

基于DEA的建设工程项目技术创新效率动态评价方法

贺少勃¹ 肖敏² 张鸿鹄² 陈光宇²

¹(中国工程物理研究院, 绵阳 621900) ²(电子科技大学经济与管理学院, 成都 611731)

〔摘要〕 现有文献主要从区域、产业和企业等层面探讨技术创新效率评价方法。本文针对建设工程项目独特性和创新性特点, 分别从工程过程管理和组织行为视角分析技术创新影响因素, 确定效率评价的构成要素, 运用系统动力学构建技术创新能力动态模型。同时, 将动态模型与DEA算法结合, 完整给出建设工程项目的技术创新效率评价方法。同时, 以8个项目进行案例分析, 得到各项目技术创新效率值及排序; 并选取3个关键要素进行敏感性分析, 结果表明提高专利工法申请量是提升效率的最有效途径。研究成果将为管理者提升项目管理绩效提供方法依据。

〔关键词〕 建设工程项目 技术创新效率 数据包络分析 系统动力学 技术创新能力

DOI: 10.3969/j.issn.1004-910X.2017.07.018

〔中图分类号〕 F426 〔文献标识码〕 A

引言

我国实施的“一带一路”战略和主导成立的“亚投行”促进了工程承包企业参与国内外基础设施建设, 加快了工程建设行业发展。为适应城镇化、现代化和工业化发展需求, 建设工程项目规模不断加大, 迫切需要技术创新支持工程建设行业发展, 项目创新性持续提升。技术创新可降低成本、加快进度、提高质量、保护环境, 是衡量建设工程项目成功的关键指标^[1], 因此对项目进行技术创新效率评价显得尤为重要。

现有文献主要从实证分析技术创新影响因素和测评技术创新效率两方面进行研究。在测评技术创新效率方面, Xie等^[2]分析了中国30个省市技术创新效率, 结果表明整体效率呈现上升的趋势, 仍存在较大提升空间; 牛冲槐等^[3]评价了中部六个省份高技术产业创新效率, 结果表明效率值存在较大差异; 杜先进等^[4]探讨了环渤海、长三角9个省市区域技术创新效率, 结果表明北京等期初效率较高的地区效率提升较低, 河北等期初效率较低的地区效率提升较高; 李正锋等^[5]

评价了全国以及东部、中部和西部三大区域的技术创新效率, 结果表明全国效率值较低, 东部、中部和西部地区效率值差距明显, 东部远远高于中西部地区; Pang等^[6]分析了中国29个行业的技术创新效率, 结果表明行业之间效率值差距明显, 高技术行业效率值较高; 李向东等^[7]提出了高技术产业技术创新效率评价方法, 结果表明整体效率值偏低, 但呈现逐年提高的良好趋势; 陈光宇等^[8]考虑纺织企业技术创新的项目层和组织层因素, 构建效率评价方法, 结果表明组织科研能力对效率影响是长期过程, 项目建设和运行对效率影响是短期过程; 于志军等^[9]以安徽省8家军工企业为研究对象, 提出了军工企业技术创新效率评价方法, 结果表明效率值较低且呈现出下降趋势。

上述文献主要从区域、产业和企业等层面构建技术创新效率评价方法。投入指标主要从研发经费支出、研发人员投入等方面构建, 产出指标主要从专利申请量、新产品销售收入、新旧产品收益比等方面构建。然而, 工程承包企业是典型的项目型企业, 技术创新需要从项目提炼, 因此

收稿日期: 2017-03-04

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“基于物联网应用的价值共创模式与价值网络治理机制研究”(项目编号: 7153003); 科技部创新方法工作专项基金项目“四川省创新方法应用推广与示范”(项目编号: 2013IM020400)。

作者简介: 贺少勃, 中国工程物理研究院副研究员, 硕士研究生。研究方向: 光学工程。肖敏, 电子科技大学经济与管理学院硕士研究生。研究方向: 项目管理、创新管理。张鸿鹄, 电子科技大学经济与管理学院博士研究生。研究方向: 项目管理。陈光宇, 通讯作者, 电子科技大学经济与管理学院教授, 博士生导师。研究方向: 项目管理、质量管理与可靠性工程。

