

# 煤层气开发投资项目不确定性综合评估方法探讨

夏良玉<sup>1</sup> 李世齐<sup>1</sup> 鲁坤<sup>2</sup> 罗东坤<sup>1</sup> 刘键焯<sup>1</sup> 代由进<sup>3</sup> 翟雨阳<sup>4</sup>

<sup>1</sup>(中国石油大学(北京)工商管理学院,北京 102249)

<sup>2</sup>(中国石油天然气集团公司中俄项目部,北京 100007)

<sup>3</sup>(中石油煤层气有限责任公司,北京 100028)

<sup>4</sup>(中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司,北京 100095)

**〔摘要〕** 在评价煤层气开发项目经济效益的过程中,常采用敏感性分析来评估项目的不确定性,但敏感性分析无法综合评估项目的不确定性。本文开展此项研究以期建立简便、可操作的综合不确定性分析方法。为此,利用模拟方案生成数据,对数据进行统计分析,寻找不确定因素与效益指标之间的函数关系。研究发现,当不确定因素在一定范围内波动时,多因素变动对经济效益的综合影响可以近似为单因素影响的线性叠加,即可利用单因素敏感曲线的拟合斜率来构建综合评价公式。线性叠加会产生计算误差,误差随因素变动范围的扩大而增加,不确定因素在±25%范围内波动时,90%以上的数据落在误差区间为±10%的范围之内。文中建立的方法可以对方案进行综合不确定性评价,优选方案。

**〔关键词〕** 煤层气开发 经济效益 风险评估 不确定性分析 内部收益率

DOI: 10.3969/j.issn.1004-910X.2017.07.004

〔中图分类号〕 F424 〔文献标识码〕 A

## 1 问题提出

煤层气开发项目的投资收益低,风险大。尽管当前投入开发的资源已是优选出的有利区块,但绝大部分仍高度依赖补贴政策,经济效益处于临界状态。在经济评价及优选过程中,对此类项目进行有效的不确定性分析尤为重要。主流的分析方法主要有两类,一类是不确定性影响因素的状态和概率已知条件下的风险分析,另一类是概率未知条件下的敏感性分析<sup>[1, 2]</sup>。此处涉及两个基本概念,即不确定性和风险。鉴于在不同的研究领域,甚至不同的学者之间,这两个概念的界定有一定差别,有必要对其加以明确。本文采纳傅家骥<sup>[1]</sup>的划分,将风险分析和敏感性分析并列,并从属于不确定性分析。

基于概率分布的风险分析方法,理论上可以全面评估项目的不确定性,优于敏感性分析。但

煤层气产业处于起步阶段,没有足够的历史数据积累,难以获取客观概率分布;虽然也可以采用专家打分来估计主观概率,但操作过程繁琐,且评价结果受限于专家的经验<sup>[3-8]</sup>。因此,决策实践过程中,主要通过敏感性分析来评价项目的不确定性。敏感性分析包括单因素敏感性分析和多因素敏感性分析。单因素敏感性分析是通过改变一个因素的数值来估算单个因素变化对项目效益产生的影响;多因素敏感性分析是通过改变多个相互独立的因素来进行分析,估算多因素同时发生变化的影响。

单因素敏感性分析的不足在于不能对各类因素的叠加影响进行综合评判。多因素敏感性分析虽然可以得到多维度情景组合对应的效益值,但高维空间的限制使得它很难像单因素分析那样,通过绘制曲线或计算敏感系数来直观地评估因素

收稿日期: 2017-03-19

基金项目: “十三五”国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”下设子课题: 煤层气开发经济评价与风险评估(项目编号: 2016ZX05042-002-004); 中国石油大学(北京)科研基金资助: 基于经济评价的非常规天然气产业政策研究(项目编号: 2462015YQ0718)。

作者简介: 夏良玉, 中国石油大学(北京)工商管理学院副教授, 博士。研究方向: 油气技术经济评价及投资决策方法研究。李世齐, 中国石油大学(北京)工商管理学院硕士研究生。研究方向: 油气资源经济评价。鲁坤, 中国石油天然气集团公司中俄项目部工程师, 硕士。研究方向: 财务管理。罗东坤, 中国石油大学(北京)工商管理学院教授, 博士。研究方向: 油气技术经济, 项目管理。刘键焯, 中国石油大学(北京)工商管理学院硕士研究生。研究方向: 油气投资决策与项目管理。代由进, 中石油煤层气有限责任公司高级工程师, 博士。研究方向: 经济评价及工程造价。翟雨阳, 中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司高级工程师, 博士。研究方向: 煤层气开发。

