

基于 AHP 和模糊熵的 高速公路隧道重要度评价

周正兵¹ 孙璐^{2,3} 李易峰² 肖峰¹

1. 安徽省交通联网运行管理中心, 合肥 230000
2. 东南大学, 交通学院, 南京 210096
3. 美国华盛顿 Catholic 大学, 土木工程系,
美国, 华盛顿特区 20064

摘要:在高速公路管理中,如何针对不同类型、不同区域、不同建设规模等数量繁多的隧道制定针对性、差别化的管理方案是管理部门的难题之一。本文通过参考国内外已有的研究成果,开展对高速公路隧道重要度影响因素的深入分析,提出六个重要度评价指标:隧道土建结构,隧道长度,隧道路面状况,隧道交通量,绕行距离,雨、雾、冰雪天气,并通过采用 AHP 方法与模糊熵法确定各指标权重,建立了完整的隧道重要度评价方法,使隧道管理部门能够根据高速公路中隧道重要度的差异,制定相应的管理方案。

关键词:隧道;重要度评价;指标;AHP;模糊熵

中图分类号:U459.2

文献标识码:A

文章编号:1672-4747(2012)04-0036-09

Importance Assessment Model for Highway Tunnel Based on Analytic Hierarchical Process and Fuzzy Entropy

ZHOU Zheng-bing¹ SUN Lu^{2,3} LI Yi-feng² XIAO Feng¹

1. Anhui Transportation Network Operation Management Center, Hefei 230000, China
2. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China
3. Department of Civil Engineering, Catholic University of America,
Washington D. C. 20064, U.S.A.

收稿日期:2011-12-13.

基金项目:国家道路交通安全科技行动计划项目(2009BAG13A02);江苏省创新学者攀登计划资助项目(SBK200910046);教育部霍英东基金资助项目(114024);江苏省博士后科研资助计划项目(0901005C);安徽省交通科学研究计划。

作者简介:周正兵(1974-),男,汉族,肥西人,硕士,安徽省交通联网运行管理中心高工,研究方向为通信与信息系统。

Abstract : It is one of the difficulty problems for highway managers to make different management maintenance plans according to tunnel type, region, construction scale and so on. Referring to the existed research results at home and abroad, this paper conducted a deep analysis for the factors affected the importance of the highway tunnel, and proposed six importance evaluation indicators : that were tunnel civil structure, tunnel length, tunnel pavement condition, tunnel traffic, detour distenance and severe weather . The weight coefficients of the evaluation indexes were calculated by using AHP and the fuzzy entropy method. With this evaluation method, highway managers can make maintenance plans more objectively and effectively according to the importance of the highway tunnel .

Key words :Tunnel ,importance evaluation ,indicators ,analytic hierarchy press ,fuzzy entropy

0 引 言

隧道是高速公路基础设施的重要组成部分,是在岩层、土体等天然介质中开挖建造的构造物,用以保证高速公路在穿越山体、河流等障碍时车辆的顺利通行。我国地域辽阔,地势西高东低、山区和丘陵地貌频繁,在这些地区中高速公路隧道占全部工程比例较大。据统计,截止到 2009 年年底全国公路隧道为 6 139 座、长 394.20 万 m,其中特长隧道 190 座、长 82.11 万 m,长隧道 905 座、长 150.07 万 m^[1]。高速公路公路隧道具有结构特殊、所处环境恶劣以及交通量大的特点,极易发生交通事故,高速公路隧道内一旦发生安全事故,或者损坏车辆和隧道,会造成交通堵塞,或者车毁人亡,或者引发火灾,损失将非常严重,因此,如何管理好隧道,使其发挥最大的社会效益和经济效益,降低安全事故的发生,保障公路交通事业的稳定和谐发展,已成为交通行业管理部门非常关注的问题。高速公路管理部门面对数量繁多、类型不同、规模各异的隧道工程,需要分别制定科学有效的隧道检测、养护以及抢修等方案,而所需的人力财力等各项资源往往有限。因此需要采用一种方法用以评价隧道在整个高速公路路网中的重要程度,使管理部门能制定针对性、差别化的管理方案,对于不同重要程度的隧道制定不同力度的管理策略,使得管理工作更加科学合理,起到节约管理成本、提高管理效率的作用。

