

文章编号: 1673-9469 (2019) 03-0106-07

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2019.03.020

## 基于 IFAHP 的 BIM 管线碰撞优化模型

李鸿旭, 张玉丽, 杨扬, 王超

(河北工程大学 管理工程与商学院, 河北 邯郸 056038)

**摘要:** 针对 BIM 管线碰撞技术尚不能根据碰撞位置给出管线的优化方案问题, 利用直觉模糊层次分析法 (IFAHP) 建立了一种 BIM 管线碰撞优化模型。首先, 依据建筑管线施工规范, 从施工成本、施工难度、施工安全性和施工美观度四个方面建立了管线碰撞评价指标体系; 其次, 根据碰撞点位置状况, 依据 IFAHP 构造出不同的直觉模糊判断矩阵, 建立相应的直觉模糊决策模型, 进而给出不同管线碰撞点的管线优化方案。最后, 通过实例验证了该 BIM 管线碰撞优化模型的有效性和可行性。

**关键词:** BIM; 管线碰撞; 直觉模糊层次分析法 (IFAHP); 管线优化

**中图分类号:** TU714; N949

**文献标识码:** A

## Pipeline Collision Optimization BIM Model Based on IFAHP

LI Hongxu, ZHANG Yuli, YANG Yang, WANG Chao

(Management Engineering and Business School, Hebei University of Engineering, Handan, 056038, China)

**Abstract:** Pipeline collision technology of BIM can effectively simulate the collision problem of HVAC pipes, electrical pipelines, water supply and drainage pipelines in complex construction projects. However, this technique cannot give an optimized solution according to the location of the pipeline collision currently. Motivated by this, BIM pipeline collision optimization model is established based on the intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process (IFAHP). Firstly, a pipeline collision evaluation index system is given by construction costs, construction difficulty, construction safety, and construction aesthetics in accordance with construction pipeline construction specifications. Secondly, different intuitionistic fuzzy judgment matrixes are given according to IFAHP and the position of the collision point, corresponding intuitionistic fuzzy decision optimization models are established, and then the pipeline optimization solution for different pipeline collision points is given. Finally, the effectiveness and feasibility of the BIM pipeline collision optimization model are verified by an example.

**Key words:** BIM; pipeline collision; intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process (IFAHP); pipeline optimization

众所周知, 在整个建设项目中, 暖通、电气、给排水占有很大的比重, 相应的管线设计尤为复杂, 管线碰撞的几率也非常大。因此, 作为 BIM 核心的管线碰撞模拟技术在工程项目中发挥了举足轻重的作用, 它可以有效模拟复杂建筑项目中暖通、电气、给排水等管线的碰撞问题。与传统的 CAD 制图相比, BIM 技术<sup>[1]</sup>的优势在于数字化信息的共享, 通过网

络信息共享大大减少了不同专业技术人员之间的协调时间。BIM 管线碰撞模拟技术通过 revit 软件建模, 导入 Navisworks 进行碰撞分析<sup>[2]</sup>, 进而可以从生成的碰撞报告中快速定位碰撞点。近年来, BIM 管线碰撞模拟技术已得到了众多工程技术人员的青睐, 如纪凡荣等<sup>[3]</sup>研究了在某项目管线综合中 BIM 管线碰撞模拟技术的应用; 夏江波等<sup>[4]</sup>在装配式框架结

收稿日期: 2019-06-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (11626079); 河北省自然科学基金资助项目 (F2015402033); 河北省普通高等学校青年拔尖人才计划项目 (BJ2017031); 河北工程大学青年学术骨干基金资助项目 (16121002016)

作者简介: 李鸿旭 (1994-), 男, 河北秦皇岛人, 硕士研究生, 研究方向为不确定性决策理论与方法。

构施工中应用了 BIM 管线碰撞模拟技术；沈亮峰等<sup>[5]</sup>利用 BIM 管线碰撞模拟技术研究三维管线综合设计在地铁车站中的应用。在上述研究中，BIM 管线碰撞模拟技术尽管可以有效模拟工程项目中碰撞点的具体位置，尚不能根据具体位置快速、准确和高效地确定最优管线优化方案。基于此，本文建立了一种基于 IFAHP 的 BIM 管线碰撞优化模型，依据建筑管线施工规范建立了相应的管线碰撞评价指标体系，并利用 IFAHP 来确定管线优化方案。