的影响程度。尤其,当情景因素较多时,效益值数量庞大,增加了评价人员对信息进行分析和处理的难度,例如,考虑3类影响因素,每类因素的可能情形为5个时,将得到 $3^5$ 个效益值。因此,在经济评价实践中,经济评价人员很少进行多因素敏感性分析(新版的《石油建设项目经济评价方法与参数》中已经取消了相应内容)<sup>[9]</sup>。

尽管多因素敏感性分析也不具备综合评价各类不确定性因素的功能,但计算得到的指标值必然隐含着各类因素与经济效益关系的信息。如果能从庞杂的多因素敏感性分析数据中,找到各因素之间以及各因素对效益指标产生影响的规律,并以函

$$E = f(x_1, x_2, x_3 \dots) = f_1(x_1) + f_2(x_2) + f_3(x_3) + \dots + g_1(x_1) \times g_2(x_2) \times g_3(x_3) \dots \quad (1)$$

式(1)中, $E$ 为经济效益, $x_1, x_2, x_3$ 为不确定因素, $f(x_1, x_2, x_3 \dots)$ 为函数关系;函数关系又可以分解为两部分,其中 $f_1(x_1) + f_2(x_2) + f_3(x_3)$ 代表各不确定因素对效益产生独立影响并能够线性叠加的部分; $g_1(x_1) \times g_2(x_2) \times g_3(x_3)$ 代表因素之间的叠乘关系,此时因素之间存在协同影响,某一因素变动的的影响,不仅取决于自身变动幅度,还与其他因素所处的水平有关。

为了找到具体的函数关系式,进行了大量的数据拟合试验,最终发现当不确定因素在一定范围内波动时,因素之间协同影响的部分可以忽略,即可以通过单因素影响的线性叠加近似估计多因素综合影响。这一发现使得建立简便易行的综合评估方法成为可能。

## 2.1 分析准备

### 2.1.1 效益指标及不确定因素选取

分析不确定因素对煤层气开发项目经济效益的影响,首先需要选取经济效益指标。净现值和内部收益率是最常用的用于评价项目盈利能力的指标。基于两方面原因选择内部收益率(IRR)作为效益指标:1)净现值反映收益总量,受项目规模影响,不同投资规模项目的数值缺乏直接可比性,而内部收益率是相对指标,尽管不能反映盈利规模,但可以反映盈利质量,不同规模的投资项目具有可比性;2)净现值有正数和负数,数值处理难度大,而内部收益率只有正数,便于进行数据处理<sup>[10-14]</sup>。

数来描述这种规律,那么就有希望找到实用、便捷的对不确定性影响因素进行综合评价的解析分析方法。为此,本文按照这一基本设想展开了研究,并提出了煤层气开发项目不确定性综合评估方法。

## 2 不确定性综合评估方法

为了寻找不确定性因素与经济效益之间的函数关系,首先以煤层开发项目数据为基础,模拟了各影响因素的波动并通过模拟计算(利用自主开发的煤层气项目经济分析软件)生成对应的经济效益值,再利用模拟数据拟合得到函数表达式。根据经济效益指标计算方法<sup>[2]</sup>,假定不确定因素与效益之间的近似关系如下:

不确定因素包括投资、建设期、产量、价格、成本、项目寿命期、残值、折现率、外部汇率等<sup>[8]</sup>,其中,影响煤层气项目盈利能力的主要因素是价格、产量、投资、成本和补贴<sup>[15-18]</sup>。鉴于煤层气价格补贴的影响与价格基本一致,因此不单独列为不确定因素。最终选定价格、产量、投资和经营成本作为不确定因素。

### 2.1.2 基准情景数据设定

以煤层气开发项目为参考,设计了基准数据(表1-3)。利用基准数据计算得到基准情景的内部收益率(命名为基准内部收益率值),通过调整不确定性因素变动率就可以生成各种因素变动情景下的内部收益率值。再利用生成的数据进行拟合,寻找各影响因素与经济效益之间的函数关系。

表1 产气年限、价格、商品率和投资

产气年限 (年)	气价 (元/方)	商品率 (%)	开发工程投资 (万元)
25	0.9	90	101 390.6

表2 产量

	气井井数	年产气量(亿方)
1	180	0
2	574	2.397
3	685	5.268
4	685	7.025
5	685	7.211
6	685	6.882
7	874	6.576
8	874	6.648
9	874	6.465

续 表

	气井井数	年产气量(亿方)
10	1063	6.205
11	1063	6.433
12	1063	6.435
13	1288	6.344
14	1288	6.791
15	995	5.973
16	884	5.348
17	884	4.981
18	884	4.628
19	838	4.079
20	649	3.049
21	538	2.418
22	414	1.798
23	225	0.977
24	225	0.902
25	225	0.843

