

孙学信 主编

燃煤锅炉燃烧试验技术与方法

RANMEI GUOLU
RANSHAO SHIYAN
JISHU YU FANGFA



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

燃煤锅炉燃烧试验技术与方法

孙学信 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书着重介绍煤燃烧,特别是锅炉燃烧相关的试验研究方法,包括常规方法和一些新颖的特种试验方法。对试验仪器设备,特别是新的试验设备,对试验数据处理用的各种现代数学方法,书中均做了介绍。我国近年在这一领域的研究成果(我国开发的新型燃烧器的试验方法及典型煤种的基础数据等)均收入书中。书中还介绍了燃烧过程的计算机模拟等发展中的技术。本书是近年来全面介绍燃烧试验技术与方法的较完整的著作,对相关的技术及研究人员很有参考与应用价值。

图书在版编目(CIP)数据

燃煤锅炉燃烧试验技术与方法/孙学信主编. —北京:中国电力出版社, 2001

ISBN 7-5083-0680-5

I. 燃… II. 孙… III. 燃煤锅炉-燃烧-实验方法
IV. TK229.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 039384 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 1 月第一版 2005 年 6 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 34.75 印张 794 千字

印数 3001—5000 册 定价 54.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

燃烧试验仍然是进行燃烧反应机理研究和燃烧新技术开发的主要手段。通过燃烧试验探索燃烧过程的内在规律，通过燃烧试验优化设计方案及运行方式，以期提高燃烧过程的经济性和稳定性，并降低燃烧污染物的排放。因此，长期以来燃烧试验一直受到国外研究工作者的重视，而这一领域的水平和进展，对我国能源事业的发展亦具有重要意义。关于燃烧试验方面的书籍，过去曾出版过一些。但是随着试验技术的发展和学科交叉，燃烧试验技术与研究方法也有了诸多的更新，对其进行较全面的介绍，则显得极为必要。为此，编著者根据所在单位在建设煤燃烧国家重点实验室过程中引进的先进测试仪器，结合近年来应用这些仪器进行的燃烧试验研究实践，编写了这本书。本书可供高校相关专业的本科生、研究生和从事燃烧研究的科研人员及设计、运行的广大工程技术人员参考。

本书的主要特点是：

1. 本书除了介绍常规的试验分析方法外，用较大篇幅讲述了一些新颖的特种试验方法，如煤的热重分析、激光测速、温度的激光全息干涉测量、X—射线衍射分析、核磁共振技术、等离子体发射光谱分析、孔隙的压汞分析等等。这将有助于扩展试验项目，提高试验精度；

2. 本书对我国研究者近期的研究成果有所反映，以使燃烧试验结果更好地指导生产。如我国提出的煤的着火稳定性指数、燃尽特性指数、结渣性能指数，我国开发的新型燃烧器的试验方法和结论以及典型煤种的基础数据，都尽量收入书中，体现了理论与实际的联系；

3. 为了对试验数据进行合理的处理，揭示过程的内在规律及影响因素，本书特别介绍了在燃烧研究中经常用到的一些现代数学方法，如灰色系统理论、模糊数学、分形理论、人工神经网络方法、小波理论和回归分析在燃烧试验研究中的应用，这将有助于在分散的燃烧试验的数据海洋中，得到具有理论价值的成果；

4. 本书将燃烧过程的计算机模拟作为一种试验方法来对待,这在燃烧理论和试验研究不断深入、大型计算机和计算方法迅速发展的今天已成为可能。本书介绍了燃烧过程计算机模拟的内容、模型及求解方法,给出了一些解决实际燃烧问题的应用实例,充分表明了燃烧试验与燃烧过程计算机模拟的相辅相成关系。

本书由孙学信主编,其中第一章由王红同志编写,第二、第五章由周琥同志编写,第三章由黄琳同志编写,第四、第八章由郭欣同志编写,第十三章由丘纪华同志编写,第十四章由向军同志编写,第六、第七、第九、第十、第十一、第十二章由孙学信同志编写。全书承蒙重庆大学王致均教授主审,并提出了很多宝贵意见,特致深深谢意。本书在编写过程中得到了华中科技大学煤燃烧国家重点实验室全体研究人员和工程技术人员的大力支持,在此一并致谢。