## 1 BIM 碰撞技术评价指标体系

根据建筑管线工程施工规范，管线碰撞解决遵循的原则为：先布设施工难度大的管线后布设施工简单的管线，先布设大型的管线后布设小型的管线；同时还应遵循小管让大管、电管让水管、水管让风管、有压管让无压管等配管原则<sup>[6]</sup>。

在此基础上，本文进一步细化了管线碰撞原则，从 BIM 角度构建了管道碰撞评价一级指标：包括施工成本  $A_1$ 、施工难度  $A_2$ 、施工安全性  $A_3$ 、管线美观度  $A_4$ ，并分别建立了一级指标下的二级指标，详见表 1。其中施工成本包含 3 个二级指标，分别是人员成本  $B_1$ 、材料成本  $B_2$  和机械成本  $B_3$ 。这 3 个二级指标是依据建筑管线施工规范中对施工过程产生的成本进行的分类。在考虑解决方案时，成本是一个必不可少的因素，通过调控人工、材料和机械的成本，可以有效控制施工过程中的总成本。施工难度也包含 3 个二级指标，分别是施工工艺的复杂程度  $B_4$ 、施工人员的专业程度  $B_5$ 、施工材料的复杂程度  $B_6$ 。

表 1 BIM 碰撞指标体系  
Tab.1 BIM collision index system

一级指标 A	二级指标 B
施工成本 $A_1$	人员成本 $B_1$
	材料成本 $B_2$
	机械成本 $B_3$
施工难度 $A_2$	施工工艺的复杂程度 $B_4$
	施工人员的专业程度 $B_5$
	施工材料的复杂程度 $B_6$
施工安全性 $A_3$	管线类型产生的安全问题 $B_7$
	管线位置产生的安全问题 $B_8$
	管线结构产生的安全问题 $B_9$
管线美观度 $A_4$	融入度 $B_{10}$
	整齐度 $B_{11}$

程度  $B_6$ 。依据建筑管线施工规范，在管线碰撞时，应考虑合理的解决方案，首先应对施工难度大的管线进行布设，再对施工相对简单的管线进行布设，这主要是由于施工难度大的管线其施工工艺复杂，所要求的施工人员专业程度高和施工材料复杂，获取困难，故先对施工难度大的管线进行施工。施工安全性包含 3 个二级指标，分别是管线类型产生的安全问题  $B_7$ 、管线位置产生的安全问题  $B_8$ 、管线结构产生的安全问题  $B_9$ 。依据建筑施工规范，在管线碰撞考虑解决方案时，安全性是必须要考虑的问题。水管相对电线槽和风管的位置、有压管和无压管的位置等都与施工安全性密不可分，如果不仔细安排，会产生很严重的后果。管线美观度则包含 2 个指标，分别为管线融入度  $B_{10}$ ，管线整齐度  $B_{11}$ 。根据建筑施工规范，当管线置于视线内侧时，最基本应该保证管线整齐，最好是与房屋内其他设施融为一体，所以管线的整齐程度与融入程度都会使人在视觉上产生一定的差异，因此美观度也是专家优化管线方案时考虑的一个重要指标。

## 2 基于直觉模糊层次分析法的 BIM 管线优化模型

### 2.1 直觉模糊层次分析法

Xu 等<sup>[7]</sup>在直觉模糊集的基础上提出了直觉模糊层次分析法。IFAHP 通过引入了犹豫度的概念，使决策更加合理化，同时还可以对没有通过直觉模糊一致性检验的判断矩阵直接进行相应的调整<sup>[8]</sup>，不必再进行二次打分，从而弥补了模糊层次分析法的不足。近年来，直觉模糊层次分析法在企业资金风险评价等方面被广泛应用<sup>[9]</sup>。IFAHP 的一般步骤如下：

