DOI:10.3880/j.issn.1003-9511.2017.03.008

河北省城镇化与水资源系统的耦合协调及预测

马海良[1,2],李珊珊[3],侯雅如[3]

(1.河海大学低碳经济研究所,江苏 常州 213022;2.江苏省"世界水谷"与水生态文明协同创新中心,江苏 南京 211100;
3.河海大学企业管理学院,江苏 常州 213022)

摘要:河北省水资源本底条件差且在城镇化进程中污染严重,导致城镇化发展与水资源系统相互胁迫、相互制约。在合理构建指标评价体系的基础上,利用层次分析法赋予权重,并结合耦合协调度模型对两系统的耦合协调态势进行实证分析。结果表明:2005—2014 年河北省城镇化水平单调递增、发展迅速,而水资源系统发展相对缓慢,且在 2012 年出现明显转折,两系统耦合协调度先升后降。据此采用指数平滑法对 2015—2017 年的耦合协调度进行预测,得出耦合协调度继续降低的预测结论,并提出合理建议。

关键词:城镇化系统;水资源系统;耦合模型;河北省

中图分类号:F407.9 **文献标识码**:A **文章编号**:1003-9511(2017)03-0037-05

目前我国正处于经济高速发展,城镇化快速扩张的历史阶段。在这一阶段中,城镇化不仅包括城镇人口增加,还包括城镇经济发展、城区面积规模扩大、社会文化水平不断提高等经济、空间、社会方面的变化。在城镇化不断推进的过程中,水资源由于其独特的战略基础性和不可替代性在城镇化发展中占据着举足轻重的地位。城镇化发展与水资源系统存在双向作用。在城镇化的起始阶段,不同的水资源水平对其发展具有支撑[1]或限制[2]作用,之后快速的城镇化发展会使水资源环境遭到污染和破坏[3-4],而当城镇化发展进入成熟阶段后,水资源管理水平[5]及利用效率[6]会相应的提高,使城镇化与水资源系统相互促进,协调发展。

河北省位于气候脆弱带,由于受到气候因素和人为因素的影响,该省已成为全国水资源最贫乏的省份之一。在全球变暖的大背景下,河北省的气候也随之发生改变,省内干旱化趋势愈发明显,降雨量在时空分布上严重不均。并且随着城镇化的推进和经济社会的发展,省内地表水资源被严重污染,加上对地下水的过度超采,当地的水资源环境遭到严重破坏,众多的地下水漏斗形成并扩大。因此对该地区进行研究具有重要的现实意义。笔者通过合理构建城镇化与水资源的系统指标体系,利用耦合协调度模型对河北省内城镇化与水资源系统的发展态势及协调程度进行分析,并据此对耦合协调度进行合理预测,以期改善河北省内的水资源环境,促进当地可持续发展。

1 研究区概况

河北省环绕首都北京,地处东经 113°27′~119°50′,北纬 36°05′~42°40′之间,横跨华北、东北两大地区,总面积 18.85 万 km^2,属温带大陆性季风气候。省内河流发源于太行山和燕山山脉,均注入渤海,主要分为海河和东北部的滦河两大水系。多年平均降水量为 531.7 mm,但空间分布不均,降水量东南多西北少。该省人口众多,水资源相对匮乏,2014 年河北省人均水资源占有量为 144.27 m^3/人,约为全国人均水资源占有量的 1/14。随着城镇化的不断推进,城镇用水总量快速上升,水资源污染日益加重。地表污水、臭水河流增多,地下水污染物含量上升,部分城镇的浅层地下水已不能作为饮用水源。水资源问题使当地生态环境水平和人们生活居住质量不断下降。因此,分析研究河北省城镇化与水资源系统的协调耦合程度,有助于了解该省城镇化与水资源发展现状,对合理控制河北省内城镇化进程,改善水资源环境,促进两系统协调发展具有指导意义。

基金项目:国家自然科学基金(41301620,41501126);中央高校基本科研业务费基金(2016B09714)

