

高等学校教学用书

选煤工艺 试验研究方法

周振英 编
刘炯天

XUANMEIGONGYI

SHIYANYANJIUFANGFA

中国矿业大学出版社

高等学校教学用书

TD94
28
3

选煤工艺试验研究方法

周振英 刘炯天 编

621.24

中国矿业大学出版社

021.2 B 792812

内 容 提 要

本书概括介绍煤炭及其主要伴生矿产可选性研究的基本方法,对试样的采取和制备、煤质特性研究、试样工艺性质测定及试验、重选和浮选试验方法进行了详细的阐述。

书中还以数理统计理论为基础,介绍了试验方案设计和试验结果处理的基本方法,并对试验误差的分析和试验精度的估计给予了概要地说明。

本书是煤炭高等院校选矿工程专业本科生教材,亦可作为研究生和专科生的教学参考用书。本书有较广泛地适用性,可供有关选煤技术人员参考。

责任编辑 黄 维

高等学校教学用书
选煤工艺试验研究方法
周振英 刘炯天 编

中国矿业大学出版社出版发行

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/16 印张18.375字数479千字

1991年5月第一版 1991年5月第一次印刷

印数1—3000册

ISBN 7-81021-435-7

TD·88

定价: 4.75元



前 言

本书是根据高等学校选矿工程专业（煤炭类）教学计划和“选煤工艺试验研究方法”课程教学大纲编写的。

“选煤工艺试验研究方法”是为抉择选煤技术提供可靠信息的重要手段。本书以科研工作一般过程为线索，以煤炭及煤系主要伴生矿产为研究对象，介绍有关煤的可选性研究的基本知识、基本理论、基本试验技术和试验结果的处理方法，并借助具体的实验室系统试验研究任务，培养学生初步的研究工作能力和科学素养。为此，编写本书时，不仅考虑了课堂教学的要求，而且也考虑到学生进行科研实践时，对“实验指导书”的需要。

本书继承了王祖谟教授讲授“研究方法”的授课体系，并以1981年中国矿业大学选矿教研室编《选煤试验技术》讲义为基础，根据多次使用情况改编而成。编写时，注意到与先修课的联系，本书着重综合运用先修课的知识解决试验研究过程中可能遇到的技术和方法问题。力求作到体系完整、概念清晰、便于自学。在编写本书时，先后得到了本校王祖谟、陈清如、张荣曾三位教授的热心指导；在编写《选煤试验技术》讲义时，中南矿业大学许时教授和孟书青副教授给予过坦诚帮助，黑龙江矿业学院李玉明教授提出过宝贵意见；还得到了有关研究、设计单位和本校综合系及选矿教研室有关同志的大力支持；书中引用了一些国内外有关著作的实例和资料，在此一并致以衷心的感谢。

本书由中国矿业大学选矿教研室周振英（第一、二、三、四、五、六、九章）和刘炯天（第七、八章）编写。全书由周振英负责主编和统校。由于水平所限，书中缺点、错误及不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

1990年元月

序

我国高等学校目前的选矿工程专业是在50年代初期教学改革时，从原来以英美学制为模式的矿冶工程分支发展而成的。当时这个新专业的课程设置特点是把过去《选矿学》一门课细分为很多专门课程，体现了生产发展对培养专门科技人材的需要。更为突出的是，在高年级设置一门以实验为主的《矿石可选性研究》课和以工厂设计为内容的毕业设计这一教学环节。随着时间的推移，为了适应我国工业和教育管理体制的格局，选矿工程专业的课程设置不断变化，例如，专业课程的分与合，专业教学内容是广义的选矿或是偏重于不同矿种的选矿，个别专业课教学内容提高为选修课，毕业设计内容缩小与扩大或者代之以具有科研性质的试验研究课题，等等。这样的变化与调整今后恐怕仍将不断进行。但可以指出一点，以矿石可选性试验研究为基本内容的这门课一直是存在的，尽管它的名称也是变化多端。究其原因可能如下，这门课主要是系统的实验研究，给学生宽阔的余地去综合运用从各专业课学得的知识 and 技能。这门课的学习活动是对实体客观的变革，要求从中得出结论，也就是理性认识，能够充分发挥学生的主观能动性；因而这门课的主要作用不是知识的摄入而是能力的培养与发挥。学生在开始学这门课的时候，“学”的成份占多数，后来很自然地具有工作感、责任感并逐渐浓厚，进而要把它当做一件任务去完成；这是在教师的指导下从学习走向工作的一种很好的过渡。对该课程的这些功能，在不同时期，不同教师可能有不同的认识，但它与选矿工程是一门实验性很强的学科这个现实是始终都分不开的。环顾西方各国的高等矿业教育，并不见设置有类似的课程；有之，也是个别大学列为研究生课程。应该说，这门课的设置与它的作用的发挥是我国选矿工程教育成功的经验。

