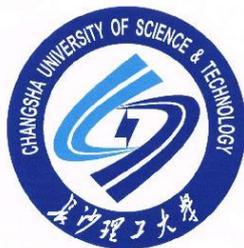




湖南省人民政府学位委员会办公室  
湖南省教育厅学位管理与研究生教育处



## 2016 湖南省研究生数学建模竞赛参赛承诺书

本文仔细阅读了湖南省研究生数学建模竞赛的竞赛规则。

本文完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

本文知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

本文郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，本文将受到严肃处理。

本文授权湖南省研究生数学建模竞赛组委会，可将本文的论文以任何形式进行公开展示（包括进行网上公示，在书籍、期刊和其他媒体进行正式或非正式发表等）。

本文参赛选择的题号是：A

本文的参赛报名号为（如果组委会设置报名号的话）：201518001007

所属学校：国防科学技术大学

参赛队员：1.刘庆航

2.胡悦

3.郭锐

指导教师或指导教师组负责人：

日期：2016年4月18日

---

评阅编号（由组委会评阅前进行编号）：



# 湖南省第二届研究生数学建模竞赛

## 题目 国家电网电容器投标报价策略

---

**摘要：**随着社会主义市场经济的发展，我国的招标投标事业

得到了长足的发展，推行的领域不断拓宽，发挥的作用也日趋明显。如何制定合理有效的投标报价策略，将关系到企业能否在投标中占据有利地位，直接影响企业的生存与发展。因此，对投标策略进行研究对企业来说具有十分重要的意义。

本文首先对招标方给出的平均下浮双边曲线算法进行研究，分析算法中各参数对最优报价的影响，为使不同批次不同包的最优报价具有可比性，本文提出“合理价”的概念，并以竞标中所有报价的平均值来近似“合理价”，取最优报价与所有报价平均值的比值  $P/A$ ，来表征最优报价在所有报价中所处位置。通过对历史数据进行统计分析，建立  $P/A$  与算法中下浮系数  $a$ 、减分速率指数  $m$ 、 $n$  的关系模型，并基于均值法，提出用于预测下一批次  $P/A$  值的预测模型。

为得到更为实用的报价模型，本文对已有历史数据进行分类、筛选和统计，建立求解产品单价的线性方程组，在对方程组特性分析的基础上，采用优化算法进行求解，并对解的非正常情况进行讨论，判断解的取舍，并给出合理解释。

在得到前五个批次产品单价的基础上，采用均值法对下一个批次的产品单价进行预估，并通过简单求和，得到各公司对各包的比较稳定的估价，然后，依据提出的  $P/A$  预测模型，对报价进行优化，得到最优报价，更进一步，考虑到优化次数的不同，讨论可能会出现博弈局面。接下来，以合容公司为例，给出了公司的报价模型，以及在 2014 年第四批中指定包的具体报价，对公司制定报价策略具有重要的指导意义。

最后，从招标方的角度出发，对目前使用的综合评标法进行深入分析，提出增加招标批次、优化区间平均下浮双边曲线算法、优化有效报价区间、降低基准标价等建议，可以为国家电网招投标改革的改革方向提供重要参考。

## 第一章 $P/A$ 关系模型

根据招标方的综合评标法可知，能否中标取决于价格得分的高低，本章对招标方采用的区间平均下浮双边曲线算法进行分析，研究得分第一的报价与平均值的比值，与算法中的下浮系数  $a$  及减分速率指数  $m$ 、 $n$  的函数关系，称之为  $P/A$  关系模型。

### 1.1 假设条件

为了得到适用的  $P/A$  概率模型，本文作出以下假设：

(1) 产品包由各种产品组成，各产品均存在一个“合理价”，产品包的“合理价”由组成产品包的产品的“合理价”简单求和得到；

(2) 对于招标方提供的产品包清单，各公司依据行业经验，具有判断其“合理价”所在大致区间的能力；

(3) 所有公司在各批次各产品包的竞标中，其均值  $A$  能够一定程度反映该包的“合理价”。

### 1.2 模型建立

为得到合理的报价策略，本文对得分第一的报价与下浮系数  $a$  及减分速率指数  $m$ 、 $n$  的关系展开研究。由于各产品包中的产品种类及数量均不同，现有数据无法直接利用，本文依据条件 (3)，用均值  $A$  来近似“合理价”，并利用均值  $A$  对各包的报价进行归一化，研究得分第一的报价  $P$  与均值  $A$  的比值  $P/A$  与参数  $a, m, n$  的关系模型：

$$P/A = f(a, m, n)$$

通过对历史数据进行统计分析，可以得到各批次中  $P/A$  的关系模型，进一步，通过外插法或均值法构造预测模型，可以得到下一批次的  $P/A$  的关系模型。

从每批次各随机选取 30 个包进行研究，分别以下浮系数  $a$  和减分速率指数  $m$ 、 $n$  为自变量，研究  $P/A$  的关系模型的随自变量的变化规律，借助 Matlab 工具，编程帮助分析，程序见附件。

#### 1.2.1 下浮系数 $a$

在各批次中，保持减分速率指数  $m$ 、 $n$  为基准值，下浮系数  $a$  以步长 0.01 从 0.01 增至 0.12，如图 1—图 5 所示，分别为 2013 年第五批至 2014 年第三批对应的  $P/A$  随下浮系数  $a$  的变化情况。由图可知，各批次中随  $a$  增大， $P/A$  均具有下降趋势，并呈带状分布。取带状区域中线，利用 Matlab 工具编程实现对曲线的拟合<sup>[1]</sup>，程序见附录一，可得到函数关系：

