

# Modern Manufacturing System

## 现代制造系统

Dr. Nan Tu  
涂南博士

2006年春  
清华大学工业工程系  
Spring 2006  
Department of Industrial Engineering  
Tsinghua University



## Instructor: Nan Tu

**BS.** Xi'an Jiaotong University, China

**Manufacturing Engineer**, 1990 – 1993 Yunnan, China

**Adv. Manufacturing Engineer**, 1996 – 1998  
Seagate Technology, Inc. USA

**Research Assistant**, 1998 – 2001 University of Minnesota

**MS, PhD**, University of Minnesota, USA 2002

**Visiting Scholar / Researcher**, 2004 Microsoft Research Asia

**Lecturer**, 2004 Tsinghua University (清华大学)

**Email:** [nantu@mail.tsinghua.edu.cn](mailto:nantu@mail.tsinghua.edu.cn)

**Office:** 6277-2426

**Web:** <http://www.drtu.com>

# 推荐参考书集



1. Kalpakjian, S. Manufacturing Engineering and Technology. 5th ed.
  - (出版社) 清华大学出版社 (书号) 7-302-12535-X (出版日期) 2006-2-1
2. 现代制造技术
  - (出版社) 清华大学出版社 (书号) 7-302-07115-2 (出版日期) 2003-10-1



# 培训的提纲

- 制造业的历史
- 制造系统简介
- 制造系统设计和控制
  - 设施布局的类型 ,制造系统设计, 制造成本,质量,生产流程控制
- 制造业现阶段的发展
  - 六西格马 ,精益生产,案例讨论与课堂练习
- 制造业的未来前景

# 第一部分

## 制造业的历史

# 制造的定义

- 制造是把原料和信息转化为各种物品以满足人类需求的过程

# 制造业的历史

- 制造(manufacturing)来源于希腊文的“manu factus”的意思是手工制作
- 早期的模式：由熟练的工匠单件生产
- **1750年~1800年：工业革命**
  - 早期的机器工具
  - 工厂的概念
- **19世纪的加工专业化**
  - 劳动分工
  - **Eli Whitney, etc .,可互换(共用)的零件**

# 制造业的历史（续）

- 20世纪早期：优化（制造系统）
  - F.W. Taylor（科学管理）
  - 批量效应（大量生产的时候成本的降低）
  - 制造生态系统（配件的子工厂布局在母工厂的邻近）
- 20世纪50年代以后：数字控制（信息技术）
  - 自动化
  - 精益生产，准时生产（JIT）
  - 6西格马，百万分率(PPM)



# 制造业在上世纪的发展 (Schonberger的理论)

- 1970s -1980s 日本时代
  - 精益生产(lean), 准时生产(JIT), 看板系统(Kanban), 质量 (quality)
- 1980s – 1990s 美国时代
  - 需求驱动用户个人定制化(Demand driven customization), 基于信息系统(IT)的准时生产(JIT), 6西格玛(sigma)
- 1990s – 全球化时代
  - 并行工程(concurrent engineering), 全球化工厂(global factory), 电子商务 (eCommerce), 订单生产(build to order)

	特征	时期
1940-50	短缺	生产
1950-65	国家性的生产过剩	销售
1965-80	集中式的收入	财政, 金融
1980-90	洲际间的竞争	质量
1990-	全球性的生产过剩	合股

# 美国的制造业

- 由18世纪的农业型社会过渡到20世纪的工业型社会导致了美国农业的工业化
- 18世纪时90%美国的劳动力从事农业，今天却只有3%的劳动力从事农业

从业人数 (百万)	美国		日本		德国		加拿大	
	1930	1999	1930	1999	1930	1999	1930	1999
农业	22.9	2.9	49.9	6.0	2.9	3.5	35.2	4.3
制造业	24.5	18.0	16.1	23.4	31.6	31.6	16.4	15.7

## Profitability

	Microsoft	Ford	GM	Yahoo
Profit Margin (ttm):	31.57%	1.14%	-4.44%	36.07%
Operating Margin (ttm):	40.92%	1.00%	-5.34%	21.07%

## Management Effectiveness

Return on Assets (ttm):	16.09%	0.45%	-1.26%	8.05%
Return on Equity (ttm):	28.56%	15.36%	-37.99%	24.21%

## Income Statement

Revenue (ttm):	41.36B	177.09B	192.60B	5.26B
Revenue Per Share (ttm):	3.86	96.087	340.892	3.754
Qtrly Revenue Growth (yoy):	9.40%	3.60%	-1.20%	39.30%
Gross Profit (ttm):	33.59B	32.15B	33.57B	3.16B
EBITDA (ttm):	18.04B	16.10B	5.82B	1.69B
Net Income Avl to Common (ttm):	13.06B	2.23B	-8.45B	1.90B
Diluted EPS (ttm):	1.21	1.05	-15.14	1.28
Qtrly Earnings Growth (yoy):	5.50%	44.20%	N/A	83.40%

## Balance Sheet

Total Cash (mrq):	34.70B	20.25B	16.76B	2.56B
Total Cash Per Share (mrq):	3.358	10.864	29.639	1.806
Total Debt (mrq):	0	154.33B	285.75B	749.99M
Total Debt/Equity (mrq):	0	11.911	17.076	0.088
Current Ratio (mrq):	2.788	1.603	3.498	2.865
Book Value Per Share (mrq):	4.257	6.951	25.812	5.99

## Cash Flow Statement

Operating Cash Flow (ttm):	15.54B	15.55B	N/A	1.71B
Levered Free Cash Flow (ttm):	10.27B	-4.96B	N/A	506.63M

# 中国制造业的现状 (I)

- 我国制造业的总产值仅次于美国、日本、德国，居世界第4位
- 制造业总产值在国内生产总值中所占的比重一直维持在40%以上
- 中国财政收入的一半来自于制造业，制造业吸收了将近一半的城市就业人口，农村剩余劳动力转移也有将近一半流入了制造业
- 中国制造业总体规模仅相当于美国的1/5，劳动生产率只有美国的1/23，日本的1/25，德国的1/18

## 2005 中国制造业企业 500 强名单

名次	企业名称	营业收入(万元)
1	上海宝钢集团公司	16175652
2	中国第一汽车集团公司	12522986
3	海尔集团公司	10090705
4	上海汽车工业(集团)总公司	10006301
5	东风汽车公司	9805882
6	飞利浦(中国)投资有限公司	7780000
7	摩托罗拉(中国)电子有限公司	6576400
8	中国兵器装备集团公司	6435475
9	中国兵器工业集团公司	6406092
10	鞍山钢铁集团公司	6272637
11	首钢总公司	6190000
12	中国航空工业第一集团公司	5805801
13	中国华源集团有限公司	4849295
14	中国铝业公司	4767682
15	北京汽车工业控股有限责任公司	4749519
16	京东方科技集团股份有限公司	4510657
17	上海广电(集团)有限公司	4323682
18	广州汽车工业集团有限公司	4300000
19	武汉钢铁(集团)公司	4232189
20	TCL 集团股份有限公司	4209900
21	中国船舶重工集团公司	4193668
22	联想控股有限公司	4192245
23	上海电气(集团)总公司	3941795
24	上海埃力生(集团)有限公司	3602321
25	攀枝花钢铁(集团)公司	3395449
26	玉溪红塔烟草(集团)有限责任公司	3361811
27	华为技术有限公司	3152126
28	邯郸钢铁集团有限责任公司	3116577
29	江苏沙钢集团有限公司	3112365
30	唐山钢铁集团有限责任公司	3071611

## 中国制造业的现状 (II)

- 规模小 (很多小工厂)
  - 2004年, 世界500强前12个企业销售收入为24,028亿美元, 超过中国国有及有规模的非国有企业(219,463个)的销售收入187,815亿元
- 资本少 (研发投入更少)
  - 2005年中国制造业500强的平均研发投入只占这些企业主营业务收入的1.88%。而同期西方先进国家企业的研发投入则占主营业务收入的8%-10%
- 基础弱(先进的管理技术没有使用)
  - 多数企业的业务流程不尽规范合理、部门岗位职责不尽明确、基础数据不全, 且不准确、规章制度不完善和现场管理不到位等问题也十分突出

# 中国制造业的现状 (III)

- 中国成为世界制造供应链(Global Supply Chain)的一部分
- 中国的低成本的优势至少还有10年
  - 人力成本低
  - 制造生态系统形成
- 中国的制造业产业升级<sup>(1)</sup>
  - 许多高技术企业只具备着高技术产品的加工功能,
  - 技术创新能力仍是提升我国制造业产业竞争力的关键环节。

表4 1999-2003年中国制造业增加值及出口技术结构[1]

项目	增加值				出口额			
	1999年		2003年		1999年		2003年	
	(万元)	(%)	(万元)	(%)	(万元)	(%)	(万元)	(%)
原料型	47 261.8	28.1	84 820.4	25.3	19 158.0	9.8	21 691.8	8.3
低技术	30 764.9	18.3	53 172.8	15.8	66 067.4	33.9	81 555.8	31.3
中技术	53 578.3	31.9	112 113.1	33.4	31 576.8	16.2	37 395.4	14.3
高技术	36 415.3	21.7	85 668.1	25.5	78 274.3	40.1	120 142.5	46.1

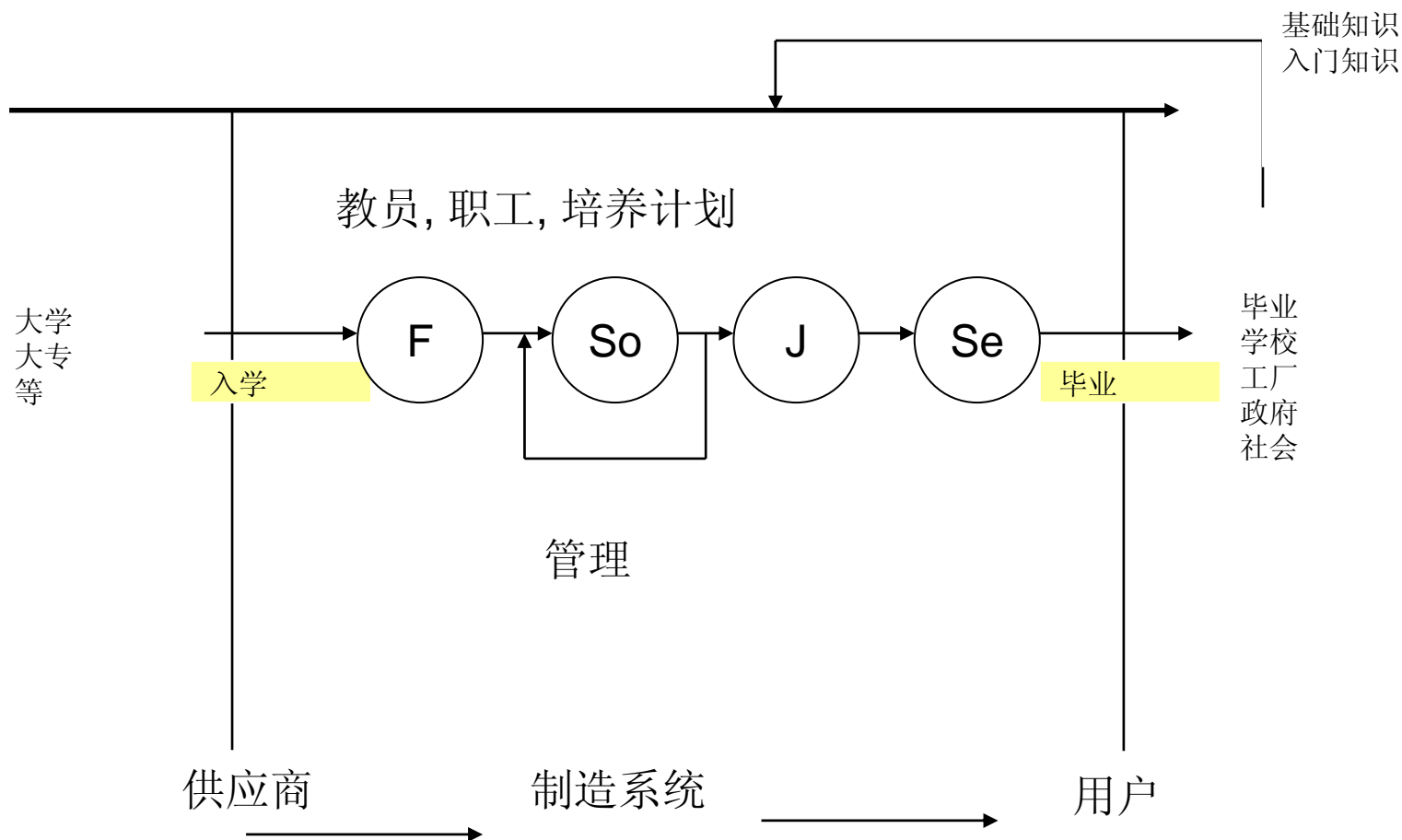
<sup>(1)</sup> [http://www.usc.cuhk.edu.hk/wk\\_wzdetails.asp?id=4857](http://www.usc.cuhk.edu.hk/wk_wzdetails.asp?id=4857)

