

《六西格玛管理》知识要点

孙肃清整理

序言：为帮助大家学习和掌握六西格玛管理知识，加深对六西格玛管理知识的认识，从容应对考试。以红书《六西格玛管理》为基础，适当参照蓝书《六西格玛管理统计指南-MINITAB 使用指南》，编撰了这篇《知识要点》。所谓要点，即：主要的知识点，重要的概念、公式和方法、可能的考点以及重难点。希望能对大家有所裨益。特别需要提醒的是：第一至第四章、第九第十章的多选题会多一些，而历次考试丢分较多的往往是多选题。

第一章 六西格玛管理概论

1.1 六西格玛管理的发展

1.1.1 质量概念的演进和质量管理的的发展

1.质量概念的演进

质量：一组固有特性满足要求的程度。（ISO9000:2005）

（1）质量概念中主体的演进

质量概念中的主体是指“**什么的质量**”。

- 产品的质量。包括性能、可信性等实物质量。
- 产品和服务的质量。扩展到包括准时交付、周期时间等服务质量。
- 产品、服务和过程的质量。过程质量涉及 5M1E，质量体现 Q（实物质量）、C（成本）、D（交付）、E（环境）、S（安全）的综合质量。
- 产品、服务、过程和体系的质量。体系质量即管理系统的质量。

（2）质量概念中客体的演进

质量概念中的客体是指“**满足什么要求的质量**”。

- 符合性质量。满足标准或规范要求。
- 适用性质量。满足顾客要求的程度，关键看对顾客是否适用。
- 顾客及相关方综合满意的质量。大质量概念，综合满足**顾客、股东、员工、供应商及合作伙伴、社会等利益相关方(也称为五大利益相关方)**的程度。

2.质量管理的发展

经历了质量检验、统计质量控制、全面质量管理三大历史阶段。

（1）质量检验阶段。（二战以前）

三权分立：设计+制造+检验

聚焦于产品质量。

代表人物：F.W.泰勒（科学管理之父）。

工人自检、工长监督检查、检验员专检。

两个问题：

- 事后检验，死后验尸；
- 全数检验，成本太高。

（2）统计质量控制（SQC）阶段（20 世纪 40-50 年代）

数理统计方法与质量管理结合，过程控制，形成了质量的预防性控制与事后检验相结合的管理方式。

代表人物：休哈特（W.A.Shewhart）：统计过程控制（SPC）

道奇（H.F.Dodge）、罗米格（H.G.Romig）：抽样检验。

（3）全面质量管理（TQC）阶段（1960-）

全员、全企业、全过程和多样化的方法。

代表人物：费根堡姆、朱兰、戴明、克劳士比、石川馨等。

费根堡姆（Feigenbaum）61年出版的《全面质量管理》：全面质量管理是为了能在最经济的水平上并考虑到充分满足顾客需求的条件下进行市场研究、设计、生产和服务，把企业各部门的研制质量、维持质量和提高质量的活动构成一体的有效体系。

日本在20世纪50年代提出全公司质量管理（CWQC）、QCC、田口方法、5S管理、全面生产维护（TPM）、QFD、丰田生产方式（TPS）、老七种、新七种工具。1979年克劳士比《质量免费——确定质量的艺术》提出“零缺陷”理论。

1987年：ISO9000标准发布、六西格玛方法在摩托罗拉正式实施、《马尔科姆波多里奇国家质量提高法——“公共法案100-107”》，启动美国国家质量奖。称为1987年三件大事。

什么是质量？

- 供不应求的时代：符合性
- 供大于求的时代：适用性
- 质量新时代：狭义→广义

ISO9000:2005 质量定义：一组固有特性满足要求的程度

现代质量管理经历了一个“点、线、面、体、网”的发展轨迹

从全面质量控制（TQC）到全面质量管理（TQM）实质上是质量概念从“产品和服务质量满足顾客需要”向“大质量综合满足顾客及相关方需要”、质量管理从“全面的质量管理（T-QM）”向“全面质量的管理（TQ-M）”的演进。

ISO8402:1994中对TQM的定义：“一个组织以质量为中心，以全员参加为基础，目的在于通过让顾客满意和本组织所有成员及社会受益而达到长期成功的管理途径”。

全世界有约80个国家和地区都设立了质量奖，其中最著名的有：

■ **美国波多里奇国家质量奖**（1987年设立）：

奖项：制造业、服务业、小企业、教育业、医疗卫生业、非盈利组织

■ **欧洲质量奖**（1991年设立）：

奖项：大企业、运营单位、公共部门、中小企业（分支）、中小企业（独立），包括质量奖、单项奖、入围奖

■ **日本戴明奖**（1951年设立）：

奖项：大奖、实施奖、事业所奖

3.质量大师的贡献

（1）W.A.Shewhart（休哈特，1891-1967）

1917年获加州大学伯克利分校物理学博士学位，1918-1924年任西方电气公司工程师，1925-1956任贝尔实验室研究员。休哈特创立了统计过程控制理论。

- 变异不可避免，变异的原因分为偶然因素和系统因素；
- 单一观测几乎不能构成客观决策的依据。

休哈特提出的PDCA循环被戴明广泛采用，后来被称为戴明循环。

（2）W.A.Deming（戴明，1900-1993）

1921年获怀俄明大学工程学士学位，1925年获科罗拉多大学数学及物理学硕士学位，1928年获耶鲁大学物理学博士学位。

引起效率低下和不良质量的原因中有85%在于企业的管理系统而只有15%是由员工造成的。戴明质量战略的核心就是使用统计质量控制来识别变异的特殊原因

和偶然原因。

戴明管理 14 要点：

- (1) 制定改进产品和服务的目标和实施的计划，致力于超过竞争对手。
 - (2) 采用新的质量管理思想。
 - (3) 停止依靠大量检验来提高质量。
 - (4) 不要仅凭价格选择供应商，要以总成本最低为目标。
 - (5) 发现问题并致力于改进工作体制。
 - (6) 采用现代的在岗培训方法。
 - (7) 提升领导能力，采用新的领导方式。
 - (8) 消除员工的畏惧感。
 - (9) 打破部门封锁，倡导产品设计、销售、生产等部门团队合作。
 - (10) 消除那些要求员工做到零缺陷及高生产力水准的口号、劝诫及目标，低质量和低生产率是制度造成的而不是员工的问题。
 - (11) 取消工作定额，代之以领导职能强化。
 - (12) 消除各种影响员工为自己工作质量而自豪的障碍。
 - (13) 设立生动活泼的教育和自我提高计划。
 - (14) 建立使高层管理者能够推动每个员工按上述 13 条努力工作的机制。
- (有考点：3、8、9、10 条)

(3) J.M.Juran (朱兰, 1904-2008)

1924 年获明尼苏达大学电子工程专业学士学位。

《朱兰质量手册 (第 5 版)》对质量的定义：

- 质量意味着能够满足顾客的需要从而使顾客感到满意的那些产品特性；
- 质量意味着免于不良，即没有那些需要重复工作 (返工) 或会导致现场失效、顾客不满、顾客投诉等的差错。

朱兰质量管理三部曲：质量策划、质量控制、质量改进
将帕累托原理概念化并应用于质量改进。

(4) Kaoru Ishikawa (石川馨, 1915-1989 年)

1939 年毕业于东京大学工程系，1960 年获工程博士学位。

因果图 (鱼骨图) 的发明者

QCC 奠基人之一

----全公司质量管理 (CWQC)：

- 所有部门都参加的质量管理
- 全员参加的质量管理
- 综合性质量管理

(5) Genichi Taguchi (田口玄一, 1924-)

田口方法：线外质量控制、线内质量控制、计量管理技术、试验设计技术。

质量损失函数 (QLF)，把质量和经济两个范畴的概念同一起来

$$L(y) = k(y - m)^2$$

信噪比 (SNR)

田口玄一提出了新产品设计开发的三阶段思想：系统设计、参数设计、容差设计。

质量损失函数：

质量损失是由于质量特性 y 偏离设计目标值造成的，有偏离，就会有损失。

- 望目特性的质量损失函数

1.1.2 六西格玛管理的起源和发展

1.六西格玛管理的起源

摩托罗拉公司的迈克尔·哈瑞 (Mikel Harry)、比尔·史密斯 (Bill Smith) 和理查德·施罗德 (Richard Schroeder) 在 1987 创立并实施。1988 年摩托罗拉公司获得美国波多里奇国家质量奖。10 年销售额增长了 5 倍，利润每年增加 20%，累积收益 140 亿美元。

2.六西格玛管理的推广

博西迪将六西格玛管理引入联合信号公司获得成功。美国通用电气 (GE) 总裁 Jack Welch 将六西格玛管理导入通用电气，将其作为公司四大战略之一 (全球化、服务、六西格玛、电子商务)，获得巨大成功，六西格玛为世界所关注、认识并接受。

3.六西格玛管理的新发展

六西格玛管理是对全面质量管理特别是质量改进理论的继承和新发展，成为可以使企业保持持续改进、增强综合领导能力、不断提高顾客满意度以及经营绩效并带来巨大利润的一整套管理理念和系统方法。新六西格玛是一个领导力管理程序，是关于总体业务改进方法，解决了管理人员面临的两难问题：一方面要通过快速的业务改进项目达到短期的财务目标；另一方面还要在关键人才和核心流程方面为未来的发展积蓄能力。

将平衡计分卡 (BSC)、业务流程再造 (BRP)、高效率团队、对核心业务流程进行持续不断地监控等工具与六西格玛整合。

1.2.1 六西格玛的概念

一整套系统的、集成的业务改进方法体系，旨在持续改进企业业务流程，实现客户满意的方法。它通过系统地、集成地采用业务改进流程，实现无缺陷的过程设计 (DFSS)，并对现有过程进行 DMAIC 流程，消除过程缺陷和无价值作业，提高质量和 服务、降低成本、缩短运转周期，达到客户完全满意，增强企业竞争力。

σ (SIGMA, 西格玛) 是希腊字母，是一个用来定义母体标准偏差的统计测量单位。它衡量数据的变化程度或离散程度。

SIGMA 水平衡量我们所提供的产品或服务有多少能够达到顾客要求的水平。流程的 SIGMA 水平越高，该流程输出的产品或服务满足顾客要求的程度就越高，也就是缺陷就越少。

1. 六西格玛的统计含义

西格玛水平是将过程输出的平均值、标准差与质量要求的目标值、规格限联系起来进行比较，是对过程满足质量要求能力的一种度量。西格玛水平越高，过程满足质量要求的能力就越强。

六西格玛水平是指在上下规格限内容纳 12σ ，且实际分布中心与规格中心重合时，低于下规格限和高于上规格限的面积 (概率) 均为 0.001ppm，总缺陷率为十亿分之二。

实际流程输出特性的分布中心与规格中心往往不重合。在计算过程长期运行缺陷概率时，一般考虑将上述正态分布的中心向左或向右偏移 1.5σ ，此时一侧的缺陷率为 3.4ppm，另一侧可忽略不计，总缺陷概率为 3.4ppm。因此，通常所说的六西格玛质量水平代表 3.4DPMO，即每百万次缺陷机会有 3.4 次缺陷。

2.六西格玛的管理含义

(1) 获取竞争优势的战略

战略管理的目的是获取竞争优势和核心竞争力。六西格玛的本质是通过管理创

新和技术创新构建组织的核心竞争力。

首先，六西格玛要与企业战略结合，使得六西格玛能够支撑企业战略目标的达成，提升企业战略执行力；

其次，要从战略层面定位六西格玛，从战略层面推进六西格玛管理，制定六西格玛管理战略实施规划。

(2) 持续改进的活动

实施六西格玛并不一定要达到六西格玛水平的质量，而在于对过程进行突破性改进和创新。

(3) 科学的问题解决方法体系：在方法层面强调系统集成与创新，是一整套业务改进方法体系。

(4) 六西格玛管理文化：企业文化是一个企业拥有的核心理念和价值观。企业实施六西格玛，需要打造顾客导向、持续改进、勇于变革、数据说话的六西格玛管理文化。

1.2.2 六西格玛管理的作用

1.解决困扰公司的重要而复杂的难题，降低不良质量成本。

追求卓越的公司：

首先确立公司的使命、愿景、价值观；其次基于使命、愿景和价值观，确立战略目标和战略方案，其三是要设立能驱动战略目标实现、检测战略规划的关键绩效指标（KPI），并将 KPI 横向分解到相关职能部门和流程，纵向层层分解到团队和员工。

- 产品和服务质量问题
- 运营成本问题
- 生产率、流程周期问题
- 市场和顾客流失问题
- 环境和安全问题

不良质量成本（cost of poor quality, COPQ）

3-4 西格玛水平，不良质量成本可占销售额的 20%~40%，六西格玛企业只占 1%~5%。一般企业的平均利润水平仅占销售额的 1%~4%。

对于一个 3 西格玛水平的企业来说，提高一个西格玛水平可获得收益：

- 利润增长 20%
- 产能提高 12~18%
- 劳动力减少 12%
- 资本投入减少 10%~30%

2.建立持续改进和创新的企业文化，消除沟通壁垒

企业文化：企业在长期的生存和发展中形成的，为本企业所特有的，且为企业多数成员共同遵循的宗旨（使命）、最高目标（愿景）、价值标准、基本信念和行为规范（价值观）等的总和及其在企业活动中的反映。企业文化是企业中独特的做事方法。

六西格玛的标准是“完美”，也是一种文化。

实施六西格玛，有助于消除沟通壁垒，增进无边界合作的文化。

3.全面提升核心竞争力和经营成熟度

六西格玛可以作为一种全面提升核心竞争力和经营成熟度的战略。

(1) 提高顾客满意度。

(2) 减少缺陷错误，降低风险和成本。

(3) 改进产品及服务，使企业获得持续的成功。

(4) 加快改进的速度

4、培养下一代领导者，促进员工职业发展

六西格玛是一种可以在组织内增强和加速新思维的发展和分享的方法，带给员工的是解决问题的方法，为企业持续、突破性的改进和创新提供了必须的管理工具和操作技巧。

1.3.1 高层领导在六西格玛管理中的作用

1、六西格玛管理在企业发展中的作用

GB/T19580：4.1.1.1 高层领导的作用

A) 确定和展开组织价值观、长短期方向和绩效目标；均衡顾客及其他相关方的利益；与员工和关键供应商双向沟通。

B) 创立授权、主动参与、创新、快速反应、学习和遵守法规的环境，恪守道德规范并影响组织的相关方。

高层领导最基本的职能定位和作用：**确定使命、愿景、价值观**

高层领导的重要职能：**领航和引导**

2.高层领导在六西格玛推进过程中的承诺和关键角色

领导层的支持和参与是六西格玛成功的第一关键要素，成功推行六西格玛管理并获得丰硕成果的企业都拥有来自高层的高度重视和卓越领导。六西格玛管理是自上而下推行的，始终取决于企业的最上层，必须获得高层领导的认同。最高管理层的作用：

(1) 制定 2~5 年的六西格玛战略目标

(2) 授权一个推进小组

(3) 制定推进计划

(4) 领导层亲身参与

1.3.2 六西格玛价值观与企业文化

1.六西格玛价值观

(1) 以顾客为中心：强调“倾听顾客的声音”（VOC）

(2) 基于数据和事实的管理：强调用数据和事实说话

(3) 聚焦于过程改进：过程是采取改进行动的主要对象

(4) 有预见的积极管理

(5) 无边界合作：消除职能之间、层级之间乃至合作伙伴之间的沟通壁垒

(6) 追求完美，容忍失败：在推进六西格玛管理过程中，可能会遇到挫折和失败，企业应建立鼓励创新和变革、容忍失败的文化环境。

2.六西格玛价值观的融入与企业文化变革

高层领导应当将六西格玛价值观融入企业原有的价值观，变革企业文化，使员工的信念、态度和期望与六西格玛管理同步。

六西格玛价值观可以强化企业好的文化，变革不利于企业的风气。

1.3.3 六西格玛管理与企业战略

1.企业战略的制定和部署

战略：指组织为适应未来环境的变化，追求长期生存和发展而进行的整体谋划和决策。战略是达成愿景、实现使命的手段。

(1) 战略制定

采用 SWOT 分析，SWOT 是优势（strengths）、劣势（weaknesses）、机会（opportunities）、威胁（threats）的缩写，其中优势劣势主要着眼于组织自身的实力及

其与竞争对手的比较，而机会与威胁分析将注重外部环境的变化及其对企业可能产生的影响。

(2) 战略部署

制定和展开战略规划、配置资源、制定关键绩效测量方法和目标，监视战略规划进展。

平衡计分卡（balanced scorecard, BSC）是战略部署的典型方法。

1992年，哈佛商学院的罗伯特·卡普兰和复兴方案公司总裁戴维·诺顿提出平衡计分卡的概念，认为任何单一的绩效指标都难以反映组织的绩效全貌，必须用一个平衡的指标体系来要求组织才能使之健康地发展。

平衡财务与非财务目标；平衡股东、顾客、员工等利益相关方的价值；平衡短期和长期目标；平衡领先性和滞后性指标。

(3) 关键绩效测量系统（组织绩效评审）

建立完善的关键绩效测量系统有利于监测战略的部署。

关键绩效测量系统应包括以下 5W1H 要素：

- 为什么测量（why）：是关键指标，反映组织的核心竞争力
- 测量什么（what）：除了测量指标名称、指标值之外，还包括指标定义和计算公式。
- 如何测量（how）：测量方法、数据来源、获取方法及测量规程
- 何时测量（when）：测量时间或频次
- 在何处测量（where）：测量点所在的地点、部门或过程。
- 谁测量分析和改进（who）（即 5W1H）

2. 六西格玛：作为一种企业战略

3. 六西格玛：作为战略绩效改进的方法

将六西格玛作为战略绩效改进方法，将六西格玛项目与组织目标密切联系。

关键绩效评审是在战略实施过程中，高层领导掌控公司战略实施和运作状况、寻找改进决策点的重要手段：

- (1) 评审组织绩效的当前水平；
- (2) 评审组织绩效的趋势；
- (3) 竞争绩效和标杆绩效对比；
- (4) 评审绩效结果是否达到了关键的绩效要求。

4. 六西格玛战略风险分析

风险的定义：对目前所采取的行动，在未来达不到预期结果（失败）的可能性。

其大小可用失败的概率和失败的后果两个变量来标示。

六西格玛管理战略的风险可包括：

- (1) 六西格玛战略与企业其他战略的协调性。
- (2) 六西格玛管理对企业文化带来的挑战。
- (3) 六西格玛在管理和技术方面的阻力。

在管理方面的阻力：缺乏科学合理的项目实施规划、机械模仿、没有建立六西格玛组织结构、没有建立六西格玛管理程序。在技术方面的阻力主要是缺乏对六西格玛管理的专业培训和咨询。

- (4) 六西格玛管理与企业实际情况的适应性。

1.4.1 六西格玛管理的组织结构

由高层领导、倡导者、资深黑带（MBB）、黑带（BB）、绿带（GB）等构成。

1. 高层领导

推行六西格玛获得成功的关键因素，成功推行六西格玛管理并获得丰硕成果的企业都拥有来自高层的高度认同、支持参与和卓越领导。

2. 倡导者

六西格玛管理的关键角色，以战略的视角对六西格玛管理进行全面的战略部署、项目策划及目标确定、资源分配与过程监控，最终对六西格玛活动整体负责。

核心任务：

- 充分认识变革，为六西格玛确定前进方向
- 确认和支持六西格玛管理全面推行，制定战略性的项目规划
- 决定“该做什么”，确定任务的实施优先顺序
- 合理分配资源、提供必要的支持
- 消除障碍
- 检查进度、确保按时、按质完成既定目标
- 了解六西格玛管理工具和技术的应用
- 管理及领导资深黑带和黑带

3. 资深黑带：

企业变革代言人。主要职责为：

- 担任公司高层领导和倡导者的六西格玛管理高级参谋，具体协调、推进六西格玛管理在全公司或特定领域、部门的开展，持续改进公司的运作绩效
- 担任培训师
- 帮助倡导者、管理者选人选项
- 为黑带提供指导和咨询
- 作为指导者，保证黑带及其团队顺利完成项目
- 具体指导和协助黑带及其团队在六西格玛改进过程中完成每个步骤的关键任务
- 为团队在收集数据、统计分析、设计试验及与关键管理人员沟通等方面提供意见和帮助。

4. 黑带：

六西格玛管理中最重要角色。主要职责为：

领导、策划、培训、辅导、传递、发现、确认、影响、沟通

黑带需要具备的技能：

- 管理和领导能力
- 决策制定
- 沟通
- 团队建设和谈判
- 策划、调度和行动
- 关注全局
- 人际交往能力

5. 绿带：

黑带项目团队的成员或较小项目的团队负责人，六西格玛管理中最基本的力量。

- 提供相关过程的专业知识
- 建立绿带项目团队，并与非团队的同事进行沟通
- 促进团队观念转变
- 把时间集中在项目上
- 执行改进计划以降低成本
- 与黑带讨论项目的执行情况今后的项目

- 保持高昂的士气

6. 项目负责人

- 达成对六西格玛的共识
- 协助选择黑带、绿带
- 为黑带、绿带提供资源支持
- 关注黑带、绿带的项目实施过程
- 协调所管辖范围内的黑带、绿带项目，保持与业务方向的一致性
- 确保过程改进能够落实，保持改进成果。

1.4.2 六西格玛管理的推进步骤

一般用 4~5 年完成**导入期**、**加速期**、**成长期**和**成熟期**四个阶段

三类阻力：**技术阻力**（对方法的恐惧、技术力量的不足等）、**管理阻力**（部门间的沟通壁垒、激励机制和资源缺乏等）和**文化阻力**（观念上不认同、靠经验和感觉做决策，变革动力缺失等）。当推进的动力难以抵御阻力时，六西格玛管理推进就会失败。

1.4.2 六西格玛管理的推进步骤

1.导入期

- (1) 起步
- (2) 培训与改进实践
- (3) 坚持不懈与获得成功

2.加速期

- 制定六西格玛财务预算、核算和审核办法
- 建立项目成果发布、共享、认可和奖励制度
- 加大培训力度
- 建立六西格玛管理程序

3.成长期

- 完善六西格玛管理的组织结构
- 拓展六西格玛实施领域
- 完善六西格玛培训体系

4.成熟期

将六西格玛融入企业，成为企业文化。

- 使六西格玛价值观与公司的使命、愿景和核心价值观高度融合，强化观念和行为习惯方式的改变
- 将六西格玛与组织其他管理战略、体系和改进方法整合
- 使六西格玛成为日常工作的一部分

1.5.1 六西格玛改进的模式——DMAIC

1.DMAIC 过程活动

D: 确认顾客的关键需求并识别需要改进的产品或流程，确定项目团队，制定项目计划，决定要进行测量、分析、改进和控制的关键质量特性（CTQ），将改进项目界定在合理的范围内。

M: 对现有过程测量和评估，制定目标及绩效衡量标准，识别影响过程输出 Y 的输入 Xs，并验证测量系统的有效性，确定过程基线。

A: 通过数据分析确定输出 Y 的关键 Xs。

I: 寻找最优改进方案并实施。

阶段	活动要点
----	------

D	明确问题，确定 Y (CTQ/CTP)
M	确定基准，测量 Y, Xs
A	确定要因，确定 $Y=f(x)$
I	消除要因，优化 $Y=f(x)$
C	保持成果，更新 $Y=f(x)$

C: 对改进成果进行固化。

2.DMAIC 过程活动要点及工具 (见书 P36-37)

第二章 六西格玛与过程管理

2.1 过程管理基础

过程管理是现代管理的基础。六西格玛的核心价值观之一就是聚焦于过程改进，减少和消除过程变异。六西格玛管理应当基于组织的业务过程和业务系统，聚焦于过程和系统的整体改进。

2.1.1.过程的定义

1.过程的定义

过程：将输入转化为输出的相互关联或相互作用的一组活动。(ISO9000:2005)

- 过程的任务在于将输入转化为输出，输出就是过程的产品（或服务），输入、输出及过程特性应当可测，输入和预期的输出可以有形，也可以无形，输出可能是预期的，也可能是非预期的。
- 对形成的产品是否合格不易或不能经济地进行验证的过程称为“特殊过程”。
ISO9001:2008 标准 7.5.2 生产和服务过程的确认即是针对特殊过程提出的要求。如焊接、铸造、混凝土浇注等均为特殊过程。
- 增值是对过程的期望，即每一个过程均应该是增值的过程，否则应该改进或删除。
- 为了使过程增值，组织应当对过程进行策划，即识别过程的要求，进行过程设计并形成程序，建立过程绩效测量和控制方法
- 将输入转化为输出的动因是活动，而且是一组相互关联或相互作用的活动。
- 过程具有延展性，一个过程可分解为子过程，几个子过程可集成为一个大过程。
- 根据所含活动的多少、大小，过程可以是一个大过程，也可以是一个小过程。

关键输入变量 KPIV

关键输出变量 KPOV

2.过程链和过程网络

过程链是指组织内或组织间一个个首尾串接的过程构成的链条，过程网络则是由多个过程链串接、并接构成的网络。

- 前过程的输出就是后续过程的输入
- 前过程应当主动识别和确定后续过程的要求
- 后续过程应当向前过程提出要求，并向前反馈过程输入质量等相关信息，前过

程据此进行设计、控制和改进

- 如果过程链反映的是组织之间的大过程链接，则该过程就是链接供应商、组织和顾客的供应链
- 过程之间的链接既可串接，也可并接
- 一个过程会有多个输入多个输出
- 构成网络构成所谓“体系”或“系统”
- 在过程网络中起主导作用的过程称为关键过程

2.1.2 过程负责人和相关方

相关方：与组织的业绩与成就有利益关系的个人或团队（见五大利益相关方）。

2.1.3 价值链与过程类别

价值是通过将原材料和其他要素转变为顾客在特定时间、特定地点、以特定方式需要的产品或服务来实现的。

1. 价值链

具有增值作用的过程链（网络）构成价值链。**价值链就是在产品实现全过程中所有增值步骤组成的全部有组织、有内在联系的一系列活动。**

- 价值链增强了业务活动内部的关键联系，也增大了组织成功的可能性，价值链的任何一个链条中断或弱化都会影响价值传递
- 价值链确定了职能部门的贡献率
- 价值链被细化到公司的操作单位层面

2. 过程类别

组织的增值分为两类：一类是直接为顾客增值；另一类是为组织自身增值。

增值最大、最显著的过程称为“核心过程”或主要价值创造过程。

支持过程或关键支持过程，如人力资源、财务基础设施以及信息技术管理过程。

识别的方法：（卓越绩效）

通过价值链分析等方法，定量或定性地分析过程的增值能力和对组织成功的贡献，然后将那些创造最大价值的过程识别出来列为价值创造过程。识别出的价值创造过程既要能体现对组织战略的有力支撑，又要能满足组织当前获利能力的需要。

2.1.4 过程与职能、项目的关系

1. 过程与职能的关系

组织结构：人员的职责、权限和相互关系的安排（ISO9000:2005）。

组织中正式确定的使工作任务得以分解、组合和协调的框架体系。

职能型结构的优点：分工明确，有利于专业化和知识共享，并减少人员和资源的重复配置，节约成本。

缺点：各部门容易过分强调本部门的重要性和利益，追求职能目标而忽视整体目标，部门之间相互隔离导致看不到整体利益，难以横向协调和沟通。

传统的组织结构已经不能适应动态和复杂的环境。

2. 过程与项目的关系

项目：由一组有起止日期的、协调和受控的活动组成的独特过程。该过程要达到符合包括时间、成本和资源的约束条件在内的规定要求的目标。（ISO9000:2005）

项目管理：把各种知识、技能、手段和技术应用于项目之中，以达到项目的要求。

在项目管理过程中，应建立有关时间、成本和范围等的过程 and 产品质量指标，即项目管理关键绩效测量指标，以检测、控制和评审项目管理过程与结果。

2.2 顾客需求分析

2.2.1 顾客的认识

1. 顾客及其细分

顾客：接受产品的组织或个人。（ISO9000:2005）。

除了传统意义上的顾客外，过程输出的接受者还包括社区、股东、员工等其他利益相关方。

（1）按产品接受者的情况：

- 外部顾客：组织外部接受产品或服务的组织或个人。
- 内部顾客：组织内部依次接受产品或服务的人员或部门。

（2）按照接受产品的提供方式分：

- 中间顾客：经销商、分销商或其他渠道伙伴
- 最终顾客：组织产品或服务的使用者

（3）按产品接受的时间顺序：

- 过去顾客：已经接受过组织产品或服务的顾客
- 当前顾客：正在接受组织产品或服务的顾客
- 潜在顾客：尚未接受过组织产品或服务，但有购买欲望的顾客或竞争对手的顾客

（4）按照顾客层次、业务量、市场区域、产品特性等分：

大中小型顾客、关键顾客和一般顾客等。

（顾客）要求：明示的、通常隐含的或必须履行的需求和期望。

2. 六西格玛项目的顾客

首先要分析六西格玛项目的顾客是谁？

然后分析各种顾客的需求是什么？有哪些需求？哪些是关键顾客需求？如何将顾客的需求转化为项目目标等。

2.2.2 顾客满意与顾客忠诚

1. 顾客满意

顾客满意：顾客对其要求已被满足的程度的感受”

注 1：顾客抱怨是一种满意程度低的最常见的表达方式，但没有抱怨并不一定表明顾客很满意。

注 2：即使规定的顾客要求符合顾客的愿望并得到满足，也不一定确保顾客满意。

顾客满意的程度取决于顾客的价值观和期望值（认知质量）与所接受的产品或服务状况的比较。

2. 卡诺（Kano）质量模型

（狩野纪昭）

3. 顾客忠诚

顾客忠诚是指顾客在对某一产品或服务的满意度不断提高的基础上，重复购买该产品或服务，以及积极向他人推荐该产品或服务的表现。

市场营销调研研究表明：保留现有顾客的成本比赢得新顾客的成本要低得多（1: 6）

2.2.3 顾客数据的收集

顾客除了产品使用者和潜在使用者，必要时还应包括分销商、产品维修人员等在产品寿命周期内关系密切的外部及内部的组织和人员。环境法规、安全标准等国家和行业的法令、法规以及标准、规范也应列入顾客要求的范畴。

