

# 基于二次多项式曲线模型的露天矿山生产成本分析

王超

中国建筑材料工业建设西安工程有限公司, 陕西 西安  
Email: shuxueyii@163.com

收稿日期: 2020年9月1日; 录用日期: 2020年9月17日; 发布日期: 2020年9月24日

## 摘要

影响露天矿山生产成本的因素有很多,且各个环节的影响因素也不尽相同。本文主要讨论炸药单耗与穿孔、爆破、铲装、二次爆破这四个主要环节的成本关系,并基于二次多项式曲线模型建立起各个环节之间的数学关系式。首先,从理论上采用局部求和方法简洁地给出二次多项式曲线模型参数的数学表达式。其次,对实际数据进行预处理以得到穿孔单耗成本、爆破单耗成本、铲装单耗成本和二次爆破单耗成本的数值。最后,借助数值计算软件编程分别求解每一个环节下二次多项式曲线模型的解析表达式,以及相应的数值结果,并给出最优的单耗成本取值。

## 关键词

二次多项式曲线模型,局部求和方法,成本分析,单耗成本

# Analysis of Production Cost of Surface Mine Based on Quadratic Polynomial Curve Model

Chao Wang

China Building Materials Industrial Construction Xi'an Engineer Company Limited, Xi'an Shaanxi  
Email: shuxueyii@163.com

Received: Sep. 1<sup>st</sup>, 2020; accepted: Sep. 17<sup>th</sup>, 2020; published: Sep. 24<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

There are many factors affecting the production cost of surface mine, and the influence factors of each step are different. This paper mainly discusses the relationship between the unit consump-

tion of explosives and the cost of the four main steps including perforation, blasting, shovel loading and secondary blasting, and the mathematical relationship between each step is established according to the quadratic polynomial curve model. Firstly, the local summation method is used to deduce the mathematical expression of parameters of the quadratic polynomial curve model. Secondly, the actual data are preprocessed to obtain the unit cost of perforation, the unit cost of blasting, the unit cost of shovel loading and the unit cost of secondary blasting. Finally, with the help of numerical calculation software programming, the analytical expression of the quadratic polynomial curve model in each step is constructed and the corresponding numerical results are solved, respectively, and then the optimal unit consumption cost value in each step is given.

## Keywords

Quadratic Polynomial Curve Model, Local Summation Method, Production Cost Analysis, The Unit Consumption

Copyright © 2020 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

现代矿业发展的先进理念旨在建立矿物资源、矿山开采和矿物制品与生态环境保护一体化的矿业生产系统,形成可持续发展的现代矿业工程体系。矿山开采作为现代化矿业工程体系的重要一环,对采矿企业的长足发展有着举足轻重的意义,尤其是对于中小采矿企业。露天采矿是指在敞露地表的矿场上作业,将矿体上的覆盖物移走而得到所需矿物的过程。在这个矿体移动过程中将整个矿石开采过程分为穿孔、爆破、铲装、二次破碎、运输作业等环节。如何提高经济效益是露天矿山生产的核心问题,而提高经济效益的有效途径就是降低生产成本。因此,对露天矿山生产成本进行科学合理的分析具有重要的意义。

王家贵[1]使用多元回归分析方法对铋业的矿山生产成本进行了分析,对生产环节中的因素关系有了比较清晰的认识,从而更能科学合理地指导生产。沈慧明等人[2]从现场试验改善爆破质量的角度出发对狮子山铜矿区的爆破参数进行比对分析,并对炸药单耗、抵抗线、孔底距、炮孔的布置形式和堵塞长度进行优化,取得了不错的效果。彭家清[3]采用因素分析法对矿井生产成本进行分析,并直观和层次清晰地揭示了影响成本的各个因素。孙金龙和张萍[4]采用灰色关联分析方法分析了影响矿山生产成本的主要因素和次要因素。石广洋[5]以胜利露天矿2014年第1、第2和第3季度生产运行数据为基础,通过分析数据从成本组织、生产组织、主采设备等运行情况出发找到影响生产成本的主要因素,从而为矿山企业降低生产成本提高经济效益给出了科学合理的建议。本文中,根据实际数据选择二次多项式曲线模型分析炸药单耗与穿孔、爆破、铲装、二次爆破这四个主要环节的成本关系,并给出具体表达式。