$$P/A = f(a)$$

带状区域的上下边界可表示为：

$$P/A = f(a) \pm \alpha$$

式中， $\alpha$  为上下波动的幅值，各批次中  $\alpha$  的取值如表 1 所示。

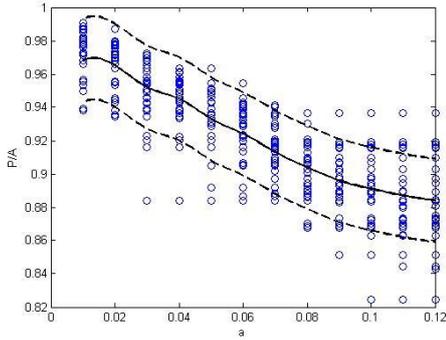


图 1 2013 年第五批次

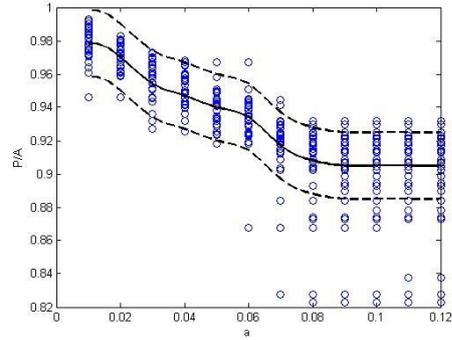


图 2 2013 年第六批次

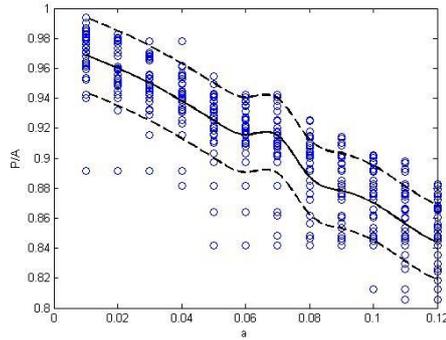


图 3 2014 年第一批次

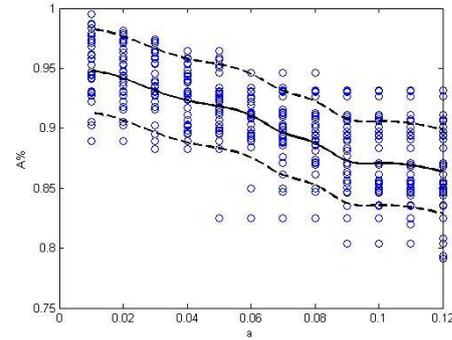


图 4 2014 年第二批次

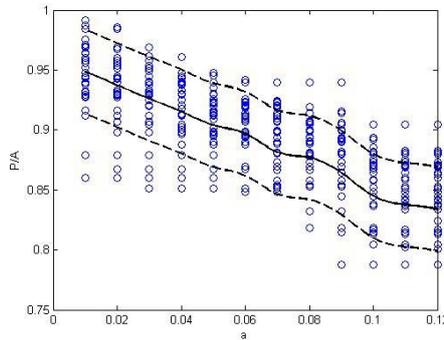


图 5 2014 年第三批次

表 1 各批次幅值  $\alpha$  的取值

批次	2013-05	2013-06	2014-01	2014-02	2014-03
$\alpha$	0.025	0.02	0.03	0.035	0.035

### 1.2.2 减分速率指数 $m$

与 1.2.1 节类似,在各批次中,保持下浮系数  $a$  及减分速率指数  $n$  为基准值,减分速率指数  $m$ ,以步长 0.1 从 0.1 增至 1.0,如图 6 所示,为 2013 年第五批中  $P/A$  随减分速率指数  $m$  的变化情况。由图可知,随  $m$  值增大,  $P/A$  略有增大,但变化较小,即  $P/A$  对  $m$  值不敏感。其他四批的统计结果均显示出这一特征,并且,不仅同一个批次,对单独一个包,  $P/A$  均体现出不敏感的特性。从而,本文认为,随减分速率指数  $m$  变化,  $P/A$  的值基本不变,近似为常数,各批次的  $P/A$  近似常数如表 2 所示。2013 年第 6 批至 2014 年第 3 批的统计结果见附录二。

表 2  $m$  变化时各批次中  $P/A$  的近似常数

批次	2013-05	2013-06	2014-01	2014-02	2014-03
$P/A$	0.9310	0.9394	0.9223	0.9191	0.9086

### 1.2.3 减分速率指数 $n$

与 1.2.1 节类似,在各批次中,保持下浮系数  $a$  及减分速率指数  $m$  为基准值,减分速率指数  $n$ ,以步长 0.5 从 1 增至 10,如图 7 所示,为 2013 年第五批中  $P/A$  随减分速率指数  $n$  的变化情况。同 1.2.2 节的结论相似,  $P/A$  对  $n$  值不敏感,认为减分速率指数  $n$  变化时,  $P/A$  近似为常数,各批次  $P/A$  近似常数如表 3 所示。2013 年第 6 批至 2014 年第 3 批的统计结果见附录三。

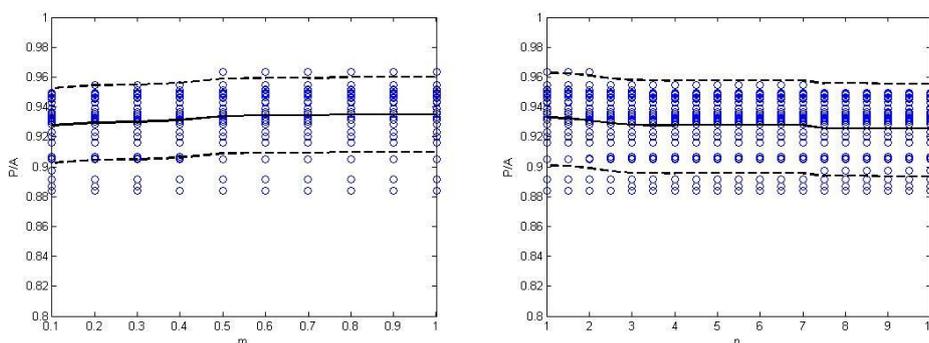


图 6 2013 年第 5 批次  $P/A$  随  $m$  变化情况 图 7 2013 年第 5 批次  $P/A$  随  $n$  变化情况

表 3  $n$  变化时各批次中  $P/A$  的近似常数

批次	2013-05	2013-06	2014-01	2014-02	2014-03
比值 $A\%$	0.9247	0.9328	0.9167	0.9156	0.9101

