



质量管理

余建军



第一章 质量管理概述

第一节 质量、质量特性与质量职能



1、质量的定义：

ISO8402:1994标准

反映实体满足明确和隐含需要的能力的特性总和。



实体——可以单独描述和研究的事物
(活动或过程、产品、组织、人员或上述组合)

明确和隐含需要——在合同情况下，或是在法规规定情况下，如在安全性领域中，需要是明确规定的；而在其他情况下，隐含的需要则应加以识别并确定。在许多情况下，需要会随着时间而变化，这就意味着要对质量要求进行定期评审。



ISO9000:2000标准

一组固有特性满足要求的程度。

特性——可区分的特征。可由如下几个方面去理解



二、质量管理发展史

1、检验质量管理阶段

质量管理发展的最次阶段。这阶段是从20世纪初至20世纪40年代。

产生了一支专职检查队伍，并由检验人员集中组成了专职检查部门。

质量管理实际只是单纯依靠检验。限于对产品质量事后把关而已。



等产品制造完成后，再来检验其优劣好坏的质量管理办法。有两个实际问题无法解决。一个是如何经济合理地确定标准，并有效地控制生产过程预防废品的产生。另外一个问题是，在破坏性检验以及某些产品质量特性不可能全检的情况下，难以了解和保证出品质量。



2、统计质量管理阶段（40年代至60年代）

统计质量管理产生的历史背景是20世纪40年代以后，生产力进一步发展，大规模生产形成，如何控制大批量产品质量成为一个突出问题。

1924年，美国贝尔研究所工程师休哈特提出用数理统计方法进行质量管理，并发表著名的“控制图法”，为统计质量管理奠定了理论和方法基础。



统计质量管理，就是主要运用数理统计这一手段，从产品波动中找出规律性，消除产生波动的异常原因，使生产过程的每一个环节控制在正常的生产状态，从而保证产品质量。

统计质量管理实现了从被动的事后把关到生产过程的积极预防的转变。是质量管理方法上的一次飞跃。



尽管统计质量管理是科学的、经济的，但是也存在许多不足之处。其主要问题是：

- ①它仍然以满足产品标准为目的，而不是以满足用户的需要为目的；
- ②它仅偏重于工序管理，而没有对产品质量形成的整个过程进行控制；
- ③统计技术难度较大，主要靠专家和技术人员，难以调动广大工人参与质量管理的积极性；
- ④质量管理与组织管理未密切结合起来，质量管理仅限于数学方法，常被领导人员忽视。



3、全面质量管理阶段（20世纪60年代至今）

促使统计质量管理向全面质量管理过渡的原因主要有以下几个方面：①科学技术和工业发展的需要。②60年代在管理理论上出现了行为学派。③保护消费者利益运动的兴起。④随着市场经济的发展，竞争剧烈。



第三节 排列 (Pareto) 图法

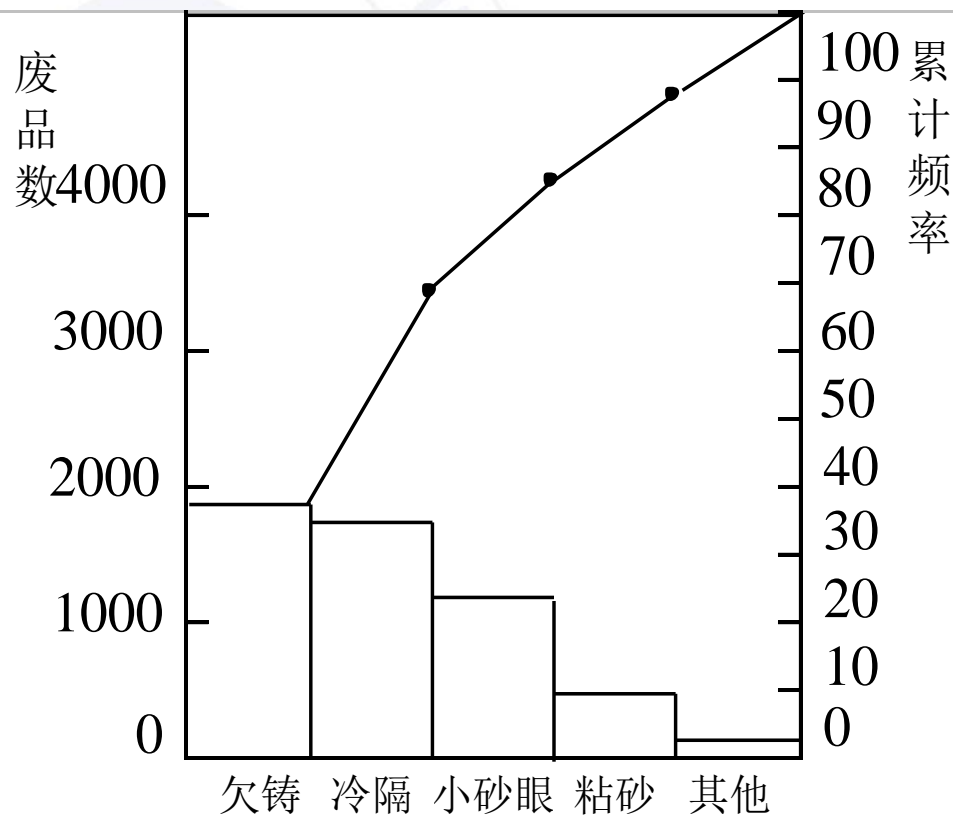
排列图是为了寻找主要问题或影响质量的主要所使用的图表。它是由两个纵坐标、一个横坐标、几个按高低顺序依次排列的长方形和一条累计百分比曲线所组成的图。



一、排列图示例

废品统计表

项目	废品数(件)	频率(%)	累计频率(%)
欠铸	1746	36.23	36.23
冷隔	1537	31.89	68.12
小砂眼	913	18.95	87.07
粘砂	493	10.23	97.3
其他	130	2.7	100
合计	4819	100	





排列图又称主次因素图或Pareto图。最早是由意大利经济学家Pareto于1897年分析社会财富分布状况时，发现少数少数人占有绝大多数财富，而绝大多数人却只有少量财富。即“关键的少数和次要的多数”。后来由美国质量管理专家J. M. Juran 博士引入质量管理中，认为80%的问题仅来源于20%的主要原因。





三、排列图的作图方法步骤

- 1、将数据进行分类；
 - 2、确定数据记录的时间；
 - 3、按分类项目进行统计；
 - 4、计算累计频率；
 - 5、按频数大小顺序作直方图；
 - 6、按累计比率作排列曲线；
 - 7、记载排列图标题及数据简历。
- Excel中，选“两轴线一柱图”即可



四、排列图分析

目的在于从诸多问题中寻找主要问题并以图形的方法直观地表示出来。通常把问题分为三类：

- A类属于主要或关键问题，在累计百分比80%左右；
- B类属于次要问题，在累计百分比80%~95%左右；
- C类属于更次要问题，在累计百分比95%~100%左右；



五、排列图注意事项

- 1、“项目”确定应表明“关键少数”，否则应重新排列。
- 2、“项目”不易太多 5—7项为宜。
- 3、取样数量不易太少，至少50个数据。
- 4、关键问题不死扣 80% ，一般1—2项为宜。
- 5、其它一定要放在最后 ，一般不大于10%。
- 6、图形规范，标注齐全。
- 7、累计百分比是折线，不是直线。
- 8、目标值高的情况不宜使用排列图。

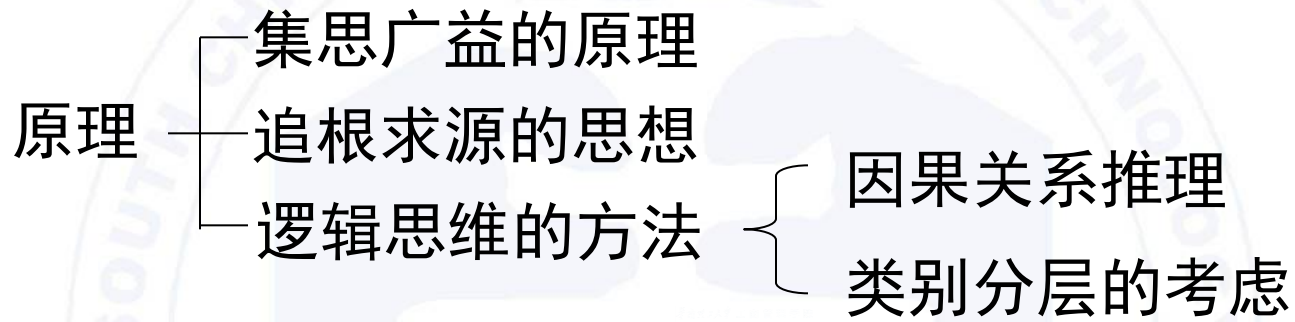


第四节 因果分析图法

因果分析图是用来分析影响产品质量各种原因的一种有效的方法，对影响产品质量的一些较为重要的因素加以分析和分类，并在同一张图上把它们的关系利用箭头表示出来，以对因果作明确系统的整理。因果图又称鱼刺图或特性要因图。

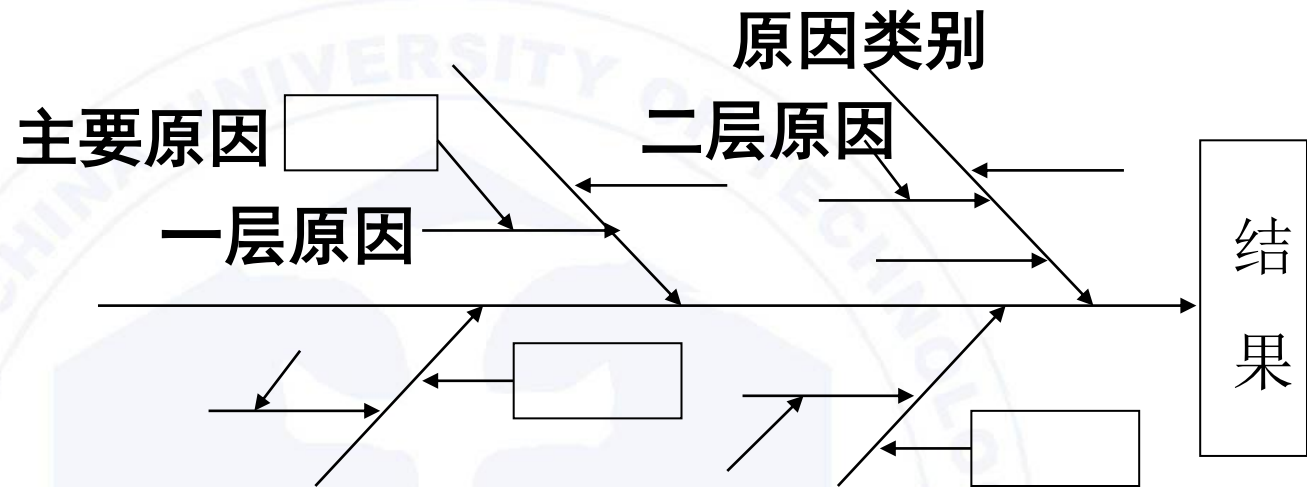


因果图是收集分析语言资料的好办法





图形：



说明：因果图由箭条和短语组成
主箭条右侧短语表示结果
对应主箭条的箭条为“原因类别线”
指向原因类别线的箭条为“第一层原因”
指向第一层原因线的箭条为“第二层原因” 以下类
别框框住的短语为主要原因：

