

DOI: 10.7672/sgjs2025120124

山区高速公路互通式立交与服务区合并设置 方案比选研究

陈言,何冰,雷栋,金磊

(中交路桥华东工程有限公司,上海 201203)

[摘要] 高速公路与互通式立交的合并设置在规范中存在3种合并设置方案,而不同方案的综合比选在项目设计阶段具有非常重要的作用。目前在合并设置工程案例中的方案比选都是简单进行优缺点对比从而选出最适合方案。提出了第4种互通式立交与服务区合并设置的方案并以实际工程案例为基础,提出了利用层次分析法与逼近理想解排序法相结合的方案比选方法,对工程中的定性和定量指标进行综合比选,使比选结果更有科学依据。

[关键词] 高速公路;立交桥;合并;方案;层次分析法;逼近理想解排序法

[中图分类号] U412

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)12-0124-05

Comparative Study on the Merger Setting Schemes of Interchange and Service Area in Mountainous Expressway

CHEN Yan, HE Bing, LEI Dong, JIN Lei

(Road & Bridge East China Engineering Co., Ltd., Shanghai 201203, China)

Abstract: The merger setting of the expressway and the interchange has three merger setting schemes in the specification, and the comprehensive selection of different schemes plays a very important role in project design stage. At present, the scheme comparison in the merger setting project cases is simply to compare the advantages and disadvantages to select the most suitable solution. In this paper, the fourth scheme of merging the interchange and the service area is proposed, and based on the actual engineering case, the scheme comparison method combining analytic hierarchy process and technique for order preference by similarity to an ideal solution is proposed, and the qualitative and quantitative indicators in the project are comprehensively selected, so that the results of the comparison are more scientifically based.

Keywords: expressway; overpasses; incorporation; schemes; analytic hierarchy process (AHP); technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS)

0 引言

对于互通式立交与服务区的合并设置,有不同的合并设置方案,所以在实际应用时就要对不同的合并设置方案进行比选。但现有对于两者合并设置的方案比选仅限于简单的优缺点对比。实际上,合并设置方案比选时受众多因素影响,其中有定性指标也有定量指标,简单的优缺点对比选出的最优方案可靠性很低,所以本文从众多比选方法中选取层次分析法与逼近理想解排序法相结合的方法,以实际工程案例为背景分析比选方法在合并设置工程中的应用,使最终得出的结果更有科学性。

1 合并设置方案

目前,互通式立交与服务区合建的方案只有JTG/T D21—2014《公路立体交叉设计细则》中给出的3种方案,且并未对此有更细致的研究,本文通过对已有实际工程中的合建案例进行总结,得出了一种特殊的合建方式,即第4种合建方案——通过辅助车道连接互通式立交与服务区的合建方案。

1.1 服务区设在互通式立交内部且位于主线两侧(方案1)

如图1a所示,不同方向的服务区都设在互通式立交内部,且分别设在主线两侧。此时匝道总体的交通流构造相对比较清晰明了,这种情况下的匝道需跨过或穿过主线的次数相对来说较少,因此工程

规模相对来说也较小。

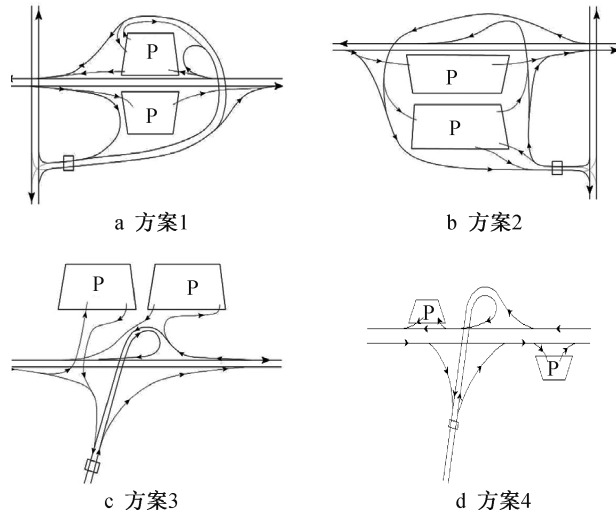


图 1 合并设置方案 1~4

Fig. 1 Schemes 1~4 for merger setting

1.2 服务区设在互通式立交内部且位于主线一侧 (方案 2)