在统计学教材[6][7]以及时间序列分析教材[8]中提到,如果研究的现象的趋势随着时间的发展呈现出比较稳定的增长或比较稳定的下降的线性变化,则可采用线性趋势方程,即一阶多项式曲线模型,来对现象进行刻画和分析。如果研究的现象的趋势随着时间的推移呈现出某种非线性变化趋势,则需要选择适当的趋势曲线。特别地,当现象的趋势变化中只有一个拐点时,则可以拟合抛物线曲线,即二次多项式曲线模型;当现象的趋势变化中有两个拐点时,则可以拟合三阶多项式曲线模型;当现象的趋势变化中有多个拐点,则需要拟合高阶多项式曲线模型。

基于实际数据的趋势特征, 本文将二次多项式曲线模型引入到露天矿山生产成本分析中, 量化地讨论穿孔单耗成本、爆破单耗成本、铲装单耗成本和二次爆破单耗成本的非线性情形。本文与以往的研究文献相比较, 主要工作体现在如下两个方面: 1) 在确定二次多项式曲线模型系数方面, 采用了局部求和的计算方法而不是线性最小二乘法。这种参数求解方法思路简单、计算量小且很容易编程实现。2) 在得到每个环节的解析表达式后, 给出了最优的单耗成本取值, 从而为解决矿山生产成本提供了量化的科学依据。

本文的结构具体安排如下: 第 2 节使用局部求和方法对二次多项式曲线模型的参数进行求解, 并给出参数的具体表达式。第 3 节以露天矿山的穿孔单耗成本、爆破单耗成本、铲装单耗成本和二次爆破单耗成本为具体应用, 建立了各自的二次多项式曲线模型, 并在此基础上给出了最优的单耗成本取值。第 4 节给出了本文的结论。

## 2. 二次多项式曲线模型

本节将具体讨论二次多项式曲线模型参数的局部求和方法, 并给出曲线模型参数的数学表达式。

### 2.1. 曲线模型参数的确定

由文献[6] [7] [8]可知, 二次多项式曲线模型的一般形式为

$$y(t) = at^2 + bt + c \quad (1)$$

其中  $a \neq 0$ 。关于模型参数  $a, b, c$  的估计方法有最小平方法、三点法和折扣最小平方法等等, 相关理论可以参看资料和文献[6] [7] [8]。在这里, 采用局部求和的思想方法给出二次多项式曲线模型参数  $a, b, c$  的数学表达式。

设原始数据是长度为  $n$  的非负序列  $Y = (y(1), y(2), \dots, y(n))$ , 其中用于建模的原始数据为  $(y(1), y(2), \dots, y(n_1))$ , 用于检验的原始数据为  $(y(n_1 + 1), y(n_1 + 2), \dots, y(n))$ 。首先, 将用于建模的时间序列分成相等的 3 个数组, 每个组的数据有  $m = n_1/3$  项。根据趋势值  $y(k)$  的 3 个局部总和来确定参数  $a, b, c$ 。具体为: 设原始数据 3 个局部总和分别为  $S_1, S_2, S_3$ , 则有如下关系式

