

农 业 机 械

正 交 试 验 设 计 选 优 法

目 录

第一章 试验设计概述	(1)
一 试验目的.....	(2)
二 试验指标.....	(2)
三 随机变量.....	(4)
四 试验因素.....	(5)
五 试验因素的水平.....	(6)
六 试验处理、组合处理、对照处理.....	(8)
七 设置区组.....	(9)
八 试验单元、总体单元、样本单元.....	(14)
九 试验误差与取样误差.....	(17)
十 重复试验.....	(18)
十一 随机化措施.....	(19)
十二 效应与交互作用.....	(24)
十三 均衡性.....	(31)
十四 验证试验.....	(36)
十五 试验条件的准备.....	(37)
十六 试验设计的要点.....	(39)
第二章 正交试验设计	(40)
一 基本应用方法.....	(40)
(一) 试验设计的考虑.....	(41)
(二) 试验结果与直观分析.....	(48)
(三) 第二批试验与多批试验的考虑.....	(51)
(四) 多指标试验的试验结果分析.....	(54)
二 正交试验设计的特点与原理.....	(67)
(一) 均衡性.....	(67)
(二) 可比性.....	(68)
(三) 代表性.....	(70)
(四) 与农业机械试验中传统方法的比较.....	(72)
三 灵活运用方法.....	(73)
(一) 各试验因素的水平数不一致时的试验.....	(73)
1. 应用混合型正交表.....	(73)
2. 并列法.....	(75)
3. 拟水平法.....	(80)

4. 部分追加法	(81)
(二) 组合因素法	(84)
(三) 随机区组试验设计	(85)
1. 随机完全区组排列	(86)
2. 随机完全区组部分随机排列	(87)
3. 随机不完全区组排列	(87)
4. 随机不完全区组部分随机排列	(92)
(四) 拉丁方试验设计	(92)
(五) 正交拉丁方试验设计	(98)
(六) 裂区试验设计	(106)
(七) 套表试验法	(111)
(八) 相对水平法	(127)
(九) 直积法	(133)
(十) 多道工序试验法	(139)
(十一) 区域试验	(139)
(十二) 设置对照试验号	(149)
(十三) 脱落数据与组合处理观察值的估计	(149)
第三章 试验指标观察值的整理统计	(152)
一 取样方法	(152)
二 随机变量的次数分布表的构制	(155)
三 平均数的计算	(159)
四 变异程度的计算	(167)
(一) 方差和标准差	(167)
(二) 极差	(183)
(三) 平均差	(183)
(四) 变异系数	(183)
五 总体参数置信区间的估计	(185)
附录一 随机数字表	(191)
附录二 极差折算标准差系数 $d(n, k)$ 表	(192)
附录三 常用正交表	(193)
附录四 t 分布表	(226)
参考书籍	(227)

第一章

试验设计概述

要做好农业机械科学试验工作，首先要在试验以前根据试验目的，经过科学的、合理的试验设计。因此，试验设计是科学试验的基础，也是科学试验的成败关键。

一个好的试验设计，可以：

根据明确的试验目的，尽可能应用最简单的试验设计方法，以最少的人力、物力、财力、时间和试验次数，来完成试验任务，以达到试验目的；

尽量地控制试验因素和试验条件，运用试验设计原理，提高试验精度，减少试验误差；

根据所确定的试验设计方法，应用相应的统计分析方法，得到最大量的信息。如果不经科学的、合理的试验设计，就进行试验，事后要应用统计方法进行分析，常常是不可能的。

究竟怎样来考虑试验设计，现通过四个简单的实例，来解释一下试验设计中有关术语和基本原则。

例1·1 对剪羊毛机刀片的新钢材5B202试样，冶炼厂送来五批熔炼炉的每批五根试棒提供试验。比较经过800℃油淬后，在160℃与200℃在两小时的回火处理之间，对钢材的洛氏硬度和冲击韧性（公斤·米/厘米²）有否显著的差异。试验重复五次。

例1·2 黑龙江地区研究垅作机械化的三种深松耕法，对玉米产量的影响的对比试验。三种深松耕法中，以当地耕作法作为对照处理，标作CK，以比较两种新深松耕法的玉米产量是否高于对照处理。

A——松垅台苗期松沟，

B——秋翻苗期松沟，

CK——耙耱苗期深松，当地耕作法。

试验在原来当地耕作法的生产地里进行，试验重复五次。

例1·3 对3MF-3型（3马力）背负式弥雾机和WFB-16A型（1.6马力）背负式弥雾机进行超低量喷雾性能的雾粒密度（粒/厘米³）对比试验。试验重复六次，试验时是在喷头沿径向8米处，放置载玻片收集雾粒，测定时是在每载玻片上观察15个平方厘米的面积内雾粒数。

例1·4 有90型、65型和55型三种茶叶揉捻机，曾在55、57、59转/分三种不同转速下进行了初步试验。初步得出了各种型号的适宜转速或转速范围。现拟进一步作验证试验，取90型~57转；90型~59转；65型~57转；55型~55转等四种组合处理，分别在长沙、杭州、绍兴三个茶坊进行试验。比较红茶毛茶的索条、色泽、香气、汤气、滋味、叶底和成条率、细胞破碎率、碎茶率等，供试原料都是四级毛茶，每地区的试验，结合生产进行五次重复试验。

现在结合这四个试验实例来解释一些有关试验设计的主要术语和基本原则。

一 试验目的

在试验设计以前，必须明确试验目的。试验设计工作主要是根据试验目的，来解决所研究的现象或一系列的问题，并对它们作完善的了解。农业机械试验工作者，必须根据试验任务对农业机械化建设、生产斗争和基础理论研究上的重要性和意义，以及过去研究、试验工作所得到的评价与结论，而在这次试验中所需解决的问题，明确试验目的。例如一项试验的试验目的，只是为了比较某个农业机械部件在改进前后的效果，那么就只要比较该部件的改进前、后的试验结果，而不必涉及到其它试验因素与分析内容。如果一项试验要探索影响试验指标的多个试验因素及其规律，那么就要考虑多因素试验设计并细致地分析其规律。试验目的是简单的，就可以用简单的试验设计与统计分析方法来完成。如果试验目的比较复杂，当然试验设计与统计分析方法会复杂些，但是采用适宜的试验设计方法，也可以把试验设计得更简单些，因此应该尽可能把试验目的考虑得更现实些。

