

Industrial Big Data

工业大数据

彭世喆

数字经济系

经济与管理学院

长沙理工大学



第1部分 导论



第1章 质量改进的哲学与基本概念

- 质量已成为重要的商业战略
- 质量改进带来的效益：提高生产率、增强市场渗透、提升盈利能力、获得竞争优势
- 质量改进的管理与实施要素



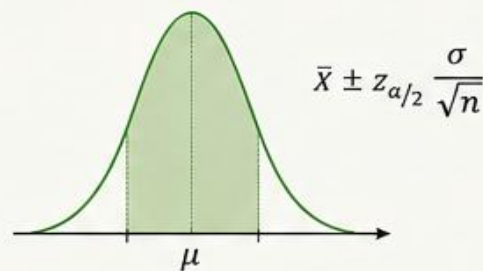
第2章 DMAIC 方法

- DMAIC：定义(Define)、测量(Measure)、分析(Analyze)、改进(Improve)、控制(Control)的框架
- 是六西格玛的核心工具，适用于各类质量改进项目

第2部分 统计方法基础



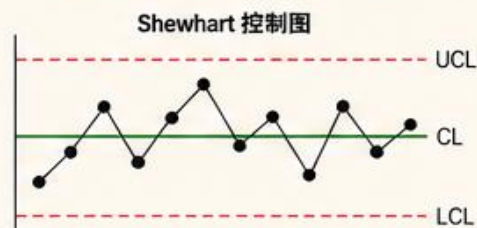
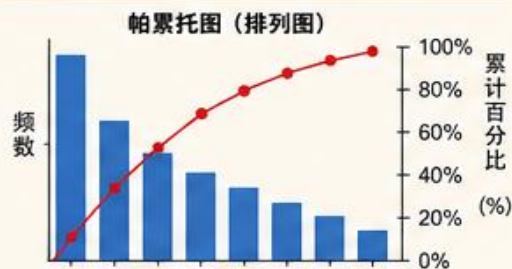
- 抽样与描述性统计
- 概率与概率分布的基本概念
- 参数的点估计与区间估计
- 统计假设检验
- 从质量工程视角理解统计方法（不同于传统统计教材）



第3部分 基本 SPC 方法与 过程能力分析



- 统计过程控制（SPC）基础方法
 - 帕累托图（排列图）
 - 因果图（鱼骨图）
 - 其他质量工具
- Shewhart 控制图（重点）
- 过程能力分析
- 过程稳定性与过程性能评估



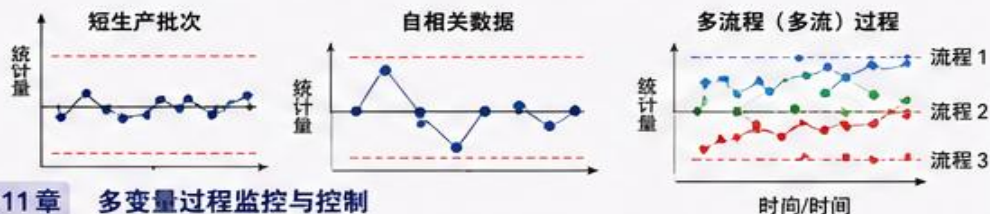
第4部分 高级 SPC 方法



第9章 累积和与指数加权移动平均控制图 (CUSUM, EWMA 控制图)

第10章 其他重要的单变量控制图

- 短生产批次、自相关数据、多流程（多流）过程等



第11章 多变量过程监控与控制

第12章 反馈调整技术

- 构成统计过程控制与改进的进阶内容，适用于高年级本科生或研究生

第5部分 实验设计与 过程改进

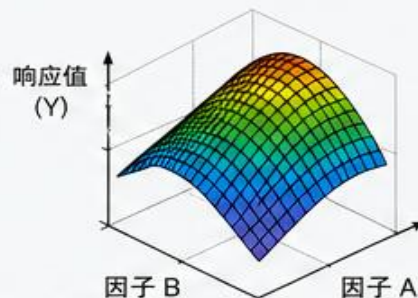


第13章 试验设计基础

- 因子设计与部分因子设计
- 重点：两水平设计，用于因子筛选与过程表征

第14章 响应面方法与过程改进应用

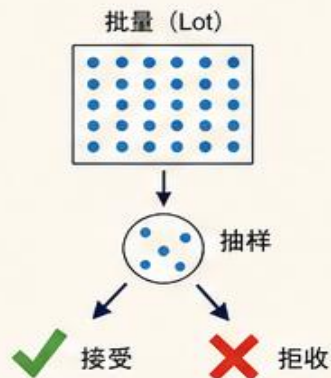
- 响应面设计与方法 (RSM)
- 演化操作 (EVOP) 用于过程监控
- 稳健性研究 (Robustness Study)
- 强调统计过程控制与实验设计在过程改进中的密切关系



第6部分 接收抽样

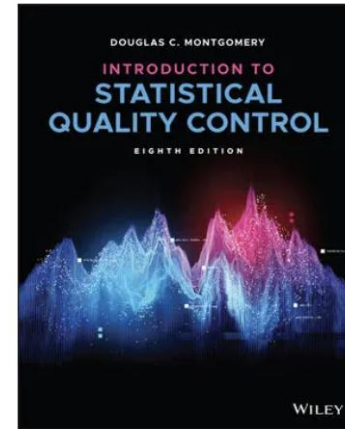


- 批次接收抽样（重点）
- 连续抽样、MIL-STD-1235C 的简介（第14章）
- 接收抽样计划的设计
- MIL-STD-105E、MIL-STD-414 及其民用对应标准 (ANSI/ASQC Z1.4、ANSI/ASQC Z1.9)
- 链式抽样 (Chain Sampling) 与跳批抽样 (Skip-Lot Sampling) 等技术



课程信息

- 教材
 - 质量管理学（李艳婷等，上海交通大学出版社）
 - Introduction to Statistical Quality Control（Douglas C. Montgomery，第8版）



- 成绩：点名回答问题、关于项目的期末展示（纸飞机设计实验）、项目名次（10%、40%、50%）

Project 1: Make and analyze a paper helicopter

(planned duration: 45 minutes)

This project will be assigned in week 2. Students will make the following paper helicopters.

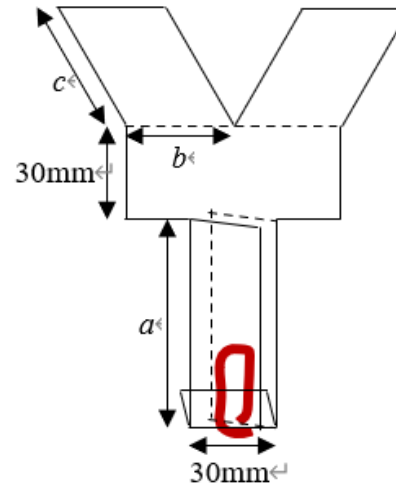


Figure 1: Paper helicopter for project 1

Each group will choose one factor at the four levels assigned, and the other two factors are fixed at the base level (highlighted by **RED** color). After your group finishes 12 paper helicopters (3 paper helicopters per design), please drop them from **a height of 2 meters**, and use a stop watch to measure the flight time. Please fill the following table once you get the data. **Please send your data in excel to the teaching assistant after class.**

Levels	Design factors			Run results		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)	D_1	D_2	D_3
1	a_1 (e.g., 60)	b_1 (e.g., 25)	c_1 (e.g., 50)			
2	a_2 (e.g., 70)	b_2 (e.g., 30)	c_2 (e.g., 60)			
3	a_3 (e.g., 80)	b_3 (e.g., 35)	c_3 (e.g., 70)			
4	a_4 (e.g., 90)	b_4 (e.g., 40)	c_4 (e.g., 80)			

Project 2: Improving the paper helicopter design through DOE

(planned duration: 45 minutes)

This project will be assigned in weeks 7 and 10. **In the first part of the project in week 7**, you design the paper helicopter with two-level full or partial factorial design. The factors that you can control are in Figure 2: factors a , b , c , d , e , and whether to use paper clip (1) or not (-1). Still, restrict your paper helicopter **within half of an A4 page**. Your objective is to improve your benchmark design in Project 1, using DOE techniques.

