

建筑安全管理绩效二次相对评价研究

张仕廉, 吴美存

(重庆大学建设管理与房地产学院, 重庆 400045)

摘要: 为了提高地区建筑安全管理绩效的评价水平, 消除地区间客观基础条件优劣的影响, 反映人的主观有效努力程度在提高建筑安全管理绩效中所起的作用, 引入二次相对评价方法, 提出基于数据包络分析(DEA)的建筑安全管理绩效评价方法。首先在分析相关文献的基础上, 建立了评价地区安全管理绩效定量指标体系, 并结合层次分析法给出各指标权重; 最后将该方法运用于2010—2011年国内30个地区的建筑安全管理绩效评价分析。

关键词: 建筑安全; 绩效评价; 层次分析法(AHP); 二次相对评价; 数据包络分析(DEA)

中图分类号: X947

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2013)04-0591-06

建筑业是我国国民经济的支柱产业之一, 是促进相关产业发展的基础性和引导性产业。而建筑业和其他行业相比, 事故率居高不下, 是除煤矿业之外的第二高风险行业, 地区建筑安全事故的频发, 给人民生命经济财产安全造成了严重的损失, 有效减少地区安全事故的发生和损失已成为建筑安全管理的重中之重。安全管理绩效研究有助于促使地区建筑安全管理部门向现代主动、主导的综合安全管理模式发展, 因此, 建立合理的安全管理绩效评价机制是建筑安全管理部门有效进行地区建筑安全管理的关键所在。

对建筑业安全管理绩效的评价不仅需要合理的定性评价更需要科学的定量评价, 定量分析能合理的量化安全投入、产出和功能等安全评价因素。目前学者关于建筑安全管理绩效评价研究多以定性研究为主, 定量研究较少。定性研究的不足之处在于: 一是指标体系不够全面, 未将定量指标涵盖进去; 二是定性指标基于人的主观判断主观性太强, 缺乏一定的客观性。而定量研究的文献则主要集中在以下几个方面: 邢益瑞、张孟春等^[1]运用网络层次分析法(ANP)建立建筑安全管理绩效评价框架, 并发现事故致因的传递路径; 李成华、李慧民等^[2]提出了可以对建筑企业的安全管理绩效进行多准则实时评价的模糊层次法模型; 索丰平^[3]将灰色理论和熵理论引入了建筑安全评价领域, 利用二者的优点根据指标体系建立了建筑安全综合评价模型, 通过案例得出了各施工现场人、机和环境的安全性优劣排序; 狄建华^[4]研究了模糊数学理论在建筑安全综合评价中的应用, 并给出了一种量化的多级综合评价方法; 强茂山、方东平等^[5]对广东省主要城市的建设工程项目进行调查研究, 得出安全投入指标、各分项安全投入指标和安全绩效的关系。

鉴于目前还少有将地区建筑安全实际事故发生起数和死亡人数等统计分析数据作为定量指标来对地区建筑安全管理绩效进行综合评价。笔者拟根据国内30个地区建筑实际事故发生起数和死亡情况等统计数据, 首先建立地区建筑安全管理绩效评价指标体系, 然后利用层次分析法(AHP)确定该评价指标体系的指标权重, 并引入数据包络分析(DEA)工具, 给出基于二次相对评价方法的地区建筑安全管理绩效评价。

1 地区建筑安全管理绩效评价体系的构建

我国对地区安全事故管理绩效评价主要采用多指标控制体系^[6]。建筑安全管理绩效评价指标体系的设计是一项系统工程, 整个指标体系在确定的过程中始终要遵循系统性、全面性、可比性和可行性四个基本原则。确定合理的地区建筑安全绩效评价指标是对地区建筑业进行安全产业绩评价的关键^[2]。

结合我国的建筑安全生产特点和建筑安全管理特征, 可以得出影响建筑安全管理绩效的因素很多。

收稿日期: 2012-11-16 修改稿日期: 2013-07-28

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(07BJY116)