由于时间和水平所限,本书不妥之处在所难免,望读者批评指正。

编 者

2000年8月于华中科技大学

目录

前言

第一章 煤的成分分析与燃烧特性换算	1
1-1 煤的采样及样品制备	1
1-2 煤中水分的测定	22
1-3 煤的工业分析	25
1-4 煤的元素分析	30
1-5 煤的发热量分析	47
1-6 煤质在线分析	51
1-7 燃烧特性的计算与换算	56
第二章 煤的热重分析技术	59
2-1 热重分析原理及系统	59
2-2 煤的热重分析技术的应用	70
2-3 热重分析法判断煤的着火特性	75
2-4 煤的燃尽特性判别指标	78
第三章 煤的物理特性分析	83
3-1 煤的可磨性测定	83
3-2 煤的细度测定	92
3-3 煤的热稳定性和机械强度的测定	93
3-4 煤的比表面积测定与孔径分布特性测定	98

3-5	煤的颗粒特性及粒度分布测定	118
3-6	煤的表面形状测定	138
3-7	煤粉浓度测定	142
第四章 煤灰特性分析		151
4-1	变样的制备	151
4-2	灰中可燃物含量的测定	152
4-3	煤灰成分分析方法	152
4-4	灰熔融性分析	173
4-5	灰黏度的分析	178
4-6	灰磨损性的判断	184
4-7	灰结渣性的判断	186
4-8	灰沾污性的判断	188
第五章 燃烧产物分析		191
5-1	燃烧产物的取样	191
5-2	气相色谱分析法 (GC)	194
5-3	质谱分析法 (MS)	207
5-4	红外分析法 (IR)	217
5-5	CO/CO ₂ 分析	223
5-6	O ₂ 分析	233
5-7	NO _x /N ₂ O 分析	237
5-8	SO ₂ 分析	245
第六章 燃烧流动测量		251
6-1	常规速度测量	251
6-2	热电式速度测量	261
6-3	激光测速	265
第七章 燃烧温度测量		269
7-1	热电偶温度计	269
7-2	电阻温度计	276
7-3	水银温度计	280
7-4	辐射高温计	282
7-5	激光全息干涉测温技术	284
第八章 燃烧特种测量		288
8-1	X 射线衍射仪的原理及应用	288

8-2	核磁共振仪的原理及应用	298
8-3	电感耦合等离子体原子发射光谱仪的原理及应用	307
第九章 燃烧模化技术		322
9-1	自模化区的确定	322
9-2	炉内冷态模化原理	323
9-3	炉内热态模化原理	324
9-4	气固两相模化理论基础	329
9-5	模化试验中的若干观测技术	336
第十章 燃烧设备冷热态性能试验		337
10-1	普通直流燃烧器的冷态试验	337
10-2	普通旋流燃烧器的冷态试验	346
10-3	钝体燃烧器的冷态试验	350
10-4	稳燃腔煤粉燃烧器试验	354
10-5	多功能煤粉燃烧器(船形稳燃器)试验	361
10-6	夹心风直流燃烧器试验	367
10-7	WR 燃烧器和同心反切圆燃烧系统试验	373
10-8	水平浓淡煤粉燃烧器试验	378
10-9	双一次风通道煤粉燃烧器试验	385
第十一章 煤燃烧研究试验系统		389
11-1	滴管炉系统(DTFS)	389
11-2	自由沉降反应炉	392
11-3	等温柱塞流反应器(IPFR)	392
11-4	实验室煤预处理炉	393
11-5	下行火焰燃烧试验系统	394
11-6	煤粉燃烧试验系统	395
11-7	循环流化床燃烧试验系统	397
11-8	多功能燃烧室	399
11-9	全尺寸煤粉燃烧系统	400
第十二章 燃烧热平衡试验方法		402
12-1	热平衡试验的技术条件	402
12-2	热平衡的热量输入及有效利用热	403
12-3	热平衡中的热损失	405
12-4	热效率计算方法	409

