

# 第九届国际选煤会议论文译文集



煤炭部选煤科技情报中心站

# 前 言

1982年11月29日于印度新德里召开了第九届国际选煤会议，我国煤炭工业部加工利用局局长郝凤印等五位同志出席了会议，会上共发表了36篇学术论文。这些论文对于从事选煤生产、建设、设计、科研及教育工作的同志们在改革选煤工艺、改造洗选设备、增加洗煤产品、加强企业管理、提高经济效益等方面均有参考价值。

“第九届国际选煤会议论文译文集”在煤炭工业部情报所及加工利用局的领导下，由选煤科技情报中心站组织翻译出版。承担外文校对工作的主要人员有唐山煤研分院李清华、石德明同志及选煤设计研究院陈昭宁同志。选煤科技情报中心站郝金荣、陈运康同志负责编辑出版。

本文集的出版还得到了许多单位及个人的支持，在此表示感谢。

煤炭工业部选煤科技情报中心站

# 目 录

|                                          |               |
|------------------------------------------|---------------|
| 1. 运用计算机模拟选煤和地质统计方法估计煤田的精煤储量·····        | ( 1 — 14 )    |
| 2. 当前的采煤方法及原煤特性的改变对选煤厂作业的影响·····         | ( 15 — 26 )   |
| 3. 波兰选煤厂设计的新方向·····                      | ( 27 — 35 )   |
| 4. 德意志联邦共和国选煤厂新的结构设计·····                | ( 36 — 47 )   |
| 5. 中国的选煤厂设计·····                         | ( 48 — 57 )   |
| 6. 旋流器直径对分选性能和经济效益的影响·····               | ( 58 — 63 )   |
| 7. 霍默市选煤厂采用新颖的末煤重介质分选工艺·····             | ( 64 — 74 )   |
| 8. 浮游选煤的统计分析——工艺最佳化初探·····               | ( 75 — 82 )   |
| 9. 确定煤炭浮选工艺时需考虑的几个因素·····                | ( 83 — 90 )   |
| 10. 苏联浮游选煤的现状和前景·····                    | ( 91 — 97 )   |
| 11. 加拿大西部风化末煤的浮选·····                    | ( 98 — 109 )  |
| 12. 鲁尔煤炭公司在分选 $< 2$ 毫米细粒级煤方面的新研究成果·····  | ( 110 — 126 ) |
| 13. 无活塞跳汰机新型脉动机构的理论分析·····               | ( 127 — 133 ) |
| 14. 重介旋流器处理 $0 \sim 38$ 毫米原煤的生产自动控制····· | ( 134 — 142 ) |
| 15. 煤质自动控制问题·····                        | ( 143 — 150 ) |
| 16. 选煤厂控制系统使用的传感器·····                   | ( 151 — 165 ) |
| 17. 印度发电用非炼焦煤的精选·····                    | ( 166 — 180 ) |
| 18. 根据能量观点确定电厂用煤分选最佳值的方法·····            | ( 181 — 197 ) |
| 19. 发电厂用煤的精选效果·····                      | ( 198 — 219 ) |
| 20. 苏联动力煤的洗选·····                        | ( 220 — 227 ) |
| 21. 声响强化选煤过程·····                        | ( 228 — 233 ) |
| 22. 高梯度磁选在选煤中的应用·····                    | ( 234 — 243 ) |
| 23. 加拿大西部煤炭的分选新技术·····                   | ( 244 — 252 ) |
| 24. 难选煤的有效分选方法——跳汰和油团选·····              | ( 253 — 262 ) |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 25. 选煤过程的最佳化与控制·····                | (263—272) |
| 26. 重介两段循环再选的经济性·····               | (273—282) |
| 27. 为实现洗选过程的最佳控制, 对原煤煤质特性变化的分析····· | (283—291) |
| 28. 离心摇床精选煤泥的研究·····                | (292—300) |
| 29. 褐煤洗选的经验和发展·····                 | (301—312) |
| 30. 高灰分褐煤的洗选·····                   | (313—319) |
| 31. 高硫煤的分选和净化·····                  | (320—335) |
| 32. 发电厂煤浆的水力运输·····                 | (336—343) |
| 33. 西德洗选矸石利用的新发展·····               | (344—356) |
| 34. 选煤用安德里茨带式压滤机·····               | (357—364) |
| 35. 法国诺尔·巴德加莱煤田从矸石山中回收燃料·····       | (365—371) |
| 36. 隔膜压滤机的操作和最佳化·····               | (372—387) |

# 运用计算机模拟选煤和地质统计方法估计煤田的精煤储量

N. D. 斯托克顿

I. 波恩茨

A. J. 莱佩奇

〈澳大利亚〉

## 摘 要

目前, 澳大利亚对煤炭储量的分类一般是以钻孔采样所获得的资料为依据。当我们说某一煤田的储量已经分类为测定储量时, 则是指已从那一地区的大密度钻孔中得到了关于煤质、煤层厚度、埋藏深度和其它有关煤层情况的可靠数据。在掌握了这些煤炭资源资料之后, 即可对其储量做出较准确的估计、并着手进行开采的规划。一旦做出储量预测, 就可以对市场系数和选煤参数加以统筹考虑, 进而估计出这一煤田的可销售储量(商业储量)。

