

学号：2015200789

北京化工大学

硕士研究生学位论文开题报告

论文题目：故障智能预警方法研究及其在钻井过程的应用

学 院 名 称：信息科学与技术学院

专 业：计算机科学与技术

研究生 姓名：王仲凯

导 师 姓 名：耿志强

开 题 日 期：2016 年 9 月 26 日

考核成绩		
审核小组成员以及职称	姓 名	职 称

目 录

1. 课题来源及项目名称.....	3
2. 文献综述	3
2.1 研究背景	3
2.2 研究现状	4
2.3 课题创新	6
2.4 参考文献	6
3. 研究计划	9
3.1 选题的目的和意义.....	9
3.2 主要研究内容.....	9
3.3 研究思路	10
3.4 研究方案	10
3.4.1 技术方案.....	10
3.4.2 实施条件.....	12
3.4.2 拟解决问题.....	12
3.5 课题难点分析.....	12
3.6 预期研究成果及创新点.....	13
3.7 工作计划进度.....	13

开题报告

1. 课题来源及项目名称

课题来源：自选题目

项目名称：故障智能预警方法研究及其在钻井过程的应用

2. 文献综述

2.1 研究背景

石油是国家经济的命脉，是重要的能源也是国家的战略资源，关系着国计民生和国家安全，在国家的经济发展中有着不可替代的重要地位。随着国家经济的发展和人民生活水平的不断提高，人们对石油及其工业制品的需求量也在不断的提高。与其他行业相比较，石油生产的每一个环节都存在着巨大的危险性，且事故后果严重、危害性大。石油开采是我国能源工业中最重要的组成部分，石油的安全生产是我国经济持续、健康发展的重要保障，具有十分重要的意义^[1,2]。

钻井工程是石油生产过程中重要的组成部分，随着时代的进步和钻井技术的飞速发展，降低开发成本、提高开采速度成为了现代石油工业追求的目标。但是钻井工程又是一个工种多、程序多、必须连续作业的系统性工程，更是一个隐蔽性极强的地下工程。钻井工程存在着巨大的风险性和不确定性，每前进一步都伴随着巨大的风险，严重威胁石油生产的安全，降低了生产效率，加大了生产成本，延缓了油田的开发速度。资料显示，上世界八十年代至上世纪末的二十年间，仅仅美国在墨西哥湾地区就发生了 17 起井喷事故，同时英国也发生了 15 起井喷事故，造成了极其严重的经济损失和生态灾难^[3]。特别是年月重庆发生硫化氧井喷事故，人们对钻井工程安全问题的重视程度进一步提高^[4]。

钻井是一项高风险性、耗资巨大的系统工程，特别是在地质条件复杂的层段，钻井工况异常随时都可能发生^[5]。钻井工况异常一旦发生，处理异常将消耗大量的人力物力，大大增加钻井成本，造成资金和时间的巨大浪费。据近几年的钻井资料分析：在钻井施工中，处理复杂情况和钻井异常事故的时间约占总施工时间的 6%-8%，严重影响了钻井的效率^[6,7]。

钻井工况异常的发生，并不是一种客观存在现象，我们可以采用一定的技术手段避免钻井异常的发生。自钻井技术诞生以来，从事钻井技术研究的专家和现场工程技术人员就不断摸索和探讨着减少钻井工况异常的方法。随着信息技术和人工智能技术的发展，信息化和智能化必然也会成为钻井工程发展的方向^[8]。直至目前，钻井工况异常的分析判断主要靠人工来完成。人工判别钻井异常的方法是判断参数变化是否超过阈值，然后根据经验知识结合异常参数类型判断出工况异常类型。钻井过程是一个长期的、连续的过程，参数的细微变化往往是异常发生的征兆^[9]。因此，要确保异常监测的可靠性就要求现场人员长时间、连续地关注钻井参数的变化。由于人的精力和技术水平的限制，人工预警方式不能保证异常预警的效率和质量，这就需要让事故预报能

自动进行，能够具有“人类”的智能判断。所以，采用智能化技术进行事故预报是一个必然的方向。一个系统的、全面的又能反映工程事故负责多变特性的智能化预警手段成为迫切需求，来满足安全、快速钻井的要求。