## 第二部分

# Introduction to Manufacturing Systems

## 制造系统简介

# 广义上的制造系统 - 一个大学

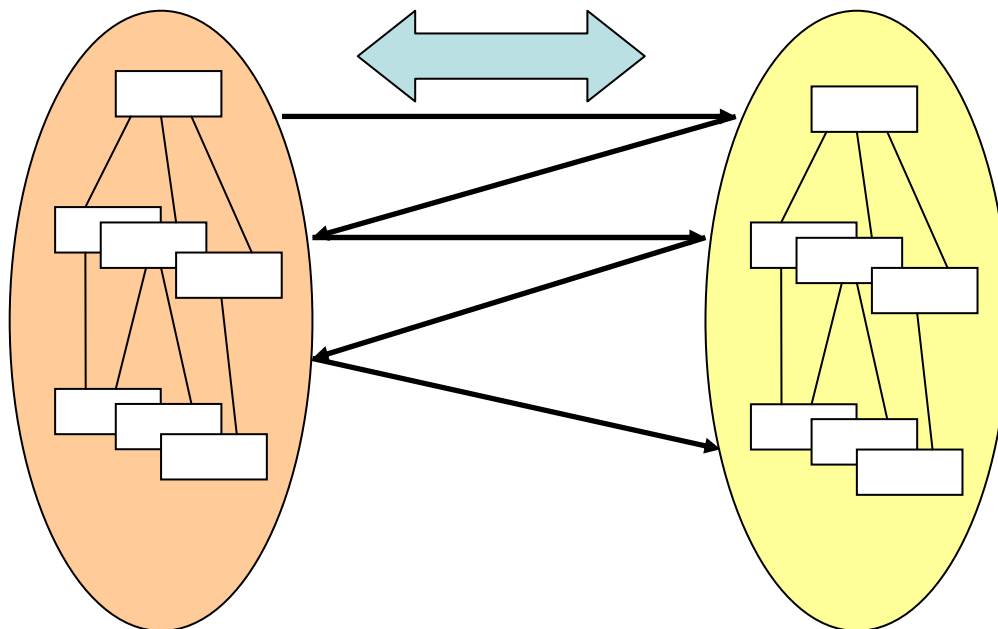




# 设计领域

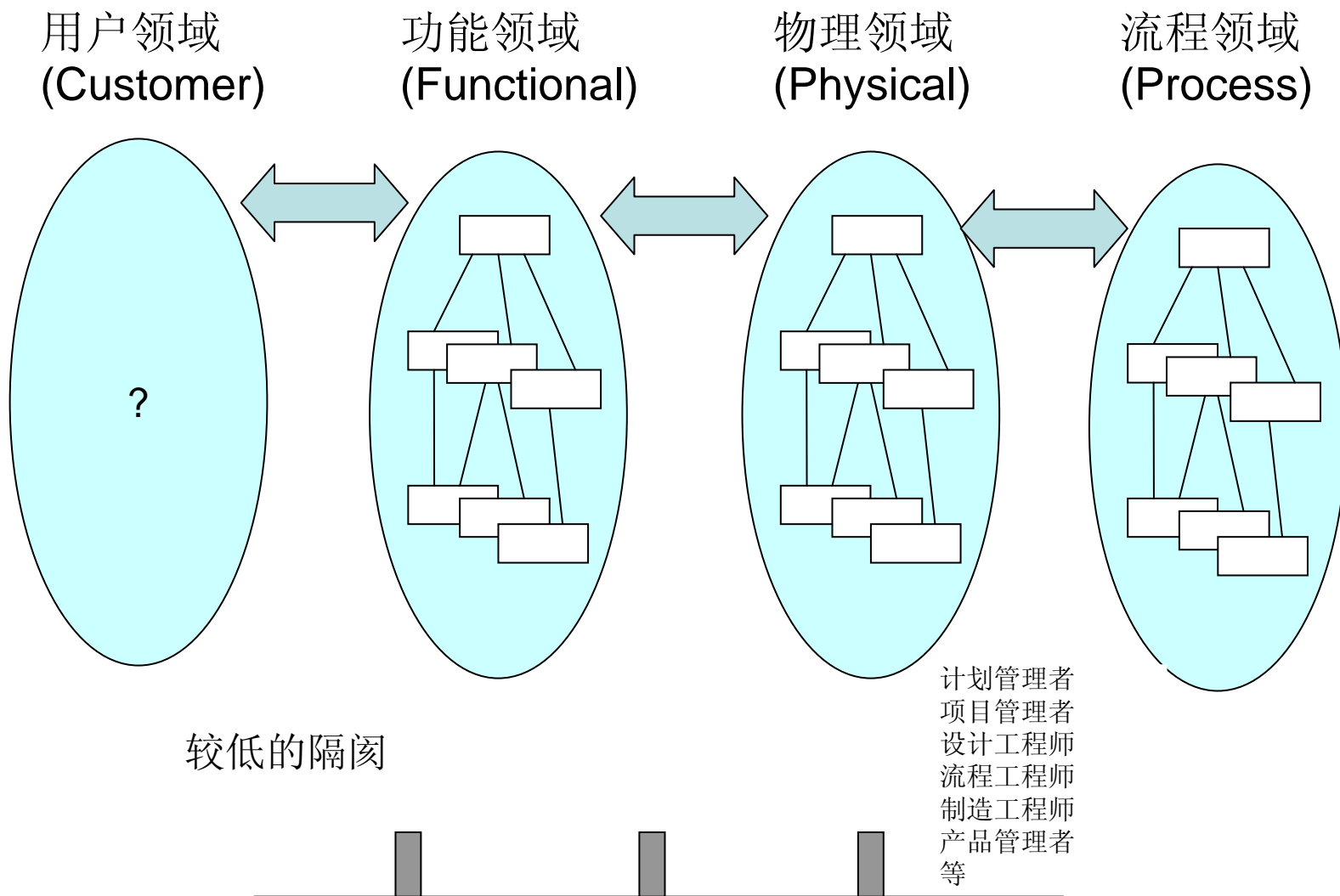
“什么”到“怎样”，“顶部”到“底部”

什么



如何

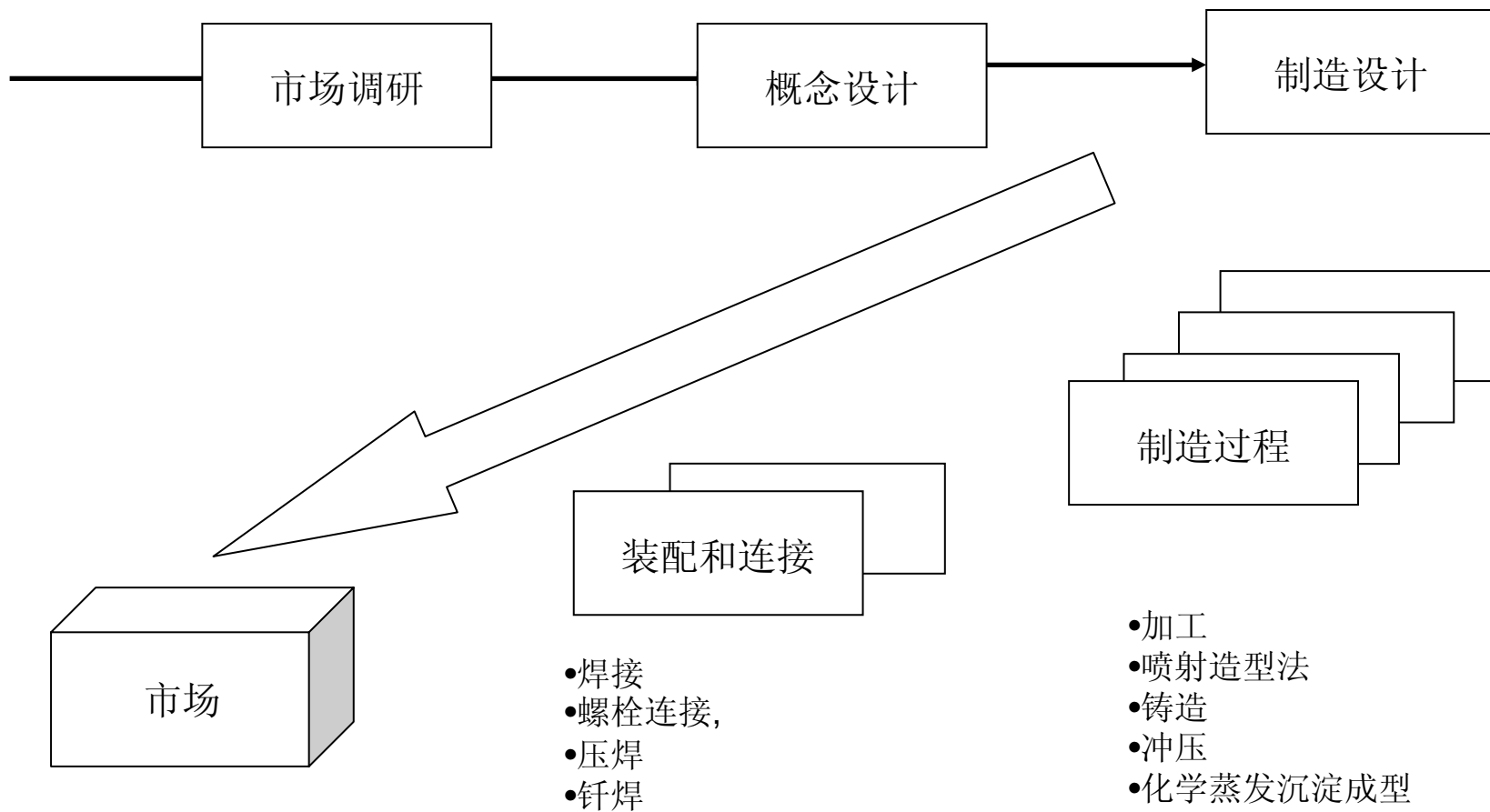
# 并行工程 (Concurrent Engineering)



# 四个领域和四个层次

制造系统	用户	功能	物理	流程
物料(Material)	性能	性质	微结构	步骤
软件(Software)	期望的特征	计划的输出	输入变量	子程序
商业(Business)	投资回报率	商业目标	商业结构	资源
组织(Organization)	客户满意度	功能	计划办公室	人力资源

# 制造流程



# 系统工程的步骤

概念系统设计



初步系统设计



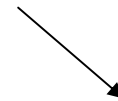
细节设计和展开



生产过程



系统运行和支持

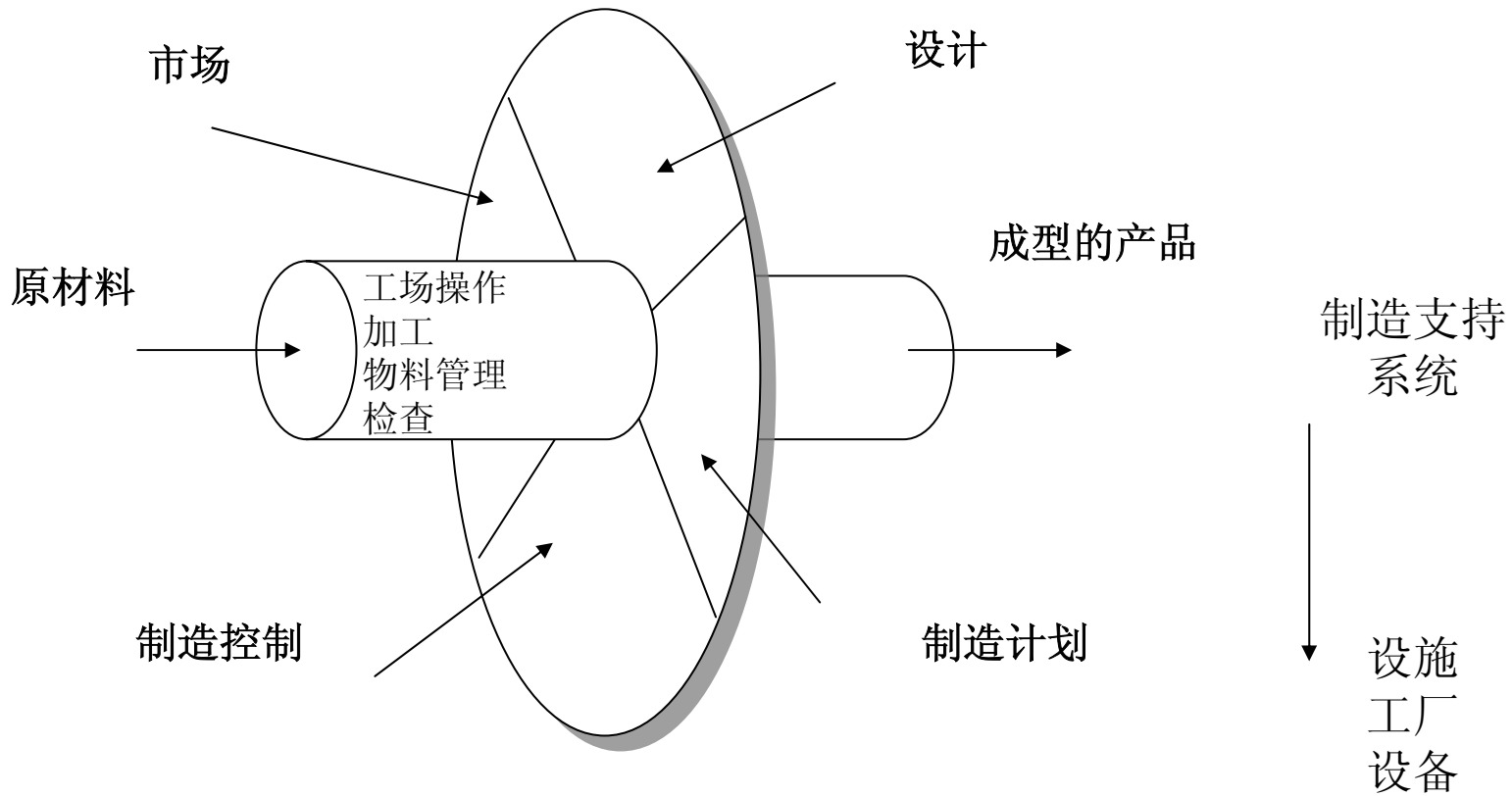


退休和分阶段停止

系统工程管理

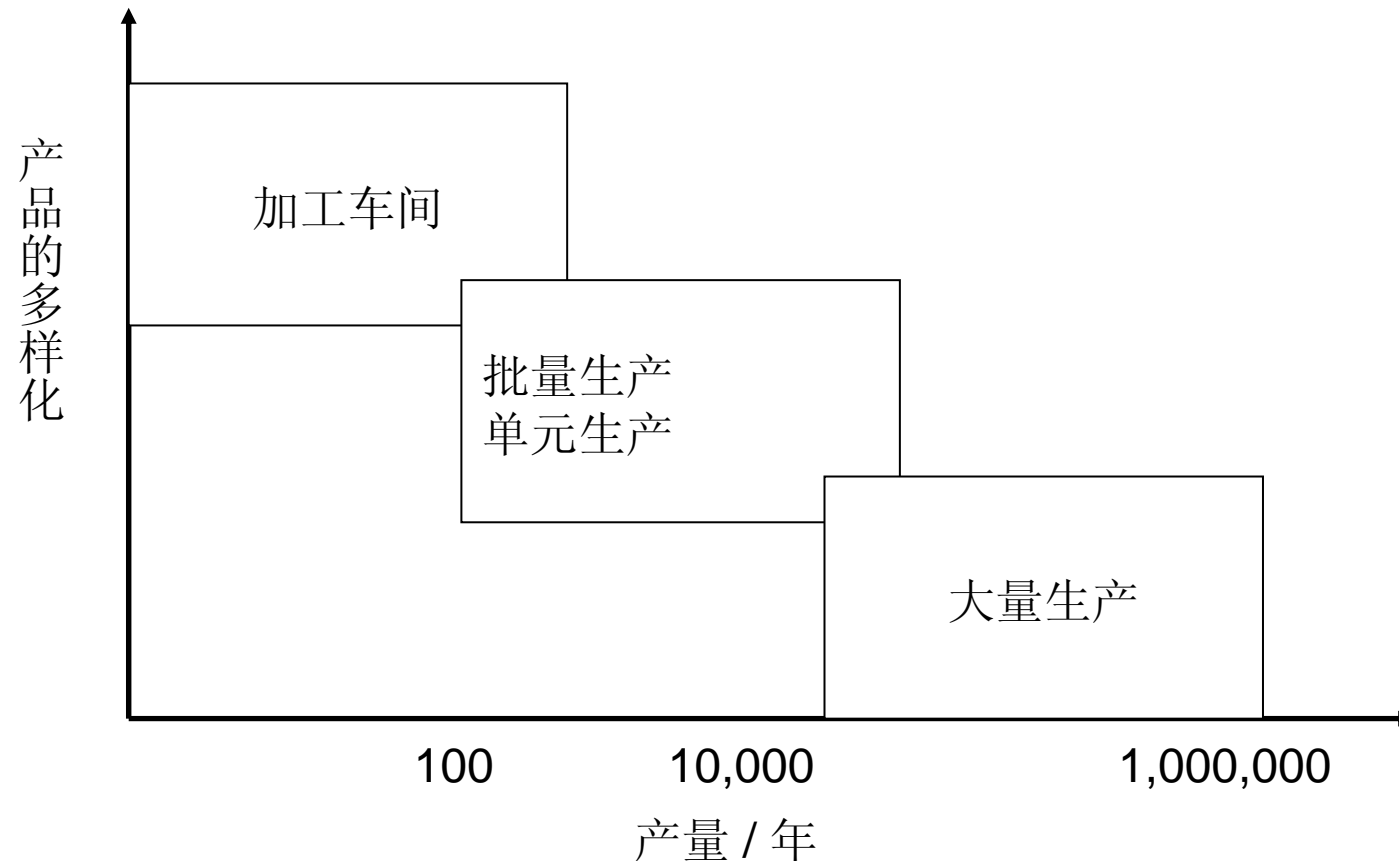
系统工程技术

# 制造系统



# 离散式的生产

- 少量生产: 1 到 100 件/年
- 中量生产: 100 到 10,000 件/年
- 大量生产: 超过 10,000 件 / 年



# 制造是个综合性的学科

- 工程学科
  - 原材料
  - 制造过程
  - 设备制造
  - 制造设计(DFM)
- 管理学科
  - 劳动力
  - 社会义务
  - 盈利组织
- 整合
  - 制造系统



# 几种制造方法决策时的比较

	物料去除	金属挤压	融断	塑料处理	连接	薄膜电路的制造
成本	\$100 - \$10,000	\$0.1 - \$100	\$100 - \$10,000	昂贵的模子, \$10,000	便宜, 但劳动力昂贵	非常昂贵, 数百万美元
效率	非常高	合理的	要求加热后成形 拉模铸造	非常好	范围较广	很好
质量	任意形状	能够成型有限的常数项的形状	很好的柔性, 对于大件物品来说很好	对喷出物开放	手工和自动	二维下的任意形状
柔性	慢	快 (循环时间按秒算), 大量	很慢	很快	总体来说比较慢	慢

