

数理統計学及綫性规划 在黑色冶金中的应用

中国工业出版社

数理统计学及线性规划 在黑色冶金中的应用

〔苏联〕O. A. 米哈依洛夫 著

徐 在 庸 译

中国工业出版社

本书系根据苏联冶金出版社1961年出版的“数理统计学及线性规划在黑色冶金中的应用”一书译出。

书中介绍了概率论与数理统计学以及线性规划的简要知识，并列出了许多具体应用这些方法解决黑色冶金工业中实际生产问题的实例。

本书可供黑色冶金工业中从事生产、科学研究、工业生产组织、交通运输等方面实际工作者参考，对高等院校和中等专业学校有关黑色冶金专业的教师、学生亦有裨益。

О.А. Михеев

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА И ЛИНЕЙНОЕ
ПРОГРАММИРОВАНИЕ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ МОСКВА-1961

* * *

数理统计学及线性规划在黑色冶金中的应用

徐 在 庸 译

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑

(北京灯市口71号)

中国工业出版社出版 (北京各朝院路10号)

北京市书刊出版业营业许可出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $5 \frac{1}{8}$ · 字数 129,000

1964年11月北京第一版·1964年11月北京第一次印刷

印数 0001—4,510 · 定价 (科六) 0.80 元

*

统一书号: 15165·3322 (冶金-547)

譯者的話

大家知道，近些年来，随着生产和科学技术的不断发展，数理統計学与綫性规划方法的应用范围日益扩大，現在已可以說，在各門科学技术和工业生产领域中都有許多应用了。国内过去在这方面的出版文献还不够多，因而希望本书的翻譯和出版，能在这方面起一点介紹数理統計学与綫性规划理論基础和国外实用經驗的作用。然而，就本书內容来看，虽然涉及的数学方法都是通用的，但是，针对具体生产問題所作的具体分析和結論却不一定与我国实际情况相同。因此，在应用本书介紹的这些数学方法时，所举实例只有方法性的参考价值，在应用时，必須結合我国实际情况和数据，把这些数学方法加以創造性的应用，为我国社会主义建設服务。

本书所介紹的方法絕大多数都已在国外黑色冶金业中实际应用过，并且取得显著的成效。但是，还有一些很重要的数理統計应用方法，如属性統計， t 檢驗方法，方差齐性檢驗方法，置信限估計方法，相关系数、回归系数及多重回归系数等的显著性檢驗方法，随机化区組，序貫分析，順序統計量等等在书中未能涉及。原著者也許认为这些方法在黑色冶金业中尚未实际用过，或者认为不宜給在初学者讲授过深及过繁的理論，因而未列入这些內容。有关这些問題請參閱下列两本著作：“极率論和数学統計”（費史著，王福保譯，上海科学技术出版社，1962年）；“綫性规划的理論及应用”（中国科学院数学研究所运筹学研究室編，人民教育出版社，1959年）。

关于本书的術語，需要略作一些說明。由于本书不是一本專門的数学著作，而是一本工业应用的普及讀本，因而某些地方的術語与数学术語不尽相同。例如，Признак（本书中暫譯作“标志”），其原义为記号、标志、征兆、特征之义，即按它可以确定和辨認某种物件。由于并不是专用数学术語，只好譯作“标

志”。而在数理統計学一般著作中，多半將“标志”的含义抽象地用“随机变量”来表示，因而如感到“标志”一詞有时費解或不順口，改为“随机变量”来理解亦可。又例如，Вариант（本书中暫譯作“取值”），其原义为方案、变体、变異、变态、变量、变式，在本书某些地方譯作“方案”。但在另一些地方談到“标志”能取得的数值时，按数学术語來說，應該是“随机变量所能取的数值的集合或空間”。这时，如譯作“变量”或“方案”，显然是不合适的，故譯作“取值”。其他術語尚有类同之处，就不一一列举了。