2.2 研究现状

由于钻井事故是影响钻井效率及钻井安全的重要因素，早在七十年代，国内外的专家学者就开始致力于钻井事故的预防、报警和处理的研究。早期的钻井事故诊断主要是通过安装在现场的简单测量装置完成的，这些装置能测量一些关键参数的数值，通过对这些参数变化的实时监测，可以判断相应故障的产生，比如利用泥浆池液面传感器检测泥浆池体积，若体积变大时，很有可能出现井溢/井涌，若体积变小，很有可能出现井漏。

法国 ElfAquitaine 公司开发的瞬态录井 (Snap Log) 软件是世界上第一个专业的钻井过程监测系统，能够监测钻头在井下的工作情况以及相应的地层岩性，通过判断钻遇地层情况并结合其他钻井参数预报钻井事故的发生，但这套系统当时无法避免钻柱自身振动引起的干扰，所以整体检测的准确性不被完全认可。于是该公司到 1986 年，又推出了钻井动态控制装置 (DDCU)，该装置可以测量钻井过程中的扭矩、拉力、扭转加速度和轴向加速度等多个参数来分析检测钻柱的粘滑现象，最终判断钻井异常情况，但是比较成熟部分的只有对钻井泥包的监测。该公司还与 Teknowledge 公司联合开发了钻井事故专家系统钻井顾问 (Drilling Advisor)，该系统可帮助现场人员解决钻井过程中出现的卡钻问题^[10,11]。

七十年代后期，第一代综合录井系统 (TDC) 问世，该套软件能够连续监测钻井过程多个参数实时变化，由法国的 Geoservice 公司开发，缺点是故障诊断方法基于最简单的超阈值报警，不够智能。八十年代后期，随着 MWD (随钻测量) 和 LWD (随钻录井) 技术的发展及其在井场广泛应用，国外的研究重点转为研制一系列井底检测传感器，比如井下加速度传感器等，通过对井底参数相对准确的测量来监测钻井过程。这一时期的钻井故障检测方法也从简单的超阈值检测和人工监视参数曲线变化转移到信号处理方面，比如利用扭矩和转速的信号特征来检测钻柱是否发生粘滑，对钻井过程中复杂故障的诊断也上升了一定的高度^[12]。

如今美国的 Varco 公司研制的钻井集成控制信息系统、加拿大的 Datalog 公司研制的钻井监测系统、英国 Rigserve 公司研制的触摸屏自动钻井系统都可以实时测量几乎与钻井过程有关的所有参数，且都具有自己的特色。世界上著名的石油公司基本都有自己的钻井检测和诊断系统，比如 Landmark 公司提出的学习曲线分析法，斯伦贝谢公司的无风险钻井系统 (NDS) 等^[13]。他们都是将先进的钻井设备与软件、网络技术结合起来，利用多源信息判断钻井过程中的诸多异常情况与事故。由 AGIP 公司和 Enidata 公司联合研制了 RSES 井场实时专家系统，它能够实现对井场状态的检测、设备的报警、事故检测和处理等功能。

国内对于钻井过程中的故障检测和异常预警方法的研究起步较晚，目前在井场广泛应用的故障检测方法还是通过简单的参数超阈值报警加上现场技术人员的人工经验诊断，或是引进国外先进的综合录井系统。由于钻井过程是一个动态的复杂非线性系统，不确定性高、模糊性大、随机干扰大，无法构造数学模型，因此，近年来国内的专家学者及研究机构的研究热点是将人工智能方法融入到钻井过程的监控及其故障诊断系统中^[14]。