12-5	煤质变化对电厂及锅炉热效率影响的评估	410
第十三章	煤燃烧过程的模拟预测	413
13-1	煤燃烧过程计算机模拟方法的发展	413
13-2	煤燃烧过程计算机模拟的主要内容	414
13-3	气体流动模型	415
13-4	颗粒运动模型和焦炭燃烧模型	419
13-5	挥发分释放、燃烧模型	421
13-6	辐射传热模型	423
13-7	污染物生成模型	425
13-8	方程组的离散与求解	428
13-9	煤燃烧过程的模拟预测及分析	434
13-10	模拟预测在燃烧设备改造方案优化中的应用	439
13-11	燃烧过程模拟计算的研究和发展	449
第十四章	燃烧试验数据处理及误差分析	453
14-1	常用试验数据处理及回归方法	453
14-2	变色系统理论在燃烧研究中的应用	461
14-3	模糊数学方法在燃烧研究中的应用	468
14-4	小波理论在燃烧研究中的应用	477
14-5	分形理论在燃烧研究中的应用	485
14-6	人工神经网络理论在燃烧研究中的应用	491
14-7	误差分类及产生	498
14-8	误差分析方法及举例	501
附录		511

第一章

煤的成分分析与燃烧特性换算

1-1 煤的采样及样品制备

一、煤的采样

(一) 概述

就煤炭而言,采样主要是指煤炭的采取和加工的作业,有时也指采取煤样的过程。这些煤样是从煤层煤炭、加工煤炭或利用煤炭中采取的。平均煤质的煤样是从被测的煤炭中按规定方法采取具有代表性的少部分煤炭,这少部分煤炭应保持被采煤的全部物理化学特性(如粒度大小分布、化学组成等),但在实际情况下,这些严格的要求是不可能做到的。然而我们可以预先编制一个符合采样原则的科学采样方案,并严格按此进行采样,则采取的煤样是可以达到预先确定的精密度的。在无偏差的采样情况下,无疑它具有被采煤质的特性。其化验结果可为煤炭工作人员作出判断决策和改进运行中的设备提供真实可靠的依据。

煤炭的用途是广泛的,采样的目的是多方面的。在勘测煤田时,采样是为确定煤田的煤炭质量和它的储量,以及煤田的边界范围;在煤炭加工时,采样是为测定所加工物质的物化性能指标,从而拟定或完善加工工艺及探讨综合利用的可能性;在煤炭用于动力能源时,采样是为监督煤炭质量,以确定在最适合条件下使生产设备能连续运行并获得最大的安全性和经济性。

(二) 采样精度

燃料及其它分析试验时,不可能将一大批燃料全部分析,因为分析的过程大部分是破坏性的。因此,燃料及其它分析试样通常是从一批燃料中(称为总体)采取少量燃料(样本)加以破碎、磨细并缩分成数量较少试样,用此试样的分析结果去估计总体的特性。这样必然会有一定的偏差。它是由采样偏差、制样偏差所构成。在这几项偏差中,分析偏差最小,制样偏差次之,而采样偏差最大。分析结果的精确度,很大程度上取决于样本的代表性。要想从一批燃料中获得具有代表性的试样,必须掌握试样采制的原理、程序和方法。

样本对总体而言,总是存在一定的偏差,但必须是无系统偏差。无系统偏差的采样称为随机采样,随机采样偏差即为采样偏差,以符号 δ_i 表示。它是由燃料组成的不均匀和一些不可避免的偶然因素所造成的。为使样本有足够的代表性,要求采样偏差不超过某一范围 $\pm \delta$, 这个范围称采样精确度。只要采样偏差在规定的范围内,就认为样本具有代表性。

统计表明, 随机采样并不能保证构成样本的全部分样的偏差都能落在 $\pm \delta$ 的范围内, 只有一定的百分比的分样满足要求, 这个百分比称为置信概率 (P)。置信概率可以根据实际需要选定, 也可以理解为在 $\pm \delta$ 范围内, 所采样本代表性的可靠度。

总体的平均值是无法知道的, 但大量的试验表明, 其值接近各分样测定值的平均值, 分样数越多, 其平均值越接近总体平均值。所以样本必须有足够数量的分样 (m), 但分样数越多, 采制和分析的工作量越大。在 $\pm \delta$ 一定时, m 值取决于总体的质量不均匀度 (σ)。 σ 越大, 总体的质量越不均匀, 需要采制的分样数越多。

