

文章编号: 1002-0268 (2003) 02-0157-04

# 基于层次分析法 (AHP) 和多指标决策的物流园区建设序列研究

胡刚, 陈峻, 王伟, 张卫华  
(东南大学, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 物流园区在物流业中占据至关重要的地位, 对区域物流业发展和各项发展战略的实现意义重大。目前, 对物流园区的评价工作可以分为3部分: 物流园区总体布局社会经济评价、物流园区规划布局方案评价和物流园区建设序列论证。本文针对物流园区的建设序列问题, 提出一种基于层次分析法 (AHP) 和多指标决策的评价方法及相应的评价指标体系, 并进行了实际应用。

**关键词:** 物流园区; AHP和多指标决策; 建设序列

中图分类号: U252.3

文献标识码: A

## Order of Item in the Process of Distribution Park Planning Based on AHP and Multi-object Decision

HU Gang, CHEN Jun, WANG Wei, ZHANG Wei-hua  
(Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

**Abstract:** Distribution park is important in logistics. The evaluation of distribution park includes three components: socio-economy evaluation, the evaluation of project layout and the evaluation of distribution park development program. This paper brings forward a model which based on AHP and Multi-object decision and practical index system used in the process of distribution park planning.

**Key words:** Distribution Park; AHP and Multi-object decision; Development program

现代物流业是一个国家或地区核心竞争力的重要体现。为有效地引导物流市场, 促进区域物流产业的长远健康发展, 政府主管部门要根据区域物流发展所面临的形势与任务, 尽快提出推进物流业发展的具体政策和措施, 出台相关的行业发展规划。其中, 做好物流园区规划是重要工作之一。物流园区 (Distribution Park), 也称物流团地, 是一家或多家物流企业在空间上集中布局的场所, 是具有较大规模和综合物流功能的物流集中用地。目前, 我国部分经济发达地区相继进入物流园区发展战略研究、总体布局规划、可行性研究等初期阶段。

当前, 对物流园区的评价工作分为3部分, 即: 总体布局社会经济评价、规划布局评价和物流园区建

设序列论证。物流园区建设实施方案设计, 是安排物流园区布局规划方案中确定的各个建设项目的实施顺序, 以保证总体布局的完整性。本文建立一种基于层次分析法 (AHP) 和多指标决策的评价方法对物流园区建设序列进行研究。

### 1 层次分析法的应用

物流园区规划建设项目投资优化的决策评价指标体系主要涉及经济、技术和环境问题, 因而必须建立一套全面的、多方位的评价指标体系, 从不同层次、不同角度反映综合效益的优劣。但这并不意味着指标越多越好, 选定的指标还应具备典型性, 能最大限度地揭示样本间的差异, 对于那些意义相近或在各评价

区域数值相仿的指标可予舍弃。本文使用最小独立变量模糊聚类的方法,用于相关性指标的筛选,且在应用中取得了良好的效果。

在综合评判中,权重的细微变化对评判结果有重大影响,即使其它过程很精确,若权重确定不合理,也将导致方案选择不合理。因此,权重的确定具有极其重要的意义。笔者认为,当权向量维数较低时,采用主观评测法、专家调查法等方法来确定是可行的,当权向量的维数较高时,采用上述特尔斐法就非常勉强。经过分析,决定采用层次分析法(AHP)的思想来建立权向量。层次分析法是一种定性分析与定量分析相结合的系统分析评价方法,同时也是处理复杂问题权重的好方法。

本文的出发点是:在专家知识和经验的基础上,利用层次分析法这一数学手段的严密逻辑性尽量剔除主观成分,并根据判断矩阵是否具有满意的一致性来检验权系数的合理性,从而提高模糊综合评判的可靠性、准确性和客观性。本文中仅采用该方法来获得各组因素的权重分配,因而只需要建立判断矩阵并计算优先级向量即可,注意不可遗漏一致性检验过程。

