

# 基于蒙特卡罗模拟技术的电力工程施工招投标风险管理研究

郑 华

国网成都供电公司, 四川 成都  
Email: zhenghua1102@163.com

收稿日期: 2021年5月22日; 录用日期: 2021年6月6日; 发布日期: 2021年6月21日

## 摘 要

加强招投标管理, 控制工程造价, 保证工程建设质量是电网工程建设的重要环节。针对现阶段电力系统输变电工程采用工程量清单计价方式进行公开招标, 投标报价环节是影响招投标活动的关键风险现状, 本文基于对电力工程各项结算费用的分析以及工程造价中已知综合单价组成要素的概率分布, 采用蒙特卡罗技术来进行工程量清单子目综合单价的模拟预测, 实现工程造价环节的多参数分析、造价动态控制、信息预测、组成费用相关性考虑以及综合单价范围确定等功能。一方面为评标提供依据, 另一方面降低施工招投标过程中的损失, 有效控制工程造价, 达到电力工程施工招投标风险管理的目的。

## 关键词

电力工程, 施工招投标, 蒙特卡罗模拟, 风险管理, 工程造价, 综合单价确定

# Research on Risk Management of Power Engineering Construction Bidding Based on Monte Carlo Simulation Technology

Hua Zheng

State Grid Chengdu Power Supply Company, Chengdu Sichuan  
Email: zhenghua1102@163.com

Received: May 22<sup>nd</sup>, 2021; accepted: Jun. 6<sup>th</sup>, 2021; published: Jun. 21<sup>st</sup>, 2021

## Abstract

Strengthening the management of bidding, controlling the project cost, and ensuring the quality of the project are important links in the construction of power grid projects. In view of the current

situation that the power transmission and transformation project of the power system adopts the bill of quantities pricing method for public bidding. The bidding quotation link is the current status of the key risk affecting the bidding activities. Based on the analysis of the various settlement costs of power projects and the probability distribution of the known comprehensive unit price components in the project cost, this paper uses Monte Carlo technology to simulate and predict the comprehensive unit price of the bill of quantities sub-items, and realize the multi-parameters of the project cost link. Based on the analysis of the various settlement costs of the power project and the probability distribution of the known comprehensive unit price components in the project cost, this paper uses Monte Carlo technology to simulate and predict the comprehensive unit price of the bill of quantities. It can also realize the functions of multi-parameter analysis of the project cost link, dynamic cost control, information prediction, consideration of the cost correlation, and the determination of the comprehensive unit price range. On the one hand, it provides a basis for bid evaluation; on the other hand, it reduces losses in the construction bidding process, effectively controls the project cost, and achieves the purpose of risk management of power engineering construction bidding.

## Keywords

Power Engineering, Construction Bidding, Monte Carlo Simulation, Risk Management, Project Costs, Comprehensive Unit Price Determination

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

电网建设工程投资大,同时因政府调规、路径变化等外部环境变化导致建设周期较长,建设施工过程中面临的不确定风险因素影响随之增多[1]。施工招标投标活动是电网工程建设的起点,加强招标投标管理,可以控制工程造价,保障工程建设质量,如果忽略招标投标过程中的风险就有可能给招标人带来难以预估的损失[2][3]。

目前,输变电工程项目采用工程量清单计价方式进行公开招标,投标报价环节是影响招标投标活动的关键风险环节[4]。由于市场竞争激烈、政策性因素多、材料价格波动幅度大等原因,投标单位在投标过程中采取不合理报价甚至低于成本价投标等策略先达到中标的目的;在施工过程中采取盲目提出变更申请、不合理降低投入等手段控制施工成本;在结算过程中采取扩大索赔、提高清单漏项综合单价、拖延结算等手法以希望获得更大利益,导致工程实施阶段存在着一系列工程造价风险,一直以来是电网基建项目造价管理中的难点[5]。同时,为了贯彻落实造价标准化管理的各项要求,加强造价控制,运用风险管理的方法,分析建筑工程综合单价投标报价的合理范围为商务标的评比提供依据,从而提高电力工程施工招标投标风险管理水平[6]。