二 试验指标

根据试验目的所研究的现象或是试验结果的特征，都是用来考核、衡量试验效果的，叫做试验指标。前四例中的冲击韧性、洛氏硬度、玉米产量、雾粒密度、毛茶的索条与色泽等都是试验指标。试验指标必须选择得能确实反映并考核、衡量所研究现象的特征，来说明试验结果以完成试验任务。

一个试验中只衡量一个试验指标的，如例1·2的玉米产量，例1·3的雾粒密度，叫做单指标试验。衡量多个试验指标的，如例1·1的洛氏硬度和冲击韧性，例1·4的毛茶的索条、色泽、香气、汤气、滋味和叶底等，就是多指标试验。

试验指标的具体试验数值或试验结果，称为试验指标观察值。试验指标观察值的总体参数，也称为试验指标真值。

在农业机械试验中，常用到的试验指标有下列数种：

(一) 计量指标：计量指标是用量来表示的试验指标。例1·1的冲击韧性试验指标，它的单位是公斤·米/厘米²，在测定的冲击韧性范围之间，可以出现10、11·2、9·7等任意值，所以计量指标也叫做连续型指标。例1·4毛茶细胞破碎率是根据茶叶上细胞破碎面积来计算的，碎茶率是根据碎茶重量来计算的，面积和重量都是计量指标，可以在面积、重量范围之间出现任意值。由计量指标计算的细胞破碎率、碎茶率等百分数，在数据整理统计时仍按计量指标来处理，它与下节的成数指标的百分数，在数据整理统计方法上是不同的。

在农业机械试验中，如喷雾机的雾粒直径，犁的耕深，牵引力等分别用微米、厘米、公斤等来表示，在试验指标观察值的测定范围之间，都可以出现任意值，都是计量指标。

(二) 计数指标：计数指标是用数来表示的指标。如例1·3的雾粒密度观察值是用“粒”数来表示的，又如插秧机试验的每穴株数、谷物播种机试验的每段内籽粒数等观察值，都是以整数来表示的。在整数之间不可能出现非整数的任意值，如雾粒密度和插秧每穴株数，就不可能出现每平方厘米20·5粒和每穴株数是8·3株等的非整数，计数指标也称为离散型指标。

(三) 成数指标：计数指标的两者居一现象的资料，用成数（或百分数）表示的，叫做

成数指标。如把例1·3的试验指标雾粒密度改为雾粒的合格率,规定每平方厘米的雾粒数在10粒以上的为合格,少于10粒的为不合格。这样,雾粒密度就分为合格类和不合格类,两者必居其一。通常把研究现象的成数指标标作 p ,非研究现象的成数标作 q ,而 $q = 1 - p$,则 $p + q = 1$ (或 $p\% + q\% = 100\%$)。如上述研究现象是雾粒密度的合格成数 (或合格率),则可以在调查的总平方厘米数中计算出合格的平方厘米数占总平方厘米数的成数 p (或百分数 $p\%$),非研究现象不合格的成数为 q 。对成数指标一般是要求用大样本来统计。

(四) 属性指标:对有些试验指标所研究的现象,不能用数量来表示,而是用性状来表示的,称为属性指标。如例1·4的红茶毛茶的索条、色泽、香气、汤气、滋味等,如以汤色来说,可以分为红亮、红且亮、红尚亮、亮且红、亮尚红等5个等级。农机制造工艺中电镀工艺的外观是用颜色、色泽、结晶粗细等性状来评定的,都属于属性指标。

属性指标通常把它们数量化,或用评分、评级的方法,当作计数、计量指标来进行计算分析,通常可以采用下列几种方法:

1. 把性状予以分类,根据多类性状的个体数,变成各性状的次数资料,用相对次数来分析。如上节成数指标中分为合格与不合格两类,也是属性指标的一种计算方法。

2. 对各类性状表现的优劣程度,予以评分或分成等级,如电镀工艺的外观,在一批试验中的电镀试件,从颜色、光泽、结晶粗细上,优质的评为95分,较优的评为90分,较差的评为70分等,化为数量化来进行统计分析。或者象上述红茶毛茶的汤色,分为5级,用1、2、3、4、5级评定,用评定等级数字来统计分析。

3. 对于分两类性状的指标,可以用1表示所研究的性状,用0表示非研究的性状,用0、1数字对两类性状予以数量化,就可按计量指标予以分析。上节成数指标中的研究现象是合格雾粒密度,可以给予1,不合格的给予0,使两类性状得到数量化。

(五) 变异指标:表达试验研究现象的变异(波动)程度的指标,称为变异指标。农业机械试验中的耕深稳定性、播种均匀性、施肥一致性等均属变异指标。变异指标观察值常用方差、标准差、极差,必要时可用变异系数来表示。

怎样衡量试验指标,是根据试验目的和要求来确定的。在试验前就应该把衡量和评定试验指标原则、供比较的试验指标标准值、测定试验指标观察值的方法、取样方法与次数、统计方法、仪器等都要事先确定下来。它们本身往往是一项细致、复杂的研究任务,而且是因试验目的、农机具类型、原材料对象、地区的生产条件与当地农业技术要求的不同而异,必须予以重视。

试验指标是表达研究现象的特征的。用什么试验指标来表达,有的试验研究项目中,还没有确切的办法,而用间接的方法来表达。也有的试验,在同一试验中有些可以因研究目的的不同而用不同的试验指标,例如在禽畜机械化生产试验中,鸡蛋的产量以个数计算时,可以当作计数指标,如果用重量(公斤)来计算时,可以当作计量指标。又如玉米精量点播机的播种性能试验,可以统计两粒玉米间的间距平均数和变异程度来确定是否合乎农业生产上的要求。但是如果试验目的只是要看是否合乎农业生产要求的玉米间距的合格间距的成数,如根据要求间距为20厘米,在0.5~1.5个标准间距,即10~30厘米的间距为合格间距,则可以不必一一量出玉米间距,只要把10~30厘米的间距归入合格类,小于10大于30厘米的间距归入不合格类,就直接得到成数指标。

有的试验指标观察值,要求愈大愈好,有的则要求愈小愈好。如饲料粉碎机的度电产量

要求愈高愈好，脱粒机的损失率、破碎率、功率消耗要求愈低愈好。

有些试验指标是以超过或低于一个试验指标的标准值来衡量。如某地区确定谷物联合收割机的收割损失，不能超过2%，则2%就是某地区收割损失率的试验指标标准值。试验指标标准值可以是一个理论值，或是一个从经验中总结的标准值，或是当前的先进水平来作为标准值。在试验以后，把试验指标观察值与标准值进行比较，看是否达到、超过或低于标准值的要求。也可以用与标准值的差数或百分数来表示试验结果。或者根据试验指标观察值比标准值相差的程度，较差的扣几分，较优的加几分，用评分方法来作为试验结果，来相互比较。