国内外针对隧道重要度方面做了一定程度的研

究。国内学者根据隧道的功能、用途、地理特征提出了八种不同类型隧道的重要度评价方法^[2-3],但其评价对象是全部类型公路隧道,对于高速公路隧道而言缺乏较强的针对性;且考虑的影响因素较为简单,很多理应涉及的影响因素并未考虑。国外多见隧道风险性评估,包括 Euro Test 提出的风险评估方法^[3-5]、Matousek 研究团队提出的隧道安全评价方法以及在此基础上出台的瑞士《国家公路隧道安全标准》^[5-6]、奥地利 2006 年提出的综合定量隧道风险分析法^[7]、英国 2007 年出台的《公路隧道安全法规》^[8]等,其研究内容较多关注与隧道安全评价所涉及的指标与影响因素,较少有针对隧道重要度方面的研究。

本文通过对高速公路隧道重要度影响因素的分析,从隧道安全性、功能性、环境因素三大方面提取评价指标,采用层次分析法与模糊熵法确定各指标权重,最后通过专家打分法对每项指标进行评分,计算出不同隧道的重要度。

1 高速公路隧道重要度评价指标选择

1.1 隧道重要度指标选取原则

隧道重要度评价指标的目的是为了区分高速公路路网中数量繁多、类型不同、规模各异的隧道重要程度,从而制定针对性、差别化的隧道管理方案,减小检测成本、提高工作效率,从这个目的出发,本文根据隧道基础设施与管理工作特征,将重要度指标选取原则总结为以下两点。

1.1.1 选取隧道重要度评价指标应充分考虑隧道安全性、功能性和环境因素

一般而言,为避免隧道交通安全事故发生,安全性评价较低的隧道在制定管理方案时会投入较高力度;隧道的功能性指的是该隧道在高速公路路网中所起到的作用和功能,反映了行经车辆对该隧道所提供交通服务的需求程度,例如该隧道停止服务是否造成路网交通大面积瘫痪等,功能性越大的隧道在制定管理方案时投入的力度也应该越大;隧道在自然条件较为恶劣的区域其服务水平往往也会降低,例如隧道路面结冰、多雾导致的隧道能见度降低等影响交通安全,在对这些区域的隧道制定管理方案时也应投入较大力度。

1.1.2 隧道重要度确定应多从隧道固定状况考虑,少从可变状况考虑

高速公路隧道工程重要度评价的目的是为了制定针对性、差别化的隧道管理方案,减小检测成本、提高工作效率,其评价结果应该是在长时间内都具有指导意义。在选择隧道重要度评价指标时,若指标随时间变化较大,使每次隧道管理方案的制定都需要重新对高速公路网隧道进行重要度评定,反而增加了管理部门的工作量与管理成本,使重要度评价这项工作失去实际意义。因此本文在选择隧道重要度评价指标时,较多地关注隧道相对不易改变的一些固定特征,例如隧道长度等,较少关注隧道可变状况,如机电设施等。虽与隧道安全关系很大、在隧道安全评价中需要考虑,但只需采取一定程度上的养护手段就能改变状况的评价指标,本文不采用。

1.2 隧道重要度影响因素

根据前文隧道重要度选取原则,本文从隧道安全性、功能性和环境因素三方面分析影响因素。

1.2.1 隧道安全性

隧道安全性主要包括隧道土建结构、隧道长度与路面状况等。

隧道土建结构主要指隧道的各类土木建筑工程结构物,如洞门、衬砌、路面、防排水设施、斜(竖)井、检修道及风道等结构物^[9],隧道土建结构出现的各种状况往往反应了隧道施工质量、隧道养护问

题、地质状况问题等,影响隧道使用年限与行经车辆安全,在制定管理方案时需要高度关注。

隧道长度指的是进出口洞门端墙墙面之间的距离。高速公路隧道行车环境较封闭,易于造成驾驶员的心理、生理压力,隧道长度越长,行车环境的复杂度就越高,安全风险也就越大^[10],其管理工作也就越应该加强。