作者简介:马海良(1979—),男,副教授,博士,主要从事水资源经济与环境规制研究。E-mail:hilima@vip.sina.com

2 数据处理与模型构建

2.1 指标体系的构建

城镇化系统与水资源系统构成复杂且具有可变性,另外,每个省份由于城镇化发展阶段以及水资源状况不同,其评价指标相差较大,因此不存在普遍适用我国各省份的城镇化和水资源系统的指标体系。为了多角度、深层次地分析河北省两系统的耦合协调发展,在参考张胜武等[7]、乔标等[8]研究的基础上,结合河北省现状,将河北省的城镇化系统从人口、经济、社会、空间4个方面来进行评价,水资源系统从水资源本底条件、水资源利用、水资源污染及治理3个方面进行分析。需说明的是,考虑地区发展不平衡的实际情况以及数据的可得性等情况,在选择三级指标时,选择人均指标和总量指标相结合,最终构建的指标体系如表1所示。

表1 河北省城镇化与水资源系统综合指标评价体系

目标层	一级指标	二级指标	三级指标	权重
城镇化与水资源系统耦合	城镇化系统	人口城镇化(0.25)	城镇人口数(万人)	0.0625
			城镇人口占总人口比重(%)	0.1875
		经济城镇化(0.25)	人均GDP(元/人)	0.1875
			第三产业占地区生产总值比(%)	0.0625
		社会城镇化(0.25)	人均城市道路面积(m^2)	0.1250
			医疗卫生机构(个)	0.1250
		空间城镇化(0.25)	建成区面积(km^2)	0.1677
			城市绿地面积(万hm^2)	0.0833
	水资源系统	水资源本底条件(0.333)	人均水资源量(m^3/人)	0.2220
			城市供水总量(亿t)	0.1110
		水资源利用(0.333)	人均用水量(m^3/人)	0.1665
			万元GDP耗水量(m^3/万元)	0.1665
		水资源污染及治理(0.333)	城市废水排放总量(万t)	0.1515
			化学需氧量排放量(万t)	0.0303
			城市污水日处理能力(万m^3)	0.1515

注:括号中的数据为相应权重。

2.2 数据处理及权重分配

2.2.1 数据标准化处理

在指标评价体系中不同指标数据的数量级和量纲存在差异,为了消除影响,特采用如下方法对所获得的数据进行标准化处理。

$$M_{ij}=\begin{cases}\dfrac{x_{ij}-\min(x_j)}{\max(x_j)-\min(x_j)}(\text{正向指标})\\ \dfrac{\max(x_j)-x_{ij}}{\max(x_j)-\min(x_j)}(\text{逆向指标})\end{cases}\quad(1)$$

式中:x_{ij}为第i年第j个指标的初始观测值;M_{ij}为经过标准化后对应的数据。由式(1)可知,经过处理后的数据值分布在[0 ~1]区间内。

2.2.2 指标权重与综合评分的确定

在选取的指标中,不同指标对整个系统影响的重要程度存在差异,所以选用合适的方法对指标进行权重分配至关重要。层次分析法作为一种定性与定量相结合的方法,关注体系层次本身,通过依次对体系中指标的相互比较,最后以量化的形式确定指标间的权重,具有全面、清晰、可靠的优点,在衡量指标相对重要性方面具有良好的适用性。鉴于城镇化和水资源系统中各个指标相互作用,多级指标不可分割,笔者采用层次分析法来对指标进行赋权(表1)。

城镇化与水资源系统的综合评分值由线性加权法得到,运算过程如下:

$$f(U)=\sum_{i=1}^{m}a_ix_i\quad(i=1,2,\cdots,m)\quad(2)$$

$$f(W)=\sum_{j=1}^{n}b_jx_j\quad(j=1,2,\cdots,n)\quad(3)$$

2.3 耦合度与耦合协调度模型

耦合概念是从物理学发展过来的,是指2个(或2个以上)系统或运动形式相互作用、相互影响的过程,其程度大小可以用耦合度来表示。近年来许多学者[9-11]通过构建耦合模型来分析经济和资源系统的协调发展水平。但由于城镇化与资源环境建设具有交错、动态和不平衡的特性,仅仅通过耦合度进行判别并不全面,所以有学者构建了耦合协调度函数来对多系统交互耦合的协调程度进行分析。孙耀彬等[9]所构建的耦合度与耦合协调度模型对之前的耦合模型进行了完善修改,具有较高的可信度与实用性,被其他学者广泛借鉴运用。因此,笔者选用此方法来对河北省城镇化与水资源系统的耦合协调进行分析评价,构建模型如下:

耦合度函数:

$$C=\sqrt{\frac{f(U)f(W)}{[f(U)+f(W)]^2}}\quad(4)$$

耦合协调程度:

$$D=\sqrt{CT}\quad(5)$$

$$T=af(U)+bf(W)\quad(6)$$

式中:T为城镇化与水资源系统综合调和指数,代表城镇化与水资源系统的整体协同效应;a,b为待定系数,且$a+b=1$。由于在城镇化与水资源协调耦合研究的过程中,两系统所处地位相同,所以确定$a=b=0.5$。

借鉴之前学者的成果并进行完善修改,可以将耦合度C分为以下6个水平:当$C=0$时,耦合度极小,此时城镇化与水资源系统相互作用程度微乎其微,两系统无序发展;当$0<C\leqslant 0.3$时,城镇化与水资源系统处于低水平耦合阶段,此时城镇化对水资源系统的不良影响较小,其后果可以被水资源系统承载消化;当$0.3<C\leqslant 0.5$时,城镇化与水资源系统处于拮抗时期,城镇化与水资源系统矛盾显现,水资

源系统承载吸收城镇化发展影响存在困难;当 0.5< C ≤0.8 时,两系统处于磨合时期,人类意识到不良影响,于是投入较多时间与资金到水资源系统的修复中,两系统矛盾减少,进入良性耦合阶段;当 0.8< C <1.0 时,城镇化与水资源系统进入高水平耦合阶段,两系统协调发展,相互促进;当 $C \propto 1$ 时,耦合度逼近最大值,两系统达到耦合的最佳阶段。

通过 D 的数值并结合城镇化与水资源系统综合评分值的大小,笔者将城镇化与水资源系统的耦合协调类型大致划分为 4 大类 12 小类,如表 2 所示。

3 河北省实例分析

3.1 河北省城镇化与水资源系统综合评价与耦合分析

利用从中国统计局官网和《中国统计年鉴》中所获得的数据,采用上述的指标体系和赋权方法可以求出河北省 2005—2014 年城镇化与水资源系统的综合评价值。结合笔者提出的耦合模型,求得城镇化与水资源系统的耦合度与耦合协调度,如表 3 所示。为了更加直观地观察十年间河北省城镇化和水资源系统综合评价值的动态发展和两系统耦合度、耦合协调度的变化,绘制图 1 与图 2 进行分析。

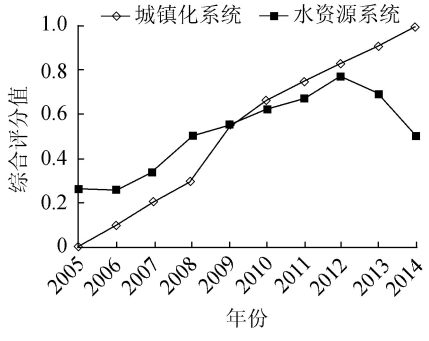

图 1 2005—2014 年河北省城镇化与水资源系统综合指标值变化

通过对图 1 进行观察可以发现:在 2005—2014 十年间,河北省的城镇化相对评分值增长很快,城镇化水平快速提升。由 2005 年评分不足 0.01 发展到 2014 年评分 0.996,充分说明了这十年间河北省的城镇化发展突飞猛进,在人口、经济、社会、空间方面都取得了相当大的成就。如河北省 2014 年的医疗卫生机构为 78 895 家,是 2005 年(18 046 家)的 4 倍多。这与河北省近些年经济快速发展,合理构建城市密不可分。与成果显著的城镇化系统相比,水资源系统的发展差强人意。水资源系统发展相对缓慢,且在 2012 年发生明显转折。2012 年前水资源系统缓慢提升,在 2012 年达到最高峰值 0.777,之后开始下降,到 2014 年水资源系统评分降为 0.504。该转折主要是受到人均水资源量这一指标的影响,2012 年河北省降水量为 17 年来最多,省内水资源总量达到 235.53 亿 m^3,人均水资源量为

