

# 基于层次分析法及模糊法的铁路选线分析研究

郭亮武

中国铁路设计集团有限公司

DOI:10.12238/btr.v7i2.4280

**[摘要]** 研究目的: 研究粤港澳大湾区城际铁路项目线路方案比选及决策中,控制因素对方案比较的影响程度,进而研究粤港澳大湾区城际铁路项目线路选线评价标准。研究方法: 本文通过层次分析法及模糊算法,定性与定量相结合的分析方法,通过建立 AHP(层次分析法)-模糊综合评价模型对线路评价指标进行了分析。研究结论: 通过研究得出影响粤港澳大湾区城际铁路线路方案的因素重要性依次为城市规划、环境敏感点、工程可实施性、工程拆迁工程投资。同时对广佛西环城际铁路广州段走向方案选线综合评价,分析得出了各方案得分及优劣,结论与实际批复一致,进一步验证了层次分析法及模糊算法在粤港澳大湾区城际铁路线路选线评价中的应用。

**[关键词]** 线路选线; 城际铁路; 层次分析法-模糊算法; 影响因子; 评价标准

中图分类号: F530.3 文献标识码: A

## Research on railway line selection analysis based on hierarchical analysis method and fuzzy method

Liangwu Guo

CHINA RAILWAY DESIGN CORPORATION

**[Abstract]** Research purpose: To study the influence of control factors on the comparison of route schemes and decision-making of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Intercity Railway Project, and then study the evaluation criteria for route selection of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Intercity Railway Project. Research method: This paper analyzes the line evaluation index by establishing AHP (analytic hierarchy process) - fuzzy comprehensive evaluation model through the analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy algorithm, qualitative and quantitative analysis method. Research conclusion: the importance of the factors influencing the route scheme is in turn urban planning, environmental sensitive points, project feasibility, and project demolition investment. At the same time, based on the comprehensive evaluation of the route selection scheme of Guangzhou Section of Guangzhou-Foshan West Ring Railway, the scores and advantages and disadvantages of each scheme are analyzed, and the conclusion is consistent with the actual approval, which further verifies the application of the analytic hierarchy process and fuzzy algorithm in the route selection evaluation of the inter city railway in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area.

**[Key words]** route selection; Intercity railway; Analytic hierarchy process fuzzy algorithm; Influence factors; evaluation criterion

### 1 研究背景

城际铁路是一项投资大、涉及面广、综合性强的基础设施项目。它的建设对城市发展影响深远,是城市发展的百年大计。在城际铁路项目中,线路专业是工程设计的龙头专业,大部分设计工作需在选线工作完成后才能开展。线路方案的优劣直接影响着工程的投资和后续设计,进而影响到项目的总体决策<sup>[1]</sup>。随

着粤港澳大湾区城市化进程不断加快,轨道上的大湾区加速成型,见图1所示。然而该区域的城际铁路选线复杂,涉及面广。而国内外开展城际铁路线路选线的研究工作并不多,针对粤港澳大湾区区域特征的城际铁路选线研究则更少,因此本文结合湾区城际铁路项目具体案例,广佛环线佛山西站至广州北站段项目,开展针对湾区特点的城际铁路选线研究工作十分必要。