作者简介: 张仕廉(1960-), 男, 重庆合川人, 教授, 主要从事建筑安全管理、建设项目管理、工程经济等方面研究。

笔者将从定量分析的角度出发,参考《施工企业安全生产评价标准》^[7](JGJ/77-2003)及相关文献^[8-10]得出尽管评价建筑管理绩效的定性评价指标不尽相同,但最终都可以归结到用建筑实际事故发生起数和死亡情况等定量指标表示.因此,表 1 给出了影响地区建筑安全管理绩效评价定量指标体系.该指标体系中包括三个层次:目标层、准则层和基本指标层,其中基本指标层一共含 7 个定量指标.

层次分析法(AHP)是目前安全评价指标体系中常用的方法,它利用层次结构把复杂系统划分为互为联系的有序关联层,使系统的各因素变得条理化^[11].因此,笔者将利用层次分析法(AHP)确定表 1 中的各指标权重.

2 建立二次相对评价模型

2.1 评价指数

在建立科学的建筑安全管理绩效评价方案时,除要考虑指标体系的合理性外,还必须要考虑各地区所处的客观基础条件的差异,综合运用层次分析法和数据包络分析(DEA)的二次相对评价方法在动态中进行,该方法可以消除地区客观基础条件优劣的差别,有效反映人主观努力程度.具体有以下三个参数:

(1)参考指数:采用层次分析法对地区以往的建筑安全绩效进行评价,该评价结果体现了评价地区的实力,反映了地区间客观基础条件优劣的评价结果.

(2)当前指数:运用同样的方法对该地区当前的建筑安全绩效进行评价,得到的评价结果.

(3)指数状态:基于参考指数和当前指数两者组成的数组.

2.2 几何解释

二次相对评价方法的几何解释如图 1 所示,将参考指数作为横坐标,当前指数作为纵坐标.假设坐标系中有三个对象参加评价,三者的指数状态分别为 $A(X_1, Y_1)$, $B(X_2, Y_2)$, $C(X_3, Y_3)$, 评价对象 B 的参考指数介于评价对象 A , C 之间,即 $X_1 < X_2 < X_3$, 如果评价对象 B 的指数状态 $B(X_2, Y_2)$ 低于 $A(X_1, Y_1)$ 和 $C(X_3, Y_3)$ 的连线 AC , 则可以认为评价对象 B 的有效主观努力程度不如评价对象 A 和 C . A 与 C 之间的连线可以认为是 A , B , C 三者的相对前沿面, B 在该前沿面上的投影为 $B^*(X_2, Y_2^*)$, 则 Y_2 与 Y_2^* 的比值可以作为反映 B 有效努力程度的二次相对评价.

在实际使用需要对多个评价对象进行评价时,可先采用数据包络分析(DEA)方法得到指数状态的可能集的前沿面,然后推算出二次相对评价.

2.3 二次相对评价方法

设有 n 个评价对象, x_j 是第 j 个地区建筑安全的参考指数, y_j 是该地区建筑安全的当前指数,则数组 (x_j, y_j) 为第 j 个地区建筑安全的指数状态.称式(1)为指数状态 (x_j, y_j) 组成的指数状态可能集,其中 $(x_0, y_0) = (0, 0)$.

$$T = \{(x, y) \mid \sum_{j=0}^n \lambda_j x_j \leq x, \sum_{j=0}^n \lambda_j y_j \geq y, \sum_{j=0}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j = 0, 1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

把参考指数作为一种输入,把当前指数作为一种输出,采用数据包络分析(DEA)面向输出的 BCC 模型,构造出指数状态前沿面,具体模型如下:

