

文章编号:1672-9331(2017)03-0073-06

# 城市深基坑支护工程绿色施工的多层次灰色评价

杨玉胜, 张红芬

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 为了提高绿色施工水平, 解决深基坑支护方案选择不当对资源环境造成严重威胁的问题, 从绿色施工的角度出发, 先对影响城市深基坑支护工程绿色施工的各个因素进行了分析, 从绿色施工、环境保护、资源能源节约三个方面建立了综合评价指标体系; 然后利用层次分析法确定了权重, 利用灰色系统理论建立了城市深基坑支护工程的多层次灰色评价模型。将该评价方法用于湘核新家园深基坑支护工程方案优选中, 结果表明, 土钉支护的综合评价价值最高, 是最适合绿色施工要求的支护方案。

**关键词:** 绿色施工; 深基坑支护工程; 多层次灰色评价模型; 评价方法; 湘核新家园; 方案优选

中图分类号: TU745.3

文献标识码: A

## Multilevel grey evaluation of green construction in the urban deep foundation pit supporting engineering

YANG Yu-sheng, ZHANG Hong-fen

(School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, China)

**Abstract:** For the purpose of improving the level of green construction and solving the problem threatening resource and environment, select green construction, environment protect and resources saving to establish comprehensive evaluation index system and establish a multilevel grey evaluation model of urban deep foundation pit supporting project, the evaluation of alternative four supporting scheme of green construction level. On this basis, the model to the optimal selecting of schemes of Xiang He Homes in Hunan is used. The results show that the comprehensive evaluation value of soil nailing support is the highest, the most suitable for green construction requirements.

**Key words:** green construction; deep foundation pit supporting engineering; multilevel grey evaluation model; assessment method; Xiang He Homes; optimal selection of schemes

随着城市化建设日新月异, 对城市空间和能源资源的需求也日益增长。地下建筑的蓬勃发展, 使深基坑的基坑形式也应运而生。在可持续发展战略推动下, 建筑界掀起了绿色施工的热潮,

如何在施工中做好绿色施工管理, 使之更好地满足“四节能一环保”的要求, 成了建设单位和施工单位共同关注的问题。尤其作为深基坑施工重要环节的深基坑支护阶段, 具有复杂性、临时性、支

收稿日期: 2017-05-10

基金项目: 广东省交通运输厅科技项目计划(2012-02-071)

作者简介: 杨玉胜(1970-), 男, 内蒙古卓子山人, 长沙理工大学副教授, 主要从事工程项目管理方面的研究。

护方案多样性的特点。另外,由于深基坑相关参与方绿色施工意识的薄弱,导致深基坑支护工程在施工过程中面临着严重的环境污染和资源能源的浪费,不仅给项目参与方带来了重大的损失,而且还造成了非常恶劣的社会影响。因此,通过加强对深基坑支护工程的绿色施工评价来选择科学合理的施工方案就变得很有必要。

国内对城市深基坑支护工程的方案优选大都着眼点于深基坑支护工程的安全性方面,因此大多都是基于对深基坑施工技术的研究以及通过风险评估来选择深基坑支护方案,如:蒋英礼等人<sup>[1]</sup>运用主成分分析法来选择最安全、最经济可行的支护方案;周罕等<sup>[2]</sup>把研究的重点放在软土地区,采用模糊层次分析法在软土地质条件下选择最优的深基坑支护方案;闫威等人<sup>[3]</sup>针对当前使用比较广泛的模糊综合评价法,构建了改进后的多层次多目标优选的综合评价模型;武平春等人<sup>[4]</sup>通过把绿色施工技术应用到福州中旅城超大深基坑支护工程中,为深基坑支护工程绿色施工的研究提供了理论和技术指导。