本文介绍了我们在对钻孔煤样进行预处理取得资料的基础上, 如何采用选煤模型简便地预测煤田的精煤产率的一些实践。通过将这一预测过程计算机化, 就能迅速提供更多有用的资料、评价多种可供选择的方案, 以确定选煤厂的最佳设计方案, 并在所需要的具体质量条件下, 最大限度地提高精煤的产率。同时还能避免大量重复、费时的人工计算。

在储量评价过程中, 运用地质统计方法了解选煤参数的变化特性, 不仅有助于更准确地选择有关采煤设备估计选煤厂的入选原煤量, 而且还可依据所有这些估计的可靠程度提供定量的读数。这些精确的数值生动地再现了钻孔取样网点的空间分布, 以及所有经济敏感参数的变率, 这在我们将原煤总产量转换成货币价值时, 都必须予以考虑的。

## 前 言

为了给选煤厂设计提供更为可靠数据, 在七十年代期间, 澳大利亚煤炭工业研究所(ACIRL)试验成功了几种对钻孔煤样和生产煤样进行预处理的方法。作为这一工作的继续, 一九七七年, 由澳大利亚煤炭协会(ACA)资助下规划了一个需要三年完成的项目, 专为解决地质统计学在储量估计中的应用课题。继此项目之后, 澳大利亚煤炭协会又于一九八〇年六月资助另外一个从事研究选煤的计算机模型的课题。本文回顾了澳大利亚煤研所为选煤厂设计所进行的煤样试验, 以及运用地质统计方法进行储量评价

的一些活动。同时也预示了在这个领域的一些可能的发展趋势。

近几年来,计算机技术已被越来越广泛地运用到煤炭工业的各个领域。在许多情况下,这是必要的。因为,计算机所产生的数据之多以及它对这些数据处理的速度之快是人脑所望尘莫及的。对选煤过程进行计算机模拟,以及把它与地质统计方法结合起来,估计某一矿区和采区的商品煤(即精煤)储量,就是这种计算机化的一个方面。在讨论这一计算机应用方法之前,应强调指出,任何一种计算机技术的精确性和可靠性都在很大程度上取决于我们给它输入的数据。

### 煤样分析

为了给选煤厂设计提供可靠的数据,无论采用哪一种煤样分析系统,都必须使各个粒度级的煤,在质量和牌号方面与所设计选煤厂的入选煤相同。在破碎钻孔煤样或其它时,应把它破碎到适合于洗选这种煤的最佳粒度特性。这个基本原则至今仍被一些人们煤样所忽视,从而产生若干错误的结论。

原煤的粒度特性可以被说成是罗辛—拉姆勒特性(1)。这点已被人们公认。这种特性,可用下述公式表示:

$$R = 100c - \left( \frac{x}{\bar{x}} \right)^n$$

式中: R代表物料中粒度为x的煤,所占的百分率

$\bar{x}$ 代表绝对粒度常数

n代表特性系数

这样,原煤的粒度特性,即可用 $\bar{x}$ 和n两个参数表示。

人们发现(2),澳大利亚煤的n值与哈德格罗夫可磨性指数(H. G. I.)有着密切关系。在此:

$$H. G. I. = 35.5(n)^{-1.05}$$

此外, n值也可能与最大的镜质体反射率( $R_o \text{ Max}$ )有关。因为后者与可磨性指数(H. G. I.)也有密切关系。现在的问题是如何准确地确定 $\bar{x}$ 值。这个数值目前只能通过利用这个煤样的粒度上限和从类似牌号的煤所获得的经验数据做出估计。希望今后能找到一种更准确地预测 $\bar{x}$ 值的方法。罗辛—拉姆勒特性的另一个特点是,在对某一给定的煤进行破碎时, n值是相对稳定的。

### 干法预处理

为得到一个预期的、而不是纯属臆断的粒度特性,可以对钻孔煤样或其它煤样进行干法处理。这种方法是将煤样先破碎或粉碎到一个指定的粒度上限,接着对破碎后的物料进行粒度分析。而后,再对这些已被破碎的物料进行选择性破碎。从最大粒度级煤开始,顺序地使每一粒度级煤所占的比例都达到我们所要求的粒度特性指标。经这种方式破碎过的物料,将比较接近选煤厂所预期的入料粒度特性。在此,还可以包括进一个原

煤储存的模拟阶段，使煤进一步破碎，尤其是使那些可碎裂的粘土风化。在选煤过程中，物料还会发生进一步碎裂，从而使它的特性产生变化。

### 湿法预处理

在确定了选煤厂所需要的入料粒度特性以后，还需进一步模拟煤和页岩在各种选煤厂的洗选过程中的碎裂情况。

在七十年代期间，澳大利亚煤研所研制出一种在实验室内分选少量原煤煤样，包括钻孔煤样的系统。可模拟选煤厂使用重介质旋流器选煤时，对煤粒的破碎程度和可选性特征的影响。这种湿法预处理系统已被工业界所普遍接受，并在勘探工作中得到广泛采用。由于这一技术能更可靠地测定原煤的可选性特征，它对澳大利亚煤炭工业的发展具有重大的价值。

对这种湿处理方法，莱佩奇和波拉德(3)已做了详细论述，且已被编入澳大利亚标准AS1661—1979(4)。在最初试验这种方法时，我们分别对五种不同的煤进行了试验。原煤破碎到-38.1毫米，经0.5毫米楔形筛脱泥后，同重介质一起，由泵扬送入508毫米直径的重介质旋流器。产品经脱介喷洗筛排出后，可不必再脱水。我们把用这种试验工厂分选方法所得到的煤的粒度特性和可选性等级与用滚筒式转鼓试验所得到的结果进行了比较(5、6)，得到的相互关系是满意的。

