

基于 TOE 理论的建筑供应链信息共享风险分析

李 洋

(中南林业科技大学土木工程学院, 长沙 410004)

摘要: 识别并应对建筑供应链信息共享风险对于建筑供应链的增值和发展具有重要意义。运用 TOE(技术-组织-环境)理论,从技术、环境、建筑供应链内部 3 个方面选取 16 个指标构建建筑供应链信息共享风险因素清单,并通过 FISM-MICMAC(模糊解释结构模型-交叉矩阵相乘法)模型对各风险因素间的相互关系进行了分析。最后从技术、环境和建筑供应链内部 3 个层面提出减少或避免信息共享风险、提高信息共享效率的建议。

关键词: 建筑供应链; 信息共享风险; TOE; FISM-MICMAC

中图分类号: TU721.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)10-0091-05

信息共享有助于解决建筑供应链中的信息不对称问题,其核心目标是增加供应链的价值,确保企业在激烈的市场竞争中占据优势^[1]。但信息共享过程中出现信息泄露等安全问题会抑制建筑供应链参与方的意愿,进而对建筑供应链的整体绩效造成不利影响。只有找到引发信息共享风险的因素,并提出相应的解决办法,企业才能充分利用信息共享带来的实际利益。因此,厘清建筑供应链信息共享风险具有现实性意义。

目前,国内外学者对于建筑供应链信息共享的研究主要集中于构建信息共享平台、构建信息共享管理框架以及信息共享的相关技术应用等方面。朱雪欣等^[2]构建与装配式建筑供应链相匹配的信息管理区块链,并利用构建好的区块链实现了装配式建筑供应链信息管理系统的建立。张猛展^[3]基于信息传播模型,识别了装配式供应链中的风险,并引入区块链技术来控制装配式建筑供应链上的风险。肖镇江等^[4]建立基于区块链技术的装配式建筑供应链信息管理系统框架,并提出了演化博弈模型,分析博弈方共享信息的影响因素和路径。晏熙钰^[5]采用贝叶斯网络,对装配式建筑预制构件物流中可能出现的信息共享风险进行了深入的量化研究,并识别出了影响信息共享的关键风险要素。

通过对已有研究的回顾可以看出,国内外学者对建筑供应链信息共享问题以及建筑供应链风险展开了许多研究,但少有学者针对建筑供应链信息共享的风险因素进行全面识别。因此,本文以 TOE

理论模型为基础对建筑供应链信息共享风险因素进行分析,利用 FISM-MICMAC 模型,分析各种风险因素之间的相互作用关系,目的是全面探讨信息共享的风险因素及其相关性,从而为提升建筑供应链信息共享的效率提供实用的建议。

1 风险因素分析

1.1 TOE 理论

20 世纪 90 年代,Klein 和 Tornatzky^[6]提出了 TOE(Technology-Organization-Environment)框架理论,即技术-组织-环境框架理论。这个理论广泛用于分析组织采纳新技术的行为,不仅关注技术因素,还包括组织和环境因素的作用。建筑供应链信息共享就是以信息共享技术作为基础来提高建筑供应链的效益,因此需要相关的组织及人员能够正确有效地应用信息共享技术。所以说这类研究实际上也就是对相关的组织和个人能否对此类技术进行有效应用方面的研究。简而言之,借助 TOE 模型完成建筑供应链信息共享风险因素的分类,是非常适用的,而且可行性也非常高。本文运用文献研究和德尔菲法对风险因素进行初步识别和优化,并基于 TOE 理论,从技术因素、建筑供应链内部因素、环境因素三个方面确立风险因素清单。

1.2 风险因素识别

1.2.1 技术方面的风险因素

技术是指组织的内外部技术,它代表了组织的技术水平、技术创新能力以及技术支持。技术方面的风险因素包括软件/技术水平不成熟、缺少完善

收稿日期: 2024-02-19

作者简介: 李洋(1997—),女,湖北十堰人,硕士研究生,研究方向为工程项目管理。

的信息协同平台、人才管理与培训机制不完善等。信息技术的持续发展,使原本的技术水平与生产工具发生转变,成为信息共享的技术支撑。利用好信息技术的同时,规避信息技术带来的风险才能更好地提高信息共享的效率和效益。

1.2.2 建筑供应链内部的风险因素

组织是指企业规模、组织管理结构等,它代表了组织的规模、结构、文化和管理实践。结合建筑供应链的特征,将组织因素修改为建筑供应链内部的风险因素。这些风险因素包括激励措施不到位、参与方信息协同意愿低、参与方资金不足、信息更新不及时等。建筑供应链信息共享涉及多个参与方,激励机制和各参与方间对信息共享的态度对信息共享行为有很大的影响,同时进行信息共享的过程中,各种硬件和软件的投入都需要资金支持。

