

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.09.028

基于层次分析法的非机动车道安全性评价

谢明逸¹, 凌宏伟²

(1.上海浦东地产有限公司,上海市 201204; 2.上海浦东建筑设计研究院有限公司,上海市 201206)

摘 要: 在道路工程规划设计前期方案研究中,以层次分析法为决策分析方法,建立了以非机动车道安全性目标层、安全性评价因素层、安全评估因子层所构成的 3 层式结构模型,以此构造比较判别矩阵,分析并提出各评估因子的权重和重要性排序,对非机动车道的安全性评价进行研究;结合实际工程案例,运用层次分析法,通过加权计算对非机动车道的总体方案进行了比选。

关键词: 非机动车道;层次分析法;评估因子;安全性评价

中图分类号: U412.37+9

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)09-0122-04

0 引言

非机动车出行是多年来我国常用的一种交通出行方式。近年来,随着人民生活水平的不断提高,对于健身的需求不断提升,同时随着大气环境保护理念的逐步推进,城市交通建设发展越来越多地关注和提倡慢行、低碳的交通出行方式。

非机动车道是城市道路空间规划设计的重要内容。根据《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)(2016 年版),道路横断面一般由机动车道、非机动车道、人行道、分车带(中间分车带、两侧分车带)、停车带等部分组成^[1]。道路横断面形式和各组成部分的尺寸及比例应按照道路等级、设计速度、设计年限中机动车和非机动车的交通量以及人流量、交通特性、交通组织、交通设施、地上杆线、地下管线、绿化、地形等因素进行统一安排,以保障车辆和人行交通的安全通畅。在道路断面布置形式中,按非机动车道与机动车道的关系,一般可分为相对隔离和机非共板 2 种,其典型布置断面见图 1、图 2。

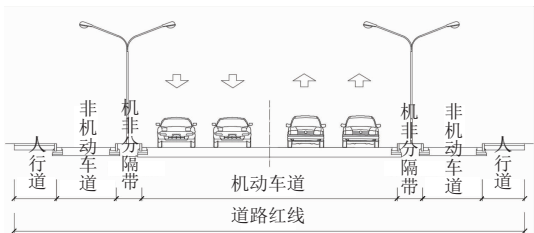


图 1 道路非机动车道与机动车道典型布置断面(相对隔离)

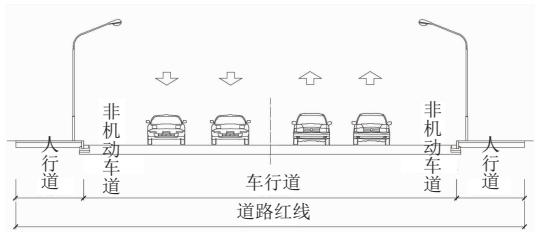


图 2 道路非机动车道与机动车道典型布置断面(机非共板)

实践表明,城市道路横断面的选型需要一个客观、科学的工程评价体系支撑^[2]。现阶段,面对不同城市交通情况,交通活动的参与者一般只注意到机动车道的拥堵情况、安全威胁等,但是非机动车道的拥堵、骑行安全也是一个不容忽视的问题^[3]。以往城市道路的规划设计研究和决策工作中,一般主要侧重于机动车的空间布局 and 安全性设计,对于非机动车道大都仅考虑通行能力的分析和宽度的规划设计,而缺少对非机动车道安全性的综合分析和评价。然而,非机动车道的安全性设计往往会很大程度地影响道路工程的总体设计方案,比如会引起道路整体断面型式的变化、桥梁坡度大小的调整、交叉口整体平面布局 and 交通组织的优化等等。因此在规划设计研究和决策阶段,在重视非机动车道通行能力分析的同时,还应重视非机动车道的安全性评价分析。

对于非机动车道通行能力的分析,目前有比较成熟和规范的计算和评价体系。根据《城市道路工程设计规范》,非机动车道宽度根据自行车设计交通量以及按每条自行车道设计通行能力计算的自行车车道条数来确定。但对于非机动车道安全性的评价分析,还没有比较全面、客观的综合分析方法。目前主要采用专家打分法等,但这类方法受方案研究者和决策分

