

# 公路网可持续发展评价理论与方法研究

张肖峰 张生瑞 马书红

[摘要] 本文应用公路交通可持续发展的思路,建立了公路网可持续发展评价指标体系,探讨了各定性、定量评价指标及其属性值的量化方法,并通过对国内外各综合评价方法的综述,提出了公路网现状可持续发展综合评价的理论与方法,并应用于天津市公路网现状的综合评价。

[关键词] 公路网; 可持续发展; 指标体系; 综合评价

公路网规划是公路建设的重要环节,指导着公路交通的建设和发展,它对于整个公路交通系统发展的优劣有着举足轻重的作用。系统分析公路交通现状,全面认识存在的主要问题,揭示现有路网基本矛盾,提出适当的改进措施和建设方向,对于制定公路建设发展战略目标有着十分重要的意义。因此,加强和完善公路网规划,进行现状公路网的可持续性评价是完全必要的。本文以公路交通可持续发展的思想,从公路网规划评价的目的、对象和范围着手,对现状公路网可持续发展评价理论与方法进行探讨。

## 1 评价指标体系的构建

进行公路网现状可持续发展评价的目的在于发现当前公路发展中存在的主要问题和找出解决问题的办法,使公路建设能沿着可持续的道路发展。公路网现状的可持续发展,既要保证有效连通,促进经济发展,又要满足交通要求,提高运输效益,而且还要注重公路交通与社会、资源和环境的协调发展。所以,公路网现状可持续发展评价是对上述各个方面的综合评价。为了科学全面的对公路网现状作出评价,结合对公路交通可持续发展的认识,在构建公路交通可持续发展指标体系的指导思想和基本原则的指导下,我们建立如下的指标体系(见表1)。

## 2 指标属性的量化

公路网现状可持续评价是多指标综合评价,指标涉及范围广,既有定性指标,又有定量指标,指标间不可公度,即各个指标间没有统一的度量标准,难以进行比较。因此,在进行综合评价以前,需要将各指标属性值统一变换到 $[0, 1]$ 范围内,即对评价指标属性值进行无量纲化。然而,由于评价指标的类型往往不同,因此,各指标转化成评价价值的方法也不同。

### 2.1 定量指标的无量纲化

公路网可持续发展评价指标也不外乎有下列几种类型:成本型(越小越好型)、效益型(越大越好型)、适中型(既不能太大也不能太小为好型)。如用 $u_i (i=1, 2, 3)$ 分别代表评价指标集,则对于 $u$ 中的 $n$ 个指标来说,一般可分解为下列三个子集:

$$u = \bigcup_{i=1}^3 u_i \quad u_r \cap u_s = \phi \quad r, s \in \{1, 2, 3\}$$

对于评价指标 $u_i \in u$ , 设其论域为 $d_i = [m_i, M_i]$ , 其中 $m_i$ 和 $M_i$ 分别表示评价指标 $u_i$ 的最小、最大值, 定义:

$$r_i = u_{di}(x_i) \quad i=1, 2, \dots, n$$

为决策者对评价指标  $u_i$  的属性值  $x_i$  的无量纲化值 (满意度), 且  $r_i \in [0, 1]$ , 其中  $u_{di}(\cdot)$  是定义在论域  $d_i$  上的指标  $u_i$  无量纲化的标准函数。本文根据评价指标的类型, 给出下列三种无量纲化标准函数:

$$r_i = u_{di}(x_i) = \begin{cases} 1 & x_i \geq M_i \\ \frac{x_i - m_i}{M_i - m_i} & x_i \in d_i \\ 0 & x_i \leq m_i \end{cases}$$

(1) 成本型指标无量纲化的标准函数 ( $u_i \in U_1$ ):

$$r_i = u_{di}(x_i) = \begin{cases} 1 & x_i \leq m_i \\ \frac{M_i - x_i}{M_i - m_i} & x_i \in d_i \\ 0 & x_i \geq M_i \end{cases}$$

(3) 适中型指标无量纲化的标准函数

$$r_i = u_{di}(x_i) = \begin{cases} \frac{2(x_i - m_i)}{M_i - m_i} & x_i \in (m_i, M(d_i)) \\ \frac{2(M_i - x_i)}{M_i - m_i} & x_i \in (M(d_i), M_i) \\ 0 & x_i \leq m_i \text{ 或 } x_i \geq M_i \end{cases}$$

( $u_i \in U_3$ ):

(2) 效益型指标无量纲化的标准函数 ( $u_i \in U_2$ ):

