

用蒙特卡罗法模拟工程造价

魏玉奇 马永平 唐 红

编辑: 本文将计算机技术中的蒙特卡罗模拟技术引入到工程造价控制中来,在招标阶段将获得的各种不可预见因素加以模拟,并进行消除,从而得到比较准确的造价预测。

1. 蒙特卡罗模拟技术简介

利用计算机模拟随机现象产生的随机数据来进行近似计算的方法叫做蒙特卡罗方法。在工程、通讯、金融等技术问题中,实验数据很难获取,或实验数据的获取需耗费很多的人力、物力,对此,用计算机随机模拟就是最简、经济、实用的方法。此外,对些复杂的计算问题,如非线性议程组求解,最优化、积分微分方程等一些偏微分方程的解^[1],蒙特卡罗方法也是非常有效的。

概率分析是在研究那些没有单一确定答案的问题时的一种有效工具,在工程实际中应用十分广泛。蒙特卡罗模拟作为随机模拟中的一种,可以认为是概率分析最简单有效的一种应用形式。在造价分析中应用蒙特卡罗模拟技术,其前提假设是各种不确定性参数可以用概率分布来描述,蒙特卡罗技术利用这些参数的概率分布来得出对造价预测的一系列模拟。

2. 蒙特卡罗法模拟工程造价的过程^{[3][4]}

2.1 模拟分析技术

对一个项目的模拟是运用在预测过程中的不确定性。首先,一个项目被分解成许多工作或工作单位,每一个工作或工作单位的“乐观”(或最低)和“悲观”(或最高)价格或时间是可以合理预测的,最可能值就是“最可能”概率分布的峰值。通常根据历史数据或专家判断也就只能得到这三个值,再多一些也没多大意义。对于预测来说,实用的方法和对结果进行敏感性分析有助于减少过多抽象的分析,不确定性事物的值是模糊的,没有一个精确值。

传统的单值分析和运用模拟分析是有明显区别的。在确定性分析中,对各参数估计一个单一值并由此得出一个单一的最终结果。而在模拟分析中,通过

从各工作的概率分布中抽取独立样本来对项目进行试算。一部分试算结果可能偏向于乐观值,而另一些则偏向于悲观值。在对项目进行第一次试算后,计算机可多次重复这一过程。它利用随机数发生器来选择一定区间内的值,这种选择是根据概率分布来确定数据出现的频率,在现实生活中,事实上不存在项目过程中所有工作都达到最乐观或最悲观的值。最终结果满足各种可能出现值的一个概率分布。模拟方法就是利用上述三个值来描述在最乐观和最悲观这两个极端情况之间可能出现的各种情况。实际上,概率分布就是所给出的这三个值的权重。

2.2 概率统计在建筑造价规划中的运用

建筑工程的造价就是业主所愿意支付的和承包商为满足其合理利润而愿意承担工程的价格的交点。可以认为最终价格是包含在一组可能价格中的某一个。这一组价格中既包括极端情况,也包括最可能的价格。

通常业主在正常情况下,将以往在拟建建筑设计阶段所作的单一造价预测值作为最可能的投标价格。但是,他们缺乏一种量度方法,以了解实际投标价格高于或低于预测价格的可能性是多少。预测价格仅仅是对投标价格的一个估计。但是,业主必须确信预测的价格既不过于乐观也不过于悲观,而应是最可能的价格。如果预测过于乐观,业主将在不实际的项目方案上浪费时间 and 资源。而另一方面,如果预测过于悲观,又会导致降低业主在建筑工程项目上的投资兴趣。从而转向投资于其它方面。

所有预测价格的一大特征就是不确定性。价格预测不是一个精确的科学试验,而是一门包括直觉和专家判断在内的艺术。没有偏见的预测价格毫无疑问是最理想的,但实际上对可能做出某一预测价格的概率是多少这一问题,是无法用客观方法测定的。因为一个预测价格是由许多部分构成的,对其精确性的客观评价只有通过运用统计技术来加以实现。

概率理论通过一个数字来表示将来的不确定性,以便可以直接对不同事件的不确定性加以比较。通常使用概率密度函数来表示一个事件可能发生的概率。如果我们能得到某一预测价格的概率密度函数,我们就可以推测该预测价格在多大程度上是合理的。