在对钻孔煤样进行分选试验的同时，我们也对五十吨至一万吨不等的大量煤样进行了各种选煤方法的试验，以便对试验工厂的实际洗选效果和预期的效果进行比较。结果是，在所有情况下，两者的结果都很相近。其偏差值都在试验和采样的允许误差范围之内。

选煤厂中再选或中煤回收系统的采用，使得物料有可能予以进一步的破碎。随着澳大利亚国内对动力煤洗选的要求越来越迫切，为满足国内和国际市场的需要，中煤再选系统将被日益广泛地采用。但目前在澳大利亚，只有约25%的选煤厂采用块中煤破碎后进行再选的系统。生产经过再选的小粒度动力用煤和粗粒度动力用煤相混合的产品的潜力是值得我们特别重视的。它可以减轻一些我们目前在尾煤处理方面的负担。最近，对澳大利亚六座选煤厂所做的调查结果证明，目前有相当部分的尾煤(30%至75%)都可予以进一步洗选，以回收其中灰分低于30%的产品(7)。

选煤厂采用跳汰机分选粗粒动力煤的方法很可能会普及，因为跳汰机具有较高的分选比重及原煤的可选性特征，可以达到令人满意的工作效率。在一九七六至一九七七年期间，澳大利亚煤研所又完成了一个新的科研项目，提出一种适于跳汰机分选的实验室预处理系统(8)。这种系统是将煤样进行湿法转鼓试验，其状况类似重介质旋流器选煤工艺过程，只是在其滚筒式转鼓中不装钢棒。试验结果表明，滚转的时间取决于煤的脆性，而脆性的等级则是根据ASTM方法D440—49(1975)煤的落地破碎试验而划分的。研究中发现在时间和脆性之间存在着一种线性关系。这种关系可以用下述方程式表示：

$$t = 0.938f + 2.79$$

式中:  $t$  代表转鼓滚转的时间 (分钟)

$f$  代表  $-12.7+3.2$  毫米原煤, 按 ASTM 方法测定的脆性等级

(相关系数 = 0.988)

这种湿法预处理技术目前还没有被广泛接受, 而且还需进一步改进, 以适应对跳汰机系统的模拟。这种预处理方法也可用于槽式重介质分选机。

湿处理法产生的粉煤, 通常进行分组或连续的浮选试验 (9), 并对粒度一般大于 125 微米的粉煤进行浮沉试验, 以预测水介质旋流器的性能。这两种试验技术都需进一步改进。不久前, 澳大利亚标准协会已把实验室浮选试验的工艺规程编入 AS2519—1982 “使用钻孔煤样评价硬煤储量指南”。该标准承认, 目前无论是在澳大利亚还是在国际上还没有一个统一的浮选试验的标准, 虽然有关标准正在准备制定中。

因此, 关键在于要对各种不同的实验室工艺规程有充分的了解。因为由这些试验所产生的数据, 将是我们进行煤田评价和选煤厂设计的依据。在选煤厂设计中, 已显露出这些煤样试验所具有的局限性。很明显, 改进煤样试验工艺规程将使选煤厂设计和地质统计的应用更加准确、可靠。

### 选煤的计算机模型

近几年来, 在选煤厂设计和生产作业中已广泛采用计算机模型技术。这种技术的基本原理即在基本的选煤工序中使用常规的分配曲线。经过二十年来的数据积累, 我们已能用它来确定各具体选煤设备的工作效率, 并能结合具体的可选性参数, 可靠地预测预期精煤产率与灰分 (或其它质量指标) 的相互关系。

澳大利亚煤炭研究所编制的计算机程序是以一套规范化了的煤的分配数据为编制基础。这些数据是用槽式重介质分选机、重介质旋流器、鲍姆跳汰机和水介质旋流器四种基本选煤设备试验得到的。当知道了入选的粒度范围和选定的分选比重后, 就可借助一个台式计算机求出其分选系数, 进而画出相关的效率曲线。把这些曲线和可选性数据综合考虑, 即可确定精煤中每一浮沉级所占的比例, 并从而计算出累计的精煤—灰分值 (或其它质量数据)。对有关煤炭在不同分选比重的不同精煤—灰分值的座标点连起来, 就能得到精煤产率—灰分, 以及分选比重—灰分之间的关系曲线。在曲线绘制中使用内插法, 可以帮助我们得到预期的精煤产率和达到所需灰分指标时所必需的分选比重。这种程序如仅用于一个煤样或一种简单的分选机模拟, 则显得很繁琐; 而且在执行过程也容易出错。

为使上述逻辑自动化, 我们编制了一个计算机基础程序 “SEPSLM”。实践证明这个程序是我们研究选煤的可靠而灵活的工具。而且至今仍被我们的一些地区实验室所采用。表 1 的数据说明在分选比重为 1.30 至 1.90 时, 采用重介质旋流器模拟分选灰分为 7% 至 14% 的精煤时, 所能得到的典型产率。

这个程序除了能为煤田的勘探提供各种煤的预测产率和质量数据外, 还有助于我们进行试验工厂的研究, 其做法是, 先将较大的煤样按指定的灰分指标进行洗选, 然后再对其市场评价进行研究。要做到这点首先得确定分选比重, 同时还需预先对煤样的粒度组成和可选性有所了解。



