

PPP 水利项目模糊期权价值评估及影响因素分析

雷震,郝方

(河海大学商学院,江苏南京 211100)

摘要:PPP 水利项目具有周期长、投资大及风险高的特点,借鉴模糊数学思想,构建模糊决策条件下的 PPP 水利项目期权价值评估模型,定量评估分阶段实施的项目模糊期权价值和模糊决策条件下项目整体价值的变动情况。结合实例分析,找出模糊期权价值的关键影响因素,强调 PPP 水利项目实施中应注重现金流价值管理。结果有助于政府和社会资本全面了解项目价值,积极参与项目实施,并合理应对潜在的不确定因素。

关键词:PPP 水利项目;模糊期权;蒙特卡洛;价值评估

中图分类号:F403.7

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2017)06-0033-05

2015 年 3 月,国家发展和改革委员会、财政部和水利部联合出台了《关于鼓励和引导社会资本参与重大水利工程建设运营的实施意见》^[1]。《意见》的出台对政府和社会资本合作(public-private partnership,以下简称 PPP)模式在水利工程中的应用起到显著促进作用,有利于扩展水利工程建设运营的投资渠道,促进水利工程建设运营方式的改革,提升相关项目的实施效率和管理水平,成为解决我国水利项目供给不足、投资资金短缺的最佳方式之一^[2-3]。

PPP 水利项目规模大、投资额高且投资回收周期长,项目建设和运营过程中存在很多不确定因素,这直接导致项目价值呈现出 3 个明显特征:①准经营性和正外部性,既需要付费使用,又要确保区域生产生活的正常开展;②项目投资大且资产专用性强,项目投资具有不可逆性,潜在的沉没成本较大;③不确定性因素多且资金回收周期长,涉及的利益主体众多。实物期权方法是金融期权在实物领域的延伸,是一种考虑不确定因素、战略适应性和管理柔性的价值评估方法^[4]。在解决不确定性因素多、内外部环境复杂且对管理灵活性要求较高的项目价值评估问题方面,实物期权方法具有明显优势。

根据实物期权的定义^[5],只有在投资行为不可逆的环境下决策者的决策灵活性才具有期权价值,而 PPP 水利项目的运作过程正好符合这些特点。

孙建平等^[6]借助传统贴现现金流方法构建不确定条件下 PPP 水利项目动态价值评估模型,并利用 Monte Carlo 对项目实例进行价值评估;何佳^[7]注意到基础设施 PPP 项目的准公益性特征,认为政府支持是推动项目顺利实施的保证,运用 Monte Carlo 量化评估方法分析政府补贴对项目收益水平的影响;杨璐^[8]通过对比传统贴现现金流方法,认为实物期权方法在评估基础设施 PPP 项目价值上更具优越性,并结合实例探讨了该方法的应用;Cheah 等^[9]以具体 PPP 项目为例识别决策过程包含的实物期权价值,借助 Monte Carlo 模拟得出评估结果,并探讨了考虑期权价值条件下政府和社会资本的决策变化;朱秀丽等^[10]以 PPP 地铁项目为分析对象,采用典型的 Black-Scholes 价值评估方法分析项目投资价值,验证了实物期权方法的有效性。

1 基于项目运作过程的期权价值识别

PPP 水利项目实际运作时,由于项目背景、政府意愿以及社会资本需求等主客观条件的差异,往往会采用不同的运作方式。虽然项目工程规模、运营周期各不相同,但是项目的阶段特征和每个阶段的主要决策时点或时段基本一致,从项目准备到最终移交的所有环节构成一个完整的项目生命周期^[11],根据生命周期理论将整个项目运作过程划分为项目准备、融资以及建设施工等不同阶段,如图 1 所示。

基金项目:水利部公益性行业科研专项基金(201301055)

