

微电子器件可靠性

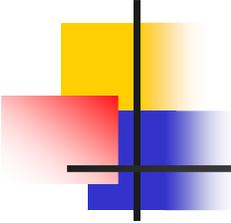
Reliability of Microelectronic Devices

西安电子科技大学 XIDIDIAN UNIVERSITY

V2.0 © 2007 韩孝勇 Han XiaoYong

xyhan5151@yahoo.com.cn www.dianzichan.com

第十次课 工艺可靠性



第十次课 工艺可靠性

本次课主要内容:

PPM技术

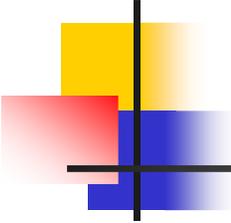
工序能力分析和6 σ 设计

SPC技术

SPC软件包和演示

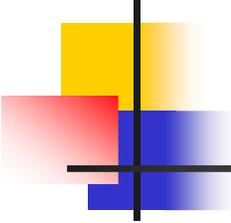
本次课要点:

- 了解PPM技术工序能力分析和6 σ 设计SPC技术的概念



PPM技术

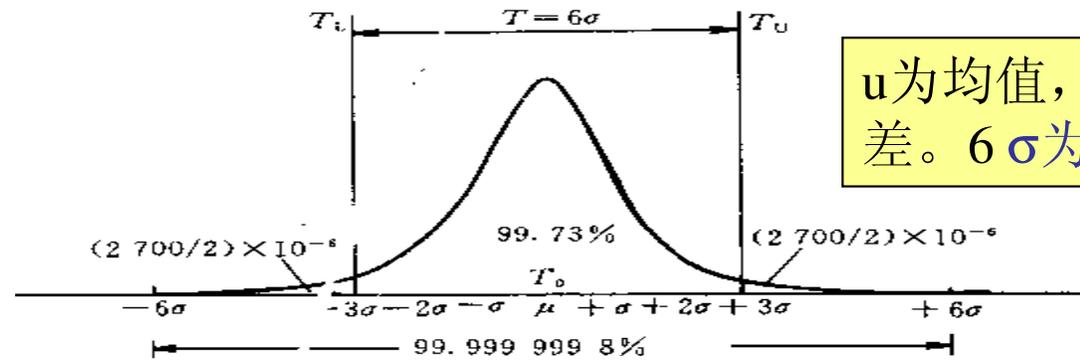
- 随着科学技术的发展，质量水平已发展到很高的程度。为此，就需要一种与这种高质量水平相一致的表征方法代替传统的百分不合格品率方法。这种新的方法就是PPM(Parts Per Million)
- 用百万分之多少来表示不合格品率的方法。
- PPM应用之一——原材料质量水平的表征
- PPM应用之二——电子元器件出厂平均质量水平的评定
- PPM应用之三——工艺质量水平的表征



PPM分类

- PPM—1：指功能不合格品。
- PPM—2：指电特性不合格品。
- PPM—3：外观和机械特性不合格品。
- PPM—4：不符合规定的密封要求的产品。
- PPM—5：不符合任一规范要求的不合格品。

工序能力分析和6σ设计



u为均值，σ为标准偏差。6σ为工序能力

工序能力指数 C_p ， T_u 为上限， T_L 为下限

$$C_p = \frac{T_u - T_L}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma}$$

若 $T=6\sigma$ 则， $C_p=1$ ，
对应成品率99.73%

实际工序能力指数 C_{pk} ， K 为相对偏离度

$$C_{pk} = \frac{T}{6\sigma} (1 - K) :$$

6σ 规范与3σ 规范比较

表 6.2 不同情况下的工序能力指数与 PPM 水平

规范范围	规范中心与参数分布中心重合			规范中心与参数分布中心偏离 1.5σ		
	C_p	工艺成品率	不合格品率	C_{pk}	工艺成品率	不合格品率
$\pm 3\sigma$	1	99.73%	2 700 PPM	0.5	93.32%	66 810 PPM
$\pm 6\sigma$	2	99.999 999 8%	0.002 PPM	1.5	99.999 660%	3.4 PPM

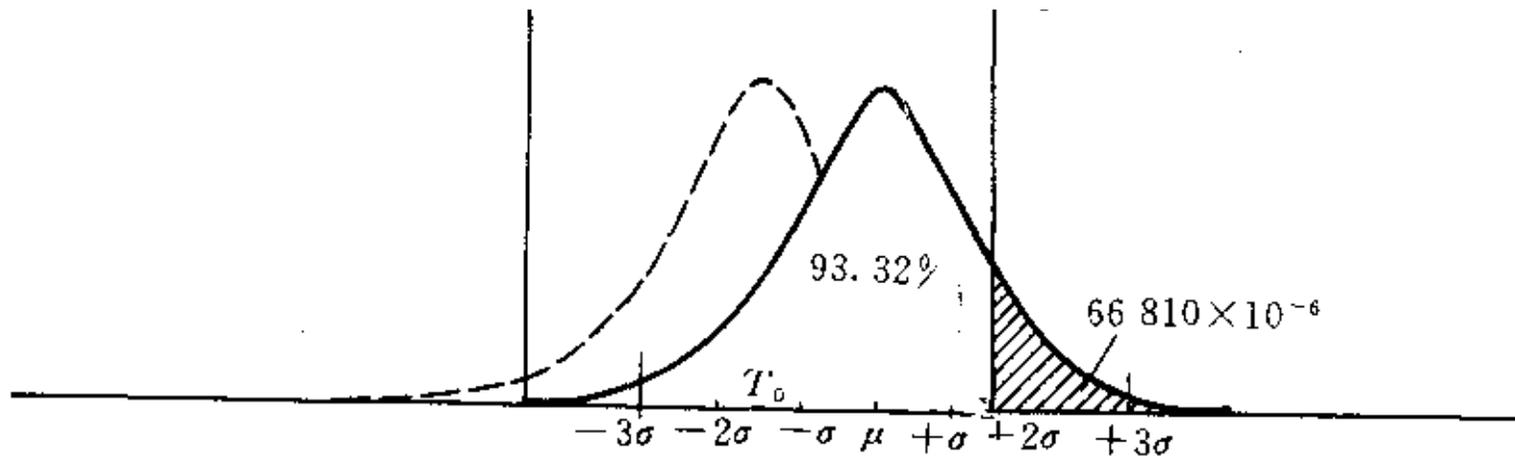


图 6.21 参数分布中心偏离规范中心 1.5σ 的情况

4. 单侧规范值情况下的工序能力指数

① 只有规范下限的情况：在IC生产中，有些工艺参数只规定了下限值。例如，键合工序的内引线拉力强度参数只要求大于某一下限值 T_L ，无上限要求。这时工序能力指数应按下式计算