作为这门课最早的教材，是50年代初期苏联米特洛法诺夫编著的《矿石可选性研究》。该书的内容与编排主要是罗列各种实验方法和使用的仪器、设备。以后，该书经过增订再版，内容有所丰富，但格局和基调改变不多，它是选矿工程技术人员较好的工作手册。我国选矿教育工作者鉴于这是一门实验研究课程，都极力在自己的教学实践中把数理统计和实验设计的内容揉合在这门课程里，取得不少成绩。这些成就综合地反映在许时教授编著出版的教科书《矿石可选性研究》中。这标志着这门课程已发展到高的层次，对选矿工程教育起到重要作用。

这门课程原来之所以冠以“矿石”二字，通常的含义是指各种金属矿产和非金属矿产。这些矿种往往不经过选矿加工就不能成为有用的资源，因而这些矿石的可选性研究是十分重要的。煤炭一向是作为燃料而出现的，它的选与不选只影响成品的质量，但仍不失其为燃料被使用。煤炭原本是可以归类于非金属矿产的，矿石可选性研究的原则和内容是可以用于研究煤炭的可选性的。但煤炭是一种有机矿产，具有很多特殊性，“矿石”可选性研究的方法总感不足。目前习惯将煤炭与石油和天然气等归类为化石燃料。作为燃料，煤炭是其中最不“洁净”的。科学技术和工业的发展，使石油和天然气不再仅是燃料了，而是宝贵的化工原料。世界上探明储量中，煤炭远超过石油和天然气，我

国尤甚。因此，煤炭面临着自身和燃用过程的“洁净化”，也面临着更多地作为化工原料倾向。于是煤炭的可选性就不是简单地指它的粒度组成和密度组成。本书作者从发展的眼光，考虑到煤炭加工与利用的各种特殊性，把我国煤炭科技成就与《矿石可选性研究》的内容揉合在一起，成书为《选煤工艺试验研究方法》，填补了煤炭高等院校教材的空白。世界与我国的煤炭年产量均超过其它矿产采掘量的总和。仅此事实足以说明本书编写与发行的重要意义。

本书作者多年从事本课的教学工作，对课程内容与编排、实验的要求与组织、教学和实验的辅导，进行了不断探索，不断完善。一项试验研究工作，从制订研究计划开始、到试样的制备、具体的试验、数据处理以及最终报告的编写，都有一个如何运用原则，进行观察与分析 and 正确地总结等问题；也还有一个如何运用实践与认识不断循环与深化这个规律的问题。作者在这方面把多年积累的经验反映在本书各处，尽管篇幅不多，但非常重要。可以说，这是本书的一大特点，它将有助于发挥本课在选矿教育中的功能。对于使用此书、行将走向工作岗位的高年级学生，希望他们意识到这样的道理：学习内容不一定在多、不一定在深，通过本课程的实践环节掌握了判断与思考方法，这才是质量之所在。对于已经参加工作的选煤科技人员，本书也是很好的参考工具和导向指南。

王祖訥

1990年5月1日

目 录

第一章 选煤工艺试验研究方法概述	(1)
第一节 选煤工艺试验研究的任务和内容.....	(1)
第二节 选煤工艺试验研究的工作程序和试验计划.....	(3)
第三节 对选煤工艺试验研究工作的基本要求.....	(4)
第二章 统计检验	(6)
第一节 几个基本概念.....	(6)
第二节 变差的数量表示.....	(7)
第三节 统计检验.....	(12)
第三章 试样的采取和制备	(15)
第一节 概述.....	(15)
第二节 煤田、煤层采样.....	(28)
第三节 选煤厂及矸石山的取样.....	(32)
第四节 研究前试样的制备.....	(37)
第四章 煤炭及其伴生有用矿产的利用回收方案	(45)
第一节 概述.....	(45)
第二节 煤质特性研究的内容和程序.....	(47)
第三节 煤质特性研究方法简介.....	(50)
第四节 煤的分类及利用方案.....	(67)
第五章 试样工艺性质的测定	(75)
第一节 粒度分析.....	(75)
第二节 密度分析及可选性评定.....	(92)
第三节 煤的可碎性和碎选性研究.....	(103)
第四节 煤和矸石的泥化性研究.....	(104)
第五节 煤泥的可浮性.....	(106)
第六节 煤泥水沉降特性测定.....	(109)
第七节 煤泥过滤特性的测定.....	(118)
第八节 摩擦角和安息角的测定.....	(126)
第九节 重介质磁性物含量的测定.....	(126)
第十节 硬度系数 (f 值) 的测定.....	(127)
第十一节 可磨度的测定.....	(127)
第六章 试验方法	(133)
第一节 概述.....	(133)
第二节 单因素试验方法.....	(136)
第三节 正交试验方法.....	(145)