样本的代表性一般由四个因素组成, 即总体不均匀度 σ 、采样偏差范围、分样数和置信概率, 它们的关系可用下式表达

$$\pm \delta = K(P) \frac{\sigma}{\sqrt{m}} \quad (1-1)$$

式中 K 是 σ 的倍数, $K(P)$ 表示此倍数 K 是置信概率 P 的函数, 也称 K 为概率系数, P 越大, K 越大。常用的 K 为 1、2、3。 $K=1$, $P=68\%$, 说明有 68% 的采样偏差在 $\pm \frac{\sigma}{\sqrt{m}}$ 范围内; $K=2$, $P=95.5\%$; $K=3$, $P=99.7\%$ 。

σ 值可以根据长期积累的分析资料按下式计算

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (1-2)$$

式中 x_i ——某一分析值;

n ——收集到的数据个数, 一般 n 应大于 100;

$\bar{x}$ ——几个收集到的数据 (分析值) 的平均值。

如果缺乏大量的资料, 也可以用随机采样的方法, 积累 20~30 个分析数据按下式计算出 S 作为 σ 的估计值

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1-3)$$

表 1-1 给出了我国 GB475—83 规定的 95% 置信概率下各类煤的采样精确度 σ 值。

表 1-1 煤 的 精 确 度

原煤或筛选煤		其他洗煤 (包括洗中煤)
$A_{ar} \leq 20\%$	$A_{ar} > 20\%$	
按 $\pm 0.1A_{ar}$ 计算, 但不得小于 $\pm 1\%$, (绝对值)	$\pm 2\%$ (绝对值)	$\pm 1.5\%$ (绝对值)

(三) 采样类型

采样是科学研究和生产实践中经常遇到的问题。由于采样对象和要求不同, 所以有各种各样的采样类型, 然而所依据的采样理论基础及数理统计方法却大致相同, 常见的几种

类型简述于下。

1. 随机采样

随机采样是指被采对象总体中的任何部分均可采样与其外貌位置等无关，且全部都具有同等机会被采到的可能性。随机采样一般可分为单纯随机采样和系统随机采样两种。

(1) 单纯随机采样：单纯随机采样的特征是将采样总体中的所有部分看成均有被采到的同等机会。它最适用于被采对象性质知之甚少的场合，因此要求在采样中尽可能多采取子样，且子样的分布不是均匀的。但这种采样不易在生产中应用，实用性不大。见图 1-1 (a)。