有必要从项目层面探究技术创新效率评价方法。再者,上述文献主要从专利申请量和新产品销售收入等方面构建技术创新产出指标。Arundel等^[10]认为专利是保护产品创新的有效方法,而商业秘密是保护技术创新的有效手段。其原因在于申请专利的信息公开制度给竞争者提供模仿机会,而发现和控制技术创新的侵权行为往往非常困难,因此技术创新成果有时不会通过申请专利予以保护,专利申请量无法全面体现技术创新为企业带来的实际利益。再者,建设工程项目是业主订制产品,具有独特性特点。新产品销售收入和旧产品收益比等指标不宜度量技术创新产出。杨百寅等^[11]指出技术创新应当考虑组织行为方面的影响因素。综上,现有文献构建的评价方法难以适应建设工程项目技术创新效率评价,有必要构建新的评价方法。

建设工程项目技术创新效率受众多因素影响,需要全面考虑工程过程管理与组织行为两方面的影响因素,具有复杂性和系统性特点^[11-15]。系统动力学(System Dynamics, SD)在处理具有上述特点的因素时具有独特优势。基于工程过程管理与组织行为方面的影响因素构建SD模型,能够全面、清晰地反映各因素之间的反馈关系并快速量化指标值^[16]。在效率分析方法方面,随机前沿分析方法(Stochastic Frontier Analysis, SFA)和数据包络分析方法(Data Envelopment Analysis, DEA)是目前广泛采用的方法。其中,SFA适用于评价多投入与单产出指标决策单元(Decision Making Units, DMU)之间的相对效率;DEA适用于评价多投入与多产出指标DMU之间的相对效率。建设工程项目技术创新效率涉及多方面投入与产出^[10, 11, 17, 18],应当运用DEA方法予以评价。传统的DEA模型(C²R、BC²模型)具有“自利”倾向且评价结果会出现多个有效DMU,无法对有效DMU进行优劣排序^[19]。针对上述缺陷,Sexton等^[19]对传统DEA模型进行改进,提出了DEA交叉效率评价方法(Cross Efficiency Evaluation Method),该方法消除了传统模型的“自利”缺陷并能够对有效DMU进行优劣排序。

综上,本文从建设工程项目层面探究技术创

新效率评价方法,基于建设工程项目独特性和创新性特点,从工程过程管理与组织行为视角分析技术创新效率影响因素,确定效率评价的构成要素,综合运用SD和DEA评价效率。通过实际案例验证方法具备有效性,研究成果将为管理者改进项目管理绩效提供方法依据。

1 技术创新效率评价指标构建

构建合理的评价指标体系是全面准确评价技术创新效率的基础,根据DEA方法原理,评价指标包含投入指标与产出指标两类。其中,投入指标属于成本型指标;产出指标属于收益型指标。

在投入指标方面,鉴于大量文献将人力投入和经费投入作为投入指标,本文也从这两个方面构建。然而,建设工程项目往往不会设立独立研发部门,不会设置专职研发人员和专项研发经费。项目投入的技术人员是技术创新的主要创造者^[17],因此本文将技术人员作为投入指标。再者,建设工程项目往往由诸多专业工程构成,这些专业工程需要运用相关专利工法才能完成建造,获得专利工法的使用权需要花费资金,这些资金类似于研发经费。参考白杨敏等^[22]的研究,本文将专利工法使用量作为投入指标。

在产出指标方面,专利产出是技术创新的重要产出,现有大量文献将专利申请量作为产出指标。借鉴现有文献,结合建设工程项目建造过程需要运用独特工法,工法与专利具有类似属性,本文将专利工法申请量作为产出指标。如上文所述,专利申请量并不能全面体现创新为企业带来的实际利益^[10]。Lawson等^[18]指出技术创新能力是组织根据不断变化的环境做出反应,并持续将知识和创意转化成产品、实施流程及系统的能力、技术创新能力度量项目的创新性。再者,石书德^[20]认为技术创新能力与创新产出存在显著区别,技术创新能力反映创新资源投入、创新活动实施及管理综合能力,是各种能力的耦合;创新产出是以专利申请量为代表的最终成果。作者认为创新产出与技术创新能力具有互补性,应当综合考虑两方面的因素。因此,本文将技术创新能力作为产出指标。