## 2. 电力工程结算费用情况

### 2.1. 分项费用占比分析

变电站本体部分主要由主要生产工程、辅助生产工程、与站址有关的单项工程三大部分组成,统计分析结果如图1所示。

## 2.2. 分项工程费用占比分析

主要生产工程费用约占建筑工程费用的 65%，对主要生产工程费用进行分析，找出影响工程费用的主要分项工程，分析结果如图 2 所示。

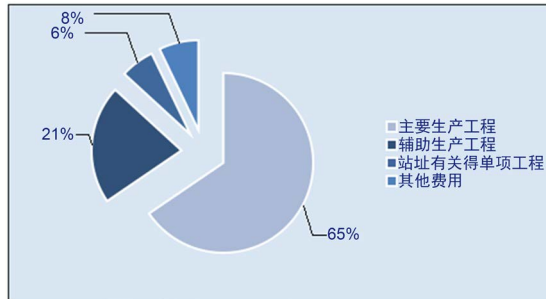


Figure 1. Analysis of the proportion of the itemized construction cost  
图 1. 建筑工程费分项费用占比分析

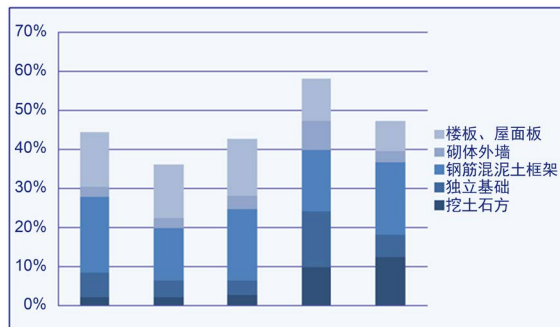


Figure 2. Analysis on the proportion of sub project cost  
图 2. 分项工程费用占比分析

如图 2 所示：挖土石方、独立基础、钢筋混凝土框架、砌体外墙、楼板、屋面板，五项分项工程费用累积占随机抽取的五项工程样本主要生产工程费用总额的比例分别是 44%、36%、43%、58%、49%。可以确定挖土石方、独立基础、钢筋混凝土框架、砌体外墙、楼板、屋面板分项工程是影响工程费用的主要因素。

## 2.3. 主要分项工程费用分析

挖土石方、独立基础、钢筋混凝土框架、砌体外墙、楼板、屋面板五个因素占主控楼单项工程投标报价总额的比例如图 3 所示，分别是：8.79%，9.62%，7.18%，21.28%，16.41%。

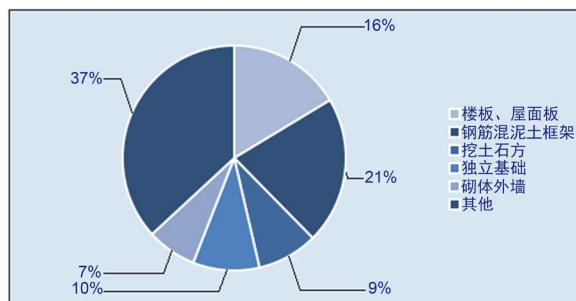


Figure 3. Analysis on the proportion of main itemized expenses  
图 3. 主要分项费用占比分析

对主要分项费用的综合单价进行分析,如图4所示:独立基础工程、钢筋混凝土框架工程的综合单价分部较为离散。

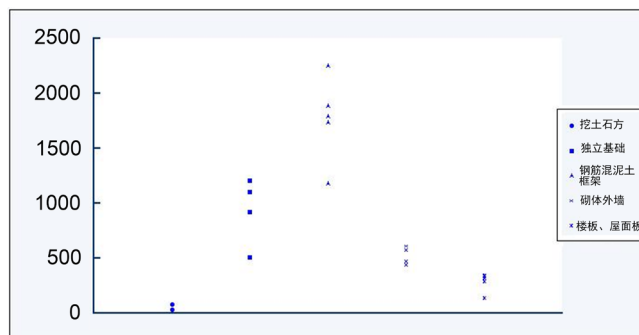


Figure 4. Discrete analysis of comprehensive unit price  
图4. 综合单价离散性分析

综上,钢筋混凝土框架工程对主控楼单项工程投标报价的影响较大,约21.28%,且分布较为离散,故拟对主控楼的钢筋混凝土框架工程综合单价进行蒙特卡罗模拟,分析该分项工程投标报价的合理范围。

