

# 层次分析法的研究与应用<sup>\*</sup>

郭金玉 工程师 张忠彬 高级工程师 孙庆云 高级工程师  
(中国安全生产科学研究院, 北京 100029)

学科分类与代码: 620 5020

中图分类号: X913.4

文献标识码: A

资助项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAK05B04); 中国安全生产科学研究院基本科研业务费专项资金项目 (2007JBKY06)。

**【摘 要】** 层次分析法 (AHP) 作为一种定性与定量分析方法相结合的综合性评价方法, 在安全 and 环境研究的多领域得到广泛应用。对层次分析法、改进层次分析法、模糊层次分析法、改进模糊层次分析法和灰色层次分析法等在安全与环境科学中的应用进行分析、研究和展望。对影响我国职业危害监管工作的主要因素进行研讨, 同时, 基于层次分析法能将复杂问题进行分解, 为最佳方案选择提供科学依据的特点, 提出将层次分析法应用于职业危害监管研究领域的构想。

**【关键词】** 层次分析法 (AHP); 模糊层次分析法; 灰色层次分析法; 安全科学; 环境科学; 职业卫生

## Study and Applications of Analytic Hierarchy Process

GUO Jin-yu Engineer ZHANG Zhong-bin Senior Engineer SUN Qing-yun Senior Engineer  
(China Academy of Safety Science & Technology Beijing 100029, China)

**Abstract** AHP (analytic hierarchy process), as a comprehensive safety evaluation method combining qualitative and quantitative analysis has been used in many fields of safety and environmental science. The applications of AHP, improved AHP, FAHP (fuzzy AHP), improved FAHP and gray AHP in safety and environmental science were analyzed, summarized and prospected. The major factors affecting the work of occupational hazard supervision were analyzed. Considering the advantages that AHP can decompose the complex issues and provide the scientific basis for the choice of optimal decisions, it was proposed to use AHP in the fields of occupational hazard supervision.

**Key words** analytic hierarchy process (AHP); fuzzy AHP; gray AHP; safety science; environmental science; occupational health

## 0 引 言

层次分析法是一种将定性与定量分析方法相结合的多目标决策分析方法。该法的主要思想是通过将复杂问题分解为若干层次和若干因素, 对两两指标之间的重要程度作出比较判断, 建立判断矩阵, 通过计算判断矩阵的最大特征值以及对应特征向量,

就可得出不同方案重要性程度的权重, 为最佳方案的选择提供依据。秦吉等对层次分析法的基本原理和计算方法进行了介绍<sup>[1]</sup>。

近年来, 我国的经济进程不断加快, 安全 and 环境问题成为各级政府和公众所关注的问题, 对安全 and 环境风险的评价成为治理安全 and 环境问题的一个重要方面。所谓安全 and 环境风险是指一定时期产生安

\* 文章编号: 1003-3033(2008)05-0148-06, 收稿日期: 2008-01-18, 修稿日期: 2008-05-10

全和环境灾害事件的概率与有害事件后果的乘积,即指安全、环境灾害事故发生的可能性及其产生的危害两方面。风险评价方法多种多样,每种方法都有其适用的范围,当被评价系统同时存在几类危害因素时,往往需要采用几种评价方法。层次分析法作为一种综合评价方法在风险评价尤其是安全和环境风险评价中得到广泛应用。

层次分析法经过多年的发展,衍生出改进层次分析法、模糊层次分析法、可拓模糊层次分析法和灰色层次分析法等多种方法,并根据研究的实际情况各有其适用的范围。

改进层次分析法、模糊层次分析法和可拓模糊层次分析法都是基于判断矩阵不好确定的情况下,通过改进判断标度来帮助决策者更加容易地构造质量好的判断矩阵;灰色层次分析法则将灰色系统理论和层次分析法相结合,使灰色理论贯穿于建立模型、构造矩阵、权重计算和结果评价的整个过程中<sup>[2-4]</sup>。

笔者对层次分析法及其衍生方法在安全和环境科学研究中的应用进行了分析、总结和展望,并对我国当前职业危害监管工作中的复杂多变的影响因素进行探讨,提出利用层次分析法对我国职业危害监管模式进行研究的构想。