选择制造方法时按照成本, 效率, 质量和柔性来考虑

# 制造系统的绩效衡量

- 资产成本 (Capital cost)
- 生产率或者产量 (Production rate or capacity)
- 循环时间 (Cycle time)
- 生产提前时间(Lead time)
- 机器利用率(Machine utilization)
- 在制品(Work-in-process)
- 按时交货率(On-time deliveries)

# 第三部分

## Manufacturing Systems Design and Control

### 制造系统设计和控制

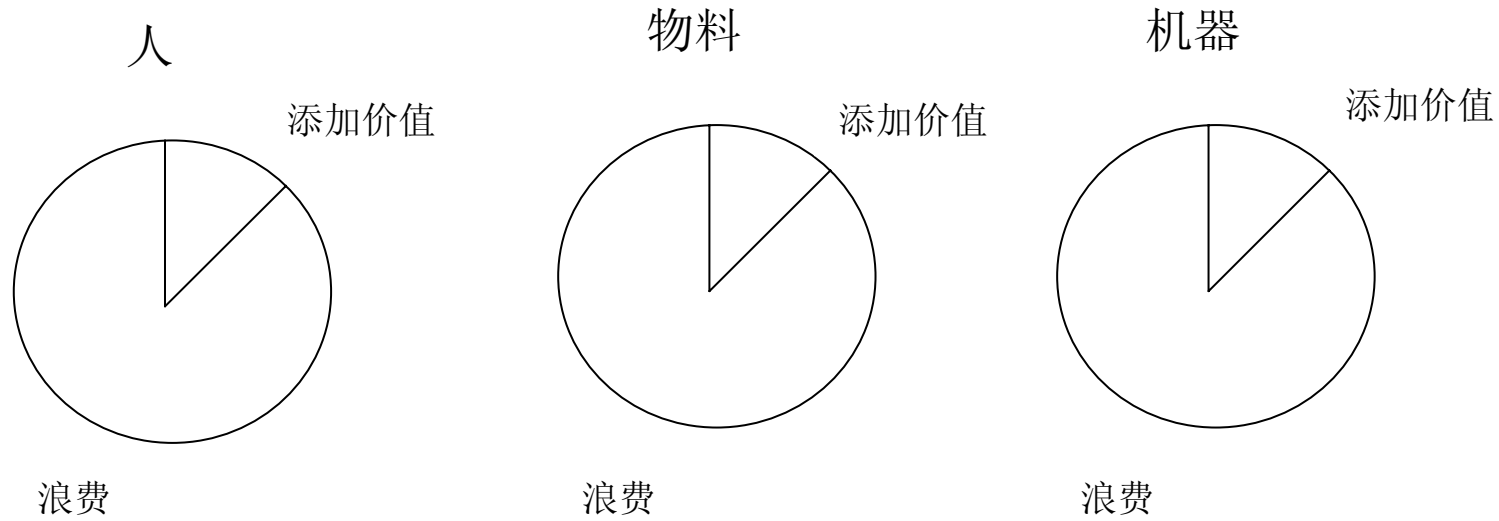
# 纲要

1. 设施布局的类型
2. 制造系统设计
3. 制造成本
4. 质量
5. 生产流程控制

# 1. Plant Layout

## 设施布局的类型

# 人，机器和物料是怎么在工厂中花费时间的



“浪费”: 等待物料, 看管机器运作, 生产次品, 寻找工具, 机器故障时修复机器, 生产一些不必要的物品, 等.

“浪费”: 运输, 库存, 检查和返工

“浪费”: 机器不必要的移动, 准备时间, 机器停机时间, 非生产的维护时间, 生产次品, 生产一些不必要的物品, 等.

# 一个制造组织的典型活动的时间频谱

<u>Seconds</u>	<u>Period</u>	<u>Activity</u>	<u>活动</u>
10 <sup>8</sup>	Decade } Year }	Plant design, Machine Selection, System Simulation	厂房设计, 选择机器, 系统模拟
10 <sup>7</sup>			
10 <sup>6</sup>	Month } Week }	Process design: CAD Catalogs Select manufacturing methods	流程设计: <b>CAD</b> ,清单 选择制造手段
10 <sup>5</sup>	Day } Hour }	Factory Operation Ship – Receive Transport Inventory	工厂运营 出货-进货 库存运输
10 <sup>4</sup>			
10 <sup>3</sup>	Minute }	Part handling Load/Unload Assembly	部件移动 上载/下载 组装
10 <sup>2</sup>			
10 <sup>1</sup>	Second }	Machine control CNC – DNC Adaptive control Intelligent machines Process control	机器控制 <b>CNC-DNC</b> 适用性控制 聪明的机器 流程控制
1			
.1	Millisecond }		
.01			
.001			

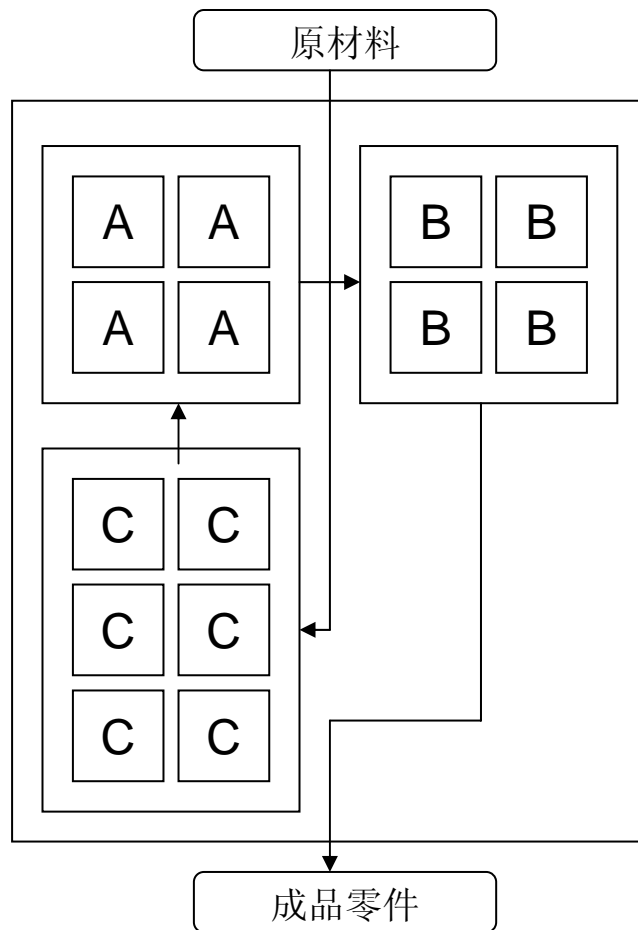
# 设备布局的类型

- 加工车间
- 工程车间
- 流水线
- 传递线
- 单元系统



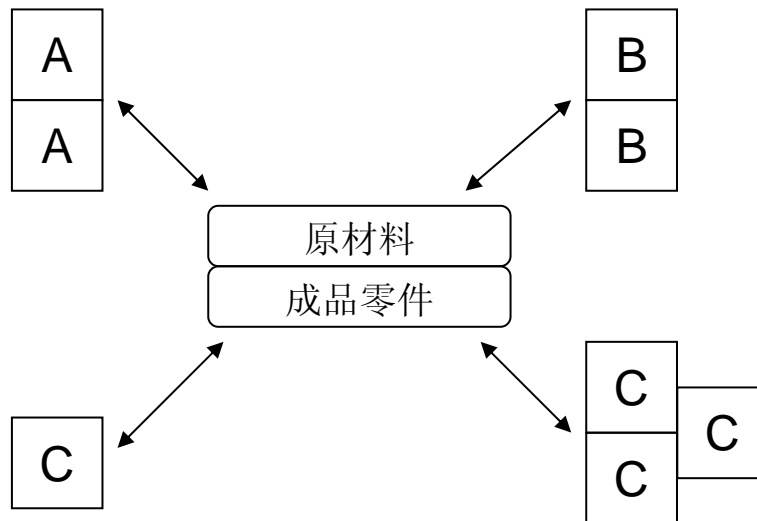
# 加工车间

- 根据加工的过程  
来对机器和资源  
进行分组



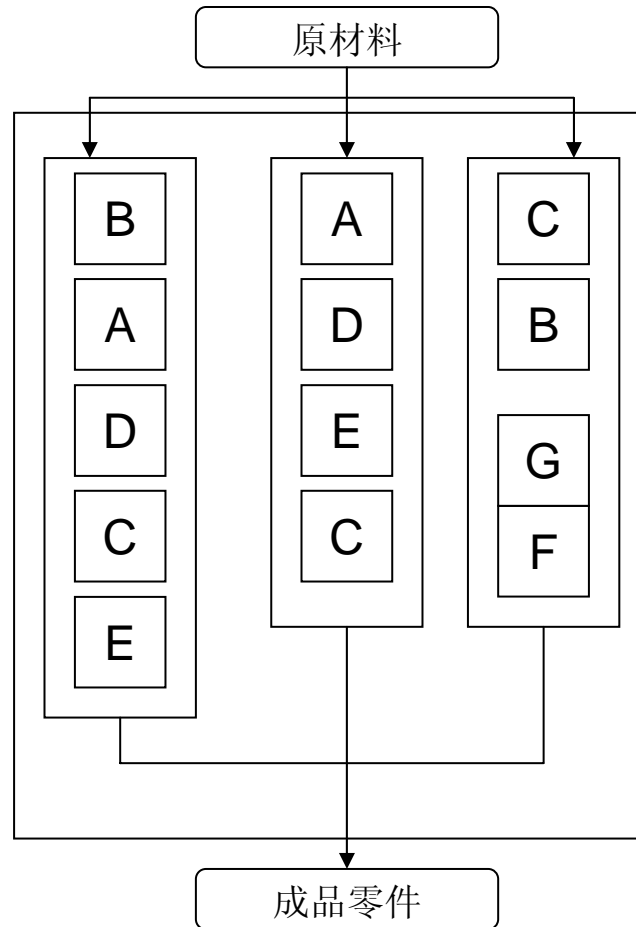
# 工程车间

- 机器和资源只有需要时再添加或者去除到一个平台



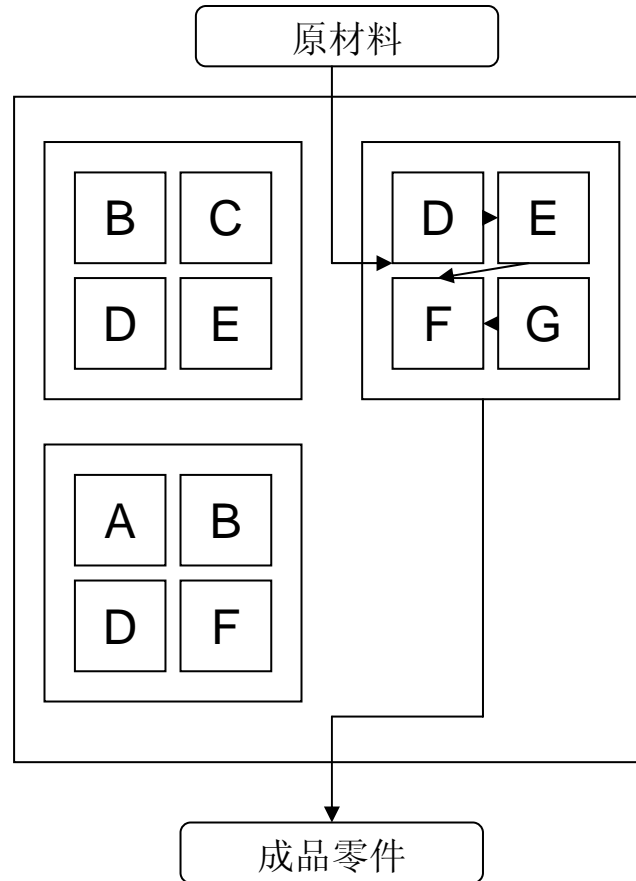
# 流水线和传递线

- 根据处理的零件的顺序来添加或者去除来调整机器和资源

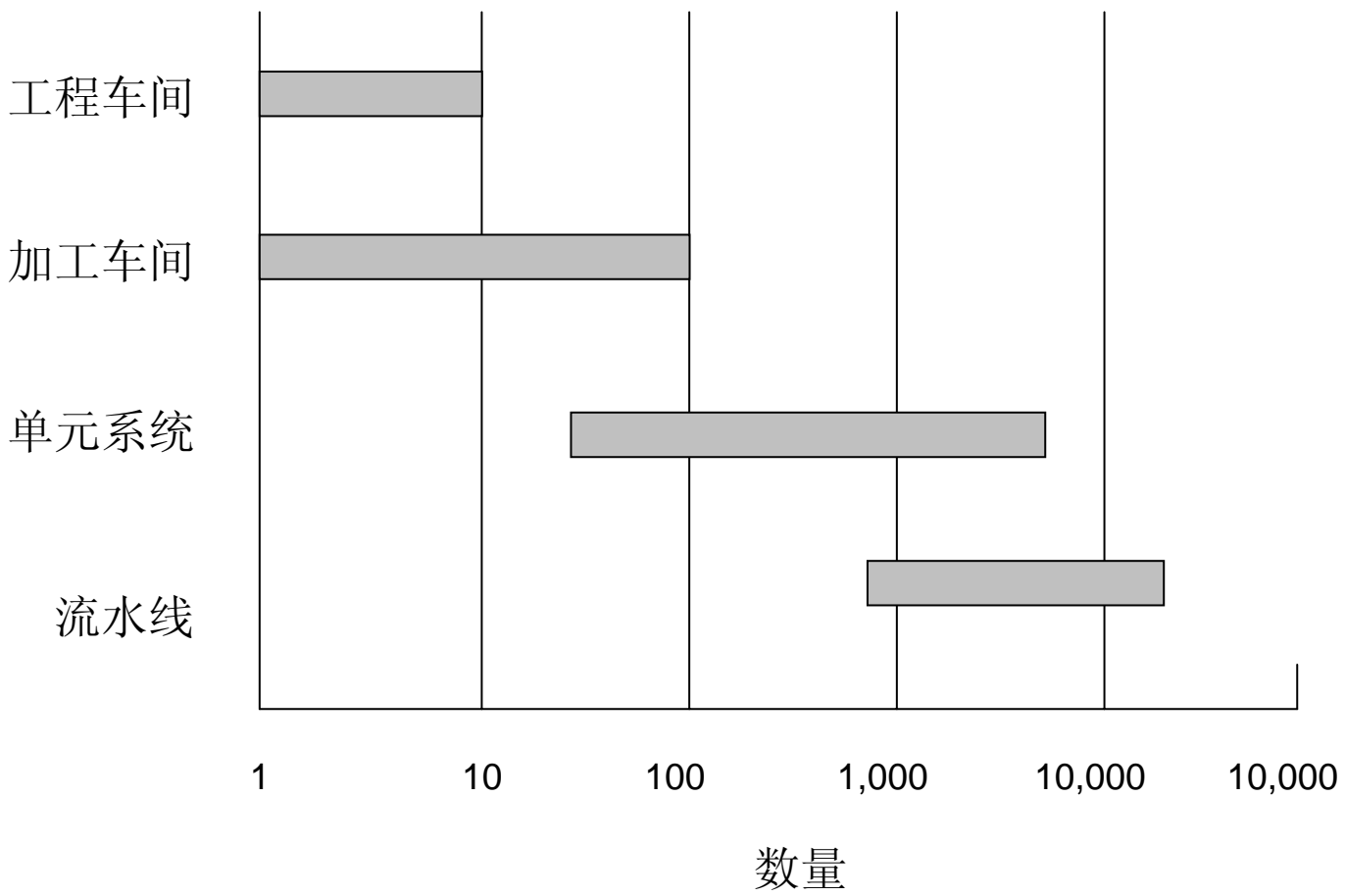


# 单元系统(Cell)

- 根据零件族的理论和需要添加或者去除来调整机器和其他资源



# 产品数量和设置布局

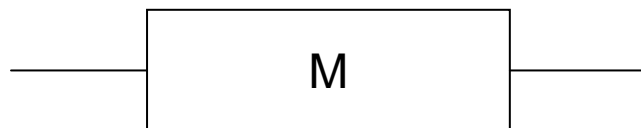


## 2. Manufacturing Systems Design

### 制造系统设计

# 生产效率

- 第一种情况
  - 一台机器
  - 全部工作



$$\text{生产效率} = \frac{1}{\text{生产时间}}$$

# 生产效率（继续）

- 第二种情况
  - 一台机器
  - 机器有时故障
  - 其他的都工作



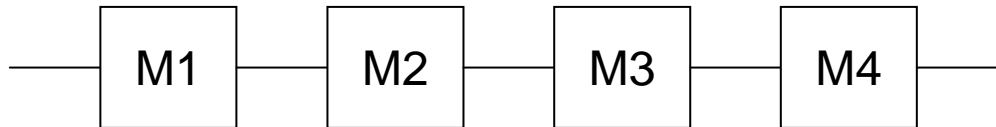
$$\text{效率} = \frac{\text{MTTF}}{\text{MTTF} + \text{MTTR}}$$