### 3. 蒙特卡罗模拟技术

蒙特卡罗模拟技术用在工程造价中,利用综合单价组成要素的已知概率分布来进行一系列的模拟预测出工程量清单子目综合单价[7]。在模拟分析过程中,该方法要通过从综合单价各组成要素的已知概率分布中多次重复抽取独立的随机样本,并依据概率输入变量确定结果变量的分布。由概率定义知,某事件的概率可以用大量试验中该事件发生的频率来估算,当样本容量足够大时,可以认为该事件的发生频率即为其概率。假设函数 $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ,其中 $X_i = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ 为随机变量,其对应的概率密度函数分别为 $Q_{X_i}$ 。首先利用随机数发生器抽取随机变量 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 的一组值 $(x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk})$ ,并计算得到对应该组值的函数 $Y$ 的值 $y_k = f(x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk})$ ,经过多次独立反复抽样,可以得到函数 $Y$ 的一批抽样数据 $y_1, y_2, \dots, y_m$ ,当模拟次数即 $m$ 足够大时,便可以得到与实际情况相近的函数 $Y$ 的概率分布与数字特征。蒙特卡罗方法的本质就是模拟随机变量 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 的函数 $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ,模拟算法简单,过程灵活,而且水晶球软件能很好很方便地对MCS进行操作,可进行多元不确定性因素变化的模拟分析对结果的影响。其在工程造价中应用的优点有:

1) 多参数分析。用概率来分析处理不确定性,因而可以对多个共同影响综合单价的不确定性因素都发生变化时的综合单价分析。如:综合单价的三大构成费用,人工费、材料费、机械费受到市场价格变化、施工技术水平等多种不确定性因素影响时发生变化,并按照一定的概率分布随机变化。

2) 工程造价动态控制。目前清单计价累计数据缺乏,随着经验的不断积累和信息数据的完善,对综合单价影响因素分析可能出现全新的认识,运用蒙特卡罗模拟可以对调整的综合单价不确定因素概率分布进行预测,得到新的综合单价合理范围。

3) 预测信息丰富。通过模拟可以获得清单项目综合单价的概率分布,还可以进行由于时间影响的造价的趋势分析,在不同置信水平下综合单价的合理范围,同时对每个不确定性因素对综合单价的影响程度进行分析,即灵敏度分析。

4) 有效考虑组成费用的相关性。综合单价中的某些影响因素之间存在一定的相关性。如人工费和机械费一般随着材料费的增加而增加。蒙特卡罗模拟技术可以通过定义这些影响因素之间的相关系数,充分考虑他们的相关性,提高预测综合单价的准确度。

蒙特卡洛模拟法对综合单价进行分析的步骤如图 5 所示：

- 1) 确定需要模拟的不确定因素即输入随机变量；
- 2) 确定随机变量的概率分布；
- 3) 通过模拟试验，独立地随机抽取输入变量的值，并使所抽取的随机数值符合既定的概率分布；
- 4) 建立数学模型，按照研究目的编制程序计算各输出变量；
- 5) 分析结果，根据概率承受偏好，找出符合特定标准的概率分布；

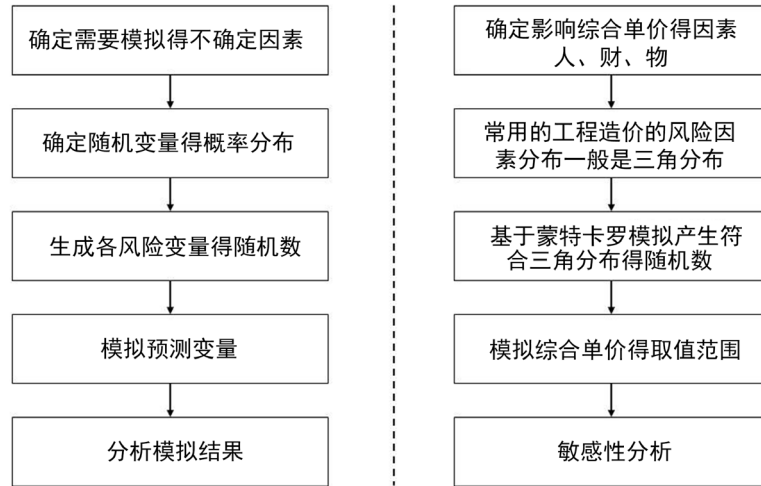


Figure 5. Steps of Monte Carlo simulation analysis

图 5. 蒙特卡罗模拟分析的步骤

## 4. 综合单价分析

综合单价是完成一个规定计量单位清单的分部分项工程量清单项目或措施清单项目所需的人工费、材料费、施工机械使用费和企业管理费与利润，以及一定范围内的风险因素。因此，影响综合单价的关键因素可以从综合单价的构成部分入手，影响各组成部分的因素有哪些，并且分析各影响因素会对综合单价产生影响的程度。

