

一类电子评标算法的安全性分析

赵 国

(西南民族大学计算机科学与技术学院, 成都 610041)

摘 要:电子评标算法是整个电子招标系统的核心所在,其安全性能直接关系到评标结果的公平和公正,鉴于此,对基于价格构成要素的偏差率加权平均的电子评标算法的安全性进行分析。研究表明,基于偏差率加权平均的最低评标价算法,其线性结构导致严重安全隐患。在该算法参数已知条件下,投标人可以私下串通报价,从而影响招标文件中所有清单项的价格构成要素的基准值,进而控制指定标书的偏差率。根据大数定律并结合研究结果,发现小部分(理论阈值约为 20%)投标人采用串通投标报价的欺骗策略,就能大概率地使指定标书偏差率达到理论最小值,从而成为中标候选人。研究结果将有助于确保招标投标各方的合法权益。

关键词:电子评标算法;评标价;安全性分析;偏差率;加权平均;线性结构;大数定律

中图分类号:F284

文献标志码:A

引 言

电子评标算法是整个电子评标系统的核心所在,其算法性能不仅影响评标结果的公平和公正,而且直接关系到招标、投标各参与方的合法权益^[1]。

已有的招标、投标策略的研究多集中于各投标人的成本分布函数,通过计算博弈均衡以确定最优报价^[2-10],此法没有考虑电子评标算法本身具有的特征,因而存在一定不足。例如,在工程量清单招标中,工程数量是给定的,这意味着各标书的投标报价是综合单价的线性函数,如果投标人事先知道招标文件中公布的电子评标算法也存线性结构,那么他可能会联合部分投标人私下串通投标报价,利用电子评标算法本身的潜在缺陷影响甚至控制最低评

标价,从而损害招标人或者其他投标人的合法权益。当然,串通投标报价的行为违反了《中华人民共和国招标投标法》,但若是电子评标算法本身存在缺陷,则对此类违法行为防不胜防。

该算法作为评标算法的附件见于《绵阳市国家投资工程建设项目房屋建筑及市政工程标准施工招标文件(2010 年版)》^[11]。虽然在最新版《绵阳市国家投资工程建设项目房屋建筑和市政工程施工标准招标文件(2017)》^[12]中,没有继续推荐使用该算法作为评标价算法,但该算法的一个改进版本被《深圳市建设工程施工招标文件示范文本(2012.06 版)》^[13]采用。

在这一类基于价格要素偏差率的电子评标算法中,标书的偏差率是由价格构成要素(人工费、材料费、机械

费、综合费、措施费及其他费)的偏差率直接加权平均折算而成的,其权重为各价格构成要素占总报价的比重。这种标书偏差率的线性加权结构意味着标书偏差率只与价格构成要素的算术平均值有关,而与其取值分布无关,这就使得投标人有机会进行串通投标报价,调整非法标书中各价格构成要素的值,使得这些非法标书在形式上是合法的。因此,本文旨在对一类基于价格要素偏差率的电子评标算法进行安全性分析,将利用这种线性结构来设计一种围标算法,并对其进行理论分析,从而论证其存在的安全隐患。

表1 分部分项工程量清单与计价表

清单项目序号	项目名称	计量单位	工程数量	综合单价/元	合价/元	其中			
						人工费/元	材料费/元	机械费/元	综合费/元
001	砌墙	m ³	5	450	978				
002	地板	m ²	164	98	1501				
003	天棚	m ²	138	47	2279				

注:表中工程数量和价格要素均为虚构,仅用于本文中围标算法步骤演示及其性能分析。

在工程量清单招标中,工程数量是给定的,这意味着各标书的投标报价是综合单价的线性函数,正是这种线性结构使得基于价格构成要素偏差率的电子评标算法存在安全隐患。

为方便起见,本文将表1中的分部分项工程量清单为例,研究一类基于价格构成要素偏差率加权平均的电子评标算法的安全性能。

1.2 评标价计算方法

在电子评标算法中,计算机评标系统按照“投标报价评审算法”,自动对各投标人的投标报价进行详细评审,并计算出评标价。以经评审的最低投标价法为例^[11],评标价的计算方法如图1所示。

在基于偏差率的评标价计算方法中,评标价的计算由如下步骤构成:

(1) 逐项确定招标文件中所有清单项 $j = 1, 2, \dots, n$ 的价格构成要素(人工费、材料费、机械费、综合费)的基准值。按照招标文件约定,如果标书数量 $m \geq 20$,基准值的取法按照正态分布取值。以清单项 j 的人工费为例,从 m 份标书中去掉离散样本值后,剩余样本数值的算术平均值 \overline{RG}_j 即为清单项 j 的人工费的基准值。