作者简介:雷震(1990—),男,硕士研究生,主要从事项目管理、资源技术经济及管理研究。E-mail:leizhenycyt@126.com

基于各个阶段的决策时点或时段,分析相关决策选择及其对项目价值的影响,便能界定和识别项目的实物期权价值。

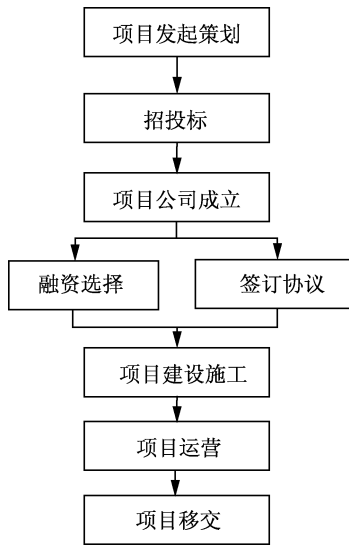


图1 PPP水利项目运作过程

1.1 准备阶段

a. 项目发起。项目发起过程中,主要由项目的初始牵头方(一般为政府部门)根据项目规划的各方面标准灵活选择恰当的投资运营模式,并确定初步的建设运营计划。在此过程中,如果论证认为当前项目投资建设环境比规划的建设计划更理想,可以提前实施项目获得增长期权价值。

b. 项目策划。项目策划是基于项目发起中宏观环境分析的微观层面安排,在明确项目投资的前提下,对建设、运营成本进行初步估计。如果环境分析的结果是有利的,而项目投资价值需要等待进一步论证,可以延迟相关工作获得延迟期权价值;而如果项目价值评估结果已经达到预期,则可以选择落实增长期权。

c. 招投标。进入招投标准备阶段,政府部门会组织项目法人资格初审,和通过预审的社会资本进行项目合作事宜的初步谈判,就特许经营协议、招投标合同等达成初步共识。同时,项目法人也会对项目环境、经济条件、风险因素等进行系统分析,做出下一步的投资选择。调研分析的结果如果比较理想,项目投资者会做出继续参与的决策,获得增长期权价值。

d. 协议签订。在PPP水利项目所有协议中,特许经营协议对政府和社会资本在不同阶段的权利义务进行了明确约束,关系到项目建设、运营、移交以及移交后等阶段的关键决策内容。一般情况下,参与方会要求在协议中就一些不确定因素进行特别约定,增加灵活选择的可能性,在协议履行过程中,可

根据项目实际情况进行动态评估,挖掘其中包含的延迟和增长期权价值。

1.2 融资阶段

项目融资阶段涉及项目融资方案的选择、融资对象的合作以及融资计划的安排等内容。项目融资方案和融资计划中一般会就实施融资的必要条件进行约定,如果项目实施过程未达到预期条件可以推迟融资计划,获得推迟期权价值。

1.3 建设施工阶段

根据项目实施进度合理安排项目建设任务,其中也涉及诸多决策选择环节。在项目建设施工过程中,需要根据施工进度和完工计划之间的差距,动态调整施工计划,甚至需要根据实际情况调整投资建设规模或改变施工方案,这其中涉及增长期权价值;在施工监管过程中,需要通盘考虑质量、安全和效益等环节,通过延迟或提前计划合理规避风险,并获得相应期权价值。

1.4 运营阶段

项目运营环节主要包括计划制定、组织协调和监督管理等内容,以保障项目能够发挥其预期效益的各项措施^[12]。PPP水利项目在建设完成之后,需要组建专门的运营实体实施项目运行工作,保障项目能够正常发挥效益。运营主体要结合项目运行过程的各种影响因素,灵活调整运营决策,选择更为有效的运营模式。例如较大规模的维修养护前,可以评估维修养护决策对项目价值的潜在影响,结合相应的决策选择挖掘其中蕴含的增长或延迟期权价值。

2 模糊条件下的实物期权价值评估模型

2.1 模型的假设

与金融期权分析方法类似,构建实物期权模型评估PPP水利项目价值时,假定项目价值水平 V_t 遵循几何布朗运动函数,即

$$\frac{dV_t}{V_t} = \mu d_t + \sigma d_{w_t} \quad (1)$$

式中: d_{w_t} 为标准维纳变化,满足期望 $E(d_{w_t}) = 0$,协方差 $\text{Var}(d_{w_t}) = d_t^{[13]}$; μ 为项目价值预期增长幅度; σ 为价值波动率。

