

文章编号:0253-9993(2013)07-1283-04

# 煤炭采样重要理论问题的分析

孙 刚<sup>1,2</sup>,方全国<sup>1,2</sup>,郑凤轩<sup>1,2</sup>,薛俊海<sup>1,2</sup>

(1. 煤炭科学研究总院 检测研究分院,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:**考虑煤质的序列相关性,应用方差理论和煤炭采样基础公式,对煤炭采样重要理论问题进行了分析和定量关系的推导,给出了明确的结论以指导煤炭采样实践,补充和完善了煤炭采样理论。这些问题包括:采样单元煤量/煤种不同时批煤采样精密度的估算,不同煤量下初级子样方差的估算,煤量对采样精密度的影响,批煤总子样数不变时采样单元对采样精密度的影响,同种煤不同采样精密度下子样数的变化,双份采样时子样数对采样精密度的影响,多份法采样时采样精密度的估算等。

**关键词:**煤炭;采样;精密度;方差理论;煤质序列相关性

**中图分类号:**TD946.3 **文献标志码:**A

## Analysis of main theoretical problems on coal sampling

SUN Gang<sup>1,2</sup>, FANG Quan-guo<sup>1,2</sup>, ZHENG Feng-xuan<sup>1,2</sup>, XUE Jun-hai<sup>1,2</sup>

(1. Test & Research Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

**Abstract:** Based on variance theory and coal sampling basic formula, this paper analyzed main theoretical problems on coal sampling and derived their relationships quantitatively. In addition, the paper provides a clear guidance to coal sampling practice, which complements and enriches the coal sampling theory. The problems discussed include: lot precision estimation for sub-lots with the unequal mass, primary increment variance estimation under different mass of lots, coal mass on the influence of the sampling precision, the influence of the number of sub-lots on the sampling precision under the condition of constant number of increments taken from a lot, the relationship of the sampling precision with increment numbers for the same coal, increment numbers on the influence of the sampling precision for duplicate sampling, and the estimation of sampling precision for replicate sampling, etc.

**Key words:** coal; sampling; precision; variance theory; coal quality serial correlation

煤炭采样基于方差理论,对于连续采样,采样精密度的估算公式参见文献[1]。包含子样数目确定在内的几乎所有采样理论源于此公式,国际标准和各国国家标准均采用此公式设计煤炭采样方法,此公式可看作煤炭采样基础公式。

同时,煤炭采样存在一些重要的理论问题有待研究,如采样单元煤量/煤种不同时批煤采样精密度的估算、不同煤量下初级子样方差的估算、煤量对采样精密度的影响、双份采样时子样数对采样精密度的影

响、多份法采样时采样精密度的估算等。如何应用煤炭采样基础公式解决上述问题,进而推导出相应的数学定量关系,这将对煤炭采样理论的补充和完善。

近年来,国内学者对煤炭机械化和人工采样方法进行了大量研究,分析了国标 GB 475 的新旧版本(2008 版与 1996 版)的差异<sup>[2]</sup>,比较了国际上不同煤炭采样标准的差别<sup>[3]</sup>,特别对煤炭采样精密度核对以及煤炭机械化采样设备性能的评定进行了广泛的研究<sup>[4-8]</sup>。但对于上述重要理论问题的研究鲜见相

关文献的报道<sup>[9]</sup>。

需要指出的是,煤质变异性(主要用初级子样方差来表征)是导致采样误差(方差)的首要因素,在煤炭采样中一般认为煤质变化基本上是随机的,但存在一定的序列相关关系。若只考虑前者,则制定采样方案时不必考虑煤的批量,如目前的国际标准<sup>[10-12]</sup>、澳大利亚国家标准<sup>[13]</sup>、英国国家标准<sup>[14-15]</sup>和南非国家标准<sup>[16-17]</sup>等;若同时考虑后者,则采样时应该考虑批煤的质量。我国标准<sup>[18]</sup>和美国标准<sup>[19-20]</sup>考虑到煤炭品质变化的序列相关关系,在采样方案制定中规定了基本采样单元煤量。笔者基于后者的观点,即以考虑煤质序列相关性为前提,对上述理论问题进行分析和数学模型的推导,进而给出明确的结论,对我国煤炭采样实践具有指导和借鉴意义。

## 1 采样单元煤量/煤种不同时批煤采样精密度的估算

式(1)适用于同一煤种构成的批煤且采样单元煤量相同时采样精密度的估算,而实际工作中批煤中各采样单元的煤量可能是不相等的,各采样单元的煤种有时也不相同,此时由于煤质序列相关性的存在,即相邻的煤倾向于有相似的组成,相距较远的煤倾向于有不相似的组成<sup>[21]</sup>,随着采样单元煤量/煤种的不同,煤的变异性(初级子样方差)将发生变化,每个采样单元采取的子样数目也可能是不一样的,无法按式(1)来估算批煤采样精密度。

$$P_L = 2 \sqrt{\frac{V_1/n + V_{PT}}{m}} \quad (1)$$

式中, $P_L$ 为批煤采样精密度; $V_1$ 为初级子样方差; $V_{PT}$ 为制样和化验方差; $n$ 为总样中的子样数目; $m$ 为批煤中采样单元数。

