

地震灾害下应急物流系统绩效评价^{*}

陈蕙珍¹, 杨育¹, 杨涛¹, 薛承梦^{1,2}, 赵刚¹

(1. 重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400030; 2. 贵州财经大学信息学院, 贵阳 550000)

摘要: 针对地震灾害下应急物流系统(ELS)绩效评价的问题,以地震灾害下的应急物流系统为研究对象,首先建立了 ELS 运作模型,并对该运作模型进行了分析;然后构建了地震灾害下应急物流系统绩效评价指标体系,并在上述基础上建立了基于 BP 神经网络的评价模型;最后将该评价方法应用于实例,验证了该评价方法的科学性和实用性。

关键词: 地震灾害; 应急物流; 绩效评价; 指标体系; BP 神经网络

中图分类号: TP389.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)06-1656-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.06.013

Earthquake emergency logistics system performance evaluation

CHEN Hui-zhen¹, YANG Yu¹, YANG Tao¹, XUE Cheng-meng^{1,2}, ZHAO Gang¹

(1. State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 2. School of Information, Guizhou University of Finance & Economics, Guiyang 550000, China)

Abstract: In order to solve the problem of the performance evaluation for earthquake disaster emergency logistics system (ELS), this paper studied earthquake emergency logistics system. Firstly, established the ELS operating models and analyzed the operation of the model; secondly, built an earthquake emergency logistics system performance evaluation index set, and then, built evaluation model based on BP neural network; finally, applied the evaluation method to the instance and the scientific and validated practical of the evaluation method.

Key words: earthquake disaster; emergency logistics; performance evaluation; index system; BP neural network

0 引言

近些年来,全球范围内地震、海啸、风暴等自然灾害的频发,对社会经济的发展以及人类的生命财产造成了重大危害。尤其是地震,由于其发生频度高、突发性强、次生灾害严重、防御难度大,以及其短时间内破坏性极强等特点被称为群灾之首。例如,2011年发生在日本宫城县东北部的里氏9级地震,不但引发了大规模海啸,造成大量人员伤亡,还导致了福岛核电站核泄漏危机^[1];2008年发生在我国汶川的“5·12”大地震,夺去了近七万人的生命,直接经济损失超过一万亿元。国际社会方面在应对地震灾害时,越来越强调效率,如何及时地施救,把损失降低到最小,成为亟待解决的问题^[2]。

应急物流系统的绩效评价是应急物流系统改善和提高的基础,然而目前应急物流绩效评价的研究还处于探索阶段,针对应急物流系统的研究多集中在应急物流的决策、物资的优化配送等方面,少有对应急物流的系统绩效评价的相关研究。Kuwata 等人^[3]讨论了一种新的仿真方法和一种可以定量地评估应急物流决策支持系统的有效性方法。Ozdamar 等人^[4]详

细描述了应急救援物资运输的场景条件以及应急物资运输目标函数。Fiedrich 等人^[5]在时间、资源数量和质量有限的情况下,以死亡人数最小作为目标,研究了地震后向多个受灾地点分配和运输资源的优化模型。Thomas^[6]归纳出了应急物流的生命周期理论,并将整个应急物流的操作过程分为部署、维持和重新配置三个阶段。

对应急物流系统绩效评价方面的研究相对较少,主要有:刘传铭等人^[7]应用平衡计分卡原理构建的政府应急管理组织绩效评估指标体系,并使用 AHP 多层次模糊评测法研究建立了政府应急管理组织绩效评估模型,对评价指标关联因素进行了量化;钟利军^[8]在应急物流系统运作流程的基础上,从协调能力、运行效率、经济效益、影响度四个方面构建了应急物流系统运作绩效评价指标体系;屈龙等人^[9]将应急物流系统绩效评价指标体系分为应急信息系统、灾情、地理位置、交通运输、政府管理、救灾人员、善后事宜七个方面,运用了模糊聚类法对应急物流绩效进行评价。