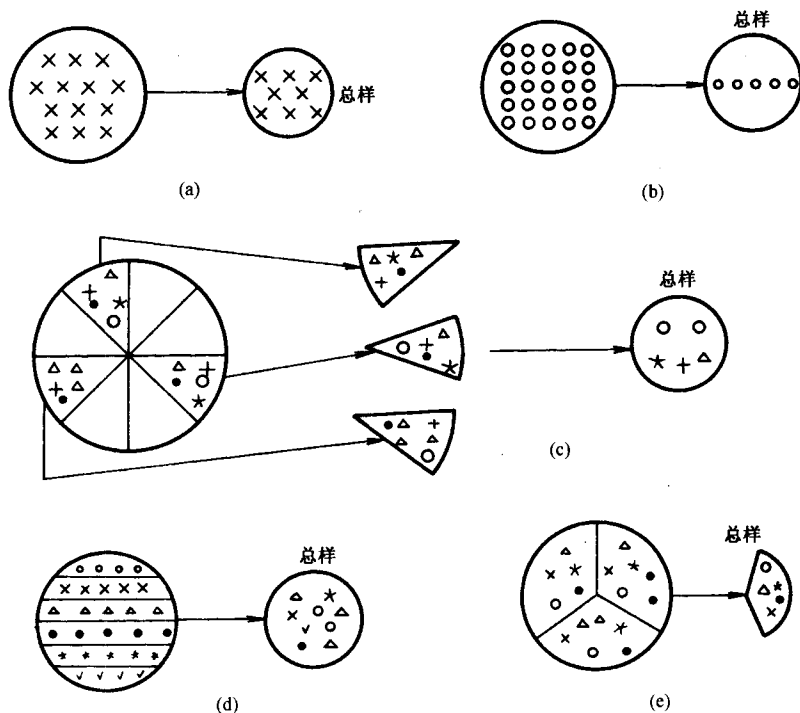


图 1-1 不同采样类型示意图

(a) 单纯随机采样；(b) 系统随机采样；
(c) 二段采样；(d) 分层采样；(e) 等分采样

(2) 系统随机采样：它不同于单纯随机采样，可适用于被采对象性质已被了解较多的场合。由于采样简单，可按时间基或质量基分布子样数，故容易在实际中应用，但被采对象的总体性质发生周期性变化时不宜应用，因为采取的总样可能会有系统偏差，而具有系统偏差的煤样，其化验结果是不准确的 [见图 1-1 (b)]。采用机采装置在皮带式输送机上按等时间或按等质量采样就属于这一类型。

2. 分割采样

批的分割采样是根据采样理论、经验知识，从被采对象总体中取出认为具有代表性的少部分煤样（样本）。这种采样类型只适用于对总体性质了解相当清楚的场合，才能得到

良好的结果。因此它不能十分客观地评价采样的差异。批的分割采样大致有以下三种情况：

(1) 二段采样 [图 1-1 (c)]：这种采样类型一般适用于随机采样受到限制的场所，例如地点、被采对象形状、性质等。采到的样本与随机采样相比，精密度较低。在煤炭采样中采取测定全水分专用煤样就算一例。

(2) 分层采样：分层采样的特征是将被测对象总体分成几层，使层内分散性小，层间分散性大。它同随机采样相比，尽管样本质量较小却可得到大致相同的精密度，见图 1-1 (d)。例如船舶上采样时把船仓按深度划分成 2~3 层，而后将子样均匀分布在各层表面上采取。

(3) 等分采样：等分采样是将被采对象总体分成几个相等的部分进行采样。这种采样特征是每部分内分散性大，各部分间分散性小。一般采样的总样质量较小，但可得到良好的精密度。例如堆锥四分法和二分器缩分法就是属于这种采样类型，因为煤样缩分从本质看，可以说是一种特殊的采样方式 [图 1-1 (e)]。

