

# 煤炭机械化采样随机误差分析

毛光剑<sup>1,2</sup> 孙刚<sup>1,2</sup>

(1. 煤炭科学研究总院 煤炭分析实验室, 北京 100013;  
2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室(煤炭科学研究总院), 北京 100013)

**摘要:**分析了煤炭机械化采样过程各环节的随机误差,用方差表示了单个初级子样、单个总样、批煤多个总样各试验结果所包含的随机误差成分,并将机械化采样制化分为采取初级子样、在线制样、离线制样、化验4个阶段,同时提出了双倍切割样双份采样法、例行切割样双份采样法和弃样回收法3种方法核验各阶段随机误差。研究表明:机械化采样过程中各阶段误差可以分开核验,也可以将相联系的某些阶段整体核验;在线制样方差是估算采样单元子样数的重要影响因素,其影响系数与初级子样方差相当,可以将二者整体核验;各阶段随机误差核验方法可以为设计合理的机械化专用采样方案提供参考。

**关键词:**随机误差;机械化采样;子样方差;采样方案

中图分类号:TD94

文献标识码:A

文章编号:1006-6772(2012)03-0044-04

## Random error analysis of coal mechanical sampling

MAO Guang-jian<sup>1,2</sup>, SUN Gang<sup>1,2</sup>

(1. Laboratory of Coal Analysis, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. State Key Laboratory of High Efficient Mining and Clean Utilization of Coal Resources (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China)

**Abstract:** Analyze the random errors in every process of coal mechanical sampling, the variance serves to represent the random errors in test results of the single primary increment, the single gross sample and a series of gross samples. The process of coal mechanical sampling can be divided into four stages which are taking primary increment, on-line sample preparation, off-line sample preparation and testing. Provide three methods to check the random errors of each stage, which are duplicate sampling with double cuts, duplicate sampling during routine cuts and recovering waste samples. The errors of each stage can be checked either separately or as a whole if there is connection between certain stages. The variance of on-line sample preparation is an important parameter to estimate the number of increments in a sampling unit, whose influencing coefficient is the same as that of the primary increment variance, so the two stages can be checked as a whole. The methods of checking the random errors of each stage would give reference for the design of dedicated mechanical sampling scheme.

**Key words:** random error; mechanical sampling; increment variance; sampling scheme

目前,煤炭机械化采样系统在电厂、港口、煤矿、炼焦厂等已得到广泛应用,为确保采样的代表

性,首先应证明机械化采样系统无实质性偏倚,然后设计初始采样方案并对总精密度进行核验<sup>[1-4]</sup>。

收稿日期:2012-04-21 责任编辑:白娅娜

作者简介:毛光剑(1984—),男,浙江台州人,助理工程师,硕士,研究方向为煤炭采样制化技术。通讯作者:孙刚。

引用格式:毛光剑,孙刚.煤炭机械化采样随机误差分析[J].洁净煤技术,2012,18(3):44-47.

若总精密度不符合预期(标准)要求,可对机械化采样各阶段的方差(随机误差)进行核验,以确定问题所在。在机械化采样中,采样和在线制样往往难以分开,在线制样方差( $V_p'$ )与初级子样方差( $V_1$ )相互结合<sup>[5-6]</sup>,很少分开核验,因此,难以分清各自存在的问题。各个阶段的方差是设计一个科学合理的专用采样方案的重要参数,在实际工作中发现,在线制样方差容易被忽视,在有些机械化采样系统中,在线制样误差较大,若不引起重视,会影响机械化采样方案的设计质量,甚至达不到预期精密度。

鉴于此,本文深入分析机械化采样过程各个环节的误差,提出估算各个阶段随机误差的试验方法和科学合理设计机械化专用采样方案的方法。

## 1 误差分析

在煤炭的采样、制样、化验方法中,误差总是存在的,单个结果对真值的绝对偏倚是不可能测定的,只能对该试验结果的精密度( $P$ )做估算

$$P = t \cdot \sqrt{V_{SPT}} \quad (1)$$

式中  $t$  为 95% 概率下取 2;  $V_{SPT}$  为采制化总方差。

### 1.1 单个初级子样误差分析

采样机从大量煤炭中采取一个初级子样,通过制样分系统进行一次在线制样,所得留样按例常程序进行离线制样和化验,试验结果包含的随机误差应为各个阶段的随机误差总和,用方差表示为

