

文章编号: 1002-0268 (2000) 05-0102-05

层次分析法在公路网 规划建设项目排序中的应用

曲大义¹, 王 炜¹, 邓 卫¹, 赵保平², 张文芳²
(1. 东南大学, 江苏 南京 210096; 2 河北省交通厅, 河北 石家庄 050000)

摘要: 公路建设项目排序是路网规划的重要课题。本文将层次分析法用于公路网规划建设项目排序中, 并以盐城市公路网规划骨干公路为例, 说明建设序列的决策过程。
关键词: 公路网规划; 层次分析法; 排序
中图分类号: U491.13 **文献标识码:** A

AHP Applied in Priority Order Decision Highway Network Planning

QU Da-yi¹, WANG Wei¹, DENG Wei¹, ZHAO Bao-ping², ZHANG Wen-fang²
(1. Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China; 2 Traffic Bureau of Hebei Province, Hebei Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Project priority order is an important issue in the process of highway network planning. In the paper, AHP is applied in priority order decision. As an example, the decision process in Yancheng city is presented.
Key words: Highway network planning; AHP; Priority

随着我国改革开放的深入, 国民经济发展迅速, 交通需求增长很快, 我国公路网运输能力远远不能满足需求, 公路的建设速度远远跟不上交通需求的增长速度。如山东省从改革开放以来, 全省国内生产总值年平均增长率为 17%, 民用机动车的年增长率为 16%, 而公路通车里程的年增长率仅为 1.7%。为了改变这一现状, 交通部要求各省制定 30 年公路网建设规划, 各省相继制定了未来交通网络布局的宏伟蓝图。宏伟蓝图的实现, 意味着大量公路网项目的建设实施和国家巨大建设资金的投入, 如何合理地利用可筹措资金进行公路网络建设项目的投资优化, 成为公路网规划中的重要课题。

公路网规划中的建设实施方案设计, 是将在公路网布局规划方案中确定的各个建设项目按不同的 (5 年或 10 年) 规划期安排实施顺序, 贯彻近期宜细, 中期有准备, 远期可粗、有设想的要求, 以使得规划期内的总建设效益最大。

1 层次分析法的引出

公路网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。

然而, 在不同的路网规划项目中, 由于经济、技术和环境水平这 3 个方面评价指标的量值水平及量纲不同, 在进行比较规划项目中不同评价指标接近其规划目标的程度时, 应首先将上述 3 方面中各个评价指标的评价结果进行“同一标准化”, 以便进行各评价指标间的横向比较, 这个过程称之为评价指标的量化标度过程。

评价指标量化标度的目的: 一是根据不同评价标

准（即接近规划目标的程度），将经济、技术和环境效益这 3 方面评价指标的评价结果置于同一个评价标准条件下，并以量化的形式表现出来，以便对同一规划项目中不同评价指标接近规划目标程度的大小进行比较；二是对不同决策者对不同规划效益（经济、技术和环境效益）的不同“喜好”水平定性描述的量化，决策者对不同规划效益的价值倾斜，通常是在对同一层次评价指标的两两比较中形成的，相应的“喜好”水平则以指标间的相对重要性的形式反映出来。1980 年 T. L. SAATY 创立的层次分析法（analytic hierarchical programming，简称 AHP 法）中采用的 9 级比例标度法，能较准确地将决策者的思维判断数量化，非常适合决策者“喜好”水平的量化标度。

2 层次分析过程

层次分析法又称为多层次权重分析决策法，是一种定性问题定量化分析，定性与定量相结合的决策方法。它能模拟人脑对客观事物的分析与综合过程，将决策者对复杂现象的决策思维过程系统化、模型化、数量化。该方法用来求解服从某一总目标的多个目标的权重或求解多个因素对所关联的另外某一因素的权重。当多个目标和多个因素形成递阶结构时，层次分析法可分析任一层目标或因素对上一层目标或因素的权重，最终得到对总目标的权重。其基本方法与步骤如下：

2.1 明确问题

利用 AHP 法，首先要对所研究的问题有明确的认识，弄清问题的范围、所包含的因素以及因素之间的关系。公路网规划建设项目排序旨在为公路网建设序列的实施提供决策依据，将公路网布局规划确定的各个建设项目安排实施顺序，以使得规划期内的总建设效益最大。

2.2 建立层次结构

层次结构是各元素相互隶属关系和重要程度的测度。根据对问题的初步分析，将所含的因素分系统、分层次地构筑成一个树状层次结构。层次分析一般为 3 种层次。

目标层：又可分为总目标层和分目标层。在公路网规划建设项目排序中，各建设项目的综合效益指标即可作为总目标层。经济效益指标、社会效益指标和技术效益指标可作为分目标层。