如图 1b 所示,服务区设在互通式立交内部,但仅设在主线一侧,匝道交通流组织相对来说较复杂。当服务区方向与主线方向一致时,交通流较顺畅;当服务区方向与主线方向不一致时,这种情况下的主线与服务区间隔另一对主线与服务区,所以匝道数较多、长度较长,还需从主线上部跨过或下部穿过,由此导致工程用地面积较大。

1.3 服务区设于互通式立交外部(方案 3)

如图 1c 所示,由于可能地形条件恶劣,或当地政府对此地规划做了限制等原因,此时服务区只能设在互通式立交外部,然后用匝道来连接互通式立交与服务区。这种情形下当服务区离互通式立交较近时,匝道交通流构造相对来说较简单,与方案 1 相似。但当服务区离互通式立交较远时,此时不仅交通流会变得繁杂,且工程规模会较大,用地面积也就较大。

1.4 复合式互通式立交与服务区(方案 4)

如图 4 所示,服务区广场在互通式立交的外部,互通立体交叉与服务区经由辅助车道连接,且互通与服务区出入匝道完全独立,互不干扰。各进出口位置明确,易判断,不易误行。这种情形下,交通流相对来说简单清晰,没有视野盲区,整个工程用地面积也较小。但辅助车道的长度如果确定不好,就可能造成交织段内的安全隐患。

2 工程背景

2.1 工程概况

本项目位于重庆市巫溪县上磺镇,G6911 安

康—来凤高速公路重庆奉节—巫溪段。现需在上磺互通立交旁建立上磺服务区,具体位置如图 2 所示。根据《重庆市高速公路服务区布局规划(2015—2030 年)》,巫溪(上磺)服务区规划为 B 类服务区,是奉溪高速公路上唯一的服务区。奉溪高速公路主线双向 4 车道,设计车速 80km/h,服务区所在路段最小平曲线半径 1 100m,主线纵坡 0.5%~1.4%,主线指标满足服务区设置要求。



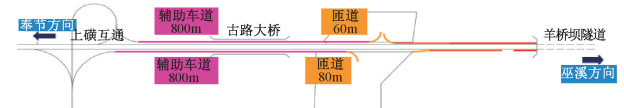
图 2 项目地形

Fig. 2 Project topography

2.2 工程设计方案

在设计阶段,由于上磺立交与服务区间距较小,所以考虑将上磺立交与服务区进行合并设置,合建方案有如下 3 种。

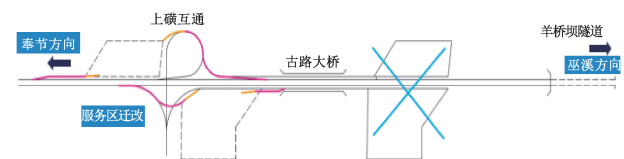
1) 方案 A:利用辅助车道合建,从立交到服务区方向(巫溪方向)及服务到立交方向(奉节方向)利用辅助车道连接,如图 3a 所示。



a 方案A



b 方案B



c 方案C

图 3 方案 A~C

Fig. 3 Schemes A~C

2) 方案 B:利用辅助车道和集散车道合建,从立交往服务区方向(巫溪方向)用辅助车道连接,但由于服务区往立交方向(奉节方向)交通组织较复杂,所以用集散车道,如图 3b 所示。