(四) 常见采制样术语和采制样过程

1. 采样

(1) 采样——按规定方法采取煤样的过程，是采取代表性样品的作业。

(2) 人工采样——由人工用规定的采样工具采取子样。

(3) 机械采样——由符合采样原则的机械装量采取子样。

(4) 随机采样——在采样过程中，对采样的部位、空间或时间不施加任何人为意见，并能使任何部分的煤都有可能被采出样品。

(5) 系统随机采样——按等同时间、空间或质量间隔采取子样，但第一个子样在第一个间隔内应随机采取，其余子样按选定的间隔采取。

(6) 多份采样——从一个采样单元中取出的若干个子样，依次轮放在若干个容器内，于是构成了若干个质量彼此接近的煤样，每个煤样都能代表整体采样单元的平均煤质特性。

(7) 双份采样——从一个采样单元中取出的子样交替放在两个容器内，于是构成了两个质量接近的煤样，每个煤样都能代表整个采样单元的平均煤质特性。

(8) 质量基采样——整个采样单元按等同质量间隔采取子样。

(9) 时间基采样——整个采样单元按等同的时间间隔采取子样。

(10) 空间基采样——整个采样单元按确定的空间位置采取子样，它与质量基采样近似。

(11) 批——需要进行整体性质测定的一个独立煤量。

(12) 子批（批次）——运送到用户的批量煤，一个子批可作为一个采样单元。

(13) 采样单元——从一批（班、组）煤中采取一个总体的煤量，一批煤可以是一个采样单元，也可是多个采样单元。

(14) 子样——采样器具动作一次所采取的一份煤样。

(15) 原始子样——也叫一（初）次子样。是从被采煤总体中采取的、未经任何破碎

和/或缩分的子样。

(16) 分样——由总样中的若干子样组成的煤样。

(17) 总样——从一采样单元中采取的全部子样组成的煤。总样也称样本。

(18) 实验室煤样——由总体或分样缩制的、送往实验室进一步制备的煤样。

(19) 空气干燥煤样——经实验室缩制至粒度 $\leq 0.2\text{mm}$ 并与环境空气温度达到平衡时的煤样。

(20) 最大粒度煤——在筛分分析中筛上煤量接近 5% 时的那个筛子尺寸的煤。

(21) 子样最小质量——在采样中采样器具动作一次所采取的能代表它临近煤质特性的最小子样质量。它与煤的最大粒度有关。

2. 制样

(1) 制备煤样——按规定方法加工煤样，使粒度和质量达到试验要求。一般包括破碎、筛分、掺合和缩分四个加工程序，有时也包括空气干燥程序。

(2) 煤样破碎——用人工或机械方法减小煤样粒度的过程，使之达到缩分或试验要求的粒度。

(3) 煤样掺合——用人工或机械方法将煤样掺杂和混合，以达到均匀的过程。

(4) 煤样缩分——按规定方法（包括使用机械缩分），将煤样分成粒度级配相同的两部分煤以达到减少煤样的质量。

(5) 最小留样质量——在煤样缩分中能保持原始煤样代表性的最少煤量。它与粒度大小有关。

(6) 缩分比——在缩分中保留煤样量与缩分总煤量的质量比。

(7) 堆锥四分法——按规定操作将煤样堆成圆锥体，而后加工成圆台，再等分为四个扇形体，取其中相对的两个扇形体混合作为保留煤样的一种缩分方法。

(8) 二分器缩分法——采用符合煤样最大粒度要求的分样槽宽度的二分器作为减少煤样量的一种缩分方法。

(9) 离线制备煤样——用人工或不与机械采样系统组合一起的机械设备制备煤样。

(10) 在线制备煤样——用与机械采样系统组合一起的机械设备制备煤样。

3. 数理统计

(1) 精密度——一组观测值彼此相互一致的一种量度。它取决于随机偏差的大小。

(2) 准确度——观测值同真值之间的接近程度。

(3) 方差——一组观测值与其平均值之差的乘方之和的平均值。

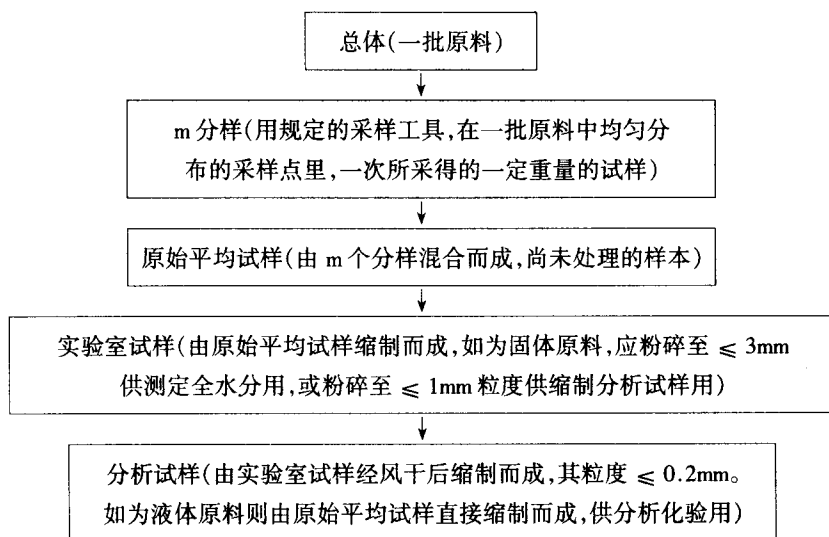
(4) 标准差——方差的正开方根。

(5) 离群值——某一观测值与同组中其他观测值不一致的怀疑值。

(6) 变异系数——观测值的标准差与其算术平均值的绝对值之比。通常用百分数表示，变异系数有人也称相对标准差（RSD）。

4. 采样制样的过程

采样制样的过程如下：



(五) 燃煤煤样的采样方法

因燃煤所处状态不同,有静止煤和移动煤两种采样方式。

静止煤是指非流动的静止状态煤。一般煤量多,不均匀性大、裸露煤外表面少,一般不易采集到代表性良好的煤样。常见的静止煤有火车厢内、船舶舱内和煤堆上的煤。与静止煤相反是移动煤,它是指流动状态中的煤流,如输煤皮带上的煤和卸煤过程的煤等。这种煤流的最大优点就是裸露外表面大,任何部分的煤都有机会被采出。因此采样的精密度较静止煤高,其煤样的代表性也较好。

