

文章编号: 1001-0920(2009)11-1641-06

目标与机会平衡规划法

鲁刚¹, 文福拴², 赵学顺³, 钟志勇⁴, 黄杰波⁴

(1. 国网能源研究院, 北京 100761; 2. 浙江大学 电气工程学院, 杭州 310027;
3. 国家电力监管委员会, 北京 100031; 4. 香港理工大学 电机系, 香港)

摘要: 提出一种目标与机会平衡规划法. 基于待决策问题的有效决策前沿曲线形状的全局信息, 通过权衡决策目标收益和实现机会两个因素的数值关系以及二者沿有效决策前沿曲线变化速度的对比关系, 最大限度地提高决策效用. 该方法能以更合理、更全面、更灵活的方式分析处理随机优化问题, 有效解决期望值模型、机会约束规划法和相关机会规划法之间的矛盾, 最后通过算例表明了所提出方法的主要特点和有效性.

关键词: 目标与机会平衡规划法; 期望值模型; 机会约束规划法; 相关机会规划法; 报价策略

中图分类号: O221

文献标识码: A

Balanced programming between target and chance

LU Gang¹, WEN Fu-shuan², ZHAO Xue-shun³, CHUNG Chi Yong⁴, WONG Kit Po⁴

(1. State Grid Energy Research Institute, Beijing 100761, China; 2. School of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 3. State Electricity Regulation Commission, Beijing 100031, China; 4. Department of Electrical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China. Correspondent: LU Gang, E-mail: lugang. ee@gmail.com)

Abstract: A programming method, termed as balanced programming between target and chance, is developed. Based on the all-around information about the effective decision front curve (EDFC) of the problems concerned, this method can maximize the utility of a decision-making problem through weighing the quantity relationships and comparing the changing velocity along the EDFC between the target profit and the realization chance. The method can solve stochastic optimization problems in a more rational, flexible, and easy-to-use way, and avoid conflicts among the expected value model, chance-constrained programming and dependent chance programming. A numerical example shows the effectiveness and main features of the proposed method.

Key words: Balanced programming between target and chance (BPTC); Expected value model (EVM); Chance-constrained programming (CCP); Dependent chance programming (DCP); Bidding strategies

1 引言

目前, 随机决策优化方法已在很多领域得到较为广泛的应用^[1-4]. 这些方法主要包括期望值模型 (EVM), 机会约束规划法 (CCP)^[5] 和相关机会规划法 (DCP)^[6]. 这 3 种方法的本质区别在于看待目标收益和实现机会的视角不同, 在数学模型上存在固有的偏好性. 因此, 在处理一些实际问题时会得到不同、甚至相反的结论. 例如, 文献^[7]中提到的六合彩悖论就是一个典型的例子, 3 种方法得到了完全不同的结论: 根据 EVM 模型, 期望收益结果为负, 人们不应购买六合彩; 而根据 CCP 模型, 则在一般的

置信水平 (大于 0.5) 下, 不可能获得大于零的收益, 决策解为空; 但根据 DCP 模型, 获得高额回报的机会随投入的增加而增大, 结论是人们应积极购买.

针对上述问题, 本文提出一种新的研究随机决策问题的一般性框架——目标与机会平衡规划法 (BPTC). 该方法是基于待决策问题的有效决策前沿曲线的全局信息, 兼顾目标收益和实现机会两个决策因素的数值关系以及二者沿有效决策前沿曲线变化速度的对比关系, 并以最大化决策效用为目标的方法. 决策过程统筹考虑了主观决策方式和客观决策规律, 不仅可以解释上述 3 种方法所产生的矛

收稿日期: 2008-11-11; 修回日期: 2009-04-28.

基金项目: 国家 973 计划项目 (2004CB217905); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-04-0818).

作者简介: 鲁刚 (1981—), 男, 黑龙江绥化人, 工程师, 博士, 从事电力市场和电力系统规划的研究; 文福拴 (1965—), 男, 河南安阳人, 教授, 博士生导师, 从事电力市场、电力系统故障诊断和系统恢复等研究.

盾,而且能以更合理、更全面、更灵活的方式来分析、处理各种随机优化问题.最后以电力市场环境下发电公司的策略性报价为例表明了该方法的有效性.