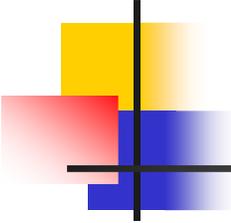
$$C_{PL} = \frac{\mu - T_L}{3\sigma} \quad (6.21)$$

若 $\mu < T_L$ ，则取 C_{pl} 为零，说明该工序完全没有工序能力。

② 只有规范上限的情况：若参数规范只规定了上限值 T_U ，无下限要求，则工序能力指数应按下式计算

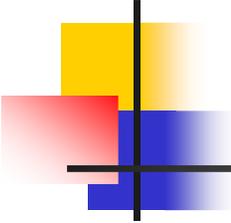
$$C_{PU} = \frac{T_U - \mu}{3\sigma} \quad (6.22)$$

若 $\mu > T_U$ ，则取 C_{pu} 为零，说明该工序完全没有工序能力。



6 σ 设计

- 使规范参数范围由正负3 σ 改为正负6 σ 的方法为6 σ 设计， σ 为标准偏差。



SPC技术

- 什么是SPC?

- SPC --Statistical Process Control (统计过程控制)
- 含义--利用统计技术对过程中的各个阶段进行监控，从而达到保证产品质量的目的。统计技术---数理统计方法。

什么是控制图

- 对过程质量加以测定、记录并进行控制管理的一种用统计方法设计的图。

控制图的组成

UCL(Upper Control Limit) 上控制限

LCL(Lower Control Limit) 下控制限

CL (Central Line)中心线

按时间顺序抽取的样品统计量数值的描点序列

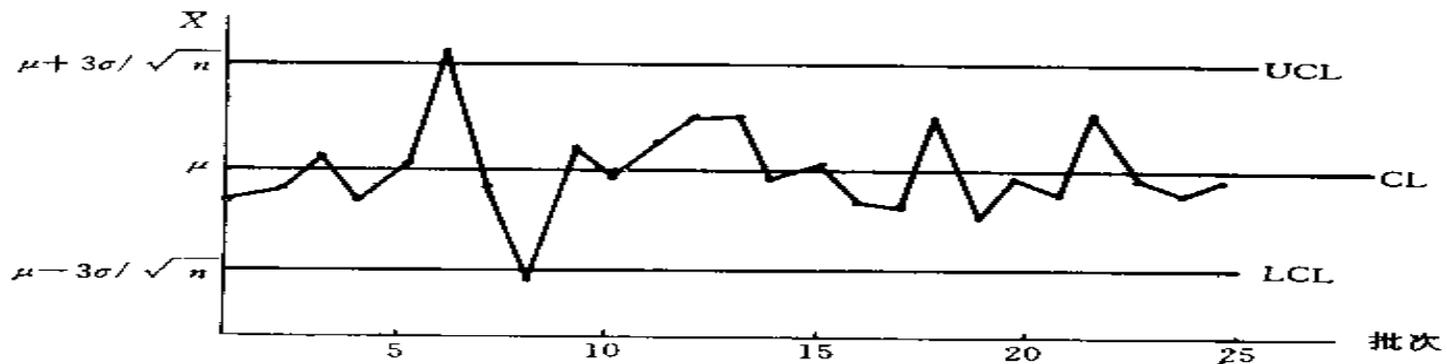
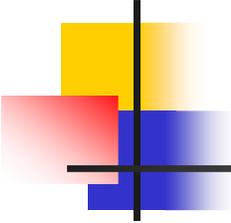


图 6.23 \bar{X} 控制图



控制图原理的两种解释

第一种解释：“点出界就判异”

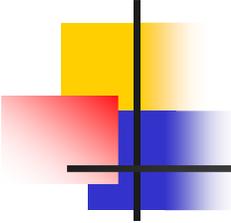
小概率事件原理：小概率事件实际上不发生，若发生即判异常。控制图就是统计假设检验的图上作业法。

第二种解释：“要抱西瓜，不要抓芝麻”

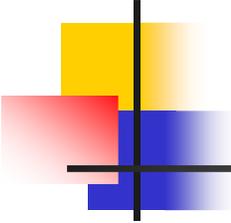
质量波动的原因 = 必然因素 + 偶然因素（异常因素）

必然因素——始终存在，对质量影响微小，难以消除，是不可避免的；

偶然因素——有时存在，对质量影响很大，不难消除，是可以避免的。

SPC应用

- 保证工艺过程的统计受控状态。
- 用于定量评定生产线、单道工序或单个工艺参数是否处于统计受控状态，因此特别适用于生产线的认证。
- 代替一部分筛选和可靠性试验。
- 因由于SPC技术的核心是保证产品的内在质量和可靠性，因此特别受到对可靠性有更高要求的微电路生产的重视。
- 向内建可靠性(BIR)过渡



SPC的作用

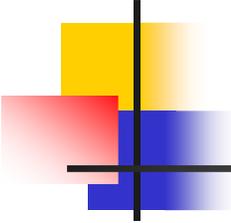
- 1、确保工艺持续稳定、可预测。
- 2、提高产品质量、生产能力、降低成本。
- 3、为工艺分析提供依据。
- 4、区分变差的特殊原因和普通原因，作为采取局部措施或对系统采取措施的指南。