←

←

←

←

←

←

←

←

←

←

←

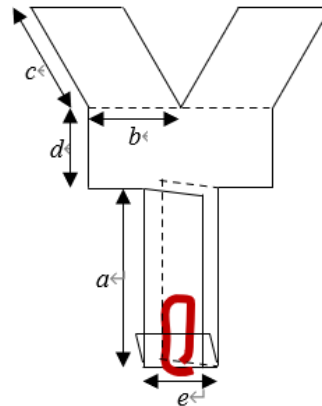


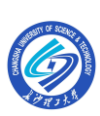
Figure 2: Paper helicopter for project 2

Each of factors a , b , c , d , e will have two levels: low (-1) and high (+1). The low and high will be defined by your group. If you use paper clip, this factor is +1, and if not, this is -1. You will run **at most two replicates** for each paper helicopter. (Please send your design and response (flight time) data in excel to the teaching assistant after class.) Then, your group will use Minitab to analyze your results and try to identify important factors from all the factors considered, under the supervision and help of the instructors.

In the second part of project 2 on week 10, your group will find the steepest ascent direction from the important factors identified from the first part of the project, and adjust your design based on the steepest ascent direction until you cannot improve your flight time. Then, conduct new full/partial factorial design at the new point.

After you finalize your design, please report how much improvement from your benchmark, and present your results to the class. **We may have a final tournament in the last week, and the winning group(s) may get up to 3 points extra credits.**

←

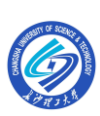


第一部分：引言

第一章： 现代商业环境中的质量改进

大纲

- 质量与质量改进
- 质量的不同维度
- 现代质量改进方法的演变
- 质量管理哲学
- 全面质量管理、（精益）六西格玛
- 质量与生产率、成本之间的联系
- 质量规划、质量保证以及质量控制与改进



99% 或 99.9% 的质量够好吗？

- 想象顾客点了一份套餐：一个汉堡（面包、肉饼、酱料、奶酪、酸黄瓜、洋葱、生菜和番茄）、薯条和一杯饮料
- 这个产品包含十个成分，99%或99.9%的优质率够好吗？
- 如果我们假设所有十个成分是独立的，那么一次用餐体验是好的概率是

$$P\{\text{Single meal good}\} = (0.99)^{10} = 0.9044$$

Family of four, once a month:

$$P\{\text{All meals good}\} = (0.9044)^4 = 0.6690$$

$$P\{\text{All visits during the year good}\} = (0.6690)^{12} = 0.0080$$

$$P\{\text{single meal good}\} = (0.999)^{10} = 0.9900,$$

$$P\{\text{Monthly visit good}\} = (0.99)^4 = 0.9607$$

$$P\{\text{All visits in the year good}\} = (0.9607)^{12} = 0.6186$$



99.9% 的质量仍显不足

- 国税局每年会丢失两百万份文件
- 每天有 22000 张支票从错误的银行账户中扣除
- 每天有 1314 个电话被转接到错误的线路
- 每天有 12 个婴儿被错交给父母
- 机场每天有两次飞机降落不安全
- 航天飞机每次发射都会爆炸

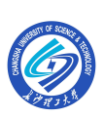
改进和提高质量已成为许多组织的重要商业战略：制造业、分销业、运输公司、金融服务组织、医疗保健提供者和政府机构



质量的维度

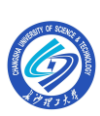
- 性能（产品能否完成预期任务？）
- 可靠性（产品故障频率如何？）
- 耐用性（产品使用寿命有多长？）
- 可维修性（产品修理的便捷程度如何？）
- 美学（产品外观如何？）
- 附加特性（产品能做什么？）
- 感知质量（公司或其产品的声誉如何？回头客生意）
- 符合标准（产品是否完全按照设计师的意图制造？）
- 响应性、专业性、关注度（消费者受到关注）

管理层必须进行此类关于质量的战略性思考。产品不必在所有质量维度上都是卓越的，但管理层必须选择并发展公司能够成功竞争的质量商机



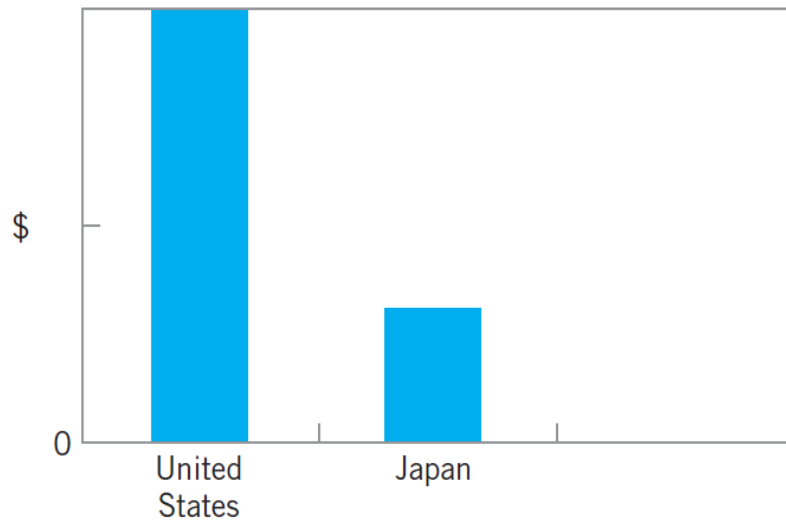
质量的定义

- 传统定义：质量意味着适用性（质量即客户满意度）（约瑟夫·M·朱兰）
 - 设计质量（设计上的差异，如汽车）
 - 符合性质量（产品制造符合设计的程度）
 - 质量是仅在制造环节就能解决的问题（×）
- 现代定义：质量与变异性（**variability**）成反比
 - 没有两件产品是完全相同的
 - 变异性只能用统计术语来描述
 - 由于存在变数，任何生产都无法完全符合设计规范
 - 所以，从本质上讲，质量与变数成反比
 - 过于强调操作层面，而在设计和工程层面投入过少

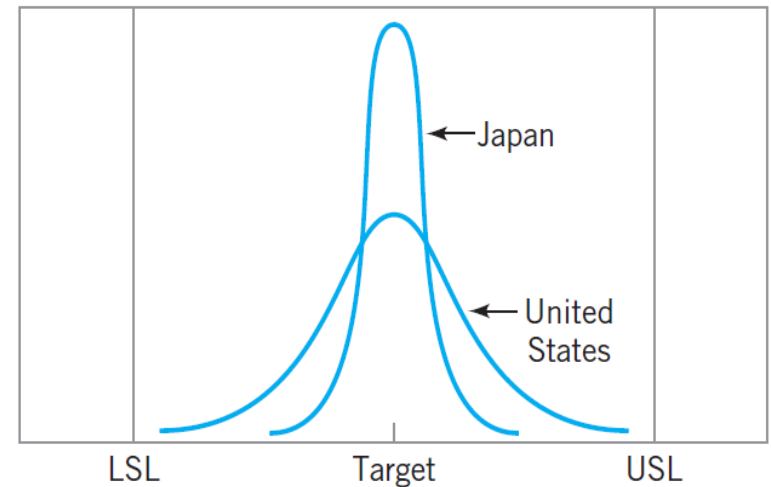


变速箱质保成本例子

- $USL - LSL = \text{规格宽度}$



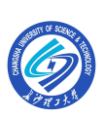
■ **FIGURE 1.1** Warranty costs for transmissions.



