

危险化学品运输管理及事故应急系统探讨^{*}

李定邦 副教授 程 真

(华东理工大学资源与环境工程学院,上海 200237)

学科分类与代码 :620.20

中图分类号 :X951

文献标识码 :A

【摘要】 通过全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、专家系统(ES)、自动监测等技术的集成,充分发挥各自技术的优势,建立危险化学品运输及事故应急系统。该系统由基于GPS技术的“运输车辆管理”、基于自动监测技术的“事故自动报警”、基于扩散数学模型和GIS技术的“泄漏模拟分析”、基于专家系统的“事故应急救援”以及基于Web技术“信息发布及数据维护”等5个子系统组成,通过集成各子系统实现危险化学品运输管理的自动化、智能化,在事故发生的第一时间自动报警,避免因人为因素而贻误救援时间,同时通过现场信息数据分析做出最有效的救援安排。

【关键词】 全球定位系统; 地理信息系统; 危险化学品运输; 应急救援; 专家系统

Exploration on Transport Management of Dangerous Chemical and Emergency Response System

LI Ding-bang, Assoc. Prof. CHENG Zhen

(School of Resources & Environment Engineering, East China University of Science & Technology,
Shanghai 200237, China)

Abstract : By integrating the technologies of GPS (Global Positioning System), GIS (Geographical Information System), ES (Expert System) and automatic monitoring, and bringing each of their advantages into full play, an emergency response system for the transportation of dangerous chemicals is established. The system consists of five subsystems: the subsystem of vehicle management based on GPS technology, the subsystem of accident auto-alarm based on auto-monitoring technology, the subsystem of accident simulation analysis based on GIS technology and math model, the subsystem of accident emergency rescue based on ES technology, and the subsystem of information distribution and database maintenance based on Web technology. By integrating these five sub-systems, the system designed will realize automatic and intellectualized transportation management of dangerous chemicals, which will alarm automatically just after the accident happens avoiding any delay due to human factor. In a moment the most effective emergency rescue arrangement could be settled from the field information analysis.

Key words : Global Positioning System (GPS); Geographical Information System (GIS);
dangerous chemical transport; emergency rescue; Expert System (ES)

0 引言

随着我国化学工业的发展和经济建设的需要,公路运输危险品的运量越来越大,危险化学品种类也越来越多。根据有关部门统计,当前投放市场的化学品已达7万多种,全国运输危险货物的车辆达到8万多辆。危险化学品在运输过程中,存在着爆炸、中毒等重大事故风险。近年来我国发生的多起危险化学品公路运输的重大事故,给人民生命和财产造成重大损失,运输安全形势十分严峻。

通过对运输过程中发生的泄漏爆炸事故的分析,究其原因有化学品存储不当(如超载)、天气恶劣、道路状况、驾驶员疏忽等。而导致此类事故造成重大危害的一个重要原因,是未能在事故发生后的第一时间发现并报警,失去了及时处理及救援疏散的宝贵时间,使得危险化学品进一步泄漏扩散或爆炸而造成重大的损失。

对危货运输车辆的管理,必须利用现代化的先进管理手段^[1],强化危货车辆的全过程管理。当然,还必须建立和健全道路危险化学品事故应急救援体系,健全应急救援技术和信息支持系统,培养高素质的应急救援队伍,形成快速反应的应急救援机制,提高应急救援能力,将危化品运输事故造成的损失降至最低。

当前,在美国、欧洲等西方发达国家,危化品运输的监控和管理相对比较完善,相关的法律法规及信息智能技术也比较成熟。利用卫星定位系统,专门针对军队车辆、危险车辆及卡车的运输提供远程信息服务,以实时监控运输车辆及货物在途中的状况,实现突发事件的实时报警监控,对大型爆炸、泄漏等严重事件的提前预警等^[2]。

近年来,全球定位系统技术(Global Positioning System, GPS)以其快速性和准确性在我国各行业得到了广泛应用并逐步走向成熟。与之关联的地理信息系统(Geographical Information System, GIS)技术发展也十分迅速,早已不是十几年前的简单的地图与属性的叠加,现代GIS技术在空间分析、数据表达表现、三维虚拟现实都取得了长足发展,其为决策者提供的决策辅助功能也越来越强大。此外,基于人工智能的专家系统、基于传感器技术的自动监测、毒气扩散模型的中国本土化应用等方面的研究正方兴未艾。

