

国内图书分类号: X82

国际图书分类号:

硕士学位论文

环境安全模糊评价系统的构建与实现

硕士研究生: 刘春娜

导师姓名: 吕 谋 教授

申请学位级别: 工学硕士

学 科、专 业: 环境工程

所 在 单 位: 环境与市政工程学院

答 辩 日 期: 2010 年 6 月

学位授予单位: 青岛理工大学



Y1803134

Classified Index: X82

U.D.C:

Dissertation for the Master Degree in Engineering

**CONSTRUCTION AND IMPLEMENT
ON ENVIRONMENTAL FUZZY
SECURITY EVALUATION SYSTEM**

Candidate: Liu Chunna

Supervisor: Prof. Lu Mou

Academic Degree Applied for: Master of Engineering

Specialty: Environmental Engineering

Date of Oral Examination: June 2010

University: Qingdao Technological University

硕士学位论文

环境安全模糊评价系统的构建与实现

学位论文答辩日期:

吕洪

指导教师签字:

答辩委员会成员签字:

周利

于海寿

刘树强

程明华

苏文成

目 录

摘 要	I
ABSTRACT.....	II
 第 1 章. 绪 论.....	 1
1.1. 研究的背景、意义和目的	1
1.1.1. 研究的背景	1
1.1.2. 研究的意义	2
1.1.3. 研究的目的	3
1.2. 关于生态和水安全的国内外研究进展	3
1.2.1. 国外研究进展	4
1.2.2. 国内安全研究进展	5
1.3. 主要研究内容及技术路线	7
1.3.1. 研究内容	7
1.3.2. 研究技术路线	7
 第 2 章. 安全模糊评价系统的构建.....	 9
2.1. 安全评价概述	9
2.2. 数学模型评价方法	10
2.2.1. 层析分析法	10
2.2.2. 多级模糊评价法	13
2.2.3. 多级模糊综合评价的数学模型	14
2.3. MATLAB—GUI.....	17
2.3.1. 图形用户界面 GUI	18
2.3.2. GUI 设计面板	18
2.4. 安全评价的指标体系和评价等级	19
2.4.1. 安全指标体系的建立	19
2.4.2. 安全评价指标体系的构建	21
2.4.3. 危险源评价等级划分	23
2.5. 安全评价系统标准的来源	23
2.6. 智能化安全模糊评价系统的构建	23
2.6.1. 安全模糊评价系统的指标体系界面	23
2.6.2. 安全模糊评价系统的权重计算界面	23
2.6.3. 安全模糊评价系统的多级模糊评价界面	24

2.7. 小结	26
第 3 章. 黄岛石化区生态安全评价的研究	27
3.1. 黄岛石化区的基本概况	27
3.1.1. 地形、地质及土壤植被	27
3.1.2. 气候气象	28
3.1.3. 水文状况	28
3.1.4. 海水养殖	29
3.1.5. 海边码头	29
3.2. 黄岛石化区生态安全评价指标体系的建立	30
3.2.1. 指标体系的确定	32
3.3. 石化区生态风险评价的风险因素描述	32
3.3.1. 大气影响评价指标	33
3.3.2. 海洋危险因子对石化区及胶州湾海域的危害	38
3.3.3. 石化区内企业对其生态的影响	42
3.4. 黄岛石化区生态安全评价等级的建立	49
3.5. 石化区生态安全指标体系中数据的来源	50
3.5.1. 指标体系中各类因子权重的确定	50
3.5.2. 大气影响指标中危险因子的数据来源	51
3.5.3. 海洋影响指标中危险因子的数据来源	51
3.5.4. 石化区自身影响指标中危险因子的数据来源	52
3.6. 指标层上各因子隶属度的确定	53
3.7. 黄岛石化区安全模糊评价系统	53
3.8. 结果分析	57
3.9. 小结	58
第 4 章. 青岛市某城区供水管段安全评价研究	59
4.1. 供水管网安全模糊评价系统	59
4.2. 小结	62
第 5 章. 总结与展望	63
5.1. 总结	63
5.2. 展望	64
参 考 文 献	65
攻读硕士学位期间发表的学术论文及科研工作	69
致 谢	70

摘 要

人类以前所未有的规模和速度影响改变着生存环境,导致了自然环境对人类的灾害性“报复”越来越频繁。如沙尘暴、地震、海啸、旱灾等生态问题使社会经济的发展和人类的生活受到严重影响。对于水则是人类生活必不可缺的物品,水资源的短缺、水环境的急剧恶化、洪涝灾害的不断发生等水危机使社会各界都开始高度重视水安全的重要。这些灾害性的环境问题一次次向人类敲响警钟,人类已经清醒地认识到“生态安全”、“水环境安全”等关乎与人类生存的安全问题已成为世界上普遍关注的具有挑战性的一个重大课题。

为了解决这些安全问题,本文将通过全面分析研究关于“生态安全”、“水安全”等相关联的参考文献,进行归纳总结出研究这些安全问题的方法和思路,编制一套适合于相关安全问题比较适用的安全模糊评价系统,为将来解决这些安全问题提供必要的参考。

安全模糊评价系统中通过分析所研究系统的特点以及相关的历史数据资料,建立一个能够全面反映该系统安全特性的安全评价指标体系;引入改进的 AHP 确定评价指标体系中所有因素的权重;并提出该系统的安全评价等级表为五个等级:很安全,安全,较安全,危险,很危险。针对安全评价具有模糊性的特点,发展了多层次多级模糊综合评价方法。通过 MATLAB7.1 的 GUI 界面,最终实现可视化、直观性的安全模糊评价系统。

本文将构建的安全模糊评价系统应用到青岛市黄岛石化区近几年的生态风险评价,得出了近几年该石化区的安全评价等级。并将近几年的评价等级进行了对比分析,最后总结出该区对其安全威胁较大的因素。

该安全模糊评价系统还应用到青岛市某城区域供水管段的安全评价,给出了该城区某供水管段的安全等级,与实际吻合良好。

通过以上的的工作,说明了该可视化安全模糊评价系统的可行性。同时通过应用也发现了该系统还存在着一些可改进,可延伸的方面,有待进一步的提高。

关键词:安全模糊评价系统; AHP; 模糊综合评判; GUI; 生态安全

Abstract

Humans on an unprecedented scale and speed of the impact and changing the living environment, leading to natural disasters to human “retaliation” are increasingly frequent. Such as dust storms, earthquakes, tsunamis, droughts and etc ecological problems seriously affected socio-economic development and human life. Water is human life for essential items, water shortage, and the rapid deterioration of water environment; flood and the continuous occurrence of water crisis, made the community have begun to attach great importance to the importance of water security. These disastrous environmental problems sounded the alarm to humans again and again; humans have been clearly recognized that the “ecological security”, “water security” and these security issues have become the world's common concern and challenging to a major issue.

In order to resolve these security problems, a comprehensive analysis of this paper will study about the “ecological security”, “water security” and other associated references with conducting the research summarized these security problems methods and ideas to establish a set of the security fuzzy evaluation system which applicable for most security issues, to resolve these security issues to provide the necessary reference in the future.

The security fuzzy evaluation system by analyzing the research system's characteristics and related historical data, established the security evaluation index system of a fully reflect the features of this system security; introduced an improved AHP to determine the evaluation index system all the factors' weights; and made the system security evaluation of grade table and divided into five grades: very safe, safe, safer, dangerous, very dangerous. The security evaluation with fuzzy characteristics developed of multi-level fuzzy comprehensive evaluation method. Through the GUI interface for MATLAB 7.1 programming and eventually realizing visualization intuitive security evaluation systems.

This paper will build security fuzzy evaluation system applied to the ecological risk evaluation of Huangdao petrochemical area in Qingdao in recent years, obtained in

recent years the security evaluation grade of the petrochemical area. And those several years of evaluation grades are compared and analyzed finally concluded that in the area a greater threat factors for its security.

The security fuzzy evaluation system is also applied to the security evaluation of water supply system in Qingdao some area, and given this region grade of security of water supply pipe, in good agreement with the actual.

By the former work, Illustrated the visualization security fuzzy evaluation system is feasible. At the same time the application of the system also shows that there is still room for improvement and can be extended, it need to be further improved.

Keywords: security fuzzy evaluation system; AHP; fuzzy comprehensive evaluation; GUI; ecological security

第1章. 绪 论

1.1. 研究的背景、意义和目的

1.1.1. 研究的背景

快速增长的世界人口和日益发展的科学技术,导致人类以空前的规模和速度影响着生活环境。全球人与自然矛盾的日趋尖锐,使环境在总体上有了显著的恶化趋势,人类正在面临着威胁,各类灾害性的环境问题一次次向人类敲响警钟,人类必须清醒地认识到影响国家安全的因素已不仅仅是国防安全、政治安全和经济安全。在此形势下,国内外许多学者相继扩充了“国家安全”的概念,同时提出了“生态安全”、“环境安全”、“资源安全”、“水安全”等新的问题和概念,因此可以看出,生态安全和水安全也成为了多数学者关注的课题。

就我国而言,我国的生态环境面临着更加严峻的形势,并还呈现恶化的趋势,给国家带来了巨大的经济损失。每年由于酸雨的破坏造成 50 亿美元的损失。每年 32 亿吨的二氧化碳排放量(1995),位居世界第二,对全球气候的变化影响深远。我国的生态状况安全已经引起了国际社会的普遍关注。我国为防治生态环境每年都投入大量的物力、财力和人力,由此可见,生态环境的恶化已经制约了国家和地区经济的可持续发展。生态环境恶化所引发的各种生态问题,关系到国民的生命与健康^[1]。

在水资源方面,水是生命之源,是维持人类和世界万物生存和发展必不可少的重要物质。1995 年在 150 多座城市水源地进行抽样调查显示有 20% 的水质不符合水质标准;2000 年对我国 1073 个城市重点地表水饮用水源地的水质评价结果表明:约 25% 的水质不符合水质标准,712 个饮用水水源地进行了有毒有机污染的调查,38% 出现超标;通过调查显示全国超过 97% 城市地下水受到污染,部分地区污染超标严重,而且呈现加重趋势。水对人类的影响是多方面的,不仅仅体现在水质、水量等单一要素的制约上,它涉及到自然及社会人文的各个方面。因此,具有综合性研究性质的水安全研究,引起了国内外专家学者、各国政府和国际组织的广泛关注。

1.1.2. 研究的意义

安全是人类出现以来就面对的直至现在仍是人类迫切需要解决的永恒课题。随着人类社会的不断发展,文明程度的不断提高,人们对安全的要求和重视也越来越高。特别是人类社会进入 21 世纪,安全已成为世界上普遍关注的极富挑战性的重大课题。

生态环境的安全状况问题引起了决策者的高度重视,生态安全问题已经被提升为影响国家安全和社会稳定的重要组成部分。正因为生态安全对于国家、民族、地区的经济开发和将来的资源合理利用起着极其重要的作用。生态风险评价作为生态安全研究的前提和依据,越来越受到世界各国的密切关注。

生态安全评价是随着生态风险评价和生态系统健康的评价研究发展起来的,生态安全评价的研究起步较晚,目前尚未形成全面系统的、详细准确的指标体系,也没有对生态安全评价的概念给出一个统一的定义。1998 年长江流域的大洪灾,使得国内环境生态问题显得尤为重要,导致国家领导以及许多学者开始重视环境和生态安全,与此同时促使生态安全的研究提上了日程。生态安全研究的初期,开始主要是依托长江流域和西部大开发地区的生态环境,反映当时我国生态环境变化、经济开发的状况。到目前,研究范围逐步扩大,主要集中于两个方面:(1)区域生态安全研究,它的研究对象主要是以状态—关系—反应(社会—经济—环境)组成的复耦合系统,这种研究主要集中于构建评价指标体系和评价方法,以理论定性分析为主;(2)健康性评价生态系统的研究,它主要研究的是一些生态脆弱系统,如湖泊、湿地、森林、草地等的脆弱性和健康性进行定量分析。

而在水安全方面,2000 年 3 月在荷兰召开的海牙世界部长级会议宣言的主题是“21 世纪水安全”。该宣言提出了世界人类需要共同努力的目标是实现 21 世纪用水安全,该宣言在经济可持续发展和政治稳定的情况下,对与水安全相关的生态系统进行概述,提出了水安全的内容之一:与水有关的危害,同时,该宣言还明确提出了实现水安全面临 7 大方面的挑战为:满足基本需要、保证食物供应、保护生态环境、共享水资源、控制灾害、赋予水以价值、合理管理水资源^[2]。2000 年 8 月在瑞典斯德哥尔摩召开的世界水讨

论会主题是“21 世纪水安全”，提出要用创新的方法解决水安全问题，此次会议响应了海牙部长级宣言，将该宣言的理想进一步的进行了实际化；世界水讨论会是从 1991 年开始举办的，到 2009 年已经成功的举办了 19 次，每一次都会与水资源有关的问题进行国际间的探讨，从历届水讨论会的主题和讨论结果来看，水安全问题是世界人类生存不容忽视的问题，也是亟待解决的问题。

获得安全的饮水是人类的基本需求和基本人权。在我国，城乡饮水安全问题也已受到党中央、国务院的高度重视和社会各界的广泛关注，并提出保护饮用水源的安全从而保障人民的饮水安全。根据联合国千年宣言的要求我国将在 2015 年基本解决饮水安全问题。

由此可见，量化和评价饮用水安全是水安全研究中的一个非常基础而又非常重要的工作。因此对城市供水管网安全性进行评价，找出问题，提出保护措施，是十分必要和紧迫的。

但是目前对生态安全的研究以及生态安全评价这一基础的研究大多都局限在概念、内涵、方法等方面。在水安全方面大多集中于河流、湖泊的水安全生态的研究以及一些城市的水资源安全的研究。因此，本文在探讨、研究安全模糊评价模型的基础上，以青岛市黄岛石化区的生态风险和青岛某城区的城市供水管网为研究对象，系统分析研究了生态安全评价和供水管网安全评价，建立一个多因素、多环境介质的安全模糊评价系统，为今后研究安全评价方面的可持续发展提出了一个新方法、新途径。

1.1.3. 研究的目的

安全评价与现代数学方法和计算机技术相结合，为安全模糊评价开拓了一个更为广阔的应用前景，为了从多介质多因子定量的全面的研究生态和供水管网安全评价，我们有必要应用数学模型和计算机技术建立一个完善的智能化的安全模糊评价系统，方便以后为环境中的生态安全和供水管网安全方面的量化深入研究；同时也使得他们的管理、建设工作更加具体化、更加具有针对性。

1.2. 关于生态和水安全的国内外研究进展

1.2.1. 国外研究进展

1.2.1.1. 生态安全研究进展

早在 1989 年, 国际应用系统分析研究所(IASA)就提出了生态安全的概念^[3]。Steve Loner an 论述了环境与生态安全与可持续发展的关系^[4]。发展和宣扬生态安全概念的先行者之一的美国著名环境学家 Norman Myers, 在 1993 年指出全球的生态威胁和地球的资源战争引起了环境恶化, 继而影响到经济和政治的不安全则为生态安全^[5]; 他的《最后的安全》中, 对地球生态威胁和全球资源战争等焦点问题做了大量的案件分析, 用来说明经济和政治的不安全是由生态环境恶化导致的^[5]。Kim 认为生态威胁, 生态风险等概念逐渐演变出生态安全的定义, 而人类是生态威胁产生的主要承担者^[6]。此外, 还有一些国际上具有影响力的倡导者, 包括前任联合国秘书长 Boutros-Ghali 和前美国副总统高尔,《我们共同的未来》报告主席 Gro Harlem Brundtland 也就生态安全问题进行过不同程度的阐述和关注。

1996 年《地球公约》的《面对全球生态安全的市民公约》中, 生态安全最终得到国际的认可, 该公约建立在可持续发展、生态安全和生态责任的基础上, 各成员国和各团体组织要相互协调利益、履行义务和责任^[5]。国外研究主要围绕生态安全的概念、生态安全与国家安全、民族问题、可持续发展、军事战略和全球化的相互关系展开。1998 年, 在联合国重大会议上, 发表的《生态安全与联合国体系》中, 各国代表和专家及高校就生态安全的概念、不安全的成因、发展和影响趋势发表了不同的看法^[6-8]。

1.2.1.2. 水安全研究现状

国外涉及水安全研究方面的内容主要集中在河流、湖泊的水循环、水文情势控制、水污染、生态环境需水和干旱缺水等方面。早期的研究是关于河流最大与最枯流量的研究^[9,10], 随后, 由于水污染的出现, 开始对最枯流量(minimum acceptable flows [MAFs])和排水纳污能力进行研究^[11], 随着河道受人为因素影响和控制的加强, 河道生态系统结构的水体功能遭到破坏, 河道水功能和水环境的研究(ecology acceptable flow regime[EAFR])^[12]逐渐开展, 其主要研究的目标是水量、水域以及水质, 目的是为了满足不同要求。

目前研究水的模式很多, 在水文预测、径流模拟和水资源评估等领域得

到广泛应用,它们都与水安全研究密切相关,或者可作为水安全研究的借鉴;迄今在这方面国际上已建立了一些水模式^[13,14]。

而且,关于城市供水管网安全评价,在 2001.9.11 之前,美国水司就已经进行了基于风险分析,对面临的各种自然现象,如地震、洪水及其他的脆弱性进行定量。各种不同的方法(如: Killum1996,Levitt1997,Iso2001)^[15-17]都可以对这些现象进行评价。近年来,美国供排水协会研究基金对基于水司灾难经验进行了比较复杂的评论,对风险分析和管理起到引导作用(Grigg2003)^[18]。工程显示可用的风险分析方法在水司使用非常有限,原因就是缺乏威胁性和脆弱性数据,并且在水司内部不受重视,缺乏对方案掌握的培训。水司进行脆弱性评价遇到了同样的问题,他们获得相关的威胁性数据比较困难。

1.2.2. 国内安全研究进展

国内对生态安全的研究起步比较晚,直到上个世纪 90 年代,生态安全才逐渐被人们所重视,近年来已成为科学界和公众讨论的热点问题。2000 年 11 月 26 日国务院发布了《全国生态环境保护纲要》,《纲要》指出生态安全是国家安全和社会稳定的一个重要部分,并首次提出“维护国家生态环境安全”的目标。但由于对生态安全没有一个统一的认识,国内研究还停留在探索阶段,不成系统,理论尚不够成熟,不少学者都做了一些初步的研究工作。

围绕生态安全的概念,国内已有不少学者给出了自己的定义。其中典型的观点有以下几种:生态安全是人类生存环境处于可持续健康发展状态^[19-27]。郭中伟(2001)^[28]从生态系统的角度定义生态安全,他认为生态安全包括二层含义:一是生态系统自身是否存在危险;二是生态系统对人类是否产生危险。周国富(2003)^[29]认为生态安全的概念包括四个方面的含义:一是生态安全指一种人类生存环境下的资源状态;二是生态安全人类改造自然环境与自然环境影响人类的一种相对关系;三是生态安全反映资源对社会经济政治发展的重要性;四是生态安全应该具有长期性和持续性。在生态安全理论探讨方面,有些学者对国内外生态安全的研究动态、现状和进展进行了描述^[30-32]。肖笃宁等(2002)^[33]对绿洲景观的生态安全进行了分析。马克明等

(2004)^[34]从区域生态安全的尺度出发,提出了区域生态安全格局的概念,从景观生态学、干扰生态学、保护生物学、恢复生态学、生态经济学、生态伦理学、复合生态系统理论等多个学科给出了生态安全研究的基础;黎晓亚等(2004)^[35]提出了区域生态安全格局设计的初步原则,以及地理信息系统、空间模拟和预案研究等多种方法,形成了区域生态安全格局设计的方法框架。还有一些学者针对生态安全问题的存在、产生的原因,从不同角度提出了保障生态安全对策与措施^[36-39]。在生态安全评价方面,国内不少学者作了大量工作,其中大部分都是生态安全评价指标体系与方法研究^[40-48]。

目前,我国全面系统地研究水安全尚属起步阶段,对水安全的概念、内涵与外延等没有统一的定义,对其计算方法的研究也不够深入和完善,基本停留在定性分析和宏观定量分析阶段。对水安全单个内容的研究林林总总,其研究可大致分为三个阶段。一是 20 世纪 80 年代以前主要是探讨河道洪、枯流量,除涉及经济发展需水外,初步涉及环境需水问题。如长江水资源保护研究所的《环境用水初步探讨》^[49]。二是 20 世纪 80 年代以后除继续进行水量方面的研究外,针对水污染日益严重的问题,国务院环境保护委员会出台了《关于防治水污染技术政策的规定》,对水污染的防治研究提出了技术路线,但主要集中在宏观战略方面的研究,对如何实施、如何管理处于探索阶段。三是 20 世纪 90 年代以来,针对淮河水污染、黄河断流,1997、1998 年大洪水等问题,国家提出了治水新思路,即资源水利,人与自然和谐可持续发展水利,除开展传统的需水功能为主要内容的水安全研究外,刘昌明在文献中^[50]提出了我国 21 世纪水资源供需的“生态水利问题”。

虽然国内对水安全有了很多的探讨和研究,也产生了很多纲领性的文件和重要的成果。但是,与目前水安全问题的严重性和紧迫性相比,这些研究还远远不够,取得的成果距离实际应用仍有较大的差距,对水安全研究的系统性尤显不足,关注和研究的焦点也多集中于水安全的概念和某些保障策略,或者着眼于水安全引起的食物安全和生态环境安全等问题,或者专注于水安全的某个方面,如饮用水安全。而对于水安全的度量、水安全评价等则鲜见文献。