收集 VOC 的方法：

- 1.顾客调查
- 2.顾客抱怨和投诉的处理
- 3.同类产品质量跟踪和售后服务信息分析
- 4.将有关的政策法规等纳入顾客要求或作为产品开发的约束条件
- 5.分析公司的战略和策略在产品开发中的贯彻方式，提炼出必要的顾客要求
- 6.产品发展现状与趋势分析

常用的顾客调查方法：

- 1.书面邮寄调查（E-mail）

比电话调查和专人访问需要的时间长，强迫性最小，返回率低，成本低，有助于统计分析。

- 2.电话调查

返回率高，比书面调查有更大的灵活性。

- 3.专人访问

最强有力的信息收集技术之一，收集定性信息的高效方法，成本高。

- 4.焦点小组

定性的小组讨论，成本低。

2.2.4 顾客数据的分析

对顾客要求的表述要求：

- 用语简洁，无歧义
- 一项顾客需求只表达一个特定的意思
- 不把对应的工程技术解决方案纳入顾客需求
- 便于工程技术人员理解
- 同一级别的顾客需求彼此独立，内容无覆盖与交叉

可使用亲和图法整理分析顾客数据。

使用亲和图法整理分析顾客数据的步骤：

(1) 把每项顾客需求分别填在一张小纸条上，去掉重复的内容，再把所有纸条排列起来；

(2) 把内容相近的纸条聚为一堆，起一个可以概括其内容的名字，作为高一级的顾客需求，另外写在纸上；

(3) 将新写的纸条按内容相近程度聚堆、命名，作为更高一级的顾客要求，另外写在纸上；

(4) 如有必要，继续上一过程，直到顾客需求被系统而分层次地组织起来。

2.2.5 关键顾客要求的转化

应用 QFD 将顾客对产品的需求进行多层次的演绎分析，利用量化评估方法，识别关键顾客需求（critical customer requirements, CCR）并逐层转化为产品的设计要求、零部件特性、工艺要求，以指导产品设计和保证产品质量。

2.3 经营结果

2.3.1 过程绩效度量指标

1.离散型数据度量指标

单位(unit)：过程加工过的对象，或传递给顾客的一个产品或一次服务

缺陷(defect)：产品（或服务）没有满足顾客的要求或规格标准

缺陷机会：单位产品上可能出现缺陷的位置或机会。

(1) 单位缺陷数（DPU）：单位产品上平均的缺陷个数

$$DPU = \frac{\text{检测发现的缺陷数}}{\text{抽取的单位产品数}}$$

(2) 机会缺陷率 (DPO): 每次机会中出现缺陷的比率。表示样本中缺陷数占全部机会数的比例。

$$DPO = \frac{\text{缺陷数}}{\text{产品数} \times \text{单位产品的平均缺陷机会数}}$$

(3) 百万机会缺陷数 (DPMO)

$$DPMO = DPO \times 10^6$$

(4) 最终合格率 (process final yield, PFY)

通过检测的最终合格单位数占过程全部投产单位数的比例。

(5) 一次合格率 (first time yield, FTY)

没有返工返修通过的过程输出单位数计算出的合格率

(6) 流通合格率 (rolled throughput yield, RTY)

彼此独立的串行生产过程, 流通合格率为各子过程一次合格率的乘积。

1. 连续型数据度量指标

(见 5.5 过程能力分析)

2.3.2 水平对比 (benchmarking)

1. 什么是水平对比

又称标杆管理或典范借鉴, 是指利用量化标准寻找行业内或外部同类活动的最佳实践, 即将过程、产品和服务质量同公认的处于领先地位的过程、产品和服务质量进行比较, 从而认清目标, 并据此指引自己的改进以达到最佳绩效水平的系统化过程。

2. 为什么要进行水平对比

发现自身存在的改进机会, 为六西格玛确定方向;
通过“比”、“学”, 实现“赶”、“超”。

3. 水平对比的作用和好处

- 通过与先进企业的对比, 明确改进机会
- 利用外部资源确立有效的行动目标
- 引入最好的行为方式
- 建立正确的绩效测量方法
- 激励和激发团队
- 减少变革的障碍
- 使组织变得更具有竞争力
- 使组织可以更好地满足最终顾客的需求

4. 水平对比的主要应用范围

- (1) 公司战略
- (2) 顾客需求

5. 水平对比的一般模型和步骤 (见书 P55 图 2-9、2-10)

6. 水平对比在六西格玛管理中的应用

- (1) 用于六西格玛的导入
- (2) 用于六西格玛项目选择
- (3) 用于确定和达成六西格玛项目的目标

2.3.3 财务收益

1. 经济性——六西格玛的核心特征

六西格玛管理的核心特征是高顾客满意度和低资源成本。

2.六西格玛管理与财务收益

(1) 增加收益

- 开发新产品或服务，缩短进入市场的时间
- 开拓市场，增加市场份额
- 缩短周期时间，加快资金周转

$$\text{效益} = \frac{\text{年销售额} \times \text{加权资金成本} \times \text{缩短的天数}}{360}$$

$$\text{加权资金成本} = \frac{\text{借款利率} \times (1 - \text{所得税率}) \times \text{借款}}{\text{借款} + \text{权益}} + \frac{\text{权益报酬率} \times \text{权益}}{\text{借款} + \text{权益}}$$

- 提高准时交付率

$$\text{效益} = \frac{\text{订单总金额} \times (1 - \text{平均交付率}) \times \text{资金回报率} \times 365}{\text{交付期}}$$

(2) 降低成本

- 降低符合性成本
- 降低非符合性成本
- 降低成本

$$\text{效益} = \text{产量} \times \text{单位成本降低额}$$

- 降低不合格率

$$\text{效益} = \text{产量} \times (\text{改进后 RTY} - \text{改进前 RTY}) \times \text{单位成本}$$

3.基本财务模型

(1) 终值 (FV) 与现值 (PV)

(2) 净现值 (NPV) (Excel 中的 NPV 函数)

指将投资项目在有效期内或寿命期内的净现金流量按一定的折现率全部这算到零期的累计现值之和。

$$NPV = \sum_{t=0}^n (CI_t - CO_t)(1+i_0)^{-t}$$

(3) 内部收益率 (IRR)

(4) 投资收益率或回报率 (ROI)

$$ROI = \frac{\text{项目预计收益}}{\text{项目预计成本}} \times 100\%$$

(可能有计算题)

4.质量成本和不良质量成本

(1) 质量成本概念的演进

20 世纪 50 年代由朱兰、费根堡姆等提出。

为了确保和保证满意的质量而发生的费用以及没有达到满意的质量所造成的损失。

传统的质量成本包括：

(1) 预防成本：为了预防故障所支付的费用。

(2) 鉴定成本：为评定质量要求是否被满足而进行试验、检验和检查所支付的费用。

(3) 内部故障（损失）成本：产品在交付前不能满足质量要求所造成的损失。

(4) 外部故障（损失）成本：产品在交付后不能满足质量要求所造成的损失。

(2) 符合性成本、非符合性成本与不良质量成本

符合性成本是指在现行过程中无故障情况下完成所有顾客需求所支付的费用。符合性成本包括预防成本和鉴定成本（预先检验预防部分）。

非符合性成本是指由于现行过程的故障造成的损失。非符合性成本包括鉴定成本（查明故障原因部分）和故障成本（内部+外部）

不良质量成本=预防成本和鉴定成本中不增值部分+现代质量成本中的故障成本

传统的质量成本在故障成本方面的收集范围过窄，忽视了三方面的“隐藏成本”：

- 一是工作和过程质量（特别是非生产过程的工作和过程质量）故障损失；
- 二是尽管生产着合格产品但过程低效率的损失，这种低效率来自过大的资源消耗和非增值的过程步骤等；
- 三是由于不良质量而导致的销售损失，包括因质量问题以及产能不足而导致的顾客流失等。

从长远和总体的角度看，质量水平越高，其质量成本越低。

（多项选择判断题可能性大）

第三章 六西格玛项目管理

项目管理概述

1、项目管理的起源

一般把现代项目管理与亨利·甘特（Henry Gantt）发明的统计图表紧密联系在一起，20世纪50年代是被公认的现代项目管理学科起源的时间。

项目管理包括启动、规划、执行、监控和收尾五大过程。六西格玛项目管理中项目启动包括项目选择和项目立项表的制定；规划过程即项目计划制定；执行和监控过程包括项目团队建设、改进、DMAIC或DFSS的具体实施和监控；收尾包括项目总结、评审与分享。

(1) 20世纪初——甘特图

(2) 20世纪四五十年代——一些适合项目管理思想的方法和技术的出现为现代项目管理的发展奠定了基础。

(3) 20世纪50年代后期到60年代——关键路线法(CPM)和计划评审技术(PERT)的出现和广泛应用。

(4) 20世纪七八十年代——项目管理已经被公认为是一种有生命力并能实现复杂的企业目标的良好方法。

(5) 20世纪90年代后——现代项目管理逐步发展成为独立的学科体系，成为现代管理学的重要分支。

2、项目的定义及基本特征

(1) 项目的定义

一组有起止日期的、协调和受控的活动组成的独特古城，该过程要达到符合包括时间、成本和资源约束条件在内的规定要求的目标。（ISO9000:2005）。

项目是受时间和成本约束的、用以实现一系列既定的可交付物（达到项目目标的范围）、同时满足质量标准和需求的一次性活动。

- 项目是一项有待完成的任务，有着特定的环境和要求；
- 项目是在一定的组织结构内，利用有限的资源（人力、物力、财力等）在规定的时间内完成的任务；

- 任务必须满足一定的性能、质量、数量、技术指标等要求。

(2) 项目的特征

- ①项目的短暂性：项目都有明确的时间框架。
- ②项目的目标性：项目要有明确的可度量的目标。
- ③项目的可预测性：项目的所有任务都可以由项目管理者根据时间、资源等参数进行管理，同时还可以根据项目执行情况预测项目是成功还是失败。
- ④项目的可限制性：项目要受到时间、成本、资源的限制。
- ⑤项目的动态性：项目是动态发展的，可能发生不能预期的变化。

项目成功要具备以下条件：

- 在规定的时间内完成所有任务；
- 项目成本不多于原资源预算；
- 项目的质量符合说明书中的目标质量。

3.1 六西格玛项目选择

1、六西格玛项目的定义

六西格玛项目是指由职责明确的团队通过运用六西格玛方法，在规定时间内，寻找最佳方案并实现预定目标的特定过程。

2、选项原则

(1) 有意义 (meaningful)

- 支持顾客满意的改善
- 支持企业战略目标的实现
- 目标要有挑战性
- 要强调过程的改进
- 要为企业带来较大的经济效益

(2) 可管理 (manageable)

欲解决的问题应清晰可测，范围应清晰可控，项目应得到管理层的支持和批准。

3.1.2 项目选择流程

步骤一：确定项目的大方向——项目 Y

步骤二：将 Y 分解为若干 y，并确定本项目针对哪个方面进行改进

步骤三：针对选定的需要改进的 y，明确顾客关注的关键质量特性(critical to quality, CTQ)；

步骤四：根据 CTQ 确定项目课题——具体项目的名称。

1、确定 Y

- (1) 根据卓越绩效评价中发现的改进机会确定项目方向；
- (2) 根据公司或部门的平衡计分卡中的指标弱项确定项目的改进方向；
- (3) 通过竞争对手和水平对比，找到存在的突出差距；
- (4) 根据内外部 VOC 分析，确定主要的改进方向。

8 个要点：

战略实施的关键点	目标展开的问题点
顾客关注或投诉的热点	统计数据的异常点
部门间的矛盾点	长期困扰企业的难点
财务效益的增长点	与竞争对手比较的薄弱点

2、分解 Y

项目 Y 一般是公司级的指标，如顾客满意度低、生产效率低等。

在确定了项目的大方向 Y 后，需要分析影响 Y 的主要方面，逐层分解，确定要改

进的 y。跨部门的定义为黑带项目，部门内的定义为绿带项目，简单的问题可用 QCC 或现场改进解决。

3、明确对应于 y 的关键特性

需要针对 y 听取 VOC，确定顾客最关心的 CTQ。

4、优选和确定项目课题

(1) 优选项目

用帕累托优先指数 (Pareto priority index, PPI) 进行优先级排序确定优先改进的机会。

(2) 确定项目

一种方式是直接将顾客的 CTQ 确定为改善项目；二是通过矩阵图找出影响顾客 CTQ 的相关流程，确定一个或几个流程的改善作为改进项目。

(3) 进行完整的问题描述。言简意赅地定义问题并使之量化。

(4) 确定项目课题名称

(5) 描述项目目标：**SMART 原则**

Specific: 具体的

Measurable: 可测

Attainable: 可行

Relevant: 相关

Time Bound: 有时间限制

3.1.3 六西格玛项目选择需注意的问题

(1) 项目欲解决的问题与企业发展重点或 CTQ 没有联系，体现不出项目价值，无法得到管理层的支持和承诺；

(2) 改进内容不是针对顾客 CTQ；

(3) 没有针对 Y 进行分析、分解，直接将 Y 作为改进项目；

(4) 欲解决的问题原因已经明确，改进措施也明确；

(5) 项目衡量指标不明确或项目目标没有挑战性；

(6) 项目难度太大，超出项目团队的能力和授权；

(7) 项目改进空间太小。(可能以多选题形式出现)

3.2 六西格玛项目立项表和计划

3.2.1 项目立项表和计划概述

1、项目立项表概述 (项目授权书)

- 项目名称
- 项目背景及选题理由
- 问题/机会陈述
- 目标陈述
- 项目团队组成及职责分工
- 项目所设计的过程和职能范围、约束和假定
- 项目利益相关方及其影响
- 总体里程碑进度表 (阶段性任务及时间安排)
- 倡导者的批准和授权

2、项目计划概述

在制定项目计划时，团队成员可以参照以下步骤完成：

(1) 任务分解 (work breakdown structure, WBS)

将阶段性工作分解为可执行、可跟踪的工作单元 (任务、活动或关键阶段)，还

可以制定工作任务分解表：

WBS 编号	任务名称	工作内容	输入	输出	标准	责任人

(2) 估算任务时间并确定任务之间的关系

$$E = (O + 4M + P) / 6$$

E 为时间估计结果；O 为乐观估计时间；M 为正常估计时间；P 为悲观估计时间。

(3) 编制工作计划

团队在界定项目时，就应该注意项目计划的编制和制定。可以采用甘特图(Gantt chart)等工具制定项目计划。(Microsoft Project 可绘制甘特图)。

3.2.2 项目规划工具

1、甘特图 (Gantt chart)

甘特图显示随时间的推移项目任务之间的关系。可增加里程碑事件的标志、项目进展图示、任务负责人等。

甘特图的主要缺点是不能在图上清晰地和严密地显示各项任务之间的相互关联、互为条件、互为因果的依存关系，以及在时间上的先行和后续的衔接关系；不能找出关键的活动和路径，不易对周期时间的缩短和资源的利用进行优化等优点。

2、网络计划技术

1956 年，美国杜邦公司在制定协调企业不同业务部门的系统规划时，运用网络方法制定出一套网络计划，借助于网络表示各项工作及其所需要的时间，并表示出各项工作之间的相互关系，从而找出编制与执行计划的关键路线，称为“关键路径法”(critical path method, CPM)。

1958 年，美国海军武器局在制定北极星导弹计划(导弹核潜艇计划)时，应用网络方法和网络形式，注重对各项任务安排的评价和审查，把这种方法称为“计划评审技术”(program evaluation and review technique, PERT)。

上述两种方法统称为**网络计划技术**，在我国称为网络图、箭条图矢线图，或称为统筹法。

3.2.3 项目文档

- (1) 项目立项表及其更新
- (2) WBS、项目计划(甘特图、网络图等)及其更新
- (3) 不良质量成本测算报告
- (4) 项目收益预测与资源需求预算
- (5) 团队规则
- (6) 会议纪要、电子邮件及学习笔记等
- (7) 项目状态分析资料、报告和演讲材料
- (8) 项目效果测评和确认
- (9) 行之有效的措施的标准化
- (10) 项目总结报告

3.3 六西格玛项目团队建设

3.3.1 团队的组建和授权

1. 团队组成要素

团队成员必须确定的内容包括使命、基础、目标、角色、职责、主要里程碑、授权等。

2.选择团队成员

- (1) 团队领导/组长：由黑带或绿带担任
- (2) 核心成员：实施项目计划的人
- (3) 扩展成员：财务、供应商代表、流程专家等
- (4) 业务负责人：所在部门或流程的管理者
- (5) 倡导者
- (6) 项目指导人：MBB

3.3.2 团队发展阶段

阶段 1：形成期

- 被选为成员感到自豪
- 忐忑不安
- 新的团队经历
- 小心谨慎
- 不完全理解团队任务

阶段 2：震荡期

- 个人主义思考
- 外部忠诚的制约
- 态度动荡不定
- 对抗
- 完全理解团队任务

阶段 3：规范期

- 团队融合
- 高度协作
- 愿意沟通
- 冲突较少
- 关注团队目标

阶段 4：执行期

- 团队已经成熟
- 高度凝聚的单元
- 关注过程
- 感到满意
- 实现目标

3.3.3 团队动力与绩效

1.建立团队的技巧

选择成员要考虑：

- 具有团队精神
- 团队工作的经验
- 良好的沟通能力
- 愿意接受挑战
- 勇于揭露潜在的问题

团队建设的步骤：

- (1) 仔细分析任务，确定所需的技能组合和工作风格，以形成相互补充、相互促

进的组合：

- (2) 向每一位团队成员讲述团队愿景、目标及对个人的任务要求
- (3) 提供必要的技能培训
- (4) 共同建立团队规则
- (5) 监控进度，保证团队凝聚，并不断向目标迈进
- (6) 注意团队工作中的成绩，并给予祝贺

2. 指导团队的技巧

(1) 团队激励

- T (truth): 黑带应与团队成员坦诚沟通，分享经验
- A (accountable): 团队成员应该为自己的绩效负责
- R (respect): 本着正直与坦诚的原则，相互学习，交换心得
- G (growth): 团队成员经由学习而成长
- E (empowered): 让团队成员取得授权
- T (trust): 成员之间应互相信任

(2) 团队培训：一般由 **BB** 或 **MBB** 担任培训

3. 团队绩效评估

在项目团队的发展过程中，应当不断对项目团队的绩效进行评估，及时发现团队发展中的问题，也是向管理层反馈信息的手段。

3.3.4 团队工具

1. 头脑风暴法

一般分为三个阶段：第一阶段关注小组创造出的点子的数量；第二阶段需要审视这些点子，删除与实现目标无关的点子；第三阶段包括对筛选下来的点子做进一步的审视，并按小组的意见，对它们进行优先排序。

头脑风暴法过程如下：

(1) 头脑风暴的主题为小组接受，并用清晰的语句，以小组成员都能看到的方式写出来。

(2) 组织者向小组成员征求想法。

(3) 成员写下每个想法，不讨论、不分析、不批评。

(4) 这个过程延续到没有新的想法出现。

2. 名义组技术

处理头脑风暴想法的技术。

(1) 对想法列表进行整理，简化、合并，不重复

(2) 请每个参加者为各个想法进行等级评价

(3) 在每项旁记录全部参加者评出的等级

(4) 对每项等级评分求和。

(5) 选择方案

3. 多重投票法

多重投票法是使团队成员将想法统一起来的另一种方法。首先将所有想法列表，然后投票选择最适宜的想法，通常每人投的票数是总数的一半左右，得票多者保留，得票少者淘汰。重复上述过程，直到达到预期的项目数量。

4. 力场分析

库尔特·莱文提出的用于查看各种关系及影响其变化的因素。一个组织中的各种事情的当前状态被看成是一种平衡状态，维持这种平衡状态的是相反作用的两组力：驱动力推动变化，阻止力阻碍变化。一项改革不可能在阻力大于动力时发生，

增加动力或减小阻力都可以促进变革。

3.4 六西格玛项目监控与促进变革

3.4.1 项目跟踪和监控

1. 项目跟踪和监控原则

项目监控的目的在于预算内按时完成任务。根据项目目标进行测量，找出差距，解决问题。

在制定项目计划时，为了便于跟踪控制，项目计划中应该有里程碑（milestone）事件（Project 中某项工作的需要的时间为 0，则自动定义为里程碑事件）。对每项工作应该有明确的输出要求，实际测量是指团队通过一些手段来明确项目目前的进展情况。

2. 项目监控工具和方法

(1) 项目柔性分析

为了使项目得到有效控制，最好在制定项目计划时对项目柔性进行分析，根据分析结果，有针对性地调整项目。

某项目的柔性分析结果如下表：

不具有柔性	中等柔性	柔性最大
项目实施时间 项目目标	项目工作范围	项目所需资源 团队构成 培训

(2) 风险管理计划

- 风险识别：一般项目风险来自于两个方面，项目本身（不可控成分估计不足）和项目外部（外部环境变化或企业战略调整）。
- 风险评估：一般从风险发生后后果的严重性、风险发生的概率、及时发现风险的难易程度三个方面对风险进行评估。
- 风险管理：主要从三个方面制定风险预防计划，包括预防措施、应急措施、风险发生的临界定义。

(3) 建立阶段或里程碑汇报制度

建立 DMAIC 五个阶段的项目进展汇报机制。

3.4.2 促进变革

1. 变革管理

六西格玛项目实施的过程是一个流程变革、系统变革和文化变革的过程。项目管理中的沟通与变革管理是关系到项目成败的关键之一。

变革管理的根本目的是取得项目实施成功所必需的利益相关者的支持与承诺，同时促使全体员工接受并适应新的系统与业务流程。

变革带来的不确定性，促使人们比较利弊，并难以做出选择。

2. 项目成功的障碍

- 敌意/冲突——对新事物的敌意；
- 退却——知难而退，害怕承担责任；
- 各自为政——意见不一致，各行其是；
- 不适当、不完整的运用——不能做好学以致用；
- 宿命论——没信心，“这不可能成功”；
- 路径依赖——对现有规则的过分遵从或强调。

3. 谈判与冲突的解决技巧

项目负责人首先要对冲突持积极主动的正视态度。作为项目负责人，如果不能面对冲突，就可能造成团队成员对自己的不信任。要冷静地分析产生冲突的根源，最后要对冲突恰当地做出反应，有效解决冲突。

4、激励技巧

马斯洛五层需求理论：生存、安全、归属感、尊重、自我实现

- (1) 目的：明确项目目标
- (2) 积极主动：让团队成员按计划自主地管理个人发展
- (3) 分享收获：营造分享收获的氛围
- (4) 个人发展：多给成员提供施展才能的机会
- (5) 专业上认可：多创造展示专业水平的机会，得到领导和员工的认可。

5.沟通

沟通的目的是使团队统一思想，采取正确的行动。

- (1) 什么时间沟通？

应该随时保持良好的沟通，而不能等出现问题后再沟通。

- (2) 什么地点沟通？

轻松的环境有助于团队沟通取得好的效果。

- (3) 以什么方式沟通？

沟通方式多种多样的。沟通的目的是使团队统一思想，采取正确的行动。双向互动式的沟通非常重要。

为保持沟通效果，项目负责人必须做到：

- 以身作则，做一个良好的沟通模范；
- 肯定团队成员中优秀的沟通技巧；
- 建立团队的沟通制度；
- 不断进行培训和训练，提高沟通技巧；
- 提供面对面的、电子的或其他形式的沟通途径，鼓励频繁的、坦诚的沟通；
- 提供充分的、非正式交流机会，培养合作关系。

3.5 六西格玛项目管理和策划工具

3.5.1 亲和图

日本学者川喜田二郎（Kawakita Jiko）1970年提出，又称KJ法。

针对某一问题，充分收集各种经验、知识、想法和意见等语言、文字资料，通过图表进行汇总，并按其相互间的亲和性归纳整理，使问题得以明确，统一认识和协调工作，以便于问题的解决。

主要用途：

(1) 归纳思想，认识事物。对未知的事物或领域，广泛收集实际资料，并从杂乱无章的资料中整理出事物的相互关系和脉络，就某件事情达成共识。

(2) 打破现状和可能的束缚。

(3) 参谋筹划

(4) 贯彻方针

3.5.2 关联图

也称关系图，用于将关系纷繁复杂的因素，按原因结果或目的手段有逻辑地连接起来，理清复杂问题、整理语言文字资料的一种图形方法。

关联图主要用于：

✓ 界定六西格玛项目的范围和边界

✓ 原因分析：因素之间相互缠绕，或一个因素同时影响两个及两个以上问题

- ✓ 确认关键影响因素
- ✓ 拟订制造过程中预防不良品的措施
- ✓ 提出解决市场问题的措施
- ✓ 改进企业日常管理活动

3.5.3 树图

又称系统图，按照“主题-主要类别-组成要素-子要素”顺序，将主题分解或分层，以不断增加细节内容，旨在使笼统的主题分解成较小的部分，使之变得易于理解和解决。

树图有以下几种**类型及用途**：

(1) “目标-手段”类别：将欲实现的目标与需要采取的措施或手段系统地展开，以寻求最佳手段或措施，采用自左而右展开的较多；

(2) “问题-原因”类别：用于分析质量问题与其影响因素之间的因果关系，以寻求根本原因和对策措施，一般自而向右。

(3) 组织结构图：一般自上而下。

(4) 项目管理中的任务分解（WBS）用于分解项目管理的任务范围，一般采用自上而下的展开形式。

绘制系统图的**步骤**：

- ❑ 简明扼要地讲述清楚要研究的主题；
- ❑ 确定该主题的主要类别（主要层次），可利用亲和图中的主卡片，也可利用头脑风暴法中确定的主要层次来确定；
- ❑ 构造树图。把主题放在最左侧或最上侧的开始框内，把主要类别放在右面或下面的框内；
- ❑ 针对这个主要类别确定其组成要素和子要素，并依次画出；
- ❑ 评审画出的树图，确保无论在顺序上或逻辑上均没有差错和空当。

3.5.4 矩阵图（matrix diagrams）

所谓矩阵图，就是从问题的各种关系中找出成对要素，并按矩阵的形式把问题及与其有对应关系的各个因素按行和列排列成图，并在交叉点处标出两者之间的关系，从中确定关键点的方法。

可以利用矩阵图选择六西格玛项目：

	对质量的影响	对运转周期的影响	对成本的影响	对管理水平的影响	项目排序
项目 1					1
项目 2					2
项目 3					3
项目 4					4

3.5.5 优先矩阵图

优先矩阵图是树图和矩阵图的结合，帮助决策者确定所考虑的活动或者目标的重要程度。描述优先矩阵图的目的是促使团队重点关注对组织最重要的关键事项，帮助我们在有着不同收益的多种选择间进行优选。

优先矩阵图的建立和使用步骤：

(1) 建立一个矩阵图，将树图末端项目列为评价项目，并作为行和列的表头标题，

比较相互之间的重要性，计算权重得分。

10—非常重要 5—重要 1—同等重要 1/5—不太重要 1/10—非常不重要

(2) 对评价项目给出权重后，对所有可能的选择对照每一项目进行评分。需要建立新的矩阵，用来基于每一项目，对各个选择进行评估。

	第一辆车	第二辆车	第三辆车	第四辆车	行总和	行%
第一辆车		5	1/10	1/10	5.2	10.2
第二辆车	1/5		1/5	1/10	0.5	1.0
第三辆车	10	5		1/10	15.2	29.7
第四辆车	10	10	10		30	59.1

10—非常好；5—比较好；1—相同；1/5—有点不好；1/10—非常不好。

(3) 最终的矩阵将要比较的每个选择放在左边的表头，评价项目放在顶部表头，将来自上述矩阵的权重得分填入并相乘，对每个选择的得分相加，得分高者优先。

优先矩阵——汇总表

	便于操作	加速性	舒适性	价格	行总和	行%
第一辆车		$42.3 \times 10.2 = 431$				
第二辆车		$42.3 \times 1.0 = 42$				
第三辆车		$42.3 \times 29.7 = 1256$				
第四辆车		$42.3 \times 59.1 = 2500$				

3.5.6 过程决策程序图

过程决策程序图 (process decision program charts, PDPC 法): 为了完成某项任务或达到某个目标，在制定行动计划或进行方案设计时，预测可能出现的障碍和结果，并相应地提出多种应变计划的一种方法。(图略)

3.5.7 网络图

网络图也称箭条图或矢线图，利用网络图进行计划安排和优化的方法称为网络计划技术 (统筹法)。

网络图可以把各项作业之间的依赖和制约关系清晰地表示出来，找出影响工程进度的关键和非关键因素，进行统筹协调，合理利用资源，提高效率和效益。

网络图是一张有向无环图，显示了所有活动的先后关系。节点表示事件，箭头表示活动，箭头上的权值表示活动持续的时间。在网络图中路径最长的路径称为关键路径，其长度代表完成整个工程的最短时间，称为总工期。

紧前事件：箭头由 1 指向 2 表示事件 1 是事件 2 的紧前事件，一个事件可能有多个紧前事件。

虚活动：两个事件之间没有活动存在，但事件 2 必须等待事件 1 完成后才可以开始，则称为虚事件，用虚线箭头表示。完成虚活动不需要时间。

网络的交汇点：所有活动都指向的那个节点称为网络图的交汇点。

构造网络图时应遵循下列规则：

(1) 网络图中不能出现循环线路

(2) 如果一道工序与其他工序有共同的起始节点，就不能有共同的终止节点，需要增加虚事件

- (3) 箭线的首尾必须都有节点
- (4) 任何网络图只能有一个始点和一个终点。
- (5) 一张网络图中，每道工序只能出现一次。
- (6) 为便于检查和使用网络图，箭线方向一律指向或斜向右方，沿箭线方向节点编号由小到大。

