

'94 国际石油与石油
化工科技研讨会论文

钻柱失效案例库及 计算机辅助失效分析系统

帅亚民 李平全 李鹤林

(中国石油天然气总公司石油管材研究所)

1994 年 9 月 北京

钻柱失效案例库及计算机辅助失效分析系统

摘 要

本文系统地叙述了在全国钻柱失效分析网的基础上建立起来的钻柱失效案例库和钻柱失效案例库综合统计库的设计思想、组织构成及实现方法,并介绍了计算机辅助失效分析系统的设计思路、技术特点、知识表达方法及其推理机制。

前 言

调查表明,全国各油气田的钻柱失效事故频繁,损失重大,严重地影响了石油天然气的开发与生产。总公司范围内每年统计上报的钻柱失效事故 500 多起,直接经济损失逾 4000 万元,然而实际事故次数和经济损失远高于上报数据。

目前,国外一些大的钻井承包商和石油公司均建立了自己的钻柱管理和失效数据库,以便掌握现场管理与使用情况。美国石油学会和国际钻井承包商协会(API/IADC)成立了专门研究钻杆失效问题机构,并于 1987 年建立了广泛工业化的计算机钻柱失效数据库。1990 年公布了 1 785 起钻杆失效事故的分析处理结果,对钻杆失效事故全面系统地预防预测研究起了很大的推动作用。

从失效分析和预防研究工作发展看,建立钻柱失效数据库,积累数据和经验是十分必要的。

全国钻柱失效分析网

在全国钻柱失效情况普查和案例统计分析的基础上,经过反复酝酿讨论和认真筹备,在石油天然气总公司内部建立健全了钻柱失效分析网络系统和失效分析报案制度,开发了钻柱失效案例库、综合统计分析库和计算机辅助失效分析系统,并通过网络系统将有关结果和重要结论反馈到生产厂家和使用现场,为在广度和深度上开展钻柱失效分析和预防预测研究工作打下了坚实的基础。该网络系统如图 1 所示。

钻柱失效案例库

1. 钻柱失效案例库设计及其管理系统开发

(1) 钻柱失效案例库设计

数据库是决策支持系统的基础,即各种分析的基础。它应该能不断扩充,加入新的数据,构成一时间动态序列,以便从中反映出某些现象或因素发生变化的趋势,为决策者提供各个阶段的情况,为科学地分析提供依据。

钻柱失效报告中失效发生时的井况参数及其它有关数据(如钢级、生产厂等)对于进行失效分析,准确找出引起失效的原因,确定失效类型等起着一定的作用。但单个案例的数据本身很难反映出失效分析所需要的信息,只有将大量失效案例收集组成一个案例库,通过统计处理,再经分析才能提取有用的信息。如为了解每年全国十六大油田所发生钻杆失效事故的分布情况,只有建立相应案例库(即案例组成的数据库),才能得到上述统计结果。这个结果,反馈到有关方面,就可引起重视,对那些发生事故较多的油田进行调查;又如通过统计分析各个不同井段发生失效的分布情况,可使人们在发生失效较多的井段采取相应的措施,减少以至避免在此段内发生失效。当然,建立钻柱失效案例库的目的,意义远不止于此,它还为今后工作的开展奠定了基础。

为了维护管理案例库,建立了专用的管理系统。钻柱失效案例库管理系统用 Turbo-Prolog (T-P) 实现,管理系统设计的构思如下:

1) 失效案例库管理系统既应保证为综合统计服务,又是整个失效分析辅助系统有机的组成部分。为便于各部分自然地结合,从全局角度来看,采用 T-P 比采用现有商品化 DBMS 更为适宜。

2) T-P 语言提供了强有力的数据库功能,能够表达一些结构复杂的项,应用于关系数据库,它十分自然的描述关系数据库,其内部谓词 assertz, retract 和 save, consult 很容易实现动态数据库的添加、删除以及存贮和调入。

3) 由于动态数据库在运行过程中,数据库始

终存在于内存中,各种操作的速度是相当快的。操作结束,可将数据库存入磁盘文件中,永久保存,需要时可再次调入。针对具体问题,采用一些特殊处理技术,可解决由于提高操作速度而导致空间开销过大,使动态数据库容量受到机器内存容量限制的问题,保证每次调入内存动态数据库区的数据库能包括本次操作的数据范围。

4)传统的数据库中一般要求记录是定长的,且各个对象是简单结构,通过索引文件采用一定算法存贮数据实现检索。而 T-P 不但可以表达复杂的层次数据结构,还可以用表来处理不定长结构问题,使其表达能力更强、更灵活。系统在内存中自动采用搜索及模式匹配合一的方式实现定位“检索”。另外,也可建立索引文件实现检索。

5)用 T-P 语言为关系数据库书写一个查询统计系统尤为适合和方便。语言本身内部合一机制自动地为已约束对象选择与之相匹配的事实,并同时可对未约束化的对象实例化。此外, T-P 语言的回溯机制能找出一给定询问或统计要求的全部解释。利用这一点,可以部分地实现数据库中某些项的统计预处理功能。