有些试验指标的标准值，是要求在一定范围内，太大或太小都不好。如插秧机插秧的每穴株数，根据某地区农业技术要求在5~9株为宜，则超过5~9株范围的不合要求。这样的试验当然可以用计数指标的成数数指标来考核。这个试验的试验指标观察值如果要用某数值来表示时，可以取标准要求范围的中间值，以中间值为中心减去试验观察值后所得的平方值作为试验结果来进行比较。上述插秧机的每穴株数试验指标标准要求范围5~9株的中间值为7株，如果某试验处理的观察值平均是9株，它与中间值7相差2，可取2的平方值4来表示试验结果，这里取平方值是为了消除与中间值差数的正、负号。

在多指标试验时，常因各试验指标有主、次之分和各试验指标之间也常存在着矛盾，就要用综合平衡法，综合加权评分法，综合评分法或多元分析方法来对各试验处理进行分析比较，通常以应用综合平衡法比较普遍。在多指标评定时，不能单纯的只求某项试验指标的单独提高，必须同时照顾到与其它试验指标的综合平衡，从而确定较优试验处理或组合处理。

试验指标观察值，并不是唯一衡量试验结果的依据，也不是唯一选取较优试验处理或组合处理的依据。它还要与专业理论知识与生产实践经验相互结合起来考虑。有时虽然根据试验指标观察值，选出了某个较优试验处理或组合处理，但因考虑到经济性、生产或使用方便性以及其它条件，而需要作进一步衡量，而选取尚能满足或达到试验指标要求的次优的试验处理或组合处理。

在有些试验中，可以把试验因素的水平来作为试验指标。例如9FQ-40型饲料粉碎机粉碎玉米杆的试验，它的试验指标就是粉碎玉米杆度电产量。现在如当地还有粉碎玉米籽粒作为饲料，或有其它原料来粉碎作为饲料。当然可以把原料作为试验因素，把玉米杆、玉米粒、豆秆等作为水平，一起试验。但有时要对玉米杆、玉米粒、豆秆等原料分别对各其它试验因素进行试验。以掌握各试验因素对不同原料的影响或效果，则各种原料就可以分别进行试验。试验后可以把玉米杆度电产量，玉米粒度电产量和豆秆度电产量等作为多指标试验来分析。如当地主要饲料是玉米杆，其次是豆秆，玉米粒比较次要，则分析时可以按重要性不同或订出不同权来进行多指标分析。

三 随机变量

上节提到的考核、衡量试验指标所得到的试验指标观察值，在多次重复试验下，多次观察值通常是不会完全相同的。这是因为在试验过程中，这些观察值受到很多不可能控制的偶然因素的影响而有变异的，这些偶然因素也称为随机因素。受随机因素影响而在性状和特征上，对研究现象表现出数量上或性状上的变异的量，叫做随机变量。所以上节所述的试验指标观察值，都是随机变量。

通常把随机变量标作 Y ，把这个随机变量的一个观察值标作 y ，它也是一个随机变量。有多个观察值时，则标作 y_i ，表示随机变量 Y 的第 i 个观察值。设测三次耕深，观察值为25、26、25.5厘米，则 $y_1=25$ 厘米， $y_2=26$ 厘米， $y_3=25.5$ 厘米。一个样本也是一个随机变量，样本的观察值 y_i ，从 $y_1, y_2, \dots, y_n, y_r$ 表示最后一个观察值， n 表示观察次数，也就是样本含量。在本章第二之(五)节中的变异指标，它们都是随机变量的方差、标准差、变异系数，以及随机变量的平均数，也都是随机变量，随机变量的函数也都是随机变量。

随机变量根据它的特性，通常可以分为三种：

(一) **连续型随机变量**：一个随机变量，在一定的范围内，可以取任意值的，就是连续型随机变量。例如试验指标中的计量指标的一些观察值，就是连续型随机变量。

(二) **离散型随机变量**：一个随机变量，在一定的范围内，它的观察值是以整数出现，不可能在整数之间出现任意值的，就是离散型随机变量。例如试验指标中的计数指标的一些观察值，就是离散型随机变量。

(三) **属性随机变量**：属性随机变量是以性状来表示研究现象的，观察时不能以数量来表示。但是通过把属性数量化以后，可以按连续型或离散型随机变量来处理。

四 试验因素

试验指标是考核和衡量试验研究现象的特征，它是受很多原因影响的，这些原因都称为因素。

在试验研究中通常是在一系列因素中，选择一些主要的、需要探索的因素，以研究它们的作用、效果和对试验指标的影响，这些被选作在试验中研究的因素称为试验因素。在多因素试验中，被选取的试验因素，它们对试验指标的影响及所起的作用是不同的，在试验结果分析中，要分析清楚各试验因素对试验指标的主、次作用，以便抓住主要矛盾，来更细致地认识客观规律，或进一步作试验研究。对于那些未选择作为试验因素的因素，可以控制、固定在某个理想、适宜的水平状态下进行试验，称为固定因素。例1·4揉茶机试验，影响红茶毛茶的感观与试验指标的因素，可以有揉茶机机型、揉筒与稜骨间隙、转速、加压程度、萎叶含水量、原料级别等因素。现选择机型和转速作为两个试验因素；把揉筒与稜骨间隙控制在两种机型的最小间隙上，间隙因素就与机型因素组合起来；加压过程的程度都在揉茶时间75分钟内，都固定在不加压30分、轻压12分、中压15分、松压3分、重压10分、松压5分，作为固定因素；萎叶含水量控制在60%左右和原料级别都用四级鲜叶都作为固定因素。例1·2是三种深松耕法的机械化耕作栽培试验，除三种深松耕法是试验因素外，在整个耕作、栽培、田间管理过程中的综合措施，都应一致，应都是固定因素。

在因素中研究一个试验因素的试验，叫做单因素试验，例1·1和例1·2就是研究热处理回火工艺和深松耕法的单因素试验。研究多个试验因素的试验，叫做多因素试验，例1·4是研究揉茶机机型和转速两个试验因素的多因素试验。