其中:  $M(d_i) = (M_i + m_i) / 2$

表 1 区域公路网现状可持续性评价指标

公路网规划可持续发展总目标 (U)	技术性评价 ( $P_1$ )	道路特征 ( $S_1$ )	网容量 ( $C_N$ ) 网等级 ( $J_N$ ) 路面铺装率 ( $R_N$ )
		交通特征 ( $S_2$ )	网流量 ( $Q_N$ ) 网车速 ( $V_N$ ) 网交通密度 ( $K_N$ ) 网时间 ( $T_N$ )
		服务水平 ( $S_3$ )	网拥挤度 (网饱和度) ( $S_N$ ) 里程饱和率 ( $P_N$ ) 事故率 ( $A_N$ )
		通达深度 ( $S_4$ )	网连通度 ( $D_N$ ) 公路网密度 ( $\delta$ ) 节点通达性 ( $D_k$ )
	经济性评价 ( $P_2$ )	公路与综合运输的协调程度 ( $Q_1$ ) 公路建设与经济发展的适应度 ( $Q_2$ ) 公路建设投资力度 ( $Q_3$ )	
	社会性评价 ( $P_3$ )	促进社会进步程度 ( $L_1$ ) 促进政治稳定程度 ( $L_2$ ) 公路部门人员素质水平提高程度 ( $L_3$ )	
	环境、管理评价 ( $P_4$ )	环境影响程度 ( $R_1$ ) 环境控制力度 ( $R_2$ ) 土地资源合理化利用程度 ( $R_3$ ) 高等级公路信息化水平 ( $R_4$ )	

## 技术研究

## 2.2 定性指标的量化分析

对某些不能明确可测只能进行定性评价的指标,如何量化的问题,目前国内外进行了许多研究,但还没有一个公认的量化模式。本着从实用的角度出发,本文采用评价等级(好、较好、一般、较差、差)隶属度的方法确定,其方法为:设  $r_i$  为评价指标  $u_i$  相对于指标评价集  $A=(好、较好、一般、较差、差)$  的隶属度向量为:  $r_i=(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{i5})$ ; 此处隶属度向量  $r_i$  采用专家调查,并通过集值统计方法来确定;在实际应用中可采用模糊数学中各种确定隶属函数的方法。设  $B=(B_1, B_2, \dots, B_5)^T$ ,  $B_j$  表示第  $j$  级评价相对应的尺度,通过尺度集可将模糊变量的隶属度向量综合为一个标量,实际上:  $V=r_i \cdot B$  即为定性评价指标在给定尺度  $B$  下的量化值。本文在综合评价时,采用的标准尺度为:  $B=[0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1]^T$

## 3 综合评价方法选取

对复杂对象的多指标综合评价方法,一直是人们研究的课题,国内外先后有价值函数法、层次分析法、模糊综合评价方法以及1978年提出的DEA(数据包络分析)法。各种方法各有其特色:价值分析法,其实质是根据各单项评价指标的权重,以及在单项指标作用下系统的价值,然后通过加权而得综合指标。其特点是简单明了,计算方便,但系统的价值(效果),尤其是各指标权重的确定是比较困难的;模糊综合评价法(Fuzzy 综合评判),不管是多层评价还是单层评价模型,其中关键的两步是:确定单因素评价矩阵  $R$  和计算模糊评判子集  $B=AOR$ , 其特点是:考虑了客观事物内部关系的错综复杂,考虑了价值系统的模糊性,但模糊综合评价

中,模糊隶属函数的确定及指标参数的模糊化会掺杂人为因素并丢失有用的信息,而且各指标权重的确定,也存在着过多的主观依赖性。数据包络分析(Data Envelopment Analysis 简称 DEA)方法,主要应用于评价部门间的相对有效性,从生产函数的角度看,它利用线性规划或其对偶的手段估计出有效的生产前沿面,这一模型是用来研究具有多个输入,特别是具有多个输出的“生产部门”,同时为“技术有效”与“规模有效”的一种较理想且有效的方法,但也存在一些局限,决策单元相对效率只能通过投入或产出测算且两种角度的测算结果通常不相同,而不能同时通过投入和产出测算,决策单元是否相对有效还须在相应的数学规划中引入无穷小“ $\epsilon$ ”后才能作出判断。此外,该方法在适应性方面还有待进一步探讨。

近几年,人们根据神经网络具有较强的模式识别能力,对神经网络应用于综合评价的方法进行了探讨。该方法避免了确定指标权重时的主观性,并通过对给定样本模式的学习,获取评价专家的经验、知识、主观判断及对目标重要性的倾向,当需对样本模式以外的对象系统作出综合评价时,该方法便可再现评价专家的经验、知识和直觉思维,从而实现定性分析与定量分析的有效结合,也较好地保证了评价的客观性。但由于在公路网可持续性评价中,难以获得神经网络的学习样本,因此难以用神经网络来进行评价。