下面基于方差理论,给出采样单元煤量/煤种不同时,批煤采样精密度估算公式。

设批煤中共划分  $m$  个采样单元,各采样单元煤量不同,第  $j$  个采样单元的初级子样方差为  $V_{1,j}$ ,采取的子样数为  $n_j$ ,则

$$P_L = 2 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (n_j - 1) V_{1,j}}{(\sum_{j=1}^m n_j - m) \sum_{j=1}^m n_j} + \frac{V_{PT}}{m}} \quad (2)$$

如各采样单元初级子样方差相等,则式(2)简化为

$$P_L = 2 \sqrt{\frac{V_{1,j}}{\sum_{j=1}^m n_j} + \frac{V_{PT}}{m}} \quad (3)$$

## 2 不同煤量下初级子样方差和子样数目的估算

假设批煤中只有一个采样单元,则式(1)简化为

$$P_L = 2 \sqrt{\frac{V_1}{n} + V_{PT}} \quad (4)$$

若采用式(5)估算  $V_{PT}$ ,将式(5)代入式(4),变换得到用于计算子样数目的式(6)。

$$V_{PT} = 0.05 P_L^2 \quad (5)$$

$$n = \frac{5V_1}{P_L^2} \quad (6)$$

GB 475—2008 基本采样方案规定 1 000 t 煤量为基本采样单元,并测定了基本采样单元煤量的初级子样方差值,在采样精密度指定值确定后,应用式(6)可获得 1 000 t 煤量应采取的子样数目。

当采样单元煤量大于 1 000 t 时,考虑煤质序列相关性,此时初级子样的方差比 1 000 t 时要大,即

$$V_{1,L} = V_{1,B} \sqrt{\frac{M}{1\,000}} \quad (7)$$

式中, $V_{1,L}$ 为采样单元煤量大于 1 000 t 时的初级子样方差; $V_{1,B}$ 为采样单元煤量等于 1 000 t 时的初级子样方差; $M$ 为采样单元煤量,t。

将式(7)代入式(6)得

$$n = \frac{5V_{1,B}}{P_L^2} \sqrt{\frac{M}{1\,000}} = n_0 \sqrt{\frac{M}{1\,000}} \quad (8)$$

式中, $n_0$ 为基本采样单元应采取的子样数。

当采样单元煤量小于 1 000 t 时,考虑煤质序列相关性,此时初级子样方差比 1 000 t 时要小,则

$$V_{1,S} = V_{1,B} \frac{M}{1\,000} \quad (9)$$

式中, $V_{1,S}$ 为采样单元煤量小于 1 000 t 时的初级子样方差。

将式(9)代入式(6)得

$$n = \frac{5V_{1,B}}{P_L^2} \frac{M}{1\,000} = n_0 \frac{M}{1\,000} \quad (10)$$

子样数不能无限制地减少,目前国际上通用的要求是总样中子样数不能少于 10。

式(8)和式(10)正是 GB 475—2008 基本采样方案中计算子样数目的公式。

## 3 煤量对采样精密度的影响

为简化分析,假设批煤中只有一个采样单元,这与大多数实际采样情况一致。

### 3.1 煤量大于基本采样单元煤量时的影响

(1) 采样间隔恒定。此时,采样精密度估算式为

$$P_L = 2 \sqrt{\frac{V_1}{n} \sqrt{\frac{M}{M_0}} + V_{PT}} \quad (11)$$

采样单元的子样数目分时间基和质量基(式(12)和(13))计算。

$$n = \frac{60M}{\Delta t G} \quad (12)$$

式中,  $\Delta t$  为采样时间间隔, min;  $G$  为煤流运量, t/h。

时间基采样主要应用于煤流(胶带运煤)。煤流采样时间间隔的计算公式经变换后可得式(13)。

$$n = \frac{M}{\Delta m} \quad (13)$$

其中,  $\Delta m$  为采样质量间隔, t。将式(12)或(13)代入式(11)可知, 当煤量大于基本采样单元煤量时, 采样精密度值随煤量的增加而减小。