现阶段物流系统绩效评价研究普遍存在以下两方面的问题:a)并未对应急物流系统构成要素及运行机制进行有针对性的分析,指标体系的建立缺乏目标导向;b)对于应急物流系

收稿日期: 2012-09-17; **修回日期:** 2012-11-15 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(71071173);重庆市重点科技攻关项目(2010GGB108);富士康科技集团擢才创研计划项目(11F81210006);贵州科学技术支撑项目(2012GZ98743);贵州省软科学项目(黔科合体 R 字[2011] LKC2014 号)

作者简介: 陈蕙珍(1990-),女,江苏如皋人,硕士研究生,主要研究方向为工业工程、应急灾害研究等(zhenzi_chen@sina.cn);杨育(1971-),男,四川成都人,教授,博导,主要研究方向为制造系统工程、工业工程、项目管理等;杨涛(1985-),男,安徽宿州人,博士研究生,主要研究方向为项目管理、可靠性研究等;薛承梦(1965-),女,重庆人,博士研究生,主要研究方向为系统信息管理、客户协同创新管理、企业管理等;赵刚(1978-),男,河北永年人,硕士研究生,主要研究方向为客户协同创新、协同设计、生产系统建模等。

统绩效评价相关的研究大都停留在定性评价阶段,缺乏定量评价工具与手段。针对以上两个方面的问题,本文首先建立了地震灾害下 ELS 运作模型并对其进行了分析;其次从时效性、柔性、质量、成本四个方面出发,建立了应急物流系统绩效评价指标体系,并对指标体系中相应指标的计算方法进行了详细的说明;然后采用 BP 神经网络方法进行参数设计,建立了基于 BP 神经网络的 ELS 绩效评价模型;最后通过学习样本的网络训练、测试,将模型的网络误差平方和控制预设的范围之内,使该模型适用于实际 ELS 量化的绩效评价。

1 地震灾害下的 ELS 运作模型建立

我国是一个地震灾害频发的国家,历次地震都造成了大量的建筑、交通道路损毁和严重的人员死伤,使社会和经济的发展蒙受了巨大的损失^[10]。应急物资的快速供应,是保证救援人员在最短的时间内、以最安全高效的方式对灾区实施救援的关键。地震灾害发生后,ELS 负责在第一时间启动应急措施对灾区进行紧急救援,并实施物资的紧急筹措、运送以及分发处理。因此,作为抗震救援中的关键部分,ELS 的运作绩效直接影响到受灾群众的生命安全和整个救灾活动的成败。

通过大量文献调研及实地考察,对地震灾害下现有的应急物流系统(ELS)进行了详尽的研究与分析后,发现 ELS 一般由应急物流指挥中心、应急物流信息平台和技术支持平台、应急物资筹措系统、物流中心、物资配送系统五个部分组成。其中:应急物流指挥中心是应急物流信息系统的核心,是灾害发生时通过综合分析处理各类信息,全局地对各部分进行领导和指挥的机构;应急物流信息平台和技术支持平台实现了各个部门间应急物流信息的双向传递及实时回馈;应急物资筹措系统、应急物流中心和应急物资配送系统负责应急物资流通的具体业务,是整个应急物流体系关键的执行部分。其具体运作模型如图 1 所示。