然而,对深基坑支护工程绿色施工方案优选的研究却少有涉足。尤其是在当前可持续发展战略的推动下,绿色施工势在必行。深基坑支护工程绿色施工评价是一个典型的多因素综合评价问题,因此作者引入层次分析法和灰色理论,采用多层次灰色评价法<sup>[5]</sup>来评价深基坑支护工程的各个绿色施工因素,以选择最科学合理的支护方案,为深基坑支护工程的绿色施工方案优选提供指导。

## 1 城市深基坑支护工程绿色施工的影响因素

为了使城市深基坑支护方案的选择满足绿色施工的要求,需要以绿色施工的内容和具体的深基坑支护工程施工的特点为出发点。绿色施工<sup>[6]</sup>的内容包括施工管理、环境保护和资源能源节约,因此指标体系的构建包含以下内容。

### 1) 绿色施工管理。

为了促进方案的优选,首先要采取科学合理的施工管理,做好组织、规划、实施、评价、人员健

康与安全管理,建立一套完整的组织管理体系。就深基坑支护工程来说,就是要对施工过程进行动态化管理,做好场外环境协调工作,选择满足资质的施工企业,高度重视员工安全与健康。

### 2) 环境保护。

环境保护是当前可持续发展的重要要求,也是绿色施工的中心环节。它主要包含对施工过程中的扬尘、噪音、光污染、土壤污染的控制以及建筑垃圾、地下文物等的保护。在此结合深基坑支护工程的具体情况,将环境保护概括为控制噪音、控制扬尘、控制废气废液泥浆以及采取基坑封闭降水措施来保护环境。

### 3) 资源能源节约。

绿色施工内容中的“四节能”为节约用材和充分利用材料、节约用水与水资源的合理充分利用、节约能源与充分合理利用能源以及节约用地与保护好施工用地。在此基础上,把“四节能”的内容应用于深基坑支护工程施工中,将资源能源节约的措施分为节材措施、节水措施、节能措施以及对相邻地表和构筑物的影响四个方面。

## 2 综合评价指标体系的构建

根据影响城市深基坑支护工程绿色施工的因素,并通过实地考察和参考相关研究成果,按重要性对各个影响因素进行分类筛选,确定如图1所示的深基坑支护工程绿色施工评价指标体系。

## 3 城市深基坑支护工程绿色施工评价方法

根据所建立的评价指标体系,运用层次分析法确定权重,然后运用灰色评价模型对图1中的各个指标体系进行评价处理。具体的评价步骤如下。

### 3.1 权重的计算

由于指标层中各个指标的重要性程度不同,其对最终施工方案的影响也不同,因此需要组织专家对各个影响因素在互相比的基础上进行评分,以此来构造各个层次中的判断矩阵。在此采用“九标度法”<sup>[7]</sup>来构造判断矩阵,记为  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ ,再利用方根法计算出权重值并进行一致性检验。

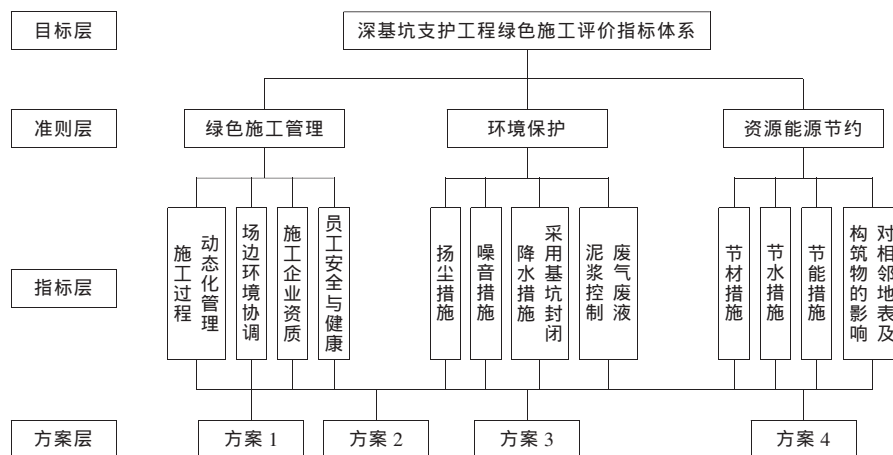


图 1 深基坑支护工程绿色施工评价指标体系

Fig. 1 Deep foundation pit supporting project evaluation index system of green construction