表3 成本

成本构成项	成本定额(万元)
原材料	5.032
燃料	0.000
动力	0.000
生产工人工资及福利	5.489
注入费	0.000
井下作业费	2.845
测井试井费	0.000
维护及修理费	4.574
页岩气处理费	
(样品化验费)	0.732
运输费	0.494
其他直接费	3.660
项目管理费	1.830
管理费用	19.167
(属于经营成本的部分)	
矿产资源补偿费	0.000
(自动计算)	
其他管理费用	2.214
销售费用	0.915

## 2.2 评估方法

### 2.2.1 双因素分析

根据公式(1), 需要考虑因素之间的叠加和叠乘两类关系。如果将4类影响因素作为自变量纳入分析, 数据处理难度较大, 并且也不能通过图表直观地显示分析结果。为此, 我们先从两因素(价格和产量)入手分析, 并将因素变动范围控制在 $\pm 20\%$ 的范围之内。找到规律后再检验其是否可以推广至更多因素、更大的变化区间。价格和产量变动率及其对应的内部收益率数值见表4, 因素变动率与内部收益率的关系见图1。从图1可以观察到, 随着价格水平的变化, 产量与内部收益率关系曲线近似整体平移, 也就是说,

产量对内部收益率的影响与价格对内部收益率的影响可以近似为线性叠加。

需要特别指出的是, 这种平移或者线性叠加是近似的。从拟合得到的不同价格水平的曲线斜率数值不难发现, 斜率会随价格水平变化(表5)。当价格变动幅度在 $\pm 20\%$ 之内时, 产量与内部收益率关系曲线斜率的变动很小, 但当价格水平的变动幅度增加到50%时, 斜率数值的变动较为明显。这也证实了价格和产量在叠加关系之外, 确实存在叠乘关系。但当影响因素在一定范围变动时, 叠乘关系就可以忽略, 这一发现为建立简单可行的评估方法奠定了基础。

表4 价格/产量变动率及对应的内部收益率

变动率	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
价格-20%	负值	0.19	2.99	5.40	7.52	9.47	11.30	13.05	14.74
价格-15%	负值	2.45	5.04	7.29	9.34	11.27	13.10	14.86	16.56
价格-10%	1.64	4.45	6.87	9.04	11.07	12.99	14.83	16.60	18.32
价格-5%	3.61	6.24	8.55	10.69	12.71	14.64	16.50	18.29	20.00
价格+0%	5.38	7.87	10.14	12.27	14.30	16.24	18.12	19.90	21.64
价格+5%	6.99	9.41	11.66	13.80	15.83	17.80	19.67	21.48	23.25
价格+10%	8.48	10.88	13.13	15.27	17.33	19.29	21.18	23.02	24.82
价格+15%	9.90	12.29	14.54	16.70	18.77	20.74	22.66	24.54	26.37
价格+20%	11.26	13.65	15.92	18.10	20.16	22.16	24.12	26.03	27.90
价格+50%	18.65	21.10	23.48	25.79	28.04	30.25	32.42	34.56	36.67

注: 负值统一按零处理。

表5 IRR-产量变动率斜率

价格变动率	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	50%
斜率	40.907	39.811	41.02	40.519	40.355	40.422	40.647	40.971	41.373	44.939

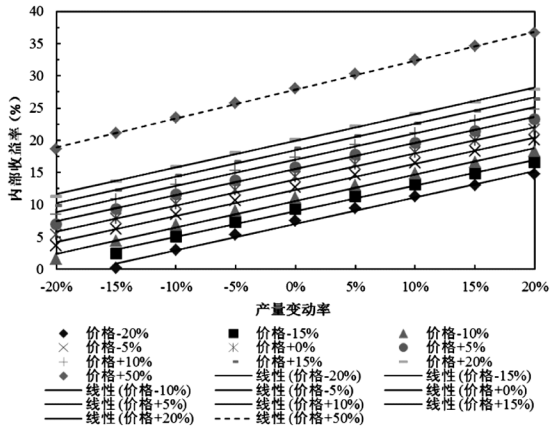


图1 不同价格水平下 IRR-产量变化率线性拟合图

$$IRR = \Delta IRR(\Delta P, \Delta Q, \Delta I, \Delta C) + IRR_0 = \Delta IRR_1(\Delta P) + \Delta IRR_2(\Delta Q) + \Delta IRR_3(\Delta I) + \Delta IRR_4(\Delta C) + IRR_0 \quad (2)$$

