

烟气脱硫项目经济风险的蒙特卡罗模拟

徐 莉, 令狐谦, 朱同斌

(武汉大学 经济与管理学院 管理科学与工程系, 武汉 430072)

摘 要:蒙特卡罗模拟是一种很有效的风险定量分析方法。本文构建了烟气脱硫项目的经济风险评价模型;借助蒙特卡罗模拟技术,结合我国烟气脱硫 BOT 项目的最新数据,在对多个风险因素进行敏感性分析的基础上,对项目的经济风险进行了定量分析,得出了我国烟气脱硫 BOT 项目面临着较高投资风险的结论;最后讨论了蒙特卡罗模拟在分析项目风险方面的优点与不足之处。

关键词:烟气脱硫;风险评价;风险管理;敏感性分析

中图分类号:F224.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-980X(2008)05-0052-05

烟气脱硫项目的 BOT 管理模式能解决政府和火电厂目前脱硫项目建设资金不足的问题^[1,2],有助于我国“节能减排”目标的早日实现。但由于脱硫工程的投资数额很大,在项目运营期中影响现金流量的变量很多,并且各个变量的不确定性也很大,因此烟气脱硫项目面临着各种风险。烟气脱硫项目是否值得投资以及 BOT 管理模式能否得到广泛开展,取决于项目的经济风险是否在投资者可承受的范围内,其风险大小是否与收益相当。因此,研究烟气脱硫 BOT 项目的风险具有重要的现实意义,能为投资者和国家政策制定者提供理性参考和决策依据。但从笔者所收集的文献来看,目前国内基本上还没有专门对烟气脱硫项目的经济风险进行定量分析的文献。

在投资风险定量分析方面,蒙特卡罗模拟(Monte Carlo Simulation)是一种非常有效的方法,其一般思路是:根据历史数据来判断出各主要不确定性因素(和敏感因素)和概率分布,并以此为前提对各种经济评价指标(净现值、内部收益率和投资回收期等)进行模拟,计算出各指标的期望值和方差,得到各指标的风险度^[3]。本文在对烟气脱硫 BOT 项目的风险因素进行分析和识别的基础上,基于蒙特卡罗模拟技术,建立了一个新的烟气脱硫 BOT 项目经济风险定量评估模型,该模型能够考虑单个或多个风险因素对投资收益经济指标的动态影响,

能对项目的经济风险进行客观、定量的评估。

1 蒙特卡罗模拟过程

在风险管理中,蒙特卡罗模拟方法的一般步骤是^[4]:

1) 确定模拟次数。进行蒙特卡罗模拟分析,首先要确定合适的模拟次数,模拟次数主要取决于项目规模的大小和风险的重要程度。模拟次数常选择 500 次、1000 次、2000 次等。

2) 选定风险变量。一般通过投资项目敏感性分析来选定风险变量。

3) 构造风险变量概率分布函数。根据历史数据资料或通过对各变量进行预测(如运用时间序列法、投入产出法、神经网络法等),分析得出各变量的概率分布。

4) 对风险变量进行随机抽样,计算项目的目标值,求出每轮模拟结果。

5) 对大量的模拟结果进行统计学处理,求出期望值和标准差(方差)以及最小值、最大值等。

6) 根据求出的统计学处理数据,由计算机自动生成概率分布曲线和累积概率曲线。

7) 依据累积概率曲线进行项目风险分析。

蒙特卡罗模拟方法的具体流程如图 1^[5]所示。

收稿日期:2008-01-22

作者简介:徐莉(1955—),女,湖北汉川人,武汉大学经济与管理学院管理科学与工程系教授、系主任,博士生导师,主要研究方向:项目管理与投融资管理;令狐谦(1984—),女,贵州桐梓人,武汉大学经济与管理学院管理科学与工程系硕士研究生,主要研究方向:项目管理与投融资管理;朱同斌(1960—),男,安徽当涂人,中国大唐集团安徽分公司总经理,高级工程师,管理学硕士,主要研究方向:项目管理与企业发展战略。