同时,假设实物期权价值评估基于无套利原则和风险中性原则,对于按照项目实施不同阶段进行投资决策的项目,无风险状态可能仅仅存在于某一个时间点,但仍可采用连续性时间模型,假设无风险利率固定为一个常量^[14]。另外,模型不考虑因为搜集决策信息和决策等待而造成的交易成本。

2.2 PPP 水利项目期权价值的模糊性特点

PPP 水利项目面临内外部环境的各种不确定因素,项目期权价值会随着投资者的灵活决策及项目相关参数的变动而产生变化,呈现出一定的模糊性决策特征,因而传统的实物期权方法也出现了应用瓶颈,笔者拟定的改进思路是:在 PPP 水利项目的实物期权价值评估模型中引入模糊数的概念,将价值评估模型中的部分参数模糊化,结合项目自身特点和模糊数学的优势,运用模糊决策条件下的实物期权模型对项目进行价值评估^[15]。其核心思想是在项目价值评估过程中,用一个比较精确的区间数(模糊数)来描述具有模糊特征的参数,对项目的实物期权价值在一定的变动幅度内进行测算,实现模糊决策条件下模型的科学化,进而得到更贴合项目实际的预期价值,为投资决策实践提供合理的参考依据。

在模糊决策条件下,根据 PPP 水利项目价值评估特点,构建实物期权价值评估模型时,把项目收益现值 S 和项目实施不同阶段的投资额 X_i 进行模糊处理。根据梯形模糊数的定义,用 $\tilde{S} = \langle S_a, S_b, S_c, S_d \rangle$ 表示模糊决策条件下的项目收益现值,用 $\tilde{X}_i = \langle X_{ia}, X_{ib}, X_{ic}, X_{id} \rangle (i = 1, 2, \dots, T)$ 表示模糊条件下项目实施不同阶段的投资支出额,其中 T 表示项目投资持续时间^[16]。在梯形模糊数 \tilde{X}_i 中, $[X_{ia}, X_{ib}]$ 表示不同阶段项目投资支出额的最可能取值范围,其在模糊数 \tilde{X}_i 中对应的隶属度为 1,而 X_{ic} 和 X_{id} 揭示了 \tilde{X}_i 模糊程度的大小, \tilde{S} 中相关要素的含义和 \tilde{X}_i 中一致。同时,根据梯形模糊数期望和方差的相关定义^[17],用 $E(\tilde{S})$ 表示模糊条件下 PPP 水利项目收益现值的期望值,用 $E(\tilde{X}_i)$ 表示项目投资支出额的期望值,进而构建模型评估项目的实物期权价值。

2.3 模型构建

2.3.1 模糊期权价值评估模型

在 PPP 水利项目投资运作过程中,相关各方可根据项目预期收益等因素的变化选择是否继续实施下一阶段项目,并获取相应的期权价值。以欧式看涨期权为例,基于经典 Black-Scholes 模型,用 \tilde{V}_i 表示项目某一实施阶段的期权价值,笔者通过在模型中引入模糊数 \tilde{S} 和 \tilde{X}_i ,得到项目某一实施阶段模糊期权价值的评估模型,在 $t = t_i (i = 1, 2, \dots, T)$ 时刻,其解析式表示如下^[18-19]:

$$\tilde{V}_i = \tilde{S}N(d_1) - \tilde{X}_i e^{-r_f(t_i-t_0)} N(d_2) \quad (2)$$

其中

$$d_1 = \frac{(t_i - t_0) \left(r_f + \frac{\sigma^2}{2} \right) + \ln \left(\frac{E(\tilde{S})}{E(\tilde{X}_i)} \right)}{\sigma \sqrt{t_i - t_0}} \quad (3)$$

$$d_2 = \frac{(t_i - t_0) \left(r_f - \frac{\sigma^2}{2} \right) + \ln \left(\frac{E(\tilde{S})}{E(\tilde{X}_i)} \right)}{\sigma \sqrt{t_i - t_0}} \quad (4)$$