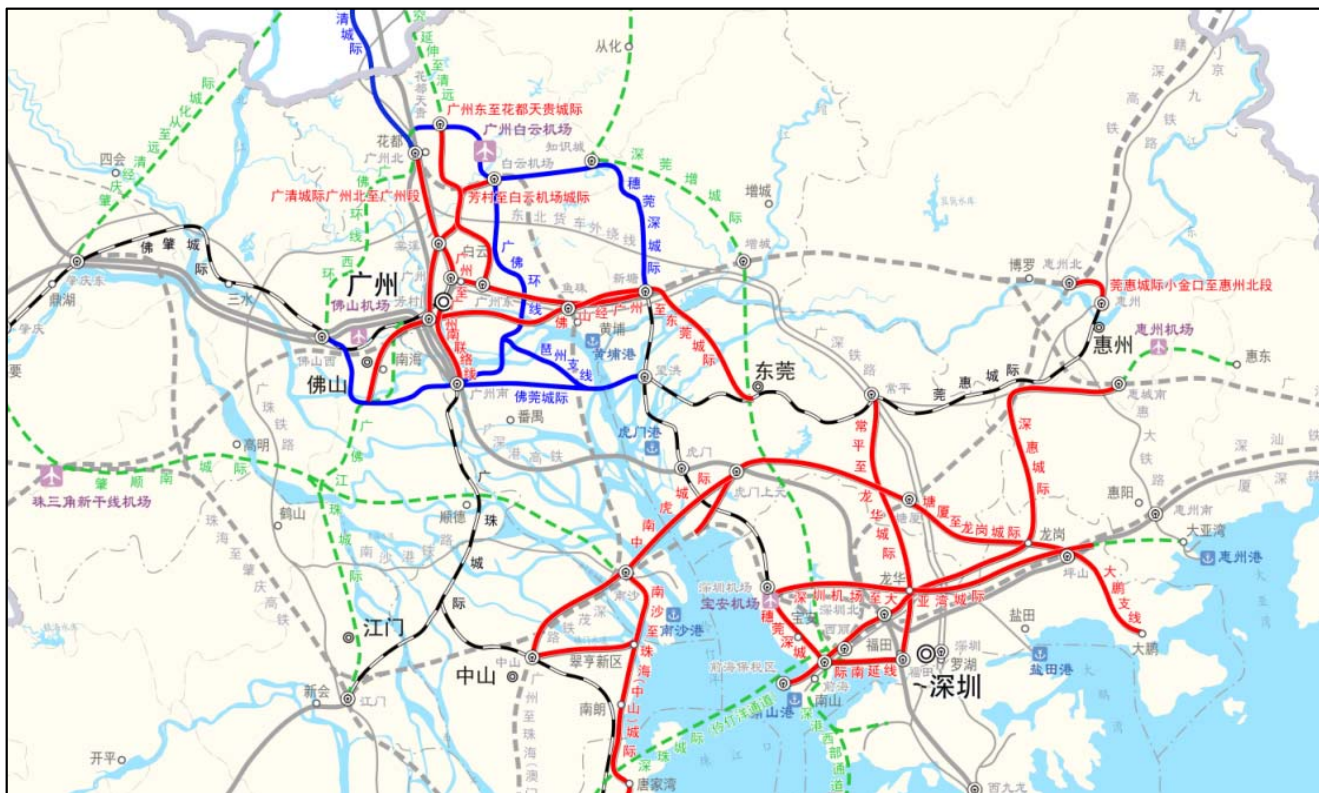


图1 粤港澳大湾区城际铁路建设规划示意图

## 2 线路方案控制因素分析

影响粤港澳大湾区城际铁路选线的因素较多。宏观因素如城市规划,微观因素如地下建筑物桩基础、沿线地质条件及地下管网分布等。同时内外部控制因素对线路方案的影响同样较大<sup>[2]</sup>。根据城际铁路设计规范要求和城市轨道交通选线常规外部要素,结合“珠三角轨道交通广佛环线佛山西站至广州北站段”建设方案决策及调研情况,并根据轨道交通专家对于粤港澳大湾区城际铁路选线意见等,分析总结出影响粤港澳大湾区城际铁路选线的主要因素如下:

### 2.1 城市规划及建设情况

影响粤港澳大湾区城际铁路线路走向的城市规划主要有城市总体规划、城市土地利用规划、控制性详细规划、区域内路网规划、规划高速公路通道等<sup>[3]</sup>。与城市总体规划是否相符,会直接影响城际铁路项目是否能通过审批<sup>[4]</sup>。

### 2.2 环境敏感点

城际铁路线路的走向及敷设方式受环境敏感点影响较大。为了保证施工及运营中满足对生态环境的要求,线路方案尽量绕避生态敏感区。对于生态红线、森林公园等需要尽量绕避。自然保护区核心区、缓冲区,水源地保护区一级区等线路方案必须绕避。环境敏感点的分布从而使线路走向发生改变。