指标层：指标层是由可直接度量的因素组成。如效益费用比、净现值、投资回收期、网络结构性能、交通质量、道路噪声、汽车排放等等。在复杂的系统

中，指标有时也可分为 2~3 层。在层次分析决策过程中，分目标层与指标层也可划分在分层次的指标体系内。

测算层：测算层包括决策的方案。在公路网规划中指规划实施的建设项目。

如前所述，影响公路网规划项目建设序列的因素很多，它们相互关联，相互影响。在此将规划项目的重要度（建设序列决策依据）测算问题以及涉及到的各种因素当作一个系统对象，它具有系统层次性。路网规划层次结构如图 1 所示。

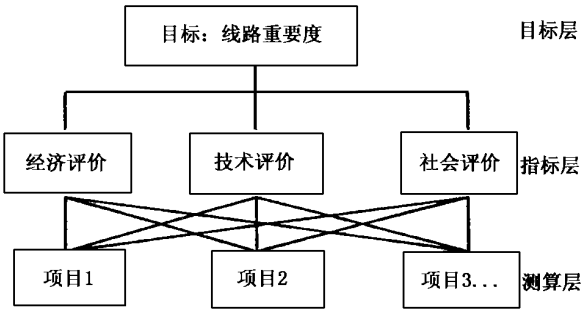


图 1 系统层次分析结构模型

2.3 构造判断矩阵

层次分析法要求决策者对每一层次各元素的相对重要性给出判断，即本层各元素对上层某元素进行重要性程度的两两二元比较，给予合适的标值，构成比较矩阵 B ：

A_k	B_1	B_2	...	B_n
B_1	b_{11}	b_{12}	...	b_{1n}
B_2	b_{21}	b_{22}	...	b_{2n}
$\vdots$	...	...	$\vdots$	$\vdots$
B_n	b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nn}

矩阵中 b_{ij} 表示对 A_k 元素而言， B_i 与 B_j 重要度的标值。例如： $b_{ij} = 1$ ，表示 B_i 与 B_j 的重要度相等； $b_{ij} = 1.2$ ，表示 B_i 与 B_j 的重要度比值为 1.2。在公路网规划中， b_{ij} 表示分指标层如效益费用比、净现值、投资回收期、网络结构性能、交通质量、道路噪声、汽车排放等等对于某一规划建设项目的的重要度标值。

显然， $b_{ii} = 1$ ， $b_{ij} = 1/b_{ji}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$)，这样，对于 n 阶矩阵需对 $(n-1)^2/2$ 个元素给出权值，便可将全部矩阵填满。

判断矩阵中的数值是根据评价人员掌握的相关资料加以分析综合后得出的，衡量判断矩阵适当与否的标准是矩阵中的判断是否具有 consistency。一般如果判断

矩阵有

$$b_{ij}=b_{ik}/b_{jk} \quad (i,j,k=1,2,\cdots n) \quad (1)$$

则称判断矩阵具有完全的一致性。用式（1）对判断矩阵进行一致性检验，以保证判断矩阵中两两比较的取值严谨。由于客观事物的复杂性和人们认识上的多样性，有产生片面性的可能，为检查层次分析法所得结果的合理性，需要对判断矩阵进行一致性检验，该检验通常结合排序步骤进行。

2 4 进行层次单排序

在判断矩阵的基础上，计算对于上一层而言，本层次与之有联系的元素的重要性次序的权重。排序计算的实质是计算判断矩阵的最大特征根及相应的特征向量。即对判断矩阵 B 计算满足 $BW=\lambda_{\max} W$ 的特征根和特征向量。这里 $\lambda_{\max}$ 为 B 的最大特征根， W 为对应于 $\lambda_{\max}$ 的规范化特征向量。 W 的分量 W_i 是对应于单元单排序的权值。

可以证明，对于 n 阶判断矩阵，其最大特征根为单根，且 $\lambda_{\max} \geq n$ ， $\lambda_{\max}$ 所对应的特征向量均由非负数组成。特别是当判断矩阵具有完全一致性时， $\lambda_{\max}=n$ ，除 $\lambda_{\max}$ 外，其余特征根均为 0。

为检验判断矩阵的一致性，需要计算它的一致性指标 $I_C=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$ ， I_C 越大，说明判断矩阵的一致性越差。当判断矩阵完全一致时， $I_C=0$ 。此外，还需将 I_C 与平均一致性指标 I_R 进行比较，称 $I_{CR}=\frac{I_C}{I_R}$ 为判断矩阵的随机一致性指标，当 $I_{CR}<0.1$ 时认为具有满意的一致性， I_{CR} 越小越满意；反之 $I_{CR}>0.1$ 时就要调整判断矩阵，直到满足 $I_{CR}<0.1$ 为止。