6)用 T-P 语言实现 RDBMS, IDSSOZ · PRO 是一个基于内存的 RDBMS 外壳程序, IDSSO3 · PRO 是一个基于磁盘文件的 RDBMS 外壳程序。针对具体问题,可把它们作为一个核,在其基础上不断扩充和繁衍,就可以扩展成一个实用的 RDBMS,即使用由原型→实用系统的开发方式。

(2)库的划分和库的结构

根据需要,我们分别建立了钻杆、钻铤和转换接头三个案例库及相应的库管理系统。下面仅就钻杆失效案例库及其管理系统加以说明。

钻杆失效案例库总体结构是在 TGRG 原有钻杆失效报告表的基础之上,根据失效分析发展的最新要求,由 TGRG 对旧表进行较大幅度的修改和完善之后提出并确定的。新的报告表(见表 1)项数多,数据间按其含义划分为若干个相对独立部分,且含有个别复杂的项。它们依次为:失效总况、钻井单位、规格历史、钻井参数、失效描述和辅助项,各项包括的内容详见表 1。

从总体上看,钻杆失效案例库结构是关系型的,而且是比较复杂的关系。其中的数据项按其含义又可划分为六个相对独立的部分,有些部分不但项数多,而且个别项很难用简单的数据类型(如实型或字符串型)来表示。

T-P 语言的主要数据结构是项(term),除能表达简单数据类型外,还可以定义一些复杂的结构,如递归结构、层次结构。表是 T-P 提供的又一有用的数据结构(在很多场合中,可用来表达知识结构)。借助它们,可较容易地表示出案例库的结构。若用其它语言工具,既困难,又十分繁琐。

有两种方法可供选择来表示案例库,简单的方法是把整个案例库定义为一个关系,要么采用复合结构实现,要么将各部分所有项目列在一起,项间呈线性关系。这样表达的优点是结构紧凑,节省存贮空间,但其表达形式过于复杂,不够清晰,给编程带来一定困难。另外,建立起来的数据库难以维护。若以其某个数据项进行修改,需重新存贮整个案例,很不灵活,应变能力较差。较为灵活的方法是把整个案例中六部分数据从物理上分开、各自独立,成为一个关系,这样使表达形式简化、清晰。为不使它们失去逻辑上的关系,保持相对的完整性,每部分加入一项,放在首项,做为主关键字(也是唯一的关键字),称为失效案例号。同一案例各部分的失效案例号相同,它不但是这六个关系间联系的纽带,同时为在案例库中方便地实现各种操作带来了便利。尽管这样处理带来了一定程度上的冗余,但在付出一定空间代价的基础上,换来的是案例库易于维护、操作灵活、便于增删。当某项发生变化时,只需重新存贮该项所属关系,而其它部分不受影响。此外,案例库六部间无明显逻辑关系,因此,采用后一种方法较为合理,充分体现了分而治之的优点。

上述六个关系模式的 T-P 语言实现是用如下六个动态数据库谓词表示的:

- 1) sxzk(fnum, rq, lx, yy, tbr);
- 2) zjdw(fnum, a1, a2, a3, a4);
- 3) ggls(fnum, b1, b2, ..., b13, b14);
- 4) zjcs(fnum, c1, c2, c3, ..., c11, list3, list3);
- 5) sxms(fnum, d1, d2, d3, ..., d18, d19);
- 6) name(fnum, shr, shrq, lrr, lrrq)。

其中,除辅助项外,谓词名由其对应关系名的汉语拼音首字母组成,如 sxzk 对应于失效总况。案例库中各项取名的原则与此相同。当该项名称过长时,取其中主要字的拼音首字母,如 LJJC 表示累计进尺, ZTHXSJ 表示最后一次探伤后的累计旋转时间, fnum 表示失效案例号,为整数。为使管理系统程序说明简洁和实现方便,程序中各数据项的说明采用该项在案例库中的小写顺序

号表示。对应该项参与运算的变量名用大写顺序

表 1 钻杆失效报告表

钻井单位	规格、历史	钻井参数	失效描述																													
			1 油田	3 井队	1 生产厂	3 外径	5 涂层	7 加厚形式	9 接头外径	11 累计进尺	13 最后一次探伤后累计进尺	14 最后一次探伤后累计进尺	1 井深	3 最大井斜变化及对应井深	4 最大方位角变化及对应井深	5 最大全角变化及对应井深	6 最大全角变化及对应井深	7 最大全角变化及对应井深	8 泥浆类型	10 钻压	12 钻铤数目	1 失效日期	2 从钻铤上部至失效位置的钻杆数目	3 失效发生处	5 距加厚消失处距离	6 内锥面长度	7 内加厚消失处曲率半径	8 失效处销印	9 失效处腐蚀坑	11 Cl ⁻ 含量	13 可能失效类型	15 可能失效原因
2 公司/矿区	4 井队号	2 修复钻杆接头焊接日期				4 壁厚	6 钢级	8 工具接头类型	10 接头内径	12 累计旋转时间			2 最大井斜及对应井深						9 pH值	11 转速	13 加厚钻杆数目	4 距接头密封面距离						10 H ₂ S含量	12 CO ₂ 含量	14 裂源	16 损失工时	18 报废进尺