步骤一：构建直觉模糊判断矩阵

专家对照直觉模糊重要度评分表<sup>[7]</sup>，根据实际问题给出相应的直觉模糊判断矩阵  $R=(r_{ij})_{n \times n}$ ，其中  $r_{ij}=(\mu_{ij}, \nu_{ij})$  为一个直觉模糊数， $\mu_{ij}$  表示  $i$  因素比  $j$  因素重要的隶属度， $\nu_{ij}$  表示  $i$  因素比  $j$  因素重要的非隶属度。

步骤二：判断矩阵的一致性检验

直觉模糊一致性判断矩阵  $\bar{R}=(\bar{r}_{ij})_{n \times n}$  由直觉模糊判断矩阵  $R=(r_{ij})_{n \times n}$  计算得出，具体可以分为以下几种情况：

(1) 当  $j>i+1$  时，则  $\bar{R}=(\bar{\mu}_{ij}, \bar{\nu}_{ij})$ ，其中：

$$\bar{\mu}_{ij} = \frac{\sqrt[j-i-1]{\prod_{k=i+1}^{j-1} \mu_{ik} \mu_{kj}}}{\sqrt[j-i-1]{\prod_{k=i+1}^{j-1} \mu_{ik} \mu_{kj}} + \sqrt[j-i-1]{\prod_{k=i+1}^{j-1} (1-\mu_{ik})(1-\mu_{kj})}}, \quad j > i+1 \quad (1)$$

$$\bar{\nu}_{ij} = \frac{\sqrt[j-i-1]{\prod_{k=i+1}^{j-1} \nu_{ik} \nu_{kj}}}{\sqrt[j-i-1]{\prod_{k=i+1}^{j-1} \nu_{ik} \nu_{kj}} + \sqrt[j-i-1]{\prod_{k=i+1}^{j-1} (1-\nu_{ik})(1-\nu_{kj})}}, \quad j > i+1 \quad (2)$$

- (2) 当  $j = i+1$  时, 令  $\bar{r}_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij})$ ;
- (3) 当  $j = i$  时, 令  $\bar{r}_{ij} = (0.5, 0.5)$ ;
- (4) 当  $i = j+1$  时, 令  $\bar{r}_{ij} = (\nu_{ij}, \mu_{ij})$ ;
- (5) 当  $i = j+1$  时, 则  $\bar{R} = (\bar{\mu}_{ij}, \bar{\nu}_{ij})$ , 其中

$$\bar{\mu}_{ij} = \frac{\sqrt[i-j-1]{\prod_{k=j+1}^{i-1} \mu_{jk} \mu_{ki}}}{\sqrt[i-j-1]{\prod_{k=j+1}^{i-1} \mu_{jk} \mu_{ki}} + \sqrt[i-j-1]{\prod_{k=j+1}^{i-1} (1-\mu_{jk})(1-\mu_{ki})}}, \quad i > j+1 \quad (3)$$

$$\bar{\nu}_{ij} = \frac{\sqrt[i-j-1]{\prod_{k=j+1}^{i-1} \nu_{jk} \nu_{ki}}}{\sqrt[i-j-1]{\prod_{k=j+1}^{i-1} \nu_{jk} \nu_{ki}} + \sqrt[i-j-1]{\prod_{k=j+1}^{i-1} (1-\nu_{jk})(1-\nu_{ki})}}, \quad i > j+1 \quad (4)$$

计算直觉模糊一致性判断矩阵与直觉模糊判断矩阵的距离测度:

$$d(\bar{R}, R) = \frac{1}{2(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (|\bar{\mu}_{ij} - \mu_{ij}| + |\bar{\nu}_{ij} - \nu_{ij}| + |\bar{\pi}_{ij} - \pi_{ij}|) \quad (5)$$

其中取阈值  $\tau=0.1$ , 当  $d(R, \bar{R}) < 0.1$  时, 完成一致性检验, 否则需要进行调整, 调整时需设置参数  $\sigma$ , 使  $\sigma \in [0, 1]$ , 则:

$$\bar{\mu}_{ij} = \frac{(\mu_{ij})^{1-\sigma} (\bar{\mu}_{ij})^\sigma}{(\mu_{ij})^{1-\sigma} (\bar{\mu}_{ij})^\sigma + (1-\mu_{ij})^{1-\sigma} (1-\bar{\mu}_{ij})^\sigma}, \quad i, j=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\bar{\nu}_{ij} = \frac{(\nu_{ij})^{1-\sigma} (\bar{\nu}_{ij})^\sigma}{(\nu_{ij})^{1-\sigma} (\bar{\nu}_{ij})^\sigma + (1-\nu_{ij})^{1-\sigma} (1-\bar{\nu}_{ij})^\sigma}, \quad i, j=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