■ **FIGURE 1.2** Distributions of critical dimensions for transmissions.

质量改进的现代定义

- 质量改进就是减少流程和产品中的变异性
- 系统且有效地运用本课程所述的统计方法
- 质量改进就是减少浪费。这个定义在服务业中尤为有效，因为在那里可能没有那么多可以直接测量的项目



质量术语

- 质量特征或关键质量特征（critical-to-quality, CTQ）
 - 物理方面、感官方面、时间导向方面
- 规格
 - 是对组成产品的零部件和子组件所需质量特性的测量值，以及对最终产品中质量特性期望值的要求
 - 在服务业中，规格通常是处理订单或提供特定服务的最大时间
 - 目标值、规格上限（upper specification limit, USL），规格下限（LSL）
 - 有些质量特性仅在一侧有规格限
- 不合格产品（nonconforming）
 - 指那些未能满足一项或多项规格要求的产品。不合格产品未必不适合使用
- 有缺陷产品（defective）
 - 存在一个或多个缺陷，这些缺陷属于严重程度足以显著影响产品安全或有效使用的不合格项。



质量控制与改进简史

- 弗雷德里克·W·泰勒在1900年之前大规模生产工业开始发展之际，引入了科学管理的一些原则，
- 沃尔特·休哈特（1924 年）引入了统计控制图
- 1920年代末，哈罗德·F·道奇和哈里·G·罗米格开发了基于统计学的验收抽样方法，作为全检的替代方案
- 20 世纪 50 年代和 60 年代：可靠性工程、实验设计和统计质量控制方面有了显著发展（美国载人航天计划）
- 用于质量改进的统计方法在 20 世纪 80 年代在美国得到广泛应用（美国汽车工业几乎被外国竞争摧毁）
- 全面质量管理（TQM）在 20 世纪 70 年代至 80 年代兴起，成为实施统计方法的重要管理工具

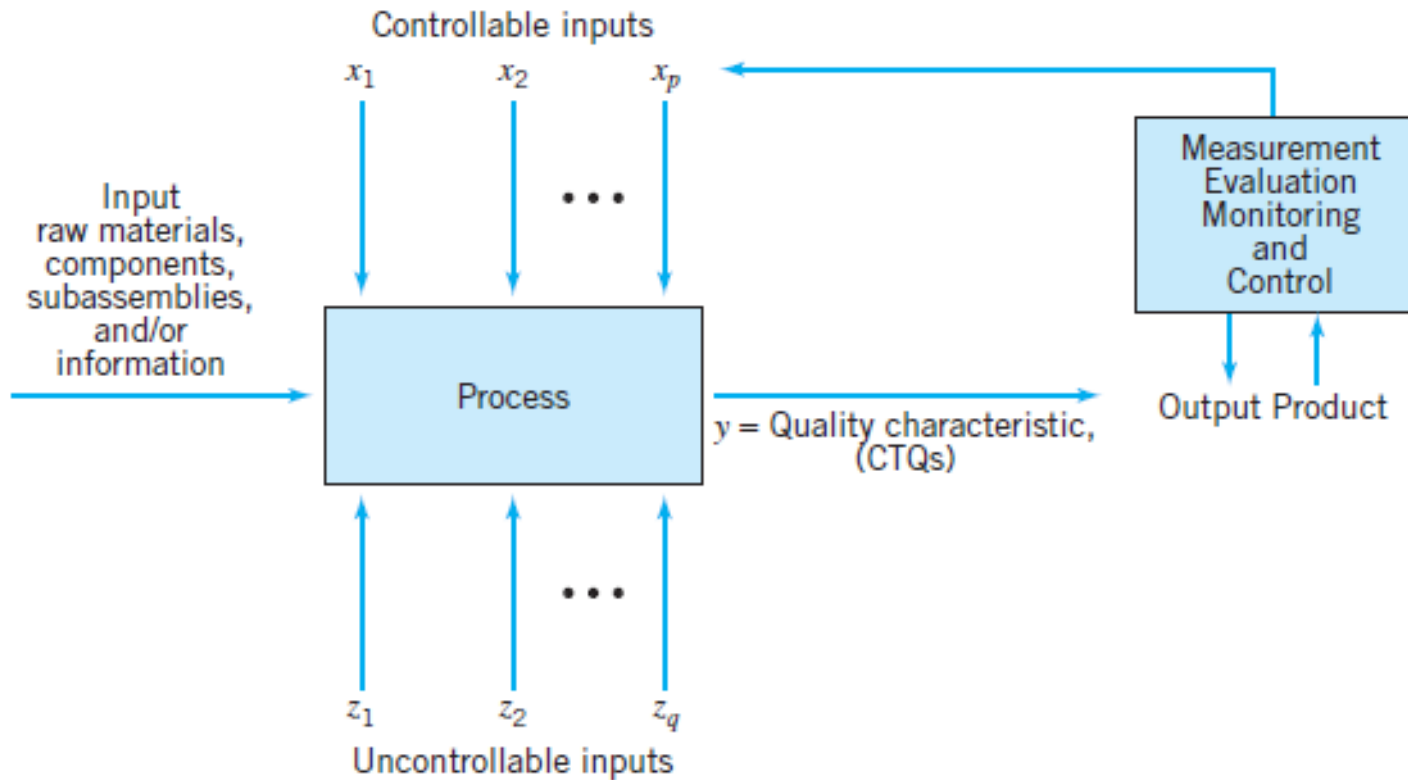


质量控制与改进简史

- 20 世纪 90 年代，美国工业中的 ISO 9000 认证活动有所增加
- 1987年，摩托罗拉的六西格玛计划启动
- 1995年，许多本科工程课程要求学生学习统计技术方面的正式课程，重点关注过程表征和改进的基本方法
- 2000s，质量改进活动超越传统的工业环境，扩展到许多其他领域，包括金融服务、医疗保健、保险和公用事业。在随后的几年里，该标准在范围上得到更新和扩大。各组织开始将精益原则整合到其六西格玛计划中，精益六西格玛成为一种广泛应用的业务改进方法