2 随机优化决策分析

2.1 随机优化模型简述

对于随机优化问题,可用如下数学模型加以描述:

$$\begin{cases} \max f(x, \xi); \\ \text{s. t. } g_j(x, \xi) \leq 0, j = 1, \dots, k. \end{cases} \quad (1)$$

式中: x 为决策变量, ξ 为随机变量, $f(x, \xi)$ 为目标函数, $g_j(x, \xi)$ 为约束条件, k 为约束条件个数.式(1)表示决策者在随机性的约束环境下,通过采取最优决策实现随机目标最优.决策变量空间

$$X = \{x \mid g_j(x, \xi) \leq 0, j = 1, \dots, k\}$$

具有随机性.

随机决策模型主要包括下述3种^[6]:

1) EVM 模型

$$\begin{cases} \max E[f(x, \xi)]; \\ \text{s. t. } E[g_j(x, \xi)] \leq 0, j = 1, \dots, k. \end{cases} \quad (2)$$

式中 E 表示期望值运算.

2) CCP 法

$$\begin{cases} \max \bar{f}(x); \\ \text{s. t. } \Pr\{f(x, \xi) \geq \bar{f}(x)\} \geq \beta, \\ \Pr\{g_j(x, \xi) \leq 0, j = 1, \dots, k\} \geq \alpha. \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\Pr\{\cdot\}$ 表示集合 $\{\cdot\}$ 中事件成立的概率, α 和 β 为给定的置信水平, $\bar{f}(x)$ 表示在给定的置信水平 β 下所能实现的最优目标.

3) DCP 法

$$\max \Pr \begin{cases} f(x, \xi) \geq \bar{f}; \\ g_j(x, \xi) \leq 0, j = 1, \dots, k. \end{cases} \quad (4)$$

式(4)等价于

$$\begin{cases} \max \delta = \alpha(x) \cdot \beta(x); \\ \text{s. t. } \beta(x) = \Pr\{f(x, \xi) \geq \bar{f}\}, \\ \alpha(x) = \Pr\{g_j(x, \xi) \leq 0, \\ j = 1, \dots, k\}. \end{cases} \quad (5)$$

式中: \bar{f} 为给定的预期目标, $\beta(x)$ 为收益 f 不小于 \bar{f} 事件发生的概率, $\alpha(x)$ 为满足约束条件的概率.因此, δ 为收益不低于 \bar{f} 的实现机会.

比较上述模型可知:EVM考虑了各种情况下实现期望收益最大化,其决策结果无法体现潜在风险,需要相应的风险管理工具;CCP法先设定可接受的收益最低实现机会,再寻求该实现机会下使收益最大化的决策,即机会优先的决策方式;DCP法则先设定可接受的期望实现的目标收益,然后寻求使该收益发生机会最大的决策,即收益优先的决策方式.

2.2 有效决策前沿曲线

随机决策应遵循如下两个原则:相同实现机会时,获得最大收益;相同收益时,获得最大实现机会.这符合 Pareto 最优原则^[8].将能同时符合这两个原则的决策结果称为有效决策,当然有效决策并不唯一.所有用 (δ, \bar{f}) 表示的有效决策点构成一个有效决策前沿曲线(EDFC),如图1中曲线1.其中 $\delta = \alpha \cdot \beta$,表示实现机会.由于 \bar{f} 与 δ 单调负相关,根据 CCP 或 DCP 得出的决策结果都将对应 EDFC 上的一点.

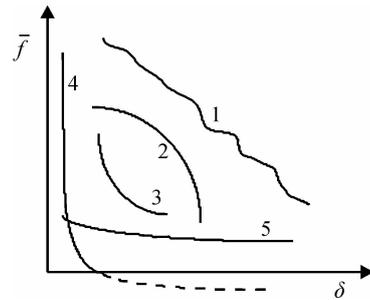


图1 有效决策前沿曲线及其基本形状

有效决策前沿曲线 EDFC 与 Markowitz 提出的基于 MVC 准则的有效前沿^[9]概念相似,但二者考虑的因素不同.有效决策考虑的是目标收益和实现机会,而 MVC 准则考虑的是期望值(收益)和方差(风险),但方差对收益的影响可正可负,并非一定是风险.因此,严格而言 MVC 准则并不全面.