SPC常用术语解释

名称	解释
平均值 \bar{X} (X)	一组测量值的 均值
极差 (Range)	一个子组、样本或总体中 最大与最小值之差
σ (Sigma)	用于代表标准差的希腊字母
标准差 (Standard Deviation)	过程输出的 分布宽度 或从过程中统计抽样值（例如：子组均值）的分布宽度的 量度 ，用希腊字母 σ 或字母s（用于样本标准差）表示。
分布宽度 (Spread)	一个分布中从 最小值到最大值之间的间距
中位数 \tilde{x}	将一组测量值从小到大排列后， 中间的值 即为中位数。如果数据的个数为偶数，一般将中间两个数的平均值作为中位数。
单值 (Individual)	一个单个的单位产品或一个特性的 一次测量 ，通常用符号 X 表示。

名称	解释
中心线 (Central Line)	控制图上的一条线，代表所给 数据平均值 。
过程均值 (Process Average)	一个特定过程特性的测量值分布的位置即为过程均值，通常用 \bar{X} 来表示。
链 (Run)	控制图上一系列连续上升或下降，或在中心线之上或之下的 点 。它是分析是否存在造成变差的特殊原因的依据。
变差 (Variation)	过程的单个输出之间 不可避免的差别 ；变差的原因可分为两类：普通原因和特殊原因。
特殊原因 (Special Cause)	一种间断性的，不可预计的，不稳定的变差根源。有时被称为可查明原因，它存在的信号是：存在超过控制限的点或存在在控制限之内的链或其它非随机性的图形。

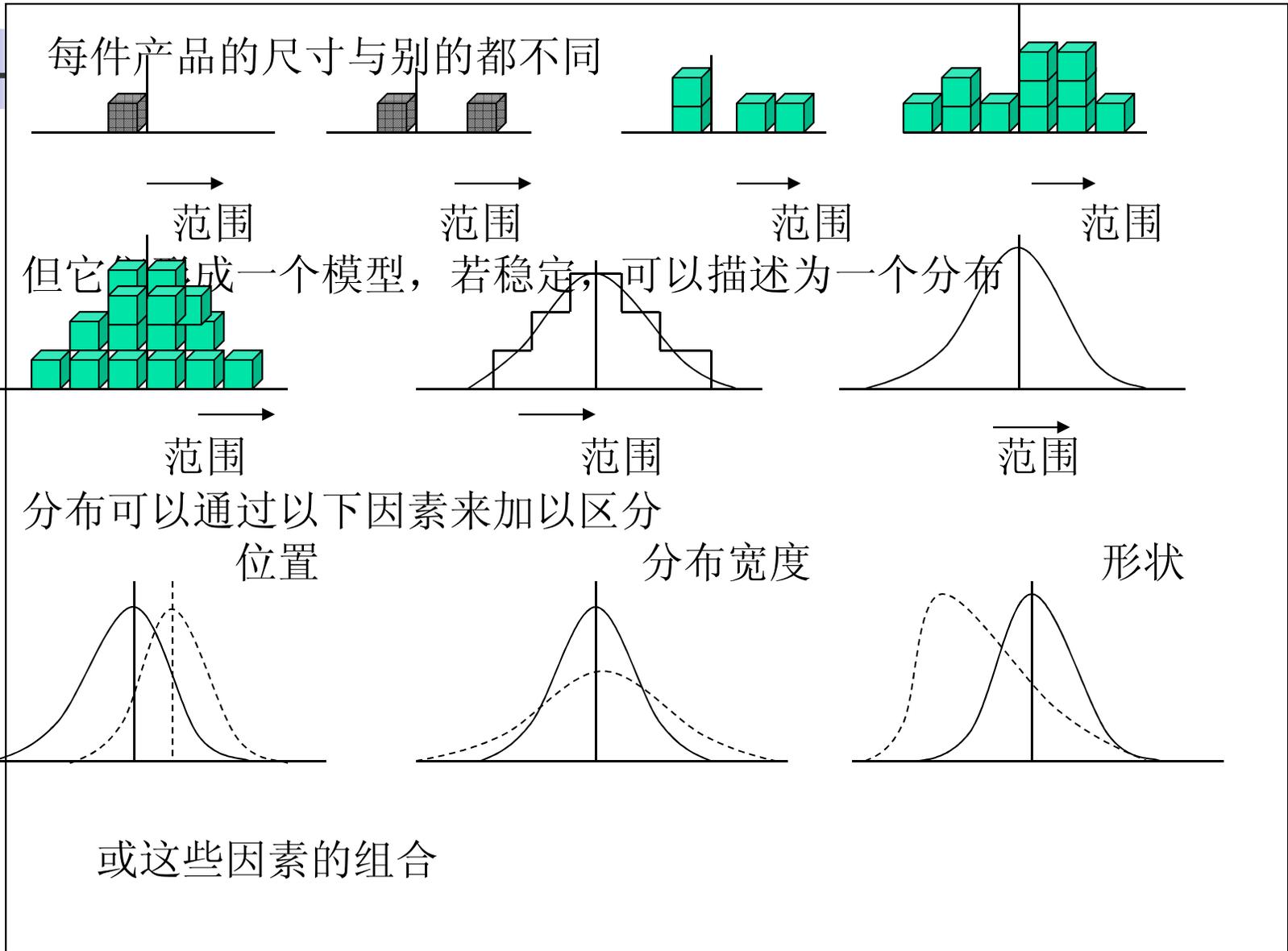
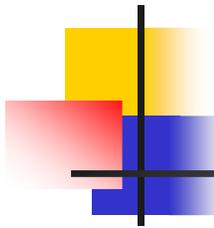
名称	解释
普通原因 (Common Cause)	造成变差的一个原因，它影响被研究过程输出的所有单值；在控制图分析中，它表现为随机过程变差的一部分。
过程能力 (Process Capability)	是指按标准偏差为单位来描述的过程均值和规格界限的距离，用Z来表示。
移动极差 (Moving Range)	两个或多个连续样本值中最大值和最小值之差。

