

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2022.01.016

建筑施工企业创新绩效提升前因组态与路径

雷敏琛¹, 蔡彬清¹, 吴志鸿², 陈哲¹

(1. 福建工程学院 管理学院, 福建 福州 350118;
2. 中建海峡建设发展有限公司, 福建 福州 350015)

摘要: 为帮助企业开展技术创新活动, 推动建筑业高质量发展, 基于 100 家福建省建筑施工企业的调查数据, 从组态视角, 运用模糊集定性比较分析方法(fsQCA), 探究创新投入、创新合作、创新队伍、创新激励、创新条件与建筑施工企业创新绩效的多重并发因果关系。研究发现, 建筑施工企业创新绩效是受多重因素共同作用, 根据核心因素总结双驱突围型、三驱突围型、多元驱动发展型三条非对称性提升路径, 为选择不同路径的企业提供启示。

关键词: 建筑施工企业; 创新绩效; 影响因素; 模糊集定性比较分析方法(fsQCA)

中图分类号: F270

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2022)01-0096-07

Configuration and promotion path of influencing factors affecting innovation performance of construction enterprises

LEI Minchen¹, CAI Binqing¹, WU Zhihong², CHEN Zhe¹

(1. School of Management, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2. CSCEC Strait Construction and Development Co., Ltd., Fuzhou 350015, China)

Abstract: This study aims to help construction enterprises carry out technological innovation activities and promote high-quality development of the construction industry. Based on the survey data of 100 construction enterprises in Fujian Province, from the perspective of configuration, the fuzzy set qualitative comparative analysis method (fsQCA) was used to explore the multiple concurrent causality between innovation investment, innovation cooperation, innovation team, innovation incentive, innovation conditions and innovation performance of construction enterprises. It is found that the innovation performance of construction enterprises is affected by multiple factors. According to the core factors, it can be summed up as three asymmetric improvement paths for the innovation performance of construction enterprises, namely, double-drive breakthrough, three-drive breakthrough and multiple-drive development, which provides enlightenment for enterprises that choose different paths.

Keywords: construction enterprises; innovation performance; influencing factors; fuzzy set qualitative comparison analysis method (fsQCA)

创新是引领发展的第一动力, 以高质量创新引领高质量发展, 推动高质量发展必须坚持创新在全局中的核心地位。我国是建筑大国, 传统建筑业依靠资源拉动的粗放生产建设方式, 存在低效率、高耗能、信息化水平低等问题, 我国建筑业正处于绿色化、智能化、工业化、管理现代化转型的关键期和挑战期。国家和各地政府部门高度重视建筑企业技术创新发展, 出台了一系列政策和

收稿日期: 2021-12-30

基金项目: 福建省创新战略研究项目(2020R0077); 福建省科技重大专项(2019HZ07011); 福建省社科规划项目(FJ2019B091, FJ2020B040)

第一作者简介: 雷敏琛(1995—), 女, 福建宁德人, 硕士研究生, 研究方向: 工程经济与项目管理。

通信作者: 蔡彬清(1980—), 女, 福建宁德人, 教授, 博士, 研究方向: 创新管理与产业发展。

办法,鼓励企业加大创新投入、提升创新水平。建筑企业也越来越重视技术创新,但仍存在不少问题,如研发投入有限、缺乏系统的创新战略和规划;部分创新要素管理虽受重视,但仍忽视多种要素协同管理;虽然有创新成果产出,但创新成果转化利用率仍较低。因此深入研究建筑施工企业技术创新绩效,提升企业创新能力,在当今高质量发展的要求下显得尤为重要且紧迫。

创新绩效是企业创新水平、竞争力和价值的重要体现。建筑施工企业创技术创新是一个复杂的现实情况,同时受多种因素的共同影响,产生创新绩效的路径并非完全相同。现有研究集中于创新投入、创新合作、创新队伍、创新激励、创新条件对企业创新绩效的单向线性影响,缺乏各因素间相互依赖以及组合效应的分析。当前,探索三种以上因素的联动组态对建筑施工企业创新绩效影响以及建筑施工企业创新绩效提升路径的成果尚不多见。为此,区别传统视角分析自变量与因变量的因果对称性及边际“净效应”,本研究从组态理论视角,应用模糊集定性比较分析法(fsQCA),分析建筑施工企业创新绩效的多重并发因果关系和非对称性,探索建造施工企业创新绩效影响的关键因素,寻求提升创新绩效的有效路径,以丰富建筑施工企业创新绩效相关研究,为建筑施工企业创新驱动发展提供借鉴和参考。