公式(2)中,  $\Delta IRR$  代表由于影响因素变动产生的变化量;  $\Delta P, \Delta Q, \Delta I, \Delta C$  分别代表4项变动因素(价格、产量、投资、成本)的变动率,以百分数来表示;  $IRR_0$  为基准内部收益率;  $\Delta IRR_1(\Delta P), \Delta IRR_2(\Delta Q), \Delta IRR_3(\Delta I), \Delta IRR_4(\Delta C)$  分别是4种

### 2.2.2 公式建立

基于前述内容,如果将双因素的分析结论推广到多因素,就可以提出以下设想:如果把不确定因素变动率控制在一定范围内,就能在允许的误差范围内,通过对各单因素影响进行叠加来近似计算各因素的综合影响。

为了区分基准内部收益率值和因素变动产生的内部收益率变化量,以便于以基准方案为参照进行不确定性分析,将内部收益率分解成两部分,其中增量部分是4种因素影响的线性叠加:

因素引起的内部收益率增量。

4项变动因素和收益率的函数关系可以通过拟合单因素敏感性分析数据来确定,基准内部收益率值  $IRR_0$  为 14.30 (表6,图2)。

表6 敏感因素变动下的内部收益率

变动率	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
产量	5.38	7.87	10.14	12.27	14.30	16.24	18.12	19.90	21.64
价格	7.52	9.34	11.07	12.71	14.30	15.83	17.33	18.77	20.16
建设投资	19.57	18.09	16.73	15.47	14.30	13.21	12.19	11.24	10.34
经营成本	18.10	17.18	16.23	15.27	14.30	13.32	12.32	11.30	10.16

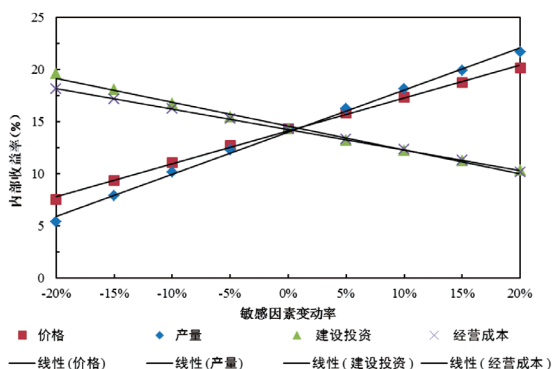


图2 单因素敏感性分析

4类因素与内部收益率具有线性关系(图2曲线拟合优度均大于0.99),因素变动率与内部收益率增量关系的表达式分别为:

$$\Delta IRR_1 = 31.49\Delta P \quad (3)$$

$$\Delta IRR_2 = 40.36\Delta Q \quad (4)$$

$$\Delta IRR_3 = -22.95\Delta I \quad (5)$$

$$\Delta IRR_4 = -19.73\Delta C \quad (6)$$

以上4个公式的斜率值表征了不确定因素单位变动率对内部收益率变化量的影响程度。由公

式(2)和公式(3)、(4)、(5)、(6)得到不确定性综合评价公式为

$$IRR = 31.49\Delta P + 40.36\Delta Q - 22.95\Delta I - 19.73\Delta C + 14.30 \quad (7)$$

由公式(7)得到评价公式的通用计算公式:

$$IRR = k_p\Delta P + k_q\Delta Q + k_I\Delta I + k_C\Delta C + IRR_0 \quad (8)$$

式中 $k_p$ 、 $k_q$ 、 $k_I$ 、 $k_C$ 分别为价格、产量、投资、成本变动1个单位引起内收收益变化量,即单因素敏感性分析的曲线斜率。

### 2.2.3 误差分析

公式(8)由双因素分析结论推演而来,可靠性还需要进一步证实,接下来通过误差分析来证实其可靠性。用公式(8)计算得到的内部收益率命名为公式值,通过开发方案运算得到的内部收益率命名为实际值,定义误差为相对数,计算式为:

$$\text{误差} = \frac{\text{公式值} - \text{实际值}}{\text{实际值}} (\%) \quad (9)$$

先将4个因素变动率控制在(-20%, 20%)以内,生成1000组实际值,利用公式(8)计算对应的公式值,将每一对数值绘制成图(图略),并计算误差百分比(图3)。