第四节	多因素序贯试验法	(168)
第七章	重选试验	(179)
第一节	概述	(179)
第二节	重选试验流程	(180)
第三节	重选试验设备	(186)
第四节	重选试验操作	(195)
第五节	重选试验结果	(205)
第八章	浮选试验	(207)
第一节	概述	(207)
第二节	浮选试样的采取与制备	(208)
第三节	浮选机及浮选试验操作	(210)
第四节	浮选试验	(216)
第五节	矿浆性质及浮选机性能的测试	(222)
第九章	试验结果的处理	(226)
第一节	试验结果的精确度	(226)
第二节	有效数字及其运算规则	(227)
第三节	试验结果的整理与审核	(229)
第四节	试验结果的评价	(232)
第五节	试验结果(数据)的表示法	(239)
第六节	试验研究报告的编制	(256)
附 录		(259)
附录 1	国际原子量表	(259)
附录 2	矿物表	(260)
附录 3	各国试验筛筛孔尺寸现行标准	(270)
附录 4	t 分布表	(273)
附录 5	F 分布表	(274)
附录 6	相关系数 r_a 表	(278)
附录 7	常用正交表	(279)
主要参考文献		(284)

第一章 选煤工艺试验研究方法概述

煤炭，主要是由古代植物演变而来的。它具有多种煤岩成分，是一种黑色的，非均质的固体有机可燃矿产。它既是主要的能源，又是冶金、化工、建材等工业的重要原料。因此，选煤的任务是将煤炭按需要分成不同质量、规格的产品。将开采出的原煤，通过机械分选加工得出不同质量、规格产品的过程，称为选煤工艺过程。

第一节 选煤工艺试验研究的任务和内容

选煤工艺试验研究的基本任务，是合理解决煤炭资源的工业利用问题。与之相关的选煤试验研究课题，主要包括以下几类：

- (1) 选煤工艺试验研究，侧重于研究煤质及其可选性；
- (2) 选煤新工艺、新设备和新药剂的研究，侧重于研究煤炭分选加工的条件；
- (3) 选煤基础理论的研究，侧重于揭示不同性质的颗粒或介质，在分选过程中的运动规律，以及实现分选的机理。

在实际研究工作中，上述三类课题是互相联系，又相互促进的，其中第一类课题是经常性的。

选煤工艺试验研究，是指通过对煤炭(包括煤系伴生矿产)进行系统的物质组成分析和分选工艺试验，研究煤质特征，并对其进行分类；评价煤的可选性；推荐合理的产品结构、产品用途、分选方法、工艺流程、工艺条件；提供可能达到的工艺指标，以及整个工艺过程中的单项技术试验和产物工艺性质的测定结果。

煤的可选性，通常是指在现阶段选煤技术水平上，煤岩组分(或伴生有用矿物)含量不同的煤粒之间，或与煤矸石(以无机质为主的煤系岩块)之间，依靠其物理的、物理化学的、或化学性质方面的差别，按照用户对产品提出的质量要求，分选出质量合格产品的难易程度。

实现煤炭资源的工业利用，需要经过找煤勘探、设计施工、工业生产三个阶段，每个阶段都需要进行选煤工艺试验。各阶段对试验要求的深度和广度有所差别，现分述如下：

一、找煤勘探工作中的煤质及可选性研究

煤田地质勘探工作的主要任务，是正确评价煤田的价值，为工业建设提供可靠的煤炭资源资料。评价煤田的价值，不仅取决于矿产资源的多少，而且必须考虑它在工业上加工利用的可能性。为此，根据我国《煤炭资源地质勘探规范》(1986年)的要求，在找煤勘探工作中必须包括对各煤层及其围岩采取试样，进行煤质分析及可选性试验。