## 1 层次分析法的应用

层次分析法主要应用在安全科学和环境科学领域。在安全生产科学技术方面主要应用包括煤矿安全研究、危险化学品评价、油库安全评价、城市灾害应急能力研究以及交通安全评价等<sup>[5]</sup>;在环境保护研究中的应用主要包括:水安全评价、水质指标和环境保护措施研究、生态环境质量评价指标体系研究以及水生野生动物保护区污染源确定等。

### 1.1 在安全科学研究中的应用

#### 1.1.1 煤矿安全研究

煤矿安全研究包括:煤矿安全综合评价、煤矿安全生产能力指标体系以及与煤矿瓦斯和通风相关的研究。

煤矿安全综合评价运用层次分析法时,可以在煤矿安全评价中的众多指标中建立起相应的指标体系,定量确定评价指标体系中各种灾害因素的权重,可以更客观地反映煤矿的安全生产状况<sup>[6]</sup>。

应用层次分析法综合评价影响煤矿安全生产的技术、管理、环境等多种因素作用,确立影响煤矿安全生产能力的指标体系,能较客观地反映煤矿安全

生产能力,从而为煤矿安全评价及管理决策提供依据<sup>[7]</sup>。

层次分析法在煤矿(矿山)安全研究中的应用还包括对瓦斯事故评价模型、煤与瓦斯突出影响因素、煤矿通风及管理制度与煤巷锚杆支护等的研究<sup>[8-11]</sup>。

#### 1.1.2 危险化学品评价

危险化学品安全评价与分级的研究因其必要性而受到广泛关注,评价与分级中使用单一方法或几种方法联合使用时都存在一些问题。

胡海军等运用层次分析法建立起一种危险化学品源安全评价综合模型,采用危险分数划定危险级别,最后取综合危险分数作为综合评价模型下的危险分级标准,采用该模型有利于对危险化学品源的危险级别作出统一判断<sup>[12]</sup>。

#### 1.1.3 油库安全性评价

对油库的安全状况进行科学与客观的评价有助于不断提高油库安全水平。苏欣等用层次分析法确定影响油库安全的各主要因素的权重,有助于提高对敏感因素的检测,警惕易忽略的因素,提高油库安全管理水平<sup>[13]</sup>。

#### 1.1.4 城市灾害应急能力

城市灾害应急能力是衡量一个城市灾害管理水平高低的重要因素,可以有效地减轻城市灾害的损失和保证城市的可持续发展。

铁永波等用层次分析法评价城市灾害应急能力,研究了完善的城市灾害应急能力评价指标<sup>[14]</sup>。

#### 1.1.5 交通安全评价

道路交通系统是由人、车辆、道路组成的相互协调的系统。运用层次分析法对道路安全性进行评价,可以有效地处理道路安全性评价准则多、不同指标对道路安全性影响程度不同的问题。

层次分析法在交通安全领域的应用主要包括:GIS事故救援系统、高速公路交通安全评价、对航空安全进行评估以及对铁路机车行车安全进行评价等<sup>[15-18]</sup>。

### 1.2 在环境科学研究中的应用

#### 1.2.1 大气环境研究

在环境空气污染防治规划、决策中,污染防治方法选择是一项复杂的工作。控制空气污染的方法有多种,选择各方面效益平衡的方案是空气污染防治规划、决策应当解决的问题。贾龙华等运用层次分析法进行空气污染防治措施的比选<sup>[19]</sup>。

随着城市化进程的加速及环境空气连续自动监测的全面展开,部分站面临点位重新布设的问题,王新兰运用层次分析法对环境空气点位进行遴选,将各功能区点位根据专家比例标度赋值的评定进行确定<sup>[20]</sup>。

1.2.2 水环境研究

近年来,水环境安全问题成为学术界及社会各界关注的焦点,并已成为 21 世纪社会发展的严重制约因素。王彦威等应用层次分析法建立了多层次的水环境安全评价体系<sup>[21]</sup>。

在水污染系统的研究中,王晓明等运用层次分析法分析了水质指标,确定了主要的水污染源并进行了防治保护措施的研究<sup>[22]</sup>。

1.2.3 生态环境研究

对我国煤炭工业城市从生态环境的各个方面进

行定性、定量分析和评价,进而为提高城市生态环境质量及实现城市可持续发展提供科学依据。吕连宏等运用层次分析法构建了中国煤炭工业城市生态环境质量评价指标体系<sup>[23]</sup>。