号表示,如规格历史中的钻杆外径项 B.3 对应的类型说明符为 b3,变量为 B3,b3 已在 Domain 域中说明为实数型。list3 是一个字符串表类型,该项对应的 I/O 操作,在具体实现中做特殊处理。

(3) 管理系统的开发及其功能和特点

数据库管理系统(DBMS)一般来说其功能是加快信息的横、纵向流通、反馈及综合利用,提供有关信息。具体地说,主要有以下三项任务:

1) 收集与维护有关的数据,这是 DBMS 应具备的最基本功能,即完成数据的添加、修改、删除等基本操作和维护功能。

2) 对数据进行一定的处理、解释,使之成为对管理、决策有用的信息。

3) 输出有关报表,本管理系统是在 IDSSO2 · PRO 的基础上扩充繁衍而完成的。在实现过程中,坚持层次模块化编程风格,使系统总体的树形结构保持不变,只是不断添加新的功能模块及其子块,每个子块不断地细化和完善。形象地说,整个树干不断长出新枝和树叶,越来越茂盛。而若某一部分发生变化需要进行修改或扩充,只需将该部分涉及到的地方进行修改即可,不会影响其它部分及系统总体结构。T-P 语言丰富的表达能力和程序结构的层次模块化特性,充分反映出 T-P 语言开发大型应用系统的方便之处和优越性。

本系统由 ZGDBMS · PRO 实现,案例库放在 ZGDBMS · DBA 中。系统采用交互式方式,多

级下拉菜单显示,整个菜单系统呈树形结构。

需要特别强调的是,整个钻柱失效案例库分成了钻杆、钻铤、转换接头三个案例库,即 ZGDBMS · DBA, ZTDBMS · DBA, ZHJDBMS · DBA 和相应的三个专用管理系统,即 ZGDBMS · PRO, ZTDBMS · PRO, ZHJDBMS · PRO。上述三个管理系统是在 T-P 环境下运行的源程序。为方便使用,我们还生成了相应的三个执行系统,即 ZGDBMS · EXE, ZTDBMS · EXE, ZHJDBMS · EXE,三者可直接在 DOS 和 WINDOWS 下运行。

2. 钻柱失效案例综合统计库

(1) 综合统计库的组成

失效案例库管理系统主要负责维护案例库,并做一些简单的统计和查询操作。但在实际中简单的统计处理是很不够的,只有进行一定程度上综合、复杂的统计处理,才能得到有意义的信息。统计处理的结果可以是具体的数字,也可以是直观的统计图形(如直方图、饼图等)。

我们不是把综合统计库放在失效案例库管理系统的统计模块中,而是把它们作为一个独立的部分,其原因如下:

1) 钻柱失效案例库管理系统本身已十分庞大,若再加上各种各样的统计功能,将使管理系统难于维护;

2) 综合统计功能自成一体,十分灵活,便于扩

充实现新的统计要求;

3)为统计钻杆、钻铤及钻柱转换接头间失效案例关系带来了便利,因为它们各自有自己的失效案例库及管理系统;

4)案例库管理系统和综合统计库共享失效案例库。

根据我们对某一年度全国石油钻具失效情况统计结果并征求失效分析专家的意见,拟出以下七个关于钻杆和二个关于钻柱的统计要求,分别为在某个时间段内统计:

1)失效钻杆各种失效原因和类型各为多少,计算各自所占的百分比,并绘出失效原因及失效类型的统计直方图;

2)全国十六大油田各自发生钻杆失效事故的次数,计算相应的百分比并绘制统计直方图;

3)各个生产厂生产的钻杆发生失效的次数,计算相应的百分比并绘制统计直方图;

4)各个井段发生钻杆失效的次数,计算相应的百分比并绘制统计直方图;

5)不同范围累计进尺内发生钻杆失效的次数,计算相应的百分比并绘制统计直方图

6)不同范围累计旋转时间内发生钻杆失效的次数,计算相应的百分比并绘制统计直方图;

7)不同钢级钻杆发生失效的次数,计算相应的百分比,绘制统计直方图;

8)所有钻柱失效中,钻杆、钻铤和钻柱转换接头各自发生失效事故的次数,计算各自所占百分比并绘出统计直方图;

9)统计在某两个时间段内(如相邻两年)钻杆、钻铤和转换接头各自分别发生失效事故的次数并计算两时间段内各自占三者总失效事故的百分比,绘出两时间段内三者的对比统计直方图,从中可以看出两段时间内各自上升或下降的幅度。

对于钻铤,系统具备了其它五种类似的统计功能。对于转换接头,系统具备了其它七种类似的统计功能,即整个钻柱系统共有 21 种统计功能。该综合统计库的工作流程示意图如图 2 所示。