注: 经过调整后的直觉模糊一致判断矩阵再次计算, 直至通过检验。通过调整的方法省去了重复评价的过程, 适用于碰撞方案的选择, 当碰撞点较多时, 可以节省大量的时间进行决策。

$$d(\bar{R}, R) = \frac{1}{2(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (|\bar{\mu}_{ij} - \mu_{ij}| + |\bar{\nu}_{ij} - \nu_{ij}| + |\bar{\pi}_{ij} - \pi_{ij}|) \quad (8)$$

步骤三: 计算权重

根据通过一致性检测的直觉模糊一致性判断矩阵, 可计算每个指标的权重:

$$\omega_i = \left( \frac{\sum_{j=1}^n \mu_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (1-\nu_{ij})}, 1 - \frac{\sum_{j=1}^n (1-\mu_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \nu_{ij}} \right) \quad i=1, 2, \dots, n \quad (9)$$

步骤四: 信息的集成

根据相应的直觉模糊数的相关运算法则对信息进行集结, 集结后, 计算各指标的总权重。

步骤五: 方案排序

集成出的总权重经过得分函数的计算, 计算出每个方案的得分, 最后进行排序, 给出参考方案选择意见。

$$\rho(\partial) = 0.5(1 + \pi_\partial)(1 - \mu_\partial) \quad (10)$$

### 2.2 BIM 管线碰撞优化模型

根据本文建立的指标体系及直觉模糊层次分析法, 我们可以建立如下 BIM 管线碰撞优化模型如图 1。

### 3 实例

某工程在施工过程中发生了管线碰撞, 现有 3 根管线碰撞在一点, 详见图 2。其竖向管为风管, 右横管为水管, 左横管为电线槽。

经 Navisworks 碰撞检测, 我们得到了风管、电线槽以及水管的碰撞信息, 详见表 2。风管与电线槽的碰撞点位置在  $x: 5.10, y: 5.07, z: 2.74$  处, 详见表 2 碰撞 4, 风管与水管的碰撞点位置在  $x: 5.32, y: 4.75, z: 2.70$  处, 详见表 2 碰撞 5。现给出两种解决方案, 方案一: 风管不动, 水管从风管下方绕过, 电线槽从风管上方绕过。方案二: 对三根管线重新设计, 在屋内取不同的高程。经过暖通、给排水、电气方面的三位专家根据实际情况和解决方案, 给出了各个指标的重要程度, 三位专家的权重依次为 (0.4, 0.3, 0.3)。这里仅给出部分专家的评分, 暖通专家对于方案一的第一层指标的相应评分 (表 3)。