到目前为止,国内各类需水研究方法主要集中在陆地和河流两个方面,而陆地需水主要系指保护和恢复内陆河流下游的天然植被及生态环境、水土

保持及水保范围之外的林草植被建设所需水量和社会经济发展所需水量。其研究方法主要是针对西北干旱地区进行,综合分析这些研究,计算原理为传统的水平衡理论,因此计算方法比较成熟,一般不存在较多争议。当前水安全研究的主要成果可归结为:生态环境需水类、水资源管理研究类、水体自净能力和水污染防治研究类三大类型。

1.3. 主要研究内容及技术路线

1.3.1. 研究内容

随着计算机的发展以及生态学、环境影响评价、生态安全评价、给排水各学科研究的深入,对不同区域的安全评价都得到了长足的发展,但是,安全评价在我国还处于起步阶段,理论技术研究薄弱;主要集中于两个方面:(1)区域生态安全研究,主要以评价指标体系的构建,评价方法的理论研究居多;(2)生态系统的健康性评价,也仅仅是定性分析。缺少一套完善的安全评价系统模型。就供水管网而言,我国在对供水管网的安全评价主要是在水质安全评价的研究,而且多数还停留在现象的描述及宏观论述方面,较少有详细深入的研究,也没有从不同因素下全面的分析供水管网的安全问题。针对上述这些问题,本文将在参考国内外已有研究文献的基础上,准备围绕以下几方面的工作展开:

- (1) 分析研究安全评价所需的主要介质,重要影响因子等,建立起以安全为目标层的安全评价指标体系,借助 MATLAB 软件以及多级模糊数学模型,通过自己研发的程序作为工具,构建安全模糊评价系统。
- (2) 以黄岛石化区的资料为实例,进行黄岛石化区生态安全模糊评价,并模拟计算黄岛石化区近年来的生态安全等级,分析确定出影响黄岛石化区生态最大的危险因子。
- (3) 将安全模糊评价系统应用到青岛某区的供水管段安全评价中,对该城区的某供水管段进行安全评价,确定该城区供水管段的安全等级。

1.3.2. 研究技术路线

本研究的技术路线(见图 1-1),是通过现场调查和收集相应的历史数据为基础,采用加以改进的数学模型方法和强大的数学工具软件—

MATLAB7.1 相结合，构建智能化的安全模糊评价模型，并通过实例加以实现的过程。

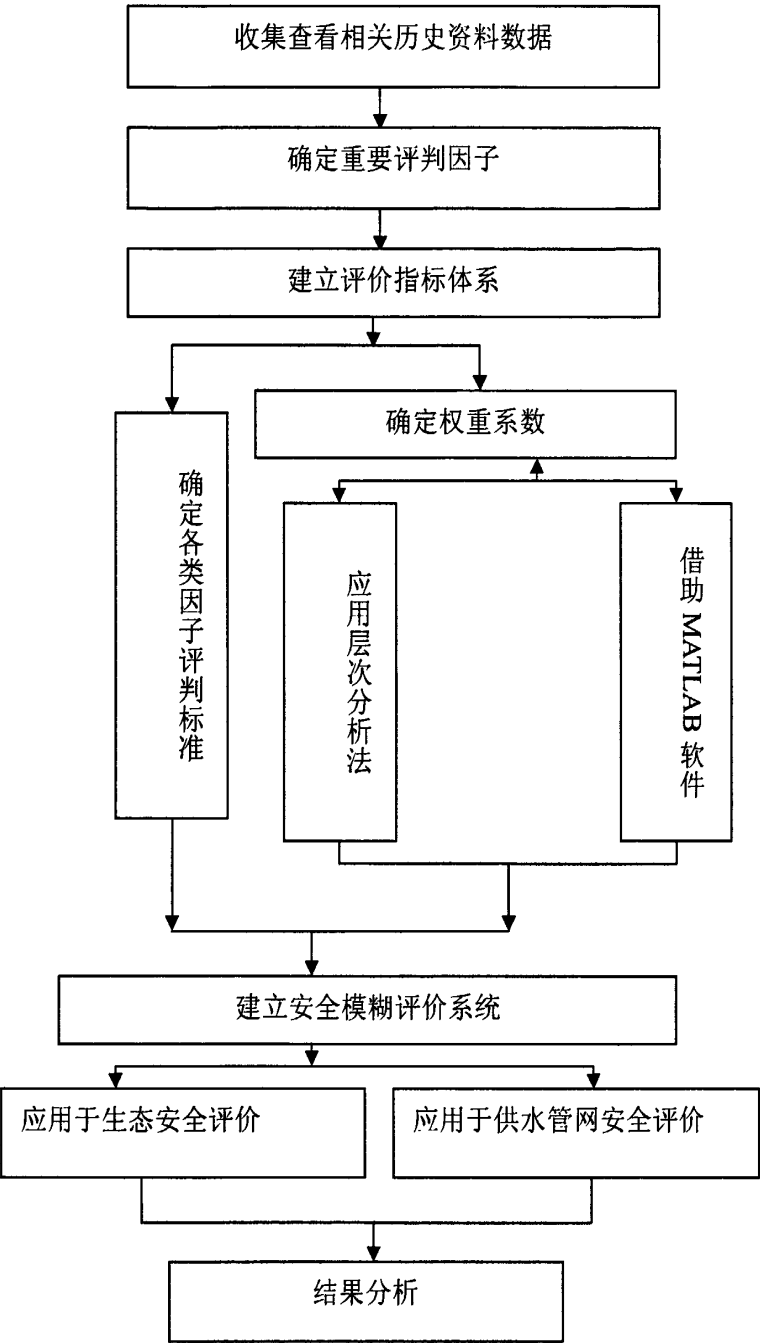


图 1-1 研究技术路线图

Fig.1-1 The Picture of research technical line

第2章. 安全模糊评价系统的构建

2.1. 安全评价概述

安全评价, 也称危险评价、风险评价, 目前对其的定义没有统一标准, 根据有关文献可以定义为: 以实现系统安全为目的, 对系统中存在的危险隐患, 通过一些原理和方法, 对其中的隐患进行可靠辨识与分析并对其危险进行定性、定量分析, 进而进行决策制定防范措施, 以消除和降低其危险程度, 保证系统处于安全状态的一种方法^[51], 它也是一种多科学、多层次的具有较强技术性和实践性的综合性工作; 目前已得到广泛的应用^[51-53]。但是, 由于评价的目的、对象、评价的推理工程以及评价达到的结果等的不同, 安全评价的方法也各不相同, 本课题所研究的是生态安全和供水安全, 专家学者们应用各种方法对他们进行了研究, 根据目前的研究进展来看, 总结出现阶段的评价方法已由最初的简单定性描述发展为精确定量判断, 其中最常用的数学模型评价方法为以下几类:

- (1) 综合指数法: 该方法体现了评价的层次性、整体性和综合性, 有利于纵向与横向的对比分析, 通常情况下侧重于以下两个方面: 一是考虑多个影响因子同时存在将会加重危险程度; 二是各因子在同等危害条件及安全程度下的贡献相等。该方法简明扼要, 符合人们所熟悉的环境影响评价思路, 它的难点在于如何明确建立表征该评价系统的标准体系, 而且很难赋权与准确计量。
- (2) 层次分析法: 是一种处理定性与定量相结合问题的比较简单易行并且较为有效的分析方法。该方法的特点是将人为的经验判断进行定量化, 对结构较为复杂且缺乏必要数据的系统更为实用。通过分析复杂系统所包含的相互关联的因素, 将这些相关联的因素分解为不同的要素, 并将这些要素根据不同的形式归为不同的层次, 从而形成多层次结构, 在每一层次中按某一规定准则对该层要素进行两两比较, 建立判断矩阵。通过计算判断矩阵的最大特征值及对应的特征向量, 得出该层要素对于上一层的权重系数。
- (3) 模糊综合评价法: 指对多种模糊因素所影响的事物或现象进行总的评价, 也是
对系统安全、危害程度等进行定量分析评价。在实际的评价过程中, 由于环境的安全是有各种因素决定的, 必须采用多级模糊综合评价的方法分析^[51]。

- (4) 灰色系统评价法：把系统的安全视为灰色系统，通过已知的白化参数，利用建模和关联分析，使灰色系统“白化”，从而对系统安全有效地进行评价、预测和决策。在系统安全中，许多事故的发生都源于各种偶然因素和不确定因素，事故系统显然是灰色系统。
- (5) 物元分析评价法：是用来处理在某些条件下，对评价对象建立物元矩阵，经典域、节域矩阵，用关联函数计算综合关联度，根据综合关联度的不同取值范围作为环境安全的评价标准，确定评价结果所属等级。
- (6) 主成分分析法：是一种多指标综合评价方法，它把多个描述被评价事物不同方面且量纲不同的统计指标，转化成无量纲的相对评价值，并综合这些值得出对事物的整体评价。

2.2. 数学模型评价方法

根据参考历史资料以及一些专家的建议本文将采用改进的层次分析法和模糊评价法这两种数学模型作为构建安全模糊评价系统的基本方法。

2.2.1. 层析分析法

层次分析法^[54,55] (analytic hierarchy process AHP)，是 20 世纪 70 年代中期，美国著名运筹学托马斯·赛蒂(T L. Saaty)创立的，它的本质是一种决策思维方式，具有认得思维分析、判断和综合的特征。层次分析法的步骤如下：

- (1) 确定目标和评价因素，即建立递阶层次结构：

首先，根据对问题的了解和初步分析，把复杂问题按特定的目标、准则和约束等被分解成为因素的各个组成部分，把这些因素根据所需形式进行不同分层排列。不同层次之间的因素相互影响。最简单最常见的就是分为 3 层。最上层的层次一般只有一个因素，它是系统的目标，称为目标层；中间层次是准则，也称之为制约层，主要目的是确保总体目标实现的主要系统层次；最底层为指标层，表示所选取的解决问题的各种措施、方案和策略等，如图 2-1 所示：

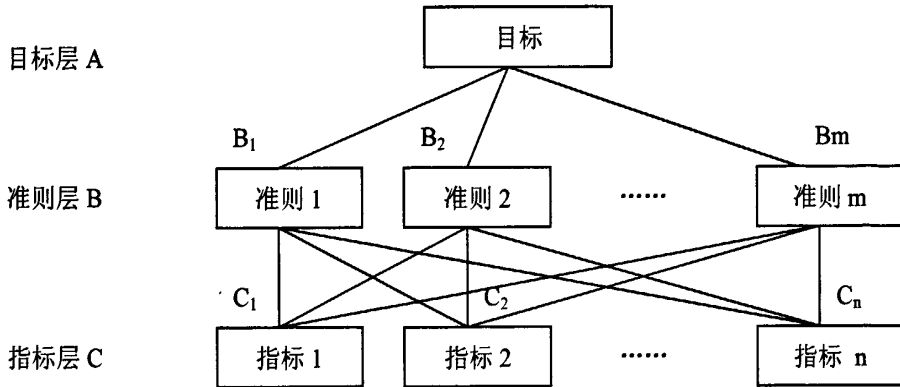


图 2-1 递阶层次结构示意图

Fig.2-1 The abridged general view of Hierarchical structure

(2) 构造判断矩阵。判断矩阵元素是针对上一层次某因素，对本层次有关因素相对重要性进行两两比较，这种比较通过适当的标度表示，一般采用 1-9 及其倒数的标度方法。现在许多专家学者，认为这种标度法具有很大的盲目性，并且判断矩阵的一致性较差，为了避免这些问题，Cook, R. D.(1982)^[56]提出了三标度（0，1，2）数值来判断同一层次上各因素的相对重要程度，给出了三标度的判断矩阵；但是这种三标度法经过研究试验应用后，再保留了三标度的优点之后做了新的改进，本文将采用改进后的三标度法^[57]：

① 对于同一层的 n 个元素，用三标度法可得比较矩阵 C ：

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} \cdots & c_{nn} \end{pmatrix}$$

其中

$$C_{ij} = \begin{cases} 2 & \text{第 } i \text{ 元素比第 } j \text{ 元素重要} \\ 1 & \text{第 } i \text{ 元素比第 } j \text{ 元素同等重要} \\ 0 & \text{第 } i \text{ 元素没有第 } j \text{ 元素重要} \end{cases}$$

且有 $c_{ij} = 1$ 。即元素自身比较重要性相同。

② 计算重要性排序指数 r_i

$$r_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$r_{\min} = \min_i \{r_i\}$$

③ 求判断矩阵的元素:

$$b_{ij} = \begin{cases} \frac{r_i - r_j}{r_{\min}} + 1 & r_i \geq r_j \\ \left[\frac{r_j - r_i}{r_{\min}} + 1 \right]^{-1} & r_i < r_j \end{cases}$$

得到间接判断矩阵 $B = [b_{ij}]_{n \times n}$

(3) 确定权重系数: 计算判断矩阵 B 的最大特征根 $\lambda_{\max}$ 及其对应的特征向量 W , 即为权重系数, 在计算权重系数上一般采用的方法有两种: 一是和积法; 另一个是根法, 通过比较之后, 本文将采用和积法, 其方法和步骤如下:

a. 对 B 矩阵按列进行向量规范化 $\bar{b}_{ij}$

$$\bar{b}_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}}$$

b. 对 $\bar{b}_{ij}$ 的每一行求和得到列向量 $\bar{W}_i$

$$\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \bar{b}_{ij}$$

c. 将 $\bar{W}_i$ 进行向量归一化得到权重系数 W_i

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i}$$

d. 计算判断矩阵最大特征根 $\lambda_{\max}$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{[BW]_i}{nW_i}$$

$[BW]_i$ 表示向量 BW 的第 i 个元素。

e. 一致性检验

计算一致性指标 CI:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

其中 n 为判断矩阵的阶数;

平均随机一致性指标 RI，其取值见表 2-1。

表 2-1 平均随机一致性指标 RI 的取值

Tab.2-1 The average consistencies of random matrices

阶数 n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI 值	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56

计算一致性比率 $CR=CI/RI$ ，检验判断矩阵的一致性，通常，对于 $n \geq 3$ 阶的判断矩阵，当 $CR \leq 0.10$ 时，认为判断矩阵有满意的一致性，即权重的分配是合理、有效的。否则，要对判断矩阵的元素取值进行调整，重新分配权重的值，使它具有满意的一致性为止。

f. 计算层次总排序

利用同一层次中所有层次单排序的结果，进行“加权和”递阶归并，就可以计算针对上一层次而言本层次所有元素重要性权重，这就是层次总排序。层次总排序需要从上到下顺序逐层进行。

同样的，层次总排序的一致性检验也是从上到下逐层进行。由于层次总排序是在层次单排序的基础上计算加权平均值，层次单排序通过一致性检验，则总排序一致性不会有太大的偏差。

2.2.2. 多级模糊评价法

模糊综合评价法，运用模糊变换和集合理论等特有方法，将模糊性事物的信息数值化并通过定性与定量相结合、精确与非精确相统一的分析评价方法。这种方法在解决难以用精确数学方法描述的复杂系统问题方面具有独特的优越性。该方法分为单级和多级两种模型，单级模型主要用于规模比小的系统模糊评价的，多级模型是对复杂的大系统来讲的，为了避免因素过多难以分配权重的情况下，将诸多因素分为不同层次不同级，近年来，由于模糊

综合评价存在的优势,使得该方法已在许多科学领域中得到了十分广泛的应用。

2.2.3. 多级模糊综合评价的数学模型

对于多数复杂系统的评价需要考虑的因素多种多样,而且一个因素中还可能包含多个其他因素,也就是说这个因素通常是由许多其它因素决定的。例如,对一块土地的地价进行评估,就涉及许多因素:商业繁华条件、交通条件、人文环境、自然状况、城市规划、相邻街道状况等。其中任一个因素又包含多个其他因素,就自然状况来讲,它又包括了该宗地的地质状况、该宗地的面积、自然灾害及其危害程度等。

多级模糊综合评价方法是根据所评价项目的实际特点,建立评价因子的指标体系,将所涉及到的所有因素按照某些特性划分为几类,从低级到高级的顺序,先对每一类进行初级的综合评价,之后,再对每类所得的初级评价结果进行更高一级的综合评价,从而得到一个定量化的符合实际的评价结果。此外,在多层次评价过程中,需确定各指标的权重系数。

多级模糊综合评价方法的步骤^[58]如下:

(1) 建立影响评价对象的因素集 U , 即选择评价指标的集合,将基本因素集 U , 按照某些属性的类型划分成 n 个子集, 记作 $U_1, U_2, \dots, U_n$, 应满足

$\bigcup_{i=1}^n U_i = U$, $U_i \cap U_j = \Phi$, $i \neq j$, 每个子集又分为若干评价因素为 $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, 对其中的 u_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$), 在进一步细化分为 $U_{ij} = \{u_{ij1}, u_{ij2}, \dots, u_{ijp}\}$, 直到可以建立一个完整的可反映出评价层次的评价因素指标体系。

(2) 建立评语集

建立由 P 个评价结果组成的评语集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_p\}$, 这些评价集 V 是与 U 中相应评价标准分级的集合。

(3) 确定各因素的权重集 A

确定各因素的权重系数是关键的问题,因为它最终决定评价结果的准确

性。每个 U_i 作为 U 的一部分，反映了 U 的某种属性，按照它们各自的重要性给出权重分配 $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ，即表示为权向量 $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ，式中 a_i 为

第 i 个因素的加权值，一般规定 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ ，同时， U_i 中的各因素的权重分配为 $A_i=(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$ ，表达意思同 A 中的相同。

(4) 确定单因素模糊关系矩阵 R_i

根据模糊数学理论分别用公式计算 U_i 的每个因素对 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_p\}$ 的隶属度，由此，全部指标隶属度的排列可构成 U_i 的单因素评价矩阵 R_i ，即

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i1p} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{im1} & r_{im2} & \cdots & r_{imp} \end{bmatrix} \quad i=1, 2, \dots, n$$

模糊关系矩阵的建立分为两种情况：第一种情况为定性指标的隶属度确定：一般情况下，邀请一些相关专家通过他们多年的研究和经验对评价对象因素进行打分或者对所给定的评价等级进行选择，最后将所有专家的结论进行算术平均得到模糊关系矩阵；第二种情况为定量指标的隶属度确定：采用半梯形隶属度函数的方法确定各评价对象因子隶属度。

对于反向指标，即对于数值越小越好的指标：

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i \leq s_1 \\ \frac{x_i - s_1}{s_2 - s_1} & s_1 < x_i \leq s_2 \\ 0 & x_i \geq s_2 \end{cases} \quad r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_i \leq s_1, x_i \geq s_3 \\ \frac{s_2 - x_i}{s_2 - s_1} & s_1 < x_i \leq s_2 \\ \frac{s_3 - x_i}{s_3 - s_2} & s_2 < x_i \leq s_3 \end{cases}$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_i \leq s_2, x_i \geq s_4 \\ \frac{x_i - s_2}{s_3 - s_2} & s_2 < x_i \leq s_3 \\ \frac{s_4 - x_i}{s_4 - s_3} & s_3 < x_i \leq s_4 \end{cases} \quad r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_i \leq s_3, x_i \geq s_5 \\ \frac{x_i - s_3}{s_4 - s_3} & s_3 < x_i \leq s_4 \\ \frac{s_5 - x_i}{s_5 - s_4} & s_4 < x_i \leq s_5 \end{cases}$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_i \leq s_4 \\ \frac{x_i - s_4}{s_5 - s_4} & s_4 < x_i \leq s_5 \\ 1 & x_i \geq s_5 \end{cases}$$

而对于正向指标，即对于数值越大越好的指标，计算时只需将取值条件中的“<”与“>”互换，“≤”“≥”互换即可。

(5) 多级模糊综合评价

首先对最低层次的各个因素进行综合评价，然后再对上一级的各因素进行综合评价；依次向更上一级评价，一直评到最高级得出总的评价结果。

三级模糊综合评价模型如下所示，更多级的评价过程依此类推。

$$B = A \circ R = A \circ \begin{bmatrix} A_1 \circ \begin{bmatrix} A_{11} \circ R_{11} \\ A_{12} \circ R_{12} \\ \dots\dots \\ A_{1m} \circ R_{1m} \end{bmatrix} \\ A_2 \circ \begin{bmatrix} A_{21} \circ R_{21} \\ A_{22} \circ R_{22} \\ \dots\dots \\ A_{2m} \circ R_{2m} \end{bmatrix} \\ \dots\dots \dots\dots \\ A_n \circ \begin{bmatrix} A_{n1} \circ R_{n1} \\ A_{n2} \circ R_{n2} \\ \dots\dots \\ A_{nm} \circ R_{nm} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$B = A \circ R$ 再对各因素分配权值，“ $\circ$ ”为合成运算，可采用四种运算模式见表 2-2。

(6) 综合评价

在前面确定了权重系数的前提下，为了给出一个适当的值表征安全状

态，有关文献^[59]提出了级别特征值 $H = \sum_{h=1}^c h \mu_{hj}$ ，其中 H 是级别变量 h 的特征值，描述了分布列或分布多边形的整体特征，因此它可作为模型确定样本 $j(j=1, 2, \dots, M)$ 对模糊概念 β 隶属级别的评判指标，而级别变量 h 为离散型变量。样本 j 对于模糊概念 β 的级别 $h(h=1, 2, \dots, c)$ 的最优相对隶

属度 μ_{hj} ，它与级别变量 h 组成的表，称为级别变量 h 的相对隶属度分布列。

h	1	2		C
μ_{hj}	μ_{1j}	μ_{2j}		μ_{cj}

满足： $\sum_{h=1}^c \mu_{hj} = 1$ ，分布列完全描述了级别变量的特征。

可以给分布列以一个形象的“力学”解释。一个单位质量沿横轴分布，在横轴的 c 个不同点 $1, 2, \dots, c$ 上集中了相应的质量 $\mu_{1j}, \mu_{2j}, \dots, \mu_{cj}$ ，即相当于单位质量的质点系统在横轴上的分布。通过上述分析，我们间接引用为 h 可看作是本文所需的安全等级分值， μ_{hj} 为最高一级的模糊评判矩阵，