主要原因在末端因素上选择，有事实和数据说明为什么是要因



2、确定该问题中影响质量原因的分类方法。





3、将各分类项目分别展开，每个中枝表示各项目中造成质量问题的一个原因。

4、将原因再展开，分别画小枝，小枝是造成中枝的原因，依次展开，直至细到能采取措施为止。

5、分析图上标出的原因是否有遗漏，结合现场，找出主要原因，画上方框，作为质量改进的重点。

6、注明因果图的名称、绘图者、绘图时间、参加分析人员等信息。



第四节 分层法

质量管理中的数据分层，即将数据依照使用目的，按其性质、来源、影响因素等进行分类，把性质相同、在同一生产条件下收集到的质量特性数据归并在一起的方法。

分层法经常同质量管理中的其他方法一起使用。如将数据分层之后再进行加工整理成分层排列图，分层直方图、分层控制图、分层散布图等。



分层的目的是为有利于查找产生质量问题的原因。在生产过程中，有许多影响质量因素的因素，这些因素往往纠缠在一块对产品质量发生影响。为了把这些因素分离出来，找到产生质量问题的原因，对产品按不同的标志进行分层是常用的方法。通常把性质接近，在同一生产条件下收集到的质量特性数据归纳在一起，可以使数据反映的现象特征更加明显。



质量特性数据常用的分层方法

- 1、按不同时间分，如按班次分；
- 2、按操作人员分，如按工人的级别；
- 3、按使用设备分，如机床的不同型号；
- 4、按操作方法分，如切削用量、温度、压力
- 5、按原材料分，如供料单位、进料时间批次
- 6、其他分层，如检验手段、使用条件、气候条件等



注意事项：

1、数据分层与收集数据的目的性紧密相联，目的不同，分层的方法和粗细程度也不同。另外，还与我们对生产情况掌握的称度有关。所以分层要结合实际情况进行。

2、分层要合理，要按不同的层次进行组合分层，以便使问题暴露得更清楚。



分层法应用实例：

某装配厂的气缸与气缸盖之间经常漏油。经过对50套产品进行调查后发现两种情况：1、操作者操作方法不同。2生产气缸垫的厂家不同。

方法一、按操作者分层

操作者	漏 油	不漏油	漏油率(%)
王师傅	6	13	32
李师傅	3	9	25
张师傅	10	9	53
共 计	19	31	38



方法一、按生产厂家分层

供应厂	漏 油	不漏油	漏油率(%)
A 厂	9	14	39
B 厂	10	17	37
共 计	19	31	38

以上两图实际比较，为降低漏油率，应采用李师傅的操作方法以及选择B厂作为供方，但如果按两种因素进行交叉分层又会得出新的结论。



方法三、两种因素交叉分层

操作者	漏 油	气缸垫生产		合计
		A 厂	B 厂	
王	漏 油	6	0	6
	不漏油	2	11	13
李	漏 油	0	3	3
	不漏油	5	4	9
张	漏 油	3	7	10
	不漏油	7	2	9
合计	漏 油	9	10	19
	不漏油	14	17	31
合计		23	27	50



第六节 直方图法

用直方图描述大量随机现象呈现的集体性规律即统计规律。

直方图也称频数分布直方图，其作用：

- (1) 判断一批已加工完成的产品质量。
- (2) 验证工序的稳定性。
- (3) 为计算工序能力收集有关数据。

直方图的绘制与分析过程，可以按以下三个阶段进行：



一、绘制频数分布直方图

1、收集数据。 自母体中抽取大小为 n 的子样， n 不小于50，确保 \bar{x} 及 s 的精度。

2、求全体数据的极差 R $R = X_{\max} - X_{\min}$

极差表示产品质量特性值的分布范围（离散度）。

3、确定分组数 K

n	50~100	100~250	250以上
K	6~7	7~12	10~20



4、计算分组宽度 h $h=R/K=(X_{\max}-X_{\min})/K$

5、计算各组的上下界限

6、统计各组频数 f_i

7、作出频数分布直方图

二、计算平均值 \bar{x} 及标准偏差 s

$$\bar{x} = x_0 + h * \frac{\sum_{i=1}^k f_i u_i}{n} \quad s = h * \sqrt{\frac{\sum f_i u_i^2}{n} - \left(\frac{\sum f_i u_i}{n}\right)^2}$$

在Excel中可以使用数据分析库中的直方图直接做出来。[工具]--->[数据分析]



三、直方图的观察与分析

对直方图的分析可从两个方面分析

1、直方图分布形状分析

整体形状近似于正态分布图形为正常状态分布。

2、直方图分布位置及范围与公差界限的比较。

不超出公差范围，且有一定余地。

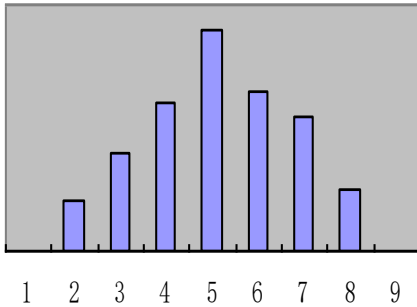


1. 图形分析

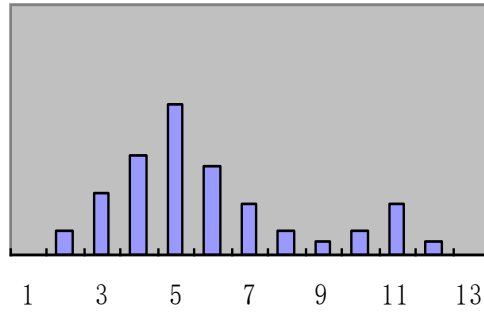
- 1) 正常型：符合正态分布
- 2) 孤岛型：过程有短暂异常因素
- 3) 偏向型：操作者倾向性加工
- 4) 双峰型：数据来源两个总体
- 5) 平顶型：有缓慢的异常因素
- 6) 锯齿型：分组过多或测量误差大



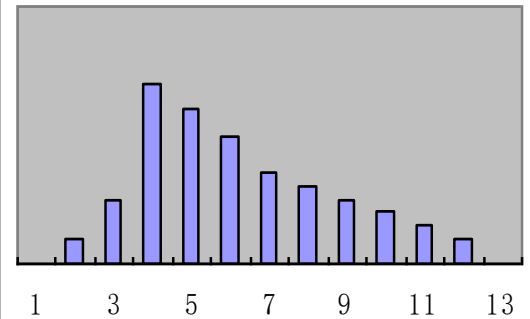
正常型



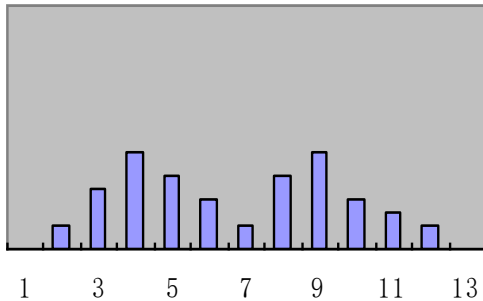
孤岛型



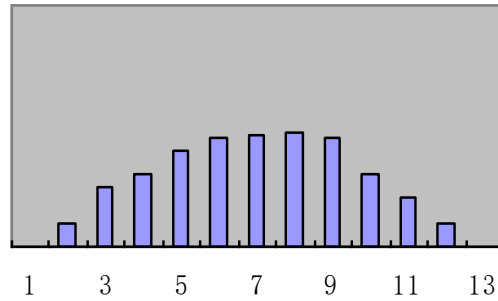
偏向型



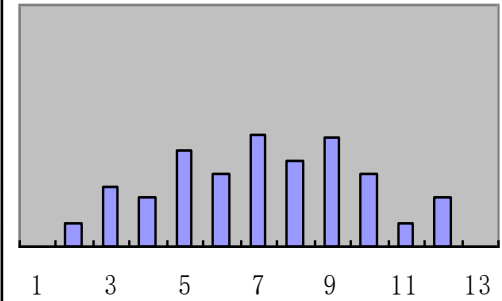
双峰型



平顶型



锯齿型





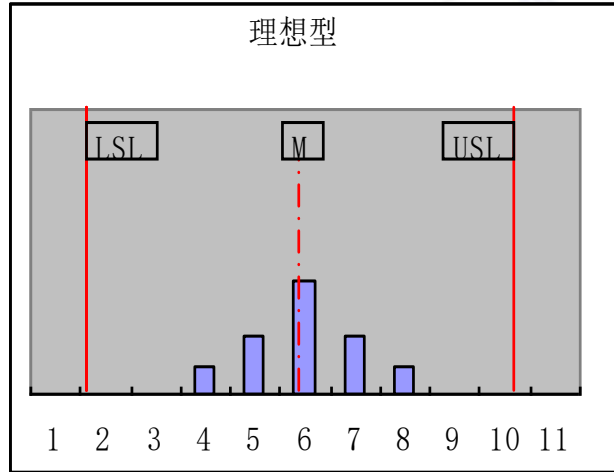
2. 对照公差分析

- 1) 理想型: $C_p=1.33$
- 2) 无富余型: $C_p=1$
- 3) 能力有富余型: $C_p>1.67$
- 4) 能力不足型: $C_p\leq 0.67$
- 5) 偏心型: 分布中心偏离公差中心
- 6) 陡壁型: 剔除了不合格产品后的直方图