### 1.3 模型验证

在 1.2 节中,本文建立了不同批次中  $P/A$  与  $a$ 、 $m$ 、 $n$  的关系模型,为验证模型的正确性,本文给定各批次中各包的  $a$ 、 $m$ 、 $n$ ,代入关系模型中,对排名第一的报价所在区间进行预估,并与实际排名进行比对,通过比对结果来评价所建立模型的优劣。评价标准如下:

- (1) 预估区间是否包含第一名,表征模型的准确性;
- (2) 预估区间内包含几个公司的报价,表征模型的精确性;

由于下浮系数  $a$  对  $P/A$  影响最大,故在验证时,令  $m$ 、 $n$  为基准值。随机选取某几批次中的若干包进行验证,根据表 1 选取波动幅值  $\alpha$ ,验证结果如表 4、

表 5 所示。

表 4 取 2013 年第五批次部分包进行验证

包号	$a=0.01$	$a=0.05$	$a=0.12$
30	1-8	1-4	无
31	1-4	1	1-4
34	1-4	1,2	1,2
42	1,2,4	1-3	1
58	1-4	1-7	1

表 5 去 2014 年第一批次部分包进行验证

包号	$a=0.01$	$a=0.03$	$a=0.05$	$a=0.12$
55	1,2	1-4	1-3	1-3
59	无	1,2	1,2	1
68	1-5	1-3	1-3	1,2
91	1-3	1-3	1-3	1,2
125	1-4	1,2	1	1

从表 4、

表 5 可以看出，预测区间基本包含第一名，只有少数没有捕捉到（表中值为“无”的项），故认为模型的准确性较好。而在第一名的报价以外，还捕捉到了其他排名，即模型的精确性欠佳，因而，需要对上述关系模型进行优化，兼顾模型的准确性与精确性。

#### 1.4 模型优化

模型精确性欠佳主要原因在于波动幅值  $\alpha$  取值较大，在模型验证的过程中发现，排名第一的报价往往较靠近预估区间的中间位置，这说明适当减小波动幅值  $\alpha$  可在保证一定准确性的同时提高精确性。

取  $\alpha$  为不同值，再次对模型进行验证，验证结果如表 6、表 7 所示。

表 6 在此进行模型验证结果 1

$\alpha$	$a=0.01$				$a=0.05$				$a=0.12$			
	0.025	0.02	0.015	0.01	0.025	0.02	0.015	0.01	0.025	0.02	0.015	0.01
包 30	1-8	1-8	1-5	1	1-4	1-4	1-3	1-3	无	无	无	无
包 31	1-4	2-4	2-4	2,3	1	1	1	无	1-4	1-4	1-3	2,3
包 34	1-4	1-4	1-3	1,2	1,2	1	1	无	1,2	1,2	1	无
包 42	1,2,4	1,2	1,2	无	1-3	1,2	1,2	1,2	1	1	1	无
包 58	1-4	1-3	1-2	1	1-7	1-7	1-4	1-4	1	1	1	无

表 7 在此进行模型验证结果 2

$\alpha$	$a=0.01$				$a=0.03$				
	0.03	0.02	0.015	0.01	0.03	0.02	0.015	0.01	
包 55	1,2	1,2	1	无	1-4	1-4	2,3	2	
包 59	无	无	无	无	1,2	1,2	1,2	1	
包 68	1-5	1-4	1,2	无	1-3	1-3	1	1	
包 91	1-3	1-3	1,2	1	1-3	1,2	1,2	无	
包 125	1-4	1-3	1	1	1,2	1	1	无	

$\alpha$	$a=0.05$				$a=0.12$			
	0.03	0.02	0.015	0.01	0.03	0.02	0.015	0.01
包 55	1-3	1-3	1-3	1-2	1-3	1,2	1,2	1
包 59	1,2	1	1	无	1	1	1	无
包 68	1-3	1-3	1,2	1	1,2	1,2	1	无
包 91	1-3	1-3	1	1	1,2	1,2	1	无
包 125	1	1	无	无	1	1	无	无

对表 6、表 7 的数据进行综合对比分析，本文认为，当  $\alpha$  取 0.015 时，模型的准确度和精确度均较高，在预测模型中可作为参考值。

### 1.5 预测模型

在前面的工作中，本文建立了 2013 年第五批至 2014 年第三批数据的  $P/A$ ，并且优化得到了较好的波动幅值  $\alpha$ 。在对 2014 年第四批数据进行报价预测时，首先，将招标方给定的  $a$ 、 $m$ 、 $n$ ，代入各批次的  $P/A$  关系模型中，得到前五批中  $P/A$  的最优值；然后，基于历史数据进行预测，通常采用外插法，但不同的趋势，外插的结果相差较大，本文采用较为稳定的均值法（外插法的一种），即取前五批  $P/A$  的平均值作为 2014 年第四批的  $P/A$ 。

### 1.6 本章小结

本章通过对区间平均下浮双边曲线算法和已有数据进行分析，得到以下结论：

- （1）随下浮系数  $a$  增大， $P/A$  具有下降趋势，且呈带状分布；
- （2） $P/A$  对减分速率指数  $m$ 、 $n$  不敏感；
- （3） $P/A$  对关系模型进行优化，当波动幅值  $\alpha$  取 0.015，模型的准确性和精确性均较高。

## 第二章 报价模型

在第一章，在对区间平均下浮双边曲线算法及大量数据进行分析的基础上，得到在投标竞争中得分第一的报价  $P$  相对于全部公司报价平均值  $A$  的变化关系，即：

$$P/A = f(a, m, n)$$

在竞标中，为得到确切的报价  $P$ ，还需知道全部公司报价的平均值  $A$ ，本章对如何获取平均值  $A$  展开研究，并在上述关系的基础上，展开进一步分析，提出更加实用的报价模型。