通过公式 $H = \sum_{h=1}^c h \mu_{hj}$ 即可得到最终的安全评价等级 H 。

表 2-2 模糊评价法的四种运算模式

Tab.2-2 four operation modes of the Fuzzy evaluation

运算模式	表示形式	
$M(\wedge, \vee)$	$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij})$	$j=1, 2, \dots, m$
$M(\cdot, \vee)$	$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \cdot r_{ij})$	$j=1, 2, \dots, m$
$M(\wedge, \oplus)$	$b_j = \min[1, \sum_{i=1}^n (a_i \vee r_{ij})]$	$j=1, 2, \dots, m$
$M(\cdot, \oplus)$	$b_j = \sum_{i=1}^n a_i \cdot r_{ij}$ 或 $b_j = \min[1, \sum_{i=1}^n (a_i \cdot r_{ij})]$	$j=1, 2, \dots, m$

2.3. MATLAB—GUI

MATLAB 是一种用于工程计算的高性能程序设计性语言，它集成了计算功能、符号运算、数据可视化等功能，以及图形用户界面设计技术和应用程序接口技术。其代码编写过程与数学推导过程的格式很接近，使得编程更加直观和方便。该软件的应用主要集中在以下几个方面：数值计算、算法开发、符号表达式运算和推导、数学建模与仿真、数据分析和可视化等。

2.3.1. 图形用户界面 GUI

图形用户界面 GUI(Graphics User Interface)是由各种图形对象, 如图形窗口、菜单、图轴、文本框、按钮等构建的用户界面, 在该界面上, 用户可以根据界面上的提示信息完成自己的工作。利用图形界面用户可以自行设计具有自己风格的人机交互界面, 来显示各种计算信息、图形、声音等, 并且提示用户输入各种计算过程所需要的各种参数, 通过建立有好的图形界面, 使得用户在应用计算机上更加方便快捷。GUI 设计即可以基本的 MATLAB 程序设计为主, 也可以鼠标为主利用 GUIDE(Graphics User Interface Design Environment)工具进行设计。

GUIDE 是专用于 GUI 程序设计的开发环境, 设计者通过鼠标就可快速地产生各种 GUI 控件, 并可按照所需改变它们的大小、外形及颜色等, 从而帮助设计者方便地设计出各种所需的图形用户界面。利用 GUIDE 设计时, 可通过 GUI 应用属性设置编辑器来设置响应的句柄操作。在该界面上, 设计者在不了解工程内部是如何工作的情况下, 根据界面提示即可完成整个工程。

在 GUIDE 设计环境中, 常用到的工具有控件布置编辑器、菜单编辑器、属性编辑器、网格标尺设置编辑器、对象浏览器以及 GUI 应用属性设置编辑器等。

2.3.2. GUI 设计面板

GUI 设计面板是 GUI 设计工具应用的平台, 如图 2-2 所示, 面板上部提供了菜单和常用工具按钮, 左边提供了多种 GUI 控件, 如按钮、单选按钮、复选框、文本框等。进行 GUI 设计时, 首先单击 GUI 面板左边所需的控件, 然后在右边的图形界面编辑区中再次单击某一恰当的位置, 这时将在该位置上为图形界面添加相应的控件, 接下来, 通过属性编辑器和对齐编辑器对各控件设置相关属性和进行界面布置, 以完善界面功能。

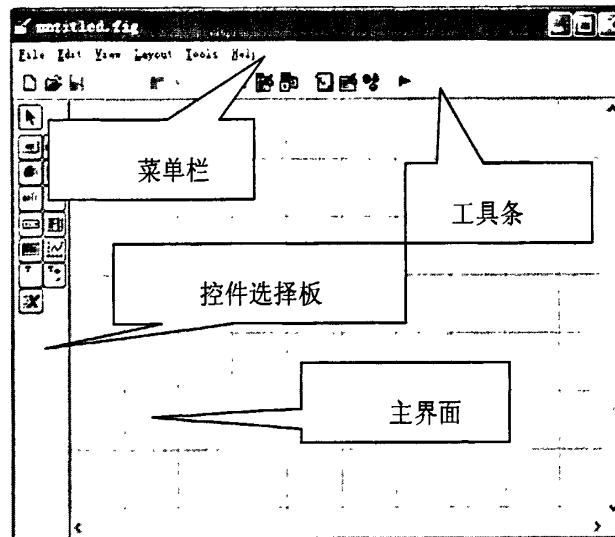


图 2-2 GUI 设计面板

Fig.2-2 The designing interface of GUI

2.4. 安全评价的指标体系和评价等级

2.4.1. 安全指标体系的建立

2.4.1.1. 安全指标体系建立的原则

指标是评价的基本标度和衡量准则，完善的指标体系是客观综合评价的根本条件和理论基础。全世界各个国家和地区所处的自然、社会经济情况不同，每个学者所处的背景不同以及研究角度的不同很难有统一的评价指标体系。因此，建立的指标体系好坏决定了评价效果的可靠性和真实性。要想建立一个完善的指标体系，必须要遵循一定的原则：

(1) 可操作性和简明性相结合的原则

指标体系的建立，应尽可能多的考虑数据的易得到性和易采集性。在选取指标时应遵循简单、明确、方便、有效、实用的原则，通过使用统计资料数据、已有规范标准、以及相关理论的概括，获得对安全影响较大容易得到的资料，并有利于相关部门的掌握和操作，使理论与实践紧密联系起来。

(2) 科学性和公众性相统一的原则

评价指标的选取、评价标准的来源等建立在科学准确的基础上，与此同时，指标体系中的指标应易于该系统的公众理解和接受，也要尽可能将与公

众生活息息相关的内容得到直观的体现,要选取能反映所评价系统的安全本质特征以及该系统的安全变化状况的指标,为了便于比较,所选取的指标应尽可能统一并量化。

(3) 系统性和综合性相统一的原则

指标体系应围绕评价目的,通过若干指标进行衡量,这些指标是互相联系、制约的。有的指标之间反映不同侧面的相互制约关系;有的指标之间反映不同层次之间的包含关系。同时,同层次指标之间尽可能的界限分明,避免相互有内在联系的若干组、若干层次的指标体系,体现出很强的系统性和综合性。这样才能全面反映评价目标,确保评价结果真实、系统、综合地反映评价对象。

(4) 独立性和整体性相统一的原则

任何系统的安全反映的是复合的系统状态。建立评价指标体系在选取指标时,指标之间没有很强的相关性,每个指标能独立代表一定的意义,同时要有整体性指标,能够反映概括该系统安全的总体特征,将所有因子作为整体进行观察和研究。

(5) 全面性和代表性相统一的原则

用来评价每一个系统安全的因素很繁多,而评价指标体系作为一个有机整体,应从不同角度反映系统的特征,不能遗漏主要方面或有所偏差,否则评价结果就不能客观、真实、全面地反映被评价对象。但是指标体系中的因子也不可以繁琐,导致因子之间相互重叠,给系统增加评价难度,这样可能掩盖了主要的评价因子;也不可过于简单明了,使体系缺乏代表性,难以全面反映系统客观状况,从而影响评价的准确性。

(6) 动态性和稳定性相统一的原则

指标是一种随时间和空间不断变化的参数,不同研究方向应考虑采用不同的指标体系,同时还要确定指标在一段时间内的稳定性,有利于进行评价。任何系统的安全状况都是在不断变化、动态发展的,安全不只局限于过去、现状,要着眼于未来,关注系统在未来时间的发展趋势。这就要求指标体系的构建需要充分考虑动态与稳态相结合,要在不断变化的参数中选择相对稳定的因子,同时要注意的是评价指标及其评价标准应充分考虑动态性。

(7) 层次性和主导性相结合的原则

制约安全的因素很多，涉及众多方面，需要对评价系统有充分的认识，不同角度、不同尺度的安全分析应有不同的指标因子，指标体系的建立就显得十分复杂，利用单一因子不能也不可能对安全状况及其演化做出科学的评价，但若一一列出既不可能又不现实。因此，选择具有代表性的，能够直接反映其主要特征的主导性指标，同时应将每一指标进行归类，分出层次，而且层次结构要合理，这样即可更直观的体现主导性指标。

(8) 可度量性和可表征性相结合的原则

安全状况可用一种方便大众理解和应用的方法表示，其优劣性应具有明显的可度量性，可用于评价因子之间的比较。选取指标时，一般多采用客观性指标，如数值或百分率等，但是，绝大多数情况下，所选的指标为主观性较强的指标，在选用这些指标的时候，应考虑他们是否可以直接赋值量化，或可以间接赋值量化。

2.4.2. 安全评价指标体系的构建

安全评价指标体系中风险源的选择程序如图 2-3^[51]：

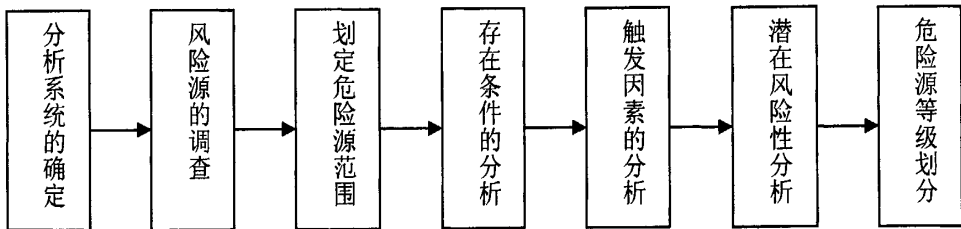


图 2-3 风险源选择程序

Fig.2-3 Risk source selection procedures

通过风险源的选择程序将所有可能造成系统风险的因子列举出之后，根据安全指标体系建立的原则，构建安全指标体系一般采用几个步骤：

(1) 对安全系统中进行层次分析

首先对安全系统进行层次分析，根据实际情况，一般将其分为两个或三个层次，本文将模型建立在三个层次的基础上。

(2) 对描述基本层次状态指标进行全方面的选择

不受条件的限制，凡是能够描述该层次状态的所有指标尽可能全面地一一列出，这样做的目的是全方位地考虑问题，防止重要指标的遗漏。

(3) 初步确立安全指标体系

初步确立指标体系就是对上一步进行初步地筛选,筛选掉明显的不适宜指标,利用指标对系统存在一定的敏感性,删除那些对评价目标不敏感、影响很小或不产生影响的指标。从定性的角度分析,删除那些对被评价对象集的相对位序不产生影响的、鉴别力低或次要的指标。

系统安全的评价指标之间通常都存在一定程度的相关关系,从而使观测数据所反映的信息有所重叠。若指标体系中存在着高度相关的指标,就会影响评价结果的客观性。为此需对指标进行相关分析,删除具有明显相关性的次要指标。其基本方法是:首先计算指标的相关系数,然后根据实际问题确定一个相关系数的临界值,则可删除相关系数大的指标;如果指标的相关系数小于临界值,则两个指标均保留。

在评价指标建立的过程中,常常会遇到矛盾指标的处理,解决这类矛盾有两类做法:一是建立一个没有相互矛盾指标的指标集合,把引起矛盾的指标删除,这样处理的必要前提是保证指标体系的相对完备性;二是寻找一个能使矛盾指标得以并存的指标集合,该指标集的建立条件是指标间的矛盾具有相容和并存的可能性,而不是绝对相斥。在实际使用中,对矛盾的一方加以限制,使之限定在某一值域范围内,而对象的综合评价值的位序取决于另一方指标值的大小。

经过上述分析筛选,指标体系初步确定。

(4) 确立最终的指标体系

在初步确立指标体系的基础上,对该指标体系进行最后一次筛选,基本的方法就是独立性分析和主成分分析,其目的是对指标间意义上有交叉重复的指标再次选择或重组,只有这样,才能获得科学的评价指标体系。所谓独立性分析就是在计算各种指标相关系数的基础上,选择一定的系数门槛(通常取大于 0.9)作为标准,排除相关密切的指标,选用相互独立的指标;所谓的主成分分析就是通过指标重组,只需选取少数几个主成分指标就可承载足够多的信息,反映系统状况。这两种方法在指标选择中既可同时并用,也可单独使用,在此基础上将选择的指标进一步征求专家意见,对指标进行调整,最终确立安全评价系统指标体系。

2.4.3. 危险源评价等级划分

安全评价等级的划分一般是按危险源在触发因素作用下可能影响或造成系统的危害程度进行划分，是为了更好的确定评价工作的深度和广度，体现系统中各个危险源对系统的影响程度和所要保护对象的要求程度。本文通过分析研究各类系统安全的要求以及相关的历史资料，将系统的安全评价等级分为 5 个等级。

表 2-3 安全评价等级

Tab.2-3 The grade of security evaluation

等级	很危险	危险	较安全	安全	很安全
分值 h	0.2	0.4	0.6	0.8	1

2.5. 安全评价系统标准的来源

在评价研究中，各个指标的优劣等级程度均需以标准值为参照才可能得出，因此评价标准的确定是评价过程中的重要环节之一。目前任何一个系统的安全评价都没有统一的标准，一般而言，安全评价标准可从以下几个方面选取：(1)国际、国家、行业以及地方上规定的标准；(2)背景值和本底值标准：以该系统下的背景值和本底值作为评价标准；(3)类比标准：通过未受人类严重干扰的相似系统或以相似条件下的类似系统中的标准作为类比标准，类比标准须根据评价内容和目的进行科学地选取；(4)科学研究已判定的系统效应。通过相似条件下科学研究已经判定的系统安全中的一些要求可作为评价的标准或参考标准应用。

2.6. 智能化安全模糊评价系统的构建

2.6.1. 安全模糊评价系统的指标体系界面

在该界面上为可选的安全模糊评价系统的指标体系界面，界面上分为了三层，第一层为目标层；第二层指标层，该层次可选择 10 个指标因子；第三层为准则层，该层次可选择 24 个因子；建立此界面的目的是体现指标体系的直观性（见图 2-4）。

2.6.2. 安全模糊评价系统的权重计算界面

通过点击指标体系界面中的“下一步”调用该控件的回调函数，进入应用改进的层次分析法计算权重的界面层（见图 2-5），在此界面上可以将每一层的因子通过两两比较得到的判断矩阵通过打开 excel、txt 文件读取或直接的填写，判断矩阵读取好之后，点击“计算”，进行权重计算，得到的权重需要通过一致性检验，如果一致性检验未通过，则需要调整判断矩阵，直到达到一致性检验，所有因子的权重计算好之后，需要对他们进行总排序和总的一致性检验。所有的条件都符合之后，则点击“下一步”进入多级模糊评价界面（见图 2-7）。

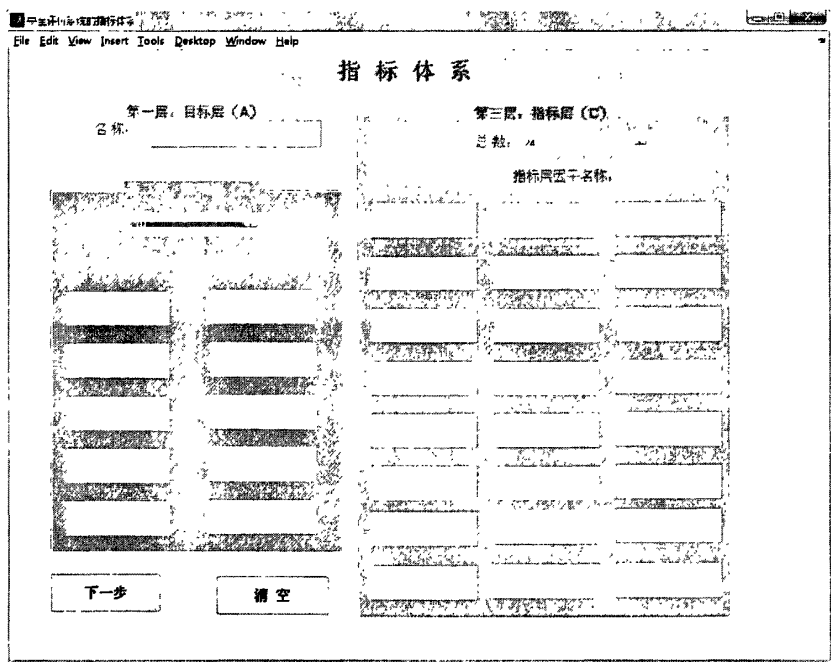


图 2-4 安全模糊评价系统的指标体系界面

Fig.2-4 The security fuzzy evaluation system of the index system interface

2.6.3. 安全模糊评价系统的多级模糊评价界面

在该界面上先要确定的是每一因子的隶属度矩阵，对于定量指标，将利用 excel 进行计算然后导入到 GUI 界面上，对于定性指标，则直接通过专家评分导入到一级模糊评价界面中进行计算（见图 2-6），一级模糊评价界面是通过点击多级模糊评价界面中的“一级模糊评价的计算”打开的，将一级模糊评价所得到的结果用于二级模糊评价，最后进行计算比较得到所评价系统的安全等级（见图 2-7）。

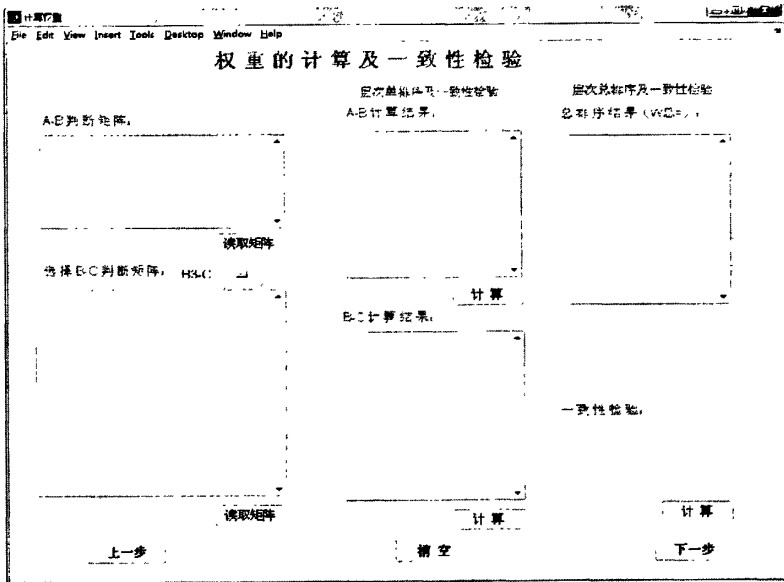


图 2-5 安全模糊评价系统的权重计算界面

Fig.2-5 The security fuzzy evaluation system of the weighting interface

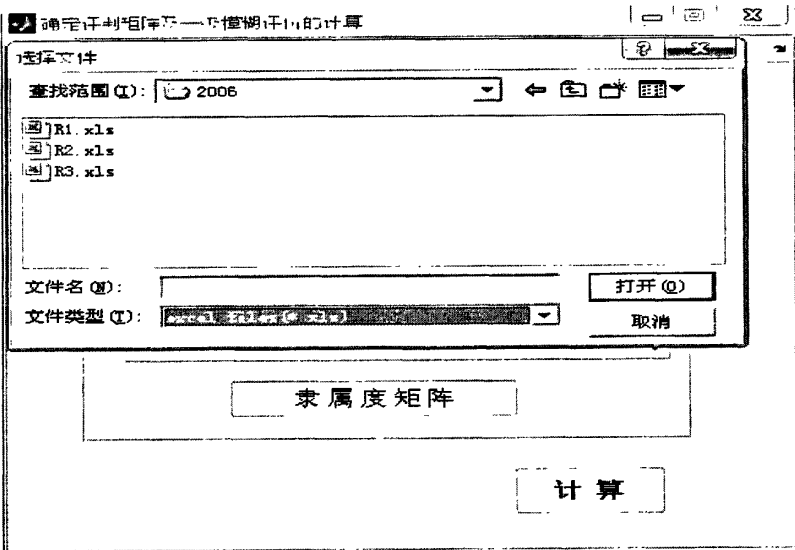


图 2-6 安全模糊评价系统的一级模糊评价计算界面

Fig.2-6 The security fuzzy evaluation system of the computing interface for fuzzy evaluation

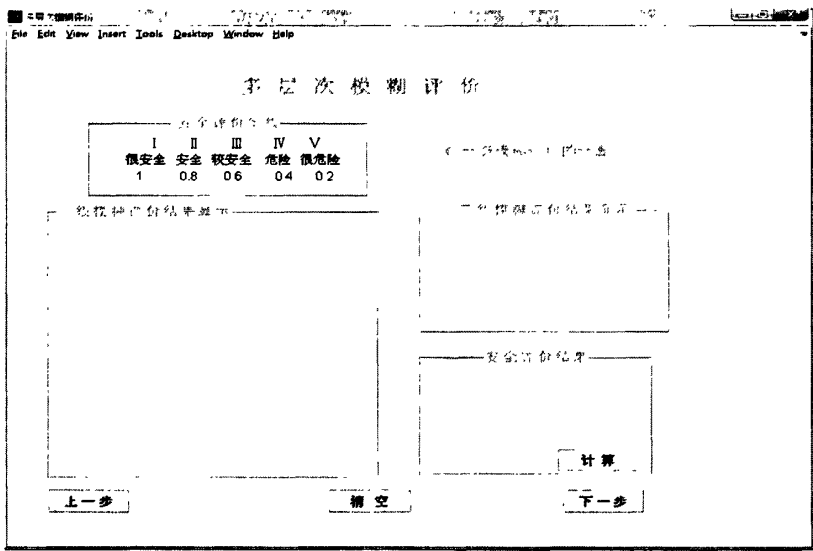


图 2-7 安全模糊评价系统的多级模糊评价界面

Fig.2-7 The security fuzzy evaluation system's the Multi-level fuzzy evaluation of interface