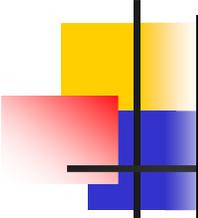


变差的普通原因和特殊原因

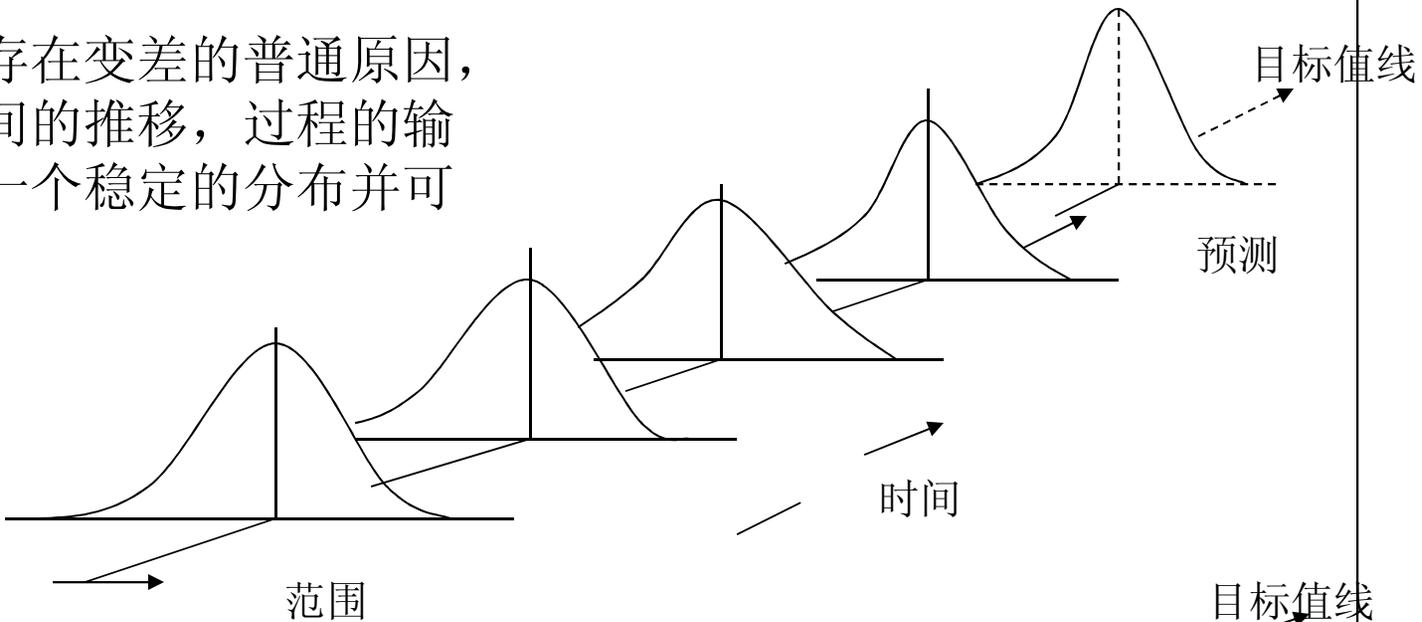
普通原因：是指过程在受控的状态下，出现的具有稳定的且可重复的分布过程的变差的原因。普通原因表现为一个稳系统的偶然原因。只有过程变差的普通原因存在且不改变时，过程的输出才可以预测。

特殊原因：（通常也叫可查明原因）是指造成不是始终作用于过程的变差的原因，即当它们出现时将造成（整个）过程的分布改变。只用特殊原因被查出且采取措施,否则它们将继续不可预测的影响过程的输出。