煤田地质勘探工作是分阶段逐步深入的，各阶段所提供的资源资料要求对煤质和伴生有益矿产了解的深入程度是有差别的，详见表1-1。

表 1-1 地质勘探各阶段对煤质调查要求的深度

阶段	勘探资料的作用	对煤质及其他有益矿产调查要求的深度
找煤	计算D级储量	对工作区内各煤层的成因类型、煤类和主要煤质特征,以及其他有益矿产情况作初步了解;
普查	计算C+D级储量;提供煤炭远景规划资源资料	进一步研究成煤的原始物质,煤岩组成和煤的成因类型,全面分析(包括风化、氧化带)煤的各项物理、化学指标,初步确定煤类,并了解其他有益矿产的赋存情况;
详查	计算B+C+D级储量;提供矿区总体设计资源资料	重点是全面研究矿区内可采煤层的煤质特征及变化规律,研究煤的变质因素和煤类分布规律,并对煤的利用方向作出评价;初步评价其他有益矿产有无工业价值;
精查	计算A+B+C级储量;提供矿井和选煤厂设计的资源资料	在查明可采煤层煤质特征及其变化规律的同时,着重研究煤的可选性和工艺性能,评价煤的各种工业用途,评价煤矸石,煤灰渣的综合利用方向。 详细了解具有工业价值的其他有益矿产的品位、厚度和分布范围,并作出评价。

【注】 储量分级

在煤田普查与勘探中,由于不同阶段或同一阶段不同块段,对煤层、地质、地质构造、开采技术条件的研究与查明程度不同,所计算出来的煤炭储量的可靠程度也有所不同。不同精确度的储量,提供的工业用途也大不相同。因此,必须将储量分为不同等级,以便确定全国统一的衡量煤炭储量的尺度。按勘探研究程度,将煤炭储量分为A、B、C、D四级。其中A级和B级称为高级储量。

A级 由较密的勘探工程控制和详细的地质研究所圈定的储量,是煤矿建井设计的依据。A级储量条件如下:

- (1)煤层层位、厚度、结构及其变化情况已经查明,煤层对比可靠;
- (2)煤质及其变化情况和煤种已经查明;
- (3)煤层产状已经查明。煤层底板等高线已控制,落差等于和大于30m(地质条件好的地区为20m)的断层已经查明,对于倾角小于10°的煤层其较大的波状起伏已基本查明;
- (4)岩浆岩对煤层、煤质的影响已经查明。

B级 由系统的勘探工程控制和详细的地质研究所圈定的储量,也是煤矿建井设计的依据。B级储量条件如下:

- (1)煤层层位、厚度、结构及其变化情况已基本查明,煤层对比可靠;
- (2)煤质及其变化情况已基本查明,煤种已经查明;
- (3)煤层产状已经查明,煤层底板等高线已基本控制,落差等于和大于50m的断层已经查明;
- (4)岩浆岩对煤层、煤质影响已初步查明。

C级 用一定的勘探工程所控制的储量,或由A、B级储量块段外推的储量,可作为小煤矿设计的依据;配合A级和B级储量可作为大、中型矿井设计的依据。C级储量条件如下:

- (1)煤层层位、厚度及变化情况已初步查明,煤层对比基本可靠;
- (2)煤质和煤种已初步查明;
- (3)构造及煤层产状已初步查明。

D级 根据地质测量或地面物探方法确定的煤层分布范围,用山地工程揭露或少数钻孔控制,对煤层层位、厚度、煤质、煤层产状、构造等均有初步了解所计算的储量。D级储量可作为煤矿建设远景规划的依据;配合C级储量也可作为小煤矿设计的依据。

在勘探过程中研究煤的可选性,主要是利用钻孔岩芯或可采煤层煤样,进行筛分、浮沉试验,简易可选性试验和煤层可选性试验,根据中煤含量法评定的可选性,划分煤的可选性等级;此外,为了研究洗煤时,泥质岩石遇水泥化对精煤回收率和精煤灰分的影响,还应采取伪顶、伪底和夹矸的泥质岩石,进行泥化(地质上称可溶性)试验。

根据煤田地质勘探数据和钻孔岩芯煤样,以及对可采煤层煤样的分析结果,汇总各级储量的数字,绘制地层柱状图,编制煤田地质勘探报告,对煤田的价值作出评价。

二、选煤厂设计前对煤炭进行的选煤工艺试验研究

设计前, 首先对选煤厂供煤矿井(或煤层)所采取的生产大样进行煤炭的选煤工艺试验, 它是选煤厂设计的主要技术依据, 同时, 在试验的深度、广度、精度方面, 应满足选煤厂设计的要求。通常该试验包括:

(1) 对原料煤进行工业分析、元素分析、煤岩成分以及矿物岩石鉴定、灰成分分析等, 确定煤的牌号、工业用途及分选加工或综合利用的任务(如: 降灰、脱硫、提高热值、富集某些有益元素、分级等)。

(2) 对原料煤进行筛分、浮沉试验、大块煤碎选、中煤破碎、煤和矸石泥化、煤泥浮选和煤泥水沉降、过滤等试验。为确定选煤方法, 流程结构, 选别工艺条件, 选别指标、产品方案以及计算流程、选择主要工艺设备、进行经济技术方案比较, 提供理论依据。

(3) 为满足选煤厂储、装、运辅助环节设计的要求, 往往还要对原料煤和一些产品的物理机械性能参数(如煤的真密度、视密度、散密度、摩擦角、安息角等)进行测定。

(4) 对其它有益矿物或元素(如: 菱铁矿、褐铁矿、黄铁矿、耐火粘土、铝土矿、油页岩、石膏、石灰石以及锗、镓、硒、钍、铀等)如其含量高又有回收价值的, 还可做相应矿物综合回收工艺试验, 提供回收这些有益矿物的工艺设计资料。

(5) 为了对设计可能选取的一些新的选煤方法、新设备, 或对特殊煤种的选别提供工艺参数和分选指标, 往往需要在小型试验室试验的基础上, 进行试验室连续试验、半工业性及工业性试验, 了解在连续生产条件下所出现的情况。

三、为强化现场生产过程而进行的专题性试验研究

通常这类试验包括:

(1) 常规的现场工艺流程、操作制度的考查、设备性能试验和查明影响某一部分选煤过程或机械操作的工艺因素方面的试验;

(2) 选煤厂投产之后, 常常遇到入选煤质的变化, 或用户对产品质量要求的改变, 为了适应新情况, 而导致现场工艺流程的改革。在改革前, 往往要对原煤或某些中间产物进行选煤工艺试验;

(3) 研究或引用新的工艺、流程、设备或药剂、以及资源综合利用、产品深度加工、环境保护和治理方面的专题。

第二节 选煤工艺试验研究的工作程序和试验计划

一、选煤工艺试验研究的工作程序及试验规模

选煤工艺试验研究的工作程序大致如下:

(1) 由委托单位提出研究任务、说明试验要求, 往往以任务书、协议书的形式表达;

(2) 在调查研究的基础上, 初步拟订工作计划, 进行试验筹备工作。包括查阅有关文献资料, 人员组织和物质条件的准备, 配合地质部门和委托单位确定采样方案;

(3) 采取和制备试样;

(4) 进行煤质分析和煤炭物质组成的研究, 并拟订试验方案;

(5) 按照试验计划进行试验;

• • •

(6) 整理试验结果, 编写试验报告。

选煤工艺试验研究按试验的规模可分为:

(1) 试验室试验。其特点是试验规模小, 设备一般是实验室型的, 试料需要量少, 易混匀, 试验操作基本上是分批的, 易于控制, 可以允许在较大范围内进行广泛的探索。因此, 试验室试验是各项试验的基础。

(2) 半工业性试验。半工业性试验一般在专门建立的半工业试验厂或车间中进行。它与试验室相比, 其特点是设备尺寸较大, 能较好地模拟工业设备, 试验基本上是连续的(可以是全流程或局部作业, 也可以是单机试验), 试验过程能在已达到稳定的情况下运转一定时间, 验证试验流程方案, 并取得近似于工业生产的技术经济指标。此外, 还能查明和确定在试验室条件下无法查明和确定的一些因素和参数, 如: 设备型号、工艺参数、消耗定额等。

(3) 工业性试验。工业性试验是在专门建立的工业试验厂或利用已生产厂家的一个系统、甚至全厂进行的局部或全流程的试验。由于其设备、流程、技术条件与生产或今后的设计基本相同, 故其技术经济指标和技术参数比半工业性试验更为可靠。

