

文章编号:1674-2869(2018)02-0203-05

# 合同制采矿条件下主要井巷工程单价的合理性探讨

张惠君,陈清运\*,代康,徐正碧,余少平,黄贞林  
武汉工程大学兴发矿业学院,湖北 武汉 430074

**摘要:**以金山店铁矿和程潮铁矿部分主要外委井巷工程单价为样本,依据 Bootstrap 自助法对样本数据进行再抽样,计算出样本均值的相对频率分布大体呈正态分布,并结合国家基础定额对样本单价进行分析,得到金山店铁矿的工程单价定价与定额标准偏差较大,程潮铁矿定价与定额标准接近,同时考虑矿山地质条件以及其他影响工程单价定价因素,对样本单价合理性进行探讨。结果表明在合同制采矿条件下,工程单价报价大体呈正态分布是合理的;工程单价的合理制定不能仅仅依据定额标准和市场因素,更要充分考虑矿山工程自身特殊因素。

**关键词:**合同制采矿;井巷;合理性;Bootstrap 自助法;工程单价

**中图分类号:**TD26 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2018.02.016

## Rationality of Engineering Unit Price of Main Sinking and Driving in Contract-Based Mining

ZHANG Huijun, CHEN Qingyun\*, DAI Kang, XU Zhengbi, YU Shaoping, HUANG Zhenlin

School of Xingfa Mining Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

**Abstract:** The research has cited the engineering unit price of the main sinking and driving of Jinshandian Iron Mine and Chengchao Iron Mine as the case study. It was found that the relative frequency distribution of mean unit price was normal distribution by Bootstrap method. While, the pricing of unit price of Jinshandian Iron Mine was deviation in the national quota, but Chengchao Iron Mine was close to the national quota. And then the rationality of the sample price was discussed combined with the geological conditions of the mine and other factors influencing the unit price of the project. The result showed that the normal distribution of the unit price was reasonable in contract-based mining; and the formulation of unit price not only relied on the quota standard and market factors, but also depended on the special factors of mine engineering.

**Keywords:** contract-based mining; sinking and driving; rationality; Bootstrap method; engineering unit price

矿业开发在全球呈现出多样性,由传统的模式——矿山业主开采运营,管理一体化逐渐转变成业主只保持经营和管理,引进专业化承包商承包外委主要工程的新模式——合同制采矿。所谓合同制采矿就是矿山业主(甲方)通过招投标的方式引进专业的采矿队伍(乙方)进行采矿作业,双

方通过签订合同的方式明确责任和义务,共同承担风险,取得双赢的模式<sup>[1-2]</sup>。

合同制采矿已成为矿山发展的主流趋势,具有简化劳动组织和管理模式,节省基建投资,减轻企业负担,劳动生产效率高等优点<sup>[3-5]</sup>。我国新建矿山基本采用完全承包的合同制采矿模式,老矿

收稿日期:2017-06-13

基金项目:国家自然科学基金(51374049)

作者简介:张惠君,硕士研究生。E-mail:673247343@qq.com

\*通讯作者:陈清运,博士,教授。E-mail:865633122@qq.com

引文格式:张惠君,陈清运,代康,等.合同制采矿条件下主要井巷工程单价的合理性探讨[J].武汉工程大学学报,2018,40(2):203-207.

山正在逐渐向合同制采矿的模式转变,比如:露天矿山将穿孔爆破、凿岩运输等工艺承包给有资质的专业化队伍等。然而,在合同制采矿中,工程单价是主要的经济活动,工程单价的合理性直接关系到矿山与承包商的经济效益以及合同制采矿的发展。

矿山合同采矿的合同定价方式有全包吨矿单价合同、不包括采切掘进的吨矿单价合同、综合单价分项结算合同、实际成本加利润率和费用的定价合同。合同采矿的价格组成由采切掘进价格、落矿价格、铲运矿价格、充填单价、间接费和辅助费组成。然而在招标过程中,重要的是工程单价,但由于定价的主动权在甲方,主观因素掺杂其中,导致执行的工程单价有时偏离实际。并且矿山工程的工程单价定价是一个比较复杂的问题,因此,如何合理确定招投标的工程单价,对矿业公司与承包商充分发挥合同制采矿的优势尤为重要。