在因素中可以控制、调正的，称为可控因素，上述的试验因素和固定因素，都是可控因素。由于农业机械试验对象、条件是自然界的土壤、作物、种子等或是金属材料，它们都存在着一定的差异，又受自然条件、环境条件如天气、人畜、机械、材质、加工等的影响，在试验过程中是很难予以控制一致的，称它们为不可控因素。通常把未被选择作为试验因素的

可控因素和不可控因素，称为条件因素，统称为试验条件。在条件因素中，有些是对试验指标会产生影响干扰的，称为干扰因素。

在试验设计中应该细心考虑和观察，事先列出一系列的干扰因素，从中考虑它们对试验指标影响的主、次作用，哪些应予控制，哪些可以忽视。有的用试验设计中“设置区组”的局部控制办法，来控制它们对试验指标的影响。对某些不易控制和不易察觉而又难于避免的干扰因素，有的还可以通过“随机化”措施来控制一些差异或影响。但有些干扰因素，如气温、风力、风向等在试验中就不易予以控制。如果在试验中发现某些情况对试验指标可能造成某些影响，可作下记录以供试验结果分析时的参考。如果它们是对试验呈一种规律性的影响，必要时可以应用数理统计中协方差的办法予以校正。

在选择试验因素时，应抓住主要因素，不要把主要因素漏掉。应注意多考虑还没有掌握它的规律和过去未被重视的因素，它们往往对试验指标有较大的影响。对于已掌握它的规律的因素，可以不一定再选作试验因素。

在多因素试验中，如进行全部组合试验，所选试验因素以两至三个比较适宜，因为试验因素过多时，就使组合处理较多，试验比较复杂，试验条件更难以控制一致。如试验因素较多，也可以把它们分成几个试验或分批的进行全部组合试验。

在多因素试验中，如果应用正交试验设计，在用正交表安排试验时，初次试验可以多选些试验因素，在所选的一张正交表中，可以根据需要多排些试验因素，因为这样并不会增加试验次数，而且在这次试验中对更多的试验因素及其组合处理，得到较全面的考核，来提高试验效率。但是当所选的试验因素如超过一张正交表所能安排的试验因素时，就要选用较大而试验次数较多的正交表，就会成倍地增加试验次数。

分批试验的办法是经常应用的。根据第一批试验结果与分析，可以淘汰一些次要试验因素，增加一些新的试验因素，也可以在选出较优组合处理或分析较优水平附近，改变水平再深入做下批试验，从而得到更满意的试验结果。

在有些试验中，试验因素也可以作为试验指标来进行试验，见本章第二节试验指标最后一节。

五 试验因素的水平

如例1·4在确定揉茶机机型和转速两个试验因素以后，就要考虑为了提高红茶毛茶质量，两个试验因素应选什么状态、用量、等级，才可能得到比较优良的红茶毛茶质量。这虽然是要通过试验来确定，但是根据专业理论知识和生产实践经验，可以大体上对各试验因素提出一个生产上适用的，而能提高红茶毛茶质量的各试验因素变动范围。再在各试验因素的变动范围内挑选几个状态、用量、等级来进行试验，在统计学上叫做水平。一个试验因素中选几个状态、用量、等级、就叫几个水平。

在例1·4揉茶机试验中所选的一个试验因素是转速，标作B试验因素，变动范围大致在50~60转/分范围内，各种揉茶机机型又可能有它本身所适应的转速水平。现选用55、57、59、转/分三个水平，标作 B_1 、 B_2 、 B_3 ，表示B试验因素转速的三个水平。象转速这样的试验因素，可以在试验因素的试验变动范围内取任意的不同转速作为水平，叫做连续型试验因素。通常在多水平情况下，是选等间隔的水平较为适宜，但也可以根据需要或因条件限制而取不

等间隔的水平。

在例1.4中另一个试验因素是揉茶机机型，标作A试验因素，它是三种不同型号的揉茶机，不可能在这三种型号之间取任意不同数值来作为水平，叫做离散型试验因素。三种揉茶机机型就是A试验因素揉茶机的 A_1 、 A_2 、 A_3 三个水平。

例1.4所选两个试验因素各有三个水平，是 $(3^1 \times 3^1)$ 因素试验，也称为 3^2 因素试验。

在确定各试验因素的试验变动范围时，在开始试验而对适用水平尚无足够经验及依据时，可以把范围取得大些，以免遗漏适用的水平。必要时可以先通过一些预备试验来确定之。

试验变动范围一般应取在能使试验指标进一步提高（或降低）的变动范围。不宜把生产上不适采用的水平列入试验变动范围内，因为即使做了试验而生产上不能采用，岂不徒劳无功，反而增加了不必要的试验次数。这样做势必使试验变动范围订得过大，那末水平之间的间隔就大，对试验指标的影响就大，就有可能在分析结果时会把次要因素当作主要因素来对待，错误的分析试验因素对试验指标的影响关系。但是如果试验具有特殊的目的或有意识的探索正常试验变动范围以外的水平的规律，则又当别论。如谷物播种机当前正常作业速度是7公里/时左右，那是根据现有槽轮式排种器的性能来订的。现在如有一种新型磨盘式排种器，为了探索它对今后发展高速作业的适应性，可以把作业速度试验因素的变动范围订在9公里/时左右，来选取几个水平。

有的试验因素的水平，可能是比较多的，有时可以先通过一个预备试验，或采用单因素试验的方法，先选出几个较优水平，再来安排多因素试验。

从看各因素的趋势来说，多水平的试验比两水平的看得清楚，多水平试验容易在试验变动范围内较准确的选出较优水平，而且趋势也比较清楚，但水平多了就要增加试验次数。

各因素所选水平数最好能力求相同，在试验及分析时效率较高。有时有的试验因素的水平不能省略也不能增加时，也可采用各试验因素水平数不一致的试验。

对于重要的试验因素或特别希望了解、分析的因素，可以多取一些水平，其它次要因素可以少选一些水平。

水平之间的间隔也不要订得太小，因为它不易反映出各种水平变化时对试验指标有明显的影响，特别是初次试验时以及对主、次因素分析中，往往不能知道超出这个细小范围以外的水平对试验指标有多大影响，分析不清主、次因素以及它们对试验指标的影响关系，甚至会作出错误的分析结论。

各试验因素的水平对试验指标的影响关系，如呈线性趋势的，可以少选水平，否则就要多选水平来找出较优水平。

结合生产实际进行的试验，各因素的水平间隔不要变动太大，也就是说不要与现在生产实际中应用的水平差得太多，可以逐步变动水平间隔，以免对生产造成损失。

在有条件进行分批试验的情况下，应当尽量利用第一批试验结果，以精益求精、好中求好的原则，变换试验因素、水平，来做多批试验，选出更优的组合处理。特别是在采用正交试验设计时，由于第一批试验是做全部组合的部分试验，利用多批试验来选出更优的组合处理，是会得到更满意的效果的。