当我们估算拟建项目的建造费用时,通常以已建项目的数据为基础,并加以调整而得。预测中所使用的建筑费用通常是基于对与拟建项目相似的一小部分已建项目的费用分析或费用分解。某一项目将来的投标价格可以通过对过去类似项目的投标价格的分析和调整而得出。但在某些情况下,可能无法获得历史费用数据,在这种情况下经验和技术就起到了重要作用。影响价格预测的几个因素如下:

① 可得到的设计信息的程度(不论采用何和预测方法,设计越不完善,其价格预测精度就越低)。

② 可得到的与拟建项目类型有关的历史费用数据。

③ 对拟建项目和类似性质项目的熟悉程度。

需要着重指出的是造价预测的精度取决于其所采集的样本的情况。而且样本的好坏包含了两方面的含义。一方面在其它条件相同的情况下,样本的数量越多越好。另一方面,样本应是拟建项目相类似的。换句话说,样本与拟建项目在主要造价特征方面应是基本一致的。还有一个问题需要投资者注意,通常与投标价格分析有关的造价数据是来源于已完成项目的最终价格。因此,这些数据掩盖了地区差异以及项目在规模、质量、复杂程度和可建造性方面的差异对造价的影响。因此,需要运用专业技术和判断来仔细选择哪些项是与拟建项目相类似的。

2.3 利用概率进行风险分析

风险分析是建立在价格分析的基础上的。通过上述对概率统计在价格分析中的应用的介绍,我们对概率统计在项目管理中的作用有了一个简单的了解。在投标前,对建造费用的估算中涉及一定的不可预见因素。

考虑不可预见因素的一个简单明了的方法是制定一份风险清单,给出每个子项风险事件发生的概率,并给出以下三个预测:

- ① 最可能价格;
- ② 最低价格;
- ③ 最高价格。

由于对概率的确定是无法完全准确

的,因此需要结合专家判断和直觉,必须考虑应在预算价中加入多少风险准备金,以使业主确信所有可能结果都已考虑到了。

2.4 用蒙特卡罗模拟进行风险分析

通过风险分析可以得出拟建项目造价规划中各要素的假设平均单价。这些假设单价是根据类似项目的统计数据的概率分布即概率密度函数而得出的,这些分布或函数反映了用于计算平均单价的样本的特征。然后,利用这些单价就可得出拟建项目的总的预计费用。如果这一过程重复足够多的次数,我们就可得到预测总价的概率密度函数,由此而确定最可能的总价。

常见的概率分布类型有:均匀分布、三角型分布、正态分布、泊松分布、二项分布、对数分布、指数分布、几何分布、超几何分布和 β 分布。选择一个概率分布的过程有时对人们来说显得较为困难,要选择一个正确的概率分布应遵循以下三个原则:

① 列出所有已知道的与变量有关的情况及该变量所处的环境;

② 了解基本类型的概率分布;

③ 选择能反映所研究的变量的特征的概率分布。

分布既可以是连续的,也可以是离散的。绝大多数建筑业活动的值都是连续型的,这是因为在可能范围内的各值都有可能出现。离散分布指的是在一定范围内只有特定的某些值会出现。

3. 蒙特卡罗模拟法应用举例 (以 β 分布为例)

蒙特卡罗分析通过生成一系列对拟建项目的模拟来进行,每一次模拟给出了一个预测价格,将这些预测结果标于图上,首先是一条累计频数曲线,其次可得到直方图。下面将对一个案例分析的过程进行详细介绍如下:

第1步:对某一要素,如建筑物地下结构部分,确定其造价的概率分布,并据此得出用于预测的按每平方米总建筑面积计算的单方价格。我们把这个价格叫作平均单位价格,因为这个价格是从多个已建项目中得出的。这是分析中关键的一步,也是最困难的一步,尤其是因为我们必须事先确定其概率分布。现在我们面临的问题是为某一组子样数据选择一个合适的概率分布。

通过历史单方造价数据子样,我们可以量度其集中性(均值)和分散性(偏差),这是利用概率分布所能得到的。此外,我们所使用的统计分布还应包括其它几个方面的特征。

首先,该分布应是从有限数据中较容易识别出来的,如正态分布可通过均值和偏差加以确定。

第二,当在分析过程中获得了额外数据时,应能容易的对该分布予以更新。

第三,概率分布应具有灵活性,即能够包含多种形式的曲线。

最后,我们应力争各概率分布有各自的结束点。要求不能为负数是没有多大意义的。更为重要的是,我们希望由资源、设计、利润所确定的综合单价是由在可行的或可接受单价范围内的各要素价格所组成的。我们所选择的概率分布应能在上述范围内适用。