2.7. 小结

运用系统论的有关思想方法，借助于风险源的选择程序以及评价指标体系的建立原则，确定出多层次的评价指标体系；创新性的采用了改进的层次分析法和模糊数学中的多级模糊评价法来确定安全评价指标的权重系数以及最终的安全等级，避免了人为的随机性，同时采用了强大的应用程序软件——MATLAB7.1 实现了智能可视化的安全模糊评价系统，为评价系统安全提供了方便简明的新思路。

第3章. 黄岛石化区生态安全评价的研究

3.1. 黄岛石化区的基本概况

黄岛石化区是山东省政府、青岛市政府批准规划建设的,位于抓马山公园、胶黄铁路以东、胶州湾海岸线以西、海河路以北、跨海大桥以南的区域,面积约 15.46 平方公里(见图 3-1)。目前石化区内企业有:青岛大炼油工程(70 万吨/年芳烃工程、40 万吨/年轻石脑油)、青岛丽东化工有限公司(63 万吨/年对二甲苯)、青岛港、黄岛电厂、青岛思远化工有限公司(8 万吨/年甲乙酮装置),青岛澳东化工有限公司(1 万吨/年生产选矿用的黄原酸盐),青岛龙德碳素有限公司(1 万吨/年),青岛扶桑第二精制加工有限公司(主要生产高标号涂料),青岛海化纤维有限公司和华欧四海建材厂(主要是粉煤灰综合利用),法国液化空气(中国)有限公司及物流公司以及其他一些比较小型的企业。黄岛石化区目前拥有油库 9 座总存储能力达 840 万立方米;青岛市黄岛石化工业区区域内,存储能力 364 万立方米,拥有石油化工码头 7 座,吞吐能力达到 7000 万吨,储油能力达到 1200 万立方米。

3.1.1. 地形、地质及土壤植被

青岛经济技术开发区南北短、东西长,南临黄海,属成岩地区,以断裂结构为主,无活动性,地势大致呈西高东低的趋势。石化区内地貌可分为三部分,大石头以西陆域部分为山前坡洪积倾斜平面,水域为滨海浅滩,大石头周围为剥蚀、堆积缓丘,微地貌有小冲沟、盐田、基岩陡岸等。黄岛区陆地属第四系地层,主要由浅海穿过胶州湾的崂山余脉构成。

开发区内土壤主要是 70%的棕壤,沿海有 20%的盐化潮土分布,另有约 10%左右的褐土。植被主要为绿化栽植的乔灌木,没有珍稀物种。黄岛重化工业区的场地一部分为陆地,约 189 公顷,一部分为滩涂地,位于-2.0m 水深范围内,为滨海淤积带,涨潮时被水淹没。

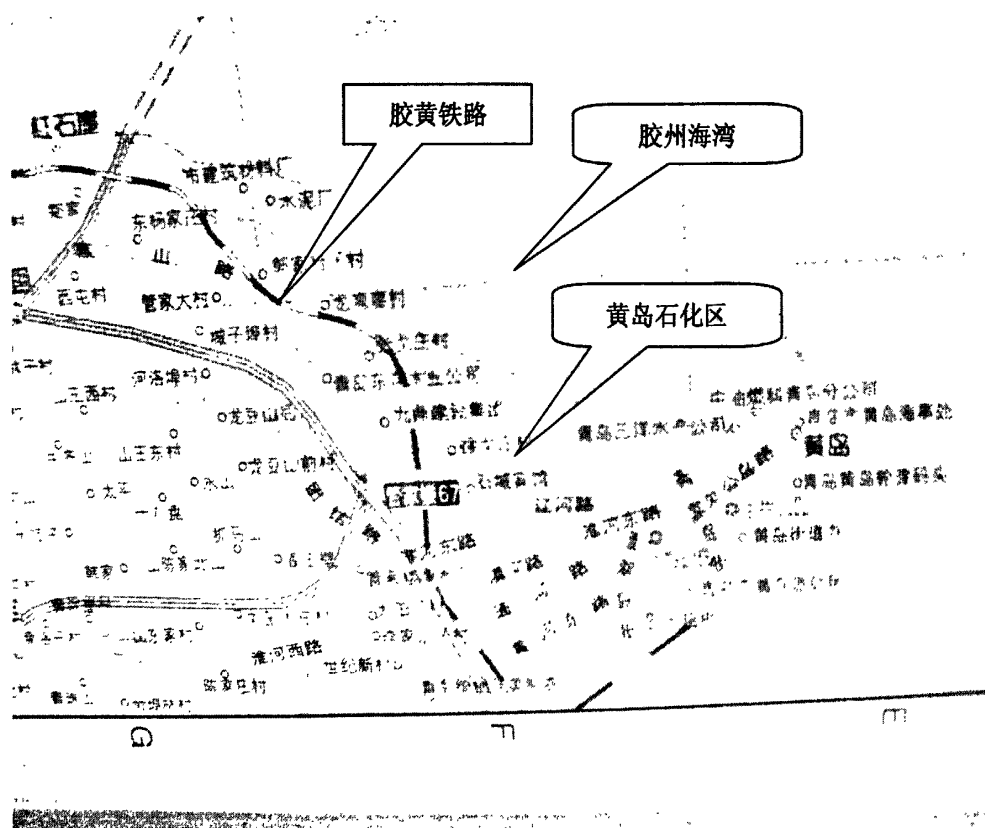


图 3-1 黄岛石化区平面图

Fig.3-1 The map of Huang Dao petrochemical area

3.1.2. 气候气象

根据青岛气象台及团岛气象台多年气象观测资料,石化区附近由于受海洋东南季风影响,有明显的海洋性气候特点:雨量充沛,空气湿润,四季分明,温度适中,属于季风型大陆性气候。春季多雾,气温回升缓慢,较内陆迟 1 个月;夏季湿热多雨;秋季降水少,蒸发强;冬季风大温低,持续时间较长,雨雪较少。

年平均最高气温 15.9℃,最低气温 9.2℃,最冷月(1 月)平均气温-1.2℃,最热月(8 月)平均气温 25.1℃。累年年均相对湿度为 75%,月均最大平均相对湿度 92%,月均最小平均相对湿度 64%。

年主导风向为南风 and 北风,累年平均风速为 5.5m/s。夏季常风向为东南向,平均风速为 4.6m/s,冬季常风向为北北西向,平均风速为 7.5m/s。年均大风日数 6 级以上 82 天,7 级以上 50 天,8 级以上 18 天。

3.1.3. 水文状况

黄岛石化区内无天然河道，仅有直接入海的短促沟渠，无常年径流，暴雨季节有泄洪功能，无地面水使用功能。石化区地下水水位较浅，一般位于自然地面下 2m-3m，最高为 1m 左右，最低为 5m。区内地下水主要为第四系孔隙潜水及基岩裂隙水，含水层均为弱透水层，蓄水性很差，由于海水倒灌，基本处于停止开发阶段。化工区用水均为市政给水管网供水。

胶州湾海域特征：

胶州湾属于青岛市内湾，胶州湾内流速一般为 1-2 节，湾口流速 3 节，港口淤积甚小。其南北最大跨距为 32km，东西最大宽度为 25km，湾口最狭处仅 3km，总水域面积 390km²，浅海滩涂 131km²。

每日涨落潮各两次，潮流基本上为往复流，但因为湾内地形复杂，湾内水体的水动力条件亦比较复杂。从总体上看，湾内西北部 and 东北部的水体交换滞缓，自净能力较弱；中、南部的水体交换活跃，自净能力较强。湾口底质以泥沙为主，狭窄，封闭性好，浅海区坡度小，适于开发利用，因此，湾内水域浅海养殖和滩涂养殖业较发达。

堆积地貌有潮流砂脊，分布在潮流水道两侧，水下堆积平原分布在近岸浅水地带，以西部海区最典型。水下浅滩则分布在黄岛前湾和海西湾内和湾北部内。

3.1.4. 海水养殖

胶州湾海水养殖主要包括滩涂贝类养殖、池塘养殖和浅海养殖三类。滩涂贝类养殖区分布在湾西北部、东北部和北部，面积达 55km²，主要以护滩养殖蛤子。滩涂池塘养殖区主要分布在西北部和湾北部，养殖池塘约 14km²，主要养殖对虾，因多年来虾病害丛生，现在多开展与牡蛎或鱼类混养。浅海养殖是指在 20m 等深线以内浅海开展筏式养殖扇贝、海带和贻贝等及网箱养鱼，但近几年养殖扇贝连年大量死亡，有滑坡趋势。

3.1.5. 海上边码头

位于青岛开发区内的前湾港为天然良港，水深域阔，不冻不淤。目前已建成一期工程的六个矿石、煤炭泊位，和规模居亚洲第一、世界第二的 20 万吨级矿石码头，年吞吐能力 3820 万吨，已成为我国五大煤炭出口基地之

一和北方最大的矿石转基地。目前前湾港已成为远东地区的煤炭、杂货、集装箱和矿石重要集散地之一。

位于前湾港北侧的两座黄岛油港年设计通过能力 3000 万吨，停靠过 30 万吨级的油轮，是我国目前设施最先进、规模最大的成品油、原油输入输出码头之一。

3.2. 黄岛石化区生态安全评价指标体系的建立

根据前一章中提到的建立安全评价指标体系的步骤和原则，结合黄岛石化区生态特征，对黄岛石化区生态风险因子进行层次分析，将其分为三个层次。经过比照分析后，对每个层次的指标进行初选，本文初步罗列了 29 个影响石化区生态安全的指标(大气影响指标 8 个，海洋影响指标 10 个，石化区自身指标 11 个)，见图 3-2。

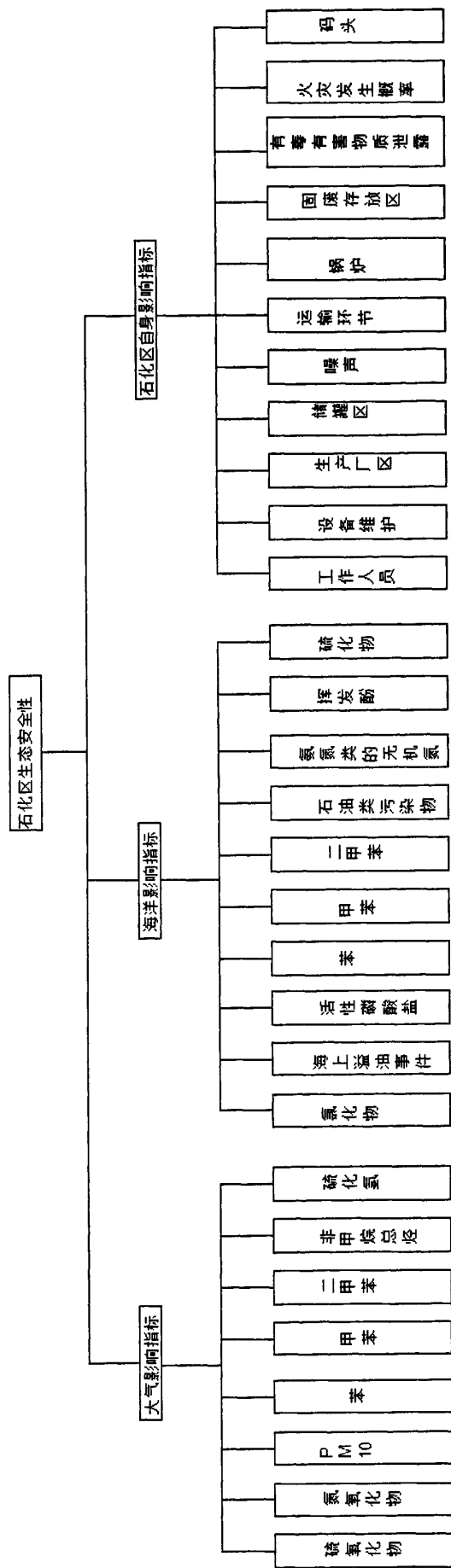


图 3-2 影响石化区生态安全的指标
Fig.3-2 Impact indexes of petrochemical ecological safety

3.2.1. 指标体系的确定

在初步确立指标体系的基础上，对该指标体系进行筛选，筛选的基本方法就是独立性分析和主因素分析，从石化区生态安全的内涵出发，设计能够反映石化区现状特点的指标。这里用“石化区风险等级”来评价衡量石化区生态安全程度。威胁石化区生态安全的危险因素主要有石化区本身的内部因素(如火灾爆炸，危险物品泄露等)，海洋影响因素(如石油类、挥发酚类等)和大气影响因素（如非甲烷总烃、硫化氢、氮氧化物等）。根据以上分析以及前一章中指标体系筛选的原则，最终确立石化区生态风险评价指标体系（如图 3-3）共包含 17 评价指标：大气影响指标 7 个，海洋影响指标 6 个，石化区自身指标 4 个。

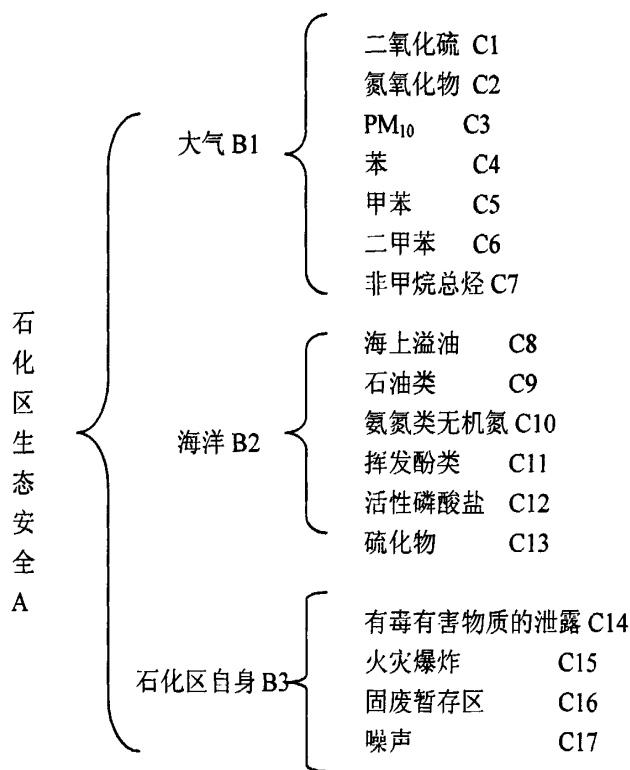


图 3-3 石化区生态风险评价指标体系

Fig.3-3 Petrochemical ecological risk evaluation system

3.3. 石化区生态风险评价的风险因素描述

3.3.1. 大气影响评价指标

通过对黄岛石化区的工厂企业进行调查分析,石化区内有组织排放有害废气的设施主要是加热炉、锅炉的烟囱,据不完全统计,石化区内大小不等的烟囱有 25 个左右。像丽东化工和大炼油工程中还有火炬 2 个。而其他的一些无组织排放区域有灌区、部分设备、反应容器等。危险因子通过有组织排放和无组织排放进入到大气中。以大炼油和丽东化工为例分析大气中危险因子的来源和排放量:大炼油中芳烃联合装置中像歧化进料加热炉、异构化进料加热炉、二甲苯塔重沸炉以及甲苯塔重沸炉,每天通过高烟囱连续性的有组织的排放废气,其中包括有二氧化硫和氮氧化物以及 PM_{10} 等污染物;它们的废气排放量总计为 $3.3 \times 10^6 \text{Nm}^3/\text{h}$,通过大气扩散作用最终要飘落到周围环境中。

在轻石脑油改制装置中有组织连续排放废气的有反应加热炉,它的排放量是 $1.3 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{h}$,废气包括二氧化硫和氮氧化物以及 PM_{10} 等污染物;有组织间断性排放废气的有催化再生反应器,它的废气排放量是 $2 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{次}$;其中主要包括氮氧化物等。

还有一些像装置区及罐区都会无组织的间断性排放有害物质,这些有害物质包括非甲烷总烃、苯系物等,虽然它们是间断性的排放,但是他们的年排放量也在 233t 左右。还有一些无组织排放有害物质的、相对排放量较少的装置像加工设备泄露、油品储运等的挥发排放。

在非正常工况下像检修容器的时候也会出现一些无组织排放的有害物质,在这种情况下的排放量是 3.5t/h 左右,其中的有害物质成分主要是氮氧化物和非甲烷总烃。

除了上述之外,大炼油还有一个 CFB 锅炉动力中心,它主要排放的废气污染物是二氧化硫、氮氧化物以及 PM_{10} 等废气,CFB 锅炉动力中心的废气经过处理之后通过高烟囱进行排放,扩散到周围大气中,它们的排放量大约为 $3.1 \times 10^5 \text{Nm}^3/\text{h}$ 。

同样在丽东化工的厂区内也有类似的装置进行着有组织无组织的排放,其中有组织连续性排放的废气量共计 $6.9 \times 10^5 \text{Nm}^3/\text{h}$,还有火炬在发生事故时进行排放的废气量高达 $5.1 \times 10^5 \text{Nm}^3/\text{h}$,这些废气都是通过高烟囱进行排

放,但是最后通过大气扩散最终会有一定含量的浓度飘落到厂区周围的环境中,在其厂区内还有一些无组织连续性挥发排放的有毒气体总量为 98.68Kg/h。

上述危险因子的排放量仅仅考虑了丽东化工和大炼油工程中一部分,对于像青岛油港和黄岛电厂等石化区内其他企业中的有组织和无组织排放的危险因子也会全部进入黄岛石化区大气环境中。

根据海陆交界处的基本特点以及对黄岛石化区的气象条件的了解,石化区内最为典型的天气条件为 D 类,平均风速为 5.0m/s,通过现场试验发现,海风入侵到内陆 3-4Km 处,入流层高度在 250m 的自岸边向陆地逐渐增厚的热力内边界层可造成烟流熏蒸地面的现象,这会导致危险因子在地面上的高浓度污染,严重危害到周围的生态环境。

3.3.1.1. 二氧化硫和氮氧化物对生态的危害

目前黄岛区的主要能源仍为煤炭,煤炭的消耗量占到能源总消耗量的 95%以上。2007 年燃煤量达到 264 万吨,工业燃煤量占 98.7%。工业废气的排放量为 246.83 亿 Nm^3 ,排放废气中二氧化硫 2.31 万吨,烟尘 0.23 万吨,粉尘 0.005 万吨。黄岛区主要大气污染物为二氧化硫。2007 年,对黄岛区现有主要企业排放的大气污染物进行调查,并根据等标负荷法进行了计算评价。其中石化区以黄岛电厂为首的几家企业的累积废气污染物等标负荷已超过全区工业废气污染物等标负荷的 99%,是全区的重点污染源。

根据国函[1998]5 号文《国务院关于酸雨控制区和二氧化硫污染控制区有关问题的批复》提出,山东省青岛市属二氧化硫污染控制区。此外石化区内的企业都有二氧化硫的排放,特别到了冬季,大多数居民居住区及学校医院等敏感区处于石化区下风口,对于城区居民的身体健康会造成一定的危害。同时,二氧化硫和氮氧化物也是酸雨的成因之一,酸雨对于植物、动物以及建筑物都有严重的威胁。

氮氧化物可刺激肺部,使人很容易得感冒之类的呼吸系统疾病,对于如哮喘病患者这样呼吸系统有问题的人,会较易受二氧化氮影响。对儿童来说,氮氧化物经过短期暴露(比如,少于 3 小时)可能会造成肺部发育受损;研究表明如果长期吸入氮氧化物可能会出现肺部构造改变,增加少年儿童

(5-12 岁)的呼吸道疾病发生率。

氮氧化物对生态环境的危险:

事实上,氮氧化物所带来的生态环境效应多种多样,其中包括:该类危险物质可影响到陆地植物和近海沿岸物种之间的竞争与组成变化;直接导致大气能见度的降低,进而影响到石化区居民的交通安全;虽然石化区的地表水未被开发利用,但是氮氧化物的排放增多也会导致地表水的酸化,通过海水的倒灌进入到近海海域进而导致海水的富营养化以及增加海水体中有害于鱼类和其它水生生物的毒素含量。

3.3.1.2. PM_{10} 对石化区居民的危害

由上述内容可以看到,石化区内的大烟囱特别多, PM_{10} 经常出现超标的现象,也会影响到石化区的生态状况。经常性的超标,使人吸入 PM_{10} 过多,在呼吸系统中经过长期的累积,引发许多疾病。细颗粒物可能引发呼吸道疾病,降低肺功能、肺病、心脏病等。粗颗粒物的暴露可侵害呼吸系统,诱发哮喘病。因此,对于一些敏感人群如老人、儿童和已患心肺病者等,风险较大。另外,环境空气中的颗粒物也是降低能见度的主要原因,还可以损坏建筑物表面。

3.3.1.3. 苯系物的排放量及其对居民的危害

苯、甲苯、二甲苯属于苯系物,通过对黄岛石化区内工厂企业的相关资料整理出,这些苯系物主要是由丽东化工、大炼油工程以及油港中的一些装置和储罐通过挥发无组织排放出来的,经统计分析出它们的特性、排放量见下表 3-1。

苯系物通过吸入、食入、经皮肤吸收进入人体内;高浓度的苯对人的中枢神经有麻醉作用,引起急性中毒;长期接触苯者对造血系统有损害,引起慢性中毒。当人体才吸入 4000ppm 以上的苯,就会出现头痛、欲呕、步态不稳、昏迷、抽痉及心律不整、黏膜及肺刺激性、中枢神经有抑制作用等症状时。吸入 14000ppm 以上的苯会立即死亡。致突变性: NDA 抑制,人体的白细胞为 2200mol/L。姊妹染色单体交换: 人体的淋巴细胞 200mol/L。被认为人类致癌物质。

表 3-1 苯系物的特性以其排放量

Tab.3-1 the characteristics and its emissions of benzene

危险因子	苯	甲苯	二甲苯
闪点	-11	4	25
沸点	80.1	110.6	144
爆炸极限	上限	1.2	1.1
	下限	0.7	0.7
危险性类别	第 3、2 类中闪点易燃物		
燃烧爆炸危险度	5.7	4.8	5.4
火灾危险性分类		甲 B	
毒性	LD50mg/kg	48	5000
	LC50mg/m ³	31900	20003
毒物分级	I	III	III
排放量 (Kg/h)	16.93	12.02	49.83
遇明火、高热极易燃烧爆炸。与氧化剂能发生强烈的反应。			
其他特性	流速过快，容易产生和积聚静电。其蒸气比空气重，能在较低处扩散到相当远的地方，遇明火会引着回燃。		