### 3.2 组织专家评分并构造判断矩阵

将 4 个支护方案的绿色施工水平分为  $g$  个等级标准,评价灰类序号  $e$  ( $e=1,2,\dots,g$ ),即有  $g$  个评价灰类。根据评价等级把评价灰类分为 5 类,即  $g=5$ ,相应的灰数分别为 5,4,3,2,1,评价等级分别为“很好、较好、中等、较差、很差”。把待选方案记为  $s$  个,组织  $p$  个专家对这  $s$  个方案指标层的各个指标进行打分,可以得出第  $s$  个方案的判断矩阵  $D^{(s)}$ 。具体的评分标准如表 1 所示。

表 1 指标层各指标的得分依据

Table 1 The basis of the each index scores in index layer

评价指标	评分标准/分				
	5	4	3	2	1
采用的动态化施工管理	很好	较好	一般	较差	很差
场边环境协调管理	很好	较好	一般	较差	很差
施工企业的资质管理	很好	较好	一般	较差	很差
员工安全与健康	很好	较好	一般	较差	很差
扬尘控制措施	很好	较好	一般	较差	很差
噪音控制措施	很好	较好	一般	较差	很差
采用的基坑封闭降水措施	很好	较好	一般	较差	很差
对废弃废液和泥浆的控制	很好	较好	一般	较差	很差
采取的节材措施	很好	较好	一般	较差	很差
采取的节水措施	很好	较好	一般	较差	很差
采取的节能措施	很好	较好	一般	较差	很差
对相邻地表及构筑物的影响	很小	较小	一般	较大	很大

### 3.3 确定评价灰类和白化权函数

确定的这 5 个评价灰类的白化权函数<sup>[8]</sup>为:

$$e=1, f_e = \begin{cases} n/5, & n \in [0,5] \\ 1, & n \in [5,10] \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

$$e=2, f_e = \begin{cases} n/4, & n \in [0,4] \\ (8-n)/4, & n \in [4,8] \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$e=3, f_e = \begin{cases} n/3, & n \in [0,3] \\ (6-n)/3, & n \in [3,6] \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

$$e=4, f_e = \begin{cases} n/2, & n \in [0,2] \\ (4-n)/2, & n \in [2,4] \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

$$e=5, f_e = \begin{cases} 1, & n \in [0,1] \\ 2-n, & n \in [1,2] \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $n$  为专家评分值;  $f_e$  为对应的白化权函数值。

### 3.4 确定灰色评价系数和灰色评价矩阵

根据相应的白化权函数,计算出每个指标中当第  $s$  个方案分别属于第 1,2,3,4,5 个评价灰类

时,其灰色评价系数  $D_{ije}^{(s)} = \sum_{k=1}^p f_e[d_{ijk}^{(s)}]$ ,便可以得到第  $s$  个方案中的评价指标对于 5 个灰类的灰色评价向量  $r_{ij}^{(s)} = [D_{ij1}^{(s)} \ D_{ij2}^{(s)} \ D_{ij3}^{(s)} \ D_{ij4}^{(s)} \ D_{ij5}^{(s)}]$ 。

同理,可求出当第  $s$  个项目属于各个评价灰类时,总灰色评价<sup>[9]</sup>系数  $D_{ij}^{(s)} = \sum_{e=1}^5 D_{ije}^{(s)}$ ,总灰色评价矩阵  $R_i^{(s)} = [r_{i1}^{(s)} \ r_{i2}^{(s)} \ \dots \ r_{in}^{(s)}]^T$ 。