1 建筑企业创新绩效及影响因素

从熊彼特提出“创新”概念以来,企业创新一直是国内外学者关注的热点。高建等将创新绩效界定为企业创新过程的效率、产出成果和对企业商业成功的贡献,包括创新产出绩效和过程绩效^[1]。建筑业的技术创新活动基于建设的产品而产生,不同于其他行业,建筑施工企业的创新绩效既体现了企业新想法和概念的产生,如建筑施工企业的科学技术专利、工法、标准、论文等产出积累,也体现了将新发明应用至企业产品创新的过程,如优质工程、示范工程、奖项等创新效益方面。企业创新绩效是多因素共同作用的产物。刘桦等证实建筑企业的创新合作与资金、人才等内部创新要素对技术创新绩效有影响作用^[2],李成福等基于对 172 家建筑施工企业的实证研究,提出加强人力资本的投入、建立人才激励机制、深化外部合作网络等提高建筑施工企业创新绩效的建议^[3]。

当前企业创新绩效影响因素的研究主要集中在三个层面,首先是资源条件层面,研究证明:创新投入是创新的基础和保障,创新团队建设是提高自主创新能力、科技创新效率和科技竞争力的有效组织形式,信息化建设能提升企业竞争力^[2,4-5]。资源条件是建筑施工企业开展创新活动的关键要素,因此本研究将创新投入、创新队伍、创新条件等因素纳入理论模型。另外,也有学者从人才激励和外部合作层面挖掘企业创新绩效影响因素,认为企业内部激励机制能调动企业科研和创新管理人员积极投身于技术创新活动^[6],加强产学研合作方创新系统的耦合和互动作用能提高创新绩效^[7]。故本研究也将创新激励、创新合作这两个驱动因素纳入模型,从组态视角构建建筑施工企业创新绩效影响因素的理论模型,具体如图 1 所示。组态视角有助于分析因果关系之间的复杂性,进一步挖掘非对称性问题,即建筑施工企业高水平和非高水平创新绩效的原因(路径)是否相同、为何不同的命题。

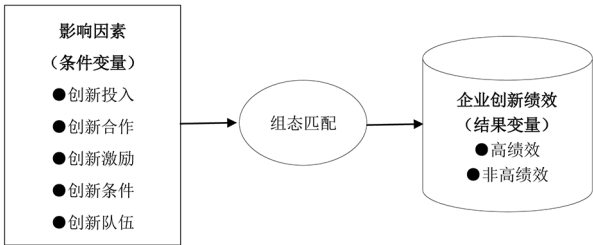


图 1 建筑施工企业创新绩效影响因素组态的理论模型
Fig.1 Theoretical model of the configuration of factors influencing the innovative performance of construction enterprises

2 研究设计

2.1 数据来源

对 2017—2019 年拥有省级企业技术中心的福建省建筑施工企业开展调研,获得 100 家企业数据。企业样本涵盖福州市、厦门市、泉州市、龙岩市、南平市、莆田市、三明市、漳州市等地市,包含 7 家央企、14 家地方国企、79 家民企,具有一定广泛性和代表性。本研究隐去企业名称,并对 100 家企业样本进行编号。企业资质、企业注册执业资格人员数据结合住建部相关网站公开数据收集和整理。企业专利数据来自 Incopat 全球专利文献数据库。工法、标准、优质工程、科技类奖项等数据结

合福建省住建厅及相关机构公开数据的核对整理。企业刊物发文和公开发行专著等数据结合 CNKI 数据库及国家新闻出版署收集和整理。

2.2 变量设计和测度

借鉴文献和《福建省省级企业技术中心(建

筑施工企业)管理与评价标准(DBJ/T13-193-2014)》,以科学性、可操作性、完整有效性为原则,综合考虑现阶段建筑施工企业发展实际情况,构建理论模型的条件变量和结果变量的测度体系,见表 1。

表 1 变量测度体系
Tab.1 Variable measurement system

变量	一级指标	二级指标
条件变量	创新投入	科技活动经费支出额占总产值之比(%)
	创新合作	与国内高等院校、科研院所合作开发的项目数(项)
	创新激励	企业科技创新奖励投入金额(万元)
	创新条件	信息化建设与运行情况(定性)
	创新队伍	企业研究与试验发展人员占职工人数的比重(%)
结果变量 (创新绩效)	省级优质工程	省级优质工程数(项)
	国家级优质工程	国家级优质工程数(项)
	示范工程	省级及以上示范工程数(项)
	省级工法	有效期内省级工法数量(项)
	国家级工法	有效期内国家级工法数量(项)
	有效专利	企业拥有的全部有效专利数(项)
	工程建设标准	工程建设国家标准、地方标准、团体标准(部)
	科技获奖	获国家、省级自然科学奖、技术发明奖和科技进步奖数量(项)
	科研成果	发表科技论文、专著、软件著作权数(篇)