(7) 网络图必须正确反映工序之间的逻辑关系。

构造网络图时应遵循下列规则：

(1) 网络图中每个活动都由一个箭头表示，且只有一个箭头。一个活动在网络图中不能出现两次，但一个活动可以分解为多个部分。

(2) 不能有两个活动从同一个事件指向同样的另一个事件。正确的做法是引入虚事件和虚活动。

(3) 为了保证网络图中事件和活动的先后关系正确，每添加一个活动时都应先回答下列问题：

- ◆ 该活动开始前必须完成哪些活动？
- ◆ 哪些活动是该活动的直接后继活动？
- ◆ 哪些活动必须和该活动同时发生？

3.6 六西格玛项目总结与成果评审

3.6.1 项目总结

1.总结的编写：要求文字精练、条理清楚、尽量用图表表达

- (1) 前言
- (2) 界定：项目背景、目标、计划、团队、流程分析等
- (3) 测量：过程输出绩效的测量、过程因素分析、过程因素测量、测量系统分析等。
- (4) 分析：FMEA、关键过程因素与输出绩效的回归、相关、假设检验、ANOVA等
- (5) 改进：DOE、解决方案的确定和实施等。
- (6) 控制：效果验证、收益评估、SPC、过程能力分析、标准化等。
- (7) 经验教训、遗留问题和下一步打算。

2.总结审核

3.移交

3.6.2 成果评审与分享

1.发布成果、评审与分享

- (1) 项目选择的合理性
- (2) 应用六西格玛理念方法和统计技能
- (3) 项目收益
- (4) 项目范围和推广应用前景
- (5) 发布人的思辨、表达、沟通、组织协调、回答问题等软性技能

2.成果激励

物质激励 精神激励

3.黑带和绿带认证

第四章 界定 界定阶段概述

1. 界定阶段工作内容

阐明团队使命，陈述价值、问题和机会，识别需要改进的问题或流程输出 Y 及其测量标准，确定项目关注的领域或流程，确认顾客的关键需求，并将其转换为过程输出的关键质量特性（CTQ），明确项目目标，预测项目收益，确定项目团队成员，制定项目计划，决定要进行测量、分析、改进和控制将改进项目界定在合理的范围内。所有这些工作的结果，将纳入项目立项表（project charter）或特许任务书的文件，并得到主管领导以及倡导者的批准。

2.D 阶段目标、工具和目的

步骤	常用工具	主要输出与目的
1.项目任务书 2.项目背景 3.问题陈述 4.项目范围 5.现状及目标 6.财务收益 7.项目组织架构 8.项目日程计划	头脑风暴法，力场图，亲和图，因果图，5W1H，柏拉图，RTY，利益相关者分析，树图，顾客声音（VOC），SIPOC 图，组织结构图，甘特图，质量功能展开（QFD），不良质量成本，平衡计分卡，项目管理	<ul style="list-style-type: none">项目选择背景、价值确定项目基线和改进目标确定项目涉及范围预测财务收益建立项目团队并明确职责制定项目推进计划完善项目授权书

4.1 界定项目范围

4.1.1 确认顾客关键需求

确认顾客的关键需求，是六西格玛项目工作中重要的一步。顾客（内部和外部）只有在其需求得到充分理解并获得满足后，才会满意和忠诚。当顾客的需求被正确理解并被恰当的转换为过程输出的关键质量特性（critical to quality, CTQ）时，项目才具备了展开的基础。

1. 识别顾客

在项目界定阶段，团队需要明确项目所关注的顾客，并且确定这些顾客的需求和关键要求。

在项目界定阶段，需要识别项目需要关注的主要顾客是谁以及他们的要求是什么。

- 当前满意的顾客
- 当前不满意的顾客
- 失去的顾客
- 竞争对手的顾客
- 未来的潜在顾客

2. 确定顾客关键要求

在识别项目的顾客的基础上，需要确定顾客的关键需求。常用的调查方式：

- 问卷调查
- 焦点小组调查
- 顾客访问
- 从顾客投诉系统获得信息
- 市场调查

有时需要对顾客需求进一步展开，并将其转化为具体可测量的要求，并细化到团队可以把握的层次，便于项目的开展。常用的工具有树图、QFD 等。

4.1.2 过程的 SIPOC 分析

1.SIPOC 图的构成

SIPOC 图，也称高端流程图：

供方 (supplier)：提供输入的组织和个人，六西格玛专指向过程提供关键信息、材料或其他资源的个人和组织，供方可以是内部的或外部的。

输入 (input)：供方提供的信息和资源，包括人员、机器、材料、方法、环境等。

过程 (process)：将输入转化为输出的活动。

输出 (output)：过程的结果。

顾客 (customer)：接受输出的人、组织或过程。

2.SIPOC 图的绘制步骤

(1) 用一块足够大的墙面或白板，用小纸条来讨论和列写过程的供方、输入、过程、输出和顾客，直到最后确定它们。

(2) 过程的步骤不宜列写得过细，用 4~5 个关键宏观步骤来表达从输入到输出的核心业务过程。

(3) 团队先讨论过程的输出是什么。过程有哪些结果（产品或服务）产生？应该包括哪些内容？过程的输出点或结束点应该在什么地方？

(4) 列出过程输出的顾客。谁是过程结果的用户/使用者？

(5) 列出过程的输入。过程的输入来自何处？

(6) 列出提供输入的供方。谁是关键的供方？

(7) 顾客的主要要求是什么？

(8) 与团队的负责人、流程主管、倡导者以及其他相关方一起，确定项目的 SIPOC 图。

4.1.3 关键过程输出变量的确定——排列图法

1.关键过程输出变量

对满足顾客要求极其重要的过程输出变量（KPOV）。

2.用排列图确定过程的关键输出变量

步骤 1：收集过程输出在某时间段内的数据，并确定过程输出中有哪些不符合顾客要求的缺陷项。

步骤 2：将各项缺陷发生的频数按从小到大的顺序排列，计算各自占总缺陷数的比例（%）和累计比例（%）。

步骤 3：将横坐标按从大到小的顺序，依次列出各种缺陷项。

步骤 4：以左侧纵坐标为缺陷发生频数，右侧纵坐标为比例（%）。

步骤 5：在横坐标上的每个缺陷项处，画出与其发生频数对应的矩形。

步骤 6：由左至右累加每个缺陷项的比例，画出累计频率曲线。

加权排列图：根据各类缺陷对顾客满意的影响设置不同的权重。

某单位带钢产品缺陷加权排列图计算表：

缺陷类型	权重	发生频数 (2008 年 1 月-12 月)	加权 频数	累计加 权 缺陷数	比例 (%)	累计比 例 (%)
A.板形不符合要求	8	27	216	216	78.9	78.9
B.折弯裂	10	3	30	246	11	89.9
C.表面孔洞	10	1	10	256	3.6	93.5
D.性能不合	8	1	8	264	2.9	96.4

E.其他	5	2	10	274	3.6	100
合计		34			100	

4.1.4 项目的利益相关方分析

相关方：与组织的业绩或成就有利益关系的个人或团体（五大利益相关方）。

- 被项目结果所影响的部门或人；
- 影响项目结果的部门或人；
- 有决定权的人；
- 提供资源的部门或人；
- 流程的相关专家；
- 为项目提供数据/信息的部门或人。

4.2 确定项目测量指标

4.2.1 关键质量特性 CTQ 的树图展开

构建 CTQ 树图的步骤如下：

- 识别顾客；
- 识别顾客需求；
- 识别第一层顾客需求；
- 逐层细化到适当的层次；
- 确认这些需求，以确保 CTQ 树图反映顾客需求。

4.2.2 建立测量指标

1. 选出要测量什么

在选择测量指标时应注意测量指标对问题分析的价值，以及收集数据的可行性和难易程度。

可用性/测量指标的价值	可行性/难易程度
● 与重要的顾客要求有关	● 是否有历史数据供分析使用
● 能准确表达顾客要求的满足程度	● 测量周期是否很长
● 易于暴露问题和改进机会	● 测量是否复杂
● 可以作为与其他组织进行对比的标杆	● 是否与其他测量指标冲突
● 可以持续测量并提供有价值的信息	● 是否可以重复和再现

2. 用 CTQ 树图来确认测量

3. 测量指标的细化及测量评估

4.2.3 测量项目的西格玛水平（见第二章 2.3.1 和第五章能力分析）

4.3 编制和完善项目立项表

4.3.1 项目背景

- 什么是本企业或经营战略所关注的问题？为了达到企业的战略目标，当前遇到的首要问题是什么？
- 为什么这是值得关注的问题？
- 如果业务流程或经营情况不改变的话，将会产生什么后果？企业的经营损失是什么？

按照 5W1H 回答“为什么要实施这个六西格玛项目？”。

4.3.2 问题/机会和目标的陈述

1.问题/机会的陈述

(1) 问题陈述准则。一个有效的问题/机会的陈述必须遵守以下几个准则：

- **具体的**。明确地说明问题是什么。
- **客观的**。描述了问题/机会可见的迹象，问题发生在哪里？
- **可测量的**。这问题有多严重？已发生了什么影响？用量化的语言来回答这些问题。
- **可控的**。阐述的问题是否属于本企业职能范围内的？能否在规定的时间内（一般为 4~6 个月）解决？如果一个问题太大，它应该分解成若干个较小的可控的项目。

(2) 问题陈述注意事项：

- 陈述观点时，不应包含造成缺陷的原因。
- 不应提出一个改进方案。
- 陈述问题时，不对相关责任人员加以指责。
- 不要将几个问题集中在一个问题的陈述中。

2.目标陈述（见 SMART 节内容）

3.目标的度量

项目目标的度量指标有：西格玛水平、周期时间、能力指数、DPMO、RTY、COPQ 等。

4.3.3 项目范围、约束和团队任务

1.项目范围

可用 SIPOC 图确定。

2.项目约束

- 项目计划能够结束的时间多长？什么时候是最后期限？
- 团队有多少工作时间能够投入到项目计划中？
- 团队能使用的资源有多少？
- 团队能否吸引企业内部的其他人来参加项目？企业外部的呢？
- 设备、设施的使用是否满足项目实施的要求？

3.团队的任务

- 问题陈述是否明确指出了项目欲解决的问题？
- 问题陈述描述了哪些缺陷和现象？
- 问题陈述暗示了原因，提示改进方法或给予责任人员责任了吗？
- 用什么措施来保证团队的职责与项目范围相适应？
- 团队成员来自于项目所涉及的相关部门吗？（若没有，应建议团队组织作怎样的改变？）
- 项目是可控的吗？
- 项目目标是否符合 SMART 原则？
- 如何测量（用通用术语描述团队将如何测量它）？

4.3.4 项目计划（[Gantt 图](#)）

4.3.5 项目立项表样例

第五章 测量

界定阶段概述：

1.测量阶段工作内容

测量阶段的工作重点是在界定阶段工作的基础上，进一步明确 Y 的测量，并通过收集 X 和 Y 的测量数据，定量化地描述 Y。特别是通过过程分析，认识 Y 的波动规律，揭示过程改进的机会，识别实现项目目标的可能途径和改进方向。

2.M 阶段目标、工具和目的

步骤	常用工具	主要输出与目的
1.针对 Y 的测量系统分析 2.流程能力分析 3.分析当前流程图 4.影响因素识别与筛选 5..快速改善及效果验证 6.测量阶段结论	排列图，不良质量成本，因果图，水平对比法，散布图，直方图，流程图，趋势图，测量系统分析，检查表，FMEA，抽样计划，过程能力分析，C&E 矩阵，控制图	<ul style="list-style-type: none">● 测量系统的分析；● 流程能力现状确认；● 原因变量识别；● 原因变量筛选；● 改善效果的验证；● 确定进一步分析的原因变量。

5.1 过程分析与文档

进行过程分析的目的是：

- (1) 使项目团队对准备改善的过程达成一致认识；
- (2) 对产生问题或缺陷的区域进行定位；
- (3) 识别不增值步骤，以便加以改进；
- (4) 将过程步骤的现状记录并形成文档，与改善后的状况进行对比。

5.1.1 流程图

1.绘制流程图的常用符号

2.绘制流程图的步骤

- (1) 判定过程的开始点和结束点；
- (2) 观察从开始到结束的整个过程；
- (3) 识别过程中的步骤（包括主要活动、判断、决策点等），以及各个步骤或活动的流向和相互关系。
- (4) 绘制出上述步骤，形成流程图草图。
- (5) 团队成员就此草图进行充分的讨论并达成一致。
- (6) 形成正式文档。

3.流程图实例（略）

5.1.2 因果图与因果矩阵

1.因果图

因果图又称石川馨图，或称鱼刺图，是以结果作为特性，以原因作为因素，在它们之间用箭头联系起来表示因果关系，它是揭示过程输出缺陷或问题与其潜在原因之间关系的图表，也是表达和分析其因果关系的重要工具和文档。（图略）

2.因果矩阵

当预期解决的问题比较复杂，有多种缺陷形式且它们的影响因素相互关联，无法将它们分开来考察和解决时，可以采用因果矩阵（cause and effect matrix）分析。

5.1.3 其他过程分析工具与文档

3.FMEA

过程失效模式与后果分析（Process Failure Modes and Effects Analysis, PFMEA）是一种综合分析技术，主要用来分析和识别工艺生产或产品制造过程可能出现的失效模式，以及这些失效模式发生后对产品质量的影响，从而有针对性地制定出控制措施，以有效地减少工艺生产和产品制造过程中的风险。

PFMEA 通过对工艺产品和产品制造过程要求和功能的系统分析，凭借以往的经验 and 过去发生的问题，在最大范围内充分考虑到那些潜在的失效模式及其相关的起因和后果，从而解决在产品生产过程中的关键问题。

PFMEA 包括以下几个关键步骤：

- (1) 确定与工艺生产或产品制造过程相关的潜在失效模式与起因。
- (2) 评价失效对产品质量和顾客的潜在影响。
- (3) 找出减少失效发生或失效条件的过程控制变量，并制定纠正和预防措施。
- (4) 编制潜在失效模式分级表，确保严重的失效模式得到优先控制。
- (5) 跟踪控制措施的实施情况，更新失效模式分级表。

5.2 概率论与数理统计基础

5.2.1 概率论基础知识

(一) 基本概念

- 1、**统计学** (statistics)：收集、处理、分析、解释数据并从中得出结论的科学。
- 2、**描述统计** (descriptive statistics)：研究数据收集、处理和描述的统计学分支。
- 3、**推断统计** (inferential statistics)：研究如何用样本数据来推断总体特征的统计学分支。
- 4、**总体** (population)：包含所研究的全部个体（数据）的集合，称为总体。根据所包含的单位数目是否可数可以分为有限总体和无限总体，区分有限总体和无限总体的目的是判别每次抽样是否独立。
- 5、**样本** (sample)：从总体中抽取的一部分元素的集合称为样本。
- 6、**样本量** (sample size)：构成样本的元素的数目称为样本量或样本容量。
- 7、**参数** (parameter)：用来描述总体特征的概括性数字度量称为参数。参数包括均值、标准差、比例等。一般用希腊字母表示。
- 8、**统计量** (statistics)：用来描述样本特征的概括性数字度量称为统计量。通常用英文字母表示。

(二) 概率论基础知识

1、试验、事件和样本空间

试验：对一个或多个试验对象进行一次观察或测量的过程称为一次试验。

试验的特点：

- (1) 可以在相同条件下重复进行；
- (2) 每次试验的可能结果不止一个，但试验的所有可能结果在试验之前是确切知道的；
- (3) 在试验结束之前，不能确定该次试验的确切结果。

例：抛掷一枚均匀硬币；投掷一枚骰子；从一批次品率为 p 的产品中随机抽取一件，观察其是正品还是次品

事件：试验的结果称为事件。也称为随机事件，通常用大写英文字母 A、B、C 表示。

基本事件：不能被分解成其他事件组合的事件，又称为简单事件。

必然事件：在一定条件下一定发生的事件。用 Ω 表示。

不可能事件：在一定条件下一定不发生的事件。用 ϕ 表示。

样本空间：一项试验中所有可能结果的集合称为样本空间，用 Ω 表示。

样本点：样本空间中每一个特定的实验结果，称为样本点。用 ω 表示。

2、概率

(1) 事件 A 的概率是对事件 A 在试验中出现的可能性大小的一种度量

(2) 表示事件 A 出现可能性大小的数值，事件 A 的概率表示为 $P(A)$

概率的统计定义：在相同条件下进行 n 次随机试验，事件 A 出现 m 次，则比值 m/n 称为事件 A 发生的频率。随着 n 的增大，该频率围绕某一常数 p 上下摆动，且波动的幅度逐渐减小，趋向于稳定，这个频率的稳定值即为事件 A 的概率，记为：

$$P(A) = \frac{m}{n} = p$$

3、概率的性质和运算法则（见书 130-131）

概率具有以下基本性质：

性质 1：对任一随机事件 A ，有 $0 \leq P(A) \leq 1$ 。

不可能事件的概率为 0，必然事件的概率为 1， $P(\phi) = 0$ ， $P(\Omega) = 1$ 。

性质 2：事件 A 的对立事件 \bar{A} ，有 $P(A) + P(\bar{A}) = 1$ 。

性质 3：若 $A \supset B$ ，则 $P(A-B) = P(A) - P(B)$ 。

性质 4：加法法则。

事件 A 与事件 B 的并的概率为 $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(AB)$ 。

当事件 A 与事件 B 不相容时， $P(AB) = 0$ ，则 $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ 。

此性质可推广到多个两两互不相容的随机事件 A_1, A_2, \dots, A_n ，则

$$P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n)$$

性质 5：乘法法则。

每一个随机试验都是在一定条件下进行的，这里要讨论的条件概率，是当试验结果的部分信息已知时，如当某一事件 B 已经发生时，事件 A 发生的概率，称这种概率为事件 B 发生条件下事件 A 发生的条件概率，记为 $P(A | B)$ 。计算公式为：

$$P(A | B) = \frac{P(AB)}{P(B)}, P(B) > 0$$

对任意两个事件 A 与 B ，有

$$P(AB) = P(B | A) P(A) = P(A | B) P(B)$$

这就是概率的乘法法则。其中，第一个等式成立要求 $P(A) > 0$ ，第二个等式成立要求 $P(B) > 0$ 。

当两个事件中不论哪一个事件发生与否都不影响另一个事件发生的概率时，则称这两个事件相互独立。即 $P(A | B) = P(A)$ ， $P(B | A) = P(B)$ 。其乘法原则简化为：

$$P(AB) = P(A)P(B)$$

二、随机变量及其分布

1、随机变量

随机试验：在同一组条件下，对某事物或现象所进行的观察或试验叫随机试验（Experiment）。

随机事件：随机试验的结果叫随机事件。

随机变量：如果随机试验的每种结果都可以用一个数字表示，则称此变量为随机变量。

离散型随机变量：只能取有限个或可能个值的随机变量。

连续性随机变量：可以取一个或多个区间中任何值的随机变量。

2、离散型随机变量及其分布

离散型随机变量的概率分布：列出随机变量 X 的所有可能取值以及每个值的概率，并用表格的形式表现出来，称为离散型随机变量的概率分布。

3、连续性随机变量及其分布

(1) 概率密度函数

连续型随机变量可理解为“可以取某一个或若干个区间内任意数值的随机变量”。一组样本数据绘制直方图，随着数据的不断增加，频率区域稳定，连接直方图每个矩形上方中点接近一条光滑的曲线，频率的稳定值就是概率，单位长度上的概率简称概率密度，这条曲线的函数即为概率密度函数。

概率分布是总体分布的理论（数学）模型，特别是总体相对频数分布的理论模型。描述连续型随机变量分布最重要和最基本的工具。概率密度函数需要满足 3 个条件：

(1) $p(x) \geq 0$, 概率密度函数为非负函数

(2) $\int_{-\infty}^{+\infty} p(x)dx = 1$, 概率密度函数曲线与实轴围成的面积为 1

(3) $P(a \leq X \leq b) = \int_a^b p(x)dx$, 区间 $[a, b]$ 上的概率可由概率

密度函数在该区间上求积分得到

$$P(a \leq X \leq b) = P(a < X < b) = P(a < X \leq b) = P(a \leq X < b)$$

(2) 累积分布函数（累积概率）

对于随机变量 X ，设 x 为任意实数，则函数

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x p(t)dt$$

称为随机变量 X 的分布函数（累积概率）。

■ 分布函数 F 在 x 处的取值，就是随机变量 X 的取值落在 $(-\infty, x)$ 上的概率。

在某一个区间 $[a, b]$ 上的概率可以由概率密度函数在该区间上求积分得到，也就是区间上限的累积分布函数减去区间下限的累积分布函数。

■ 分布函数（逆累积概率）已知概率值求临界点

■ 随机变量的分位数

“长江三峡可以抵御百年一遇的洪水”是什么意思？

随机变量的分位数：随机变量 X 的取值比某个数大的概率为 $1/T$ ，则称此数为“ T 年一遇”。

三、描述性统计

1、集中趋势的度量

(1) **众数 Mo ：**出现频数最多的变量值。

(2) **中位数 Me ：**排序后处于中间位置的变量值。

$$\tilde{X} = \begin{cases} X_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}, n \text{ 为奇数} \\ \frac{1}{2} \left(X_{\left(\frac{n}{2}\right)} + X_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right), n \text{ 为偶数} \end{cases}$$

(3) **四分位数**

第一四分位数：首先将样本从小到大排序，记其中的第 i 名为 $X(i)$ 。对于 n 个数，求出

$(n+1)/4$ ，整数部分记为 k ，小数部分记为 f ，则：

$$Q1 = X(k) + f \times (X(k+1) - X(k))$$

第三四分位数：首先将样本从小到大排序，记其中的第 i 名为 $X(i)$ 。对于 n 个数，求出 $3 \times (n+1)/4$ ，整数部分记为 k ，小数部分记为 f ，则：

$$Q3 = X(k) + f \times (X(k+1) - X(k))$$

(4) 众数、中位数、均值三者之间的关系

(5) 均值 μ

$$\text{未分组数据 } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{分组数据 } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i f_i}{n}$$

(6) 众数、中位数、均值三者之间的关系

众数是一组数据分布的峰值，不受极端值的影响，但缺点是有可能不唯一，适合于分类数据的集中趋势测度值；中位数是一组数据中间位置上的代表值，在数据分布偏斜程度较大时适合作为数值型数据集中趋势的测度值；均值利用了数据的全部信息，当数据对称或接近对称时，应选择均值作为集中趋势的代表值。

2、离散程度的度量

(1) 极差：一组数据的最大值与最小值之差

(2) 方差：各变量与其平均值离差平方和的平均数

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

(3) 标准差：方差的平方根，量纲与变量值相同。

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

方差性质：

1. $V(C) = 0$

2. $V(aX) = a^2 V(X)$

3. $V(aX + b) = a^2 V(X)$

4. $V(X_1 \pm X_2) = V(X_1) + V(X_2)$

5. $V(aX_1 \pm bX_2) = a^2 V(X_1) + b^2 V(X_2)$

6. 如果有 n 个随机变量独立且方差相等（记为 σ^2 ），则：

$$V(X_1 + X_2 + \dots + X_n) = n\sigma^2$$

$$V(\bar{X}) = V\left(\frac{1}{n}(X_1 + X_2 + \dots + X_n)\right) = \frac{\sigma^2}{n}$$

(4) 四分位间距 $IRQ = Q3 - Q1$

标准差最常用，对离散状况有较好的代表性，与样本量关系不密切，但缺点是对异常值敏感；极差与样本量关系密切，对异常值敏感，但计算简单；四分位间距与样本量关系不密切，对异常值不敏感，是所有离散状况度量的统计量中最稳健的。

3、偏态与峰态的度量（样本数据）

(1) **偏态系数 (偏度):** 数据分布不对称性的度量值

$$b_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \frac{(x_i - \bar{x})^3}{s^3}$$

正偏 (右偏) 偏态系数为正, 负偏 (左偏) 偏态系数为负

(2) **峰态系数 (峰度):** 对数据分布峰态的度量值。

$$b_k = \frac{n(n-1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{x})^4}{S^4} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

5.2.3 数学期望、均值及方差

1、数学期望

可以看做各种可能结果的加权平均。

均值、方差与标准差都是重要的数学期望。

2、离散型随机变量的数学期望

离散型随机变量的数学期望: 离散型随机变量的数学期望是 X 所有可能取值 $x_i (i=1, 2, \dots)$ 与其相应的概率 $p_i (i=1, 2, \dots)$ 的乘积之和, 用 μ 或 $E(X)$ 表示。数学期望又称均值。

$$\mu = E(X) = \sum_i x_i p_i$$

方差: 离散型随机变量的方差等于 $(x_i - \mu)^2$ 与其相应的概率 p_i 的乘积之和, 用 σ^2 或 $D(X)$ 表示。

$$\sigma^2 = D(X) = V(x) = \text{var}(x) = \sum_i (x_i - \mu)^2 p_i$$

5.2.4 常用的离散分布

1、两点分布

只有两种可能结果的试验, 称为伯努利试验。若定义一次伯努利试验成功的次数为离散型随机变量 X , 它的概率分布就是简单的一个分布类型, 即两点分布, 也称为伯努利分布。

两点分布: 如果随机变量 X 只可能取 0 或 1 两个数值, 它们的概率分布为:

$$P(X=1)=p, \quad P(X=0)=1-p$$

或 $P(X=x)=pxq^{1-x}, 0 < p < 1$, 则称 X 服从参数为 p 的两点分布, 也称 0-1 分布。

$$E(X)=p \quad V(X)=\text{var}(X)=p(1-p)$$

两点分布实际上是二项分布的一个特例。即 $B(1, p)$, 它只有一个参数 p 。

2、二项分布

n 重伯努利试验满足下列条件:

- (1) 一次试验只有两种可能结果, “成功”“失败”
- (2) 一次试验“成功”的概率为 p , “失败”的概率为 $q=1-p$
- (3) 试验相互独立
- (4) 试验可重复进行 n 次
- (5) 在 n 次试验中, “成功”的次数对应一个离散型随机变量。

在 n 次试验中, 出现“成功”的次数的概率分布就是二项分布。

在 n 次试验中, 出现 x 次成功的概率为:

$$P(X=x) = C_n^x p^x q^{n-x}, x=0, 1, 2, \dots, n$$

称随机变量 X 服从参数为 (n, p) 的二项分布, 记作 $X \sim B(n, p)$ 。

$$\mu = E(X) = np \quad V(X) = \text{var}(x) = npq = np(1-p), \quad \sigma(X) = \sqrt{np(1-p)}$$

当抽样的样本量小于有限总体其个体总数的 10% 时，二项分布可以作为超几何分布的近似。

二项分布的参数 n 足够大（比如超过 100），参数 p 不是太大或太小（ $0.1 < p < 0.9$ ），二项分布 $B(n, p)$ 可以用正态分布 $N(np, np(1-p))$ 近似。

3. 泊松分布

如果随机变量 X 的概率分布的一般表达式为：

$$P(X = x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}, x = 0, 1, 2, \dots \quad \lambda > 0$$

则称 X 服从参数为 λ 的泊松分布，记作 $X \sim P(\lambda)$

泊松分布的数学期望和方差相等，均为 λ ， λ 一定是没有量纲的常数。

$$E(X) = \lambda, \text{var}(x) = \lambda, \sigma(x) = \sqrt{\lambda}$$

泊松分布应用广泛，可用来描述不少随机变量的分布。如：

- (1) 一定时间内接错电话的次数；
- (2) 一定时间内某操作系统发生的故障数；
- (3) 一只铸件上的缺陷数；
- (4) 一平方米玻璃上的气泡数；
- (5) 一件产品擦伤留下的痕迹数；
- (6) 一页书上的错字数。

二项分布当 n 较大（超过 100），如 p 很小（ $p < 0.05$ 且 $np < 30$ ），则二项分布 $B(n, p)$ 可以用 Poisson 分布 $P(np)$ 近似。

例：一条高速公路每天车流量为 10000，发生车祸的概率 $p = 0.0003$ 。 $np = 3$ ，笼统说“每天在此高速公路上平均发生 3 次车祸”，就变成泊松分布 $P(3)$ ，二者数值非常接近。

均值“可分性”：在单位换算时，Poisson 分布的性质不变，限于被分割或被合并成的总份数很少的情况下成立。

4、超几何分布

有限总体的无放回抽样（与二项分布的区别）产生超几何分布。总体中有 N 个个体，其中 M 个具有特征 A ，从中无放回抽取 n 个，得到超几何分布。

如果随机变量 X 的概率分布为：

$$P(X = x) = \frac{C_M^x C_{N-M}^{n-x}}{C_N^n}, x = 0, 1, 2, \dots, l$$

则称 X 服从参数为 n, N, M 的超几何分布，记为 $X \sim H(n, N, M)$ 。超几何分布有三个参数 n, N, M 。

超几何分布的数学期望和方差分别为：

$$E(X) = np \quad V(X) = \text{var}(X) = np(1-p) \frac{N-n}{N-1}, p = \frac{M}{N}$$

如果总体中元素个数 N 很大，使得 M 的有限变化相对于 N 影响轻微（ $\left(\frac{n}{N}\right) \leq 5\%$ 时），

则超几何分布趋向于二项分布。

$$\frac{C_M^x C_{N-M}^{n-x}}{C_N^n} \xrightarrow{N \rightarrow \infty} C_n^x p^x q^{n-x}, \text{其中 } p = \frac{M}{N}$$

5.2.5 常用的连续分布

1、正态分布

如果随机变量 X 的概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty$$

则称 X 为正态随机变量, 或称服从参数为 μ, σ^2 的正态分布, 记作 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ 。