表 1 地区建筑安全管理绩效指标体系

Tab. 1 Area of construction safety management performance index system

目标层	准则层	基本指标层
建筑安全管理绩效	建筑安全实际伤亡事故评价指标(0.3)	建筑安全事故起数(0.45)
		建筑安全死亡人数(0.55)
	建筑安全经济评价指标(0.5)	百亿元 GDP 死亡率(0.55)
		十万从业人员死亡率(0.35)
		固定资产投资增长率(0.1)
	建筑安全伤亡事故趋势评价指标(0.2)	事故起数下降率(0.4)
		死亡人数下降率(0.6)

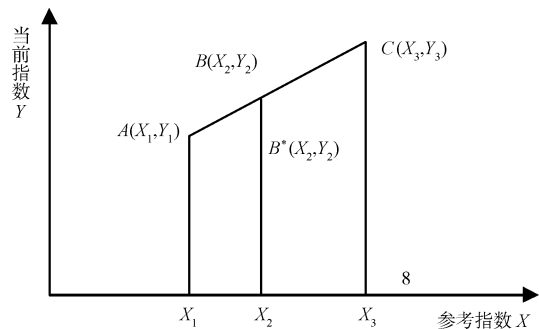


图 1 二次相对评价的几何解释

Fig. 1 The geometry explanation of two stage relative evaluation

$$\left\{ \begin{array}{l} \max Z \\ s. t. \\ \sum_{j=0}^n \lambda_j x_j \leq x_{j_0} \\ \sum_{j=0}^n \lambda_j y_j \geq Z y_{j_0} \\ \sum_{j=0}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, j = 0, 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \quad (2)$$

上述模型(2)中最优值存在且 $Z^* = 1$, 则称该地区建筑安全处在指数状态可能集 T 的前沿面上. 若 $Z^* > 1$, 该地区建筑安全不在 T 前沿面上, 一般地, 若 Z^* 是模型(2)的最优解, 令 $\bar{x}_{j_0} = x_{j_0}$, $\bar{y}_{j_0} = Z^* y_{j_0}$, 可以看出 $(\bar{x}_{j_0}, \bar{y}_{j_0})$ 处在指数状态的可能集的前沿面上, 称 $(\bar{x}_{j_0}, \bar{y}_{j_0})$ 为指数状态 (x_{j_0}, y_{j_0}) 在指数状态可能集 T 前沿面上的投影. 指数状态前沿面包括了全部指数状态 $(x_j, y_j), j = 0, 1, 2, \dots, n$, 它反映了被评价系统输入输出之间的最优关系. 设 Z^* 是模型(2)的最优值, 它反映被评价地区建筑安全指数状态离前沿面的程度, 凭此可以得到各被评价地区建筑安全的相对有效值. 称 $\eta = 1/Z^* \times 100\%$ 为第 y_j 个地区的二次相对评价价值. 由 $1/Z^* = y/\bar{y}$ 可见, 二次相对评价价值是每个地区建筑安全的当前指数占在相同条件下可能达到的最大值的百分比.

3 二次相对评价实例分析

3.1 指标数据收集

笔者通过对国内 30 个地区统计年鉴数据的搜集和汇总整理, 获得各地区 2010 年和 2011 年的以下数据: 地区生产总值、建筑从业人员数、建筑事故起数、建筑事故死亡人数、固定资产投资, 考虑原始数据的累赘性特点, 原始数据暂不列出.

由于衡量地区建筑安全投入和产出因素在货币量化方面存在比较大的困难, 利用建筑安全生产事故实际情况作为定量指标来评价建筑安全管理绩效可以跨越安全绩效指标难以量化的障碍. 笔者通过对搜集到的原始数据进行计算和整理得到定量评价指标数据, 如表 2 所示.