### 3.5 对准则层指标做综合评价

综合评价第  $s$  个评价方案的准则层指标,把评价值记为  $C_i^{(s)}$ ,则

$$C_i^{(s)} = B_i \times R_i^{(s)} = (C_{i1}^{(s)} \ C_{i2}^{(s)} \ C_{i3}^{(s)} \ C_{i4}^{(s)} \ C_{i5}^{(s)})。 \quad (6)$$

由此可以得到第  $s$  个评价方案的灰色评价矩阵为:

$$R^{(s)} = [C_1^{(s)} \ C_2^{(s)} \ \cdots \ C_m^{(s)}]^T。 \quad (7)$$

于是,对第  $s$  个评价方案的准则层做综合评价,结果记为  $D^{(1)}$ ,则

$$D^{(s)} = A \times R^{(s)} = [d_1^{(s)} \ d_2^{(s)} \ d_3^{(s)} \ d_4^{(s)}]。 \quad (8)$$

### 3.6 计算综合评价值并排序

将各评价灰类等级<sup>[10]</sup>按评分赋值,即将灰类等级  $e=1,2,\dots,g$ ,分别赋值得到灰类等级量化向量  $C=(g \ g-1 \ \cdots \ 1)$ ,故第  $s$  个方案的综合评价值为:

$$Z^{(s)} = D^{(s)} \times C^T。 \quad (9)$$

求出各个评价方案的综合评价值  $Z^{(s)}$ 。 $Z^{(s)}$  的值越大,代表相应的支护方案满足绿色施工要求的程度越高;反之,就越低。根据大小顺序排序,选择出最佳的支护方案。

## 4 工程实例

### 4.1 工程概况

湘核新家园基坑支护及桩基工程项目总建筑面积约 150 459.12 m<sup>2</sup>,位于长沙市仙岭路与时代阳光大道交汇处东南侧。根据项目平面规划总图,本工程拟建建筑物 1<sup>#</sup>~6<sup>#</sup>住宅,设计为 1 层地下室,主楼及东西辅楼设计为 2 层地下室。主体建筑物设计±0.000 标高分别为:1<sup>#</sup>,2<sup>#</sup>住宅为 57.70 m;3<sup>#</sup>,4<sup>#</sup>住宅为 58.70 m;5<sup>#</sup>,6<sup>#</sup>住宅为 59.70 m;主楼及东西辅楼为 54.30~54.60 m。

根据实际工程特点,筛选出几个常用的支护方法,即方案 1、方案 2、方案 3 和方案 4 依次为深层搅拌桩支护<sup>[11]</sup>、土钉支护、钢板桩支护和地下连续墙支护。现以方案 1 为例,利用上述方法对深基坑支护工程进行绿色施工评价。

### 4.2 计算各评价指标权重

对湘核新家园的 4 个方案进行实例分析,利

用层次分析法并采用方根法<sup>[12]</sup>计算出各个指标的权重向量  $w$ ,再进行一致性检验,可以得到:

$$A = (0.137 \ 0.240 \ 0.623),$$

$$B_1 = (0.203 \ 0.259 \ 0.092 \ 0.446),$$

$$B_2 = (0.091 \ 0.563 \ 0.192 \ 0.154),$$

$$B_3 = (0.123 \ 0.121 \ 0.252 \ 0.504)。$$

### 4.3 组织专业评价人员评分并建立样本矩阵

制定好问卷调查表,并邀请多名相关专家结合评分标准对准则层各指标进行评分,填写问卷调查评分表。当有数据明显不合理即进行排除,由此获得最终样本矩阵。以方案 1 为例,其评分值为:

$$D^{(1)} = \begin{bmatrix} 1.5 & 1 & 5 & 2.5 & 2 \\ 3.5 & 2 & 2.5 & 1.5 & 2.5 \\ 5 & 3.5 & 2 & 2.5 & 3 \\ 2 & 2.5 & 1 & 2 & 1.5 \\ 1.5 & 4.5 & 1.5 & 1 & 3 \\ 1.5 & 1 & 3 & 3.5 & 5 \\ 4 & 4 & 1.5 & 1 & 3 \\ 3 & 2.5 & 2 & 5 & 3.5 \\ 3.5 & 1 & 2.5 & 1.5 & 5 \\ 1 & 4.5 & 1.5 & 2 & 3.5 \\ 5 & 4 & 1 & 3 & 1.5 \\ 3.5 & 2.5 & 1 & 3 & 3.5 \end{bmatrix}。$$

### 4.4 计算灰色评价系数

通过白化权函数,计算出方案 1 中属于各个评价灰类的灰色评价数为: $e=1$  时,  $D_{11}^{(1)}=2.4$ ;  $e=2$  时,  $D_{12}^{(1)}=2.5$ ;  $e=3$  时,  $D_{13}^{(1)}=2.7$ ;  $e=4$  时,  $D_{14}^{(1)}=3$ ;  $e=5$  时,  $D_{15}^{(1)}=1.5$ 。因此,  $D_{11}^{(1)}=2.4+2.5+2.7+3+1.5=12.1$ 。

由此可以得到计算数据,进行归一化后得到灰色评价权数  $r_{ij}^{(s)}$  如表 2 所示。

根据灰色评价权数的计算结果,可以求得其他评价指标的灰色评价权向量,由此得出方案的指标层指标  $C_{11}$  相对其准则层指标  $B_1$  的灰色评价权矩阵为:

$$R_1^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.198 & 0.207 & 0.223 & 0.248 & 0.124 \\ 0.183 & 0.229 & 0.282 & 0.191 & 0 \\ 0.260 & 0.267 & 0.282 & 0.191 & 0 \\ 0.143 & 0.183 & 0.238 & 0.317 & 0.119 \end{bmatrix}。$$

表 2 灰色评价权数的计算

Table 2 The calculation of grey evaluation weight

1	2	3	4	5	$\Sigma$	归一化处理后的 $r_{ij}^{(s)}$				
2.4	2.5	2.7	3.0	1.5	12.1	0.198	0.207	0.223	0.248	0.124
2.4	3.0	3.7	3.5	0.5	13.1	0.183	0.229	0.282	0.191	0.000
3.4	3.5	3.7	2.5	0.0	13.1	0.260	0.267	0.282	0.191	0.000
1.8	2.3	3.0	4.0	1.5	12.6	0.143	0.183	0.238	0.317	0.119
2.3	2.6	2.8	2.5	2.0	12.2	0.189	0.213	0.230	0.205	0.164
2.8	3.0	3.0	2.0	1.5	12.3	0.228	0.244	0.244	0.163	0.122
2.7	3.4	3.3	1.7	1.5	12.6	0.214	0.270	0.262	0.135	0.119
3.2	3.5	3.7	2.5	0.0	12.9	0.248	0.271	0.287	0.194	0.000
2.7	2.9	2.3	2.5	1.5	12.2	0.221	0.238	0.230	0.189	0.123
2.5	2.9	2.8	2.5	1.5	12.2	0.205	0.238	0.230	0.205	0.123
2.9	3.1	2.8	1.7	1.5	12.0	0.242	0.258	0.233	0.142	0.125
2.7	3.4	3.8	2.3	1.0	13.2	0.205	0.258	0.288	0.174	0.076

$$R_2^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.189 & 0.213 & 0.23 & 0.205 & 0.164 \\ 0.228 & 0.244 & 0.244 & 0.163 & 0.122 \\ 0.214 & 0.27 & 0.262 & 0.135 & 0.119 \\ 0.248 & 0.271 & 0.287 & 0.194 & 0 \end{bmatrix}^{\circ}$$

$$R_3^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.221 & 0.238 & 0.23 & 0.189 & 0.123 \\ 0.205 & 0.238 & 0.23 & 0.205 & 0.123 \\ 0.242 & 0.258 & 0.233 & 0.142 & 0.125 \\ 0.205 & 0.258 & 0.288 & 0.174 & 0.076 \end{bmatrix}^{\circ}$$