$$\text{生产率} = \frac{\text{效率}}{\text{生产时间}}$$



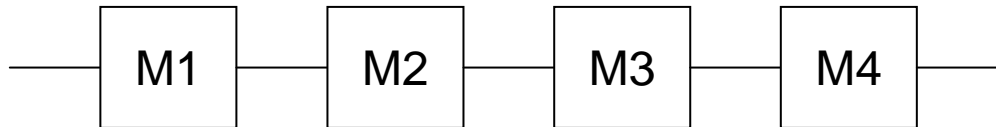
# 生产效率（继续）

- 第三种情况
  - 很多机器
  - 没有机器故障
  - 没有缓冲



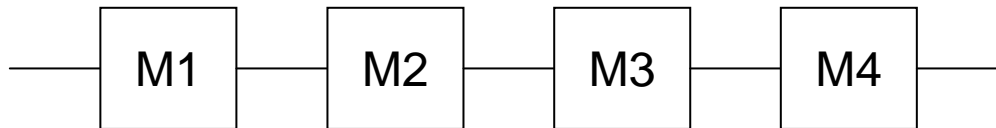
# 生产效率（继续）

- 第四种情况
  - 很多机器（同样的工作时间）
  - 没有机器故障
  - 没有缓冲



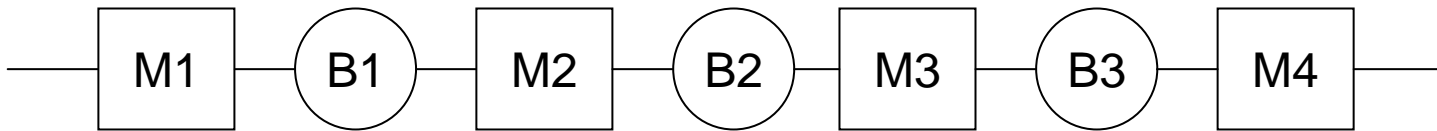
# 生产效率（继续）

- 第五种情况
  - 很多机器(同样的生产时间)
  - 有机器故障
  - 没有缓冲



# 生产效率（继续）

- 第六种情况
  - 很多机器而且每台机器之间有缓冲
  - 有机器故障



# 如何提高生产效率

- 生产效率在以下情况提高
  - 最慢的机器生产效率提高
  - 减低机器故障
  - 加入缓冲区
  - 加入生产流程的控制

# 故障(随机事件)

- 机器故障
- 机器准备时间
- 无操作员
- 等待工件 / 工件堆积

# 等待

- 使用率太低
- 流水线停止
- 库存

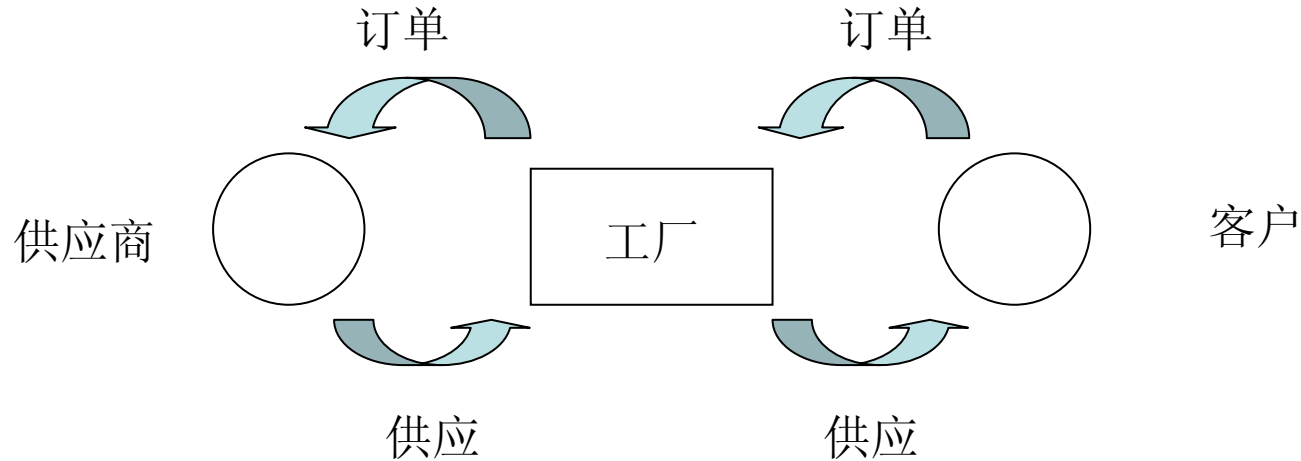
# 库存 / 流程部件 (WIP)

- 增加成本
- 可能被损坏
- 可能过期
- 增加准备时间



# 周期时间 (Cycle Time)

周期时间= 部件在制造系统中的时间



- Little's 定理:  $L = \lambda w$

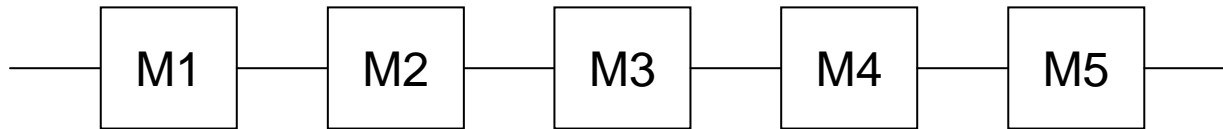
L: 平均库存

$\lambda$ : 平均生产率

W: 平均周期时间

# 周期时间(Cycle Time)

- 例如:
  - 生产时间 = 1, 单件生产

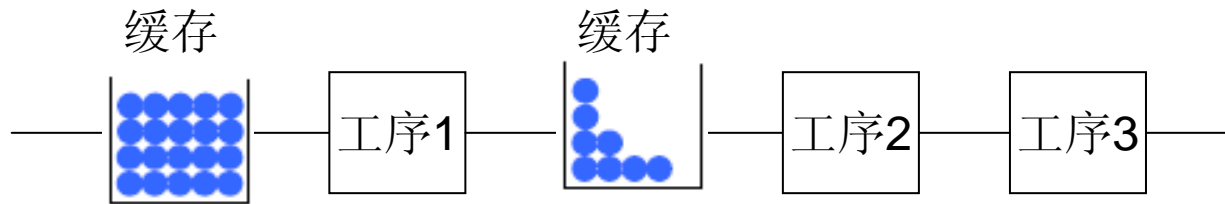


生产效率 = 1

周期时间 = 5 min

库存 = 5

# 多件生产的周期时间

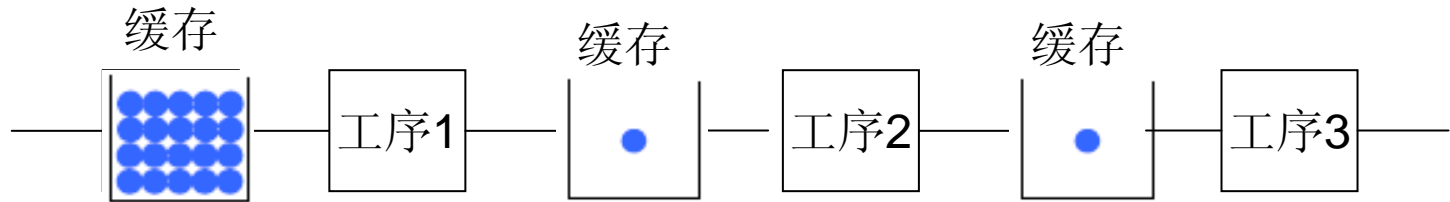


生产效率：3 分钟

每一组的数量：1000

周期时间 =  $1,000 * 3 + 1,000 * 3 + 1,000 * 3 = 9,000$  分钟

# 单件生产的周期时间



生产时间: 3 minutes

周期时间 =  $1,000 * 3 + 2 * 3 = 3,006$  min

# 典型的设计准则

- 平衡(Leveling)
- 平均(Balancing)
- 单零件流水线(Single-piece flow)
- 尽量少的物料搬运(Low materials handling)
- 短的生产准备时间(Low setup time)
- 小的生产坯料(Smaller lot size)
- 低的在制品(Low WIP)
- 快速的反馈(Faster feedback)