表 2 2010 年和 2011 年各评价地区定量指标数据汇总表
Tab. 2 The evaluation of regional quantitative data collection in 2010 and 2011

地区	安全事故起数		安全死亡人数		百亿元 GDP 死亡率		十万从业人员死亡率		固定资产投资增长率/%		事故起数下降率/%		死亡人数下降率/%	
	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年
北京	28	28	34	34	0.241	0.209	5.726	6.855	17.03	9.39	0.08	0.000	0.17	0.000
天津	14	18	16	20	0.173	0.179	3.345	3.903	32.50	19.63	0.56	0.286	0.60	0.250
河北	14	22	20	25	0.098	0.102	1.557	2.075	22.93	8.66	-0.33	0.571	-0.20	0.250
山西	13	5	18	8	0.196	0.071	2.395	1.290	22.66	21.60	0.00	-0.615	-0.28	-0.556
内蒙古	24	17	28	35	0.240	0.060	6.427	8.526	21.67	22.11	0.50	-0.292	0.75	0.250
辽宁	15	17	24	42	0.130	0.189	1.454	2.446	30.51	10.49	-0.17	0.133	0.26	0.750
吉林	22	21	36	24	0.415	0.228	8.783	5.500	22.75	30.30	0.22	-0.045	0.64	-0.333
黑龙江	23	18	24	18	0.231	0.143	4.272	1.391	35.47	9.73	0.44	-0.217	0.50	-0.250
上海	44	40	45	41	0.262	0.214	4.701	4.233	1.29	0.30	-0.02	-0.091	-0.06	-0.089
江苏	49	58	63	59	0.152	0.120	1.065	0.971	22.35	13.50	0.09	0.184	0.11	-0.063
浙江	45	44	45	53	0.162	0.166	0.795	0.881	15.21	13.75	0.10	-0.022	-0.06	0.178
安徽	27	25	37	29	0.299	0.190	2.344	1.736	28.39	5.24	-0.47	-0.074	-0.40	-0.216
福建	16	16	17	19	0.115	0.108	0.919	0.867	31.58	23.42	-0.20	0.000	-0.15	0.118
江西	14	13	19	19	0.201	0.162	2.214	2.235	32.05	3.59	-0.13	-0.071	0.00	0.000
山东	19	18	23	23	0.059	0.051	0.732	0.748	22.31	14.99	0.06	-0.053	-0.08	0.000
河南	6	9	7	18	0.030	0.067	0.298	0.786	21.03	7.14	-0.45	0.500	-0.53	1.571

(续上表)

地区	安全事故起数		安全死亡人数		百亿元 GDP 死亡率		十万从业人员死亡率		固定资产投资增长率/%		事故起数下降率/%		死亡人数下降率/%	
	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年	2010 年	2011 年
湖北	26	20	33	28	0.207	0.143	2.122	1.640	30.45	26.04	0.13	-0.231	0.22	-0.152
湖南	19	20	23	26	0.143	23.050	1.530	2.515	25.45	30.00	-0.42	0.053	-0.49	0.130
广东	30	29	43	46	0.093	0.087	2.284	1.522	20.80	7.81	-0.29	-0.033	-0.19	0.070
广西	19	14	19	14	0.199	0.119	3.220	2.354	34.76	43.96	0.27	-0.263	0.19	-0.263
海南	10	10	10	10	0.484	0.396	9.093	18.171	33.26	85.11	-0.17	0.000	-0.17	0.000
重庆	17	18	20	20	0.252	0.200	1.437	1.483	28.28	14.90	-0.47	0.059	-0.41	0.000
四川	26	16	36	18	0.209	0.086	1.180	0.722	15.34	15.30	0.53	-0.385	0.71	-0.500
贵州	16	16	27	19	0.587	0.333	7.996	5.733	28.73	64.31	-0.59	0.000	-0.31	-0.296
云南	27	26	35	29	0.484	0.331	4.682	3.774	22.14	28.60	0.00	-0.037	0.21	-0.171
陕西	16	8	19	9	0.188	0.072	1.815	0.990	27.48	25.87	0.33	-0.500	0.36	-0.526
甘肃	16	10	16	12	0.388	0.239	3.532	2.507	33.66	32.36	0.14	-0.375	0.14	-0.250
青海	9	10	9	13	0.666	0.778	10.106	14.577	27.40	41.05	0.00	0.111	-0.44	0.444
宁夏	5	6	7	7	0.414	0.340	7.220	6.764	34.23	14.14	-0.50	0.200	-0.30	0.000
新疆	16	15	17	18	0.313	0.272	7.533	9.114	25.60	37.67	0.23	-0.063	0.21	0.059