3) 方案 C:服务区改迁,与上磺立交合建,服务区用地需另外征用土地,需对局部匝道进行改建、新建。同时,两侧服务区用地涉及大量房屋征拆、

侵占基本农田,开挖土石方量大,如图 3c 所示。

3 方案比选方法应用

3.1 模型选择

传统的评价方法有经验工程法、方案评分法、经济计算法,现代的评价方法有层次分析法(AHP)、模糊数学综合评价法、灰色理论分析、熵权法、逼近理想解排序法(TOPSIS)、人工神经网络法等。本文研究采用的是改进权重的逼近理想解排序法。

选择原因:传统的评价方法考虑的因素较单一,层次较简单,主观性较强,已无法满足处理建设项目设计阶段的选择问题。目前,设计方案比选时考虑的因素越来越多,需处理的数据也越来越复杂,所以需更加精确的处理方法进行抉择。而层次分析法可确定评价指标的权重,合理客观地赋予各评价指标的权重,使最终的评价结果更加准确。而逼近理想解排序法作为多目标决策分析中一种常用的有效方法,它是根据有限个评价对象与理想化方案的接近程度进行排序,以此判断各方案的优劣程度,若评价对象越靠近最优解而远离最劣解即为最优解,反之为最劣解。传统方法的指标权重受主观影响较大,本文将层次分析法嵌套到逼近理想解排序法中,将层次分析法获得的权重作为方法评价的输入权重。

3.2 评价指标确定

通过专家访谈确定最初的评价指标体系,然后经过问卷调查及本项目的方案特征对比表对最初的评价体系进行修正,得到最终项目建设方案比选阶段的综合评价指标体系,如表 1 所示。

表 1 综合评价指标体系

Table 1 Comprehensive evaluation index system

指标体系子目标层 B		指标体系指标层 C	
功能指标 B1		通行能力 C1	
		安全性 C2	
		服务区场地利用率 C3	
		交通便捷性 C4	
技术指标 B2		匝道连续分流两分流鼻间距 C5	
		辅助车道长度 C6	
		视距 C7	
		运行速度协调性 C8	
		征地拆迁量 C9	
经济指标 B3		方案工程费 C10	
		工期长短 C11	
		施工条件难易 C12	
环境景观 B4		后期运营维护 C13	
		景观协调 C14	
		绿色环境保护 C15	
		社会效益 C16	

3.3 层次分析法确定指标权重

本文采用层次分析法确定各评价指标权重,由专家对各层次中的元素相对重要性进行打分,然后建立目标层对子目标层的判断矩阵(见表 2)以及各子目标层对指标层的判断矩阵(见表 3~6)。

表 2 目标层对子层的判断矩阵

Table 2 Judgment matrix of target layer to sublayer

A	B1	B2	B3	B4
B1	1	1/3	3	3
B2	3	1	5	5
B3	1/3	1/5	1	2
B4	1/3	1/5	1/2	1

表 3 子目标层对指标层判断矩阵 1

Table 3 Judgment matrix 1 of sub-objective layer to index layer

B1	C1	C2	C3	C4
C1	1	1/3	5	3
C2	3	1	7	5
C3	1/5	1/7	1	1/3
C4	1/3	1/5	3	1

表 4 子目标层对指标层判断矩阵 2

Table 4 Judgment matrix 2 of sub-objective layer to index layer

B2	C5	C6	C7	C8	C9
C5	1	1	3	3	5
C6	1	1	3	3	5
C7	1/3	1/3	1	2	3
C8	1/3	1/3	1/2	1	3
C9	1/5	1/5	1/3	1/3	1

表 5 子目标层对指标层判断矩阵 3

Table 5 Judgment matrix 3 of sub-objective layer to index layer

B3	C10	C11	C12	C13
C10	1	5	7	3
C11	1/5	1	5	1/3
C12	1/7	1/5	1	1/5
C13	1/3	3	5	1

表 6 子目标层对指标层判断矩阵 4

Table 6 Judgment matrix 4 of sub-objective layer to index layer

B3	C10	C11	C12	C13
C10	1	5	7	3
C11	1/5	1	5	1/3
C12	1/7	1/5	1	1/5
C13	1/3	3	5	1

应用 MATLAB 计算:最大特征值为 4.104 2,对应的特征向量为 [0.248 8 0.555 6 0.114 6 0.081 0]。一致性检验 $CR = CI/RI = 0.039 0 < 0.1$,满足一致性检验。