质量控制和改进的统计方法

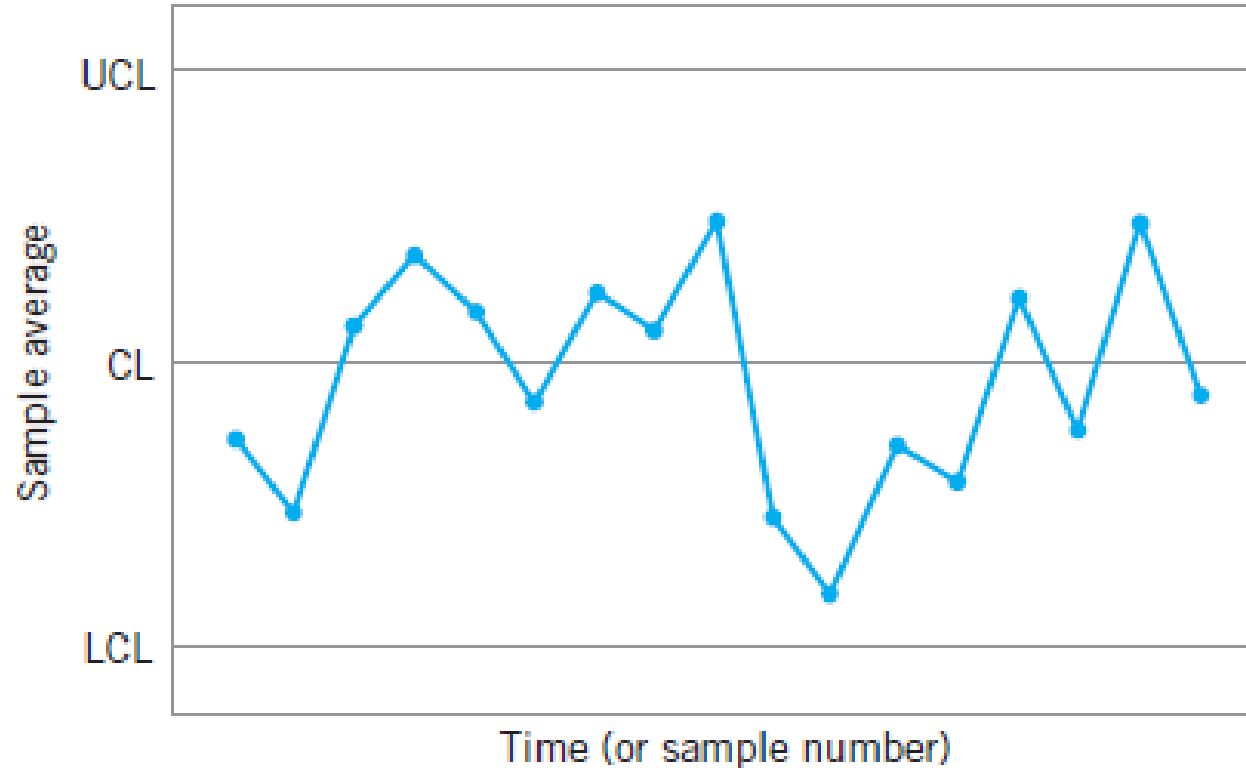


- 统计过程控制、实验设计、验收抽样

统计过程控制

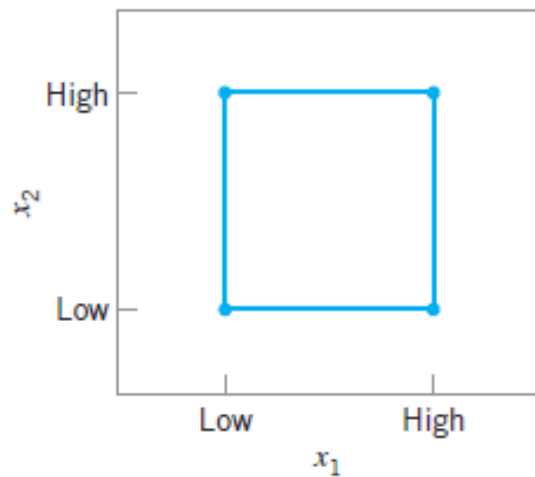
- 主要技术：控制图

- 当存在异常变异源时，样本平均值将落在控制限之外。这是一个信号，表明应对过程进行调查，并采取纠正措施以消除这些异常变异源

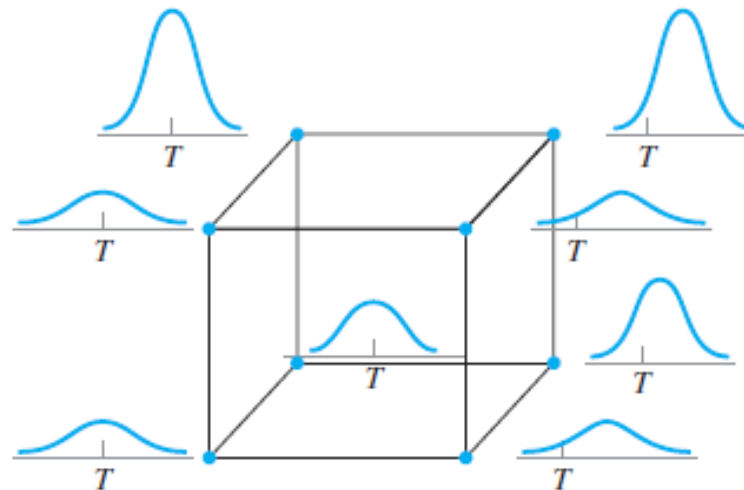


实验设计

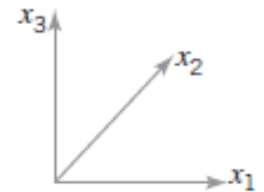
- 主要技术：因子设计（factorial design）
 - 一种系统性地变化过程中的可控输入因子（关键变量），并确定这些因子对输出产品参数影响的方法
 - 左图：四种可能组合
 - 右图：八种可能组合（顶点上分布是每种组合下的质量特征分布）



(a) Two factors, x_1 and x_2

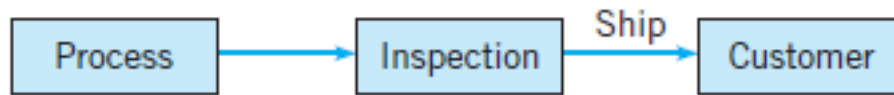


(b) Three factors, x_1 , x_2 , and x_3

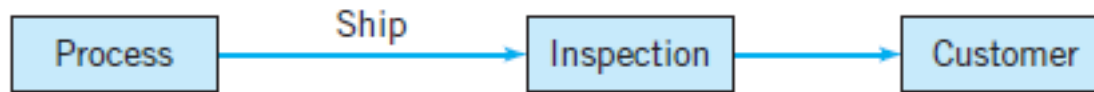


验收抽样

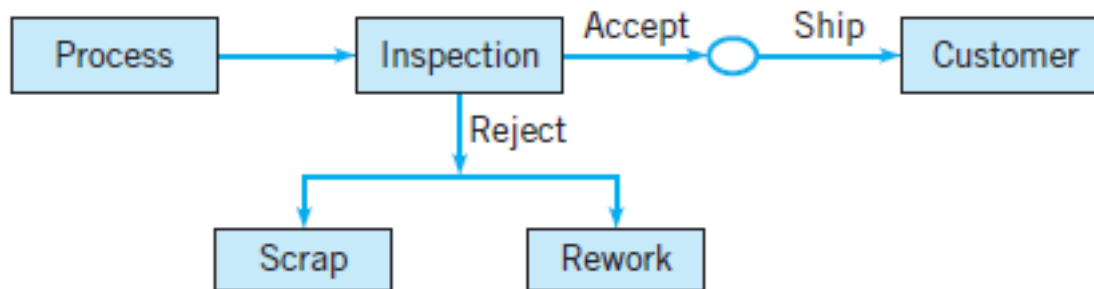
- 对从一个较大批次或批量中随机选择的样本单元进行检验和分类，并最终对批次的处置做出决定
- 它通常发生在两个节点：进厂原材料或组件，或者最终成品
- 出厂检验、进货检验、修正检验（返工或用合格品替换）