式中: $N(\ast)$ 为标准正态分布累积概率分布函数; r_f 为无风险利率; d_1 和 d_2 满足 $d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{t_i - t_0}$ 。

对于 σ 的估算,为了尽量避免人为因素带来的主观性,提升估算结果的精确度,笔者尝试基于项目全周期的蒙特卡洛模拟对其估算过程进行优化,其实施步骤如下:①明确项目现金流的概率分布。PPP 水利项目的现金流受项目投资额、建设期和经营期的相对长短、投入使用后的供水和发电价格以及续建配套资金需求等因素影响,应结合项目自身的主要特征,将其现金流的概率分布抽象描述为某种经典概率分布形态,并借助蒙特卡洛模拟确定相关参数。②确定模拟次数。依据大数定律,假设 PPP 水利项目的价值服从正态分布 $X \sim N(a, \sigma^2)$,在给定置信水平为 $1 - \alpha$ 的条件下,用 $d = X - a$ 表示均值的误差水平,模拟次数 N 须满足 $N \geq Z_{\alpha/2}^2 \frac{\sigma^2}{d^2}$ 。③折现率的确定。参照行业基准收益率确定项目折现率水平,具体数值来自《建设项目经济评价方法与参数》^[20] 给出的参考值。④净现值和波动率估计。依据项目现金流分布情况,借助蒙特卡洛模拟随机形成一系列现金流数值和相应的净现值 F ^[21]。进而得到全周期的平均净现值 \bar{F} 及其标准差 δ ,则波动率由 $\sigma = \delta / |\bar{F}|$ 估算。

进一步地,对于分阶段实施的 PPP 水利项目,在整个项目实施过程中,任一阶段 $t = t_i (i = 1, 2, \dots, T)$ 的决策选择都对应一定的模糊期权价值,而整体模糊期权价值是由不同实施阶段的模糊期权价值复合构成的。基于式(2),笔者进一步将其扩展为整个项目投资持续期间的多阶段函数表示形式,对应的多阶段模糊期权价值 \tilde{V}_T 表示为

$$\tilde{V}_T = \tilde{S}N(d_1) - \sum_{i=1}^T \tilde{X}_i e^{-r_f(t_i-t_0)} N(d_2) - \tilde{X}_1 e^{-r_f(t_1-t_0)} N(d_2) \quad (i = 1, 2, \dots, T) \quad (5)$$

式(5)即为整个项目投资持续期间的模糊期权价值,根据梯形模糊数的运算性质,可进一步用模糊数形式表示 \tilde{V}_T ,即

$$\begin{aligned} \tilde{V}_T = & \langle \tilde{S}_a N(d_1) - \sum_{i=1}^T \tilde{X}_{ib} e^{-r_f(t_i-t_0)} N(d_2) - \\ & \tilde{X}_{1b} e^{-r_f(t_1-t_0)} N(d_2), \\ & \tilde{S}_b N(d_1) - \sum_{i=1}^T \tilde{X}_{ia} e^{-r_f(t_i-t_0)} N(d_2) - \tilde{X}_{1a} e^{-r_f(t_1-t_0)} N(d_2) \\ & \tilde{S}_c N(d_1) + \sum_{i=1}^T \tilde{X}_{id} e^{-r_f(t_i-t_0)} N(d_2) + \tilde{X}_{1d} e^{-r_f(t_1-t_0)} N(d_2), \\ & \tilde{S}_d N(d_1) + \sum_{i=1}^T \tilde{X}_{ic} e^{-r_f(t_i-t_0)} N(d_2) + \tilde{X}_{1c} e^{-r_f(t_1-t_0)} N(d_2) \rangle \end{aligned} \quad (6)$$