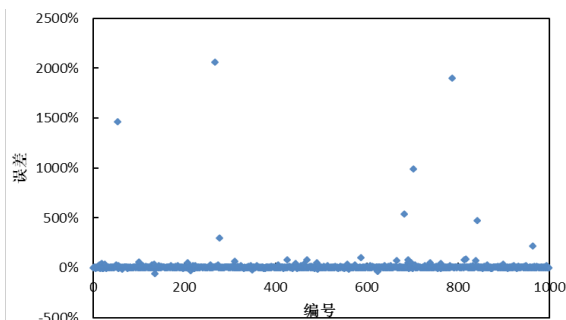


图3 误差(相对数)分布

1000组数据中有77组数据误差较大(大于20%),通过分析发现这77组数据对应的内部收益率的公式值和实际值均较小,几乎都低于8%(图4),此时已经远小于油气开发项目允许的最低折现率<sup>[9]</sup>,失去了现实经济意义。也就是说,只有当内部收益率非常小时,才会出现较大的计算误差。再进一步分析内部收益率较低时的公式值和实际值的关系,发现公式值小于8%时,实际值最高不超过9%(图5),表明公式值产生的

误差并不会改变项目不可行的基本判定。内部收益率公式值大于8%时,88%的数据误差在5%以内,98%的数据误差在10%以内(图略)。由此可见,在具备现实意义的决策区间内,绝大多数数据的误差在10%之内。

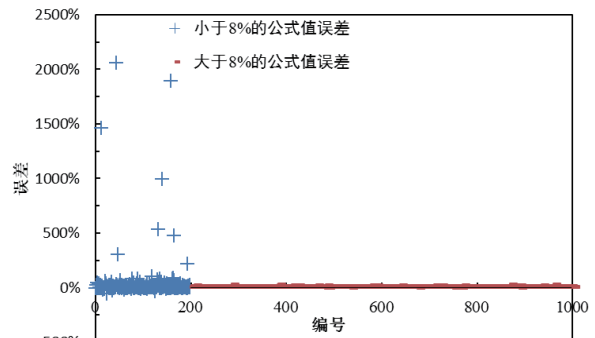


图4 公式值低于8%和高于8%误差对比

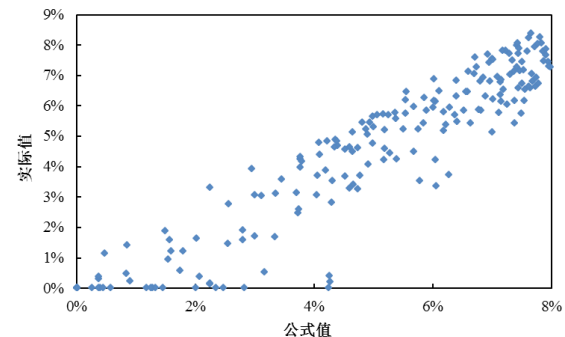


图5 IRR 低于8%的实际值-公式值关系

将不确定因素变动范围扩大至25%和30%,分别生成500组数据。误差会随着敏感因素波动范围的扩大而增加(图6)。当因素变动范围分

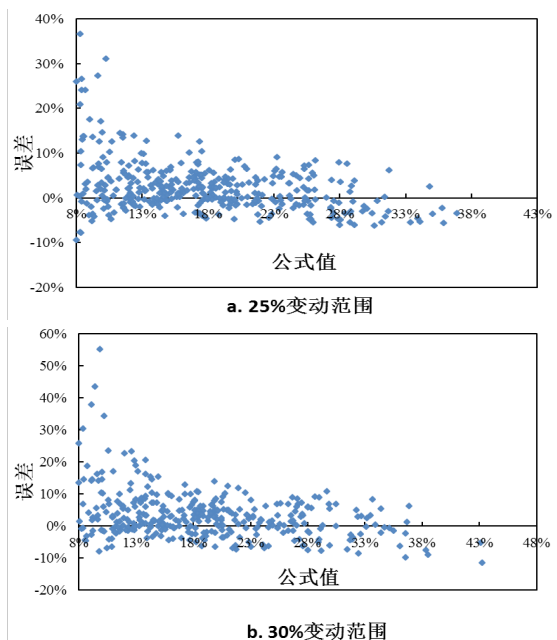


图6 不确定因素25%和30%变动范围内误差-IRR公式值关系

别为20%、25%和30%时,对应误差在5%以内的占比分别为88%、74%、61%,误差在10%以内的分别为98%、93%、88%(图7)。依据这一认识,可以根据允许的误差范围和可信度选择有效的因素的波动范围。