孙正义、高兴坤（1996）等人为卡钻事故的预测和诊断建立的专家系统模型，这是最早期的钻井相关故障专家系统，只对单一故障有效。王宝毅（2005）、郭建明（2007）、高晓荣（2008）等人开发了基于案例推理的钻井复杂情况专家系统^[15,16,17]，不但能根据现场情况推理出多种故障类型，还能模仿专家给出事故处理意见。Patan Krzysztof（2000）、单志刚（2000）、韩性礼（2007）等人将神经网络应用到钻井过程的故障检测与诊断中^[18,19,20]，并取得了不错的效果。刘瑞文、郭学增（2004）等人利用灰色关联法对不确定问题的处理方式判断钻井相关事故^[21,22]。徐英卓（2003）、郭建明（2012）等人建立了钻井故障多智能体模型^[23,24]，不但能快速诊断故障，还可以协同其他井场的知识进行合作，是一个新兴的研究方向。郭伟伟（2007）、悦绍徐（2008）等人将故障树理论与专家系统结合，并应用到钻井故障诊断中^[25,26]。王杰、李广、朱晓东（2008）将模糊推理应用到钻井过程的故障诊断中，并对模糊网络进行分层优化，形成“增一型”推理方式，一定程度上提高了基于模糊理论的钻井故障诊断系统的实时性和准确性^[27]。

上述方法都是将单独的某种人工智能方法应用到钻井过程故障检测与异常预警模型中，往往由于算法本身的局限性，而不能准确识别所有类型的故障，因此，将多种人工智能方法融合，取长补短，不失为一种有效的方式。国内的学者在这方面也进行了比较多的研究。廖明燕（2007）、张杰（2009）等人建立了由神经网络和专家系统构成的钻井过程故障检测与诊断模型^[28,29]，获得了较高的诊断精度。廖明燕（2007）、崔凤新（2008）、王江萍（2008）利用多传感器信息融合的原理对钻井过程故障进行检测与诊断，并将神经网络系统分成子神经网络，提高系统的实时性，并在输出层进行特征证据融合，采用 D-S 证据理论方法，实现对钻井过程故障快速和准确的诊断^[30,31,32]。郭建明（2012）引入本体和贝叶斯网络融合的人工智能技术建立钻井过程的事故诊断智能分析模型。吉安民（2012）提出基于 SD 的钻井井喷事故致因机理及仿真预警研究^[33]。

综上所述，目前钻井过程中故障检测与诊断方法的研究有如下特点：

- 1) 国外对钻井过程故障检测与诊断的方法研究主要集中在井下传感器的开发与应用，通过检测井下钻头、钻柱的振动和转动情况来判断是否存在故障，但这种方法费用较高，因为需要安装井下测量工具及信号传输装置，结合我国井场目前状况来看，并不适用。
- 2) 随着综合录井系统的广泛应用，利用此系统进行故障检测与诊断可以节省不少费用，但目前我国自行生产的综合录井系统中的故障检测模块过于简单，主要依靠检测钻井相关参数是否超阈值，并配合现场工作人员的经验对参数曲线监测来实现故障的诊断，这不但需要现场工作人员具有较高水平的知识和丰富的实际经验，还需要其具有高度的责任心，一刻不放松的监控参数的变化，而这些因素在钻井现场是难以克服的。
- 3) 国内专家学者和研究机构研究了很多将人工智能方法应用到钻井现场的故障诊断模型，但还处于起步阶段，很多参数的选择还需进一步优化，并且每种方法的研究角度和侧重点不一样，有其特定的适用范围，所以对于适用于钻井现场实际事故的诊断方法，以及诊断方法的实时性、适应性、准确率、误报率方面还有较大研究空间。

根据目前国内外的研究热点、方法存在的实际问题，并结合我国井场的实际情况，本文利用综合录井系统采集的参数，通过人工智能方法分析其数据变化，进而智能化预警钻井过程的异常，这样不仅能节省故障检测和异常预警费用，还能达到钻井故障智能预警对实时性、适应性、准确率方面的要求。

2.3 课题创新

通过对国内外钻井工程中故障检测和异常预警方法的调研,发现在我国井场实际应用的故障诊断方法还很落后,主要是钻井参数阈值监测与人工经验相结合的方法,很容易造成异常情况的迟报、错报甚至漏报。专家学者也在一直探究适合我国油田钻井工程实际情况的故障诊断方法,研究热点是人工智能故障检测和异常预警方法。本文利用综合录井的实时监测参数对钻井过程中的故障进行诊断,并开发一套钻井过程中故障智能化预警系统,能够及早发现钻井异常情况,并将人工智能方法融入钻井故障诊断中,模拟现场专家进行事故类型的判断,减少钻井过程故障诊断的漏报率和误报率,保证钻井现场的安全生产,实现钻井过程故障检测与异常预警系统的信息化、智能化^[34]。