$$S_i = \sum_{t=(i-1)m+1}^{im} y(t), i=1, 2, 3 \quad (2)$$

在表达式(2)中分别令  $i$  的取值为 1, 2, 3, 于是有

$$\begin{aligned} S_1 &= \sum_{t=1}^m y(t) = \sum_{k=1}^m (at^2 + bt + c) \\ &= a \frac{2m^3 + 3m^2 + m}{6} + b \frac{m^2 + m}{2} + cm, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} S_2 &= \sum_{t=m+1}^{2m} y(t) = \sum_{k=m+1}^{2m} (at^2 + bt + c) \\ &= a \frac{14m^3 + 9m^2 + m}{6} + b \frac{3m^2 + m}{2} + cm, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} S_3 &= \sum_{t=2m+1}^{3m} y(t) = \sum_{k=2m+1}^{3m} (at^2 + bt + c) \\ &= a \frac{38m^3 + 15m^2 + m}{6} + b \frac{5m^2 + m}{2} + cm. \end{aligned} \quad (5)$$

进一步, 令  $W_i = S_{i+1} - S_i, i = 1, 2$ , 结合表达式(3)~(5)得到,

$$W_1 = S_2 - S_1 = a \frac{12m^3 + 6m^2}{6} + b \frac{2m^2}{2} = a(2m^3 + m^2) + bm^2, \quad (6)$$

$$W_2 = S_3 - S_2 = a \frac{24m^3 + 6m^2}{6} + b \frac{2m^2}{2} = a(4m^3 + m^2) + bm^2. \quad (7)$$

由表达式(6)和(7), 得到

$$a = \frac{W_2 - W_1}{2m^3}. \quad (8)$$

将表达式(8)代入表达式(6), 得到参数  $b$  的表达式为

$$b = \frac{W_1 - a(2m^3 + m^2)}{m^2}. \quad (9)$$

进一步, 将表达式(8)和(9)代入表达式(3)得到参数  $c$  的表达式为

$$c = \frac{S_1}{m} - a \frac{2m^2 + 3m + 1}{6} - b \frac{m + 1}{2}. \quad (10)$$

至此, 二次多项式曲线模型的参数都已经得到, 然后将其代入二次多项式曲线模型中即可得到相应的函数表达式, 进而可以计算  $\hat{y}(t), t = 1, 2, \dots, n$  的值。

## 2.2. 曲线模型的计算精度评估

在对穿孔单耗成本、爆破单耗成本、铲装单耗成本和二次爆破单耗成本计算之前, 给出评价曲线模型的计算效果或准确性精度的几个评价指标, 其计算思想就是找出计算值与实际值的差距。下面给出常见的衡量曲线模型精度的指标。

- 百分比误差(APE)

$$\text{APE}(t) = \frac{y(t) - \hat{y}(t)}{y(t)} \times 100\%, t = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

- 均方根误差(RMSPE)

$$\text{RMSPE} = \sqrt{\frac{1}{r-l+1} \sum_{t=l}^r \left( \frac{y(t) - \hat{y}(t)}{y(t)} \right)^2} \times 100\% \quad (13)$$

这里  $l = 1, r = n_1$  表示的是建模误差, 记为  $\text{RMSPE}_{\text{simu}}$ ,  $l = n_1 + 1, r = n$  表示的是拟合误差, 记为  $\text{RMSPE}_{\text{pred}}$ ,  $l = 1, r = n$  表示的是总的误差, 记为  $\text{RMSPE}_{\text{total}}$ 。

- 平均绝对百分比误差(MAPE)

$$\text{MAPE} = \frac{1}{r-l+1} \sum_{t=l}^r \frac{|y(t) - \hat{y}(t)|}{y(t)} \times 100\% \quad (12)$$