静止煤的采样依运输工具相异可分为下列不同采样方法:

- 火车运输工具顶部采样方法
- 汽车运输工具顶部采样方法
- 船舶贮煤舱内采样方法
- 煤堆上采样方法

移动煤的采样又因燃煤系统不同有以下两种采样方法:

- 制粉系统煤流的采样方法
- 带式转送机煤流的采样方法

1. 静止煤采样

(1) 火车运输工具顶部采样方法

1) 采样单元:除进口煤外的其他煤可按煤种以 1000t ($\pm 100\text{t}$) 为一采样单元,对运量超过 1000t 或不足 1000t 可以实际运量为一个采样单元。

2) 子样点布置:不论车皮容量大小及任何品种煤都要在车厢对角斜线上布置子样点。斜线 3 点布置方式,如图 1-2 (a) 所示,1、3 子样点距车角 1m 处,2 子样点位于斜线中央;斜线 5 点布置方式,如图 1-2 (b) 所示,1、5 两个子样点各距车角 1m ,其余 3 个子样点按等距分布于 1、5 两个子样之间。当不足 6 节车皮为一个采样单元时,依据均匀布点,使每一部分煤都有机会被采出的原则分布子样点。如 1 节车皮的子样数超过 3 个(对

原煤、筛选煤)或1个(对精煤、其他洗煤),多出的子样可分布在交叉的对角线上,如图1-2(c)所示,也可分布在车皮的平分线上,如图1-2(d)所示。

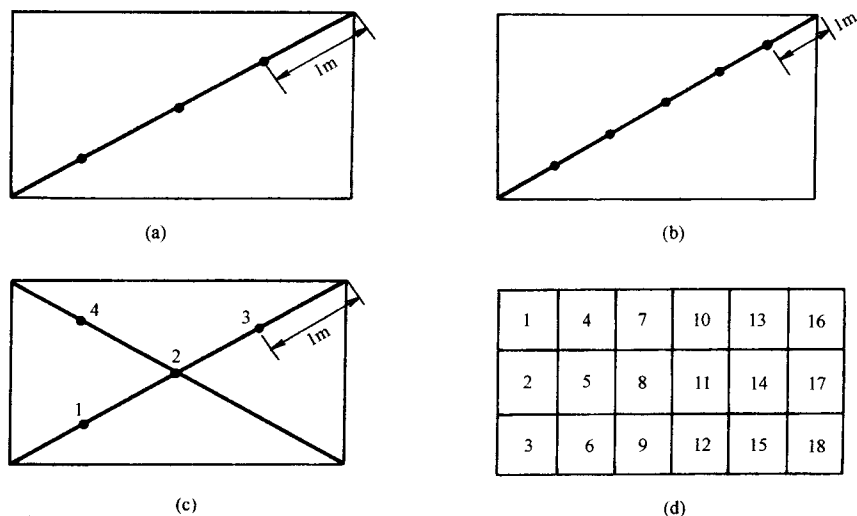


图 1-2 火车顶部采样时子样点的布置

(a) 斜线三点布置方式; (b) 两交叉线布置方式; (c) 斜线五点布置方式; (d) 平行线布置方式

3) 子样最小质量: 子样的最小质量与煤的粒度有关。当粒度 $< 25\text{mm}$ 时, 其子样质量不少于 1kg , $< 50\text{mm}$ 时不少于 2kg , $< 100\text{mm}$ 时不少于 4kg , $\geq 100\text{mm}$ 不少于 5kg 。

4) 采样操作: 当火车运量超过 6 节车皮时, 对原煤、筛选煤按斜线 3 点布置子样, 每车皮采取 3 个子样; 对精煤外的其他洗煤、粒度大于 100mm 的块煤, 按斜线 5 点循环布置子样点, 每车皮采取一个子样。当火车运量不足 6 节车皮时, 对于原煤、筛选煤应采的子样不少 18 个; 对精煤外的其他洗煤、粒度大于 100mm 的块煤, 应采子样数不少于 6 个。采样时用长 $\times$ 宽约 $300\text{mm} \times 250\text{mm}$ 采样铲(只适于煤量大粒度不超过 150mm 的煤)在分布的子样点上挖坑至 0.4m 以下后采取子样。子样要立刻放入严密而不受污染的专用煤样桶内。