正态分布的概率密度函数 $f(x)$ 具有下述特点:

- (1) 曲线的图形是一个单峰钟型曲线, 它是关于直线 $x = \mu$ 对称的;
- (2) 曲线在 $x = \mu$ 处达到最高点, 从这个最高点出发, 向正负两个方向下降, 无限逼近横轴 (x 轴), 这条曲线与横轴所围的面积等于 1。而且, 曲线下在 $\mu - \sigma$ 与 $\mu + \sigma$ 之间的面积为 0.6826, 在 $\mu - 2\sigma$ 与 $\mu + 2\sigma$ 之间的面积为 0.9545, 在 $\mu - 3\sigma$ 与 $\mu + 3\sigma$ 之间的面积为 0.9973。
- (3) 正态分布由参数 μ 和 σ 完全确定。 μ 反映了正态分布的中心位置和相应随机变量取值的集中位置。 σ 反映了分布的分散程度。

2、标准正态分布

$\mu = 0, \sigma = 1$ 的正态分布称为标准正态分布

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}, -\infty < x < \infty$$

标准正态分布的 $\mu = 0, \sigma = 1$ 。

2、均匀分布

如果随机变量 X 的概率密度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a \leq x \leq b, a < b \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

则称 X 服从区间 $[a, b]$ 上的均匀分布, 记作 $X \sim U(a, b)$

随机变量 X 在区间 $[a, b]$ 服从均匀分布, 意味着 X 落在区间 $[a, b]$ 中任意等长度的子区间内的可能性相同, X 落在子区间内的概率只依赖于子区间的长度。

$$E(X) = \frac{a+b}{2} \quad V(X) = \frac{(b-a)^2}{12}$$

3、指数分布

如果随机变量 X 的概率密度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \lambda > 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad f(t) = \begin{cases} \frac{1}{b} e^{-\frac{t}{b}}, & t \geq 0, \lambda > 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

则称 X 参数为 λ 的指数分布, 记作 $X \sim E(\lambda)$

λ 代表瞬时失效率, b 称为“尺度参数”, $\lambda = 1/b$

$$E(X) = \frac{1}{\lambda} \quad V(X) = \frac{1}{\lambda^2}$$

4、对数正态分布

某数据的对数服从正态分布，则称该数据服从对数正态分布。如针刺麻醉的镇痛效果、英语单词的长度、流行病的蔓延时间、电器寿命、化学反应事件、绝缘材料的被击穿事件、产品维修事件等。

5、威布尔分布

瑞典科学家威布尔 1939 年提出，寿命试验和可靠性理论的基础。

$$p(x) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta} (x-\gamma)^{\alpha-1} e^{-\frac{(x-\gamma)^\alpha}{\beta}}, & x \geq \gamma \\ 0, & x < \gamma \end{cases}$$

式中 $\alpha > 0$ 称为形状参数， $\gamma \geq 0$ 称为位置参数， $\beta > 0$ 称为尺度参数，记为 $X \sim W(\alpha, \beta, \gamma)$

当 $\gamma = 0$ ， $\alpha = 1$ 时，简化为：

$$p(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}}, & x \geq \gamma \\ 0, & x < \gamma \end{cases} \quad \text{令 } \lambda = \frac{1}{\beta}, \text{ 得 } p(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

5.2.6 中心极限定理

1、随机变量独立同分布的概念

随机变量 X_1 与 X_2 独立，是指 X_1 的取值与 X_2 的取值互不影响。

随机变量 X_1 与 X_2 同分布，是指 X_1 与 X_2 具有相同的分布形状和相同的分布参数，对离散型随机变量具有相同的概率函数，对连续型随机变量具有相同的概率密度函数。一般来说，在相同条件下，进行两次独立试验，则这两次试验结果对对应的随机变量是独立同分布的。

独立同分布的特性可以推广到三个或更多个随机变量。

2、独立同正态分布随机变量的重要性质

定理 1：设 X_1, X_2, \dots, X_n 是 n 个独立同正态分布的随机变量， $X_i \sim N(\mu, \sigma^2)$ ，则：

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \text{ 仍为正态分布，其均值不变，}$$

方差缩小 n 倍，若把 \bar{X} 的方差记为 $\sigma_{\bar{X}}^2$ ，则 $\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{\sigma^2}{n}$ ，即 $\bar{X} \sim N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$

3、中心极限定理

(1) $X_1 + X_2 + \dots + X_n = \sum_{i=1}^n X_i$ 近似服从均值为 $n\mu$ ，方差为 $n\sigma^2$ 的正态分布 $N(n\mu, n\sigma^2)$

(2) $\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ 近似服从均值为 μ ，方差为 $\frac{\sigma^2}{n}$ 的正态分布 $N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$

当 X_i 的分布对称时，只要 $n \geq 5$ 近似效果比较理想；

当 X_i 的分布非对称时，一般 $n \geq 30$ 近似效果比较理想。

统计学上把 \bar{X} 的标准差称为均值的标准误，记为 $\sigma_{\bar{X}}$ 或 SEM ，无论正态还是非正态

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

5.2.7 统计量与抽样分布

1、三种不同性质的分布

(1) **总体分布**: 总体中各元素的观测值所形成的相对频数分布称为总体分布。

(2) **样本分布**: 从总体中抽取一个容量为 n 的样本, 由这 n 个观测值形成的相对频数分布, 称为样本分布。

(3) **抽样分布**: 某个样本统计量的抽样分布, 从理论上说就是在重复选取容量为 n 的样本时, 由该统计量的所有可能取值形成的相对频数分布。

2、抽样分布的概念

3、样本均值的抽样分布

定义: 在重复选取容量为 n 的样本时, 由样本均值 \bar{X} 的所有可能取值形成的相对频数分布称为样本均值的抽样分布。

(1) 总体服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 时, 样本均值服从正态分布 $N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$, 转换为标准正态分布, 则:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \sim N(0, 1)$$

当总体标准差 σ 已知, 样本均值 \bar{X} 进行标准化转换后, 可以得到标准正态分布。

(2) 当总体标准差未知, 用样本标准差 S 代替总体标准差, 样本均值的抽样分布服从自由度为 $n-1$ 的 t 分布。即:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S / \sqrt{n}} \sim t(n-1) \quad \text{式中 } S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

由于总体标准差 σ 常常是未知的, 因此 t 统计量常被用来进行有关单个正态总体均值和两个正态总体均值之差等问题的参数估计和假设检验。

4、正态样本方差的 S^2 的分布——卡方分布

若 X_1, X_2, \dots, X_n 是从样本量为 n 的 $N(\mu, \sigma^2)$ 正态总体中抽出的

一组独立随机样本, 记 $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ 。

则当 μ 已知时, $\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \mu)^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n)$

当 μ 未知时, $\chi^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \mu)^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1)$

卡方分布的概率密度函数在正半轴上呈正偏分布。

卡方分布的性质:

(1) 卡方分布的变量值始终为正。

(2) 卡方分布的形状取决于其自由度 n 的大小, 通常为不对称的右偏分布, 但随着自由度的增大逐渐趋于对称。

(3) 卡方分布的可加性: 设 X 和 Y 彼此独立, 且都服从卡方分布, 其自由度分别为 n_1, n_2 , 若令 $Z=X+Y$, 则 Z 服从自由度 n_1+n_2 的卡方分布。

(4) 若 $X \sim \chi^2(n)$, 则 $E(X) = n, V(X) = 2n$

5、两个独立的正态样本方差之比的分布—— F 分布

设有两个独立的正态总体 $N(\mu_1, \sigma^2)$ 和 $N(\mu_2, \sigma^2)$, X_1, X_2, \dots, X_n 是来自 $N(\mu_1, \sigma^2)$ 的一个样本, Y_1, Y_2, \dots, Y_m 是来自 $N(\mu_2, \sigma^2)$ 的一个样本, 两个样本相互独立, 两样本方差之比是自由度为 $n-1$ 和 $m-1$ 的 F 分布:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2} \sim F(n-1, m-1)$$

5.3.1 数据类型与测量尺度

1、数据的类型

分为连续型数据的离散型数据。连续性数据对测量手段要求较高（测量成本较高），但信息量比较丰富；离散型数据在反映过程变化方面不如连续型数据敏感，往往需要较大的样本量或较长的测量周期才能得出结论。

六西格玛项目在收集数据时，应尽量采用连续型数据。

2、测量尺度

(1) 定类（名义）测量尺度

数据是数字形式的名义值。如 0=白色，1=非白色。

将事物分到唯一的类中，这些类必须是互斥的，而且是完备的。

能识别的关系只有“=”和“≠”。

(2) 定序测量尺度

定序变量对可能的取值进行排序。如以“好”、“更好”、“极好”来划分顾客对某种服务的偏好。

对定序数据可以进行“计数”和“排序”运算，但不能进行算术平均。

(3) 定距测量尺度

连续型数据的一种，没有倍数（比率）的概念，如时间和温度等。可以使用算术平均和线性变换。

(4) 定比测量尺度

同一个事物的两个不同测量结果之间的比值有意义，不但可以识别差距的大小，而且可以识别和比较比值的大小。

可以求算术平均值，计算各种统计量，而且可以用除法求倍数。

5.3.2 收集数据的方法（略）

5.3.3 抽样方法

1、简单随机抽样

从含有 N 个元素的总体中，抽取 n 个元素作为样本，使得总体中的每一个元素都有相同的机会（概率）被抽中，这样的抽样方法称为简单随机抽样。

简单随机抽样要满足两个基本条件：等可能性和独立性。

常用的随机抽样方法：抽签法、滚球法、计算机模拟、随机数表法

2、分层抽样

在抽样之前先将总体的元素划分为若干层（类），然后从各个层中抽取一定数量的元素组成一个样本，这样的抽样方法称为分层抽样，也称分类抽样。

3、系统抽样

先将总体各元素按某种顺序排列，并按某种规则确定一个随机起点，然后每隔一定的

间隔抽取一个元素，直至抽取 n 个元素形成一个样本，这样的抽样方法称为系统抽样，也称等距抽样或机械抽样。

4、整群抽样

先将总体划分成若干群，然后在以群为抽样单位从中抽取部分群，在对抽中的各个群中所包含的所有元素进行观察，这样的抽样方法称为整群抽样。

5.3.5 数据的图示方法

1、直方图

常用于了解数据的分布情况，容易从图形中看出数据的分散程度和中心趋势。

直方图步骤：

- 从 n 个样本数据中找出最大值和最小值，计算极差；
- 对样本进行分组，决定组数 k 和组距 d 。 k 的取值范围在 7-15 之间， d 由极差 R 和组数 k 来确定，通常 $d=R/k$ ；
- 确定各组的区间端点 a_0 。 $a_0+d=a_1$, $a_1+d=a_2$, $a_2+d=a_3$...形成半开半闭区间： $[a_0, a_1)$, $[a_1, a_2)$, $[a_2, a_3)$...
- 计算样本落在每个区间的频数 n_i ；
- 绘制图形。

2、茎叶图

直方图的变种，全部或部分地保留了原始数据的信息。

3、数据箱线图

箱线图由箱体、上下须触线和星号三部分组成。

4、链图

也称趋势图。显示任何测量特性随时间变化的图表。

绘制步骤：

- (1) 依时间顺序画数据折线图；
- (2) 画一条表示中位数的水平线。

可以用链图判断过程是否受到特殊因素的影响：

- (1) 链的长度：指位于中位数同一侧的连续点数目（忽略落在中位数上的点）。
- (2) 链的数目：位于中位线同一侧的连续的点的序列构成一个链。
- (3) 趋势：链图中不应该存在任何异常连续上升和连续下降的序列。

5、正态概率图

正态坐标纸横坐标等间隔，纵坐标按标准正态分布的累积概率标示。

5.4 测量系统分析

5.4.1 基本概念

测量：以确定实体或系统的量值大小为目标的一整套作业。（将一个未知量与一个已知的或已经接受的参照值进行的比较。）

测量系统：由人员、仪器或量具、测量对象、操作方法和环境所构成的整体。

测量系统分析：运用统计学的方法对来了解测量系统中的各个波动源，以及它们对测量结果的影响，最后给出测量系统是否合乎使用要求的明确判断。

测量系统必须具有良好的准确性和精确性，分析主要从稳定性、偏倚、线性、分辨力、重复性、再现性六个方面进行评估。

测量系统必须具有良好的**准确性**(accuracy)和**精确性**(precision)。通常用**偏倚**(bias)和**波动**(variation)来表征。

对相同测量对象的同一特性进行多次测量，多次测量的结果形成一个分布，此分布

有均值 μ 和标准差 σ_{ms} 。偏倚就是指理论上的平均值 μ 与其参考值 V_r 之间的差值。精确度是指此分布的范围，一般用 $6\sigma_{ms}$ 表示（红书用 $5.15\sigma_{ms}$ 表示）。

测量数据质量高，既要求偏倚小，又要求波动小。

5.4.2 测量系统分辨力

测量系统的分辨力是指测量系统识别并显示被测量最微小变化的能力。

分辨力往往可通过仪器仪表上的最小刻度来反映。对于连续型数据，一般称测量结果的最小间距 $Unit$ 为分辨力。

测量系统分辨力最起码的要求应当使 $Unit$ 同时不大于过程总波动 PV （6 倍过程标准差）的 $1/10$ 和公差限（ $USL-LSL$ ）的 $1/10$ 。

$$Unit \leq \min\left(\frac{6\sigma}{10}, \frac{USL-LSL}{10}\right)$$

如果分辨力不足，控制图上极差值少，可能出现失控。

可用 **可区分组数**（number of distinct categories, ndc ）作为判断分辨力是否足够的一个标准。

$$ndc = \left\lceil 1.41 \times \frac{\sigma_p}{\sigma_{MS}} \right\rceil = \left\lceil \sqrt{\frac{2\sigma_p^2}{\sigma_{MS}^2}} \right\rceil$$

分辨力对过程控制与分析的影响

可区分组数	控制	分析
1	多数情况下不能用于控制图	只能指出过程的输出是否合格，不能用于过程参数及指数的估计
2~4	能用于不太敏感的计量型控制图	只能用于过程参数及指数的粗略估计
≥ 5	能够用于各种类型的控制图	表明测量系统的分辨力合格，能够用于过程参数及指数的估计。 $ndc \geq 10$ 表明分辨力优良

5.4.3 测量系统的偏倚、线性和稳定性

1. 测量系统的偏倚

对相同测量对象的同一特性进行多次测量，测量结果形成一个分布（通常为正态分布），偏倚是指多次测量的理论上的平均值 μ 与其参考值 V_r 之间的差异。

参考值的主要来源：多个准确测量设备所得重复测量值的平均值、专业团队认可的值、当事方达成一致的值或法律规定的值。

例：（蓝书 P346）一家公司的质检部门新购买一台测厚仪，在正式使用之前，需要对此测量系统进行评估。根据实际需要的量程范围，挑选了 5 个具有代表性的标准部件，然后由质检员以随机方式对每个部件测量 6 次。假设已知过程总波动 PV （即 6 倍的过程标准差）为 12。试分析其偏倚和线性。

2. 测量系统的线性

指在测量系统预期的量程范围内各点处的偏倚与参考值呈现线性关系，在数学上表现为偏倚对应参考值的线性回归关系。

测量系统最好是在任何一处都不存在偏倚，但如果知道在某点处的偏倚，或在整个测量系统内有共同的偏倚，则可进行修正。如果测量系统有偏倚，但又不存在线性关系，则无法处理。

通常用线性度衡量某个量程的偏倚的总体变化程度。其量纲与 Y 量纲相同。

$$Linearity = |b| \times PV$$

代表过程总波动范围内测量值偏倚的波动范围。线性度也可以用百分比的形式表示：

$$\%Linearity = (Linearity) / PV \times 100 = |b| \times 100$$

3. 测量系统的稳定性

稳定性通常是指某个系统其计量特性随时间保持恒定的能力。

对于任何一个质量特性而言，具有稳定性是指分布不随时间变化，其平均值、标准差以及分布的形状等都不随时间变化。通常用 \bar{X} -R 图或 \bar{X} -S 控制图进行分析测量系统的稳定性。

5.4.4 测量系统的重复性和再现性

1. 重复性 (repeatability)

重复性是指在尽可能相同测量条件下，对同一测量对象进行多次重复测量所产生的波动。重复性主要反映量具本身的波动。“尽可能相同测量条件”是指同一个操作员、对同一个测量对象的同一部位，放在测量仪器中的同一位置，在较短的时间间隔内进行多次测量。重复性又被称为设备波动 (EV)。

重复性除选用其标准差 σ_{RPT} 作为绝对量的度量指标外，还可以用设备波动与过程总波动 (TV) 的比值作为其相对量的度量指标。

$$GageRPT = \frac{EV}{TV} = \frac{6\sigma_{RPT}}{6\sigma_{TV}} = \frac{\sigma_{RPT}}{\sigma_{TV}}$$

2. 再现性 (reproducibility)

也称复现性或重现性，是指在各种可能变化的测量条件下，对同一测量部件的同一特性进行多次测量，所得结果的一致性。相当普遍的情况是误差主要由不同的操作人员引起，再现性又被称为人员波动 (AV)。

再现性除选用其标准差 σ_{RPD} 作为绝对量的度量指标外，还可以用人员波动与过程总波动 (TV) 的比值作为其相对量的度量指标。

$$GageRPD = \frac{AV}{TV} = \frac{6\sigma_{RPD}}{6\sigma_{TV}} = \frac{\sigma_{RPD}}{\sigma_{TV}}$$

3. 测量对象间的波动

对测量对象来说，总是存在差异的。如果测量 n 个不同的对象，就可得到 n 个测量值 x_1, x_2, \dots, x_n 。测量对象间的波动亦可用重复测试的数据计算。如果有 n 个测量对象， k 个测量者，每个测量者对每个对象均重复测量 m 次。那么，对这些测量对象可计算得到 n 个均值，即 $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$ ，然后计算其极差：

$$R_p = \bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}$$

则测量对象间的标准差为：

$$\hat{\sigma}_p = R_p / d_2^*(m, g)$$

测量对象间的波动 PV 为：

$$PV = 5.15\hat{\sigma}_p$$

式中， d_2^* 可查表 5—13， $d_2^* = d_2^*(m, g)$ ，因为只有一个极差 R_p 参与计算，故 $g=1$ ，而 $m=n$ 。

4. 总波动的分解和测量系统能力的评价准则

$$X_{rst} = \mu + O_r + P_s + (OP)_{rs} + e_{rst}$$

式中 μ 为总均值, $O_r, P_s, (OP)_{rs}, e_{rst}$ 分别是操作者、部件、操作者与部件交互作用测量误差的随机变量,假设 $O_r \sim N(0, \sigma_o^2)$

$P_s \sim N(0, \sigma_p^2), (OP)_{rs} \sim N(0, \sigma_{op}^2), e_{rst} \sim N(0, \sigma_e^2)$ 且相互独立

$$\sigma_T^2 = \sigma_o^2 + \sigma_p^2 + \sigma_{op}^2 + \sigma_e^2 = \sigma_p^2 + ((\sigma_o^2 + \sigma_{op}^2) + \sigma_e^2)$$

$$= \sigma_p^2 + (\sigma_{RPD}^2 + \sigma_{RPT}^2) = \sigma_p^2 + \sigma_{ms}^2$$

$$\text{两端同乘以 } 5.15^2 (6^2) \text{ 得: } (TV)^2 = (PV)^2 + (AV)^2 + (EV)^2$$

$$R \& R = \sqrt{(AV)^2 + (EV)^2} \quad PV = \sqrt{(TV)^2 - (R \& R)^2}$$

$$\% P / TV = \% \text{Gage} R \& R = \frac{R \& R}{TV} \times 100\% \quad \% P / T = \frac{R \& R}{USL - LSL} \times 100\%$$

(1) 若%GageR&R 及%P/T 两项指标皆小于 10%, 则测量系统良好;

(2) 若%GageR&R 及%P/T 两项指标有一项大于 30%, 则测量系统不合格;

(3) 若处在 (1) 与 (2) 之间, 则测量系统处于边缘状态。当测量系统测量的指标并非产品的关键性能指标, 且更换测量系统在经济上不可行时, 则测量系统可以勉强使用, 否则应加以改进后才能使用。

5.重复性和再现性分析实例

典型步骤:

(1) 随机选 10~20 个零件, 将其编号, 且编号不让操作员看到

(2) 随机选 2 个以上的操作员 (无操作员差别的测量系统换成其他不同测量条件)

(3) 让每个操作员按随机顺序对全部零件测量一遍, 让他们按另外一种随机顺序再测量一遍或多遍;

(4) 将所有记录按固定顺序整理好, 进行整个测量系统分析。

测量系统的方差分析表 $X_{rst} = \mu + O_r + P_s + (OP)_{rs} + e_{rst}$

波动源	自由度	平方和	均方	F值
操作者 (O)	$R-1$	$SS_o = ST \sum_{r=1}^R (\bar{X}_{r..} - \bar{X}_{...})^2$	$MS_o = \frac{SS_o}{R-1}$	$\frac{MS_o}{MS_{op}}$
部件 (P)	$S-1$	$SS_p = RT \sum_{s=1}^S (\bar{X}_{.s.} - \bar{X}_{...})^2$	$MS_p = \frac{SS_p}{S-1}$	$\frac{MS_p}{MS_{op}}$
操作者 (O) × 部件 (P)	$(R-1)(S-1)$	$SS_{op} = T \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S (\bar{X}_{rs.} - \bar{X}_{r..} - \bar{X}_{.s.} + \bar{X}_{...})^2$	$MS_{op} = \frac{SS_{op}}{(R-1)(S-1)}$	$\frac{MS_{op}}{MS_e}$
误差	$RS(T-1)$	$SS_e = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T (X_{rst} - \bar{X}_{rs.})^2$	$MS_e = \frac{SS_e}{RS(T-1)}$	
总和	$RST-1$	$SS_T = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T (X_{rst} - \bar{X}_{...})^2$	$MS_T = \frac{SS_T}{RST-1}$	

以上表为基础, 计算各波动源的方差分量

$$\sigma_e^2 = MS_e$$

$$\sigma_{OP}^2 = (MS_{OP} - MS_e) / T$$

$$\sigma_p^2 = (MS_p - MS_{OP}) / RT$$

$$\sigma_o^2 = (MS_o - MS_{OP}) / ST$$

已知 σ_e^2 代表重复性方差， $\sigma_o^2 + \sigma_{OP}^2$ 代表再现性方差，测量系统

重复性和再现性的标准差为 $\sigma_{ms} = \sqrt{\sigma_{RPD}^2 + \sigma_{RPT}^2} = \sqrt{\sigma_o^2 + \sigma_{OP}^2 + \sigma_e^2}$

已知 $Tolerance = USL - LSL$ ，可分别求%GageR & R和%P/T

(1) 再现性主要表现为测量人员差异，如果使用数字式测量仪器，则可从测量仪器、设定初始值、工作班次或其他可能变化的测量条件来考虑出现误差的原因。

(2) 在实际工作中，影响测量系统的因素可能有很多，应先进行变异源分析，然后选择最具影响的因素进行重复性和再现性分析。

不考虑生产过程波动，只使用标准件或固定件分析测量系统。

5.4.5 破坏性试验的测量系统分析

破坏性试验的测量系统分析是指在测取数据的同时部件遭到破坏，这时对部件多次重复测量是不可能的。

实际工作中最常使用的方法是认为同批次内部件间的差异可以忽略不计，采用同批次的多个部件当作单个部件来使用。

一般情况下，选择 10 个样件，3 个操作者，每个操作者重复测试 2 次的方法评价测量系统的波动。共进行 60 次测量，需要选择 10 个批次，每个批次选择 6 个样件，用 6 个样件来代替在非破坏性试验情况下的 3 个样件使用。

5.4.6 属性值数据的测量系统分析

1. 属性值测量数据的获得

一般选取 20 个或 20 个以上的零件（合格与不合格品约各占一半），在从事日常检验活动的人员中至少选择 2 个测量者，每个测量者对每个零件重复测量至少 2 次，此时重复性是指同一测量者对同一零件不同测量轮数的一致性，再现性则是不同测量者对同一零件测量时的一致性。如果已知测量对象的属性，则还可以分析不同测量者对于标准的吻合程度。

2. 属性值测量系统一致性分析

(1) 操作者各自的一致性分析（重复性）

用操作者测量同一个零件一致的次数除以零件数。

(2) 每个操作者与标准的一致性

操作者对同一个零件两次（或多次）测量结果一致且与标准一致的次数除以零件数。

(3) 操作者之间的一致性（再现性）

两个操作者对同一个零件的多次测量一致的次数除以零件数。

(4) 所有测量者与标准的整体比较

两个操作者对同一个零件的多次测量一致且与标准一致的次数除以零件数。

3. 通用方法：还可从有效性、漏判率、误判率方面进行判断

有效性：分为测量者的有效性和系统有效性。若测量者对同一被测零件的所有测量结果一致，且与基准一致，则称之为有效；测量者的有效性是指有效零件数目与被测零件数之比。若所有测量者对同一被测零件的所有测量结果一致，且与基准一致，称为系统有效，系统有效性是指系统有效地零件数目与被测零件数目之比。

漏判率：对每个测量者，将基准为不可接受的零件漏判为可接受的机会百分率。

误判率：对每个测量者，将基准为可接受的零件误判为不可接受的机会百分率。

计数型数据测量系统的判断标准

判断	有效性	漏判率	误判率
可接受	≥90%	≤2%	≤5%
接受-需要改进	80%~90%	2%~5%	5%~10%
不可接受	≤80%	≥5%	≥10%

4. 卡帕值 (κ)

只有两个变量且具有相同的分级数和分级值，卡帕值为：

$$\kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

式中， P_o 为实际一致的比率， P_e 为期望一致的比率。

计数型测量系统的合格标志

κ	测量系统能力
大于 0.9	良好
介于 0.7~0.9 之间	可接受
小于 0.7	不合格

5.4.7 测量仪器的校准和检定

单独或连同辅助设备一起用以进行测量的器具，称为测量仪器。

1. 量值的溯源、校准和检定

量值的溯源是指通过一条对不确定度有明确规定的不间断的比较链，使测量结果或测量标准的值能够与规定的参考标准（通常是国家计量基准或国际计量基准）联系起来。也称其为量值溯源性。所有的同种量值都可以按照这条比较链，通过校准向源头溯源到同一个计量基准，从而使测量的准确性和一致性得到技术保证。

测量仪器的校准是指在指定的条件下，为确定测量系统所指示的量值或实物量具所代表的量值与对应的由其测量标准所复现量值之间关系的一组操作。校准的主要含义是：在规定的条件下，用参考测量标准给包括实物量具在内的测量仪器的特性赋值，并确定其示值误差，以及将测量仪器所指示或代表的量值按照比较链或校准链将其溯源到测量标准所复现的量值上。

对校准通常应做统一规定，特殊情况下可自行规定。

测量仪器的检定是指查明和确认测量仪器是否符合法定要求的程序。检定具有法制性。可将检定分为强制检定和非强制检定。

强制检定是指由政府行政主管部门所属的法定计量检定机构或授权的计量检定结构对某些测量仪器实行的定点定期检定。

非强制检定是指由使用单位自行或委托具有社会公用计量标准或授权的计量检定机构对强制检定以外的其他测量仪器依法进行的一种定期检定。

5.5 过程能力分析

5.5.1 过程统计控制状态

任何一个过程都受到两类因素的影响：

一类是人们无法控制或难以控制的随机因素（也称偶然因素）。在随机因素作用下，导致过程输出的波动称为随机波动。我们不能从根本上消除随机波动，不得不承认它存在的合理性。称仅有随机因素影响的过程为正常的过程。

另一类是相对稳定的因素作用于过程，制约着过程的输出结果，这类相对稳定的因素称之为系统因素。

两类因素的共同作用使得过程输出的结果呈现出内在的统计规律性。通过过程输出结果的规律性，可以探测过程是否处于控制状态，即系统是否发生变异。一旦系统因素发生变异，过程输出结果的规律将遭到破坏，过程失控，这类因素称为异常因素。

统计控制状态：观察到的输出结果的波动可归因于只有随机因素影响的状态。不存在异常因素。

受控过程：每一质量特性值均处于统计控制状态的过程。

■ 过程绩效问题：过程在统计意义上受控，它并不意味着过程产出的产品就不会超出规定的规格、符合质量要求。

■ 原因：过程的均值过度偏离目标值，或者过程的波动过大。

5.5.2 过程能力和过程绩效

过程能力是指过程处于稳定状态下的实际加工能力。过程能力和过程绩效分析是评价过程满足预期要求的能力及其表现的方法。

在着手过程能力分析时，必须明确以下要素：

- (1) 过程输出特性。
- (2) 对过程输出特性的要求，包括目标值、规格限和容限。
- (3) 抽样方案。在研究短期能力时，抽取的样本应尽可能仅受到随机因素的影响。
- (4) 过程是否稳定或具有可预测的分布。过程能力分析的假设前提是输出服从正态分布。因此，过程应是稳定或统计受控的。非正态分布应进行适当的坐标变换，将其转换为正态分布。

过程短期波动（inherent process variation），也称样本内波动，仅由短期内随机因素影响而产生的过程波动。可通过计算样本内部的极差 R_i 或标准差 s_i ，求出平均的极差或综合标准差 s ，利用 \bar{R}/d_2 或 s/c_4 估计过程短期波动 σ_{within} 。如果观测值是单值的，将上式中平均极差 \bar{R} 换成平均移动极差 \bar{MR} 即可。

过程总波动是由随机因素和系统因素影响而产生的波动。可以由所有样本标准差 s 估计长期的标准差 $\sigma_{overall}$ 。

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

过程能力 PC：过程固有波动的 $6\sigma_{within}$ 范围。

过程绩效 PP：过程总波动的 $6\sigma_{overall}$ 范围。

5.5.3 过程能力指数 C_p 和 C_{pk}

1、过程能力指数 C_p 的意义与计算

若过程输出服从正态分布，即 $y \sim N(\mu, \sigma^2)$ 。当过程处于统计控制状态且 $M = \mu$ 时，则定义过程能力指数 C_p 为容差与过程波动之比。

$$C_p = \frac{\text{容差}}{\text{过程能力}} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma} \quad (1)$$

