

# 脱轨事故智能分析 支持系统 ( IDASS ) 的研究

翟婉明 张 治

西南交通大学, 列车与线路研究所, 成都 610031

摘 要: 针对列车脱轨事故原因的复杂性, 本文将现代人工智能技术引入列车脱轨事故分析领域, 使用从定性到定量的综合集成的智能方法进行脱轨事故分析。基于智能决策系统开发技术, 采用面向对象编程方法, 开发研制了脱轨事故智能分析支持系统 ( IDASS ), 为脱轨事故调查分析提供了新的现代化分析手段。

关键词: 脱轨; 人工智能; 决策支持系统; 模糊逻辑; 神经网络

中图分类号: U298.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747 ( 2003 ) 02-0022-06

## Research on Intelligent Derailment Analysis Support System ( IDASS )

ZHAI Wan-ming ZHANG Zhi

Train & Track Research Institute,

Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

Abstract: Because of the complexity of derailment and difficulty of its study, the artificial intelligence approach is applied to analyze the essential reasons of derail accidents. Using the technology of intelligent decision support system (IDSS) and the object-oriented method, an intelligent derailment analysis support system (IDASS) is designed and established. This knowledge-ware provides a modern tool for analyzing

收稿日期: 2003-10-28.

基金项目: 本项研究受教育部高等学校骨干教师资助计划资助。

作者简介: 翟婉明 ( 1963 - ), 男, 江苏靖江人, “ 长江学者 ” 特聘教授, 西南交通大学列车与线路研究所所长, 博士生导师。主要从事铁路大系统动力学理论与应用研究, 现为国际车辆系统动力学学会 ( IAVSD ) 学术委员会委员。

derail accidents.

Key words: Derailment, artificial intelligence, decision support system, fuzzy logic, neural network

列车脱轨事故是许多因素综合作用造成的,是铁路大系统中的各个子系统相互作用、相互耦合产生的综合结果。事实证明,导致列车脱轨事故的原因非常复杂,常常有一些列车脱轨事故原因并不明显。脱轨后对轨道和脱轨车辆进行检查后发现,机车车辆和线路往往并未超过安全运用限度,经直观分析推理,各种因素都可以排除,无法确定脱轨的真正原因。这是当前脱轨事故分析中的最大困惑。究其原因,传统的脱轨事故分析方法往往采用非此即彼的简单逻辑推理,没有考虑到脱轨事故复杂性的本质,无法研究各种因素的综合影响。为此笔者尝试了利用计算机技术进行脱轨事故分析的新路子,将模糊逻辑和神经网络

等人工智能技术引入脱轨事故分析领域,在借鉴各种类型的事故分析专家系统以及各种决策支持系统等研究成功的经验和方法的基础上,建造了列车脱轨事故智能分析支持系统 IDASS,以期实现脱轨分析的智能化、系统化。