采用同样的方法可以求出方案 2、方案 3 和方案 4 的灰色评价权矩阵  $R_1^{(2)}, R_2^{(2)}, R_3^{(2)}; R_1^{(3)}, R_2^{(3)}, R_3^{(3)}; R_1^{(4)}, R_2^{(4)}, R_3^{(4)}$ 。

方案 1 准则层的综合评价结果为:

$$C_1^{(1)} = B_1 \times R_1^{(1)} =$$

$$(0.175 \quad 0.207 \quad 0.250 \quad 0.259 \quad 0.078)。$$

$$C_2^{(1)} = B_2 \times R_2^{(1)} =$$

$$(0.225 \quad 0.250 \quad 0.253 \quad 0.166 \quad 0.106)。$$

$$C_3^{(1)} = B_3 \times R_3^{(1)} =$$

$$(0.216 \quad 0.253 \quad 0.260 \quad 0.171 \quad 0.100)。$$

即方案 1 的总灰色评价矩阵  $R^{(1)} = [C_1^{(1)} \quad C_2^{(1)} \quad C_3^{(1)}]^T$ 。

同理可以得到其他 3 个方案总灰色评价矩阵为:

$$R^{(2)} = [C_1^{(2)} \quad C_2^{(2)} \quad C_3^{(2)}]^T;$$

$$R^{(3)} = [C_1^{(3)} \quad C_2^{(3)} \quad C_3^{(3)}]^T;$$

$$R^{(4)} = [C_1^{(4)} \quad C_2^{(4)} \quad C_3^{(4)}]^T。$$

因此,4 个支护方案的综合评价结果为:

$$D^{(1)} = A \times R^{(1)} =$$

$$(0.212 \quad 0.246 \quad 0.257 \quad 0.182 \quad 0.157);$$

$$D^{(2)} = A \times R^{(2)} =$$

$$(0.248 \quad 0.284 \quad 0.266 \quad 0.147 \quad 0.055);$$

$$D^{(3)} = A \times R^{(3)} =$$

$$(0.243 \quad 0.248 \quad 0.272 \quad 0.18 \quad 0.055);$$

$$D^{(4)} = A \times R^{(4)} =$$

$$(0.214 \quad 0.251 \quad 0.259 \quad 0.189 \quad 0.082)。$$

#### 4.5 方案综合评选

按“灰水平”计算综合评价值,将灰类等级  $e = 1, 2, 3, 4, 5$  分别赋值,得到灰类等级量化向量  $C = (5 \quad 4 \quad 3 \quad 2 \quad 1)$ , 因此方案 1 的综合评价值为  $Z_1 = D^{(1)} \times C^T = 3.336$ 。同理可以得到方案 2、方案 3 和方案 4 的综合评价值。

## 5 结论

作者运用多层次灰色评价方法对城市深基坑支护工程进行了评价,得到如下结论。

1) 多层次灰色评价法可以较充分地运用各种灰类程度的评价信息,既可以比较科学、客观地评定出支护方案的等级,又能对深基坑支护方案进行优劣排序,使评判结果更加准确可靠,能够指导深基坑支护工程绿色施工的评价研究工作。

2) 实例说明,深层搅拌桩支护、土钉支护、钢

板桩支护和地下连续墙支护这4个支护方案的综合评判值为3.336, 3.523, 3.438, 3.311, 支护项目的评价结果按满足绿色施工要求的程度大小分别为土钉支护、钢板桩支护、深层搅拌桩支护、地下连续墙支护。即土钉支护方案是最适合湘核新家园深基坑支护工程绿色施工要求的支护方式。