平均一致性指标 I_R 的取值随矩阵的阶数增加而增大，对于 1~9 阶矩阵， I_R 取值见表 1。

平均一致性指标 I_R 表 1

阶数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_R	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

由判断矩阵推算本层次所有各元素对上一层某元素而言的重要度，由下而上进行。这种运算通常有两种方式：方根法与和积法。无论采用何种计算方法都不影响问题的本质，本文采用和积法，其计算过程如图 2 所示。

当判断矩阵不具有完全一致性时，则计算 I_C ，查表 1，得出 I_R ， $I_{CR}=I_C/I_R$ ，如果 I_{CR} 不小于 0.10，需要调整判断矩阵，重新计算以上各步。

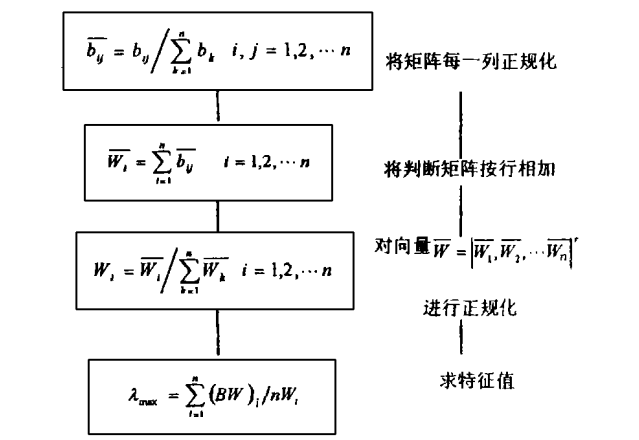


图 2 计算框图

2 5 层次总排序

采用上述过程，对各层次的判断矩阵求出排序权值后，为得到某层元素对于总体目标的组合权重和与上层元素间的相互影响。要用该层次排序结果和上层元素的组合权重，计算本层次所有元素重要性的权数值，即层次总排序。层次总排序需要从上到下逐层顺序进行，对于最高层下面的第二层，其层次排序权重即为总排序权重。若上一层所有元素 A_i ($i=1, 2, \cdots m$) 的总排序已完成，各元素的权重值相应为 a_i ，与 a_i 相对应的次一层元素 B_j ($j=1, 2, \cdots, n$) 排序结果为 b_j^i ，如果 B_j 与 A_i 无关，则 $b_j^i=0$ ，于是得到层次总排序表 2，且： $\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_i b_j^i=1$ ，即层次总排序是归一化的正规向量。

层次总排序表

表 2

层次 A	A_1	A_2	$\cdots$	A_m	B 层次总排序	
	a_1	a_1	$\cdots$	a_m		
层次 B	B_1	b_1^1	b_1^2	$\vdots$	b_1^m	$\sum_{i=1}^m a_i b_1^i$
	B_2	b_2^1	b_2^2	$\vdots$	b_2^m	$\sum_{i=1}^m a_i b_2^i$
	$\vdots$	$\vdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$
	B_n	b_n^1	b_n^2	$\cdots$	b_n^m	$\sum_{i=1}^m a_i b_n^i$

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，其定义为

$$I_C=\sum a_i I_{Ci}; \quad I_R=\sum a_i I_{Ri}; \quad I_{CR}=I_C/I_R$$

同样，当 $I_{CR} \leq 0.10$ 为满意，反之需对本层次各判断矩阵进行调整。

3 方法应用举例：盐城市公路网规划建设序列论证

3 1 指标体系及其层次结构

项目重要性程度是涉及经济、技术和环境诸多方

面的复杂问题, 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、不同角度反映目标的优劣。在盐城市公路网规划建设序列论证中所确定的指标体系及其层次结构如表 3 所示。

公路网规划建设序列论证及其层次结构 表 3

I. 目标层	II. 指标层	III. 分项指标层	相对于 I_{B1} 层 权重系数 W'_i	相对于 I_{CB} 层 权重系数 W_i
I_{CB} 公路网规划建设序列指标	I_{B1} : 经济效益 指标(0.50)	I_{p1} : 效益费用比	0.50	0.25
		I_{p2} : 净现值	0.30	0.15
		I_{p3} : 投资回收期	0.20	0.10
	I_{B2} : 技术效益 指标(0.25)	I_{p4} : 网络结构性能	0.50	0.125
		I_{p5} : 交通质量	0.50	0.125
	I_{B3} : 环境效益 指标(0.25)	I_{p6} : 道路噪声	0.45	0.1125
		I_{p7} : 汽车排放	0.55	0.1375