笔者在研究国内外危化品运输的监控及管理的基础上,产生了一种新的思路,如果能把这些先进的

技术和最新的研究成果集成后用于危险化学品的运输管理及应急救援,将会显著地降低我国危化品运输的事故风险,大大提高我国处理化学品突发事件的效率和效果。为此,就各种技术在系统中的集成问题开展了系统的探讨。

1 技术原理

在环境科学领域有许多现象、过程或问题是难以用具体的数值模型描述或模拟的空间问题,以GIS为基础,以模型库驱动为核心,由数据库、模型库、方法库、知识库及其管理系统构成基本框架的空间决策支持系统(Spatial Decision Support System, SDSS)以及专家系统(Expert System, ES),进行技术集成,将在环境科学研究中发挥重要作用。

1.1 危化品泄漏扩散数学模型

关于污染物在空气中的扩散数学模型,目前研究比较成熟的是以Gaussian模型及以此为基础的一些修正改进模型。但Gaussian模型只适用于中性气体,模拟精度较差,而泄漏的有毒气体以密度较大的重气体居多,目前主要的重气扩散模型包括箱与相似模型,三维传递现象模型,介于二者之间的浅层模型等。它们各具不同的复杂程度与适用范围。箱与相似模型的概念清晰且计算量较小,但是存在很大的不确定性。采用CFD(Computational Fluid Dynamics)的流体力学模型能够更好地描述重气在大气湍流运动中的物理现象,具有广泛的通用性,但有关数值计算要花费大量的计算机时。

浅层模型兼顾了这两类模型的优点,部分地克服了它们的局限性,将可能成为今后的研究发展方向。为了提高数学模型的运行效率,以及更方便被调用,笔者将数学模型编制为动态链接库DLL(Dynamic Linked Library)文件,直接嵌入到系统中被调用计算。

1.2 地理信息系统(GIS)

地理信息系统是一种以采集、存储、管理、分析和评价全球或区域与空间地理分布有关数据的空间信息系统^[3]。它是随着计算机科学、信息科学、环境科学等学科的发展而兴起的一门边缘交叉学科。GIS接受数据具有多样性特点,GIS空间分析的功能很强,具有快速响应功能,可实现真正应急救援的目的。突发事件的分析过程涉及大量的地理信息数据和应急救援的空间分析处理方法,GIS有明显的技

术优势,为应急救援系统的建立与实施提供了很大的保证,对提高环境预警水平也起到了决定性的作用。

1.3 全球定位系统(Global Positioning System, GPS)

全球定位系统是一套基于卫星的无线导航系统,它可以有无限个用户同时使用,提供全球范围从地面到9000公里高空之间任一载体的高精度的三维位置、三维方向以及运动速度和精确的时间信息。目前,伴随着GPS技术在车辆监控系统中的应用,危险品运输、金融等特殊行业都纷纷开发了本行业的GPS专用监控系统,以便在发生突发事件时,通过公用和专用通信网络,将报警信号从各自行业的计算机专网送至报警系统,从而实现了突发事件的快速接警和处警^[4]。

1.4 专家系统(ES)

专家系统,是一个智能程序系统,在其内部具有大量的专家水平的该领域知识与经验,能借助计算机来解决特定领域的技术问题。由于事故救援工作涉及的知识面比较广,它不仅需要化学专业的专家,还与医疗、环保、消防、公安、组织指挥、道路交通、人员疏散等方面相联系。因此,必须通过专家系统来汇集各领域专家的经验与知识,提出比较全面的救援指挥信息,为决策提供科学依据。

1.5 毒负荷准则^[5]

重大事故的发生后人员的伤害边界值的确定与慢性中毒不同,恰当的伤害准则是界定事故潜在危险区的前提条件。大量的研究表明,人员遭受有毒物质伤害的情况与空气中有毒物浓度和人员接触有毒物质的时间有关,受到严重伤害的人群接触高浓度的毒物的时间一般不超过30分钟,而事故的全部影响时间大约在60分钟左右。

笔者引入毒物浓度—时间伤害准则来确定事故危险区域,其基本观点是:遭受毒物侵袭的人是否受到伤害及受到伤害的程度,取决于毒物浓度与接触时间两个参数。目前,常用毒负荷准则来表示这种关系。毒负荷(Toxic Load, TL)的概念由英国健康安全执行局(HSE)提出,并给出了经验公式:

$$TL = K \times C^n \times t^m$$

式中, TL——毒负荷, 10^{-6} xs;