## 1 IDASS 系统的结构

### 1.1 人机结合的系统体系

脱轨事故智能分析支持系统以系统工程方法为指导,由专家体系和机器体系构成。系统体系如图 1 所示。

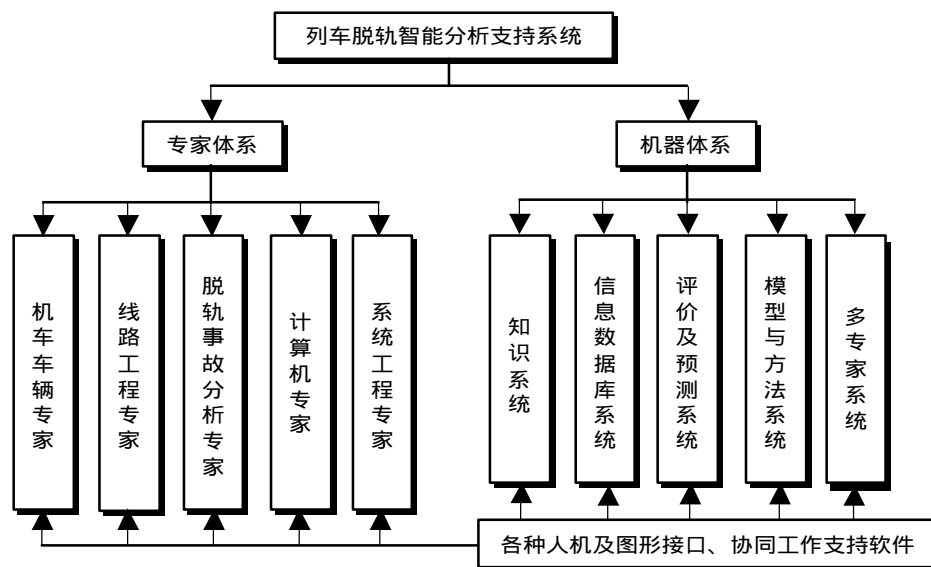


图 1 脱轨事故智能分析支持系统 (IDASS) 结构层次解析图

(1)专家体系 成功的各类智能支持系统都强调人机结合<sup>[1]</sup>。专家体系在系统中起到十分关键的作用。它由相关领域的专家组成。脱轨智能分析支持系统中的专家包括机车车辆、线路工程与工务、脱轨事故分析、计算机、人工智能、知识工程、系统工程等领域的专家。专家体系在系统设计建造、系统运行维

护等方面起着关键的作用。通过专家讨论,获得专家对各种相关领域的知识(知识源),建立事故分析信息系统,这是进行事故分析判断及评价的基础;对于复杂脱轨事故分析的求解,需要多专家协作,通过人机接口交互完成,这种事故分析决策方法在实际运用中是有效的。专家体系是事故智能分析系统中不可缺

少的重要组成，类似于事故调查分析专家组的作用。

(2) 机器体系 智能分析(或决策)支持系统是在现代计算机技术发展之后，人工智能、信息处理等新技术与其他工程技术领域(如社会经济、生产决策等)相结合产生并迅速发展的新的交叉学科应用。智能脱轨事故分析系统是一个由若干个子系统构成的机器体系，包括两个层次：第一层次由模型系统、知识系统、信息数据库系统、评价及预测系统、分析方法系统构成；第二层次是支持以上体系的软件工具。

专家体系起到类似于事故调查分析专家组的作用，而机器系统的功能是综合运用各种分析方法进行具体的事故分析。

### 1.2 原型系统结构

IDASS 原型系统的结构如图 2 所示。事故分析者通过人机对话系统启动事故分析求解系统，而后者在智能支持环境中根据已建立的数据库、方法库和知识库进行逻辑推理工作。

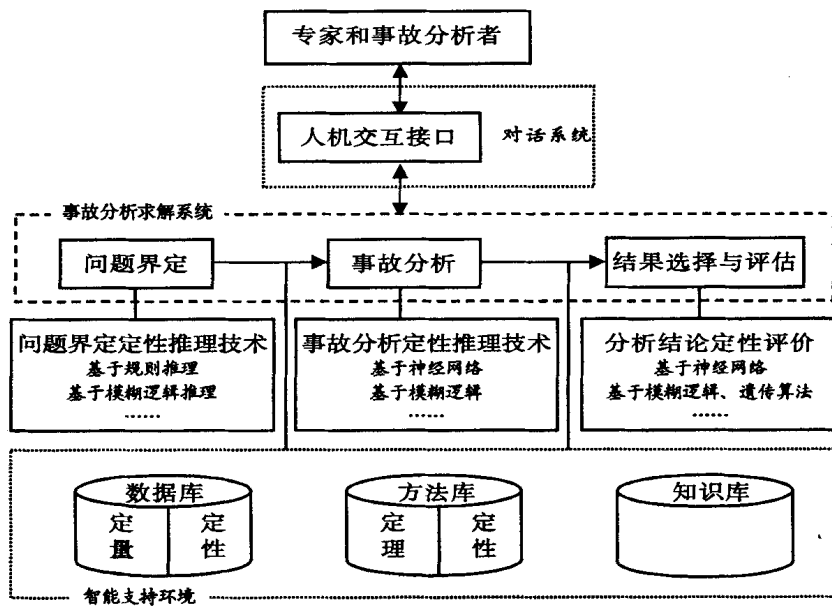


图 2 IDASS 原型系统总体结构框图

(1) 智能支持环境 智能支持环境(知识系统)包括数据库、方法库和知识库，其中，方法库与模型库合一。要使得脱轨事故分析智能化，就要求有良好的智能支持环境，它直接决定了系统事故分析求解的能力<sup>[2,3]</sup>。