本文以武钢资源有限公司金山店铁矿-500 m中段(东西区)和程潮铁矿-436 m~-480 m水平矿柱开采三井贯通工程三个标段外委井巷工程单价为样本,通过现场调研收集工程单价数据,依据 Bootstrap 自助法,利用 Matlab 对收集数据进行 10 000 次拔高抽样,转化为大样本;然后结合国家基础定额,对样本单价进行分析;进而考虑矿山地质条件以及其他影响工程单价定价因素,对样本单价合理性进行探讨。

## 1 矿山工程背景

### 1.1 金山店铁矿

金山店铁矿是地下开采铁矿山,位于湖北省大冶市,主要包括张福山和余华寺两个矿区,是武汉钢铁集团的主要铁矿石生产基地<sup>[6]</sup>。目前,金山店铁矿生产能力 300 万 t/a,开采深度 500 m,是矽卡岩型铁矿山的典型代表。矿体中夹杂着大量粉状矿石,上盘围岩主要为砂卡岩、泥质黑云母角闪岩、变余粉砂岩;下盘围岩主要为石英闪长岩、大理岩、砂卡岩<sup>[7-9]</sup>,地质条件复杂,开采难度大。东区和西区-500 m 中段巷道主要采用平峒、平巷掘进(光面爆破)风动装岩掘进,竖井开拓,断面支护型式为喷射混凝土 C20。

### 1.2 程潮铁矿

程潮铁矿位于湖北省鄂州市,是中南地区矿藏资源最丰富、生产规模最大、技术装备最新的地

下开采矿山,是武汉钢铁集团重要的矿石生产基地<sup>[10]</sup>。程潮铁矿年生产能力 360 万 t,是典型的矽卡岩型矿床。矿区岩体岩性复杂主要为矽卡岩、花岗岩、闪长岩以及大理岩等,部分区域存在断层,西区岩性相对较稳定,东区相对较破碎<sup>[11-12]</sup>。其中,样本三个标段巷道掘进采用光面爆破或普通爆破,铲装机装岩或者铲斗装岩,竖井开拓,断面支护为素喷混凝土,水灰比不超过 0.45。

## 2 研究方法

鉴于研究对象为小样本数据,采用统计学理论方法——Bootstrap 自助法,对工程单价进行分析。Bootstrap 自助法,认为经验分布函数与总体分布有良好拟合,采用将现有的样本资料去模拟未知的分布,本质上是一个再抽样过程,通过单个样本进行多次有放回抽样,充分发掘子样本本身的信息,不需要对总体分布做出假定,直接利用验前样本试验数据确定验前分布<sup>[13-15]</sup>,从而将小样本进行“拔高”的方法。运用 Bootstrap 自助法原理,利用 Matlab 对小样本数据进行再抽样,抽取 10 000 组,选取期望为参数,计算期望值、标准差,得出期望的相对频率分布图。

## 3 结果与讨论

### 3.1 参数分布图

以金山店铁矿-500 m 中段(东西区)和程潮铁矿-436 m~-480 m 水平矿柱开采三井贯通工程三个标段为样本,对其巷道掘进、竖井开拓、喷射混凝土支护(拱)、喷射混凝土支护(墙)的工程单价进行总结分析,本文主要列出金山店铁矿和程潮铁矿掘进工程单价期望的相对频率分布图,开拓工程和支护工程的计算方法和原理、结果类似。

#### 1) 金山店铁矿东区和西区-500 m 中段

金山店铁矿地质条件复杂,岩石膨胀性突出。沿脉巷弯道、穿脉巷弯道掘进采用光面爆破、风动装岩掘进,交岔点采用机械装岩,其中,东区上盘沿脉巷直道掘进采用普通爆破、风动装岩,西区下盘沿脉巷直道掘进采用光面爆破、风动装岩。表 1 为东区和西区不同断面巷道掘进工程单价。巷道净断面积分别为:C-C 断面为 11.148 m<sup>2</sup>,B-B 断面为 8.901 m<sup>2</sup>,F-F 断面为 11.610 m<sup>2</sup>,E-E 断面为 10.043 m<sup>2</sup>;支护型式为喷射混凝土 C20。

表1 东区和西区巷道掘进工程单价(每100 m<sup>3</sup>)

Tab. 1 Unit price of excavation project in eastern and western areas (per 100 m<sup>3</sup>)