收稿日期: 2023-05-04

作者简介: 谢明逸(1974—),男,学士,高级工程师,主要从事市政和建筑工程建设管理工作。

析组织者的主观因素影响较大,并不十分客观。

本文结合笔者近年来参与的部分上海市道路工程规划设计工作,以层次分析法为基础决策分析方法,对非机动车道的安全性评价进行研究,并结合实际工程案例对非机动车道总体方案比选方法进行分析 and 总结,以期为今后相关道路工程的规划和设计决策提供一些经验借鉴。

1 评价研究方法

1.1 方法概述

层次分析法(简称 AHP)是 20 世纪 70 年代初提出的一种层次权重决策分析方法。该方法的特点是在对复杂决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析后,构建一个层次结构模型,利用较少的定量信息,把决策的思维过程数学化,从而为求解多准则或无结构特性的复杂决策问题提供一种简便的综合决策分析方法。层次分析法简单实用,是一种系统性的分析方法,适用于定量数据信息较少时的决策评价。

本次采用层次分析法来评价非机动车道安全性设计,分析步骤是:建立层次结构模型→构造比较判别矩阵→单准则下的层次排序和一致性检验→层次总排序和一致性检验。

1.2 建立层次结构模型

以层次分析法建立层次结构模型,结合工程实践总结,本文采用 3 层式:目标层、因素层和因子层。其中第 1 层为目标层 A 层,为非机动车道安全性;第 2 层 B 层,为安全性评价因素,主要包括路段安全、交叉口安全、桥坡安全 3 个方面;第 3 层 C 层,为安全评估因子,影响非机动车道的安全因子非常多,包括非机动车驾驶人的安全意识和行为、道路设施条件、交通管理措施等等。在方案规划设计研究和决策阶段,初步考虑取用路段安全、交叉口安全、桥坡安全 3 方面的 9 个因素。其中的路段安全性评价因素以通行路权、车道宽度、机非隔离为评估因子;交叉口安全性评价因素以机非分道行驶、专用信号灯和相位、其他配套安全措施为评估因子;桥坡安全性评价因素以纵坡度、铺装抗滑力、下坡出入口距离为评估因子。

非机动车道安全性评价的层次结构模型见图 3。

1.3 构造比较判别矩阵

层次结构模型建立后,从第 1 个准则层开始向下,确定不同因素相对于上一层因素的重要性权数。

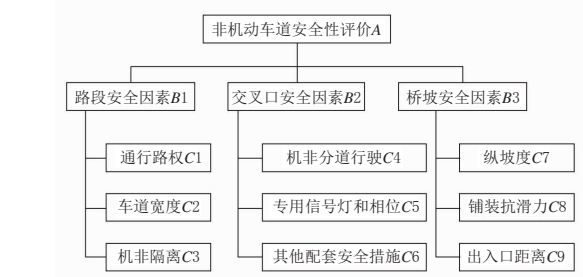


图 3 非机动车道安全性评价的层次结构模型

通常采用两两比较的方法,用一个比较标度 a_{ij} 来表达下一层次中第 i 个因素和第 j 个因素的相对重要性,并由 a_{ij} 来组成比较判别矩阵 $A=(a_{ij})$ 。