1.2.3 环境方面的风险因素

环境是指影响组织的社会、政治、经济、法律以及外部资源等外部因素。环境方面的风险因素包括相关法律、法规不健全和信息协同体系不完善。政策环境的制定和实施会引起信息共享的目标与策略的调整,影响信息共享的监督和评估方式,从而影响信息共享的实际效果。因此健全的法律法规和完善的信息协同体系对于信息共享提供了重要保障。

1.2.4 基于 TOE 的建筑供应链信息共享风险因素清单的构建

在基于 TOE 风险因素分析的基础上,通过文献研究和德尔菲法等方法对建筑供应链信息共享风险因素进行筛选比较,最终选取 16 个指标,建立建筑供应链信息共享风险因素清单(表 1)。

表 1 建筑供应链信息共享风险因素清单

因素维度	一级指标
技术因素	软件/技术水平不成熟(F_1)
	缺少完善的信息协同平台(F_2)
	人才管理与培训机制不完善(F_3)
环境因素	相关法律、法规不健全(F_4)
	信息协同体系不完善(F_5)
供应链内部因素	激励措施不到位(F_6)
	信息协同主导单位不明确(F_7)
	合同不完善(F_8)
	参与方企业文化不相容(F_9)
	参与方组织结构不协调(F_{10})
	参与方信息协同意愿低(F_{11})
	参与方资金不足(F_{12})
	参与方缺乏沟通与信任(F_{13})
	参与方道德缺失(F_{14})
	信息更新不及时(F_{15})
	信息失真(F_{16})

2 模型建立

2.1 模糊解释结构模型

解释结构建模(interpretative structural modeling, ISM)作为一种系统科学方法,能够融合专家的实践经验和理论知识,用以确定系统内部因素间的相互作用关系。通过创建多层递进模型,清晰地展现各因素之间的联系。然而,仅仅考虑各要素之间是否存在联系是不够的,很多要素之间的关系并不是绝对的而是模糊的。因此,将三角模糊数和 ISM 模型相结合^[7],深入研究建筑供应链信息共享风险因素的相互影响关系。

2.2 模糊解释结构模型步骤

第一步:数据获取。邀请 5 名在工程领域内从事信息共享相关工作的专家组成一个专家组,每个专家都将根据自己的知识和经验,按照 Li^[8]给出的语言算子和三角模糊数取值表(表 2)确定 16 个影响因素之间的相互影响程度,得到直接邻接矩阵 Z 。

表 2 语言算量和三角模糊数取值

语言算子	三角模糊数	评分标准
影响非常弱(VL)	(0,0,0.25)	1
影响弱(L)	(0,0.25,0.5)	2
影响中等(M)	(0.25,0.5,0.75)	3
影响强(H)	(0.5,0.75,1)	4
影响非常强(VH)	(0.75,1,1)	5

第二步:建立模糊邻接矩阵。通过对专家意见的算术平均值的计算,排除异常数值,使模糊影响度更趋于合理。

$$\tilde{d} = \frac{\tilde{d}_1 + \tilde{d}_2 + \dots + \tilde{d}_n}{n} = (\tilde{a}, \tilde{b}, \tilde{c}) \quad (1)$$

式中: \tilde{d} 为模糊影响度; \tilde{a} 、 \tilde{b} 、 \tilde{c} 分别为经过算术平均值计算后的最小值、最可能值和最大值。

再用均值面积法^[9]去模糊化,这种方法可以简便有效地求得精确影响度 d' ,获得模糊邻接矩阵 D (表 3)。

$$d' = \frac{\tilde{a} + 2\tilde{b} + \tilde{c}}{4} \quad (2)$$

第三步:选取截系数确定截矩阵。在获取了模糊邻接矩阵 D 后,通过设置“截系数 α ”,将该模糊邻接矩阵变换成可直接应用于布尔代数操作的截矩阵 S (Skeleton matrix)。为了计算更简便,取 $\alpha=0.5$ 。

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, & d_{ij} \geq \alpha \\ 0, & d_{ij} < \alpha \end{cases} \quad (3)$$