2.3.2 PPP 水利项目模糊期权价值计算

为了进一步得出考虑项目模糊期权价值的 PPP 水利项目整体价值,首先应用传统价值计算方法得出项目净现值 V_F ,其解析式为:

$$V_F = \sum_{i=1}^T C_i (1+r)^{-i} \quad (7)$$

式中: C_i 为项目实施不同阶段的净现金流,由当期的现金流入减去现金流出得到; r 为社会基准折现率。

进而,在模糊决策条件下,PPP 水利项目的整体价值评估包括两部分,即项目净现值 V_F 和项目整个投资持续期间的模糊期权价值 \tilde{V}_T ,其解析式表示为

$$E(\tilde{V}_{F'}) = E(V_F) + E(\tilde{V}_T) \quad (8)$$

式中: $E(\tilde{V}_{F'})$ 为模糊决策条件下项目整体价值的期望值。

式(8)即为 PPP 水利项目整体价值复合评估结果的模糊数表现形式。

3 实例分析

3.1 相关参数的确定

J 水电站特许经营项目由 Z 公司作为建设和运营主体,从项目前期的可行性研究报告可以看出,项目建设周期长,不确定性风险较大。J 水电站项目电站总装机容量在 1 万~5 万 kW 之间,属于小(1)型水电站,基于项目可行性研究报告,项目调整后的总投资额为 30 297.8 万元,年运行费用 1 294 万元,预估年发电收入为 3 770 万元,灌溉收入 1 210 万元,其他收入忽略不计。项目 2014 年开工建设,2017 年完成并网发电,建设期为 3 年,根据特许经营协议约定,特许经营期为 20 年,无风险利率水平为 2.8%,社会基准折现率为 8%。

3.2 模糊实物期权价值评估

3.2.1 波动率的估算

结合 J 水电站特许经营项目预期的现金流情况,将其概率分布简化描述为标准正态分布形态,借鉴相关案例的处理方法,将模拟次数设定为 1 000

次,借助 Crystal Ball(水晶球)软件模拟生成一系列现金流数值,项目现金流的模拟分布情况如表 1 所示,并结合 Excel 工具包形成相应的一系列净现值。

基于 Crystal Ball 对项目现金流模拟得到的项目净现值的期望值 \bar{F} 为 2 7371.32 万元,标准差 δ 为 1 587.38 万元,根据上节实施步骤估算出波动率为 $\sigma = 0.058$,进而年化波动率为 0.2009。

3.2.2 模糊期权价值评估

根据项目特许经营协议,假设项目前期运行进展良好,Z 公司将会兴建第二期设施,当地政府会向 Z 公司提供一项由项目一期完成起 2 年内有效的认购权,意味着 Z 公司拥有一项扩大规模的期权价值。由于项目决策者对投资额和每年预期收益仅能确定一个大致区间,因此需要将实物期权模型模糊化处理,根据已有材料,假设投资额的区间值在 30 000~30 500 万元之间,峰值再浮动 500 万元,即模糊表示为 $\tilde{X} = \langle X_a, X_b, X_c, X_d \rangle = \langle 30\,000, 30\,500, 500, 500 \rangle$,而每年净现金流量为 $\tilde{S}_i = \langle S_{ia}, S_{ib}, S_{ic}, S_{id} \rangle = \langle 2\,700, 2\,800, 100, 100 \rangle$ 。特许经营期为 20 年,折现率为 8%,得 $\tilde{S} = \langle S_a, S_b, S_c, S_d \rangle = \langle 26\,509, 27\,312.49, 981.81, 981.81 \rangle$ 。

表 1 1 000 次模拟的项目现金流分布情况描述

统计量	值
试验	1 000
平均值	2 796.24
中位数	2 808.90
标准偏差	277.71
方差	77 122.99
偏态	-0.12
峰度	2.83
变异系数	0.10
最小范围	1,946.45
最大范围	3,555.63
范围宽度	1,609.18
平均标准差	8.78