地区	项目	单价/元
东区	上盘沿脉巷直道(C-C断面)	21 105.76 <sup>a</sup>
	穿脉巷直道(B-B断面)	22 235.90 <sup>b</sup>
	上盘沿脉巷弯道(F-F断面)	23 415.48 <sup>c</sup>
	穿脉巷弯道(E-E断面)	22 585.80 <sup>d</sup>
	交岔点	23 867.90 <sup>e</sup>
西区	穿脉巷弯道(E-E断面)	23 415.48 <sup>c</sup>
	下盘沿脉巷弯道(F-F断面)	23 647.11 <sup>b</sup>
	下盘沿脉巷直道(C-C断面)	21 342.55 <sup>d</sup>
	交岔点	23 867.90 <sup>e</sup>

注:a:平峒、平巷掘进(普通爆破),风动装岩,掘进断面≤12 m<sup>2</sup>,岩石硬度 $f<10$ ;b:平峒、平巷掘进(光面爆破),风动装岩,掘进断面≤12 m<sup>2</sup>,岩石硬度 $f<10$ ;c:平峒、平巷掘进(光面爆破),风动装岩,掘进断面≤10 m<sup>2</sup>,岩石硬度 $f<10$ ;d:平峒、平巷掘进(光面爆破),风动装岩,掘进断面≤20 m<sup>2</sup>,岩石硬度 $f<10$ ;e:交岔点掘进(机械装岩),掘进断面≤25 m<sup>2</sup>,岩石硬度 $f<10$ 。

以表1工程单价为样本数据,运用 MATLAB 进行再抽样得到 10 000 组工程单价,通过计算,得到表2;将此工程单价以期望值为基础标准,分布于图形上,拟合得到图1(a)。其中 $E_x$ 为原始样本期望, $d_x$ 为原始样本标准差, $E_{x8}$ 为抽样后期望估计值, $d_x$ 为抽样后标准差估计值, $z_x$ 为置信区间下限, $z_s$ 为置信区间上限, $z_x$ 、 $z_s$ 均是90%的置信区间。

表2 东区和西区巷道掘进工程单价数字特征值

Tab. 2 Numerical characteristics of unit price of excavation in eastern and western areas

数字特征值	东区	西区
$E_x$	$2.264\ 2\times10^4$	$2.306\ 8\times10^4$
$d_x$	962.206 9	$1.009\ 1\times10^3$
$E_{x8}$	$2.264\ 5\times10^4$	$2.305\ 6\times10^4$
$d_x$	428.168 8	509.566 4
$z_x$	$2.194\ 1\times10^4$	$2.221\ 8\times10^4$
$z_s$	$2.335\ 0\times10^4$	$2.389\ 4\times10^4$

在概率和数理统计中,数学期望反映随机变量的平均水平,标准差反映一组数据的集中与离散程度、波动与稳定状况。由表2和图1(a)分析可知,东区和西区工程单价分布大体呈正态分布;东区和西区样本工程单价,抽样后标准差均小于抽样前标准差,东区工程单价标准差变化值大于西区,体现出抽样前东区样本工程单价定价的波动

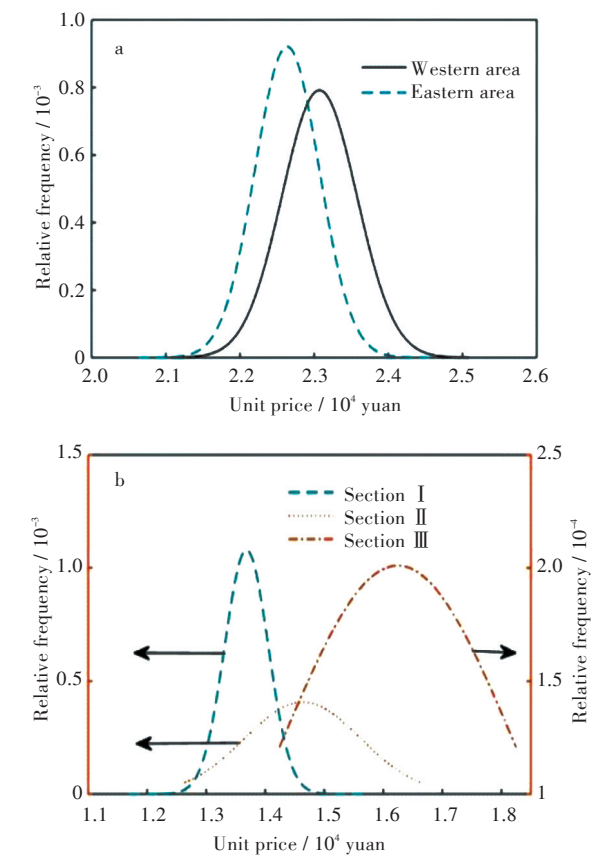


图1 (a)东区和西区及(b)三个标段掘进工程单价期望相对概率分布图

Fig. 1 Relative frequency distributions of unit price expectation for excavation project in (a) eastern and western areas and (b) three sections