由于本人学識浅陋，在本书譯文中难免会发生一些缺点和錯謬。为此，本人誠懇地希望广大讀者能够提出意見和批評，俾将来在再版时能予改正，无任感激。

譯 者

1963年10月于北京

前 言

近些年来，数理統計方法在黑色冶金业中得到越来越广泛的应用。

用数理統計方法，可以确定在所研究的各项生产因素之間关系的定量尺度，用其他方法常常是不能确定此种尺度的，尤其是在分析炼铁車間、炼鋼車間、軋鋼車間的工作指标时，更是如此。在黑色冶金工厂中，詳細拟制的与极为有效的統計方法，在生产控制及产品质量控制领域中，得到越来越多的应用。

与此同时，作为一門新应用数学的綫性规划方法，具有越来越重要的意义。使用不久以前才得到推广的綫性规划方法，可以确定炉料的最优組成，确定冶金設備（尤其是軋鋼机）的最优装料程序，最合理的軋制裁料，以及寻求在經濟方面最合理的原料、燃料和产品的运输方案。

本书介紹了数理統計学和綫性规划在黑色冶金业中的应用問題^①，书中还初步叙述了概率論和数理統計学的原理。

本书是供冶金企业的工程师和科学研究院及設計院的工作者熟悉数理統計学在黑色冶金业中的应用及数理統計学的基础理論，以及綫性规划問題之用。

本书对冶金学院的大学生们也是有用的。

作者对下列人員表示感谢：功勳科学活动家 Б.С. 雅斯特里姆斯基教授，А.Я. 布雅尔斯基教授，物理数学科学博士 А.Л. 布路特諾，讲师 А.М. 德林，讲师 Н.С. 拉依布滿，經濟科学副博士 Е.В. 戈赫曼，工程师 Ю.М. 布拉夫科和本书編輯 С.М. 格里茨基，在本书准备出版过程中他們对作者提出許多宝贵的意見并給予帮助。

^① 按照最初的想法，本书預定作为“計算技术在黑色冶金业中的应用”一书的一部分，以后这部著作分为两部分。其中一部分就是本书，另一部分是介紹冶金設備控制問題的一本书（А.Б. 契留斯特金，“計算技术在冶金設備控制中的应用”。苏联冶金工业出版社，1960年）。

目 录

前言

緒論	1
I. 概率論与数理統計学的簡要知識	8
1. 概率論基本原理	8
2. 分布系列及其基本特征	15
3. 关于随机变量分布法則的概念	42
4. 方差分析	45
5. 相关分析	50
II. 用多变量相关方法进行的研究	62
1. 高炉生产和原料准备	62
2. 炼鋼生产	74
3. 軋鋼生产	88
III. 用方差分析方法进行的研究	95
IV. 生产控制的統計方法	102
V. 綫性规划	117
1. 解乘数法	130
2. 單純形法	137
3. 图解法	142
4. 分配(运输)方法	145
附录 1	155
附录 2	156
参考文献	157

緒 論

数理統計学是应用数学分支之一，研究大量重复現象、过程和事件的規律性。近几年来，与概率論紧密相联的統計分析方法，获得了特別广泛的应用。

这个現象可解释如下，由于統計分析方法的实际应用要求相当复杂的計算，就在不久以前这一点还是阻碍統計分析方法推广到工业方面去的巨大障碍。

現在由于計算技术已获得很大的成就，这种計算已沒有很大的困难了。

数理統計学基本原理的产生与研究是与下列学者的工作分不开的：貝努利，拉普拉斯，波松，車比雪夫，馬尔科夫，李雅普洛夫，奧斯特-洛克拉德斯基，皮尔逊，費歇等。

概率論的苏联学派包括下列最伟大的学者：С.Н. 伯恩斯坦因，А.Н. 柯尔莫果洛夫，А.Я. 欣欽，Б.В. 格涅坚科，В.И. 罗曼諾夫斯基，Н.В. 斯米尔諾夫，Б.С. 雅斯特列姆斯基等。

在第二次世界大战期間，美国认为应用数学的各种方式和方法是机密的，仅只是在大战結束后才公布出来。同时这些在强化冶金过程中如此有效的方法，像在炼鋼生产中应用氧气或高炉采用高压炉頂操作等方法却都公开論述。这就証明了在国外对这门科学广泛实际应用的可能性赋予很大的意义。