甲苯进入体内以后约有 48%在体内被代谢，经肝脏、脑、肺和肾，最后排出体外，在这个过程中会对神经系统产生危害，实验证明当血液中甲苯浓度达 1250mg/m³时，接触者的短期记忆能力、注意力持久性以及感觉运动速度均显著降低。

二甲苯蒸气经呼吸道进入人体，有部分经呼吸道排出，吸收的二甲苯在体内分布以脂肪组织和肾上腺中最多，后依次为骨髓、脑、血液、肾和肝。工业用二甲苯三种异构体的毒性略有差异，均属低毒类。据报告，三名工人吸入浓度为 43.1g/m³的二甲苯，18.5 小时后一名死亡，尸检可见肺淤血和脑出血，另两名工人丧失知觉达 19-24 小时，伴有记忆丧失和肾功能改变。此外，吸入高浓度的二甲苯可使食欲丧失、恶心、呕吐和腹痛，有时可引起肝肾可逆性损伤。同时二甲苯也是一种麻醉剂，长期接触可使神经系统功能紊乱。

苯系物在短时间内对人没有特别大的影响，但是它们有累积性、长期性等特性。此外，如出现上节提到的烟流熏蒸地面现象，这些危险因子在大气中出现高浓度污染，会直接危害到石化区的生态安全，最严重的是将直接导致厂内员工以及周边居民突发各类中毒症状，严重者甚至中毒身亡。

在没有烟流熏蒸地面的情况下，通过长时间的接触，特别对厂区内的工作人员的身体机能有很大的危害，此外工厂企业周围的居民的生活、身体也

会受到严重影响。

3.3.1.4. 非甲烷总烃对石化区生态的危害

非甲烷总烃(NMHC)通常是指除甲烷以外的所有可挥发的碳氢化合物(其中主要是 C2-C8),同上述的苯系物很类似,它的主要产生源为丽东化工和大炼油工程中的一些设备及储罐的无组织排放,这些无组织排放的总量为 89.01Kg/h,大气中的 NMHC 超过一定浓度,除直接对人体健康有害外,在一定条件下经日光照射还能产生光化学烟雾,对环境和人类造成危害。

通过对大气中的危险因子进行分析,从中可以可出,氮氧化物和非甲烷总烃达到一定量是会产生化学烟雾。化学烟雾会使石化区的生态安全受到影响。

化学烟雾对石化区居民、动物的身体健康的危害:

当人和动物吸入的光化学烟雾浓度为 0.1ppm 时,就会感觉到特殊的臭味并可到达呼吸系统的深层,刺激下气管道黏膜,引起化学变化,使染色体异常,使红血球老化;同时还对人和动物的眼睛、咽喉、鼻子等有刺激作用。此外哮喘病患者接触了光化学烟雾就会加速哮喘发作,引起呼吸障碍、慢性呼吸系统疾病恶化、损害肺部功能等症状;长期吸入氧化剂能降低人体细胞的新陈代谢,加速人的衰老,造成皮肤癌等。1943 年美国洛杉矶发生的首宗事件曾引起 400 多人死亡。

光化学烟雾明显的危害是对人眼睛的刺激。在美国加利福尼亚州,该州 3/4 的人患有红眼病,导致这一现象发生的原因就是光化学烟雾作用。1970 年日本东京出现了同样的现象,有 2 万人患了红眼病,研究证明发生这一现象的原因还是光化学烟雾作用。研究表明光化学烟雾中含有一种极强的催泪剂过氧乙酰硝酸酯(PAN),其催泪作用相当于甲醛的 200 倍。另一种眼睛强刺激剂是过氧苯酰硝酸酯(PBN),它对眼的刺激作用比 PAN 大约强 100 倍。而且空气中的飘尘可以轻易的把浓缩眼刺激剂送入眼中。

化学烟雾对植被的危害:

化学烟雾通过影响植物细胞的渗透性,使高产作物的高产性能消失,甚至使植物丧失遗传能力。植物受到光化学烟雾的损害,开始时表皮褪色,呈蜡质状,经过一段时间后色素发生变化,叶片上出现红褐色斑点。光化学烟

雾中的 PAN 使叶子背面呈古铜色或银灰色，影响植物的生长，降低植物对病虫害的抵抗力。

3.3.2. 海洋危险因子对石化区及胶州湾海域的危害

3.3.2.1. 海上溢油事件

根据我国交通部海事局的相关历史记录，对 1973 年-1996 年间我国沿海码头 50t 以上的重大溢油事件发生原因进行统计和分析，从分析的过程中我们可以看到，溢油的原因主要包括船与船（码头墩柱）的碰撞、翻船、触礁、失火、船体自身故障以及搁浅等。显而易见，在所有的原因中船与船（码头墩柱）的碰撞、翻船、搁浅所占比例较大，通过研究发现船在船舶交通密集的区域（地段）发生碰撞的情况比较多；根据参考相关文献^[60,61]和对一些船员的调查发现，船体搁浅事故也是发生在近海岸地段的比较多，因此可以认为，海上溢油事件发生几率较大的地方是在近海岸交通密度较大处，也就是在码头附近。

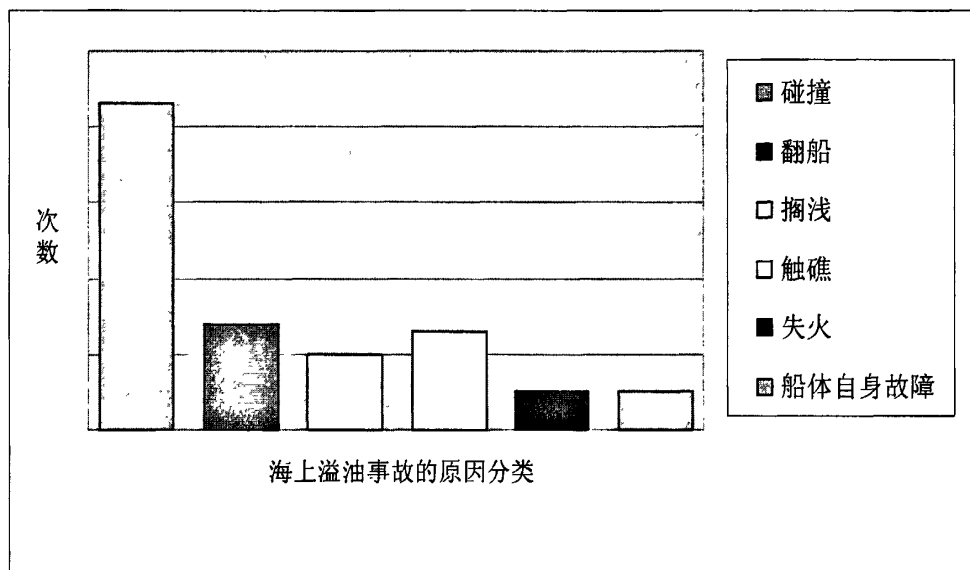


图 3-4 73-96 年国内海上溢油事故的原因分类统计

Fig.3-4 73-96 years the classification statistics of the maritime oil spill accident's reason

同样对胶州湾内海上溢油事故的原因进行统计发现碰撞、搁浅仍然是发生事故的重要原因，这样一旦在黄岛石化区附近的海域上发生溢油事件之后就将会影响到海域生态环境以及大气环境。

溢油事件对胶州湾海域生态环境的影响:

在黄岛石化区附近的胶州湾海域内还存在着一些珍惜的海洋动物如:国家一类保护动物半索动物门肠鳃类动物——黄岛长吻虫 (*Saccoglossus wangtanensis*) 和多鳃孔舌形虫 (*Glossobalanus polybranchioporus*), 这几种珍稀动物在研究无脊椎动物向脊椎动物演化上有重要价值。国家二类保护动物头索动物门的文昌鱼 (*Branchiostma belchers*), 对研究生物演化具有重要研究价值, 有的海洋动物的栖息地距石化区码头的距离仅有 2Km, 最远的就是 2004 年 9 月 14 日青岛市政府批准建立“青岛市文昌鱼水生野生动物市级自然保护区”距离石化区码头也仅仅是十几千米, 文昌鱼保护区位于胶州湾口外、竹岔岛东北、大桥岛以东的 61.81km^2 的海域, 是文昌鱼分布最为密集的区域。

在石化区码头附近还有一些渔业养殖和盐田, 溢油事件一旦发生, 将会使得这些珍惜海洋动物的死亡、甚至是濒临灭绝。对于渔业养殖和盐田则会影响当地经济的增长, 人们过多食用体内含有有毒有害物质的海产品, 会导致中毒、患有癌症疾病, 甚至是死亡。

溢油事件对居民的影响:

有些油产品易挥发、不易溶于水, 如苯系物, 这些物质在海上发生溢油, 虽然对海域生态环境的影响很小, 但是极易挥发到空气中, 通过扩散将会到达人口密集区, 这些有毒物质若到达人口密集区时的浓度较少则为轻度中毒表现是头痛、头晕、四肢无力、短暂意识障碍、恶心、呕吐、易激动、步态不稳等。重度中毒患者可引起中毒性脑病, 致癌。若扩散到达黄岛电厂或者其他有明火的企业则会发生爆炸导致火灾。

3.3.2.2. 危险物对海洋生态的危害

石化区内企业工厂产生的废水一部分是在厂区内的污水处理场处理后直接排海, 另一部分是送到水质净化厂进行处理后在排入胶州湾海内。虽然每个入海排污口处的污染物都满足胶州湾海水水质的排放标准, 但是, 根据 2001-2005 年的黄岛环境质量监测报告, 对黄岛石化区附近的胶州湾监测点进行数据统计分析, 以无机氮和磷酸盐类为例见图 3-5, 发现海水水质中的污染物呈现上升趋势, 导致这一现象的原因是, 近年来, 在胶州湾沿岸不断

有新建、改扩建且产污量较大的企业，如 2006 年丽东化工改建了 9 万吨的芳烃工程、黄岛电厂的四期工程目前都以投入生产和使用等等。胶州湾沿岸工厂企业的增多，这样就增加了胶州湾内污染物质的排放速率，导致胶州湾内自净速率的降低，进而增加了胶州湾内危险物质的累积量。同时也严重破坏了海洋生态平衡，根据青岛市 2003 年海洋环境质量公报显示，胶州湾总面积的五分之三海域存在着中度污染和轻度污染。胶州湾的生态环境受排放污染物影响遭到严重破坏，生物多样性迅速减少。胶州湾河口附近潮间带生物种类在上世纪六十年代有 54 种之多，到七十年代减少到 33 种，到八十年代只剩下 17 种。

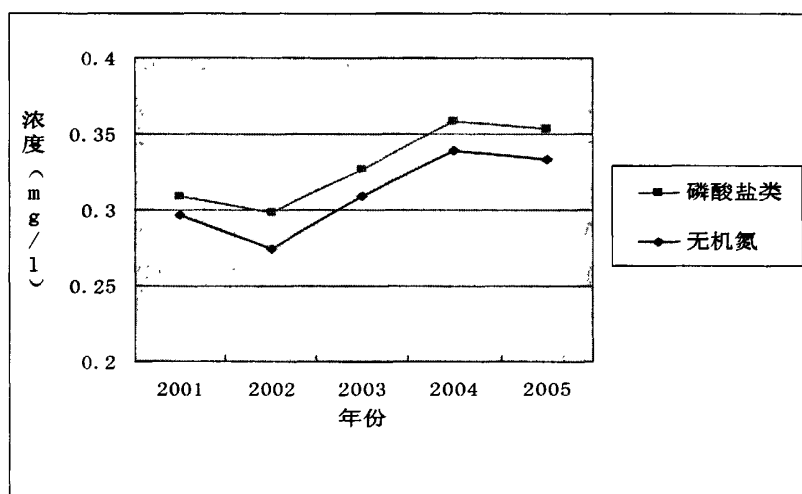


图 3-5 2001-2005 年胶州湾海水水质变化图

Fig.3-5 2001-2005 years the picture of Jiao Zhou Bay water quality

3.3.2.3. 挥发酚类对海洋生态的危害

在近几年的黄岛环境质量检测报告中还发现，利用相同监测仪器对海水水质进行监测的数据统计中，在 2005 年以前各个监测点上未检测到挥发酚类，但是从 2006 年以后就检测到了挥发酚类物质的浓度，这些物质的毒性较强，对生物机体危害较大。当水体中挥发性酚含量达到 5mg/L 时，可导致鲫鱼死亡。当水中挥发性酚含量为 0.1-0.2mg/L 时，可使鱼肉带有异味，失去食用价值。

人食用了被挥发性酚污染的鱼类后，会使人体蛋白质凝固，破坏细胞组织，引起肾、心脏、肝和神经系统的损害。低浓度的污染可引起慢性中毒，表现为贫血以及各种神经系统病症。

3.3.2.4. 石油类污染物对海洋生态的威胁

通过相关资料的分析,以及对近海沿岸的海水进行抽样检测发现某些检测点上石油类污染物有超标的现象。在波浪和潮汐的作用下,油类污染物与海水之间的混合加快,溶解或乳化作用使海水中的油类含量逐渐增高,当海水中油类浓度达到 1.0mg/L 或其水溶性成份含量达到 $1\mu\text{g/L}$ 时,就会对敏感生物产生危害。鱼类在石油浓度为 0.01mg/L 的海水中存活 24 小时,即可沾上油味。油类对鱼卵和仔鱼的危害很大,将比目鱼卵置于含油 $0.01\text{--}0.1\text{mg/L}$ 的海水中,48h 后鱼卵就停止发育。海水含油浓度为 0.1mg/L 时,所有孵出的幼苗均有缺陷,并只能存活 1-2 天;含油浓度 0.05mg/L 时,畸形幼鱼占 24-40%,它们的生命力很弱,容易受刺激而死亡。可见,在海洋对海洋生物的影响危害最大的是石油类污染物。

这些石油类污染物富集于生物体内,不仅改变了海洋生态环境质量,而且直接对生物产生危害。对生物危害的同时也可通过食物链危害人的健康和生命。

3.3.2.5. 氨氮类的无机氮对胶州湾海域内生物的危害

在一些相关的报道和资料中提到,在胶州湾海域内的一些监测点上无机氮超标,超标的原因有两个:一是由于各个排污口处排放量的增多,二是由于海上的一些养殖区的渔船作业时排放过多无机氮,导致当氨溶于水时,其中一部分氨与水反应生成铵离子,一部分形成水合氨。水合氨是引起水生生物毒害的主要成分,而氨离子相对而言基本没有毒。氨氮是水体中的营养物质,可导致水体富营养化,是水体中的主要耗氧污染物,对鱼类及某些水生生物有毒害。因此,我们就必须考虑其存在过量导致海水水质的恶化以及对胶州湾内内生存的属于国家二类保护动物的有头索动物门文昌鱼和养殖区危害。

3.3.2.6. 硫化物对胶州湾海域内生态的危害

硫化物可通过释放、水体对流等方式进入水体,影响水中和泥水界面中生物的生存。水质和底质中的硫化物可与生物血液中的血红蛋白结合产生硫血红蛋白,生成如巧克力样的黑色血,降低了机体中血液的携氧能力。硫化物对生物的组织具有很强的刺激和腐蚀作用,可使组织产生凝血性坏死,引

起生物呼吸困难窒息死亡。硫化物中毒时鱼呈现褐色，鳃盖紧闭，鱼血呈巧克力色，血液、肾中硫代硫酸盐水平增加，大于 2mg/L 以上可致生物死亡。

3.3.3. 石化区内企业对其生态的影响

3.3.3.1. 有毒有害物质的泄漏

有毒有害物质的泄漏重点是考虑以丽东化工和大炼油为主的化工企业，苯、甲苯、二甲苯、硫化氢、原油等危险物品的泄漏。根据对大炼油工程和丽东化工的实地考察和调研了解到，出现泄漏的原因主要是由于传送危险物品的阀门管线的破损，人为操作设备不当导致。这些危险品的生产装置或储存设施一旦发生泄漏后，在未被引燃发生火灾爆炸和未被及时收集的情况下，如果泄漏的有毒有害液体物料冲出装置围堰或储罐的防火堤，将影响到土壤、地下水层；而对一些有毒性的气体，则会通过大气扩散到周围环境中，导致居民发生中毒现象；一旦遇到明火，则会引发火灾爆炸。

泄漏对土壤、地下水的危害：

石油化工项目发生泄漏事故时，泄漏物料可能对周围土壤造成污染，影响土壤中的微生物生存，造成土壤的盐碱化，破坏土壤的结构，增加土壤中石油类污染物，对土壤环境造成局部斑块状的影响。进一步的渗透将会进入地下水中影响水质，虽然目前黄岛石化区的地下水未被开采利用，但是由于对于胶州湾附近的地下水而言，海水出现倒灌现象之后，地下水中的危险物将会进入到海洋中。

泄漏对周围居民生活的直接危害：

对于泄漏的危险物品为可挥发性物质或直接是有毒气体，这些危险物质通过扩散进入周围居民区将导致大量居民出现中毒或者死亡。

以丽东化工中苯储罐发生泄漏为例，通过分析黄岛石化区常年的气象条件，总结出最不利的气象条件为静风和微风条件，因此，利用烟团模式和静风模式，在静风和微风条件下，计算出泄漏事故源下风向不同距离处地面空气中苯的浓度，具体预测结果列于表 3-3 和表 3-4，苯的不同浓度阈值对人会造成不同程度的危害，根据《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)和《工业企业设计卫生标准》(TJ36-79)中，将苯在厂界和居民区允许排放的浓度作为风险分析的参考，苯不同浓度阈值所对应的危害见表 3-2，鉴于

表 3-3 和表 3-4, 可以看出在微风、F 类稳定度气象条件下, 所造成的危害范围最大。半径范围在 0m-32m 内为半致死区域、32m-53m 内为危害生命区域, 半径 53m-210m 内为严重中毒和一般中毒区域, 浓度超过居民区最高允许浓度限值范围为 1870m。所以, 当丽东化工内的苯储罐泄漏以泄露蒸发点为中心, 半径为 1870m 区域导致的大气污染对周围居民区的影响最大, 而在这个范围内, 人口密集区分布非常多, 有学校、医院、多处居民区。一旦发生泄漏对石化区内的居民以及生态的危害将难以想象。

3.3.3.2. 火灾爆炸来源分析及其危害

黄岛石化区的大多数工厂企业内都有易燃易爆的危险物质和危险生产设备。像大炼油工程中的芳烃联合装置单元和轻石油油质改质装置; 丽东化工中重整、芳烃抽提单元和对二甲苯装置单元; 黄岛油库的储罐等等, 对于这些装置单元内, 不同的设备, 不同生产加工单元所产生的危险因素也不相同, 通过分析总结归纳了一些主要的风险因素, 见表 3-5。

通过对表 3-5 的分析, 结合 1950 年-1990 年 40 年间, 国内石化行业发生的经济损失超过 10 万元以上的 204 起事故原因, 见图 3-6, 我们可以得到主要的事故起因为以下几点:

[1]. 设备出现故障

当罐体、设备出现腐蚀、设备材质不符合要求、存在制造缺陷、老化、年久失修等情况时, 都可能造成设备管道、管件损坏破裂, 大量物料外逸。特别是焊缝或管线法兰、阀门泄漏, 遇明火发生爆炸, 燃起大火。

在不知情的情况下, 设备、罐体上的仪表或者电器失灵导致设备无法控制出现反应失控等现象导致危险物品的泄漏, 遇到明火发生火灾爆炸。

[2]. 人为的操作失误

在生产时开错阀门、忘关阀门、超压运行、温度过高或过低、物料加多或加少等, 造成反应异常, 设备压力聚然升高, 进错或出错料等, 造成危险物料直接外逸。油罐随着收油和付油作业, 油的液位都在发生上升或下降的变化, 如果油罐液位计控制不好、或发生误操作都有可能发生冒顶跑油引发事故的危險。违反维修规程, 在正常检修和抢修时未按规定将系统切断吹扫, 使系统中物料逸出。另外, 反应容器温度、压力过高等生产系统失控, 监控

系统失控，维修不及时，供水供电系统故障等均会造成火灾发生爆炸。

[3]. 自然灾害等环境条件导致

当发生自然灾害，如台风、地震、雷电、公共消防设施支援，不够气候骤冷、骤热等都可能

表 3-2 苯的不同浓度阈值所对应的危害及风险评价标准

Tab.3-2 The different concentration threshold of Benzene corresponding to hazards and risk evaluation standards

物质	不同危害的浓度阈值 mg/m^3				评价标准 mg/m^3	
	半致死	危害生命	严重中毒	一般中毒	厂界标准	居民区最高允许浓度
苯	61000	24000	4800	1600	0.41	2.4

表 3-3 事故发生后静风条件下在不同下风距离处苯的最大浓度(mg/m^3)(释放速率为 $7.38\text{kg}/\text{s}$)

Tab.3-3 after the accident, under the calm wind conditions at the under wind different distances the maximum concentration of benzene (mg/m^3) (Release rate is $7.38\text{kg} / \text{s}$)