根据评价因素,第 1 层对第 2 层的两两比较判断矩阵见表 1。

表 1 A-Bi 评价因素层判别矩阵			
评估因子	B1	B2	B3
B1	1	3	5
B2	1/3	1	3
B3	1/5	1/3	1

根据评估因子,第 2 层对第 3 层的两两比较判别矩阵见表 2~ 表 4。

表 2 B1-Ci 评估因子判别矩阵			
评估因子	C1	C2	C3
C1	1	3	5
C2	1/3	1	4
C3	1/5	1/4	1

表 3 B2-Ci 评估因子判别矩阵			
评估因子	C4	C5	C6
C4	1	2	3
C5	1/2	1	2
C6	1/3	1/2	1

表 4 B3-Ci 评估因子判别矩阵			
评估因子	C7	C8	C9
C7	1	3	5
C8	1/3	1	2
C9	1/5	1/2	1

1.4 单准则下的层次排序和一致性检验

根据判别矩阵来计算权重。计算权重的方法有多种,其中和法和根法是比较成熟和常用的方法,本文采用和法进行计算。

对于上述各比较判别矩阵,求出最大的特征值和对应的特征向量,将特征向量进行归一化后,得到相应的单层次排序重要性权重向量,以及一致性指

标 CI 和一致性比例 CR 。其中平均随机一致性指标 RI 值见表 5,表中 n 为矩阵阶数。

表 5 平均随机一致性指标 RI

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

一致性指标 CI 和一致性比例 CR 计算结果见表 6。

表 6 一致性指标 CI 和一致性比例 CR

矩阵	层次单排序权重向量	$\lambda_{\max}$	CI	RI	CR
$A-B$	$(0.633\ 3, 0.260\ 5, 0.106\ 2)^T$	3.038 7	0.019 4	0.52	0.037 2
$B1-Ci$	$(0.619\ 4, 0.284\ 2, 0.096\ 4)^T$	3.086 7	0.043 3	0.52	0.083 4
$B2-Ci$	$(0.539\ 0, 0.297\ 3, 0.163\ 8)^T$	3.009 2	0.004 6	0.52	0.008 9
$B3-Ci$	$(0.647\ 9, 0.229\ 9, 0.122\ 2)^T$	3.003 7	0.001 8	0.52	0.003 6

由表 6 可见,4 个层次单排序一致性比例 CR 值均小于 0.1,符合一致性要求。

1.5 层次总排序和一致性检验

通过 $A-B$ 矩阵分析已计算出第 2 层(B 层)相对于总目标(A 层)的排序向量是:

$W^{(2)} = (0.633\ 3, 0.260\ 5, 0.106\ 2)^T$ 。

而第 3 层(C 层)以第 2 层第 i 个因素(Bi)为准则时的排序向量分别为:

$(B1-Ci)^{(3)} = (0.619\ 4, 0.284\ 2, 0.096\ 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0)^T$ 。

$(B2-Ci)^{(3)} = (0, 0, 0, 0.539\ 0, 0.297\ 3, 0.163\ 8, 0, 0, 0)^T$ 。

$(B3-Ci)^{(3)} = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.647\ 9, 0.229\ 9, 0.122\ 2)^T$ 。

通过计算得第 3 层(C 层)相对于总目标(A 层)的排序向量 W 为:

$W = ((B1-Ci)^{(3)}(B2-Ci)^{(3)}(B3-Ci)^{(3)})W^{(2)} = (0.392\ 3, 0.180\ 0, 0.061\ 1, 0.140\ 4, 0.077\ 4, 0.042\ 7, 0.068\ 8, 0.024\ 4, 0.013\ 0)^T$ 。

对层次总排序进行一致性检验:

由表 6 得, $CI^{(2)} = (0.043\ 3, 0.004\ 6, 0.001\ 8)^T$; $RI^{(2)} = (0.52, 0.52, 0.52)^T$ 。

则 $CI^{(3)} = W^{(2)} \times CI^{(2)} = (0.633\ 3, 0.260\ 5, 0.106\ 2)^T \times (0.043, 0.004\ 6, 0.001\ 8)^T = 0.028\ 8$ 。

再求 $RI^{(3)}, RI^{(3)} = W^{(2)} \times RI^{(2)} = (0.633\ 3, 0.260\ 5, 0.106\ 2)^T \times (0.52, 0.52, 0.52)^T = 0.520\ 0$ 。

再求 $CR^{(3)}, CR^{(3)} = CR^{(2)} + CI^{(3)} / RI^{(3)} = 0.037\ 2 +$

$0.028\ 8 / 0.520\ 0 = 0.092\ 7$ 。

从以上计算结果可见,总排序一致性比例 $CR^{(3)}$ 值小于 0.1,符合一致性要求。

1.6 权重确定

由第 3 层(C 层)相对于总目标(A 层)的排序向量 W 得到各评估因子的重要性排序,见表 7。

表 7 评估因子的重要性排序

序号	评估因子	权重
1	路段通行路权	0.392 3
2	路段车道宽度	0.180 0
3	交叉口机非分道行驶	0.140 4
4	交叉口专用信号灯和相位	0.077 4
5	桥坡纵坡度	0.068 8
6	路段机非隔离	0.061 1
7	交叉口其他配套安全措施	0.042 7
8	桥坡铺装抗滑力	0.024 4
9	下坡出入口距离	0.013 0

2 工程案例

本文以某市政道路新建工程为例,运用基于层次分析法的非机动车道安全性评价方法,进行非机动车道设计方案的比选。

(1)方案一。路段单独设置非机动车道,非机动车道宽度 3.5 m,路段设有机非分隔带和人非分隔带;在各交叉口考虑安全措施,设有机非分道行驶导向标线,但没有设非机动车专用信号灯和相位,没有其他配套安全措施;为便于骑行,桥梁坡度采用较小坡度 2%,采用普通路面铺装,桥坡两侧有 2 处小区出入口,接地处距离小区出入口 20 m。