本文根据公路网现状评价指标的特点,选用层次分析法(The Analytic Hierarchy Process 简写 AHP)来进行综合评价。这种方法可以将一些量化困难的定性

问题在严格数学上量化；将一些定量、定性混杂的问题，综合成统一整体进行综合分析。特别是这种方法在解决问题时，可对定性~定量转换、综合计量等解决问题过程中人们所做判断的一致性程度等问题进行科学的检验。评价过程简述如下：

(1) 建立评价指标的递阶层次结构

公路网现状可持续发展评价指标体系的递阶层次结构有3个层次，其指标结构如下：

- 总目标： obj
- 一级指标（大类指标）：  $U_i$
- 二级指标（单项指标）：  $U_{ij}$

(2) 权重值的确定

采用层次分析法确定大类指标和单项指标的权重，并进行一致性检验。

(3) 各级指标评价值的确定方法

① 单项指标评价值的确定

单项指标的评价值  $\mu_{ij}$  可以根据指标的类型，按照前面所介绍的指标的量化方法来计算。

② 大类指标（一级指标）评价值的确定

$$\mu_i = \sum_{j=1}^m \mu_{ij} W_{ij}$$

大类指标评价值是对单项指标的进一步收敛，其计算公式为：

式中： $\mu_i$  大类指标的评价值

$W_{ij}$  该大类指标下单项指标的权重

$m$  该大类指标下设的单项指标个数

③ 综合评价值的计算

综合评价值是对大类指标评价值的进一步收敛，它的大小反映了整个公路交通可持续发展的程度，其计算公式如下：

$$EQI = \sum_{i=1}^t \mu_i W_i$$

式中： $EQI$ —综合评价值； $W_i$ —大类指标的权重； $t$ —大类指标的个数

(4) 综合评价值的分级标准

按照上述的评价模型和评价指标的分级标准，参考城市可持续发展的综合判别标准以及国内外各种综合评价值的分级方法，我们给出公路交通可持续发展的判据如下：

$EQI < 0.5$ ，非可持续发展

$EQI \in [0.5, 0.7]$ ，弱可持续发展

$EQI \in [0.7, 0.8]$ ，基本可持续发展

$EQI \in [0.8, 0.9]$ ，较强可持续发展

$EQI > 0.9$ ，强可持续发展

## 4 天津市公路网现状可持续发展评价

为了科学、全面地对公路网作出评价，首先用层次分析法对公路网进行技术性评价、经济性评价、社会性评价和环境、管理评价，然后，根据其评价值，再用层次分析法，即可得到综合评价值。其评价过程简述如下：

### 4.1 天津市公路网技术可持续性评价

公路网的技术可持续性评价就是利用

## 技术研究

公路网的道路与交通特征参数,对公路网上的交通特征与组成公路网的道路特征及其所提供的服务水平、通达深度等从宏观上、整体上给予定量描述、评价。

影响公路网质量的因素很多,综合起来可以归纳为如表 1 所示的道路条件、交通条件、服务水平和通达深度四个方面共 13 个因素。各个因素从不同的角度影响着公路网某一方面的特性,但各因素之间存在着错综复杂的联系,因此,在评价时,我们根据评价的对象、范围、目的和方法选择了以下四种有代表性的实用评价指标:网饱和度  $S_N$ 、里程饱和度  $P_N$ 、网等级  $J_N$  和网连通度  $D_N$ 。路网饱和度、里程饱和度和技术等级不仅直接反映了路网的道路和交通条件,而且间接的反映了路网的车速和运输成本,路网连通度反映了路网的服务水平和通达深度,同时,这些指标便于调查,具有普遍意义。

将公路网适应性的评价论域分为(好、较好、一般、较差、差),根据专家调查的结果,采用集值统计方法可以确定指标评价标准的区间值,再根据各指标的实际值,按照前面介绍的定量指标评价值的计算公式可以计算出  $S_N$ 、 $D_N$ 、 $P_N$  三项指标的评价值(见表 2)。路网等级的评价值可以这样计算:根据天津市干线公路分析评价中的交通需求分组情况,可计算出现状干线网最适应的等级应为 1.61,而实际上为 1.87,故可按适度性指标评价值的计算公式求得网等级  $J_N$  的评价值。这样,就可以应用层次分析法得到公路网现状技术可持续性评价价值如表 2。