本文有如下三个创新点:

- 1) 钻井过程中的异常趋势分析中,采用基于最小二乘法的时间序列分段线性化算法进行趋势判断,分段线性化方法是将采样数据直接拟合为直线段,通过直线段的斜率来分析其变化的趋势。
- 2) 使用移动窗稀疏主元分析法(Moving Window Sparse Principal Component Analysis, MWSPCA)进行故障检测,利用主元分析法优秀的降维能力,从大量数据样本中抽取最大特征信息,根据历史数据建立主元模型,再引入 lasso 约束函数,构建稀疏主元分析框架,将降维问题转化为回归最优化问题,从而求解得到稀疏化的主元,并提高主元模型的抗干扰能力,以主元模型的统计特性为基准来检测故障,最后再加入移动窗来实现在线实时检测。
- 3) 针对钻井过程中故障智能预警的方法研究,采用基于事例推理的专家系统。主要建立事故信息知识库,基于事例的事故推理模块,事故知识学习模块。

2.4 参考文献

- [1] 张正选,梅大成,高杰,等. 钻井工程异常预警方法研究[J]. 计算机光盘软件与应用, 2014, 17(4): 152-152.
- [2] Gao F, Zhao X H, Liu H S, et al. The study of drilling safe monitoring system based on multi agent group[C]//Advanced Materials Research. Trans Tech Publications, 2012, 512: 2565-2569.
- [3] 王林. 钻井故障诊断专家系统的研究与实现[D]. 电子科技大学, 2013.
- [4] 胡睿. 钻井复杂情况与事故诊断专家系统研究[D]. 中国石油大学, 2010.
- [5] 郭建明,李云峰,韩朝晖. 钻井异常状态实时监测与智能决策系统的研究[J]. 钻采工艺, 2008, 31(2).
- [6] 王杰,李广,朱晓东. 基于分层模糊推理的石油钻井事故预警系统[J]. 微计算机信息, 2008, 24(21): 177-178.
- [7] 韩朝晖,郭建明,高晓荣. 钻井事故人工智能实时监控系統[J]. 电气传动自动化, 2007, 29(4): 52-53.
- [8] Ferreiro S, Sierra B, Irigoien I, et al. Data mining for quality control: Burr detection in the drilling