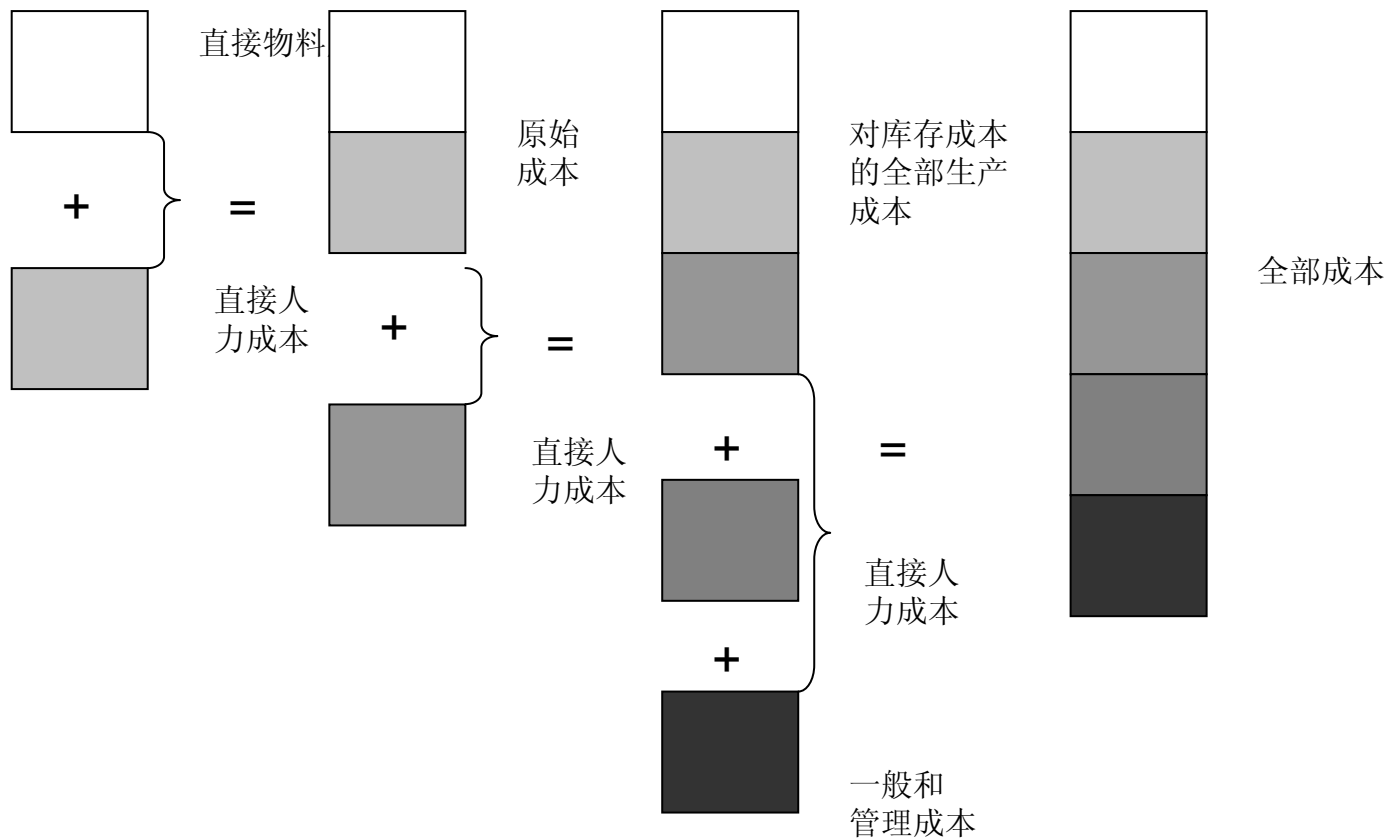
# 设备操作

- 推式 (MRP, ERP, etc) vs. 拉式 (JIT)
- 批量 vs. 单件生产

# 3. Manufacturing Cost

## 制造成本

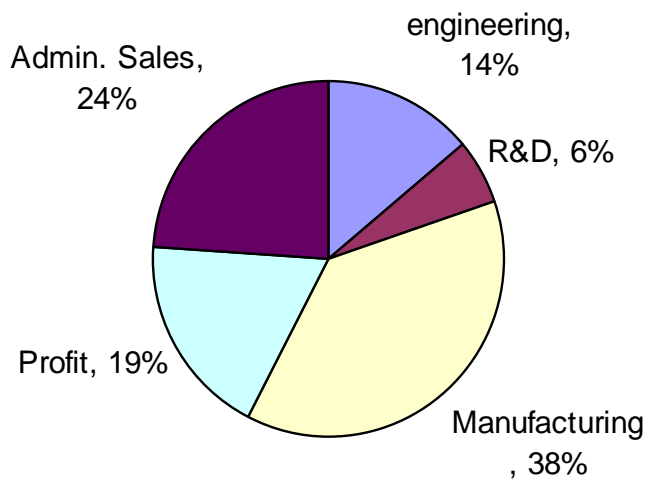
# 生产成本的组成



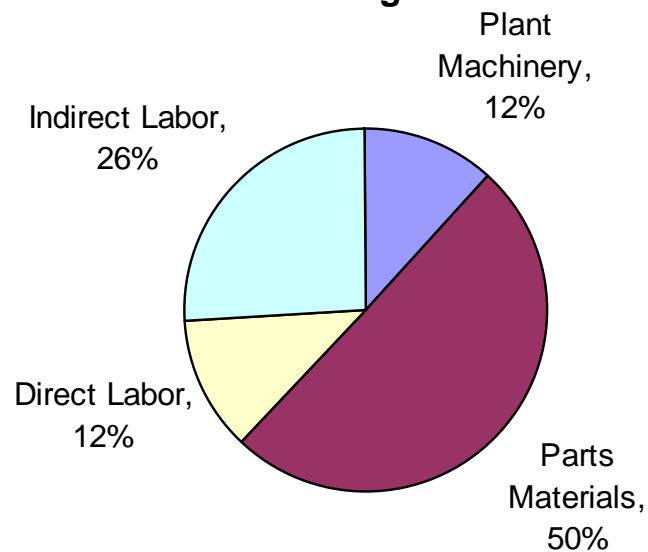


# 典型的成本细分

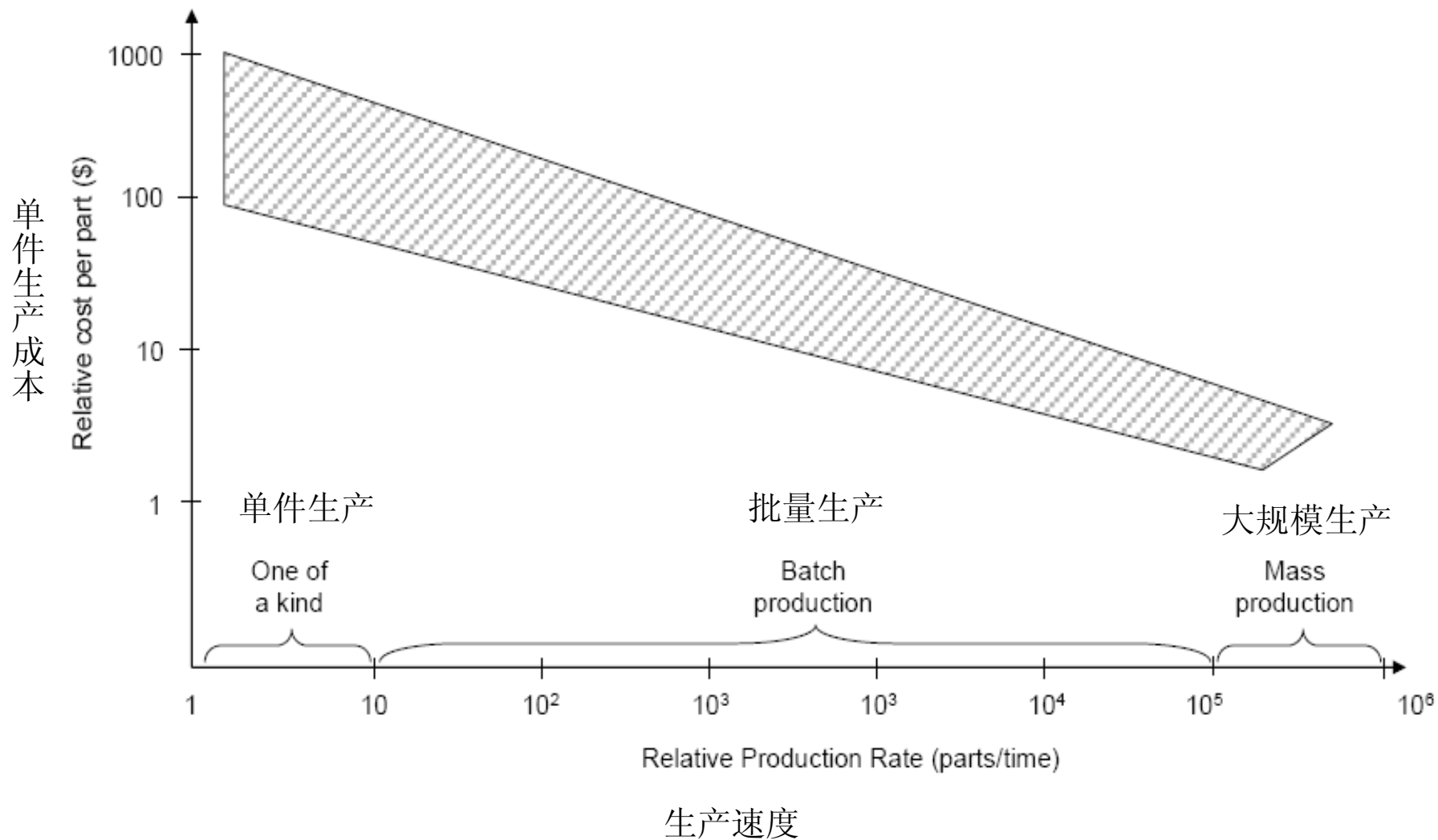
## Selling Price 销售价格



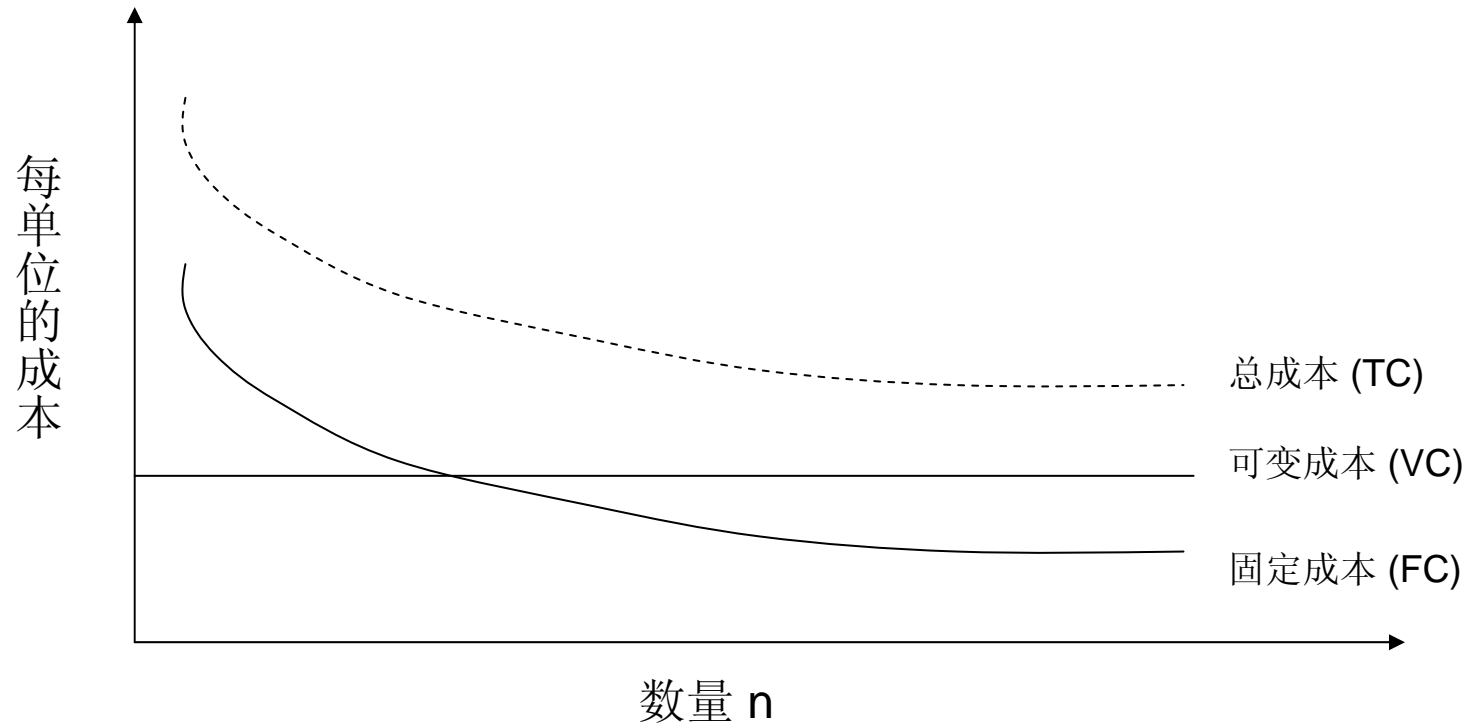
## Manufacturing Costs 制造成本



# 和产量相关的生产成本



# 固定和可变成本

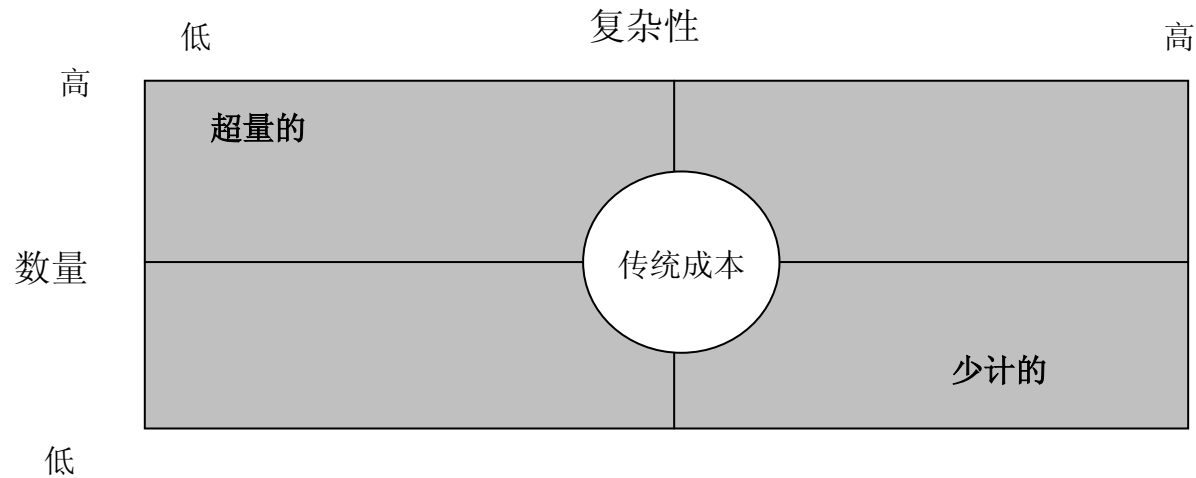


$$TC = FC + n \cdot VC$$

# 各行业的生产成本的百分比

行业	直接物料	直接劳力	制造管理
航空宇宙	51.7	19.3	29
计算机	69.9	7.5	22.5
电子	48.6	15.1	36.3
工业和农业设备	46.0	12.8	41.2
金属产品	52.0	15.7	32.3
机动车和零件	63.8	7.8	28.4
科学和拍照设备	52.3	11.3	36.5
<b>7种行业的平均</b>	<b>54.4</b>	<b>12.9</b>	<b>32.6</b>

# 传统的产品和用户成本



## 产品复杂性

- 小批量
- 长的准备时间
- 唯一的零部件
- 专门的检测
- 广阔的来源
- 专门的卖主

## 用户复杂性

- 用户定制化的产品
- 短的提前期
- 不可预测的订单
- 广阔的技术支持
- 广大的后销售支持
- 特赦的测试和要求

# 4. Quality

## 质量

# 什么是质量?

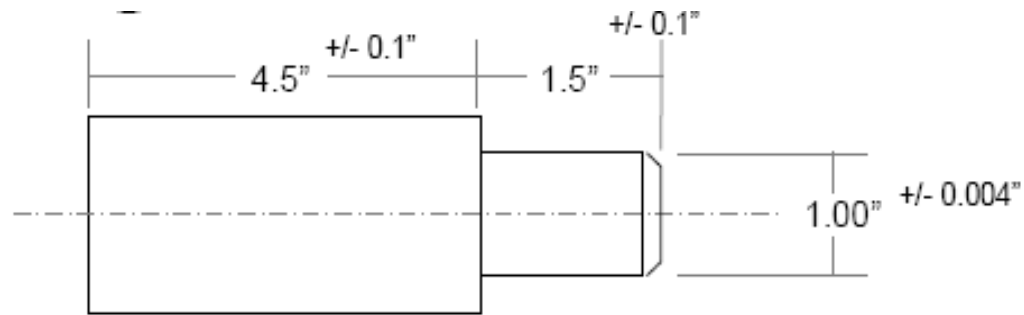
## 课堂讨论

# 偏差

1. 部件和组装的偏差
2. 使用的偏差
3. 使用过程中的条件恶化



# 工程部件



- 设计偏差  $\pm 0.004''$
- 流程标准

# 工程部件(继续)

- Raw data, n = 20

20个原始数据

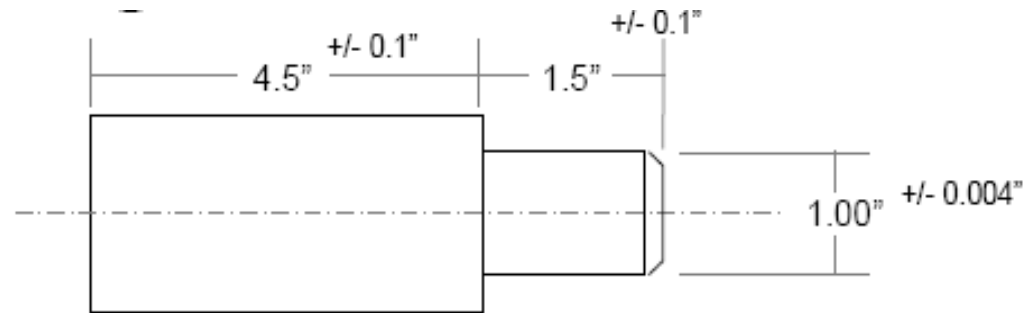
1.0013	0.9986	1.0015	0.9996
1.0060	0.9997	1.0029	0.9977
1.0042	0.9955	1.0019	0.9970
0.9992	1.0034	0.9995	1.0022
1.0020	0.9960	1.0013	1.0020

- 6 Buckets

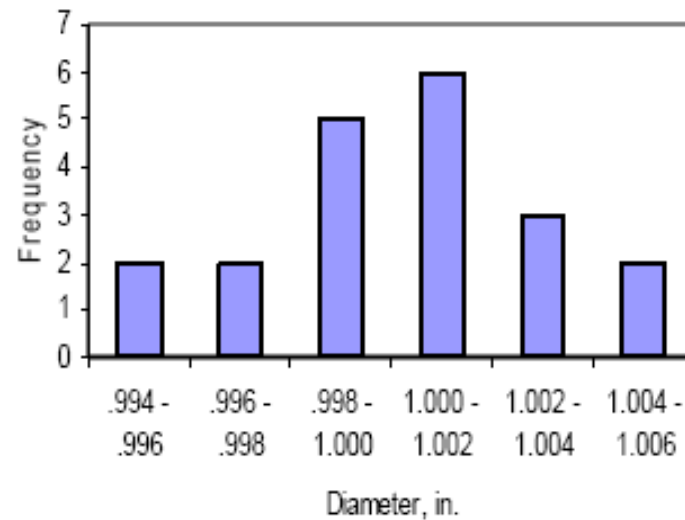
6 个数群

.994 - .996	2
.996 - .998	2
.998 - 1.000	5
1.000 - 1.002	6
1.002 - 1.004	3
1.004 - 1.006	2

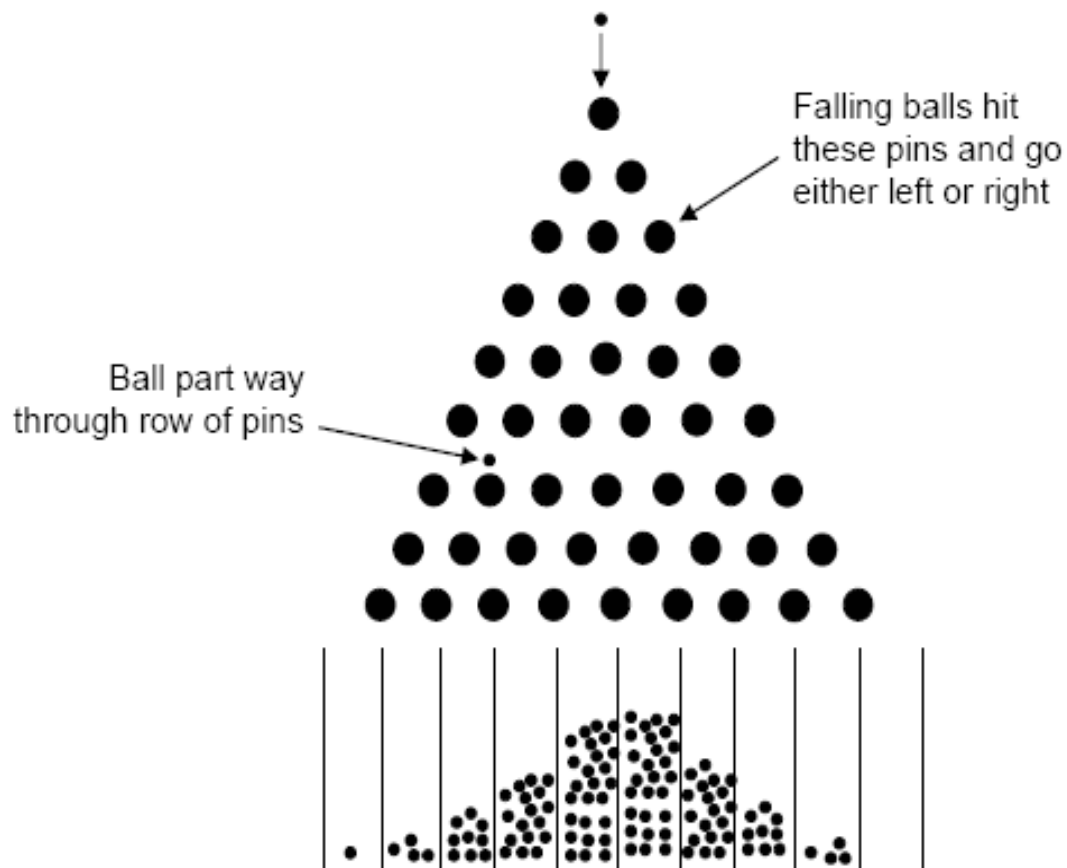
# 工程部件(继续)