### 2.3 线路方案拆迁条件

城际铁路线路走向需要考虑线路沿线的拆迁情况,有意识

的要尽量减小对既有村落、厂区,高等级电力线、名木古树等有较大社会稳定性风险的影响。尤其在粤港澳大湾区,土地资源紧张,处理好线路方案与区域内建构筑物关系能够极大的提高线路方案的可行性及项目的审批推进进展。

### 2.4 工程可实施性条件

工程实施条件对城际铁路线路局部走向会产生影响。在拆迁难度较大、下穿建(构)筑物多、交通疏解难等复杂的工程实施条件下,会导致轨道交通建设成本大幅增加,建设周期延长,施工风险增大,故通常会通过调整线路方案来降低各种风险。

### 2.5 工程投资

城际铁路的项目工程投资是否合理直接决定项目是否能通过审批部门的审批。工程投资由多方面决定,线路方案沿线的拆迁、线路方案的敷设方式,项目本体工程的投资等均决定着项目总投资费用。因此,要保证项目的工程投资合理,必须首先保证项目方案的合理性。

## 3 评价指标体系

本文对粤港澳大湾区城际铁路线路选线评价指标选取原则、主要影响因素、评价标准等进行研究,提出粤港澳大湾区城际铁路线路选线评价的相关指标,建立初步的评价体系,并形成调查问卷。通过对专家进行问卷调查,归纳整理专家对指标的意见,调整指标体系,最终形成粤港澳大湾区铁路线路选线评价指标体系(26个指标),具体指标见表1所示。

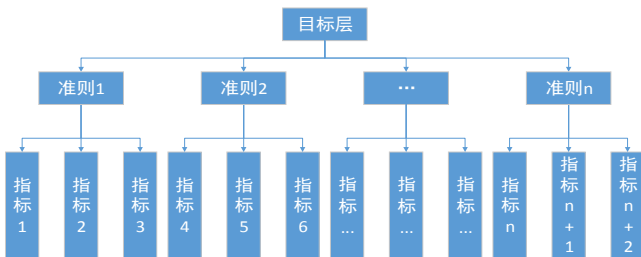
表1 线路选线评价指标体系表

目标层	准则层	指标层
粤港澳大湾区城际铁路 线路选线评价(A)	B <sub>1</sub> 城市规划	C <sub>1</sub> 与城市总体规划协调性
		C <sub>2</sub> 与土地利用规划的吻合度
		C <sub>3</sub> 与路网分布的协调性
		C <sub>4</sub> 对新区开发促进性
		C <sub>5</sub> 对三旧迁改的结合度
		C <sub>6</sub> 与区域详规的协调性
	B <sub>2</sub> 拆迁情况	C <sub>7</sub> 住宅拆迁
		C <sub>8</sub> 厂房拆迁
		C <sub>9</sub> 电力线、通信线迁改
		C <sub>10</sub> 地下管线迁改
		C <sub>11</sub> 大棚、坟墓、苗圃等拆迁
	B <sub>3</sub> 环境敏感点	C <sub>12</sub> 生态红线
		C <sub>13</sub> 水源地保护区
		C <sub>14</sub> 历史文化古迹
		C <sub>15</sub> 自然保护区
		C <sub>16</sub> 森林公园
	B <sub>4</sub> 工程可实施性	C <sub>17</sub> 工程地质条件
		C <sub>18</sub> 交通疏解
		C <sub>19</sub> 侧穿建筑物数量
	B <sub>5</sub> 工程投资	C <sub>20</sub> 征地拆迁
		C <sub>21</sub> 敷设方式
		C <sub>22</sub> 车站数量
		C <sub>23</sub> 线路长度

4 AHP(层次分析法)-模糊综合评价模型

4.1 AHP(层次分析法)-模糊综合评价模型的构建

本文所构建的AHP(层次分析法)-模糊综合评价模型由两部分构成,即层次分析法和模糊综合评价法两个部分。



其中第一层次分析法是在构建指标体系的基础上对其进行分层处理,划分结构层次,确定目标层、准则层、指标层的结构体系;再进行专家咨询,采用1-9比例标度方法,对两指标的相对重要性进行定性的分析,构造判断矩阵,并求得矩阵最大特征值,之后再进行一次一致性检验,最终得到各指标的权重系数。第二部分采用多层次模糊综合评价法,对指标数据进行归一化处理,然后进行分层综合评判,再进行高层综合评判,最终得出评价结论,从而实现大湾区城际铁路线路选线的综合评价,评价模型如图1所示。