K——靶剂量有关的系数,通常 $K = 1$;

C——毒物浓度, $\times 10^{-6}$;

t——人员接触毒物的时间, s;

m, n——修正系数,反映接触时间在中毒效应中的贡献。

在确定重大事故人员中毒的危险区域时,利用毒负荷准则,以实验动物的急性中毒阈值的毒负荷来划定危险区域边界。一般地,按毒负荷的大小把危险区域划分为4个区域,即致死区、重伤区、轻伤区和吸入反应区。

致死区按引起50%动物死亡的毒负荷 TL_{50} 划分,位于该区内的受灾人员如无防护并未及时撤离,中毒死亡的概率在50%以上,应该优先采取避难措施。

重伤区的外部边界按引起5%实验动物死亡的毒负荷 TL_5 划分,位于该区内的受灾人员如无防护并未及时逃离,将会中度或重度中毒,个别人可能中毒死亡。

轻伤区的外部边界按引起1%实验动物死亡的毒负荷划分 TL_1 ,位于该区内的受灾人员如无防护并及时逃离,其中半数左右人员可能发生轻度或中度中毒,经过治疗可以康复。

吸入反应区的外部边界以实验动物的急性中毒阈值的毒负荷来划分,该区内的受灾人员如无防护,一部分人将有吸入反应症状,一般在脱离接触后24小时恢复正常。

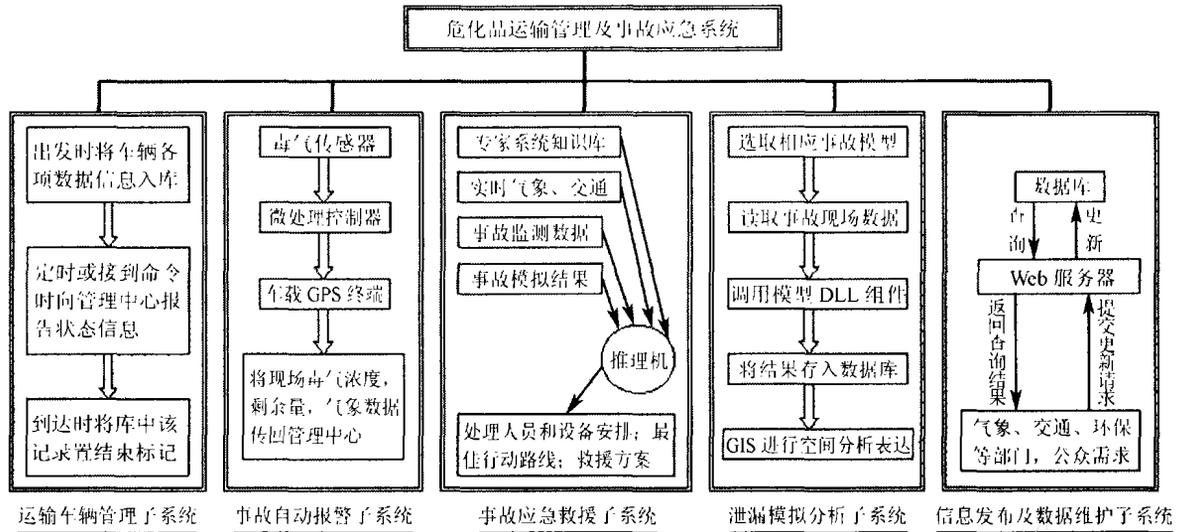
2 系统构建

系统由运输车辆管理子系统、事故自动报警子系统、泄漏模拟分析子系统、事故应急救援子系统、信息发布及数据维护子系统等5个子系统组成^[6]。

在日常的危化品运输管理中,主要通过“运输车辆管理”子系统实现每次运输任务的信息登记、位置报告存储等;

当车辆不幸发生事故导致危化品泄漏或爆炸的萌芽状态时,“事故自动报警”子系统将通过传感器自动检测到并自动报警,并返回所有有用的事故信息,此时系统调用“泄漏模拟分析”子系统根据返回的事故信息进行扩散或爆炸模拟,得到此次事故的预测结果,然后“事故应急救援”子系统根据事故预测结果和现场监测数据进行救援方案的制定;