(2) 事故分析求解系统 这一部分由事故分析问题界定、事故分析求解以及分析结果选择与评价三个子系统构成。这一部分主要进行脱轨事故原因的分析，同时能够处理事故分析的经验、事故分析知识，是整个 IDASS 的核心。

(3) 人机对话系统 一个智能系统的性能好坏在很大程度上取决于人机对话系统的设计优劣。良好的人机界面对于智能分析系统的使用和维护来说是至

关重要的。这是人机交互的唯一途径，是实现人机结合、完成事故分析的关键。

## 2 IDASS 系统的功能模块

### 2.1 数据库系统

IDASS 中的数据库基于微软公司提供的桌面型数据库 ACCESS 2000 开发实现，主要存储各次脱轨事故调查的具体记录，以及机车车辆和线路工程的有关参数。这些数据为事故原因分析推理提供了原始的数据。IDASS 选用 ACCESS 2000 作为开发工具，它可以方便地与 VC++ 6.0 语言接口，应用方便，功能较强。

数据库系统作为智能事故分析系统的全局数据库,还为事故分析推理过程中的数据交换提供了支持环境。IDASS 系统的所有中间推理结果和推理得到的中间过程数据都暂时存储在数据库系统所提供的缓存空间中,为推理过程的跟踪解释提供了依据。

## 2.2 方法库系统

IDASS 将方法库与模型库合一,方法和模型实际上指代的都是求解问题的手段,只是表述角度不同,可以将方法和模型统一起来。方法库将各种事故分析方法按照一定的方式组织存储起来,使得我们能够将不同的方法组合起来完成脱轨事故分析、结果选择与评价,甚至进行事故的分析预测。

方法库由方法程序库和方法字典两部分组成<sup>[3]</sup>。方法库中存储的各种方法和模型用于完成脱轨事故的原因分析,寻找到事故原因后能够提出防止对策或改进意见,能对铁路行车安全提供有益参考。

IDASS 方法库中主要包括以下几种方法模型:

(1) 推理方法 演绎推理方法(基于神经网络的正向推理)、归纳推理方法(聚类分析)、类比推理方法(CBR 推理方法)、文法分析方法等等,这是进行事故原因推理分析的基本方法模型。

(2) 预测方法 这些方法的目的是对脱轨事故发生的可能性进行预测。具体方法模型有概率预测、遗传算法、时间序列分析预测等等。

(3) 模拟实验方法 例如车辆-轨道耦合动力学等轮轨动力学分析方法<sup>[4]</sup>。

(4) 评价方法 专家评分法、模糊评价方法、主因素分析法、层次分析法以及加权分析法等等,用于事故原因分析结果评价以及事故发生可能性预测结果的评价。

## 2.3 知识库系统

知识库系统是介于事故分析求解和事故分析者(专家体系)之间的中央控制单元,承担脱轨事故分析求解任务以及事故求解规划与控制。知识库通过状态变量在数据库、知识库和方法库之间形成动态关系,并通过各种软件接口实现与各种智能技术的融合。

IDASS 的事故原因求解方法包括基于模糊逻辑的方法、神经网络识别方法、模糊模式识别方法、模糊神经网络方法等。采用的知识表示方法有:基于模糊逻辑的事故分析权矩阵;基于神经网络与模糊神经网络的各层神经元连接权系数与阈值;基于模糊产生式规则;CBR 实例表示。IDASS 中知识表示与知识库结构模型见图 3。