根据上述讨论,能够完全满足上述这些特性要求的唯一一种概率分布就是 β 分布,其公式为:

$$P(x) = \frac{1}{B(p,q)} \times \frac{(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{(b-a)^{p+q-1}}$$

$$(a \leq x \leq b); p, q > 0$$

式中: $P(x)$ ——频率密度函数

$a(b)$ ——最低(最高)价格;

p, q ——分布参数, $p, q > 0$

$B(p, q)$ ——函数。

首先需指出的是 P 分布是由参数 p, q, a 和 b 所确定的,这些参数很容易就可从实际数据中推导出。我们可以将子样中最小值作为 a ,最大值作为 b ,利用下述公式就可计算出 p 和 q :

$$p = \left(\frac{u_1 - a}{b - a} \right)^2 \left(1 - \frac{u_1 - a}{b - a} \right) \left[\frac{u_2}{(b - a)^2} \right]^{-1} - \frac{u_1 - a}{b - a}$$

$$q = \left(\frac{u_1 - a}{b - a} \right)^2 \left(1 - \frac{u_1 - a}{b - a} \right) \left[\frac{u_2}{(b - a)^2} \right]^{-1} - \left(1 - \frac{u_1 - a}{b - a} \right)$$

式中 u_1 ——均差; u_2 ——方差。

对某一特定的 β 分布可以快速容易地在获得了额外历史数据子样后进行更新。

第2步:在确定形成最终价格的各要素的 P 分布形式之后,需要从每一个分布中产生一个随机数,这项工作可以通过利用计算机中的随机数发生器来实现。每一个随机数代表的就是该要素所对应的预测单价。在我们假设的例子中,下部结构部分产生的数字可能为1000元/ m^2 。需注意的是,这一数字不需要满足任何实际观测,但它必须位于 (a, b) 区间内,同时,产生的不同随机数的数学期望值应与均值相同。

第3步:将随机单价与拟建建筑中该要素的工程量相乘,例如,如果下部结构的工程量为1000 m^2 ,则到该部分的预测价格为1000元/ $m^2 \times 1000m^2 = 100$ 万元。

第4步:将第3步中得出的各要素预测价格累加,以得出对项目总的预测价格,保存该预测值,再返回第2步,重复 N 次, N 可以为50,100,200次,最终得到对项目的 N 次模拟值。

第5步:将 N 次模拟的结果用累计频率曲线和直方图来表示,对模拟次数 N 的选择是一个重要的问题。通常 N 应是足够大,因为这样可以生成一条更光滑的累计频率曲线和直方图,但另一方面,过多模拟次数也是有代价的,要花费更多的计算机时或人工处理过程。

对何为“正确的”或“理想的”次数 N 没有一个简单的答案。如果重复的次数太少,则得出的分布结果看上去将是不规则的。重复的次数越多,得出的分布也就越能准确反映可能结果出现的范围。

第6步:认真对结果作出解释。仔细观察各要素间的相互关联性,这时就需要经验和直觉。再观察结果分布的形状及累计频率图。通过累计频率分布可以使我们可以考察得到低于确定价格的某一值的概率。基本上,我们可以通过该分布得出最可能价格出现的可能性是多大。最后还需再考察一下根据各数据所得出的统计资料。

第7步:通过对关键要素进行敏感性分析来考察数据的敏感程度。

4. 总结

在初步了解了风险分析之后,我们也可以推论,在可得到有关历史数据的情况下,蒙特卡罗法也可以用于其它方面的预测和估算。例如人们通常利用对各项工作及其时间的模拟来预测建造周期。

蒙特卡罗模拟法操作十分简单,可以在实际应用中得到广泛的应用。工程技术人员和业主及建筑商只要积累各个方面的历史数据,就可以在此基础上进行科学的分析。□

参考资料

- [1] 萧树铁. 数学实验[M]. 北京:高等教育出版社, 2001.
- [2] 王梓坤. 概率论基础及其应用[M]. 北京:北京师范大学出版社, 1996.
- [3] Paper NO 43. Bake AJ(1986) Valuing Information about Risk, University of Leicester, Kiscussion Paper
- [4] Bennet J and Onmerod R N (1984) Simulation Applied to Construction Projects, Construction Management and Economics, 2, 225-263