当需要将事故数据和撤离安排等重要信息告诉公众,或各部门要对系统数据库进行维护,均通过“信息发布及数据维护”子系统完成。各子系统的功能实现流程如下图所示。



系统体系结构图^[7-8]

2.1 运输车辆管理子系统^[9]

实现对执行危化品运输任务的车辆的信息化管理。出发前,将该车辆运输的危化品名称、数量以及车牌号、驾驶员等信息录入数据库;在运输途中,车载 GPS 间歇地向管理中心传回其状态信息并保存。管理中心需查询某车辆状态时,通过 GSM 通讯系统向车载 GPS 发出要求,车载 GPS 立即报告自己的状态;到达目的地时,在数据库中记录该车辆的到达时间并结束该次任务。

2.2 事故自动报警子系统^[10-11]

实现在事故发生的第一时刻自动向管理中心报警并传回现场数据信息。发生泄漏或爆炸事故时,安装于运输车辆的有毒气体传感器自动检测到有毒气体超标,自动接通报警线路通过车载 GPS 向管理中心报警,同时连续地将现场的毒气浓度、压力、温度等数据信息传回应急中心。管理中心接到报警信号确认事故后立即对车载 GPS 终端发出熄火指令并收集现场数据信息保存至数据库。

2.3 泄漏模拟分析子系统

负责根据现场传回的事故数据信息,调用数学模型分析事故的危害范围及发展趋势。将通过事故监测得到的事故的各项参数包括泄漏量、气象资料等数据传递给事故预测模型(DLL 文件)的相应接口,通过数值计算得出周围的污染浓度的分布及未来的扩散趋势,并根据毒负荷原则将周边区域危险程度分类,结合 GIS 地图叠加统计分析处于各级区

域的人口、敏感单位、危险源等信息。

2.4 信息发布及数据维护子系统^[12]

通过 Web 实现数据库资源共享、事故信息的公众发布及数据库的维护更新。为充分共享系统数据库,向公众提供风险源分布、气象资料、事故汇总、化学品急救等知识的查询和学习;发生事故时向公众提供与事故相关的监测信息、危害预测、专家建议等各项信息,为公众采取正确行动提供重要指导;通过 Web 实现属性数据库和空间数据库的远程更新,由于数据库资料涉及部门众多,可由各相关部门通过网络负责与之相关的资料更新。

2.1 事故应急救援子系统^[3]

负责根据各项数据资料的综合分析制定出具有专家水平的应急救援方案。作为系统的核心功能,利用危险识别、风险评价及灾时应急对策等知识库中的专家知识和实时监测数据以及预测模型的计算结果,专家系统可通过其推理机制分析事故的相关效应,对要采取的应急处理措施进行优化选择和评价,并产生命令文件驱动 GIS 进行相关的空间分析;系统根据历年发生的各类事故的资料,提出事故处理人员和设备安排,并可根据实际的交通情况给出最佳行动路线。

3 结论

该系统通过综合 GIS, GPS, ES, Web, 自动监测等各项技术的优势特点,进行技术集成,并依托计算机

平台实现了危险化学品的自动管理及泄漏事故的应急反应系统。与目前国内同类的辅助管理决策系统相比,该系统主要有以下特点:

1) 将危化品的运输管理和事故的应急处置两个部分集成到一个系统中,更方便事故处理时参数的查找,使得危化品的管理更加规范。

2) 对危化品运输的管理实现与电子地图及GPS结合,使管理中心能对运输车辆实现全程实时监控,大大提高了车辆管理的实效性和准确度。

3) 自动监测报警系统实现了现场情况的自动监测,在发生事故时及时自动报警,避免了因人为原因而使报警时间滞后。自动监测装置能及时向指挥中心传回现场数据,使指挥中心能对事故有更准确的判断。