### 4.2 天津市现状公路网的经济可持续性评价

现状公路网的经济可持续性指标包括

三方面的内容:(1)公路与综合运输的协调程度;(2)公路建设与经济发展的适应性分析;(3)公路建设投资力度。均为定性指标。根据天津市公路网现状,应用前述定性指标定量化方法,对各指标进行量化,应用层次分析法,即可得经济可持续性评价价值如表 2。

### 4.3 天津市现状公路网的社会影响可持续性评价

现状公路的社会影响可持续评价指标包括三个方面:促进社会进步程度,促进政治稳定程度和提高公路部门人员素质程度。均为定性指标,根据评价工作的需要,可将其评价论域分为五个等级,根据专家调查的结果,采用统计分析方法确定了各项指标评价标准的区间值,再按照前面介绍的定性指标评价值的计算方法可得各指标的评价值,并应用层次分析法可得综合评价价值如表 2。

### 4.4 天津市现状公路的环境、管理可持续性评价

公路交通的建设与发展,在促进经济发展、社会进步的同时,其所带来的环境污染等负面影响也越来越严重,因此,对现状公路的环境可持续性进行评价是十分必要的。另外,要保证交通的畅通,必须加强交通管理,尤其是现代化管理。现状公路的环境、管理可持续性评价主要从四个方面考虑:对环境的影响程度  $R_1$ 、环境控制力度  $R_2$ 、土地资源合理化利用程度  $R_3$  和高等级公路信息化水平  $R_4$ 。

对于指标  $R_1$  和  $R_3$ ,需要先确定指标的标准区间值,再按照前面介绍的定性指标评价值的计算方法,可得指标  $R_1$  的评价值:  $r_1$

=0.527,  $r_3=0.513$ 。对于环境控制力度  $R_2$  和高等级公路信息化水平  $R_4$ , 考虑现状公路本身以及量化的方便, 这里我们分别以公路绿化率和实施 GBM 的里程占有率为代表来确定其评价价值。根据交通部公路统计报表中公路绿化情况年度统计表可知, 到 1999 年底, 天津市现状公路可绿化里程占总里程的 80.31%, 而公路实际绿化里程为 59.2%, 按定量指标评价价值的计算方法可算得  $R_2$  的评价价值  $r_2=0.737$ 。另据 2000 年交通部公路统计报表知, 到 2000 年底, 天津市干线公路里程达 2057 公里, 已实施 GBM 的里程为 1015 公里, 按定量指标评价价值的计算方法可算得  $R_4$  的评价价值  $r_4=0.493$ 。然后, 应用层次分析法即可得到天津市现状公路的环境、管理可

持续性评价价值如表 2。

#### 4.5 天津市现状公路网可持续发展综合评价

(1) 建立公路网可持续性综合评价指标递阶层次结构;

(2) 建立判断矩阵, 计算  $P_i$  的权重, 并进行一致性检验, 结果见表 2;

(3) 综合评价价值的计算。根据公路交通可持续发展综合评价价值的计算方法, 由公

$$u = \sum_{i=1}^4 w_i p_i$$

计算可得天津市现状公路网可持续发展综合评价价值  $u$  (见表 2)。

表 2 天津市现状公路可持续发展综合评价价值计算表

综合评价价值 U	0.687													
大类指标评价价值 $P_i$	0.697				0.703				0.712				0.534	
大类指标权重值 $W_i$	0.545				0.233				0.138				0.084	
单项指标评价价值	0.673	0.907	0.233	0.665	0.75	0.684	0.713	0.726	0.713	0.647	0.527	0.737	0.513	0.493
单项指标	$S_N$	$D_N$	$P_N$	$J_N$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
大类指标 $P_i$	$P_1$				$P_2$				$P_3$				$P_4$	

由公路交通可持续发展评价的判别依据 (分级标准) 可知, 目前, 天津市现状公路的可持续性评价为弱可持续性发展。从大类指标评价价值可以看出: 公路网现状的经济、社会可持续性评价指标值较高, 均为基本可持续性发展。这主要是由天津市的独特地理、政治、经济地位决定, 同时也是由公路交通本身具有的功能、特点决定; 同时也

可以看出, 天津市还需大力提高公路网的技术性指标, 特别是要关注公路交通环境对社会、经济发展的负面影响, 大力发展高等级公路的信息化水平, 加强智能运输系统的建设力度, 最大限度地减低公路交通的负面效应, 促进公路交通的可持续发展。

(作者工作单位: 天津市城市规划设计研究院、长安大学)