综上,本文构建了建设工程项目技术创新效率评价指标体系,如表1所示。投入指标为技术人员投入和专利工法使用量,产出指标为专利工

法申请量和技术创新能力。

表1 技术创新效率评价指标体系

类型	名称	来源
投入指标	技术人员投入	项目调查
	专利工法使用量	项目调查
产出指标	专利工法申请量	项目调查
	技术创新能力	SD模型运算

2 技术创新能力影响因素分析与模型构建

2.1 技术创新能力影响因素分析

徐立平等^[13]以及魏江等^[14]构建了技术创新能力度量指标,项目层面的指标包括创新投入能力和创新研发能力,这些指标基于工程过程管理的视角。张爱琴等^[15]以及Lawson等^[18]从组织行为视角探讨技术创新能力影响因素,结果表明除了研发经费投入等“硬性”投入外,组织知识强度、创新文化氛围等“软环境”对技术创新同样重要,良好的创新文化氛围、丰富的组织知识存量可提升技术创新能力。徐立平等^[13]、张爱琴等^[15]以及Lawson等^[18]认为,技术创新能力从以上4个因素予以体现,各因素的关键要素如下。

创新投入能力体现项目对创新资源的投入力度。资源投入是获得技术创新产出的基本保障,其中技术人员是重要的创新投入资源。再者,由于项目建造过程往往需要运用相关专利工法,其体现了建造技术的创新性,专利工法投入能力也

应当作为创新投入能力的度量要素。

创新研发能力通过创新成果转化水平、专利工法研发周期、创新效果三个要素度量^[13]。研发成果转化水平通过专利工法申请数与技术人员投入的比值度量;专利研发周期通过项目实际工期与申请专利工法数比值度量;创新效果通过相对劳动生产率、每百人拥有专利工法量、项目获奖数度量。

创新知识存量受个体知识存量、技术人员比例和个体知识转化为创新的强度三个要素影响^[15]。个体知识存量体现参与人员用于创新的知识储备。团队的技术创新能力以团队个体知识储备为基础,经过整合形成团队的综合技术创新能力;个体知识存量受个体知识吸收量、群体知识转移平台和群体知识存量三个要素影响。

创新文化氛围反映组织文化氛围是否利于技术创新。杨百寅等^[11]研究表明良好的创新文化氛围有利用提高技术创新能力,创新文化氛围从创新推广力度、团队沟通、团队合作意识和创新动力四个要素予以体现。

综上,可构建技术创新能力关键影响因素,如图1所示。技术创新能力包含创新投入能力、创新研发能力、创新知识存量与创新文化氛围四个因素。上述指标基于工程过程管理与组织行为视角,通过定量与定性指标相结合的方式以期全面度量技术创新能力。