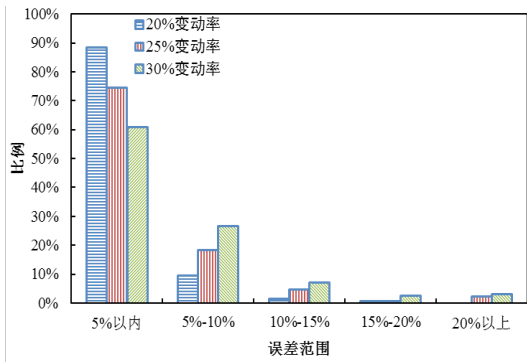


图7 三种变动范围下的误差分布

### 3 普适性验证

以上认识基于特定的煤层气开发方案得出,还需要检验方法能否将其推广应用于不同类型的煤层气开发项目。从经济分析的角度,除了投资、成本、产量、价格等参数取值不同之外,开发项目的差异还表现为单井产量剖面以及以此为基础的钻井排产计划的不同。而投资、成本、产量、价格等参数取值差异已经包含在因素敏感性之中。仅需再构造基于不同类型单井产量剖面及钻井计划的开发方案,来验证上文建立的评价方法。验证方案均得到与基

准方案相一致的结论,以其中之一为例,进行说明。为了与基准方案区分,命名基准方案为A方案,验证方案为B方案(基础数据省略)。

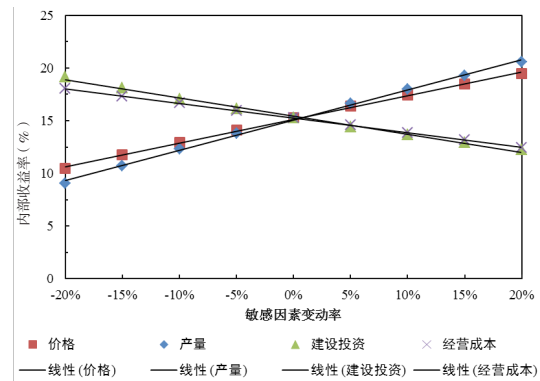


图8 B方案内部收益率-单因素变动率关系

由公式(8)及图8得到B方案内部收益率与不确定性因素增量的关系为:

$$IRR = 22.49\Delta P + 28.68\Delta Q - 17.28\Delta I - 13.88\Delta C + 15.26 \quad (10)$$

误差检验显示B方案下,内部收益率公式值低于8%时,应用公式进行的项目不可行判断仍然适用(图9);内部收益率公式值高于8%时,20%、25%、30%的因素变动范围对应误差在5%以内的占比分别为97%、87%、76%,误差在10%以内的分别为99%、98%、92%(图10、图11)。B方案的误差检验结论与A方案一致。