在开始试验时，试验因素变动范围可能选偏了。可以根据第一批试验结果的趋势，进一步在下批试验中变换水平找出较优水平。所谓“选偏”的意义，可以举一例来说明，一种谷物脱粒机试验，如滚筒转速在初次试验时把试验因素变动范围订为700~900转/分，试验结果

表明以900转/分水平的总损失率较低，而破碎率也较低。意味着如果提高转速变动范围，总损失率还可以降低，而破碎率可能有所提高，但还是在允许的范围内。这种情况就是表示变动范围选偏了，在下批试验中可以改为900~1200转/分，结果确定选用1100转/分为较优水平。如果开始就选900~1200转/分变动范围内选水平，就没有选偏。

在初步试验时可以在确定的试验因素试验变动范围内将水平之间的间隔订得稍宽一些，经过第一批试验以后认为需要细致的寻求适当的水平时，可以再缩小水平之间的间隔。

在试验因素变动范围内选极端状态作为水平，并不是很有利的。因为如需要在下批试验中变动水平时，只能向一个方向变动，变动的范围就较窄。在多指标试验中，也应注意到各试验因素如取极端情况作水平时，可能对某一项试验指标很有利，但对其它指标可能不利。同时，如果各试验因素都取极端状态作水平，它们的试验组合处理在生产上是较少采用的，试验结果的指导意义也就不强。

在试验因素变动范围两端选比较接近极端状态作水平时，如试验后各水平对试验指标的影响差别不大，以后可以不必再细分水平做试验。如果差别较大而还不能找到适当水平时，可以再细分水平进行下批试验。

在有条件做多批试验的情况下，可以先少分水平，一般可先取两个水平，在下批试验中可以更换或增加新水平，还是可以达到多水平的目的。在少分批试验的情况下，可以稍多分水平，一般可以先取三个水平。在不分批或分批试验有困难的情况下，可以稍多分水平。

在农业机械性能试验和材料、工艺试验中，尚有分批试验的条件。在农业机械化生产栽培试验中，如试验指标要从农作物后期生长性状或收获产量来衡量，因受农业季节性的限制，在当时或当年就没有条件做第二批试验来得到试验结果，也没有条件在当年做分批试验，则在第一批试验中可以多排试验因素，多取水平来进行试验，或者把分批试验放到明年或下季作物栽培时去做。此外，农业机械试验中有不少试验因素与水平，都是材料配方或零、部件结构类型等，要做第二批试验，在当时也难以立刻制造，配制出来以改变水平，也可在第一批试验中多排试验因素、水平进行试验，或者等待改变水平所需的配制材料、零部件加工出来后，再作第二批试验。

在有些试验中，试验因素的水平也可以作为试验指标来进行试验，见本章第二节试验指标最后一节。

六 试验处理、组合处理、对照处理

(一) **试验处理**：试验处理是根据试验目的，在特定试验的试验单元中产生影响的研究对象，并以它的效应与其它试验处理进行比较。在单因素试验中，试验因素的水平就是试验处理。例1·1和例1·2中的两种热处理工艺的不同回火温度和三种深松耕法，都是试验处理。不同回火温度或深松耕法都是安排在一块钢板或一小区土地上的试验单元中进行试验的研究对象，各试验处理的不同回火温度或深松耕法在试验单元中就会产生影响，反映冲击韧性与玉米产量的高低，就以它们的效应对各试验处理进行比较。

(二) **组合处理**：在多因素试验中，各试验因素水平的组合，就是在试验单元中产生影响的研究对象，称为组合处理。例1·4中揉茶机试验的三种揉茶机机型和三种转速是两个试验因素，各有3个水平，是 3^2 因素试验，共有9种组合，就是9种组合处理。

(三) 对照处理：是一种标准的或是作为一种比较基础的试验处理或组合处理。一个对照处理有时就是一种试验处理，或是一种重要的或不重要的试验处理，只是为了作为比较标准或基础而设置的，通常把对照处理标作CK。

在试验设计中，设置对照处理是一项很重要的技术措施，它不但是一个作为比较的标准或基础，同时因为对照处理通常是与试验处理安排在相同的试验条件或同一个区组内，用差数或百分数进行相对比较，当试验条件、试验与试验之间、在同一试验中不同区组之间，存在着随机变异或不能预见的差异时，通过对照处理可以予以控制。

例1·1中，把原来回火160℃两小时，可作为对照处理，把200℃回火两小时作为试验处理，以作比较，例1·2中三种试验处理，把当地原来深松耕法作为对照处理，以比较两种新深松耕法是否优于当地原来深松耕法，同时对两种新深松耕法进行比较。根据试验目的与要求不同，也可以把较优的试验处理作为对照处理，一种新型插秧机秧爪，是否优于原设计及其它类型秧爪的插秧性能对比试验，可以把这种新型秧爪作为对照处理。

又如剪羊毛机刀片的材料研究中，拟加入一种新的钼元素，试验时当然可以用几种钼元素的不同含量作为水平或试验处理，但是不知道这种钼元素对提高刀片的耐磨损程度是否有效，这时可以把不含钼元素的材料作为对照处理或称为空白处理。如果对钼元素在提高刀片的耐磨损程度上是肯定的，那末只要进行几种钼元素不同含量的对比试验，而不必用不含钼元素的材料来设置对照处理。但是有时虽然知道钼元素对提高刀片的耐磨损程度是会有有效的，但是原来刀片的耐磨损程度已相当高，加入钼元素后的效果可能不太明显，这时仍然可以应用不含钼元素的对照处理，以了解加入钼元素前后的材料与耐磨损程度的比较。

在一个试验中可以应用几个对照处理。这几个对照处理可以是同一个试验处理，这样在同一个区组中就出现几个相同的对照处理，也就是在同一个区组中对照处理重复了几次，可以提高对照处理效应的精确度以及试验处理比较的精确度。几个对照处理也可以是不同的试验处理，用来比较几个方面或几种试验指标的要求。