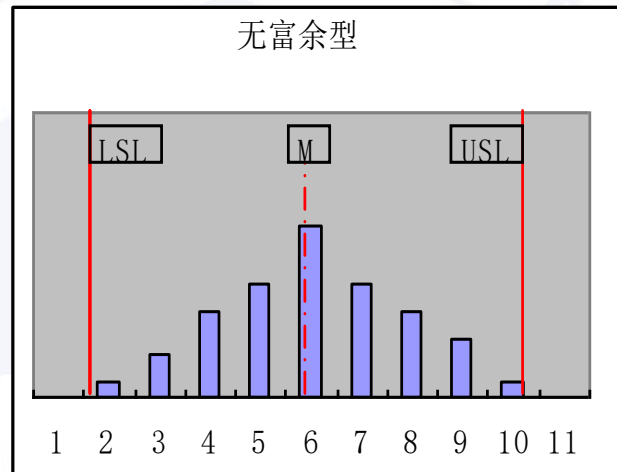


直方图对照公差分析

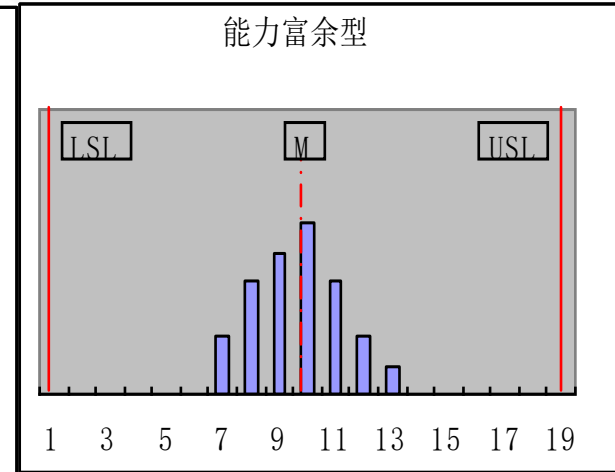
理想型



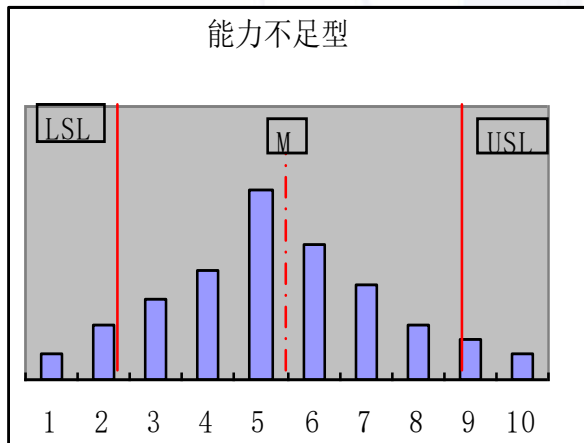
无富余型



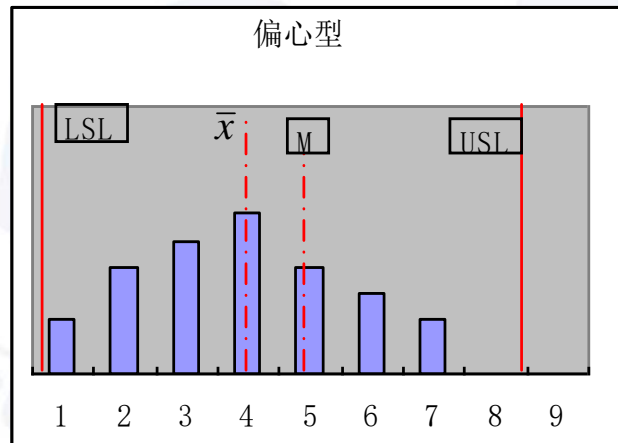
能力富余型



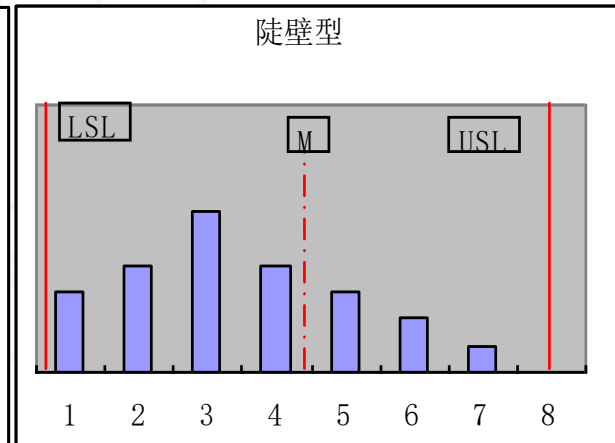
能力不足型



偏心型



陡壁型





四、直方图作图及分析实例

已知某产品的质量特性，要求伸长度为8—24毫米，现从加工过程抽取50件进行分析。

10	16	19	10	11	14	21	18	16	20
14	15	12	17	18	15	14	16	12	13
15	16	16	19	16	17	16	15	23	22
13	15	14	16	15	14	19	16	18	14
17	16	14	17	12	15	17	18	16	13



解：（1） $X_{\max}=23$ ， $X_{\min}=10$ 。

（2）极差 $R=23-10=13$

（3）组数 K 取7

（4）组宽度 h $h = \frac{R}{K} = \frac{13}{7} \approx 2$

（5）各组的上下界限：第一组上下界为：

$$X_{\min} \pm \frac{1}{2}h = 10 \pm 1 \quad \text{即} 9 \sim 11$$

第二组上下界为：即11~13

第三组上下界为：，即13~15



〔 6 〕 各组中心值：

第一组中心值
$$X_1 = \frac{9+11}{2} = 10$$

第二组中心值
$$X_2 = \frac{11+13}{2} = 12$$

第三组中心值
$$X_3 = \frac{13+15}{2} = 14$$

余类推



〔 7 〕统计各组频数f，整理成频数分布表

组号	组距h	中心值	频数统计	f_1	u_i	$f_1 u_i$	$f_1 u_i^2$
1	9—11	10	///	3	-3	-9	27
2	11—13	12	////, /	6	-2	-12	24
3	13—15	14	////, //, //, //	14	-1	-14	14
4	15—17	16	////, //, //, //, //	16	0	0	0
5	17—19	18	////, //	7	1	7	7
6	19—21	20	//	2	2	4	8
7	21--23	22	//	2	3	6	18
					0		

u_i 为简化中心值。

$$\sum f_i = 50 \quad \sum f_i u_i = -18 \quad \sum f_i u_i^2 = 98 \quad \sum f_i u_i = -18 \quad \sum f_i u_i^2 = 98$$



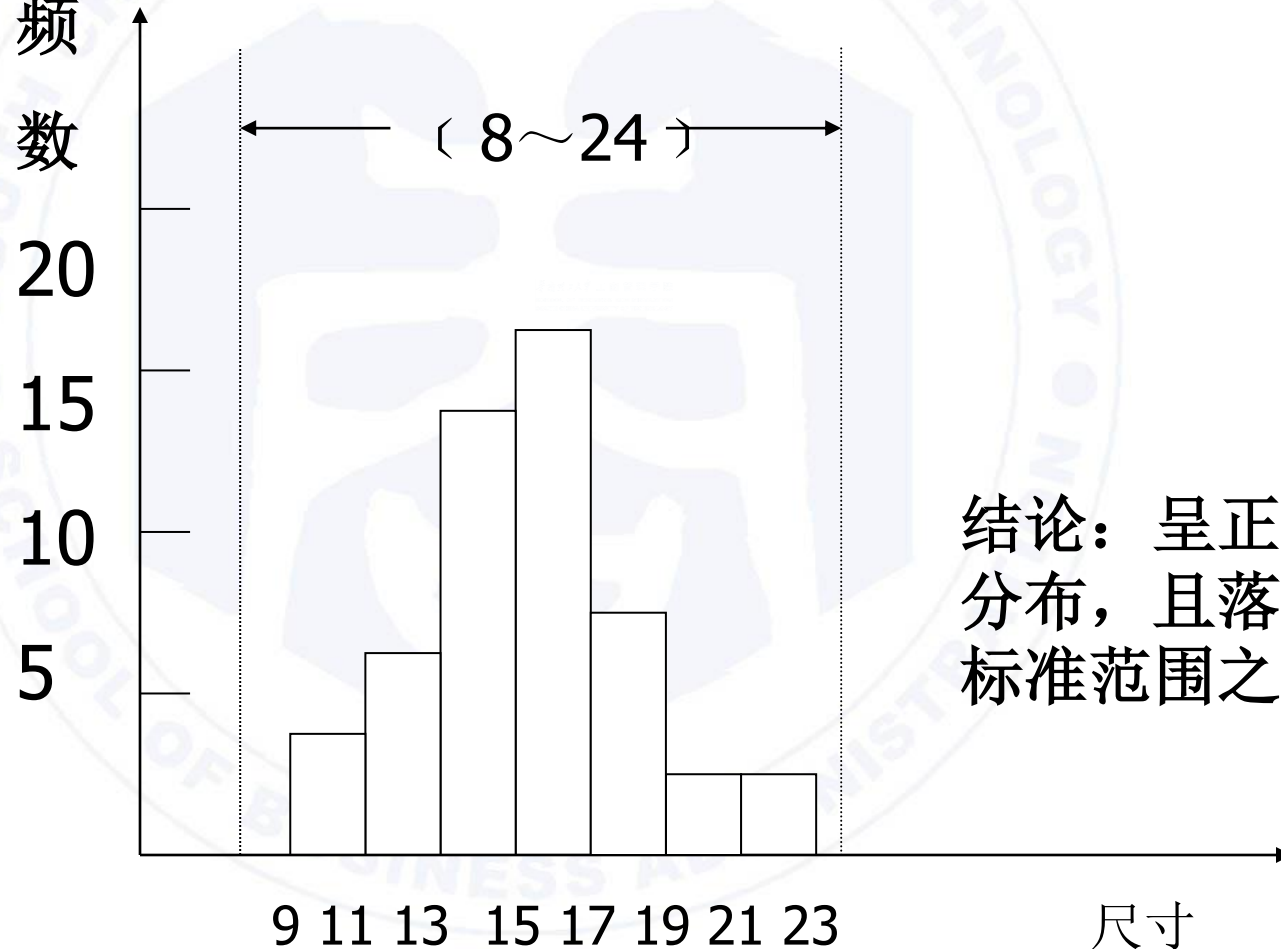
〔 8 〕 计算平均值 \bar{x} 及标准偏差 s

$$\bar{x} = x_0 + h * \frac{\sum_{i=1}^k f_i u_i}{n} = 16 + 2 \times \frac{-18}{50} = 15.3$$

$$s = h * \sqrt{\frac{\sum f_i u_i^2}{n} - \left(\frac{\sum f_i u_i}{n} \right)^2} = 2 \times \sqrt{\frac{98}{50} - \left(\frac{-18}{50} \right)^2} = 2.7$$



〔 9 〕画直方图并与标准比较



结论：呈正态分布，且落在标准范围之内。



第五章 工序能力分析

第一节 工序能力 (B)

