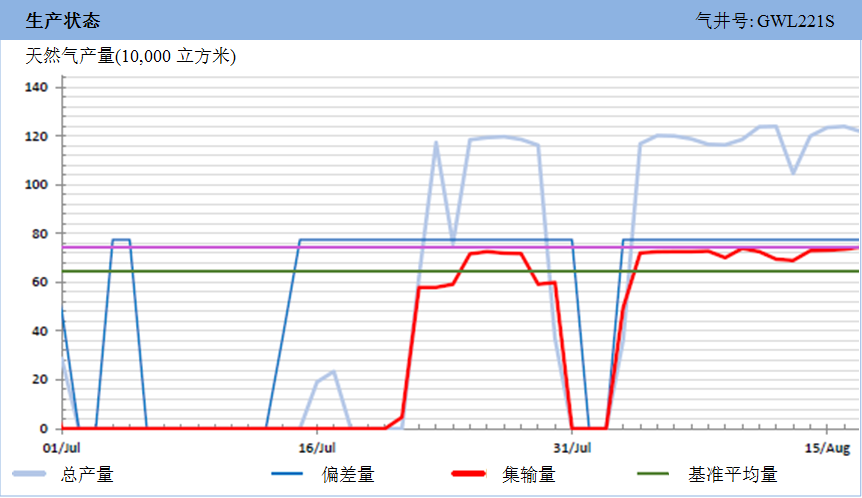


图4.2 天然气产量显示

Fig. 4.2 Natural gas production information

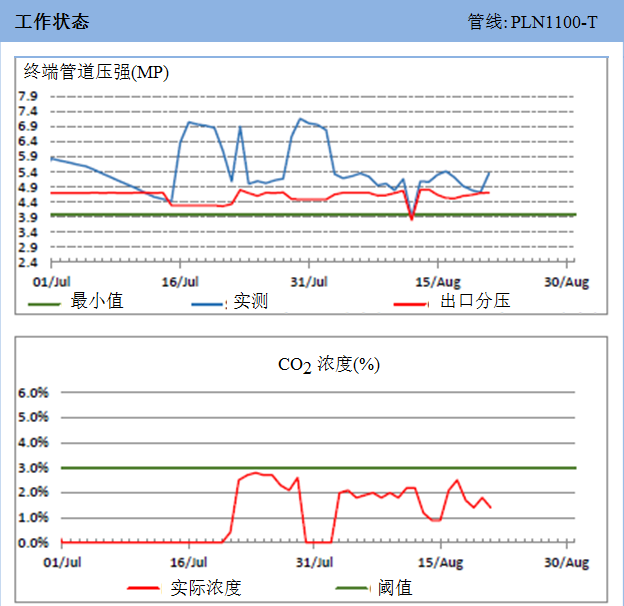


图4.3 集输管线工作状态

Fig. 4.3 Transport pipeline working status information

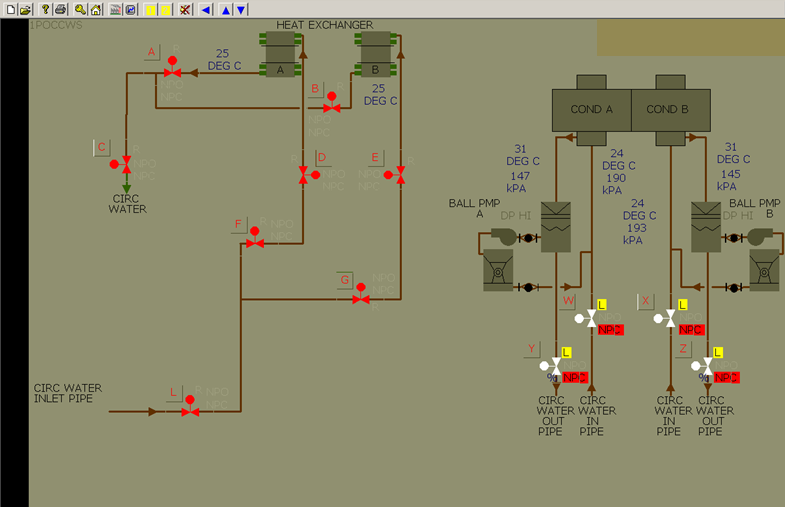


图 4.4 热交换装置工作状态

Fig. 4.4 Heat exchange device working status information

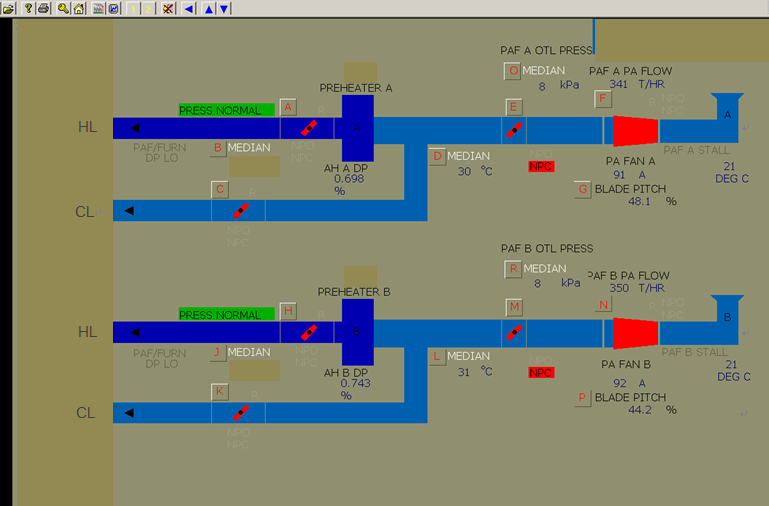


图 4.5 分离过滤装置工作状态

Fig. 4.5 Filtering device working status information

图4.4和4.5按天然气生产及集输环节显示不同装置的工作状态，其中状态指标接近普通类型边界值的单元以红色显示。如果程序判定存在过载则以黄色闪烁告警提示。

## 4.5 测试

### 4.5.1 基本测试方法

该天然气生产监测系统的测试工作分基本测试和上线试运行测试两个阶段。基本测试工作以天然气生产工艺流程的部分样本为基础数据，在开发环境下完成，主要工作内容包括：

（1）基础数据准备和组织录入。

（2）软件程序的开发调试，在小规模的数据样本基础上对数据结构和算法的正确性进行验证。

（3）对测试发现的运行故障，按照程序故障所属的功能等级和故障的严重程度分类报告，优先修正功能等级高的严重故障。

（4）对高功能等级同时较为严重的故障，程序员首先给出故障原因分析和修正方案，在软件项目经理确认后实施程序修正并完成开发组内部测试，审核确认后提交测试人员重新测试。

基本测试工作首先对基础数据和事务型处理程序进行验证，该类程序功能较为单一且所依据的数据量小，较容易进行。

接下来测试监测任务管理子系统的组成程序，即工艺环节的状态监测类程序、集输装置状态及其稳定性监测程序，最后对监测工作站程序完成测试。

在上述测试工作中，工艺及集输装置监测任务管理子系统的程序测试是重点内容。

表4.1对程序测试阶段工作进行了小结。

### 4.5.2 上线测试

上线试运行测试在完成上述基本测试、修正程序的故障和改正编程错误后进行，在实际生产环境下验证软件的正确性和稳定性。

