

SQC-8

统计质量控制

STATISTICAL QUALITY CONTROL

抽样检验

Sampling Inspection

陈国铭 主编

张祖荫

邱以玲 编

中国石化出版社

SQC-8

统计质量控制

STATISTICAL QUALITY CONTROL

抽样检验

Sampling Inspection

陈国铭 主编

张祖荫 邱以玲 编

中国石化出版社

(京) 新登字 048 号

内 容 提 要

本书系《统计质量控制》丛书之八《抽样检验》。主要包括三个部分的内容：第一，系统介绍了抽样理论与方法，抽样误差估计，检验计划及抽样检验方案选择的一般指导；第二，分类介绍各种计数抽样方案的设计原理及其应用；第三，平均值及不合格品率标准型和调整型计量抽样方案设计及其应用。本书采用较多图表和实例说明抽样检验方法在石油化工企业中的应用。

本书主要读者对象是企业质量管理干部、质量检验人员及工程技术人员。

SQC-8

统计质量控制

STATISTICAL QUALITY CONTROL

抽样检验

Sampling Inspection

陈国铭 主编

张祖荫 邱以玲 编

*

中国石化出版社出版发行

(北京朝阳区太阳宫路甲 1 号 邮政编码：100029)

煤炭工业出版社印刷厂排版

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

850×1168 毫米大 32 开本 16¹/₂ 印张 4 插页 443 千字印 1—6400

1995 年 3 月北京第 1 版 1995 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-80043-561-X/O · 026 定价：17.00 元

中国石油化工总公司质量管理协会组织编写

生产技术顾问：张德义

统计技术审核：王经涛

主 编：陈国铭

副主编：张祖荫 郭耀曾

编 委(按姓氏笔划)：李世英 陈国铭 杨丽春

张祖荫 饶上建 郭耀曾 崔廷铨

其他编辑校核人员：万 涛 刘秋萍 吕巧云

邱以玲 田从金

序 言

为了适应国际贸易往来和经济合作的要求，国际标准化组织经过十多年的努力，于1986年和1987年相继正式发布ISO8402《质量——术语》标准和ISO9000质量管理和质量保证系列标准，将世界多年质量管理的经验进行了标准化。ISO9000系列标准的基本点是要求企业在生产过程中建立有效的质量保证体系，并对质量体系中相互关联、相互作用的若干要素进行有效的控制。在过程质量控制中，科学、有效方法之一就是数理统计方法。因此在ISO9000系列标准的各个模式中以及质量管理和质量体系要素指南中都要求在市场分析、产品设计、工序控制、性能评定、数据分析等方面广泛使用统计技术，其范围包括实验设计、方差分析、显著性检验、累积和控制图、抽样检验等技术。因此，研究学习统计质量控制技术对于贯彻ISO9000质量保证系列标准，提高科学管理水平是非常必要的。

回顾世界质量管理的发展史，可以看出，数理统计技术在质量管理中发挥了重要作用。从19世纪末到现在，质量管理在历史上经过了检验质量管理、统计质量控制和全面质量管理三个阶段。单纯检验质量管理的严重缺点：一是只能从产品中发现和挑出废品，事前预防功能不强；二是由于检验人员的差错，即使全数检验也可能漏检或错检；三是至关重要的破坏性试验不可能全数进行。产品是生产出来的，单靠检验是不能防止产生废品的。1924年美国贝尔研究所的休哈特(W. A. Shewhart)运用数理统计的原理提出了控制生产过程中的“ 6σ ”方法，即后来发展的质量控制图和预防缺陷的概念。与此同时，同属贝尔研究所的道奇(H. E. Dodge)和罗米格(H. G. Romig)联合提出了在破坏性试验情况下采用的“抽样检验表”。二次大战初期，美国大批民用

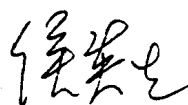
品转入军工生产,由于事先无法控制废品而不能满足交货期要求,又由于军工生产多属破坏性试验,全数检验不可能也不允许。美国国防部为了解决这一难题,邀集休哈特、道奇、罗米格以及美国材料与试验协会、美国标准协会、美国机械工程师协会等有关人员研究,于1941~1942年先后公布了一系列“美国战时质量管理标准”,要求各公司普遍实行统计质量控制方法,结果半年内取得显著成效。后来统计质量控制取得了很大发展。