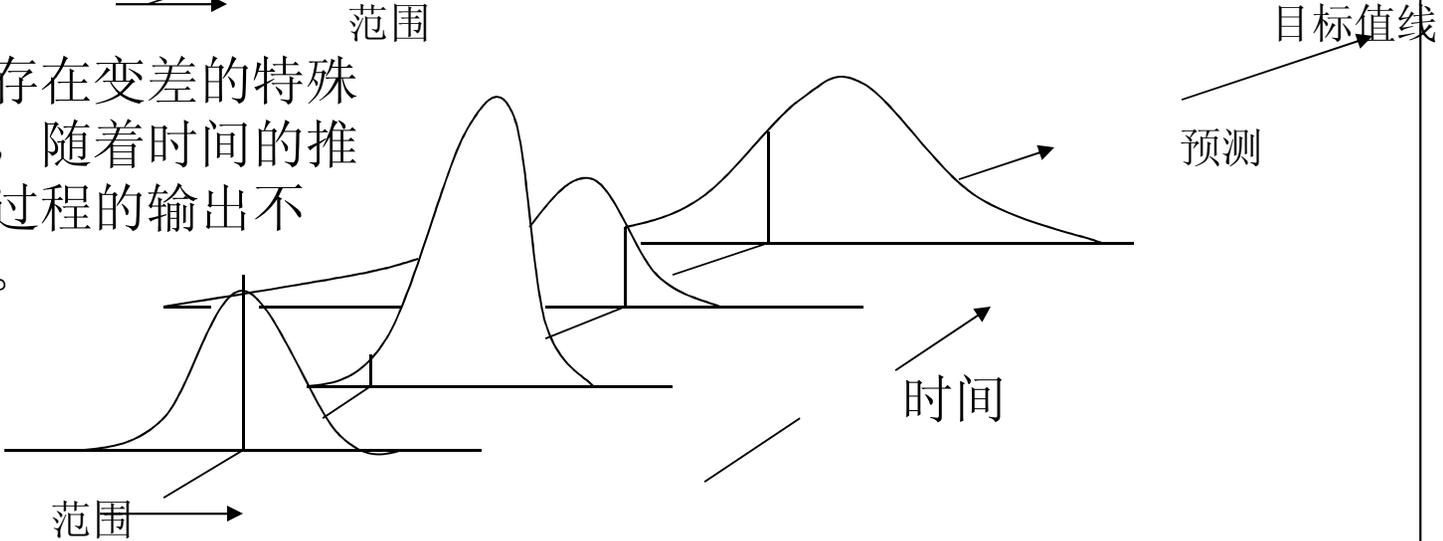


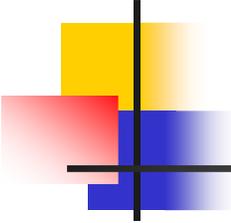


如果仅存在变差的普通原因，
随着时间的推移，过程的输出
形成一个稳定的分布并可
预测。



如果存在变差的特殊
原因，随着时间的推移，
过程的输出不
稳定。





局部措施和对系统采取措施

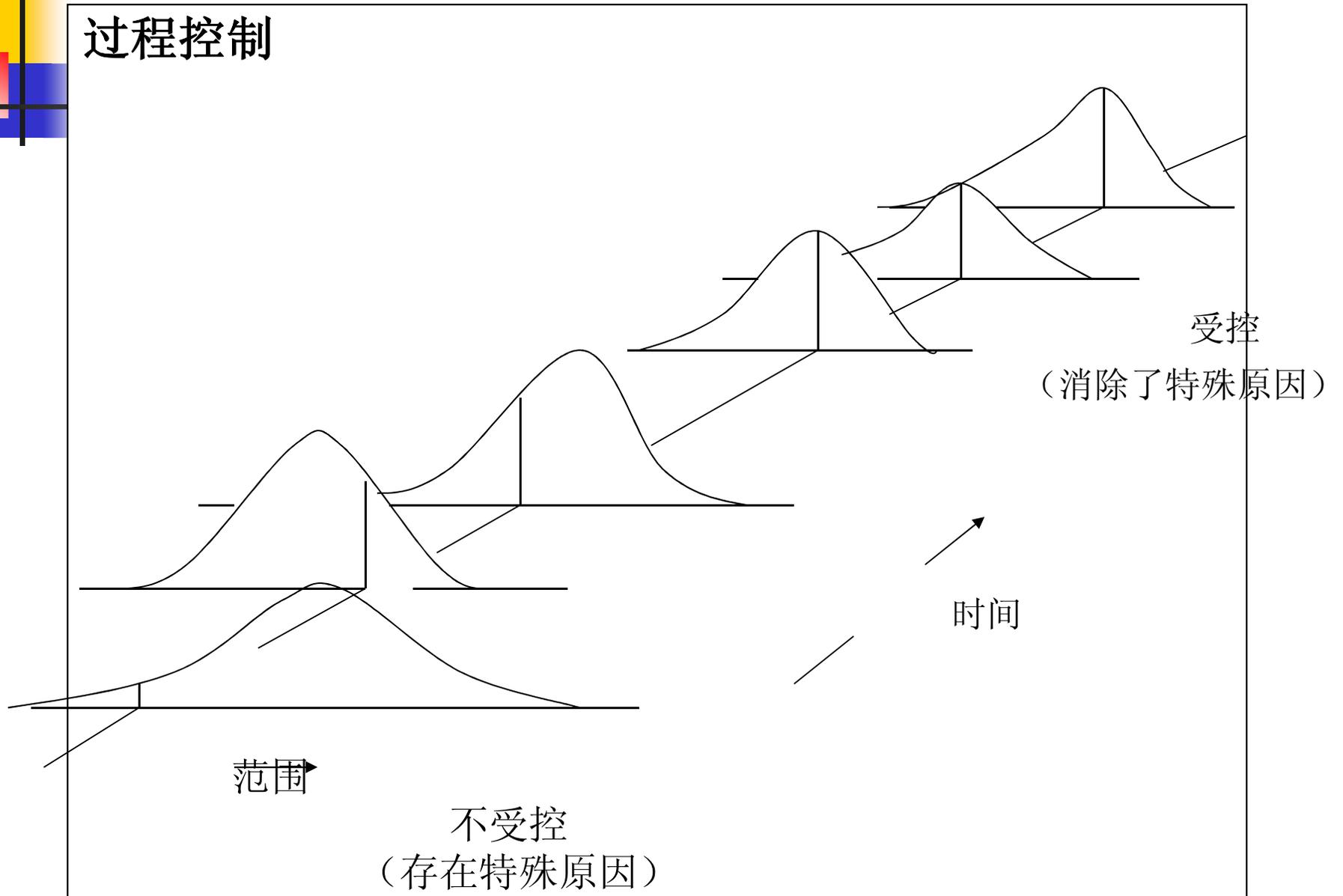
■ 局部措施

- 通常用来消除变差的特殊原因
- 通常由与过程直接相关的人员实施
- 通常可纠正大约**15%**的过程问题

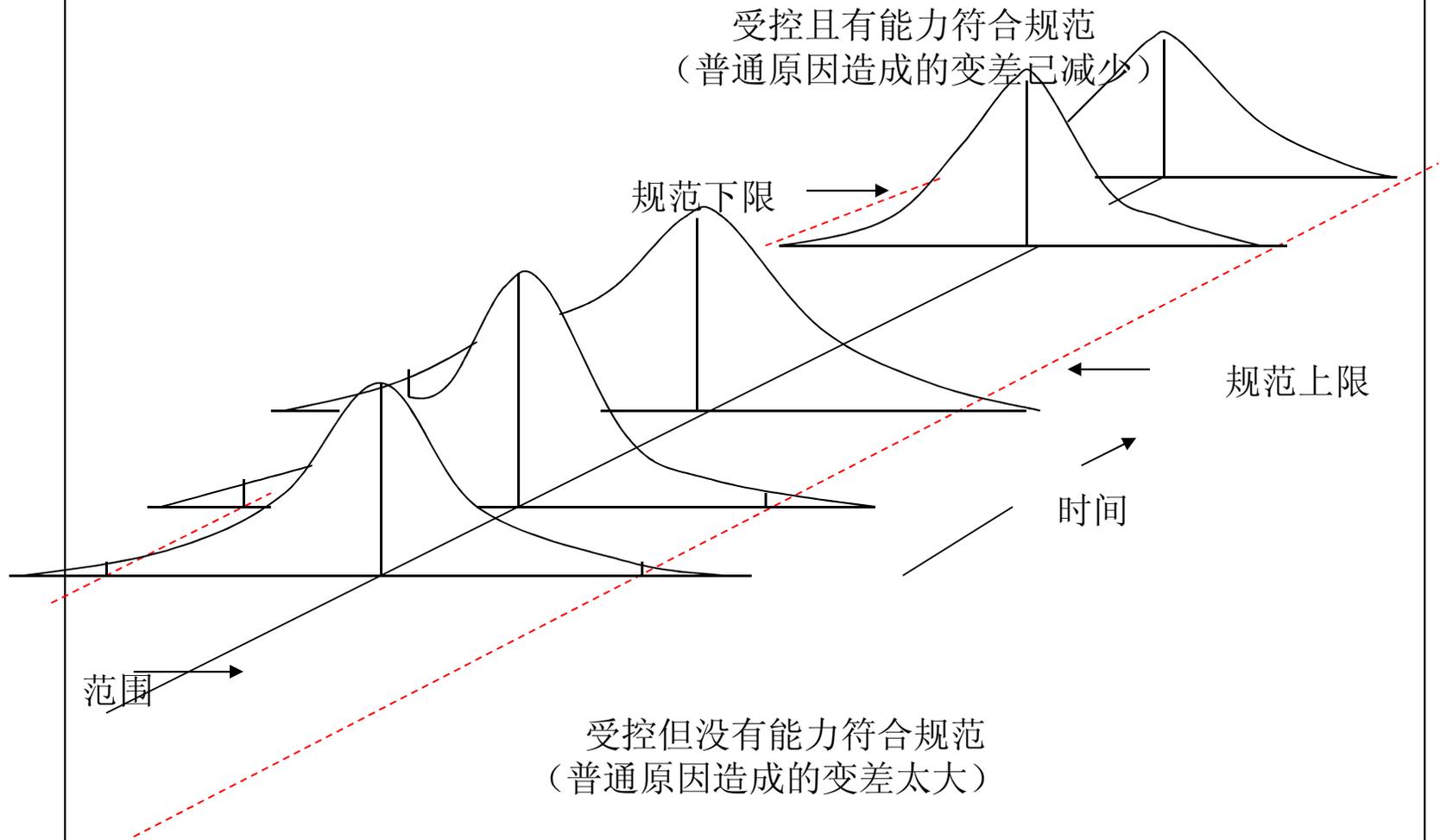