### 1.1 评价指标的聚类分析

假设得到的相关评价指标个数为  $n$ ,  $m$  为规划方案,定义矩阵  $X = (x_{ij})_{n \times m}$ , 其中将  $X$  中的元素  $x_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$ ) 作为原始数据,利用夹余弦定理建立模糊关系矩阵

$$r_{ij} = \frac{(x_i, x_j)}{\|x_i\| \cdot \|x_j\|} = \frac{\sum_{l=1}^n x_{il} \cdot x_{jl}}{(\sum_{l=1}^n x_{il}^2)^{1/2} \cdot (\sum_{l=1}^n x_{jl}^2)^{1/2}}$$

$R = (r_{ij})_{n \times n}$  等价矩阵  $R^e$  则可按关系矩阵平方法通过传递闭包  $t(R)$  改造而成。即

$$R^{(4)} = R^{(2)} \cdot R^{(2)} \text{ 直到 } R^e = R^{2^{p+1}} = R^{2^p}$$

$R^e = t(R)$ , 然后,再根据需要确定一个聚类尺度 ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ),并以  $\lambda$  为标准,通过等价矩阵  $R^e = (r_{ij}^e)$  元素确定最终聚类。

### 1.2 确定指标权重

#### 1.2.1 构造判断矩阵

判断矩阵由层次结构模型中每层中的各因素相对重要性的判断数值列表而成,判断矩阵表示针对上一层某因素,本层与之有关因素之间相对重要性的比较。 $b_{ij}$  是判断矩阵  $P$  的元素,表示对因素  $A_k$  而言,  $B_i$  对  $B_j$  相对重要性的数值,用 T. L. Satty 提出的 1~9 标度法表示。

#### 1.2.2 层次单排序并将判断矩阵的特征向量归一化

根据判断矩阵  $P = (b_{ij})_{n \times n}$  求出这  $n$  个元素  $B_1,$

$B_2, \dots, B_n$  相对于上层因素而言的相对权重向量,  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ , 即计算判断矩阵的最大特征值及对应的特征向量。可以用 Matlab 和 MathCAD 等数学软件求精确解,近似的计算方法有和法、根法、幂法等。

#### 1.2.3 层次单排序一致性检验

设最大特征根为  $\lambda_{max}$ , 判断矩阵为  $n$  阶, 则有一致性指标  $C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ 。

当判断矩阵的维数  $n$  很大时,需引入随机一致性指标  $R.I.$  进行修正。经修正的一致性指标用  $C.R.$  表示。即  $C.R. = C.I./R.I.$ 。

当  $C.R. < 0.10$  时,排序结果具有满意的一致性,否则需调整判断矩阵的元素值。

#### 1.2.4 层次总排序

我们需要最低层中的各方案相对于总准则的合成权重,以便进行方案比选(或系统优化)。

一般地有  $\omega^{(k)} = p^{(k)} p^{(k-1)} \dots \cdot w^{(2)}$ , 这里  $w^{(2)}$  是第二层元素对总目标的权重向量,  $p_j^{(k)} = (p_{1j}^{(k)}, p_{2j}^{(k)}, \dots, p_{n_k j}^{(k)})^T$  为第  $k$  层上  $n_k$  个元素对  $k-1$  层上第  $j$  个元素为准则的排序权重向量。

层次总排序结果的一致性检验和层次单排序相类似,检验指标含义也与之相同。

### 1.3 指标体系

物流园区实施序列的安排应根据各规划阶段的各种条件和可能性,有计划地建设。在确定实施的顺序时应考虑以下原则:

1. 物流园区能力与物流量发展保持基本平衡,适度超前;
2. 综合效益好的优先;
3. 筹资渠道畅通者优先。

根据以上原则和上文所介绍的方法,本文设计指标体系及权重如表 1。

物流园区建设序列论证指标体系及其权重 表 1

目标层	指标层	分项指标层	针对 $I_B$ 层的权重	针对 $I_A$ 层的权重
$I_A$	$I_B$			
物流园区规划建设序列	$I_{B1}$ : 经济效益(0.3)	$I_{P1}$ : 物流适站量	0.8	0.24
		$I_{P2}$ : 服务附加值	0.2	0.06
	$I_{B2}$ : 社会效益(0.4)	$I_{P3}$ : 优化城市布局	0.5	0.2
		$I_{P4}$ : 减少城市交通压力	0.5	0.2
指标	$I_{B3}$ : 环境效益(0.2)	$I_{P5}$ : 道路噪声	0.5	0.1
		$I_{P6}$ : 汽车排放	0.5	0.1
	$I_{B4}$ : 资金保障(0.1)	$I_{P7}$ : 区域经济实力	0.45	0.045
		$I_{P8}$ : 投资额	0.55	0.055