应用 MATLAB 计算:最大特征值为 4.117 0,对应的特征向量为 [0.262 2 0.565 0 0.055 3 0.117 5]。

一致性检验 $CR = CI/RI = 0.0438 < 0.1$, 满足一致性检验。

应用 MATLAB 计算:最大特征值为 5.114 4, 对应的特征向量为 [0.341 1 0.341 1 0.150 2 0.113 1 0.054 5]。一致性检验 $CR = CI/RI = 0.0255 < 0.1$, 满足一致性检验。

应用 MATLAB 计算:最大特征值为 4.240 4, 对应的特征向量为 [0.555 8, 0.136 4, 0.048 9, 0.258 9]。一致性检验 $CR = CI/RI = 0.0900 < 0.1$, 满足一致性检验。

应用 MATLAB 计算:最大特征值为 3.003 7, 对应的特征向量为 [0.109 5 0.581 5 0.309 0]。一致性检验 $CR = CI/RI = 0.0036 < 0.1$, 满足一致性检验。

由以上可得层次总排序的一致比率为: $CR = (a_1CI_1 + a_2CI_2 + \dots + a_mCI_m) / (a_1RI_1 + a_2RI_2 + \dots + a_mRI_m) = 0.0354 < 0.1$, 满足一致性检验, 所以层次总排序如表 7 所示。

表 7 层次总排序

Table 7 Total hierarchical sorting

指标体系子目标层 B	指标体系指标层 C	单排序	总排序
功能指标 B1 0.248 8	通行能力 C1	0.262 2	0.065 2
	安全性 C2	0.565 0	0.140 6
	服务区场地利用率 C3	0.055 3	0.013 8
	交通便捷性 C4	0.117 5	0.029 2
技术指标 B2 0.555 6	匝道连续分流两分流鼻间距 C5	0.341 1	0.189 5
	辅助车道长度 C6	0.341 1	0.189 5
	视距 C7	0.150 2	0.083 5
	运行速度协调性 C8	0.113 1	0.062 8
经济指标 B3 0.114 6	征地拆迁量 C9	0.054 5	0.030 3
	方案工程费 C10	0.555 8	0.063 7
	工期长短 C11	0.136 4	0.015 6
	施工条件难易 C12	0.048 9	0.005 6
环境景观 B4 0.081 0	后期运营维护 C13	0.258 9	0.029 7
	景观协调 C14	0.109 5	0.008 9
	绿色环境保护 C15	0.581 5	0.047 1
	社会效益 C16	0.309 0	0.025 0

3.4 逼近理想解排序法确定最优解

在计算互通式立交与服务区合建方案的决策评价指标数值时, 由于一些定性指标在现阶段无法量化, 所以采用模糊数学的方法将定性指标转化为量化指标, 即对定性指标进行数值化处理。采用模糊数学原理中的五级划定方法对需数值化的定性指标进行数值化, 分为优、良、中等、差、劣 5 个等级, 得到 3 个方案间的特征对比(见表 8)。然后根据 5 个等级的隶属度 0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1 对评价指标进行评定。五级评定后, 将所有定性指标全部量化

处理, 这样各指标间就有了运算性和可比性。再将待选的 3 个方案的 16 项评价指标值列于表 9。

表 8 方案特征对比

Table 8 Comparison of scheme characteristics

序号	项目指标	路线方案		
		方案 A	方案 B	方案 C
C1	通行能力	较大	一般	较小
C2	安全性	较高	高	高
C3	服务区场地利用率	低	较低	较高
C4	交通便捷性	一般	较优	优
C5	匝道连续分流相/邻分流鼻间距/m	0	0	220
C6	辅助车道长度	800	800	0
C7	视距	好	较好	差
C8	运行速度协调性	较好	较好	好
C9	征地拆迁量/亩	5.5	25	170
C10	方案工程费/万元	11 524	13 405	10 320
C11	工期长短	中	中	较长
C12	施工条件难易	较易	中	较难
C13	后期运营维护	一般	较难	难
C14	景观协调	优	较优	较差
C15	绿色环境保护	中	中	较差
C16	社会效益	一般	一般	较好