一、工序能力的概念

每一道工序在一定条件下，均有使自己生产的产品达到一定质量水平的能力，通常习惯上把这种能力称之为工序能力。

工序能力——处于稳定状态下的工序实际的加工能力。



处于稳定生产状态下的工序应具备如下几个方面的条件：

- 1、原材料或上一道工序半成本按照标准要求供应；
- 2、本工序按作业标准实施，并应在影响工序质量各主要因素无异常的条件下进行；
- 3、工序完成后，产品检测按标准要求进行。

总之，工序实施以及前后过程均应标准化。



工序能力的测定一般是在成批生产状态下进行的，工序满足产品质量要求的能力主要表现在：

- 1、产品质量是否稳定；
- 2、产品质量精度是否足够。

因此，工序能力是以工序产品质量特性值的变动或波动表示。



工序能力的定量指标

工序能力的量化可以用 $\pm 3\sigma$ 原理来确定其分布范围。在实际中就用 6σ 的波动范围来定理描述工序能力。将工序能力记为B，则

$$B = 6\sigma \text{ 或 } \mu \pm 3\sigma$$



二、影响工序能力的因素

- 1、设备方面
- 2、工艺方面
- 3、材料方面
- 4、操作者方面
- 5、环境方面



三、进行工序能力分析的意义

- 1、工序能力的测定和分析是保证产品质量的基础工作；
- 2、工序能力的测试分析是提高工序能力的有效手段；
- 3、工序能力的测试分析为质量改进找出方向。



第二节 工序能力指数 (C_p)

一、工序能力指数的概念

质量标准是指工序加工产品必须达到的质量要求，通常用标准、规格公差(容差)、允许范围等来衡量，一般用符号T表示。

工序产品的公差与工序能力的比值，它表示该工序能力对产品设计质量要求的保证程度。称为工序能力指数。表达式为

$$C_p = \frac{T}{B} = \frac{T}{6\sigma}$$



二、工序能力指数的计算

1、计量值数据的 C_p

(1) 双侧公差而且公差中心M和分布中心 μ 重合

$$C_p = \frac{T}{6\sigma}$$

例：某车床加工零件，其尺寸标准是7.90～7.95mm，今从现场随机抽取样品100件进行检查，所得数据的平均值为 $\bar{x}=7.925\text{mm}$ ，标准偏差 $s=0.0052\text{mm}$ ，求工序能力指数？



解： $T_U=7.95\text{mm}$ ， $T_L=7.90\text{mm}$ ，

公差中心 $M=(7.95+7.90)/2=7.925(\text{mm})=\bar{x}$

因样本 $n=100$ ，所以可用 s 代替 σ ， \bar{x} 代替 μ

所以

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{7.95 - 7.90}{6 \times 0.0052} = 1.6$$

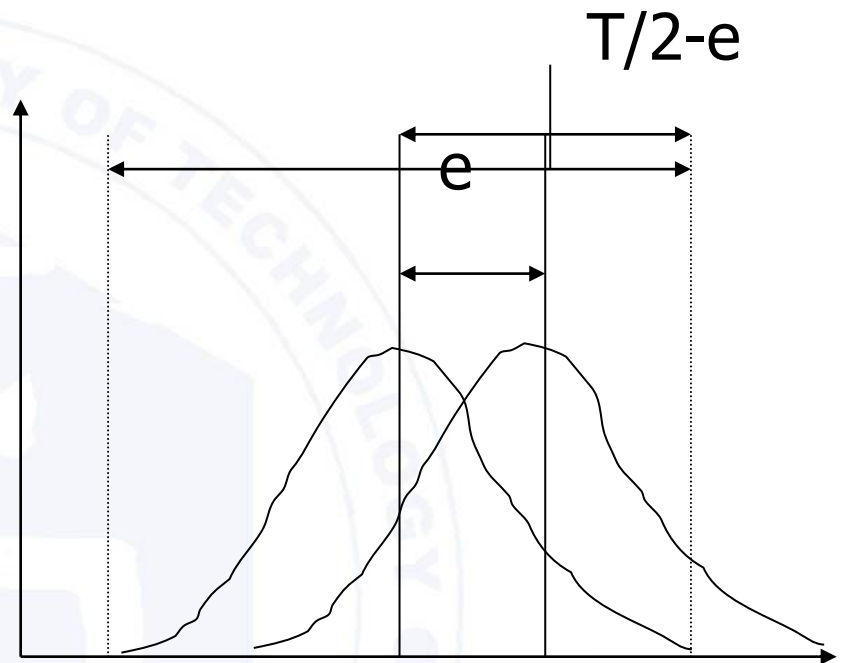


(2) 双侧公差但公差
中心和分布中心不重
合 ($M \neq \mu$)

$$e = |M - \mu|$$

$$K = \frac{e}{T/2} = \frac{|M - \mu|}{T/2}$$

$$C_{pk} = \frac{T/2 - e}{3\sigma} = (1 - K)C_p$$





例：某零件的尺寸标准是19.977~20.023mm，今从现场随机抽取样品100件进行检查，所得数据的平均值为 $\bar{x}=19.995\text{mm}$ ，标准偏差 $s=0.006\text{mm}$ ，求工序能力指数？

解： $M = (19.977 + 20.023) / 2 = 20.000 \text{ (mm)}$

$$e = |M - \bar{X}| = |20.000 - 19.995| = 0.005\text{mm}$$

$$T = 20.023 - 19.977 = 0.046\text{mm}$$

$$C_{pk} = \frac{T - 2e}{6\sigma} \approx \frac{0.046 - 2 \times 0.005}{6 \times 0.006} = 0.998$$



〔 3 〕 单侧公差的 C_p

技术要求以不大于或不小于某一标准值的形式表示，这种质量标准就是单侧公差

$$C_{pu} = \frac{T_u - \mu}{3\sigma} \quad C_{pL} = \frac{\mu - T_L}{3\sigma}$$

例：某绝缘材料厂生产某种绝缘材料，其耐压标准是1200伏特，令随机抽取样品50件进行试验，得到耐压的平均值 $\bar{x} = 4000$ 伏，标准偏差 $s = 1000$ 伏。求它的工序能力指数。

$$C_{pL} = \frac{\mu - T_L}{3\sigma} = \frac{4000 - 1200}{3 \times 1000} = 0.93$$



2、计数值数据的 C_p

〔1〕不合格品率及不合格品数的工序能力指数计算

$$C_{pp} = \frac{P_u - \bar{P}}{3\sigma_p} \quad \sigma_p = \sqrt{\frac{1}{n} p(1-p)}$$

$$C_{ppn} = \frac{P_{nu} - \bar{p}_n}{3\sigma_{pn}} \quad \sigma_{pn} = \sqrt{np(1-p)}$$



例：抽取大小为 $n=100$ 的样本 20 个，其中不合格品数分别为：1, 3, 5, 2, 4, 0, 3, 8, 5, 4, 6, 4, 5, 4, 3, 4, 5, 7, 0, 5，当允许样本不合格品数 (nP) 为 10 时，求工序能力指数。

$$\bar{p} = \frac{1+3+5+2+4+0+3+8+5+4+6+4+5+4+3+4+5+7+0+5}{20 \times 100} = 0.039$$

$$\bar{p}_n = n\bar{p} = 100 \times 0.039$$

$$C_{ppn} = \frac{P_{nu} - \bar{p}_n}{3\sigma_{pn}} = \frac{10 - 100 \times 0.039}{3 \times \sqrt{100 \times 0.039 \times (1 - 0.039)}} = 1.0503$$



〔 2 〕 计点值情况下工序能力指数计算

$$C_{pc} = \frac{C_u - \bar{C}}{3\sigma_c} \quad \sigma_c = \sqrt{\bar{C}}$$

例：抽取大小为 $n=50$ 的样本 20 个，其中疵点数分别为：1, 2, 0, 3, 2, 4, 1, 0, 3, 1, 2, 2, 2, 6, 3, 3, 5, 1, 3, 2，当允许样本疵点数为 6 时，求工序能力指数。

$$\bar{C} = \frac{1+2+0+3+2+4+1+0+3+1+2+2+2+6+3+3+5+1+3+2}{20} = 2.25$$

$$C_{pc} = \frac{C_u - \bar{C}}{3\sigma_c} = \frac{6 - 2.25}{3 \times \sqrt{2.25}} = 0.833$$



三、工序能力指数与不合格品率P的关系

当质量特性的分布呈正态分布时，一定的工序能力指数与一定的不良品率P相对应。

1、当分布中心和标准中心重合时

$$P = 1 - P(T_L \leq X \leq T_U) = 2\phi(-3C_P)$$

例：当 $C_P=1$ 时求相应不合格率P



2、当分布中心和标准中心不重合时

$$P = 1 - \varphi(3C_{PK}) + \varphi[(-3C_P)(1 + K)]$$

例：已知某零件尺寸要求为 $50 \pm 1.5\text{mm}$ ，抽取样本计算得： $\bar{X}=50.6$, $S=0.5$, 求零件得不合格率P。

3、查表法



第三节 工序能力分析

一、工序能力的判定

第 1 级别:

$$CP > 1.67$$

$$P < 0.00006\%$$

工序能力过分充裕

第 2 级别:

$$1.67 > CP > 1.33$$

$$0.00006\% < P < 0.006\%$$

工序能力很充裕



四、工序能力指数的评价

第 1 级别:

$$C_p > 1.67$$

$$P < 0.00006\%$$

工序能力过分充裕

第 2 级别:

$$1.67 > C_p > 1.33$$

$$0.00006\% < P < 0.006\%$$

工序能力很充裕



第 3 级别:

$$1.33 > C_p > 1.00$$

$$0.006\% < P < 0.27\% \quad \text{工序能力理想}$$

第 4 级别:

$$1.00 > C_p > 0.67$$

$$0.27\% < P < 4.45\% \quad \text{工序能力不足}$$

第 5 级别:

$$0.67 > C_p$$

$$P < 4.45\% \quad \text{工序能力严重不足}$$



二、提高工序能力的对策

- 1、当 $C_p \geq 1.33$ 时，控制工序的稳定性，以保持工序能力不发生显著变化。
- 2、当 $1.33 > C_p > 1.00$ 时，工序能力基本满足要求，当接近1时，则应采取措施加强对工序的控制；
- 3、当 $C_p < 1.00$ 时，表明工序能力不足，不能满足标准的需要。应采取改进措施，改变工艺条件，修订标准，或严格进行全数检查等。