(a) Outgoing inspection



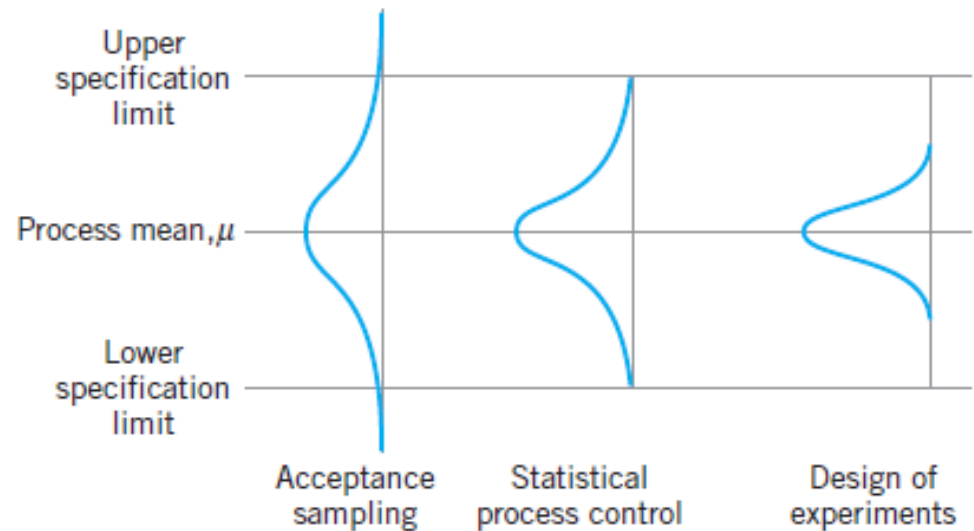
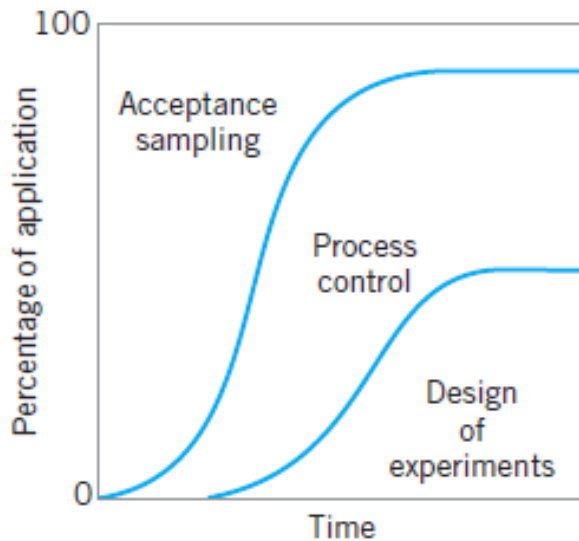
(b) Receiving/incoming inspection



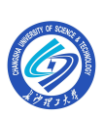
(c) Disposition of lots



现代质量保证体系



现代质量保证体系通常降低了对验收抽样的重视程度，并努力将统计过程控制和析因设计作为工作重点。验收抽样倾向于强化符合规范的质量观，并且对生产过程或工程设计开发没有任何必然能导致质量改进的反馈作用。



质量先驱者及其思想哲学：戴明

- 长期从事政府统计工作
- 二战期间，他与美国国防承包商合作，运用统计方法
- 二战后前往日本，担任日本产业顾问
- 认为质量责任主要在于管理层，而非工人
- 戴明强调“持续不断、永无止境的改进”
 - 戴明循环
 - 14 条管理原则
 - 统计过程控制的倡导者
 - 重视持续改进
 - PDCA 循环
 - 绩效评估、评级和年度考核
 - 过时的学校，尤其是商学院，其毕业生并未被教会如何成功经营企业