現代数理統計学的任务远远超过其狹义的范围，所謂狹义即有时把数理統計学与用說明邏輯推論的一套图表的“統計学”这个术语等同起来。

以概率論的应用为基础的数理統計学的任务，在于研究普通数学分析方法所不适应的那些現象（由于現象的复杂性）之間的客觀連系和关系。

对于研究目的来说，能够研究生产过程中许多变量或各单元之间关系的多变量相关法特别有效。

应用这种方法，可以确定所研究的各指标的数量关系，例如，冶金设备生产率与炉料组成，原料的物理性质和化学组成，过程的温度等之间的数量关系。

众所周知，炉料熔化后平炉熔池中钢水的含碳量对于熔炼时间起着很重大的影响。但是，在某些情况下，仅知道存在这样的关系是不够的，而是应当寻找其数量尺度，这就应该运用多变量相关方法。在这种情况下，当确定平炉生产能力与所研究的一个因素变化的关系（例如与炉料熔化后钢水中含碳量的关系）时，还需要考虑其它许多因素的影响。

某个冶金工厂中，利用多变量相关方法研究平炉每小时生产能力与许多因素的关系。同时根据 357 炉钢水所进行的研究，确定出像炉料中废钢、矿石和冷生铁的百分率这样一些因素加在一起所能解释的平炉每小时生产能力变化不超过其全部变化的 9.9%，而像熔化后的金属中含碳量这样一个因素的影响就相当于 22% 的数字。

利用数理统计学所取得的这个结果具有很大的意义：该因素的重大意义是众所周知的，但是用别的方法不能对其影响作出定量估计。

除此之外，值得注意的是在用多变量相关方法所进行的高炉中焦炭消耗量与许多指标之间关系的研究。采用四年多期间内 70 座高炉（300 个炉年）的工作资料作为研究的基础，以每座高炉一个月的工作指标作为统计观测单位。

最初取 300 个不同变量作为与焦炭消耗量有关的因素，后来将这 300 个不同变量归纳为 50 个扩大指标（焦炭中的含碳量，炉料含铁部分的含硫量，炉料中烧结矿部分和碎矿所占的部分等等）。最后得到一个方程式，表示焦炭的单位消耗量与 15 个基本因素之间的数量关系。

研究的结果确定出，靠着铁矿石部分相应的减少，一吨生铁

中，炉料的烧结矿部分从 150 公斤增加到 200 公斤，則在高炉工作的一定条件下就能使焦炭单位消耗量大约减少 5 公斤/吨，相反地，炉料的矿石部分中碎矿部分增加 50 公斤/吨，就使焦炭消耗量平均增加 3 公斤/吨。

从企业的工作經驗中大家还知道，在許多情况下，应用数理統計方法可以确定出金属废品的原因。

在黑色冶金业中要查明废品的实际原因有时候有很大的困难。在个别的情况下，在生产人員中发生爭論，发表出大量主觀見解和理論，有时这些主觀見解和理論并未充分被客觀資料所証实。

从这一观点看，某个冶金工厂为了确定废品增加而一級鋼产量下降的原因而进行的統計研究結果是值得注意的。

多变量相关法的研究表明以下三个因素对金属质量有很大的影响（概率大于 0.95），这三个因素是：出炉时鋼的溫度，鑄錠時間和鋼坯軋机上軋制鋼錠的溫度。由此，建議提高鋼的出炉溫度，縮短其鑄錠時間和降低軋制溫度。

在討論研究結果时，車間中有一些車間的工程技术工作者們怀疑这些研究結果，因为这些研究結果与已被肯定的工作經驗有一部分发生矛盾。因此，对同一鋼号的其它 37 炉鋼水构成的一个样本又进行了一次統計分析，并証实了第一次研究时所作出的結論。以后，在炼鋼工艺規程中就引进了取得有利結果的相应变革。

对于車間的許多工作者來說，采用数理統計方法的有效性，是出乎意外的，关于这点，有一位有經驗的炼鋼工人的話可以証明，他說：“不要想在我老年的时候用积分来告訴我应该如何炼鋼”。