第四步:推算可达矩阵。用单位矩阵 I 和截矩阵 S 进行布尔代数幂运算,经过一定的幂次运算,所得的乘积均为相等,就可以得到可达矩阵 R 。

表 3 风险因素的模糊邻接矩阵

因素	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}
F_1	0	0.750 0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5
F_2	0.062 5	0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.750 0	0.500 0
F_3	0.062 5	0.062 5	0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5
F_4	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0	0.500 0	0.750 0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5
F_5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0	0.062 5	0.062 5	0.500 0	0.062 5	0.062 5	0.250 0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5
F_6	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.750 0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5
F_7	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.500 0	0.250 0
F_8	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.750 0	0.500 0	0	0.062 5	0.062 5	0.250 0	0.062 5	0.062 5	0.250 0	0.062 5	0.062 5
F_9	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.250 0	0.500 0
F_{10}	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.500 0	0.250 0
F_{11}	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.750 0	0.250 0
F_{12}	0.062 5	0.750 0	0.750 0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.500 0	0	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5
F_{13}	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.937 5	0.062 5	0	0.062 5	0.062 5	0.062 5
F_{14}	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0	0.500 0	0.750 0
F_{15}	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0	0.062 5
F_{16}	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0.062 5	0

$$(S + I) \neq (S + I)^2 \neq \dots \neq (S + I)^{k-1} \neq (S + I)^k = (S + I)^{k+1} = R$$

第五步:层级划分。分析出各要素的先行集 $P(n_i)$ 、可达集 $Q(n_i)$ 和共同集 $T(n_i)$,如果一个要素的可达集和共同集是相同的,那么这个元素就是最上级元素,这样就可以得到最高层的风险因素集;再移除最高层要素集中要素所在的行与列,获得新的可达矩阵,再按照相同的规则进行判定,直到找到最底层要素集为止。

$$\begin{cases} P(n_i) = \{n_j | n_j \in n, m_{ij} = 1\} \\ Q(n_i) = \{n_j | n_i \in n, m_{ji} = 1\} \end{cases} \quad (4)$$

第六步:建立解释结构模型(图 1)。

3 风险因素分析与建议

3.1 风险因素的层次分析

(1)直接影响因素为第一层,是导致建筑供应

链信息共享产生风险的最直接原因,在信息共享过程中,此类因素会直接造成建筑供应链信息共享的风险,包括人才管理与培训机制不完善(F_3)、信息更新不及时(F_{15})、信息失真 F_{16} 。各参与方中负责信息共享相关工作的人员对于信息共享的了解程度,对于信息共享相关技术的掌握程度以及操作正确与否直会对信息共享造成影响。信息更新是否及时以及信息是否准确这也是造成信息共享风险与否的直接因素。

(2)间接影响因素是第二层,是导致建筑供应链信息共享产生风险的中间原因,包括缺少完善的信息协同平台(F_2)、信息协同主导单位不明确(F_7)、参与方企业文化不相容(F_9)、参与方组织结构不协调(F_{10})、参与方信息协同意愿低 F_{11} 、参与方道德缺失(F_{14})。参与方信息协同意愿低可能就不

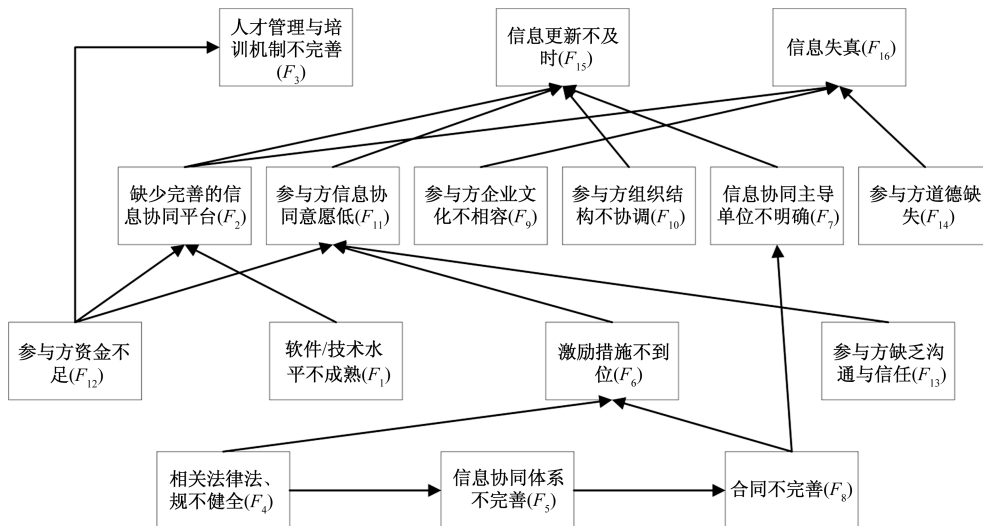


图 1 建筑供应链信息共享风险因素的解释结构模型

会重视人才管理和培训。信息协同平台不完善、信息协同主导单位不明确、参与方企业文化不相容、参与方组织结构不协调以及参与方道德缺失等因素可能会造成信息更新不及时或者信息失真,从而间接引起建筑供应链信息共享风险。