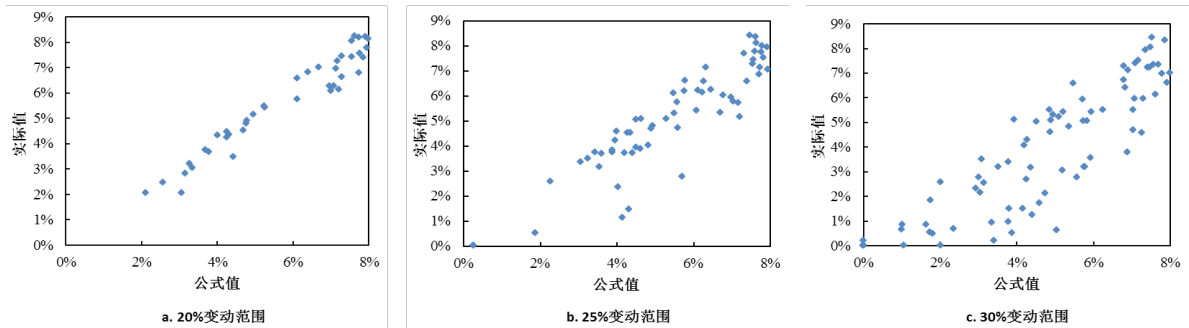


图9 B方案三种变动情景下IRR公式值小于8%的实际值-公式值关系

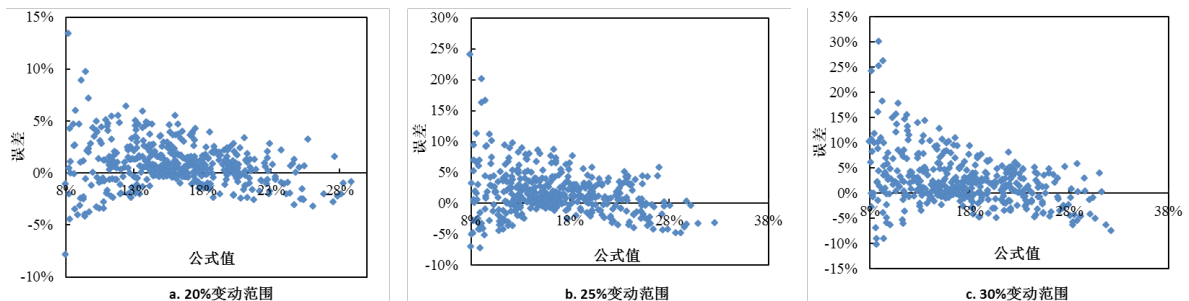


图10 敏感因素三种变动情景下误差-IRR公式值关系

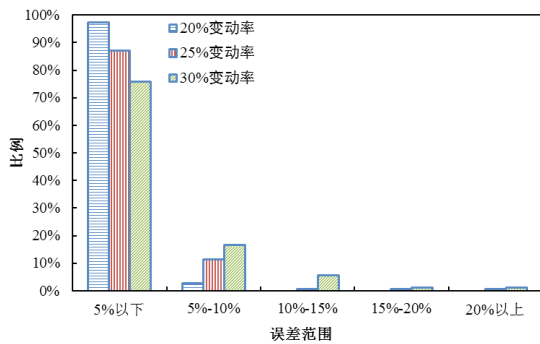


图 11 三种变动情景下 IRR 公式值大于 8% 的误差分布比例

### 4 方法应用

投资项目比选过程中，除了对比项目的收益，还要比较方案受不确定（风险）因素的影响程度。利用本文建立的方法，可以在无法确定因素概率分布的条件下，评估项目的综合不确定性，进行比较。以 A 方案和 B 方案为例，说明方法在方案比选中的作用。

由公式（8）和公式（10）可知，如果能估计  $\Delta P, \Delta Q, \Delta I, \Delta C$  的变动区间（在允许的误差范围内），就可以计算出内部收益率值的波动区间，此数值区间即可用于表征方案经济收益的综合不确定程度及范围。为了直观说明不同方案的综合风险差异，设定各因素等幅变动，就可以将变动率作为因变量，如图 12 所示。从图中可以观察到，尽管 A 方案有可能带来更高的收益，但对不确定性因素的综合敏感程度更高，面临的更大。在实际应用中，需要结合实际情况来设定波动因素及其波动范围，进而评估开发项目的综合不确定性。

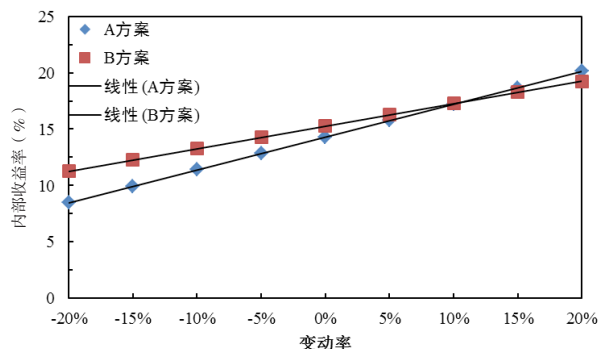


图 12 A 方案和 B 方案风险对比

### 5 结论

基于以上研究可归纳出：单个不确定性因素与经济效益的关系趋近线性，可以用单因素敏感

性分析曲线（函数）来描述；当不确定因素在一定范围波动时，因素变动对经济收益的综合影响可以近似为单因素影响的线性叠加；线性叠加产生的计算误差会随着不确定性因素变动范围的扩大而增加。模拟计算表明，不确定因素在  $\pm 25%$  范围内波动时，90% 以上的数据落在误差区间为  $\pm 10%$  的范围之内。