3.2 二次相对评价测算

笔者是基于评价指标体系各指标的指标值及相应权重对 2010 年 2011 年国内 30 个地区的建筑安全状况进行综合评价。将 2010 年 30 个地区的建筑安全管理绩效评价结果作为二次评价的参考指数,2011 年的评价结果则作为当前指数,然后利用二次相对评价法进行测算,代入基于数据包络分析(DEA)面向输出的 BCC 模型中,评价结果如表 3 所示。

3.3 评价结果分析

从测算的结果分析发现,所选取的 30 个地区在 2010 年的参考指数和 2011 年的当前指数排名越靠前,其建筑安全状况水平越差,如表 3 中参考指数和当前指数排名在前 10 的地区,这部分地区大多为经济较发达的东部沿海地区(江苏、上海、浙江、安徽、福建、江西、山东、河南、湖北、湖南、广东等);而参考指数和当前指数排名相对靠后的地区,建筑安全状况水平表现反而较好,如表 3 中排名在后 10 位的地区,这部分地区大多为经济较落后的西部地区(宁夏、青海、甘肃、陕西等)。导致这一反常现象存在两个方面原因,一是我国建筑业地区发展不均衡,东部地区占全国建筑业产值的 60%,致使东部地区快速发展建筑业呈现事故高发、多发态势;二是安全管理人员配备和安全管理工作的不能适应东部地区建筑业发展的需要,难以实现全员、全过

表 3 30 个地区的建筑安全评价指数和排名

Tab. 3 Consturction safety assessment index of 30 regions and ranking

地区	参考指数 (2010 年)	排名 (2010 年)	当前指数 (2011 年)	当前 排名	二次相对 评价结果	绩效 排名
北京	10.494	6	10.70	6	0.43	15
天津	5.296	24	6.54	15	0.521	7
河北	5.450 5	23	7.59	30	0.587	4
山西	5.175 8	25	2.11	29	0.172	29
内蒙古	9.191 6	11	9.58	8	0.44	10
辽宁	6.308 1	18	9.82	7	0.657	3
吉林	10.667	5	7.79	11	0.308	23
黑龙江	7.989 1	13	5.63	21	0.297	25
上海	14.252	2	12.9	4	0.382	18
江苏	17.27	1	17.8	1	0.435	13
浙江	13.692	3	14.9	2	0.459	8
安徽	10.171	8	8.48	10	0.352	20
福建	5.139 2	26	5.5	22	0.451	9
江西	5.473 4	22	5.32	23	0.41	17
山东	6.510 7	15	6.37	17	0.413	16
河南	1.936 3	30	4.59	26	1	1
湖北	9.435 3	10	7.61	12	0.34	21
湖南	6.587 4	14	13.8	3	0.884	2
广东	11.535	4	11.8	5	0.432	14
广西	6.38	17	4.6	25	0.304	24
海南	4.707	27	6.33	18	0.567	6
重庆	5.843 1	19	6.06	20	0.438	12
四川	9.849 2	9	5.18	24	0.222	27
贵州	8.105 7	12	6.39	16	0.333	22
云南	10.409	7	9.04	9	0.366	19
陕西	5.747 7	20	2.65	29	0.194	28
甘肃	5.569 6	21	3.78	27	0.286	26
青海	4.612 6	28	6.35	19	0.581	5
宁夏	3.148 5	29	3.27	28	0.438	12
新疆	64.258	16	668	14	0.439	11