### 4.1. 影响综合单价的因素

影响人工费方面的因素有工程的特性、施工方案、施工条件及人员能力；影响材料费方面的因素有材料的损耗率(与施工方案有关)和不同时期、不同地区及不同供应商的材料价格差异；影响机械使用费方面的因素施工方案和机械设备情况；影响企业管理费、利润的因素则包括承包人的管理能力水平、技术水平和类似工程经验，以及竞争对手的情况和项目的风险。原则上管理费用应以人工、材料、机械费用之和为基数，费率一般是由《电网工程建设预算编制与计算标准》中相应的费率延伸得来的，根据项目的不同可做相应的改变，利润则是以工、料、机费用加上管理费之后的和为基数，费率一般为 5%~7%。管理费费率应采用适合本企业和具体投标工程的费率，其选择更多的取决于企业自身的管理水平、总体管理效率和管理能力，每个施工企业都应在施工实践中逐步形成一套适合自身的管理费率。而利润率的选定直接体现出投标单位的定价政策，还能反映企业的市场成熟度。

### 4.2. 综合单价分析模型

综合单价  $Z =$  人工费  $G +$  材料费  $L +$  机械使用费  $J +$  管理费  $F +$  利润  $R +$  风险费用  $W$

运用蒙特卡罗模拟时，必须考虑到综合单价的各影响因素之间的独立性，因管理费和利润都是以人工费、材料费和机械费基数按照一定的费率计算得到的，根据影响因素的独立性原则，只要考虑他们的费率取值范围就可以了。对于综合单价要考虑风险因素的影响，这里采用蒙特卡罗模拟整个综合单价影响因素的概率分布，其实就已经将各主要部分影响因素的风险考虑在其中了，不必要再单独量化这部分的费用。故，综合单价的函数公式为：

$$Z = (G + L + J)(1 + f)(1 + r)$$

其中： $f$ 为管理费费率， $r$ 为利润费率。为简化计算，按照《电网工程建设预算编制与计算标准》的规定，取管理费费率为8.66%，利润费率为5.5%。

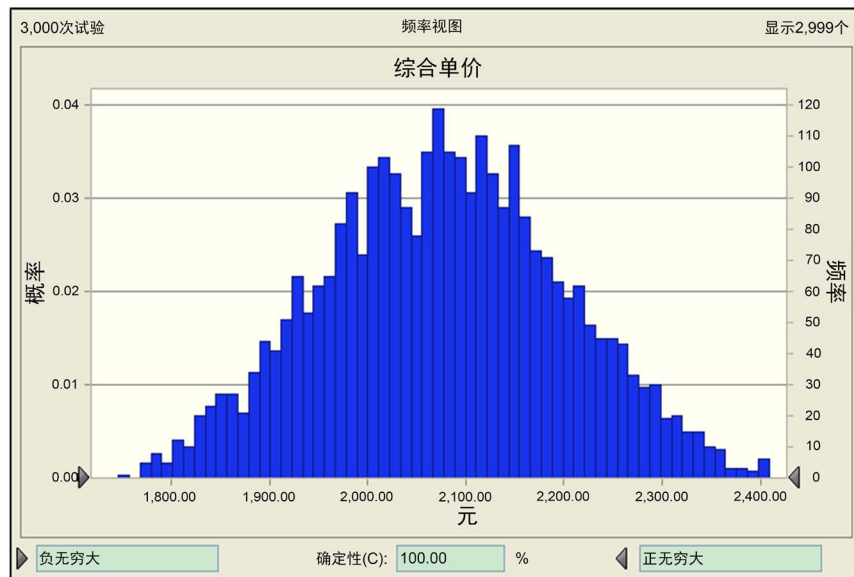
### 5. 蒙特卡罗模拟技术的应用

常见的用于工程造价的随机分布为三角分布。根据造价分析的历史数据，根据表1按照简化三角分布函数的原则分别给出各人工费、材料费、机械使用费的最小、最大和最可能工程造价的数值。

**Table 1.** Parameter value of trigonometric partial function influencing comprehensive unit price variable  
**表 1.** 影响综合单价变量的三角分部函数参数值

参数	数值(元)	参数	数值(元)	参数	数值(元)
$a_1$	201.65	$b_1$	299.25	$c_1$	445.64
$a_2$	1121.57	$b_2$	1338.13	$c_2$	1569.38
$a_3$	135.6	$b_3$	149.72	$c_3$	169.24

由图6和表2中的模拟结果可知，钢筋混凝土框架工程综合单价合理报价的范围为(1732.67, 2408.76)。随机抽取的五项工程样本中施工单位对该分项工程的报价分别是2253.07, 1888.42, 1937.59, 1990.12, 1179.16。施工单位对五龙变电站关于该分项工程的投标报价不合理，其余四项工程报价均在合理范围内。