(2) 批煤子样数固定。由式(11)可知, 采样精密度值随煤量的增加而增大。

### 3.2 煤量小于基本采样单元煤量时的影响

煤量小于基本采样单元煤量时, 采样精密度估算公式为

$$P_L = 2 \sqrt{\frac{V_1}{n} \frac{M}{M_0} + V_{PT}} \quad (14)$$

(1) 采样间隔恒定。采样单元的子样数目按式(12)或(13)计算。将式(12)或(13)代入式(14)可知, 当采样间隔恒定时, 采样精密度不随煤量而变化。

(2) 批煤子样数固定。由式(14)可知, 采样精密度值随煤量的增加而增大。

### 4 批煤总子样数不变的情况下采样单元数对采样精密度的影响

设  $P_1 = 2 \sqrt{\frac{V_1}{n_1 m_1} + \frac{V_{PT}}{m_1}}$ ,  $P_2 = 2 \sqrt{\frac{V_1}{n_2 m_2} + \frac{V_{PT}}{m_2}}$ , 且  $n_1 m_1 = n_2 m_2, m_1 < m_2$ , 则

$$P_2^2 = P_1^2 - 4V_{PT} \frac{m_2 - m_1}{m_1 m_2} \quad (15)$$

式(15)给出了批煤总子样数不变的情况下, 采样精密度值随采样单元数的增加而减小的定量关系。

### 5 采样精密度对子样数的影响

当批煤量一定时, 式(1)变换为

$$n = \frac{4V_1}{mP_L^2 - 4V_{PT}} \quad (16)$$

设子样数为  $n_1$  时对应的采样精密度为  $P_{L1}$  (GB 475—2008 基本采样方案指定的采样精密度和规定的子样数), 子样数为  $n_2$  时对应的采样精密度为  $P_{L2}$ ,  $V_1$  和  $V_{PT}$  保持恒定, 则

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{P_{L1}^2 - 4V_{PT}/m}{P_{L2}^2 - 4V_{PT}/m} \quad (17)$$

将式(5)代入式(17)得

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{4mP_{L1}^2}{5mP_{L2}^2 - P_{L1}^2} \quad (18)$$

$V_1$  和  $V_{PT}$  保持恒定时, 式(18)给出了子样数随采样精密度的提高(数值减小)而增加的定量关系。

## 6 双份采样时子样数对采样精密度的影响

### 6.1 例常子样数双份采样

设共有  $n_p$  对煤样(每对煤样的子样数为  $n_i$ ), 第  $i$  对煤样的差值为  $d_i$ , 则

$$V_{SPT} = \frac{\sum d_i^2}{4n_p} \quad (19)$$

式中,  $V_{SPT}$  为采制化总方差。

当例常子样数分别为  $n_1$  和  $n_2$  时, 有

$$V_{SPT1} = \frac{V_1}{n_1} + \frac{V_{PT}}{2} \quad (20)$$

$$V_{SPT2} = \frac{V_1}{n_2} + \frac{V_{PT}}{2} \quad (21)$$

由式(20)得

$$V_1 = n_1 V_{SPT1} - \frac{n_1 V_{PT}}{2}$$

代入式(21)得

$$V_{SPT2} = \frac{n_1 \sum d_i^2}{4n_p n_2} + \frac{V_{PT}}{2} \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right) \quad (22)$$

由式(22)可知, 例常子样数双份采样时, 随子样数的增加, 一般采样精密度变好(因  $V_{PT}$  值较小)。

### 6.2 双倍子样数双份采样

设共有  $n_p$  对煤样(例常子样数为  $n_1$ ), 第  $i$  对煤样的差值为  $d_i$ , 有

$$V_{SPT} = \frac{\sum d_i^2}{2n_p} \quad (23)$$

当例常子样数分别为  $n_1$  和  $n_2$  时, 有

$$V_{SPT1} = \frac{V_1}{n_1} + V_{PT} \quad (24)$$

$$V_{SPT2} = \frac{V_1}{n_2} + V_{PT} \quad (25)$$

由式(24)得

$$V_1 = n_1 V_{SPT1} - n_1 V_{PT}$$

代入式(25)得

$$V_{SPT2} = \frac{n_1 \sum d_i^2}{2n_p n_2} + V_{PT} \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right) \quad (26)$$

由式(26)可知, 双倍子样数双份采样时, 随子样

数的增加,一般采样精密度变好(因 $V_{PT}$ 值较小)。

## 7 多份法采样时采样精密度的估算

当一批煤采取一个总样时,采样精密度按式(1)估算。当一批煤用多份法采取 $r$ 个分样时, $r$ 个分样

平均值的精密度 $\bar{P}_L$ 为

$$\bar{P}_L = 2 \sqrt{\frac{rV_1/n + V_{PT}}{r}} = 2 \sqrt{\frac{V_1}{n} + \frac{V_{PT}}{r}} \quad (27)$$