程、全方位、全工序的安全监控。

二次相对评价所得到的评价结果则反映了评价指标体系中的各指标值在2010年和2011年的变动幅度,二次相对评价价值越大,建筑安全管理绩效水平提高幅度越大,如河南、湖南、吉林、河北;因东部沿海地区建筑安全管理绩效提升幅度空间相对较小,表现为二次相对评价绩效排名相对相对靠中,如江苏、上海、广东、山东;而西部地区建筑安全管理绩效却存在巨大的提升空间和潜力,表现为二次相对评价绩效排名相对靠前,如青海、宁夏、新疆。因此,运用二次相对评价得到评价结果并不依靠参考指数或当前指数的高低,而是依据这两年的指数状态的动态变化幅度。二次相对评价结果反映的优劣是相对的,主要取决于指数状态偏离指数状态的可能集前沿面的程度。利用这样的评价方法能够消除因客观基础条件优劣影响而导致的对地区建筑安全管理绩效评价的不客观性和不公正性,从而根据当前指数和参考指数之间的动态变化来真实反映管理者的建筑安全绩效管理水平和。

4 结 论

笔者通过将层次分析法和数据包络分析法(DEA)相结合的二次相对评价方法作为对地区建筑安全管理绩效评价的方法是可行的。这种评价方法是在动态中进行的,测算的是指数状态的相对有效性,可以消除因客观基础条件优劣影响而导致的对建筑安全管理绩效评价的不客观性和不公正性,反映人的有效主观努力程度,得出以下结论:(1)将地区建筑实际发生起数和死亡人数、从业人员和地区生产总值(GDP)等统计数据作为定量指标,建立了地区建筑安全管理绩效指标体系,并运用层次分析法给出了相应的权重。(2)运用二次相对评价方法对国内30个地区的建筑安全管理绩效进行了评价,真实反映了地区建筑安全管理绩效的动态变化过程,为地区建筑安全管理者提高建筑安全管理水平提供了参考依据。

参考文献 References

- [1] 刑益瑞,佟瑞鹏,张孟春. 基于 ANP 的建筑安全管理绩效评价框架研究[J]. 中国安全科学学报,2010,20(4):110-115.
XING Yi-rui, TONG Rui-peng, ZHANG Meng-chun. ANP-based research on construction safety management performance evaluation framework[J]. China Safety Science Journal, 2010, 20(4): 110-115.
- [2] 李成华,李慧民,云小红. 基于模糊层次分析法的建筑安全管理绩效评价研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2009,41(2):207.
LI Cheng-hua, LI Hui-min, YUN Xiao - hong. Construction safety management performance evaluation based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Xi'an University of Arch & Tech: Natural Science Edition, 2009, 41(2): 207
- [3] 索丰平. 建筑安全评价及应用研究[J]. 煤炭工程,2007,4(5):111.
SUO Feng-ping. Research on construction safety assessment and application [J]. Coal Engineering , 2007, 4(5): 111.
- [4] 狄建华. 模糊数学理论在建筑安全综合评价中的应用[J]. 华南理工大学学报:自然科版,2002,30(7):87.
DI Jian-hua. Application of fuzzing mathematics for safety comprehensive assessment of construction[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2002, 30(7): 87.
- [5] 强茂山,方东平,肖红萍,等. 建设工程项目的安全投入与绩效研究[J]. 土木工程学报,2004,37(11):101.
QIANG Mao-shan, FANG Dong-ping, XIAO Hong-ping, et al. Research on safety input and safety performance of construction engineering projects[J]. China Civil Engineering Journal, 2004, 37(11): 101.
- [6] 魏玖长,赵定涛. 基于 DEA 方法的安全事故管理绩效评价分析[A]//现代工业工程与管理研讨会,2006(6):109.
WEI Jiu-chang, ZHAO Ding-tao. Evaluation analysis on performance of safety emergencies management based on data envelopment analysis[A]//Modern Industrial Engineering and Mangement Seminar, 2006(6): 109.
- [7] JGJ/T 77-2003 施工企业安全生产评价标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
JGJ/T 77-2003 Standard of the work safety assessment for construction company[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003.
- [8] 刘 霁,李 云,刘 浪. 基于 SEM 的建筑施工企业 KPI 安全绩效评价[J]. 中国安全科学报,2011,21(6):124.
LIU Ji, LI Yun, LIU Lang. Evaluation on construction enterprises' KPI safety performance based on SEM[J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(6): 124.
- [9] 张 强. 建筑安全工作绩效评估指标体系研究[J]. 建筑经济,2008(4):5-8.
ZHANG Qiang. Evaluation index system research of construction safety management performance [J]. Construction Economy, 2008(4): 5-8.