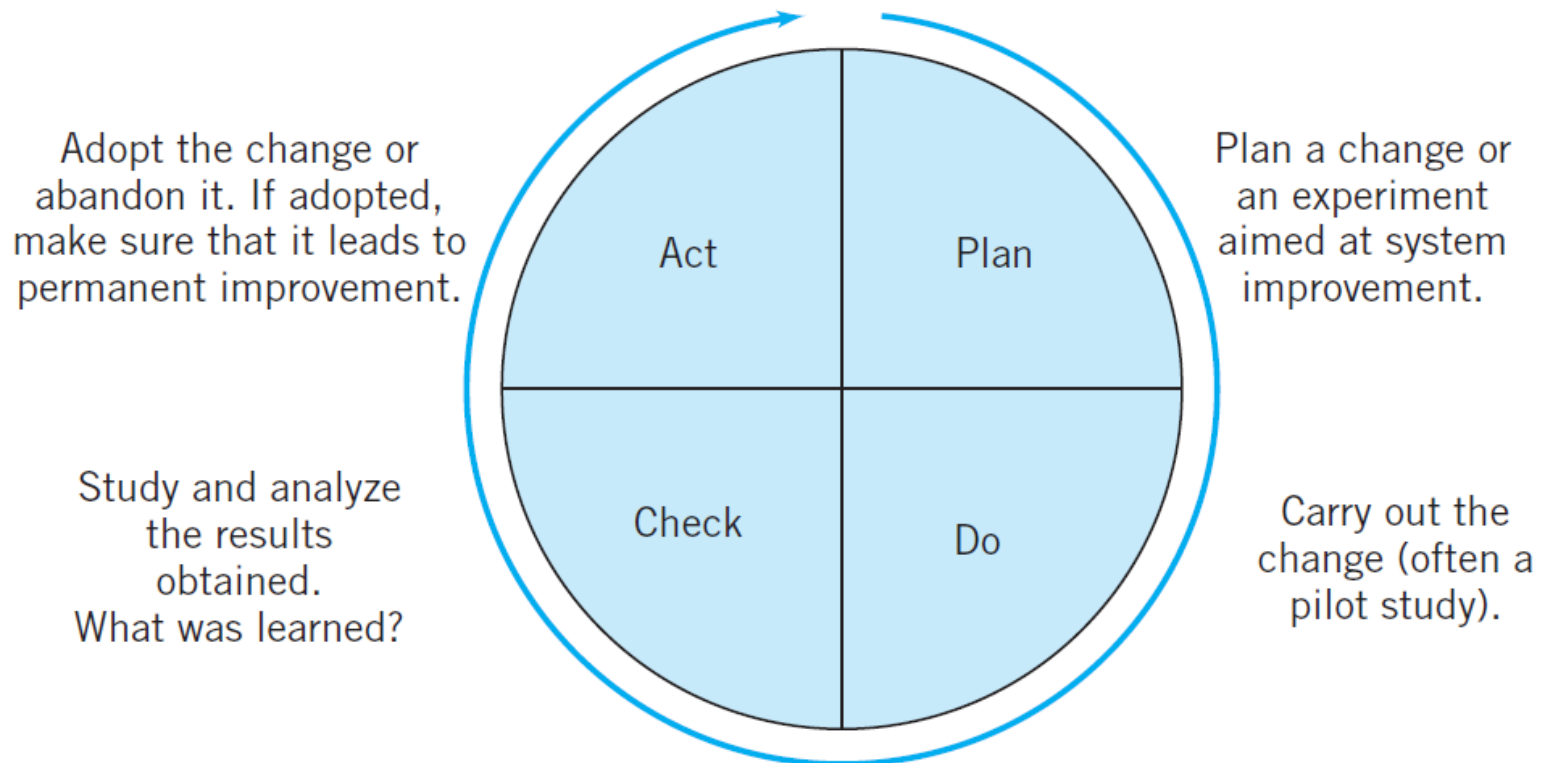
质量先驱者及其思想哲学：戴明

- 14 条管理原则

- 建立始终如一的目标，聚焦于产品与服务的改进。
- 采纳新理念，认识到我们正处于一个不同的经济时代
- 不要依赖大规模检验来“控制”质量（太迟了）
- 不要仅凭价格把业务交给供应商，还要考虑质量。
- 关注持续改进，利用统计方法
- 实践现代培训方法，并投资于所有员工的在职培训
- 改进领导力，并实践现代监督方法，首要目标应该是改进工作体系和产品
- 消除恐惧
- 打破企业各职能部门之间的壁垒。
- 废除为目标设定的口号、标语和数字指标，计划更重要。
- 废除数字配额和工作标准
- 移除阻碍员工完成自己工作的障碍（倾听员工的心声）
- 为所有员工制定一个持续的教育计划
- 在高层管理人员中创建一个结构，积极倡导前13个要点

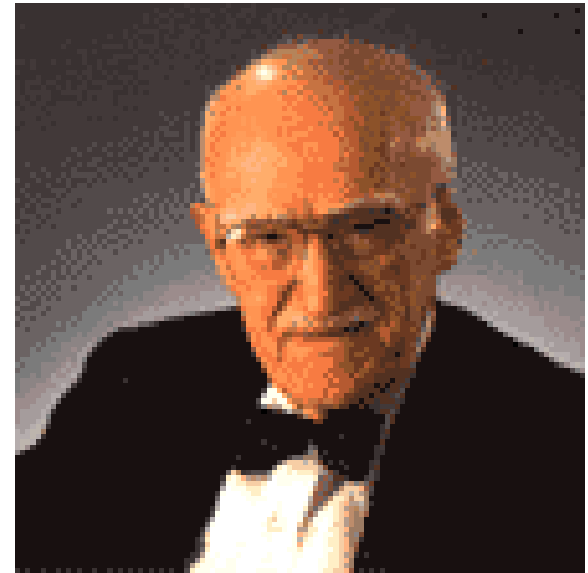
质量先驱者及其思想哲学：戴明

- PDCA环（计划、执行、检查（研究）、处理）
- 这个过程几乎总是迭代的，并且解决复杂问题可能需要多个循环



质量先驱者及其思想哲学：朱兰

- 曾在贝尔实验室为休哈特工作
- 受休哈特影响强调管理
- 相较于戴明，更注重质量的战略规划
- 《朱兰质量三部曲》
 - 计划：识别需求、设计产品或服务，开发生产流程，定期改进质量
 - 控制：由运营部门确保产品或服务符合要求
 - 改进：达到更高的绩效和质量水平
- 改进可以是持续的，也可以是突破性的
- 《质量控制手册》
- 享年 104 岁

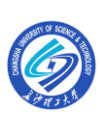


全面质量管理（TQM）

- 是一项在全组织范围内实施和管理质量改进活动的策略
 - 始于 20 世纪 80 年代初
 - 以戴明/朱兰的哲学为核心，逐步演变为一个涵盖更广泛概念和理念的体系，包括参与式组织与工作文化、关注客户、供应商质量改进、将质量体系与业务目标整合，以及许多其他旨在将所有组织要素聚焦于质量改进目标的活动
- 全面质量管理在很大程度上是不成功的
 - 缺乏自上而下、高层的管理承诺和参与，**培训交由人力资源部门负责**
 - **只培训质量改进哲学及基本方法**，未能充分使用统计方法，且未充分认识到减少变异性是首要目标
 - 目标笼统，而非具体且面向实际业务成果
 - 过分强调广泛的培训，而不侧重于专业的技术教育

ISO: 质量体系与标准

- 国际标准化组织（1946 年成立于瑞士日内瓦），简称 ISO
- 1987 年发布了第一批标准，现行版本被称为 ISO 9000 系列，常用于证明供应商控制其流程的能力
- ISO 9000 的三个标准是：
 - ISO 9000:2005 质量管理体系——基础和术语
 - ISO 9001:2008 质量管理体系——要求
 - ISO 9004:2009 质量管理体系——业绩改进指南

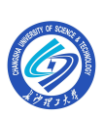


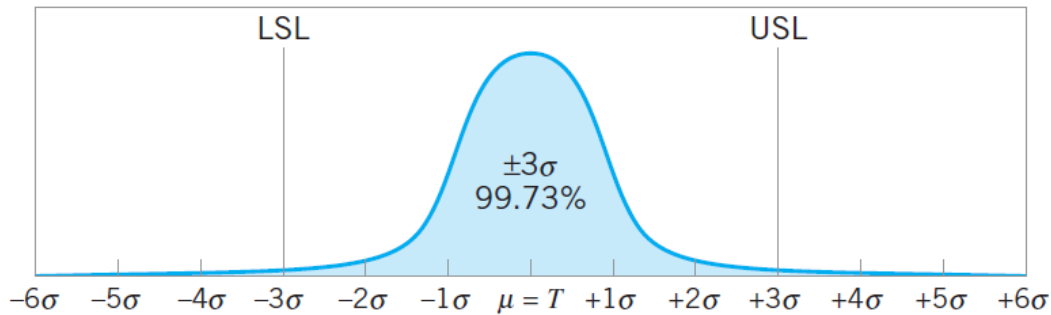
ISO: 质量体系与标准

- ISO 认证流程主要强调质量体系的正式文件，而在实际减少变异、改进过程和产品上投入却远远不够
- 许多组织已要求其供应商通过ISO 9000或更针对特定行业的某种标准认证。有证据表明，ISO认证或其他行业特定标准的认证，对于防止设计、制造并向客户交付劣质产品几乎起不到作用
- ISO 认证活动每年的营业额约为 400 亿美元，而大部分收益都流向了注册机构、审核员和顾问手中，他们主要关注的是文件和文书工作（通常只具备最基本的随机质量控制技术）
- 这在很大程度上是徒劳之举。就像全面质量管理一样，ISO 认证也仅仅是“又一个项目”而已

六西格玛

- 该方法起源于 1987 年的摩托罗拉公司，20 世纪 90 年代以来其影响不断扩大（因其对通用电气的成功推广而广为人知）
- 动机：包含许多组件的产品通常存在许多故障或缺陷发生的机会
- 摩托罗拉六西格玛概念旨在降低过程变异，使得规格限至少位于均值六个标准差的距离
- 一种旨在通过关注对客户至关重要的输出以及为组织带来明确财务回报的方面，来查找并消除制造和服务流程中的缺陷与错误原因的业务改进方法
- 重点是将关键产品质量特性的变异性降低到故障或缺陷极不可能发生的水平