■ 对系统采取措施

- 通常用来消除变差的普通原因
- 几乎总是要求管理措施，以便纠正
- 大约可纠正**85%**的过程问题

过程控制



过程能力



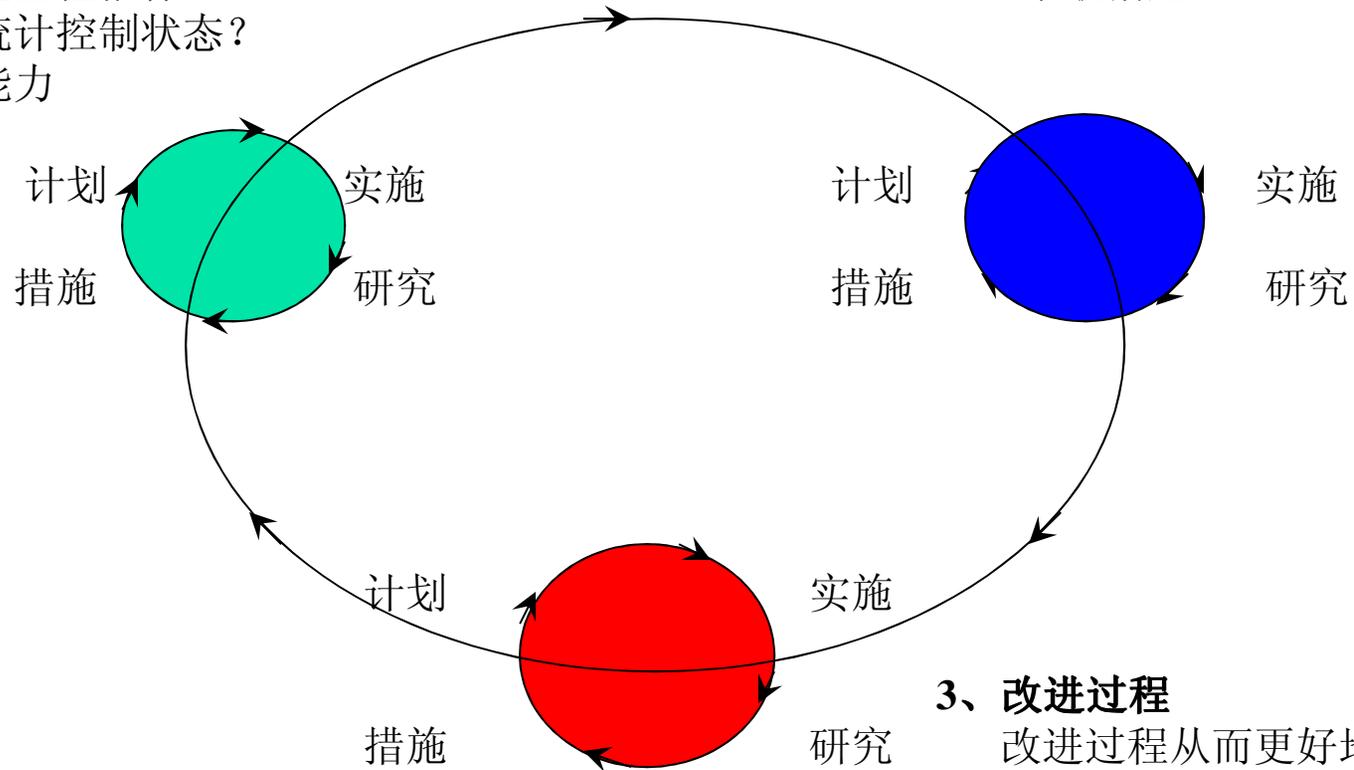
过程改进循环

1、分析过程

本过程应做什么？
会出现什么错误？
本过程正在做什么？
达到统计控制状态？
确定能力

2、维护过程

监控过程性能
查找变差的特殊原因并
采取措施。

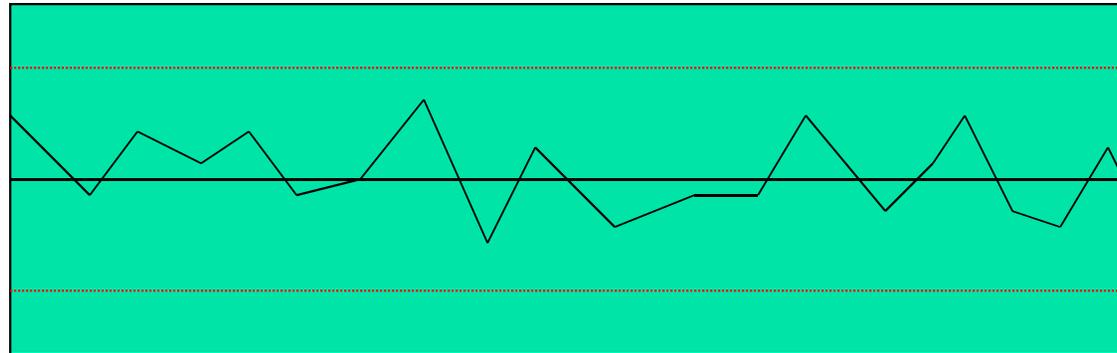


3、改进过程

改进过程从而更好地理解
普通原因变差
减少普通原因变差

控制图

- 上控制限
- 中心限
- 下控制限



- 1、收集