有时在不同的试验条件下，不能把各试验处理都和对照处理在同一个试验条件下都安排试验，可以利用共同对照处理来间接地相对比较。如例1·4揉茶机试验中，有揉茶机机型和转速两个试验因素，全部组合处理有9种，现从中选择了55型-55转；75型-57转；95型-57转；95型-59转四种组合处理，要在长沙、杭州、绍兴三个茶坊进行试验。但是各茶坊的揉茶机机型不全，长沙茶坊只有55型和95型两种揉茶机，杭州茶坊只有75型和95型两种揉茶机，而绍兴茶坊只有95型揉捻机。现在要把这四种组合处理同时安排在每个茶坊内是不可能了，而要茶坊之间进行比较也因机型不同而不好比较。这时可把95型-57转（或59转）作为共同对照处理，因为三个茶坊都有95型揉茶机。在长沙茶坊进行55型-55转、95型-57转和95型-59转三个组合处理，在杭州茶坊进行75型-57转、95型-57转和95型-59转三个组合处理，在绍兴茶坊进行95型-57转和95型-59转两个组合处理，都把95型-57转作为共同对照处理。虽然三个茶坊的试验条件和操作技术不完全一致，供试原料虽然都是四级毛茶，但也存在着差异。但是在同一茶坊内，试验处理与对照处理的试验条件是相同的，这样可以通过共同对照处理，用与对照处理的差数或百分数，经过修正来间接的相对比较各种组合处理。

七 设置区组

从试验因素、水平来确定试验处理和组合处理以后，就可以着手进行试验设计。对试验

处理或组合处理之间的比较，是应用唯一差异的原则，而把其它试验条件都应控制一致。对于一些可控的试验条件，可以把它们控制、固定在某种状态、用量或等级上。但是农业机械的试验条件，很多是土壤、物料、作物、种子、秧苗等自然界对象、农业制造工业的材料、工艺、零部件的质量等都存在着很大的差异。试验过程中也因时间先后、气候、机械状态等自然条件和环境条件的变化，也使试验条件产生变异。因此，试验条件的干扰因素常会影响、干扰试验指标的精确性和可比性。

设置区组是控制试验条件干扰因素的一项重要试验设计的技术措施。在完全区组试验中设置区组，是把各试验处理都安排在一个内部尽量均匀的区组中，来控制试验条件干扰因素的局部差异。这样在每区组内分设若干小区，每一小区就是一个试验单元，每个试验单元安排一种试验处理或组合处理，每个区组就是一次重复试验。在不完全区组试验中，每区组并不包括全部试验处理或组合处理，视试验设计情况，由几个区组包括全部试验处理，则几个区组才组成一次重复试验。

现在以例1·1剪羊毛刀片的5B202钢材为例，如冶炼厂送来五炉批熔炼的试棒，每炉批有五根试棒，共25根试棒提供试验应用。现如做一次160℃和200℃两种回火温度的两种试验处理的对比试验，以160℃回火作为对照处理标作CK，以200℃回火作为试验处理标作A。如在试棒中取第1炉批中第4根试棒上，取一段80厘米的试棒段安排CK对照处理。另取第3炉批中第2根试棒上，取一段80毫米的试棒段安排A试验处理。这两个试棒段都加工成80×10×10毫米的试块，在淬火与回火处理以后，试验两种试验处理的试块的冲击韧性（公斤·米/厘米²）。按照这种的试验设计，试验的安排见图1~1。

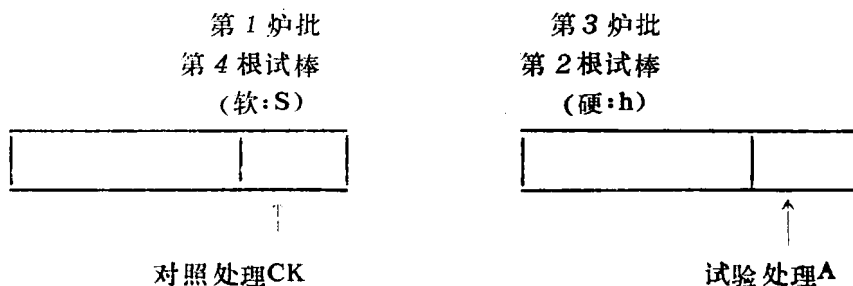


图1~1 两炉批试棒安排两种试验处理图

上述例1·1及图1~1中所取的试棒段，叫做试验单元，试验单元是指一种试验处理进行一次试验的单元，试验单元也是试验小区，所以一个试验单元或试验小区，只能安排一种试验处理或组合处理。

从图1~1的试棒安排，初步想来不论哪一炉批或哪一根试棒，都是5B202钢材的试棒，用来做两种试验处理的对比试验，好象是没有什么问题的。但是仔细的考虑一下，图1~1中CK对照处理只在第1炉批第4根试棒上做了试验，A试验处理只在第3炉批第2根试棒上做了试验。因此，只有“第1炉批第4试棒——CK”和“第3炉批第2根试棒——A”两种组合关系。而例1·1的试验目的是要比较CK对照处理与A试验处理的冲击韧性，根据唯一差异的原则，除了试验处理不同外，其它试验条件应控制一致，才能相互比较。可以设想，不同批熔炼的钢材，在材料配方、熔炼过程中的条件控制上、熔炼人员的技术与操作等各种条件是很难控制一致的。即使是同炉批的钢材，但出炉先后或轧钢的过程中的不同，也

会有不均匀的。甚至同一根试棒内不同部位的钢材质量上也会有差异的，只是炉批间、试棒间、试棒内的钢材材质的差异程度不同而已。按图 1~1 的试验设计，如果第 3 批第 2 根试棒段的材质较硬，把它的效应标作 h ，当然冲击韧性较高。而第 1 批第 4 根试棒较软，把它的效应标作 S ，当然冲击韧性较差。这样的试验结果就很难分清楚是由于两种不同试验处理的真实规律，造成试验结果的差异，还是由于钢材试棒段的材质不同的作用，这种现象在试验设计中叫做混杂现象。当要比较 CK 对照处理与 A 试验处理时，它们的实际差数 $(CK-A)$ 与统计估计差数是不相等的。当试棒段的材质不利于冲击韧性时：