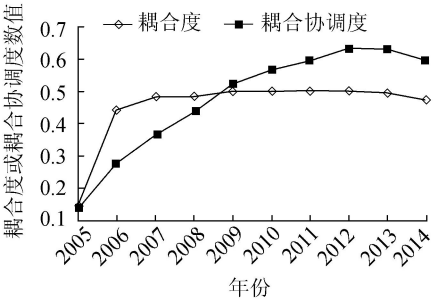

图 2 2005—2014 年河北省城镇化与水资源系统耦合度与耦合协调度变化

表 3 2005—2014 年河北省城镇化与水资源系统综合指标值

年份	城镇化	水资源	耦合度	耦合协调度
2005	0.006	0.263	0.149	0.142
2006	0.095	0.259	0.443	0.280
2007	0.203	0.347	0.483	0.364
2008	0.293	0.505	0.482	0.439
2009	0.540	0.555	0.500	0.523
2010	0.660	0.627	0.500	0.567
2011	0.752	0.670	0.499	0.596
2012	0.829	0.777	0.500	0.633
2013	0.905	0.695	0.496	0.630
2014	0.996	0.504	0.472	0.595

表 2 城镇化与水资源耦合协调度划分阶段

耦合协调度 D	$F(U)$ 与 $F(W)$	耦合协调类型与特征
0< D ≤0.4 (失调阶段)	$F(U)>F(W)$	严重失调,城镇化发展超出水资源系统,两系统退化
	$F(U)=F(W)$	中度失调,城镇化与水资源系统发展同步,两系统退化
	$F(U)<F(W)$	轻度失调,城镇化发展滞后,短期内水资源系统可以承受
0.4 < D ≤0.5 (初级协调耦合)	$F(U)>F(W)$	濒临失调,城镇化发展超前,水资源承载力低,系统退化
	$F(U)=F(W)$	勉强协调,城镇化与水资源系统发展同步,可以被接受
	$F(U)<F(W)$	初级协调,城镇化发展滞后于水资源系统,可以被接受
0.5 < D ≤0.8 (中级协调耦合)	$F(U)>F(W)$	基本协调,城镇化超出水资源系统发展,短期内可以接受
	$F(U)=F(W)$	中级协调,城镇化与水资源系统同步发展,两系统协调耦合
	$F(U)<F(W)$	中级协调,城镇化在水资源环境承载力范围内发展,系统进步
0.8 < D ≤1.0 (高度协调耦合)	$F(U)>F(W)$	良好协调,城镇化发展超出水资源系统的承载范围,但可接受
	$F(U)=F(W)$	高度协调,城镇化与水资源系统同步发展,较理想
	$F(U)<F(W)$	优质协调,城镇化发展在水资源承载范围内,两系统理想发展

324.24 m^3/人,比 2011 年上涨了近 48.9%。另外,2012 年的城市供水量与城市污水日处理能力也相应较大,2012 年城市供水量为 17.24 亿 t,城市污水日处理能力为 522.8 万 m^3,仅次于 2011 年和 2014 年。总体来说,通过图、表可以发现河北省城镇化与水资源系统发展并不同步,城镇化系统发展迅速而水资源系统发展相对缓慢,同时水资源系统整体水平较低,存在较大的提升空间。为了明确了解两系统的耦合协调关系,计算出耦合度与耦合协调度来进行定量分析。

结合图 1 对图 2 进行分析可知:总体来看 2005—2014 年河北省城镇化与水资源系统耦合协调度缓慢上升,而耦合度基本处于平稳态势,只有 2005—2006 年间耦合度发生较大变化,由 0.149 突增为 0.443。这是由于河北省城镇化水平处于单调递增发展,2005 年由于城镇化指标大部分水平处于最小值,导致标准化过程中城镇化综合评分与其他年份产生较大差异,进一步导致在计算耦合度的过程中初始年份与之后年份产生差距。2005 年两系统处于低水平耦合阶段,两系统轻度失调。此时城镇化发展滞后,对水资源系统的影响较小,城镇化发展中产生的不良影响可以被水资源系统承载吸收,短期内可以被接受。

2006—2014 年城镇化与水资源系统的耦合度都处于 0.3 ~ 0.5 的范围内,且逼近临界值 0.5,这说明河北省城镇化与水资源系统处于拮抗时期,将要进入磨合阶段。这 9 年又可根据耦合协调度划分为 3 个阶段:2006—2007 年,在这一时期城镇化与水资源系统处于轻度失调阶段,此时水资源系统发展较快,城镇化发展勉强保持在水资源环境承载力阈值内,短期内无不良后果;在 2008 年两系统进入初级协调阶段,此时水资源系统发展依然高于城镇化发展,两系统发展协调,可以被接受;2009—2014 年,此时两系统进入中级协调耦合阶段且城镇化的发展速度加快,城镇化水平高于水资源系统,两者发展基本协调,短期内可以被接受。同时可以发现 2013 年和 2014 年两系统耦合协调度降低,这与这两年河北省内水资源总量降低,城市供水减少但废水排放量增大具有密切联系。