设 $S = \sqrt{\frac{V_1}{n} + \frac{V_{PT}}{r}}$ , $V_{PT}$ 按式(2)估算,得

$$P_L = 2S \sqrt{\frac{5r}{4r+1}} \quad (28)$$

由式(28)可知,多份法采样时, $\bar{P}_L$ 与采取一个总样的精密度略有差别。当采取10~100个分样时,

$\sqrt{\frac{5r}{4r+1}} \approx 1.1$ ,即 $\frac{P_L}{\bar{P}_L} = 1.1$ ,若忽略此差异,则采取

不同数目分样的平均值的精密度近似相等,且近似等于采取一个总样的精密度。

## 8 结 论

(1)采样单元煤量/煤种不同时,批煤采样精密度的估算见式(2),如各采样单元初级子样方差相同,且忽略制样误差,批煤采样精密度值仅与批煤中采取的总子样数目有关,可忽略采样单元数的影响。

(2)对于不同煤量的同一煤,初级子样方差不同,进而影响采样精密度。

(3)双份采样时,随子样数的增加,一般情况下采样精密度变好。

(4)多份法采样时,采取不同数目分样平均值的精密度近似相等,且近似等于采取一个总样的精密度。

## 参考文献:

- [1] GB/T 19494.1—2004,煤炭机械化采样[S].
- [2] 张世诚.新旧国标中商品煤采样差异的分析[J].煤炭技术,2011,20(2):254-256.  
Zhang Shicheng. Old and new national standard in analysis of differences in commercial coal sampling[J]. Coal Technology, 2011, 20(2):254-256.
- [3] 冯涛,谷凯军,姜兴旺.煤炭人工采样国际标准与同类标准的比较分析[J].煤质技术,2010(1):46-48.  
Feng Tao, Gu Kaijun, Jiang Xingwang. Analysis on the comparison between the new edition of international standard of manual sampling

and other like standards[J]. Coal Quality Technology, 2010(1):46-48.

- [4] 张小霓,谢星.入炉煤机械采制样装置性能检验[J].热力发电,2010,39(1):42-45.  
Zhang Xiaoni, Xie Xing. Performance inspection of mechanical sampling and sample-preparing facility for furnace-incoming coal[J]. Thermal Power Generation, 2010, 39(1):42-45.
- [5] 康恩兴.商品煤人工采样精密度试验方法分析[J].煤炭加工与综合利用,2009(6):32-34.  
Kang Enxing. Analysis of manual sampling precision test for commercial coal[J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2009(6):32-34.
- [6] 孔令坡,张宝青,韩立亭.商品煤人工采制样精密度核方法的研究[J].煤质技术,2011(2):13-16.  
Kong Lingpo, Zhang Baoqing, Han Liting. Study on the methods of testing precision of manual sampling and preparation for commercial coal[J]. Coal Quality Technology, 2011(2):13-16.
- [7] 孙刚.煤炭采样机性能指标的研究[J].煤炭学报,2009,34(6):836-839.  
Sun Gang. Study on the performance criteria for coal mechanical sampler[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(6):836-839.
- [8] 谢恩情,孙刚.煤炭采样机偏倚试验中最大允许偏倚(B)的研究[J].煤炭学报,2008,33(2):210-213.  
Xie Enqing, Sun Gang. Study on the maximum tolerable bias(B) in mechanical coal sampler's performance testing for bias[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(2):210-313.
- [9] 孙刚.煤炭四阶段制样和化验方差( $V_{PT}$ )的分阶段核方法[J].煤质技术,2011(2):23-26.  
Sun Gang. Method of checking stages separately for a four-stage preparation and testing variance of coal[J]. Coal Quality Technology, 2011(2):23-26.
- [10] ISO 13909-2—2001, Hard coal and coke, mechanical sampling, part 2: coal, sampling from moving streams[S].
- [11] ISO 13909-3—2001, Hard coal and coke, mechanical sampling, part 3: coal, sampling from stationary lots[S].
- [12] ISO 18283—2006, Hard coal and coke, manual sampling[S].
- [13] BS ISO 13909-2—2001, Hard coal and coke, mechanical sampling, part 2: coal, sampling from moving streams[S].
- [14] BS ISO 18283—2006, Hard coal and coke, manual sampling[S].
- [15] SANS ISO 13909-2—2001, Hard coal and coke, mechanical sampling, part 2: coal, sampling from moving streams[S].
- [16] SANS ISO 18283—2007, Hard coal and coke, manual sampling[S].
- [17] AS 4264.1—2009, Coal and coke, sampling part 1: coal, sampling procedures[S].
- [18] GB 475—2008, 商品煤人工采取方法[S].
- [19] ASTM D7430-11, Standard practice for mechanical sampling of coal[S].
- [20] ASTM D2234/D2234M-10, Standard practice for collection of a gross sample of coal[S].
- [21] GB/T 19494.3—2004, 煤炭机械化采样[S].