注:表 1 为水晶球软件报告,模拟在 2017 年 3 月 25 日 23:29:49 进行,在 2017 年 3 月 25 日 23:29:50 停止。

基于上文中模糊决策条件下的实物期权价值评估模型,J 水电站特许经营项目的模糊期权价值也是一个模糊数,包含期权价值的整体价值也可以用一个模糊数表示。根据式(2)和式(5),借助 Excel 工具包,得到模糊决策条件下的相关参数值,如表 2 所示。进一步得出项目模糊期权价值和整体价值的期望值,其中模糊期权价值期望值为 $E(\tilde{V}_T) = 1 498.43$ 万元,模糊期权价值最可能区间为 (1 293.371, 1 703.489)。根据式(8),项目整体价值的期望值表示为: $E(\tilde{V}_{F'}) = E(V_F) + E(\tilde{V}_T) = 827.207$ 万元。由此可见,借助模糊决策条件下的

表2 模糊条件下的相关参数值

参数	模糊处理	值(区间)
$E(\bar{X})$	$\frac{X_a + X_b}{2} + \frac{X_d - X_c}{6}$	30 250
$E(\bar{S}_i)$	$\frac{S_{ia} + S_{ib}}{2} + \frac{S_{id} - S_{ic}}{6}$	2 750
$E(\bar{S})$	$\frac{S_a + S_b}{2} + \frac{S_d - S_c}{6}$	26 910. 740
d_1	$\frac{(t_i - t_0)(r_f + \sigma^2/2) + \ln(E(\bar{S})/E(\bar{X}))}{\sigma \sqrt{t_i - t_0}}$	0. 899
d_2	$d_1 - \sigma \sqrt{t_i - t_0}$	0. 859
V_F	$\sum_{i=1}^T C_i (1 + r)^{-i}$	- 681. 223
\bar{V}_T	$\bar{S}N(d_1) - \sum_{i=1}^T \bar{X}_i e^{-r_f(t_i-t_0)} N(d_2) - \bar{X}_1 e^{-r_f(t_1-t_0)} N(d_2)$	<1293. 371, 1703. 489 670. 796, 670. 796>

实物期权模型对该水电站特许经营项目进行价值评估,评价结果支持投资者做出进一步投资的决策,项目整体价值相对传统价值评估方法更为合理,投资者预期收益比较可观。同时,项目整体价值可以用模糊形式表示,在一定程度上预测了未来项目价值的分布情况,帮助投资者更加全面地把握项目的整体风险状况。

3.2.3 影响因素敏感性分析

在上述模糊期权价值评估模型中,可以通过改变相关参数取值来判断项目期权价值受相应参数影响的程度,以下考查相关参数变化 ±30%,每次变动 5% 的条件下,项目模糊期权价值随投资额 X 、预期收益现值 S_i 、价值波动率 σ 以及无风险利率 r_f 的变化情况,相关计算通过 Excel 实现,如表 3 所示。

表3 相关参数变化对项目模糊期权价值期望值的影响

各参数变动率/%	模糊期权期望值 $E(\bar{V}_T)$					
	X_{min}	X_{max}	$S_{i min}$	$S_{i max}$	σ	r_f
-30	1559.96	1562.92	1367.29	1369.33	1458.56	1456.52
-25	1550.64	1548.63	1407.84	1411.88	1464.69	1460.60
-20	1544.33	1542.29	1426.31	1428.35	1470.81	1472.85
-15	1530.04	1527.99	1462.64	1464.69	1476.94	1481.02
-10	1511.66	1509.61	1481.02	1483.07	1485.11	1487.15
-5	1501.45	1499.40	1495.32	1497.36	1489.19	1495.32
5	1493.28	1491.23	1513.70	1515.74	1499.40	1503.49
10	1474.90	1472.85	1525.95	1527.99	1505.53	1509.61
15	1466.73	1464.69	1545.16	1548.21	1511.66	1515.74
20	1454.47	1452.43	1560.67	1562.71	1517.78	1521.87
25	1442.22	1440.18	1585.88	1588.92	1523.91	1527.99
30	1429.97	1427.93	1611.26	1617.30	1530.04	1534.12