4.2 评价指标的权重确定

4.2.1 建立层次结构

4.2.2 标度确定

目前的评分方法有很多种,本次研究常用的1-9标度法,即将相互重要程度用数值表示出来,写成判断矩阵。其中9级标度判断矩阵及其含义见表2所示。

表2 标度确定表

判断尺度	定义	说明
1	同样重要	因素 i 与因素 j 同样重要
3	稍微重要	因素 i 比因素 j 稍微重要
5	比较重要	因素 i 比因素 j 比较重要
7	十分重要	因素 i 比因素 j 十分重要
9	绝对重要	因素 i 比因素 j 绝对重要
2, 4, 6, 8	中间值	表示上述相邻判断的中间值

$a_{ij}$  表示 i 因素相对于 j 因素的重要性,  $a_{ii}=1, a_{ji}=1/a_{ij}$

4.2.3 模糊综合评价步骤

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评价方法,对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价,评价步骤如下所示。

(1) 评价因素集合的确定。评价指标确定后,将评价因素组成一个因素集合  $B, B = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_n\}$ , 其中  $B_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ , 为评价指标因素,为同一层次上评价因素的个数。

(2) 定性指标与定量指标的无量纲处理。对于定性指标,通过收集评价对象的基础资料,并制作调查问卷,通过整理计算,得出评价对象各个定性指标的平均分,最后再归一化处理。对于定量指标,通过收集评价对象定量指标的实际值,再对各指标实际值进行无量纲处理。

(3) 分层综合评判。首先利用无量纲处理后的结果构建同一准则层下的单因素评判矩阵R,再构建同一准则层下的单因素的权重矩阵A,利用模型公式。

$$B = A \cdot R \tag{1}$$

5 广佛西环城际铁路广州段走向方案选线综合评价

5.1 评价体系指标权重总体分析

通过前述分析,对已建立的评价指标体系,按照层次分析法,建立判断矩阵,通过发放文件调查,整合各专家的矩阵表,取得平均数,利用软件计算广佛环线佛山西站至广州北站段城际铁路选线评价指标体系权重列表,如表3所示。

通过一致性指标(CI)与平均随机一致性指标(RI)的比较,对该权重列表进行一致性判别。经检验判别一致性比例小于0.1,说明该指标数据真实可靠,评价体系合理,各项指标可以作为广佛西环铁路广州段线路方案选线评价指标。

5.2 模糊综合评价法的因素集确定

根据前述分析得到的模糊综合评价因素集如下:

第一层为:

表3 广佛环线佛山西站至广州北站段城际铁路选线评价指标体系权重列表

目标层	准则层	权重	指标层	对目标层的权重	对准则层的权重
粤港澳大湾区城际铁路选线评价(A)	B <sub>1</sub> 城市规划	0.3716	C <sub>1</sub> 与城市总体规划协调性	0.1122	0.2197
			C <sub>2</sub> 与土地利用规划的吻合度	0.0525	0.1351
			C <sub>3</sub> 与路网分布的协调性	0.0424	0.1954
			C <sub>4</sub> 对新区开发促进性	0.0135	0.1221
			C <sub>5</sub> 对三旧迁改的结合度	0.0121	0.1134
			C <sub>6</sub> 与区域详规的协调性	0.0797	0.2143
	B <sub>2</sub> 拆迁情况	0.1836	C <sub>7</sub> 住宅拆迁	0.0264	0.2741
			C <sub>8</sub> 厂房拆迁	0.0125	0.2214
			C <sub>9</sub> 电力线、通信线迁改	0.0053	0.1845
			C <sub>10</sub> 地下管线迁改	0.0151	0.1711
			C <sub>11</sub> 大棚、坟墓、苗圃等拆迁	0.0054	0.1489
	B <sub>3</sub> 环境敏感点	0.1065	C <sub>12</sub> 生态红线	0.0563	0.2042
			C <sub>13</sub> 水源地保护区	0.0852	0.2254
			C <sub>14</sub> 历史文化古迹	0.0747	0.1912
			C <sub>15</sub> 自然保护区	0.0434	0.2136
			C <sub>16</sub> 森林公园	0.0056	0.1656
	B <sub>4</sub> 工程可实施性	0.2654	C <sub>17</sub> 工程地质条件	0.0415	0.301
			C <sub>18</sub> 交通疏解	0.0271	0.334
			C <sub>19</sub> 侧穿建筑物数量	0.0431	0.365
	B <sub>5</sub> 工程投资	0.0729	C <sub>20</sub> 征地拆迁	0.0325	0.2720
C <sub>21</sub> 敷设方式			0.0327	0.2605	
C <sub>22</sub> 车站数量			0.0987	0.2454	
C <sub>23</sub> 线路长度			0.0821	0.2221	