(3)根本影响因素是第三层和第四层,是造成建筑供应链信息共享风险的最深层次的原因,包括软件/技术水平不成熟(F_1)、相关法律法规不健全(F_4)、信息协同体系不完善(F_5)、激励措施不到位(F_6)、合同不完善(F_8)、参与方资金不足 F_2 、参与方缺乏沟通与信任 F_{13} 。软件或技术水平不成熟就不能为信息共享提供技术支撑。相关法律法规不健全、信息协同体系不完善就不能给建筑供应链各参与方提供信息共享的指导。主导单位的激励措施不到位,会导致各参与方对于信息共享的积极性不高。合同不完善会出现各参与方职责不清晰的问题,对信息共享不利。人才管理与培训和完善的信息协同平台都需要大量资金的投入。这些风险因素虽然没有对信息共享造成直接的影响,但是可能会引发直接或间接因素,进而产生信息共享的风险。

3.2 风险因素的 MICMAC 分析

MACMIC(matrices impacts crosses multiplication appliance classement)即交叉矩阵相乘法,对于影响因素的分类研究是一种有效的方法。该方法通过可达矩阵来计算出风险因素的依赖度和驱动力,能够更清晰、准确地分析建筑供应链信息共享风险因素之间的相互影响关系和程度。

根据可达矩阵求出建筑供应链信息共享各风险因素的驱动力和依赖度,如表 4 所示。

根据表 4 绘制建筑供应链信息共享风险因素驱动力-依赖度如图 2 所示。

各风险因素根据其驱动力和依赖度可分为四类。

自治因素(I):驱动力和依赖度都较弱,包括 F_1 、 F_3 、 F_5 、 F_6 、 F_7 、 F_9 、 F_{10} 、 F_{13} 。建筑供应链信息共

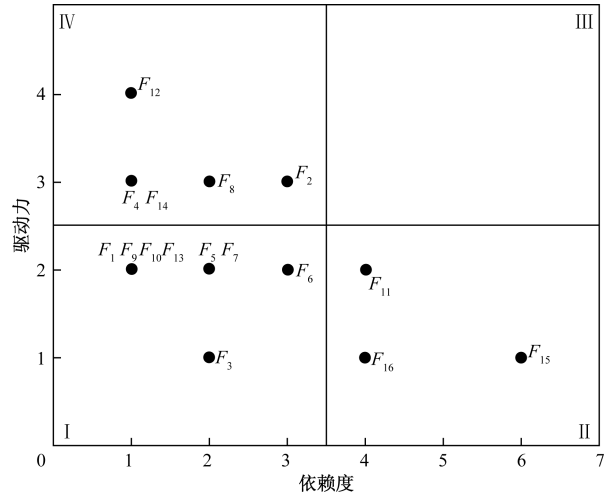


图 2 建筑供应链信息共享风险因素驱动力-依赖度

享风险因素 FISM 中的一些间接影响因素属于自治因素,其特征符合其在模型中的层级。自治因素受其他因素的影响相对较小,对其他因素的影响也较小。因此为了减少或避免信息共享风险,提高信息共享效率,需要多方参与并协调控制。

依赖因素(II):驱动力较弱但依赖度较强,包括 F_{11} 、 F_{15} 、 F_{16} 。建筑供应链信息共享风险因素(FISM)中的直接影响因素大多是依赖因素,此类因素受其他因素的影响较大,又直接影响建筑供应链信息共享。信息更新不及时、信息失真属于间接影响因素层级的同时也属于依赖因素。尽管这些因素可能会对信息共享的风险产生影响,但由于许多相关单位的参与,它们的依赖性比同级别的其他因素更强。

联动因素(III):驱动力和依赖度都较强,此类因素不稳定,本系统中不存在联动因素。

独立因素(IV):驱动力较强但依赖度较弱,包括 F_2 、 F_4 、 F_8 、 F_{12} 、 F_{14} 。建筑供应链信息共享风险因素(FISM)中的根本影响因素部分分布为独立因素,其特征符合其在模型中所处层级。独立因素几乎不受其他因素影响但对其他因素的影响较大。因此,处理好此类因素是降低建筑供应链信息共享风险的根本。