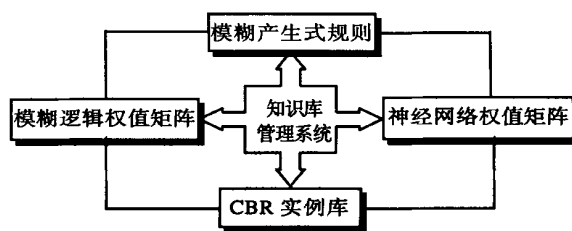


图 3 IDASS 知识表示与知识库结构模型

IDASS 系统中的知识库大多是权值形式,所以系统的知识库可以采用 ACCESS 2000 数据库系统开发,所有相关的权值矩阵数据都保存在数据库的表中。又由于 ACCESS 与 Visual C++ 接口十分方便,故知识库与事故分析求解系统的交互十分方便。

## 2.4 脱轨事故分析求解系统

脱轨事故分析求解系统是 IDASS 的核心系统,包括事故分析问题界定、事故分析求解以及分析结果选择与评价三个子系统。

(1) 问题界定系统 首先,确定系统进行事故分析或是进行事故预测;然后进一步对问题进行划分,这里采用神经网络分类器将问题划分为子问题。

(2) 事故分析求解 对事故分析、预测或状态评价等问题加以界定之后,选定一种推理求解方法,根据所输入的初始状态进行推理分析,得到事故分析结果或得到事故发生的可能性。

(3) 分析结果选择与评价 脱轨事故分析、预测所选择的求解方法是否适当?得到的结果是否合理?我们需要有一定的评价标准和手段。IDASS 中采用了模糊综合评判方法和专家经验评分法对事故求解结果进行多层次多角度的综合评判,为 IDASS 系统的进一步发展完善提供了依据,为脱轨事故分析

的准确性、可靠性提供了保证。通过人机对话，能够对事故问题求解流程进行控制。

### 3 IDASS 脱轨实例分析与 IDASS 系统测试

#### 3.1 IDASS 操作界面简介

笔者开发的 IDASS 智能应用软件采用微软提供的 Visual C++ 6.0 语言，采用面向对象编程（OOP）技术，因而具有可重用性、可扩充性和较好的可靠性。列车脱轨事故智能分析系统软件主界面如图 4 所示。

图 5 显示了 IDASS 求解系统中脱轨事故问题分析界定向导。



图 4 IDASS 系统主界面

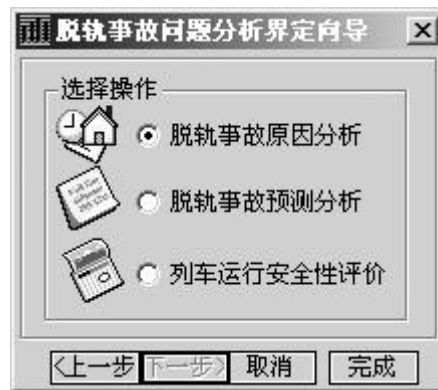


图 5 IDASS 脱轨事故问题分析界定向导

#### 3.2 脱轨事故分析实例

笔者采用基于模糊逻辑的事故分析方法，得到近 120 个实际的列车小半径曲线脱轨实例。采用其中 40 个脱轨事故实例作为学习样本，不断地修改权矩阵。又使用了其它 20 个脱轨实例作为检验样本，进一步验证了基于该模糊事故分析权矩阵的列车脱轨事故分析系统，取得了较好的效果。这里仅举两个脱轨实例<sup>[5]</sup>，以验证 IDASS 系统分析的有效性以及系统建造的可行性。

样本 1 1989 年 10 月 16 日 7 时 25 分，1608 次货物列车运行至襄渝线文畷至黄家营间 K37+913 处机后第 37 位空油罐车第一台车第 2 位轮对在曲线下股脱轨。列车编组 54 辆，总重 3187 t，由韶山<sub>3</sub>型 0156 号机车牵引，事故现场勘察发现，列车脱轨前