$$V_{SPT} = V_1 + V_p' + V_p + V_T \quad (2)$$

式中,  $V_1$  为初级子样方差;  $V_p'$  为在线制样方差;  $V_p$  为机械化采样系统留样的离线制样方差;  $V_T$  为化验方差。

其中初级子样方差包含各种因素引起的采样方差和煤炭的固有变异性方差,因此  $V_1$  的估算值会随着各种采样条件的变化而不同;  $V_p'$  指采样机的制样系统将初级子样从原粒度(例如 25 mm)在线缩制成要求粒度(一般为 13 mm 或 6 mm)留样所产生的误差;  $V_p$  指将采样机的留样离线制成 0.2 mm 分析试样所产生的误差。

### 1.2 单个采样单元的总样误差分析

对于一个采样单元,按原设计采样方案通过采样机均匀采取  $n$  个初级子样,并且每个初级子样均经过在线制样,最终留样合并成总样,而后进行一次例常的离线制样和化验,所得结果包含的各阶段随机误差用方差表示为

$$V_{SPT} = \frac{V_1}{n} + \frac{V_p'}{n} + V_{PT} = \frac{V_1 + V_p'}{n} + V_{PT} \quad (3)$$

式中,  $V_{PT}$  为机械化采样系统留样的离线制样和化验方差。

### 1.3 批煤多个采样单元总样平均值误差分析

将一批煤分为  $m$  个采样单元,并通过采样机从每个采样单元中采取一个总样,按例常程序分别进行离线制样和化验,所得结果算术平均值包含的各阶段随机误差用方差表示为

$$V_{SPT} = \frac{\frac{V_1 + V_p'}{n} + V_{PT}}{m} = \frac{V_1 + V_p'}{mn} + \frac{V_{PT}}{m} \quad (4)$$

一批煤中若只有  $m$  个采样单元中的  $u$  个单元被采样、制样、化验,则各阶段误差用方差表示为

$$V_{SPT} = \frac{V_1 + V_p'}{un} + \frac{V_{PT}}{u} + (1 - \frac{u}{m}) \frac{V_m}{u} \quad (5)$$

式中,  $u$  为批煤中进行采样的采样单元;  $V_m$  为采样单元方差。

## 2 误差的分阶段核验

在多阶段采制样中,如果要将各阶段方差分开,必须从每一阶段采取双份试样并计算每一阶段的总方差,某一阶段的总方差应为该阶段方差及后面阶段方差之和,然后用反推法从分析化验阶段开始进行计算。

结合机械化采样系统的特点,本文将机械化采制化过程分成以下几个常用阶段:①从被采煤炭中采取一个初级子样的误差,  $V_1$ ; ②将一个初级子样在线制成 13 mm 或 6 mm 留样的误差,  $V_p'$ ; ③将留样离线制成 0.2 mm 分析试样的误差,  $V_p$ ; ④化验误差,  $V_T$ 。按需要也可将某一阶段再进行细分,或将几个阶段合并。

### 2.1 双倍切割样双份采样法

双倍切割样双份采样法只需将缩分器的缩分时间间隔缩短到例常间隔的 1/2,每一子样采取正常切割样的 2 倍,将相邻切割样分开,交替合并成双份试样。此方法基本不影响采样系统及输煤系统的正常运行,当制样系统只有一级缩分,且是刮板式或格槽式缩分时,比较容易实现。

对于只包含一级刮板式缩分的机械化采样系统,采样机正常采取初级子样,调整缩分器,使其同时在第一缩分阶段缩分出 2 份试样,分别用例常离线制样化验程序测定品质参数,然后计算每个初

级子样双份试样测定结果的平均值  $x_i$  和差值  $d_i$  ,如是,从一批煤或同一煤源的若干批煤中采取至少 50 个初级子样,按下式计算

$$V_{PT}' = \frac{\sum d_i^2}{2n} \quad (6)$$

$$V_1 = \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1} - \frac{V_{PT}'}{2} \quad (7)$$

式中,  $V_{PT}'$  为基于采样机的全线制样化验方差,为阶段②③④的方差之和,即  $V_p' + V_p + V_T$ ;  $n$  为初级子样个数。