路面状况主要指的是隧道路面的摩擦系数,其与车辆行驶安全有直接关系。根据相关研究^[11],路面摩擦系数小于0.37时,行车安全受到较大影响;当路面摩擦系数小于0.34时,交通事故率将成倍增加。路面摩擦系数降低容易引起行经车辆制动距离增大、轮胎打滑等情况,降低隧道内行车安全性。因此,本文认为路面摩擦系数较差的隧道重要度也应当越高。

此外,隧道安全性还应包括隧道曲线半径、隧道纵坡、横通道布设、紧急停车带布设等,我国《公路隧道养护技术规范》(JTG H12—2003)中关于这几项都有明确规定,本文认为当实际隧道工程中出现不符合规范要求的情况时,其重要度应取最高值。

1.2.2 隧道功能性

隧道功能性主要包括隧道交通量、绕行距离等。

(1)隧道交通量大小反应了隧道的繁忙程度,交通量越大,说明行经车辆对该隧道提供的交通服务需求越大,其一旦出现安全状况所造成的影响也就越大。

(2)隧道绕行距离长短反应了隧道的不可替代程度,当某一隧道出现停止交通服务的状况时,高速公路路网中的行经车辆需要选择另一条道路绕行抵达预期目的地,绕行距离与原本距离之差越大,说明该隧道提供交通便利的程度越大,隧道也就越重要^[10]。

1.2.3 环境因素

环境因素对隧道安全状况的影响主要体现在雨、雾、冰雪天气情况下,隧道内视距、路面附着系数的变化^[2]。一般而言,雨、雾、冰雪天气较多的区域,其隧道行车环境较差,安全事故风险较高,在制定隧道管理方案时需要投入较多力度。

1.3 隧道重要度指标体系

根据前文影响因素分析,建立三大高速公路隧道

重要度评价因素：安全性 (B_1)，功能性 (B_2)，环境因素 (B_3)；评价因素又包含六项子指标：隧道土建结构 (C_1)，隧道长度 (C_2)，隧道路面状况 (C_3)，隧道交通量 (C_4)，绕行距离 (C_5)，雨、雾、冰雪天气 (C_6)。图 1 为高速公路隧道重要度评价指标体系。

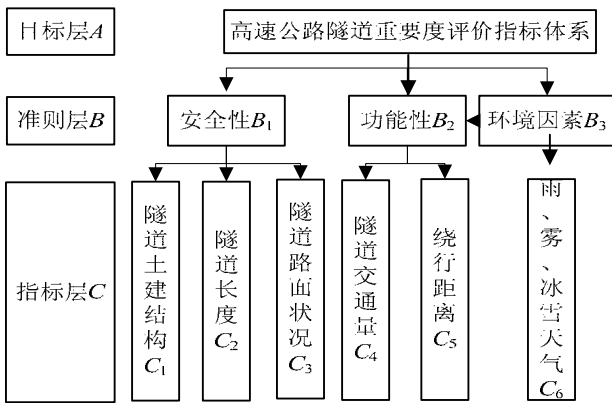


图 1 高速公路隧道重要度评价指标体系

Fig.1 Evaluation index system of the importance of a highway tunnel

1.4 隧道重要度指标评分

根据前文所提取的检测指标，将安全性、功能性、环境因素三大评价因素六项子指标作为评判因素集，制定相应的评分标准，通过专家打分法确定分数。

(1) 安全性 (B_1)

隧道安全性指标评分主要包括隧道土建结构评分、隧道长度评分与路面状况评分。

土建结构的评分首先采用专家打分法得到隧道构件评级：根据现有规范^[9]对隧道洞口、洞门、衬砌、路面、检修道、排水设施、吊顶、内装八项分别进行评级。隧道构件评级分为三等，见表 1。

表 1 隧道检查结果分级^[9]

Tab.1 The grade of tunnel inspection results

结果分级	检查结论
S	情况正常(无异常情况,或虽有异常情况但很轻微)
B	存在异常情况,但不明确,应作进一步检查或观测以确定对策
A	异常情况显著,危机行人、行车安全,应采取处置措施或特别对策