## 3. 二次多项式曲线模型在露天矿山生产成本中的应用

本文数据来自某露天矿山开采的实际数据, 并经过前期的处理得到下面的具体数值, 见表 1。

对表 1 的数据, 我们采用二次多项式曲线模型分别进行建模, 求解模型参数的具体数值以及对应的计算结果, 并在此基础上求解最优的成本单耗值。

**Table 1.** Statistical table of production cost of surface mine**表 1.** 矿山开采作业成本分析数据统计表

序号	炸药单耗(kg/吨)	穿孔(元/吨)	爆破(元/吨)	铲装(元/吨)	二次爆破(元/吨)
1	0.117	1.21	1.43	2.08	0.26
2	0.128	1.37	1.55	1.91	0.22
3	0.129	1.47	1.61	1.88	0.26
4	0.131	1.59	1.63	1.98	0.23
5	0.133	1.51	1.58	1.85	0.21
6	0.136	1.52	1.70	1.83	0.19
7	0.145	1.56	1.78	1.68	0.21
8	0.146	1.58	1.80	1.67	0.22
9	0.147	1.59	1.81	1.76	0.24
10	0.148	1.63	1.84	1.88	0.20
11	0.153	1.73	1.92	1.84	0.21
12	0.159	1.74	1.94	1.72	0.22
13	0.168	1.85	2.18	2.17	0.28

**(a) 二次多项式曲线模型在穿孔单耗成本中的应用**

首先, 由表 1 的数据和计算公式: 穿孔单耗成本 = 穿孔/炸药单耗, 得到

$$Y = (y(1), y(2), \dots, y(13)) \\ = (10.3419, 10.7031, 12.1705, 12.1374, 11.3534, 11.1765, 10.7586, \\ 10.8219, 10.8163, 11.0135, 11.3072, 10.9434, 11.0119)$$

此处共有 13 个数据, 根据第 2 节的理论推导需要 3 的倍数个数据进行建模。为此, 取前 12 个数据进行建模, 通过计算有

$$\begin{cases} S_1 = 10.3419 + 10.7031 + 12.1705 + 12.1374 = 45.3529, \\ S_2 = 11.3534 + 11.1765 + 10.7586 + 10.8219 = 44.1104, \\ S_3 = 10.8163 + 11.0135 + 11.3072 + 10.9434 = 44.0804. \end{cases} \quad (14)$$

于是, 分别得到  $W_1$  和  $W_2$  的具体值为

$$\begin{cases} W_1 = S_2 - S_1 = 44.1104 - 45.3529 = -1.2425, \\ W_2 = S_3 - S_2 = 44.0804 - 44.1104 = -0.0300. \end{cases} \quad (15)$$

将相应的数值代入表达式(8)~(10)得到

$$\begin{cases} a = 0.0095, \\ b = -0.1629, \\ c = 11.6745. \end{cases} \quad (16)$$

进一步, 二次多项式曲线模型的方程为

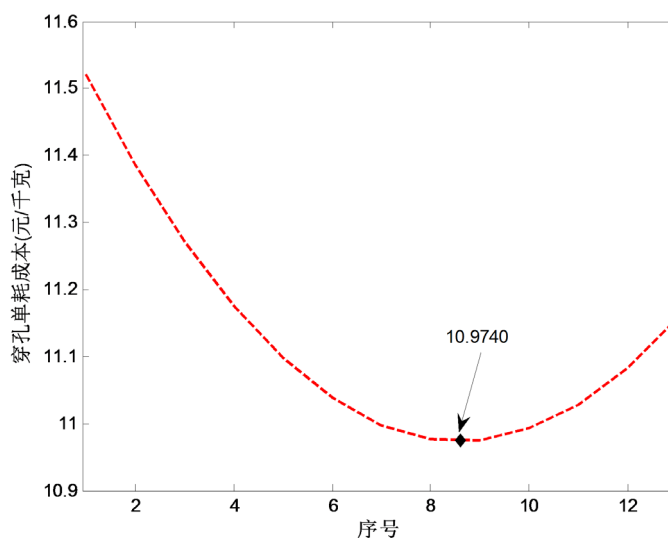
$$y(t) = 0.0095t^2 - 0.1629t + 11.6745, \quad (17)$$