三、提高工序能力指数的途径

根据： $C_{pk} = \frac{T - 2e}{6\sigma}$ 可知，提高工序能力指数有以下三种可能：

- 1、调整工序加工的分布中心减少偏移量，即减少 e

见书P172 例



2、减少分散程度，即减少 σ ，可采取如下措施：

- 修订工艺改进工艺方法；
- 改造更新与产品质量标准要求相适应的设备；
- 提高工具、工艺装备的精度
- 保证环境条件
- 加强人员培训
- 加强现场质量控制

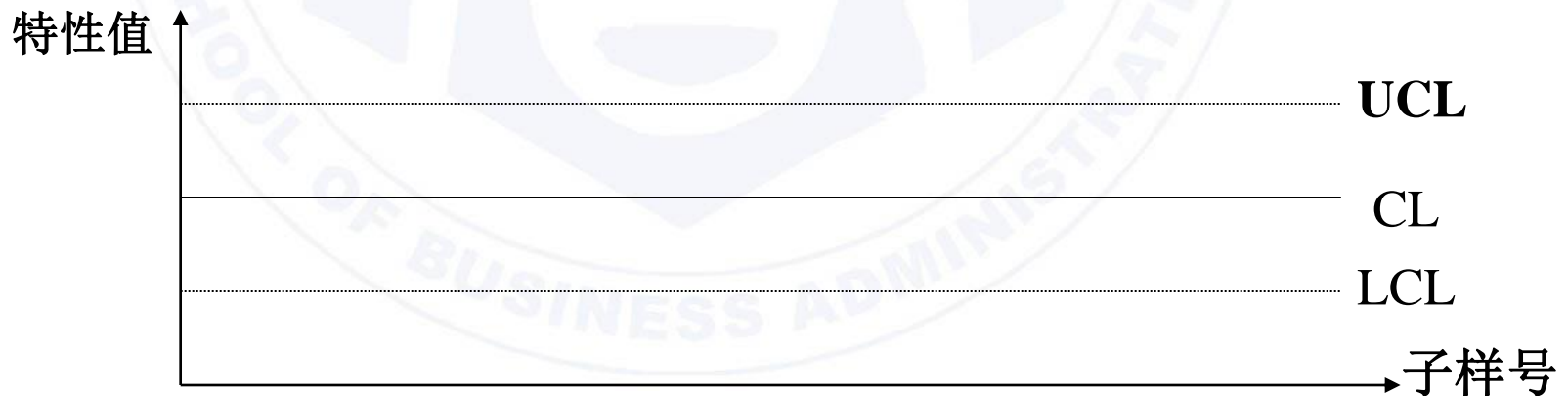
3、修订标准范围，考虑放宽T



第四节 工序质量控制方法——控制图

一、控制图的概念

控制图是画有控制界限的一种图表。用来控制生产过程状态（区分波动是系统的或者是随机的）保证工序加工产品质量的重要工具。





对加工过程进行统计质量管理一般可包括两部分工作内容。其一是调查一道工序是否处于稳定状态，其次是已知一道工序是稳定的，为保证其在预期的时间内，始终处于稳定状态而进行的动态统计控制。

前一项工作可以利用频数分布图，后一项工作主要利用控制图的方法完成。



二、控制图的原理

1、控制图的控制界限

控制界限主要用以鉴别加工过程是否稳定。控制界限与公差界限不同，在质量管理工作中具有不同的作用。公差界限是作为产品合格或不合格的判断基准，而控制界限则是作为考察整个工序是否异常的判定基准。

中心线 $CL = \mu$ (或 $\bar{\bar{X}}$)

上控制线 $UCL = \bar{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{x}}$

下控制线 $LCL = \bar{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{x}}$

$$3\sigma_{\bar{x}} = 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$



2、控制图的两类错误

第一类错误：虚发警报。加工过程正常，而子样（点子）却越出了控制界限，因而被误判为出现异常，发生这种概率以 α 表示。

第二类错误：未发警报。加工过程异常，而子样（点子）仍处了控制界限之内，因而被误判为出现正常，发生这种概率以 β 表示。



第八章 试验设计

第一节 单因素试验设计

一、对分法

也叫平分法，适用于试验范围 $[a, b]$ 内，目标函数为单调（连续或间断）的情况下，求最优点的方法，即根据结果可以决定下次试验的方向，就可以应用对分法。



对分法的作法：

每次取优选因素所在试验范围 $[a, b]$ 的中点处 C 做试验。计算公式： $C = (a+b) / 2$

根据试验结果确定下次试验的方向。如下次试验在高处，就把此次试验点 C 以下的一半范围 $[a, c]$ 划去。反之，把另一半划去。如此类推。



例如：某毛纺厂为解决色染不均，常常出现外红里浅的问题，要优选起染温度，采用对分法。



二、均分法

在试验范围 (a, b) 内，根据精度要求和实际情况，均匀地排开试验点，在每一个试验点上进行试验，并相互比较，以求最优点的方法。作法如下：

试验范围 $L=a-b$ ，试验间隔为 N ，则试验点数为 $n=L/N+1$ 。



例如：对采用新钢种的某零件进行磨削加工，砂轮转速范围为420~720，拟经过试验设计找出能使光洁度最佳的砂轮转速值。取试验间隔 $N=30$ ，则：

$$n = (720 - 420) / 30 + 1 = 11$$



三、0.618法

又叫黄金分割法。这种方法在试验范围 (a, b) 内，首先安排两个试验点，在根据两点试验结果，留下好点，去掉不好点所在的一段范围，再在余下的范围内继续寻找好点，去掉不好点，如此继续地作下去，直到找到最优点为止。要求试验结果目标函数 $f(x)$ 是单值函数。



作法如下：第一个试验点X1安排在试验范围(a, b)的0.618处，第二个试验点X2安排在试验范围(a, b)的0.382处，即0.618的对称点。
即：

$$X1=a+0.618(b-a); \quad X2=a+b-X1$$

也即：第一点 = 小 + 0.618 (大 - 小)

第二点 = 小 + 大 - 第一点 (前一点)

前一点是经过试验后留下的好点。

见书上P273例



四、分数法

基本原理与0.618法相同。使用于试验范围 (a, b) 内目标函数为单峰的情况。但与0.618法不同之处在于要求预先给出试验总数，或者可由已确定的试验范围和精度计算出试验总数的情况。如当试验点只能安排在一些离散点上时，如机床的转速有若干档次，采用分数法更为方便。



第二节 正交试验的基本方法

一、正交试验的概念

1950年代田口玄一(Taguchi Genichi)博士倡导使用直交表的实验设计，并领导一群研究人员开发各种直交表、点线图、应用技巧及解析方法。此方法由于对实验的结果再现性高，配置实验的伸缩性大，实验次数少，实验配置容易与解析方法简便等理由与益处，因此在日本迅速的普及。



正交试验法，也称为正交试验设计法，就是一种多快好省地安排和分析多因素试验的科学方法。它是应用“均匀分散性”和“整齐可比性”的正交性原理，从大量的试验中挑选适量的具有代表性、典型性的试验点，根据“正交表”来合理安排试验的一种科学方法。

正交试验法的主要优点是合理安排试验，减少试验次数；找出较好的试验方案；找出质量指标与影响因素之间的关系；找出进一步改进产品质量的试验方向。



二、正交试验法常用术语

（1）试验指标

试验中用来衡量试验结果的一个特征量，即要考核的项目或效果。产品的质量、成本、产量等都可以作为衡量试验效果的指标。能够用数量表示的试验指标称为定量指标，如重量、尺寸、速度、温度、性能、寿命、硬度、强度等。不能够用数量表示的试验指标称为定性指标，如颜色、外观、味道等。



〔 2 〕 因素

对试验指标可能有影响的原因，也可称为因子。因素是在试验中要考察的重要内容。在试验中能够人为地加以控制和调节的因素统称为可控因素。如温度、时间、转速等等。由于试验条件的限制，暂时还不能够人为地加以控制和调节的因素统称为不可控因素。如机床微小振动、刀具的微小磨损等。正交试验法在设计试验方案时，一般只适用于可控因素。



〔 3 〕 水平

在正交试验法中，因素变化的各种状态和条件称为因素的水平，也称位级。在试验中需要考察某因素的几种状态时，称该因素为几水平。如温度因素中选为 25°C 、 30°C 、 40°C 三种状态，则称温度因素为三个水平的因素。



三、正交表

1、正交表格式

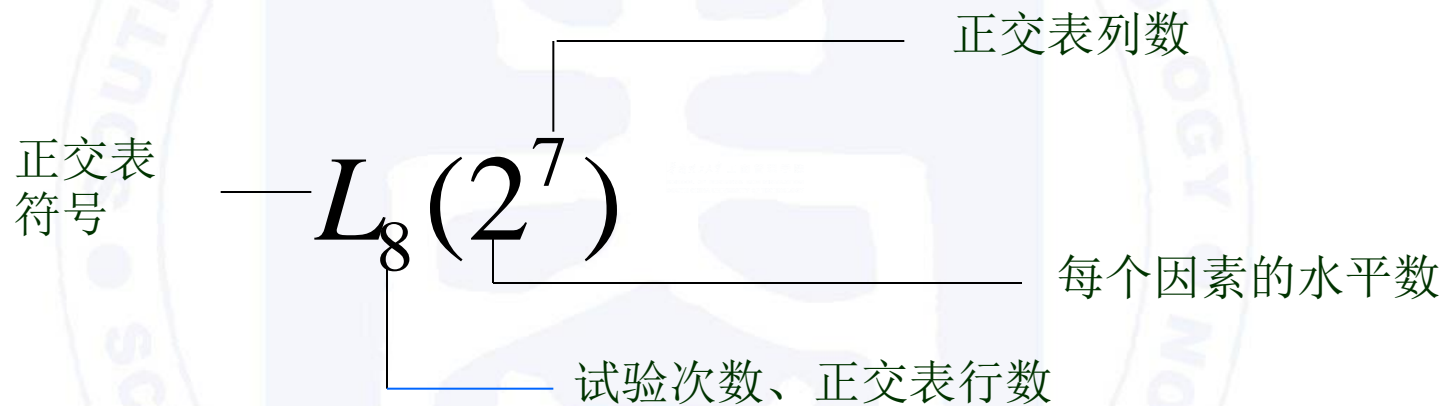
正交表，是指一套编印好的标准化了的表格，是正交试验法的基本工具。其格式如下所示：

列 号 试验号	1	2	3
	1	1	1
2	2	1	2
3	1	2	2
4	2	2	1



2、正交表符号表示

正交表记号 $L_x(m^y)$ 所表示的意思如下：
字母L表示正交表；脚码x表示表中有x个横行，代表要试验的x个条件（即要做x次试验）；
指数y表示表中有y个直列，每列可以考察一种因素，y列最多可以考察y种因素。底数m表示每列中有1. 2. ...m种数字，分别代表这列因素的状态1. 状态2. ...状态m。用这张表要求被考察的因素分为m个状态（水平）。