- process[J]. Computers & Industrial Engineering, 2011, 60(4): 801-810.
- [9] 袁俊和. 钻井过程中的故障诊断方法研究[D]. 中国石油大学, 2008.
- [10] 张东海, 席继强. 国外钻井技术发展现状[J]. 断块油气田, 2000, 7(5): 64-68.
- [11] Ramamurthi K, Shaver D P, Agogino A M. Real time expert system for predictive diagnostics and control of drilling operation[C]//Artificial Intelligence Applications, 1990., Sixth Conference on. IEEE, 1990: 62-69.
- [12] Lai Z, Leng Y. Weak-signal detection based on the stochastic resonance of bistable Duffing oscillator and its application in incipient fault diagnosis[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2016.
- [13] Kedadouch M, Thomas M, Tahan A. A comparative study between Empirical Wavelet Transforms and Empirical Mode Decomposition Methods: Application to bearing defect diagnosis[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2016.
- [14] 连晓圆. 钻井过程中故障检测与诊断方法的研究[D]. 大连理工大学, 2013.
- [15] 王宝毅, 张宝生, 费沿光, 等. 基于案例推理的钻井复杂情况专家系统[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2005, 29(6): 123-126.
- [16] 赵济东, 徐英卓, 白艳放. 基于 CBR 的复杂结构井钻井过程智能决策支持系统[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(4): 27-29.
- [17] 高晓荣, 徐英卓, 李琪. 基于 CBR 的井下复杂情况与事故智能诊断和处理系统[J]. 计算机应用研究, 2008, 5: 048.
- [18] Patan K. Artificial neural networks for the modelling and fault diagnosis of technical processes[M]. Springer, 2008.
- [19] 单志刚, 邵伟光. 人工神经网络在实时卡钻预测中的应用研究[J]. 地质与勘探, 2000, 36(2): 10-12.
- [20] 韩性礼. 神经网络技术在钻井工程事故预测, 预报中的应用[J]. 录井工程, 2007, 18(1): 28-32.
- [21] 刘瑞文. 钻井过程中的在线故障诊断与钻井信息的实时传输[D]. 北京: 石油大学, 2002.
- [22] 刘瑞文, 郭学增. 钻井过程中的在线故障检测与诊断[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(4): 84-86.
- [23] 徐英卓. 基于 MAS 的远程钻井状态监测与事故诊断系统研究[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(22): 215-217.
- [24] 郭建明. 基于多智能体系统的钻井异常情况诊断技术 倡[J]. 天然气工业, 2008.
- [25] 郭伟伟. 基于故障树技术的远程故障诊断专家系统的研究 [D][D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [26] 倪绍徐, 张裕芳, 易宏, 等. 基于故障树的智能故障诊断方法[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(8): 1372-1375.
- [27] 王杰, 李广, 朱晓东. 基于分层模糊推理的石油钻井事故预警系统[J]. 微计算机信息, 2008, 24(21): 177-178.
- [28] 廖明燕. 基于神经网络和证据理论集成的钻井过程状态监测与故障诊断[J]. 中國石油大學學報 (自然科學版), 2007, 31(5): 136-140.
- [29] 张杰, 高宪军, 姚劲勃, 等. 基于神经网络与专家系统的故障诊断技术[J]. 吉林大学学报: 信

息科学版, 2009 (3): 319-323.

[30]廖明燕. 基于神经网络多参数融合的钻井过程状态监测与故障诊断[J]. 中國石油大學學報 (自然科學版), 2007, 31(4): 149-152.

[31]崔凤新, 廖明燕. 基于数据融合技术的钻井过程故障诊断[J]. 石油矿场机械, 2008, 37(12): 7-11.

[32]王江萍, 孟祥芹, 鲍泽富. 应用神经网络技术诊断钻井事故[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(2): 99-102.

[33]郭建明, 王彦平. 基于钻井工艺过程的事故诊断智能分析模型研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2012, 27(3): 50-53.

[34]樊帆. 基于多源信息的钻井事故预警系统研究[D]. 西安石油大学, 2013.

3. 研究计划

3.1 选题的目的和意义

钻井过程中，事故发生之前绝大部分都有先兆，可以通过先兆来判断是否发生钻井事故，这些先兆通常表现为某个或某些钻井相关参数异常，因此，钻井过程中工程事故的预报是通过实时监测钻井工程参数来实现的，通过这种方法可以对钻井事故提早预防或者处理，避免事故的发生。目前，综合录井仪已广泛应用于钻井现场，可以实时监测各项钻井相关参数，为钻井事故的诊断提供的基础，但是依靠现场工作人员的经验来预报钻井事故有两个问题：一、钻井参数异常到事故发生有可能只有几分钟的时间，实时性要求较高，需要现场工作人员具有高度的责任心，一刻都不放松，否则将错过发现事故的最佳时间；二、钻井事故的预报需要现场工作人员有丰富的实际经验及专业知识。然而，就目前井场实际情况，难以达到这两个要求。

因此，在故障诊断理论的基础上，利用综合录井仪的各项实时参数，开发一套钻井过程故障诊断的实时预报软件，并利用人工智能方法模拟专家判断，可以及时发现并预报钻井异常情况，是井场缩短钻井周期、降低成本以及安全钻井的重要保障，对安全、快速、高效钻井具有极其重要的意义。