然后按照式 (1) 计算隧道土建结构评分：

$$G_s = \sum S_B + \sum S_A \quad (1)$$

式中， G_s 表示土建结构重要度评分，分值越高说明该土建结构越危险，重要度越高，满分为 100 分，超过 100 分按 100 分计算；

$\sum S_B$ 表示隧道中被评为 B 级的构件总分值，单项被评分 B 级计 10 分，求总和；

$\sum S_A$ 表示隧道中被评为 A 级的构件总分值，单项被评为 A 级计 50 分，求总和。

根据隧道长度不同，可将隧道分为四类^[9]。根据前文隧道重要度影响因素分析，本文认为隧道越长，其重要程度越大，根据隧道长度给出不同的重要性评分，记为 G_l ，取值见表 2。

表 2 隧道长度重要度评分

Tab.2 The importance values of tunnel length

隧道分类	隧道长度/m	重要度评分 G_l
短隧道	$L \leq 500$	0
中隧道	$500 < L \leq 1000$	30
长隧道	$1000 < L \leq 3000$	70
特长隧道	$3000 < L$	100

根据前文隧道重要度影响因素分析，路面状况较差的隧道其安全性较差、重要度较高。根据隧道内路面摩擦系数的不同给出不同的重要性评分，记为 G_p ，取值见表 3。

表 3 隧道路面状况重要度评分^[12]

Tab.3 The importance values of tunnel road conditions

实际摩擦系数	抗滑性能	对应路面状况	重要度评分 G_p
0.65	良好	常温、干燥、无杂质	0
0.56 ~ 0.64	正常	潮湿、少量积水、低温	10
0.51 ~ 0.55	稍差	积水、低温	50
0.41 ~ 0.50	较差	积水、浮雪、霜	70
0.31 ~ 0.40	很差	积雪	90
0.30	极差	结冰	100

(2) 功能性 (B₂)

隧道功能性指标评分主要包括隧道交通量评分与隧道绕道距离评分。

根据前文隧道重要度影响因素分析,隧道交通量反应隧道的繁忙程度,本文认为隧道交通量越大其重要度越高。根据隧道内单车道交通量的大小给出不同的重要度评分,记为 G_T,取值见表4。

表4 隧道交通量重要度评分

Tab.4 The importance values of tunnel traffic volume

服务水平	设计速度/(km/h)				重要度评分 G _T
	120	100	80	60	
	单车道交通量				
一	<750	<650	<500	<400	0
二	750~1600	650~1400	500~1150	400~900	20
三	1600~1950	1400~1800	1150~1500	900~1200	50
四	1950~2200	1800~2200	1500~2000	1200~1800	80
	>2200	>2200	>2000	>1800	100

隧道绕行距离反应了隧道不可替代程度,本文认为隧道绕行距离越大,其重要度越高。根据绕行距离的远近给出不同的重要度评分,记为 G_d,取值见表5^[10]。

表5 隧道绕行距离重要度评分

Tab.5 The importance values of tunnel detour

绕行距离/km	重要度评分 G _d
L	10
10 < L	20
> 20	100

(3) 气候状况 (B₃)

根据前文隧道重要度影响因素分析,隧道在雨、雾、冰雪天气情况下其安全状况受到影响较大,本文认为该类天气状况较多的区域内的隧道,其重要度较高。根据隧道所在区域内平均每年内雨、雾、冰雪天气所占比例,对隧道给出不同的重要度评分,记为 G_r,取值见表6。

表6 隧道环境因素重要度评分^[2,10]

Tab.6 The importance values of tunnel environment

平均每年内雨、雾、冰雪天气的比例	重要度评分 G _r
0 < η	10%
10% < η	30%
30% < η	50%
50% < η	65%
65% < η	85%
η > 85%	100

2 基于 AHP 的重要度评价指标权重

层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, 简称 AHP) 是一种将与决策有关的元素分解成目标、准则、指标等层次,并在此基础上进行定性和定量分析的系统化、层次化的决策方法。AHP 由美国著名系统工程与运筹学专家 T.L.Saaty 教授于 20 世纪 70 年代创立,最早用于美国国防部相关研究课题。

基于 AHP 的评价指标权重确定一般可以分为以下几个步骤:

(1) 构造判断矩阵

判断矩阵表示针对上一层次某影响因素而言,本层次与之有关的各因素之间的相对重要性,例如本文准则层中安全性、功能性和环境因素相对于目标层隧道重要度的权重。矩阵中元素值的大小表示相对重要性的大小。

(2) 计算指标权重

根据构造出的判断矩阵,求出最大特征值所对应的特征向量,然后归一化后作为权重。

(3) 一致性检验

采用层次分析法计算各指标权重的一个前提就是判断矩阵必须通过一致性检验。各判断矩阵元素之间要协调一致,不致相互矛盾。一般引入一致性指标 CI 来检查判断思维的一致性,见式(2):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{2}$$

式中, λ_{max} 为判断矩阵的最大特征根, n 为判断矩阵的阶数。

当 λ_{max} = n, CI = 0 时为完全一致, CI 值越大反应

判断矩阵的一致性越差。

将 CI 与平均随机一致性指标 RI 比较, 得到一致性比率 CR , 见式 (3):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

根据文献[13], 1~10 阶 RI 取值如表 7 所示。

表 7 1~10 阶矩阵 RI 值^[13]

Tab.7 RI Values of the 1st~10th order matrix

阶数/ n	1	2	3	4	5
RI	0	0	0.52	0.89	1.12
阶数/ n	6	7	8	9	10
RI	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

当 CR 满足 $CR < 0.1$ 时, 判断矩阵一致性能够接受, 否则要重新进行调整。

3 基于模糊熵权的模糊决策分析

3.1 模糊评价矩阵

组织专家对每一个隧道按照前文所述的 m 个评价标准进行评分, 这样对 n 个隧道形成一个 $m \times n$ 的特征矩阵, 见式 (4):

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = (x_{ij}) \quad (4)$$

式中, x_{ij} 为表示专家对第 j 个隧道指标 i 的评价分数 ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$)。

在构造特征矩阵 X 时, 专家对评价指标的估计很难精确测定, 具有不确定性和模糊性; 同时评价对象的择优具有相对性^[14]。为了便于计算和优选分析, 应将评价指标绝对量值转化为相对量^[15,16], 即将特征矩阵 X 转化为对应的隶属度矩阵 R , 见式 (5):

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij}) \quad (5)$$

式中元素 r_{ij} 表示指标的隶属度函数, 本文采用式 (6) 的隶属度计算方法:

$$r(i, j) = \begin{cases} 1 & x(i, j) = M \\ \frac{x(i, j) - \min(x(j))}{\max(x(j)) - \min(x(j))} N & \min(x(j)) < x(i, j) < M \\ 0 & x(i, j) = N \end{cases} \quad (6)$$

式中, M 、 N 分别为标准分的最大值和最小值。根据求出的隶属度矩阵 R 可以求出每一项指标的熵和熵权。

3.2 模糊熵权

熵的概念最初来自热力学, 在统计物理学中用于描述大量分子作无规则运动状态的量度。后来由 Shannon 引入信息论中, 作为系统不确定性的量度。在熵的思想中, 信息的多少和质量决定了决策的制定是否正确可靠。熵的值反应了所获取数据提供信息的有效程度, 是决策评价的有效方法^[17,18]。

模糊评价问题中, 熵的定义如下:

假设有 m 个评价指标, n 个评价对象。第 i 个评价指标的模糊熵见式 (7):

$$\bar{C}_i = -k \sum_{j=1}^n [r_{ij} \ln r_{ij} + (1-r_{ij}) \ln(1-r_{ij})] \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

式中, 当 $r_{ij}=0$ 时, $r_{ij} \ln r_{ij}=0$, $k=1/n \ln 2$ 是一个常数。熵反映出评价指标的不确定性。熵值越小, 表明相应的评价指标上的信息量越有效。

第 i 个指标的熵权见式 (8):

$$\mathcal{A}'_i = \frac{1 - \bar{C}_i}{m - \sum_{i=1}^m \bar{C}_i} \quad (8)$$

熵权从各个评价指标提供信息量大小来确定权重。当某指标的熵值越大、熵权越小, 说明该指标越不重要; 而当指标的熵值较小、熵权较大时, 说明该指标提供的信息越多。由此可见, 熵权更多反应的是各指标在竞争意义上的相对激烈程度, 并不是实际意义上的重要性系数^[17]。