由于影响城市深基坑支护工程绿色施工的因素有很多,怎样使所选择的评价指标更加完备、更加具有代表性、更加符合实际,需要大家进行更深入的研究。

### 〔参考文献〕

- [1] 蒋英礼,邓子胜.基于集对分析方法的深基坑支护方案优选研究[J].地下空间与工程学报,2016(1):131-137.  
JIANG Ying-li, DENG Zi-sheng. Research on supporting scheme optimization for deep foundation pit based on set pair analysis[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2016(1):131-137.
- [2] 周罕,曹平.软土地区城市深基坑支护方案优选的模糊层次分析法[J].中南大学学报:自然科学版,2012(9):3582-3588.  
ZHOU Han, CAO Ping. A fuzzy AHP approach to select supporting schemes foundation pit in soft soil [J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2012(9):3582-3588.
- [3] 闫威.软土地区深基坑支护方案优选模型研究及应用[J].人民长江,2014(3):40-43.  
YAN Wei. Research on model for scheme optimization of foundation pit support in soft soil area and application[J]. Yangtze River, 2014(3):40-43.
- [4] 吴平春,刘箴徽.福州中旅城超大型深基坑绿色施工技术[J].施工技术,2011(18):83-85.  
WU Ping-chun, LIU Zheng-hui. Green construction technology of extra-large deep foundation excavation in Fuzhou Zhonglü Project [J]. Construction Technology, 2011(18):83-85.
- [5] 葛蓓.多层次灰色评价模型下的服装企业物流模式选择[J].物流技术,2014(3):129-131.  
GE Bei. Selection of garment enterprise logistics mode under multi-level grey evaluation model[J]. Logistics Technology, 2014(3):129-131.
- [6] 张希黔,林琳,王军.绿色建筑与绿色施工现状及展望[J].施工技术,2011(8):1-7.  
ZHANG Xi-qian, LIN Lin, WANG Jun. Green construction and green construction status and outlook [J]. Construction Technology, 2011(8):1-7.
- [7] 陈黎明,赵辉.大型工程项目管理度的多层次灰色模型探析[J].统计与决策,2012(1):73-75.  
CHEN Li-ming, ZHAO Hui. Large engineering project management degree of multilevel grey model analysis [J]. Statistics and Decision, 2012(1):73-75.
- [8] 张亚峰.基于多层次灰色评价的河南省战略性新兴产业发展战略研究[J].科技管理研究,2013(4):47-50.  
ZHANG Ya-feng. The research about the development strategy of strategically emerging industries in Henan based on the multilevel grey evaluation [J]. The Research of Science and Technology Management, 2013(4):47-50.
- [9] 杨俊峰.软件可信性的灰色聚类评估算法研究[J].电子技术,2013(8):41-43.  
YANG Jun-feng. Algorithm research on grey clustering evaluation of software trustworthiness [J]. Electronics R D, 2013(8):41-43.
- [10] 戴斌,柳伍生,宋洋.基于灰色聚类的城市航站楼选址[J].长沙理工大学学报:自然科学版,2015(4):24-29.  
DAI Bin, LIU Wu-sheng, SONG Yang. Based on grey clustering terminal location [J]. Journal of Changsha University of Science and Technology: Natural Science, 2015(4):24-29.
- [11] 赵默洋.基于AHP的船舶安全风险模糊评判方法研究[J].交通与运输:学术版,2010(2):120-123.  
ZHAO Mo-yang. Research on fuzzy judgement for port security and safety based on AHP [J]. Traffic and Transportation: Academic Edition, 2010(2):120-123.
- [12] 张识宇,李伟,李在建.工程项目经理绩效的多层次灰色评价[J].科技管理研究,2010(23):162-165.  
ZHANG Shi-yu, LI Wei, LI Da-jian. Project manager performance of multilevel grey evaluation [J]. Science and Technology Management Research, 2010(23):162-165.