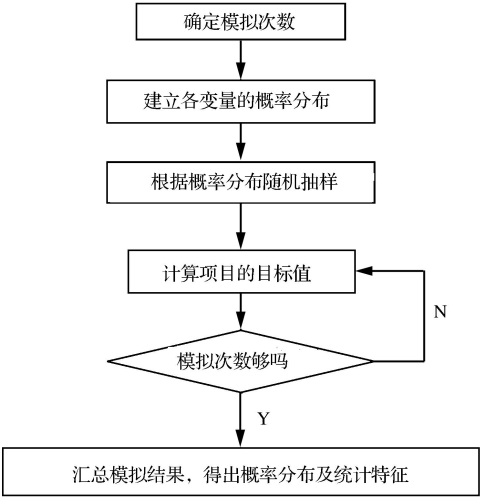


图1 蒙特卡罗模拟方法流程图

2 烟气脱硫项目经济风险评价模型构建

(1) 风险评估目标变量的确定

为了对烟气脱硫项目的投资进行风险估计,首先必须确定该项目的风险分析目标变量。一般选取对项目经济评价最具有代表性的指标——净现值、内部收益率、投资回收期等指标进行动态风险分析^[6]。本文选取净现值(NPV)作为火电厂烟气脱硫项目的风险评估目标值。

$$NPV = f(NCF, i_0, n); \tag{1}$$

$$NCF = CI_t - CO_t. \tag{2}$$

式(1)和式(2)中, NPV 为净现值; NCF 为净现金流量; CI_t 为第 t 年的现金流入; CO_t 为第 t 年的现金流出; i_0 为烟气脱硫项目的基准折现率; n 为烟气脱硫项目特许经营期。

特许经营期包括项目的建设期(N_1)和运营期(N_2)。 N_1 期内基本上只有现金流出,可将其全部折算为期初(即 $t = 0$)时的投入 P_0 ,即:

$$P_0 = \sum_{t=1}^{N_1} CO_t (1 + i)^{-t}.$$

在 N_2 期, $NCF = CI_t - CO_t$, 可以进一步表述为:

$$NCF = S - C - T. \tag{3}$$

式(3)中, S 为烟气脱硫项目的年销售收入,来源于国家的脱硫补贴电价; C 为烟气脱硫项目的年经营成本; T 为企业所得税。

(2) 年销售收入

烟气脱硫项目的年销售收入 S 包括国家政策规定的脱硫补贴和石膏的销售收入。但从实际情况来

看,目前对脱硫石膏的应用还不广泛,因此石膏的销售收入暂不计入年销售收入,则 S 可表述为:

$$S = P_{SO_2} \times Q_{电}; \tag{4}$$

$$Q_{电} = H \times M \times K \times (1 - R). \tag{5}$$

式(4)和式(5)中, P_{SO_2} 为国家对每度电的脱硫补贴电价; $Q_{电}$ 为上网电量; H 为发电设备年平均利用小时数; M 为机组容量; K 为机组台数; R 为厂用电率。

(3) 年经营成本

年经营成本 C 主要包括原材料和燃料动力费(包括电耗、水耗、石灰石消耗费用)、脱硫设备每年大修费用、工资和福利及其他费用。其中,原材料和燃料动力费之和 C_1 是与发电设备年平均利用小时数 H 相关的函数:

$$C_1 = (a_1 + a_2 + a_3) \times H. \tag{6}$$

式(7)中, a_1 、 a_2 、 a_3 为分别为每小时消耗石灰石、水和电的费用。

脱硫设备每年大修费用 b_1 、工资和福利 b_2 和其他费用 b_3 (包括保险费用、流动资金使用成本、排污费用等)都与发电设备年平均利用小时数 H 无关,是运行的固定成本,它们之和可表示为 $b = \sum_{j=1}^3 b_j$ 。因此,

$$C = (a_1 + a_2 + a_3) H + b. \tag{7}$$

(4) 定量分析模型

由上,构建火电厂烟气脱硫工程项目动态的经济风险评价定量模型为:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \{ [P_{SO_2} \times M \times K \times (1 - R) - a_1 - a_2 - a_3] \times H - b - T \} (1 + i_0)^{-t} - P_0. \tag{8}$$

可见,影响 NPV 大小的不确定因素有项目造价、发电设备年利用小时数、厂用电率、石灰石价格、上网电价、脱硫设备用水价格等。

3 烟气脱硫项目风险变量的概率分布

本文通过对 20 个已投运和在建的 $2 \times 300MW$ 机组、以煤的含硫量为 1% 建设的石灰石-石膏法烟气脱硫工程项目的成本进行统计和分析^[7],得到 20 个烟气脱硫工程项目的具体数据资料(见表 1)。

表 1 2007 年我国 20 个烟气脱硫工程项目的平均数据

P_{SO_2}	R	a_1	a_2	n
0.015 元/度	6.5 %	607 元/h	250 元/h	20 年
P_0	b_1	b_2	T	i_0
1.2 亿元	350 万元/年	104 万元/年	765 万元/年	8 %