从表3可以看出,项目期权价值与预期收益现值、价值波动率以及无风险利率之间呈正相关关系,而与项目前期投资额的变化负相关。同时,项目期权价值随预期收益现值变化幅度最大,意味着预期收益现值对项目期权价值具有决定性影响,构成了项目价值的敏感性因素。项目预期收益现值反映的

是项目在运营期间的实际收益状况,与项目主体的经营管理水平、项目实际盈利能力直接相关。因此,决策者应围绕项目现金流价值开展管理,贯彻实施以资产价值提升为核心的项目价值管理理念,对项目运行过程中可能出现的潜在价值损耗进行动态管理,实现项目运营期间和移交后的预期效益。

4 结 语

对于 PPP 模式下的水利项目,为了激发政府和社会资本方参与的积极性,合理应对项目蕴含的各种不确定因素,决策者可以分阶段实施项目融资、建设和运营等环节,允许各参与方动态评估项目价值进而做出下一步决策。PPP 水利项目正处于探索起步阶段,考虑到其项目周期长、投资大且风险高的特点,实物期权分析提供了一种新的价值评估思路,强调项目管理柔性和不确定性的潜在价值,通过期权价值的识别和评估,帮助投资者更加灵活地做出决策选择。

借鉴模糊数学思想,构建模糊决策条件下的实物期权价值评估模型,基于蒙特卡洛模拟进行波动率估算,并结合实例分析检验模型的有效性。结果表明该价值评估方法能够反映项目期权价值和由模糊决策特征造成的价值变动,结合敏感性分析找出模糊期权价值的敏感性因子——项目预期收益现值,强调项目实施中应注重现金流价值管理,帮助政府和社会资本全面了解 PPP 水利项目的真实价值,做出更加科学合理的决策选择。

参考文献:

[1] 国家发展和改革委员会,财政部,水利部. 关于鼓励和引导社会资本参与重大水利工程建设运营的实施意见 [EB/OL]. (2015-03-17) [2017-06-02]. http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201504/t20150402_670131.html.

(下转第 65 页)

因素综合考虑、综合治理。对跨界流域水资源冲突及其脆性的研究是一个崭新的课题,还存在许多问题,如冲突脆性动态评价、脆性预警决策支持系统等。本文研究了因水资源短缺引发的跨界流域水资源冲突脆性,其他的水资源系统脆性,如跨界流域水污染冲突脆性,城市供水系统脆性等,都还有待研究。

参考文献:

[1] 向龙,范云柱,刘蔚,等.基于节水优先的水资源配置模式[J].水资源保护,2016,32(2):9-13.
[2] 邵薇薇,刘海振,周祖昊,等.南方地区城镇化、工业化进程中农业用水演变规律分析[J].水利经济,2016,34(2):11-15
[3] 金鸿章,韦琦,郭健,等.复杂系统的脆性理论及应用[M].西安:西北工业大学出版社,2010.
[4] 胡林果.基于熵与非合作博弈理论的煤矿系统的脆性研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2008.
[5] 刘明.基于能量熵的船舶电力系统脆性分析[J].舰船科学技术,2009,31(3):64-66.
[6] 张晓莉,严广乐.基于沙堆模型的股市脆性[J].哈尔滨工业大学学报,2009,41(10):269-271.
[7] 孙庆荣,韩传峰,陈建业,等.基于FAHP的黄河中下游灾害系统脆性评价[J].自然灾害学报,2005,14(3):104-109.
[8] 韩传峰,陈建业,孙庆荣,等.黄河中下游灾害系统的脆性源控制[J].系统工程理论与实践,2006(6):135-140.
[9] 王成二.小尺寸65Mn钢丝铅浴工艺与脆性的研究