进行综合统计时,要在 T-P 环境下运行实现有关统计处理的预处理程序。根据输入的起止时间,该预处理程序便将预处理结果写入磁盘文件中,然后在 T-P 的主菜单中选择 Files 下的 Operating System 进入 DOS 环境(此时 T-P 驻留在内存中),进入 S-B(Structure Basic)系统,运行与预处理程序相应的处理程序,进行有关计算并绘出

统计直方图。若想将该图形输出到打印机上,在 S-B 中硬拷贝屏幕即可,随后可退出 S-B 系统,返回 T-P 环境。从图 2 可以看出,各个程序及有关数据文件的取名直观明了,通过文件名及后缀可以建立起各部分间的关系与对应关系。其中统计处理程序文件名最后一位是数字,表明该程序所实现的统计功能,它与前述七个功能一一对应。

(2)案例库的分割

对数据库进行分割具体采用什么方法通常无统一的形式,但应以保持分库的相对完整性和独立性为出发点。考虑到钻杆失效案例库由六个动态数据库组成这一特点,各个子库逻辑上构成一个完整的案例库,但物理上又具有一定的相对独立性和完整性。因此,将它们各自独立,成为一个独立的数据库是分割的好方法。在许多统计中,仅涉及到整个案例库的某一个部分中的有关项,而与其它五部分无关。若采用别的方法分割案例库(如按时间段划分),就会将无用信息同时调入内存,既不经济,又影响速度,造成不必要的额外时空开销。而按上述方法进行分割,只需将含有该项的子库调入内存即可。对于统计中可能出现涉及到几个部分中项的情况时,可依次将所涉及部分对应的分割库用 consult 调入,十分方便。

用 ZG-FILTE·PRO 分割案例库的思路是模拟内部谓词 consult 的操作过程。在读入时附加一定的选择条件,即将 ZGDBMS·DBA 中满足某条件(如同一动态数据库)的所有子句读入内存动态数据库区中,然后用 save 将它们存入指定的磁盘文件中。具体地说,如用内部谓词 read-term 从 ZGDBMS·DBA 中依次读入形式为:

szzk(Fnum,RQ,LX,YY,TBR)

的子句并执行 assertz(szk(Fnum,RQ,LX,YY,TBR))(其中变量已实例化),直到 ZGDBMS·DBA 结束,然后用 save("ZG-SXZK·DBA)将当前动态数据库内容存入 ZG-SXZK·DBA 中。此过程可看成是执行了条件 consult 操作,当然,还可再加入一些其它方面的约束条件。其执行过程为:磁盘文件→内存动态数据库→磁盘文件。

此法仍有不足之处,即仍要借助动态数据库完成案例库的分割。实际上,consult 和 save 管理的 Dos File Name 中各行内容是普通的字符串,可用 read-in 和 write 读入和写出,生成的文件只要不存在语法错误,同样可用 consult 调入,这样就可直接生成分割子库。如要生成 ZG-SXZK·

DBA, 首先打开 ZGDBMS·DBA(准备读)和 ZG-SXZK·DBA(准备写), 依次从 ZG-SXZK·DBA 中读入一行内容到一字符串变量中, 比较该字符串前四个字符组成的子串是否与“sxzk”相同, 若是, 则用 write 语句将该串写到 ZG-SXZK·DBA 中并换行; 若与“sxzk”不相同, 则跳过该行读下一行内容, 这样处理直到 ZGDBMS·DBA 结束。其执行过程为: 磁盘文件→磁盘文件。

总之, 按照本方法压缩分割钻杆失效案例库, 具有以下特点:

1) 十分灵活, 具有高效性和经济性 无论是综合统计、复杂的组合查询还是其它处理, 需要哪一部分就将该部分对应的分割子库随时调入, 不用时可随时用 retract 删除。

2) 分割后子库的大小相对地大为减小 分割生成的六个子库大小之和正好等于总库之大小, 使得各个子库的尺寸相对于总库要小得多。如含 61 起案例的 ZGDBMS·DBA 约 23kB, 分割生成的六个子库中最大不超过 8kB, 最小不足 1kB。这样就可容纳更多的案例供一次调入内存使用。

3) 冗余性分析 通常数据库系统要求不能有数据的冗余, 尤其是关系数据库更应如此。在本系统中, 总库与分割生成的子库同时存在于硬盘中, 实际上这只是数据的重复而不是冗余。综合权衡考虑到分割带来的灵活性、高效性及节省了大量的内存空间, 损失一些硬盘空间是值得的。当然, 案例库存储结构中失效案例号的设置的确带来冗余, 但它却起到在逻辑上把构成案例库的六个部分组成一个整体的作用, 并为进行各种处理如综合统计、复合查询等建立起各部分间的必要关系。这种冗余量是微不足道的。

(3) 综合统计实现的方法和模式

用 T-P 语言实现统计预处理可采用以下几种方法:

1) 利用内部谓词 findall 将需要统计的项收集到一表中, 然后编制带有约束条件的 delete 谓词, 把收集到的表中不满足约束条件的元素删除, 剩余表所含元素即为满足统计条件项的集合, 然后用 length 谓词求出表长, 即得统计值。由于此法在实现复杂的统计(如出现复合条件、交叉项)时显得不够灵活、方便, 仅在 ZGDBMS·PRO 的简单统计中使用了 findall 法。

2) 编制和检验——回溯(BAF 法)构成循环统计处理谓词, 当某一案例满足有关统计条件时,

将有关项写入一磁盘文件中, 否则检查后续案例, 直到整个案例库搜索完毕, 然后由 S-B 系统中与之对应的处理程序完成统计和计算等工作。

3) 利用 T-P 语言强有力的表处理功能, 构造递归程序, 模仿条件 consult 方法, 编制“条件 findall 谓词”, 即设计一谓词, 其功能是将案例库所有满足统计条件案例的有关项(如失效案例号)收集到一个表中, 求出表长, 然后将统计结果写入磁盘文件中, 在 S-B 中仅完成计算和绘图等工作。本综合统计库采用此法实现。应用此库已经分别对 1991 年、1992 年、1993 年全国各油田的钻柱失效案例进行了综合统计分析; 并通过反馈, 使钻井过程中的恶性事故大大减少(每年减少约 100 起), 也使一些比较突出的问题得到解决, 为有关领导的宏观决策和提高钻具的管理和使用水平提供了重要依据。

计算机辅助失效分析(CAFA)系统

1. 技术特点和设计思想

失效分析是一门新兴的边缘学科, 也是一门新的跨学科的综合性技术。开展石油钻柱的失效分析研究工作, 对于减少钻井事故, 延长钻柱使用寿命, 降低钻井成本, 预防钻柱早期失效及提高钻柱产品质量都具有积极作用和重要意义。

石油钻柱的服役条件和工作状态与一般机械产品有较大不同, 其失效原因、类型及其失效分析技术都有独特之处。在很大程度上, 石油钻柱的失效分析工作更为复杂和困难。石油钻柱失效分析的特殊之处, 即具有不确定性、模糊性和不完整性。它们体现在以下几个方面:

1) 石油钻柱失效分析本身的理论体系很不完善, 目前尚未有统一的、完整的理论体系。

2) 失效案例的一些重要原始数据的收集很不完整。很难及时、准确、完整地收集、保留每起事故的井况报告, 而它们往往在后面分析中能提供重要的判断依据。

3) 石油钻柱发生失效的原因较为复杂, 大都是综合因素作用所致, 其失效类型也表现出多样性, 导致多属性、多因素的不确定性和模糊性;

4) 失效分析人员进行分析的过程也表现出相当的含糊和不确定性。对于同一种现象, 不同人有时得出的结论相差甚远。

故此, 采用通常方法是很难解决钻柱失效分

析问题的,应充分把握住其不确定性等特征,建立一个辅助性的分析和诊断系统,使它准确、迅速、客观、规范化、科学地解决问题。最终的系统应具有以下特点:

1)是一个供高层或较高层次失效分析专业人员使用的辅助性系统;

2)是一个人机界面友善的交互系统,失效分析人员在使用中不断地参与,在一定程度上监督和控制系统的行为;

3)系统应十分灵活,应变能力强,易于修改、扩充,采用目前流行的层次模块化程序设计风格和从原型到实用系统的软件开发方法实现系统,做到局部改变不会牵动全局;

4)系统要易于使用,使对计算机不太熟悉的失效分析人员乐于接受;

5)系统中静态知识以专家集团知识为主,为发挥专家个人的作用,动态知识在运行中由专家个人输入,即个体知识为辅。这样群体与个体知识互为补充,既客观,又反映一定的灵活性;

6)系统应具有一定的先进性,克服通常方法在解决不确定性方面的不足,探求新的知识总结和表达形式,并提出与之对应的推理机制。

应当强调失效分析专家在使用系统进行有关分析过程中的参与活动和主导作用,而不应让他们只是被动地按系统的要求回答是或非的问题。只有这样,才能既集群体专家的集团智慧,又充分发挥专家个人在解决具体问题时的作用,系统才有生命力,失效分析人员才乐于使用。

经查询,到目前为止,国内外尚未见成功地开展计算机辅助钻柱失效分析的报导。我们有意把人工智能技术引入钻柱失效分析领域,为失效分析人员提供一个高效、准确、科学化、规范化的“计算机辅助钻柱失效综合分析系统”,或者说,所提供的是一个基于知识的知识系统。

2. 本系统知识的表达

一般的失效分析中,目前已有失效树、鱼骨图等知识总结技术,并用产生式规则(或其变形)表达知识。失效树分析法是失效分析常用的一种方法,它是逆着失效发生的过程进行分析,即从结果到原因。但是,失效原因与失效所表现出的特征间存在着一个中间过程——失效机理。失效原因决定失效机理,失效机理反映出失效特征。因此,分析过程应是:失效特征→失效机理→失效原因。