对于决策者而言,目标收益越大越好,实现机会越大越好. x^* 优于 x , 当且仅当下式成立:

$$\begin{cases} \bar{f}(x^*) \geq \bar{f}(x), \\ \delta(x^*) \geq \delta(x), \end{cases} \quad x, x^* \in X.$$

但目标收益和实现机会二者是矛盾的,对于决策者而言,存在最优决策.

计及目标收益和实现机会两个因素的 EDFC 由决策问题本身确定,客观存在且唯一.因而 CCP 模型或 DCP 模型预先设定的机会或收益值,将仅对应 EDFC 上唯一的一个点.这相当于根据各自事先偏好选取了某对 (δ, \bar{f}) ,这将使得决策者忽视其他解而可能导致错过最优解.

3 目标与机会平衡规划法

在上述背景下,本文旨在发展目标与机会平衡规划法,即综合权衡决策收益和实现机会两个因素的随机决策方法.下面首先阐述该方法的机理,然后建立数学模型,最后概述其特点并提出合适的求解方法.

3.1 目标与机会平衡原理

为合理确定最优的有效决策点,可按如下方式权衡目标收益和实现机会.

3.1.1 目标收益与实现机会间的基本平衡原则

收益增加速度超过机会减小速度的点和机会增加速度超过收益减小速度的点,都是决策者更期望的决策点:当 $\partial^2 \bar{f} / \partial \delta^2 < 0$ 时,即在 EDFC 的凸出部分,如图 1 中的曲线 2,曲线中间某决策点优于两端点;当 $\partial^2 \bar{f} / \partial \delta^2 > 0$ 时,即在 EDFC 的凹入部分,如图 1 中的曲线 3,曲线两端的决策点优于中间点;当 $\partial^2 \bar{f} / \partial \delta^2 = 0$ 时,即在 EDFC 的线性部分,对各点的比较可依据后文所述方式进行。

需要指出的是,这里的 $\partial^2 \bar{f} / \partial \delta^2$ 是针对 EDFC 的,相当于将 EDFC 曲线视为 \bar{f} 关于 δ 的函数。

3.1.2 目标收益与实现机会变化速度的比较

综上可知,EDFC 上的非凹点和两端点都是可选的最优决策点.两端点的情况较为极端,可单独分析.对于 EDFC 上 $F'' = \partial^2 \bar{f} / \partial \delta^2 < 0$ 的凸出部分,沿 δ 轴方向,将由机会增加速度超过收益减小速度而逐渐转为收益减小速度超过机会增加速度,其中曲线凸出部分 $F' = \partial \bar{f} / \partial \delta = -1$ 的点则是该过程的转折点,是二者变化速度相等的点.因此,EDFC 上 $F' = -1$ 且 $F'' < 0$ 的点均为最优决策的候选点。

EDFC 上各点未必都可导,因此采用

$$\{F'_0-(\bar{f}(y), \delta(y)) + F'_0+(\bar{f}(y), \delta(y)) + 2\}^2$$

来估计二者变化速度的对比关系,值越接近 0, y 越优.其中 $F'_0-(\bar{f}(y), \delta(y))$ 和 $F'_0+(\bar{f}(y), \delta(y))$ 分别为 EDFC 上对应有效决策 y 的点 $(\delta(y), \bar{f}(y))$ 的左导数和右导数。

3.1.3 无差异决策曲线

在现代效用理论中,衡量主体对客体偏好的效用可采用效用函数或效用曲线表示,并可采用直接提问法或间接提问法等方式确定^[8,10].决策者在选择效用函数时,应该考虑决策问题的 EDFC 形状特点.例如,当曲线形状类似于图 1 中的曲线 5 时,目标收益的变化幅度相对较小,因此在确定效用函数时,决策者应更偏重实现机会.需要指出,EDFC 形状可通过粗略估计得出,不必精确计算。