水生野生动物保护区由于地理位置和环境条件的原因,可能受到许多人类社会产生的污染的影响,在对保护区进行环境评价和规划等工作时,由于各污染源排出的污水中污染物及其浓度各不相同,很难通过简单的比较来判断主要污染物和主要污染源。李铸衡运用层次分析法来确定水生野生动物保护区主要污染源<sup>[24]</sup>。

根据掌握的资料,目前层次分析法在安全科学和环境科学的研究与应用,主要包括表 1 所示的几个方面。

表 1 层次分析法在安全和环境研究中的应用

研究领域	研究方向
安全科学研究	煤矿安全综合评价,煤矿安全生产能力,瓦斯事故,煤矿通风管理,煤巷锚杆支护;危险化学品源,油库安全性研究,城市灾害应急能力
	城市道路安全, GIS 道路交通事故救援,高速公路交通安全,航空飞行安全,机车行车安全等
环境科学研究	环境空气污染防治措施,环境空气自动监测,水环境安全评价,水污染污染源的确定与防治,煤炭城市生态环境质量评价指标体系,水生野生动物保护区污染源确定等

2 衍生层次分析法的应用

衍生层次分析法的研究与应用情况如表 2 所示。

表 2 衍生层次分析法的研究与应用

运用方法	研究方向
改进层次分析法	矿山安全综合评价,矿井安全管理,油库安全,水污染污染源评价等
区间层次分析法	核事故应急决策方案,高层建筑火灾安全等
模糊层次分析法	煤矿安全评价,矿井安全管理,重大危险源研究,地铁火灾事故,桥梁安全评估,机械安全,水环境质量评价等
改进模糊层次分析法	水污染控制等
灰色层次分析法	城市防洪工程,电厂安全等

2.1 改进层次分析法的应用

改进的层次分析法是指利用层次分析法的原理建立综合评价模型,然后提出新的指数标度或评价方法。

秦波涛等在综合评价矿山的安全性时根据实际情况对层次分析法指数标度及评价进行了改进,应用改进的层次分析法能够更全面地反映矿山的安全状况<sup>[2]</sup>,杨永清等在对矿井安全管理进行综合评价

时也运用了改进的层次分析法<sup>[25]</sup>,改进层次分析法还应用于油库安全因素权重的确定<sup>[26]</sup>;

在工业污染源的研究中,汪家权等从环境、经济和社会整体效益出发,用改进的层次分析法来评价污染源<sup>[27]</sup>。

2.2 区间层次分析法的应用

区间层次分析法是指确定指数标度时采用与传统层次分析法不一样的互反性标量化方法。辛晶在

进行核事故应急决策系统研究时,用区间层次分析法建立了核事故应急决策方案优选模型,解决了核事故应急决策中专家经验判断的不确定性和模糊性问题<sup>[28]</sup>,可以在发生严重核事故时,及时、有效地给出合理的应急防护方案。

高层建筑物的火灾安全影响因素繁多,采用传统的层次分析法对某些因子的影响权重进行确定时难度较大。王振等应用区间层次分析法研究高层建筑火灾安全因素,首先建立影响高层建筑火灾安全的层次分析模型,然后用区间层次分析法确定影响因子并计算每个因子的权重,计算结果与实际情况基本相符<sup>[29]</sup>。

## 2.3 模糊层次分析法的应用

模糊层次分析法是将层次分析法和模糊综合评价结合起来,使用层次分析法确定评价指标体系中各指标的权重,用模糊综合评价方法对模糊指标进行评定。

模糊层次分析法近年来在安全和环境研究中应用广泛,包括对煤矿安全评价、矿井安全管理、重大危险源研究、地铁火灾事故研究、桥梁安全性能研究、机械安全性研究和水环境质量评价等。