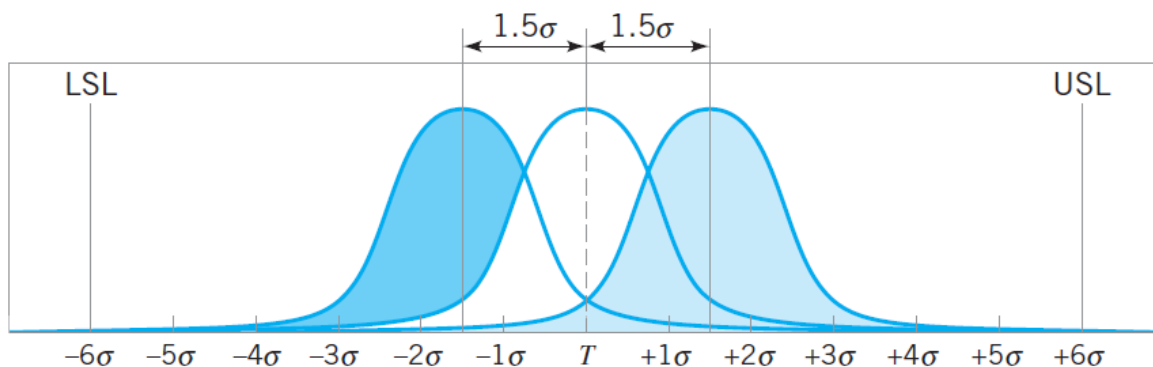
Spec. Limit	Percentage Inside Specs	ppm Defective
±1 Sigma	68.27	317300
±2 Sigma	95.45	45500
<u>±3 Sigma</u>	<u>99.73</u>	<u>2700</u>
±4 Sigma	99.9937	63
±5 Sigma	99.999943	0.57
±6 Sigma	99.9999998	0.002

(a) Normal distribution centered at the target (T)

三西格玛标准：
2700ppm 的故障率（即
每百万件个中有 2700 个
不合格品）。

$$\Phi(3) - \Phi(-3) = 99.73$$

$$[1 - (\Phi(3) - \Phi(-3))] * 10^6 = 2700$$



Spec. Limit	Percentage inside specs	ppm Defective
±1 Sigma	30.23	697700
±2 Sigma	69.13	608700
±3 Sigma	93.32	66810
±4 Sigma	99.3790	6210
±5 Sigma	99.97670	233
±6 Sigma	99.999660	3.4

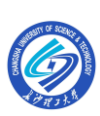
(b) Normal distribution with the mean shifted by $\pm 1.5\sigma$ from the target

- 当六西格玛概念最初被提出时，假设是当过程达到六西格玛质量水平时，过程均值仍会受到扰动，可能偏移目标值多达1.5个标准差
- 在此情景下，一个六西格玛过程会产生约3.4 ppm的缺陷率（目标）
- 参与六西格玛活动的公司会利用经过专门培训的个人，称为绿带、黑带和黑带大师，来领导专注于对组织既有质量又有业务（经济）影响的项目团队

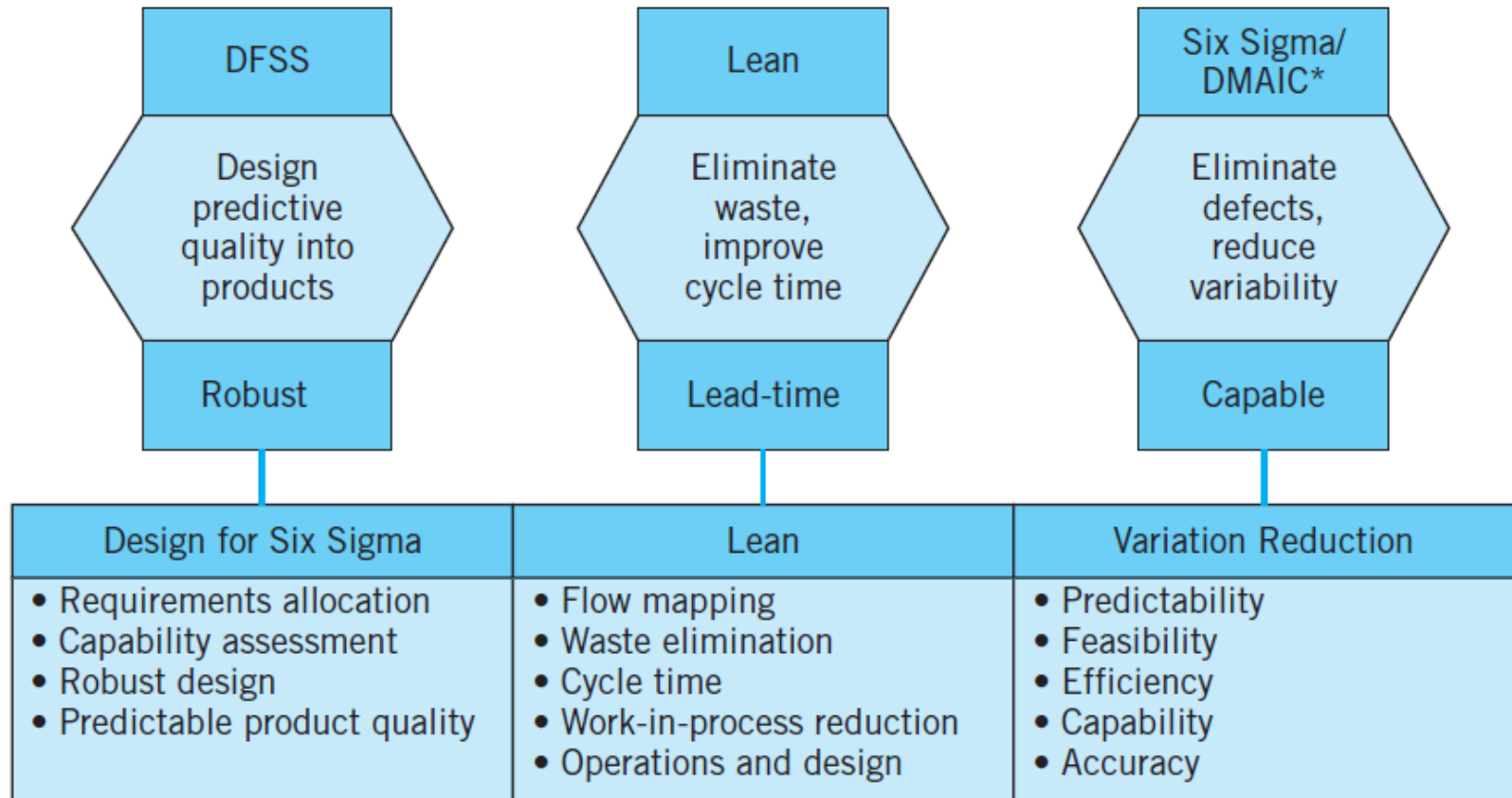
考虑向右偏移： $[1 - (\Phi(7.5) - \Phi(-4.5))] * 10^6 = 3.4$

精益原则

- 精益原则旨在消除浪费并减少过长的不必要周期时间
- 传统上，有七种类型的浪费
 - 不必要的运输
 - 库存（在制品或成品）
 - 动作（物料移动）
 - 等待
 - 过量生产
 - 过度加工
 - 缺陷