(2)方案二。路段单独设置非机动车道,非机动车道宽度 3.5 m,路段设有机非分隔带;在各交叉口考虑安全措施,设机非分道行驶导向标线、非机动车专用信号灯和相位,但没有其他配套安全措施;桥梁坡度采用 2.5%,采用抗滑铺装,桥坡两侧有 2 处小区出入口,接地处距离小区出入口 40 m。

(3)方案三。路段单独设置非机动车道,非机动车道宽度 3.5 m,路段机非混行;交叉口不设机非分道行驶导向标线、非机动车专用信号灯和相位,但考虑了其他配套安全措施;桥梁坡度采用 3.5%,采用抗滑铺装,桥坡两侧有 2 处小区出入口,接地处距离小区出入口较远,约 60 m。

方案比选的步骤是通过层次分析法计算各评估因子的权重,再以各方案评估因子的优劣排序分值为基数,计算整体加权得分进行比较,选出最优方

案,并对最优方案提出优化建议。

首先,由表 7 可以得到各评估因子的重要性排序和权重;再按 3 个方案评估因子的优劣排序考虑分值,各取 3 分、2 分和 1 分;最后列出评估因子分值和权重表(见表 8)。

表 8 评估因子分值统计表

序号	评估因子	方案一 分值	方案二 分值	方案三 分值	权重
1	路段通行路权	3	3	3	0.392 3
2	路段车道宽度	3	3	3	0.180 0
3	交叉口机非分道行驶	3	3	1	0.140 4
4	交叉口专用信号灯和相位	1	3	1	0.077 4
5	桥坡纵坡度	3	2	1	0.068 8
6	路段机非隔离	3	3	1	0.061 1
7	交叉口其他配套安全措施	1	1	3	0.042 7
8	桥坡铺装抗滑力	1	3	3	0.024 4
9	下坡出入口距离	1	2	3	0.013 0

由表 8 中的评估因子分值乘以各自权重,可以得出方案一总得分为 2.69;方案二总得分为 2.83;方案三总得分为 2.30。通过比较可以看出,方案二总得分高于方案一、方案三,故推荐采用方案二。

在推荐方案基础上,根据评估因子的分值可作进一步分析,提出优化建议。在本案例中,方案二的交叉口其他配套安全措施为 1 分,桥坡纵坡度和下坡出入口距离为 2 分,尚有优化余地。因此提出:在交叉口设计中可以加强配套安全措施的设计,如增加护栏设施、非机动车二次过街、机动车道右转必停等措施;下坡出入口距离为中等,为进一步提高安全性,可以采取增设出入口警示标志、减速带等措施。

3 结 语

(1)非机动车道的安全性评价可以为道路总体方案和道路规划设计断面型式确定提供重要的决策依据。基于层次分析法的非机动车道安全性评价方法可以弥补一般的专家打分法受方案研究者和决策分析组织者主观因素影响较大的缺陷,是一种较为有效、客观的决策分析方法。

(2)层次分析法在非机动车道安全性评价中的应用步骤主要包括:建立层次结构模型(本文采用目标层、因素层、因子层共 3 层)、构造比较判别矩阵、单准则下的层次排序和一致性检验、层次总排序和一致性检验。

(3)在具体项目实践中,可以运用层次分析法,以各评估因子的权重和优劣排序分值为基数,计算出方案的整体加权得分,由此进行非机动车道设计方案的比选。

(4)安全性评价因素包括路段安全、交叉口安全、桥坡安全 3 个方面,安全评估因子则选择了路段通行路权、车道宽度,交叉口专用信号灯和相位,桥坡纵坡度、铺装抗滑等 9 项评估因子。但实际上每个项目的情况会有所不同,所面临的影响因素和因子也有所差别。因此在工作实践中运用层次分析法时,应对项目的规划和现状建设条件等进行充分调研,再根据项目实际情况确定合适的影响因素和评估因子。

参考文献:

[1] CJJ 37—2012,城市道路工程设计规范[S].
[2] 刘丽芬,武贤慧.基于改进层次分析法的城市道路横断面评价方法[J].公路交通科技,2016,33(11):50-56.
[3] 杨志琴,贵仁义,沈映政.非机动车道安全因素浅析[J].价值工程,2011(30):43-44.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿邮箱:cdq@smedi.com 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com