方程(17)即为二次多项式曲线模型对穿孔单耗成本拟合的函数表达式。通过此方程,可以计算相应点的拟合值,并可计算最优的单耗成本值,具体结果见下表 2 和图 1。从计算结果可以看到均方根误差分别为 5.0985%, 1.3224%和 4.9122%, 平均绝对百分比误差分别为 3.8069%, 1.3224%和 3.6158%。其结果都非常的小,说明二次多项式曲线对穿孔单耗成本数据拟合得很好。进一步,通过方程(17)和图 1 可以计算得到,最优的穿孔单耗成本为 10.9740 元/千克。

**Table 2.** Calculation results of the unit cost of perforation by the quadratic polynomial curve model

**表 2.** 二次多项式曲线模型对穿孔单耗成本的计算结果

序号	穿孔单耗成本(元/千克)	二次多项式计算结果	APE (%)
1	10.3419	11.5210	11.4018
2	10.7031	11.3865	6.3852
3	12.1705	11.2710	-7.3912
4	12.1374	11.1744	-7.9343
5	11.3534	11.0967	-2.2607
6	11.1765	11.0380	-1.2389
7	10.7586	10.9982	2.2272
8	10.8219	10.9774	1.4369
9	10.8163	10.9755	1.4721
10	11.0135	10.9926	-0.1897
11	11.3072	11.0286	-2.4634
12	10.9434	11.0836	1.2813
13	11.0119	11.1575	1.3224
RMSPE <sub>simu</sub> (%)	5.0985	MAPE <sub>simu</sub> (%)	3.8069
RMSPE <sub>pred</sub> (%)	1.3224	MAPE <sub>pred</sub> (%)	1.3224
RMSPE <sub>total</sub> (%)	4.9122	MAPE <sub>total</sub> (%)	3.6158



**Figure 1.** The plot of the unit cost of perforation by the quadratic polynomial curve model

**图 1.** 二次多项式曲线模型对穿孔单耗成本的拟合图形

**(b) 二次多项式曲线模型在爆破单耗成本中的应用**

首先, 由表 1 的数据和计算公式: 爆破单耗成本 = 爆破/炸药单耗, 得到

$$Y = (y(1), y(2), \dots, y(13)) \\ = (12.2222, 12.1094, 12.4806, 12.4427, 11.8797, 12.5000, 12.2759, \\ 12.3288, 12.3129, 12.4324, 12.5490, 12.2013, 12.9762)$$

此处共有 13 个数据, 根据第 2 节的理论推导需要 3 的倍数个数据进行建模。为此, 取前 12 个数据进行建模, 类似于计算穿孔单耗成本的计算过程得到二次多项式曲线模型的表达式为

$$y(t) = 0.0061t^2 - 0.0719t + 12.4477, \quad (18)$$

方程(18)即为二次多项式曲线模型对爆破单耗成本拟合的函数表达式。通过此方程, 可计算相应点的拟合值, 并可计算最优单耗成本值, 结果见下表 3 和图 2。从计算结果可以看到均方根误差分别为 1.5907%, 3.3196%和 1.7842%, 平均绝对百分比误差分别为 1.3634%, 3.3196%和 1.5139%。其结果都非常的小, 说明二次多项式曲线对爆破单耗成本数据拟合得很好。进一步, 通过方程(18)和图 2 可以计算得到, 最优的爆破单耗成本为 12.2361 元/千克。