- 设计偏差  $\pm 0.004"$
- 流程标准

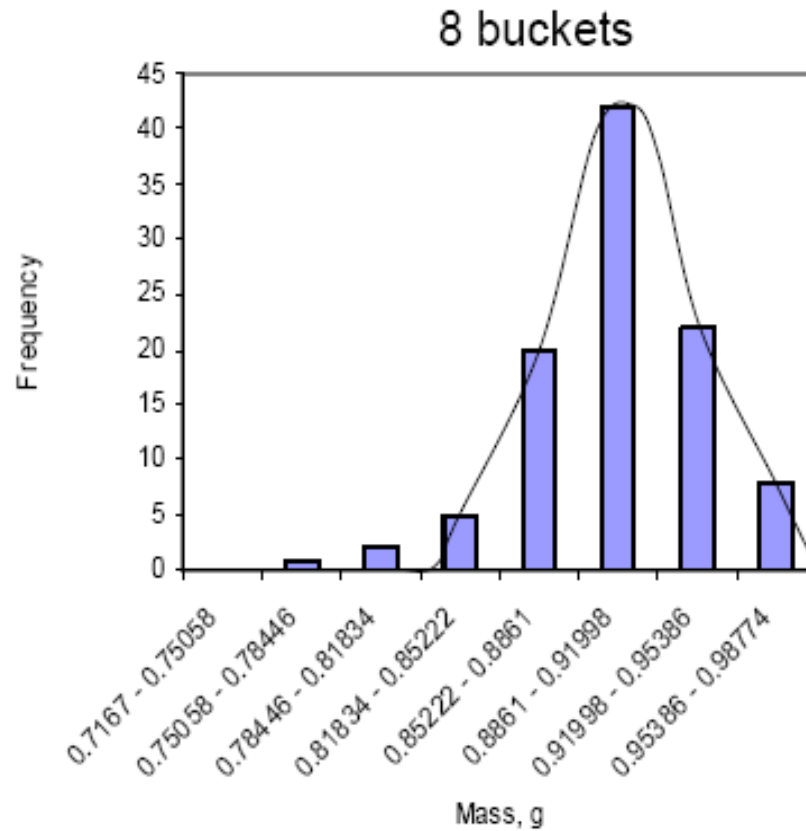


# 中央倾向(Central Tendency)

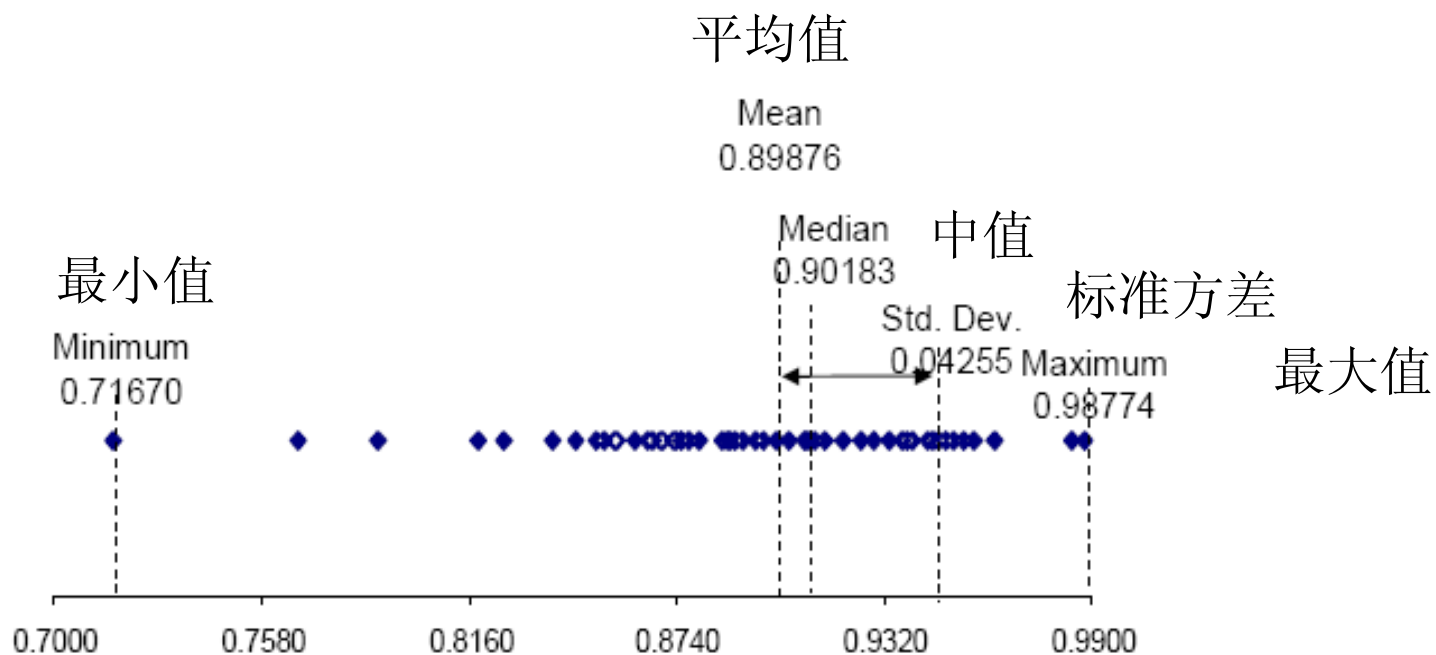


# 中央倾向 (举例)

万圣节 M&M糖的重量的直方图 :  $n = 100$



# 疏散度



Mass of Halloween M&M/ g, n=100

万圣节 M&M糖的重量 : n = 100

# 统计分布

- 中央倾向

- 样品平均值:

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

- 疏散度的测量

- 标准偏差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

- 偏差

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

- 范围

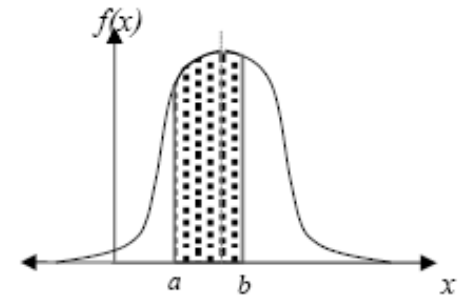
# 正态分布公式

概率

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s} \cdot e^{\left(-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}\right)}$$

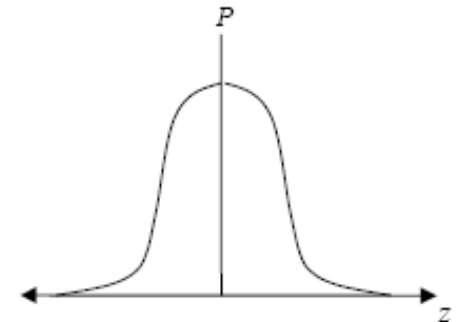
$$P\{a \leq x \leq b\} = \int_a^b f(x) dx$$

$$P\{-\infty \leq x \leq \infty\} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \quad \text{For all } \bar{x}, s$$



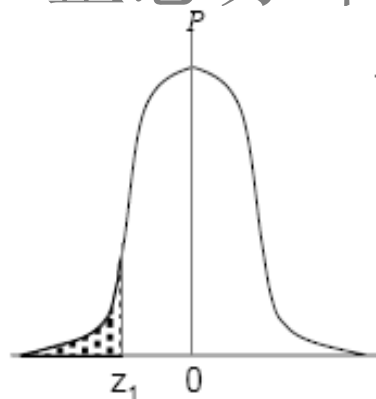
$$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

$$P\{z_1 \leq z \leq z_2\} = \int_{z_1}^{z_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$



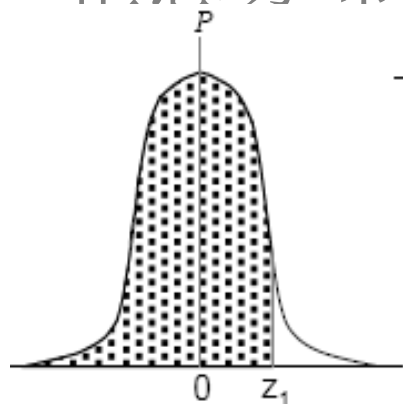


# 正态分布下的面积



Z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359

# 正态分布下的面积



Z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990

# 正态分布举例

M&M 重量 = 0.9克, 假设M&M重量正态分布, 有多少 M&M's 重量大于 0.9g?

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

$$Z = (0.9 - 0.89876) / 0.04255 = 0.29$$

Z=0.29的右边的面积, 查表:  $P = (1 - 0.6141) = 0.3859$

所以, M&M's 重量大于 0.9g 的数量为  $= P * n = 0.3859 * 100 = 39$

# 强健性(Robustness)

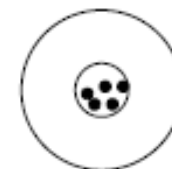
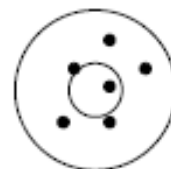
Not accurate

Not precise

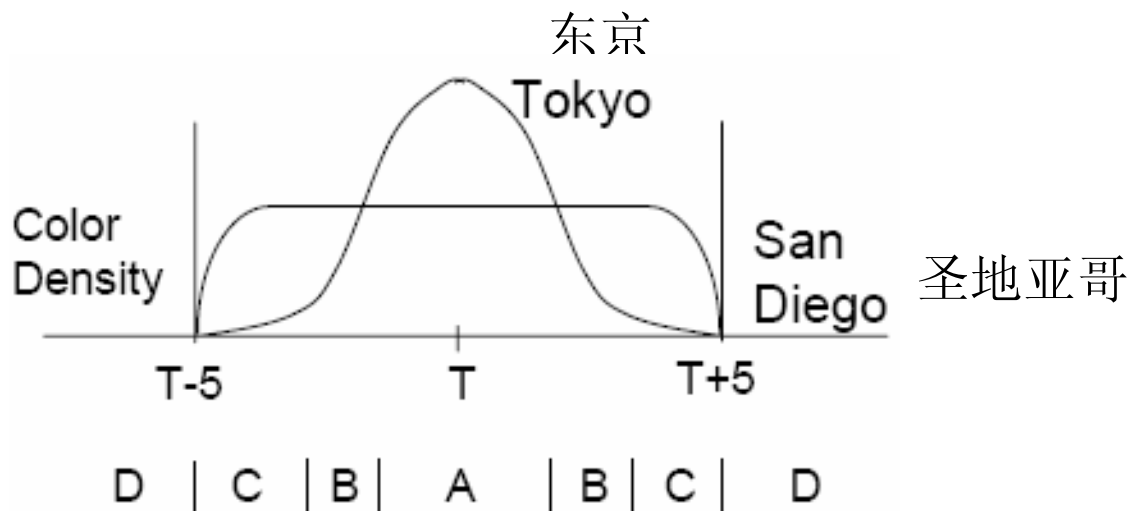
Precise



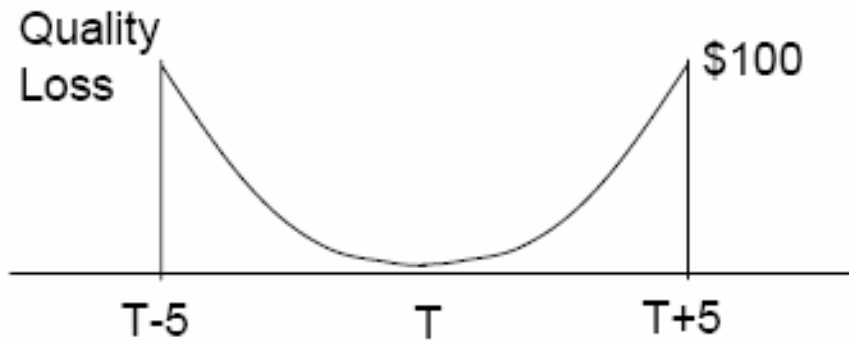
Accurate



# 两个工厂比较



质量损失

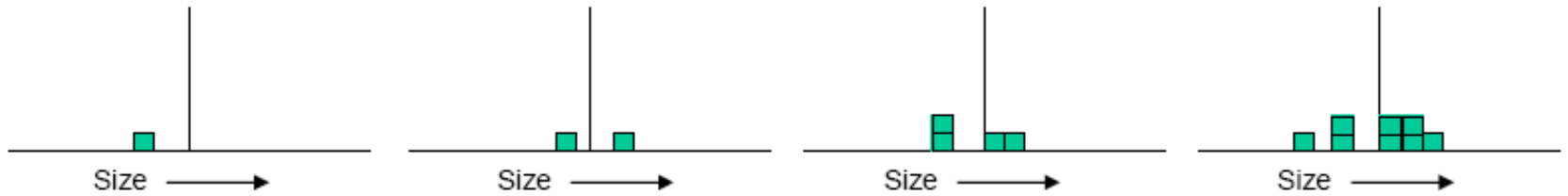


# 5.Process Control

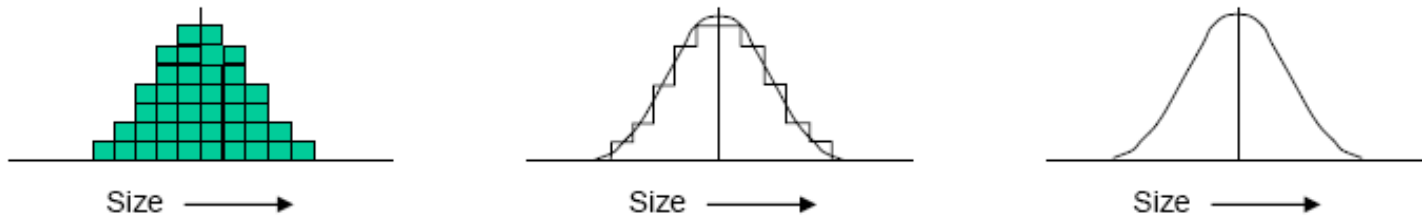
## 生产流程控制

# 变异: 共同和特别起因

每一件都不一样

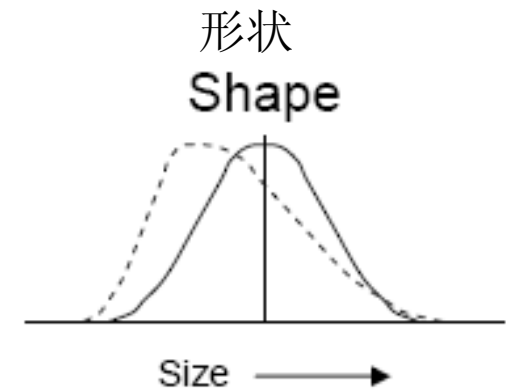
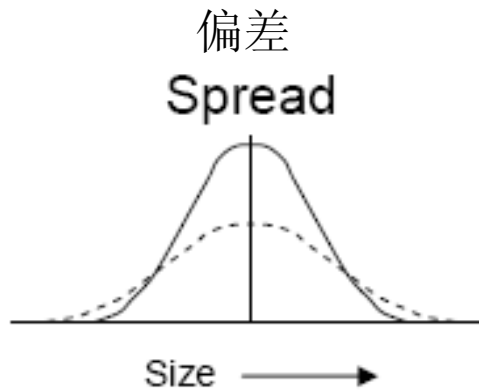
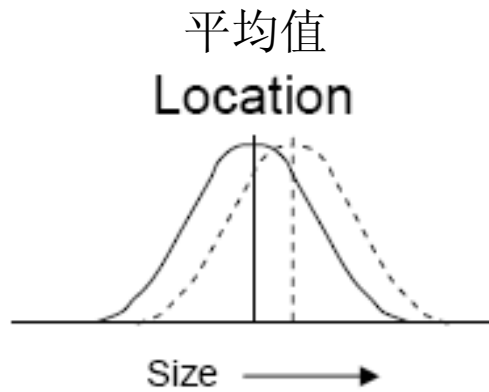


但是多件在一起，形成一个图案，如果过程稳定，形成一个分布图



# 变异: 共同和特别起因(继续)

分布图可能有以下几种情况:

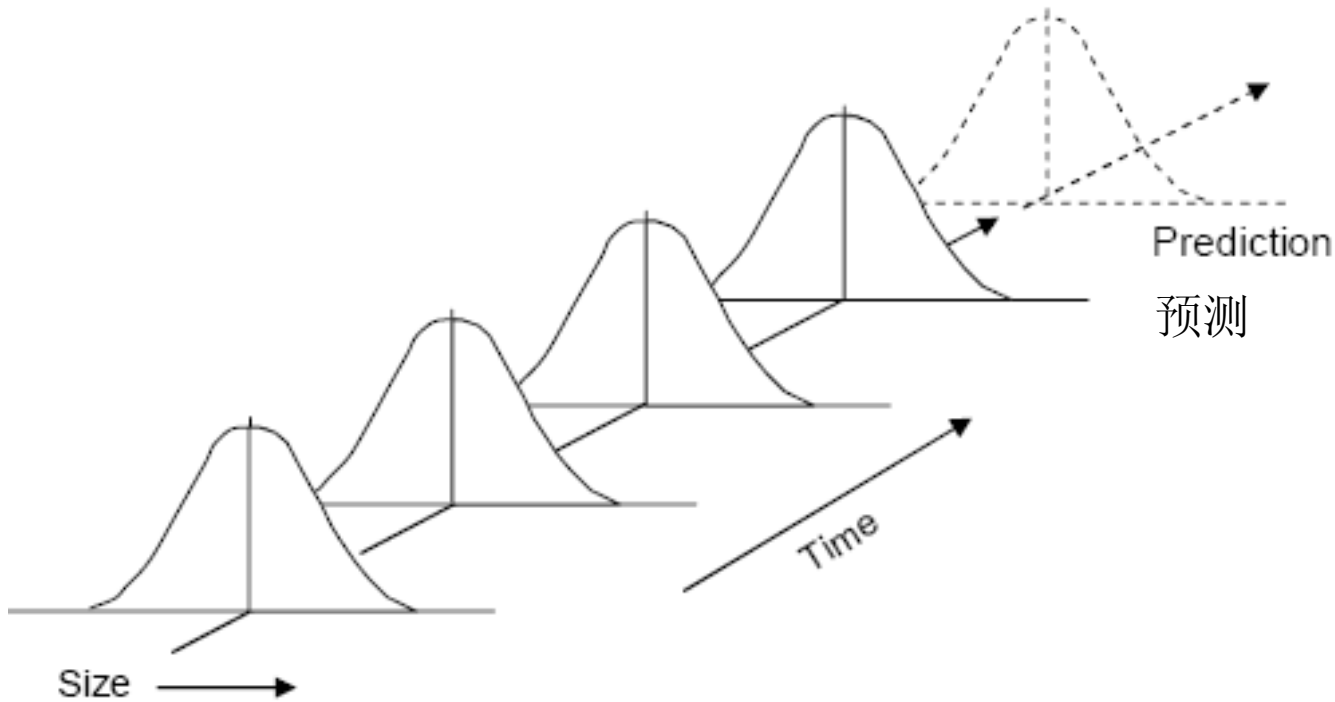


或以上几种情况组合



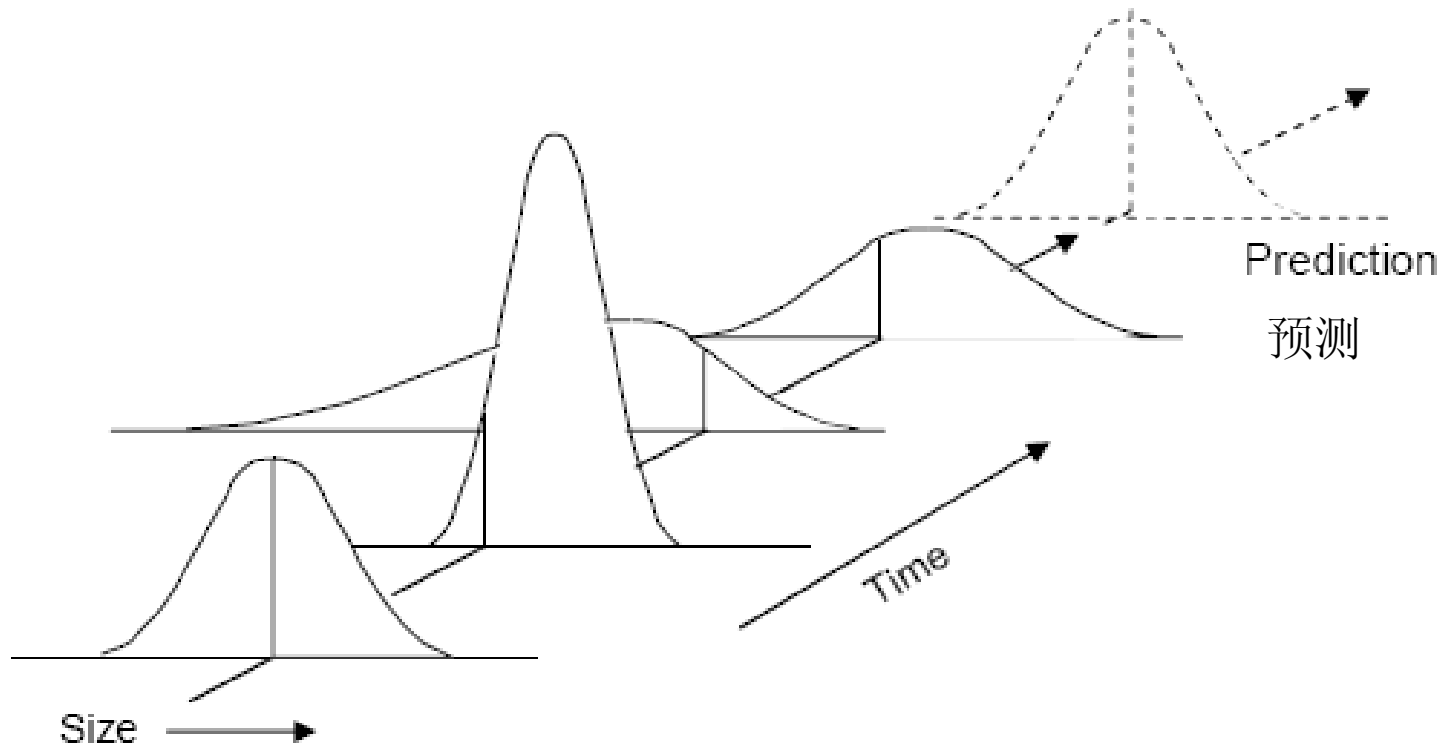
# 变异: 共同和特别起因(继续)

如果只有共同起因, 流程的出品的分布图是稳定的, 也是可预测的:



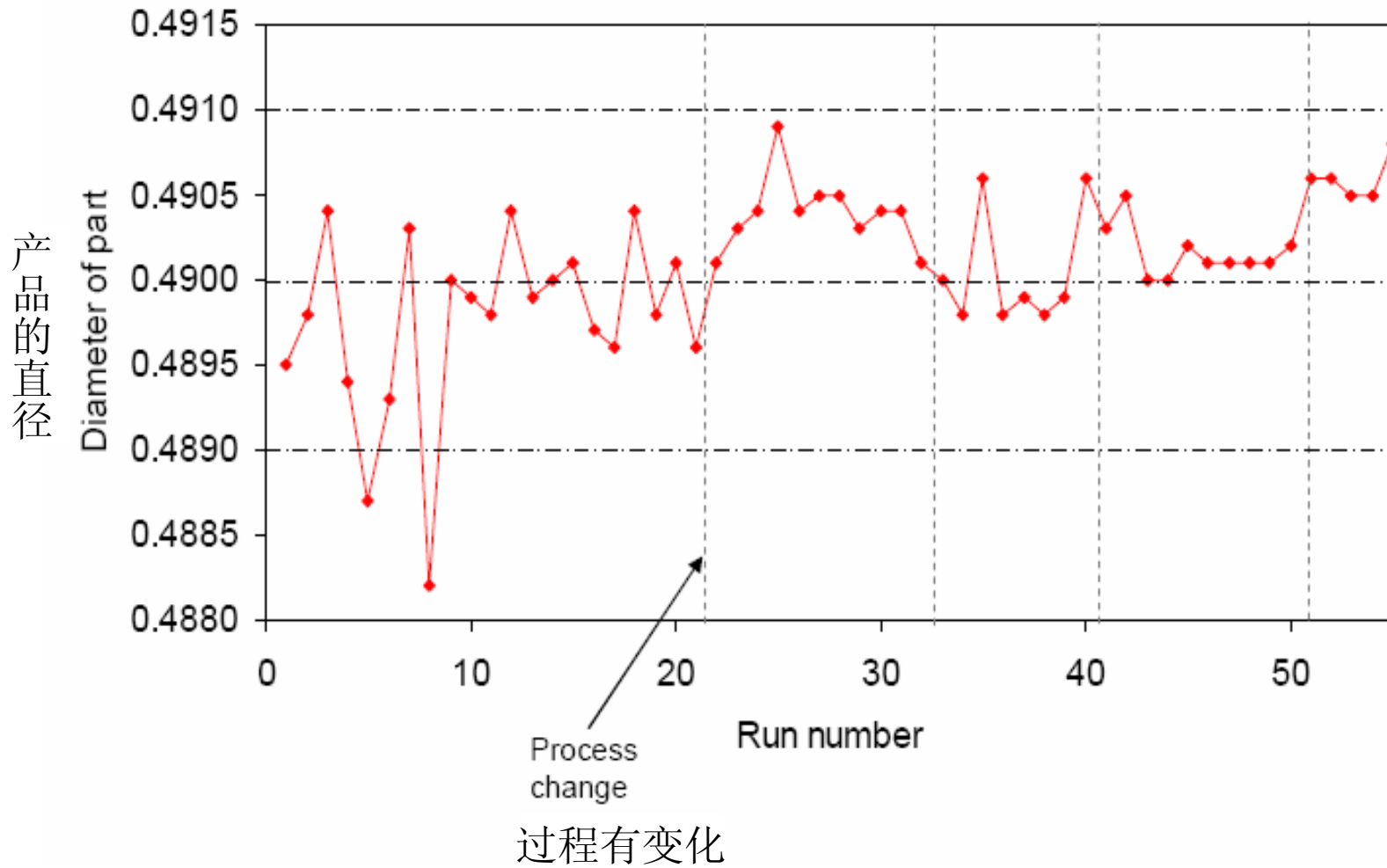
# 变异: 共同和特别起因(继续)

如果有特别起因, 流程的出品的分布图是不稳定的, 也是不可预测的:

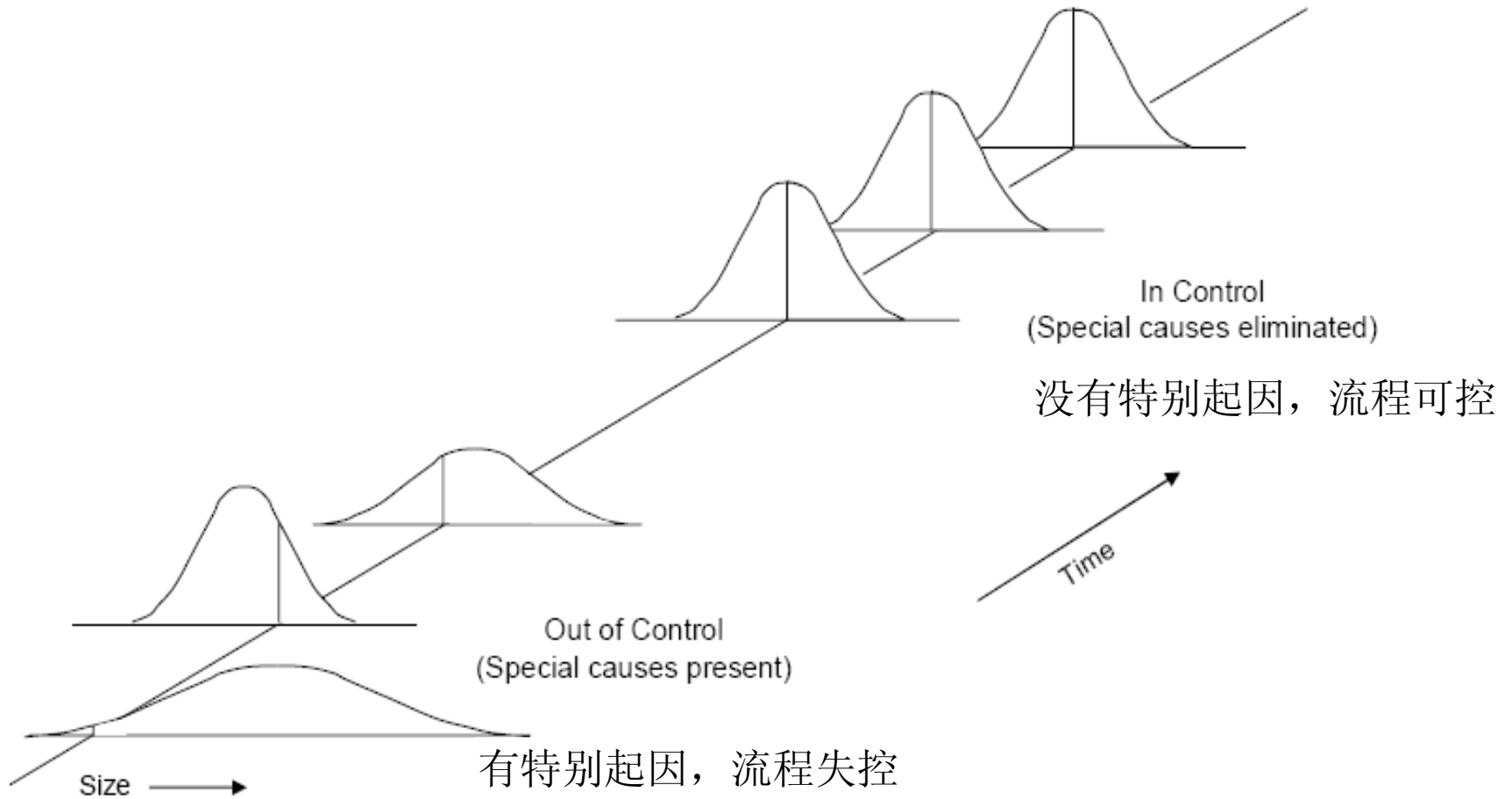


# 变异: 运行图

目标直径  
Specified diameter = 0.490" +/-0.001"