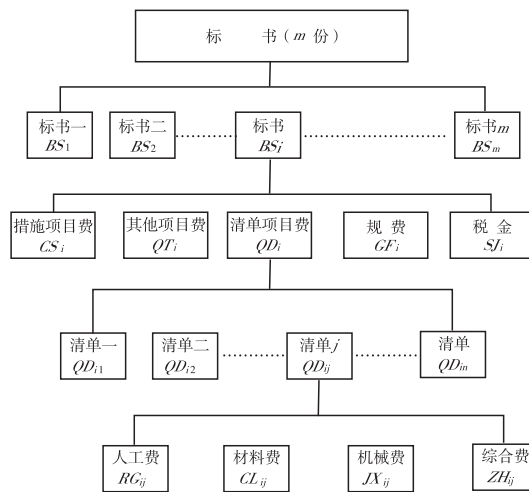
(2) 逐一计算所有投标文件中清单价格构成要素

1 基于偏差率的电子评标算法

评标是体现招标投标公平合理的核心环节。在工程量清单计价模式下的招标中,评标价的计算是电子评标的关键。

1.1 工程量清单

工程量清单是建设工程的分部分项工程项目、措施项目、其他项目、规费项目和税金项目的名称和相应数量等的明细清单^[14]。以分部分项工程量清单与计价表为例,见表1。



图片来源:绵阳市国家投资工程建设标准施工招标文件(2010年版)。

注:图中各符号表示对应项目的价格,如: BS_1 表示标书1的总报价, RG_{ij} 表示标书 i 清单 j 的人工费。

图1 投标报价评审算法

(人工费、材料费、机械费、综合费)的偏差率 $P_{RG_j}, P_{CL_j}, P_{JX_j}, P_{ZH_j}$ 。对每个清单项 j 的价格构成各要素,均要计算其偏差率。以标书 i 中清单项 j 的人工费为例,其偏差率为:

$$P_{RG_j} = \left| \frac{RG_{ij} - \overline{RG}_j}{\overline{RG}_j} \right| \tag{1}$$

(3) 计算标书 i 的清单偏差率。将每个清单的价格构成要素的偏差率,按照其在清单价格中的比重,加权平均折算到清单偏差率中。例如,标书 i 中清单项 j 的偏差率为:

$$P_{QD_{ij}} = P_{RG_{ij}} \times \frac{RG_{ij}}{QD_{ij}} + P_{CL_{ij}} \times \frac{CL_{ij}}{QD_{ij}} + P_{JX_{ij}} \times \frac{JX_{ij}}{QD_{ij}} + P_{ZH_{ij}} \times \frac{ZH_{ij}}{QD_{ij}} \quad (2)$$

(4) 计算标书 i 措施费的偏差率 P_{CS_i} 。方法是按照各投标文件措施费总价(扣除不可竞争费后)进行计算。

(5) 计算标书 i 其他费的偏差率 P_{Z_i} 。方法是按照各投标文件投标报价(扣除不可竞争费后)进行计算。

(6) 计算标书 i 的偏差率 P_{BS_i} 。方法是将清单偏差率、措施偏差率与其他费用偏差率这三项按照清单费用、措施费用和其他费用占总报价的比重,经加权平均折算到标书偏差率中,即:

$$P_{BS_i} = \sum_{j=1}^{j=n} P_{QD_{ij}} \times \frac{QD_{ij}}{BS_i} + P_{CS_i} \times \frac{CS_i}{BS_i} + P_{Z_i} \times \frac{BS_i - CS_i - \sum_{j=1}^{j=n} QD_{ij}}{BS_i} \quad (3)$$

(7) 计算标书 i 的评标价

$$PBJ_{BS_i} = BS_i \times (1 + P_{BS_i})$$

根据最低投标价法,将所有投标人的评标价按照由低到高的顺序进行排序,评标委员会从其中推荐 1~3 名作为中标候选人。

2 围标算法

1.2 节中基于偏差率的电子评标算法的设计初衷是尽可能以合理低价中标,但是这个算法本身存在严重缺陷,这种缺陷主要存在于下述两种设计中。

第一,招标文件中所有清单项的价格构成要素(人工费、材料费、机械费、综合费)的基准值,等于从所有标书中去掉离散样本值后,剩余样本数值的算术平均值。但是,根据大数定律^[15],当标书数量 $m \geq 30$ 时,这个算术平均值应非常接近该要素的市场价格,从而很容易由市场价格来进行估计。以表 1 中清单项 001(砌墙)为例,根据大数定律,所有合法标书人工费的算术平均值应非常接近其市场价格 978 元,如果所有标书都是合法的,在基于偏差率的评标算法中,清单项 001 的人工费