在进行科学研究工作时，数理統計方法的应用开辟了新的可能。通常，在生产条件下，研究与大量不同因素有关的某一个指标（高炉有效容积的利用系数或平炉每一平方米炉底上的单位产鋼量）时，力图用輪流改变各因素中的一个因素，同时所有剩下

的因素尽可能保持不变（所謂在“其它条件相等”下的研究）的方法来研究。在大量影响因素下进行研究的那些情况下，实验的数量必然急剧增加。因为为了造成其它条件相等必须人为地改变某些参数，故这样的实验常常伴随着设备生产率的下降。

此外，在生产条件下，在其它因素不变下要改变一个因素并不总是可能的。例如，如A.Л.哥特里普教授所指出的：“当研究鼓风加热对焦炭消耗量的影响时，要造成下述条件是困难的，即在方法方面改变鼓风的加热，但在不变的其它条件相等之下……，要高炉在足够长的一段时间中进行工作”^①。

至于在若干变量之间存在关系时，利用多变量相关法可以估计两个变量之间的关系，同时用计算所谓偏相关系数的方法，用数学方法来消除其余变量的影响。

这样一来，在许多情形之下，利用数理统计方法可以又快又准确地确定出这个或另一个工艺因素对生产指标变化的影响程度。

但是，应当注意，统计处理方法不应该控制所研究的问题的工程分析，为了正确地应用统计处理方法，应该知道相应的技术领域内的知识，特别是应该知道冶金生产领域内的知识。

在生产控制和质量控制的领域方面，数理统计学的应用得到越来越多的推广。为了这个目的，在冶金企业的各个车间内都使用了控制统计图。

在许多工厂一切主要工序中，都利用曲线图对原料和产品进行统计控制，这些曲线图上表明所研究的指标与日平均值和月平均值的每日差异。要作出考虑下列指标的每月和每日控制图，例如，合格板坯的产量和其重量的变化，钢板的厚度和各种镀层的厚度，废品的数量等等。

首先，在金属加工工业中在控制生产方面，特别是在生产制品的抽样经常质量控制方面，数理统计学得到推广。这是因为随

① A.Л.哥特里普。应用数理统计学来分析炼铁的生产与研究资料的若干问题。德森伯彼得罗夫斯克冶金学院科学论文集1948年，第四册。

着生产規模的增长，要全数檢驗所有的制品，已成为实际上是不可能的事。

此外，在某些試驗中，所檢驗的制品强烈地磨損或破坏（例如，当确定电灯泡发光的持續時間时）。在这样的情况下就要利用抽样研究的統計方法。从工作的实践中确定，对于正确地选取的試样进行檢驗可以得出十分可靠的結果；下述情况也具有意义，即檢驗少数的制品可以更为小心和全面。

数理統計方法广泛地应用着，特别是在制定新标准而对所規定的技术公差和余量进行科学論証时，要应用数理統計方法。这时，根据实际資料的分析，在新技术条件（标准）的不同方案下要估計出不合标准的产品的可能数量，这些新技术条件的特点通常是对规范所規定的公差提出較严格的要求。

对于有效地应用数理統計学來說，在冶金工业方面具有很大的可能性。但是根据黑色冶金企业和有色冶金企业的工艺过程特点，要想簡單地把那些在其它工业部門，特別是机械制造部門已試驗过的方法簡單的借用到黑色冶金和有色冶金企业中是不可能的。因此，在大多数情况下，不得不制定新的、特殊的研究方法。

在冶金生产领域中，已应用数理統計方法来解决主要的技术經濟課題，如上所述。由于数理統計方法在研究工作的各个领域中迅速地推广，利用数理統計方法所解決的問題的范围不断地扩展着。

在近几年的期間內，被称为綫性规划的一門新的应用数学部門誕生了并获得广泛地推广。

綫性规划是众所周知的称为运筹学^①的研究方式之一，綫性规划是解决具有綫性关系和綫性限制的一大組所謂极值問題（确定规划或計劃，使所研究的函数达到极大值或极小值）的数学方法的总体。