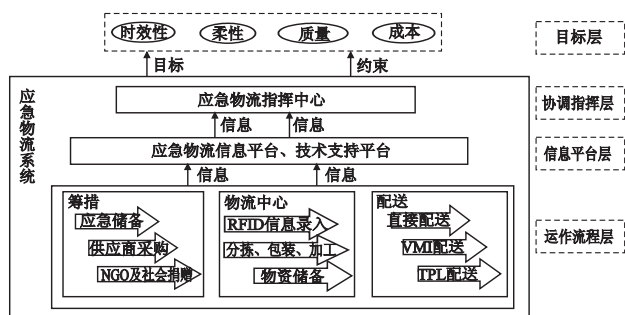


图1 地震灾害下ELS运作模型

地震灾害发生后,由于其极大的破坏性,往往会在短时间内产生巨大的物资需求量,且物资需求的种类繁多,从救灾专用设备到生活用品无所不包,对物资筹措系统提出了很大的挑战。物资筹措一般包括应急储备、供应商采购、NGO捐赠、社会捐赠等几种方式。由于物资供应端的多元性,筹措到的物资往往在数量、种类上都非常杂乱,如果物资未加以整合、分类就直接运往灾区,将出现物资管理混乱、配送效率低、物资浪费等问题。各物流中心负责将筹措到的救灾物资进行分拣、加工、录入 RFID 信息以及暂时存储,将救灾物资有效地分类,以便及时地调度配送。应急物资的配送一般有直接配送、VMI 配送、TPL 配送等方式。为了协调救灾物资

的供需平衡,物资配送系统除承担应急物资的配送外,还是救灾需求信息和救灾供应信息的交换枢纽,负责及时准确地收集受灾地区对救灾物资的种类以及数量需求,并根据轻重缓急将信息及时、准确地反馈回信息网络中心或者直接反映给指挥中心。

时效性、柔性、质量以及成本既是 ELS 的约束,又是 ELS 的目标。地震一旦发生,道路交通、通信设备等基础设施往往遭到很大的破坏,如果不能得到及时处置,将会出现损失迅速扩大,灾害甚至会演化为灾难。因此,应急物流最大的目标就是时效性最大化,也就是在最短时间内将所需救援物资送达灾区,使救援物资发挥最大的效用。地震后,往往伴随着余震和山体滑坡等次生灾害,并且无法准确预测灾害的持续时间、震级、受灾范围等参数,从而使救援物资需求的品种和数量具有不确定性。因此,根据需求的变化不断调整供应计划,尽可能高效、快速地满足灾区的需要,是 ELS 最重要的特征之一。在保证 ELS 高效、快速运行的基础上,还应注重节约成本。虽然应急物流是一种弱经济性的物流活动,但是国家在灾害预防和救助方面投入的资金毕竟有限,应当尽量节约成本,避免浪费。

2 地震灾害下 ELS 绩效评价指标体系建立

通过对 ELS 组成及其运作机制的研究分析,针对 ELS 的五个部分从时效性、柔性、质量、成本四个方面选取评价指标,提出了一套适合地震灾害下 ELS 绩效评价的指标体系,建立起的评价指标体系如图 2 所示。

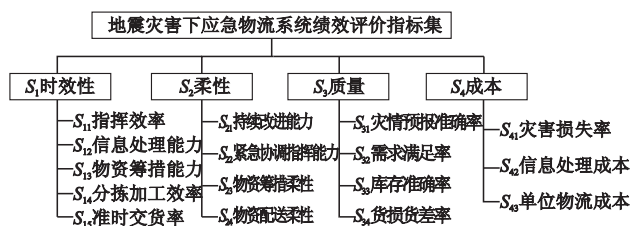


图2 地震灾害下ELS绩效评价指标体系

各指标计算方法^[11-16]如下:

1) S_1 时效性

S_{11} = 期内快速解决问题次数/期内总问题数 $\times 100\%$; S_{12} 、 S_{13} 为采用专家打分法获得; S_{14} = 及时分拣加工量/分拣加工总量 $\times 100\%$; S_{15} = 准时交货次数/总交货数 $\times 100\%$ 。

2) S_2 柔性

柔性反映了系统提高可靠性,增强快速响应的一种综合能力。本文选取了 S_{21} 持续改进能力、 S_{22} 紧急协调指挥能力、 S_{23} 物资筹措柔性以及 S_{24} 物资配送柔性四个指标对其进行评价。四个指标均为定性指标,采用专家打分法获得。