使一个决策者具有相同效用的不同 (δ, \bar{f}) 可构成无差异决策曲线,其形状一般是凹的.在对应不同决策效用水平的无差异决策曲线构成的曲线族中,效用沿右上方越来越大.其中与 EDFC 相交(切)的最右上方无差异决策曲线对应决策者能得到的最大效用,而该最远相交(切)点即是最优决策点。

3.1.4 目标收益与实现机会的数值关系

机会 δ 为 $(0, 1]$ 间数值,而目标收益 \bar{f} 与具体问题相关,二者在数值上往往不可比,这将影响构建效用函数时对二者权重的衡量.这同时说明,因忽视二者在数值上不可比的特点,CCP 或 DCP 在最初就可

能存在偏好选择上的偏颇。

衡量收益和机会二者的数值关系可表示为

$$l = -\Delta \bar{f} / \Delta \delta, \quad \text{s. t. } V(\Delta \bar{f}) = V(-\Delta \delta). \quad (6)$$

式中: V 表示决策者对目标收益增加量和相应机会减小量的主观价值判断; l 为二者等价时的价值比系数,表示对应某较小的机会降低值,如 0.001 时,收益增加多大才刚好使决策者满意的情况,这可根据历史数据和经验判断得出.当然,价值比系数 l 会因 δ 处于不同区间而发生较大变化.因此,对于所研究问题,可形成价值比系数集合 $\{l_i, i = 1, 2, \dots, n\}$, l_i 表示对应 $(\delta_{i-1}, \delta_i]$ 范围内的价值比系数, n 表示分段总数,或采用分段函数 $l = L(\delta)$ 直接表示。

按价值比系数 l 修正 EDFC 曲线,即

$$\bar{f}'(\delta) = \bar{f}(\delta) / L(\delta). \quad (7)$$

因此,在修正的 EDFC 曲线上,满足下式的点是可选的最优决策点:

$$\frac{\partial \bar{f}'}{\partial \delta} = \frac{\partial \bar{f} \cdot L(\delta) - \bar{f} \cdot \partial L(\delta)}{L^2(\delta) \cdot \partial \delta} = \frac{\partial \bar{f}}{L(\delta) \cdot \partial \delta} = -1. \quad (8)$$

即在原 EDFC 上, $F' = \partial \bar{f} / \partial \delta = -L(\delta)$ 的点是可选的最优决策的候选点,相应可采用式 $\{F'_0-(\bar{f}(y), \delta(y)) + F'_0+(\bar{f}(y), \delta(y)) + 2L(\delta(y))\}^2$ 来估计收益与机会间变化速度的对比关系,值越接近 0, 决策 y 越优。

3.2 数学模型

根据以上分析,针对一个随机优化问题,决策者应在可选的决策空间 X 内,通过对各决策解在未来随机环境下可能的收益 \bar{f} 以及该收益可能实现的机会 δ 两个因素的对比,同时参考二者在 EDFC 上变化速度的对比关系来最大化决策效用.用数学语言可描述为

$$\left\{ \begin{array}{l} \max F(\bar{f}(y), \delta(y)) / (\{F'_0-(\bar{f}(y), \delta(y)) + F'_0+(\bar{f}(y), \delta(y)) + 2L(\delta(y))\}^{2p} + q); \\ \text{s. t. } y \in \{x \mid \delta(x, \bar{f}(x)) \geq \delta(x', \bar{f}(x)), \forall x' \in X\}, \\ \delta(x) = a(x) \cdot \beta(x) \geq \delta_0, \\ a(x) = \Pr\{f(x, \xi) \geq \bar{f}(x)\}, \\ \beta(x) = \Pr\{g_j(x, \xi) \leq 0, j = 1, \dots, k\}, \\ a(x), \beta(x) \in (0, 1], \\ \bar{f}(x) \geq f_0, \\ x \in X. \end{array} \right. \quad (9)$$

式中: F 为决策效用,表示决策者权衡收益和机会后的综合决策意愿; x 为决策变量; F' 表示 EDFC 上的 $\partial \bar{f} / \partial \delta$, 其中 $F'_0-(\bar{f}(y), \delta(y))$ 和 $F'_0+(\bar{f}(y), \delta(y))$ 分

别表示曲线上对应有效决策 y 的点 $(\delta(y), \bar{f}(y))$ 的左导数和右导数; $L(\delta)$ 表示关于 δ 的价值比系数 l 的函数; δ_0 为允许的最低实现机会, f_0 为允许的最低目标收益; p 和 q 为非负的系数, p 一般取整数.