我国自从1978年从日本引进全面质量管理十多年取得了显著成效。纵观我国的质量管理发展历史,是由检验质量管理直跃全面质量管理,对数理统计方法的运用远不是像当年美国那样深入广泛,不少决策、设计、科研、生产、销售、服务部门在提出问题、解决问题、检查结果时有些人还不习惯于进行科学的数理解析。

为了普及数理统计基本知识并在生产实际中发挥作用,我们组织石化行业中具有实践经验的质量管理专家编写了这套《统计质量控制》系列丛书。本书共分十册,第一册是数据收集和整理,第二册概率和数理统计基础,第三册估计和检验,第四册控制图,第五册方差分析,第六册实验设计,第七册相关和回归分析,第八册抽样检验,第九册统计方法应用演示50例,第十册数表。

数理统计方法就是通过对生产实践中大量数据的收集、整理、解析、研究生产实际中的内在规律的数学方法。和目前国内其它有关数理统计的书籍相比,本系列丛书的显著特点:一是它不同于一般的数学教科书,特别突出了实际应用,因此在编写中尽量减少不必要的公式推导,是一本实用性较强的书籍;第二个特点是书中列举了大量社会和生产(特别是石油化工生产)实例,文章从实例引出理论,又从理论回到实例,便于读者理解和应用,适合于工业企业特别是石油化工等流程型行业设计、研究、生产、销售、辅助等系统技术人员和管理干部学习参考;第三是语言既通俗易懂,又有一定深度和广度,既可用于中等水平人员学习应用,又可适用于高等水平技术人员研究参考。

为了更好应用本书，建议学习中注意几点：一是随着计算机的高度发展，许多数理统计方法可完全不需用手工计算，即可很快得出结果，已经掌握了统计方法的人可直接借助计算机，但对于初学之人，还是先用手算为好，防止知其然而不知其所以然，不利于在实践中灵活运用；二是对于现场技术人员，不要去深究公式推导，只要求会实际灵活运用；三是统计方法只提供解决问题的手段，必须和固有技术相结合才能解决问题，因此要使读者学会用数学的思维考虑专门技术问题；四是质量管理所用的方法不限于数理统计方法，还包括许多其它方法，如价值分析 (VA)、生产工学 (IE)、操作研究 (OR)、价值工程 (VE)、可靠性工程 (RE) 等，本书这次没有列入，读者可根据需要深入研究，灵活运用。



1995 年 1 月

目 录

1 抽样检验基础	1
1.1 抽样	1
1.2 检验	76
2. 计数抽样检验	102
2.1 抽样检验设计的基本知识	102
2.2 计数标准型抽样检验	125
2.3 计数挑选型抽样检验	172
2.4 连续生产型计数抽样检验	249
2.5 计数调整型抽样检验	265
2.6 计数周期抽样检验	318
2.7 计数序贯型抽样检验	360
3 计量一次抽样检验	399
3.1 标准型计量抽样检验	400
3.2 调整型计量抽样检验	449
3.3 序贯型计量抽样检验	480
本册使用符号	497
习题	499
单序号习题参考答案	509
参考文献	512

1 抽样检验基础

1.1 抽样

1.1.1 抽样的定义

产品质量通过检查质量特性是否符合标准来判定。例如，要求聚丙烯的熔体流动速度为 $1.9 \sim 3.1 \text{ g}/10\text{min}$ ，如何判定一批重量为 200 吨的产品，是否合格呢？显然不能测定每一粒聚丙烯的熔体流动速度，进行逐粒检验。因为这样检验的代价实在高得惊人，以致无法采用。只能从这批产品中抽取一部分可以代表产品特性的样品来进行检验。

在实际工作中，为了了解研究对象的某些特征，往往只能从研究对象的全体取出部分个体，从中取得资料对总体进行分析。这种从总体取出一部分个体的过程，称为抽样 (*sampling*)。