$$CK - A = (CK - S) - (A - h) = (CK - A) - (S - h)$$

当试棒段的材质有利于冲击韧性时：

$$CK - A = (CK + S) - (A + h) = (CK - A) + (S - h)$$

因此在试验设计时，如果不考虑到钢材炉批，不同根试棒或试棒段之间的材质差异，就进行试验，可能得出错误的结论，或解释不清楚试验结果。

为了在试验中控制如上述钢材试棒段材质硬软不同的干扰因素，现在改变一下图 1~1 的试验设计方法。现考虑冶炼工厂所提供的试棒，有不同炉批和同炉批不同根的试棒，可以认为不同炉批之间的试棒材质差异较大，同批不同根试棒之间的差异小一些，同根中相邻位置的试棒段比相距较远的试棒段之间，相对来说会均匀一些。现如在同批同一根试棒上的 80 毫米试棒段上，再分成两个 40 毫米长的试棒小段作为试验单元，来安排 CK 对照处理和 A 试验处理。这样就是在第 1 炉批第 4 根试棒和第 3 炉批第 2 根试棒的试棒段上的相邻两个试棒小段，都安排了 CK 对照处理和 A 试验处理，就控制了不同炉批、同批不同根、同根不同段上的试棒材质差异对试验指标冲击韧性的影响。这种试验设计技术称为设置区组，也叫做局部控制。上述各试棒上 80 毫米的试棒段称为区组，其中所分成的两个试棒小段称为试验小区，也就是试验单元，每区组中的两个试验单元就可以用来随机的安排两个试验处理。具体安排见图 1~2。

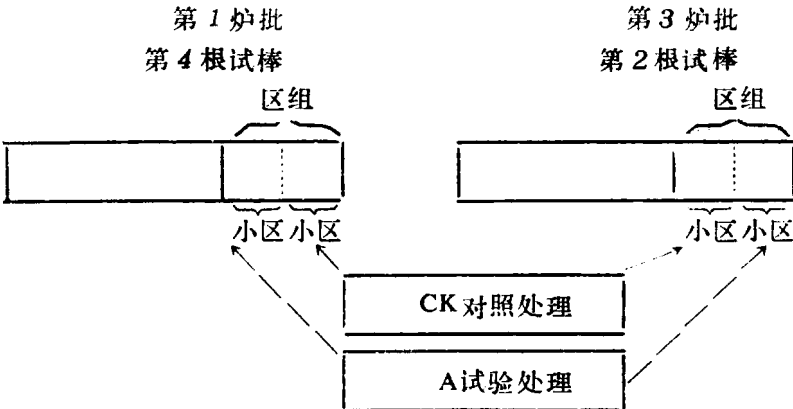


图 1-2 试棒段区组安排两种试验处理图

图 1-2 的试验设计就与图 1-1 的不同了。CK 对照处理和 A 试验处理都在两炉批的两根试棒段上安排了试验。如果两炉批的两根试棒段的材质有差异，那末两种试验处理所受的影响是均衡的、相同的，就控制了炉批、试棒干扰因素对两种试验处理的试验指标的影响，试验结果就具有可比性，也不会把干扰因素的作用混杂在试验处理的效应中而分析不清楚。当要

比较CK对照处理与A试验处理时，它们的实际差数（CK - A）与统计估计差数是相等的。不论在试棒段的材质有利或不利于冲击韧性时，由于不同炉批的不同试棒段区组内，都安排了CK对照处理与A试验处理，试棒材质硬、软的效应对试验处理的影响是相同的，都可以标作d，而控制了它们的影响，则当试棒段的材质不利于冲击韧性时：

$$CK - A = (CK - d) - (A - d) = (CK - A) - (d - d) = CK - A$$

当试棒段的材质有利于冲击韧性时：

$$CK - A = (CK + d) - (A + d) = (CK - A) + (d - d) = CK - A$$

从图 1-2 中，也可以看出两炉批的两根试棒段与两种试验处理之间的组合都配全了。它们共有：第 1 炉批第 4 根试棒段——A；第 1 炉批第 4 根试棒段——CK；第 3 炉批第 2 根试棒段——A；第 3 炉批第 2 根试棒段——CK 等四种组合，而且出现的次数相同（图 1-2 中都是一次），这样的试验设计称为均衡性试验设计。图 1-2 中的试验设计，与图 1-1 中的试验设计的效果就大为不同。

设置区组来控制试验条件的干扰因素对试验指标的影响，使各种试验处理在相对均匀的试验条件下进行比较试验，是提高试验的精确性，可比性，减少试验误差的一项重要试验设计技术措施。

上面所说的是通过二次重复试验的例子，来说明设置区组的意义。例 1·1 中冶炼工厂提供了五炉批，每批五根试样，现在要做五次重复试验，应该怎样来安排试验，现设提出三个方案：

（一）从全部的 25 根试棒中随机的取一根试棒，在试棒上取 5 个试棒段，共设置 5 个区组，安排 5 次重复试验。

（二）从五炉批中随机的确定一个炉批，在该炉批的五根试棒上，各取一个试棒段，来设置五个区组，安排五次重复试验。

（三）从五炉批中，在各炉批中随机各取一根试棒，在各试棒上取一个试棒段，共设置 5 个区组，安排五次重复试验。

从上述三种方案中，以（一）方案的试验条件最均匀，它是都在一根试棒上安排试验，就没有炉批间和试棒之间的材质差异。（二）方案是同炉批内的五根试棒，它有试棒之间的材质差异，但是没有炉批之间的材质的差异。（三）方案则有炉批之间和试棒之间的材质差异。现在在安排试验时拟采用第（三）种试验方案。这是因为从（一）方案的一根试棒内得出的试验结果，虽然试验条件比较均匀，但是只说明从这根试棒内得出的试验结果，它们代表性就有一定的限度，也不知道这一根试棒的材质在今后钢材成批生产应用中是偏高或偏低，或有多大的代表性。（二）方案从同一炉批的五根试棒来安排五次重复试验，也只能说明一炉批试棒条件下得出的试验结果，也不知道这炉试棒的材质在今后钢材大批生产中是偏高或偏低，试验结果会有多大的代表性与适应性。现在考虑采用第（三）方案，从五炉批中随机各取一根试棒来安排五次重复试验，在每炉批的一根试棒的试棒段中设置区组，在区组内的试验小区上都安排了两种试验处理，控制了炉批间和试棒之间材质差异的影响，同时还可以反映出不同炉批不同试棒的试验条件的材质不同对试验指标的影响，扩大了对试验处理的适应性和认识范围，提高试验效果，而不影响两种试验处理的可比性，所以这样的试验方案是比较有利的。通过这个例子，可以说设置区组时，区组之间的试验条件差异可以大一些，而区组内各试验小区的条件则要求相对均匀一致，对区组内的一些不可控制或不能预料的差异，