3) S_3 质量

S_{31} = 准确预报灾情次数/预报灾情总次数 $\times 100\%$; S_{32} = 满足需求次数/供货次数 $\times 100\%$; S_{33} = 账物相符货量/库存总量 $\times 100\%$; S_{34} = 缺损货品量/货品总量 $\times 100\%$ 。

4) S_4 成本

S_{41} = 受灾区域各类财产损失值/受灾区域该年 GDP $\times 100\%$; S_{42} 是指因处理、传输应急物流信息而产生的费用,包括与物资信息管理、物资需求处理有关的费用(万元); S_{43} 是单位物流量所需的费用(元/t)。

以上各指标中, S_{34} 、 S_{41} 、 S_{42} 、 S_{43} 为负向型指标, 其余均为正向型指标。

3 基于 BP 神经网络的 ELS 评价模型

在以往对 ELS 绩效评价的研究中, 主要采用的是传统的 AHP 与模糊综合评价法相结合的方法。使用这种方法计算量很大, 在确定指标权重向量时具有较强的主观性, 并且当绩效评价指标体系较大时, 在权重向量和为 1 的约束条件下, 相对隶属度系数往往偏小, 权重向量与模糊矩阵不匹配, 导致结果出现超模糊现象, 甚至会无法评判。本文探索性地采用 BP 神经网络的方法, 对 ELS 绩效进行评价。BP 神经网络评价解决了多指标变权问题的动态求解, 克服了权重确定过程中的主观因素, 使评价结果更具科学性。并且在实际应用中, 运用 BP 神经网络知识储存和自适应特征, 能够动态地对应急物流系统绩效进行评价, 使用人员可以根据实际情况对参数进行必要的修正, 使整个评价过程具有易操作的特点。

3.1 BP 神经网络模型设计

BP(back propagation)神经网络是一种按误差逆传播算法训练的多层前馈网络, 能学习和存储大量的输入—输出模式映射关系, 而无须事前揭示描述这种映射关系的数学方程。它的学习规则是使用最速下降法, 通过反向传播来不断调整网络的权值和阈值, 使网络的误差平方和最小。BP 神经网络模型拓扑结构包括输入层、隐层和输出层。Cybenyo 等人证明, 采用一层隐含层的神经网络能够以任何精度表示任何连续函数; 采用两层以上的隐含层可以减少误差、提高精度, 但是同时也会增加网络的复杂度, 延长训练时间。

通过比较分析, 本模型选择多输入、单输出、隐含层为一层的三层神经网络模型。其结构如图 3 所示。

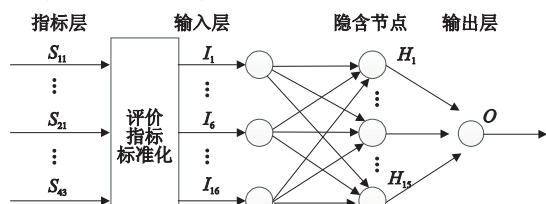


图3 BP神经网络模型结构

1) 输入节点的确定

根据建立的指标体系, 将反映 ELS 时效性、柔性、质量和成本的 16 个关键指标作为 BP 神经网络的输入节点, 分别以 I_i 表示。

2) 输出节点的确定

输出层的节点数一般由输出的数据类型以及表示该类型所需的数据大小决定。本文所建立的模型为评价模型, 输出一个评价价值, 因此定为一个输出节点, 以 O 表示。

由于地震灾害下的 ELS 绩效为定性概念, 很难用简单的数据表示, 因此本文将 ELS 绩效情况按得分水平确定为优秀、良好、一般和较差四个等级, 如表 1 所示。