经过三位专家对碰撞点实际情况的分析, 根据

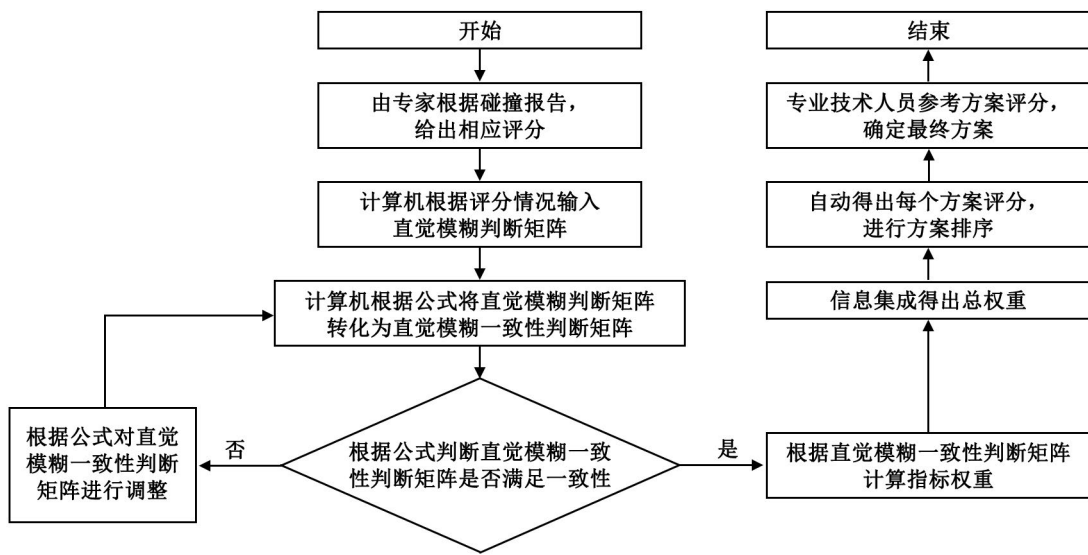


图 1 BIM 管线碰撞优化模型程序框图

Fig.1 Block diagram of BIM pipeline collision optimization model

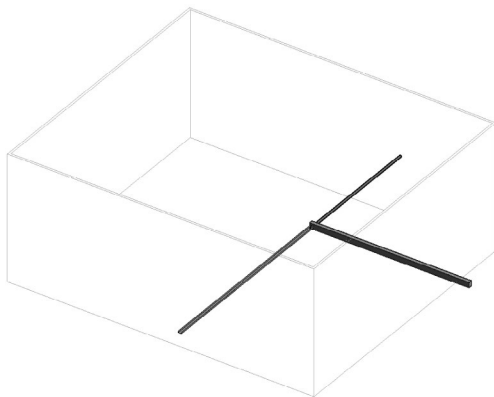


图 2 Revit 模拟碰撞图

Fig.2 Revit simulation collision map

重要度取值三维图，对指标进行两两相互比较，并根据直觉偏好关系形成部分直觉模糊判断矩阵。在方案一的情况下，第一层的指标对应的直觉模糊判断矩阵为表 4，第一层指标  $A_1$  下的二级指标对应的直觉模糊判断矩阵为表 5，第一层指标  $A_2$  下的二级指标对应的直觉模糊判断矩阵为表 6，第一层指标  $A_3$  下的二级指标对应的直觉模糊判断矩阵为表 7，第一层指标  $A_4$  下的二级指标的直觉模糊判断矩阵为表 8。

在专家评价过程中，根据直觉偏好形成的直觉模糊判断矩阵需经过一致性检验，没有通过一致性

表 2 风管、电线槽以及水管的 Navisworks 碰撞检测

Tab.2 Navisworks collision detection of pipes, wire slots, and water pipes

碰撞编号	坐标	碰撞类型	碰撞管道类型
碰撞 4	$x: 5.10, y: 5.07, z: 2.74$	硬碰撞	风管与电线槽
碰撞 5	$x: 5.32, y: 4.75, z: 2.70$	硬碰撞	风管与水管
碰撞 6	$x: 5.23, y: 4.52, z: 2.70$	硬碰撞	水管与电线槽

表3 暖通专家对于方案1第一层指标评分  
Tab.3 HVAC experts rate the first-level indicators of Option 1

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	(0.500 0, 0.500 0)	(0.600 0, 0.100 0)	(0.700 0, 0.200 0)	(0.250 0, 0.650 0)
A <sub>2</sub>	(0.100 0, 0.600 0)	(0.500 0, 0.500 0)	(0.600 0, 0.100 0)	(0.350 0, 0.550 0)
A <sub>3</sub>	(0.200 0, 0.700 0)	(0.100 0, 0.600 0)	(0.500 0, 0.500 0)	(0.450 0, 0.450 0)
A <sub>4</sub>	(0.650 0, 0.250 0)	(0.550 0, 0.350 0)	(0.450 0, 0.450 0)	(0.500 0, 0.500 0)