注:脱硫设备每小时耗电量为 7500 度/h。

对式(8)中各不确定因素进行分析可知,由于建设期较短,项目造价基本在可控范围内,相对比较稳定,而运营期较长,不可预见因素较多,因此风险主要来自运营期。对运营期动态现金流量影响较大的不确定因素如图 2 所示。主要为:①发电设备年利用小时数(H)。由于项目收入与 H 成正比, H 直接决定了项目的盈亏状况。②上网电价(P_E)。脱硫设备运行的电耗应视为火电厂厂用电的一部分,但投资方向电厂支付相应的发电成本及电厂应得利润,

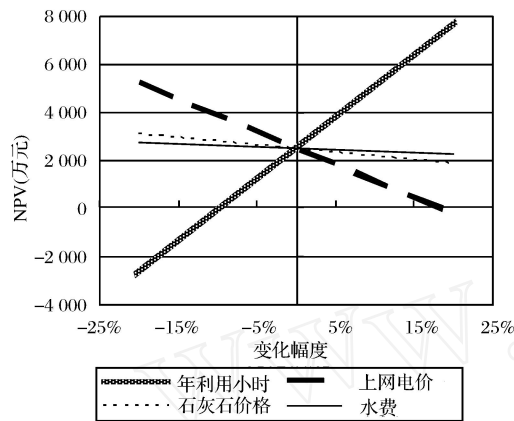


图 2 烟气脱硫项目不确定因素敏感性分析图

因此耗电单价按上网电价计算。由于脱硫设备运行的耗电成本约占总经营成本的 40 % ~ 50 % ,而脱硫设备运行的每小时耗电量基本固定,故 P_E 的变动会引起经营成本的大幅度变动。而其他可变因素(如图 2 中的石灰石价格和脱硫设备用水价格)的变化给 NPV 值带来的波动很小。

2007 年全国火电厂发电设备年平均利用小时数 H 和上网电价 P_E 的统计数据分别见表 2、表 3 和表 4。

表 2 2007 年我国及各地区发电设备年平均利用小时数

地区	全国	华北	东北	华东
发电设备年平均利用小时数(h)	5 383	5 050	5 600	5 300
地区	西北	南方	华中	
发电设备年平均利用小时数(h)	5 500	5 400	5 000	

数据来源:《2007 年全国电力市场分析预测报告》。

表 3 不同年份我国发电设备年平均利用小时数

年份	2006	2007	2008	2009	2010
发电设备年平均利用小时数	5 633	5 383	5 000	5 475	5 527

注:2006 年、2007 年的数据为真实值,2008—2010 年的数据为预测值。

数据来源:《2007 年全国电力市场分析预测(秋季)报告》。

表 4 2006 年我国各地区平均上网电价统计值元/度

省份	广东	广西	贵州	云南	海南	上海	浙江	江苏	安徽	辽宁	京津唐	内蒙古	福建
电价	0.42	0.34	0.25	0.24	0.36	0.40	0.40	0.37	0.35	0.33	0.33	0.32	0.37
省份	黑龙江	吉林	湖北	湖南	江西	河南	四川	山东	陕西	山西	河北	吉林	
电价	0.32	0.32	0.35	0.37	0.36	0.36	0.32	0.33	0.27	0.24	0.32	0.32	

数据来源:《中国物价年鉴(2006)》。

根据上述数据资料,利用 SPSS 软件检验,得出发电设备年平均利用小时数和上网电价两项不确定变量分别服从以下概率分布模型:

1)发电设备年平均利用小时数(H)服从区间[5000,5600]上的均匀分布。由于均匀分布的计算式为: $a + \text{RAND}() \times (b - a)$ (a 为最小值, b 为最大值),则 H 概率分布的随机抽样计算式为: $H = 5000 + 600 \times \text{RAND}()$ 。其中, $\text{RAND}()$ 表示区间[0,1]上均匀分布的随机数。

2)上网电价(P_E)服从均值为 0.33、标准差为 0.047 的正态分布。由于正态分布的计算公式为: $\text{NORMINV}(\text{RAND}(), \mu, \sigma)$ (μ 为均值, σ 为标准差),则 P_E 概率分布的随机抽样计算式为: $P_E = \text{NORMINV}(\text{RAND}(), 0.33, 0.047)$ 。

4 风险模拟结果

取模拟次数 $N = 1\,000$ 进行蒙特卡罗模拟^[8,9],每次模拟试验均可视为是对烟气脱硫项目投资决策过程的一次仿真。经计算机程序计算,得到 1 000 个模拟结果。对这些结果进行统计分析^[10,11],整理后的项目 NPV 概率特征值见表 5。