函数 F 和 $L(\delta)$ 以及参数 δ_0 和 f_0 , 表征决策者个人偏好的决策方式; 而收益与机会变化速度对比的考虑, 则体现了依据待研究问题自身情况的客观决策方式. 因此, BPTC 决策过程统筹考虑了主观决策方式和客观决策规律. 其中系数 p 和 q 表示决策者愿意依据主观方式进行决策的程度. $p=0$ 表示完全按主观方式进行决策, q 越大主观决策方式越重要. 当 $F=1$ 时表示完全按客观规律进行决策, 但这可能产生多个可行解, 此时需要决策者将主观意愿与客观依据有机地结合起来.

3.3 模型特点

(1) 实际问题的 EDFC 曲线的基本形状可表现为图 1 中曲线 2~曲线 5 共 4 种情况. 其中, 曲线 4 大体可表示六合彩的 EDFC 形状, 虚线仅为说明六合彩收益为负时的情况. 这是一个典型的机会渺茫、收益又极具吸引力的问题. 由于该问题较为极端, 使得 EVM, CCP 和 DCP 三种决策方法之间的差异表现得非常明显. 其中 CCP 和 DCP 结论完全相反, 这是由于两种方法都仅关注于各自所偏好的因素, 忽视了六合彩 EDFC 的整体信息. 与此相反, BPTC 法将分析过程建立在对 EDFC 的整体认识之上, 兼具客观决策规律, 因此可以避免不合理的主观意愿对决策的影响.

(2) 根据上述的事例分析和数学理论说明, 可以看出 BPTC 法与 CCP 和 DCP 方法相比具有如下特点:

1) 相同点. 三者都将实际收益低于预期收益的概率作为风险度量的指标, 且决策结果都位于 EDFC 上.

2) 区别点. 虽然都是有效决策, 但在考虑目标收益和实现机会时, CCP 和 DCP 具有明显的偏好, 而 BPTC 则综合考虑了这两个因素.

3) 合理性. 无论优先考虑机会, 还是优先考虑目标收益, 都会造成决策者在判断上的单一性, 导致分析不够全面, 所以 BPTC 法更合理.

4) 灵活性. EDFC 的概念使决策者面对的决策结果范围不再局限于一个点, 而是一条曲线, 因此决策目标具有了相当的弹性, 即灵活性.

5) 全局性. 基于全部有效决策解构成的 EDFC 曲线进行决策, 曲线的形状有利于对决策问题有一个整体认识, 对决策过程具有指导意义.

6) 最优性. 由于 CCP 和 DCP 不是基于 EDFC

进行决策, 忽视了决策的整体信息, 会造成所得结论未必是决策者的最佳选择, 而 BPTC 则相反.

(3) 上述方法虽然是针对单目标建立的, 但可以扩展到解决多目标优化问题. 可考虑采用如下方式:

1) 在决策效用函数中, 结合多目标优化理论综合考虑多目标的各目标收益和实现机会.

2) 若将多目标组合形成单一目标, 则可按联合概率分布计算其实现机会.

3.4 求解方法

可以结合遗传算法和蒙特卡罗仿真方法进行求解, 有直接和间接两种方式. 直接法就是在决策变量空间内直接搜寻最优决策变量 x , 使决策效用最大, 具有目标明确、求解快速的特点. 间接法是指先利用 CCP 或 DCP 法获取 EDFC; 然后根据收益机会平衡原理进行求解. 这相对直接法需增加额外的计算负担, 但有助于了解待研究问题的 EDFC 曲线形状, 以利于采取更合理的决策策略.