注 1: 本方法采样精密度

对原煤、筛选煤——当 $A_d \leq 20\%$ 时为 $\pm A_d/10$, 但不小于 $\pm 1\%$ (绝对值)

当 $A_d > 20\%$ 时为 $\pm 2\%$ (绝对值)

对精煤外的其他洗煤(包括洗中煤)为 $\pm 1.5\%$ (绝对值)

注 2: 当火车容量为 60t , 若需精密采样, 对于超过 1000t 煤量要按下式计算:

$$m = n \sqrt{\frac{M}{1000}} \quad (1-4)$$

式中 m ——实际应采子样数, 个;

n —— 1000t 煤量规定的应采的至少子样数目, 个;

M ——实际发运煤量, t 。

若煤量不足 1000t，则按表 1-2 中子样数目依比例递减，对原煤、筛选煤不得少于 18 个；对其他洗煤，粒度大于 100mm 块煤不少于 6 个。

表 1-2 火车和煤堆 1000 ± 100t 煤量最少应采的子样数目 N

品 种	A_{ar} (%)	N	
		火 车	煤 堆
原 煤	≤ 20	60	60
洗 选 煤	> 20		
其他洗煤（包括洗中煤）粒度大于 100mm 煤块		20	20

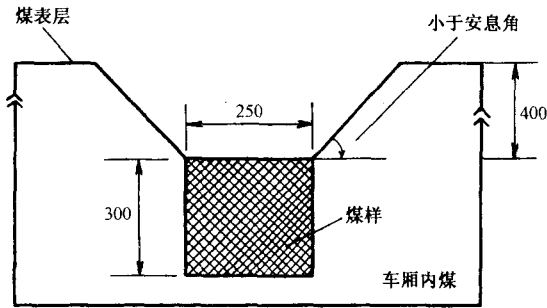


图 1-3 煤样的理想几何尺寸示意图

注 3：用采样铲挖坑采样，其理想的煤样几何形状如图 1-3 所示的 250mm × 250mm × 300mm 的立方体，设煤的堆积比重 D_1 为 0.85，则其子样质量为 16kg 左右。但实际采到的煤样几何形状为一倒置的圆锥体，其煤样质量约为 5kg 左右。

2. 移动煤采样

(1) 原煤的采样

原煤的样本可以分为进厂煤样和炉前煤样。一批煤中所采得的样本总重量取决于分样数目和每个分样的重量。分样数目是由煤的不均匀度决定的，通常以灰分 A_{ar} 代表煤的不均匀度，每个分样的重量由煤的粒度决定。表 1-3 给出了采样数目与灰分的关系。表 1-4 给出了分样重量与原煤粒度的关系。图 1-4 给出了可供选择的燃料采样地点。

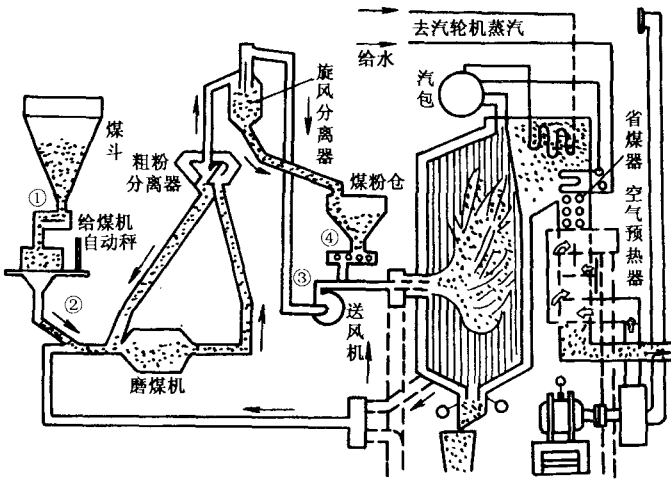


图 1-4 原煤及燃烧产物的采样位置

①、②——原煤采样点；③、④——煤粉采样点