王玉怀等利用模糊层次分析法进行煤矿安全评价<sup>[30]</sup>,赵伏军等将层次分析法和模糊综合评判相结合对矿井通风系统进行优化<sup>[31]</sup>;对于安全事故中的安全管理工作,何正风等通过数学建模的思想,用模糊数学以及层次分析法对矿山的安全评价进行建模,为矿山的安全管理提供参考<sup>[32]</sup>。

通常来说,影响重大危险源危险程度的众多指标中,操作人员素质、管理水平、周围环境因素等指标均具有模糊性。张明广等将层次分析法和模糊学理论相结合对重大危险源进行综合评价,通过利用模糊数学理论综合考虑影响重大危险源危险程度的因素,应用层次分析法进行综合评价,对重大危险源危险度进行分级<sup>[33]</sup>。

根据国家现有规范和标准以及国内外地铁火灾特点分析,导致地铁火灾事故的因素众多,宋维华等通过综合考虑火灾事故成因,运用层次分析建立了一套应用模糊数学原理进行地铁火灾事故预防措施的定量分析方法<sup>[34]</sup>。

影响桥梁安全性能评估的因素很多,在应用传统层次分析法检验判断矩阵的一致性时,常常出现不一致的现象。袁海庆等将模糊层次分析法应用于桥梁综合评估中,其中的模糊判断矩阵的一致性反

映了人们思维判断的一致性<sup>[35]</sup>。

对机械安全进行分析和评价时,段志善等将模糊数学与层次分析法进行了结合<sup>[36]</sup>。模糊层次分析法也可应用于机械设备可靠性考核领域,它能量化、系统化地处理各项指标间的关系,为设备的可靠性水平提高提供科学的依据<sup>[37]</sup>。

近年来,随着经济的发展,水环境质量日益恶化,严重妨碍了社会经济的可持续发展,因而对水环境质量进行评价显得尤为重要。在水环境质量综合评价中,涉及到大量的复杂现象和多种因素的相互作用,并且评价中存在大量的模糊现象和模糊概念,将模糊综合评价和层次分析法相结合对水环境质量进行评价取得较好的评价效果<sup>[38]</sup>。

## 2.4 改进模糊层次分析法的应用

改进模糊层次分析法是指运用模糊一致性矩阵与其权重的关系构造评价模型,然后采用基于实数编码的遗传算法来求解该模型,得到评价指标的排序权重。

在水污染系统研究中,黄慧梅等用改进的模糊层次分析法进行水污染控制方案的优选<sup>[39]</sup>。

## 2.5 灰色层次分析法的应用

灰色层次分析法是将传统层次分析法和灰色系统理论相结合的一种综合分析方法。黄俊等应用层次分析法的基本决策理论,建立了城市防洪工程方案选择的层次分析模型,应用层次分析法原理和灰色关联分析的方法对城市防洪工程方案进行了综合评价<sup>[40]</sup>。

施泉生应用灰色层次分析法对中小型电厂<sup>[41]</sup>进行了安全性评价。运用灰色层次分析评价法将评价专家的分散信息处理成一个描述不同灰类程度的权向量,在该基础上再对其单值化处理,便可得到受评电厂安全性体系的综合评价值。

## 3 层次分析法在职业危害监管研究中的应用

层次分析法在安全和环境研究中有如此广泛的应用是由于它所具有的优点,基于这一优点,可以将层次分析法引入到职业危害监管工作的研究中。作业场所职业危害监管,是政府实施职业卫生管理、保障广大劳动者职业健康权益的一个重要手段。

影响作业场所职业危害监管的因素主要包括:作业场所的职业危害风险水平、企业所属行业的职

业危害风险水平、企业所处区域的职业危害风险水平。这其中可以分为职业病发生情况、职业卫生管理状况、职业卫生服务状况和经济发展水平等。

具体到企业层面又主要包括:企业职业危害固有风险、企业职业卫生管理状况、企业职业卫生培训状况、企业职业危害防护措施、企业职业健康监护状况、企业职业病发生情况和企业的经济实力、人员数量等。

相对于我国数量庞大的企业,监管力量不足是我国多年来职业危害监管存在的突出问题。因此,综合考虑影响作业场所职业危害监管的因素,合理分配职业危害监管资源,是有效开展职业危害监管工作急需解决的问题。