在上线测试阶段，首先测试具有对天然气产量\二氧化碳及含硫化氢等附属物元指数处理结果具有关键性影响的监测程序，例如油气分离工艺状态监测和凝析处理工艺环节的状态监测程序，对其所处理的实际结果进行验证，然后逐步扩大到完整的工艺流程及工艺装置。在上线测试阶段，监测数据处理及装置运行稳定性变量的计算的验证的重点，工作组态参数和效果采用基准数据对比校正。

最后，通过结合基本测试及上线测试的实际效果，从两方面综合评估该软件的运行效果和适用性。

表4.1 程序测试小结

Tab. 4.1 Program testing summaries

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试任务 | 被测程序或子程序 | | 累计修正  故障数 | | 最终测试  结果 | |
| 基础数据管理功能 | 生产装置基础信息创建  生产装置基础信息维护  集输装置基础信息创建  集输装置基础信息维护  油气及附属化合物信息创建与维护 | | 17 | | 通过 | |
| 监测任务管理功能 | （1）采气作业状态监测 | |  | |  | |
|  | 油气产出指标计算  二氧化碳指标计算 | | 9 | | 通过 | |
|  | 分离工艺状态计算 | | 4 | | 通过 | |
|  | 附属含硫化合物指标计算 | | 2 | | 通过 | |
|  | 气井进度等作业状态指标计算  告警事件处理 | | 3  4 | | 通过  通过 | |
|  | 过载指标监测 | | 5 | | 通过 | |
|  | （2）集输装置工作状态监测 | |  | |  | |
|  | 集输管线压力状态监测 | | 3 | | 通过 | |
|  | 集输终端数据存取 | | 6 | | 通过 | |
|  | 天然气集输流量计算 | | 4 | | 通过 | |
|  | 附属化合物集输流量计算  (按物元类型分项测试) | | 13 | | 通过 | |
|  | （3）集输装置稳定性监测 | |  | |  | |
|  | 过载特征判定 | | 5 | | 通过 | |
|  | 过载事件记录 | | 3 | | 通过 | |
|  | 运维事务处理 | | 6 | | 通过 | |
|  | 稳定性评估和测试数据存取 | | 6 | | 通过 | |
| 监测站运行信息管理 | | 事务导航 | | 8 | | 通过 | |
|  | | 天然气生产工艺状态视图显示 | | 11 | | 通过 | |
|  | | 处理指标视图显示 | | 7 | | 通过 | |
|  | | 集输装置运行状态视图显示 | | 9 | | 通过 | |
|  | | 告警信号显示 | | 5 | | 通过 | |