双倍切割样双份采样法将机械化采制化过程划分为 2 个阶段核验方差,分别是阶段①和阶段②+③+④,阶段②③④作为整体计算方差。

如需将阶段②③④的方差分开核验,则按以下程序进行:采样机正常采取一个初级子样  $X$ ,调整缩分器,使其能同时在第一缩分阶段缩分出 2 份试样  $A$  和  $B$ ,按例常离线制样程序将试样  $B$  制成 0.2 mm 分析试验煤样,将试样  $A$  缩制出(或在离线第一缩分阶段取出) 2 份试样  $A_1$  和  $A_2$ ,分别按例常离线制样程序制成 0.2 mm 分析试验煤样,对 3 个试样  $A_1$ ,  $A_2$  和  $B$  的相关品质参数按例常分析方法进行 2 次重复测定,共得 6 个结果,记为 1~6。

按以上程序至少采取 10 个初级子样,按照 GB/T 19494—2004《煤炭机械化采样》<sup>[5]</sup> 计算阶段②的方差  $V_p'$ 、阶段③的方差  $V_p$  和阶段④的方差  $V_T$ 。

## 2.2 例行切割样双份采样法

对于只包含一级缩分的采样机系统,在缩分器无法实现双倍切割子样的情况下,若单个初级子样的切割样数量及质量足够,可以用例行切割样双份采样法。将每个初级子样于在线制样的第一缩分阶段交替收集切割样,分别合成 2 份试样,每份试样由例常切割样个数的 1/2 ( $n_0/2$ ) 构成,求双份试样测定结果的平均值  $x_i$  和差值  $d_i$  ,如是,从一批煤或同一煤源的若干批煤中采取至少 50 个初级子样,按下式计算

$$(V_{PT}')_{n_0/2} = \frac{\sum d_i^2}{2n} \quad (8)$$

$$(V_{PT}')_{n_0} = \frac{(V_{PT}')_{n_0/2}}{2} = \frac{1}{2} \times \frac{\sum d_i^2}{2n} \quad (9)$$

$$(V_1)_{n_0} = \frac{(V_1)_{n_0/2}}{2} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1} - \frac{\sum d_i^2}{4n} \right] \quad (10)$$

式中,  $(V_{PT}')_{n_0/2}$  为切割样是例常个数 1/2 时的全线制样化验方差;  $(V_{PT}')_{n_0}$  为切割样是例常个数时的全线制样化验方差;  $(V_1)_{n_0/2}$  为切割样是例常个数 1/2 时的初级子样方差;  $(V_1)_{n_0}$  为切割样为例常个数时的初级子样方差;  $n$  为初级子样个数。

如需将阶段②③④的方差分开核验,可参照 2.1 进行。

例行切割样双份采样法无需缩短缩分器时间间隔,适用于格槽式、刮板式、旋转格槽式、旋转锥式等缩分器。

## 2.3 弃样回收法

弃样回收法适用于包含多级缩分阶段的机械化采样系统。采样机采取一个初级子样,通过在线制样系统,制取一份试样,然后将全部弃样返回缩分器,再取一份试样,构成双份试样,分别进行例常的离线制样并化验,计算每个初级子样双份试样测定结果的平均值  $x_i$  和差值  $d_i$  ,如是,从一批煤或同一煤源的若干批煤中采取至少 50 个初级子样,按公式(6)计算  $V_{PT}'$ ,按公式(7)计算  $V_1$ 。该方法需要手动控制初级切割器(采样头),且需将所有弃料溜管拆除,以确保弃样的收集。

综上所述,机械化采样各个阶段的随机误差可以得到有效监控,不同阶段的误差可以按需要单独核验,也可以整体核验。例如初级子样采样和在线制样的总误差就对设计采样方案起到关键作用,这将改变以往只是分阶段核验系统误差而不分阶段核验随机误差的状况,有助于对机械化采样机系统性能的全面评价,为机械化采样的精细化管理提供保障。

## 3 采样方案主要参数

### 3.1 参数的关系

由式(4)和式(1)得

$$n = \frac{4(V_1 + V_p')}{mP^2 - 4V_{PT}'} \quad (11)$$

由式(11)可知,在线制样方差  $V_p'$  显著影响采样单元子样数的设定,其影响系数与初级子样方差  $V_1$  相当,因此,不可忽视。因  $V_p'$  导致的采样单元子样数为

$$n_1 = \frac{4V_p'}{mP^2 - 4V_{PT}'} \quad (12)$$

由式(12)可知,当 $V_p'$ 较大,或是精密度 $P$ 要求较高时, $n_1$ 较大,此时若设计专用采样方案时,未考虑 $V_p'$ 的存在,则设计的采样单元子样数会比实际要求偏少 $n_1$ 个,很可能导致设计采样方案的实际总精密度达不到预期要求。因此,在线制样方差 $V_p'$ 和初级子样方差 $V_1$ 同等重要,且可以整体估计。