- [10] 陈坚斌,张正辉,张超. 建筑安全系统管理与控制研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2008, 4(5): 162-165.
CHENG Jian-bin, ZHANG Zheng-hui, ZHANG Chao. Study on system management and controlling of construction safety[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2008, 4(5): 162-165.
- [11] 徐小平, 张来斌, 段礼祥, 等. 基于层次分析法的往复压缩机组安全评价指标体系研究[J]. 工业安全与环保, 2012, 38(1): 28.
XU Xiao-ping, ZHANG Lai-bin, DUAN Li-xiang, et al. Research on reciprocating compressors safety assessment system based on AHP[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2012, 38(1): 28.

Performance researchtwo on the stage relative evaluation of construction safety management

ZHANG Shi-lian, WU Mei-cun

(Faculty of Construction Management and Real Estate, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: The two stage relative evaluation method, based on Data Envelopment Analysis (DEA) construction safety management performance evaluation method, is introduced to improve the performance of construction safety management evaluation, eliminate the influence of different regional basic conditions, and reflect people's subjective effective efforts in improving construction safety management performance. In this paper based on the analysis of relative literatures, the author established the evaluation index system of regional security management performance and, combined with analytic hierarchy process (AHP) the index weight is given; finally, the method is applied in construction safety management performance evaluation analysis in 30 areas of China in 2010 and 2011 year.

Key words: construction safety; performance evaluation; analytic hierarchy process (AHP); two stage relative evaluation; data envelopment analysis (DEA)

Biography: ZHANG Shi-lian, Professor, Chongqing 400045 P. R. China, Tel: 0086-13608338753, E-mail: zslan@cqu.edu.cn

(上接第 586 页)

Numerical simulation about the influence of rising bubble on particle movement in static water

ZHANG Hong-yan, XU Lin, CUI Hai-hang

(1. School of Environment and municipal engineering, Xi'an Univ of Arch & Tech, Xi'an 710055, China;

2. Xi'an non-ferrous metallurgical institute of design & research, Xi'an 710001, China)

Abstract: Rising bubble will induce flow field, and then affect the movement of particles in static water. There are many gas-liquid-solid three-phase flow problems in the water treatment field, for which we need to establish an effective method of study. This paper used the phase field method to simulate the gas-liquid two phase flow. Two important results, the dynamic processes of bubble rising, expansion and deformation and the induced external flow field of this rising bubble, were obtained from simulation directly. Particles were introduced into this system and their movement under the gravity, buoyancy and Stokes force was investigated. So far, the model of particle movement under the action of rising bubble was established. On this basis, we studied the effect of different parameters, including particle size, the transverse distribution and the vertical position was studied. To compare with the previous experiment about the particles movement in backwash filter, it can be seen that the numerical simulation reflects the microscopic mechanism of particle movement by rising bubble rise very well.

Key words: Bubble; gas-liquid two phase flow; the phase field method; particles movement; backwash filter

Biography: ZHANG Hong-yan, Professor, Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-13363965345, E-mail: zhanghongyan@xauat.edu.cn