除上述测试外，该阶段还完成了系统数据库平台的优化工作，改进了在存取大批量数据情况下的存取性能。

在初步实施该软件后，目前丰源公司在华东地区的油气开采平台实现了每日同步的天然气及其他附属产品的产量监测、生产平台关键性工艺环节及集输终端设备的工作状态的日常监测，不仅有效地支持了及时的生产调控，而且能够为目前的油气生产设施的可靠性运维保障以及油气储运和销售业务提供及时、准确的定量数据，进入了较为稳定的运行阶段。

# 结 论

安然公司的天然气生产监测管理系统的开发，是其构建全面的数字化作业管理平台的组成部分。作为现阶段开发工作，主要目的是解决丰源公司在实施油气开采作业管理过程中面临的生产作业的及时监测问题。针对天然气开发作业的连续性、安全性和经济性，以往的管理手段存在很多不足，同时也不能很好地适应新设备和新的运作规范的要求，因此该系统的基本途径是充分运用成熟的计算机软件技术以及网络技术，为本公司长期、高效实施油气田开采作业的数字化管理奠定生产作业监测方面的必要基础。针对上述应用目标，本文论述了天然气生产监测软件的需求分析、软件设计、程序实现及测试工作。

在具体的功能需求方面，该软件着重实现了三组功能，分别是天然气生产作业基础信息管理、天然气生产环节及集输设备工作状态监测任务管理以及监测工作站综合信息管理功能。论文着重分析了公司目前在油气田生产管理方面所亟需克服的瓶颈因素，归纳出主要的信息处理对象和处理方式，建立了用例模型。

在设计工作方面，该软件在总体上按照监测工作站运行信息管理、监测任务管理和数据库三个层次组织其内部模块。监测工作站运行管理模块负责面向用户执行交互式事务处理和实际生产作业和集输设备的状态显示。监测任务管理模块面向工艺装置及集输终端设备计算和生成监测变量的计算和输出，此外还针对集输终端装置的可靠性监测要求执行对稳定性特征的判定处理和告警信息。

在程序实现方面，该天然气生产监测系统的运行环境基于Windows平台，采用C++编程，数据库采用Oracle。论文论述了部分程序实现及测试工作。

通过实施该软件，现阶段较为积极地初步解决了安然公司亟需解决的几项较为突出的管理问题。首先是较好地解决了目前对天然气生产作业的基础信息管理不充分，集成度不够高，不能适应连续和高水平生产监测要求的问题。面向高水平管理和保障质量的要求，天然气开采过程的生产作业监测需要结合类型较为广泛的基础信息，例如基本勘查类信息、当前作业区域的地质结构类信息、关键生产设备的技术指标信息、生产作业计划类信息、安全作业基准数据等，对此本系统基于主流数据库技术实现了全面的管理，而且能够随工业标准的更新而自动综合到系统平台中。其次是较好地满足了针对天然气开采作业生产过程的关键状态指标的监测管理要求，解决了以往各方面生产信息不够完整和数据处理不够及时等问题。本系统根据天然气开采作业的工艺规范和传输要求实现了生产状态采集机制和数据指标的统计和计算机制，适应相应的数据对象和设备状态，同时还通过软件您的扩展能力满足天然气生产指标数据的处理规程和设备特殊状态和工况下的监测要求的灵活性。此外新的监测管理系统需要集成部分常用的事务性管理支持功能，例如对监测任务的分配调度，对故障设备的基本维护事务的信息管理等功能，这些都是有效监测较大范围的作业所需要具有的辅助支持能力。最后是较好地解决了以往生产状态信息的报告手段和分析工具不足的问题，实现在生产运行中心的图形工作站上集中信息处理和部分作业指令的运行管理，能够对监测任务能够在线配置和调整，对所采集的生产状态既能够实现标准化的指标计算处理，同时能够支持管理者针对特殊要求而定制监测任务的工作方式如特殊参数、监测周期以及同其他监测任务的关联方式等，使用灵活。

目前丰源公司在华东地区的油气开采平台实现了每日同步的天然气及其他附属产品的产量监测、生产平台关键性工艺环节及集输终端设备的工作状态的日常监测，不仅有效地支持了及时的生产调控，而且能够为目前的油气生产设施的可靠性运维保障以及油气储运和销售业务提供及时、准确的定量数据。总体而言，该软件的功能较好地反映了现阶段的主要需求，设计方案较好地均衡了技术的先进性和功能的实用性，较好地满足了实际生产过程的监测要求。

# 参 考 文 献

[1] 金益辉. 工业过程控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015.