表 9 方案特征评价指标值

Table 9 Evaluation index values of scheme characteristics

序号	项目指标	路线方案		
		方案 A	方案 B	方案 C
C1	通行能力	0.7	0.5	0.3
C2	安全性	0.7	0.9	0.9
C3	服务区场地利用率	0.1	0.3	0.7
C4	交通便捷性	0.5	0.7	0.9
C5	匝道连续分流相邻分流鼻间距	0	0	220
C6	辅助车道长度	800	800	0
C7	视距	0.9	0.7	0.1
C8	运行速度协调性	0.7	0.7	0.9
C9	征地拆迁量	5.5	25	170
C10	方案工程费	11 524	13 405	10 320
C11	工期长短	0.5	0.5	0.7
C12	施工条件难易	0.3	0.5	0.7
C13	后期运营维护	0.5	0.7	0.9
C14	景观协调	0.9	0.7	0.3
C15	绿色环境保护	0.5	0.5	0.3
C16	社会效益	0.5	0.5	0.7

1) 根据评价指标体系, 基本指标数 n 为 16, 结合采集的数据, 建立初始评价矩阵 A :

$$A_{1 \sim 8} = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.7 & 0.1 & 0.5 & 0 & 800 & 0.9 & 0.7 \\ 0.5 & 0.9 & 0.3 & 0.7 & 0 & 800 & 0.7 & 0.7 \\ 0.3 & 0.9 & 0.7 & 0.9 & 220 & 0 & 0.1 & 0.9 \end{bmatrix}$$

$$A_{9 \sim 16} = \begin{bmatrix} 5.5 & 11\ 524 & 0.5 & 0.3 & 0.5 & 0.9 & 0.5 & 0.5 \\ 25 & 13\ 405 & 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.5 & 0.5 \\ 170 & 10\ 320 & 0.7 & 0.7 & 0.9 & 0.3 & 0.3 & 0.7 \end{bmatrix}$$

通过矩阵同向化、规范化以及构造加权矩阵计

算得到各方案与“理想解”和“负理想解”的距离 D 以及与“理想解”的相对接近度如下。

各方案与“理想解”的距离 D^+ :

$$D^+ = [0.191\ 2\ 0.193\ 2\ 0.203\ 8]$$

各方案与“负理想解”的距离 D^- :

$$D^- = [0.204\ 0\ 0.196\ 8\ 0.191\ 6]$$

各方案与“理想解”的相对接近度 C :

$$C = [0.516\ 2\ 0.504\ 6\ 0.484\ 6]$$

由上述结果可得出,方案排序为方案 A>方案 B>方案 C,所以方案 A 与“理想解”的相对接近度最大,即方案 A 为最优方案。同时,在不运用方案比选模型时,在以外外部交通安全性、合规性及土地征拆难度、项目投资等为主要考虑因素的情况下,外部交通方案 A 也为最优方案。由此说明层次分析法与逼近理想解排序法相结合的方案评价模型应用在此类工程项目上进行方案比选较可靠。

4 结语

本文通过总结现有的互通式立交与服务区合建的工程案例总结出第 4 种合并设置方案,同时互通式立交与服务区的合并设置方案比选目前无一套成熟的比选方法。而本文选择层次分析法与逼近理想解排序法相结合的方法得出的结论与实际项目可行性阶段利用优缺点对比选出的最优方案结论相一致,说明本方法结果的可靠性。而且相比于简单优缺点对比方法,本方法有数据的支撑,更加科学。所以本文研究内容可为后续工程案例提供参考。但本文也有不足之处,在确定指标权重时,虽然利用层次分析法减少了主观意向的影响,但并不能完全消除。

参考文献:

[1] 邓国忠,曹帆,吴勇,等. 互通式立交与服务设施合并设置条件探讨[J]. 中外公路, 2019, 39(3): 281-284.
DENG G Z, CAO F, WU Y, et al. Discussion on the combined setting conditions of interchanges and service facilities [J]. Journal of China & foreign highway, 2019, 39(3): 281-284.