3.2 指标权值的确定

确定指标权重, 就是要确定各指标对目标层的贡献程度。不同指标对目标层的影响、贡献程度不同, 这是客观存在。但这种客观存在折射到不同人的头脑中将会产生不同的映像, 因而就使权重的确定具有了一定的主观性。经过诸位专家的讨论、修订与综合, 最后将经济、技术、环境 3 效益指标的权重比例调整确定为 0.50 : 0.25 : 0.25, 使环境效益与技术效益达到同等重要水平, 也使技术和环境共同效益达到与经济同等重要的水平。

3.3 评价分值计算方法

评价总是相对于某种参照标准而言的。对于一个具体地区进行评价, 可以选用全国平均水平、其它地区同期水平或本地区历史最高水平等作为参照标准, 得出该地区与参照系的相对水平。

举例是为了说明层次分析法的运算过程, 在此取盐城市公路网规划项目的市级骨干公路“三纵七横”为例, 对上述十个重点建设项目进行排序, 以科学、合理地决策交通建设资金流向。

首先统计、计算出“三纵七横”各评价指标的原始值 ($I_{p1} \sim I_{p7}$ 共 7 项), 从而得到一个 7×10 阶的原始数据矩阵 $P_{7 \times 10}$ 。

将 $P_{7 \times 10}$ 中每行最大值评分为 1.00, 而将同一行的其它原始值与最大值的比值作为相对得分值, 该分值表示了某项目具体值与路网最佳值的接近程度。假设 P_{ij} 表示第 i 个指标在第 j 个建设项目的原始值, $P_{i, \max}$ 表示第 i 个指标的路网最佳值, 那么建设项目相应的评价得分值 $P'_{ij} = P_{ij} / P_{i, \max}$ 。这样, 就将原始数据矩阵 $P_{7 \times 10}$ 转换成评价分值组成的矩阵 $P'_{7 \times 10}$ 。

并同时消除了各指标间量级和量纲的差异。 $P'_{7 \times 10}$ 将作为项目排序的计算依据。

3.4 项目重要度的计算方法

指标层效益指数 I_{B1} 、 I_{B2} 、 I_{B3} 可以用通常的线性加权法求出, 即

$$I_{B1} = \sum_{i=1}^3 W'_i I'_{p1i}; \quad I_{B2} = \sum_{i=4}^5 W'_i I'_{p2i}; \quad I_{B3} = \sum_{i=6}^7 W'_i I'_{p3i}$$

式中, W'_i 是指标 I_{pi} 相对于 II 层 (I_{Bi} 层) 的权重系数, I'_{pi} 是 I_{pi} 指标相对于最佳值的得分。用此公式可将每个规划项目的经济效益指数、技术效益指数和环境效益指数分别求出。因为计算中所采用的权重系数是各指标相对于中间层 II 的权重, 而不是相对于最高层 I (I_{CB} 层) 的权重, 所以 I_{B1} 、 I_{B2} 、 I_{B3} 的最大可能得分 (满分) 都是 1.00 分。如果某规划项目所有的指标值都是最佳的, 那么该项目便可获得经济效益 I_{B1} 、技术效益 I_{B2} 、环境效益 I_{B3} 3 个满分。用此方法计算, 就使 I_{B1} 、 I_{B2} 、 I_{B3} 者的计算值之间可以进行相互比较。至于 I_{B1} 、 I_{B2} 、 I_{B3} 者相对于目标 I_{CB} 的权重, 将在 I_{CB} 的计算公式 (2) 中加以体现。

对于总目标 I_{CB} , 则不适于采用线性加权和法求算。因为加权和法具有一种补偿性 (或称为替代性) 特点: 一个指标值的下降可以通过其它指标值的上升而得以补偿, 而连加和依然不变。这种方法只比较适合于计算同一类型指标的综合值, 因为同一类型的指标之间允许相互替代补偿。

评价项目重要度的 3 个分效益之间是不能相互替代的, 它们都是公路网规划建设实施所必须考虑的因素, 不可偏废其中任何一个, 因而这里采用加权连乘法求算项目的重要性程度。

$$I_{CB} = \prod_{i=1}^3 I_{Bi}^{\lambda_i} \tag{2}$$

式中, λ_i 为 I_{B1} 、 I_{B2} 、 I_{B3} 相对于 I_{CB} 层的权重系数。用此公式计算项目的重要度克服了指标之间的相互补偿作用, 只要 I_{B1} 、 I_{B2} 、 I_{B3} 中任一个很小时, 都会使连乘的乘积很小, 该项目就不可能有较高的综合得分。只有当 3 个分效益同时达到较高水平时才有可能得到较高的综合分值, 这样得出的评价结果才更符合项目重要度的内涵要求。