质量管理中的抽样，是为了进行质量保证活动，对进厂的原材料、零部件、各工序生产出来的半成品和产品批中抽取一定数量的样本，通过检验来推断整批产品的质量。

抽样不仅用于质量管理，工业试验设计、科学研究、企业管理、资源调查及社会调查中都广泛涉及抽样的问题。

抽样是检验的前提。抽取的样本能否代表整个产品批，对推断结论的正确与否，起到至关重要的作用。

1.1.2 总体和样本

1) 总体

所研究对象的全体称作总体。从一罐柴油中采集样品时，总体就是指整罐柴油；从 4000 包为一批的塑料产品中抽样时，这 4000 包塑料便是总体。总体的定义取决于对研究对象的研究目的。若调查某厂某种产品的优级品率，是研究这种产品的优级品产量占该产品总产量的比重，总体是指这种产品的全部产品；若

调查某厂产品的优级品率，则应以该厂所有产品为总体。

2) 样本

从总体中抽取的，用以测试，判断总体质量的一部分基本单位 (*unit, ultimate*) 称作样本。样本又称子样，用于提供关于总体，或关于产生总体的过程作出某种推断的信息基础。样本必须具有总体的代表性才有实际意义。

为了从总体抽到样本，首先要规定抽样单位。所谓抽样单位，是指抽样时人为规定的抽取单位。例如，调查某厂职工的平均技术水平，可以随机抽若干人来调查，也可以抽若干班组来调查，或抽若干车间来调查，这些不同的抽样单位均可以构成样本。抽样单位不同于总体的基本单位，是为方便抽样而人为设定的，可能是总体的独立基本单位，例如一根涤纶长丝、一只橡胶轮胎、一只阀门等；也可能是基本单位的某种集合，例如一个盒子里包装着规格一样的十锭丙纶纱，一袋聚乙烯粒料等，以整个包装作为抽样单位；也可能是从集合整体抽取的样品组成，例如炼制过程中抽取的石油产品，输送带上抽取的化肥等。抽样单位的选取，涉及到抽样精度，抽样难易程度，抽样费用等，需要认真地考虑，选择。

为实施抽样检验而集中起来，在一致条件下生产或按规定方式汇集起来的一定数量的单位产品称作批 (*Lot*)。提交检验的一批产品称作交验批 (*inspection Lot*)。所谓一致条件，是指在工序稳定的同一生产过程，在相同条件或接近的一段时间。例如 A、B 两条聚丙烯生产线，当同一条生产线上使用的原料相同，工艺条件一致，工序稳定时，在一段连续的时间内生产的，经过同一掺合器掺合的产品，可以认为是一批。由于两条聚丙烯生产线的生产条件与工艺控制不尽相同，即使是在相同的时间内生产的产品，也不能认为是一批。即使是同一生产线，如果在生产期内某因素干扰使质量发生异常波动或生产条件明显发生了变化，也不能将这个时期的产品认为是一批，需要采取措施重新分批，使批内尽可能保持均匀一致的质量。

为了组成比较合理的批，需要根据技术条件和检验的历史资料，掌握对质量波动产生影响的因素，在生产的全过程中控制并注意发现这些因素的变化，尽可能把不同条件下生产的产品分层构成检验批，切不可把不同来源（不同工序，不同生产班次，不同进料，不同生产设备，不同生产方法等）的产品混组成批。

在满足组批的条件下，批量尽可能划得大一些，有利于降低检验成本。

一批产品包含的基本单位的数量称为批量，用 N 表示。样本中包含的基本单位的数量称为样本大小，亦称样本容量，用 n 表示。

1.1.3 抽样方式

从总体采集样本的方式，称为抽样方式。

1) 单纯随机抽样

以总体独立自由的基本单位为抽样单位，从容量为 N 的有限总体中，随机抽出 n 个单位构成样本，则可以有

$$C_N^n = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

个方式组合成样本（对于无限总体，可以有无限个方式组合成样本）。若抽样方式可以使每个组合都能以相等的概率 $\frac{1}{C_N^n}$ 被抽出，则这种抽样方式称作单纯随机抽样。下面举例说明这种抽样方式。一批具包装的化工产品，入库后码垛堆放如图 1-1。利用红、蓝、绿、白四色随机骰子（如图 1-2 所示）选取任意一个四位数，第一位数字（红色骰子出现的数）表示垛数，第二位数字（蓝色骰子出现的数）表示行数，第三位数字（绿色骰子出现的数）表示列数，第四位数字（白色骰子出现的数）表示层数。