下风距离 (m)	大气稳定度类型				
	B	C	D	E	F
100	161.5802	360.707	629.2472	1072.165	1432.989
200	40.1997	89.3741	155.5529	265.6007	356.8832
300	17.7112	39.0673	67.592	115.1231	154.8434
400	9.8407	21.4653	36.8196	62.4432	84.017
500	6.199	13.3283	22.6088	38.1238	51.3037
600	4.2222	8.9195	14.925	24.9895	33.6317
700	3.0318	6.2727	10.3279	17.1475	23.0789
800	2.2606	4.5661	7.3792	12.1332	16.3307
900	1.7335	3.4072	5.3911	8.7671	11.8004
1000	1.3579	2.5888	4.0007	6.4262	8.6497
1500	0.4842	0.7555	0.9994	1.4801	1.9924
2000	0.2	0.2358	0.2509	0.3317	0.4465
2500	0.0861	0.0708	0.0569	0.065	0.0875
3000	0.0368	0.0195	0.0111	0.0106	0.0143
3500	0.0153	0.0048	0.0018	0.0014	0.0019
4000	0.006	0.001	0.0002	0.0002	0.0002
4500	0.0023	0.0002	0	0	0
5000	0.0008	0	0	0	0
5500	0.0003	0	0	0	0
6000	0.0001	0	0	0	0

表 3-4 事故发生后微风条件下在不同下风距离处苯的最大浓度 (mg/m^3)
(释放速率为 $7.38\text{kg}/\text{s}$)

Tab.3-4 after the accident, under the gentle wind conditions at the under wind different distances the maximum concentration of benzene (mg/m^3) (Release rate is $7.38\text{kg} / \text{s}$)

下风距离 (m)	大气稳定度类型				
	B	C	D	E	F
100	470.749	1461.101	2982.913	5200.903	7220.499
200	117.4963	364.8787	745.9757	1304..926	1823.044
300	52.0281	161.451	329.9895	576.8805	806.8697
400	29.1007	90.1304	183.95	320.7965	448.8737
500	18.4794	57.0315	116.0283	201.4302	281.9035
600	12.7027	38.9794	78.856	135.9067	190.2219
700	9.2138	28.0344	56.2085	95.8435	134.1555
800	6.9449	20.8815	41.32	69.419	97.172
900	5.3857	15.9388	30.9696	51.0184	71.4168
1000	4.2677	12.3747	23.4701	37.7089	52.7868
1500	1.6073	3.856	5.7817	7.4519	10.4319
2000	0.6874	1.1353	1.0643	0.9204	1.2885
2500	0.2953	0.27	0.1213	0.0584	0.0817
3000	0.1202	0.0481	0.0078	0.0017	0.0024
3500	0.0448	0.0061	0.0003	0	0
4000	0.015	0.0005	0	0	0
4500	0.0044	0	0	0	0
5000	0.0012	0	0	0	0
5500	0.0003	0	0	0	0
6000	0.0001	0	0	0	0

表 3-5 黄岛石化区内主要的危险生产设备以及主要风险因素分析表

Tab.3-5 The main risk production facilities and risk factors table
of Huang Dao petrochemical area

危险部位	主要风险因素分析
加 热 炉 和 反应器区	反应器中物料温度在 500℃ 以上，预加氢部分也在 300℃ 以上，其压力分别为 0.6MPa(g)和 3.0MPa(g)左右，介质为易燃易爆的氢气和汽油，火灾、爆炸危险性较高。 另外，再生器需用空气对待生催化剂进行烧焦。系统内氮气封失效后，再生后的催化剂可能将氧气带至反应器，可能会造成反应器超温和爆炸。
压缩机区	有经过升压参加反应的氢气，氢气是易燃易爆物质，一旦泄漏十分危险。
氢 气 再 接 触区	氢气再接触区压力在 2.0MPa 以上，温度接近零度（摄氏），使用空气和水冷降温，氢气泄漏易引起火灾、爆炸。
机 泵 、 冷 换、产品分 离、芳烃抽 提等	介质为氢气、汽油等产品，其主要危险是高温物料发生泄漏自燃着火和温度低于 200℃ 以下的物料泄漏，低温泄漏虽不自燃，但如果存在火源或泄漏喷出时产生静电也会发生爆燃。 各塔底都使用重沸炉作为热源，在冬季，燃料气可能形成凝液，若凝液泄漏，遇火有发生火灾的危险。 芳烃抽提塔为液—液操作，如果掌握不好，塔易超压安全阀起跳，大量可燃物质如果进入了低压管网，将影响低压管网的正常排放，如果带油进入火炬则影响更大。如果安全阀不起作用，抽提塔的某些薄弱环节如塔的界面计、压力表管嘴等处有可能发生大量泄漏，装置大量泄漏物料的危险性是可想而知的。
异 构 化 和 歧 化 反 应 器	异构化及歧化反应是在 380℃-420℃的条件下进行反应的，反应介质为氢气、甲苯、二甲苯、C9 芳烃，由反应加热炉供热。在这个温度下为气相反应，因此要求反应系统流程畅通，如果系统中任何部位发生局部冷凝，都会使流程不通。由于热量不能及时带走，可能造成反应器局部飞温，烧坏催化剂，甚至发生火灾爆炸。
塔 区	反应器操作压力过高，造成安全阀起跳致使大量跑油，甚至发生重大火灾事故。 塔顶含有大量轻质油和反应尾气。反应尾气为不凝气体，并入燃料气系统回收利用。如轻质油和反应尾气泄漏扩散遇火源就会闪爆起火。
循 环 氢 压 缩机系统	循环氢压缩机系统通过循环氢压缩机实现氢气在反应气系统循环利用。氢气的爆炸极限为 4.1%-74.2%，在空气中扩散遇明火易发生爆炸事故。
换 热 系 统	换热区的换热器在框架上分排分布，在高温热力作用下，有可能会发生泄漏，引发火灾爆炸事故发生。
各类锅炉	集中的锅炉中心和分散的锅炉，这些锅炉可能由于压力表、安全阀、仪表失灵、积灰、结垢、水循环不正常、以及人为的操作不当等等引发超压、锅筒爆炸、煤斗内着火、或者长期处在高温高压等操作条件下，缺乏相应的安全知识等因素可能造成锅炉的爆炸，进而引发火灾。
加热炉	加热炉出口转油线因高温油气冲刷，含硫物质腐蚀，导致转油线减薄、穿孔，引起火灾事故。加热炉点火时，有可能发生回火伤人事故，冬季瓦斯带液有引发炉底火灾的可能。配管属压力管道，一旦发生瓦斯泄漏导致火灾爆炸事故，作为压力设备其后果会更加严重。

续表 3-5

Continued Tab. 3-5

危险部位	主要风险因素分析
泵和管带	油泵输送高温热油时，若端面密封撕开或泵入口阀门、放空泄漏，热油会自燃起火。 在维修热油泵时，若事前处理不当，维修人员不认真检查就拆泵，可能发生热油泄漏事故，可能导致火灾事故。 本装置由于存在高纯度的氢气，碳钢制压力容器和管线可能发生氢脆破裂，造成氢气泄漏，发生火灾爆炸事故。 高温重质油部位排凝、放空采样时若无采样冷却器，开阀过快或开度过大，热油可能喷泄自燃着火。
储罐区	C5 储罐区：装卸、倒罐中，罐体与管线连接处管道或阀门破损，异戊烷外溢，遇火源引起火灾爆炸事故。苯。甲苯储罐区：罐与管线连接处管道或阀门破损，苯泄漏进入环境。引起苯中毒。其他罐区：操作失误、维护保养不当使得塔液泛、密封点损坏、管线堵塞漏料会导致物料泄漏，遇火源发生火灾、爆炸。从各厂区的平面布置图来看，装置与罐区的的距离，及罐区直接的距离都很近，若装置单元发生爆炸一起火灾，再加上海风的作用很快产生连带作用引起其它罐区也发生火灾爆炸。

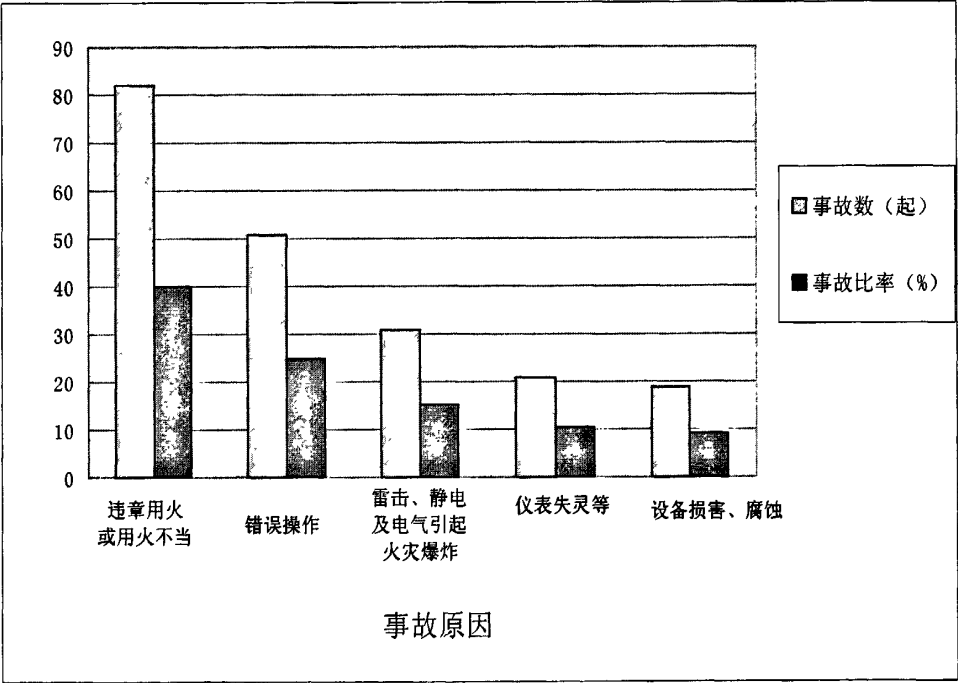


图 3-6 59-90 年国内石化事故起因分析

Fig.3-6 59-90 years Cause of the domestic petrochemical accidents

对周围生态环境的危害：

通过上几节的分析，加之，现场调研发现生产装置与装置之间、灌区与装备之间以及企业和企业间相邻的都比较近，这样就很容易导致连锁反应，

进而引发有毒有害物质的泄露同时会有多起火灾爆炸发生,会导致石化区内的建筑物、树木等被严重损害;大量的人员伤亡,造成重大的经济损失,最重要的是导致黄岛石化区的生态出现难以修复原状的灾难。

3.3.3.3. 噪声对石化区居民的影响

对于像丽东化工和大炼油工程这些大型的化工企业,它们的噪声源主要是来自于机泵、压缩机、空冷器、加热炉非正常情况下使用的火炬等。而对于黄岛电厂它的噪声源主要是发电机组、加热炉等。这些噪声源的噪声值在 85-110 分贝之间,它们连续工作会影响场内工作人员的听力以及周边居民的生活与健康,长期下去会导致破坏人体神经,使血管产生痉挛,加速毛细胞的新陈代谢,从而加速周围居民衰老期的到来。最常见的病症是听力下降、耳鸣、耳痛、头昏、头痛和噪音性耳聋。此外特别强调一点,就是火炬,它的噪声值可达 120 分贝以上,但是火炬一般在非正常情况才使用,因此在非正常生产的情况下噪声值在短时间内会给工作人员以及周边居民刺激性的耳鸣。这一危害也不可忽视。

其他的噪声源就是油轮靠岸时的鸣笛声,以及出入企业的车辆和火车等交通工具产生的交通噪声。它们的噪声值在 90-110 分贝之间,

3.3.3.4. 固废暂存区对石化区生态的影响

在石化区内,每个厂内都有固废暂存区,但是有些暂存区内,暂存的是些含有有害成分的废溶液、废催化剂、废油污泥等,这些有害成分中的一些可能通过蒸发或者渗透进入到空气或土壤里周边环境造成影响,另外,存放着一些像煤渣之类的废物如果管理储存不当,则会出现扬尘现象,影响周围环境。

而对于一些化工厂来说,厂区内处理的废水污泥中含有不同的烃类数量最多,有易燃的危险性。污泥还含有多种环芳烃,毒性也很大。所含的酚类,毒性和刺激性都很强烈,对人体皮肤有腐蚀性。含油污泥中的氮化合物、硫,是致臭的主要污染物,会刺激人体器官,引起过敏和其它症状。

这些废物暂时性的存放也会渗漏的土壤中会影响一些植被的生长,经过进一步的扩散到地表水,污染水质;或扩散到海洋中危害到海洋水质及海洋生物的生长。

3.4. 黄岛石化区生态安全评价等级的建立

当石化区的生态安全指标体系建立好之后，为了使评价得到合理、可靠的结果，对所有准则层内的指标提供一个等级标准，见表 3-6。

表 3-6 黄岛石化区生态安全评价等级划分表

Tab.3-6 Huang Dao petrochemical classification of ecological security evaluation table

影响因 素指标	制约因素指标	很安全	安全	较安全	危险	很危险
		I	II	III	IV	V
		1	0.8	0.6	0.4	0.2
	海上溢油	没有	小	较小	大	很大
海洋 单位： Mg/L	石油类污染物	≤0.05	0.05-0.30	0.30-0.50	0.50-1	≥1
	氨氮类无机氮	≤0.20	0.20-0.30	0.30-0.40	0.40-0.50	≥0.50
	挥发酚	≤0.005	0.005-0.01	0.01-0.05	0.05-0.10	≥0.10
	活性磷酸盐	≤0.01	0.01-0.02	0.02-0.03	0.03-0.045	≥0.045
	硫化物	≤0.02	0.02-0.05	0.05-0.10	0.1-0.25	≥0.25
	二氧化硫	≤0.02	0.02-0.06	0.06-0.1	0.1-0.15	≥0.15
	氮氧化物	≤0.02	0.02-0.04	0.04-0.08	0.08-1.5	≥1.5
大气 单位： mg/m ³	PM ₁₀	≤0.04	0.04-0.10	0.10-0.15	0.15-0.25	≥0.25
	苯	0	0-0.4	0.4-0.8	0.8-1.5	≥1.5
	甲苯	0	0-0.4	0.4-0.6	0.6-2.4	≥2.4
	二甲苯	0	0-0.2	0.2-0.4	0.4-1.2	≥1.2
	非甲烷总烃	0	0-2	2-4	4-5	≥5
	有毒有害物质的泄露	没有	几乎没有	偶尔	一般	经常
	石化区自身					
	火灾爆炸概率	≤0.0001	0.001-0.0001	0.01-0.001	0.1-0.01	≥0.1
	固废暂存区（时间长短）	非常短	短	较短	较长	非常长
	噪声（dB）	≤45	45-50	50-60	60-70	≥70

等级划分的依据主要有：海洋中的危险因子所建立的标准参考了《地表水环境质量标准》、《污水综合排放标准》、《海洋水质标准》；大气中的危险因子所建立的标准是以《环境空气质量标准》中各级标准中的年均值，《大气污染物综合排放标准》、《大气环境质量标准（前苏联，美，日）》、《工业企业设计标准》和《恶臭污染物排放标准》无组织排放标准为依据；对于石化区中各因子的标准是参照了一些相类似的科学研究所得到的标准或者是结合资料数据进行分析比较得到，噪声参考了《声环境质量标准》中各类环境功能区的夜间标准建立的。

根据上述建立标准的过程中，会出现只有三级的指标因子，则需调整为五级，调整的方法是在最后的等级处插入低一级的标准中的二级标准，例如二氧化硫所用的是年平均值，但是只有三级，所以在“IV”和“V”的标准中插入了日平均值的二级标准。

3.5. 石化区生态安全指标体系中数据的来源

3.5.1. 指标体系中各类因子权重的确定

由前面提到的层次结构模型，见图 3-3。

对同一层次的各因子进行打分，按照三标度比较标准，确定其相对权重，其排列顺序为 A 为石化区生态安全性，B1 为大气影响指标，B2 为海洋自身指标，B3 为石化区自身影响指标，C1 为二氧化硫，C2 为氮氧化物，C3 为 PM₁₀，C4 为苯，C5 为甲苯，C6 为二甲苯，C7 为非甲烷总烃，C8 为海上溢油，C9 为石油类污染物，C10 为氨氮类无机物，C11 为挥发酚类，C12 为活性磷酸盐，C13 为硫化物，C14 为有毒有害物质的泄露，C15 为火灾爆炸概率，C16 为固废暂存区（时间长短），C17 为噪声，所得判断矩阵如下表 3-7-表 3-10 所示：

表 3-7 判断矩阵 A-B

Tab.3-7 Identification matrix A-B

A-B	B1	B2	B3
B1	1	0	2
B2	2	1	2
B3	0	0	1

表 3-9 判断矩阵 B2-Ci

Tab.3-9 Identification matrix B2-Ci

B2-C	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C8	1	0	0	0	0	0
C9	2	1	0	0	0	0
C10	2	2	1	2	1	2
C11	2	2	0	1	0	0
C12	2	2	1	2	1	0
C13	2	2	0	2	2	1

表 3-8 判断矩阵 B1-Ci

Tab.3-8 Identification matrix B1-Ci

B1-C	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1	0	0	0	0	0	0
C2	2	1	0	0	0	0	0
C3	2	2	1	0	0	0	0
C4	2	2	2	1	1	1	0
C5	2	2	2	1	1	1	0
C6	2	2	2	1	1	1	0
C7	2	2	2	2	2	2	1

表 3-10 判断矩阵 B3-Ci

Tab.3-10 Identification matrix B3-Ci

B3-C	C14	C15	C16	C17
C14	1	1	0	0
C15	1	1	0	0
C16	2	2	1	2
C17	2	2	0	1

3.5.2. 大气影响指标中危险因子的数据来源

通过现场调查黄岛石化区内分布的企业、企业周边的人口密度以及周边植被，结合黄岛当地的气象条件，以黄岛地区最常风向、最大风速以及不同稳定度等即以最恶劣的气候条件为前提，对大气内的风险因子将有可能影响或危害的区域，进行筛选出有代表性，被影响或被危害最大的，这些区域是以小区、社区、村庄、学校、医院为单元。最终选出 12 个敏感点：徐戈庄、张戈庄、小石头、东盐滩、黄岛苏园、崇明岛东路社区、黄岛街道办事处、华欧北海花园、中集公寓、开发区二中、崇明岛路小学、华欧医院。

这些敏感点上大气指标中的危险因子数据部分是青岛市黄岛监测站提供的，还有部分则是根据黄岛石化区中部分企业自行对其周围敏感点不定时监测的所得，通过对数据进行整理得到 2008 年的年均值浓度见表 3-11。

表 3-11 2008 年黄岛石化区内各敏感点上的危险因子年均值浓度（单位：mg/m³）

Tab.3-11 2008 year Huang Dao petrochemical sensitive point the region's annual average concentration of risk factors (Unit: mg/m³)

敏感点	二氧化硫	氮氧化物	PM ₁₀	苯	甲苯	二甲苯	非甲烷总烃
徐戈庄	0.1051	0.05483	0.15476	0.03675	0.0801	0.204	0.759
张戈庄	0.09492	0.05594	0.13910	0.01078	0.0756	0.0795	0.756
小石头	0.10551	0.09644	0.15389	0.03677	0.0807	0.213	0.8
东盐滩	0.10634	0.06974	0.15115	0.0168	0.01607	0.088	0.66
黄岛苏园	0.05317	0.0385	0.0754	0.0154	0.06495	0.0972	0.84
崇明岛东路社区	0.06435	0.6754	0.0843	0.02154	0.06859	0.105	0.914
黄岛街道办事处	0.06945	0.07125	0.134	0.01354	0.07643	0.174	1.339
华欧北海花园	0.0624	0.0447	0.1194	0.0544	0.08146	0.0954	0.716
中集公寓	0.09147	0.0368	0.1275	0.0674	0.08496	0.158	1.076
开发区二中	0.08542	0.0366	0.1015	0.0543	0.0532	0.0743	0.874
崇明岛路小学	0.06520	0.0458	0.1104	0.0643	0.0643	0.0832	0.946
华欧医院	0.0504	0.0412	0.1075	0.0621	0.01543	0.0857	0.679
均值	0.07948	0.1056	0.12158	0.03784	0.06348	0.12145	0.86325

3.5.3. 海洋影响指标中危险因子的数据来源

根据黄岛石化区内企业排放污水的位置以及码头所在的位置调研分析

之后，在胶州湾海域上选择了 1#-5#五个点（图 3-7）进行数据收集和整理：黄岛监测站常年不定时的会在 2#、4#、5#监测点上进行抽样监测，而 1#和 3#点是黄岛石化区内部分企业自行进行不定时抽样监测，整理出 2008 年监测结果见表 3-12。

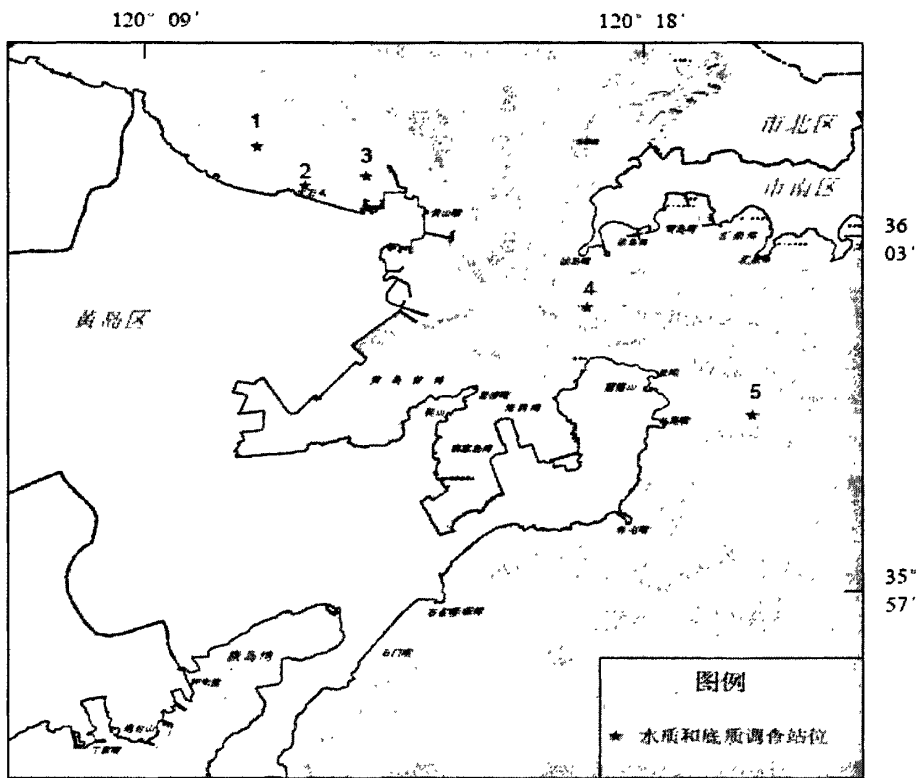


图 3-7 黄岛石化区附近胶州湾海域监测点布置图

Fig.3-7 The picture of Jiao Zhou Bay water near HuangDao
petrochemical monitoring points layout