此研究在一定程度上完成了建立简单、可操作的不确定性综合评价方法的目标，但仍然有待于在以下方面进一步拓展和完善：

（1）由于提出的方法基于数据分析而非理论推导得出，因此还需要经过更多开发方案来检验，才能足够确保其可靠性；

（2）随着不确定因素波动区间的扩大，计算误差也随之增加，如果能够找出误差与因素的规律，并对误差加以控制，就有可能扩大允许的不确定因素波动范围；

（3）从经济投入、产出的角度，煤层气开发项目与常规油气和页岩气开发项目存在相通之处，可以进一步证实文中建立的方法是否对这些方案同样适用。

### 参 考 文 献

- [1] 傅家骥, 仝允桓. 工业技术经济学 [M]. 第三版. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- [2] 国家计委, 建设部. 建设项目经济评价方法与参数 [M]. 第三版. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [3] 夏良玉, 罗东坤, 代由进. 煤层气开发项目风险评估方法 [J]. 天然气工业, 2012, 32 (3): 117~120.
- [4] 罗东坤. 油气勘探投资风险探讨 [J]. 油气地质与采收率, 2002, 9 (6): 69~71.
- [5] Komlosi ZP. Application: Monte Carlo Simulation in Risk Evaluation of E&P Projects [C]. Spe Hydrocarbon Economics & Evaluation Symposium, 2001.
- [6] Petrovskiy E A, Buryukin F A, Bukhtiyarov V V, et al. The FMEA ~ Risk Analysis of Oil and Gas Process Facilities with Hazard Assessment Based on Fuzzy Logic [J]. Modern Applied Science, 2015, 9 (5): 25~37.
- [7] 杨永国, 秦勇, 姜波, 等. 煤层气项目风险性分析方法及应用研究 [J]. 天然气工业, 2001, 21 (3): 89~91.
- [8] 张海锋, 张沁兰, 刘世界, 等. 煤层气开发风险评价研究 [J]. 能源科学发展: 中英文版, 2015, (2): 42~49.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 石油建设项目经济评价方法与参数 [M]. 中国计划出版社, 2010.

- [10] Luo D, Dai Y. Economic Evaluation of Coalbed Methane Production in China [J]. Energy Policy, 2009, 37 (10): 3883 ~ 3889.
- [11] Yuan J, Luo D, Feng L. A Review of the Technical and Economic Evaluation Techniques for Shale Gas Development [J]. Applied Energy, 2015, 148: 49 ~ 65.
- [12] 罗东坤, 夏良玉. 煤层气目标区资源经济评价方法 [J]. 东北石油大学学报, 2009, 33 (4): 115 ~ 119.
- [13] 王雅春, 石荣. 影响油气勘探经济评价的主控因素 [J]. 特种油气藏, 2007, 14 (4): 32 ~ 35.
- [14] 张小利. 净现值与内部收益率在投资决策中的选用 [J]. 中央财经大学学报, 2006, (8): 88 ~ 92.
- [15] 曹艳, 王秀芝. 煤层气地面开发项目经济评价 [J]. 天然气工业, 2011, 31 (11): 103 ~ 106.
- [16] 赵俊平, 邵强, 田晓宇. 钻井投资和油气价格对财务盈利能力影响实证分析 [J]. 天然气工业, 2005, 25 (8): 135 ~ 136.
- [17] 陈武, 岳军, 钟雨师, 等. 油气田开发效益产量分析模型研究 [J]. 钻采工艺, 2007, 30 (5): 77 ~ 81.
- [18] Zhao X, Luo D, Xia L. Modelling Optimal Production Rate with Contract Effects for International Oil Development Projects [J]. Energy, 2012, 45 (1): 662 ~ 668.

## The Comprehensive Evaluation Method of Uncertainty in Investment Projects of Coal-bed Methane

Xia Liangyu<sup>1</sup> Li Shiqi<sup>1</sup> Lu Kun<sup>2</sup> Luo Dongkun<sup>1</sup> Liu Jianye<sup>1</sup> Dai Youjin<sup>3</sup> Zhai Yuyang<sup>4</sup>

(1. School of Business Administration, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China;

2. China Petroleum and Natural Gas Group Corporation Sino - Russian Project Department, Beijing 100007, China;

3. PetroChina Coalbed Methane Limited Liability Company, Beijing 100028, China;

4. China Coalbed Methane National Engineering Research Center Limited Liability Company, Beijing 100095, China)

[ **Abstract** ] The sensitivity analysis is a common method for uncertainty evaluation of the coal-bed methane (CBM) development projects, but unfortunately can not have a comprehensive evaluation for uncertainty of the project. Therefore, it is necessary to construct a simple and operational comprehensive evaluation method of uncertain factors. Firstly, the CBM development scheme is constructed and the profit data of various uncertain factors are simulated. Then the statistical analysis of the data is carried out. Finally the function relationship between the factors and the profit is found. It is shown that the combined effect of multivariate changes on economic benefits can be approximated as a linear superposition of the univariate effect when uncertain factors fluctuate in a certain range, which is the comprehensive evaluation formula of uncertainty can be constructed by using the fitting slope of the univariate sensitivity curve. Simulation deviation of the method tends to increase with the expansion of the sensitive factors variation. More than 90% of the data deviation can be controlled within 10% when uncertain factors fluctuate within 25%. The method established in this paper can be applied to comprehensive evaluation of uncertainty and provide reference for the comparison among different scheme within an allowable deviation and credibility range.

[ **Key words** ] coal-bed methane development; economic benefits; risk assessment; uncertainty analysis; internal rate of return

(责任编辑: 史琳)