① ②. 莫尔茲和 B. 金姆別尔，运筹学方法，苏联无綫电出版社，莫斯科，1956。

按照工业的要求为了选择生产組織和生产計劃的最优方案，創立了这門新的应用数学。当許多生产因素互相作用时常常要求解决一些已知数学方法不能解决的实际問題。

由于在苏联、美国、英国和其它国家进行了若干年数学研究的結果，找到了解决这些問題的方法，实际应用这些方法能够提高生产率和节约大量的資財。結果，在短时期內，綫性规划在工业方面就获得广泛的应用。

在大量定貨的条件下，利用綫性规划可以找到冶金設備（或冶金装备）生产能力利用的最优规划，或从經濟观点来看，从大量不同的可能方案中选出最优的运输方案。

利用綫性规划还可以选出黑色和有色金属矿石綜合利用的最优方案，以及确定最优的炉料組成，选出最合理的金属下料方案，解决求最优值方面的許多其它类似的問題。这样一来，綫性规划的基本任务是：建立能保証資源最好的利用和生产过程的最高技术經濟指标的最优計劃。

下述各指标可以作为这个或那个生产方案判別最优性的准則，即設備生产率的增加，完成消費者定貨的期間的縮短，产品成本的降低，产品质量的改善等等。

綫性规划方法的理論相当复杂，但是綫性规划的实际应用并没有特殊的困难，因为基本上化为算术的四則运算及利用专门的一套表格。

但是，在許多情形下，由于所研究的因素数量很大，沒有現代的計算解计算机是絕對不能完成必要計算的。这些计算机的管理維修的費用，而有时这些机器的制造費用在短时期內就由于劳动生产率增长以及縮短鉄路、汽車运输等的节约所超过。

在国外，綫性规划或运筹学在美国和英国都已获得相当广泛的推广，在美国和英国不仅有大量的科学著作和书籍討論这些問題，而且有两个定期刊物（杂志）討論这些問題。在法国、挪威、德意志民主共和国、西德、波兰、匈牙利和捷克斯洛伐克等国家也对与应用綫性规划有关的一些問題进行工作。在外国的技

术文献中提出这样一种意見，即随着綫性规划的建立，“生产管理已經从一門艺术轉变为——一門科学”。

綫性规划解决問題的方法之一——解乘数方法——是在1939年由苏联数学家、教授 Л.Б.康特洛維奇所制定的。在他的著作“生产计划的数学方法”一书中，他对这种方法給出了数学論証，并指出这种方法在許多实际問題中的应用。現在所熟知的“綫性规划”^①这一术语是美国学者 Л.但泽和 T.庫普曼斯在大约晚十年之后提出的。

这样一来，虽然 Л.Б.康特洛維奇的方法未定名为綫性规划，但实质上，这种方法是为解决同样的問題而建立起来的。

在苏联以及在国外，綫性规划教程已作为高等学校的一門課程（以独立的形式或作为相近課程中的一个部分的形式）。这一切都証明，不久前还很少为人知道的，而現在已在工业和运输业中取得越来越巩固的地位的綫性规划方法，已得到广泛而普遍的承认。

① B.C.尼姆契罗夫曾提出建議，将这种方法定名为“最优规划方法”（参看“經濟研究中的数学应用”）苏联經濟出版社，1959，第19頁。

[. 概率論与数理统计学的簡要知識

1. 概率論基本原理①

概率論与其他数学科学不同，它研究随机現象，所謂随机現象是指在某一个初始条件組实现之下可能发生，也可能不发生的現象，即是說，概率論是一門有关随机現象規律性的科学。

例如，从一个装有白球与黑球的罐中，任意随机取球时出現白球的事实，就可以算作这类現象。虽然，在每一个別情形下，随机現象可能发生或不发生，但在大量重复的基础上，就显现出与机会关系很少的，且只由初始条件組所决定的規律性。