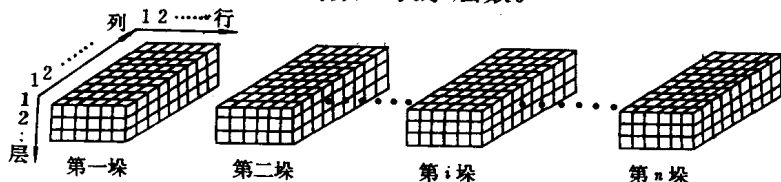


图 1-1 码垛堆放的石油化工产品

将这个四位数字表示的抽样单位,例如 4352 表示第四垛第三行第五列第二层的一个包装的产品,从产品堆中抽取出来作为一个样

本单位。如法泡制,即可取出所需容量的若干抽样单位,构成一组样本。这种抽样便是一种单纯随机抽样。

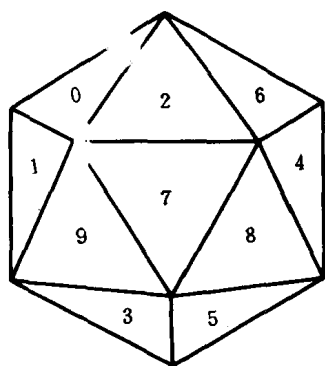


图 1-2 随机数骰子

两组 0~9 十个数字随机地分布(刻写)于正廿面体的各个面上,掷骰子时,朝上的一面所示数字为所产生的随机数

上述抽样中,如果抽到与前面相同的数时,则舍去该数重抽,也就是抽取第二个样本单位时,已被抽出的第一个样本单位并不放回,抽取第三个样本单位时,已被抽出的前两个样本单位也不放回,如此,直到抽出第 n 个样本单位为止。这种抽样称之为非回置抽样(也有叫无返回抽样)。假如总体有 A 、 B 、 C 、 D 四个基本单位,从中任取两个构成一个样

本,则可以有如下

$$\begin{aligned} C_N^n &= \frac{N!}{n! (N-n)!} \\ &= \frac{4!}{2! (4-2)!} \\ &= 6 \end{aligned}$$

种可能的样本组合: AB 、 AC 、 AD 、 BC 、 BD 、 CD 。可见,总体的同一基本单位不能同时出现在一个样本组,如 AA 、 BB ; 相同的两个基本单位,即使顺序不同,如 AB 、 BA , 也认为是同一样本组。这六个样本组中每个被抽到的概率都等于 $\frac{1}{C_N^n} = \frac{1}{6}$ 。而总体中 N 个基本单位的 n 个单位同时出现在同一样本组的概率均为 $\frac{n}{N} = \frac{1}{2}$ 。

用上述随机骰子掷数时，也可以不舍去抽出的与前面抽出的相同的数，而将这个数代表的样本单位的观测结果 x_i 加权处理。如抽到这个数的权为 f_i ，则样本的算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

实际上可以看作是在抽取第二个样本单位时，将已抽出的第一个样本单位放回总体，抽第三个样本单位时，前两个样本单位也必须放回，依次类推，直到抽出第 n 个样本单位为止。这种抽样称之为回置抽样。采用回置抽样，从容量为 N 的总体中抽取 n 个基本单位，可以构成 N^n 个样本组。假如总体含有 A 、 B 、 C 、 D 四个基本单位，从中随机抽取两个单位，则可以得到 AA 、 BB 、 CC 、 DD 、 AB 、 BA 、 AC 、 CA 、 AD 、 DA 、 BC 、 CB 、 BD 、 DB 、 CD 、 DC 总共 $4^2=16$ 个样本组。可见，在回置抽样中，总体的同一基本单位可以出现在同一样本组，如 AA 、 BB ；相同的两个基本单位，顺序不同，即被视为不同的样本组，如 AB 、 BA 。每个样本组被抽到的概率均为 $\frac{1}{N^n} = \frac{1}{16}$ ，而总体的 N 个基本单位中的 n 个单位同时出现在同一样本组的概率与非回置抽样的情况相同，仍为 $\frac{n}{N} = \frac{1}{2}$ 。

2) 分层抽样

将含有 N 个基本单位的有限总体，利用已经调查得到的信息或按某种标准，在抽样前事先划分成 L 层，每层所含的基本单位依次为 N_1 、 N_2 、…… N_i …… N_L ，然后独立地依次自每层抽取样本单位数为 n_1 、 n_2 、…… n_i …… n_L 的样本，这种抽样方式称为分层抽样。