基准值应满足 $\overline{RG_1} \approx 978$ 。

第二,标书的偏差率是由价格构成要素(人工费、材料费、机械费、综合费、措施费、其他费)的偏差率经直接加权平均折算而成,其权重为各价格构成要素占总报价的比重。这种线性加权结构使得评标算法的安全性极为脆弱,容易被操纵。因为,线性加权结构意味着:只要标书 i 的所有价格构成要素的偏差率同时达到最小,则标书的偏差率 P_{BS} 自然达到最小,根据大数定律,该标书的评标价就能大概率地成为最低评标价。

下面,将分析这两个设计缺陷如何导致基于偏差率的评标算法被人为操纵的。本文将证明,只需一小部分(理论阈值为 20%,推导见后面的 3.2 节)投标者串通投标报价,就可以大概率地使指定标书的评标价达到理论最小值。

假设标书数量为 m ,其中标书 $1, 2, \dots, n$ 已串通投标报价,打算让标书 1 以最低评标价成为中标候选人。那么,利用大数定律以及评标算法的线性结构,可以通过以下步骤将标书 1 的偏差率控制为最小,从而实现中标目的。注意,此时只有标书 $n+1, n+2, \dots, m$ 是合法的。

第一步 研究招标文件,熟悉投标人须知中的各项要求及各种评标算法参数。

例如,《绵阳市招标文件(2010 年版)》^[11]规定:

(1) 投标人的报价低于招标控制价 80% 和高于招标控制价的投标报价,直接废标,不进入下一步评审。

(2) 当投标人的投标报价低于招标控制价的 85% 并且低于所有投标人(不含(1)中所述的直接废标的投标人的投标报价)投标报价算术平均值的 95% 时,该投标人的投标报价将被认定为低于成本报价,作废标处理。

投标人不会冒直接废标的风险,也就是说,他们可以合理地假设投标人的总报价都不低于招标控制价的 85%。为方便起见,称投标人须知中 $d = 0.95$ 为控价因子。

第二步 进行市场调查,确定各清单项的价格构成要素(人工费、材料费、机械费、综合费)的市场价格,在此基础上,确定标书 1 的总报价。

以表 1 中清单项 001(砌墙)为例。假设通过市场调查,得知人工费的市场价格的极大似然估计值为 $\hat{RG}_1 = 978$ 。根据大数定律,当标书数量 $m \geq 30$ 时,所有合法标

书人工费的算术平均值应非常接近 \hat{RG}_1 。

为了不成为废标,所有投标人的报价都会根据招标控制价进行成比例调整。为简便起见,假设招标控制价高于市场成本。在此情形下,直接以市场价格报价不会成为废标,所以设标书1的清单项001的人工费为 $RG_{11} = \hat{RG}_1$ 。需要指出的是,此时标书1的报价在形式上是完全合法的。

第三步 利用大数定律,制作非法标书,控制标书1的清单偏差率最小。

首先考虑清单项目中人工费的偏差率,以清单项001(砌墙)为例。投标人1串通投标报价投标人2, 3, ..., n, 制作 $n-1$ 份非法标书,理论上可以控制这 $n-1$ 份非法标书中清单项001人工费的算术平均值 \tilde{RG}_1 , 使得标书1的人工费偏差率达到理论最小值。

要让标书1不成为废标,投标人1的投标报价不能低于所有投标人投标报价算术平均值乘以 d , 也就是说,至少要使 m 份标书(包括非法的)清单项001的人工费算术平均值 \overline{RG}_1 满足以下条件:

$$d \times \overline{RG}_1 \leq RG_{11} \quad (4)$$

利用大数定律很容易做到这一点。事实上,根据大数定律,当合法标书数量 $m \geq 30$ 时, $m-n$ 份合法标书人工费的算术平均值应非常接近 \hat{RG}_1 , 由此可得式(5):

$$d \times \overline{RG}_1 \approx d \times \frac{RG_{11} + (n-1)\tilde{RG}_1 + (m-n)\hat{RG}_1}{m} \leq RG_{11} \quad (5)$$

再利用 $RG_{11} = \hat{RG}_1$, 可以解出 $n-1$ 份非法标书清单项001人工费的算术平均值 \tilde{RG}_1 应满足的条件为:

$$\tilde{RG}_1 \leq \frac{\left(\frac{1}{d} - 1\right)m + n - 1}{n - 1} \hat{RG}_1 \quad (6)$$