表4 第一层指标直觉模糊判断矩阵  
Tab.4 Intuitionistic fuzzy judgment matrix of A

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	(0.500 0, 0.500 0)	(0.495 0, 0.130 0)	(0.655 0, 0.230 0)	(0.340 0, 0.440 0)
A <sub>2</sub>	(0.130 0, 0.495 0)	(0.500 0, 0.500 0)	(0.450 0, 0.220 0)	(0.395 0, 0.400 0)
A <sub>3</sub>	(0.230 0, 0.655 0)	(0.220 0, 0.450 0)	(0.500 0, 0.500 0)	(0.435 0, 0.405 0)
A <sub>4</sub>	(0.440 0, 0.340 0)	(0.400 0, 0.395 0)	(0.405 0, 0.435 0)	(0.500 0, 0.500 0)

表5 第一层指标 A<sub>1</sub> 下的二级指标直觉模糊判断矩阵  
Tab.5 Intuitionistic fuzzy judgment matrix of B under A<sub>1</sub>

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
B <sub>1</sub>	(0.500 0, 0.500 0)	(0.485 0, 0.405 0)	(0.625 0, 0.220 0)
B <sub>2</sub>	(0.405 0, 0.465 0)	(0.500 0, 0.500 0)	(0.420 0, 0.445 0)
B <sub>3</sub>	(0.220 0, 0.625 0)	(0.445 0, 0.420 0)	(0.500 0, 0.500 0)

表6 第一层指标 A<sub>2</sub> 下的二级指标直觉模糊判断矩阵  
Tab.6 Intuitionistic fuzzy judgment matrix of B under A<sub>2</sub>

	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>
B <sub>4</sub>	(0.500 0, 0.500 0)	(0.310 0, 0.550 0)	(0.370 0, 0.540 0)
B <sub>5</sub>	(0.550 0, 0.310 0)	(0.500 0, 0.500 0)	(0.440 0, 0.480 0)
B <sub>6</sub>	(0.540 0, 0.370 0)	(0.480 0, 0.440 0)	(0.500 0, 0.500 0)

表7 第一层指标 A<sub>3</sub> 下的二级指标直觉模糊判断矩阵  
Tab.7 Intuitionistic fuzzy judgment matrix of B under A<sub>3</sub>

	B <sub>7</sub>	B <sub>8</sub>	B <sub>9</sub>
B <sub>7</sub>	(0.500 0, 0.500 0)	(0.465 0, 0.435 0)	(0.370 0, 0.475 0)
B <sub>8</sub>	(0.435 0, 0.465 0)	(0.500 0, 0.500 0)	(0.375 0, 0.575 0)
B <sub>9</sub>	(0.475 0, 0.370 0)	(0.575 0, 0.375 0)	(0.500 0, 0.500 0)

表8 第一层指标 A<sub>4</sub> 下的二级指标直觉模糊判断矩阵  
Tab.8 Intuitionistic fuzzy judgment matrix of B under A<sub>4</sub>

	B <sub>10</sub>	B <sub>11</sub>
B <sub>10</sub>	(0.500 0, 0.500 0)	(0.855 0, 0.085 0)
B <sub>11</sub>	(0.085 0, 0.855 0)	(0.500 0, 0.500 0)

检验的直觉模糊矩阵需要重新进行调整。根据步骤二中公式(1)–(5)计算第一层指标 A<sub>2</sub> 下的二级指标的直觉模糊一致性判断矩阵如表 9。

经计算  $d(R, \bar{R}) = 0.1139 > 0.1$ , 令  $\sigma = 0.5$ , 根

据公式(6)和公式(7)将直觉模糊一致性判断矩阵调整, 调整后的直觉模糊一致性判断矩阵如表 10。

将所有矩阵调整通过一致性后, 根据公式(9)分别计算每个指标对应的权重, 并通过直觉模糊判

断矩阵的性质计算各个指标的总权重。方案一和方案二的各个指标权重分别对应表 11 和表 12。

其中总权重为：

$$\omega_1=A_1 \otimes B_1=(0.207\ 8, 0.567\ 6) \otimes (0.315\ 1,$$

$$0.547\ 3)=(0.065\ 5, 0.804\ 3)$$

$$\omega_2=A_2 \otimes B_2=(0.207\ 8, 0.567\ 6) \otimes (0.268\ 3,$$

$$0.611\ 1)=(0.055\ 8, 0.831\ 8)$$

$$\omega_3=A_3 \otimes B_3=(0.207\ 8, 0.567\ 6) \otimes (0.241\ 9,$$

表 9 第一层指标 A<sub>2</sub> 下的二级指标直觉模糊一致性判断矩阵  
Tab.9 Intuitionistic fuzzy consistency judgment matrix of B under A<sub>2</sub>