比西区大。

2)程潮铁矿-436 m~-480 m水平矿柱开采三井贯通工程三个标段

程潮铁矿地质条件较好,样本中斜坡道掘进为光面爆破铲装机装岩,联络道、平巷掘进多采用铲斗装岩,躲避硐室为平硐、平巷掘进普通爆破风动装岩。表3为三个标段不同项目巷道掘进工程单价。其中,斜坡道直道净断面积为8.36 m<sup>2</sup>,水平平巷净断面积为8.36 m<sup>2</sup>,躲避硐室立方量为3.39 m<sup>3</sup>,联络道净断面为12.66 m<sup>2</sup>,支护型式为素喷混凝土。

根据表3样本数据,通过 MATLAB 编程计算得到表4,同理将样本抽样后得到的10 000组工程单价以期望值为基础标准,分布于图形上,拟合得到图1(b),其中 $E_x$ 为原始样本期望, $d_x$ 为原始样本标准差, $E_{x8}$ 为抽样后期望估计值, $d_x$ 为抽样后标准差估计值, $z_x$ 为置信区间下限, $z_s$ 为置信区间上限, $z_x$ 、 $z_s$ 均是90%的置信区间。

表 3 三个标段巷道掘进工程单价(每 100 m<sup>3</sup>)  
Tab. 3 Unit price of excavation project in three sections  
(per 100 m<sup>3</sup>)

标段	项目	单价 / 元
标段一	-430 m -500 m 水平斜坡道直道	14 691.00 <sup>a</sup>
	-430 m -500 m 水平斜坡道弯道	14 691.00 <sup>a</sup>
	-436 m 水平 1-1 矿联道及 53-55 点联道	13 011.35 <sup>b</sup>
	-450 m 水平 1-1 联道及 22-24 点联道	13 011.35 <sup>b</sup>
	-456 m 水平 1-1 矿联道及 25-27 点联道	13 011.35 <sup>b</sup>
	-480 m 水平 1-1 矿联道及 27-30 点联道	13 011.35 <sup>b</sup>
	-480 m 水平平巷	14 707.05 <sup>c</sup>
	-500 m 水平平巷	14 707.05 <sup>c</sup>
	躲避硐室	13 004.50 <sup>d</sup>
	-436 m 水平 42-53-56 点下沿及矿井联道(含 1-2 联络道)	13 011.35 <sup>b</sup>
标段二	-436 m -465 m 水平 1-1 风联络道	14 707.05 <sup>c</sup>
	-465 m 水平泄水井联络道	17 781.96 <sup>e</sup>
	-465 m 水平 S1-25-28 点下沿及矿井联络道(含 1-2 联络道)	13 011.35 <sup>b</sup>
	-436 m 水平 42-48 点下沿及井联道	13 011.35 <sup>b</sup>
	-430 m -436 m 水平斜坡道	14 691.00 <sup>a</sup>
标段三	-480 m 水平 S1-27-31 点下沿及矿井联络道(含 1-2 联络道)	13 011.35 <sup>b</sup>
	-436 m -500 m 水平泄水池	11 186.54 <sup>g</sup>
	-436 m -500 m 水平泄水池	26 296.86 <sup>f</sup>
	-436 m -480 m 水平 1-1 风联络道	14 707.05 <sup>c</sup>
	-436 m -480 m -500 m 水平泄水井联络道	17 781.96 <sup>e</sup>

注:a:斜坡道掘进(光面爆破),铲装机装岩,硬度 $f<10$ ;b:付中段平巷掘进(铲斗装岩),掘进断面 $\leq 15\text{ m}^2$ ,岩石硬度 $f<10$ ;c:付中段平巷掘进(铲斗装岩),掘进断面 $\leq 10\text{ m}^2$ ,岩石硬度 $f<10$ ;d:平峒、平巷掘进(普通爆破),风动装岩,掘进断面 $\leq 8\text{ m}^2$ ,岩石硬度 $f<10$ ;e:付中段平巷掘进(铲斗装岩),掘进断面 $\leq 4\text{ m}^2$ ,岩石硬度 $f<10$ ;f:天、溜井掘进(吊罐法),机械装岩 $h>60\text{ m}$ (吊罐),掘进断面 $\leq 3\text{ m}^2$ ,岩石硬度 $f<10$ ;g:平峒、平巷掘进(普通爆破),风动装岩,掘进断面 $\leq 10\text{ m}^2$ ,岩石硬度 $f<10$ 。