### 2.1 总体思路

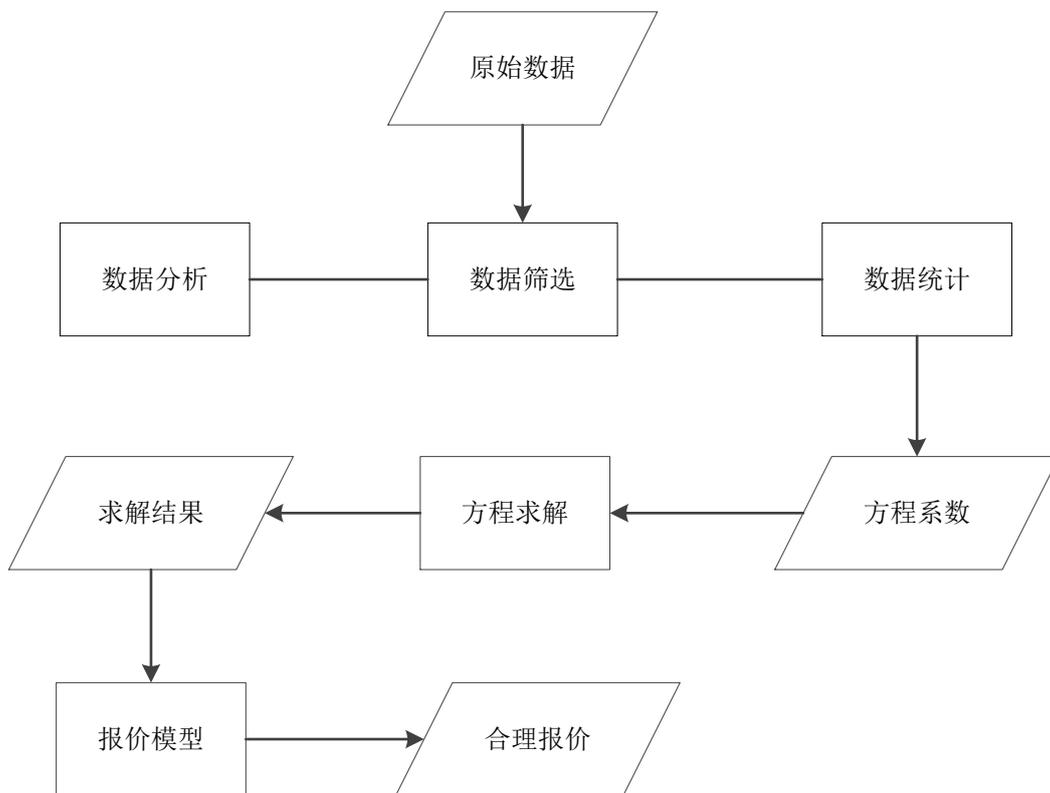


图 8 研究报价模型总体思路

如图 8 所示，为本章研究报价模型的总体思路。通过对原始数据进行分析，将电容器产品进行分类，并统计各批次各包中产品的种类及对应的数量，假设同一批次各包中，相同类型的产品单价相同，通过求解线性方程组，可以得到各产品在各批次的单价，通过均值法或者外插法对下一批次的产品单价进行预测。通过上述方法，可对各公司的产品单价进行预测，再代入报价模型中，即可得到合理的报价。

### 2.2 数据分析

首先对给数据进行详细分析，得到以下结论：

(1) 通过对发包清单进行分析可知，每个包中包含的产品的类型及数量均不同，包含的产品大体上可分为两类：电容器组（不含电抗）和电容器组串联电抗；

(2) 通过对价格得分情况进行分析可知，在竞标中，超出区间外的报价未给出，不具有参考价值；参加每次竞标的公司数量不一定相同，公司名称未进行统一定义，例如，顺容与广东顺容代表同一个公司；

(3) 通过对国家电网电容器规定的最高限价进行分析可知，表格中给出了电容器产品的详细分类及对应最高限价，可分别作为产品分类的标准和求解产品价格时的上边界；

(4) 根据要求，只考虑 10kV 的数据，需要进行对发包清单及价格得分表进行筛选。

### 2.3 数据筛选

根据 2.1 节的分析结论，首先需要筛选出 10kV 的数据，为简化筛选过程，依据电容器最高限价表对产品进行分类，并引入产品代码，如表 8 所示。依据上述分类标准，首先对发包清单进行筛选，得到各批次各包中，符合要求的(10kV)的产品类型及数量，如

表 9 所示，为经过筛选后的 2013 年第五批中包 24 中的产品清单。

表 8 电容器产品分类标准

规格型号	电抗	产品代码	电容器组(不含电抗)	产品代码
10kV/10 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B1	单台 /417kvar	A1
10kV/10 Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B2	单台 /417kvar	A2
10kV/8 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B3	单台 /334kvar	A3
10kV/8 Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B4	单台 /334kvar	A4
10kV/6 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B5	单台 /334kvar	A5
10kV/6 Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B6	单台 /334kvar	A6
10kV/5 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B7	单台 /417kvar	A7
10kV/5 Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B8	单台 /417kvar	A8
10kV/5 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B9	单台 /334kvar	A9
10kV/5 Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B10	单台 /334kvar	A10
10kV/4.8 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B11	单台 /200kvar	A11
10kV/4.8 Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B12	单台 /200kvar	A12
10kV/4 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B13	单台 /334kvar	A13
10kV/4 Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B14	单台 /334kvar	A14
10kV/3.6Mvar	空心(1%、5%、12%)	B15	单台 /200kvar	A15
10kV/3.6Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B16	单台 /200kvar	A16
10kV/3 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B17	单台 /334kvar	A17
10kV/3 Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B18	单台 /334kvar	A18
10kV/2 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B19	单台 /334kvar	A19
10kV/2 Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B20	单台 /334kvar	A20
10kV/1 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B21	单台 /334kvar	A21
10kV/1 Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B22	单台 /334kvar	A22
10kV/0.3 Mvar	空心(5%)	B23	单台 /100(200) kvar	A23
10kV/0.3Mvar	铁芯(1%、5%、12%)	B24	单台 /100(200) kvar	A24
10kV/1.5 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B25	单台 /100kvar	A25
10kV/0.6 Mvar	空心(1%、5%、12%)	B26	单台 /100(200) kvar	A26