首先,由失效分析专家们在取得一致意见的

基础上共同提出发生失效所表现出的所有特征(包括宏观特征和微观特征),称这些特征构成的集合为失效特征全集。同时,总结出失效特征与失效机理间的对应关系,并以规则:规则名(机理,特征表)的形式表示。为了表明特征表中各个特征与相应机理间对应关系程度的不同,按表中各特征的重要性分为三类,即①必要特征集;②次要特征集;③可能特征集。这三个集合互不相交。

必要特征集中的特征是判断失效机理的必要条件。次要特征集中的特征之间是“或”关系,因此它们不必都反映出来,但只要是某一机理,或至少有一个对应的特征出现,其出现的必要性低于必要特征。可能特征集中的特征是在当前两个集合的特征满足时,特定案例中具有的特征与可能特征集吻合的程度越高,为该机理的可能性就越大,即对某一机理的进一步确认。为了由失效机理分析失效原因,我们以知识树的形式,总结出了十棵机理原因树和五棵措施树。失效分析人员可根据系统提示,直接从这些树上找到原因及措施。对于更复杂的案例,则可通过系统提供的层次分析法及计算,在系统提示下,逐步找到失效原因。

(3)基于表处理的推理机

据上述知识表示形式构造的基于表处理的推理机制,其编程推理过程如图3所示。系统首先进行初始化工作,调入知识库(sf.dba),并显示特征现象全集(TXJ),然后要求用户根据特征全集选出本次诊断分析中的特征子集(List),并给出阈值(Limit),以便在推理过程中进行过滤控制。初始化工作完毕后,系统对调入内存的知识库进行正向推理。推理机实现的程序片断如下:

```
collect(Lsit,Limit):-
me_ch_frame(jl(X),b1(List1),b2(List2),b3
(List3),
subset(List1,List), /* Pass Condition One */
dssubset(List1,List,0 list1),
member_list(List2,0 list1),/* Pass Condition Two */
liner(List2,[ ],L),
intersection(L,0 list1,lnList),
dssubset(lnList,0 list1,0 list2),
set_subset(List3,0 list2,Limit,Weight),
/* Pass Condition Three */
assertz(buffer(X,Weight),fail),
collect(,_,-1).
```

其中,List1,List2,Liet3 为特征——机理框架中

的必要、次要、可能特征集表,buffer 为黑板数据库;Weight 为 List 与 List3 交的元素个数和 List3 元素个数的比值。当 $Weight \geq Limit$ 时,条件 3 满足。Weight 作为该规则与其它满足条件规则间排序的权重。

可以看出,由于知识表达中各条件均以表(或表套表)的形式出现,诊断分析的原始信息也是以表的形式提供的,其推理机制显然是基于表处理的,所反映的匹配关系必然是“表对表”的。由于一般机械设备的故障诊断、失效分析与石油钻柱失效分析有一定的共性,也存在着失效特征(现象)→失效机理→失效原因的类似过程。因此,我们以钻柱失效分析为背景提出的表处理推理机制及知识总结、表达的方法并不局限于此,它在一般的故障诊断、失效分析中也有很好的应用前景。

首先,建立本领域(如汽车发动机故障或发电机等)的知识系统,包括故障(失效)特征全集,基于框架结构的特征——机理集以及机理——原因层次结构决策树体系;

其次,根据知识表达的不同形式,利用我们提出的基于表处理的推理机制,给出经分析所得的待诊断事故的有关故障(失效)特征子集,由系统进行推理,得出可能故障(失效)机理序列;

根据所得机理,针对机理——原因决策树,专业人员可利用层次分析法,进行分层排序和总排序,求出底层结点(即失效原因)相对于顶层(即机理)的权值。最后找到这起事故最有可能的故障(失效)原因。

由于从机理——原因这部分工作,需进行大量的计算工作,故可由 S-B 完成。

诊断分析过程如图 4 所示。从图中看出,前半部分由 T-P 实现特征→机理的推理过程,后半部分由 S-B 实现机理←原因的判断过程,反映出 T-P 和 S-B 间完美的结合。

3. 系统的优点

综上所述,基于表处理的推理机制以及相应的知识表达、总结技术应用于故障诊断、失效分析之中,具有以下优点:

1) 科学性,从整个诊断、决策过程可以看出我们所提出的方法适合于故障诊断、失效分析这门特殊学科知识的总结与表达。同时,利用表中套表结构灵活地解决了“与”特征中“或”特征的表达和处理。

2) 系统中既有领域专家的群体知识,如失效特征全集、特征——机理集、机理——原因决策树,又能充分发挥和体现出领域专家个人的知识水平,如对于某一特定案例下特征子集的选定,各个专家可以从不同角度出发,得到不同的集合;进行层次分析时,各层元素的相对权重也可以由专家个人确定等。当然,由于个人的知识和经验再丰富,毕竟还是有限的,不可避免地含有一定程度上个人的局限性,特别是对于复杂失效事故的分析。因此,应吸取其它失效分析专家的经验,寻求一个共同的知识经验集。这也是我们首先强调群体专家知识的原因所在。