钻井过程具有数据量大、过程变量多、工业结构复杂等特点，因而给在线监测和分析带来较大的难度。主元分析方法对变量具有很强的去线性相关的能力，能够消除过程变量之间的相互关联，降低冗余。专家系统是一个具有专门的知识和经验的计算机程序。它应用人工智能技术和计算机技术，结合特定领域内人类专家提供的知识和经验，并以人类专家的思维进行推理、判断和决策，以便解决该领域内的问题在某些方面比人类专家更有优势。本文把主元分析与专家系统结合的方式，运用主元分析法进行故障检测，使用专家系统进行故障解释和异常预警。

3.2 主要研究内容

钻井过程中故障智能预警方法研究及应用，主要研究内容如下：

- 1) 数据预处理阶段，采用 3σ 准则法剔除数据中的野值点，该方法既能实现较好的滤除外界干扰，又能防止将钻井状态变化引起的数据波动误认为是野值点；
- 2) 钻井过程中的异常趋势分析中，采用基于最小二乘法的时间序列分段线性化算法进行趋势判断。该算法使用固定窗体分段，把数据的短期波动忽略，用直线段来表示一定时间区间内数据的趋势变化，计算结果直观且具有一定的预测作用。相比与主元分析、小波分析等其他基于数理统计模型的趋势分析算法，该方法具有计算量小，实时性高的特点。
- 3) 针对钻井过程中故障检测的方法研究，提出一种移动窗稀疏主元分析法，结合主元分析法优秀的降维能力，稀疏化主元的抗干扰能力和移动窗的在线实时性；
- 4) 针对钻井过程中故障智能预警的方法研究，采用基于事例推理的专家系统。目的是为了更好匹配和当前异常相适合的故障事例，判定事例是否有效，进行事例改进，实现故障智能预警和解释。

3.3 研究思路

本文的研究思路如下：

首先对钻井过程所得数据进行预处理，然后对钻井工艺进行研究，掌握钻井工程事故的故障类型及详细机理，并总结出故障发生时相关工程参数的变化，提取特征参数，进行异常趋势分析，来判断是否有异常出现。接着，使用移动窗稀疏主元分析法对故障进行检测，把故障信息通过知识学习方式加入专家系统的事故预警知识库。再接着使用当前事故预警知识库信息建立预警模型，使用基于事例推理的专家系统进行事故推理判断，并进行事故解释，和把对应信息更新到指定数据库。最后进行实验验证方法的有效性，利用 Java 或 C#语言编写一套钻井过程中事故异常智能预警系统。

3.4 研究方案

3.4.1 技术方案

针对课题研究主要内容，有如下技术方案：

- 1) 对采集过来的数据集使用 3δ 准则滤波方法，该方法基于统计学原理，由正态分布随机变量的分布函数可知，正态分布的取值在 $(\mu - 3\delta, \mu + 3\delta)$ 范围内的概率超过 99%，因此，取值在 $(\mu - 3\delta, \mu + 3\delta)$ 之外的认为是小概率点，这种方法既能实现较好的滤除外界干扰，又能防止将钻井状态变化引起的数据波动误认为是野点值，而且该方法计算量小，剔除效果较好，滑动窗口可自适应。
- 2) 钻井过程信息的数学描述方法。钻井过程中相关特征参数由传感器得到，是对连续的钻井过程参数进行离散化采样得到的动态信号样本序列，表征钻井过程的信息。因此，要判断钻井过程异常需要对动态信号进行特征分析。钻井过程可以看作是一个随机非平稳动态过程，随机非平稳动态过程的特征参量有均值、方差、标准差、幅值、峰值、概率及概率密度等等；均值代表了动态信号的静态分量，描述了动态信号的平均变化情况及发展趋势；方差和标准差描述的是某一时间内的动态分量，表征了信号的波动程度；幅值表示的是信号波动的最大值，而不是单纯的信号的最大值，有单点波幅 V ，最大波幅 V_{\max} ，平均波幅 V_{avg} ，相对波幅之分 V_r 。峰值是信号在一定时间内的最大值，代表了这一事件信号的最大能量值。概率密度是指随机信号的幅值落在某一指定范围内的概率大小。
- 3) 钻井过程中的异常趋势分析中，采用基于最小二乘法的时间序列分段线性化算法进行趋势判断。示例如下：