重介质旋流器主选，入料粒度为  $-31.8+12.7$  毫米 黑煤层DDH243  
 分选机：重介质旋流器  
 粒度级：  $-31.800+12.700$  毫米  
 粒度系数：0.77  
 占原煤%：27.0

| 比 重 50 | 可能偏差  | 产 率   |       | 灰 分 % |
|--------|-------|-------|-------|-------|
|        |       | 占入料的% | 占原煤的% |       |
| 1.30   | .0193 | 19.91 | 5.38  | 6.91  |
| 1.35   | .0204 | 48.58 | 13.12 | 8.49  |
| 1.40   | .0214 | 69.03 | 18.64 | 9.71  |
| 1.45   | .0224 | 76.90 | 20.76 | 10.38 |
| 1.50   | .0235 | 80.58 | 21.76 | 10.89 |
| 1.55   | .0245 | 83.32 | 22.50 | 11.46 |
| 1.60   | .0256 | 85.23 | 23.01 | 11.91 |
| 1.65   | .0266 | 85.68 | 23.13 | 12.03 |
| 1.70   | .0276 | 87.07 | 23.51 | 12.54 |
| 1.75   | .0287 | 88.46 | 23.89 | 13.05 |
| 1.80   | .0297 | 88.73 | 23.96 | 13.15 |
| 1.85   | .0308 | 88.87 | 24.00 | 13.24 |
| 1.90   | .0318 | 89.02 | 24.03 | 13.34 |
| 1.31   | .0194 | 22.75 | 6.14  | 7.00  |
| 1.94   | .0327 | 89.90 | 24.27 | 14.00 |

表 1：SEPSLM程序的典型产率

此外，如需要，还可应用这个程序计算出预期精煤的浮沉组成数据。为此可用人工方法将少量精煤分选到指定的灰分指标。这些数据又能帮助我们在实验室内求出其原煤煤样的浮沉组成（见表 2）。

这个程序还可以把在各个指定灰分指标下所产生的中煤的可选性分析储存起来，并在需要时输出，例如考虑要对中煤实行再选时。

为处理进行更详细的选煤厂研究或大直径钻孔煤样分析，所产生的一种煤样的各个不同粒度级的输入数据，我们目前正在编制一个适应性更强的第二代程序“4CAST”。这个程序能够得到各个指定粒度级的浮沉组成的综合数据。其另一特征是能把物料原来的各粒度级的浮沉数据和对这些数据任何组合，用计算机根据澳大利亚标准1661—1979绘制出可选性曲线。这就为我们提供了关于煤的可选性特征的一个永久的直观纪录，如图 1 所示。

入料粒度：-31.8+12.7毫米主选，重介质旋流器分选，黑煤层DDH243产品灰分指标为7.0%时的可选性

| 浮沉比重        | 平均浮沉比重 | 数量 %  | 灰分 %  |
|-------------|--------|-------|-------|
| 浮1.30       | 1.280  | 60.64 | 5.10  |
| 沉1.30—浮1.35 | 1.325  | 36.78 | 9.60  |
| 沉1.35—浮1.40 | 1.375  | 2.23  | 13.50 |
| 沉1.40—浮1.45 | 1.425  | .23   | 19.90 |
| 沉1.45—浮1.50 | 1.475  | .13   | 24.70 |
| 沉1.50—浮1.60 | 1.550  | 0.    | 32.70 |
| 沉1.60—浮1.80 | 1.700  | 0.    | 43.50 |
| 沉1.80       | 2.000  | 0.    | 80.80 |

占原煤的产率%：6.1

表2：预测灰分为7%时，精煤的浮沉组成数据，用于根据原煤的浮沉组合成精煤煤样。

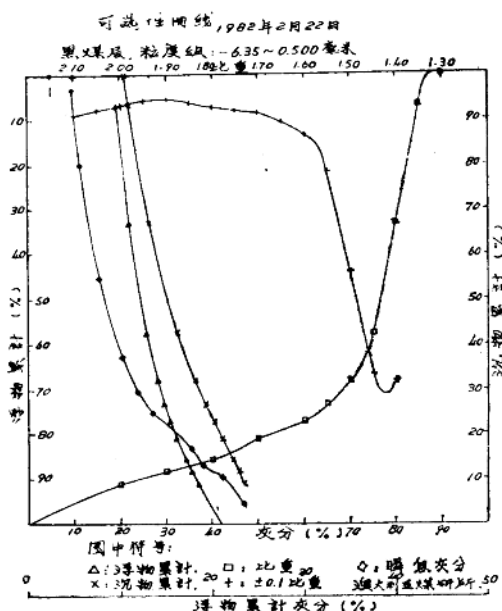


图1 计算机绘制可选性曲线的实例

这些计算机选煤模型的较基本的形式在应用中适应性很强，而且可以被用来研究很多不同的选煤工艺流程。其它咨询公司和煤炭研究机构也采用计算机模型预测煤的分选效果，其复杂程度各异（10、11、12）。戈特弗里德（12）和戈特弗里德与阿巴拉（13）曾报告一种更为复杂的程序，即试图模拟一个范围更广泛、其中包括破碎机、筛分机、配煤机、分选器和分选设备等的选煤过程。