表 5 NPV 概率特征值

统计特征	数值
期望值(万元)	2 470
标准差(万元)	2 130
最小值(万元)	- 4 200
最大值(万元)	8 600
变异系数	0.86

对所得的 1 000 个模拟结果进行检验,检验结果为:按 $\alpha = 0.05$ 水准,总体服从正态分布。因此项目 NPV 概率密度函数 $f(\text{NPV})$ 为 $\mu = 2470$ 、 $\sigma =$

2130 的正态分布概率密度函数。表 6 是 NPV 值的出现频度统计。NPV 的频数分布和累积概率曲线分别见图 3 和图 4。从图 3 可看到,NPV 频数直方图与正态分布概率密度曲线非常近似。

表 6 NPV 值的出现频度

NPV 值区间(万元)	频数(次)	概率(%)
- 4 200~- 2 000	21	2. 1
- 2 000~0	110	11. 0
0~2 000	288	28. 8
2 000~4 000	342	34. 2
4 000~6 000	198	19. 8
6 000~8 600	41	4. 1

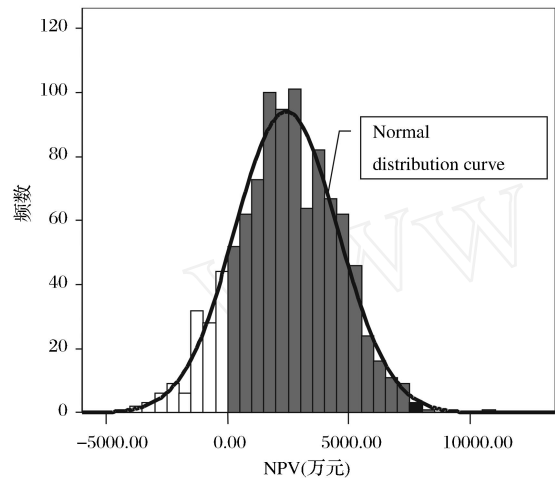


图 3 NPV 频数分布图

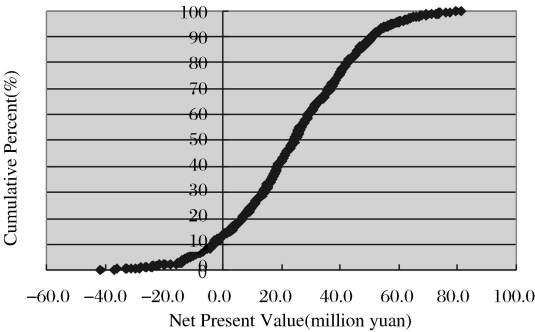


图 4 NPV 累积频率图

- 由上述结果可知：
- 1) 烟气脱硫工程项目的期望值为 2 470 万元，标准差为 2 130 万元，变异系数为 0.86，说明由发电设备年平均利用小时数（ H ）和上网电价（ P_E ）波动所引起的项目投资风险相当高，项目净现值的波动范围很大。
 - 2) 当 $NPV = 0$ 时，求得置信度为 87.5%，风险度为 12.5%，即投资运营商有 12.5% 的概率会出现

亏损。

3) 当置信度为 95 % 时，

$$NPV_{\min} = \mu - 1.65\sigma = 2470 - 1.65 \times 2130 = -1045 \text{ 万元}^{①}。$$

这表明当投资者在置信度为 95 % 区间时，所获取的最不利的净现值为 - 1 045 万元。

可见，在我国的烟气脱硫 BOT 项目中，投资方担负着较高的风险，这对 BOT 模式的推广和项目的顺利实施都会带来很大的负面影响。

采取如下风险保障机制，有助于将复杂的风险分配给各个参与方，以保证项目的顺利实施：

- 1) 由于上网电量是影响烟气脱硫项目经济风险的关键因素，而上网电量又主要取决于发电设备年平均利用小时数，因此火电厂应在合约中保证发电设备最小年平均利用小时数（即 $NPV = 0$ 时对应的 H 值），以保障投资方的基本权益。
- 2) 由于耗电单价的波动是引起烟气脱硫项目利润变化的另一重要因素，因此政府应保证脱硫设备运行的耗电单价维持在某临界值之下；若因通货膨胀或电煤价格上涨等因素导致上网电价猛涨，政府应向火电厂补贴脱硫用电的差价，或应将耗电单价与脱硫补贴挂钩，若耗电单价增加，相应增加脱硫补贴。
- 3) 增加脱硫副产品石膏的利用是提高项目收益，降低项目经营风险的一个好途径。若脱硫产生的石膏能被利用，按 40 元/吨计算，则每年可节约成本近 200 万元。但从目前的情况来看，火电厂产生的脱硫副产品石膏的利用率还比较低，其利用需要进一步开发。