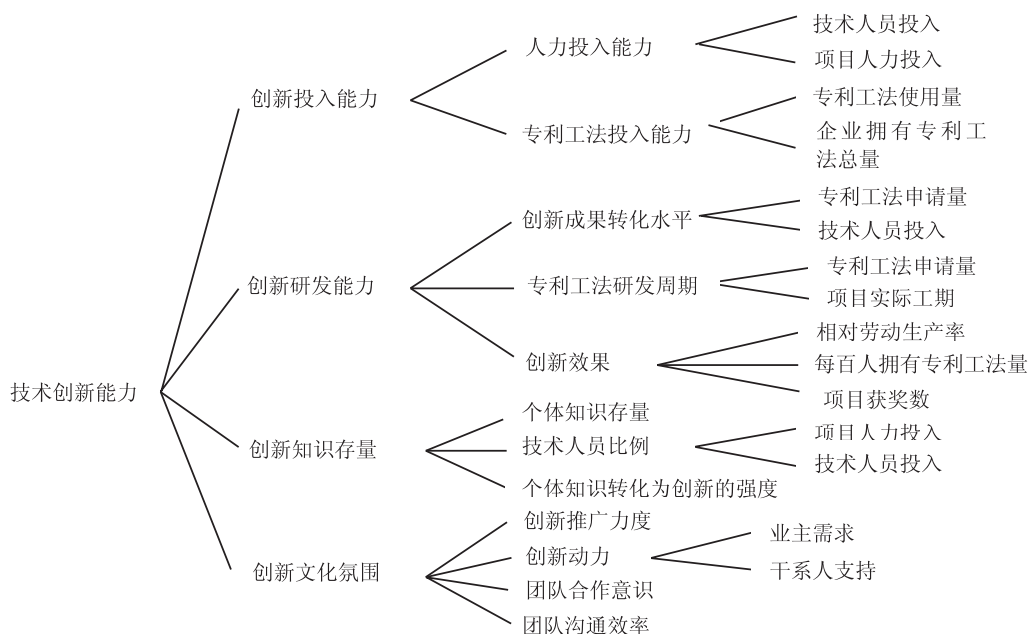


图1 技术创新能力关键影响因素

2.2 技术创新能力影响因素因果关系分析

技术创新能力受到图1所示的关键因素影响,

参考前人^[11, 13-15, 18]研究分析的各因素反馈关系,可构建技术创新能力影响因素因果图,如图2所示。

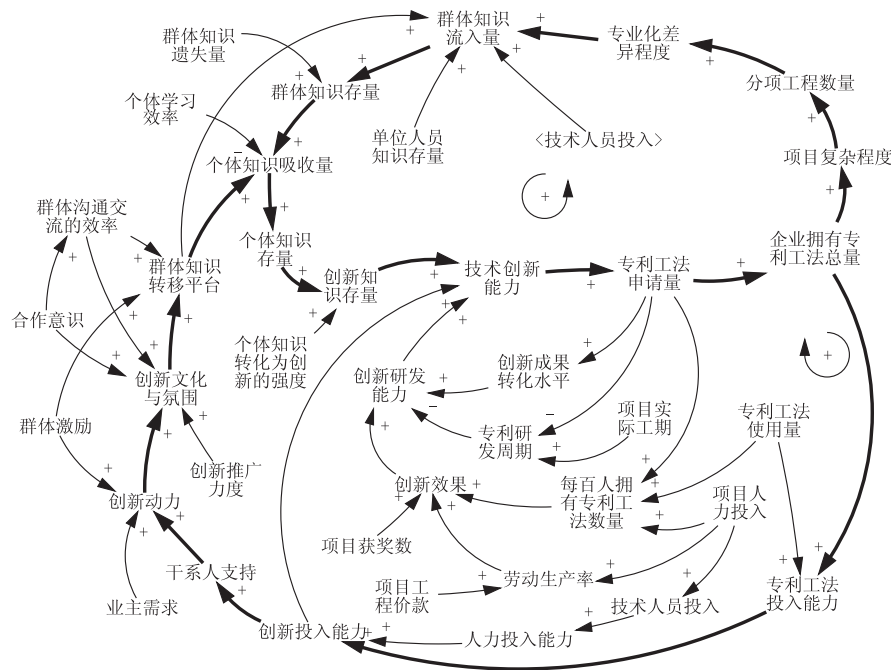


图2 技术创新能力影响因素因果图

2.3 技术创新能力 SD 模型构建

基于图1所示的影响因素与图2所示的因果关系,结合张爱琴等^[15]构建的技术创新作用机理SD模型,可构建技术创新能力SD模型,其中专利工法研发周期为悲观型指标,本文采用乘法反转法进行数值转换。限于篇幅,仅给出部分关键要素定义,如下:

- (1) 专利工法投入能力 = 专利工法使用量 / 企业拥有专利工法总量;
- (2) 专利研发周期 = $1 / (\text{项目实际工期} / \text{专利工法申请量})$;
- (3) 专业化差异程度 = 分项工程数量;
- (4) 个体学习效率 = WITH LOOKUP (Time, ([(0, 0) - (50, 10)], (0, 0), (50, 1)));
- (5) 个体知识吸收量 = 个体学习效率 × 群体知识存量 × 群体知识转移平台;
- (6) 个体知识存量 = INTEG (个体知识吸收量, 30);
- (7) 个体知识转化为创新的强度 = 0.35;
- (8) 人力投入能力 = 技术人员比例;
- (9) 创新研发能力 = $(\text{专利研发周期} + \text{创新成果转化水平} + \text{创新效果}) / 3$;
- (10) 行业平均劳动生产率 = 10.34。