4 算例及分析

下面以研究发电公司的策略性报价为例来说明所提出方法的特点, 这里采用与文献[3]相同的算例. 根据目标与机会平衡规划法建立如下数学模型:

$$\begin{cases} \max F(\bar{\pi}(y), \delta(y)) / (\{F'_0 - (\bar{\pi}(y), \delta(y)) + \\ F'_0 + (\bar{\pi}(y), \delta(y)) + 2L(\delta(y))\}^{2p} + q); \\ \text{s. t. } y \in \{x \mid \delta(x, \bar{f}(x)) \geq \\ \delta(x', \bar{f}(x)), \forall x' \in X\}, \\ \delta(x) = \Pr\{\pi(x) \geq \bar{\pi}(x)\} \geq \delta_0, \\ \delta(x) \in (0, 1], \\ \bar{f}(x) \geq f_0, \\ x \in X. \end{cases} \quad (10)$$

式中: $\pi(x)$ 为利润函数, 不详细写出, 具体可参考文献[3]; 参数 δ_0, f_0, p 和 q 分别取 0.5, 65, 1 和 0.01. 价值比系数设为如下的两段函数:

$$l = L(\delta) = \begin{cases} 40, & \delta \in (0.45, 0.8]; \\ 30, & \delta \in (0.8, 1.0]. \end{cases}$$

为构建效用函数, 比较相关结果, 首先利用 CCP 模型获得 EDFC, 如图 2 中的凸起实线, 该实线中间某决策点最优. 由曲线形状可知, 该问题的收益和机会变化幅度均较大, 因此效用函数 F 应兼顾二者, 可采用下式:

$$F = [\bar{\pi}(x)]^h \cdot \delta(x), \quad (11)$$

其中 h 表示决策者对利润的偏好指数.

以直接方式求解式(10), 遗传算法细节如下:

1) 设定种群数为 80, 最大允许遗传代数为

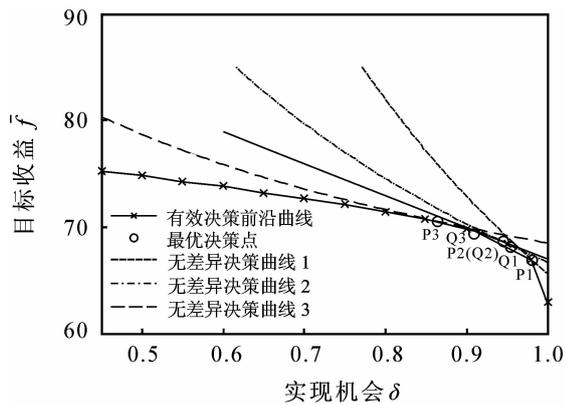


图 2 利润与机会之间的关系

100, 交叉和变异概率分别取 0.9 和 0.005, 仿真次数 M 为 5000 次.

2) 采用 $[x^-, x, x^+]$ 形式的实数编码的遗传算法, 其中 x^- , x 和 x^+ 都表示决策变量, 随着遗传代数的增加而不断趋同, 直到最优.

3) 对于该策略性报价问题, $\delta = \beta$. 考虑发生机会 $\delta_i = 0.45 + (i - 1) \times 0.009, i = 1, 2, \dots, 61$, 即 $\delta_i \in [0.45, 0.99]$, 每间隔 0.01 取一个发生机会点.

4) 适应度计算. 对于每个个体, 将 M 次仿真计算出的 π 值按降序排列, 将排在第 $[\delta_i \cdot M]$ 位的 π 定为对应该 δ_i 的 $\bar{\pi}$, $[\cdot]$ 表示正向取整运算. 则每个个体将得到 n 对 $(\bar{\pi}, \delta_i)$, n 对 $(\bar{\pi}, \delta_i - \Delta\delta)$ 和 n 对 $(\bar{\pi}, \delta_i + \Delta\delta)$. 采用

$$\frac{F(\bar{f}(\delta, x), \delta)}{\left\{ \frac{f(\delta - \Delta\delta, x^-) - f(\delta + \Delta\delta, x^+)}{\Delta\delta + 2L(\delta(x))} \right\}^{2p} + q} + F(\bar{f}(\delta - \Delta\delta, x^-), \delta - \Delta\delta) + F(\bar{f}(\delta + \Delta\delta, x^+), \delta + \Delta\delta)$$

计算每个个体在各机会处的适应度, 并以其中最大值作为该个体的适应度. 其中 $\Delta\delta$ 为决策者规定的较小参数值, 这里设 $\Delta\delta$ 为 0.002. 而 q 则由较大值 0.4 在进化后期变为 0.01, 以控制寻优过程由开始的快速趋近有效决策前沿曲线逐渐转为对有效决策前沿曲线上点的比较.