表 9 筛选后的 2013 年第五批包 24 的产品清单

包号	物资清单	数量	产品代码
包 24	10kV 框架式电容器组 (不含电抗器) ,1000kvar,334kvar	2	A21
包 24	电容器组串联电抗器,AC10kV,1000kvar,5%,空心	6	B21
包 24	电容器组串联电抗器,AC10kV,3600kvar,5%,空心	6	B15
包 24	10kV 框架式电容器组 (不含电抗器) ,3600kvar,200kvar	2	A15
包 24	10kV 框架式电容器组 (不含电抗器) ,4800kvar,200kvar	2	A11
包 24	电容器组串联电抗器,AC10kV,4800kvar,5%,空心	6	B11
包 24	10kV 框架式电容器组 (不含电抗器) ,4000kvar,334kvar	4	A13
包 24	电容器组串联电抗器,AC10kV,2000kvar,5%,空心	3	B19
包 24	10kV 框架式电容器组 (不含电抗器) ,2000kvar,334kvar	1	A19
包 24	10kV 框架式电容器组 (不含电抗器) ,600kvar,100kvar	1	A26

## 2.4 数据统计

通过 2.2 节的工作,已经筛选出 10kV 的电容器产品,下面需要对各批次各包中各产品的类型及数量和各批次各包各公司的报价进行统计,为求解方程组作数据准备。

### 2.4.1 产品类型、数量统计

统计的对象为筛选过后的 2013 年第五、六批和 2014 年第一、二、三批的发包清单,对需要统计的产品种类进行初步估计,假设每包中 A 类产品和 B 类产品平均有 5 种,则共需要统计 4540 种产品的数量,如表 10 所示。如果单纯利用 Excel 的筛选功能进行手动处理,工作量巨大,成本太高难以承受,故利用 Matlab 工具编程<sup>[3]</sup>实现数据的自动读取和统计,程序见附件。

表 10 需要统计的产品数量

数量类型	2013-5	2013-6	2014-1	2014-2	2014-3	2014-4	总计
包	45	48	135	90	124	12	454
A	5	5	5	5	5	5	30
B	5	5	5	5	5	5	30
总计	450	480	1350	900	1240	120	4540

### 2.4.2 公司报价统计

统计的对象为 2013 年第五、六批和 2014 年第一、二批的价格得分表,需要分析的包在 2.4.1 节中已经筛选出来,统计各公司在各批次各包中的价格评分。同 2.4.1 节一样,利用 Matlab 编程实现繁杂的统计工作,程序见附件。需要注意的是,附件 2 中提供的只是部分数据,在发包清单中统计出的需要分析的包,不一定存在价格得分表,从而编程时,需要首先对包是否存在价格得分表进行判断。

另一个问题,由于各个包中公司的名称不统一,顺序不统一,因此,在编程

实现时，首先需要对公司的名称进行统一的定义，如表 11 所示，通过对公司名称进行对比匹配的方式实现数据的提取。

表 11 公司名称统一定义

名称	别名 1	别名 2	别名 3
顺容	广东顺容电气有限公司	广东顺容	容顺
桂容	桂林电力电容器有限责任公司	桂林	
合容	合容电气股份有限公司		
中原	河南省豫电中原电力电容器有限公司	豫电	
恒顺	青岛市恒顺电气股份有限公司		
日新	日新电机(无锡)有限公司		
迪生	山东迪生电气股份有限公司		
泰开	山东泰开电力电子有限公司		
库伯	上海库柏电力电容器有限公司	库柏	
思源	上海思源电力电容器有限公司		
永锦	上海永锦电气集团有限公司		
上虞	上虞电力电容器有限公司		
苏州	苏州电力电容器有限公司	苏容	
赛晶	无锡赛晶电力电容器有限公司		
ABB	西安 ABB 电力电容器有限公司	西安 ABB	
西容	西安西电电力电容器有限责任公司	西电	
新东北	新东北电气集团电力电容器有限公司		

## 2.5 方程求解

设第  $i$  个包中，产品 A1 至 A26 数量为  $A_i = [a_1, \dots, a_{26}]$ ，产品 B1 至 B26 数量为  $B_i = [b_1, \dots, b_{26}]$ ，包的价格为  $C_i$ ，则有：

$$AX + BY = C$$

其中， $A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{bmatrix}$ ， $B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_{26} \end{bmatrix}$ ， $C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_{26} \end{bmatrix}$  为一个批次中的产品 A，产品 B 的

数量矩阵和价格矩阵。

$$\text{令 } Z = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}, D_i = [A_i \ B_i], \text{ 则有:}$$

$$DZ = C$$

通过 2.4 节的数据统计工作，每个公司在每个批次中可以得到方程组的系数  $D$  和非齐次项  $C$ ，下面讨论如何对方程组进行求解。

由于数据的不完整性，导致系数矩阵  $D$  可能是奇异的，导致无法直接进行求解。本文采用优化的方法，对上述方程进行求解，数学模型如下所示：

$$\min f = \frac{1}{2}(C - DZ)^2$$

$$x_0 = \text{ones}(52,1)$$

$$lb = \text{zeros}(52,1)$$

$$ub = \text{Upper Price}$$

式中， $x_0$  为初始值； $lb$  为下边界，设为零； $ub$  为上边界，*Upper Price* 从电容器的最高限价表中获取。

利用 Matlab 提供的 *fmincon* 函数进行求解，得到满足约束条件的最优解。在求解的结果中，产品单价出现两种不正常的解，即 1 和 0，下面对这两种情况作出解释。