根据层次分析法的计算原理,建立职业危害监管影响因素的层次结构,进而构造判断矩阵,运用特征根法计算权重系数,并对建立的判断矩阵进行一致性检验,从而确定影响我国作业现场职业危害监管的主要因素,建立职业危害监管的指标体系,为进一步研究奠定基础。

## 4 结 论

层次分析法作为一种综合评价方法,笔者认为:该方法不仅广泛用于安全科学研究和环境研究领

域,而且还可为决策者面对其他领域纷繁复杂的形势作出正确决策提供科学的依据,同时,将其运用在职业危害监管工作中有着美好前景。通过对层次分析法及其衍生方法的应用研究,可以有以下几点结论:

1) 层次分析法具有将定性和定量相结合的优点,它能将复杂的问题进行分解,为最佳方案的选择提供科学依据,为决策层作出正确的决策提供理论参考。层次分析法经过多年的发展和改进,衍生出改进的层次分析法、模糊层次分析法、可拓模糊层次分析法和灰色层次分析法等。

2) 层次分析法在安全科学中的研究主要包括煤矿安全研究、危险化学品评价、油库安全评价、城市灾害应急能力研究以及交通安全评价等;在环境科学中的研究主要包括大气环境研究、水环境研究和生态环境研究,这其中既有综合性的研究,又有具体到某一方面的研究,可以为改善安全 and 环境状况提供理论依据。

3) 目前,我国的职业危害监管工作正在紧张有序的开展,由于影响因素复杂多变,需要建立一套科学有效的管理模式。利用层次分析法的优势,可以在复杂的形势中找出主要的影响因素,制定出一套适合我国国情的切实可行的职业危害监管模式。

## 参 考 文 献

- [1] 秦吉,张翼鹏. 现代统计信息分析技术在安全工程方面的应用—层次分析法原理[J]. 工业安全与防尘, 1999, 25(5): 44~48
- [2] 秦波涛,李增华. 改进层次分析法用于矿井安全性综合评价[J]. 西安科技学院学报, 2002, 22(2): 126~129
- [3] 高新春,冯洪渊. 用模糊层次分析法评价矿井安全状况[J]. 矿业安全与环保, 2003, 30(5): 6~8
- [4] 施泉生,涂娜娜. 层次灰色分析法在电厂安全评价中的应用[J]. 上海电力学院学报, 2005, 21(1): 81~84
- [5] 郭金玉,张忠彬,孙庆云. 层次分析法在安全科学研究中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2008, 4(2): 69~73
- [6] 刘亚静,毛善君,姚纪明等. 基于层次分析法的煤矿安全综合评价[J]. 矿业研究与开发, 2007, 27(2): 82~84
- [7] 荆全忠,姜秀慧,杨鉴淞等. 基于层次分析法(AHP)的煤矿安全生产能力指标体系研究[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(9): 74~79
- [8] 李玉明,张嘉勇,赵礼兵. 基于层次分析法建立瓦斯事故评价模型[J]. 煤炭技术, 2006, 25(9): 66~67
- [9] 范金志,郭德勇,张建国. 层次分析法确定煤与瓦斯突出影响因素的权重[J]. 矿山安全与环保, 2004, 31(3): 4~5
- [10] 张西志. 利用层次分析法对煤矿通风管理制度进行安全评价[J]. 中州煤炭, 2007(1): 76~77
- [11] 张文泉,俞海玲. 应用层次分析法确定矿井顶板涌水影响因素的权值[J]. 矿业安全与环保, 2006, 33(2): 50~52
- [12] 胡海军,程光旭,禹盛林等. 一种基于层次分析法的危险化学品源安全评价综合模型[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(3): 141~144
- [13] 苏欣,袁宗明,王维等. 层次分析法在油库安全评价中的应用[J]. 天然气与石油, 2006, 24(1): 1~4