2.3 研究方法

熵权 TOPSIS 法和模糊集定性比较分析法(fsQCA)是本研究的主要方法。熵权 TOPSIS 法基于对各测度指标信息量的客观赋权,排序各指标值对理想、负理想方案的相对距离,最终形成合理结果。本研究运用熵权 TOPSIS 法对各建筑施工企业的创新绩效水平进行综合评价。

定性比较分析法(QCA)由社会学家 Ragin 在 20 世纪 80 年代提出,包括清晰集定性比较分析法(csQCA)、模糊集定性比较分析法(fsQCA)、多值集定性比较分析法(mvQCA)。其中,模糊集定性比较分析(fsQCA)在研究因果关系复杂性和非对称性上具有优势^[8],可用于系统分析如创新绩效、创新投入、创新合作等非二分类的因果变量,且得到的组态路径可靠,更符合建筑施工企业创

新绩效的实际发展情况。

2.4 数据处理

2.4.1 基于熵权 TOPSIS 法的建筑施工企业创新绩效评价

使用熵权 TOPSIS 法计算得到各测算指标熵值和权重,信息熵越小,则该指标提供的信息量越大,权重也越大。建筑施工企业创新绩效测度指标体系熵值和权重值详见表 2,可知,权重排名前三的指标分别是国家级工法、获奖、国家级优质工程。

通过排序各指标与最优、最劣方案的相对距离,形成创新绩效贴近度,并以贴近度的高低确定福建省建筑施工企业综合评价创新绩效的排名,如表 3 所示,企业 4、企业 41 这两家央企位居前两位,优势明显。

表 2 建筑施工企业创新绩效测度指标体系熵值和权重值

Tab.2 Entropy and weight value of index system
for measuring innovation performance of
construction enterprises

一级指标	熵值	权重
省级优质工程	0.864	0.103
国家级优质工程	0.782	0.165
示范工程	0.827	0.131
省级工法	0.970	0.023
国家级工法	0.660	0.257
有效专利	0.866	0.102
工程建设标准	0.977	0.017
科技获奖	0.738	0.198
科研成果	0.996	0.003

表 3 福建省建筑施工企业综合评价创新绩效排名表
(前 20 名)

Tab.3 Rankings of top 20 construction enterprises in
Fujian Province with the best innovation performance

排序	企业编号	企业性质	所在地	相对贴近度
1	企业 4	央企	福州市	0.5528
2	企业 41	央企	厦门市	0.4937
3	企业 75	地方国企	泉州市	0.3902
4	企业 71	民企	漳州市	0.2939
5	企业 28	地方国企	福州市	0.2851
6	企业 29	地方国企	福州市	0.2740
7	企业 5	民企	福州市	0.2226
8	企业 46	民企	厦门市	0.2213
9	企业 1	地方国企	厦门市	0.2135
10	企业 93	民企	莆田市	0.2094
11	企业 97	地方国企	福州市	0.2092
12	企业 2	民企	厦门市	0.2025
13	企业 27	地方国企	福州市	0.1495
14	企业 80	央企	福州市	0.1491
15	企业 89	民企	厦门市	0.1441
16	企业 70	民企	厦门市	0.1269
17	企业 39	民企	福州市	0.1233
18	企业 82	央企	福州市	0.1168
19	企业 37	地方国企	漳州市	0.1104
20	企业 65	地方国企	厦门市	0.1069

2.4.2 基于 fsQCA3.0 软件的数据校准

进行模糊集定性比较分析前,需要用 fsQCA3.0 软件校准,给予数据 0—1 之间的集合隶属关系^[9]。本研究选取 95%、50%、5%分位数点作为完全隶属、交叉点、完全不隶属的定性校准阈值点^[10]。

3 实证分析与讨论

3.1 必要条件检测

必要条件的检测是 fsQCA 的重要步骤,一致性高于 0.9 是判断该前因变量是结果变量必要条件的依据,结果如表 4 所示,通过 fsQCA3.0 软件得到的单个前因变量一致性最高为 0.72。这表明,建筑施工企业高创新绩效不一定必须通过某个前因条件实现。