#### (1) 单价为 1

本文按照最高限价表对产品进行分类，即 A1 至 A26，B1 至 B26，但在对数据进行筛选的过程中发现，A1 和 A2，A3 和 A4 等，两种产品的电容器组在发包清单中并无区分，属于同一种产品，从而在统计时，A2，A4 等项的数量为零，在优化求解时，这些产品对结果不产生影响，从而结果为初值 1，不发生变化。

#### (2) 单价为 0

本文假设同一批次各包中各产品的价格不变，但实际情况中，各个包中的产品单价即使在上一个批次中，也不一定相同。比如，某公司在上一个包的竞争中失败，为赢得下一次竞争，可能会调整产品的单价，导致本文的假设与实际情况无法完全吻合。作为对模型简化的惩罚，本文接受包含零的解，作预测时，舍弃零解。

通过上述求解方法，可以得到各批次中各产品的单价，因数据量较大，在此不作展示，详细数据见附件(*AllPriceData.mat*, Matlab 数据文件)，接下来对如何建立报价模型进行讨论。

## 2.6 报价模型

报价模型的构建流程如图 9 所示，首先，对需要预测的包中包含的产品的种类及数量进行统计，这部分工作在 2.4 节已经完成；然后，依据 2.5 节中得到的前五批各公司各产品的单价，与 1.5 节的方法类似，采用均值法，对本批次的产品单价进行估计，进而估计出各公司对各包的报价；进一步，可得到各包所有公司的均价，记为  $A$ ，并依据第一章中提出的预测模型，得到最优报价，即得分第一的报价。

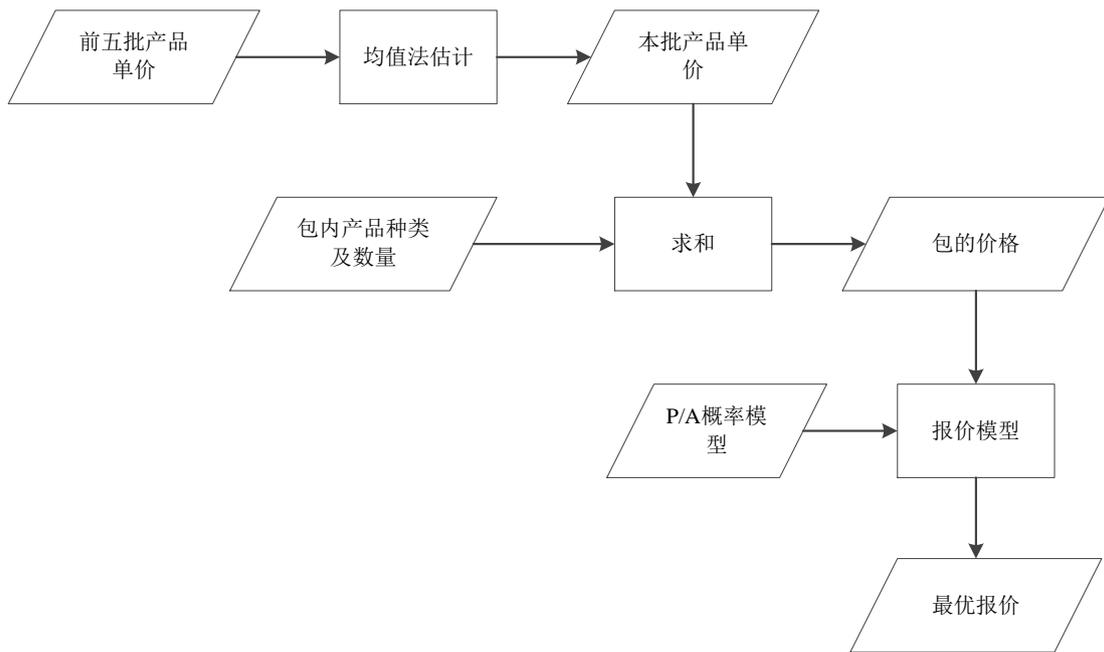


图 9 报价模型构建思路

### 2.6.1 估计产品单价

实际投标中,由于竞争对手的投标策略是随着市场环境及自身条件的变化而变化的,在对产品单价进行预测估计时,通常采用外插法,而在不同趋势下,外插法得到结果差异较大,本文可参考的数据只有 5 个点,更有可能在求解过程中出现零解,无法对趋势做出准确判断,故而本文采用比较稳定的均值法,取相对稳定的均值作预测。根据上述思路,可得 17 个公司在 2014 年第四批 12 个包的报价,如表 12、

表 13 所示。

表 12 2014 年第四批前 6 个包的报价估计

公司	包 24	包 29	包 41	包 42	包 57	包 62
顺容	112.01	100.72	95.76	104.4	172.93	81.5
桂容	127.48	129.09	117.62	157.8	176.64	128.9
合容	121.71	108.58	109.35	140.29	186.98	110.87
中原	106.88	99.15	86.65	115.53	160.18	86.57
恒顺	106.22	103.23	94.81	124.48	154.78	95.34
日新	123.51	122.25	106.32	141.39	185.79	116.4
迪生	99.09	98.43	76.24	105.2	157.54	94.27
泰开	99.74	102.4	95.14	130.39	167.96	94.38
库伯	129.7	121.08	99.78	155.13	185.71	132.08
思源	116.26	125.61	97.54	152.03	186.18	122.43
永锦	104.65	100.69	90.06	110.23	155.87	85.03
上虞	105.25	98.2	99.28	105.25	150.22	76.93
苏州	104.41	101.4	92.6	116.66	167	92.48
赛晶	103.03	111.75	93.36	124.21	170.62	101.54
ABB	111.91	110.31	97.7	143.8	177.29	107.94