[J].金属制品,1993,19(6):10-14.
[10] 荣盘祥.复杂系统脆性及其理论框架的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2006.
[11] 王华,陆艳.长江三角洲区域跨界水资源冲突及其解决途径[J].水利技术监督,2010(4):11-13.
[12] 韦琦,金鸿章,郭健.复杂系统崩溃的脆性致因的研究[J].系统工程,2003,21(4):1-6.
[13] 丁晓阳.水资源保护行政管理的冲突解决制度[J].中国环境管理,2003,22(4):18-20.
[14] 熊向阳.漳河上游边界水冲突研究[D].南京:河海大学,2007
[15] 牛文娟,王慧敏,牛富.跨界水资源冲突中地方保护主义行为的演化博弈分析[J].管理工程学报,2014,28(2):64-72.
[16] 汪恕诚.我国水资源安全问题及对策[J].地理教学,2010(1):4-7.
[17] 王红旗,侯泽青,秦成.基于突变理论的泉州市水资源安全预警[J],南水北调与水利科技,2012,10(5):1-5.
[18] 水利部海河水利委员会漳河上游管理局.水事大案剖析[R].邯郸:水利部海河水利委员会漳河上游管理局,2008.
[19] 水利部海河水利委员会漳河上游管理局.漳河水事纠纷概况[R].邯郸:水利部海河水利委员会漳河上游管理局,2004-2013.
[20] 李艳,陈晓宏,张鹏飞.突变级数法在区域生态系统健康评价中的应用[J].中国人口·资源与环境,2007,17(3):52-53.

(收稿日期:2017-06-10 编辑:陈玉国)

(上接第37页)

[2] 魏星,赵敏.城市再生水项目社会资本合作方选择[J].水资源保护,2016,32(5):47-52.
[3] 满莉,李雨霏.用PPP模式建设海绵城市[J].水资源保护,2016,32(6):164-165.
[4] 杨春鹏.实物期权及其应用[M].上海:复旦大学出版社,2003.
[5] MARTHA A, NALIN K. Real options[M]. Boston: Harvard Business School Press,1999.
[6] 孙建平,李胜.蒙特卡罗模拟在城市基础设施项目风险评估中的应用[J].上海经济研究,2005(2):90-96.
[7] 何佳.考虑政府支持的PPP项目投资决策研究[D].杭州:浙江大学,2010.
[8] 杨璐.基于实物期权的PPP项目投资决策研究[D].杭州:浙江大学,2008.
[9] CHEAH C Y, LIU J. Valuing governmental support in infrastructure projects as real options using Monte Carlo simulation[J]. Construction Management and Economics, 2006(5):545-554.
[10] 朱秀丽,邱苑华.基于实物期权的铁路地下化项目PPP模式投资决策分析[J].系统工程,2011,29(3):117-120.
[11] THIRAVONG S, 吴海燕.基于委托代理博弈的水利工程PPP项目逆向选择与道德风险分析[J].水利经济,2016,34(4):9-12.

[12] 季闯,袁竞峰,李启明.基础设施PPP项目实物期权界定与分析[J].工程管理学报,2011,8(7):12-27.
[13] 王晖.项目管理理论与方法体系研究[D].昆明:昆明理工大学,2004.
[14] 夏健明,陈元志.实物期权理论评述[J].上海金融学院学报,2005,12(2):34-47.
[15] LIANG T. Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming[J]. Fuzzy Sets and Systems,2006(15):1303-1316.
[16] KAUFMANN A, GUPTA M M. Fuzzy mathematical models in engineering and management science[M]. Amsterdam: North-Holland Press,1988.
[17] 夏念.模糊环境下实物期权在风险投资项目评价中的应用研究[D].长春:吉林大学,2011.
[18] COX J C, ROSS S A. The valuation of options for alternative stochastic process[J]. Journal of Financial Economics,1976(3):145-166.
[19] BLACK F, SCHOLES M. The pricing of options and corporate liabilities[J]. Journal of Political Economy,1973(8):637-659.
[20] 国家发展和改革委员会,建设部.建设项目经济评价方法与参数[M].3版.北京:中国计划出版社,2006.
[21] 康崇禄.蒙特卡罗方法理论和应用[M].北京:科学出版社,2015.

(收稿日期:2017-06-05 编辑:方宇彤)