表 1 ELS 绩效情况分级

等级	得分	水平	含义
I	(0.75, 1]	优秀	ELS 各个方面均表现良好, 绩效优秀
II	(0.5, 0.75]	良好	ELS 总体表现良好, 少部分指标仍可改进, 绩效良好
III	(0.25, 0.5]	一般	ELS 少数指标表现良好, 大部分指标需要改进, 绩效一般
IV	(0, 0.25]	较差	ELS 总体表现不佳, 各个方面都需要提高和改善, 绩效差

3) 隐层节点的确定

模型中隐层节点数的确定是一个非常重要的环节, 它与模型的输入和输出节点的个数都有直接关系, 可以参考以下三个公式:

$$n_1 = \sqrt{n + m} + a \quad (1)$$

其中: n 为输出节点个数; m 为输入节点个数; a 为 1 ~ 10 间的常数。

$$n_1 = \frac{3\sqrt{nm}}{2} \quad (2)$$

其中: n 为输出节点个数; m 为输入节点个数。

$$n_1 = \log_2 n \quad (3)$$

在综合考虑网络结构复杂程度和误差大小的情况下, 本模型隐含节点数选择为 16, 以 H_i 表示。

4) 转移函数

本模型选择 $\text{logsig}()$ S 型对数函数作为输入层与隐层之间的转移函数, 以及隐层与输出层之间的转移函数。

$$y = f(x) = 1 / (1 + e^{-x}) \quad y \in [0, 1] \quad (4)$$

3.2 主要参数的选择

根据评价模型特点, 本文对 BP 神经网络模型的主要参数选择如下:

- a) 网络训练函数。本文采用批处理方式, 选择 traingd 作为训练函数。
- b) 网络学习函数。选择 learntrgm 函数。
- c) 性能函数。选择 MSE (mean squared error) 函数, MSE 表示均方误差。
- d) 学习率取 0.000 1。
- e) 期望误差 $S = 0.000 1$ 。
- f) 最大训练次数为 10 000 次。
- g) 每运行 50 次显示一次学习过程。
- h) 其他参数均为缺省值。

3.3 数据的标准化

按照以下原则对指标的原始数据进行标准化处理, 其方法如下:

- a) 正向型指标 (其值越大评价越好)

$$F_j = (x_j - x_{j \min}) / (x_{j \max} - x_{j \min}) \quad (5)$$

- b) 负向型指标 (其值越小评价越好)

$$F_j = 1 - (x_j - x_{j \min}) / (x_{j \max} - x_{j \min}) \quad (6)$$

其中: x_j 为原始值; F_j 为标准化值; $x_{j \min}$ 为第 j 个指标的样本数据最小值; $x_{j \max}$ 为第 j 个指标的样本数据最大值; j 是指标的序号。

4 实例验证

4.1 样本训练

某地区遭遇百年不遇的地震灾害, 利用以上建立的基于 BP 神经网络的评价模型对这次地震中 ELS 的绩效进行评价, 运用 MATLAB 进行编程。收集经专家精确评定的学习样本指标原始数据 10 例。