- [14] 铁永波,唐川,周春花. 层次分析法在城市灾害应急能力评价中的应用 [J]. 地质灾害与环境保护, 2005 16(4): 433~437
- [15] 常志雁,萨殊利,范鹏飞. 层次分析法在 GIS 事故救援系统中的应用 [J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2004 28(2): 255~257
- [16] 吴义虎,刘文军,肖旗梅. 高速公路交通安全评价的层次分析法 [J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2006 3(2): 7~11
- [17] 高扬,牟德一. 航空安全评估中的层次分析法 - AHP [J]. 中国安全科学学报, 2000 10(3): 38~41
- [18] 宋祥波,肖贵平,贾明涛. 基于层次分析法的机车行车安全评价研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2006 2(6): 86~89
- [19] 贾龙华,吴锦利. 层次分析法在空气污染防治措施比选中的应用 [J]. 污染防治技术, 2000 13(2): 86~88
- [20] 王新兰. 层次分析法在环境空气点位遴选中应用 [J]. 黑龙江环境通报, 2006 30(3): 46~48
- [21] 王彦威,邓海利,王永成. 层次分析法在水安全评价中的应用 [J]. 黑龙江水利科技, 2007 35(3): 117~119
- [22] 王晓明,许玉,王秀珍等. 运用层次分析法的水质指标和环境保护措施研究 [J]. 黑龙江水专学报, 2005 32(4): 130~133
- [23] 吕连宏,张征,李道峰等. 应用层次分析法构建中国煤炭城市生态环境质量评价指标体系 [J]. 能源环境保护, 2005 19(5): 53~56
- [24] 李铸衡. 应用层次分析法确定水生野生动物保护区主要污染源 [J]. 长春师范学院学报(自然科学版), 2005 24(4): 116~119
- [25] 杨永清,许先云. 改进的层次分析法用于矿井安全管理的综合评价 [J]. 系统工程理论与实践, 1999 (6): 121~125
- [26] 胡安鑫,谢英,苏欣. "改进层次分析法"在确定油库安全因素权重中的应用 [J]. 石油化工安全技术, 2005 21(5): 13~15
- [27] 汪家权,薛联青. 改进层次分析法评价区域工业污染源 [J]. 中国环境科学, 1999 19(3): 230~233
- [28] 辛晶. 基于区间层次分析法的核事故应急决策方案优选 [J]. 辐射防护, 2007 27(5): 282~313
- [29] 王振,刘茂. 应用区间层次分析法 (IAHP)研究高层建筑火灾安全因素 [J]. 安全与环境学报, 2006 6(1): 13~15
- [30] 王玉怀,潘德祥,李祥仪. 应用层次分析法及模糊评价进行煤矿安全评价研究 [J]. 煤炭工程, 2005(3): 60~62
- [31] 赵伏军,谢世勇,杨磊等. 基于层次分析法 - 模糊综合评价 (AHP - FCE)模型优化矿井通风系统的研究 [J]. 中国安全科学学报, 2006 16(4): 91~96
- [32] 何正风. 模糊数学建模以及层次分析法在矿山安全评价中的应用 [J]. 科技信息(学术版), 2006(11): 227~231
- [33] 张明广,蒋军成. 基于层次分析法的重大危险源模糊综合评价 [J]. 南京工业大学学报, 2006 28(2): 31~34
- [34] 宋维华,殷位洋. 浅谈层次分析法在预防地铁火灾事故中的应用 [J]. 现代城市轨道交通, 2007(1): 45~47
- [35] 袁海庆,杨燕,范剑锋等. 模糊层次分析法在桥梁综合评估中的应用 [J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2005 29(6): 906~909
- [36] 段志善,崔善强. 模糊层次分析法在机械安全评价中的应用 [J]. 机械工业标准化与质量, 2007(10): 38~39
- [37] 雷冀南,王亮,张亮等. 模糊层次分析法在机械设备可靠性分析中的应用 [J]. 机械, 2007 34(5): 14~16
- [38] 潘峰,付强,梁川. 基于层次分析法的模糊综合评价在水环境质量评价中的应用 [J]. 东北水利水电, 2003 21(8): 22~24
- [39] 黄慧梅,金菊良,汪淑娟. 改进的模糊层次分析法在水污染控制方案优选中的应用 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2005 21(1): 55~57
- [40] 黄俊,付湘,柯志波. 层次分析法在城市防洪工程方案选择中的应用 [J]. 水利与建筑工程学报, 2007 5(1): 52~55
- [41] 施泉生. 灰色层次分析法在中小型电厂安全性评价中的应用 [J]. 中国安全科学学报, 2005 15(7): 21~25