概率論的基本概念有：实验（或試驗），事件与概率。实验——这就是一个初始条件組的实际实现；实验的結果就叫作事件。

例如，一位射击手曾进行一系列打靶射击：每一次射击就是一次实验；射击中靶就是一个事件。

事件的一个最重要性质是事件不可能局部地发生：事件或是发生，或是不发生。

概率是在这些或另一些具体条件下，某一确定事件出現的客观可能性程度的定量估計。例如，假設由許多实验結果确定，在一定条件下，射手在每 100 次射击中平均有 80 次中靶，則說在所給定的情形下，击中概率为 80% 或 0.8。

等可能性概念是概率論的基本概念之一。

我們来討論下列例子。

設在某一容器中，放有 10 个大小相等、重量相同的球，用数字 1 至 10 加以标号。将球仔細地攪混且任意随机抽取一个。按

① 参考文献 [1, 2, 3, 4, 5]。

照前面确定的术语，从容器中取球的每一次操作是一次实验，取出确定号码的球的事实——事件。取1号球与取2号球的两个事件是互斥的，因为实现其中之一就不能实现另一个。同时，这两个事件是等可能性的，因为没有根据认为其中某一事件比其他事件出现得更频繁。设有若干具等可能性且彼此互斥的事件，如在给定实验中这些事件内必有一个实现，则这类事件有时称为机会。有利于发生某一事件的机会数目对总的机会数目之比，叫作在一定实验中该事件的概率。

例如，在上述取球的例子中，从容器中取出一个球，问我们取出8号球的概率多大？

因为在所给情形下，我们有由10个互斥的且等可能的事件构成的一个事件群，其中只有一个事件是取出8号球，所以，取出8号球的概率（与从上述10个球中取任一其他的确定号码的球时的概率一样） $p = \frac{1}{10}$ 或10%。

完全显然，任一事件的概率将用自0至1的正数来表示。

在给定实验条件下显然不可能发生的事件，即不可能事件的概率等于零。

另一方面，如在给定实验中，必然发生的事件，则叫作必然事件。显然，必然事件的概率等于一。至于概率值 $p=0.5$ 则表明，事件的发生与不发生是同等可能的。概率大于零而小于一的事件，就原意说叫作随机事件。在概率论的实际应用中，很少的概率就看作是实际上的不可能性，而接近于一的概率就看作是实际上的必然性。

现在来讨论经过一些改变的例子。

设在某一容器中盛有大小相同的10个球，按颜色区分为：5个白球，4个红球，1个黑球。任意随机取一个球，则取一定颜色的球的事件满足等可能性和互斥性的条件。

现在来确定随机任意取的一个球为白球的概率。这个概率可以用下列数字表示：

$$p = \frac{5}{10}.$$

取出的一个球，或是为白球，或是为黑球的概率，显然等于：

$$p = \frac{5}{10} + \frac{1}{10} = \frac{6}{10}.$$

这个例子可以作为例証說明所謂概率加法法則（对于互斥事件）。

概率加法法則 若干互斥事件中出现一个事件的概率，等于这些事件的概率之和。

設将某一事件 A 表示为若干互斥方案 ($A = A_1 + A_2 + \dots + A_s$)。这时，事件 A 的概率等于事件 $A_1, A_2, \dots, A_s$ 的概率之和，即

$$p(A) = p\left(\sum_{i=1}^s A_i\right) = \sum_{i=1}^s p(A_i).$$

如果实验时在一组事件中至少必须实现其中一个事件，则这组事件就叫完备事件群。如果完备事件群中只包括两个互斥事件，则这两个事件叫作对立事件。

显然，构成完备事件群的各互斥事件概率之和等于一。对立事件概率之和，同样也等于一，换句话说，事件的概率等于一减对立事件的概率。

现在来讨论由若干简单事件重合所构成的复杂事件的概率。

設在某一工厂产品中废品占 3%，而在合格产品中一级品占 90%。需要确定，随机任意取一件零件恰为一级品的概率。显然，这个事件可以看作是由两个相继发生的简单事件重合所构成的一个复杂事件：首先，所取的零件应该是从合格产品中取出的，其次，它应该是从合格产品中一级品的那一部分中取出的。

所取零件是合格产品，而不是废品的概率为 $100\% - 3\% = 97\%$ 。

由于一级品的数量为 90%，即所求概率为：