表 4 三个标段巷道掘进工程单价数字特征值  
Tab. 4 Numerical characteristics of unit price of excavation in three sections

数字特征值	标段一	标段二	标段三
$E_x$	$1.376\ 1\times 10^4$	$1.462\ 8\times 10^4$	$1.581\ 2\times 10^4$
$d_x$	839.312 7	$1.948\ 1\times 10^3$	$4.680\ 9\times 10^3$
$E_{x8}$	$1.376\ 0\times 10^4$	$1.461\ 8\times 10^4$	$1.579\ 3\times 10^4$
$d_x$	278.421 7	964.366 6	$1.769\ 6\times 10^3$
$z_x$	$1.330\ 2\times 10^4$	$1.303\ 2\times 10^4$	$1.288\ 2\times 10^4$
$z_s$	$1.421\ 8\times 10^4$	$1.620\ 4\times 10^4$	$1.870\ 4\times 10^4$

由表 4 和图 1(b)分析可知,三个标段样本工程单价抽样后标准差小于抽样前标准差,抽样前后期望基本相近,标段一标准差变化最小,标段二标准差变化最大,说明三个标段中标段二工程单价定价波动最大,标段一工程单价定价最集中。

金山店铁矿东西区与程潮铁矿三个标段抽样后标准差均小于抽样前,则体现出抽样前样本工程单价定价的波动较大,抽样前后均值基本保持不变,则可以推断出矿山甲方的定价可能会更偏向于抽样后的期望估计值,进而预测矿山甲方在工程单价的定价范围。

3.2 影响因素分析

金山店铁矿东西区与程潮铁矿三个标段工程单价报价采用综合单价分项结算合同根据《冶金矿山井巷工程预算定额》、《冶金矿山机电设备安装工程预算定额》,材料价格主要根据大冶市和鄂州市供应价及市场信息价制定。将样本报价与国家定额相比,得出主要井巷工程中影响工程单价的最主要分部工程。以国家定额为标准,将掘进和支护的工程单价除以各自定额直接费得出百分比<sup>[16]</sup>,然后将掘进和支护的工程单价分别除以总的定额直接费作为权数,利用公式算出加权平均值,确定甲方招标工程单价占国家定额的比例,简要讨论合理性。

对于金山店铁矿-500 m 中段(东西区),首先通过查询预算定额确定金山店铁矿东西区掘进和支护工程中每项相对应的定额直接费,然后结合所收集资料中巷道掘进工程单价(表 1)、支护及竖井开拓工程单价,利用上述计算方法,则可得出不同项目的加权平均值,如表 5 所示。

表 5 金山店铁矿巷道掘进、喷射混凝土支护及竖井开拓工程单价加权平均值

Tab. 5 Weighted mean engineering unit price of drift excavation shotcrete support and vertical shaft in Jinshandian iron mine

项目	加权平均值 / %	
	东区	西区
喷射混凝土支护(墙)	198.2	198.1
喷射混凝土支护(拱)	194.1	197.9
平硐平巷和岔岔点掘进	177.0	178.0
竖井开拓第二期(掘进)	69.00	64.50
竖井开拓第二期(支护)	21.50	41.90

对于程潮铁矿-436 m~-480 m 水平矿柱开采三井贯通工程三个标段,利用上述计算方法,同理计算可得样本三个标段不同项目的加权平均值,如表 6 所示。



表6 程潮铁矿巷道掘进、喷射混凝土支护及竖井开拓工程单价加权平均值

Tab. 6 Weighted mean engineering unit price of drift excavation, shotcrete support and vertical shaft of Chengchao iron mine

项目	加权平均值 / %		
	标段一	标段二	标段三
巷道掘进	108.0	106.8	106.5
喷射混凝土支护(拱)	84.00	87.20	82.80
喷射混凝土支护(墙)	81.00	84.90	80.90
竖井开拓第三期(掘进)	70.00	70.30	70.80

利用主次因素分析法观察表5和表6可知:金山店铁矿东区和西区中喷射混凝土支护是影响此工程单价的关键因素,支护工程单价接近国家定额的2倍;平硐平巷和交岔点掘进是主要因素。程潮铁矿则趋于平稳,其中巷道掘进是影响工程单价的关键因素,喷射混凝土支护是主要因素。