试验的规模在一定意义上反映了试验模拟工业生产的近似程度, 所以也把它当作划分试验阶段的依据。

有关实验任务书、试验计划、试验报告等通常都必须通过一定的组织程序审查批准。若需扩大规模进行下一阶段的工作, 则应在前一阶段试验报告经过有关部门审查批准或组织鉴定之后再进行。凡采用尚无使用过的新技术, 必须坚持“一切通过试验”的原则, 取得技术鉴定资料, 并由设计单位认为是可靠的, 才能在设计中采用。

二、试验计划的拟定

在试验工作开始之前, 首先要拟定试验计划。其目的是使整个试验工作研究方向明确, 并有步骤有计划的进行, 以节省人力、物力和时间, 收到较好的效果。

试验计划应包括下列内容:

- (1) 试验的题目、任务和要求;
- (2) 试验方案的选择, 应考虑可能遇到的问题和预期结果;
- (3) 试验的内容(项目)、步骤(顺序)和方法, 以及各项试验的工作量和完成日期, 可以采用日程表的形式给予表示;
- (4) 人员组织和所需要的物质条件, 包括仪器设备、材料和经费等;
- (5) 需要其他专业人员配合进行的项目和工作量, 如煤岩鉴定计划、煤质分析计划等。

显然, 试验计划的核心是试验方案, 当试验方案确定之后, 才能估计出试验工作量以及所需人力和物力。当然, 如果要求预定的方案和计划在试验过程中毫无改变这是不可能的, 因为在试验过程中总会出现一些预计不到的情况, 需要修改原有的试验方案和计划, 然后再按照修订后的试验方案和计划进行试验, 这样做是允许的, 也是合理的。

第三节 对选煤工艺试验研究工作的基本要求

选煤工艺试验研究, 是一种科学试验活动。为了充分发挥试验研究工作的作用, 深

刻理解科学试验的特点是十分必要的。它与工业生产相比，科学试验通常具有以下特点：

(1) 科学试验活动一般是在缩小规模的条件下进行的。它是通过科研对象的样本研究其总体；或通过科研对象的模型研究其原型。这就要求样本对总体、或模型对原型要有足够的代表性，并且在试验过程中，始终保持这种代表性。

(2) 在科学试验活动中，人们可以根据研究目的的需要，设计试验条件，例如：突出主要因素，把复杂的事物分解成几个简单因素逐个考察；使自然现象的过程延缓或加速来控制 and 变革自然过程，揭示事物内部矛盾运动的规律。

(3) 在科学试验活动中，人们可以根据已经掌握的科学理论为指导，探索超越现有生产实践发展水平的新方法、新途径。

为了能从大量的试验资料（包括数据和现象）中引出正确的结论，试验工作应遵循下列要求：

(1) 作为一次成功的试验，其最基本的条件是能再现，也就是在相同的条件下，可以重复出现既得的结果；

(2) 对试验工作的全部细节，要作详细如实的记录，在整个工作过程中，要建立严格的记录和资料档案制度；

(3) 必须用统计学的观点整理分析数据。这是因为数理统计是解决如何从样本，来估计总体的数学方法，它能给出这种估计的可信程度；

(4) 对科学试验中出现的异常结果，应细心地分析，追究造成异常的原因，是偶然的，还是必然的。因为在这种异常的背后，往往会隐藏着未发现的新线索。

第二章 统计检验

在研究量变现象的试验过程中,所获得的试验或检测结果经常是一组量值大小参差不齐的特征指标(煤质、效率、待察参数等),通常称为数据。为了对试验或检测结果做出确切的结论,须利用数理统计方法,对待考察特征指标的量值及其离散性进行估计,并在一定的意义前提条件下,对数据间存在差异的属性进行识别,这就是统计检验。

第一节 几个基本概念

一、试验数据和变差

试验数据 一般是指在具体试验条件下获得某特征指标的一个或一组检测值。

变差(或总变差) 是指一组参差不齐的试验数据之间的差异。变差产生的原因可能有条件变差和试验误差两种。

条件变差 系指由于试验条件的改变(泛指不同的处理,如流程、设备、工艺条件)而引起的试验结果间的必然性差异。

试验误差 系指试验结果的不准确性。按其性质和产生的原因又可分为过失误差、系统误差和随机误差。

二、真值和样本平均值

真值 指被检测某对象的客观真实值,它只是一个理想的概念。在科学试验中,真值的定义是在不存在过失误差和系统误差的条件下,对被检测对象进行无限次检测结果的平均值,也称为总体平均值,用 E_μ 表示。实际上,测定总是有限的 n 次,该有限 n 次测定结果,只是总体中的一个样本。人们经常是用样本推断其总体。