特别地,令控价因子 $d = 0.95$, 则得:

$$\tilde{RG}_1 \leq \frac{0.05m + n - 1}{n - 1} \hat{RG}_1 \quad (7)$$

这里只需要控制 $n-1$ 份非法标书中清单项001人工费的算术平均值 \tilde{RG}_1 , 而对其取值分布没有任何要求,这就使得投标人1, 2, ..., n 可以串通投标报价,通过调整标书2, ..., n 中清单项001人工费的值,使得这些非

法标书在形式上是合法的。

同理,可以控制标书1的其他清单项的人工费偏差率达到最小。通过这样的方法来制作非法标书,控制标书1的所有清单项的材料费、机械费、综合费偏差率同时达到最小,从而保证标书1的清单偏差率达到理论最小值。

第四步 利用标书偏差率算法的线性加权性质,制作非法标书,控制标书1的偏差率 P_{BS} 达到最小。

在基于偏差率的电子评标算法中,标书的偏差率是由清单偏差率、措施偏差率、其他费用偏差率经直接加权平均折算而成,其权重为各价格构成要素占总报价的比重。这种线性加权结构使得评标算法的安全性即为脆弱,容易被操纵。因为,线性结构意味着:只要标书1的所有价格构成要素(人工费、材料费、机械费、综合费、措施费、其他费)的偏差率同时达到最小,则标书的偏差率 P_{BS} 自然达到最小,就能大概率以最低评标价中标。

同时,标书偏差率的线性加权结构意味着标书偏差率只与各价格构成要素(人工费、材料费、机械费、综合费)的算术平均值有关,而与其取值分布无关,这就使得投标人1, 2, ..., n 可以串通投标报价,调整非法标书2, ..., n 中各价格构成要素的值,使得这些非法标书在形式上是合法的。

3 围标算法分析

验证上述分析结论的最好实证方法是根据理论分析的结果来制作一些非法标书,然后通过电子评标系统的评标结果来进行检验。同时,必须要指出的是:这种行为是违法的,任何试图利用本文研究成果进行招投标的非法行为都将承担相应的法律后果。

如果不采用实证方法来验证,则退而求其次,可对理论模型中的参数进行数值分析,针对的关键问题是:非法标书是否能保证形式上合法而不直接废标。理论上讲,标书偏差率的线性加权结构意味着标书偏差率只与各价格构成要素(人工费、材料费、机械费、综合费、措施费、其他费)的算术平均值有关,而与其取值分布无关,但是这些取值可能受评标算法参数的影响较大。

3.1 控价因子

招标控制价直接影响投标人的利润水平以及投标

策略,同时也影响非法投标人的违法成本。

例如,《绵阳市招标文件(2010 年版)》^[11]中规定,投标报价不能低于所有投标人投标报价算术平均值乘以 $d = 0.95$ 。若重新规定控价因子 $d = 0.9$,则可以得出非法标书中清单项 001 人工费的算术平均值 $\tilde{R}G_1$ 应满足:

$$\tilde{R}G_1 \leq \frac{\left(\frac{1}{d} - 1\right)m + n - 1}{n - 1} \hat{R}G_1 = \frac{0.11m + n - 1}{n - 1} \hat{R}G_1 \quad (8)$$

由此可见,随着控价因子的减小,非法标书 1 成为废标的风险增大了,相应地,围标的违法成本也增大了。

3.2 参与围标的标书数量

参与围标数量 n 的多少直接决定了其违法成本。很显然,如果很少的一部分投标人串通投标报价就可以控制评标结果,那么这个评标算法就存在重大安全隐患。

例如,《绵阳市招标文件(2010 年版)》^[11]中规定,投标人的报价低于招标控制价 80% 和高于招标控制价的投标报价,直接废标。在此规定之下,如果报价高于市场价的 $\frac{1}{0.8} = 1.25$ 倍,则极有可能超出招标控制价。要想形式上合法,非法标书中清单项 001 人工费的算术平均值 $\tilde{R}G_1$ 的最大值应满足:

$$\tilde{R}G_1 = \frac{\left(\frac{1}{d} - 1\right)m + n - 1}{n - 1} \hat{R}G_1 \leq 1.25 \hat{R}G_1 \quad (9)$$

解之得:

$$n \geq 4\left(\frac{1}{d} - 1\right)m + 1 \quad (10)$$

特别地,令控价因子 $d = 0.95$, 得:

$$n \geq 4\left(\frac{1}{d} - 1\right)m + 1 \approx 0.2m + 1 \quad (11)$$

由此并结合大数定律,可得出结论:最少只需要 20% 的投标人相互串通报价,就可大概率地确保中标。

实际上,本文只讨论了 n 家投标人联合而确保 1 份标书入围中标候选人情形。事实上,若将标书 1 中价格构成要素加入白噪声而“复制”多份,则实现围标的概率将更大,所以,基于偏差率的电子评标算法存在重大安全隐患。