3.5 建设项目排序

盐城市公路网规划骨干公路建设项目投资优化序列如表 4 所示 (以建设项目的重要度为决策依据)。公路网络规划设计的过程, 是研究产生为决策人员提供备选方案的过程, 在项目优先排序的基础上, 适当考虑政治影响及资金筹措情况, 制定详细的项目建设

实施计划。

盐城市公路网规划骨干公路各项效益指数值 表 4

项目名称	I_{B1}	I_{B2}	I_{B3}	I_{CB}	建设序列论证
204 国道	0.785	0.926	0.418	0.671	3
陈李公路	0.529	0.787	0.556	0.633	5
沿海高速公路	0.657	0.787	0.685	0.695	1
徐淮盐高速公路	0.612	0.796	0.725	0.682	2
疏港 1 号线	0.501	0.659	0.797	0.629	7
疏港 2 号线	0.606	0.730	0.711	0.661	4
疏港 3 号线	0.475	0.703	0.455	0.518	8
疏港 4 号线	0.339	0.662	0.579	0.462	9
疏港 5 号线	0.656	0.716	0.519	0.632	6
盐淮公路	0.292	0.651	0.652	0.436	10
最大-最小差距值	0.493	0.275	0.379	0.259	

4 结语

公路网建设项目的排序旨在为公路网建设实施方案的设计与决策提供依据,是将在公路网布局规划方案中确定的各个建设项目安排实施顺序,以使得规划期内的总建设效益最大。本文将层次分析法应用于公路网建设项目排序,充分考虑了经济、技术及环境各种影响因素,融定性定量分析于一体,抛弃以前公路网规划只进行技术路线论证的思路,系统地解决了公路网规划建设序列问题,方法科学、实用,具有广泛的应用价值。

参考文献:

[1] 交通部.公路网规划编制办法.1990.
[2] T L 萨蒂著,许树柏等译.层次分析法——在资源分配、管理和冲突分析中的应用.北京:煤炭工业出版社,1988.
[3] 杨兆升著.运输系统规划与模型.北京:人民交通出版社,1996-12.

(上接第 95 页)

2) 各种规格轮胎在双滚筒的台架动力性检测中,滚动阻力系数均明显大于道路测试和大直径单滚筒台架的测试值^[4, 7],这也是双滚筒、双支承测试轮胎滚动阻力的特点所致。

3) 表 2 中的 9.00-20 轮胎滚动阻力系数模型的各系数项的数值是在几个不同场地的 5 辆不同技术状况的 1090 系列汽车全部测试数据回归处理的结果,囊括了测试中存在的各种随机因素的影响,虽建立的数学模型的相关系数只有 91.84%,却是十分正常的,它真实的反映了汽车的使用实际,从而表明所进行的滚动阻力测试高度可信。

4 结论

汽车动力性检测采用小直径(一般小于 400mm)双滚筒底盘测功机,车轮以两点支承在滚筒上的特点,使产生的滚动阻力也具特色。首先,在双滚筒上的轮胎滚动阻力明显大于车轮单点支承在硬路面或大直径单滚筒上的滚动阻力;其次,轮胎滚动阻力随轮

胎直径减小而增大,具有规律性。

常用规格轮胎在双滚筒上的滚动阻力系数的模型为一元二次方程,即 $f_i = a + b \times V_i + c \times V_i^2$, 式中的系数项的数值随轮胎规格而异。各种规格轮胎的现场随机实车测试的滚动阻力系数数据与模型显著相关, R 值接近 1,表明所建模型符合汽车动力性检测的实际,较之实验室测试,具有高度可行性和可信性。

汽车动力性检测中的滚动阻力受测功机滚筒直径的影响很大,只有在滚筒直径与被测车轮直径之比大于 35%时,滚筒大、小对轮胎滚动阻力的影响才处于最低稳定值。我们采用滚筒直径 368mm 的底盘测功机进行测试,建立的轮胎滚动阻力系数模型,对于滚筒直径 350mm 以上的底盘测功机通用、有效。

参考资料:

[1] 高延龄.汽车运用工程.人民交通出版社,1990-6.
[2] 余志生.汽车理论.机械工业出版社,1981-08.
[3] SAE Recommended Practice. Road Load Measurement And Dynamometer Simulation Using Coast-down Techniques -SAE J1263.
[4] 郁增德等.底盘测功机模拟道路滑行试验.汽车技术,1991-06.