由总体划分的层，往往称为副次总体 (*subpopulation*)。对于一批产品来说，也称副批 (*sublot*)。

分层抽样时，若采用单纯随机抽样的方式从各层抽取样本，则称单纯随机分层抽样；若各层抽出的样本单位数 n_i 占全部抽出样本单位数 n 的比例，等于各层基本单位数 N_i 占总体基本单位数

N 之比, 即

$$\frac{n_i}{n} = \frac{N_i}{N} \quad i=1, 2, \dots, L$$

则称为比例分层抽样; 若各层抽出的样本单位数取决于各层基本单位数 N_i 、各层标准偏差 σ_i 及各层的抽样成本 k_i

$$\frac{n_i}{n} = \frac{N_i \cdot \sigma_i / \sqrt{k_i}}{\sum (N_i \sigma_i / \sqrt{k_i})} \quad i=1, 2, \dots, L$$

则称为最佳分层抽样; 在最佳分层抽样中, 若 n 固定,

$$n_i = \frac{\omega_i \sigma_i}{\sum \omega_i \sigma_i} \cdot n$$

时, 各层样本的平均值 $\bar{x}_s$ 的方差 $V[\bar{x}_s]$ 最小, 则称为内曼配置分层抽样。

分层抽样适用于从各部分有显著差异的总体中抽样。通过适当分层, 既可方便抽样, 又可节省抽样费用, 减小样本估计值的方差, 提高表征总体估计值的精确度。为此, 进行分层抽样时, 需要事先掌握总体的某些资料, 诸如各层抽样单位的离差及抽样费用等, 以便根据这些资料进行分层。分层的原则是:

(1) 层内尽可能均匀。也就是说按分层标准划入同一层的各个抽样单位之间的差异应尽可能小;

(2) 层间尽可能分散。即按分层标准划入不同层的各个抽样单位之间的差异应尽可能大。

通常按生产线、生产设备、生产班次、生产工人, 或其它可以明显分析出造成质量显著差异的因素进行分层。例如, 进厂原煤可能来自不同的矿井, 但同一辆车箱内的煤大体取自某一矿井, 可以认为质量是均匀的。抽样检查时, 可以把一列货车按车厢分层, 从中选取若干辆车箱为一级样本, 再从选中的车厢中分别采取二级样本分析检验, 从而估计整车煤的质量。这就是一种分层抽样。

3) 分群抽样

将总体的基本单位按一定原则划分为 M 个群或集体 (*cluster*), 从中用单纯随机抽样法抽取 m 个群, 把这些群中的全部单位作为样本的抽样方式, 称为分群抽样。

分群抽样的样本代表性较差, 为提高样本的估计精度, 分群时必须使群内尽可能分散, 而群间尽可能均一, 即抽样单位的统计表征值对划入同一群的差异要尽可能大, 划入异群的差异要尽可能小。

分群的方式依调查目的而别。例如, 调查总公司职工掌握统计质量控制知识的程度, 可以认为各厂之间的水平大体相当, 而各厂厂内却因职工文化程度、对这门学科知识需求程度, 以及理解接受能力等参差不齐, 职工之间的水平相差较大。因此, 可以按厂分群, 从中抽取若干厂, 让这些厂的全体职工参加统考, 由统考成绩来估计总公司的总体水平。这种抽样便是一种分群抽样。如果化肥自动包装秤的每一袋化肥的重量散差较大, 我们可以按某个时间间隔来分群, 随机抽取若干个规定的时间间隔内的产品为样本, 测定单包重量, 从而统计推断这台秤的精度。考察油田的原油质量时, 可以把油田划成若干区, 然后选若干区作代表, 在各区中采集所有油井的油样 (假设各井油的质量均一) 分析, 以评价和估计油田所藏原油的质量。用包装线上的自动采样器采集样本的方式, 也可以看作是一种分群抽样, 实际上, 这是一种系统抽样。由此可见, 只要符合分群的基本原则, 按照时间、空间、地域等各种分隔方式均可实行分群。