[2] 龚建良. 山区互通立交与服务区合并设置方案的探讨 [J]. 福建交通科技, 2016(1): 91-94.
GONG J L. Discussion on the combined setting scheme of interchanges and service areas in mountainous areas [J]. Fujian traffic science and technology, 2016(1):91-94.

[3] 吴涛. 山区互通式立交与服务区合并设置方案探讨 [J]. 华东公路, 2011(2): 39-41.
WU T. Discussion on the combined setting scheme of interchanges and service areas in mountainous areas [J]. East China highway, 2011(2): 39-41.

[4] 薛艳婷. 高速公路服务型互通立交与服务区、主线收费站合

建的设计研究 [J]. 北方交通, 2018(12): 58-61.

XUE Y T. Design and research on the combined construction of expressway service interchange, service area and main line toll station [J]. Northern communications, 2018(12): 58-61.

[5] 师郡,李忠梅. 基于 TOPSIS-AHP 的公路选线方法 [J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2017, 31(4): 42-46.

SHI J, LI Z M. Highway route selection method based on TOPSIS-AHP [J]. Journal of Shandong University of Technology (natural science edition), 2017,31(4):42-46.

[6] 吕婷. 高速公路绿色施工组织设计方案评价研究 [D]. 长沙:长沙理工大学, 2018.

LÜ T. Research on evaluation of green construction organization design scheme of expressway [D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2018.

[7] 古兰玉. 层次分析法在跨线桥施工方案比选中的应用 [J]. 国防交通工程与技术, 2018, 16(2): 10-15.

GU L Y. Application of analytic hierarchy process in comparison and selection of construction schemes of overpass bridges [J]. Traffic engineering and technology for national defence, 2018, 16(2):10-15.

[8] 吴小萍,詹振炎. 基于灰色和模糊集理论的铁路方案多目标综合评价方法及模型研究 [J]. 铁道学报, 2001(5): 107-113.

WU X P, ZHAN Z Y. Research on multi-objective comprehensive evaluation method and model of railway scheme based on grey and fuzzy set theory [J]. Journal of the China railway society, 2001(5):107-113.

[9] 负惠娜. 基于三角模糊数-TOPSIS 法的高速公路穿越高铁施工方案比选研究 [D]. 西安:西安建筑科技大学, 2013.

YUN H N. Research on comparison and selection of construction schemes for expressways crossing high-speed railways based on triangular fuzzy number-TOPSIS method [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2013.

[10] 刘臻. 公路建设项目经济评价与方案比选的研究 [D]. 成都:西南交通大学, 2007.

LIU Z. Research on economic evaluation and scheme comparison and selection of highway construction projects [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.

[11] 赵梅龙,陈振伟. 基于层次分析法的山区高速公路路线方案比选研究 [J]. 公路交通科技(应用技术版), 2009, 5(7): 94-97.

ZHAO M L, CHEN Z W. Research on route scheme comparison and selection of mountainous expressways based on analytic hierarchy process [J]. Journal of highway and transportation research and development (application technology edition), 2009, 5(7): 94-97.

[12] 禹明刚,王智学,刘正,等. 基于模糊 AHP 和 TOPSIS 的铁路选线方案研究 [J]. 计算机技术与发展, 2014, 24(10): 182-185.

YU M G, WANG Z X, LIU Z, et al. Research on railway route selection scheme based on fuzzy AHP and TOPSIS [J]. Computer technology and development, 2014,24(10): 182-185.