**Table 3.** Calculation results of the unit cost of blasting by the quadratic polynomial curve model

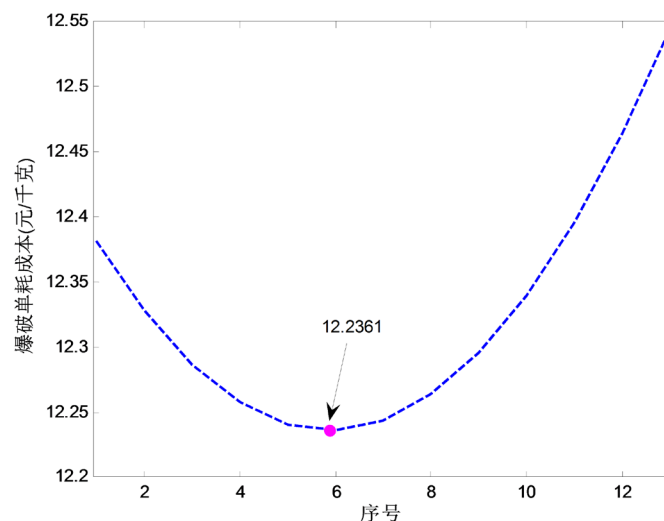
**表 3.** 二次多项式曲线模型对爆破单耗成本的计算结果

序号	爆破单耗成本(元/千克)	二次多项式计算结果	APE (%)
1	12.2222	12.3819	1.3063
2	12.1094	12.3283	1.8080
3	12.4806	12.2870	-1.5517
4	12.4427	12.2578	-1.4862
5	11.8797	12.2409	3.0406
6	12.5000	12.2362	-2.1103
7	12.2759	12.2437	-0.2617
8	12.3288	12.2635	-0.5296
9	12.3129	12.2954	-0.1421
10	12.4324	12.3396	-0.7467
11	12.5490	12.3960	-1.2194
12	12.2013	12.4646	2.1584
13	12.9762	12.5454	-3.3196
RMSPE <sub>simu</sub> (%)	1.5907	MAPE <sub>simu</sub> (%)	1.3634
RMSPE <sub>pred</sub> (%)	3.3196	MAPE <sub>pred</sub> (%)	3.3196
RMSPE <sub>total</sub> (%)	1.7842	MAPE <sub>total</sub> (%)	1.5139

**(c) 二次多项式曲线模型在铲装单耗成本中的应用**

首先, 由表 1 的数据和计算公式: 铲装单耗成本 = 铲装/炸药单耗, 得到

$$Y = (y(1), y(2), \dots, y(13)) \\ = (17.7778, 14.9219, 14.5736, 15.1145, 13.9098, 13.4559, 11.5862, \\ 11.4384, 11.9728, 12.7027, 12.0261, 10.8176, 12.9167)$$



**Figure 2.** The plot of the unit cost of blasting by the quadratic polynomial curve model

**图 2.** 二次多项式曲线模型对爆破单耗成本的拟合图形

此处共有 13 个数据，根据第 2 节的理论推导需要 3 的倍数个数据进行建模。为此，取前 12 个数据进行建模，类似于计算穿孔、爆破单耗成本的计算过程得到二次多项式曲线模型的表达式为

$$y(t) = 0.0713t^2 - 1.3916t + 18.5411, \quad (19)$$

方程(19)即为二次多项式曲线模型对铲装单耗成本拟合的函数表达式。通过此方程，可以计算相应点的拟合值，并可计算最优的单耗成本值，具体结果见下表 4 和图 3。从计算结果可以看到均方根误差分别为 5.9335%，3.2200%和 5.7702%，平均绝对百分比误差分别为 5.1983%，3.2200%和 5.0461%。其结果说明二次多项式曲线对铲装单耗成本数据拟合得比较合适。进一步，通过方程(19)和图 3 计算得到，最优的铲装单耗成本为 11.7515 元/吨。