根据上述要素定义,基于工程项目技术创新作用机理SD模型^[15],围绕技术创新能力,运用SD分析软件Vensim PLE构建包含创新投入能力、创新研发能力、创新知识存量、创新文化氛围等关键因素的技术创新能力SD模型,如图3所示。本文构建的技术创新能力SD模型在张爱琴等^[15]模型的基础上,综合考虑了创新投入能力、创新研发能力和创新文化氛围等因素的影响。

在图3所示的技术创新能力SD模型中,初始输入指标有专利工法申请量、专利工法使用量、技术人员投入和项目工程价款等14个指标。业主需求、创新推广力度、合作意识、干系人支持和群体激励5个变量属于定性指标,属于组织行为视角的关键要素;其余9个变量属于定量指标,属于工程过程管理方面的关键要素。

3 案例分析

3.1 数据来源

本文依托重庆某大型国有工程承包企业,研究数据来源于企业职能部门和项目职能部门。为提高DEA评价方法的准确性,选取该企业承包的8个项目作为分析对象,运用上述方法分析其相对技术创新效率。8个项目分别用项目A、项目B、……、项目H表示。

在创新投入方面, 8个项目的技术人员投入处于93~131之间, 项目G投入最少, 为93人; 项目D投入最多, 为131人。8个项目的专利工法使用量处于3~8之间, 项目D使用量最少, 为3项; 项目C使用量最多, 为8项。

在创新产出方面, 8个项目的专利工法申请量位于0~3之间, 项目C最多, 为3项; 项目G未申请。8个项目的技术创新能力位于0.52~0.85之间, 最高值为最低值的1.3倍, 差距较明显。项目C技术创新能力最高, 经分析主要原因在于该项目的专利工法使用量、专利工法申请量和技术人员投入均为最高值。

利用C²R模型分析上述8个项目的技术创新效率, 运用DEAP 2.1软件进行解算, 可得8个项目的综合效率值。结果表明项目A等5个项目的综合效率值为1; 项目F、项目G、项目H的效率值小于1, 表明这3个项目存在投入冗余或者产出不足的现象, 其效率有待优化。为优化资源配置, 需进一步分析各个项目投入资源的冗余量。基于以最低投入实现当前产出的思想, 以生产前沿面为基准对投入指标进行投影分析, 可得各个项目投入指标的投影值, 即为最低投入水平。投入指标的原值与投影值之间的差值即为冗余量, 投入指标投影分析见表4。

表4 投入指标投影分析

项目	技术人员投入			专利工法使用量		
	原值	投影值	冗余量	原值	投影值	冗余量
项目A	98	98	0	5	5	0
项目B	95	95	0	6	6	0
项目C	126	126	0	8	8	0
项目D	131	131	0	3	3	0
项目E	110	110	0	4	4	0
项目F	104	78	26	7	5	2
项目G	93	90	3	5	5	0
项目H	112	86	26	7	5	2

从表4可知, 项目A等5个项目投入冗余量均为0, 表明其以最低的投入实现当前产出, 不存在投入冗余的情况, 与其综合效率值为1的结论相符。项目F的技术人员冗余量为26、专利工法使用冗余量为2; 项目G的技术人员冗余量为3; 项目H的技术人员冗余量为26、专利工法使用冗余量为2。表明这三个项目的投入资源降低以上数量后, 仍然能够实现当前产出量。项目G的技术人员冗余量为3、专利工法使用冗余量为0, 说明该项目的专利使用量未冗余, 其DEA无

效的原因在于技术人员投入存在冗余。

项目A等5个项目的技术创新综合效率值为1, 运用C²R模型无法对效率值进行优劣排序。欲对这8个项目的效率值进行优劣排序并消除C²R模型的“自利”缺陷, 需运用DEA交叉效率评价方法。将表3所示的技术创新效率评价指标值代入DEA交叉效率评价模型^[19], 运用MATLAB 7.0软件解算, 可得技术创新交叉评价效率值与排序, 如表5所示。

表5 技术创新交叉评价效率值与排序

名称	项目A	项目B	项目C	项目D	项目E	项目F	项目G	项目H
效率值	0.784	0.782	0.877	0.749	0.778	0.582	0.598	0.673
排序	2	3	1	5	4	8	7	6