样本平均值 $\bar{E}$ 是总体平均值 E_μ 的估计值,称为近似真值,亦可记作 $\hat{E}_\mu$ 。当 $n \rightarrow \infty$ 时, $\bar{E} \rightarrow E_\mu$,随着 n 值的增大,这种估计更加可靠。

若各单次测定值是等精度的,则样本平均值是简单的算术平均值,为

$$\bar{E} = \hat{E}_\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (2-1)$$

若各单次测定值的精度不完全相等,则应采取加权平均值作为样本的平均值

$$\bar{E} = \hat{E}_\mu = \frac{1}{\sum_{i=1}^n P_i} \sum_{i=1}^n P_i E_i \quad (2-2)$$

式中 P_i ——第 i 个测定值所占权数,

E_i ——第 i 个测定值,

n ——样本中测定值个数。

三、绝对误差和相对误差

绝对误差 是测定值与其真实值的偏差,并以绝对值表示,记作 Δ_i ,

$$\Delta = |E - E_{\mu}| \quad (2-3)$$

相对误差 是绝对误差与真值的比值, 记作 ε 。

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{E_{\mu}} \times 100\% \quad (2-4)$$

由于真值难于测定, 实际上常用样本平均值代替真值计算绝对误差和相对误差。

绝对误差与被检测量的因次和单位相同, 相对误差是无量纲的。相对误差的大小不仅与绝对误差的大小有关, 而且与被测定值的大小有关。在评定测定结果的准确度或比较各种测定结果的精度时, 采用相对误差更方便些。

四、精密度和准确度

精密度 是指对同一检测对象进行测定, 各测定值重现性的好坏。重现性愈好, 其精密度愈高。

准确度 是指单次测定值或多次测定值的平均值与真值符合的程度。两者之间差值愈小, 则准确度愈好。

五、过失误差、系统误差和随机误差

过失误差 (也称粗差) 是指明显与事实不相符的误差。这是由于工作粗心、操作失误或试验条件出错等原因所造成的, 如读错、记错、算错数据, 做错了试样, 操作或仪器以及试验条件突然发生变化等引起的。

试验中不允许出现过失误差, 含过失误差的数据被称作异常值 (也称坏值)。对坏值必须剔除。

系统误差 (也称恒定误差) 是指在实际上偏离了规定的检测条件下, 多次测定同一被测对象时, 其误差的绝对值和符号保持恒定; 或当检测条件改变时, 误差按某一确定的规律变化的误差。系统误差是由某几个当时未被发现或认识的可控因子引起的。如检测器具不准确, 各种环境因素与要求的标准状态不尽一致; 检测器具或被检测对象随时间、空间、温度等按确定的规律变化; 不同试验方法之间的偏差, 以及实验人员的习惯等都可能引起系统误差。

系统误差决定着测定结果的准确度。含系统误差的数据, 始终偏离真值, 因此, 不允许系统误差存在。可以通过试验前对仪器和试验系统调试、标定, 试验中控制环境因素影响, 或通过修正补偿等方法消减系统误差。

随机误差 (也称偶然误差) 是指在实际试验条件下, 多次测定同一被测对象时, 绝对值和符号的变化, 时大时小, 时正时负, 而且其大小和方向是不可预定的误差。它是由一些来源不十分清楚的微小的不可控因素共同影响导致的。如各项试验条件、检测条件的微小波动等。

随机误差决定着测定结果的精密度, 它反映重复试验测定值的离散程度。随机误差是不可避免的, 但是可以通过统计方法识别它, 并估计出随机误差的界限, 或称作极限误差。

第二节 变差的数量表示

对一组参差不齐的试验数据, 必须通过数学处理, 才能获得明确的信息。一般是用

数据的离散程度来描述变差的大小。对重复试验而言，一组试验数据的离散程度反映了试验误差的大小；对条件试验而言，一组试验数据的离散程度主要是反映变更试验条件引起的变差（条件变差 + 试验误差）。条件变差和试验误差虽然含义不同，但其数量表示方法却是一致的。下面以纯属重复试验的一组试验数据为例，分别介绍常用的几种变差度量方法。

〔例2-1〕 设某厂对旋流器的分级效率作了8次测定，其结果如下：

序号 <i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
分级效率 E_i (%)	60	61	64	59	56	66	60	62