**Table 4.** Calculation results of the unit cost of shovel loading by the quadratic polynomial curve model

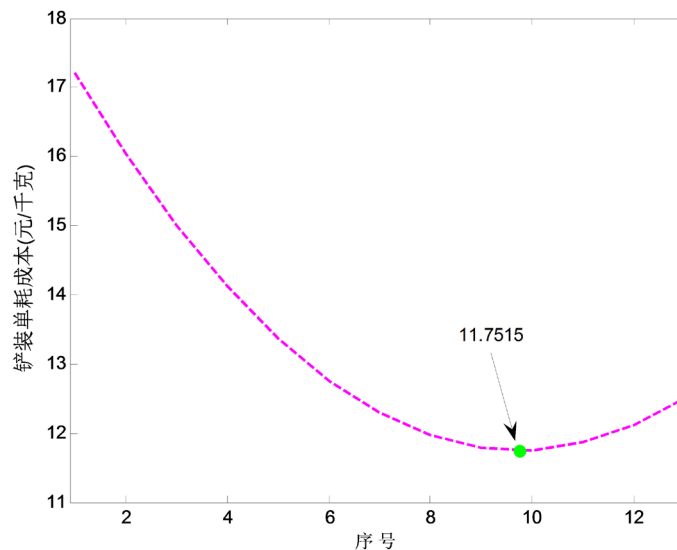
**表 4.** 二次多项式曲线模型对铲装单耗成本的计算结果

序号	铲装单耗成本(元/千克)	二次多项式计算结果	APE (%)
1	17.7778	17.2208	-3.1328
2	14.9219	16.0432	7.5145
3	14.5736	15.0081	2.9813
4	15.1145	14.1157	-6.6085
5	13.9098	13.3658	-3.9106
6	13.4559	12.7586	-5.1822
7	11.5862	12.2939	6.1083
8	11.4384	11.9719	4.6645
9	11.9728	11.7925	-1.5062
10	12.7027	11.7556	-7.4557



Continued

11	12.0261	11.8614	-1.3699
12	10.8176	12.1098	11.9450
13	12.9167	12.5007	-3.2200
RMSPE <sub>simu</sub> (%)	5.9335	MAPE <sub>simu</sub> (%)	5.1983
RMSPE <sub>pred</sub> (%)	3.2200	MAPE <sub>pred</sub> (%)	3.2200
RMSPE <sub>total</sub> (%)	5.7702	MAPE <sub>total</sub> (%)	5.0461



**Figure 3.** The plot of the unit cost of shovel loading by the quadratic polynomial curve model

**图 3.** 二次多项式曲线模型对铲装单耗成本的拟合图形

#### (d) 二次多项式曲线模型在二次爆破单耗成本中的应用

首先, 由表 1 的数据和计算公式: 二次爆破单耗成本=二次爆破/炸药单耗, 得到

$$\begin{aligned}
 Y &= (y(1), y(2), \dots, y(13)) \\
 &= (2.2222, 1.7188, 2.0155, 1.7557, 1.5789, 1.3971, 1.4483, \\
 &\quad 1.5068, 1.6327, 1.3514, 1.3725, 1.3836, 1.6667)
 \end{aligned}$$

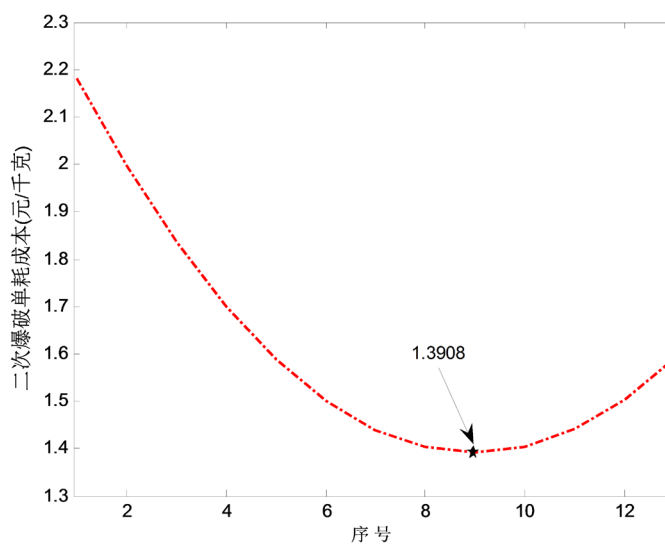
此处共有 13 个数据, 根据第 2 节的理论推导需要 3 的倍数个数据进行建模。为此, 取前 12 个数据进行建模, 类似于计算穿孔、爆破、铲装单耗成本的计算过程得到二次多项式曲线模型的表达式为