3) 充分体现了知识处理和数据处理相结合的思想,我们曾利用 T-P 与 S-B 结合开发了钻柱失效案例综合统计库,说明了二者结合开发大型应用系统的好处。这里又采用这样一种思想,即在 T-P 环境中实现推理诊断(知识处理),在 S-B 环境中实现决策分析(数据处理为主)。避免在 T-P 中进行大量数值运算导致效率降低和实现上的困难。这又一次表明了两者的优越性。

4) 由于诊断和失效分析本身具有不确定性、模糊性等因素,因此其推理和决策结果一般不是唯一的。系统为失效分析人员提供的是一个已缩小范围的可能失效原因集,分析人员应当也可能在此基础上进行更深入的考虑,逐步求精,最终确定失效的准确原因。

5) 易于实现,结构清晰。整个过程思路清晰明了,用 T-P 及 S-B 语言分别实现,人——机环境友善。还应指出的是,为了帮助失效分析人员更好地确定特定案例下的特征子集,系统还建立了力学结构常用计算函数库,配备了常用曲线、图表、手册。整个系统的总框图可参见图 5。

参 考 文 献

- 1 石油管材研究所. 全国油田钻柱失效现场调查资料, 1988 年 12 月
- 2 李鹤林, 冯耀荣. 石油钻柱失效分析综述. 全国第三次机械装备失效分析会议, 1988 年 5 月
- 3 B A Dale. Inspection interval guidelines to reduce drillstring failures. IADC/SPE Drilling Conference, 1988
- 4 Drill pipe failure survey information. IADE MEMO—RANDOM, December 4, 1987
- 5 刘家俊. Prolog 高级程序设计, 西安交通大学出版社
- 6 刘家俊. 人工智能语言 Turbo-prolog 及应用
- 7 刘文西. 模糊计算与失效诊断