5) 采用最优保留策略和具有趋优性的混合交叉算子以及非均匀分布变异算子. 观察当 $p = 0$ 时, 决策者不同的决策取向对决策结果所产生的影响. 对于式(11)所表示的效用函数, h 越大, 表明决策者对利润的偏好越大. 当 h 分别等于 1, 2 和 5 时, 最优决策点是图 2 中的点 P1, P2 和 P3, 分别是 EDFC 和无差异决策曲线 1, 2 和 3 的相切点. 随着 h 的变大, 无差异决策曲线逐渐左倾, 最优决策点也开始左移, 表明决策结果的收益逐渐变大, 实现机会逐渐变小. 具体结果如表 1 所示, 其中 δ 值的精度约等于 0.01, 基本满足要求. 观察当 $p = 1$ 时, 目标收益和实现机

会变化速度的对比关系对决策结果所产生的影响. 当 h 分别等于 1, 2 和 5 时, 最优决策点分别为图 2 中的点 Q1, Q2 和 Q3. 当考虑收益机会变化速度的对比关系后, 最优决策点由 P1, P2 和 P3 变为 Q1, Q2 和 Q3. 图 2 中的直线与 EDFC 相切且斜率为 -30. 显然, 最优决策点受到直线与 EDFC 的相切点的“吸引”, 是仅根据效用函数进行决策的结果与该相切点之间的权衡结果, 这种决策方式统筹考虑了决策者的主观决策方式和待研究问题的客观整体情况. 另外, 因为 q 值很小, 收益机会变化的对比速度对决策结果有很大影响, 因而使 Q3 明显偏离 P3. 当 h 等于 2 时, P2 与 Q2 点相同, 主要原因是 P2 点本身是相切点, 以及所考虑的机会 δ 是离散的, 具有 0.009 的间隔, 因此使得二点近似重合. 各最优决策点 Q1, Q2 和 Q3 的具体结果如表 1 所示.

表 1 发电公司在不同收益偏好指数 h 和不同 p 下的收益、实现机会和最优报价系数

p	h	$\bar{\pi}$	δ	x
0	1	66.8904	0.981	0.03704
	2	68.6295	0.945	0.03703
	5	70.5319	0.864	0.03699
1	1	68.0867	0.954	0.03774
	2	68.6295	0.945	0.03703
	5	69.403	0.909	0.03690

若采用 DCP 模型, 需事先给定预期的收益, 即先在图 2 的纵轴上选取一点, 然后将 EDFC 上所对应的点作为决策结果. 但是, 如果决策者将 \bar{f} 定为 75, 则实现的机会将低于 0.5. 同样, 若采用文献[3]的 CCP 法, 则需事先给定置信水平, 即先在图 2 的横轴上选取一点, 然后将 EDFC 上所对应的点作为决策结果. 但如果决策者将 δ 定为 0.99, 则图 2 所示收益将会急剧下降.

由图 2 的 EDFC 曲线的凸形可知, 在 P1 和 P3 点范围附近的曲线转折部分应该是常规条件下的相对较好的决策解范围, 但具体哪个最优, 则要根据决策问题的客观情况以及决策者自身的偏好确定. 目标与机会平衡规划法完全体现了这一决策方式, 而间接分析法则更能客观地反映决策者对决策问题的认识过程, 得到的结论也更趋合理.

5 结 论

本文提出了目标与机会平衡规划法. 在所构造的方法框架下, 决策者在对待研究问题客观情况的整体认识的基础上, 通过权衡目标收益和实现机会两个因素, 并结合主观决策意愿和基于有效决策前沿曲线的客观决策规律, 从而最大化决策效用. 在合

理性、灵活性、全局性和最优性等方面,目标与机会平衡规划法优于机会约束规划法和相关机会规划法.更为重要的是,该方法在随机决策的思路进行了积极探索,这能够加深决策者对随机决策方式的理解,从而解决机会约束规划法和相关机会规划法在处理复杂多变的客观问题时可能存在的问题.如何将上述方法框架扩展到多目标优化等方面尚有待进一步研究.