表 13 2014 年第四批后 6 个包的报价估计

公司	包 66	包 71	包 74	包 76	包 84	包 87
顺容	131.46	108.13	25.69	136.36	154.01	184.32
桂容	142.35	158.11	47.93	161.41	151.07	181.56
合容	144.77	122.73	40.05	145.11	129	155.41
中原	121.16	105.99	28.06	133.53	157.57	185.89
恒顺	126.66	110.98	32.46	130.78	162.42	190.39
日新	148.12	132.87	42.84	150.5	157.35	192.04
迪生	118.08	117.36	33.15	124.68	115.11	138.82
泰开	121.46	104.51	33.59	125.63	170.51	203.59
库伯	144.29	140.82	48.51	150.51	133.86	159.27
思源	134.97	137.99	45.18	144.3	158.93	192.39
永锦	121.84	118.4	27.67	130.03	146.55	171.94
上虞	138.02	100.47	23.68	126.82	177.9	215.82
苏州	129.97	111.77	31	126.9	152.16	178.07
赛晶	125.22	110.86	35.93	127.09	173	208.01
ABB	133.94	120.27	37.5	132.38	182.66	209.94

## 2.6.2 优化报价

对某公司  $k$ ，在均值预测的基础上，若价格得分不能排名第一，就无法赢得竞标，需要对公司的报价进行调整，设调整后的报价为  $t$ ，则有：

$$t = \frac{t + \sum_{i=1, i \neq k}^{17} A_i}{17} \times P/A$$

对方程求解，即可得到调整后的报价  $t$ 。

## 2.6.3 博弈

经过上述讨论，每个公司都有可能依据本文所提出的报价模型对自己的报价进行一次甚至多次优化，这样就会造成一个博弈的局面，存在一种极限情况，假如每个公司都在本文模型的基础上对自己的报价进行调整，会导致每个公司的报价都相同，招标方给出的评价方法无法对投标结果进行评判。而这是一个博弈模型<sup>[2]</sup>，不是本文研究的重点，故不作深入讨论。

## 2.7 案例分析

本节以合容公司为例，依据本文的报价模型，给出其在 2014 年第四批次的竞标中的报价。

(1) 根据第一章建立的预测模型，求解得到本批次的  $P/A$ ，如表 14 所示。

表 14 2014 年第四批  $P/A$  值预测

批次	2013-05	2013-06	2014-01	2014-02	2014-03	均值
$P/A$	0.8910	0.9050	0.8700	0.8708	0.8448	0.8763

(2) 根据 2.6 节的报价模型，求解得合容公司在本批次中各包的最优报价，如表 15 所示。

表 15 合容公司各包最优报价

包 24	包 29	包 41	包 42	包 57	包 62
99.62	97.84	86.09	113.61	152.40	90.40
包 66	包 71	包 74	包 76	包 84	包 87
117.85	107.27	31.61	122.25	137.15	164.34

由  $P/A$  的浮动范围  $\pm 0.015$ ，可得到合容公司此次投标最优报价的最高、最低值分别如表 16、表 17 所示。

表 16 合容公司各包最优报价最高值

包 24	包 29	包 41	包 42	包 57	包 62
98.60	96.84	85.21	112.45	150.85	89.48
包 66	包 71	包 74	包 76	包 84	包 87
116.65	106.18	31.29	121.01	135.75	162.67

表 17 合容公司各包最优报价最低值

包 24	包 29	包 41	包 42	包 57	包 62
95.10	93.41	82.19	108.46	145.50	86.30
包 66	包 71	包 74	包 76	包 84	包 87
112.51	102.41	30.18	116.72	130.93	156.90

## 2.7 本章小结

本章在第一章  $P/A$  关系模型的基础上，通过对已有数据进行分析、筛选和整理，建立求解产品单价的线性方程组，通过优化算法进行求解，并对结果进行分析；建立较为实用的报价模型，并对模型讨论；然后以合容公司为例，给出了该公司在 2014 年第 4 批中各包的具体报价。

### 第三章 建议

本文在对招标方的综合评标法做深入分析的基础上，提出以下建议：

(1) 增加招标批次，减少每批次中产品数量。各公司竞争越激烈，对于作为招标方的国家电网越有利，而各公司的竞标策略随竞争环境的变化随时调整，增加招标批次，给各公司留有策略调整时间，加剧投标方的竞争；

(2) 区间平均下浮双边曲线算法中减分速率指数  $m$ 、 $n$  对得分排名第一的报价与均值的比值影响不大，即该算法中  $m$ 、 $n$  筛选作用不强，所有可以对算法进行优化，使各参数的筛选功能更明显；

(3) 该算法设定有效报价在均值  $A$  的 80%~115% 区间内，可以对该区间的上下限进行研究，增大区间相当于让更多报价参与竞争，减小区间意味着提高参与竞争的门槛，探索该区间对所遴选出报价的影响，找到合适区间范围，在遴选出报价的范围与遴选出报价的质量进行平衡。

(4) 本文分析表明，随下浮系数增大，最优报价呈降低趋势，这说明下浮系数的上调，即基准价的下调会给报价低的投标方更多机会。一方面，为了经济效益，国家电网期待遴选出招标方价格更低，另一方面要考虑价格低所带来的产品质量随之下落的可能性。故在招标时应对投标公司具有一定了解，若整体产品质量较高，可增大下浮系数，使报价更低的公司中标机会更大，若投标公司产品质量参差不齐，可减小下浮系数，对遴选出参与竞争产品的质量予以更多关注。

## 第四章 结论

本文提出“合理价”的概念，并以平均值来近似“合理价”，建立得分第一的报价与竞标中报价平均值的  $P/A$  关系模型，并得到模型受下浮系数  $a$  影响较大，并且呈带状分布的规律，以及对减分速率指数  $m$ 、 $n$  不敏感的特性，并建立用于预测下一批次的  $P/A$  的预测模型。

然后，在对已有数据进行分析、筛选和整理的基础上，建立了产品单价的线性方程组并求解，并对解的可能情况进行讨论，给出合理解释。

接下来，根据前五个批次求得的产品单价，利用均值法得到下一个批次的产品单价，通过简单求和，得到各公司对各包的比较稳定的估价。

最后，依据第一章提出的预测模型，对报价进行优化，作为合容公司的报价模型，并给出 2014 年第五批中指定包的报价。

## 参考文献

- [1] 颜庆津.数值分析[M].北京：北京航空航天大学出版社，2006，36-122.
- [2] 姜启源，谢金星，叶俊.数学模型[M].北京：高等教育出版社，2010，373-410.
- [3] 张志美.MATLAB完全自学手册[M].北京：电子工业出版社，2013，200-500.