$M = \frac{1}{2}(LSL + USL)$, 称为规格中心。

$C_p < 1$, 过程能力不足;

$1 \leq C_p < 1.33$, 过程能力尚可;

$1.33 \leq C_p < 1.67$, 过程能力充足。

2. 过程能力指数 C_{pk} 的意义与计算

C_p 的计算是假定过程输出的均值与规格中心重合时的过程能力之比, 与过程输出均值无关, 因此, C_p 只反映过程的潜在能力。

当 $\mu \neq M$ 时, 尽管 C_p 值较大, 不合格品率仍然很高。需要研究 C_{pk} 。

2、过程能力指数 C_{pk} 的意义与计算

对大多数情况来说, 过程输出的均值 μ 不会恰与规格中心或目标值重合。因此, 在进行过程能力分析时, 应当将均值 μ 的影响考虑进来。引入过程能力指数 C_{pk} 就是为了解决这个问题。由于过程中心 μ 通常在规格限 (LSL, USL) 之间, 因此, 用过程中心 μ 与两个规格限最近的距离 $\min\{USL - \mu, \mu - LSL\}$ 与 3σ 之比作为过程能力指数, 记为 C_{pk} , 如图 5—52 所示。

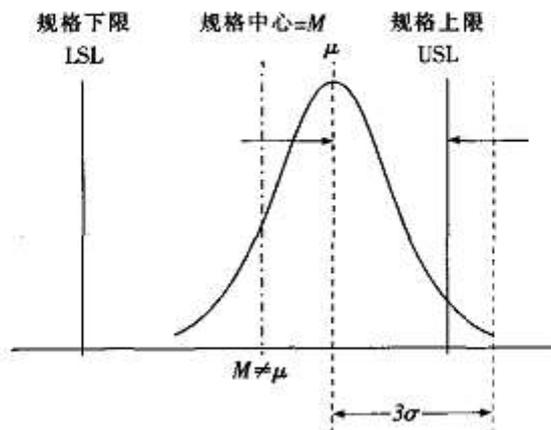


图 5—52 过程能力指数 C_{pk} 示意图

其计算公式为:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} \quad (5-11)$$

$$= \min (C_{pu}, C_{pl})$$

式中, $C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$, 称为单侧上限过程能力指数, 仅有上规格限场合即可使用; $C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$ 称为单侧下限过程能力指数, 仅有下规格限的场合即可使用。

由 C_{pk} 的上述表达式可看出, 当 $\mu = M$ 时, $C_p = C_{pk}$; 当 $\mu \neq M$ 时, $C_{pk} < C_p$ 。只要双侧规格限都给定, C_p 有意义, 则应同时考虑 C_p 及 C_{pk} 两个指数, 以便对整个过程的状况有较全面的了解。例如, 当 C_p 及 C_{pk} 都较小而二者差别不大时 (比如 $C_p = 0.72$ 及 $C_{pk} = 0.69$), 说明过程的主要问题是 σ 太大, 改进过程应首先着眼于降低过程的波动。若 C_p 较大, 而 C_{pk} 很小 (比如 $C_p = 1.43$ 及 $C_{pk} = 0.72$), 二者差别较大, 说明过程的主要问题是 μ 偏离 M 太多, 改进过程应首先着眼于移动 μ 值, 使之更接近于 M 。如果 C_p 本身不够好, C_{pk} 更小 (比如 $C_p = 0.84$ 及 $C_{pk} = 0.35$), 而且二者差别较大时, 说明过程的 σ 及 μ 都有问题, 通常改进过程应首先移动 μ 值, 使之更接近于 M , 然后设法降低过程的波动。总之, 不要只单独使用这两个过程能力指数之中的一个。

当 C_p 值一定时, C_{pk} 将随着过程输出中心 μ 与规格中心 M 偏离的增大而减小。事实上, 利用 $T = USL - LSL$, $M = \frac{USL + LSL}{2}$, 则 C_{pk} 可表示为另一种形式:

$$C_{pk} = \frac{T}{6\sigma} - \frac{|M - \mu|}{3\sigma} \quad (5-12)$$

若对上式第二项的分子、分母分别乘以 $\frac{T}{2}$, 可得到 C_{pk} 的第三种形式:

$$C_{pk} = (1 - K) C_p, \quad K = \frac{|M - \mu|}{\frac{T}{2}} = \frac{2|M - \mu|}{T} \quad (5-13)$$

式中, $K > 0$ 称为偏离度。

需要特别强调的是, C_p 和 C_{pk} 是由处于统计受控状态下的过程波动的大小和均值偏离决定的。因而首先要判明过程是否处于统计受控状态, 这需要通过控制图等统计工具进行, 关于如何应用控制图分析判断过程的受控状态, 请参见本书第 8 章的内容。

C_p 与 C_{pk} 的关系?

当 $\mu = M$ 时, $C_p = C_{pk}$; 当 $\mu \neq M$ 时, $C_{pk} < C_p$ 。

C_p 与 C_{pk} 的差值大小, 表明过程实际中心与公差中的距离。

5.5.4 过程能力指数 C_{pm} 和 C_{pmk}

如果给定目标值, 均值不等于目标值时, 如何表示均值不等于目标值造成的质量损失? 当生产过程不但给出上下公差限, 而且给出过程的目标值 m 时, 可以用 C_{pm} 和 C_{pmk} 表示过程能力:

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sigma'} \quad (3)$$

式中, $\sigma'^2 = \sigma^2 + (\mu - m)^2$

$$C_{pmk} = \frac{C_{pk}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - m}{\sigma}\right)^2}} \quad (4)$$

C_p 与 C_{pm} 的关系?

当 $\mu = m$ 时, $C_p = C_{pm}$; 当 $\mu \neq m$ 时, $C_{pm} < C_p$ 。

C_{pm} 指数反映了过程 μ 和目标值 m 之间的偏差

5.5.5 过程绩效指数 P_p 与 P_{pk}

过程绩效指数是从过程总波动的角度考察过程输出满足顾客要求的能力。有时也将其称为长期过程能力指数。在考察过程绩效时, 不要求过程稳定, 即不要求过程输出的质量特性 Y 一定服从某个正态分布。

- 潜在过程绩效指数:
$$P_p = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (5)$$

- 单侧上限过程绩效指数:
$$P_{pu} = \frac{USL - \bar{x}}{3s} \quad (6)$$

- 单侧下限过程绩效指数:
$$P_{pl} = \frac{\bar{x} - LSL}{3s} \quad (7)$$

- 实际过程绩效指数:
$$P_{pk} = \text{Min}(P_{pu}, P_{pl}) \quad (8)$$

5.5.6 过程能力指数与不合格率的关系

当受控过程的质量特性服从正态

分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 时, 其不合格品率为:

$$\begin{aligned} p(d) &= P_L + P_U \\ &= P(y < LSL) + P(y > USL) \\ &= \Phi\left(\frac{LSL - \mu}{\sigma}\right) + [1 - \Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right)] \quad (13) \end{aligned}$$

式中, Φ 为标准正态分布的累积概率函数。

在六西格玛管理中, 为了和属性值数据进行横向比较, 可以使用西格玛水平 Z_{bench} 来评价过程能力。应用西格玛水平 Z_{bench} 来评价过程能力的优点是它与过程的不合格品率 $p(d)$ 或 $DPMO$ 是一一对应的。

仅有单侧上规格限:

$$Z_{bench} = \frac{USL - \mu}{\sigma}$$

仅有单侧下规格限:

$$Z_{bench} = \frac{\mu - LSL}{\sigma}$$

双侧规格限:

$$Z_{USL} = \frac{USL - \mu}{\sigma} \quad Z_{LSL} = \frac{\mu - LSL}{\sigma}$$

综合的西格玛水平 Z_{bench} 需要通过总缺陷率进行折算。

5.5.7 长期能力和短期能力

过程的短期能力是指过程仅受到随机因素的影响时过程输出特性波动的大小, 是过

程的固有能Ⓕ力。短期标准差 σ_{within} 较小。

长期能Ⓕ力是指过程在较长的时期内所表现出的过程输出波动的大小，不仅受到随机因素的影响，而且受到其他因素的影响。长期标准差 $\sigma_{overall}$ 较大。

5.5.8 非正态数据的过程能Ⓕ力分析

数据正态性检验：

- 当需要进行过程能Ⓕ力分析的计量数据呈非正态分布时，一般解决方案的原则有两大类：一类是设法将非正态数据转换成正态数据，然后就可按正态数据的计算方法进行分析；另一类是根据以非参数统计方法为基础，推导出一套新的计算方法进行分析。
- 遵循这两大类原则，在实际工作中成熟的实现方法主要有三种：
- 第一种方法是 Box-Cox 变换法：
 - (1) 估计合适的 λ 值；
 - (2) 计算求出变换后的数据 y^* ；
 - (3) 根据原来给定的 USL 和 LSL，计算求出变换后的 USL*和 LSL*。
 - (4) 对用 USL*和 LSL*求出过程能Ⓕ力指数。
- 第二种方法是 Johnson 变换法：
 - (1) 根据 Johnson 判别原则确定转换方式；
 - (2) 计算求出变换后的数据 y^* ；
 - (3) 根据原来给定的 USL 和 LSL，计算求出变换后的 USL*和 LSL*。
 - (4) 对 y^* 用 USL*和 LSL*求出过程能Ⓕ力指数。
- 第三种方法是非参数计算法：

不需要对原始数据做任何转换，直接按以下数学公式就可以进行过程能Ⓕ力指数 C_p 和 C_{pk} 的计算与分析。

$$C_p = \frac{USL - LSL}{x_{0.995} - x_{0.005}} \quad (18)$$

$$C_{pk} = \text{Min}\left(\frac{USL - x_{0.5}}{x_{0.995} - x_{0.5}}, \frac{x_{0.5} - LSL}{x_{0.5} - x_{0.005}}\right) \quad (19)$$

式中， x_α 是数据X分布的 α 分位数。

5.5.9 属性（计数）数据的过程能Ⓕ力分析

输出特性为二项分布的过程绩效指标主要用百万机会缺陷数 DPMO，由此算出缺陷率 p ，查标准正态分布的右侧概率表求得西格玛水平值。

Poisson 分布的过程绩效指标有：单位缺陷数 DPU、直通率 Y_{FT} 、缺陷率 p 和西格玛水平 Z 等几个指标，计算公式有：

$$DPU = \frac{D}{U} \quad (9)$$

$$Y_{FT} = e^{-DPU} \quad (10)$$

$$p = 1 - e^{-DPU} \quad (11)$$

$$Z = \Phi^{-1}(Y_{FT}) \quad (12)$$

式中，D为缺陷数；U为单位数； $\Phi^{-1}(\)$ 为逆累积概率函数

5.5.9 属性值数据的西格玛水平估算

1、从 DPMO 到西格玛水平 Z 的计算

- (1) D : 缺陷数
- (2) O : 单位机会缺陷数
- (3) U : 单位数
- (4) $DPMO = D / (U \times O) \times 10^6 (ppm)$
- (5) 查正态分布表或计算逆累积概率, 得到 Z_{bench}

$$Z_{bench} = \Phi^{-1}(1 - DPMO)$$

$$Z = Z_{bench} + 1.5$$

2、从不良品到西格玛水平 Z 的计算

- (1) p = 检验发现的不良品数 / 检验的产品数
- (2) 良品率 = $1 - p$
- (3) 查正态分布表或计算逆累积概率, 得到 Z_{bench}

$$Z_{bench} = \Phi^{-1}(1 - p) \quad Z = Z_{bench} + 1.5$$

第六章 分析

分析阶段概述

1. 1. 分析阶段工作内容

(1) 流程分析。流程步骤的详细分析, 如绘制微观流程图, 明晰每一个关键步骤的 $KPIV$ 和 $KPOV$ 。区分出哪些是增值步骤, 哪些是不增值步骤。

(2) 描述统计分析。运用基本描述性统计图表, 如直方图、柏拉图、散点图、饼图、雷达图等, 对输入变量的影响做初步评价; 运用多变异图比较多个 X 的影响, 直观的看哪些关键 X 重要, 哪些不重要。

(3) 推理统计分析。验证输入因子 X 是否真的显著, 变量间是独立还是相关; 利用多种统计分析方法分析不同水平下的 X 对 Y 的影响是否显著。

2.A 阶段目标、工具和目的

步骤	常用工具	主要输出与目的
1. 流程分析	流程图、头脑风暴法、试验设计、因果图、直方图、柏拉图、散点图、饼图、雷达图、趋势图、抽样计划、FMEA、假设检验、水平对比法、测量系统分析、多变异分析、方差分析、相关分析、回归分析	● 不增值步骤最小化
2. 描述统计分析		● X 测量系统重复性与再现性研究
3. 推理统计分析		● 原因变量概略分析
4. 分析阶段结论		● 验证后的原因变量 ● 验证后的关键变量 ● 阶段性改善效果

6.1 探索性数据分析和流程分析

分析阶段数据分析的基本步骤

- (1) 必要时, 对影响项目 Y 的 X 进行测量系统分析, 以确保 X 测量系统的准确性和精确性。
- (2) 收集数据。根据影响项目 Y 的 X 制定数据收集计划表, 现场收集数据。
- (3) 图形分析。对收集到的数据用图表分析 X 与 Y 的关系, 进行数据的初步分析。
- (4) 用假设检验方法验证 X 对 Y 或 y 的影响是否显著。

6.1.1 探索性数据分析

探索性数据分析是指利用测量值和有关数据 (已收集的数据或在分析阶段收集的新数据) 来发现、建议、支持或排除原因的模式、趋势和其他的异常, 分辨问题模式、问题趋势或其他一些有关因素, 这些因素可以是推测出来的, 也可以是已证明或未证明

的可能因素。

1. 第一阶段：推测

(1) 数据分析原则

- 明确要深入了解的方向
- 不断提出假设
- 注意关于事件发生的频率、影响程度和问题缺陷症状相关的问题。

(2) 初步数据分析

- 散点图
- 排列图
- 趋势图（时间序列图）
- 直方图
- 多变异图

散点图：也叫散布图或 X/Y 图，表示两变量之间的简单关系或判断原因 X 和结果 Y 之间的相关程度，适用于连续型数据。注意，在绘制散点图时所用数据为成对数据，即 X, Y 来自同一个观测个体。

2. 第二阶段：提出关于原因的假设

3. 第三阶段：证实或排除原因

(1) 因果逻辑分析

(2) 假设检验

(3) 试验验证

6.1.2 流程分析（略）

6.1.3、参数估计

所谓参数估计，就是用样本统计量去估计总体参数。

定义 1：用来估计总体参数的统计量的名称，称为估计量，用符号 $\hat{\theta}$ 表示。

定义 2：用来估计总体参数时计算出来的估计量的具体数值，称为估计值。

1. 点估计

设 θ 是总体的一个未知参数， X_1, X_2, \dots, X_n 是从该总体中抽取的样本量为 n 的一个样本，用来估计未知参数 θ 的统计量 $\hat{\theta}(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 称为 θ 的估计量，或称为 θ 的点估计。

如果 $E(\hat{\theta}) = \theta$ ，则称 $\hat{\theta}$ 是 θ 的无偏估计。无偏性是衡量估计量优良性的重要标准，应尽量选用无偏估计或近似无偏估计。多个无偏估计希望采用方差最小者作为点估计值。

2. 区间估计

设 θ 是总体的一个待估参数， X_1, X_2, \dots, X_n 是从该总体中抽取的样本量为 n 的一个样本，对于给定的显著性水平 $\alpha (0 < \alpha < 1)$ ，有统计量 $\theta_L = \theta_L(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 与 $\theta_U = \theta_U(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，若对任意 θ 有 $P(\theta_L \leq \theta \leq \theta_U) = 1 - \alpha$ ，则称随机区间 $[\theta_L, \theta_U]$ 是 θ 的置信水平为 $1 - \alpha$ 的置信区间， θ_L 和 θ_U 分别称为置信下限和置信上限。

总体参数的估计区间通常是由样本统计量加减抽样误差而得到的。进行区间估计时，根据样本统计量的抽样分布可以对样本统计量与总体参数的接近程度给出一个概率度量。

参数估计是已知样本均值 \bar{x} 推断总体均值 μ ，由于 \bar{x} 与 μ 的距离是对称的，如果某个样本的平均值落在 μ 的 2 个标准差范围内，反过来 μ 也被包括在 \bar{x} 以为中心左右 2 个标准差范围内。也就是说，约有 95% 的样本均值所构造的 2 个标准差的区间会包括 μ 。
置信水平：如果将构造置信区间的步骤重复多次，置信区间中包含总体参数真值的次数所占的比率，称为置信水平，或称为置信系数。

在构造置信区间时，比较常用的置信水平为 90%、95%、99% 三种，分别对应显著性水平 α 为 0.1、0.05、0.01。

置信区间的宽度随置信系数的增大而增大。

3. 单正态总体均值的置信区间

正态总体

(1) 当总体方差 σ^2 已知时，正态总体均值 μ 的 $1-\alpha$ 置信区间

$$\text{为} \left(\bar{X} - Z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + Z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

(2) 总体方差 σ^2 未知，用样本标准差 S 代替 σ ，变为自由度为 $n-1$ 的 t 分布，置信区间为

$$\left(\bar{X} - t_{1-\alpha/2}(n-1) \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{X} + t_{1-\alpha/2}(n-1) \frac{S}{\sqrt{n}} \right)$$

(3) 非正态总体，样本量超过 30，均值的抽样分布仍近似服从正态分布，正态总体均值 μ 的 $1-\alpha$ 置信区间

$$\text{为} \left(\bar{X} - Z_{1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{X} + Z_{1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \right)$$

4. 单正态总体方差和标准差的置信区间

当 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ 时，正态总体方差的 $1-\alpha$ 置信区间为

$$\left(\frac{(n-1)S^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1)}, \frac{(n-1)S^2}{\chi_{\alpha/2}^2(n-1)} \right)$$

总体标准差的置信区间为

$$\left(\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1)}}, \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi_{\alpha/2}^2(n-1)}} \right)$$

5. 单正态总体比率的置信区间

服从二项分布，当样本量足够大 (100 或 $np > 5$ 且 $np(1-p) > 5$)，且 p 值适中 ($0.1 < p < 0.9$)，二项分布可用正态分布近似。

$\hat{p} \sim N\left(p, \frac{p(1-p)}{n}\right)$ ，总体比率的置信区间为：

$$\left(\hat{p} - Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}, \hat{p} + Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \right)$$

6.2 假设检验

6.2.1 假设检验的基本概念

假设：对总体参数的具体数值所作的陈述，称为假设或称统计假设。

假设检验：先对总体参数提出某种假设，然后利用样本信息判断假设是否成立的过程称为假设检验。

备择假设：通常将研究者想收集证据予以支持的假设称为备择假设，或称研究假设，用 H_1 或 H_a 表示。

原假设：通常将研究者想收集证据予以反对的假设称为原假设，或称零假设，用 H_0 表示。

例：原来的热轧带肋钢筋生产线生产的钢筋平均抗拉强度为 580MPa，标准差为 9MPa。经过调整参数后，希望钢筋抗拉强度能有所提高。项目团队实施改进后抽取了 25 根钢筋，测得钢筋平均抗拉强度为 605 MPa。问：能否断言钢筋平均抗拉强度确有提高？

从此例的问题可以看出，我们希望通过样本观测数据即“抽取了 25 根钢筋，测得钢筋平均抗拉强度为 605 MPa”去推断“整批钢筋平均抗拉强度确有提高”。这实际就是典型的假设检验问题：根据所获取的样本运用统计分析方法对总体 X 的一个假设做出判断。统计分析方法运用过程中蕴含的两条基本原理：

(1) 带有概率性质的反证法原理

在上例中，用 μ 代表总体的钢筋抗拉强度的平均值，是未知的。抽样中得到的是样本均值，目的就是要用样本去推断总体。

若 $\mu = 580$ ，则认为钢筋抗拉强度的平均值没有提高；

若 $\mu > 580$ ，则认为钢筋抗拉强度的平均值有提高。

H_0 和 H_1 地位是不对等的，不能随意交换。因而，在一般情况下， H_0 要取那个在实践中应该受到保护，有足够证据时才能否定的论断或“不证自明”的论断作为原假设。在对参数进行检验时，我们将把**相等的、无差别的、等号成立的**结论作为原假设，记为 H_0 ；将**待判定、待证明的、不相等、有差别的**结论作为备择假设，设为 H_1 。对于参数检验的问题，原假设一定是“等于”某值，备择假设中永远只可能是“大于”、“小于”或“不等于”这三种情况。

为此可以建立两个命题，在假设检验中称为假设：

原假设（零假设）：关于样本所属总体（指参数值）与假设总体（指参数值）之间无差异的假设，记为 H_0 ；

备择假设（或对立假设）：和原假设相反的假设。指的是关于当前样本所属的总体（指参数值）与假设总体（指参数值）有差异的假设，是根据样本信息期待证实的假设，是否定了原假设后应当采取的假设，记为 H_1 。

带有概率性质的反证法原理中，所谓的明显不合理情况指的就是竟然出现了小概率事件。按照常识，在假设 H_0 成立的条件下，与大概率事件相比，小概率事件在一次试验中几乎不会发生，如果它发生了，说明最初的假设“ H_0 是成立的”并不正确，因此应该拒绝 H_0 。但与此同时，应该注意的是，在处理假设检验问题时，未考虑特殊情况，虽说小概率事件在一次试验中几乎不会发生，但不等于不会发生，它仍然有发生的可能性。所以，根据小概率事件发生而做出的拒绝 H_0 的判断有犯错误的可能。

假设检验是先对总体参数提出一个假设值，然后利用样本信息推断这一假设是否成立。小概率事件原理：小概率事件在一次试验中是几乎不会发生的。

假设检验与区间估计的联系与区别：

联系

假设检验与区间估计都属于推断统计的内容，都是根据样本信息推断总体信息。

区别

区间估计是利用大概率原理推断出总体参数的范围，输出是数值（一个区间）。假设检验是以小概率原理为基础，对总体的状况所做出的假设进行判断，输出的是结论（拒绝或不能拒绝）。

6.2.2 假设的步骤

- (1) 建立原假设和备择假设；
- (2) 给出犯两类错误的概率 α 、 β ；
- (3) 从实际出发确定什么样的差别是有意义的，即确定 Δ 。
- (4) 根据检验参数的类型和已知条件，选择检验统计量。
- (5) 计算样本量。
- (6) 数据采集。
- (7) 计算检验统计量。
- (8) 使用以下三种方法之一做出是否拒绝原假设的判断。
 - 置信区间法：根据样本统计量计算总体参数的置信区间，原假设的参数值未落入置信区间，拒绝原假设，否则不能拒绝原假设。
 - 临界值法：将检验统计量的值与拒绝域的临界值相比较，落在拒绝域中拒绝原假设，否则不能拒绝原假设。
 - p 值法：由检验统计量计算 p 值， p 值小于 α 拒绝原假设，否则不能拒绝原假设。

(1) 建立假设

一对假设：原假设 (H_0) 和备择假设 (H_1)

- H_0 与 H_1 地位是不对等的
- 假设检验使用了反证法原理——先假定 H_0 是正确的，如果样本观测值出现了与应有的结果明显矛盾的情况，则说明“ H_0 正确”这个假设是错误的，于是拒绝 H_0 ，这是强结论；如果没有出现矛盾的情况，我们不能说接受 H_0 ，只能说没有足够的证据拒绝 H_0 ，这是弱结论。
- 一般情况下，我们把相等的、无差别的结论作为原假设，所以，等于一定包含在原假设中；备择假设只可能是“大于”、“小于”、“不等于”三种情况。

假设检验的基本形式（以均值检验为例）

假设	双侧检验	单侧检验	
		左侧检验	右侧检验
原假设	$H_0: \mu = \mu_0$	$H_0: \mu \geq \mu_0$	$H_0: \mu \leq \mu_0$
备择假设	$H_1: \mu \neq \mu_0$	$H_1: \mu < \mu_0$	$H_1: \mu > \mu_0$

(2) 给出犯两类错误的概率 α ， β

假设检验是根据样本做出是否拒绝原假设的决策。我们希望：当原假设成立时，我们没有拒绝它；当原假设不成立时，我们拒绝它。而样本是随机的，我们有可能犯下面两类错误：

决策结果	实际情况	
	<i>H0</i> 正确	<i>H0</i> 不正确 (<i>H1</i> 正确)
未拒绝 <i>H0</i>	正确决策, 概率为 $1 - \alpha$, $1 - \alpha$ 也称置信水平或置信度。	第 II 类错误, 也称“取伪”错误, 概率为 β 。
拒绝 <i>H0</i>	第 I 类错误, 也称“弃真”错误, 概率为 α , α 也称为显著性水平。	正确决策, 概率为 $1 - \beta$, $1 - \beta$ 称检出力或检出功效。

假设检验的基本形式 (以均值检验为例)

假设	双侧检验	单侧检验	
		左侧检验	右侧检验
原假设	$H_0: \mu = \mu_0$	$H_0: \mu \geq \mu_0$	$H_0: \mu \leq \mu_0$
备择假设	$H_1: \mu \neq \mu_0$	$H_1: \mu < \mu_0$	$H_1: \mu > \mu_0$

原假设被拒绝时, 才可能会犯第 I 类错误; 原假设未被拒绝时, 可能会犯第 II 类错误。样本量 n 一定时, α 减小, β 会增大; α 增大, β 会减小, 只有增大样本量才能同时减小 α 和 β 。

(3) 确定 Δ

要从实际出发确定什么样的差别是有意义的。

(4) 选择检验统计量, 确定统计工具

检验统计量类型的选择实际上就是确定统计量抽样分布的形式。基于以下两点:

- 要检验的参数
- 已知条件

如, 方差已知的单正态总体的均值检验, 选择 Z 统计量, 使用“单样本 Z ”检验。

(5) 计算样本量

检验问题实际就是判断样本是来源于哪个总体。

$$\text{单边检验时: } n = (Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta})^2 \left(\frac{\sigma}{\Delta}\right)^2$$

样本量的大小取决于决策错误的风险、总体标准差的大小、拟检查的差异大小这三个方面的因素。

结论: 要同时降低犯两类错误的风险, 必须增大样本量; 总体方差变大, 要保持原来的风险, 必须增大样本量; 拟检查差异变小, 必须增大样本量。

(6) 数据采集

根据计算的样本量采集样本

样本尽可能覆盖各种变异源的波动范围

- 不同批次
- 不同操作人员
- 不同设备

■ 不同外部环境

■

(7) 计算检验统计量

■ 检验统计量是根据样本计算得到的，是对样本信息的概括。

■ 检验统计量是对总体参数的点估计值，但这个点估计值只有标准化后才能反映样本的点估计值与假设的总体参数相比差多少个抽样标准差。

注：我们平时所说的检验统计量就是指标准化的检验统计量。如，方差已知的单正态均值检验，统计量 Z 的计算：

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

(8) 判断方法一——临界值法

根据备择假设的类型和 α 给出临界值，确定拒绝域：

A: H1: $\mu > \mu_0$

B: H1: $\mu < \mu_0$

C: H1: $\mu \neq \mu_0$

(8) 判断方法二——置信区间法

(8) 判断方法三——P 值

p 值是概率，是在原假设成立的前提下，出现目前样本状况或对原假设更为不利状况的概率。所以， P 值与检验统计量和备择假设的类型有关。

p 值与样本量 n 的关系

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}}$$

p 值与检验统计量、备择假设类型有关，而检验统计量与样本量 n 有关，所以 p 与样本量 n 有关。

当样本量 n 越大时，检验统计量的绝对值就越大， p 值就越小，就越有可能拒绝原假设。

6.2.4 均值检验

■ 单总体均值检验（与某一具体值比较）

■ 双总体均值差检验

■ 配对检验

■ 多总体均值检验

◆ 单总体

➢ 独立性检验

➢ 正态性检验（小样本）

◆ 双总体或多总体

■ 独立性检验

◆ 样本内数据独立

◆ 样本间数据独立

■ 正态性检验（小样本）

◆ 两组或多组数据都服从正态分布

■ 等方差检验

***对均值检验，样本量 $n \geq 30$ 时，可以不进行正态性检验。

■ 独立性检验

- 样本内数据独立
 - 样本量<40 统计>质量工具>运行图
 - 样本量>40 统计>非参数统计>游程检验
- 样本间数据独立
 - 统计>基本统计量>相关
- 正态性检验
 - 统计 >基本统计量>正态性检验
- 等方差检验
 - 统计>方差分析>等方差检验

1. 单总体均值检验流程

检验方法和条件:

检验法	条件	H_0	H_1	检验统计量	拒绝域
Z 检验	σ 已知 大样本 或正态 小样本	$\mu \leq \mu_0$ $\mu \geq \mu_0$ $\mu = \mu_0$	$\mu > \mu_0$ $\mu < \mu_0$ $\mu \neq \mu_0$		$\{Z > Z_{1-\alpha}\}$ $\{Z < Z_{\alpha}\}$ $\{ Z > Z_{1-\alpha/2}\}$
Z 检验	σ 未知 大样本	$\mu \leq \mu_0$ $\mu \geq \mu_0$ $\mu = \mu_0$	$\mu > \mu_0$ $\mu < \mu_0$ $\mu \neq \mu_0$		$\{Z > Z_{1-\alpha}\}$ $\{Z < Z_{\alpha}\}$ $\{ Z > Z_{1-\alpha/2}\}$
t 检验	σ 未知 正态小 样本	$\mu \leq \mu_0$ $\mu \geq \mu_0$ $\mu = \mu_0$	$\mu > \mu_0$ $\mu < \mu_0$ $\mu \neq \mu_0$		$\{t > t_{1-\alpha}(n-1)\}$ $\{t < t_{\alpha}(n-1)\}$ $\{ t > t_{1-\alpha/2}(n-1)\}$