3.2 河北省城镇化与水资源系统耦合预测

从河北省城镇化与水资源系统耦合协调现状来看,耦合协调程度处于中等水平,协调状况并不理想。但由图 2 可看出,2005—2014 年两系统耦合协调度具有较为明显的发展趋势,Robert 等[12]认为时间序列的态势具有稳定性,最近的过去态势在某种程度上会持续到未来,所以为了更加准确地预测 2015—2017 年内河北省城镇化与水资源系统的协调发展程度,笔者选取指数平滑法对两系统的耦合协调度进行了预测,预测结果:2015 年为 0.56,2016 年为 0.53,2017 年为 0.49,R^2 = 0.97,见图 3。

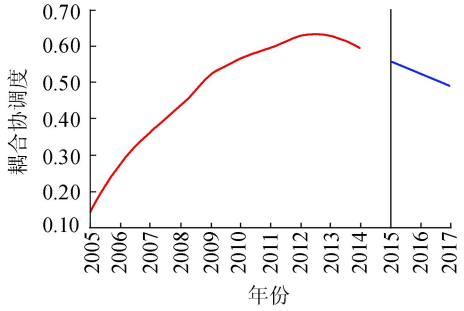

图 3 2005—2017 年河北省城镇化与水资源系统耦合协调度

图 3 中,红线代表观测值,蓝线代表预测值。由预测结果可知:在 2015—2017 年中,河北省城镇化与水资源系统的耦合协调度逐年降低,两系统耦合处于拮抗时期,发展协调程度下降。耦合协调度由中级协调耦合阶段降低为初级协调耦合阶段,城镇化发展对水资源系统的不良影响将会进一步显现出来,两系统矛盾升级,河北省内城镇化与水资源环境发展不容乐观。

4 结论和建议

在合理构建指标评价体系的基础上,利用层次分析法赋予权重,并结合耦合协调度模型对两系统的耦合协调态势进行实证分析。结果表明:2005—2014 年河北省城镇化水平单调递增、发展迅速,而水资源系统发展相对缓慢,且在 2012 年出现明显转折,两系统耦合协调度先升后降。预测结果表明,河北省城镇化与水资源系统的耦合协调度将逐年降低,两系统耦合处于拮抗时期,发展协调程度下降,城镇化发展对水资源系统的不良影响将会进一步显现出来。

为了促进河北省水生态文明城镇的建设,保证水资源的可持续利用,根据以上研究结论,笔者提出以下建议。

a. 调整比重,优化当地产业结构。河北省产业体系主要建立在资源型工业的基础上,产业结构单一,集中度不高。城镇化过程中不合理的产业结构不但降低了水资源利用的效率,而且对水资源环境造成了严重的污染。通过调整不同产业比重,优化产业结构,可以明显减少省内水资源系统的压力,促进水资源系统健康持续发展。

b. 完善制度,保护现有水资源。河北省在城镇化发展过程中水资源污染浪费严重,必须建立健全法律法规,做到水资源管理有法可依,并且完善管理体制和监管体系,加大执法力度,确保节水制度建设

落在实处。同时加强对人们的思想教育,使人们意识到节水护水的重要性,自觉保护水资源,以期改变省内“有河皆干,有水皆污”的现状。

c. 采取各种有效措施实行全面治水。河北省内水资源禀赋相对贫乏,省内水源弥足珍贵。现今省内劣Ⅴ类水体高达30%以上,这不仅降低了人们的生活水平,还威胁着人们的身心健康。通过全面启动河渠清淤及污染整治,改善恶化的水质,保障饮用水源安全,改善水资源生态环境应成为河北省水资源治理的重中之重。

参考文献:

[1] GOBER P. Desert urbanization and the challenges of water sustainability[J]. Current Opinion in Environmental Sustainability,2010,2(3):144-150.

[2] MEINZEN-DICK R,PAUL P. Urbanization and intersectoral competition for water[J]. Urbanization and Water,2001,32(6):27-51.

[3] BISWAS A K. Water management for major urban centers [J]. International Journal of Water Resources Development,2006,2(22):183-197.