金山店铁矿与程潮铁矿均是开采几十年的老矿山,其工程单价的定价是经过实践验证适用于矿山稳定发展的。因此,合理制定和控制外委工程单价,不能只考虑国家基础定额和市场因素,还要充分考虑其他影响招标工程单价因素。金山店铁矿,地质条件复杂,矿岩粉化,膨胀性比较突出,所以表5中金山店铁矿支护工程报价占比最高;程潮铁矿地质条件稳定,表6中巷道掘进工程报价占比最大。矿山是复杂的系统工程,不同断面、不同地质以及施工水平不同,采用的方法也不相同,所定的工程单价也不一样;开采过程中存在人力不可抗力的自然因素、工程条件和地质条件不确定等因素,影响采矿工艺的选择,相应工程单价也不一样;不同水平、不同施工队伍熟悉程度不同,工作效率不同,相应工程单价也不一样;金山店矿山现今实际情况、相关政策和矿山人员的流动性也会影响工程单价,因此,工程单价大体呈正态分布是合理的。所以为更好实施合同制采矿,在确定外委工程单价时,在现有国家定额基础上,同时还必须考虑矿山工程所属环境条件、地质条件,综合定价,才能实现双赢。

4 结 语

矿山的特殊性和复杂性、工程单价数据的利用率低等因素造成矿山工程单价为小样本数据,研究样本从计算机仿真角度出发,利用 Bootstrap 方法,运用 MATLAB 从有限的矿山工程单价样本中充分挖掘合适数量的样本数据,得到以下结论:

1)金山店铁矿-500 m 安全措施通道(东西区)

和程潮铁矿-436 m~-480 m 水平矿柱开采三井贯通工程三个标段工程的掘进和支护工程单价期望的相对频率分布大体呈正态分布。抽样前后的期望估计值基本相似;抽样前的标准差大于抽样后的标准差估计值。

2)金山店铁矿工程单价定价与国家定额存在较大偏差,支护是影响此工程单价中关键的因素,支护工程单价接近国家定额的2倍;程潮铁矿工程单价与定额接近,价格趋于平稳。

3)合同制采矿条件下,矿山工程单价不能仅仅依据国家定额以及市场因素,而且也要根据工程的特殊性,充分考虑矿山工程特有因素,合理定价,才能使矿山业主与承包商达到双赢的局面。

参考文献:

[1] 张彤. 采矿新模式——合同采矿的探索[J]. 现代矿业, 2005, 21(11): 17-18.

[2] 张桃元. 浅论生产矿山的外包开采[J]. 现代矿业, 2009(10): 7-10.

[3] 龙涛. 浅议合同采矿的安全生产问题[J]. 金属矿山, 2009(增刊1): 682-684.

[4] 赵玉凤, 张可能. 采矿工程中合同制的应用和其局限性[J]. 世界采矿快报, 1988 (27): 17, 29.

[5] 张彤, 余正方. 大红山矿业公司的合同采矿制及存在的问题[J]. 采矿技术, 2008, 8(6): 94-95.

[6] 朱乔乔, 谢桂青, 王建, 等. 含膏盐地层与砂卡岩型铁矿的关系: 以湖北金山店铁矿为例[J]. 地质学报, 2013, 87(9): 1419-1429.

[7] 熊琦, 路远发, 蔡锦辉, 等. 金山店铁矿地质地球化学特征[J]. 矿产与地质, 2017, 31(1): 75-82.

[8] 程爱平. 金山店铁矿低贫化放矿试验与应用研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2011.

[9] 黄泽. 金山店铁矿无底柱分段崩落法大间距结构试验研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2011.

[10] 熊孝平. 全力支持企业二次创业[N]. 鄂州日报, 2015-10-27(1).

[11] 姚磊, 谢桂青, 张承帅, 等. 鄂东南矿集区程潮大型砂卡岩铁矿的矿物学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(1): 133-146.

[12] 陈顺满. 程潮铁矿残矿合理开采方案研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2015.

[13] 杨力. 基于小样本数据的矿井瓦斯突出风险评价[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011.

[14] 骆飞, 罗强, 蒋良淮, 等. 小样本岩土参数的 Bootstrap 估计及边坡稳定分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(2): 370-379.

[15] 肖筱南, 茹世才, 欧阳克智, 等. 新编概率论与数理统计[M]. 北京: 北京大学出版社, 2013.

[16] 吴学伟. 住宅工程造价指标及指数研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2009.

本文编辑: 苗 变