从表5可知, 8个项目的技术创新交叉评价效率值处于0.58~0.88之间, 均值为0.728, 整体效率较高。项目C的效率最高, 为0.877, 其次为项目A、项目B; 项目F效率值最低, 为

0.582。8个项目的技术创新交叉效率值排序为: C>A>B>E>D>H>G>F。

3.3 敏感性分析

本文以项目A为分析对象, 探讨专利工法申

请量、专利工法使用量和项目获奖数3个传统关键要素在1~9范围内动态变化时,其技术创新效率变化趋势。在技术创新能力SD模型中分别将上述3个要素的数值设为1、2、……、9,其余

要素不变,经运行后得到要素变化后的评价指标值。本文给出项目A专利工法使用量变化后的评价指标值,如表6所示。

表6 项目A专利工法使用量变化后的评价指标值

类型	指标名称	指标值								
投入	技术人员投入	98								
	专利工法使用量	1	2	3	4	5	6	7	8	9
产出	专利工法申请量	1								
	技术创新能力	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.67	0.68	0.69	0.71

运用DEA交叉效率评价方法分别解算项目A专利工法使用量变化后与项目B~项目H的相对效率,可得项目A对应的9个效率值。专利工法

申请量、项目获奖数分析方法类似,不再赘述。项目A要素变化后的效率值如表7所示,项目A效率值变化趋势示意图见图4。

表7 项目A要素变化后的效率值

要素名称	效率值								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
专利工法使用量	0.869	0.858	0.851	0.811	0.784	0.755	0.716	0.684	0.666
专利工法申请量	0.784	0.908	0.956	0.962	0.964	0.968	0.970	0.973	0.976
项目获奖数	0.784	0.792	0.796	0.800	0.804	0.808	0.810	0.810	0.811

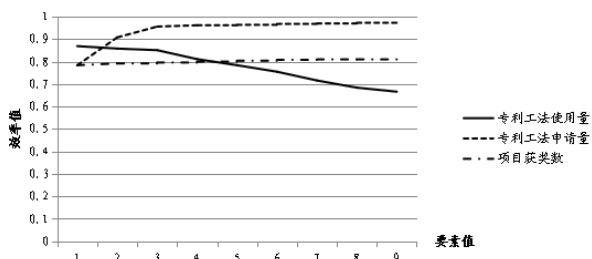


图4 项目A效率值变化趋势示意图

从图4可知,在其它要素保持不变的情况下,当专利工法申请量或项目获奖数增多时,效率值提升。专利工法申请量从1项增加到3项时,效率值从0.784提升至0.956,提升速率较快,随后提升速率缓慢,可认为申请3项专利工法最为有利。项目获奖数增加时,效率值虽然有所提升,但速率缓慢。整体来看,专利工法申请量的提升速率比项目获奖数更快,表明效率值对专利工法申请量敏感性更高。效率值随专利工法使用量增加而降低,在1~3范围内的降低较小,在3~9范围内降低较大,可认为使用1~3项专利工法最为有利。综合上述3个要素来看,提高专利工法申请量是提升效率的最有效途径。

4 结束语

本文针对建设工程项目技术创新效率评价问题,从项目层面探究效率评价方法,本文的创新点和结论如下:

考虑建设工程项目的独特性和创新性特点,从工程过程管理与组织行为方面提取技术创新效率影响因素;构建建设工程项目的技术创新能力SD评价模型,以及结合DEA的技术创新效率动态评价方法;案例分析验证该方法的有效性,投入冗余分析为优化资源配置提供依据;关键要素的敏感性分析结果表明,提高专利工法申请量是提升效率的最有效途径。

上述方法为建设工程项目技术创新效率评价提供有效途径,研究成果将为管理者改进项目管理绩效提供方法依据。

参考文献

- [1] Othman AAE. An International Index for Customer Satisfaction in the Construction Industry [J]. International Journal of Construction Management, 2015, (1): 1~26.
- [2] XieXin, LiuFangfang. Analysis on Regional Technology Innovation Efficiency Evaluation and Influence Factors in China [J]. International Journal of Business & Management, 2015,