- 收集数据并画在图上
- 2、控制
- 根据过程数据计算实验控制限
- 识别变差的特殊原因并采取措施
- 3、分析及改进
- 确定普通原因变差的大小并采取减小它的措施

- 重复这三个阶段从而不断改进过程

控制图类型

计量型数据	X-R 均值和极差图	计数型数据	P chart 不良率管制图
	X- δ 均值和标准差图		nP chart 不良数管制图
	X -R 中位值极差图		C chart 缺点数管制图
	X-MR 单值移动极差图		U chart 单位缺点数管制图

SPC技术流程

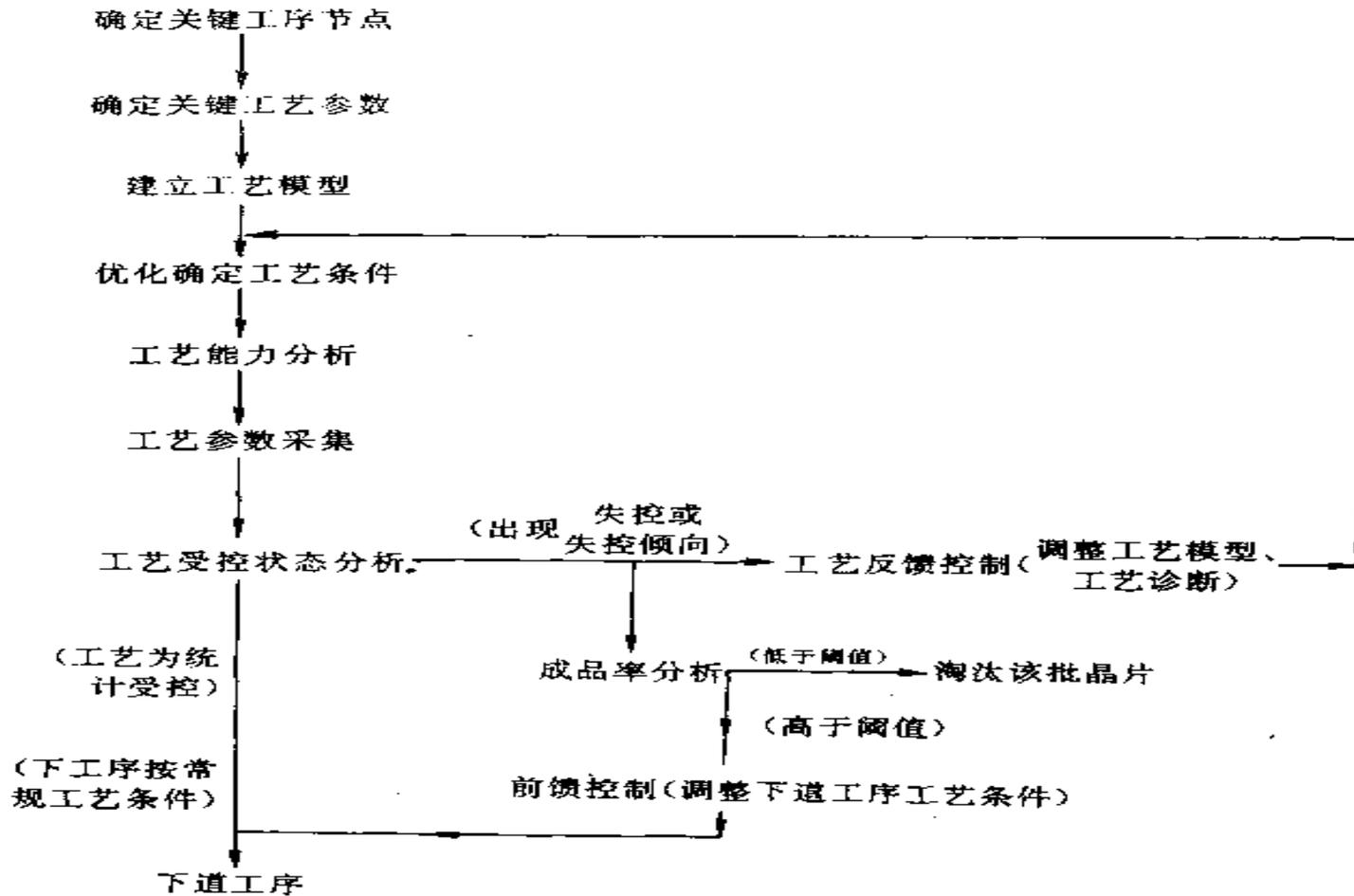
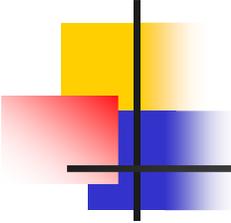