4) 通过专家系统ES的嵌入,实现对事故的救援处理达到专家级的水平,为专家不在现场时救援方案的制定提供重要参考依据,这在大型泄漏爆炸事故中显得尤为重要。

参 考 文 献

- [1] 陈红旗. 全面加强道路危险货物运输安全管理[J]. 江苏交通, 2003 (11): 86 ~ 86
- [2] 刘强,高晖. 危险化学品运输安全统一监控平台的探讨和设想[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16 (2): 59 ~ 64
- [3] 王向远. GPS、GIS在指挥监控报警系统中的应用[J]. 无线电工程, 2000 (10): 49 ~ 51
- [4] GPS的车辆监管系统应用方案[J]. 交通标准化, 2005(1): 51 ~ 54
- [5] 温丽敏. 重大事故应急疏散研究[D]. 沈阳:东北大学[博士论文], 2000. 2
- [6] 时亚丽,陈燕俐,陈万金. 浅谈ITS技术在危险化学品公路运输过程中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(3): 49 ~ 52
- [7] 许健,吕永龙,王桂莲. GIS/ES技术在突发性环境污染事故应急管理中的应用探讨[J]. 环境科学学报, 1999, 19(5): 567 ~ 571
- [8] Kurt Fedra, Lothar Winkelbauer. A Hybrid Expert System, GIS, and Simulation Modeling for Environmental and Technological Risk Management[J]. Computer - Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2002 (17): 131 ~ 146
- [9] 李振江. 全路危险货物运输安全综合管理及信息系统方案的研究[D]. 北京:北京交通大学[硕士论文], 2004. 3
- [10] 周永清. 袖珍式氯气报警仪的设计[J]. 传感器技术, 2004, 23(11): 41 ~ 42
- [11] 文华刚,蔡信炎. 氯气泄漏自动监测报警系统简介[J]. 中国氯碱, 1997(5): 8 ~ 9
- [12] 冯文钊,张宏,彭立芹. 突发性环境污染事故应急预案网络系统的设计与开发[J]. 城市环境与城市生态, 2004, 17(1): 9 ~ 11

安全科学技术人才交流园地

本期论文作者简介



高金吉 教授,博士生导师,中国工程院院士。辽宁本溪人,1942年12月生。1966年毕业于北京化工学院,1993年获清华大学工程力学博士学位。1988年被评为国家级有突出贡献的中青年科技专家,1999年当选为中国工程院院士(机械与运载工程学部)。兼任中国设备管理协会设备诊断工程委员会主任委员,中国振动工程学会副理事长,中国机械工程学会流体工程分会副理事长,中国安全科学研究院高级顾问。设备诊断工程专家,原任中国石油辽阳石油化纤公司副总工程师,教授级高工,2001年到北京化工大学,任校学术委员会副主任,创建诊断与自愈工程研究中心和北化大-美国RTD嵌入系统实验室,组建北化大安全科学与监控工程研究中心并任主任。2003年在国际设备工程学术界首次提出“装备故障自愈工程”的学术理念,受到国际同行的关注,2005年被世界工程资产管理(WCEAM)大会聘为国际筹划指导委员会委员。



刘智成 高级工程师,广州地铁四号线设计总体、广州市地下铁道设计研究院总体总包部副部长。1994年7月本科毕业于西南交通大学桥梁与地下工程系地下工程与隧道工程专业,毕业至今在广州市地下铁道设计研究院工作。主持过多个地铁大型项目的设计,对地铁各机电系统之间、机电与土建、线路、行车组织等方面的接口问题经验丰富,曾主持编写了地铁各专业间的接口及相关要求,具备地铁全线总体设计组织能力。先后主持和参与完成了广州市地铁一、二、三、四号线等地铁线路的可行性研究报告的编制、总体设计、初步设计、施工图设计工作。获得广东省优秀设计一等奖2次,二等奖1次,全国优秀工程咨询成果一等奖1次,全国优秀工程咨询成果三等奖1次。2001年被授予广州市城市建设管理“三年一中变”建设者奖章(铜奖)。在《岩土工程学报》等刊物上发表论文多篇。



廖坤静 台湾国立海洋大学海运暨管理学院教授,运输与航海科学系系主任,台湾空中大学基隆中心主任。台湾省云林县人,1946年3月生。1970年7月毕业于台湾国立海洋大学海运学院航海系,获工学学士学位。1985年3月硕士毕业于日本东京商船大学商船研究所。1981年于高雄国立海专担任副教授,1987年进入台湾国立海洋大学担任教授至今。主要专长为货物装载、液化瓦斯船专论,目前主要从事货柜装载物流研究及海事安全相关研究。公开发表论文20余篇,曾出版《货物作业》、《航海力学》、《散装货物运载船实务》、《原木运载船实务》、《油轮实务》等书籍。