[4] BISWAS A K. The global water crisis-water for a thirsty urban world [J]. Brown Journal of World Affairs,2010,17(1):147-166.

[5] JEFFREY K O,KONSTANTINE P G. Quantifying the urban water supply impacts of climate change [J]. Water Re-sources Management,2008,22(10):1477-1497.

[6] 马海良,徐佳,王普查. 中国城镇化进程中的水资源利用研究[J]. 资源科学,2014,36(2):34-41.

[7] 张胜武,石培基,王祖静. 干旱区内陆河流域城镇化与水资源环境系统耦合分析:以石羊河流域为例[J]. 经济地理,2012,32(8):142-148.

[8] 乔标,方创琳. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用[J]. 生态学报,2005,25(11):3003-3009.

[9] 刘耀彬,宋学锋. 城市化与生态系统的耦合度及预测模型研究[J]. 中国矿业大学学报,2005,34(1):91-96.

[10] 方创琳,孙心亮. 河西走廊水资源变化与城市化过程的耦合效应分析[J]. 资源科学,2005,27(2):2-9.

[11] 马海良,施陈玲,王若梅. 江苏省水资源环境和城镇化发展的协调性[J]. 水利经济,2015,33(3):1-5.

[12] ROBERT H S,DAVID S S. Time series analysis and its applications[M]. New York:Springer,2006.

(收稿日期:2016-12-13 编辑:方宇彤)

(上接第25页)

4.3 对比决策分析

应用传统的DCF法得出该项目的净现值为-7 270.87万元,小于零。依据评价规则,在净现值法下该项目是不可行的。然而运用实物期权理论得出项目价值为170 627.37万元,则在净现值法的原则下该项目是完全可行的。可以看出,运用传统的净现值法对该供水PPP项目进行价值评估时,对于投资者而言预示着投资失败。而包含延迟期权和成长期权实际价值的项目投资预示着投资的可行性。

5 结 语

本文对比传统价值评估方法与实物期权方法,认为实物期权方法在城市供水PPP项目的应用中更具合理性和优越性,优化了传统方法进行项目价值评估时的不足,更为客观地为投资者提供决策依据。与以往的研究相比,本文依据项目特性分析得出城市供水PPP项目所具有的期权类型,同时结合项目的复合期权特性,运用模糊综合评价方法对期权定价模型加以完善,得出两种期权形式所构成的复合期权价值在进行投资决策时更具重要意义的结论。

参考文献:

[1] 陈双,夏志坚. 浅谈PPP模式在中过的发展[J]. 经济论坛,2010,483(11):39-42.

[2] 王爱民,范小军. 基础项目融资中项目经济性评价的实物期权方法[J]. 系统工程理论与实践,2004(12):19-23.

[3] 李明顺,陈涛,滕敏. 交通基础设施PPP项目实物期权定价及敏感性分析[J]. 系统工程,2011,29(3):67-73.

[4] 朱秀丽,邱菀华. 基于实物期权的铁路地下化项目模式投资决策分析[J]. 系统工程,2011,29(3):117-120.

[5] 朱敏. 基于实物期权的水电站PROT项目估值的思考[J]. 昆明理工大学学报,2014,39(1):110-113.

[6] 戴天晟,赵文会,顾宝炎,等. 基于实物期权理论的水权期权价值评估模型[J]. 系统工程,2009(5):67-71.

[7] 季闯,程立. 模糊实物期权方法在PPP项目价值评估中的应用[J]. 工业技术经济,2013(2):49-55.

[8] 梅明月,简迎辉. 基于分离净现值法的水电项目估值模型[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2015,37(2):228-231.

[9] COX J C,JR J E I,ROSS S A. An analysis of variable rate loan contracts[J]. The Journal of Finance,1980,35(2):389-403.

[10] HO S P,LIU L Y. An option pricing-based model for evaluating the financial viability of privatized infrastructure projects [J]. Construction Management & Economics,2002,20(2):143-156.

[11] 唐丝丝,刘继才. 延迟期权在大型基建项目风险决策中的应用[J]. 世界科技研究与发展,2010,32(3):410-412.

[12] 安瑛晖,张维. 期权博弈理论的方法模型分析与发展[J]. 管理科学学报,2011,4(2):38-44.

(收稿日期:2017-02-21 编辑:胡新宇)