3、正交表的特性

正交表一般有以下两个特点：

- 1) 每一列中，不同的字码出现的次数相等。
如下页表中“1”、“2”和“3”各出现3次。
- 2) 任意两列中，将同一行的两个字码看成有序数字对时，则必然构成完全有序数字对，而且每种数字对出现的次数相等。

凡满足上述两个条件的表就称为正交表。



试验号 \ 列号	1	2	3	4
1	1	1	3	2
2	2	1	1	1
3	3	1	2	3
4	1	2	2	1
5	2	2	3	3
6	3	2	1	2
7	1	3	1	3
8	2	3	2	2
9	3	3	3	1



由于正交表的正交性，使之具有以下两个性质：

a、每一列中各种字码出现相同的次数，这就保证了试验条件均衡地分散在配合完全的水平组合之中，因而代表性强，容易出现好条件。这正是正交表的均衡分散性。



b、任意两列中全部有序数字对出现相同的次数。也就是说，对于每列因素在各个水平进行比较的结果之和（I、II、III...）中，其它因素各个水平的出现次数都是相同的。这就保证了在各个水平的效果中，最大限度地排除了其它因素的干扰，因而能有效地进行比较，作出展望，这是正交表的整齐可比性。



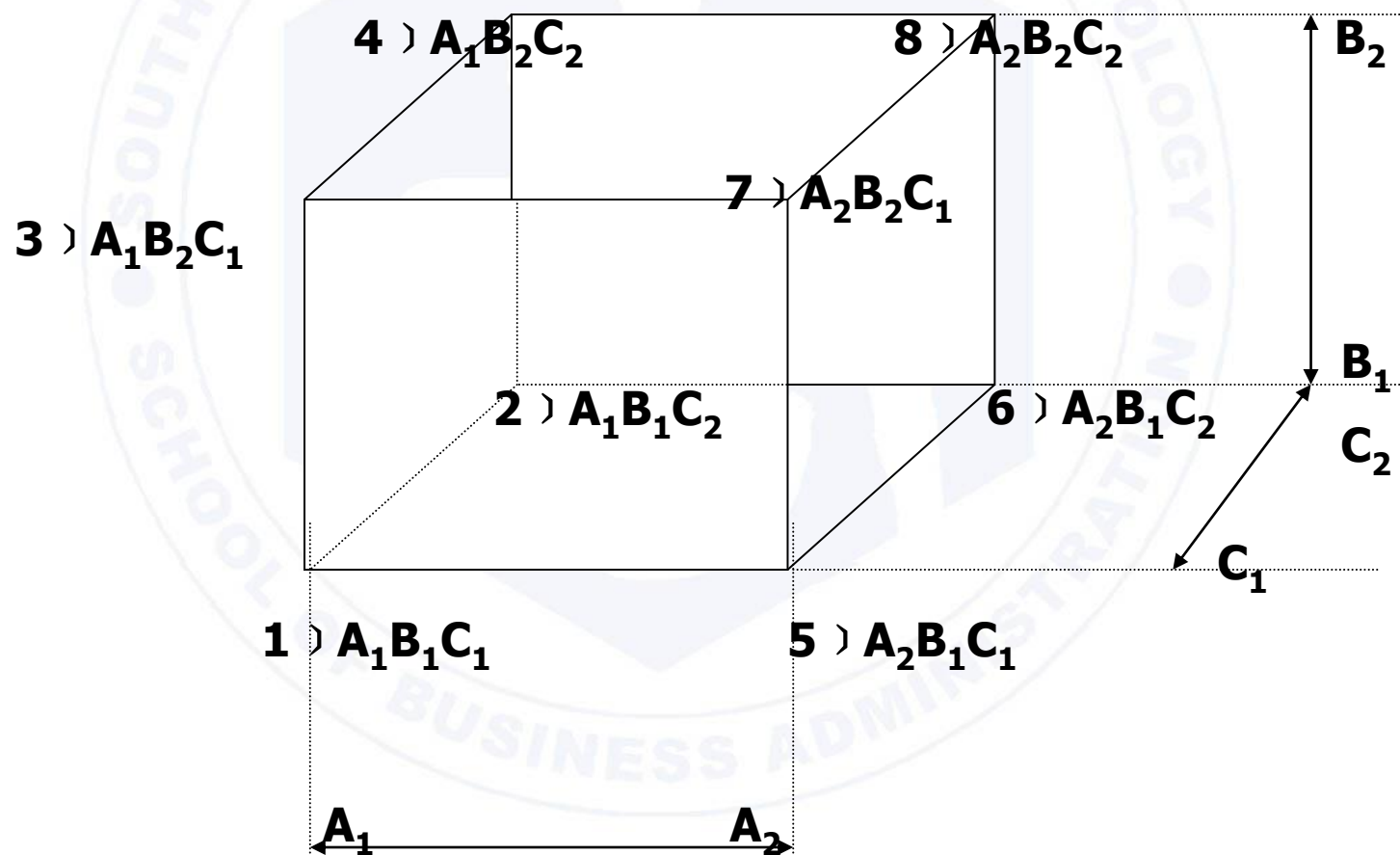
4、正交表的几何解释

利用正交表进行正交试验效率高、效果好，这主要是由于正交表具有均衡分散性和整齐可比性两个特性所决定的。

下面对利用 $L_4(2^3)$ 表安排试验作几何解释。



列号 试验号	1	2	3
1	1	1	1
2	2	1	2
3	1	2	2
4	2	2	1





根据“均衡分散”原理，正交表是挑选了八个试验中的1)、4)、6)、7)这4个点来做试验，而这4个点在长方体内分布很均匀而且分散到每个角落；每个面上都挑两个对角点，而每个点在每个平面上都占有两条边。



根据“整齐可比性”原理可看出，当A因素取 A_1 时，B和C因素的两个水平都取遍了，即：

A_1 { B_1 C_1 (1、 3 号试验)
 B_2 C_2

当A因素取 A_2 时，B和C因素的两个水平也都取遍了，即：

A_2 { B_1 C_2 (2、 4号试验)
 B_2 C_1



正是由于这一点，说明A因素由 A_1 变化到 A_2 ，B和C因素的影响相互抵消了，因而对应于 A_1 和 A_2 这两个水平的试验结果的差异，主要是由A因素的不同水平所引起的。同理，对B和C因素也有类似的性质。



四、正交表安排试验的步骤

1、明确试验目的，确定试验的考核目标。

（如某药厂某药品收得率不理想，经常出现收得率偏小的质量问题。因此改进工艺操作规程，探求较好的工艺条件，这就是试验的目的，考核指标就是药品的收得率。）



2、挑因素，选水平，制定因素水平表。

（挑因素，选水平应充分发挥有关人员的理论知识、专业技术和生产经验等特长，把因素与水平找得比较准确。）

因素 水平	反应温度 A	反应时间 B	配 比 C	真 空 度 D
1	60°C	2.5小时	1.1/1	500毫米汞柱
2	80°C	3.5小时	1.2/1	600毫米汞柱



3、选用正交表

选用正交表时需要考虑下述情况：

- 〔 1 〕 正交表的列数应大于等于试验因素个数；
- 〔 2 〕 正交表的水平级数应与各因素的水平级数相同；
- 〔 3 〕 根据试验精度要求以及试验费用多少来选用正交表的大小〔 试验次数多少 〕。



4、确定试验计划

包括因素顺序上列，水平级数对号入座，列出试验条件等内容。

对于没有交互作用的情况，因素上列（排上表头）是很简单的事，只是按因素水平表的顺序依次地排上排头即可。

对于有交互作用的因素，因素上列就要复杂一些。要按照正交表交互作用表进行表头设计。



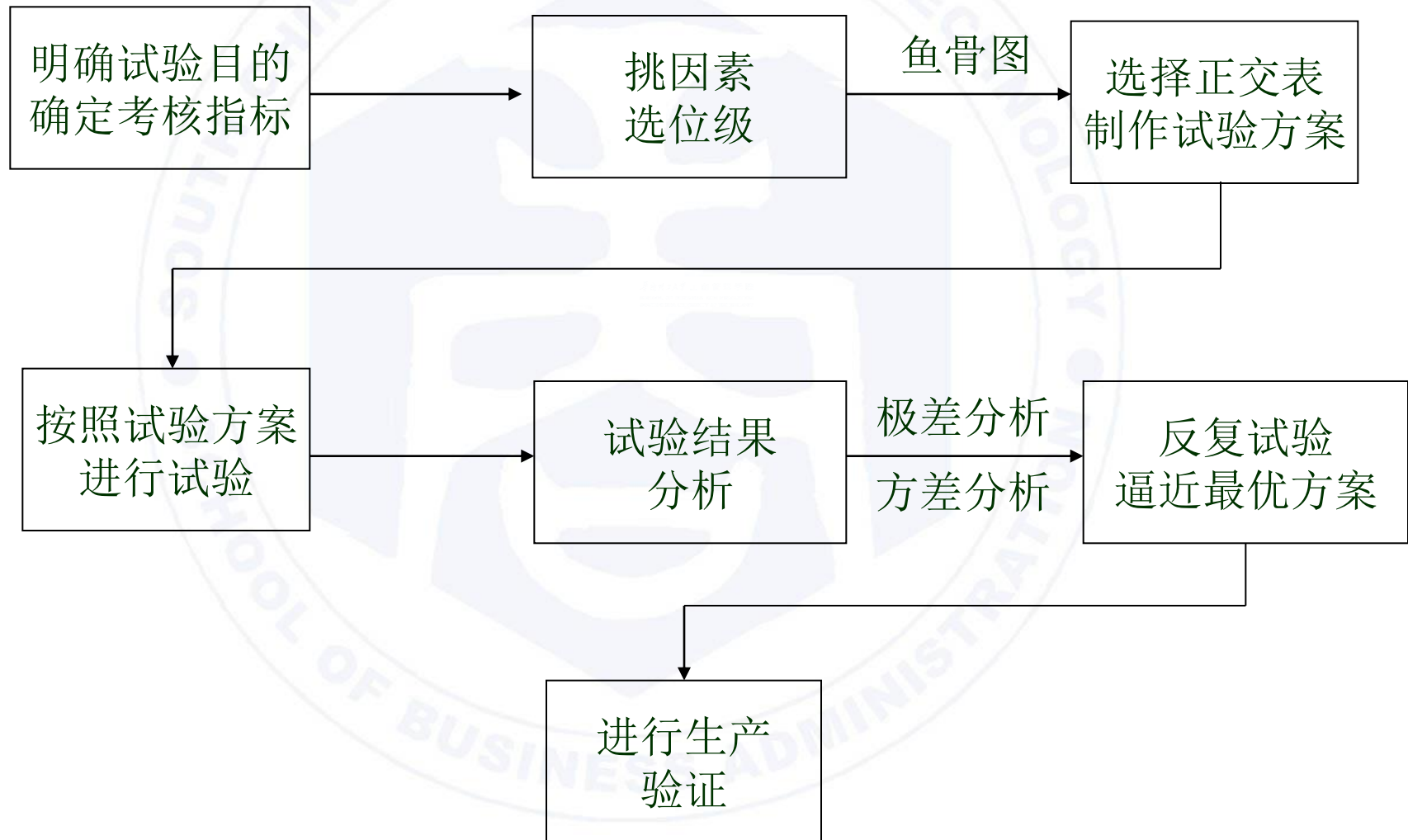
所谓交互作用，就是指在一个试验里的两个因素之间，有联合起来影响试验结果的情况，其影响效果有时比该两个因素单独影响效果之和要显著得多。这种作用就称为交互作用。用符号“ \times ”表示。如因素A与B有交互作用，写作 $A \times B$ 。此时把 $A \times B$ 看成是一个新的因素，它的上列位置由A和B的位置决定。