4 结束语

电子评标算法是整个电子招标系统的核心所在,其安全性能直接关系到评标结果的公平和公正。本文对一类基于价格构成要素偏差率加权平均的电子评标算法进行安全性分析。理论分析表明,在算法参数已知条件下,投标人可以私下串通报价,从而影响招标文件中所有清单项的价格构成要素的基准值,进而控制指定标书的偏差率。根据大数定律,小部分投标人采用串通投标报价的围标策略就能大概率地使指定标书的评标价达到理论最小值,进一步的数值分析表明,在《绵阳市招标文件(2010 年版)》给定的参数条件下,最少只需要 20% 的投标人相互串通投标报价,就可大概率保证指定标书成为中标候选人。此研究结果将有助于确保招标投标各方的合法权益。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 发展改革委员会第 20 号[EB/OL]. (2013-05-01)[2017-10-03]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbl/201302/t20130220_527489.html.
- [2] 张红岩. 基于博弈论的集中招标采购机制研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [3] 宋吉荣. 工程量清单计价模式下招投标理论与方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
- [4] 吕炜, 任玉琬, 季玉华. 基于一级密封的工程量清单投标报价的博弈模型[J]. 管理工程学报, 2007, 21(1): 122-126.
- [5] 任宏, 祝连波. 工程投标中串标行为的信号博弈分析[J]. 土木工程学报, 2007, 40(7): 99-103, 110.
- [6] 许婷, 盛昭瀚, 程书萍. 考虑招标人收益的工程招投标博弈分析[J]. 数学的实践与认识, 2008, 38(15): 92-97.
- [7] 樊建强, 徐海成. 基于贝叶斯博弈均衡的合理低价中标下投标报价模型[J]. 统计与决策, 2008(18): 65-67.
- [8] 邓培林, 袁建新. 基于招投标博弈报价策略分析[J]. 数学的实践与认识, 2011, 41(12): 94-99.
- [9] 王文举, 杨颖梅. 投标人参考点效应与最优公开保留价博弈分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2012, 29(6): 127-139.

- [10] 何建洪,黄莹.公开招标人偏好的政府工程多属性招投标博弈分析[J].系统工程,2016,34(2):95-102.
- [11] 绵阳市发展和改革委员会.《绵阳市国家投资工程建设项目房屋建筑及市政工程施工标准招标文件(2010年版)》[EB/OL].[2017-10-03]. <https://wenku.baidu.com/view/99d201edaeaad1f346933f01.html>.
- [12] 绵阳市发展和改革委员会.关于印发《绵阳市国家投资工程建设项目房屋建筑 and 市政工程施工标准招标文件(2017)》的通知[EB/OL].(2017-05-26) [2017-10-03].<http://www.my.gov.cn/MYGOV/150643044494868480/20170526/1951970.html>.
- [13] 深圳市住房和建设局.关于发布《深圳市建设工程施工招标文件示范文本(2012.06版)》的通知[EB/OL].(2012-06-01) [2017-10-03]. http://www.szjs.gov.cn/csml/bgs/xxgk/tzgg_1/201206/t20120601_1920175.htm.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50500-2008 建设工程工程量清单计价规范[S].北京:中国计划出版社,2008.
- [15] 茆诗松,程依明,濮晓龙.概率论与数理统计教程[M].2版.北京:高等教育出版社,2011.

Security Analysis of a Class of Electronic Bid Evaluation Algorithms

ZHAO Guo

(College of Computer Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China)

Abstract: The electronic bid evaluation algorithm is the core of the whole electronic bidding system, and its security performance is directly related to the fairness and fairness of the bid evaluation results. In view of this, the security of the electronic bid evaluation algorithm based on the weighted average deviation rate of price components. The research shows that the linear structure of the lowest evaluation price algorithm based on the weighted average of the deviation rate leads to serious hidden trouble. Under the condition that the parameters of the algorithm are known, the bidder can collude with each other in order to influence the benchmark value of the price components of all the list items in the tender document, and then controlling the deviation rate of the specified bid document. According to the law of large numbers and the research results, it is found that a small number of bidders (the theoretical threshold is about 20%) adopt the cheating strategy of collusive bidding quotation, and by this means, it is possible to make the specified bid have minimum theoretical deviation and become a successful candidate. The results of the study will help to ensure the legitimate rights and interests of the bidding parties.

Key words: electronic bid evaluation algorithm; evaluated bid price; safety analysis; deviation rate; weighted average; linear structure; law of large number