## 2 数据标准化处理

在多指标评价中, 由于各个评价指标的单位不同、量纲不同、数量级不同, 因此会影响决策的结果, 甚至会造成决策的失误。为了统一标准, 必须进行数据预处理, 即对所有评价指标进行标准化处理, 把决策矩阵中的所有值转化为无量纲、无数量级差别的形式, 然后再进行评价。

设  $X_{maxj}$  为预测得到的  $m$  个方案中第  $j$  个指标的最大值,  $X_{minj}$  为  $m$  个方案中第  $j$  个指标的最小值, 即

$$\begin{cases} X_{maxj} = \max\{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj}\} \\ X_{minj} = \min\{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj}\} \end{cases}$$

定义标准化数据为

$$\begin{cases} X_{ij}^* = \frac{X_{ij} - X_{minj}}{X_{maxj} - X_{minj}}, (\text{越大越优}) \\ X_{ij}^* = 1 - \frac{X_{ij} - X_{minj}}{X_{maxj} - X_{minj}}, (\text{越小越优}) \end{cases}$$

经过上面的处理, 标准化数据  $X_{ij}^*$  满足  $0 \leq X_{ij}^* \leq 1$ , 而且不改变原有数据的差异性。

## 3 多指标决策评价方法

层次分析法有赖于分析人员对实际问题有较深的认识, 且仍带有主观经验性, 存在着一定的局限性。因此, 本文采用了“指标权重- 方案排序- 指标权重”的循环反馈模型, 在决策矩阵信息已知的条件下, 运用多维偏好线性规划法 (LINMAP) 与多目标逼近法 (TOPSIS), 进行迭代分析, 既能立足于原始方案数据, 减小主观随意性, 又能计算出各指标的权重, 切实反映指标效果的决策方法。

### 3.1 评价指标多目标逼近法

考虑  $n$  个指标,  $m$  个备选方案的决策问题, 即  $n$  维目标空间中, 有  $m$  个已知点, 为了衡量这  $m$  个点的优劣, 我们首先定义理想点  $F^*$ , 然后从这  $m$  个点中选出距理想点最近的点作为最优方案。

设向量  $F^* = (1, 1, \dots, 1)_{1 \times n}$  为  $n$  个指标决策问题中经过标准化处理后的理想点, 它由每个指标的最优解构成, 但  $F^*$  不一定是可行解。

[定义 1] 具有  $n$  个指标的标准化决策问题中, 任一方案  $A_i$  距理想点  $(1, 1, \dots, 1)_{1 \times n}$  距离为  $S_i = \sum_{j=1}^n W_j \cdot (r_{ij} - 1)^2$ , 式中  $W_j$  为第  $j$  个指标的权重平方。

对  $k$  和  $l$  两个方案, 如果

$$S_l \{S_l = \sum_j W_j \cdot (r_{lj} - 1)^2\} \geq S_k \{S_k = \sum_j W_j \cdot (r_{kj} - 1)^2\}$$

则方案  $k$  比方案  $l$  更接近理想方案。

### 3.2 指标权重的多维偏好规划

将决策人员给出的指标权重的初始向量及由多目标逼近算法求得的初始方案排序应用到多维偏好线性规划中求解, 可以很好地进行方案决策的进一步优化和各指标权重的修正。

备选方案有序对  $(k, l)$  的集合  $\Omega = \{(k, l) \mid \text{方案 } k \text{ 优于 } l, \text{ 如果 } S_l \geq S_k, \text{ 则按逼近法的排序和有序对 } (k, l) \text{ 一致, 即一致度为零, 否则按逼近法的排序和有序对 } (k, l) \text{ 不一致, 其不一致度取决于 } S_k - S_l \text{ 的差值。}\}$