2. 两总体均值检验流程

独立双总体与配对总体的区别

独立双总体:

- 两组数据针对两组个体
- 数据无需对应
- 样本观测值彼此不影响
- 两组数据样本量可以不同

配对总体:

- 两组数据是针对一组个体处理前后或两种不同处理的结果
- 样本数据成对出现, 一一对应
- 样本数据组间不独立
- 两组数据样本量一定相同

3. 两总体均值差检验

检验方法和条件:

检验法	条件	H_0	H_1	检验统计量	拒绝域
Z 检验	σ_1, σ_2 已知	$\mu_1 = \mu_2$ $\mu_1 = \mu_2$ $\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 > \mu_2$ $\mu_1 < \mu_2$ $\mu_1 \neq \mu_2$		$\{z > z_{1-\alpha}\}$ $\{z < -z_{1-\alpha}\}$ $\{ z > z_{1-\alpha/2}\}$

t 检验	未知但相等	$\mu_1 = \mu_2$ $\mu_1 = \mu_2$ $\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 > \mu_2$ $\mu_1 < \mu_2$ $\mu_1 \neq \mu_2$		$\{t > t_{1-\alpha/2}(n+m-2)\}$ $\{t < -t_{1-\alpha/2}(n+m-2)\}$ $\{ t > t_{1-\alpha/2}(n+m-2)\}$
近似 t 检验	σ_1, σ_2 未知且不相等	$\mu_1 = \mu_2$ $\mu_1 = \mu_2$ $\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 > \mu_2$ $\mu_1 < \mu_2$ $\mu_1 \neq \mu_2$		$\{t > t_{1-\alpha}(v)\}$ $\{t < -t_{1-\alpha}(v)\}$ $\{ t > t_{1-\alpha/2}(v)\}$

4. 配对样本检验

配对检验就是利用差值的均值与 0 进行单总体的假设检验。一般情况下， σ 未知，使用单样本 t 检验。

$$\text{统计量 } t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}}$$

$$\text{其中, } s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}}$$

可以先求出差值 d ，使用“单样本 t”检验，也可以直接利用两列原始数据，使用“配对 t”检验。

5. 方差检验

(1) 方差检验的前提条件

样本量一般在 30 以上

正态性检验

单总体方差检验

总体服从正态分布：标准法

总体为任何连续分布：调整法

双总体方差检验

两总体均服从正态分布：F 检验

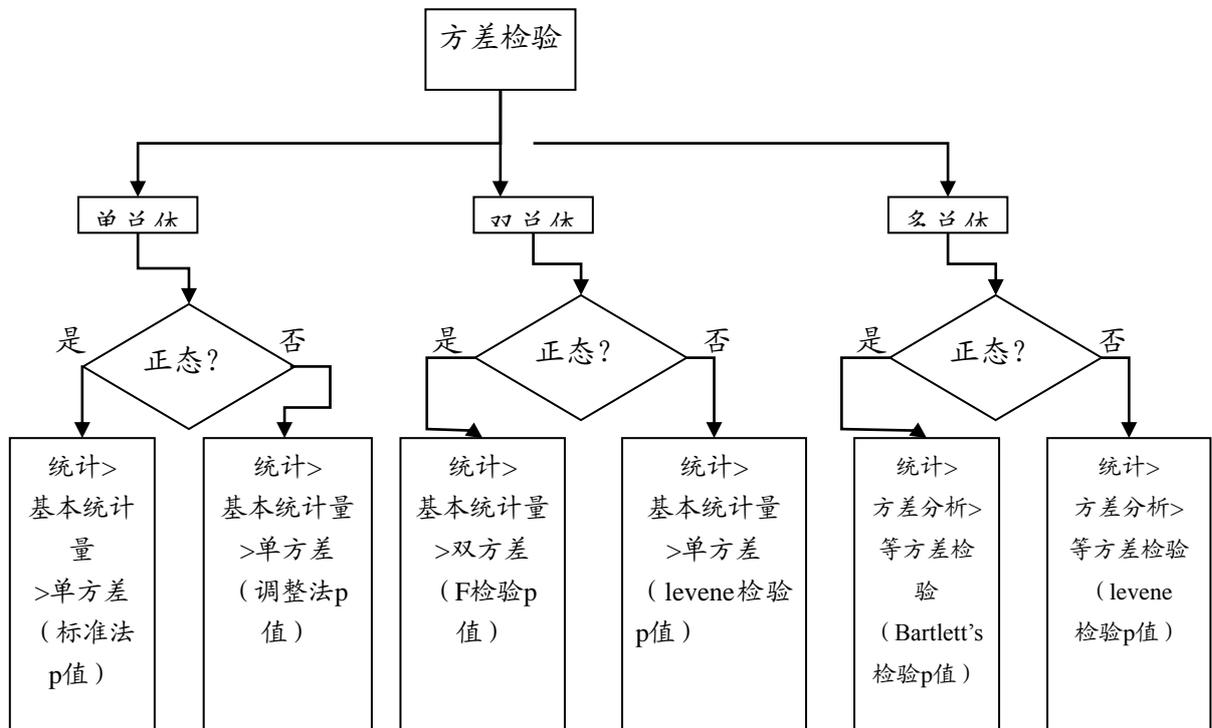
总体为任何连续分布：Levene 检验

多总体等方差检验

各总体均服从正态分布：Bartlett's 检验

总体为任何连续分布：Levene 检验

5. 方差检验



若总体服从正态分布，由样本方差构造出的统计量 $\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}$ 的抽样分布

当 μ 未知时，服从自由度为 $n-1$ 的卡方分布，记作 $\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1)$ 。

当 μ 已知时，服从自由度为 n 的卡方分布，记作 $\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n)$ 。

$$\chi^2_{\alpha/2}(n-1) \leq \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \leq \chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)$$

$$\therefore \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)}$$

样本量应大于 30，若总体服从正态分布，检验统计量： $\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$

如果两总体均服从正态分布，则其方差之比服从 F 分布： $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$

6. 比率检验

前面讨论的均值检验和方差检验是针对连续数据，现在讨论的比率检验是针对离散数据。

离散型随机变量通常服从二项或泊松分布

总体服从二项分布的比率检验

单总体比率检验

双总体比率检验

多总体比率检验

总体服从泊松分布的比率检验

单总体泊松率检验

双总体泊松率检验

假设我们独立地进行 n 次试验，每次试验的结果只有“成功”和“失败”两种结果，而且每次“试验”获得成功的概率都是固定的常数 p ，计成功的总次数为随机变量 X ，则 X 的分布称为二项分布。记作 $X \sim B(n, p)$

二项分布的概率函数： $P(X = x) = C_n^x p^x (1-p)^{n-x}$

二项分布的期望及方差： $E(X) = np$

$$V(x) = np(1-p)$$

二项分布的正态近似：

当 n 足够大 ($n > 100$), p 不太大也不太小 ($0.1 < p < 0.9$) 时，

二项分布可以近似于正态分布 $N(np, np(1-p))$ 。

6.3 方差分析

基本概念

(1) 因子：对指标有影响的因素。常用大写字母表示。上例中温度对烧碱产品得率有影响，温度是因子，记为 A 。

(2) 水平：在试验中因子所处的状态称为因子的水平。用因子的字母加下标表示。上例中有四个温度，即因子 A 有 4 个水平，分别用 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 表示。

(3) 试验条件（处理）：在一次试验中，每个因子总取一个特定的水平，若干因子各取一个特定的水平构成的组合称其为一个试验条件。上例中只有一个因子，每一个水平就是一个试验条件。

(4) 指标：衡量试验条件好坏的量称为指标，用 y 表示。上例中的烧碱产品的得率即为指标。

单因子方差分析的模型

试验中只有一个因子 A ，有 r 个水平，每一水平下进行 m 次重复试验，结果用 y_{i1} 、 y_{i2} 、...、 y_{im} ($r=1, 2, \dots, r$ 表示)。记第 i 水平下的数据均值为 \bar{y}_i ，总均值为 \bar{y} 。方差分析需要满足三个条件：

(1) 在水平 A_i 下， y_{i1} 、 y_{i2} 、...、 y_{im} 是来自正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 的一个样本，其中诸 μ_i 就是要比较的对象。

(2) 在不同水平下的方差相等。

(3) 各数据 y_{ij} 相互独立。只要试验次序随机化一般可满足。

满足上述三个条件，诸总体均值是否相等的问题归结为一个假设检验问题：

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_r \quad H_1: \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_r \text{ 不全相等}$$

单因子方差分析的基本思想：

(1) 平方和分解

上述 $n=r \times m$ 个数据之间的波动可用总偏差平方和 SST 表示：

$$SST = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y})^2$$

(2) 因子 A 的水平不同引起组间偏差平方和:

$$SSA = \sum_{i=1}^r m(\bar{y}_i - \bar{y})^2$$

(3) 随机误差用组内偏差平方和表示:

$$SSe = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

可以证明: $SST=SSA+SSe$

(2) 自由度与均方和 (平均偏差平方和)

上述诸平方和的大小与数据个数有关, 需要引入自由度的概念:

SST 、 SSA 、 SSe 的自由度分别用 dfT 、 dfA 、 dfe 表示:

在 SST 的 $n=rm$ 个偏差中有 $\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}) = 0$

故 SST 的自由度为 $n-1$ 。

在 SSA 的 r 个偏差中有 $\sum_{i=1}^r (\bar{y}_i - \bar{y}) = 0$

故 SSA 的自由度为 $r-1$ 。

在 SSe 的 $n=rm$ 个偏差中有 r 个关系式 $\sum_{i=1}^r (y_{iy} - \bar{y}_i) = 0$

故 SSe 的自由度为 $n-r$ 。

将因子或误差的偏差平方和除以自由度称为均方和:

$MSA=SSA/dfA$, $MSe=SSe/dfe$ 。

(3) F 比与拒绝域

当 MSA 比 MSe 大很多时, 可以认为因子 A 是显著的。

$F=MSA/MSe$

(4) 方差分析表

来源	偏差平方和	自由度	均方和	F 比
因子 A	SSA	$dfA=r-1$	$MSA=SSA/dfA$	$F=MSA/MSe$
误差 e	SSe	$dfe=n-r$	$MSe=SSe/dfe$	
总计 T	SST	$dfT=n-1$		

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$$

$$H_1: \text{至少有一对 } \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$$

单因子方差分析需要具备的条件 (非常重要):

- (1) 各水平下的观测值独立;
- (2) 各水平下的观测值服从正态分布;
- (3) 不同水平下的观测值等方差。

两因子方差分析

如果在一个试验中需要同时考虑两个因子 A 和 B, 设因子 A 有 r 个水平, 因子 B 有 s

个水平，有 n 个总体， $n=rs$ 个不同的试验条件。

例 6-16 现有 4 条生产线生产同一种垫片，为了解不同生产线的垫片的断裂强度有无明显差异，现分别用 5 种不同的温度进行试验。在假定不同条件下垫片的断裂强度分别服从等方差的正态分布，分别分析不同生产线及不同温度对垫片的断裂强度均值有无显著影响。如果有影响，在什么条件下垫片的断裂强度最大？

1、交互作用的概念

在农田试验中，考虑两个因子，每个因子皆为 2 水平。A：浇水。低水平，水少；高水平，水多。B：施肥。低水平，肥少，高水平，肥多，以产量为响应变量（单位：kg）。

主效应：忽略其他因子的影响，因子 A 在高、低两水平对 Y 的影响称为因子 A 的主效应。

无交互作用的双因子方差分析

6.4 列联表与卡方检验

列联表的用途很多，多总体比率检验只是列联表应用之一。

列联表独立性检验原理：

(1) 建立假设：

H_0 : 因子 A 与因子 B 相互独立

H_1 : 因子 A 与因子 B 不独立

(2) 确定检验统计量：

(3) 确定拒绝域：

(4) 依据卡方的值是否落入拒绝域或 p 值是否小于 α 做出结论。

6.5 非参数检验

1. 符号检验法

分小样本 ($n \leq 30$) 和大样本两种。小样本用二项分布，大样本用正态分布近似。

中位数符号检验法：中位数符号检验法的基本思想是：样本中高于中位数的用+表示，低于中位数的用-表示，等于中位数不计入。全部+和-的和即为样本量 n ，根据 n 查附表 8（红书 p558），得下临界值 S_α ，如果出现 $S = \min(n_+, n_-) \leq S_\alpha$ 的情况，则拒绝原假设。

2. 秩和检验法及 Mann-Whitney 检验法

问题：对于给定的两组数据，如何检验它们的均值间是否有显著差异？

如果两组数据（两个样本）独立且服从正态分布，应优先考虑采用双样本 t 参数检验方法。但当两组数据（或其中的一组数据不服从正态分布时，需要采用非参数检验方法。检验两组样本数据均值是否相等的非参数检验方法是秩和检验法。通常称为曼-惠特尼-威尔科克森检验，MINITAB 中为 Mann-Whitney 检验法。

基本思想：

1、将两组样本数据混合；

2、按照从小到大的顺序把两组样本的混合数据排序；

3、排秩。对于数据相等的情况，则每一个相等的数据取他们秩的平均值，称为“结”；

4、分别计算两组数据的秩和；

5、根据 n_1 （样本量较少的一组数据的样本量）和 n_2 的值查红书 P559 附表 9，得到秩和的上界和下界。

6、若第一样本的秩和小于等于下界或大于等于上界，则拒绝原假设，认为两组样本数据的均值有显著差异。

3. 单样本 Wilcoxon 符号秩检验法

Wilcoxon 符号秩检验法是对单样本中位数（或均值）的检验，但基本思想与双总体均

值相等性检验的非参数检验方法——Mann-Whitney 检验法类似，也是要求秩和，然后根据秩和进行判断。

- 1、将数据从小到大排序；
- 2、用每一个数据减去中位数得到差值；
- 3、对所有差值分别取绝对值；
- 4、对差值的绝对值排秩；
- 5、分别计算低于中位数的数据差值绝对值的秩和与高于中位数的数据差值绝对值秩和；
- 6、取 $n_1 = \min(n_+, n_-)$, $n_2 = \max(n_+, n_-)$, 查附表 9, 得下界 T1 和上界 T2；
- 7、若秩和小于等于下界或大于等于上界，则拒绝原假设。

单样本 Wilcoxon 符号秩检验法利用的样本信息比单样本符号检验法要多，所以检出力更强。

4.多样本均值相等性检验

- (1) Kruskal-Wallis 检验法
- (2) Mood 中位数检验法
- (3) Friedman 检验法

(1) Kruskal-Wallis 检验法

原理：将多组样本数据混合在一起，求出各数据在整个数据集中的秩，再按各组分别求出秩和，比较各组的秩和是否差别很大来判断多样本中心位置是否有显著差异。

例 6: 某轧钢车间对四种不同供应商提供的原材料轧出来钢板进行断裂强度测试，各种原材料所抽取的样本量不全相等。试检验四组不同原料生产的钢板之间平均断裂强度是否有显著差异？

如果四组数据独立、正态且等方差，可用参数检验方法中的方差分析。但断裂强度 D 不符合正态分布，只能采用非参数检验方法。

Kruskal-Wallis 检验法

优点：相当于秩和检验，灵敏度高，样本量不必很大；

缺点：易受异常观测值影响。

(2) Mood 中位数检验法原理

将各组样本数据全部混合起来，求出整个数据集合的中位数 M ，然后对于各组数据计算出“观测值比 M 大”的个数和“观测值比 M 小”的个数，将这些数据汇总起来得到一个列联表。对列联表进行卡方检验，就可以断言各组的中心位置是否有显著差别。

优点：对异常观测值不敏感，有异常观测值时建议使用次方法。

缺点：相当于符号检验，灵敏度低，样本量大。

5.数据独立性检验

数据间相互独立是指连续观测的一些数据之间，后面的数据不受前面数据的影响。

方法——链检验法，也称游程检验法。

1、建立假设

H_0 : 数据是相互独立的 H_1 : 数据不是相互独立的

2、计算链的个数

上例中有 3 个负号链和 3 个正号链，共 6 个链。

3、计算+和-号的个数

上例中低于均值的数据有 7 个（负号的个数），高于均值的数据有 7 个（正号）的个数。

4、查附表 10, 从左上角 ($\alpha = 0.05$, 双侧检验) 表中得临界值为 3, 从右上角表中

得 13，总链数为 6，没有落入拒绝域，不能拒绝原假设，说明数据独立。

假设检验方法应用分类

	μ	σ^2	p	median
1-std	1-sampleZ σ 已知 1-sampleT σ 未知	σ 的 CI 1-Variance	1-proportion	NP-1-sign NP-1-Signed Rank Wilcoxon
1-1	2-sampleT <input checked="" type="checkbox"/> $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ <input type="checkbox"/> $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$	2 variances F-test (Normal) Levene's test (任意分布)	2-proportion	NP-Mann-Whitney
multiple	ANOVA F-test ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$) %Welchs	ANOVA-等方差 2 variances Bartlett (Normal) $\alpha = 0.01$ Levene's test (任意分布)	Chi-SqrTest 列联表 Tables-Cross Tabulation (原始数据) Tables-Chi-sq Test (摘要数据)	NP-Kruskal Wallis NP-Mood Median

6.6 相关分析和回归分析

变量之间的关系通常有两种类型：

一种类型是变量之间的关系是确定的，可用某种函数来表达。

另一种类型是变量之间是某种不确定的关系，称之为相关关系。

在变量存在相关关系时，一种情况是变量都是随机变量，彼此间地位相同，任一个变量既可以做因变量也可以做自变量；另一种情况是某些变量是可以测量和控制的非随机变量，称之为自变量，另一个变量是随机变量，是因变量，二者地位不同，不能互换。

相关分析主要用来衡量变量之间线性相关的密切程度，回归分析则定量给出变量间变化规律，可以提供变量相关关系的经验公式，且可以判明所建立的回归方程的有效性。多元回归还可以判断出哪些是重要的变量，哪些是次要的变量。

6.6.1 相关分析

相关分析就是对两个变量之间线性关系的描述和度量。

- (1) 变量之间是否存在关系？
- (2) 如果存在关系，它们之间是什么样的关系？
- (3) 变量之间的关系强度如何？
- (4) 样本所反映的变量之间的关系能否代表总体变量之间的关系？

两个假定：

- (1) 两个变量之间是线性关系
- (2) 两个变量都是随机变量

1、绘制散点图获得两个连续变量之间关系的大体印象；

2、通过求解相关系数说明两个变量相关程度。

相关系数是用来描述两个变量线性相关程度的一种度量。

若相关系数是根据总体数据计算得到的，称为总体相关系数，记为 ρ ；若相关系数是根据样本数据得到的，称为样本相关系数，记为 r 。

相关系数（Pearson 相关系数）

对 r 的几点说明：

• (1) r 的取值范围在 $-1 \sim +1$ 之间， $|r|=1$ ，两变量为函数关系， $r=0$ ，说明二者不存在线性相关关系；

(2) r 具有对称性；

(3) r 数值大小与 x 和 y 的原点及尺度无关；

(4) r 仅仅是 x 与 y 之间线性关系的一个度量，不能用于描述非线性关系；

(5) r 虽然是两个变量之间线性关系的一个度量，却并不一定意味着 x 与 y 一定有因果关系。

多个变量间的相关系数矩阵：

例：（蓝书 P288 例 9-5）某种水泥在凝固时放出的热量与水泥中 4 种化学成分物质 x_1, x_2, x_3, x_4 的含量有关。现记录了 13 组数据，试分析四种化学成分之间的相关性。

(1) 绘制多变量矩阵图

图形>矩阵图

(2) 多变量相关性分析

统计>基本统计量>相关

6.6.2 一元线性回归模型

1、一元线性回归方程的建立

自变量：在回归分析中，用来预测或用来解释变量的一个或多个变量，称为自变量，用 x 表示。

因变量：在回归模型中，被预测或被解释的变量，用 y 表示。

回归模型：描述因变量 y 如何依赖自变量 x 和误差项 ε 的方程，称为回归模型。只涉及一个自变量的一元线性回归模型。

总体的回归直线方程可表示为：

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 x$$

一元线性回归模型表示成：

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$$

式中， y_i 表示自变量取 x_i 时的响应值， β_0, β_1 分别表示直线的截距和斜率； ε_i 表示随机误差。

对于实际问题，若判定变量间满足上述一元线性回归模型条件时，就可以将其表示为 $E(y) = \beta_0 + \beta_1 x$ ，然后用样本数据估计系数：

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x = a + bx$$

a, b 称为经验回归方程的回归系数。 a 是 β_0 的估计值， b 是 β_1 的估计值。

回归系数具有如下性质：

(1) 斜率 b 是 β_1 的无偏估计量，服从正态分布。即 $b \sim N(\beta_1, \frac{\sigma^2}{L_{xx}})$

(2) 截距 a 是 β_0 的无偏估计量，服从正态分布。即 $a \sim N(\beta_0, (\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{L_{xx}})\sigma^2)$

回归方程拟合出来以后，需要进行统计分析以解决以下四个问题：

- 1、给出回归方程的显著性检验，从总体上判断回归方程是否有效；
- 2、给出回归方程总效果好坏的度量标准；
- 3、当回归方程效果显著时，进行各个回归系数的显著性检验，判定回归方程中哪些自变量是显著的，哪些自变量是不显著的，将效应不显著的自变量删除，以优化模型；
- 4、残差诊断——检验数据是否符合对于回归的基本假定，检验整个回归模型与数据拟合得是否很好，是否能进一步改进回归方程以优化模型。

简单线性回归的方差分析表

来源	偏差平方和	自由度	均方和	F 比
回归	SSR	dfR=1	MSR=SSR/dfR	F=MSR/MSE
残差	SSE	dfE=n-2	MSE=SSE/dfE	
总计 T	SST=SSR+SSE	dfT=n-1		

通常用 R^2 , R_{adj}^2 和 s 度量回归方程总效果。

R^2 衡量回归方程解释观测数据变异的能力，数值越接近 1 代表模型拟合得越好。在简单线性回归中，当只有一个自变量时， R^2 就是样本相关系数的平方。

当多一个自变量加入模型时，不管这个变量影响是否显著， R^2 会增大，从 R^2 增大看不出新增加的自变量是否有意义。应用 R_{adj}^2 去修正 R^2 ：

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{SS_E / (n - p)}{SS_T / (n - 1)}$$

R^2 与 R_{adj}^2 差距小，说明模型拟合效果好。

残差标准差是从观察值与拟合回归线的平均偏离程度来度量回归效果。由于正态分布均值加减 2 倍标准差将包含大约 95% 的数据，因此，以回归线为中心，上下各距离 2 倍 s 为距离画出平行线区域将包含大约 95% 数据。

回归模型必须进行残差诊断。

残差应满足以下假定：

- (1) 具有时间独立性；
- (2) 来自稳定受控总体；
- (3) 对输入因子的所有水平有相等的总体方差；
- (4) 符合正态分布 $e_i \sim N(0, \sigma^2)$, $i=1, 2, \dots, n$ 。

残差诊断主要使用图形的方法，有四种图形：

- (1) 残差对于观测值顺序的散点图：以残差为纵轴，以时间 T 为横轴；
- (2) 残差对于拟合值的散点图：以残差为纵轴，以拟合值为横轴；
- (3) 残差的正态概率图：在正态概率纸上，以累积百分比为纵轴，以残差为横轴；
- (4) 残差对于各自变量的散点图：以残差为纵轴，以各自变量为横轴。

6.6.3 多元线性回归

1、多元线性回归的一般方法

例：（蓝书 P278 例 9-3）某手机厂研究如何提高线路板焊接制程的拉拔力问题。根据过去的经验知道，拉拔力可能与烘烤温度、烘烤时间和涂抹的焊膏量有关，先从制程中收集了 20 批数据，试建立拉拔力与各因素的回归模型。（数据文件：[REG_拉拔力.MTW](#)）如果发现在残差对预测值的残差图中出现了喇叭口或弯曲的情况，可使用宏指令 `%boxcoxregres` 进行判断是否需要 y 进行变换。其使用规则是：

（1）所有自变量连续存放，第一个自变量左侧有一列全为 1 的常数；

（2）格式为：`%boxcoxregres Y x1-xn`

残差与拟合值出现喇叭口现象。调用宏指令命令：

```
%boxcoxregres c6 c2-c5
```

在 $\lambda=1$ 时，曲线落在水平虚线上方，需要进行变换。取 $\lambda=0.5$

多元线性回归分析的自变量筛选

处理方法：

- （1）逐个删除变量
- （2）根据变量之间的相关关系确定删除的变量
- （3）多变量—变量聚类

逐步回归

（1）向前选择法：先选入对 y 影响最大者（ P 值最小者），再从其余自变量中寻找影响次最大者，直到无任何变量 p 值小于指定的选入 α 值。

（2）向后选择法：开始引入全部自变量，从 p 值最大的变量开始逐个删除，直到不能删除为止。

（3）逐步（向前和向后）：自变量逐个引入，边引入边检查已引入自变量中最大的 p 值是否已大于指定的删除 α 值，若大于指定的删除 α 值，则从模型中删除该项，在重复上述过程，直到不能再引入也不能再删除自变量为止。

最佳子集

把所有可能自变量的子集进行回归的结果都列出来供选择。

选择的依据是：

R -Sq， R -Sq（调整）越大且二者越接近越好， C_p 越接近参数个数（包括常数项）越好， s 值越小越好。

增加蓝书内容（第 10 章）：

10 变异源分析

10.1 变异源分析概论

实施六西格玛管理的一个重要目标就是要减少生产过程中产品性能的变异，即生产出的产品特性指标的标准差尽可能小。

生产中产生变异的原因可能很多，一般的做法是：通过事先安排好的计划，有规律地去收集生产过程中的有关数据，通过分析，定量地给出每部分变异在总变异中的比例，作为选择改进措施时的依据，这就是变异源分析。

变异源分析不改变目前生产状况。

10.2 变异源分析的一般方法

因变量（响应变量）：要被分析的最能代表过程特征的变量。

因子：可能产生影响的那些变量称为因子。

在 SOV 中，因子通常是以离散型变量的形式出现。连续型变量则需要取定若干固定数值后将其离散化。

变异源分析通过按不同因子的不同水平有计划地分层，然后再抽取样本。

抽样一定在现有生产条件下进行的，并不对生产条件作任何改动。

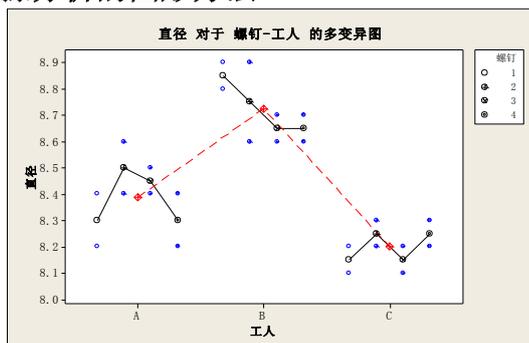
如果因子用 A 、 B 、 \dots 、 K 表示，SOV 最终的目的就是把整个方差分解为若干个有意义的方差分量：

$$\sigma^2 = \sigma_E^2 + \sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \dots + \sigma_K^2$$

选定 SOV 所要研究的因子后，要设计好采样计划。除了随机误差因子可以最少取 2 个水平外，任何属于组间差或时间差异的因子都至少取 3 个水平。

先画出要考察的各因子间的树状图。

10.3 变异源分析的图形方法



10.4 变异源分析的数值方法

1、因子的交叉与嵌套关系

因子之间的关系可分为交叉和嵌套两种，对于数值分析而言，必须区分清楚因子之间的关系。

2、固定效应与随机效应

一个因子可以取若干个不同的数值，称为因子的水平 (level)。对于因子每个水平下响应变量取值的均值的算术平均值，称为该因子的因子总均值。如果对于此因子所取的各个水平，响应变量取值的各水平均值与此因子的总均值有差别，则称这个差别 (因子所取的各个水平下响应变量取值的均值减去此因子的总均值) 为该因子在该水平上的效应，即因子取此水平时会使响应变量取值的均值在本因子的总均值上产生多大变化。

效应分为固定效应和随机效应。如果对于每个特定的水平，其效应是一个固定的数，称此种效应为固定效应。此因子被称为固定效应因子。方差分析就是设各因子效应为固定效应。

各因子在个水平上的效应不是固定的数值，而是随机变量，此种效应被称为随机效应，此种因子被称为随机效应因子。

SOV 最终目的是将各因子的方差分量按从大到小的顺序排列出来，求其对总变差的贡献率。

因子间的交叉嵌套关系，与因子本身有固定效应还是随机效应是没有关系的。但两个交叉关系的因子除了要考虑各自的主效应方差外，还需要考虑它们之间可能存在的交叉效应方差分量。

当两因子为交叉关系时，只有两个因子都是固定效应，其交互作用才是固定效应，否则交互作用为随机效应。

3、单因子方差分量计算公式

设 Y_{ij} 为因子 A 在其第 i 个水平时所得的第 j 个观测值，假定：

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}, i = 1, 2, \dots, n_A; j = 1, 2, \dots, r$$

式中 μ 为总平均值，是非随机参数； α_i 是总体 A_i 的随机效应，是随机变量； ε_{ij} 是随机误差。对于各项有下列假定：

$$\begin{cases} E(\varepsilon_{ij}) = 0 \\ \text{Var}(\alpha_i) = \sigma_A^2, i = 1, \dots, n_A \\ \text{Var}(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2, i = 1, \dots, n_A, j = 1, \dots, r \end{cases}$$

$$\begin{cases} E(MS_A) = r\sigma_A^2 + \sigma^2 \\ E(MS_E) = \sigma^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} MS_A = r\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}^2 \\ MS_E = \hat{\sigma}^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \hat{\sigma}^2 = MS_E \\ \hat{\sigma}_A^2 = (MS_A - MS_E) / r \end{cases}$$