5 结语

蒙特卡罗模拟技术通过构造计算模型，利用计算机模拟分析项目潜在风险，可以大大提高工程投资风险分析的精度和效率^[12]；另外，它是一种多元分析方法，能直接处理工程项目中所有的不确定性，并用概率分析来表示每一个不确定性，这样就简化了工程风险分析的程序，不必对每一个风险变量单独立项分析^[13]。鉴于该技术的上述优点，该方法今后必将在我国工程项目风险定量分析中得到更广泛的应用。

但是，由于我国以前对风险管理重视不够，各种历史数据和经验资料比较缺乏，而蒙特卡罗模拟结

① $NPV_{\min}$ 为最小净现值。

果的准确性是建立在对不确定因素的 probabilities 的正确假设上的,因此需要不断积累丰富的资料,如此才能精确描述风险变量的概率分布。

此外,蒙特卡罗模拟也存在不足之处。它运用于工程风险分析的前提假设是:各种不确定因素之间是相互独立的^[14]。而实际项目中各风险因素往往存在一定的相关性,是相互作用的,这是今后蒙特卡罗模拟在风险定量分析的应用中需要解决的问题。K Rezaie 已经提出用一种旋转算法(rotary algorithm)来修正传统的蒙特卡罗模拟方法^[15],以考虑各变量之间的相关性。不过,这种改进方法在某些情形下是可行的,但不具有普遍性。

参考文献

- [1] 李志伟. 火电厂脱硫项目管理研究[D]. 天津:天津大学, 2006.
- [2] 林少平. 民营 BOT:电厂脱硫建设和运营的可行方案[J]. 浙江能源, 2005(5):41-43.
- [3] 段海林. 收费道路投资风险分析的计算机模拟技术研究[J]. 城市道桥与防洪, 2005(1):79-81.
- [4] 王学强, 庄宇. 基于蒙特卡罗模拟模型的投资项目风险分析[J]. 工业工程, 2007, 10(5):93-96.
- [5] 骆[←], 贾建容. 基于蒙特卡洛模拟的火电建设项目投资风险估计[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2006, 24(3):66-68.
- [6] 徐莉. 技术经济学[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2007:24-57.
- [7] 廖永进, 王力. 火电厂烟气脱硫装置成本费用的研究[J]. 电力建设, 2007, 28(4):82-86.
- [8] 姜鹏飞. 净现值准则下建设项目蒙特卡洛风险概率分析的简化模拟研究[J]. 技术经济, 2007, 26(7):24-29.
- [9] 蒋根谋, 胡振鹏. 基于模拟技术和 AHP 的房地产项目风险的定量评估[J]. 系统工程理论与实践, 2007(9):77-81.
- [10] 薛微. 统计分析与 SPSS 的应用[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2001:52-68.
- [11] 孙然, 孙续元. 项目投资决策风险分析方法研究——一种基于现金流量的边际分析方法[J]. 技术经济, 2007, 26(1):29-32.
- [12] CHOI Hyun-Ho, CHO Hyo-Nam, SEO J W. Risk assessment methodology for underground construction projects [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2004, 130(2):258-272.
- [13] KOWALSKI E, MILLER G A. Quantitative risk-based analysis for military counterterrorism Systems [J]. Systems Engineering, 2007, 10:273-289.
- [14] OZATAS A, OKMEN O. Risk analysis in fixed-price design-build construction projects [J]. Building and Environment, 2004, 39:229-237.
- [15] REZAIE K, AMALNIK M S, GEREIE A, et al. Using extended Monte Carlo simulation method for the improvement of risk management:consideration of relationships between uncertainties [J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 190:1492-1501.

Monte Carlo Simulation on Economic Risk of Flue Gas Desulfurization BOT Project

Xu Li, Linghu Qian, Zhu Tongbin

(Management Science and Engineering Department, Economic & Management School,
Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Monte Carlo Simulation is a powerful method to quantificationally analyze project risks. This paper establishes the evaluation model of economic risk of flue gas desulfurization (FGD) projects. Based on the method of Monte Carlo simulation, it uses the latest data related with FGD and quantificationally analyzes the economic risk of Build-Operate-Transfer projects of FGD. The result shows that there exist high risks in FGD projects of China. Finally, it discusses the advantage and weakness of the risk analysis method based on Monte Carlo simulation.

Key words: flue gas desulfurization; risk evaluation; risk management; sensitivity analysis