5、进行试验

试验结果记录并填入正交表的最后一列。



正交试验设计的使用流程





五、正交试验结果分析

对试验结果的分析一般有两种方法：直观分析法和极差分析法。

直观分析法就是直观比较试验方案的试验结果。

极差分析法用极差 R 的大小来衡量试验中相应因素作用的大小。极差大的因素，意味着它的水平变化对于产率所造成的影响大，通常是重要因素。极差小的往往不太重要。



因素之间没有交互作用的正交试验。

例. 某厂某车间对影响产品的质量原因进行研究

- 1、试验指标：产品不合格率 y ，越小越好。
- 2、确定因素水平：影响产品质量的因素经分析当时的主要因素有3个：
 - ①操作方式，该车间采用三种操作方式（水平3）
 - ②班组成员的技术水平，当时有3个等级（水平3）
 - ③产品的种类，该车间生产用原料有3类（水平3）



因素水平表见下表。

因素 水平	操作方式 A	班组技术水 平 B	原料种类 C
1	I	甲	壹类
2	II	乙	贰类
3	III	丙	叁类



解:1) 选用正交表 $L_9(3^4)$ 设计试验方案

因素 试验号	A	B	C	产品不合格率%
1	1	1	1	1.20
2	1	2	2	1.10
3	1	3	3	2.30
4	2	1	3	1.40
5	2	2	1	3.40
6	2	3	2	4.50
7	3	1	2	1.20
8	3	2	3	0.80
9	3	3	1	3.10
I	4.60	3.80	7.70	
II	9.30	5.30	6.80	
III	5.10	9.90	4.50	
R	4.70	6.10	3.20	



〔 2 〕 计算分析

分别计算出各因素的各个水平结果之和及各因素的各个水平结果和之差。见上表

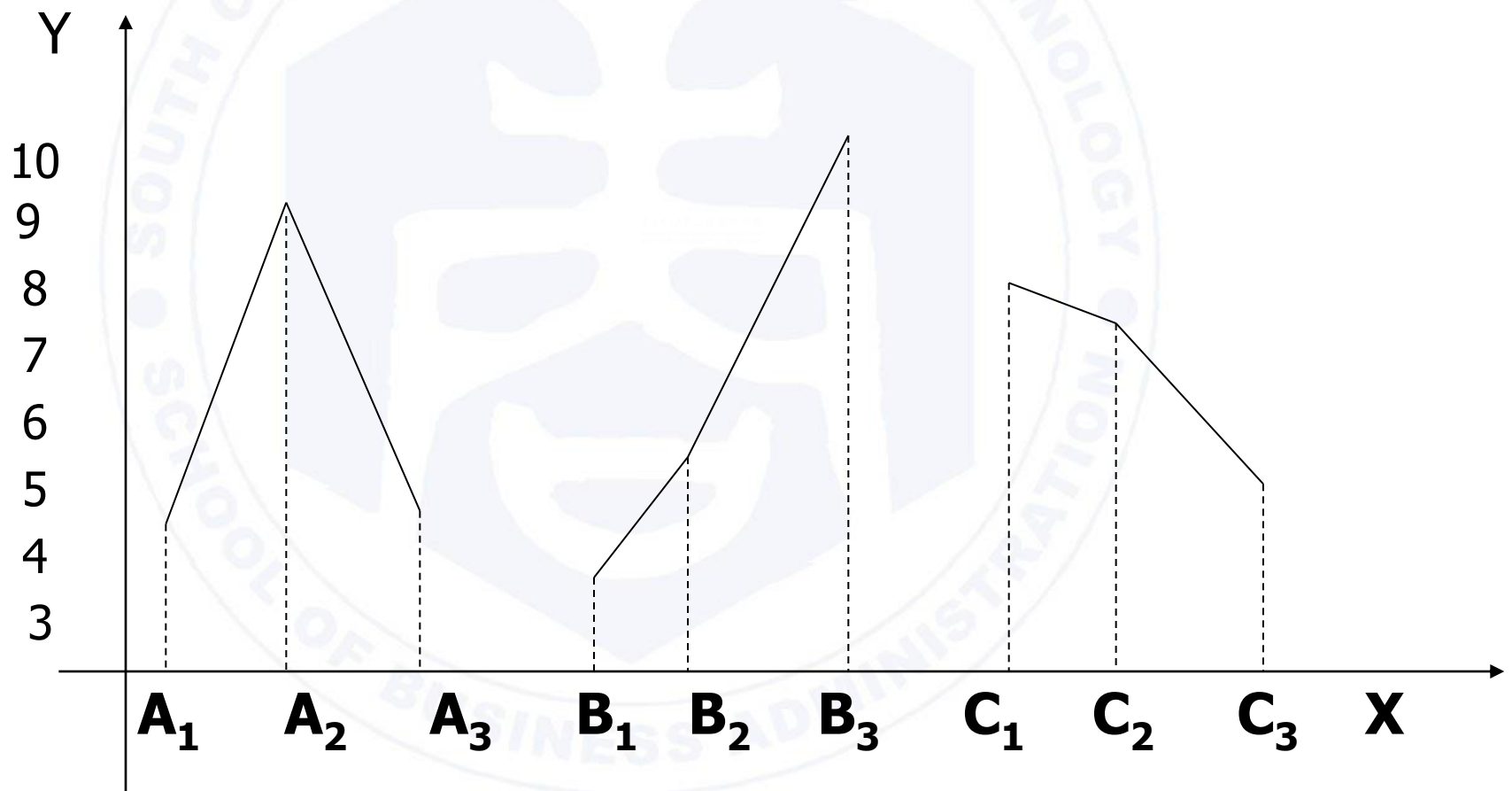
因素的主次排列顺序是： $B > A > C$

较优组合是 $B_1A_1C_3$

由甲班组采用第一种操作方式且用第三类原材料时，不合格率可以降低。



4、画出趋势图，寻找进一步试验方向。





第三节 多指标的正交试验

在生产实践中，用以衡量试验效果的指标往往不只一个，而是若干个，这类试验就称为多因素多指标的正交试验，简称多指标试验。

一、综合平衡法

首先对各个指标分别进行分析，找出适合各个指标的最优试验方案，然后再进行综合平衡，找出兼顾各个指标尽可能好的试验方案。



二、综合评分法

首先对各个指标分别挑选较优试验方案，然后在指标的矛盾中比较主次，对因素、水平进行平衡，寻找统筹兼顾的方案。具体作法是把多指标综合成用得分表示的单一指标，按得分进行排队，分数较高的方案就是较优方案。综合评分的关键是评分，可以使用专家评分法。



第四节 水平不等的正交试验

在生产实践中，由于设备、原料或生产条件的限制，使得在考虑试验方案时，某些因素水平个数的选择受到制约，因而要比其他因素的水平少。另外，有的试验某些因素水平又要多考虑一些等。这就需要解决水平数不等的试验问题。处理这类问题有两种方法：一是直接使用水平数不等的正交表，一是拟水平法即在等水平的正交表内安排水平不等的试验。



一、直接使用水平数不等的正交表

见书P293的例子

例：电泳涂漆工艺试验。

- 1、试验指标：电泳涂漆膜均匀、平整光滑色相。采取10分制评分法，得分越高越好。
- 2、确定因素水平：根据经验，固体份含量A是影响电泳涂漆的主要因素，是考虑的重点，取4个水平；其他4个因素如电压，漆液温度，PH值、阴阳极间距离均为2水平。



因素 水平	固体份含量 (%) A	电 压 (V) B	漆 液 温 度 ($^{\circ}\text{C}$) C	PH 值 D	阴 阳 极 间 距 (mm) E
1	8	70	20	7.5	120
2	11	80	30	8.5	100
3	14				
4	17				



解：

1) 选定正交试验表安排试验。根据因素和水平的数量，选正交试验表。考察因素5个，但水平不等，一个因素4水平，4个因素 2水平。可以直接选用 $L_8 (4^1 \times 2^4)$ 正交表来安排试验。

试验安排见表



因素 试验号	A	B	C	D	E	得分
1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	10
3	2	1	1	2	2	6
4	2	2	2	1	1	3
5	3	1	2	1	2	8
6	3	2	1	2	1	2
7	4	1	2	2	1	9
8	4	2	1	1	2	10
I	11	24	19	22	15	
II	9	25	30	27	34	
III	10					
IV	19					
K ₁	5.50	6.00	4.75	5.50	3.75	
K ₂	4.50	6.25	7.50	6.75	8.50	
K ₃	5.00					
K ₄	9.50					
R	5.00	0.25	2.75	1.25	4.75	



〔 2 〕 试验结果分析。

①直观分析。第2号和第8号得分最高都为10分，相应的较优水平组合为：

$A_1B_2C_2D_2E_2$ 。即固体份含量为8%，电压为80V，漆液温度为30℃，PH值为8.5，阴阳极间距为100。

$A_4B_2C_1D_1E_2$ 即固体份含量为 17%，电压为80V；漆液温度为20℃，PH值为7.5，阴阳极间距为100mm。



②分别计算出各因素的各个水平结果之和及水平平均值，各因素的水平平均之差见上表。

因素的主次排列顺序是 $A \succ E \succ C \succ D \succ B$ 。

较优组合是： $A_4E_2C_2D_1B_2$



二、拟水平法

在试验中，由于不同水平的因素而找不到合适的正交表，或使用合适正交表所需的试验次数太多，这时就可以采用拟水平法。

所谓拟水平法就是在因素水平数不等而选用等水平的正交表安排试验，对水平数较少的因素虚拟一个或几个水平，使之与正交表相对应列的水平数相等。这种虚拟的水平称为拟水平。见书上例