4、单因子方差分析计算示例

10.5 变异源分析的一般数值方法

变异源分析的要点是：区分清楚他们是交叉还是嵌套关系。并计算其方差分量。

第七章 改进

7.1 试验设计基础

试验和试验设计

试验：收集样本数据的过程称为试验（Experiment）。

试验设计：收集样本数据的计划称为试验设计（DOE）。

试验设计的两个目的：

- 研究如何以最有效的方式安排试验，通过对试验结果的分析以获取最大信息。
- 通过有目的地改变一个流程（或活动）的输入变量（因子），以观察输出变量（响应）的相应变化。主要目的是分析哪些自变量 x 显著影响着响应 y ，这些自变量取什么值将会使 y 达到最佳值。

为什么使用试验设计

- 识别关键因子的最有效方法。
- 帮助我们了解输入因子和响应变量关系的最高效途径。
- 建立响应变量与输入因子之间的数学关系模型的方法。
- 确定优化输出并减少成本的输入设定值的途径。
- 设定公差科学方法。
- 改善流程绩效水平、降低成本、缩短产品开发时间和生产时间。

7.1.1 试验设计中的基本术语

1、因子：可控因子与非可控因子

影响过程及结果的变量除了这些可控因子外，还可能包括一些可以记录但不可控制的非可控因子 $U_1、U_2、\dots、U_m$ ，通常包括环境状况、操作员、材料批次等。这些变量可

能取连续值，也可能取离散值。对于这些变量，通常很难将他们控制在某个精确值上，我们把这些非可控因子称为噪声因子，常作为误差来处理。

2、水平及处理

为了研究因子对响应的影响，需要用到因子的两个或多个不同的取值，这些取值组合称为因子的“水平”或“设置”。各因子皆选定了各自水平后，其组合被称为“处理”。

一个处理的含义是：各因子按照设定的一个组合，按此组合能够进行一次试验并获得一次响应变量的观测值，因此处理也可以称为一次“试验”，也简称一次运行。一个处理可以进行多次试验。

3、试验单元与试验环境

指对象、材料或制品等载体，处理应用其上的最小单位称为“试验单元”。例如，按因子组合规定的工艺条件所产生的一件（或一批）产品。

以已知或未知的方式影响试验结果的周围条件称为试验环境，通常包括温度、湿度、电压等非可控因子。

4、模型与误差

考虑到影响响应变量 y 的可控因子是 x_1, x_2, \dots, x_k 。因此，在试验设计中建立的数学模型是：

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon$$

式中， y 是响应变量； x_1, x_2, \dots, x_k 都是可控因子； f 是某个确定的函数关系。式中的误差 ε 除了包含由非可控因子（或噪声）所造成的“试验误差”外，还可能包含“失拟误差”（*lack of fit*）。失拟误差是指所采用的模型函数 f 与真实函数间的差异。试验误差和失拟误差性质是不同的，分析时也要分别处理。

5、主效应和交互效应

主效应：忽略其他因子的影响，因子 A 在高、低两水平对 Y 的影响称为因子 A 的主效应。

不考虑因子 B，A 处于低水平时的产量平均值为 $(100+130)/2=115\text{kg}$ ，A 处于高水平的产量平均值为 $(120+150)/2=135\text{kg}$ 。产量由 115kg 提高到 135kg 完全是因子 A 的作用，称因子 A 的“主效应”为 $135-115=20\text{kg}$

$$\text{因子A的主效应} = Y_{\text{A=高}} \text{的平均值} - Y_{\text{A=低}} \text{的平均值}$$

定义两因子间的交互作用：如果因子 A 的效应依赖于因子 B 所处的水平，则称 A 与 B 之间有**交互效应**。

正交表其特点是：

(1) 任一列中正号负号出现的次数各占一半。

(2) 任两列中，++、+-、-+、--四种搭配出现的次数都是相等的，即两列的乘积和为 0。这种正交性导致对于试验结果的分析有“**均衡分散，整齐可比**”的特点。称为正交试验设计法。

$$AB \text{交互效应} = (A \text{的效应}|_{B=\text{高}} - A \text{的效应}|_{B=\text{低}}) / 2$$

$$BA \text{交互效应} = (B \text{的效应}|_{A=\text{高}} - B \text{的效应}|_{A=\text{低}}) / 2$$

$$AB \text{交互效应} = BA \text{交互效应} = [(A_{\text{高}}B_{\text{高}} + A_{\text{低}}B_{\text{低}}) - (A_{\text{低}}B_{\text{高}} + A_{\text{高}}B_{\text{低}})] / 2$$

7.1.2 试验设计的基本原则

试验设计要考虑三个基本原则：**重复试验、随机化、区组化**。

重复试验：指一个处理要施加于多个试验单元。简称“复制”。

一定要进行**不同单元的重复**，而不能仅进行**同单元的重复**。即一定要重复试验，而不能仅重复观测或重复取样。如在上例中，一定要在同样的工艺条件下生产两罐或多罐合成氨，而不能只从一罐合成氨中重复取样。以同单元重复得到的差异来估计随机误差将会低估试验误差，所得的结论就都是不可行的。

当然，完全重复不一定要对所有处理全都重复。有一些方法可以节省试验次数。

随机化：以完全随机的方式安排各次试验的顺序和/或所用试验单元。

目的是防止那些试验者未知的但可能对响应变量产生某种系统的影响。

上例合成氨生产中，假设在同一天内按上表顺序进行 8 次试验，如果当天电压有一种由高向低变化的趋势，而恰好电压降低将导致纯度降低，前 4 次试验是在较高电压下进行的，而后 4 次试验是在较低电压下进行的，如果后 4 次纯度明显低于前 4 次，就无法区分究竟是电压变化引起纯度变化还是因为因子 C 的作用。如果打乱顺序，则不会出现上述问题。

随机化并没有减少试验误差，但可以防止出现未知的但可能会对响应变量产生的某种系统影响。

区组化：按某种方式把试验单元分成组的试验方法。

在实际工作中，各试验单元间难免有些差异，如果按某种方式把它们分成组，每组内可以保证差异较小，即它们具有同质齐性 (homogeneous)，而允许组间有较大差异，这将使我们可以很大程度上消除由于较大试验误差所带来的分析上的不利影响。

区组 (block)：一组同质齐性的试验单元称为一个区组。

通过在一个区组内比较处理间的差异，就可以使区组效应在个处理效应的比较中得以消除，从而使对整个试验设计的分析更为有效。

试验设计中应遵循“能分区组者则分区组，不能分区组者则随机化”(Block what you can and randomize what you cannot)。

7.1.3 试验设计的必要性

多因子分析试验中常用的方法是“单因子变化法”或称“一次一因子法”(one-factor-at-one-time)。多个因子中，每个因子依次改变，而其他因子则保持在固定或选定的水平上。

优点：所需试验次数比全面搭配少

缺点：不能估计某些交互效应；不能在试验区域内进行系统而全面的搜索，分析结论缺乏普遍性；最后的结论对于固定因子的初始值的选定太敏感，可能错过最优因子设置。

全因子试验法是将全部因子全部水平的全部搭配都进行至少一次试验的安排方法。

试验设计可以在因子较多时减少试验次数，且用统计工具进行分析获取尽可能多的信息。

7.1.4 试验设计的类型

根据试验因子的个数，可以分为**单因子**和**多因子**设计。

根据试验的目的，可以分为**因子筛选**和**回归设计**。

因子筛选设计：明确哪些自变量显著地影响着 Y

回归设计：找出 Y 与 X 间的关系式，从而进一步找出变量 X 取什么值会使 Y 达到最佳值。

两类设计有相通之处。

在因子设计中，使用二水平正交试验法，再加上若干中心点的设计方法最简单有效。

试验设计的类型：

- 哪些自变量显著影响着 y：筛选因子。**部分因子设计**

- 详细分析因子主效应和交互效应：筛选因子。**全因子设计**
- 找出 y 与 x 之间的关系：回归设计。**响应曲面设计**。
- 寻求系统的稳健性：系统的抗干扰能力要强，当系统受到难以控制的因子的严重影响时，系统输出的变异要足够小。**稳健参数设计**（田口设计）。
- 寻找最佳配比：整个产品中各个分量所占的比率。**混料设计**。

7.1.5 试验设计的策划与安排

1、用部分因子设计进行因子的筛选

考虑到影响响应变量的因子个数可能较多（大于或等于 5），应首先进行因子筛选，一般采用试验次数较少的部分因子试验设计或更少的 Plack-Burman 设计。

2、用全因子试验设计对因子主效应和交互效应进行全面分析

当因子个数少于或等于 5 个后，可采用全因子设计，筛选出不多于 3 个的因子。

3、用响应曲面确定回归关系并求出最优设置

因子个数不超过 3 时可采用响应曲面方法对望大或望小特性的响应变量求出最优解。

4、用稳健参数设计方法（田口设计）寻求望目特性的最优设置。

7.1.6 试验设计的基本步骤

1、计划阶段

- (1) 阐述目标
- (2) 选择响应变量
- (3) 选择因子及水平
- (4) 选择试验计划

2、实施阶段

严格按计划矩阵的安排进行试验。记录响应变量和试验过程中的所有状况，包括环境（气温、室温、湿度、电压等）、材料、操作员等。

3、分析阶段

按照所应用设计类型相适应的分析方法进行分析。

4、验证阶段

必要时进行验证试验。

7.2 单因子试验设计与分析

7.2.1 单向分类设计

单因子试验设计的两个目的：一是比较因子的不同水平对 y 是否有显著影响；二是建立响应变量与自变量之间的回归方程。

7.3 全因子试验设计与分析

7.3.1 2 水平全因子试验概述

全因子试验设计：所有因子的所有水平的所有组合都至少进行一次试验的设计。

- 全因子试验设计所需试验总次数较多，但它的优点是可以估计出所有的主效应和所有的各阶交互效应。所以在因子数不太多，而且确实需要考察较多的交互作用时，常选用全因子设计。
- 当因子水平超过 2 时，由于试验次数随因子个数的增长呈指数速度增长，因而通常只做 2 水平的全因子试验。
- 将 k 个因子的 2 水平的全因子试验记为：2k 试验。这是整个全因子试验的记号，而不仅仅是试验次数。当然，也恰好是 k 个因子的 2 水平的全因子试验所需要

的最少试验次数。

- 当因子数不超过 5 个时，全因子试验比较合适。

1、试验目的

一般来说，进行任何试验都要进行好几批：先用部分因子试验设计筛选因子，让因子个数不超过 5 个，然后用全因子试验设计进行因子效应和交互作用的全面分析，进一步筛选不超过 3 个因子，最后用响应曲面（RSM）确定回归关系并求出最优设置。

实施部分因子试验设计通常只是为了筛选因子，可稍粗糙些，因而试验次数较少；响应曲面试验设计通常是为了得到包含平方项的非常精细的回归方程，试验次数最多，因而只对较少因子有实际意义；全因子试验设计可兼有筛选因子和建立回归方程两方面目的，可以分析出所有因子的主效应和各因子间的各阶交互作用的效应，回归方程中将包含一次项以及各因子的乘积项，试验次数适中，适用于因子不超过 5 个的情况。

2、试验的安排及中心点的选取

研究如何在试验设计中考虑到三个基本原则：

重复试验：将一个试验条件都重复 2 次或更多次，可以对试验误差估计得更准确，但却大大增加试验次数。常用的方法是在“中心点”处重复 3 次或 4 次试验，进行完全相同条件下的重复，因而可以估计出试验误差即随机误差，增加了对于响应变量可能存在弯曲趋势估计的能力。安排因子 2 水平加中心点，可构成较好的全因子试验设计。当因子全部为连续型变量时，中心点为高水平和低水平的平均值；

当因子全部为离散型变量时，可选取各种搭配中的某一个组合作为“伪中心点”；当既有连续型因子也有离散型因子时，连续变量取平均值，离散变量取某一组合作为“伪中心点”。

3、代码化及其计算

所谓代码化，就是将因子所取的低水平设定的代码取值为-1，高水平设定的代码取值为+1，中心水平定为 0。

将自变量代码化后的好处：

(1) 代码化后的回归方程中，自变量及交互作用项的各系数可以直接比较，系数绝对值大者之效应比系数绝对值小者之效应更重要、更显著。

(2) 代码化后的回归方程内各项系数的估计量间是不相关的。

(3) 在自变量代码化后，回归方程中的常数项（或称截距）有了具体的物理意义。将全部自变量以“0”代入回归方程得到的响应变量预测值就是截距值。

中心值 $M = (\text{低} + \text{高}) / 2$

半间距 $D = (\text{高} - \text{低}) / 2 = 20$

代码值 = (真实值 - 中心值 M) / 半间距 D

真实值 = 中心值 M + 代码值 \times 半间距 D

试验设计的步骤

1、计划阶段

- (1) 阐述目标
- (2) 选择响应变量
- (3) 选择因子及水平
- (4) 选择试验计划

2、实施阶段

严格按计划矩阵的安排进行试验。记录响应变量和试验过程中的所有状况，包括环境（气温、室温、湿度、电压等）、材料、操作员等。

3、分析阶段

按照所应用设计类型相适应的分析方法进行分析。

4、验证阶段

必要时进行验证试验。

选定拟合模型：

第一要点是分析评估回归的显著性：

1、总效果；2、失拟现象；3、弯曲项。

第二要点是分析评估回归的总效果：

$$R_{adj}^2$$

1、两个确定系数 R^2 及 R_{adj}^2 ；

2、对于 s 或 s^2 的分析；

3、对于预测结果的整体预测（主要有两个统计量： $PRESS$ 和 $R-Sq$ （预测））。

$PRESS$ 是预测的误差平方和，与 SSE 很相似，但对于第 i 个观测值的预测值所使用的回归方程不是用全部观测值来获得的，而是将第 i 个观测值删除后拟合的回归方程，求其残差。即对所有观测值轮番删除一个，计算残差平方和。 $PRESS$ 通常比 SSE 要大一些，但如果大得不多，说明数据点中有特殊地位的点不多，或影响不大。用此作为回归方程的预测结果比较可信。）

另一个统计量是 $R-Sq$ （预测）。 $R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$ 将 SSE 换成 $PRESS$ ，可以得到预测的 R^2 简记为 $R-Sq$ （预测）。 $R-Sq$ （预测）通常比 R^2 （ $R-Sq$ ）小一些，小得不多说明数据中有特殊地位的点不多。

第三要点是分析评估各项效应的显著性：在结果输出的最开始部分就是各回归系数（代码化后）的统计检验。这里列出了各项的效应、回归系数及 P 值。一般情况下，如果 P 值大于 0.05，说明对应项不显著，在修改模型时应该删除。需要注意的是，如果一个高阶项是显著的，则此高阶项所包含的低阶项也必须被包含在模型中。

对于各项效应的显著性，计算机还输出一些辅助图形帮助我们判断有关结论。这里最重要的就是 Pareto 效应图、正态效应图。

Pareto 图是将各效应 t 检验的 t 值作为纵坐标，按照绝对值大小排列起来，给出 t 的临界值，绝对值超过临界值的效应将被选中。

用 Pareto 图来判断因子效应的显著性非常直观，但要用 s^2 来估计 σ^2 ，不一定可靠。将各因子的效应按从小到大（正负号考虑在内）排成序列，将这些效应点标在正态概率图上，就是正态效应图。

假定少数因子效应显著（效应稀疏原则），挑选位于中间的一些点拟合一条直线，则远离直线的点效应显著，正效应在直线的右（上）方，负效应在直线的左（下）方。

残差诊断：

残差诊断应包含四个步骤：

（1）在“四合一”图的右下角图中，观察残差对于以观测值顺序为横轴的散点图。重点考察在此散点图中，各点是否随机地在水平轴上下无规则地波动着。

（2）在“四合一”图的右上角图中，观察残差对于以响应变量拟合预测值为横轴的散点图，重点考察此散点图中，残差是否保持等方差性，即是否有“漏斗型”或“喇叭型”。

（3）在“四合一”图的左上角正态概率图（或左下角直方图）中，观察残差的正态性检验图，看残差是否服从正态分布。

（4）观察残差对于以各自变量为横轴的散点图，重点考察此散点图中是否有弯曲趋势。

残差不正常表现两种情况：

1、残差出现漏斗型、喇叭型

说明对响应变量需要做某种变换。一般采用 BOX-COX 转换。

2、残差出现 U 型或反 U 型

说明需要增加 x 的平方项或立方项。

BOX-COX 转换的宏指令格式为：

```
%boxcoxdoe y M p c21-c60
```

其中，

- y 为响应所在列的列标，本例为 C9
- M 为设计矩阵，可单击工具栏的显示设计按钮，选择矩阵文件夹，可以查看设计矩阵。本例中设计矩阵 M1 为 19 行 11 列（19 次试验，包含常数项共 11 项），p 为 11。
- c21-c60 是为计算机留出的可供随意使用的 40 个空白列）

判断模型是否需要改进

1、残差对拟合预测值的诊断图中，是否有不齐性或弯曲的情形？如果此图有问题，则提示我们要对响应变量 y 作某种变换后才行，将 y 作变换后一切重新开始。

2、残差对于自变量的诊断图中，是否有弯曲的情形？如果确实有弯曲，应考虑增加因子的平方项甚至立方项才会使模型拟合得更好。

3、基于各项效应及回归系数计算的显著性分析中是否有不显著项。如果发现有些主效应项或交互效应项不显著，在修改模型时应将这些项从模型中删除，模型的拟合也要重新进行。

对选定模型进行分析解释

(1) 输出各因子的主效应图和交互效应图

从图形中进一步确认所选中的主因子和交互效应作用项是否真的显著，而未选中的主因子和交互作用项是否真的不显著。

(2) 输出等高线、响应曲面等

从等高线、响应曲面图上进一步确认主效应和交互效应如何影响响应变量，在何处获得最佳值。

(3) 实现最优化

按照具体问题的望大、望小和望目特性在数值上求出在整个试验范围内的最佳值。

判断目标是否已经达到

将预计的最佳值与原试验目标相比较。如果离目标尚远，则应考虑安排新一轮试验，通常在本次获得的或预计的最佳点附近，重新选定试验的各因子及其水平，继续做因子设计（DOE）或回归设计（RSM），以获得更好的效果。如果已基本达到目标，则要做验证试验以确保将来按最佳条件生产能获得预期效果。通常的做法是先算出在最佳点的观测值的预测值及其变动范围，然后在最佳点做若干次验证试验（通常 3 次以上）。如果验证试验的结果的平均值落入事先计算好的范围内，说明一切正常；否则就要进一步分析发生错误的原因，改进模型，再重新验证。

7.4 部分因子试验设计与分析

7.4.1 部分因子试验概论

部分因子试验设计是一种**筛选设计**，其目的是尽可能高效地将有影响因子与无影响因子区分开。部分因子试验设计的优点：能够大大减少试验次数。

因子数	全因子	部分因子
3	8	4
4	16	8

5	32	8, 16
6	64	8, 16, 32
7	128	8, 16, 32, 64
8	256	16, 32, 64, 128
9	512	16, 32, 64, 128, 256

7.4.2 部分因子设计有两种方法:

方法一: 删节试验法

方法二: 增补因子法

任何部分实施的因子试验, 混杂不可避免。通常情况下, 高级的交互作用项可忽略不计。

记部分因子试验设计为 2^{k-p} , k 为全部因子个数, p 代表新安排的因子个数。 $D=ABC$ 称为生成元, $ABCD=1$ 称为定义关系 (简称“字”)。在新因子只有 1 个时, 生成元与定义关系是同一件事的两种表达方式。给定全部生成元 (2^{k-p} 中共有 p 个生成元), 可形成全部的字 (2^{k-p} 中全部的字共有 2^{p-1} 个)。

所有字中字长最短的长度为整个设计的分辨率。如 2^{4-1} 设计中, 若定义关系为

$I=ABCD$, 则其分辨度为 IV, 记为 2^{4-1}_{IV} 。

分辨度为 III 的设计: 各主效应间没有混杂, 但某些主效应可能与某些二阶交互效应混杂;

分辨度为 IV 的设计: 各主效应间没有混杂, 主效应与二阶交互效应也没有混杂, 但主效应可能与某些三阶交互效应混杂, 某些二阶交互效应混杂;

分辨度为 V 的设计: 某些主效应可能与某些四阶交互效应混杂, 二阶交互效应之间没有混杂。



分辨度与混杂的关系

混杂	III	IV	V
主效应之间	无	无	无
主效应与二阶间	可能	无	无
二阶之间		可能	无
二阶与三阶之间			可能

7.4.3 部分实施因子试验的分析实例

7.4.4 Plackett-Burman 设计

有时试验经费非常昂贵，需要进一步减少试验次数。为了保证试验的正交性，部分因子试验设计的试验次数是 2 的整方幂：4, 8, 16, 32, ...。其实，保持正交性的设计试验次数只要是 4 的整数倍即可。若次数既是 4 的整数倍又是 2 的整方幂，就与部分因子试验设计是一样的，因此，Plackett-Burman 设计最有用的是 $n=12, 20, 24, \dots$ 使用 L12，最多可以安排 11 个因子。

缺点：分辨率只有 III。任何一个 2 阶交互效应显著，将不能准确分析出主效应。
使用条件：因子个数多、试验费用昂贵、不考虑任何交互作用。

7.5 响应曲面设计与分析

全因子试验设计：所有因子的所有水平的所有组合都至少进行一次试验的设计。

- 全因子试验设计所需试验总次数较多，但它的优点是可以估计出所有的主效应和所有的各阶交互效应。所以在因子数不太多，而且需要考察较多的交互作用时，常选用全因子设计。
- 对于全因子试验设计，在实际使用时要注意考虑贯穿三个基本原则：完全重复试验、随机化和划分区组。
- 完全重复试验的方法就是只在“中心点”处安排重复试验，通常是在中心点重复做 3 次或 4 次试验。
- 安排每个因子取 2 水平，再加上中心点，则可以构成较好的全因子试验安排。
- 当因子数不超过 5 个时，全因子试验比较合适。

响应曲面设计：通过对响应的曲面图形寻找最佳响应的设计方法。响应曲面方法一般适用于因子不超过 3 个的情况。

序贯试验策略：先后分两阶段完成全部试验的策略。

对 2 水平因子（因子数一般不超过 5 个）进行全因子试验设计，拟合回归方程，发现有弯曲的趋势（弯曲项的 P 值小于 0.05），则拟合包含二次项的回归方程，一般形式为：

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2 + \varepsilon$$

由于增加了两个因子各自的平方项，需要增加试验点，整个试验分两阶段进行。

中心复合设计（CCD）

中心复合设计示意图（3 因子）（图略）。

立方体点：各点坐标皆为 -1 或 1，共有 $2^3=8$ 个

中心点：各点的各维坐标均为 0，可根据情况添加

轴点：除一个自变量坐标为 α 外，其余坐标皆为 0。共有 $2k=6$ 个。由 3 类点构成的试验设计称为中心复合设计。

中心复合设计试验方案的确定

如果只选择立方体点和中心点，则构成一般 3 因子 2 水平全因子设计，可拟合各因子的主效应和二阶、三阶交互效应。

如果拟合模型出现弯曲的情况，可在上述全因子设计的基础上增加 6 个轴点，完成第二阶段试验，可拟合各因子的二阶项，称为序贯试验。

如果确定试验区域已经接近最优区域，则可选择全部三类点，直接进行中心复合设计。需要考虑以下三个问题：

- （1）如何选择全因子设计部分
- （2）如何确定星号点的位置（即确定 α 值）

(3) 如何确定中心点的个数

(1) 如何选择全因子设计部分

一般选择全因子设计，因子数大于 5 时考虑采用部分因子设计。

(2) 如何确定星号点的位置（即确定 α 值）

选取 α 值有多种方法，一般考虑满足旋转性。

旋转性：将来在某点处预报值的方差仅与该点到试验中心的距离有关，即响应变量的预测精度在以设计中心为球心的球面上是相同的。旋转性可保证均匀一致的精度。

要满足旋转性， $\alpha = F^{\frac{1}{k}}$ ，F 为因子试验点的总数，k 个因子， $\alpha = 2^{\frac{1}{k}}$ 即可满足旋转性，又可满足序贯性，称为**中心复合序贯设计（CCC）**。

$$k=2, \alpha = 2^{\frac{1}{2}} = \sqrt{2} = 1.414 \quad k=3, \alpha = 2^{\frac{1}{3}} = \sqrt[3]{2} = 1.260$$

如果要求进行 CCD 设计，但受工艺条件的限制，试验水平不能超过立方体边界，则可将星号点设置为 ± 1 ，则计算机自动将立方体点缩进到立方体内，称为**中心复合有界设计（CCI）**。这种设计**失去序贯性**。

取 $\alpha = 1$ ，星号点不变，等于把星号点向内收缩至立方体表面，称为**中心复合表面设计（CCF）**。优点是因子只有 3 水平（-1、0、+1），缺点是**失去旋转性**（仍具有序贯性）。

(3) 中心点的个数选择

在满足旋转性的前提下，适当选择中心点数，可以使整个试验区域内的预测值具有一致均匀精度。一般至少选 2-5 次。

CCD 设计试验点数表

因子数	立方体点	星号点	中心点	合计
2	4	4	5	13
3	8	6	6	20
4	16	8	6	30
5	32	10	10	52
5	16	10	7	33

Box-Behnken 设计

将试验点安排在立方体棱的中点上。所需点数比 CCD 要少，试验区域是球形的，具有近似旋转型，但没有序贯性，3 个因子需要 12+3 次试验，4 个因子需要 24+3 次试验。除非极端重视试验次数，否则不选择 BB 设计。

如何确定最速上升路径？

确定最陡上升路线（与等高线垂直的方向）

$$\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x_T^*}, \frac{\partial f}{\partial x_P^*} \right)$$

7.6 稳健参数设计（略）

7.7 混料设计与分析（略）

7.8 调优运算

调优运算就是以当前生产条件为中心，在周围很近的范围内（过程性能可能有微小变化，但要保证不会出现任何问题）选定并安排一批简单的重复试验，对这些试验结

果进行分析，寻找更优。

调优运算的目的在于使生产过程在加工符合标准产品的同时，也生成有关自身信息。

调优运算的方法通常是安排一个具有中心点的二水平全因子试验设计，多次重复进行，形成循环，在分析比较结果数据中，对于因子的显著性作出判断，将显著因子水平加以调整，使得生产获得改进。不断重复上述步骤，直到达到最优为止。

第八章 控制

控制阶段的任务

维持改进的成果

- 建立监视过程，明确已经取得的改进；
- 制定应变方案；
- 确定关键控制点、控制参数和控制方法；
- 形成新的程序文件或作业标准。
- 过程改进成果的文件化
 - 明确纪律
 - 明确责任人
 - 文件化

- 建立过程控制计划
通俗易懂的作业指导书或修改现行标准

- 持续的过程测量（控制）
 - 完善过程的 SIPOC 图
 - 对过程关键变量进行控制
 - 关注关键变量输入测量
 - 关注输入和输出的对应效果

8.2 常规控制图

8.2.1 控制图的基本概念

控制图的作用：

- 在质量诊断方面，可以用来度量过程的稳定性，即过程是否处于统计控制状态；
- 在质量控制方面，可以用来确定什么时候需要对过程加以调整，而什么时候则需使过程保持相应的稳定状态；
- 在质量改进方面，可以用来确认某过程是否得到了改进。

1、波动理论

- (1) 过程中有许多导致波动的因素存在；
- (2) 每种因素的发生是随机的且无法预测，当这些因素都影响着过程输出即质量特性；
- (3) 质量特性有波动时正常现象，无波动是虚假现象或是测量仪器分辨率太低；
- (4) 彻底消灭波动时不可能的，但减少波动是可能的；
- (5) 控制过程就是要把波动限制在允许的范围内，超出范围就要设法减少波动并及时报告，迟到的报告可能引起损失，是失职行为。

导致质量特性波动的来源可分为人、机、料、法、环、测（5M1E）六个方面。从对质量特性影响的大小来分，质量因素又分为偶然因素和可查明原因两大类。

偶然原因：简称为偶因、一般原因。

可查明原因：又称特殊原因或系统原因，俗称异常原因，简称异因。

偶然原因引起质量的偶然波动（简称偶波），异常原因引起质量的异常波动（简称异波）。偶波是不可避免的，但对质量的影响微小，可听之任之；异波对质量的影响大，采取措施不难消除，故在过程中异波及造成异波的原因是关注对象，一旦发生，就应该尽快找出，采取措施加以消除，并纳入标准，保证不再出现。

两类波动的比较

类别	发生原因	影响程度	可否避免	消除难易	消除费用	处理方法
正常波动	许多	小	不可	难	大	保持
异常波动	单一	大	可以	易	小	消除

2、控制图的基本原理

车制螺丝中，发生车刀严重磨损的异常因素，导致螺丝直径的分布偏离原来的正态分布而向上移动，点子超出上控制界的概率大为增加，点子频频出界，表示过程存在异常波动。因此，控制图的控制界限就是区分偶然波动与异常波动的界限。

只有偶然因素没有异常因素的状态称为统计控制状态，简称稳态。

控制界限（UCL 和 LCL）是区分偶然波动与异常波动的界限，与顾客需求和产品服务的规格规范无关。

3、控制图的设计思想

利用控制图进行监控，要面对两类错误：

第 I 类错误：虚发警报错误。过程正常而点子偶尔超出控制界外，根据点出界就判异的原则判断过程异常，犯第 I 类错误。类似于假设检验中的**弃真错误**；

第 II 类错误：漏发警报错误。过程已经出现异常，但仍有部分产品的质量特性值位于控制限内，不能判断过程异常，犯第 II 类错误，类似于假设检验中的**取伪错误**。