这8个测定结果，是长期生产指标总体中的一个样本。样本平均值 $\bar{E}$ 是总体平均值 E_μ 的估计值，或者写作 $\hat{E}_\mu$ 。按式（2-1），对本例求 $\bar{E}$ 。

$$\bar{E} = \frac{1}{8} (60 + 61 + 64 + 59 + 56 + 66 + 60 + 62) = 61\%$$

数据的离散性或变差，可利用下列各种方式进行度量。

一、极差法

极差（范围误差） R ，是直接用数据中最大值 $E_{\max}$ 和最小值 $E_{\min}$ 的差值度量变差

$$R = E_{\max} - E_{\min} \quad (2-5)$$

将实例数据代入可得

$$R = E_6 - E_5 = 66 - 56 = 10\%$$

极差表示法的优点是简单。缺点是没有充分利用数据所提供的全部信息，因而反映实际情况的精确度较差。

二、离差法

样本中某单个数据 E_i 对总体（或样本）均值的偏差称为离差。对总体均值 E_μ 的离差 Δ_i 为

$$\Delta_i = E_i - E_\mu \quad (2-6)$$

对样本均值 $\bar{E}$ 的离差 d_i 为

$$d_i = E_i - \bar{E} \quad (2-7)$$

将数据代入后算得结果如下：

序号 <i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
离差 d_i (%)	-1	0	+3	-2	-5	+5	-1	+1

离差法能给出每个数据对样本均值的离散程度，但不能用单值概括一组数据的离散特征。

三、算术平均离差法

算术平均离差（算术平均误差） δ ，是样本中各个数据离差绝对值的算术平均值。

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n |d_i|}{n} \quad (2-8)$$

将本例数据代入可得

$$\delta = \frac{1}{8} (1 + 0 + 3 + 2 + 5 + 5 + 1 + 1) = 2.25\%$$

取绝对值是为了避免正负离差在计算中相互抵消而显现不出。算术平均离差可以较好地反映出一组数据的平均离差大小,但不能反映出数据的离散程度。因为一组具有中等离差的数据同另一组具有大、中、小三种离差的数据,其算术平均离差可能等值,而离散程度并不能认为相同。

四、标准离差法

标准离差简称标准差(标准误差或均方根误差) σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \bar{E})^2}{n}} \quad (2-9)$$

σ 是总体标准误差。它与真值的情况类似,总体标准误差是难以计算的,须用样本标准误差 S 来估计,可写作 $S = \sigma$ 。

$$S = \sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \bar{E})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{SS}{f}} \quad (2-10)$$

当样本中的个体数 n 增大时, $(n-1)$ 将接近于 n ,估计值 σ 的精密度将得到提高。当 $n \rightarrow \infty$ 时, $S \rightarrow \sigma$,即当个体数无限多时,样本就变为总体。

1. 离差平方和 SS

式(2-10)中,分子项是离差平方和,常以符号 SS 表示

$$SS = \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2 \quad (2-11)$$

将本例数字代入式(2-11)得

$$SS = 1 + 0 + 9 + 4 + 25 + 25 + 1 + 1 = 66$$

式(2-11)是离差平方和的定义式,为了简化计算过程,避免过大的累积计算误差,可不必先求出各点的离差 d_i ,而直接由 E_i 和 $\sum E_i$ 求 SS 。式(2-11)可转化为

$$SS = \sum_{i=1}^n E_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n E_i\right)^2}{n} = \sum_{i=1}^n E_i^2 - \frac{(E_T)^2}{n} \quad (2-12)$$

在进行离差平方和计算时,可利用下述两条运算法则简化其计算

- 其一,每个数据加(减)同一个数 a (最好使 a 接近于 $\bar{E}$),所得 SS 值不变;
- 其二,每个数据同乘(除)一个数 a ,所得的 SS 值将相应增大(或缩小) a^2 倍。

2. 自由度 f

式(2-10)中,分母项 f 是测定数据的自由度,对总体而言, $f = n$,对样本而言, $f = n - 1$ 。自由度可理解为变数独立值的数目,换个说法即是样本所含的数据个数减去所受的约束条件数。这里 $\sum d_i = \sum (E_i - \bar{E}) = 0$,就是一个约束条件,如受此条件约束,离差 d 的独立值的个数只能是 $n - 1$,而不是 n 。

3. 均方 MS

式(2-10)中 $\frac{SS}{f}$ 称平均变差平方和或简称均方。常用 S 或 MS 表示

$$MS = \frac{SS}{f} = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1} \quad (2-13)$$