MICMAC 分析表明,建筑供应链信息共享需要注意的风险因素,基本集中在自治因素和独立因素中。其中 F_{12} (参与方资金不足)是驱动力最强的风险因素,应着重考虑,而 F_{15} (信息更新不及时)是依赖性最强的风险因素,可以通过解决其他风险因素来解决。

3.3 建议

(1)技术层面。一是积极开展与软件开发商、

表 4 风险因素的驱动力、依赖性数值

因素	驱动力	依赖度	因素	驱动力	依赖度
F_1	2	1	F_9	2	1
F_2	3	3	F_{10}	2	1
F_3	1	2	F_{11}	2	4
F_4	3	1	F_{12}	4	1
F_5	2	2	F_{13}	2	1
F_6	2	3	F_{14}	3	1
F_7	2	2	F_{15}	1	6
F_8	3	2	F_{16}	1	4

协会、研究机构、建筑相关企业的合作,推动新技术的发展;二是完善信息共享所需的硬件设施和信息共享平台,确保信息共享系统的安全性,并防止外部干扰和入侵导致信息泄露;三是重视技术人才的培养,培养有经验的人才以应用新方法和技术,加快技术升级,从而改善信息共享风险问题。

(2)环境层面。建筑供应链的信息共享涉及业主、施工方、设计方、监理方、供应商等多个主体,明确的指导方针和完善的政策法规体系是其顺利、高效运行的重要保障。因此制定完善的法律、法规和协同体系,健全相关的信息共享机制,保证信息共享的顺利进行。除此之外,推动相关工作对信息共享的管理技术进行持续的改进与创新,鼓励相关机构进行信息共享,推进信息共享规范化。

(3)供应链内部层面。一是完善合同,明确划定各参与方信息共享的责任权利,增强各参与方之间的信任关系,严格遵守合同规定,积极信息共享,杜绝不道德行为,避免信息隐瞒或泄露,造成其他方利益受损;二是设立激励机制,推动各方进行信息共享;三是加强监督工作,对不积极参与信息共享的方进行惩罚;四是增加资金投入,提升管理人员对信息共享的重视,加强专业人员培训,完善信息平台或系统,进一步提高信息共享效率。

4 结论

将 TOE 理论引入建筑供应链信息共享风险分析领域,构建建筑供应链信息共享风险因素清

单,为今后的信息共享风险分析提供理论支持。采用模糊 ISM 方法对建筑供应链信息共享风险因素进行分析和层次划分,确定造成建筑供应链信息共享风险的直接、间接和根本影响因素。随后使用 MICMAC 方法找出关键风险因素并提出相关建议。

参考文献

- [1] 朱美玉. 基于 BIM 的建筑供应链信息共享研究[J]. 建材发展导向(上), 2017, 15(11): 394-395.
- [2] 朱雪欣, 梁文哲, 穆庆蕊. 基于区块链的装配式建筑供应链信息管理系统构建[J]. 青岛理工大学学报, 2022, 43(3): 17-25.
- [3] 张展展. 信息传播视角下装配式建筑供应链的风险研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2021.
- [4] 肖镇江, 章胜平, 冯靖, 等. 基于区块链技术的装配式建筑供应链信息共享演化博弈[J]. 土木工程与管理学报, 2023, 40(3): 144-153.
- [5] 晏熙钰. 装配式建筑预制构件物流信息共享风险评估研究[J]. 中国市场, 2023(10): 185-188.
- [6] KLEIN K J, TOMATZKY L G. Innovation characteristics and innovation adoption implementation: a meta analysis of findings[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 1982, 29(11): 28-45.
- [7] 闫碧琼. PPP 项目关键风险的相互影响关系研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.
- [8] LIR J. Fuzzy method in group decision making[J]. Computers & Mathematics with Applications, 1999, 38(1): 91-101.
- [9] 翟胜. 基于贝叶斯网络的复杂系统可靠分析方法研究与应用[D]. 天津: 天津工业大学, 2016.

Risk Analysis of Information Sharing in Construction Supply Chain Based on TOE Theory

LI Yang

(School of Civil Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: Identifying and addressing the risks of information sharing in the construction supply chain is of great significance for the value-added and development of the construction supply chain. Using the TOE (Technology Organization Environment) theory, 16 indicators were selected from three aspects: technology, environment, and internal aspects of the construction supply chain to construct a list of risk factors for information sharing in the construction supply chain. The interrelationships between various risk factors were analyzed using the FISM-MICMAC model. Finally, suggestions are proposed to reduce or avoid information sharing risks and improve information sharing efficiency from three aspects which are technology, environment, and internal construction supply chain.

Keywords: construction supply chain; information sharing risks; TOE; FISM-MICMAC