### 3.2 方差的测定

采样机从同一批煤或同一煤源的若干批煤中采取一个初级子样,通过在线制样系统所得最后留样,缩制出(或在离线制样的第一缩分阶段取出)2份试样,分别制成分析试样,并用例常分析方法化验相关品质参数,并求二者差值 $d_i$ ,二者均值 $x_i$ ,按例常采样程序共取初级子样个数( $n$ )至少50个,按下式计算

$$V_{PT} = \frac{\sum d_i^2}{2n} \quad (13)$$

$$V = V_1 + V_p' = \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1} - \frac{V_{PT}}{2} \quad (14)$$

式中, $V$ 为子样方差,是煤炭本身变异性、采样、在线制样总误差的估计值,即阶段①、阶段②的整体方差,其实际含义是采样机缩分后子样所包含的随机误差估计值。

将测定的 $(V_1 + V_p')$ 、 $V_{PT}$ 及 $m$ ( $m$ 按GB/T 19494—2004相应方法计算)代入式(11)计算得出 $n$ ,按GB/T 19494—2004《煤炭机械化采样》设计机械化专用采样方案,并核验其精密度<sup>[5]</sup>。

(上接第23页)

## 4 结 语

FCA型雾化-跌落式煤浆预处理器在临涣选煤厂得以成功应用,具有节能降耗、不需外加动力、维护量小等优点。与煤浆准备器相比,FCA型雾化-跌落式煤浆预处理器节省药剂23.96%,每年节省药剂费用306.33万元,节电12.82万kWh。对于FCA型雾化-跌落式煤浆预处理器,还应从粗细煤粒在滑板上的运动规律,与浮选剂雾滴混合接触的最佳时间及接触形成牢固油膜的机理等方面入手,研制实用性强的风动喷射式雾化器,实现设备的系列化、大型化。

## 4 结 语

煤炭机械化采样及专用采样方案的有机结合是未来煤质管理的趋势。机械化采样过程中各阶段误差可以分阶段核验,也可以将相联系的某些阶段整体核验,利用上述几种方法,能方便地估算各个阶段的方差,有利于全面评价机械化采样各环节的性能状况,以便准确了解误差来源并有效改进;将机械化采样系统的在线制样方差 $V_p'$ 与初级子样方差 $V_1$ 整体定义为子样方差 $V$ ,可以整体估算,并可以据此设计合理的机械化专用采样方案。采样机用户应具有权威技术的单位实施偏倚试验和精密度试验,同时进行配套试验以确定子样方差 $V$ 、在线制样方差 $V_p'$ 、离线制样化验方差 $V_{PT}$ 等各阶段方差,获得更可靠有用的基础数据,为煤质的精细化管理打好基础。

参考文献:

- [1] 谢恩情. 煤炭机械化采样方案的确立[J]. 煤质技术, 2005(4): 46-49.
- [2] 孙刚. 煤炭采样机性能指标的研究[J]. 煤炭学报, 2009, 34(6): 836-839.
- [3] 苏丽清, 李美芬, 曲雪军. 电煤质量存在的问题与对策[J]. 洁净煤技术, 2006, 12(4): 39-41.
- [4] 马国相. 优选采样机是保证出口煤采样精度的关键[J]. 洁净煤技术, 2001, 7(4): 29-31.
- [5] GB/T 19494—2004 煤炭机械化采样[S].
- [6] 段云龙, 韩立亭. 《煤炭机械化采样》实施指南[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

参考文献:

- [1] 张立华, 周国亮, 朱金波, 等. FCA-2500型雾化-跌落式煤浆预处理器的研究与应用[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(3): 89-92.
- [2] 朱明生, 杨晓鸿, 王庆国, 等. FCA-2500型雾化-跌落式煤浆预处理器在浮选中的应用[J]. 煤炭加工与综合利用, 2011(2): 1-6.
- [3] 张立华, 周国亮, 朱金波, 等. 煤浆预处理器的综合评述[J]. 选煤技术, 2011(5): 65-70.
- [4] 王勇, 郭崇涛, 许俊杰, 等. PS-600型煤浆预处理器在临涣选煤厂的应用[J]. 洁净煤技术, 2008, 14(1): 15-18.