在单纯随机抽样和分层抽样中, 检查单位可能就是抽样单位, 而在分群抽样中, 显然是把检查单位包容在抽样单位中。例如, 进行市场调查时, 希望了解用聚丙烯制造食品软包装罐头的消费意向。调查时, 可以按城市食品店的街区分布图 (抽样媒体) 随机划定调查范围。例如选定若干条街上的食品店, 调查来店购买罐头的顾客对食品罐头的消费趋向和包装意见, 从而分析开发聚丙烯蒸煮薄膜的市场前景。注意, 这里的抽样单位是食品店, 调查单位却是来店购买罐头的顾客, 把“凡是到所选定食品店购买罐

头的顾客”作为调查对象的“群”来考虑。如果不作这样的分群，而把某区域的人作为调查对象，由于并非所有的人都需要罐头，势必会造成事倍功半的效果。

4) 系统抽样

系统抽样是一种随机抽取特殊群的分群抽样，即按一定抽出比例设定的抽样间隔，在规定的间隔内抽取样本单位，以构成样本的一种抽样方式。

假定总体大小为 N ，欲抽取容量为 n 的样本，则抽样间隔 k 为

$$k = \frac{N}{n} \cdots \cdots r \text{ (余数)}$$

当由抽样成本和样本误差确定了抽样比例 $f = \frac{n}{N}$ 后，抽样间隔则为

$$k = \frac{1}{f}$$

则样本数为

$$n = \frac{N}{k} \cdots \cdots r \text{ (余数)}$$

抽取图 1-3 中带有标记的产品构成样本，便是系统抽样。

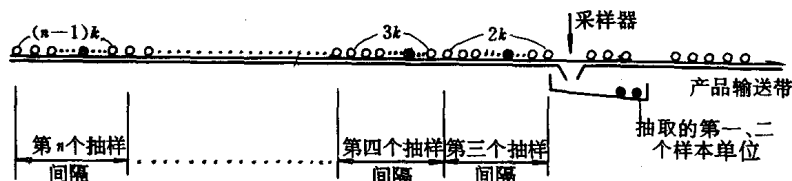


图 1-3 系统抽样示意图

系统抽样中的第一个样本必须是随机的，由 $1, 2, \cdots, k$ 中抽出一个号码 i ，作为起始码，尔后，逐次加上抽样间隔 k ，即可得到样本单位的各个编码

$$i, i+k, i+2k, i+3k, \cdots, i+(n-1)k$$

系统抽样是等距抽样，不必像单纯随机抽样那样，每次抽样

时都要确定一个抽样号码,也不必像分群或分层抽样那样,须事先获取总体的某些信息,只要事先随机确定起始样本单位号,按相同的时间、空间或其它相同的分隔单位划定的距离,作为抽样标准就可以了。例如常压塔顶馏出口每小时测定一次干点,是以时间为间隔;检查PTA包装的单包重量合格率,每隔十包抽一包称重,是以单位产品数量为间隔;考察某厂排放气体在不同高度大气层中的分布,用探空气球每隔10米采一个样分析,是以高度为间隔等。

采用系统抽样法可以克服单纯随机抽样中因机遇离势所致样本单位集中而不普遍的缺点,但因总体的基本单位无法随机排序,样本的随机性可能较差。

5) 多级抽样

分群抽样时,如果先把总体分成若干群(通常称为一级抽样单位或最初单位,对于批检验则称为付批),从中随机抽取若干群,构成一级样本。然后,再从被抽出的每个群中以低一级的抽样单位(通常称为二级抽样单位)抽出一组样本,构成二级样本。依此方式继续抽取各级样本,直至抽出最终样本。这种抽取样本的方式称为多级抽样。工业试验设计、物理、化学、生物学检验中多数采用这种方式抽取样本。例如,在考虑某化肥厂建设规划时,先按地域分群,抽若干个地区为一级样本。然后,再从抽出的地区中抽取若干亩农田,统计调查土地肥力和农作物生长所需施用氮磷钾肥及其它微量元素的量,从而估计化肥品种及总需求量,确定建设规模。这种调查中的抽样方式便是二级抽样(*two-stage sampling*)。二级抽样亦称为副样本抽样(*sub-sampling*)。

6) 多次抽样

先从总体的 N 个基本单位中,随机抽取较大数目的 N' 个基本单位,然后再从这 N' 个单位中抽取 n 个最终样本单位,这种分两步抽取样本的方式称作二次抽样(*two-phase sampling, double sampling*)或顺序抽样(*sequential sampling*)。如此类推,根据实际需要,亦可扩展至多次抽样。