表 3-12 2008 年黄岛石化区附近胶州湾海域各监测点上危险因子的浓度(单位：mg/L)

Tab.3-12 2008 year Jiao Zhou Bay waters near HuangDao petrochemical monitoring points on
the concentration of risk factors(Unit: mg/L)

监测点	石油类污染物	氨氮类无机氮	挥发酚类	硫化物	活性磷酸盐
1#	0.016	0.174	0.006	0.018	0.023
2#	0.018	0.384	0.002	0.019	0.024
3#	0.017	0.273	0.004	0.018	0.02
4#	0.017	0.238	0.002	0.018	0.0157
5#	0.015	0.101	0.002	0.017	0.016
均值	0.0166	0.234	0.0032	0.018	0.0197

3.5.4. 石化区自身影响指标中危险因子的数据来源

石化区自身的危险因子中只有火灾爆炸发生概率和噪声因子是定量的，

对于火灾爆炸发生概率是石化区大炼油工程和丽东化工两企业的技术人员，通过对本企业的分析提供的：2008 年石化区发生火灾爆炸的概率是 0.001；而噪声是采用了黄岛监测站提供的 2008 年石化区的城市区域噪声值为 66.7dB。

3.6. 指标层上各因子隶属度的确定

计算隶属度的过程中，对于定量的危险因子则是根据上述整理的数据和表 3-6 中的标准，应用到前面的半梯形隶属度函数中，计算得出定量指标的隶属度矩阵；对于一些模糊性的定性的危险因子像海洋影响指标中的海上溢油事故、石化区内的一些指标则通过邀请一些专家进行评估，这些专家结合黄岛石化区的现状以及平时的经验，同这些不确定因子的标准值进行对照评估，确定出它们的各级隶属度。最终得出第三层指标层的隶属度矩阵如下：

$$R_{B1-C} = \begin{bmatrix} 0.41 & 0.59 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.78 & 0.22 & 0 & 0 \\ 0.81 & 0.19 & 0 & 0 & 0 \\ 0.68 & 0.32 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.89 & 0.11 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0.05 \\ 0.14 & 0.86 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{B2-C} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.32 & 0.68 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{B3-C} = \begin{bmatrix} 0 & 0.35 & 0.65 & 0 & 0 \\ 0 & 0.87 & 0.13 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.85 & 0.15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.74 & 0.26 \end{bmatrix}$$

3.7. 黄岛石化区安全模糊评价系统

上述指标体系的建立以及判断矩阵和隶属度矩阵确定之后，即可进入到可视化的安全模糊评价系统中，见图 3-8-图 3-11。在图 3-8 中可以清晰明了的看出层次结构。而在图 3-9 中我们可以得到各层因子，经过了一致性检验较好的权重系数：

第一层权重集为： $W_{A-B}=[0.2605 \quad 0.1062 \quad 0.6333]$;

第二层权重集为：

$W_{B1-C}=[0.4327 \quad 0.2541 \quad 0.1540 \quad 0.0476 \quad 0.0476 \quad 0.0476 \quad 0.0164]$;

$W_{B2-C}=[0.3745 \quad 0.2430 \quad 0.1197 \quad 0.1529 \quad 0.0488 \quad 0.0612]$;

$W_{B3-C}=[0.4078 \quad 0.4078 \quad 0.0590 \quad 0.1254]$;

将图 3-9 所计算得到的权重系数与前面的隶属度矩阵引入到图 3-10 进行一级模糊计算，所得的结果进行了二级模糊评价计算并最终确定了 2008 年黄岛石化区的生态风险评价等级为“较安全”，见图 3-11。

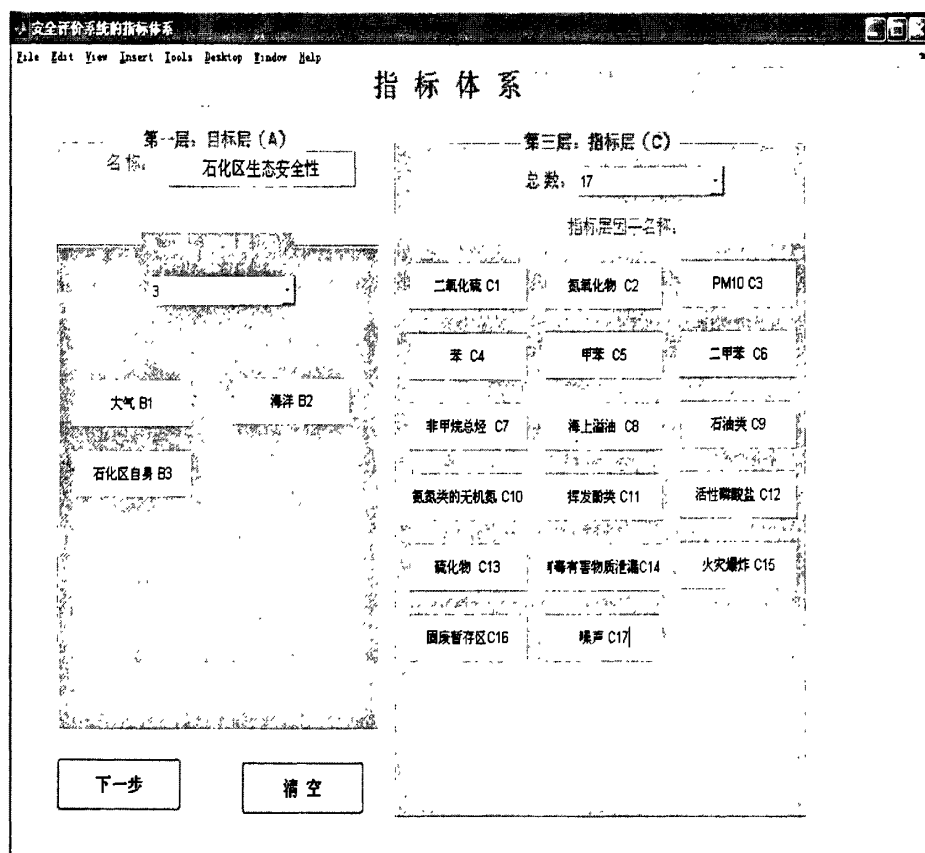


图 3-8 生态安全模糊评价系统的指标体系界面

Fig.3-8 The index system interface of ecological security fuzzy evaluation system

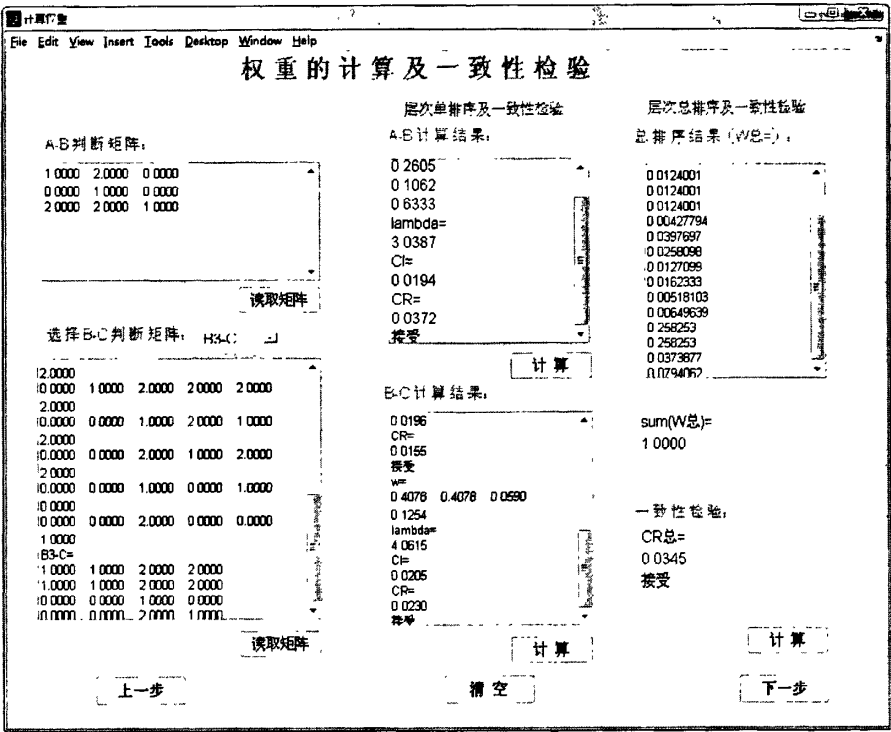


图 3-9 生态安全模糊评价系统的权重计算界面

Fig.3-9 The weight calculation's interface of ecological security fuzzy evaluation system

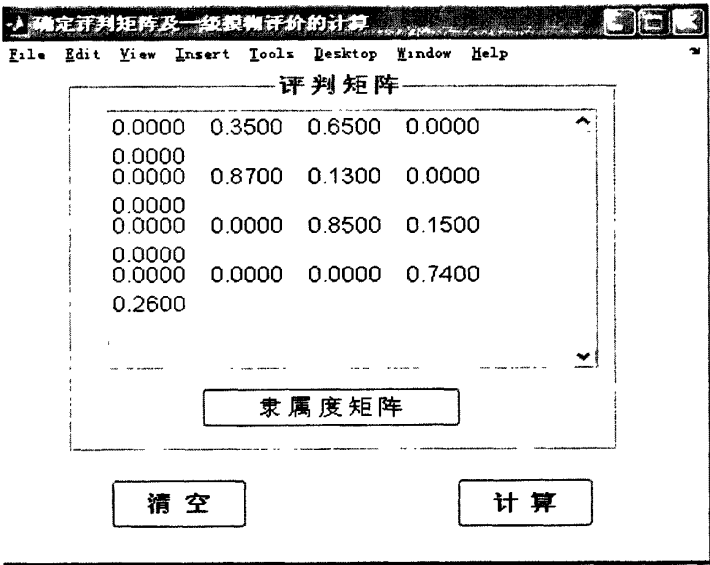


图 3-10 生态安全模糊评价系统的一级模糊计算界面

Fig.3-10 The multi-level fuzzy evaluation's interface of ecological security fuzzy evaluation system

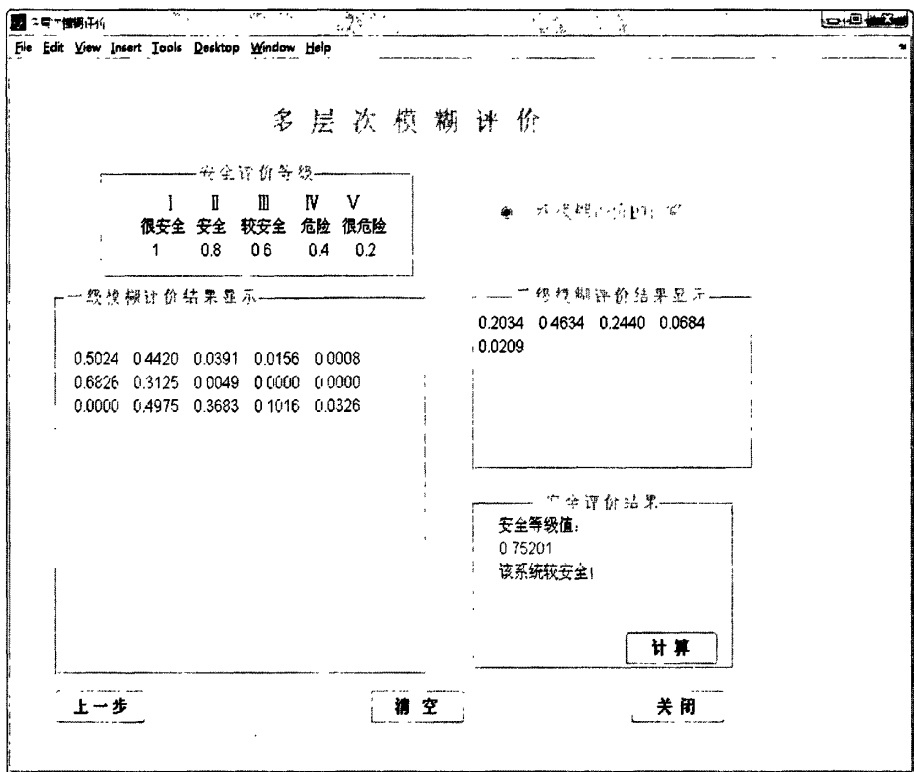


图 3-11 生态安全模糊评价系统的二级模糊评价界面

Fig.3-11 The multi-level fuzzy evaluation’s interface of ecological security fuzzy evaluation system

用同样的方法，我们将可视化的安全模糊评价系统应用到 2002 年和 2006 年的黄岛石化区的生态安全评价中，得到这两年的石化区生态安全等级，见下表 3-13。

表 3-13 2002-2008 年黄岛石化区生态风险评价结果

Tab.3-13 2002-2008 years Ecological risk assessment results of Huangdao petrochemical

	一级模糊评价结果	二级模糊评价结果	等级值
2002 年	[0.8254,0.1746,0,0,0; 0.6773,0.1885,0.1342,0,0; 0.2519,0.2217,0.3975,0.0946,0.0342]	[0.7259, 0.1832, 0.0772, 0.01, 0.0036]	0.92355
2006 年	[0.5869,0.3886,0.0245,0,0; 0.6434,0.2842,0.0724,0,0; 0,0.3867,0.4716,0.079,0.0627;]	[0.5468, 0.342, 0.0955, 0.0088, 0.007]	0.88258
2008 年	[0.5024,0.442,0.0391,0.0156,0.0008; 0.6826,0.3125,0.0049,0,0; 0,0.4975,0.3683,0.1016,0.0326]	[0.2034, 0.4634, 0.244, 0.0684, 0.0209]	0.75201

3.8. 结果分析

从最终评价结果来看, 2002 年的安全等级值为 0.9235, 在很安全和安全之间, 更靠近很安全值, 代表黄岛石化区的生态安全程度为很安全; 2006 年的安全等级值为 0.88258, 在很安全和安全之间, 但靠近安全值, 代表黄岛石化区的生态安全程度为安全; 2008 年的安全等级值为 0.75201, 在安全和较安全之间, 代表黄岛石化区的生态安全程度为安全; 虽然近几年黄岛石化区的生态安全等级变化幅度不大, 但是从时间发展上看, 黄岛石化区的生态安全是向危险状态发展, 说明黄岛石化区的生态安全状况是日趋恶劣, 形势十分严峻。

从一级模糊评价结果来看, 2002 年大气隶属于很安全的程度最大, 隶属于安全的程度次之, 却没有隶属于较安全的值, 表明了在大气影响指标中的大部分处于很安全状态, 有一部分处于安全状态, 却没有隶属于较安全、危险和很危险状态的指标; 海洋隶属于很安全的程度最大, 有一些指标还处于安全和较安全的状态, 也没有隶属于危险和很危险的可能, 表明了 2002 年石化区的大气和海洋生态安全非常好; 而石化区自身指标隶属于很安全的程度大, 隶属于安全和较安全的程度次之, 但是还有一些指标隶属于危险和很危险状态, 充分表明了石化区自身指标对石化区生态的影响较大。

到 2006 年, 大气和海洋中的指标隶属于较安全之上, 仍没有隶属于危险和很危险状态; 但是对于石化区自身的指标来讲, 隶属于很安全的程度为 0, 隶属于危险和很危险的程度增大, 再一次的说明石化区自身指标对其生态影响较大。而到了 2008 年对于海洋指标没有太大的变化, 但是大气中的指标出现了隶属于危险和很危险的状态, 而石化区自身的指标, 隶属于危险和很危险的程度进一步加大。

通过上述分析可以认为黄岛石化区的生态安全主要是受到大气和石化区自身这两个指标的危害较大, 进一步对指标层的权重分析可以看出, 对于大气中的二氧化硫、氮氧化物、 PM_{10} 因子和石化区自身内的火灾爆炸和有毒有害物质的泄露, 这些因子对黄岛石化区的生态安全影响最大。

大气和石化区自身这两个指标之间是有一定相关联的, 原因是当石化区自身内出现火灾爆炸会导致生态遭到破坏的同时也会产生一些大气中的危

险因子二氧化硫、氮氧化物、 PM_{10} 以及其他的一些物质, 在一些特殊位置出现火灾爆炸也会导致有毒有害物质的泄漏, 挥发到大气中, 导致大气属于危险的程度加大。

3.9. 小结

将可视化的安全模糊评价系统应用到黄岛石化区生态风险评价中, 通过安全模糊评价系统客观的评价了近年来黄岛石化区的生态安全等级, 并通过分析比较近几年的安全等级, 总结出近年来黄岛石化区的生态安全状况多为“安全”和“较安全”, 但有向危险发展的趋势, 同时得出对其生态安全威胁较大的因素是大气和石化区自身中的二氧化硫、氮氧化物、 PM_{10} 、火灾爆炸以及有毒有害物质的泄露。

第4章. 青岛市某城区供水管段安全评价研究

供水管网的安全运行，是目前城镇居民解决饮用水安全问题的基础，是保证市民的基本生活、保证城市功能正常运行的基础。一个城市供水管网的安全保障体系是否健全，将直接影响到城市经济发展及建设，因此对城市供水系统做出安全评价，将具有非常重要的意义。

4.1. 供水管网安全模糊评价系统

根据第二章中建立的智能化安全模糊评价系统的思路，首先按照安全评价指标体系建立的原则，以及供水管网系统的安全所具有的动态性，和管网自身所具有复杂性，建立了供水管网安全评价指标体系并将其分为目标层、准则层、指标层 3 层，准则层有 3 个指标，指标层有 13 个指标，见图 4-1。

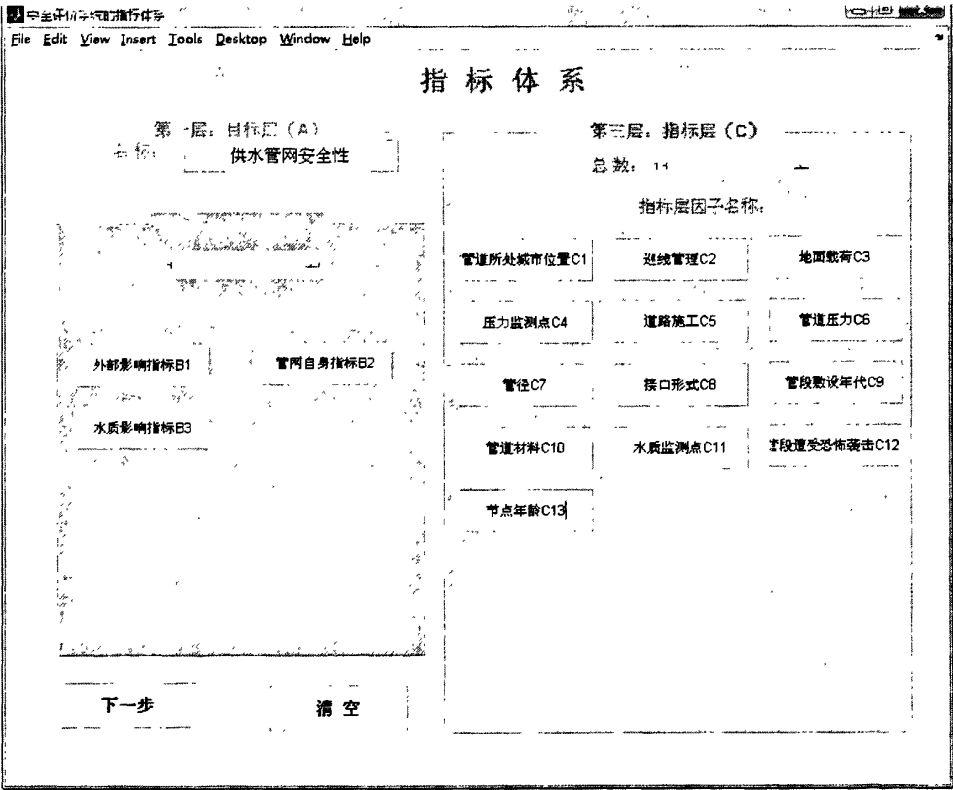


图 4-1 供水管网安全模糊评价系统的指标体系界面

Fig.4-1 Water supply pipe network security fuzzy evaluation system of the index system interface

然后将各层次中的判断矩阵引入到权重计算界面（见图 4-2），计算出所

需的各层次的权重系数并通过一致性检验之后，确定出最终各因子的权重系数。

第一层权重集为： $W_{A-B}=[0.6333 \quad 0.2605 \quad 0.1062]$;
第二层权重集为： $W_{B1-C}=[0.2602 \quad 0.5028 \quad 0.0678 \quad 0.1344 \quad 0.0348]$
 $W_{B2-C}=[0.2672 \quad 0.5096 \quad 0.0942 \quad 0.0348 \quad 0.0942]$;
 $W_{B3-C}=[0.2605 \quad 0.1062 \quad 0.6333]$