## 局 限 性

发展计算机模型程序中存在的问题之一，是判断模型的准确程度，而这点是很难做到的。有关模拟预测是以浮沉数据为依据的，而这些数据有时可能不够齐全。目前有一些技术可以用来提高采用内插法或外插法所获得的浮沉数据的准确性(10)。另一个问题是，不同分选设备对物料的分选效果不同。如：经重介质旋流器预处理、分析过的原煤煤样，就不十分适于用槽式重介质分选机或跳汰机。

同样，在使用跳汰机或重介质旋流器模拟进行再选作业时，如对将被再选的物料的模拟煤样不做适当的再选预处理，则也将产生误差。此外，这些再选物料的粒度特性也将难以准确预测。因为精煤与中煤的粒度组成不同。中煤的粒度组成要比原煤的粗，由于原煤中粒度较小的那部分煤中，往往含有较多的精煤。

## 储量评价

目前，澳大利亚的煤炭储量是按钻孔煤样所获得的资料多少，划分为测定储量、设想储量、假定储量和推测储量四大类。

掌握储量数据后，就可以根据所选定的开采方法及适合于这种方法的采出率，再减去那些禁止开采的地区的储量，推算出这个煤田的可采储量。这种预测方法适用于用井工开采的测定储量和设想储量，同时也适用于用露天开采的测定储量。在没有合适的采出率时，可选用60%这个大概的采出率数值。求得的可采储量，就是这个煤田的模拟原煤储量(14)。

商品煤储量是指应用选煤系数计算之后，所得出的可供销售的精煤的估计储量。商品煤储量是人们在谈判、签订合同和制定煤田开采规划时，最为关心的问题。

以上讨论了如何运用计算机技术评价选煤系数对精煤的产率和质量的影响。对任何一个给定的原煤煤样，我们都能得到一组可能的精煤产率和质量数据。根据所选用的选煤厂类型以及市场的要求，我们就能进一步确定有关煤样预期的精煤产率。其它估计精煤产率的方法还包括有：直接从可选性曲线或从将入选这种原煤的现有选煤厂的实际分选效率来估计精煤的理论产率。

## 地质统计学的应用

由于传统统计学本身存在的一些缺点，使得地质统计方法在煤田储量估计中的应用，成为理所当然的了。当我们从煤样数据，例如从钻孔煤样的试验数据，推算出有关储量的变量值时，这个预测的精确度，即煤样组成的平均值的标准偏差（或称标准误差）就被计算出来了。与估计值相比，标准误差越小，所预测的精确度就越高。

这个简单的定理来源于以数学概率为基础的传统推理统计学，因而必须具有一组基本假设。其中的两个假设是：有关数据应是在 ① 随机取样和 ② 独立观测的条件下获得的。

但在实际情况下很难做到真正的随机取样。对一些煤层的观测也往往不是独立的。因为，在进行储量评价时，通常每个钻孔都有其各自的控制区。地质统计学考虑到了这

种邻近钻孔之间的相互依赖关系，并通过半方差函数把这种关系成功地表示出来，并把它定量化了。

半方差函数不仅能把这种关系以定量表示，而且还能用图表示出其控制区和储量的连续性及均质性。

半方差函数可用下述公式表示：(15)

$$\gamma(\underline{h}) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} [Z(\underline{x}_i) - Z(\underline{x}_i + \underline{h})]^2$$

式中： $\gamma(\underline{h})$  是半方差

$N_h$  是沿矢量方向被  $|\underline{h}|$  值去除的成对的值的个数

$\underline{x}_i$  是煤田中一个观测钻孔的位置

$Z(\underline{x}_i)$  是  $\underline{x}_i$  位置的区域化变量值

$Z(\underline{x}_i + \underline{h})$  是沿矢量方向，距  $\underline{x}_i$  点  $|\underline{h}|$  远的区域化变量值

### 方差函数

应用煤样数据画出半方差值  $\gamma(\underline{h})$  和  $|\underline{h}|$  值的关系坐标，便构成了一个试验性方差函数。

为简单说明方差函数的绘制，请参阅图 2 所示的规则取样网点。现假设  $h$  是在这个网络的长方向，其值与取样间距  $d$  相等；而且在这个方向共有  $n$  个间距为  $d$  的观测点（即取样点）。那么，每一行都将有  $(n-1)$  对观测点可用上述半方差公式求出其  $\gamma(d)$  值，用  $(n-2)$  对计算  $\gamma(2d)$  值等，以此类推。在这个规则分布的例子中， $|\underline{h}|$  值被选定