表 2 为学习样本指标原始数据。3.3 节中的方法对以上原始数据进行标准化处理, 处理结果如表 3 所示。

表2 学习样本指标原始数据

指标	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S_{11}	0.4	0.64	0.9	0.67	0.48	0.5	0.8	0.6	0.9	0.59
S_{12}	0.7	0.5	0.7	0.9	0.5	0.3	0.7	0.9	0.7	0.7
S_{13}	0.5	0.9	0.7	0.9	0.7	0.3	0.7	0.9	0.5	0.7
S_{14}	0.85	0.88	0.63	1	0.86	0.88	0.67	0.94	0.71	0.82
S_{15}	0.83	0.57	0.83	0.81	0.62	0.59	0.84	0.74	0.62	0.54
S_{21}	0.3	0.5	0.5	0.9	0.7	0.5	0.3	0.5	0.7	0.7
S_{22}	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.5	0.7	0.5	0.9	0.3
S_{23}	0.7	0.3	0.5	0.7	0.9	0.1	0.5	0.3	0.5	0.7
S_{24}	0.3	0.9	0.7	0.7	0.5	0.5	0.9	0.7	0.7	0.3
S_{31}	0.52	0.6	0.64	0.72	0.38	0.4	0.58	0.45	0.66	0.62
S_{32}	0.58	0.9	0.72	0.95	0.78	0.5	0.72	0.9	0.68	0.7
S_{33}	0.88	0.92	0.9	0.95	0.89	0.93	0.96	0.89	0.94	0.96
S_{34}	0.34	0.2	0.09	0.14	0.26	0.18	0.07	0.3	0.14	0.12
S_{41}	0.0018	0.002	0.008	0.0036	0.0066	0.0006	0.0058	0.017	0.0052	0.0071
S_{42}	160	200	180	195	165	210	185	205	175	170
S_{43}	1500	2000	2200	1800	1600	1900	2100	2400	1700	2200
专家打分等级	0.40	0.58	0.65	0.80	0.46	0.22	0.75	0.56	0.62	0.45
	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ

表3 标准化处理后的学习样本指标数据

指标	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S_{11}	0.00	0.48	1.00	0.54	0.16	0.20	0.80	0.40	1.00	0.38
S_{12}	0.67	0.33	0.67	1.00	0.33	0.00	0.67	1.00	0.67	0.67
S_{13}	0.33	1.00	0.67	1.00	0.67	0.00	0.67	1.00	0.33	0.67
S_{14}	0.59	0.68	0.00	1.00	0.62	0.68	0.11	0.84	0.22	0.51
S_{15}	0.97	0.10	0.97	0.90	0.27	0.17	1.00	0.67	0.27	0.00
S_{21}	0.00	0.33	0.33	1.00	0.67	0.33	0.00	0.33	0.67	0.67
S_{22}	0.33	0.67	0.00	0.33	0.67	0.33	0.67	0.33	1.00	0.00
S_{23}	0.75	0.25	0.50	0.75	1.00	0.00	0.50	0.25	0.50	0.75
S_{24}	0.00	1.00	0.67	0.67	0.33	0.33	1.00	0.67	0.67	0.00
S_{31}	0.41	0.65	0.76	1.00	0.00	0.06	0.59	0.21	0.82	0.71
S_{32}	0.18	0.89	0.49	1.00	0.62	0.00	0.49	0.89	0.40	0.44
S_{33}	0.00	0.50	0.25	0.88	0.13	0.63	1.00	0.13	0.75	1.00
S_{34}	0.00	0.52	0.93	0.74	0.30	0.59	1.00	0.15	0.74	0.81
S_{41}	0.93	0.91	0.55	0.82	0.63	1.00	0.68	0.00	0.72	0.60
S_{42}	1.00	0.20	0.60	0.30	0.90	0.00	0.50	0.10	0.70	0.80
S_{43}	1.00	0.44	0.22	0.67	0.89	0.56	0.33	0.00	0.78	0.22
专家打分	0.40	0.58	0.65	0.80	0.46	0.22	0.75	0.56	0.62	0.45

4.2 结果分析

将样本数据输入所编程序,在 MATLAB 软件上运行,运行约 2000 次后精度达到要求,误差变化情况如图 4 所示。

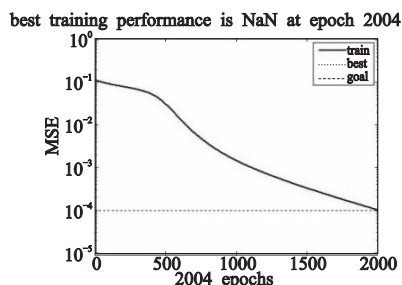


图4 网络训练误差变化曲线

运行结果与专家评定的实际值比较情况如表 4 所示。由表 4 可以看出,经网络训练,误差平方和 MSE 控制在期望误差之下,至此,基于 BP 神经网络的 ELS 绩效评价模型已经建成。对地震灾害下 ELS 绩效进行评价时,只需在程序中输入一组经标准化处理的指标数据,就可以得到 ELS 的绩效评价价值,进而对 ELS 绩效进行分级。