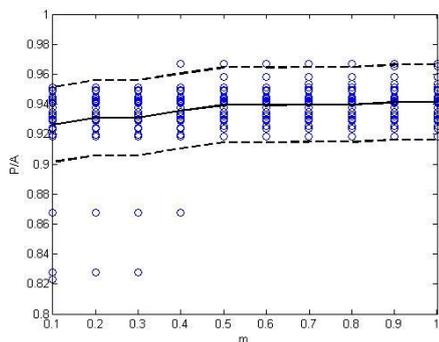
## 附录

### 附录一

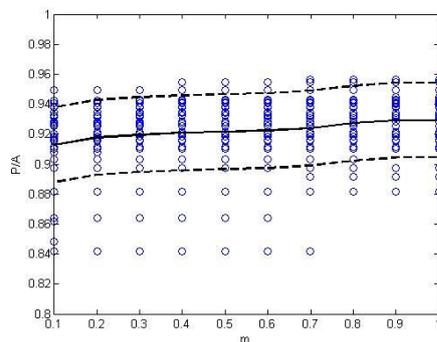
```
clear all;
clc;
load('a135_zx.mat');
load('a135.mat');
x = 0.01:0.01:0.12;
xx = 0.01:0.001:0.12;
p = spline(x',a135_zx,xx)
% p = polyfit(x',a135_zx,4);
% display(p);
for i = 1:30
plot(x,MaxAll(i,:),'bo');
hold on
end
hold on
plot(xx,p,'k','LineWidth',2);
hold on
plot(xx,p+0.025,'k--','LineWidth',2);
hold on
plot(xx,p-0.025,'k--','LineWidth',2);
xlabel('a');ylabel('P/A');
```

## 附录二

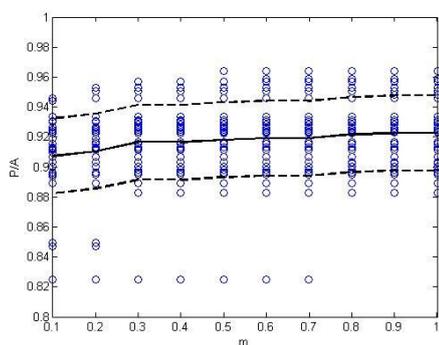
2013 年第六批次至 2014 年第三批次  $P/A$  随  $m$  变化情况如附图 1—4 所示。



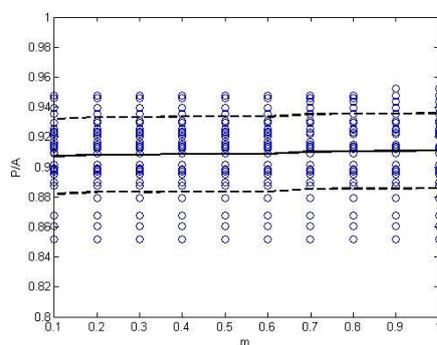
附图 1 2013 年第六批次



附图 2 2014 年第一批次



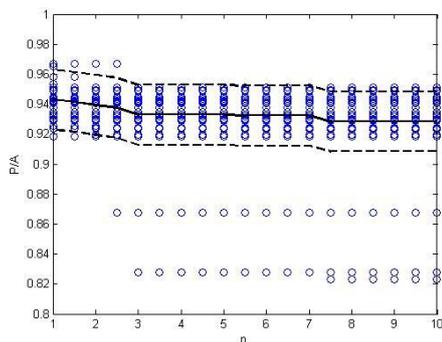
附图 3 2014 年第二批次



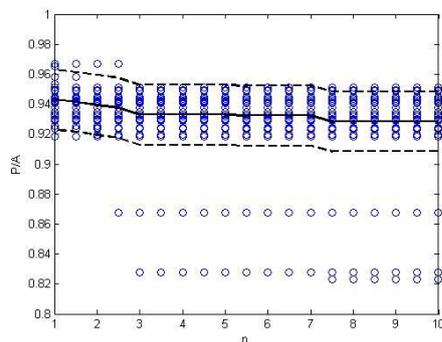
附图 4 2014 年第三批次

### 附录三

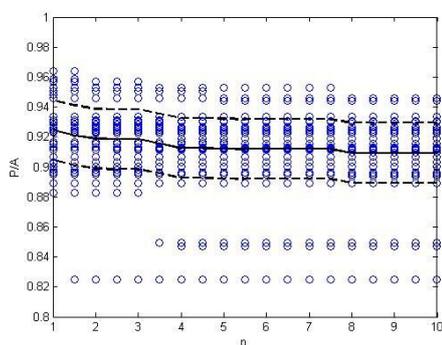
2013 年第六批次至 2014 年第三批次  $P/A$  随  $n$  变化情况如附图 5—8 所示。



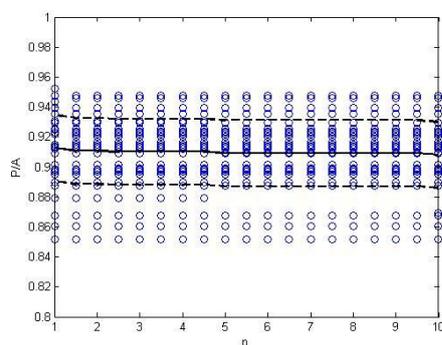
附图 5 2013 年第六批次



附图 6 2014 年第一批次



附图 7 2014 年第二批次



附图 8 2014 年第三批次