# 流程控制



# 统计流程控制的目地

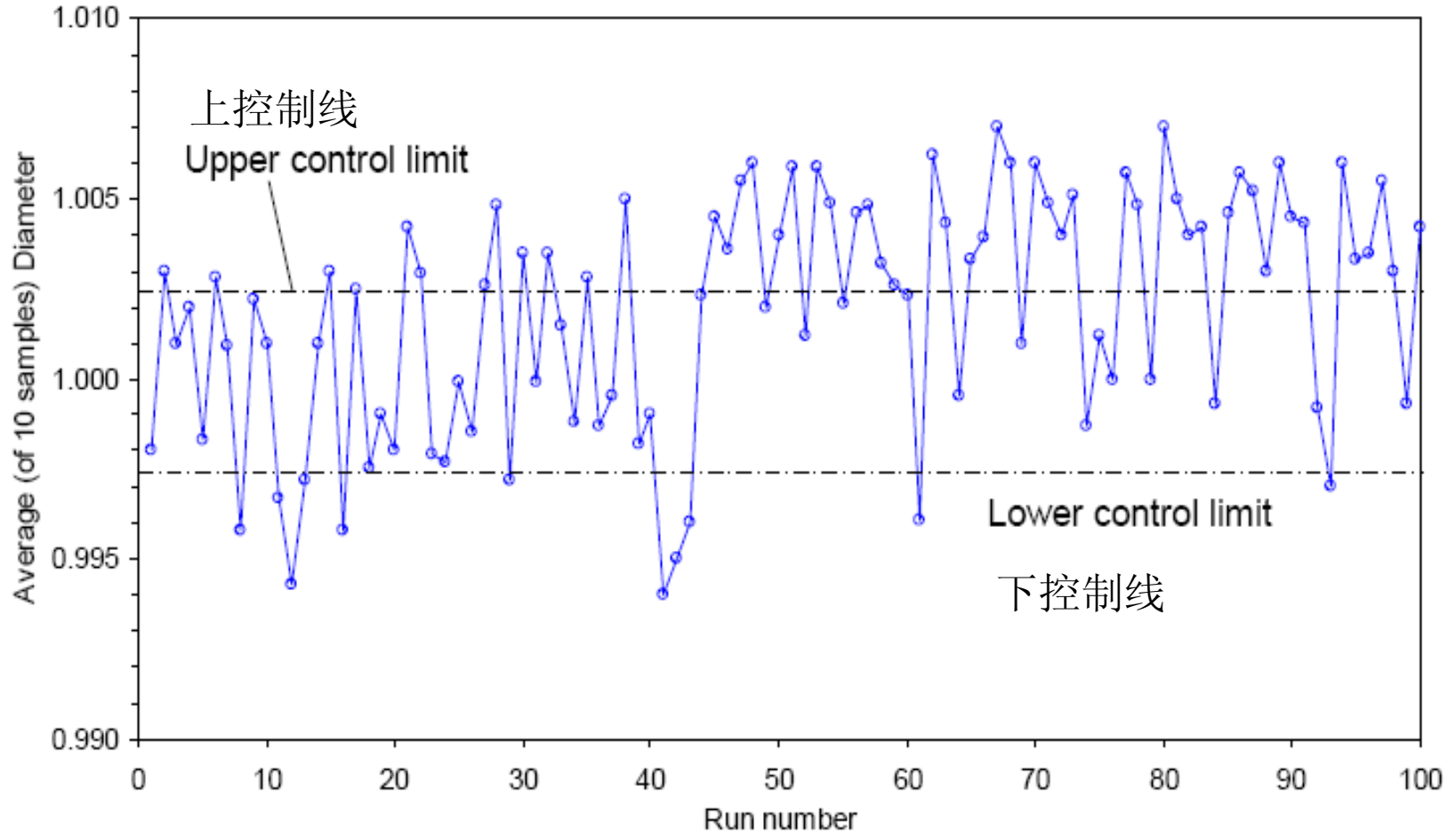
1. 查出干扰(特别起因)
2. 采取改正措施

# 中央极限定理

- 大量的独立事件有正太分布的连续的概率分布图
- 增加样品的数量会增加平均的估计的精确度。

# Shewhart 控制图

以100次取样，每次平均10件样品建立的控制图

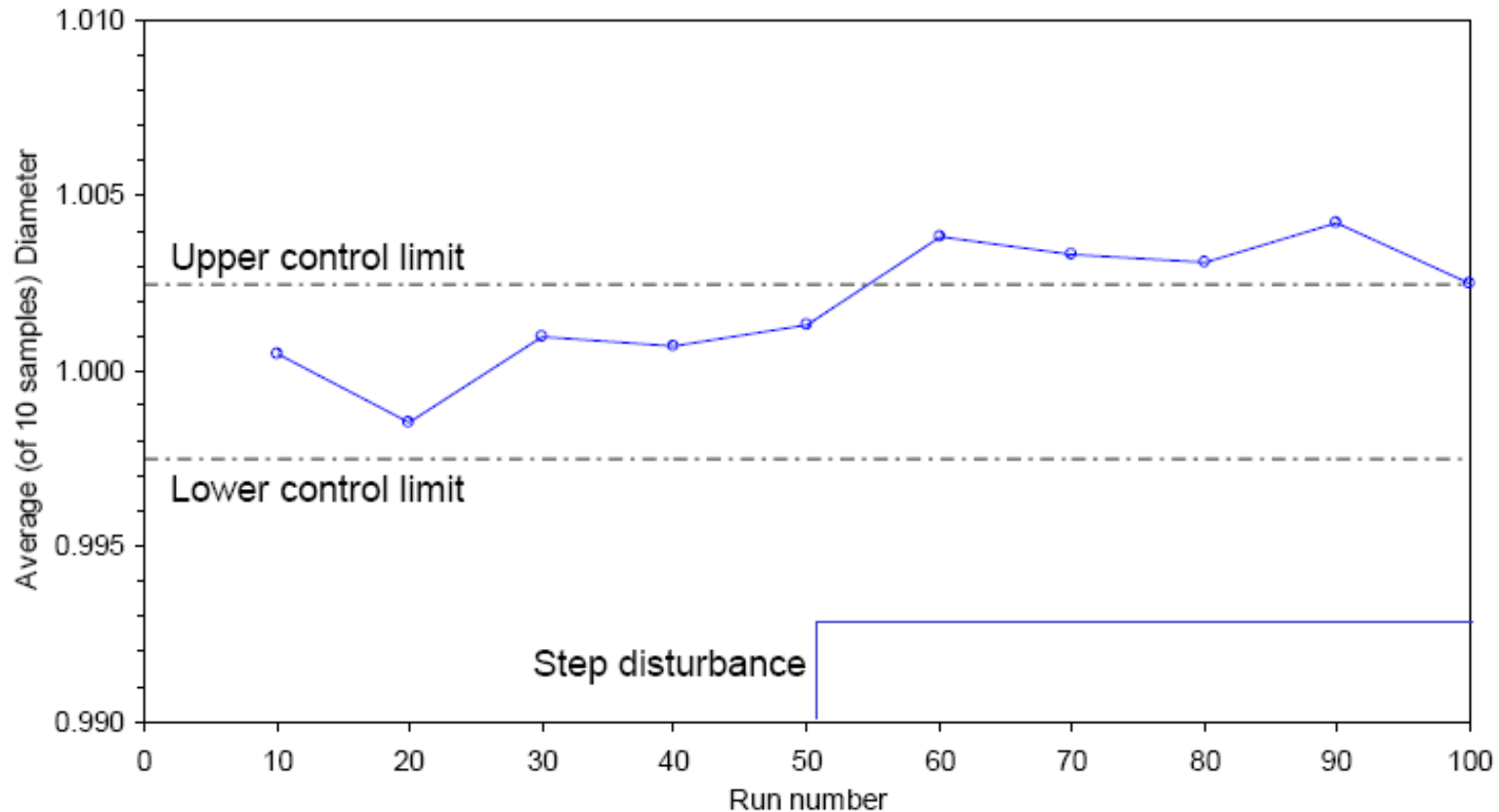


上限 (UCL), 下限 (LCL)

小群大小  $5 < n < 20$

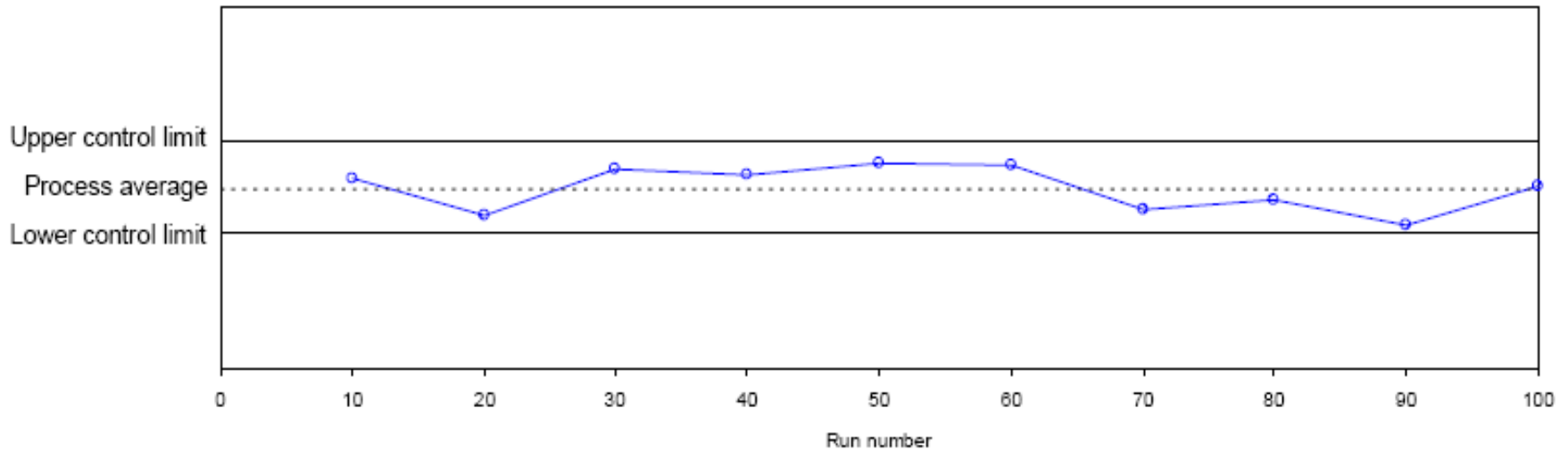
# Shewhart 控制图(继续)

以10次取样,每次平均10件样品建立的控制图, 在51步的时候变化





# 控制图



1. 收集数据:
  - 收据数据画在图上
2. 控制:
  - 计算流程的上下控制线
  - 找出流程失控的特殊原因并及时更正
3. 流程能力:
  - 找出流程失控的普通原因并在系统上进行更正.

重复以上步骤并不断提高

# 如何设立上下限

- 方法: 点在上下限之外的话, 某事出错, 起因也可以找出来。我们想要上下限以便可以分配突出出错的点。
- 控制图的上下限:
  - 上限 (UCL) =  $\bar{x} + 3 \sigma_{sg}$
  - 下限 (LCL) =  $\bar{x} - 3 \sigma_{sg}$

( $\sigma_{sg}$ 代表子集的标准偏差)

# 如何设立上下限(继续)

- 控制图的标准:

$$\sigma \text{ sub group} = \sigma \text{ sg} \neq \sigma \text{ process}$$

$$\sigma \text{ subgroup} = \sigma \text{ process} / \sqrt{n} \text{ process}$$

$$UCL = \bar{x} + 3 \sigma / \sqrt{n}$$

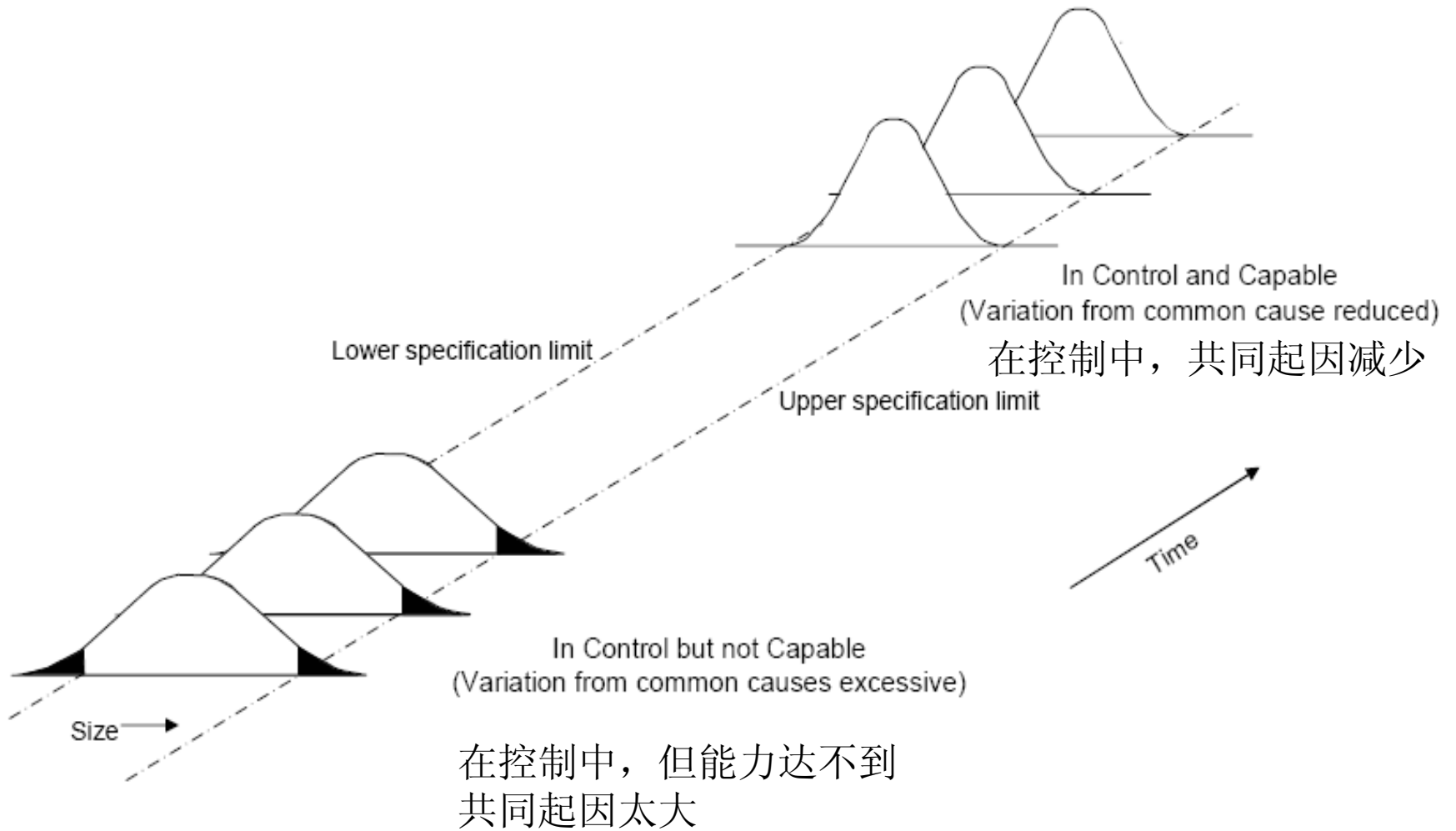
$$LCL = \bar{x} - 3 \sigma \text{ process} / \sqrt{n}$$

- n 增加的话, UCL and LCL 将更加靠近中间线, 使得控制区间变小.

# 控制图的好处

- 设计好的控制图可以：
  - 现场工人可以用来控制流程
  - 使得流程为质量和成本一致，可预测
- 使得流程：
  - 高质量
  - 低单件成本
  - 高的有效产量
- 提供流程控制的公认的工具
- 区别共同和特别起因，提供管理人员行动的依据

# 流程能力



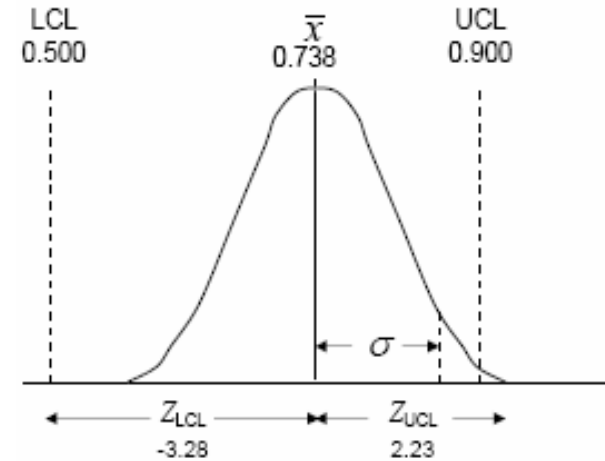
# 流程能力的系数

1.  $C_p = \text{Range}/6\sigma$

2.  $C_{pk}$

# 流程能力

- 举例:
  - 平均值 = .738
  - 标准偏差,  $\sigma = .0725$
  - 上限 = 0.900
  - 下限 = 0.500



- 规格的正常化:

$$Z_{UCL} = \frac{UCL - \bar{x}}{\sigma} = \frac{0.900 - 0.738}{0.0725} = 2.23$$

$$Z_{LCL} = \frac{LCL - \bar{x}}{\sigma} = \frac{0.500 - 0.738}{0.0725} = -3.28$$

$$Z_{MIN} = 2.23 \text{ (on an absolute basis)}$$

# 流程能力(继续)

- 使用正态分布图，在标准以外的部分应该为：
  - $P_{UCL} = 0.0129$
  - $P_{LCL} = 0.0005$
  - $P_{total} = 0.0134$
- 流程能力指数为：
  - $CPK = Z_{min}/3 = 2.23 / 3 = 0.74$



# 如何提高流程能力

- 改进过程的慢性表现, 集中解决影响所有区间的共同原因。这些通常要求管理层对系统进行改正。
- 改进后的流程需要在画流程控制图:
  - 不断地监控系统确保修改的有用性。