	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>
B <sub>4</sub>	(0.500 0, 0.500 0)	(0.310 0, 0.555 0)	(0.260 9, 0.535 2)
B <sub>5</sub>	(0.555 0, 0.310 0)	(0.500 0, 0.500 0)	(0.440 0, 0.480 0)
B <sub>6</sub>	(0.535 2, 0.260 9)	(0.480 0, 0.440 0)	(0.500 0, 0.500 0)

表 10 调整后第一层指标 A<sub>2</sub> 下的二级指标直觉模糊一致性判断矩阵  
Tab.10 Intuitionistic fuzzy consistency judgment matrix of B under adjust A<sub>2</sub>

	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>
B <sub>4</sub>	(0.500 0, 0.500 0)	(0.310 0, 0.555 0)	(0.312 9, 0.537 6)
B <sub>5</sub>	(0.555 0, 0.310 0)	(0.500 0, 0.500 0)	(0.440 0, 0.480 0)
B <sub>6</sub>	(0.537 6, 0.312 9)	(0.480 0, 0.440 0)	(0.500 0, 0.500 0)

表 11 方案一指标权重  
Tab.11 Indicator weight of scheme 1

一级指标 A	二级指标 B	总权重
(0.207 8, 0.567 6)	(0.315 1, 0.547 3)	(0.065 5, 0.804 3)
	(0.268 3, 0.611 1)	(0.055 8, 0.831 8)
	(0.241 9, 0.629 9)	(0.050 3, 0.840 0)
(0.154 5, 0.625 0)	(0.230 8, 0.659 7)	(0.035 7, 0.872 4)
	(0.307 3, 0.586 5)	(0.047 5, 0.844 9)
	(0.312 0, 0.577 5)	(0.048 2, 0.841 6)
(0.140 9, 0.688 0)	(0.272 6, 0.630 1)	(0.038 4, 0.884 6)
	(0.273 1, 0.652 6)	(0.038 5, 0.891 6)
	(0.330 5, 0.567 0)	(0.046 6, 0.867 7)
(0.173 6, 0.641 8)	(0.657 8, 0.270 6)	(0.114 2, 0.738 7)
	(0.284 0, 0.667 5)	(0.049 3, 0.880 9)

表 12 方案二指标权重表  
Tab.12 Indicator weight of scheme 2

一级指标 A	二级指标 B	总权重
(0.257 6, 0.641 1)	(0.280 6, 0.575 0)	(0.072 3, 0.847 5)
	(0.279 5, 0.606 2)	(0.072 0, 0.858 7)
	(0.262 9, 0.603 9)	(0.067 7, 0.857 8)
(0.274 7, 0.631 4)	(0.264 8, 0.605 0)	(0.072 7, 0.854 4)
	(0.240 3, 0.651 6)	(0.066 0, 0.871 6)
	(0.327 8, 0.542 8)	(0.090 0, 0.831 5)
(0.179 2, 0.734 1)	(0.278 6, 0.592 7)	(0.049 9, 0.891 7)
	(0.259 4, 0.620 6)	(0.046 5, 0.899 1)
	(0.293 2, 0.583 7)	(0.052 5, 0.889 3)
(0.123 9, 0.796 3)	(0.320 1, 0.667 5)	(0.039 7, 0.932 3)
	(0.665 0, 0.317 4)	(0.082 4, 0.861 0)

0.629 9)=(0.050 3, 0.840 0)