$$y(t) = 0.0124t^2 - 0.2231t + 2.3927, \quad (20)$$

方程(20)即为二次多项式曲线模型对二次爆破单耗成本拟合的函数表达式。通过此方程, 可以计算相应点的拟合值, 并可计算最优的单耗成本值, 具体结果见下表 5 和图 4。从计算结果可以看到均方根误差分别为 8.1325%, 4.5063%和 7.9127%, 平均绝对百分比误差分别为 6.5053%, 4.5063%和 6.3516%。其结果说明二次多项式曲线对二次爆破单耗成本数据拟合得比较可以。进一步, 通过方程(20)和图 4 可以计算得到, 最优的二次爆破单耗成本为 1.3908 元/千克。

**Table 5.** Calculation results of the unit cost of secondary blasting by the quadratic polynomial curve model  
**表 5.** 二次多项式曲线模型对二次爆破单耗成本的计算结果

序号	二次爆破单耗成本(元/千克)	二次多项式计算结果	APE (%)
1	2.2222	2.1820	-1.8106
2	1.7188	1.9961	16.1386
3	2.0155	1.8351	-8.9497
4	1.7557	1.6990	-3.2331
5	1.5789	1.5876	0.5507
6	1.3971	1.5012	7.4523
7	1.4483	1.4395	-0.6027
8	1.5068	1.4028	-6.9072
9	1.6327	1.3908	-14.8113
10	1.3514	1.4037	3.8774
11	1.3725	1.4415	5.0241
12	1.3836	1.5041	8.7062
13	1.6667	1.5916	-4.5063
RMSPE <sub>simu</sub> (%)	8.1325	MAPE <sub>simu</sub> (%)	6.5053
RMSPE <sub>pred</sub> (%)	4.5063	MAPE <sub>pred</sub> (%)	4.5063
RMSPE <sub>total</sub> (%)	7.9127	MAPE <sub>total</sub> (%)	6.3516



**Figure 4.** The plot of the unit cost of secondary blasting by the quadratic polynomial curve model

**图 4.** 二次多项式曲线模型对二次爆破单耗成本的拟合图形

#### 4. 结束语

本文通过陕西汉中某露天矿山在开采过程中的实际数据讨论炸药单耗与穿孔、爆破、铲装、二次爆破这四个主要环节的成本关系，并基于统计趋势模型——二次多项式曲线模型建立起穿孔单耗成本、爆

破单耗成本、铲装单耗成本和二次爆破单耗成本的数学表达式。在得到曲线模型的解析表达式后,通过函数关系式给出了各个环节最优的单耗成本取值。相比较其他的复杂数学公式,本文的讨论方法简单、可行、容易理解,很适合工程技术人员使用,具有很广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] 王家贵. 多元回归用于矿山生产成本分析初探[J]. 冶金经济与管理, 1988(1): 31-32.
- [2] 沈慧明, 吴爱祥, 余佑林, 肖雄, 杨保华. 狮子山铜矿中深孔爆破参数优化设计研究[J]. 中国铝业, 2003, 27(1): 14-17.
- [3] 彭家清. 因素分析法在煤矿生产成本分析中的应用例析[J]. 会计之友, 2008(19): 60-61.
- [4] 孙金龙, 张萍. 基于灰色理论的露天矿生产成本分析[J]. 化工矿物与加工, 2012, 41(4): 27-29.
- [5] 石广洋. 胜利露天矿生产运行成本分析及成本控制[J]. 露天采矿技术, 2015(12): 84-87.
- [6] 贾俊平, 何晓群, 金勇进. 统计学[M]. 第7版. 北京: 中国人民大学出版社, 2019.
- [7] 宋廷山, 王坚, 刁艳华, 郭思亮. 应用统计学——以 EXCEL 为分析工具[M]. 第2版. 北京: 清华大学出版社, 2018.
- [8] 周永道, 王会琦, 吕王勇. 时间序列分析及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.