参考文献 (References)

- [1] Connel L W, McDaniel P J, Prinja A K, et al. Modeling the heavy ion upset cross section[J]. IEEE Trans on Nuclear Science, 1995, 42(2): 73-82.
- [2] Liu Min, Wu F F, Ni Yixin. Market allocation between bilateral contracts and spot market without financial transmission rights [C]. Proc of 2003 IEEE Power Engineering Society General Meeting. Toronto: IEEE Press, 2003: 1007-1011.
- [3] 马新顺, 文福拴, 刘建新. 构造发电公司最优报价策略的机会约束规划方法[J]. 电网技术, 2005, 29(10): 35-39.
(Ma X S, Wen F S, Liu J X. A chance constrained programming based approach for building optimal bidding strategies for generation companies with risk management[J]. Power System Technology, 2005, 29(10): 35-39.)
- [4] Zhou Jian, Liu Baoding. New stochastic models for capacitated location-allocation problem[J]. Computers & Industrial Engineering, 2003, 45(1): 111-125.
- [5] Charnes A, Cooper W W. Chance constrained programming[J]. Management Science, 1959, 6(1): 73-79.
- [6] Liu B. Dependent-chance programming: A class of stochastic programming[J]. J of Mathematical Analysis and Application, 1997, 34(12): 89-104.
- [7] 刘宝碇, 赵瑞清, 王纲. 不确定规划及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
(Liu B D, Zhao R Q, Wang G. Uncertain programming with applications [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.)
- [8] Yu Po-Lung. Multiple-criteria decision making-concepts, techniques, and extensions[M]. New York and London: Plenum Press, 1985.
- [9] Markowitz H M. Foundations of portfolio theory[J]. The J of Finance, 1991, 46(2): 469-477.
- [10] 魏世孝, 周献中. 多属性决策理论方法及其在 C³I 系统中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
(Wei S X, Zhou X Z. Theory and method of multiple attribute decision making & application in the C³I system[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1998.)
- ~~~~~
- (上接第 1640 页)
- [12] 谢晋松, 范柄全. 带有状态时滞的网络控制系统的保性能控制器设计[J]. 自动化学报, 2007, 3(2): 170-174.
(Xie J S, Fan B Q. Guaranteed cost controller design of networked control systems with state delay[J]. Acta Automatica Sinica, 2007, 3(2): 170-174.)
- [13] Hideaki Ishii. Hinf control with limited communication and message losses[J]. System and Control Letters, 2008, 57(4): 322-331.
- [14] Stefano Battilotti. Control over a communication channel with random noise and delays[J]. Automatica, 2008, 44(2): 348-360.
- [15] Huijun Gao, Tongwen Chen. Network-based Hinf output tracking control[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2008, 53(3): 655-667.
- [16] Corradini M L, Orlando G. Robust quantized feedback stabilization of linear systems[J]. Automatica, 2008, 44(9): 2458-2462.
- [17] 王志文, 潘纬, 郭戈. 一类网络控制系统的稳定性分析[J]. 控制与决策, 2008, 23(11): 1311-1314.
(Wang Z W, Pan W, Guo G. Stability analysis of a class of networked control systems[J]. Control and Decision, 2008, 23(11): 1311-1314.)
- [18] Wang Y L, Yang G H. Multiple communication channels-based packet dropout compensation for networked control systems[J]. IET Control Theory & Applications, 2008, 2(8): 717-727.
- [19] Feng Lilian, James Moyne. Analysis and modeling of networked control systems; MIMO case with multiple time delays[C]. Proc of the American Control Conf. Arlington, 2001: 25-27.
- [20] James R M, Dawan M T. The emergence of industrial control networks for manufacturing control, diagnostics and safety data[J]. Proc of the IEEE, 2007, 95(1): 29-47.
- [21] Feng Lilian, James R Moyne. Performance evaluation of control networks: Ethernet, control net, and device net[J]. IEEE Control Systems Magazine, 2001, 21(1): 66-83.