可以通过随机化措施来予以控制。但是，必须注意到这并不是说试验条件不需要控制均匀一致，否则在区组内的试验条件差异也不好控制，也决不是试验设计或统计方法所能控制的。

在农业机械试验中的田间试验设置区组或材料，工艺试验中在钢板、橡胶等原料中设置区组来控制试验条件影响，它的原则也同上述试棒段区组的相同。只是在一块试验地或一块试验地的一条、一个地段内设置区组，或是在一块钢板、橡胶或一块原材料的一条、一段内设置区组，只是与图 1-2 的试棒区组形式不同而已。

在试验结果分析中，对于区组的影响大小，由于各区组内都包含了各种试验处理，区组之间的差异，同水涨船高一样，控制了区组间差异对各试验处理进行比较时的影响，在试验结果分析中，通常可不予考虑。只是在试验设计中考虑它的差异的存在，而通过设置区组予以控制。在方差分析中可以把区组的差异从试验误差中分解出来，使试验误差更为合理的来评定各试验因素的作用。

通常在设置区组来控制试验条件干扰因素时，是认为试验因素与干扰因素之间是不存在交互作用的。如果存在着交互作用，就不能把干扰因素作为区组，而要把干扰因素也作为一个试验因素安排在试验中。例如有一种粘土犁和一种通用犁来进行性能对比试验，试验地的土壤是粘土。当然在翻垡、碎土等性能上，粘土犁表现较好，普通犁较差。这就是试验条件粘土，对粘土犁的性能起了促进作用，对通用犁起了抑制作用。如在砂壤土内进行试验，则试验条件砂壤土对通用犁的性能会起到促进作用，对粘土犁起到抑制作用。这就是说土壤条件干扰因素与试验因素之间存在着交互作用。在这种情况下，就应把土壤也作为一个试验因素，取粘土与砂壤土两个水平，就成为犁别与土壤质地两个试验因素的试验。不然就要得出错误的结论。

在农业机械试验中，由于试验条件复杂，大多数的试验条件是不均匀的，均匀的是比较少的。所以在试验设计时，要事先考虑在这个试验中除了试验因素外，有哪些可能出现的干扰因素，分别加以控制解决，对于需要考虑设置区组或综合区组来控制的，则在试验设计与试验安排时，应事先予以考虑解决。

在农业机械试验中，设置区组的内容是很广泛的，例如：

在耕作机械试验中因土壤坚实度、含水率不同，要以土壤作为区组。

在收获机械试验中因作物生长与产量不同，要以作物作为区组。

在畜牧试验中，可以把鸡、猪、羊群作为区组，同胎的比异胎的来得均匀，在不可能有同胎时，应尽量找同龄、同性别、等重量、均匀的动物作为区组。

在制造材料、工艺试验中，钢材、橡胶等原材料可作为区组。

不同批的供试原材料或一批原材料不足供给各种试验处理时，可以把原材料来源作为区组。

在制造或试验过程中应用多台设备或仪器时，由于精度不完全一致，可以把设备或仪器作为区组。

由于操作人员或班次不同，在个性、操作技术上可能造成差异，可以把人员或班次作为区组。

试验如因时间、日期不同，则气候、温度或其他试验条件会引起差异，可以把时间、日期作为区组。

有时在制造、工艺或农业机械化生产过程中的一系列综合措施是不相同的，可以用不同

的综合措施作为区组。

一个试验中，在试验设计时如事先考虑到有多个试验条件干扰因素，可以应用设置综合区组的办法。例如联合收割机功率消耗试验，有三种试验处理，重复试验六次，就要设置六个区组，试验时考虑田间小麦生长不匀要设置小麦区组；半天作不完全部试验，要分成上、下午来作，而上、下午的小麦干、湿程度不同，要设置时间区组；试验时因仪器条件所限，上、下午不能用同一台仪器，要设置仪器区组。可以用综合区组的办法，如按田间小麦生长情况先划成六个小麦区组，可以把1、4、6区组在上午用甲台仪器试验，2、3、5区组在下午用乙台仪器试验。这样的试验设计把小麦区组、时间区组、仪器区组都混杂起来了，但考虑到它们不是主要试验因素，相互之间没有明显的交互作用，虽然各区组的试验条件不同，但是各试验处理在6个区组内都作了试验，由于各区组试验条件对各试验处理的影响是等同的，各试验处理之间的相互比较并未受到影响。

在设置区组时，应事先对试验条件作调查研究，了解试验条件的差异情况，如在作收割机试验时，不能硬性地在田间划几个区组，要根据作物生长情况，来设置区组。在区组内要求作物生长较均匀、整齐，在区组之间则可以有差异，但也要具有各地生产的代表性。又如一种厚钢板，钢板中间与四周，可能在材质上有区别，在设置区组时就要设在区组内部的材质相似、均匀的位置上。

对设置区组的重复试验，应按区组来作完试验，不要把各区组中同一试验处理都先做完，再逐一做其他的试验处理，以免引起区组内部的各试验处理因试验先后相差太大，而产生区组内各试验处理的试验条件的差异。但是农业机械田间试验，常受到作业行程和行走路线的限制，如在耕地过程中不能按区组耕地，在试验设计时应预先考虑在一定时间内做完几个区组的试验，而不致产生试验条件有变化而影响试验处理的效应的比较，在试验设计与田间安排时应比较慎重的考虑。

八 试验单元、总体单元、样本单元

试验单元是指一种试验处理（或组合处理）进行一次试验的单元。一个试验单元只能安排一种试验处理，一种试验处理的若干次重复，就是若干个试验单元。在设置完全区组的重复试验中，一种试验处理的若干次重复，就是各区组中一种试验处理的一个试验单元的若干次重复，一个试验单元也就是各区组中的一个试验小区。

在例1·2中的黑龙江地区三种深松耕法比较试验，试验要求重复五次，就要设置五个区组，每个区组内设三个试验小区，就是三个试验单元，可以安排三种深松耕法的试验的试验处理，每种深松耕法的试验处理，在每个区组内都要安排一个试验小区，也就是试验处理的五个重复试验单元。

在例1·4中的揉茶机试验，试验单元是一次投入揉茶机的一筐毛茶原料，在这一筐毛茶原料中安排一种组合处理。

要分清总体单元和样本单元，首先要分清总体和样本的概念。

在试验研究工作中所研究的现象的全体称为总体，组成总体的每一个单元，称为总体单元。总体单元通常是以研究现象的自然单元作总体单元，例如，例1·1研究一种钢材的冲击韧性，就以一块钢材的冲击韧性作为总体单元，研究插秧机每穴插秧株数，就以一穴的株数为