100 m 线路中 15 处轨距有 12 处超限，且曲线超高变化率不均匀，列车在缓和曲线处脱轨，空油罐车重心高，置于重车之间，空重夹杂。

样本 2 1992 年 4 月 28 日 14 时 47 分，1653 次货物列车运行至京通线黄家店至朝阳地间 K354+542 处车辆脱轨。脱轨点曲线半径 600 m，线路状态良好，脱轨点位于 6‰与 4.2‰下坡道的变坡点处，列车编组 48 辆，脱轨车轻载香烟，有空重车混编现象，列车司机操纵中使用了紧急制动。

基于模糊逻辑的事故分析方法，一共需要获取 19 个事故征兆，通过人机对话系统界面，采用问答式交互方法，向系统输入这 19 个征兆的模糊隶属度，如表 1 所示。通过问题求解系统的推理求解，我们得到了这两起脱轨事故原因的分析结论。

表 1 脱轨样本实例征兆状态

征兆模糊子集	测试样本	
	1	2
车辆旁承间隙 $x_1$	间隙很大	间隙不小
减振器磨损 $x_2$	轻微	轻微
车辆重心偏高 $x_3$	很高	高
配件脱落 $x_4$	无脱落	无脱落
断轴 $x_5$	否	否
线路不平顺超限 $x_6$	很严重	无超限
曲线超高顺坡率超限 $x_7$	大	非常小
脱轨处在出圆进缓点 $x_8$	是	是
曲线半径 $x_9$	一般	小
列车在反向曲线运行 $x_{10}$	否	是
断轨开口量 $x_{11}$	没有断轨	没有断轨
车辆货物装载偏载 $x_{12}$	非常轻微	轻微
车辆货物超载 $x_{13}$	无	无
列车超速运行 $x_{14}$	没有超速	超速
列车低速运行 $x_{15}$	速度较低	速度低
上坡提速过快 $x_{16}$	提速正常	没有上坡
下坡制动过快 $x_{17}$	制动很慢	制动非常快
长短车相间 $x_{18}$	无	无
重车之间夹空车 $x_{19}$	严重	严重

样本事故 1 的分析结论:主要脱轨原因是线路系统故障和列车编组不当造成。

样本事故 2 的分析结论:脱轨事故主要原因是由于列车编组不当以及列车操纵不当造成的。

IDASS 系统对上述样本的实例分析结果与事故现场调查分析结果吻合。

#### 参考文献

- [1] 许国志 主编. 系统科学与工程研究. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.
- [2] 黄梯云. 智能决策支持系统. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [3] 陈晓红. 决策支持系统理论和应用. 北京: 清华大学出版社, 2000.

## 4 结论与展望

IDASS 系统的开发设计,为脱轨事故分析的智能化提供了技术和方法的支持。IDASS 系统界面友好,操作简便,信息集成度高,具有以下特点:

1) 智能性 把知识的深层-浅层、数据库-知识库-方法库以及模糊推理和神经网络推理等方面有机地集成起来,能方便地进行模糊知识和大量数据信息的有效管理,自动化程度高,可以在事故现场实时输入事故调查获取的征兆信息,进行实时分析诊断,有利于提高现场工作效率。

2) 可扩展性 系统采用面向对象的编程方法,多数功能模块由类封装,系统由多个动态链接库组成,对于应用程序的扩展和更新十分方便,而且软件系统便于移植。

3) 解决实际问题的能力 利用系统对小半径曲线脱轨事故进行分析,结果同实际现场分析的结果相吻合,能够提供较符合实际的综合分析结果。在事故原因分析的基础上,还可进行脱轨事故可能性预测,为铁路运输安全生产提供指导。

诚然,本系统尚属初次尝试,仍有许多方面需要进一步完善。例如,知识库内容的进一步扩充以及知识库一致性研究;方法库结构的合理化;人机对话系统的改进等等。尤为关键的是需要不断获取脱轨实例调查内容,并结合动力学仿真计算,进一步将深-浅知识结合起来,继续对系统可靠性和有效性加以验证,从而将系统逐步应用于脱轨事故现场分析之中。

学出版社, 2000.

- [4] 翟婉明 著. 车辆-轨道耦合动力学, 第 2 版. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [5] 铁道部运输局基础部编. 十年全路工务行车重大、大事故分析. 北京: 中国铁道出版社, 2000.