表 4 单个条件变量的必要性检测
Tab.4 Necessity detection of individual condition variables

前因变量	一致性(consistency)	覆盖度(coverage)
创新投入	0.609204	0.55354
~创新投入	0.723935	0.542555
创新合作	0.606526	0.528426
~创新合作	0.686925	0.533712
创新激励	0.68225	0.644286
~创新激励	0.637059	0.462998
创新条件	0.709033	0.661067
~创新条件	0.614171	0.450831
创新队伍	0.605795	0.53242
~创新队伍	0.715364	0.55153

3.2 组态路径分析

3.2.1 高创新绩效组态

本研究将 0.8 设为真值表的一致性参数阈值,将案例阈值设定为 1, PRI 一致性设置为 0.55,降低潜在组态矛盾^[11]。根据 fsQCA3.0 软件产生的三种解结果,本研究将同时存在于简约解、中间解的前因变量界定为核心条件,只在中间解出现的前因变量界定为边缘条件^[9]。如表 5 所示,最终产生三条解释力强的建筑施工企业高创新绩效组态路径 A1、A2、A3,一致性分别为0.884、0.893、0.856。根据核心条件,将其归纳为双驱突

围型、三驱突围型、多元驱动发展型三种路径。

表 5 建筑施工企业高创新绩效、非高创新绩效组态路径
Tab.5 Configuration path of high innovation performance and non-high innovation performance of construction enterprises

前因变量	高创新绩效组态			非高创新绩效组态			
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4
创新投入		○				●	●
创新合作	○	●	●		●		●
创新激励	●	●	●	○		○	
创新条件	●	●	●	○	●	○	○
创新队伍	○		●		●	○	○
覆盖度	0.322	0.302	0.269	0.558	0.396	0.324	0.365
唯一覆盖度	0.11	0.038	0.032	0.089	0.037	0.027	0.035
一致性	0.884	0.893	0.856	0.866	0.881	0.912	0.957

注：●表示核心条件存在，○表示核心条件缺失，●表示边缘条件存在，○表示边缘条件缺失，空白表示条件可出现也可不出现。

双驱突围型(A1)路径表示,创新队伍水平不高、产学研合作度较低的建筑施工企业可通过高创新激励和高创新条件来提升企业创新绩效。该组态路径可以解释约 32.2%的高创新绩效案例,其中约 11.1%的案例仅能被此路径解释。路径的典型企业是企业 97、企业 89、企业 71。以企业 97 为例,该企业所在地为福州市。虽然研发人员不多,且近三年无产学研合作项目,但该企业重视创新奖励、信息化建设运行;从创新产出上看,该企业近年拥有不少省级以上优质工程项目,是百家建筑施工企业中拥有国家行业标准最多的企业,也是为数不多拥有国家级工法的福建省建筑施工企业,该企业当年科研学术科研成果多,超过福州市和国企平均水平,这说明这类企业创新绩效形成路径符合双驱突围型组态的特征。

三驱突围型(A2)路径表示,低创新投入的建筑施工企业可以通过加大创新合作和创新激励,加强创新条件建设实现高创新绩效。该组态路径可以解释约 30.2%的高创新绩效的案例,其中约 3.8%的案例仅能被此路径解释。典型代表是企业 28、企业 12。调查资料表明,企业 28 虽然研发投入不多,但通过产学研合作、信息化建设,获得了高创新产出,该企业尤其在工法、标准方面表现突出,拥有国家工法 3 项。

多元驱动发展型(A3)路径表明,高创新条件、高创新队伍的建筑施工企业,通过加大创新合作和创新激励,能产生高创新绩效。该组态路径可以解释约 26.9%的高创新绩效的案例,其中约 3.2%的案例仅能被此路径解释。典型代表是企业 4、企业 27。企业 4 拥有大量建筑类注册职业资格人员和高层次研发人员,近年不仅加大信息化投入,更注重培育和优化信息化的专业团队,加大科研基金投入,激发员工研发积极性,同时积极与学校和科研机构合作,重视技术积累储备,夯实了创新基础,反映出该企业技术创新表现优异,也说明其创新绩效的形成与多元驱动发展型路径吻合。