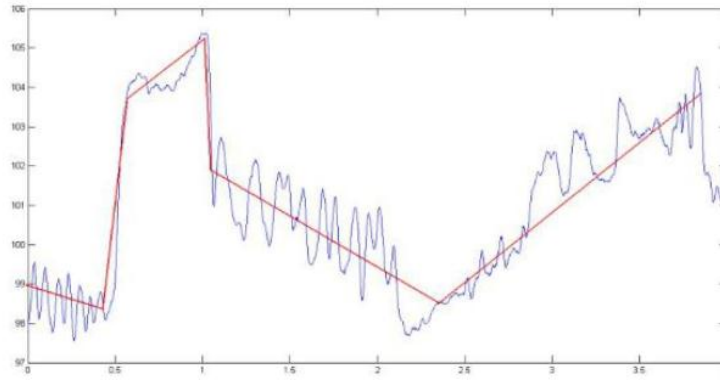


图 1. 分段线性化示例图

图中曲线是采样数据曲线，折线为分段线性化后的拟合曲线，通过时间窗计算得到相应的线性化效果，则每一段直线的斜率就反映了这一段数据的变化趋势，通过给定时间区间内线段的变化就可以得到参数的趋势性变化。

- 4) 针对钻井过程中故障检测的方法研究，提出一种移动窗稀疏主元分析法。利用主元分析法优秀的降维能力，从大量数据样本中抽取最大特征信息，根据历史数据建立主元模型，再引入 lasso 约束函数，构建稀疏主元分析框架，将降维问题转化为回归最优化问题，从而求解得到稀疏化的主元，并提高主元模型的抗干扰能力，以主元模型的统计特性为基准来进行故障检测，最后再加入移动窗来实现在线实时故障监测。稀疏后的主元相关的数据量减少，利用数据建立过程模型，减少了计算量，并缩短了计算时间，进而提高检测的实时性。
- 5) 针对钻井过程中异常预警的方法研究，提出基于事例推理的专家系统。该专家系统基于人类专家经验和故障信息建立事故预警知识库，然后建立基于事例推理的预警模型，对异常进行推理得出结论，并进行事故解释。基于事例的推理系统包括事例的表示、事例的组织与存储、事例的修改/修正，事例的保留等几个关键步骤。(1) 事例的表示借鉴人工智能领域中语义网络表示法，需要解决三个部分的内容：事例发生的原因或背景，事例的特点、过程，解决方法和结果。(2) 事故的组织 and 存储采用以语义网为基础的存储模型。事例的检索使用归纳引导策略，该策略引入了启发式信息——信息增益 (information gain)。在实践中采用 ID3 算法。(3) 事故的修正中采用遗传算法来提高旧事例解法的适应度。(4) 事故保留的解决方法是：有选择地对新事例及解法进行保留，并适当地删除无效旧事例。是否对新事例进行保留，取决于原有事例的相似度与设定阈值的比较结果。如果相似度的取值在阈值与 1 之间，则认为很相似，信息量和知识含量不高，价值不大，不对事例进行存储。
- 6) 建立基于钻前、钻中、钻后信息的钻井事故异常预警系统总体架构，利用钻前信息初步建立事故预警模型，使用钻中模型修正预警模型，最后用钻后信息进一步总结并改进预警模型。通过连续不断地修正和更新预警模型，成为一个不断更新、逐步完善的动态计划而不是一成不变的静态文件，从而有效避免井下意外事故的发生。
- 7) 实现钻井过程中故障智能预警系统，主要分为十个功能模块：数据采集，数据规整，数据预处理，异常趋势分析，故障检测，专家系统，事故数据存储，事故信息展示，打印输出和用户模块。系统功能模块图如下图所示：