在对不同隧道进行重要度评价时, 若某项指标的评分值相近, 该指标就不能反映不同隧道之间的差异, 进而很难对隧道重要度进行合理的排序。通过熵权可以有效调整各项指标的权重, 使重要度评价更科学。经过调整后评价指标的综合权数见下式:

$$\lambda_i = \frac{\lambda'_i w_i}{\sum_{i=1}^m \lambda'_i w_i} \quad (9)$$

3.3 综合权数决策模型

根据前文所述,利用综合权数对模糊关系矩阵 R 阵进行加权,得到规格化加权矩阵 A ,见下式:

$$A = \begin{bmatrix} \lambda_1 r_{11} & \lambda_1 r_{12} & \dots & \lambda_1 r_{1n} \\ \lambda_2 r_{21} & \lambda_2 r_{22} & \dots & \lambda_2 r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \lambda_m r_{m1} & \lambda_m r_{m2} & \dots & \lambda_m r_{mn} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 \\ 100 & 30 & 0 & 50 & 50 & 20 \\ 70 & 0 & 70 & 0 & 50 & 100 \\ 50 & 30 & 50 & 100 & 0 & 60 \\ 0 & 100 & 100 & 80 & 100 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

采用双基点法,根据指标性质和数据以一组最优指标数据作为虚拟正理想方案,以一组最劣指标数据作为虚拟负理想方案,通过比较方案点距正、负理想点的距离大小来判断被评价方案的优劣^[19]。 p^* 和 p_* 分别表示矩阵 A 的正理想点和负理想点,见下式:

$$p^* = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_m^*)^T \quad (11)$$

式中: $p_i^* = \max\{a_{ij} | j=1, 2, \dots, n; i=1, 2, \dots, m\}$,

由于矩阵 A 由标准化矩阵 R 经过加权而得,因此负理想点 $p_* = (0, 0, \dots, 0)^T$ 。

令 $\tilde{A}_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj})^T$ ($j=1, 2, \dots, n$), 那么被评价

对象 j 与理想点的贴近度见下式:

$$T_j = \frac{(p^* - \tilde{A}_j)^T (p^* - p_*)}{\|p^* - p_*\|^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m a_{ij} p_i^*}{\sum_{i=1}^m (p_i^*)^2} \quad (12)$$

被评价对象到理想点 p^* 之间的距离 d 见下式 (13):

$$d_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij} - p_i^*)^2} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (13)$$

根据计算的 T_j 值对各个隧道按照优劣顺序进行排序, T_j 值越小,说明重要度越高;若 T_j 值相等,则以各个隧道的 d_j 值加以区分, d_j 值越小则重要度越高。

4 案例分析

根据对安徽某高速公路隧道调查设计评分表,并由东南大学交通学院专家进行现场评分,得到4座隧道的模糊评判矩阵:

$$S = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 \\ 100 & 30 & 0 & 50 & 50 & 20 \\ 70 & 0 & 70 & 0 & 50 & 100 \\ 50 & 30 & 50 & 100 & 0 & 60 \\ 0 & 100 & 100 & 80 & 100 & 0 \end{bmatrix}$$

根据前文所述,采用 AHP 计算各层指标。先对准则层影响因素进行两两比较可以得到准则层 B 相对于目标层 A 的判断矩阵,求出最大特征值 λ_{max} 、一致性比率 CR 以及权重 W ;同理可以得到指标层 C 相对于准则层 B 的判断矩阵,见表8至表11。