同理我们可以得到其他指标的总权重。见表 11 和表 12。

将两个方案的总权重进行集成,由方案一可得:

$$W_1 = \oplus_{i=1}^{11} \omega_i = (0.065\ 5, 0.804\ 3) \oplus (0.055\ 8, 0.831\ 8) \oplus (0.050\ 3, 0.840\ 0) \oplus (0.035\ 7, 0.872\ 4) \oplus (0.047\ 5, 0.844\ 9) \oplus (0.048\ 2, 0.841\ 6) \oplus (0.038\ 4, 0.884\ 6) \oplus (0.038\ 5, 0.891\ 6) \oplus (0.046\ 6, 0.867\ 7) \oplus (0.114\ 2, 0.738\ 7) \oplus (0.049\ 3, 0.880\ 9) = (0.456\ 2, 0.155\ 3)$$

由方案二可得:

$$W_2 = \oplus_{i=1}^{11} \omega_i = (0.072\ 3, 0.847\ 5) \oplus (0.072\ 0, 0.858\ 7) \oplus (0.067\ 7, 0.857\ 8) \oplus (0.072\ 7, 0.854\ 4) \oplus (0.066\ 0, 0.871\ 6) \oplus (0.090\ 0, 0.831\ 5) \oplus (0.049\ 9, 0.891\ 7) \oplus (0.046\ 5, 0.899\ 1) \oplus (0.052\ 5, 0.889\ 3) \oplus (0.039\ 7, 0.932\ 3) \oplus (0.082\ 4, 0.861\ 0) = (0.521\ 6, 0.221\ 1)$$

将上述结果代入公式(14)我们将得出两个方案的评分:

$$\rho(W_1) = 0.5(1+1-0.456\ 2-0.155\ 3)(1-0.456\ 2) = 0.377\ 5$$

$$\rho(W_2) = 0.5(1+1-0.521\ 6-0.221\ 1)(1-0.521\ 6) = 0.300\ 7$$

由  $\rho(W_1) > \rho(W_2)$  可得出方案一更加适合解决该碰撞点的问题,方案一更加节约成本,施工相对简单且安全,但是对于美观程度相对弱一些,而方案二虽然安全美观,但是对于成本要求较高,施工也比较复杂,相对来说更加倾向用方案一解决此处的碰撞问题。从实例中可以得出结果,基于直觉模糊层次分析法建立的 BIM 管线碰撞优化模型是可行的。

## 4 结论

本文根据相关的建筑管线施工规范,在规范中提取相应的信息,从施工成本、施工难度、施工安

全性和施工美观度四个方面建立了相应的指标体系。在直觉模糊环境下,构建了 BIM 管线优化模型,减少了专家和技术人员人为主观不确定性,通过该模型,可以选择最优的管线方案。与层次分析法及模糊层次分析法相比,使用直觉模糊层次分析法的优势在于可以避免一致性检验不通过时,进行重复打分。管线设计时,由于碰撞点较多,专家逐一的评价,通过直觉模糊层次分析法可以大大减少专家重复打分的时间,提高了管线优化的效率。

## 参考文献:

- [1] 刘孟. BIM技术在黄河特大桥项目施工管理中的应用[J]. 施工技术, 2016, 45(S2): 596-599.
- [2] 刘学成. 基于BIM的建筑设备管线协调[J]. 科技创业月刊, 2011, 24(4): 168-170.
- [3] 纪凡荣, 徐友全, 曾大林, 等. BIM技术在某项目管线综合中的应用[J]. 施工技术, 2013, 42(3): 107-109.
- [4] 夏江波, 李渊, 董琳力, 等. 装配式框架结构施工BIM碰撞模拟研究[J]. 工程建设, 2017, 49(10): 63-66.
- [5] 沈亮峰. 基于BIM技术的三维管线综合设计在地铁车站中的应用[J]. 工业建筑, 2013, 43(6): 163-166.
- [6] 张玉明. BIM在某项目中管线综合的分析与优化[J]. 建材与装饰, 2016(53): 121-122.
- [7] XU Z S, LIAO H C. Intuitionistic fuzzy analytic hierarchy Process[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2014, 22(4): 749-761.
- [8] 徐泽水. 直觉模糊信息集成理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [9] 顾婧, 任珮嘉, 徐泽水. 基于直觉模糊层次分析的创业投资引导基金绩效评价方法研究[J]. 中国管理科学, 2015, 23(9): 124-131.

(责任编辑 王利君)