第五节 因素间存在交换作用的正交试验

在一些试验中，某一因素（如A因素）水平的优劣，与另一因素（如B因素）取什么水平有密切的依赖关系。也就是说A因素较优水平的选取，要同时考虑与B因素水平之间的搭配，对B因素也是一样。在这种条件下，我们称因素A与因素B之间存在交换作用，记作 $A \times B$ 。



因素之间存在交互作用的正交试验。

例：某药厂根据生产经验，发现影响某药品收得率的因素有四个，现决定各因素都采用两个水平进行试验，其因素水平表如上表所列，已知交互作用是 $A \times B$ 、 $A \times C$ 、及 $B \times C$ 。

因素 水平	反应温度 A	反应时间 B	配 比 C	真 空 度 D
1	60 ⁰ C	2.5小时	1.1/1	500毫米汞柱
2	80 ⁰ C	3.5小时	1.2/1	600毫米汞柱



因素 试验号	A	B	A× B	C	A× C	B× C	D	试验 结果
1	1	1	1	1	1	1	1	86%
2	1	1	1	2	2	2	2	95%
3	1	2	2	1	1	2	2	91%
4	1	2	2	2	2	1	1	94%
5	2	1	2	1	2	1	2	91%
6	2	1	2	2	1	2	1	96%
7	2	2	1	1	2	2	1	83%
8	2	2	1	2	1	1	2	88%
I	366	368	352	351	361	359	359	
II	358	356	372	373	363	365	365	
R	8	12	20	22	2	6	6	



1、直观分析

在8个试验中，收得率最高为第6号试验。其试验条件为 $A_2B_1C_2D_1$ 。有没有更好的条件使收得率更高呢？这需要计算一下。

2、计算分析

对正交的试验结果，通过简单的计算，往往能找到更好的条件。分别计算出各因素的各个水平结果之和(I, II)及各因素的各个水平结果和之差。因素的主次排列顺序是：

主 $\xrightarrow{A \times B \quad C \quad B \quad A \quad D}$ 次

根据上述各列中的I、II的比较，计算分析所得的较好条件是 $C_2B_1A_1D_2$



3、交互分析

从极差的大小中，可看出 $A \times B$ 的联合作用很显著，故对 $A \times B$ 作进一步的分析。

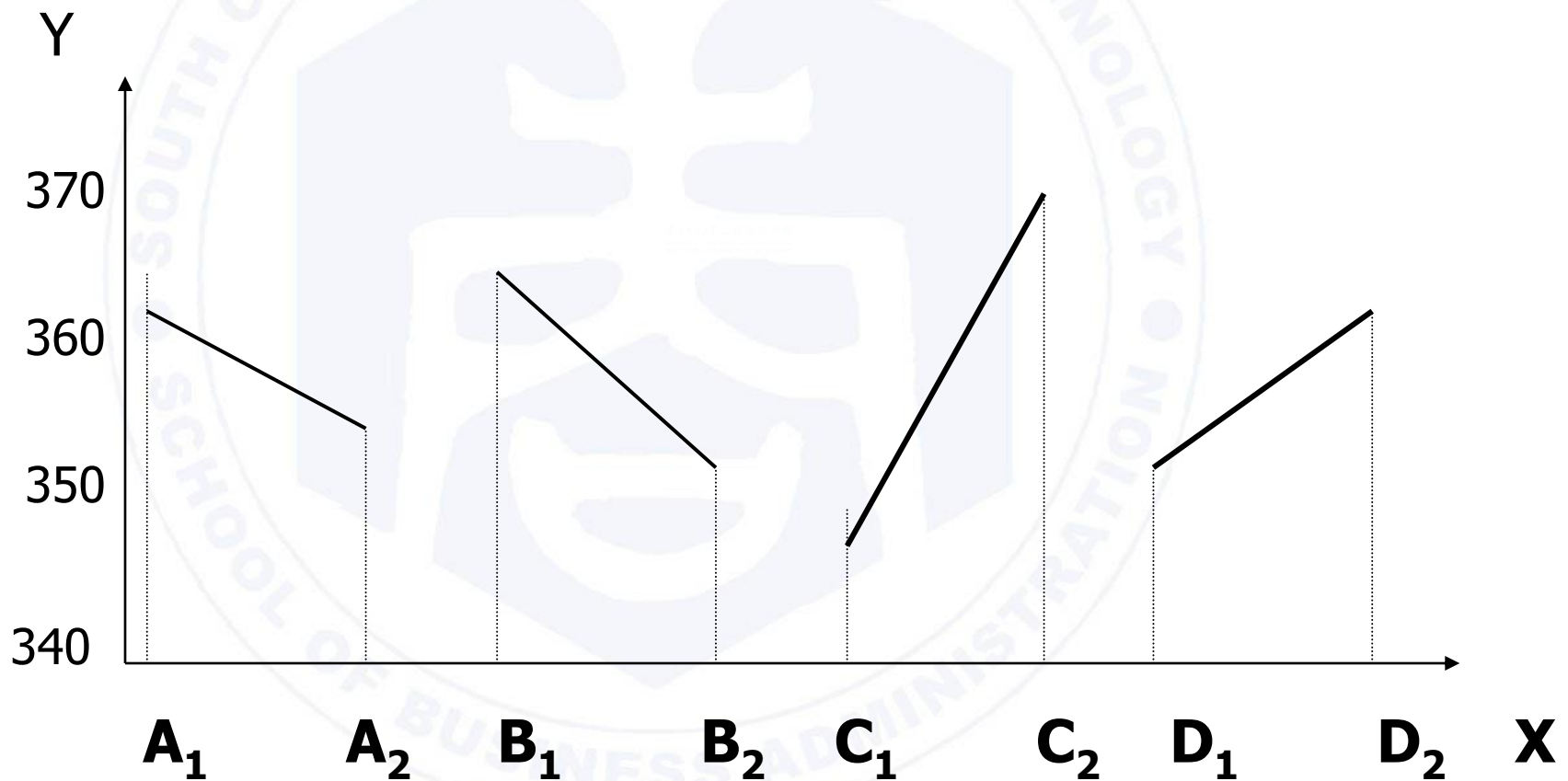
$$A_1 \times B_1 : 86+95=181, A_1 \times B_2 : 91+94=185,$$

$$A_2 \times B_1 : 91+96=187, A_2 \times B_2 : 83+88=171$$

从上面计算可知， $A_2 \times B_1$ 效果更好，即 A_2 与 B_1 的组合更佳。因此，将原来的较好组合条件改为： $C_2B_1A_2D_2$



4、画出趋势图，寻找进一步试验方向。





第九章 可靠性

第一节 可靠性概念及产品质量 与可靠性的关系

一、可靠性概念

可靠性——是指产品在规定的条件和规定的时间内完成规定的功能的能力。



“规定的条件”包括使用时的应力条件和环境条件，其中有气候因素，机械负荷，使用因素以及辐射条件、维护条件等。

“规定的时间”是指产品预定寿命，在寿命期内，产品应能完成规定的任务。

“规定的功能”是指产品应具有的技术性能指标。



二、产品质量与可靠性的关系

产品质量一般包括功能、可靠性和有效性等。

- 1、产品的功能
- 2、产品的可靠性
- 3、产品的有效性

$$\text{有效性} = \frac{\text{可能的工作时间}}{\text{可能的工作时间} + \text{不能工作的时间}}$$



三、故障或失效

1、故障的定义

2、故障的表现

- a、间歇故障和永久性故障；
- b、独立故障和从属故障；
- c、局部故障和整体故障；
- d、意外故障；
- e、突然故障和退化故障。



第二节 可靠性主要指标

一、失效率和可靠度

失效率——产品在规定条件下，规定时间内丧失规定的功能的概率，通常用F表示。

可靠度——在规定的时间内，未失效的产品数与开始工作时的产品总数之比，通常记为R。

则 $R+F=1$ 或 $R=1-F$



- 1、失效密度函数 $f(t)$;
- 2、累积失效分布函数 $F(t)$;
- 3、可靠度函数 $R(t)$;

$$R(t) = 1 - F(t)$$

- 4、产品失效率 $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = f(t) / (1 - F(t)) = f(t) / R(t)$$



二、平均寿命MTTF与平均故障间隔MTBF

从维修的角度考虑，产品分为不可维修产品与可维修产品。

对不可维修产品，从使用开始到发生故障的寿命平均值，称为平均寿命，记为MTTF。

对可修产品，从一次故障到下一次故障的时间均值，称为平均故障间隔，记为MTBF。



三、维修度

是可维修产品的维修性指标，它是指在规定的条件下，规定时间 $(0, t)$ 内按规定的程序和方法维修，使产品由故障状态改善到完成规定功能状态的概率，记为 $M(t)$ 。

平均修复时间应为维修时间 T 的数学期望，记为 $MTTR$ 。



四、有效度

称产品在时刻 t 处于正常工作状态的概率为该产品的有效度,也称为可用度,记为 $A(t)$ 。



第三节 常用寿命分布函数

- 一、指数分布
- 二、正态分布
- 三、威布尔分布



第四节 系统可靠性

一、研究系统可靠性的目的

- 1、如何在已有元件可靠性的基础上，提高系统的可靠性；
- 2、在保证系统可靠性的条件下，如何分配可靠度，降低对元件可靠度的要求，是系统成本降低。



二、系统的结构模型

1、串联系统

2、并联系统

3、混合系统

三、系统可靠度计算

1、串联系统 $R_S = R_1 R_2 \dots R_n$

2、并联系统 $R_S = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \dots (1 - R_n)$

3、混合系统，特别注意桥结构可靠度的计算。



第五节 可靠性试验

一、可靠性寿命试验

1、加速寿命试验

a、恒定条件加速寿命试验；

b、步进负荷试验，施加的负荷随时间的变化以阶梯形式上升；

c、序进负荷试验，所施加的负荷随着时间的变化以等速直线上升。



2、加速寿命试验应考虑的问题

- a、试验对象;
- b、试验条件
- c、试验停止时间
- d、测试要求
- e、失效标准
- f、在可靠性试验中，要统计并分析产品的失效形式，要做主次因素排列图和因果图，研究失效的原因，提出纠正的对策。



g、数据处理

二、环境试验

三、特殊试验

1、红外线检查

2、x射线检查

3、放射性示踪检漏