表8 准则层 B 相对于目标层 A 的判断矩阵

Tab.8 Judgment matrix of criterion layer B relative to destination layer A

A	B_1	B_2	B_3	W
B_1	1	1	2	0.400
B_2	1	1	2	0.400
B_3	1/2	1/2	1	0.200

$\lambda_{max} = 3.000, CR = 0.$

表9 指标层 C 相对于准则层 B_1 的判断矩阵

Tab.9 Judgment matrix of indicator layer C relative to criterion layer B_1

B	C_1	C_2	C_3	W
C_1	1	2	3	0.540
C_2	1/2	1	2	0.297
C_3	1/3	1/2	1	0.163

$\lambda_{\max} = 3.0092$, $CR = 0.009$,

表 10 指标层 C 相对于准则层 B₂ 的判断矩阵

Tab.10 Judgment Matrix of indicator layer C relative to criterion layer B₂

B ₂	C ₇	C ₈	W
C ₄	1	2	0.667
C ₅	1/2	1	0.333

$\lambda_{\max} = 2$, $CR = 0$ 。

表 11 指标层 C 相对于准则层 B₃ 的判断矩阵

Tab.11 Judgment Matrix of indicator layer C relative to criterion layer B₃

B ₃	C ₆	W
C ₆	1	1

$\lambda_{\max} = 1$, $CR = 0$ 。

至此可以求出指标层 C 相对于目标层 A 的总排序向量 :

$$[0.216, 0.119, 0.065, 0.267, 0.133, 0.200]^T$$

将矩阵 S 经过隶属度函数变换并归一化后得到隶属度矩阵 :

$$S = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 \\ 100 & 30 & 0 & 50 & 50 & 20 \\ 70 & 0 & 70 & 0 & 50 & 100 \\ 50 & 30 & 50 & 100 & 0 & 60 \\ 0 & 100 & 100 & 80 & 100 & 0 \end{bmatrix}$$

计算各个指标的模糊熵值如下 :

$$\bar{C}_1 = 0.470 , \bar{C}_2 = 0.440 , \bar{C}_3 = 0.470 , \bar{C}_4 = 0.430 , \bar{C}_5 = 0.500 , \bar{C}_6 = 0.423。$$

计算各个指标的模糊熵权如下 :

$$\lambda'_1 = 0.162 , \lambda'_2 = 0.171 , \lambda'_3 = 0.162 , \lambda'_4 = 0.175 ,$$

参考文献

[1] 中华人民共和国交通部. 2009 年公路水路交通运输行业发展统计公报[R]. 北京: 中华人民共和国交通部, 2010.
 [2] 白云. 公路隧道安全等级评价方法研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2008.

$\lambda'_5 = 0.153$, $\lambda'_6 = 0.177$ 。

计算各个指标的综合权数如下 :

$$\lambda_1 = 0.208 , \lambda_2 = 0.121 , \lambda_3 = 0.063 , \lambda_4 = 0.277 , \lambda_5 = 0.121 , \lambda_6 = 0.210。$$

得到规格化加权矩阵 S :

$$S = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 \\ I & 0.208 & 0.036 & 0 & 0.139 & 0.061 & 0.042 \\ II & 0.146 & 0 & 0.044 & 0 & 0.061 & 0.210 \\ III & 0.104 & 0.036 & 0.031 & 0.277 & 0 & 0.126 \\ IV & 0 & 0.121 & 0.063 & 0.222 & 0.121 & 0 \end{bmatrix}^T$$

由此可以得出理想点 :

$$p^* = (0.208, 0.121, 0.063, 0.277, 0.121, 0.210)^T$$

计算贴近度如下 :

$$T_1 = 0.4823 , T_2 = 0.5719 , T_3 = 0.3352 , T_4 = 0.5205。$$

根据计算所得贴近度对四个隧道进行重要度排序 : $T_2 > T_4 > T_1 > T_3$ 。因此, 在综合考虑隧道安全性、功能性和环境因素影之后, 隧道重要度最高, 应重点加强管理工作。

5 结束语

对高速公路隧道重要度进行评价, 有效判断出不同隧道之间的重要性差异, 可以为高速公路管理部门提供参考依据, 从而制定差别化的管理方案, 使管理工作更加科学有效。在权重的确定上采用 AHP 结合模糊熵法, 有效减少了人为因素的干扰, 提高了评价结果的准确性和客观性。事实上, 高速公路隧道重要度涉及的因素繁多、指标关系复杂, 本文提出最具代表性的几类指标, 在实际工程中可操作性较强, 对其他种类基础设施重要度的判定具有很强的借鉴意义。