$$A = \{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5\} \quad (2)$$

根据模糊公式计算, 计算得出

$$B_1 = A_1 \cdot R_1 = (0.2197 \quad 0.1351 \quad 0.1954 \quad 0.1221 \quad 0.1134 \quad 0.2143) \cdot$$

第二层为:

$$B_1 = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6\}$$

$$B_2 = \{C_7, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}\}$$

$$B_3 = \{C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{16}\} \quad (3)$$

$$B_4 = \{C_{17}, C_{18}, C_{19}\}$$

$$B_5 = \{C_{20}, C_{21}, C_{22}, C_{23}\}$$

$$\begin{pmatrix} 2.03 & 1.56 & 0.07 & 1.01 \\ 2.01 & 1.95 & 0.02 & 0.15 \\ 2.05 & 1.85 & 0.03 & 0.53 \\ 1.68 & 0.56 & 0.04 & 0.16 \\ 1.35 & 0.84 & 0.02 & 0.08 \\ 2.12 & 1.66 & 0.03 & 0.21 \end{pmatrix}$$

### 5.3 定性指标与定量指标的无量纲处理

分别对如下方案进行打分, 之后进行标准化无量纲处理, 结果如表4所示。

### 5.4 分层综合评判

由C1、C2、C3、C4、C5、C6的模糊判断构成的单因素评判矩阵为:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 2.03 & 1.56 & 0.07 & 1.01 \\ 2.01 & 1.95 & 0.02 & 0.15 \\ 2.05 & 1.85 & 0.03 & 0.53 \\ 1.68 & 0.56 & 0.04 & 0.16 \\ 1.35 & 0.84 & 0.02 & 0.08 \\ 2.12 & 1.66 & 0.03 & 0.21 \end{pmatrix}$$

$$B_1 = \{1.9306, 1.4870, 0.0375, 0.4193\}$$

### 5.5 高层次综合评判

$$A = \{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6\} = \{0.3716, 0.1836, 0.1065, 0.2654, 0.0729\}$$

高层次综合评判如下:

$$B = A \cdot R = \{0.3716, 0.1836, 0.1065, 0.2654, 0.0729\} \cdot$$

$$\begin{Bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{Bmatrix} = \{1.4148, 1.0065, 0.4862, 0.7448\}$$