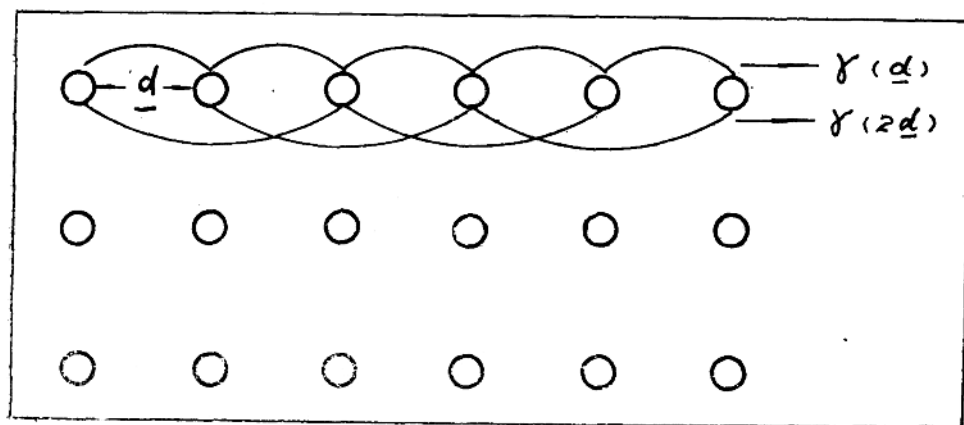


图 2 构成方差函数的简明图解

为与取样间距  $d$  相等。画出  $\gamma(h)$  值与  $|h|$  的关系坐标, 就能得到图 3 所示的一个试验方差函数。

对不规则分布的观测钻孔, 可使用任何大于或等于取样观测点最小间距的数值。无论在间距或方向上都允许有一定的偏差, 如图 4 所示。图中所有在阴影里的钻孔都被看作为沿  $\theta$  方向, 离  $x$  点有  $|h|$  那么远的距离, 都包括在半方差函数的计算中。

完成了试验性方差图后, 即可用适当的数学模式来表示其函数关系。人们曾提出过多种模式来解释试验性方差函数, 其中最常用的是球形模式 (15、16)。

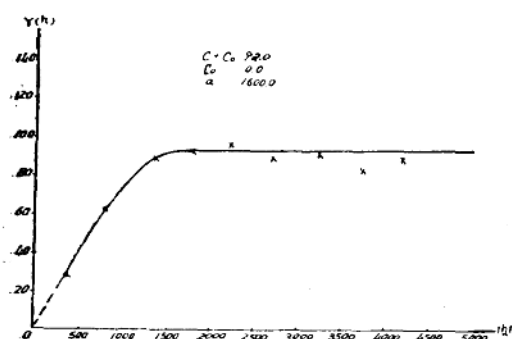


图 3 试验性方差函数的实例, 用球形模式表示原煤灰分%

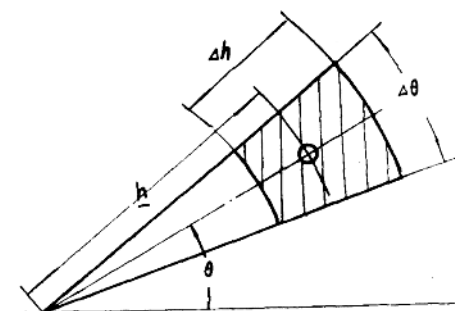


图 4 方差函数构成中的允许偏差

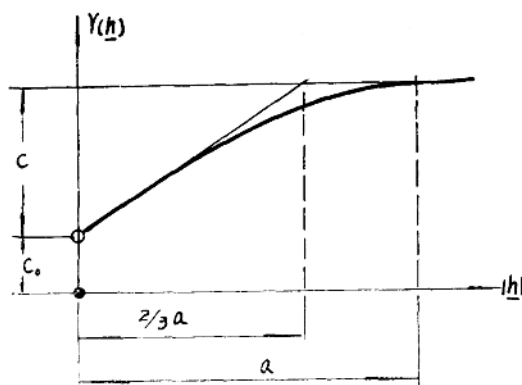


图 5 球形方差函数

图 5 所表示的这个球形模式已被证明是能够成功地再现各不同煤田在变化性较大时的区域性变量函数关系。它以三个系数为特征:  $a$ 、 $C_0$  和  $C$ 。当矿块效应  $C_0$  出现时, 则表明这个模式在  $|h| = 0$  处中断, 而这可能是由于不同程度矿窝构造的存在, 或由于取样和分析中的错误造成的。这在实际工作中, 是很难区分清楚的。

门坎值 $C_0 + C$ 是方差函数的限制值,适用于距离 $|h|$ 值较大的情况。在这种情况下对各孔的观测是相对独立的。方差曲线到达门坎值的距离被称为变程 $a_h$ 。它等于曲线的正切线与门坎值的交点在横座标上所示距离的1.5倍。

球形模式可以用下述数学公式来表示:

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_0 + C \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{|h|}{a_h} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{|h|}{a_h} \right)^3 \right] && \text{用于 } 0 < |h| < a_h \\ \gamma(h) &= C_0 + C && \text{用于 } |h| \geq a_h \\ \gamma(h) &= 0 && \text{用于 } |h| = 0 \end{aligned}$$

在这个模式中,取样数据的控制区这一传统概念是通过沿 $h$ 方向的距离来表示的。这个距离之外的观测钻孔则是互无关系的或称各自独立的。这个距离是以方差函数的变程为特征的。

矿化的连续性是通过矿块效应大小和小间距取样观测点的方差图的曲线斜率来表示的。区域化变量的一致性,可以通过计算不同方向的方差予以审定。如果这些方差都相同,则说明矿化是一致或均质的。但更常见的却是不同的方差函数于不同方向在某种形式上的向异性。表现在变程上或连续性上,或是两者兼有。

### 加权平均法

地质统计中采用一种加权平均方法,叫做“Rriging”。用这种方法对各取样钻孔的有关数据用加权平均法计算后,可得出最佳数据。它能最大限度地减小在储量估计中的误差。钻孔取样数据经加权平均计算后构成线性组合,从而得出储量估计数值。加权平均量使用半方差函数计算,因而这个函数关系图所表示的具体数据将影响对储量的最后评价。