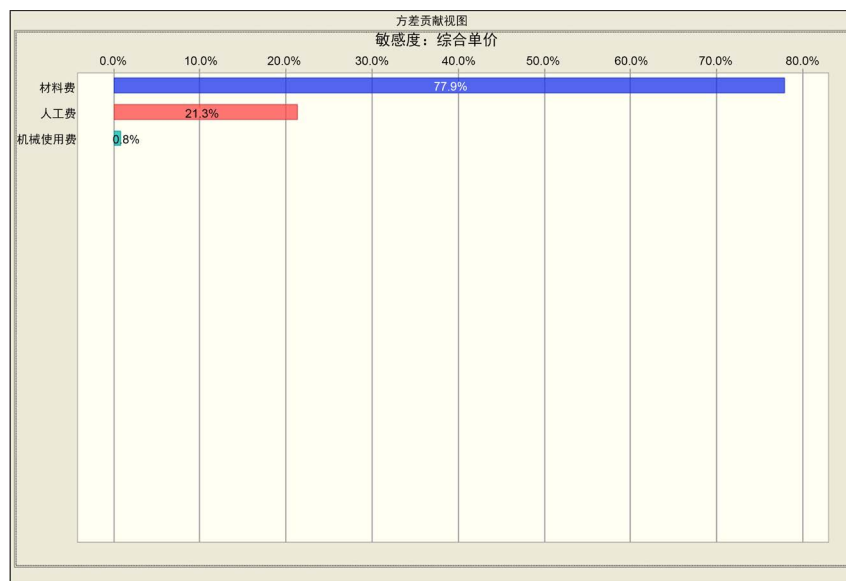
**Figure 6.** Frequency distribution of comprehensive unit price  
**图 6.** 综合单价频率分布

**Table 2.** Probability distribution of comprehensive unit price  
**表 2.** 综合单价概率分布

概率(%)	综合单价(元)	统计项目	预测值
0%	1732.67	试验次数	3000
10%	1917.61	中间值	2076.83
20%	1970.85	标准偏差	121.80
30%	2009.04	方差	14834.99
40%	2043.44	偏斜度	0.02
50%	2076.83	峰度	2.59
60%	2109.48	变异系数	0.059
70%	2142.74	最小值	1732.67
80%	2182.35	最大值	2408.76
90%	2238.37	范围宽度	676.09
100%	2408.76	平均标准误差	2.22

## 6. 敏感性分析

综合单价对材料费、人工费最为敏感。如图 7 所示在建筑工程综合单价中，材料费是最主要的组成部分，同时也是其中包含不确定性和风险性因素最大的费用，合理确定综合单价的关键任务就是合理确定材料的单价和费用。无论是建设单位的招标控价，还是投标人的投标报价都要考虑材料价格随市场和时间的波动情况，充分利用价格信息网络，并根据以往工程经验采用有效途径和方式进行市场询价，从而对工程材料确定合理的价格。



**Figure 7.** Sensitivity analysis of influencing factors of comprehensive unit price  
**图 7.** 综合单价影响因素敏感性分析

## 7. 总结

从综合单价的合理确定入手，为招投标阶段工程造价的有效控制寻找招标投标双方均能接受的综合

单价合理范围, 基于综合单价包含的费用内容分析影响综合单价的关键因素, 在综合单价费用的计算模型中, 利用蒙特卡罗模拟方法进行数据模拟理论分析, 选用电力工程中的工程清单项目招标控制价和中标价的数据, 采用水晶球软件进行蒙特卡罗模拟, 确定出综合单价合理范围, 为评标提供依据, 降低了施工招投标过程中的损失, 有效控制了工程造价。

### 参考文献

- [1] 郭姝含. 电力工程施工招投标阶段的风险分析和管理的[J]. 花炮科技与市场, 2020(2): 60.
- [2] 徐宁. 电力工程项目风险管理实施方法研究[J]. 甘肃科技, 2009, 25(23): 101-102.
- [3] 韩锋. 浅析电力工程建设中风险管理[J]. 中国新技术新产品, 2017(19): 116-117.
- [4] 李芬花, 纪昌明, 刘元, 邢健. 基于层次分析法的水利水电工程 A.D.HALL 系统风险评估方法研究[J]. 水利水电技术, 2010, 41(3): 50-52.
- [5] 朱宝全, 邹阿荣, 马振江. 层次分析法在输变电工程项目风险管理中的应用[J]. 电站系统工程, 2010, 26(2): 71-72.
- [6] 梁洪山. 35kV 输变电工程(变电站)建设项目风险管理研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南大学, 2019.
- [7] 张利容. 基于蒙特卡洛的输电线路清单招投标风险研究[J]. 价值工程, 2014, 33(34): 40-42.