表4 广佛西环铁路广州段线路选线评价指标无量纲处理汇总表

序号	指标层	沿东风大道取直高架方案	沿炭步大道高架方案	穿炭步镇取直高架方案	炭步镇东南侧设站方案
1	C <sub>1</sub> 与城市总体规划协调性	2.03	1.56	0.07	1.01
2	C <sub>2</sub> 与土地利用规划的协调性	2.01	1.95	0.02	0.15
3	C <sub>3</sub> 与路网分布的协调性	2.05	1.85	0.03	0.53
4	C <sub>4</sub> 对新区开发促进性	1.68	0.56	0.04	0.16
5	C <sub>5</sub> 对三旧迁改的结合度	1.35	0.84	0.02	0.08
6	C <sub>6</sub> 与区域详规的协调性	2.12	1.66	0.03	0.21
7	C <sub>7</sub> 住宅拆迁	1.21	0.05	0.12	0.33
8	C <sub>8</sub> 厂房拆迁	1.97	0.01	0.03	0.21
9	C <sub>9</sub> 电力线、通信线迁改	1.03	1.12	1.86	0.56
10	C <sub>10</sub> 地下管线迁改	0.38	0.34	0.39	0.35
11	C <sub>11</sub> 大棚、坟墓、苗圃等拆迁	0.51	0.21	0.35	0.79
12	C <sub>12</sub> 生态红线	1.05	1.07	0.86	0.95
13	C <sub>13</sub> 水源地保护区	0.59	0.54	0.51	0.49
14	C <sub>14</sub> 历史文化古迹	0.89	1.1	0.12	0.73
15	C <sub>15</sub> 自然保护区	1.1	0.89	0.95	1.03
16	C <sub>16</sub> 森林公园	0.56	0.75	0.64	0.48
17	C <sub>17</sub> 工程地质条件	0.72	0.56	0.65	0.81
18	C <sub>18</sub> 交通疏解	1.56	1.23	1.02	2.01
19	C <sub>19</sub> 侧穿建筑物数量	1.05	0.98	1.24	1.35
20	C <sub>20</sub> 征地拆迁	1.59	0.03	0.07	0.28
21	C <sub>21</sub> 敷设方式	1.12	1.06	1.01	1.15
22	C <sub>22</sub> 车站数量	1.5	1.5	1.01	0.85
23	C <sub>23</sub> 线路长度	1.76	0.51	0.79	1.04

## 5.6 评价结果分析

对于湾区城际铁路来说,对线路方案影响的因素,按照权重的大小排序,各准则层的重要性依次为城市规划、客流吸引条件、工程投资和工程实施条件、环境影响、社会效益。结合各指标的权重分析,沿东风大道取直方案最优,综合评价得分为1.4148。沿炭步大道高架方案次之,综合评价得分为1.0065。其次为炭步东南侧取直方案,综合评价得分为0.7448,最后为穿炭步镇取直方案,综合评价得分为0.4862。

## 6 结论

本文结合粤港澳大湾区铁路建设实际情况,分析研究了影响该区域内城际铁路选线的控制因素。重点分析了规划、环保、拆迁、可实施性及工程投资等因素对湾区城际铁路选线的影响。之后采用层次分析法首先研究了不同特点的线路方案比选及决策中控制因素对方案比较的影响程度。并结合具体案例,采用模糊处理法,研究评价了广佛西环广州段线路方案的优胜。得出以下结论:

(1)对于湾区城际铁路来说,城市规划、环境保护、拆迁工程、可实施性及工程投资这五个因素对线路方案决策的影响,按照权重的大小排序,各准则层的重要性依次为城市规划、环境敏感点、工程可实施性、工程拆迁工程投资。

(2)结合各指标的权重分析,对于广佛西环广州段线路方案

综合评价来说,沿东风大道取直方案最优,综合评价得分为1.4148。沿炭步大道高架方案次之,综合评价为1.0065。其次为炭步东南侧取直方案,综合评价为0.7448,最后为穿炭步镇取直方案,综合评价为0.4862。该分析与实际项目中方案比选决策的趋势一致,可信度高。

(3)结合本文的研究方式,可以指导粤港澳大湾区城际铁路线路选线过程中的方案决策,为铁路线路方案比选提供量化的评价指标与体系。

## [参考文献]

- [1]铁路选线设计[M].西南交通大学出版社,易思蓉,2009.
- [2]铁路设计理论和技术[M].中国铁道出版社,阚叔愚等主编,1993.
- [3]铁路选线设计的现代理论和方法[M].中国铁道出版社,詹振炎著,2001.
- [4]余浩伟.铁路选线中与地方关系的处理[J].铁道工程学报,2012,29(06):6-9+36.
- [4]模糊数学基础及实用算法[M].科学出版社,李鸿吉编著,2005.

## 作者简介:

郭亮武(1993--),男,满族,宁夏石嘴山人,硕士,工程师,研究方向:铁路选线。