参考文献

- [1] 轩宏伟, 王花兰, 颜月霞. 常规公交影响下的轨道交通吸引范围研究[J]. 铁路运输与经济, 2007, 29(7): 61-63.
- [2] 岳芳, 毛保华, 陈团生. 城市轨道交通接驳方式的选择[J]. 都市轨道交通, 2007, 20(4): 36-39.
- [3] 郭涛, 刘波, 田磊, 孙安. 轨道交通站点TOD合理区范围探讨[J]. 规划师, 2008, 24(3): 75-78.
- [4] 杨京帅, 张殿业. 城市轨道交通车站合理吸引范围研究[J]. 中国铁路, 2008,(3): 72-75.
- [5] 王佳, 胡列格. 城市轨道交通站点对常规公交客流的吸引范围[J]. 系统工程, 2010, 28(1): 14-18.
- [6] 陆化普. 城市轨道交通规划的研究与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001
- [7] 蒋冰蕾, 孙爱充. 城市快速轨道交通接驳公交线路网规划[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 3: 130-139.
- [8] 曹玫. 城市轨道交通与常规公交客流一体化研究[D]. 南京: 东南大学, 2005.
- [9] Lee Y J, Vuchic V R. Transit network design with variable demand [J]. Journal of Transportation Engineering, 2001, 127(4): 334-341.
- [10] 莫海波. 城市轨道交通与常规公交一体化协调研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2006.
- [11] Verma A, Dhingra S L. Feeder bus routes generation within integrated mass transit planning framework[J]. Journal of Transportation Engineering, 2005, 131(11): 822 -834.
- [12] 薛行健. 城市轨道交通接驳公交线网优化研究[D]. 长沙: 长沙理工大学交通运输学院, 2008.
- [13] 孙杨. 弹性需求下的接驳公交网络设计[J]. 吉林大学学报(工学版), 2011, 41(2): 349-354.
- [14] 覃煜. 轨道交通枢纽规划与设计理论研究[D]. 上海: 同济大学, 2002.
- [15] 姜帆. 城市轨道交通与其他交通方式衔接的研究[J]. 北京: 北方交通大学学报, 2001,25(4): 108-110.

(中文编辑: 刘婷婷)

上接第43页

- 大学, 2009.
- [6] Miroslav Matousek. Sicherheit von tunneln von der sicherheitsforschung zur praktischen anwendung[R]. Sicherheit, Qualitätsmanagement, Umweltverträglichkeit, 2000.
- [7] M. Molag, I.J.M. Trijssenaar-Buhre, Kohl B, et al. Austrian risk analysis for road tunnels development of a new method for the risk assessment of road tunnels[C]. International Conference of Tunnel Safety and Ventilation. Graz: Graz University of Technology, 2006.
- [8] S.J. Ladyman. the road tunnel safety regulations [S]. The Stationery Office Limited in the UK, 2007.
- [9] 中华人民共和国交通部.公路隧道养护技术规范(JTG H12—2003) [S]. 北京: 中华人民共和国交通部, 2003.
- [10] 于棋峰. 山区公路网运营安全关键监测点辨识方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2011.
- [11] 蔡果. 我国高速公路交通事故趋势分析[J]. 中国安全学报, 2011, 11(2): 11-17.
- [12] 谢静芳, 吕得宝, 王宝书. 高速公路路面摩擦气象指数预报方法[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(6): 18-21.
- [13] 洪志国等. 层次分析法中高阶平均随机一致性指标(RI)的计算[J]. 计算机工程应用, 2002,(12), 45-48.
- [14] 胡志根等. 水利水电工程施工初期导流标准多目标风险决策研究[J]. 中国工程科学, 2001, 8(3): 58-63.
- [15] 陈珽. 决策分析[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [16] 陈守煜, 赵瑛琪. 多目标规划模糊优化原理与模型[J]. 水利学报, 1990, (12): 30-33.
- [17] 高红红, 刘旭. 基于模糊熵权的工程项目综合评标法[J]. 建筑管理现代化, 2009, 23(2): 131-134.
- [18] 陈祖云等. 模糊熵权在建筑施工安全评价中的应用[J]. 工业安全与环保, 2008, 34(11): 56-58.
- [19] 夏曦, 崔晋川. 改进型双基点多指标多方案排序法[J]. 运筹与管理, 2006, 5(15): 17-23.

(中文编辑: 刘婷婷)