图 6.22 SPC 技术流程



我国目前广泛采用的5组规则

- 每条规则后面括号内是相应“事件”发生的概率。
- 规则一：若控制图上有“一部分”数据点位于控制限以外，则该工艺过程为失控。一部分数据点是指：
 - 连续25个数据点中至少有一个点在控制限以外(0.0654)；
 - 连续35个数据点中至少有二个点在控制限以外(0.0041)；
 - 连续100个数据点中至少有三个点在控制限以外(0.0025)
- 规则二：若连续7个(0.0156)或多于7个数据点位于中心线同一侧些点构成的折线称为同侧链。
- 规则三：若连续7个(0.0004)或多于7个数据点单调上升(或下降)点构成的链称为单调链。
- 规则四：控制图中有“较多”的点位于中心线同一侧，则为失控。
 - 连续11个点中至少有10个点在中心线同一侧(0.0118)
 - 连续14个点中至少有12个点在中心线同一侧(0.0130)
 - 连续17个点中至少有14个点在中心线同一侧(0.0130)
 - 连续20个点中至少有16个点在中心线同一侧(0.0118)；
- 规则五：若出现下述高位或低位链，则工艺过程为失控：
 - 连续3点中至少有2个点位于中心线2倍标准差之外(0.0073)，
 - 连续7点中至少有3个点位于中心线2倍标准差之外(0.0038)。
- 由上述规则可见，判断失控的依据是出现了小概率事件，表示工艺过程中不仅存在随机因素的影响。而且还受到了异常因素的干扰，因此不是统计受控状态。

嵌套参数控制图

- IC生产中的工艺参数嵌套性:
- 片内分布情况; 正态分布
- 批次分布情况; 正态分布
- 大批分布情况; 其他分布

常规控制线比较窄, 容易误判, 应用嵌套参数控制后, 控制线放宽了。

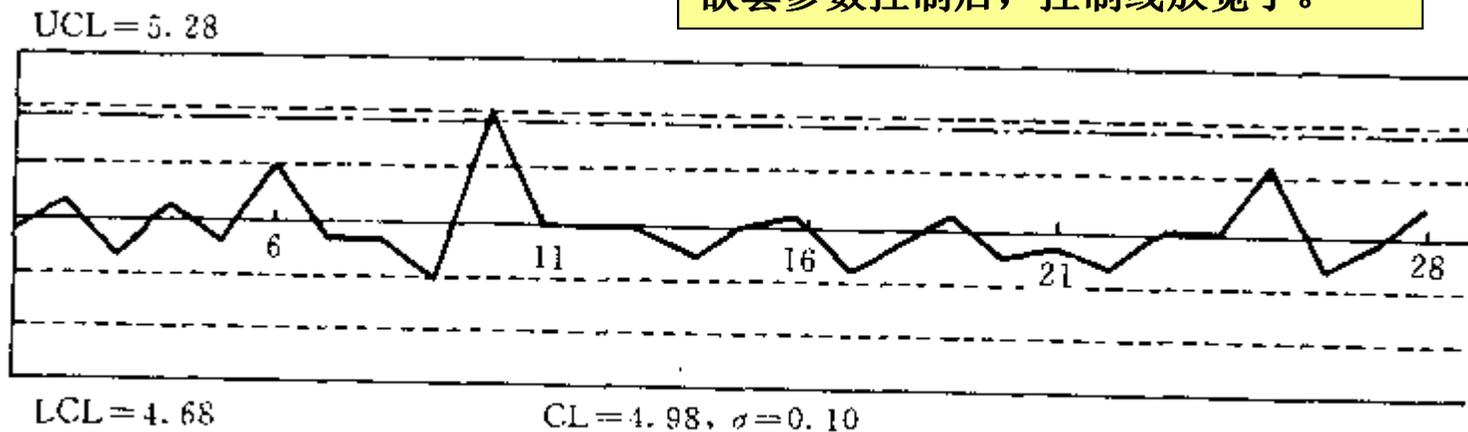
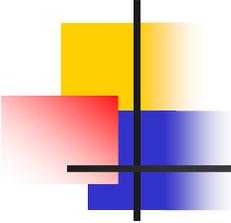
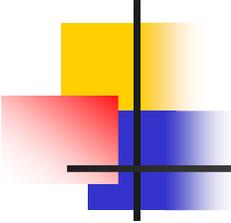


图 6.25 嵌套参数控制图



其他微电路控制图

- 回归控制图：
 - 将影响因素归一化
- 时序控制图：
 - 将前后时序分开，建立时序模型
- 多变量控制图：
 - 多个变量产生同一结果
- 成团效应控制图：
 - 缺陷“喜欢”成团，和城市人口一样



本次课完

- 回顾讲过的内容。
- 参考补充：
- SPC软件包和演示