- 10(3): 169~176.
- [3] 牛冲槐, 曹海曼. 中部六省高技术产业研发创新的相对效率分析——基于超效率DEA方法[J]. 工业技术经济, 2015, (2): 111~116.
- [4] 杜先进, 胡苏, 徐晟, 等. 面向竞争的区域技术创新效率动态评价[J]. 科技管理研究, 2015, 35(12): 44~49.
- [5] 李正锋, 逮宇锋, 于娇. 基于共同前沿方法的中国区域创新效率及差异研究[J]. 工业技术经济, 2015, (5): 12~19.
- [6] Pang Rui-Zhi, Chiu Yung-ho, HuiYang. The Analysis of Innovation Efficiency in Chinese Manufacturing Industries [J]. International Journal of Organizational Innovation, 2010, 3(1): 35~52
- [7] 李向东, 李南, 白俊红, 等. 高技术产业研发创新效率分析[J]. 中国软科学, 2011, (2): 52~61.
- [8] 陈光宇, 何菊芳, 王瑞琦, 等. 基于系统动力学与DEA的企业技术创新项目效率评价方法研究[J]. 工业技术经济, 2016, 35(4): 43~52.
- [9] 于志军, 杨昌辉, 彭张林, 等. 安徽省军工企业技术创新效率评价研究[J]. 科技管理研究, 2015, (20): 62~66.
- [10] Arundel A, Kabla I. What Percentage of Innovations are patented Empirical Estimates for European Firms [J]. Research Policy, 1998, 27(2): 127~141.
- [11] 杨百寅, 高昂. 企业创新管理方式选择与创新绩效研究[J]. 科研管理, 2013, 34(3): 41~49.
- [12] 白杨敏, 彭语冰, 崔婷. 基于AHP-DEA模型的企业技术创新能力评价[J]. 统计与决策, 2015, (12): 169~171.
- [13] 徐立平, 姜向荣, 尹翀. 企业创新能力评价指标体系研究[J]. 科研管理, 2015, (S1): 122~126.
- [14] 魏江, 黄学. 高技术服务业创新能力评价指标体系研究[J]. 科研管理, 2015, 36(12): 9~18.
- [15] 张爱琴, 侯光明. 工程技术项目创新机理研究——兼论创新方法的驱动作用[J]. 科技管理研究, 2015, (24): 13~18.
- [16] 陈光宇, 王惟贤, 邵云飞, 等. 大科学工程项目效率动态建模方法[J]. 技术经济, 2015, 34(12): 93~100.
- [17] Junior AFDA, Nogueira DG, Shikida. CD Analysis of the Efficiency of National Civil Construction Firms [J]. Brazilian Business Review, 2012, (9): 45~70.
- [18] Lawson Benn, Samson Danny. Developing Innovation Capability in Organizations: A Dynamic Capabilities Approach [J]. International Journal of Innovation Management, 2001, 5(3): 377~400.
- [19] Sexton TR, Silkman RH, AJ Hogan. Data Envelopment Analysis: Critique and Extensions [J]. New Directions for Program Evaluation, 1986, (32): 73~105.
- [20] 石书德. 企业技术创新能力评价研究评述[J]. 科技管理研究, 2013, 33(10): 13~16.

DEA Based Dynamic Evaluation Method of Technology Innovation Efficiency of Construction Projects

He Shaobo¹ Xiao Min² Zhang Honghu² Chen Guangyu²

(1.China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China;

2.School of Management and Economic, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

[Abstract] The existing findings focus on evaluation methods of technology innovation efficiency mostly in the fields of region, industry and enterprise. Considering the unique and innovative features of construction projects, the influencing factors from perspectives of engineering process management and organizational behaviors are given and analyzed. First, a factor framework for evaluation of project efficiency is presented, and then a dynamic model of technology innovation capability is provided by using System Dynamics. Secondly, based on the model combined with DEA, the dynamic evaluation method of technology innovation efficiency for construction project is proposed completely. Finally, a practical example is illustrated for eight construction projects to obtain technical innovation efficiency values and prioritize the projects. And sensitivity analysis of three key elements is carried out to show that the most effective way to improve efficiency is to increase the amount of patent application. The presented methods are useful for project managers to facilitate management performance improved.

[Key words] construction project; technology innovation efficiency; data envelopment analysis; system dynamics; technical innovation capability

(责任编辑: 史琳)