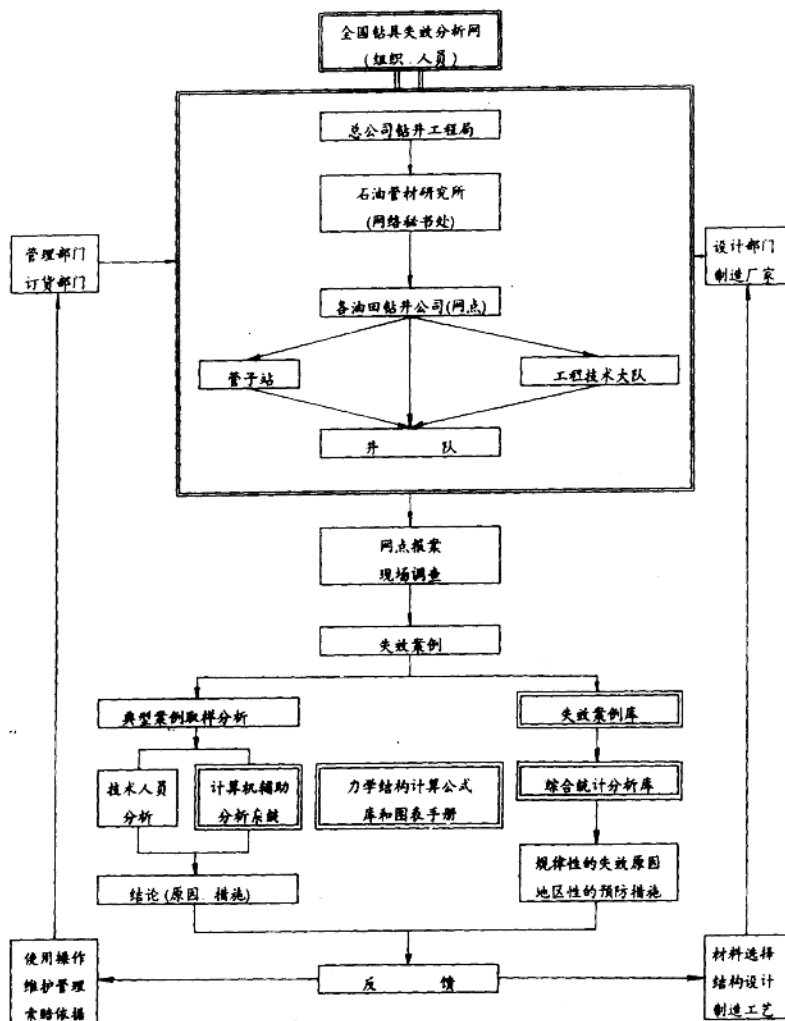


图1 网络系统流程图

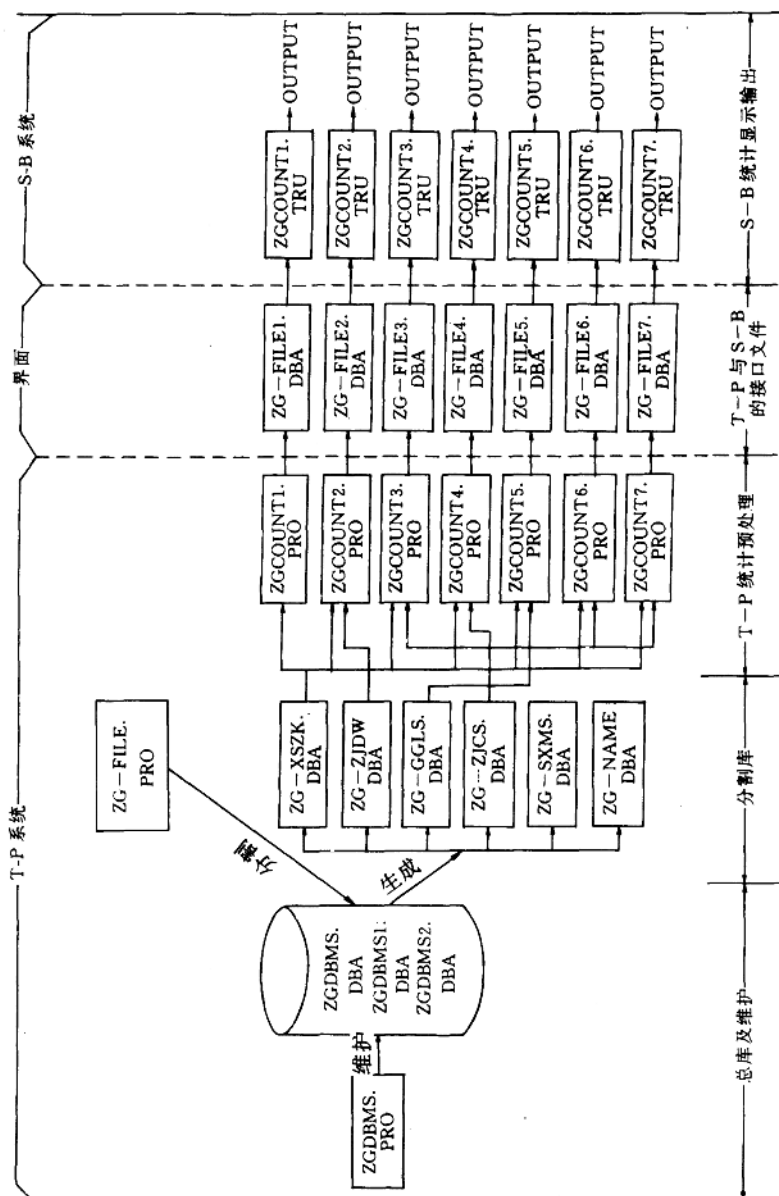


图 2 综合统计库流程图

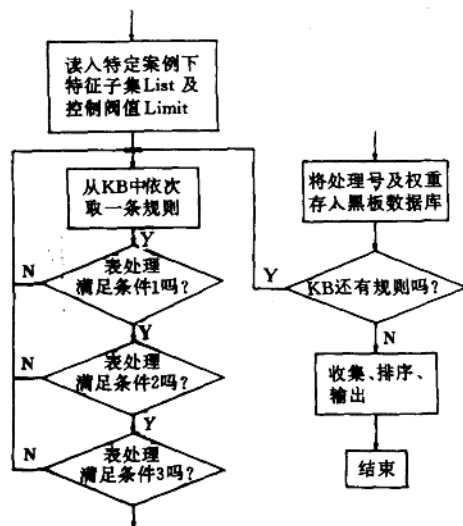


图3 表处理推理流程图

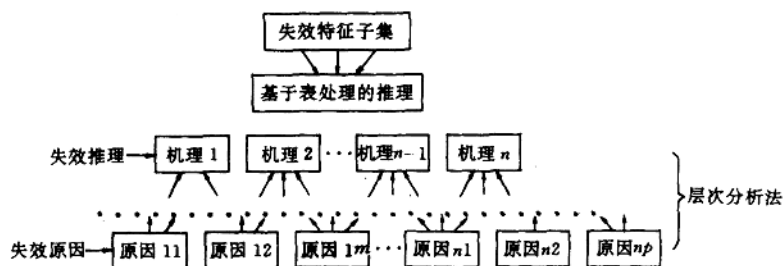


图4 诊断分析判断过程

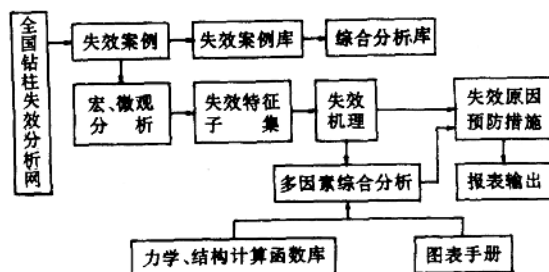


图5 整个系统总框图

石油物探局制图印刷厂
照排印刷