[2] 吴绍奎, 凌碧洸. 油气开采过程控制[M]. 北京: 能源工业出版社, 2016.

[3] 沈成林. 油气集输控制系统中的传感新技术[J]. 天然气工业, 2016, 25(4)：332-335.

[4] Boyd S. Optimal Control[M]. Boston: Marcel-Dekker, 2012.

[5] Hodge J, Lam H, Dieudoune P. Applied Optimal and Sub-optimal Control[M]. New York: McGraw-Hill. 2015.

[6] 宋理宗. 面向半鞅干扰环境的解耦控制及其稳定性研究[J]. 信息与控制, 2016, 37(3): 248-353.

[7] Astrom S, Wittenmark L. Adaptive Control[M]. Berlin: Springer-Verlag,2009.

[8] Kailath T. Stochastic Control: What Problems are solved and what are unsolved[J]. Automatic Control Review, 2010, 36(5): 548-557.

[9] 王佐良, 韩愈诚. 非高斯噪声环境中的随机次优控制误差的渐进规律[J]. 系统工程与电子技术, 2014, 35(1): 29-33.

[10] Ulam F. Distributed Control Systems[M]. San Francisco : Morgan Kauffman, 2012

[11] Trillen P. Modern Computer Control Systems[M]. Chicago : IEEE Press，2009.

[12] Hall T， Fisher E. Digital Process Control：Models and Algorithms[M]. Archen ： Damstadt University Press, 2012.

[13] Booch G. Object-oriented Software Construction[M]. New York: Prentce-Hall Inc., 2007.

[14] Stephan B. Using Use-cases to Build Plugable Architectures[J].Journal of Component- based Development, 2011, 18(5): 613-625.

[15] Merton J, Griss H. Software Reuse : Architecture, Process and Organization for Business Success[J]. Software Engineering Review, 2014, 31(3): 279-284.

[16] Kannan I. Risk Evaluation on Hard and Soft Real Time System Construction: Technical and Non-technical Factors[J]. Real-Time Technological Review, 2012, 31(5): 665-679.

[17] Liu J. Software Engineering: A Risk Control Approach[M]. London: Bergman Press,

2011.

[18] Sanders P. Software Architecture[M]. San Francisco: Morgan Kauffman, 2014.

[19] Brain D. Concurrent Programming[M]. Chicago: IEEE Press, 2012.

[20] Larson P, Costello W. Building Distributed Software with UML[M]. Amsterdam : North Holland, 2012.

[21] Arnold S, Meunier R. Object-oriented Modeling with UML Solutions[M]. New York : Upper

Saddle River, 2010.

[22] Merton S, Software Quality Management[M]. New York: John-Wesley & Sons, 2014.

[23] Munoro S. Industrial Process Control System: Modeling and Synthesis[M]. Washington : George Mason University Press, 2009.

[24] 陆德敏, 侯静瑶. 一种高并行度的细粒度多任务调度机制[J]. 计算机科学, 2015, 42(2): 118-122.

[25] Coleman D. Real Time Linux[M]. Real-Time Technological Review, 2008, 27(1): 46-58.

[26] Kardon H. Embedded Operating System[M]. New York: Englewood Cliffs, 2015.

## 致 谢

两年的理论课程学习，让我重新温习了大学期间所学的知识，进一步拓宽了我的知识面，也让我对于软件工程这门学科有了深入的理解，让我在今后的工作中能更好地对知识学以致用。老师不厌其烦的细心教导，是我在繁忙工作之余学习的最大动力。老师严谨的科学态度和严格的课程要求，让我的内心对科学知识的学习满怀敬意。值此毕业论文完成之际，对所有在这两年内授予过知识的老师、给予过帮助的同学们致以最诚挚的感谢。

本论文是在校内导师和校外导师共同的指导下完成的。本论文从选题到最终完成，几经易稿，在这其中的每一步，两位导师都给予了细心的指导和专业的建议。在此特向两位导师表示衷心的感谢！

# 大连理工大学学位论文版权使用授权书

本人完全了解学校有关学位论文知识产权的规定，在校攻读学位期间论文工作的知识产权属于大连理工大学，允许论文被查阅和借阅。学校有权保留论文并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印、或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

学位论文题目：

作 者 签 名 ： 日期： 年 月 日

导 师 签 名 ： 日期： 年 月 日