[定义 2] 有序对  $(k, l)$  不一致度为

$$(S_l - S_k)^- = \begin{cases} 0 & \text{当 } S_l \geq S_k \\ S_k - S_l & \text{当 } S_l < S_k \end{cases}$$

则  $(S_l - S_k)^- = \max[0, (S_k - S_l)]$ 。对  $\Omega$  中所有有序对不一致度求和, 则总不一致  $B = \sum_{(k,l) \in \Omega} (S_l - S_k)^-$ 。

[定义 3] 有序对  $(k, l)$  一致度为

$$(S_l - S_k)^+ = \begin{cases} S_l - S_k & \text{当 } S_l \geq S_k \\ 0 & \text{当 } S_l < S_k \end{cases}$$

则  $(S_l - S_k)^+ = \max[0, (S_l - S_k)]$ 。对  $\Omega$  中所有有序对一致度求和, 得到总一致度  $G = \sum_{(k,l) \in \Omega} (S_l - S_k)^+$ 。

当按逼近法排序和有序对一致时,  $B$  为极小, 且  $G > B$ 。为避免问题的平凡解, 引入某一正数  $h$ , 将  $G > B$  改为  $G - B = h$ , 则

$$G - B = \sum_{(k,l) \in \Omega} (S_l - S_k)^+ - \sum_{(k,l) \in \Omega} (S_l - S_k)^- = \sum_{(k,l) \in \Omega} [(S_l - S_k)^+ - (S_l - S_k)^-] = \sum_{(k,l) \in \Omega} (S_l - S_k) = h$$

这样, 指标权重的平方  $W_j$  就可通过求解如下线性规划问题得到

$$\text{goal. min } B = \sum_{(k,l) \in \Omega} \max[0, (S_k - S_l)]$$

$$\text{st. } \sum_{(k,l) \in \Omega} (S_l - S_k) = h > 0$$

取  $Z_{kl}$  为按指标逼近法排序与有序对  $(k, l)$  的不一致度, 即  $Z_{kl} = \max[0, (S_k - S_l)]$ , 有

$$S_l - S_k = \sum_{j=1}^m W_j \cdot (r_{lj} - 1)^2 - \sum_{j=1}^m W_j \cdot (r_{kj} - 1)^2 = \sum_{j=1}^m W_j \cdot (r_{lj}^2 - r_{kj}^2) - 2 \times \sum_{j=1}^m W_j \cdot 1 \cdot (r_{lj} - r_{kj})$$

所以又可以改写为  $\text{gl. min } \sum_{(k,l) \in \Omega} Z_{kl}$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m W_j \cdot (r_{ij}^2 - r_{lj}^2) - 2 \times \sum_{j=1}^m W_j \cdot 1 \cdot (r_{ij} - r_{lj}) + Z_{kl} \geq 0 \\ \sum_{j=1}^m W_j [\sum_{(k,l)} (r_{ij}^2 - r_{lj}^2)] - 2 \times \sum_{j=1}^m W_j \cdot 1 \cdot [\sum_{(k,l)} (r_{ij} - r_{lj})] = h \\ W_j > 0, j = 1, 2, \dots, m \\ Z_{kl} > 0, (k, l) \in \Omega \end{cases}$$

上式为典型的单目标线性规划法, 可以用单纯形法求解, 具体算法不再重复。

### 3.3 指标逼近——多维偏好规划的循环反馈计算

规划人员依据给定方案的初始权重和多指标逼近法可以得到规划方案的优劣排序, 比较两者的关系, 这里使用了“微观(指标权重) - 宏观(方案排序) - 微观(指标权重)”的循环反馈算法, 为不同基础上的评价方法进行很好的协调, 算法具体步骤为:

- (1) 令  $k = 0$ , 标准化规划方案的决策矩阵  $R$ ;
- (2) 依多目标逼近法对方案  $A_i$  进行排序 ( $i \in m$ ), 排序结果定义为向量  $F_k$ ;
- (3) 将排序结果代入多维偏好规划方法中进行计算, 得到排序向量和权重向量  $W_{k+1}$ , 判断  $W_{k+1}$  是否等于  $W_k$ , 如果不等则令  $W_k = W_{k+1}$  转入第 (4) 步, 否则转入第 (5) 步;
- (4) 重新依多目标逼近法进行方案排序, 得到向量  $F_{k+1}$ , 判断  $F_{k+1}$  是否等于  $F_k$ , 如果不等则令  $k = k + 1$ , 返 (3), 否则转入第 (5) 步;
- (5) 当  $W_k = W_{k+1}$  或  $F_k = F_{k+1}$  时迭代终止,  $W_k$  即为所求的修正指标权重平方, 同时得到调整后的方案综合评价优劣排序, 算法结束。

由于权重与方案排序的内在关系, 所以本算法经多次验算均能收敛。

### 4 对权重进行均衡化处理

上文使用常权, 采用常权评价有一弱点, 它对状态指标间的均衡性反应迟钝。人们决策时总希望决策变量间相对均衡。同时, 如果对所有指标均使用变权, 对某些相对重要指标而言, 其状态值对决策值的贡献由于变权作用显得不够公平。

本文针对上述问题进行综合考虑, 借鉴了对交通运输项目评价问题的局部变权综合评价公式并加以应用。

设评判涉及  $n$  个指标, 其指标状态向量用  $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in (0, 1)^n$  表示, 对应的权重向量用  $W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$  表示。设前  $r$  个(通过定性分析判断) 权重分量为变权, 则后  $m - r$  个权重分

量为常权, 则局部变权综合评判模型为 ( $0 < \alpha \leq 1$ )

$$V = \sum_{i=1}^r \frac{\omega_i x_i^\alpha}{\sum_{i=1}^r \omega_i x_i^{\alpha-1}} \cdot \sum_{i=1}^r \omega_i + \sum_{i=r+1}^n \omega_i x_i$$

通过  $V$  就可以清楚地得到建设序列。

### 5 应用实例

广州市交通委员会在 2002 年 2 月完成了广州市物流园区总体布局规划, 计划在广州市建设四大物流园区, 即: 东部、南部、北部和西部物流中心。基本情况如表 2。

	2005 年 适站量 (万 t)	2015 年 适站量 (万 t)	理货 能力 万 t/d	规划 占地 (万 m <sup>2</sup> )	计划 总投资 (万元)
东部	413.8	780.5	2.1	67	75570
南部	170.4	289.9	0.8	22	27250
北部	267.7	468.3	1.3	48	56680
西部	365.1	691.3	1.9	35	49050

根据《广州总体发展战略规划》, 广州未来城市发展方向为北抑南拓、东移西调。东部是广州经济技术开发区及与开发区融为一体的保税区和科学城, 外资企业多, 物流需求大; 南拓包含着产业和人口向南部的转移和置换, 是广州在空间上寻求新的产业和经济增长点及新港口发展的重要地区; 北抑指广州城市将不再向北部发展, 规划的物流园区是以一个物流中心为主, 几个具有专项功能物流中心(或货运站)为辅的组团模式; 西部计划在原芳村货运站功能基础上建设物流园区, 功能上定位为以农产品为主。

通过对以上资料的分析 and 定性预测, 应用上述方法和指标体系, 经计算后得到的结果如表 3。

排序	$I_{B1}$	$I_{B2}$	$I_{B3}$	$I_{B4}$	$I_A$
东部 1	0.264	0.366	0.043	0.036	0.711
南部 2	0.027	0.304	0.166	0.078	0.577
西部 3	0.202	0.111	0.068	0.028	0.411
北部 4	0.113	0.061	0.108	0.049	0.333
APH 权值	0.3	0.4	0.2	0.1	
处理后	0.278	0.412	0.208	0.102	