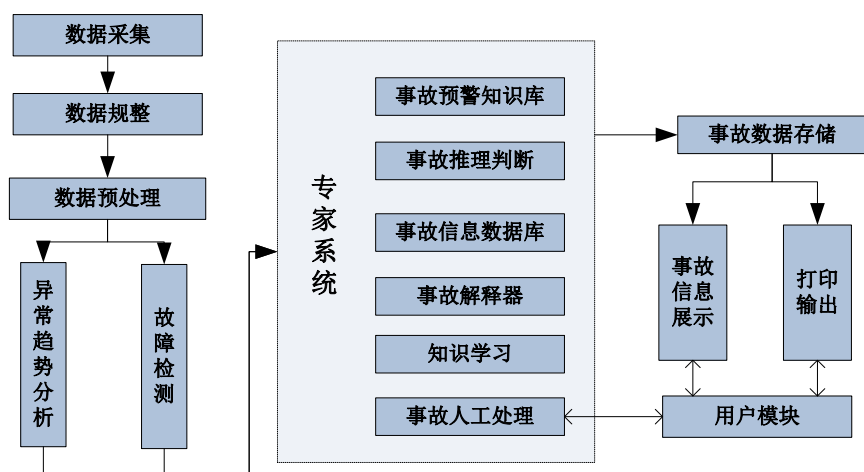


图 2. 系统功能模块图

3.4.2 实施条件

课题的研究需要大量的文献信息作为基础，因此前期的工作需要就是阅读课题相关的国内外文献，了解基础算法并对相关算法有清晰的分析，充分利用网络资源、学校图书馆各项资源，最后确定课题的详细方法；后期根据前期编写的设计方案，采集数据，编写算法，仿真实验，编写系统模块，最后整合成完整系统，现场部署调试。

以下是系统运行环境要求：

操作系统：Windows XP 及以上版本

安装环境：部署该系统和系统所需要的平台和数据库

运行平台：微软.NET Framework 3.0 及以上版本

数据库：微软 SQL Server 数据库

3.4.2 拟解决问题

本课题的关键问题有如下三个：

- 异常趋势分析阶段中基于最小二乘法的时间序列分段线性化算法的应用；
- 实验并改进提出的移动窗稀疏主元分析法，使钻井过程中在线实时故障检测结果更准确，效率更高。
- 建立钻井预警模型，构建基于事例推理的专家系统，使异常预警堪比人类专家。

3.5 课题难点分析

本课题的难点有如下三个：

- 改进移动窗稀疏主元分析法；
- 构建基于事例推理的专家系统；
- 建立钻井预警模型，不断修正和更新预警模型。

3.6 预期研究成果及创新点

本课题的预期研究成果为：

1. 验证基于最小二乘法的时间序列分段线性化算法的应用在钻井工程中的可行性；
2. 通过实验研究分析证明移动窗稀疏主元分析法的可行性；
3. 建立基于事例推理的专家系统，开发出钻井过程中事故异常智能预警系统。

本课题的创新点：

- 1) 钻井过程中的异常趋势分析中，采用基于最小二乘法的时间序列分段线性化算法进行趋势判断，分段线性化方法是将采样数据直接拟合为直线段，通过直线段的斜率来分析其变化的趋势。
- 2) 使用移动窗稀疏主元分析法（Moving Window Sparse Principal Component Analysis, MWSPCA）进行故障检测，利用主元分析法优秀的降维能力，从大量数据样本中抽取最大特征信息，根据历史数据建立主元模型，再引入 lasso 约束函数，构建稀疏主元分析框架，将降维问题转化为回归最优化问题，从而求解得到稀疏化的主元，并提高主元模型的抗干扰能力，以主元模型的统计特性为基准来检测故障，最后再加入移动窗来实现在线实时检测。
- 3) 针对钻井过程中故障智能预警的方法研究，采用基于事例推理的专家系统。主要建立事故信息知识库，基于事例的事故推理模块，事故知识学习模块。

3.7 工作计划进度

2016 年 09 月 ~ 2016 年 10 月 对文献进行整理，明确课题的研究目的和意义。

2016 年 10 月 ~ 2017 年 04 月 对故障监测和异常预警算法进行改进和实现，并实验。

2017 年 04 月 ~ 2017 年 09 月 完成系统编写工作。

2017 年 09 月 ~ 2018 年 04 月 完成课题，撰写论文。

指导教师意见：

指导教师签名：

年 月 日

审核小组意见：

审核小组组长签字：

年 月 日

研究生根据审核小组意见对开题报告的改进措施：

年 月

日

备注：