### 估计偏差

地质统计方法的最大优点现已显而易见,即:一旦确定了组合的加权平均值,就能很容易地计算出估计的准确性或每一推断值的加权平均偏差。现假设有一个正常的误差分布,我们可以从加权平均偏差推算出所选定的任何一个置信度的间距。95%置信度的间距是最常用的。间距的相对量值即是衡量估计精确度的一个标准。

### 编制程序

澳大利亚煤研所已编制出一种适应性较强、叫做GRESYS的计算机程序系统。它很适用于煤田的储量评价。这些程序的示意图请见图6。有关GRESYS的详细论述已另有著述(15、16、17),在此只作简单介绍。

数据评价的最初阶段包括传统统计学的分析和绘制等高线和走向趋势面图。随后产生方差函数和模式,以便进行下一步的加权平均和测定估计偏差。加权平均程序适应性广,可以进行一个点或任意形状或尺寸的地区的加权平均,同时还能对所使用的方差函

数进行验证。煤的赋存密度（吨/平方米）也能被计算出来，并表示在一个有一定置信度间距的规则网络图上，如图 7 所示。各种不同类别的储量也可以从所掌握的赋存密度和给定地区的资料计算出来。

通过绘制95%置信度间距的煤炭储存密度可以揭示出那些煤层界限不清或变化很大的地区。这就为我们打钻和准确布置较费钱的大直径钻孔提供了方向。对变化不大的地区，可以把大直径钻孔的控制区进一步加大。用这样的方法就能使地质统计学成为我们进行煤田勘探的基本手段，如图 8 所示。用计算机模拟选煤和煤的采出率是在第三阶段中进行，尽管这些参数在勘探工作的前两阶段也曾被参考使用。

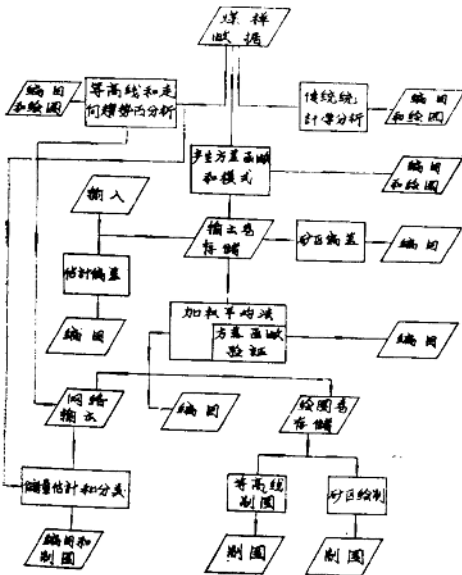
统计方法还可用于选煤厂设计中，如在确定处理量和所需的设备规格时的敏感参数变率。地质统计方法还可为尾煤的处理和利用提供数据。在此，敏感参数是从钻孔数据中分析出来的。

### 局 限 性

获得一个可行的方差函数模式是运用地质统计方法进行储量估计的实质。然而在实际工作中，这是十分困难而费时的。要成功地使用这种方法不仅需要对地质统计学有一定的使用经验，而且还要对所考察的煤田有充分的了解。这就要求使用者具有相当的地质和采矿知识。

加权平均法能使我们得到有关采区的储量估计，但如用这些估计作为制定生产计划的依据则可能会太不准确（18）。从采区每天采取的煤样的质量可能会比预想的波动范围要大。这个问题也许与矿块效应和在采区采样的次数有关。

获得合适的方差函数是最重要的。而且这在很大程度上取决于钻孔的数量。一般说来，钻孔数量最少不得低于30个。但如能打上几百个勘测钻孔，那么储量估计的最佳方法就是使用地质统计方法了。