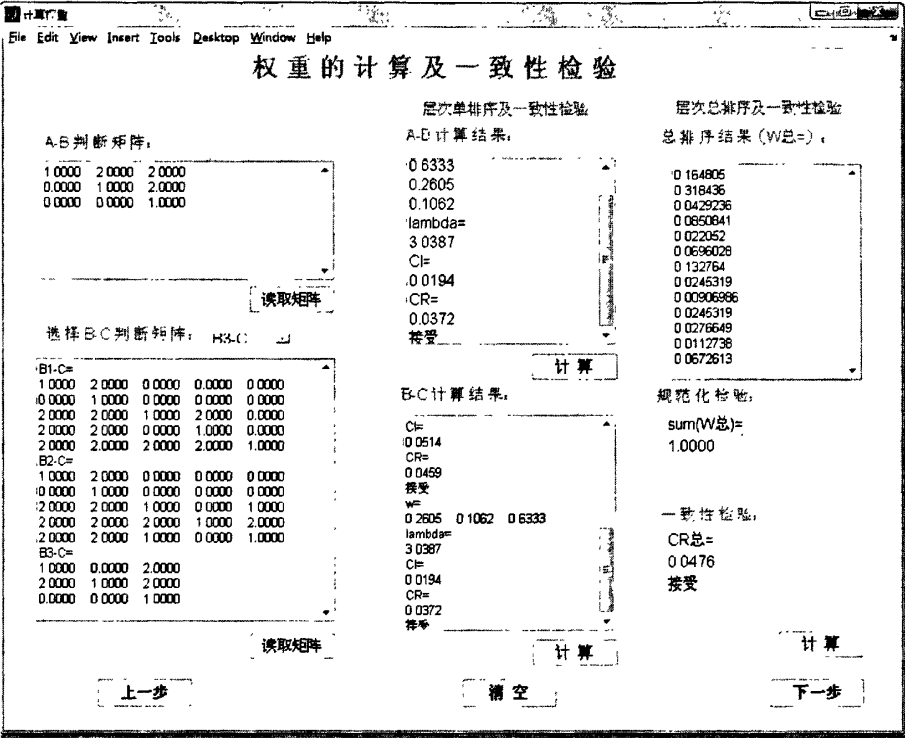


图 4-2 供水管网安全模糊评价系统的权重计算界面

Fig.4-2 The weight calculation’s interface water supply pipe network security fuzzy evaluation system

根据供水管网系统安全评价指标体系，结合对青岛市某城区的供水管网的相关资料综合分析，提出供水系统安全评价的各指标等级标准值，详见表 4-1。

对青岛市某城区某管段的实际资料分析，对应评价等级表，所得实测数据见表 4-2。

表 4-1 供水系统安全评价等级表^[62]

Tab.4-1 Security Evaluation scale water supply system ^[62]

准则层 指标	指标层因素	很 安 全 I	安 全 II	较 安 全 III	危 险 IV	很 危 险 V
外部影响指标	管道所处城市位置 C1	郊 外	郊 区	城 区	中心城区	城 中 村
	巡线管理 C2	频 繁	定 期	偶 尔	几 乎 不	不
	地面载荷 C3	很 小	较 小	一 般	较 大	很 大
	压力监测点 C4	有	附近管线有	较远管线有	太 远 有	没 有
	道路施工 C5	未 开 挖	开挖未触及供水管线	开挖未触及供水管线	开挖触及供水管线	大规模开挖
管网自身指标	管道压力 C6	0.1~0.2MPa	0.2~0.3MPa	0.3~0.4MPa	0.4~0.5MPa	0.5MPa 以上
	管径 C7	DN1000 及以上	DN800~500	DN400~200	DN150~100	D N 7 5
	接口形式 C8	球墨管胶圈	混凝土胶圈	塑料管法兰配件	铅 口	石 棉 水 泥
	敷设年代 C9	2006 年~2001 年	2000 年~1991 年	1990 年~1981 年	1990 年~1981 年	1970 年及以前
	管道材料 C10	钢管、玻璃钢管	球墨铸铁管	P V C 管	预 应 力 混凝土管	灰口铸铁管
水质影响指标	水质监测点 C11	有	附近管线有	较远管线有	有 太 远	没 有
	管段遭受恐怖袭击 C12	未 遭 受	与遭受袭击点太远	与遭受袭击点较远	附 近 遭 受	遭 受
	节点水龄 C13	很 短	较 短	中 等	较 长	很 长

表 4-2 某管段实测数据统计表

Tab.4-3 a road tube sections measured data tables

一级因素	二级因素	实测值	一级因素	二级因素	实测值	一级因素	二级因素	实测值
外部影响指标	管道所处城市位置	城区-中心城市	管网自身指标	管道压力	0.25-0.35Mpa	水质影响指标	水质监测点	没有
	巡线管理	偶尔		管径	600mm		管段遭受恐怖袭击	无
	地面荷载	一般		接口形式	石棉水泥		节点水龄	很短
	压力监测点	附近管线有		管道敷设年代	1983			
	道路施工	未开挖		管道材质	灰口铸铁管			

根据评价等级标准值和青岛某城区某管段的实际资料，通过专家的评价和采用半梯形隶属度函数的方法，确定出第一级的隶属度矩阵：

$$R_{B1-C} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.85 & 0.15 & 0 \\ 0 & 0 & 0.55 & 0.45 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.65 & 0.35 & 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$R_{B2-C} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.86 & 0.14 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

$$R_{B3-C} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0.7 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

将上述隶属度矩阵和在权重计算界面计算出的权重系数，引用到多级模糊评价界面计算出青岛市某城区某管段的最终安全等级，见图 4-3。

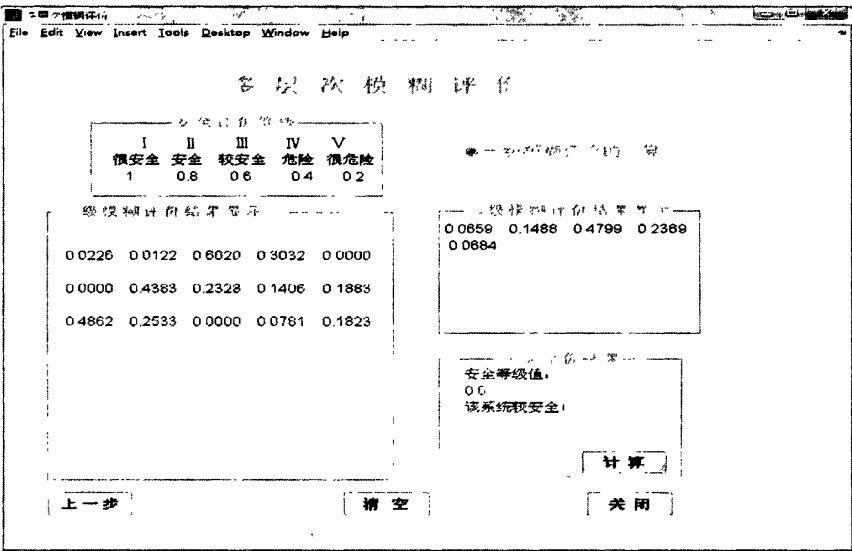


图 4-3 供水管网安全模糊评价系统的多层次模糊评价界面

Fig.4-3 The multi-level fuzzy evaluation’s interface water supply pipe network security fuzzy evaluation system

4.2. 小结

利用多层次模糊评价法在 MATLAB7.1 下实现的可视化安全模糊评价系统，对青岛某城区某管段的供水系统进行了合理的评价；通过评价结果可以看出，该管段的供水系统为“较安全”，与实际吻合良好。

该安全评价系统可对整个青岛某城区的供水管网进行评价，评价的结果可为今后该区管网的维护和管理做出合理，准确的决策；对安全等级较低的管段加强巡视和维护，也可进一步的指导该区管网的调度、改扩建以及日常的检修和检测。

第5章. 总结与展望

5.1. 总结

本文通过对生态安全、水安全、环境安全等安全问题的现状进行分析的基础上,同时搜集了国内外大量相关资料数据的前提下,进行了多次的计算模拟和现场调研实践,建立了以改进的 AHP 确定权重,以多层次模糊综合评价法确定安全等级的安全模糊评价系统,并通过 MATLAB—GUI 实现了系统的可见性、直观性。最终以生态安全和供水管网安全为研究对象,探讨了这两方面的安全等级同时也验证了智能可视化安全模糊评价系统的实用性。总结本文所做的工作,有如下几个方面:

在建立智能化安全模糊评价系统的过程中,本文运用了系统论的有关思想方法,通过总结历史研究中评价指标体系建立的原则,多层次的确定了评价指标体系建立的思路;创新性的采用了基于改进 AHP 法确定评价指标中各因子的权重,避免了人为的随机性和主观性;由于大多数的安全事故都是由一种或多种危险因素引起的,风险因素的发生概率以及其后果难以具体到数量化,只能用“较高”、“高”、“中等”、“低”等等级概念来描述,具有很强的模糊性,本文在 MATLAB7.1 中的 GUI 界面下编制程序,用多层次模糊综合评价的数学模型对各类安全做出评价,确定等级,对系统中存在的有害、危险因素进行辨识和分析,判断系统存在危险的严重程度,从而为管理决策和制定安全措施提供科学依据。

将智能化的安全模糊评价系统实现于黄岛石化区生态风险评价中,客观的评价了黄岛石化区近年来的生态安全等级,并通过分析比较近几年的安全等级,总结出近年来黄岛石化区的生态安全状况多为“安全”和“较安全”,但有向危险发展的趋势,同时得出对其生态安全威胁较大的因素是大气和石化区自身。

对青岛某城区某管段的供水系统进行了合理的评价;评价结果为“较安全”,与实际吻合良好。该安全模糊评价系统同时可对整个青岛市的供水管网进行评价,为饮用水安全保障技术体系和对策的提出和实施提供了依据。

通过本文的研究,主要解决了以下关键技术:

利用模糊评价方法建立了安全评价指标体系,解决了定量化建立安全评价指标的技术问题。

建立了基于 MATLAB—GUI 的智能、可视化的环境安全模糊评价系统,为今后解决环境安全问题提供了系统的方法。

综上所述,本文紧紧围绕当前安全问题展开研究,将建好的智能、可视化安全模糊评价系统实现于生态安全评价以及供水系统的安全评价中,完成了对青岛市黄岛石化区的生态风险评价以及青岛市某城区供水管段的安全评价的建立和评价等级的确定,结果比较满意。但由于时间的限制,许多问题研究的还不够深入。本文所建立的安全模糊评价系统仍可进一步的完善,以便更好地深入研究安全风险。

5.2. 展望

通过对本课题的研究,结合国内外关于安全问题的研究现状,对以后的工作做如下展望:

在本文所建立的安全模糊评价系统中,指标权重的确定虽然采用了改进的 AHP 层次分析法,避免了人为的随机性,但是就多层次模糊评价法中确定各因素对评价集隶属度的过程中,由于各个因素的标准不一同时对历史数据的统计存在一定的偏差,因此,在隶属度的确定方法上有待进一步的完善。

由于世界各国专家对生态安全问题以及供水系统的安全问题的研究侧重点各不相同,可借鉴的技术、手段及资料有限,这给本文的研究带来了很大困难,在本文进行的过程中,部分评价指标由于缺乏定量的数据支持,给评价指标体系的建立带来了一定的局限性,在今后的研究中仍需进一步提高资料搜集、数据采集及现场监测的水平和能力,提高研究的水平和质量。

应用 MATLAB-GUI 构建的智能、可视化环境安全模糊评价系统界面,由于时间关系,对 MATLAB7.1 的研究不够透彻,导致界面编程设计过程中,有些方面不够完美,在今后的研究中仍需进一步的完善。

对于安全模糊评价系统本身而言,只研究确定了安全评价的等级以及危险程度,对于存在的危险如何避免或者如何防范没有深入的研究,而这方面不仅仅对系统本身的安全有影响,对减少人类的危害也有很大的影响。因此,在这方面上仍需逐渐探索。

参考文献

- [1] 曲格平. 关注生态安全之一: 生态安全问题已成为国家安全的热门话题 [J]. 环境保护, 2002,(5):3-5.
- [2] 海牙世界部长级会议宣言.
<http://www.chinawater.net.cn/CWSNews/2000/0510.html>.
- [3] 民众会议—科学为生态学的安全. <http://www.cseindia.org>.
- [4] U.S.EPA. Framework for Ecological Risk Assessment, Report No. EPA(6301R — 92/001) US Environment Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, D.C.1992.
- [5] Eckersley R. Ecological security dilemmas [EB/OL].
<http://www.arts.monash.edu.au/ncas/teach/unit/pol/chpt08.html>.
- [6] Patricia MM. Ecological Security & the UN System: Past, Present and Future [M] . 1998.
- [7] Dennis Pirages. Ecological Security: Micro-Threats to Human-Being [EB/OL].<http://www.bsos.umd.edu/harrison/papers/paper13.htm>.
- [8] Jyldyz Sydygalieva. Ecological security: an urgent necessity for central. Asia [EB/OL].<http://www.cacianalyst.org/Headline 2.htm>, 2001-12-05.
- [9] Armbruster J T. An infiltration index useful in estimation Low-flow characteristics of drainage basins [J].J Res USGS, 1996, 4(5):533-538.
- [10] McMahon T A, Arenas A D. Methods of computation of lows in Gustard [A].Paris: UNESCO studies and reports in hydrology[C], 1982 (36):107.
- [11] Sheail J .Historical development of setting compensation flows, in Gustard, A., Cole, G., Marshall D. and Bayliss, A., (Eds). A Study of compensation flows in the UK. Report99 [C].Institute of Hydrology, Wallingford. Appendix (I).1987, 19-94.
- [12] Petts G E. Water allocation to protect river ecosystems [J].Regulated rivers: Research and Management.1996, 12(4/5):353-365.
- [13] Leung L R, Ghan SJ. A sub grid parameterization of orographic precipitation [J].Theory. Application, 1999(52).
- [14] Smakhtin V U. Low flow hydrology: a review [J].Journal of Hydrology,

- 2001 (240):147-186.
- [15]R. V. Killuru. Risk Assessment for Management: a Unified Approach. Risk Management Handbook for Environmental, Health, and Safety Professional, McGraw-Hill, New York. 1996.
- [16]M. Levitt. Disaster Planning and Recovery: a Guide for Facility Professionals, Wiley, New York. 1997.
- [17]International Organization of Standards (ISO). Draft ISO guide 73, Technical Management Board Working Group on Risk. Management Terminology, Geneva. 2001.
- [18]N. S. Grigg. Water Utility Security: Multiple Hazards and Multiple Barriers [J]. Infrastructure. Syst. 2003, 9(2): 81-88.
- [19]程漱兰, 陈焱. 高度重视生态安全战略[J]. 生态经济, 1999, 5:9-11.
- [20]徐海根. 自然保护区生态安全设计的理论与方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000, 30-50.
- [21]王韩民, 郭玮, 程漱兰等. 国家生态安全: 概念、评价及对策[J]. 管理世界, 2001, 2:149-156.
- [22]吴豪, 许刚, 虞孝感. 关于建立长江流域生态安全体系的初步探讨[J]. 地域研究与开发, 2001, 20(2):34-37.
- [23]陈国阶. 论生态安全[J]. 重庆环境科学, 2002, 24(3):1-8.
- [24]李建牢, 任杨俊. 关注西北地区生态安全, 实现经济可持续发展[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5):39-41.
- [25]李素美. 生态安全的经济评价方法与整体思路. 山西林业科技, 2003, 6:26-28.
- [26]刘士余, 左长清. 水土保持与国家生态安全[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(1):102-105.
- [27]余谋昌. 论生态安全的概念及其主要特点[J]. 清华大学学报(哲学社会科学版), 2004, 19(2):29-35.
- [28]郭中伟. 建设国家生态安全预警系统与维护体系——面对严重的生态危机的对策[J]. 科技导报, 2001, (1):54-56.
- [29]周国富. 生态安全与生态安全研究[J]. 贵州师范大学(自然科学版), 2003, 21(3):105-108.

- [30]崔胜辉, 洪华生, 黄云凤等. 生态安全研究进展[J]. 生态学报, 2005, 25(4):861-868.
- [31]邹长新, 沈渭寿. 生态安全研究进展[J]. 农村生态环境, 2003, 19(1):56-59.
- [32]曲格平. 关注生态安全之一: 生态环境问题已成为国家安全的热门话题[J]. 环境保护, 2002, 05:3-5.
- [33]肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3):354-358.
- [34]马克明, 傅伯杰, 黎晓亚等. 区域生态格局——概念与理论基础[J]. 生态学报, 2004, 24(4):761-768.
- [35]黎晓亚, 马克明, 傅伯杰等. 区域生态格局——设计原则与方法[J]. 生态学报, 2004, 24(5):1055-1062.
- [36]石山. 树立生态安全新思想, 生态农业研究[J]. 1995, 6(4):1-3.
- [37]蒋信福. 入世对我国生态安全的挑战与战略研究[J]. 生态与自然保护, 2000, 10:23-25.
- [38]虞孝感. 长江流域生态安全问题及建议[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3):294-298.
- [39]曲格平. 关注生态安全之三:影响中国安全的若干问题[J]. 环境保护, 2002, 07: 3-6.
- [40]李晓秀. 北京山区生态环境质量初探[J]. 自然资源, 1997, 5:31-35.
- [41]杨伟光, 付怡. 农业生态环境质量的指标体系与评价方法[J]. 监测与评价, 1999, 2:42-43.
- [42]赵名茶, 张明. 青海省南部地区生态环境质量评价模型[J]. 资源科学, 1999, 21(3):16-22.
- [43]叶亚平, 刘鲁军. 中国省域生态环境质量评价指标体系研究[J]. 环境科学研究, 1999, 13(3):33-36.
- [44]吴国庆. 区域可持续发展的生态安全及其评价研究——以浙江省嘉兴市为例[J]. 自然资源学报, 2001, 16(3):227-233.
- [45]周金星, 陈浩, 张怀清. 首都圈多伦地区荒漠化生态安全评价[J]. 中国水土保持科学 2003, 1(1):80-84.
- [46]秦建成, 高明. 三峡低山丘陵区生态系统安全评价——以重庆忠县为例[J]. 山地学报, 2004, 22(1):73-78.

- [47]李辉,魏德洲,姜若婷.生态安全系统及工作程序[J].中国安全科学学报, 2004, 14(4):41-46.
- [48]杜巧玲,许学工,刘文政.黑河中下游绿洲生态安全评价[J].生态学报, 2004, 24(9):1916-1923.
- [49]姜德娟,王会肖.环境用水初步探讨.长江水资源保护研究所, 2004.
- [50]刘昌明.中国 21 世纪水供需分析:生态水利研究[J].中国水利, 1999, (10):18-20.
- [51]罗云,樊运晓,马晓春.风险分析与安全评价[M].北京化学工业出版社, 2004, 109, 124, 144, 147, 180.
- [52]罗云等.系统安全分析评价技术方法对比研究[J].劳动保护科学技术, 1998, 18(4):24-27.
- [53]程卫民,王毅.安全综合评价中存在的若干问题及其改进方法[J].中国安全科学学报 1998, 9(4): 75-78.
- [54]Alexander J, Saaty T L. The forward and backward processes of conflict analysis [J].Behavioral Science, 1997, 22 (2):87-98.
- [55]Saaty T L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures [J].Journal of Math Psychology, 1997, 15:234-281.
- [56]Cook, R. D., Weisberg, S. Residuals and Influence in Regression. New York: Chapman and Hall,1982
- [57]徐泽水. AHP 中判断矩阵构造方法的改进.菏泽师专学报, 1997, 19(4):29-37.
- [58]张俊福,邓本让,朱玉仙等.应用模糊数学[M].地质出版社, 1988:47-79.
- [59]陈守煜.系统模糊决策理论与应用[M].大连:大连理工大学出版社,1994:74-86.
- [60]古文贤.船舶运输安全学[M].大连:大连海事大学出版社.
- [61]J.W.Devanney III, et.al. bayesian analysis of oil spill statistics, marine technology, 11, 1974:364-382.
- [62]王吉亮.城市供水网络安全评价技术(硕士论文)青岛:青岛理工大学 2008.

攻读硕士学位期间发表的学术论文及科研工作

Liu Chun-na, LÜ Mou, Ye Song. MATLAB-based Visual Interface of the Safety Evaluation System Practice. 2010 International Conference on Management Science and Safety Engineering- Conference Memoir. (接受待刊)。

致 谢

三年的研究生生活即将结束，在完成硕士论文之际，向所有指导、关心和帮助过我的老师、同学、家人表示最诚挚地感谢！

首先衷心感谢我的导师吕谋教授！研究生学习期间，吕老师在我的学习、工作、生活各方面都给予了孜孜教诲和无微不至的帮助和支持。本课题的最终完成，更离不开吕老师的悉心指导，从论文的选题，程序的调试，一直到最终定稿，吕老师倾注了大量的心血。吕老师坦荡的胸襟、博大精深的学识思想、严谨求实的治学态度、对待科学严谨求实、兢兢业业的工作作风、乐观积极的人生哲学使我受益匪浅。在此论文完成之际，谨向吕老师致以崇高的敬意，以及衷心的感谢。

感谢叶松师兄、董深师姐、李燕京、王梦琳、张伟伟及师弟冯丙义、于周建、杨东豫、师妹姚明炫等在我的程序调试以及搜集资料的过程中给予我的帮助，使我克服了各种困难，顺利完成本论文！

感谢舍友傅晓蕾、梁彦娟、王辉霞在生活和学习过程中给予的帮助。

值得说明的是，在论文的实地考察、资料收集过程中，得到了青岛市环保局左华院长以及丽东化工和大炼油工程技术人员的帮助与支持，在此一并表示由衷的感谢。

最后我要向默默支持我的家人和朋友表示我衷心的感谢，我只能以更加努力的学习和工作去回报他们的关心和支持。

刘春娜

2010年6月6日