5 结束语

本文基于对地震灾害下 ELS 运作模型的分析,提出了一

套地震灾害下应急物流绩效评价的指标体系,并将指标体系与 BP 神经网络相结合,通过模型设计、参数设计以及样本训练,建立了地震灾害下 ELS 绩效评价模型。在实际应用中,考虑地震发生时 ELS 运作的具体情况,可对各项指标以及模型参数加以修正与改进。实例验证的结果表明,运用本文所设计的基于 BP 神经网络的评价模型对 ELS 绩效进行评价具有科学性及其可行性,为更大程度地实现应急物流目标提供了参考依据。

表4 BP神经网络训练值与实际值比较

样本	实际值	训练值	绝对误差
1	0.40	0.401 99	-0.001 99
2	0.58	0.579 92	0.000 08
3	0.65	0.652 18	-0.002 18
4	0.80	0.796 81	0.003 19
5	0.46	0.450 05	0.009 95
6	0.22	0.225 13	-0.005 13
7	0.75	0.728 62	0.021 38
8	0.56	0.563 47	-0.003 47
9	0.62	0.639 62	-0.019 62
10	0.45	0.449 16	0.000 84

参考文献:

- [1] 陈坚,晏启鹏,霍娅敏,等.基于可靠性分析的区域灾害应急物流网络设计[J].西南交通大学学报,2011,46(6):1025-1031.
- [2] 甘明,王丰,欧忠文,等.基于模糊聚类法的应急物流绩效评估方法研究[J].物流技术,2010,29(1):75-77.
- [3] KUWATA Y, NODA I, OHTA M, *et al.* Evaluation of decision support systems for emergency management[C]//Proc of the 41st SICE Annual Conference. 2002:860-864.
- [4] OZDAMAR L, EKINCI E, KÜÇÜKYAZICI B J. Emergency logistics planning in natural disasters[J]. Annals of Operation Research, 2004,129(1-4):217-245.
- [5] FIEDRICH F, GEHBAUER U R. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters[J]. Safety Science, 2000,35(1):41-57.
- [6] THOMAS M U. Supply chain reliability for contingency operations[C]//Proc of Annual Reliability and Maintainability Symposium. 2002:61-67.
- [7] 刘传铭,王玲.政府应急管理组织绩效评测模型研究[J].哈尔滨工业大学学报:社会科学版,2006,8(1):64-68.
- [8] 钟利军.应急物流系统绩效评价[J].物流工程与管理,2009,31(3):68-69.
- [9] 屈龙,李淑庆,冯绍海,等.基于模糊数学的应急物流绩效评估方法研究[J].交通信息与安全,2010,28(5):65-68.
- [10] 吴青,龚亚伟.地震救灾物资的路径选择[J].东南大学学报:自然科学版,2007,37(S2):343-347.
- [11] 任朝辉,陈颖慧.物流系统量化探讨[J].中国航海,2002(3):45-48.
- [12] 陈志祥.敏捷供需协调绩效评价指标体系研究[J].计算机集成制造系统,2004,10(1):99-105.
- [13] 刘长未,易树平,杨先露,等.模糊综合评判在物流系统评价中的应用[J].中国机械工程,2004,15(14):1309-1312.
- [14] 马士华,陈铁巍.基于供应链的物流服务能力构成要素及评价方法研究[J].计算机集成制造系统,2007,13(4):744-750.
- [15] 霍佳震,隋明刚,刘仲英,等.集成化供应链整体绩效评价体系构建[J].同济大学学报:自然科学版,2002,30(4):495-499.
- [16] 周光全,非明伦,施伟华,等.1992—2005年云南地震灾害损失与主要经济指标研究[J].地震研究,2006,29(2):198-202.