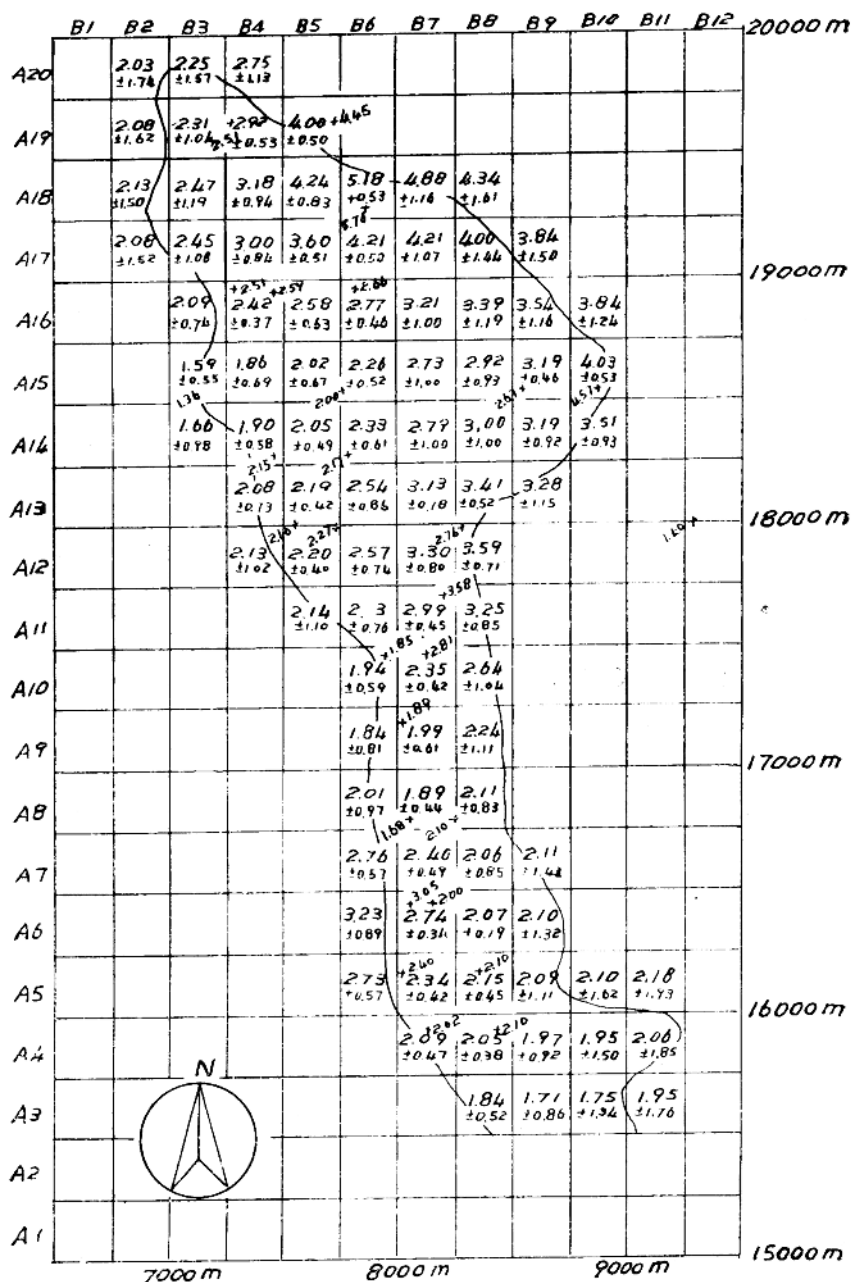
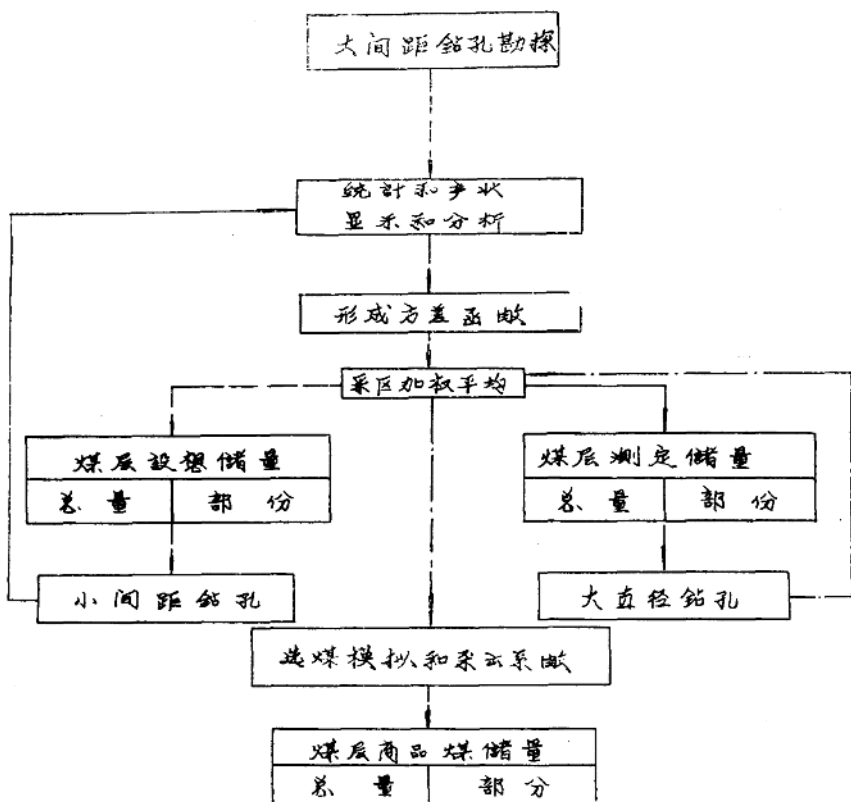


图7. 矿区储量估计加权平均和95%置信度的煤炭赋存密度 (吨/米<sup>3</sup>) 的实例





阶段1 --→ 阶段2 → 阶段3 - - - ->  
图8 使用选煤模拟和地质统计方法估计商品煤储量

## 结 论

在选煤模拟和地质统计方法中采用计算机程序这一新技术还正处于发展阶段，而且两者在使用中都带有其局限性。改进、完善这一技术将主要依靠我们在不同的采矿活动中的不断实践。其中改进煤样的分析方法又是这一技术发展的根本。因为，为计算机提供的基本数据都来自煤样分析的结果。

## 参考文献

1. 肖特茨, R. Q.: “筛分”见伦纳德, J. W. 和米切尔, D. R. 主编的《选煤学》第三版, 1968年, 第6—8页, 美国矿冶石油工程师学会出版。
2. 莱佩奇, A. J. 和塞奇曼, J. B.: 《依靠勘探数据实现选煤厂设计的最佳化》第八届国际选煤会议, 论文编号G—1, 苏联, 顿涅茨克, 1979年。
3. 莱佩奇, A. J. 和波拉德, F.: 《为选煤厂设计提供可靠数据的方法》, 见帕特里奇, A. C. 主编第七届的国际选煤会议论文集, 论文编号D2, 悉尼, 1976年。