一般常规控制图的控制界限为：

$$UCL_T = \mu_T + 3\sigma_T$$

$$CL_T = \mu_T$$

$$LCL_T = \mu_T - 3\sigma_T$$

μ , σ 为统计量的总体参数，下标T泛指某统计量。

4、异常波动的判断

GB/T4091-2001《常规控制图》明确给出了**判断异常波动的八种模式**。为了便于具体地说明这 8 条准则，可将控制图分为 6 个区，每个区的宽度为 σ 。6 个区的标号为 A, B, C, C, B, A, 两个 A 区、B 区、C 区都关于中心线对称。

判异准则：

准则 1：1 个点落在 A 区以外（出界就判异）。

准则 2：连续 9 点落在中心线同一侧。

准则 3：连续 6 点递增或递减。（当过程处于统计控制状态时）

准则 4：连续 14 点中相邻点子总是上下交替

准则 5：连续 3 点中有 2 点落在中心线同一侧的 B 区之外。

准则 6：连续 5 点中有 4 点落在中心线同一侧的 C 区之外。

准则 7：连续 15 点落在中心线两侧的 C 区之内。

准则 8：连续 8 点落在中心线两侧且无 1 点在 C 区中。

5、统计控制状态的判断

GB/T4091《常规控制图》给出了过程改进的策略（参见《常规控制图》图 3）。

对数据收集的要求是：25 个子组大小为 4 或 5 的子组
过程处于统计控制状态的条件是：

- 点在中心线周围随机分布；
- 点在控制限内；
- 无链、趋势和其他模式；
- 过程稳定，可预测。

下列情况未处于统计控制状态：

- 出现可查明原因；
- 点超出控制限；
- 出现链、趋势、循环等。

6、分析用控制图和控制用控制图

控制图分为分析用控制图和控制用控制图两个阶段。一个过程开始实施时，几乎都不会恰巧处于统计控制状态，如果以此来建立控制图，上下控制限一定较宽，会导致判断失误。过程开始控制时，应将失控状态调整到控制状态，这就是控制用控制图。

分析用控制图阶段主要做到：

- (1) 调整过程，使过程受控；
- (2) 使过程能力指数 C_p 或 C_{pk} 能达到顾客要求，一般要求 $C_{pk} \geq 1.33$

7、控制图的设计制作基本程序

- (1) 确定少数重要的关键过程测量值，选择计量控制图或计数控制图；
- (2) 采集数据。一般选择 20 组以上的样本，每组 4-5 个测量值；
- (3) 根据需要控制的统计量计算控制限；
- (4) 绘制控制图。现在一般采用 MINITAB 等软件绘制；
- (5) 应用控制图：利用 8 条判异原则确定过程的状态。如果出于控制的目的建立控制限，若有点子超出控制限或排列有缺陷，应分析原因，找到原因后剔除数据，重新计算控制限。

8.2 常规控制图

常规控制图

图表类型	适用数据	使用说明
$I-MR$ 图	单件的连续数据。标出单件的观测值以及移动极差，即相邻各件观测值之差。	I 图最容易绘制，可用于多种状况
$\bar{X}-R$ 图 $\bar{X}-S$ 图	子组的连续数据。标出子组平均值和子组极差或子组标准差。	\bar{X} 图使得异常因素带来的波动更凸显。
p 图与 np 图	计件离散数据，服从二项分布。如：不合格品数	p 图：允许样本量大小变化 np 图：样本量大小不变
u 图与 c 图	计点离散数据，服从泊松分布。如：缺陷点数	u 图：允许样本量大小变化 c 图：样本量大小不变

8、控制图判断准则的使用

GB/T4091-2001《常规控制图》指出：

- (1) 假定质量特性 X 的观测值服从正态分布，判断异常波动的八种模式完全适用于 \bar{X} 图和单值 (X) 图；

(2) 对于极差控制图 and 标准差控制图, 因为存在极差和标准差的近似正态性假设, 可近似使用;

(3) 对于 p 图、 np 图、 u 图和 c 图, 同样存在近似正态性假设, 可近似使用八种模式, 以判断异常原因是否出现以及何时出现。

8.2.1 计量控制图

计量控制图的基本假定是质量特性 X 的观测值服从正态分布, 因此要控制计量值需要两张控制图, 一张用于控制均值, 另一张用于控制标准差 (极差)。即, 要配对使用。

1、合理子组原则

抽取样本时要使: 组内波动仅有偶然因素引起; 组间波动主要由异常原因引起。为实现合理子组原则, 最简单的办法是在短时间内抽取一个子组所需的全部个体, 或者对连续生产进行“块抽样”。

2、计量控制图的控制限 (系数查 P554 附表 6)

3、参数值给定时计量控制图的控制限 $X_0, R_0, \sigma_0, s_0, \mu$ 为给定的参数值。系数 A, D_2, D_1, B_6, B_5 查 P554 附表 6)。

8.2.3 计数控制图

1、计件控制图

服从二项分布 $B(n, p)$, 根据样本量大小是否相等, 可分为:

(1) 不合格品率控制图 (p 图): 样本量大小可不相等。

(2) 不合格品数控制图 (np 图): 样本量大小相等。

2、计点控制图

服从泊松分布 $P(\lambda)$, 根据样本量大小是否相等, 可分为:

(1) 单位缺陷控制图 (u 图): 样本量大小可不相等。

(2) 缺陷数控制图 (c 图): 样本量大小相等。

8.3 特殊控制图

8.3.1 累积和控制图

累积和控制图用“平均链长” (average run length, ARL) 去控制两类错误, 对过程的判断是以历次观测结果为依据, 对观测数据加以累积, 可充分利用数据所提供的信息, 对发现过程的微小偏移特别有效。

1、累积和

逐次抽取的容量为 n 的样本中检出的不合格品数或缺陷数对其目标值 (或参考值) 的偏差之和。

$$C_{mT} = \sum_{i=1}^m (x_i - T)$$

如果 C_{mT} 的轨迹有上升的趋势, 表示质量有变坏的倾向。

GB4887-85 中规定了一个警戒值 (参考值), 用 k 表示, 通常要求 $k > T$, 再定义一个参数 h , 称为“决策区间”。若图中任意一点与最后一点的垂直距离大于等于 h , 则判断过程已经发生异常。

C_m 表示对参考值 k 的累积和:

$$C_m = \sum_{j=1}^m (x_j - k)$$

决策规则为：对任一点 $(i, C_i)(i=1,2,\dots,m-1)$ ，有 $C_m - C_i \geq h$ ，即当 $\sum_{j=i+1}^m (x_j - k) \geq h$ ，则判断过程发生异常。

一组参数 (h, k) 决定了一个过程的检验方案。决定 (h, k) 与平均链长有关。

平均链长：指对给定的质量水平（如不合格品率 p ，平均缺陷数 λ ，过程的均值 μ 等）累积和控制图从开始到发出警报为止所抽取的平均样本数。

(1) 若要求一个好的过程的不合格品率不大于 p_0 （合格质量水平 AQL），当过程的不合格品率为 p_0 时表示过程处于受控状态。此事如果报警则属于误报。用 L_0 表示受控过程的平均链长，即在受控状态下，平均经过 L_0 次抽样才误发一次警报。在制作累积和控制图时总希望 L_0 大。

(2) 若规范要求过程的不合格品率不得大于 p_1 （拒收质量水平 RQL），当过程的不合格品率为 p_1 （ $p_1 > p_0$ ）时表示过程已经达到失控状态，应该发出警报。用 L_1 表示失控过程的平均链长，即平均抽取 L_1 个样本就发一次警报，不发警报相当于犯第 II 类错误。在制作累积和控制图时总希望 L_1 小。

GB4887-85 中给出了两种常用的 L_0 和 L_1 的值，(1) $L_0 \approx 1000$, $L_1 \approx 10$; (2) $L_0 \approx 200$,

$L_1 \approx 5$ ，分别成为 C_1 和 C_2 方案。

	C1 方案			C2 方案		
	参数值		特性值	参数值		特性值
T_0	h	k	$\lambda_{10} / \lambda_{1000}$	h	k	$\lambda_5 / \lambda_{200}$
0.5	3	1.5	3.0	2	1.5	3.3
0.8	5	1.5	2.3	3.5	1.5	2.7
1.0	5	2	2.2	5	1.5	2.5
1.25	4	3	2.2	5	2	2.3

2、累积和控制图的步骤（略）

8.3.2 指数加权滑动平均控制图（EWMA）

EWMA 控制图关注当前值与历史数据的加权平均。

$$Z_t = \lambda x_t + (1 - \lambda)Z_{t-1}$$

Z_t 为当前时刻EWMA统计量; Z_{t-1} 为上一时刻EWMA统计量;

$Z_0 = \mu$ 为EWMA统计量的初值, x_t 为当前时刻的观测值; λ 为权重因子。

EWMA控制图的控制限为:

$$UCL = \hat{\mu} + 3\hat{\sigma} \sqrt{\lambda/(2-\lambda)}$$

$$LCL = \hat{\mu} - 3\hat{\sigma} \sqrt{\lambda/(2-\lambda)}$$

式中, $\hat{\mu}$ 和 $\hat{\sigma}$ 分别为观测值序列 x_t 均值和标准差的估计值。

推荐: $0.05 \leq \lambda \leq 0.25$, 一般 λ 取0.08, 0.10, 0.15, 0.2。

第九章 精益生产

9.1 精益生产概述

- 是一种新思维, 而不仅仅是一个管理时尚, 工具或技术
- 是一种系统简化流程, 消除浪费性步骤, 保持产品线流畅的方法
- 是只按照客户需求, 在最短时间, 最少浪费的情况下进行生产, 而不是用更少的人去做更多的事情
- 精益运营驱使我们不浪费, 不产生缺陷, 前后一贯地进行工作, 从而不断追求完美的境界

9.1.1 精益生产的产生及发展

- 十八世纪的工业
师傅带徒弟的手工作坊, 通畅的流程, 每件产品都不一样, 没有规模化效益。
- 十八世纪末
1776年, 亚当·史密斯在《国富论》中首次正式强调了分工对生产的有益之处
1798年, 艾里·惠特尼在他的棉纺厂第一次展示出分工专门化和可替换零件的重要性
- 十九世纪初
亨利·福特的生产线开始了大规模汽车的生产(T型车)
通过垂直整合实现产品, 原材料等的质量控制
- 二十世纪七十年代
日本的丰田制造系统帮助创造了日本汽车工业对欧美国家的优势
精益生产的先驱

9.1.2 精益生产的核心思想

- 以消除浪费为核心思想
- 暴露问题, 解决问题

9.1.3 精益生产与传统生产模式的比较

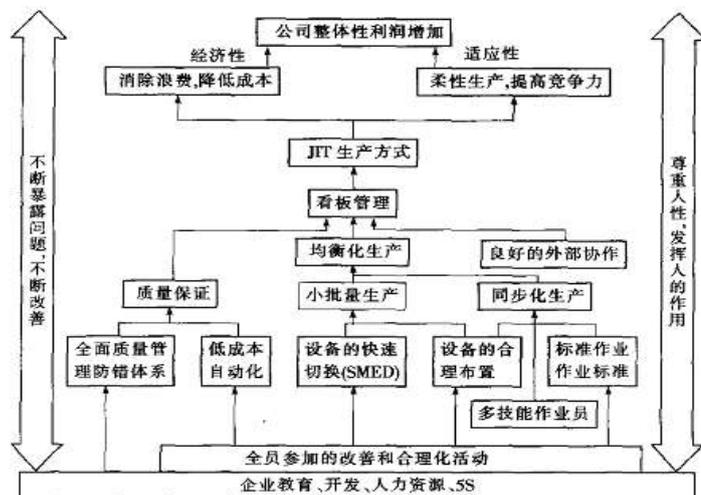
比较内容	传统生产模式	精益生产模式
企业目标	足够好的原则：容忍一定的废品率，最低限度的库存，产品单一	尽善尽美的原则：不断降低成本，追求零缺陷，实现零库存、产品多样化
工作强度	体力和精神的紧张	有节奏感、创造性的紧张
人事管理 组织结构	以个人为单位进行工作实绩考核	以集体为单位进行工作实绩考核
	组织机构以集中式或多级递阶控制为主	组织结构以分布式或适度递阶控制为主
	面向职能，按职能划分部门	面向过程，按过程划分项目组
	被动管理	主动管理，以人为本
产品开发	顺序开发	并行开发
销售	以市场预测和订货为基础的大规模生产	把销售纳入生产体系，客户和供应商也参加到综合小组中，按订单组织生产
生产计划 管理	面向设备负荷编制生产计划，使设备尽可能满负荷运转	面向实际需要编制生产计划
	大批量优先	最小批量
	按事先制定的生产计划控制生产过程——“推”的管理方式	按合同组织生产过程——“拉”的管理方式
	自顶向下，分层生产控制	分布式自适应控制
采购管理	零件成本最低的采购原则	产品总成本最低的采购原则
	按零件或材料类型采购	以子系统为单位进行采购
财务管理	被动管理，注重事后成本核算	主动管理，注重面向事前整个生产过程的成本控制
	以降低成本为目标	以提高生产率、改善产品增值过程为目标
质量管理	专职的质量管理人员	质量自检
	提高产品质量必然会增加产品成本	提高产品质量并非一定会增加产品成本
信息处理	集中处理	分布处理，将信息作为生产要素得到更好的应用

9.1.4 精益思想的五项基本原则

- 正确地确定价值
- 识别价值流
- 流动
- 拉动
- 尽善尽美

9.2 精益生产的技术体系及主要支撑技术

9.2.1 精益生产的技术体系



9.2.2 看板拉动生产

1 看板拉动生产的基本概念

看板是对生产过程中各工序生产活动进行控制的信息系统。

使用看板所遵循的基本规则是：

- (1) 不向后一道工序传送次品；
- (2) 在必要的时间由后一道工序来领取必要数量的必要零部件；
- (3) 前道工序只按后一道工序的取货量进行生产；
- (4) 进行均衡生产，各工序均匀地领取零部件；
- (5) 根据看板进行微小的调整；
- (6) 要使生产工序稳定化、合理化，不断减少看板数量。

2 看板的设置及计算（略）

9.2.3 均衡化生产与设备的快速换型调整

1 均衡化生产

生产均衡化要求的是生产数量的均衡和产品种类的均衡。

精益生产把均衡化生产作为使生产适应市场需求变化的重要手段。

2 设备的快速换型调整

实现“多品种、小批量”为特征的均衡化生产最关键和最困难的一点就是设备的快速换型调整问题。

9.2.4 设备的合理布置与多技能作业员

1 设备的合理布置

2 多技能作业员

9.2.5 标准化作业

标准化作业是指把生产中的各种要素（人、机、料、法、环、测）进行最佳组合，按“准时化”生产的要求制定出相适应的作业标准，各类作业人员按标准作业。

作业标准一方面是操作者的行为规范，另一方面是管理者检查指导工作的依据。

9.2.6 5S 与目视管理

5S 和目视管理是精益生产的基础。5S 是整理、整顿、清扫、清洁、素养五项活动的统称。5S 是现场管理的基础。

9.2.7 自働化与差错预防

自働化是丰田生产方式的两大支柱（JIT 与自働化）之一。也被称为“智能自动化”或者“具有人的判断能力的自动化”。

自働化的主要理念是：应该在作业流程中及时进行源头质量管理，必须用有效的方法在发生异常或质量缺陷时立即探测到，并立即使生产暂停，使员工可以立即解决问题，避免异常扩大或质量缺陷进入到下游流程。这种品质管理比事后检验出问题再设法纠正问题更具成效且成本更低。

表 9—3 自働化与自动化的比较

自働化	自动化
机器自身可以发现异常并及时停机	出现异常需有人停机，否则将连续运行
不产生不良品，可以防止设备、模具、夹具出现故障损坏	不能及时发现不良品产生，易造成设备、模具、夹具出现故障损坏
容易发现异常原因，防止再次发生	难以及时发现异常原因，容易再次发生
省人	省力

自働化的理念主要通过各种预防差错装置来实现。

Poka-Yoke 方法的内容包括两个基本方面：一是检测出差错，二是 Poka-Yoke 防错装置。

Poka-Yoke 防错装置包括两种类型：信号型 Poka-Yoke 和控制型 Poka-Yoke。

Poka-Yoke 防错装置实现的主要功能如下：

1. 出现操作错误时工件无法安装；
2. 工件出现问题时，机器无法开始加工；
3. 出现操作错误时，机器无法开始加工；
4. 自动修正错误操作使加工继续进行；
5. 后道工序检查前道工序出现的问题，防止出现不良品；
6. 丢序漏序时下一工序无法开始。

9.2.8 全面生产维护

全面生产维护（TPM）最重要的特性在于，由团队活动引导的公司上至最高管理层下至现场工人在内的所有员工的参与，操作工的自动维护，推行机器寿命期内的生产设备维护的系统，努力使设备效率最大化。

1. 全面生产维护（TPM）

全面生产维护中的“全面”包括以下含义：

- 全面致力于追求经济效益及利润；
- 全面维护系统包括维护预防、可维护性及预防性维护；
- 员工全面地参与，包括操作工自动维护及团队活动。

有六大损失会对设备效率带来负面影响：

- 设备故障。停机造成时间损失使得生产力降低，要加强预防维修工作，改变事后修理的思维方式，要求做到零故障停机。

- 设备调整。频繁的设备调整会带来损失，应尽量减少设备调整时间甚至无须调整。

- 闲置与小停顿。如传感器缺陷导致流水线产品卡住，由于生产线不平衡、换班、材料（零件）供应不及时等原因造成短时间的生产中断或速度放慢，从而造成产能损失，对于这些问题，要通过加强现场管理水平和基础管理工作来保证。

- 速度减慢。是因设计运行速度与实际运行速度之间差异造成的损失，造成速度减慢的原因一般是由于机器的老化或维修、维护不到位造成的。

- 过程缺陷。设备出错造成废品及质量缺陷，过程缺陷造成设备工时损失，同时造成材料和人工浪费。

- 产出减少。因机器停机及启动造成的产品损失。

2. TPM 指标

设备综合效率。设备综合效率（overall equipment efficiency, OEE）是用于衡量 TPM 的主要指标，它考虑了三个方面：设备的工作时间、性能和质量水平。用公式表示为：

$$\text{设备综合效率} = \text{时间开动率} \times \text{性能开动率} \times \text{合格品率}$$

式中，时间开动率反映了设备的时间利用情况；性能开动率反映了设备性能的发挥情况；

合格品率反映了设备的有效工作情况。其中：

时间开动率=实际工作时间/计划工作时间

计划工作时间=每班可用时间-计划停机时间

式中，计划停机时间主要包括计划性维护、晨会等所需时间。

实际工作时间=计划工作时间-非计划停机时间。

式中，非计划停机时间包括设备故障、产品换型、设备调整等消耗的时间。

性能开动率是指理论产出与实际产出的比值，它考虑两个方面：净开动率和速度运转率，用公式表示为：

性能开动率=净开动率×速度运转率

净开动率=(产量×实际节拍)/实际工作时间

净开动率用以测量设备稳定性、小停顿造成的损失、小问题及调试造成的损失。

速度运转率=理论节拍/实际节拍

速度运转率反映了设备由于老化或维护不良，达不到设计的或理论的节拍所造成的损失。

3. 实施 TPM 的步骤

日本工厂维护研究所 (JIPM) 每年颁发预防性维护 (PM) 奖，评奖标准是基于 TPM 的改进效果，包括：

- 生产效率提升；
- 质量提高；
- 成本降低；
- 库存降低；

- 事故降低或消除；
- 污染控制；
- 工作环境。

9.2.9 价值流图分析

1. 价值流

价值流是指产品通过其生产过程的全部活动，包括从概念设计、产品设计、过程设计直到投产的设计流和从原材料、制造过程直到产品交到顾客手中的生产流。在企业实践

2. 价值流图

价值流图是一种帮助人们了解物流和信息流的可视化工具。它体现了从原材料到成品，再到客户的所有活动，有助于观察和理解产品通过价值流过程时的物料流动和信息流动，以及其中的增值和非增值活动，从而发现浪费和确定需要改善的地方，为改善活动确定蓝图和方向。同时也便于员工了解企业的状态，提供参与改善的机会。价值流图析研究的是生产流程，它是指将现场观察到的生产流程中物料和信息的流动情况用简图描绘下

来，对其进行分析找出产生浪费的原因，并应用精益生产原理提出改进方案，然后对生产过程实施改进的系统技术。

3. 价值流现状图 (略)

4. 价值流未来图（略）

5. 价值流制图图标（略）

9.3 精益与六西格玛的结合

9.3.1 精益生产与六西格玛的特点及比较

1. 六西格玛管理的特点

六西格玛管理是一种基于顾客驱动的追求卓越绩效和持续改进的管理哲学。它以产品、流程持续改进和设计为基本策略，通过消除过程变异和提高质量，大量减少不良品，降低成本，强调提高顾客价值和顾客满意度，综合提高企业的竞争能力和盈利水平。它已经成为一种理念、文化和方法体系的集成。六西格玛方法管理通过 DMAIC 的持续不断的循环，不断地消除过程变异，提高过程质量，从而降低成本，增加顾客价值，获得顾客完全满意。

- 强调以数据和事实为依据
- 减少变异，优化流程，提高质量
- 注重思想观念转变
- 追求持续改进
- 顾客驱动
- 跨职能合作

2. 精益生产的特点

精益生产的指导思想是，从顾客需求出发，精确地确定顾客价值，识别和优化产品价值流，并通过顾客订单拉动生产，追求尽善尽美。其最终目的是通过流程整体优化，平顺物流，高效利用资源，消灭一切库存和浪费，达到用最少的投入（人员、设备、时间和场地等）向顾客提供最完美价值的目的，即持续不断地追求尽善尽美和精益求精。精益方法强调“适时、适量、适物”。

精益方法主要具有以下优势：

- 关注顾客，创造完美价值
- 消除浪费，优化流程，降低成本
- 缩短流程周期，提高响应能力
- 强调全员参与

精益方法的主要不足：

- 缺乏严谨的定量分析
- 缺乏系统性改进方法的整合
- 易受波动的影响

精益方法与六西格玛方法的比较：

表 9—6

六西格玛管理与精益方法的比较

名 称	精益方法	六西格玛管理
假 定	(1) 消除浪费可以改善绩效 (2) 大量的小改进更有利于组织成长	(1) 问题总是存在 (2) 测量是重要的 (3) 随着变异减少, 系统产出得到改进
文化基础	东方以人为本的文化和管理思想	西方制度、工具化的文化和管理思想
直接目标	(1) 消除一切浪费, 降低成本 (2) 缩短流程周期, 增强响应能力 (3) 多品种小批量生产, 增加柔性	(1) 消除变异, 优化流程 (2) 提高质量, 增加价值
关注焦点	价值流	问题
工具方法	5S 现场管理、准时生产、快速换模、Poka-Yoke、看板、并行工程、视觉控制、自动化、平顺化、TPM、约束理论、持续改进、DFM/A (面向可制造性/可装配性设计)、价值工程和标准化作业等	分层法、散布图、排列图、因果图、关联图、系统图、亲和图、矩阵图、矩阵数据分析法、过程决策程序图、SIPOC 图、QFD、FMEA、DOE、SPC、Benchmarking、测量系统分析、方差分析、响应曲面方法和平衡计分卡等
实施步骤	(1) 精确地确定价值 (2) 识别价值流 (3) 流动 (4) 拉动 (5) 尽善尽美	(1) 界定 (2) 测量 (3) 分析 (4) 改进 (5) 控制

名 称	精益方法	六西格玛管理
共 同 点	(1) 关注顾客满意, 顾客驱动 (2) 关注财务成果 (3) 注重持续的系统整体改进 (4) 都重视改变思想观念和行为方式 (注: 精益要求把“部门”和“成批排队”思想转换成“团队”和“连续流动”概念) (5) 全员参与, 团队相互合作与协调 (6) 管理层的大力支持与参与 (7) 注重人、系统和技术集成	
特 点	(1) 工具软性, 但很有效 (2) 注重柔性, 灵活性, 迅速机动 (3) 强调节流	(1) 工具精良, 功能强大 (2) 注重系统性、规范化 (3) 强调开源与节流
实施方式	自下而上推动	自上而下推动
主要效果	(1) 减少一切浪费 (库存、缺陷等) (2) 优化流程, 缩短交货期 (3) 提高生产率 (4) 降低成本, 改善资本投入	(1) 减少变异, 统一产出 (2) 消除缺陷, 改进质量 (3) 增加顾客价值, 提高利润 (4) 顾客满意与忠诚
长 处	(1) 持续的全面创新和变革 (2) 强调连续流动和拉动 (3) 与相关利益主体全面合作关系 (4) 整体优化, 追求尽善尽美 (5) 见效快	(1) 应用大量统计工具, 精确界定问题 (2) 流程彻底改进和设计 (3) 追求完美和精益求精 (持续改进)
不 足	(1) 过多依赖经验管理, 缺乏定量分析 (2) 对波动处理不力, 难以“精益” (3) 疏于人才培训和系统方法整合 (4) 急功近利, 出现“非精益化”反弹	(1) 无法提高流程周转速度 (2) 不鼓励创新和变革
精益六西格玛优势	通过持续快速改进, 消除浪费与缺陷, 低成本地快速满足顾客需求, 获得竞争优势	

9.3.2 精益与六西格玛的有机结合

二者有很强的互补性。精益六西格玛是精益与六西格玛的有机融合。

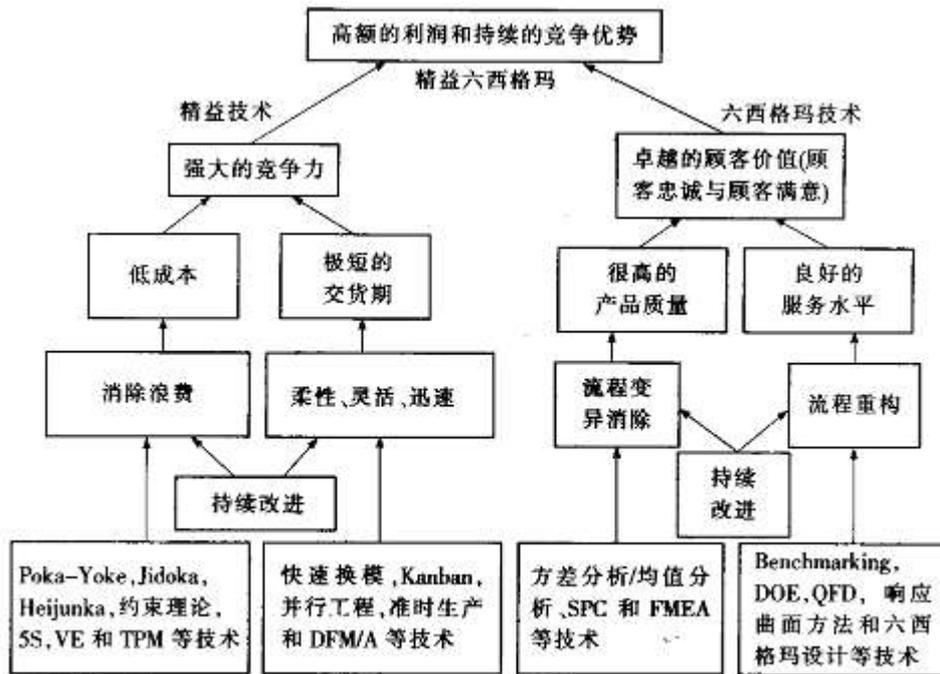


图 9—15 精益六西格玛技术体系

9.3.3 精益六西格玛的实施路线/技术路线

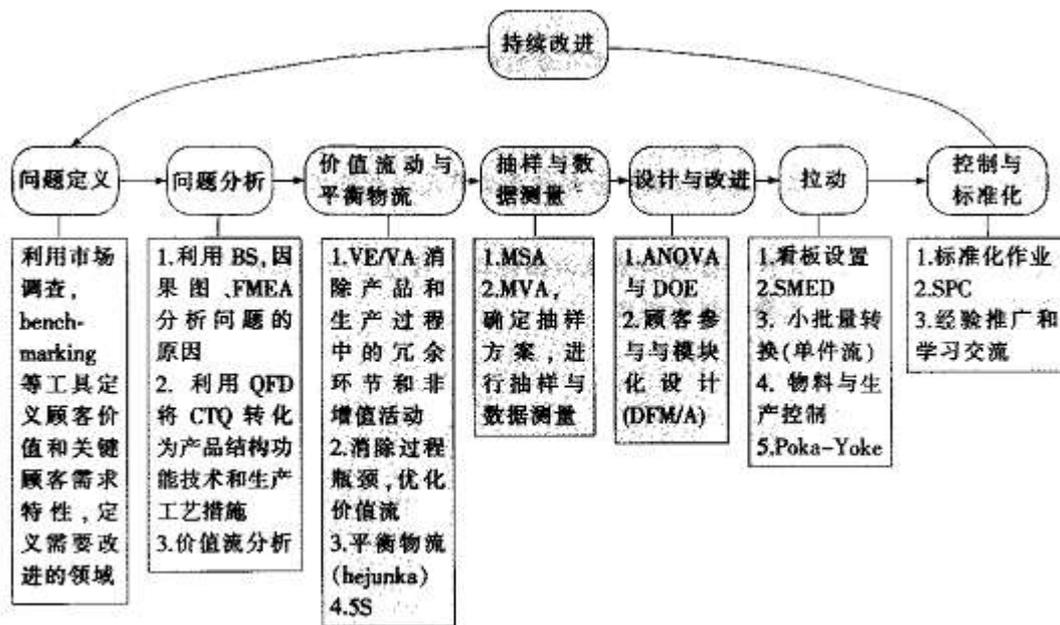


图 9—16 精益六西格玛实施技术路线

第十章 六西格玛设计

(略)内容见书《六西格玛管理》P465-541