**The process improvement triad: DFSS, lean,
and Six Sigma/DMAIC
Overall Programs**



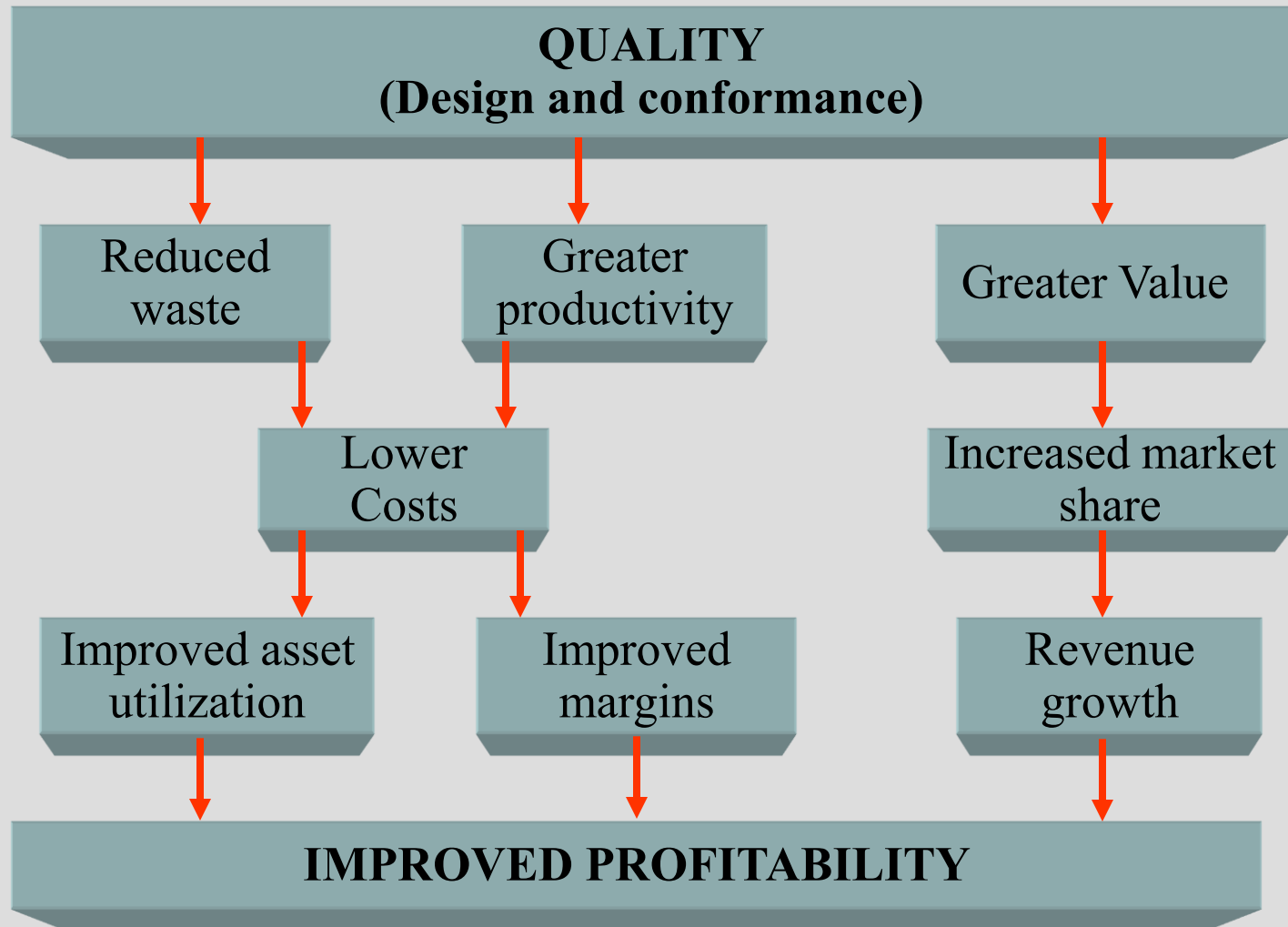
*

The "I" in DMAIC may become DFSS.

质量与生产率之间的联系

- 一台机器每天生产 100 个零件，每个零件的成本为 20 美元：25% 的零件不合格，其中 60% 可以以每个 4 美元的成本重新加工成合格品
- 总成本： $100 \times 20 + 25 \times 0.6 \times 4 = 2060$ 美元，合格率为 $75 + 25 \times 0.6 = 90$ 。因此，单位成本为 $2060/90 = 22.89$ 美元
- 经过质量控制，将 25% 的不合格率降低到 5% 新的总成本为 $100 \times 20 + 5 \times 0.6 \times 4 = 2012$ 美元，合格率为 $95 + 5 \times 0.6 = 98$ 。因此，单位成本为 $2012/98 = 20.53$ 美元。所以，在提高质量的同时，我们使生产率提高了 $(98 - 90) / 90 \approx 10\%$ ，成本降低了 $(22.89 - 20.53) / 22.89 \approx 10\%$

质量如何促进盈利能力



供应链质量管理

- 三大主要活动：供应商资格认证、供应商发展（公司为改善供应商绩效所开展的活动）、供应商审核
- 外包原则
 - 供应商参与产品设计
 - 供应商保证高品质（合格率高）
 - 运营部门必须管控风险（例如，处理有缺陷的玩具）
 - 供应商应获得认证（例如，ISO 9000标准）
 - 不要仅仅依赖价格和产品样本

基于质量、进度和成本，而非仅基于成本来选择供应商，也是一项至关重要的战略管理决策，会对整体竞争力产生长期显著影响



质量成本

预防成本	内部故障成本（故障在交付之前）
Quality planning and engineering	Scrap
New products review	Rework
Product/process design	Retest
Process control	Failure analysis
Burn-in（老化测试）	Downtime
Training	Yield losses
	Downgrading (降价出售)
鉴定成本（确保符合标准）	外部故障成本
Inspection and test of incoming material	Complaint adjustment
Product inspection and test	Returned product/material
Materials and services consumed	Warranty charges
Maintaining accuracy of test equipment	Liability costs（诉讼相关）
	Indirect costs（声誉、市场损失）

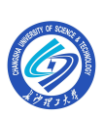
- 质量成本是指与生产、识别、避免或修复不符合要求的产品相关的成本类别



质量成本



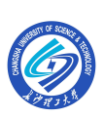
- 虽然质量改进能够提高生产率并降低制造成本，但其本身在实施过程中也有直接成本
- 质量成本（避免不良质量的成本，或因不良质量而产生的成本）为识别改进机会和评估改进计划的成功提供了依据
- 评估成本通常是预算项目，而预防成本则不是。我们需要有系统思维，即在不同成本之间进行权衡
- 许多组织在鉴定方面投入过多，而在预防方面投入不足。这是一个组织很容易犯的错误。因为花在预防上的资金比花在鉴定上的资金回报率要高得多。这一比例必须提高到约占收入的5%到6%，而这些增加的预防资金必须主要用于质量改进的技术方法，而不是用于建立如全面质量管理、零缺陷或其他类似活动等方案
- 因此，最佳策略总是平衡的：追求零变异性流程并非良策。



质量改进计划失败的原因

- 关注短期财务成果
- “归咎于员工”现象
- 对质量优劣权衡的信念（不相信“质量是免费的”）
- 管理层对团队合作的干预
- 统计方法教学的贫乏
- 依赖检验
- 还有一些原因：
 - 高层管理者的不支持、对变革的抵制、内部政治斗争与竞争、认为质量只是最新的流行词汇、培训不足、高层管理人员的流动性、缺乏目标一致性、仅凭可见数字经营公司，执着于数据的完美、原型测试不足

质量职能部门并不对质量负责。毕竟，质量部门并不设计、制造、分销或服务产品。因此，质量的责任遍布于整个组织



总结

- 可变性及统计方法是质量控制的核心
- 质量控制是一个自上而下的过程，每个组织单位都必须积极参与（项目一项一项地进行）
- 在降低成本和质量控制方面要采用系统性的思维方式