李定邦 华东理工大学资源环境学院副教授。1949年5月生,1979年2月本科毕业于华东理工大学石油化工系,1981年硕士毕业于该校环境工程专业。目前主要从事大气环境化学、环境规划、环境风险评估与环境管理等方面的教学与研究,先后完成省、部级研究课题“节能型光催化烟气同时脱硫脱硝的研究”、“上海市大气光化学烟雾的生成机理与防治对策研究”等10余项。在《环境化学》、《化学世界》等国内外刊物上发表学术论文60余篇。



李冰 北京交通大学土木建筑工程学院硕士研究生。河北衡水人,1981年生,2004年毕业于河北工程学院城建系环境工程专业,获学士学位。2004年9月考入北京交通大学土建学院,就读地质工程专业。研究生期间,主要对地质灾害与防治,工程建设中遇到的地质灾害及环境地质方面的问题和铁路建设工程施工期水土流失问题进行研究和实践,并参与铁道部科技开发计划项目工作。



张仕廉 重庆大学副教授、建设管理与房地产学院副院长,国家注册监理工程师、咨询工程师,重庆市建设监理协会副秘书长。1960年9月生,1983年7月本科毕业于重庆建筑工程学院土木系工业与民用建筑专业,后硕士毕业于香港理工大学建筑与房地产系。主要研究方向为工程经济及项目管理。作为项目负责人完成和在科研项目10余项,2004年获得建设部先进监理工作者称号。在《重庆建筑大学学报》、《建筑经济》等刊物上发表论文30余篇。近年著、编、参编《建筑安全管理》、《土木工程大词典(施工卷)》和《建筑工程经济学》等著作10余部。



张立博 哈尔滨理工大学测控技术与通信工程学院讲师,从事安全技术及工程的教学和科研工作。1974年1月生,1995年、2002年本科、硕士毕业于首都经济贸易大学安全工程系,2002年至今在北京航空航天大学航空科学与工程学院攻读博士学位,研究方向为人机环境工程系统仿真。曾先后参与了多项航空人机交互与系统仿真重点项目的研究工作,主要承担人机工效理论方法研究和软件开发任务。已在国内核心期刊上发表论文多篇。



程真 硕士研究生,江西上饶人,1983年9月生。2004年本科毕业于华东理工大学环境工程系,以优异成绩直升本校环境科学专业研究生,研究方向为信息技术在环境保护及安全评价中的应用。在北京中国环境科学研究院进行毕业设计工作,主要内容为GIS与大气扩散模型的耦合应用,并参与了国家“973”基础研究项目、国家“十五”科技攻关等课题的研究与开发工作。



李翔 中国环境科学研究院环境影响评价中心博士后,主要从事生态环境评价研究。河南洛阳人,1970年10月生。1995年毕业于河南师范大学环境化学专业,获理学硕士学位。1995年7月—2002年7月在洛阳市环保局研究所工作,任工程师。2002年考入北京交通大学土木建筑工程学院,于2005年获得工学博士学位。先后承担过多项与环境相关的科研工作和技术项目,获得了省级科技进步三等奖1项,市级科技进步二等奖1项。在国内学术刊物上发表科研论文10余篇。



杨英霞 工程师,在读博士研究生。1975年11月生,1998年毕业于石家庄铁道学院供热通风与空调工程专业,获工学学士学位。1998—2003年在中铁第十六局工程局集团工作。2003年考入北京工业大学供热、供燃气、通风及空调专业攻读硕士学位,2004年获北京工业大学优秀硕士研究生。2005年提前攻读博士学位,目前主要从事地铁火灾人员疏散及防排烟的研究。参加了北京市科委重点项目“地铁系统火灾安全评价和应急系统研究”。



吴展嘉 硕士研究生,台湾省台南市人,1983年4月生。2005年7月毕业于台湾国立海洋大学技术学院运输技术系航海组,获工学学士学位。2005年9月考入该校电资学院通讯与导航工程学系,攻读海事科技硕士学位,师从廖坤静教授,研究方向为海上安全管理,主要从事海难碰撞事故中的人为因素疏失背后动机之深入心理分析研究。公开发表论文11篇。2004年荣获台湾地区大专优秀青年奖章及台湾海洋大学优秀青年奖章。