对比高创新绩效路径发现:第一,高创新激励和高创新条件是三种组态路径的核心条件,说明高创新激励和高创新条件是高创新绩效路径的重要因素;第二,高创新合作是两种组态的核心条件,说明高创新合作对形成建筑施工企业高创新绩效的作用很大;第三,高创新激励、高创新条件、高创新合作对企业创新绩效提升有核心作用,但高创新激励和高创新条件在形成路径中的作用大于高创新合作;第四,高创新队伍是一条组态路径的边缘条件,说明高创新队伍对企业高创新绩效也有辅助作用。

3.2.2 非高创新绩效组态

如表 5 所示,四条非高创新绩效路径与高创新绩效路径不一致,这体现了因果关系的非对称性。横向对比发现组态 B1、B2、B4 中,低创新条件发挥核心作用,即低创新条件是形成非高创新绩效组态路径中的重要因素。高创新合作和高创新投入作为核心条件,存在于两个组态中,这说明即使有高创新合作或高创新投入,其它条件低的情况下,也不会产生高创新绩效。

3.3 稳健性检验

选取调整案例一致性和 PRI 一致性阈值进行稳健型检验。首先,将一致性水平阈值从 0.8 增加到 0.83,得到新组态路径与未改变一致性阈值组态路径完全一致;其次,将 PRI 一致性阈值从 0.55 增加到 0.6,其余阈值不变。总体解的一致性从 0.878 升至 0.879,未改变 PRI 一致性阈值的组态结果的解释机制在检验组态结果中均有体现。调整后的组态结果各自的一致性水平均高于可接受的最低水平。因此,研究结论具有稳健性。

4 结论与启示

4.1 结论

基于模糊集定性比较分析方法,以 100 家福建省建筑施工企业为样本,研究建筑施工企业创新绩效的多重并发因果关系和提升路径,研究表明:第一,建筑施工企业创新绩效是由多种前因条件共同作用产生,并存在多条不同的组态路径,体现多重并发因果关系。第二,高水平的创新激励和创新条件是建筑施工企业高水平创新绩效产生的重要组成,对建筑施工企业高创新绩效的影响程度从大到小分别为创新激励、创新条件、创新合作、创新队伍。双驱突围型、三驱突围型、多元驱动发展型等是提升建筑施工企业创新绩效的三条路径。第三,低创新条件是形成非高创新绩效组态路径中的重要关键组成,提出四条非高创新绩效路径。

4.2 启示

建筑施工企业的创新绩效受到多因素的共同影响。企业可以根据实际情况,选择不同的路径进行自身优化,达成高水平创新绩效。通过对比不同提升路径,提出如下建议:

第一,建筑施工企业选择双驱突围型路径时,要重视高创新激励和高创新条件。一方面,建立

科研人员奖励机制。除招揽优秀人才外,还要吸纳、整合科研人员,对人员进行创新型技能培训,激励其不断学习,设置科创基金,给予科研人员物质基础保障,激发其创新动机。企业应关注规避人员流动风险,尤其是核心技术人员,可面向不同人员设计多种方式的激励措施。另一方面,培育能够适应外部快速变化趋势的企业新型多维创新能力,跟踪国内外技术发展趋势与前沿,关注传统建筑施工技术与数字化、智能化、工业化、绿色化等新发展趋势的整合,强化企业信息平台建设和数字化转型发展。

第二,选择三驱突围型路径提升创新绩效时,在高创新激励和高创新条件的基础上,企业要特别关注高创新合作。一方面,积极整合产业链企业以及内外部企业资源,加强内部资源投入和优化,推进有效产学研合作,构建优质创新网络,促进创新要素新资源共享和价值共创。另一方面,建立健全企业科技成果相关管理制度,提升企业科技成果转化效率和能力,积极扩大成果在企业内外部的应用范围,更好实现科技创新成果价值。

第三,对于选择多元驱动发展型路径的建筑施工企业,除高创新合作、高创新激励、高创新条件,高创新队伍也至关重要。制定企业专业技术人才发展规划,完善多层次多类型人才培养机制,加大高层次科技人才培养与引进,积极培育优质研发团队,强化研发带头人创新引领作用,充分发挥人才队伍最佳整体效益。

政府及各级建设行政主管部门也应积极采取相关措施,推动企业创新绩效提升。加强技术创新政策指导和扶持,针对实践发展适时调整企业技术中心建设和评价标准,引导企业技术中心建设和发展。优化建筑施工企业创新绩效综合考核评价机制,鼓励并提供相应政策为建筑施工企业申报科技奖项、参与省级和国家级的科技研发、行业标准制定和工法编制提供支持。加强对建筑行业技术创新成果管理,强化科技成果交流平台建设,推动科技成果交流共享,规范成果转换流程,促进企业科技成果转化和增值。