取指标  $I_{B1}, I_{B2}, I_{B3}$  之间做均衡处理,  $I_{B4}$  采用常权处理。处理后结果如表 4。

	东部	南部	西部	北部
$I_A$	0.698	0.542	0.341	0.407

(下转第 164 页)

企业的战略合作,成为核心企业长期的、稳定的战略伙伴。结成战略联盟,实行供应链管理,以供应链参与国内、国际竞争,提高中国产品在国内、国际市场的竞争能力和市场份额已大势所趋。

(6) 开拓全球性物流,寻求全球性市场空间

中国的企业要增强竞争忧患意识,在抓住国内市场的同时,要放眼世界,构筑全球化战略,以一体化的物流管理和供应链管理在全球寻求资源采购、生产装配和产成品分销,参与国际化竞争。在全球范围内,通过实现对顾客的快速反映、提高顾客服务水平、降低物流总成本或供应链成本,提高企业在国际市场的竞争力,并在全球性竞争中立于不败之地。

中国企业物流与发达国家或地区的企业物流在运作上着实存在着明显差距。中国企业要破除物流分项管理,构筑一体化物流战略以降低物流成本,提高竞争力,离不开完善的物流法律、法规建设,物流基础设施建设,信息基础设施建设,第三方物流服务市场的培育和发展等宏观环境和外部环境以及相关政策的支持;离不开企业对一体化物流管理重要性的认识;离不开供应链合作伙伴的相互信任、相互依存、互惠互利和共同发展的共同价值观的建立和形成。中国企业要勇于

探索、锐意进取,直面入世国外竞争对手的强有力挑战,将一体化物流管理、供应链管理纳入到企业总体战略中加以运作,缩小同发达国家企业在物流管理和产品竞争力上的差距,稳住和提高中国产品在国内市场的占有并进一步开拓国际市场空间。

参考文献:

[1] James R Stock. Strategic Logistics Management [M]. Homewood: Richard D. Irwin, INC, 1987: 192- 198.  
 [2] Donald Waters. Global Logistics and Distribution Planning [M]. Boca Raton: CRC Press, 1999: 360, 361- 369.  
 [3] A M Brewer, et al. Handbook of Logistics and Supply-chain Management. Elsevier Science Ltd., 2001.  
 [4] Michael Quayle, Bryan Jones. Logistics: An Integrated Approach [M]. Athlone Press Ltd, 1999  
 [5] Bridget Mears-Young. Integrated Logistics ——Call in the Revolutionaries [J]. Elsevier Science Ltd., 1997: 605- 608.  
 [6] Gregory N Stock. Enterprise Logistics and Supply Chain Structure: the Role of Fit [J]. Journal of Operations Management, 2000(18): 531- 547.  
 [7] 王淑云. 要重视发展物流服务企业 [J]. 重庆交通学院学报, 2000 (1): 104- 106.  
 [8] 马士华, 等. 供应链管理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 21- 23.  
 [9] 石万鹏. 努力实现中国现代物流的快速健康发展 [J]. 中国物资流通, 2001(15): 11- 12.

(上接第 160 页)

顺序为: 东部、南部、北部、西部。

6 结论

本文从我国物流业的实际情况出发,对规划建设物流园区的实施序列方法进行了研究,给出了实际应用,并在应用中取得很好的效果。

参考文献:

[1] 唐纳德 J 鲍尔索克斯, 等. 物流管理——供应链过程一体化 [M].

机械工业出版社, 1999-08.

[2] 朱顺应. 公路网规划建设评价及关键技术研究 [D]. 南京: 东南大学学位论文, 1999.  
 [3] D B Lee Jr. Methods for Evaluation of Transportation Projects in the USA [M]. Transport Policy, 2000  
 [4] 胡明伟. 智能运输系统 (ITS) 评价方法研究 [J]. 公路交通科技, 2001(5).  
 [5] 苗壮. 交通运输项目评价中的权重问题 [J]. 公路交通科技, 2001 (5).  
 [6] 陈峻. 城市停车场设施规划方法研究 [D]. 南京: 东南大学学位论文, 2000