本研究从组态视角分析建筑施工企业创新绩效的影响因素和形成路径,通过实证分析得到的建筑施工企业高、非高创新绩效的条件组态,为各企业依据实际情况提升创新绩效提供路径选择。未来还可以在以下方面持续深化:一是由于建筑

施工企业技术创新的复杂性,后续会将更多影响因素纳入考虑,完善指标测度体系;二是加强 QCA 方法校准数据的客观性,使数据分级更清晰;三是继续收集更多年份数据,加大在时间维度的解释强度。

参考文献:

[1] 高建,汪剑飞,魏平. 企业技术创新绩效指标:现状、问题和新概念模型[J]. 科研管理, 2004, 25(S1): 14-22.

[2] 刘桦,臧倪亮. 技术创新管理行为对创新绩效的影响:以建筑企业为例[J]. 技术经济与管理研究, 2011(6): 44-47.

[3] 李永福,宋钰,李成伟,等. 智力资本、知识管理与企业创新绩效:以建筑施工企业为例[J]. 会计之友, 2019(21): 69-75.

[4] 梁莱歆,金杨,赵娜. 基于企业生命周期的 R&D 投入与企业绩效关系研究:来自上市公司经验数据[J]. 科学学与科学技术管理, 2010, 31(12): 11-17, 35.

[5] 毕克新,吕健. 信息化条件下制造业企业工艺创新能力评价指标体系研究[J]. 科技进步与对策, 2010, 27(3): 124-127.

[6] 冯晓青. 促进我国企业技术创新与知识产权战略实施的激励机制研究[J]. 社会科学战线, 2013(2): 213-224.

[7] 李成龙,刘智跃. 产学研耦合互动对创新绩效影响的实证研究[J]. 科研管理, 2013, 34(3): 23-30.

[8] RAGIN C C. Set relations in social research: evaluating their consistency and coverage[J]. Political Analysis, 2006, 14(3): 291-310.

[9] 杜运周,贾良定. 组态视角与定性比较分析(QCA):管理学研究的一条新道路[J]. 管理世界, 2017(6): 155-167.

[10] 谭海波,范梓腾,杜运周. 技术管理能力、注意力分配与地方政府网站建设:一项基于 TOE 框架的组态分析[J]. 管理世界, 2019, 35(9): 81-94.

[11] PARK Y, MITHAS S. Organized complexity of digital business strategy: a configurational perspective[J]. MIS Quarterly, 2020, 44(1): 85-127.

(责任编辑:王圆圆)

(上接第 77 页)

[2] QU Y W, WANG T J, CAI Y F, et al. Influence of atmospheric particulate matter on ozone in Nanjing, China:observational study and mechanistic analysis[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2018, 35(11):1381-1395.

[3] 库盈盈,任万辉,苏枫枫,等. 沈阳市不同功能区挥发性有机物分布特征及臭氧生成潜势[J]. 环境科学, 2021, 42(11):5201-5209.

[4] 张夏夏,袁自冰,郑君瑜,等. 大气污染物监测数据不确定度评估方法体系建立及其对 PMF 源解析的影响分析[J]. 环境科学学报, 2019, 39(1):95-104.

[5] 徐慧,张晗,邢振雨,等. 厦门冬春季大气 VOCs 的污染特征及臭氧生成潜势[J]. 环境科学, 2015, 36(1):11-17.

[6] LIU Y F, KONG L W, LIU X G, et al. Characteristics, secondary transformation, and health risk assessment of ambient volatile organic compounds (VOCs) in urban Beijing, China[J]. Atmospheric Pollution Research, 2021, 12(3):33-46.

[7] FAN M Y, ZHANG Y L, LIN Y C, et al. Source apportionments of atmospheric volatile organic compounds in Nanjing, China during high ozone pollution season[J]. Chemosphere, 2021, 263:128025.

[8] 王倩. 2019 年 5 月上海复合污染过程中挥发性有机物的污染特征及来源[J]. 环境科学, 2020, 41(6):2555-2564.

[9] SUN J, SHEN Z X, ZHANG Y, et al. Urban VOC profiles, possible sources, and its role in ozone formation for a summer campaign over Xi'an, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(27):27769-27782.

[10] 林理量,程勇,曹礼明,等. 深圳臭氧污染日的 VOCs 组成与来源特征[J]. 中国环境科学, 2021, 41(8):3484-3492.

(责任编辑:方素华)