

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/

团 体 标 准

T/CIC XXXX—XXXX

工业企业六西格玛数据分析技术应用规范

Application specification for six sigma data analysis technology in industrial enterprises

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业合作协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 六西格玛数据分析技术应用的系统框架	5
5 六西格玛数据分析技术应用管理制度与流程	7
6 六西格玛知识培训体系	10
7 六西格玛项目实施的阶段步骤与工具	12
8 六西格玛数据分析技术的重点工具	14
附录 A（资料性） 六西格玛数据分析技术 DMAIC 路径常用工具与方法汇总表	32
附录 B（资料性） 六西格玛设计之 DICOV 常用工具与方法汇总表	34
附录 C（资料性） 六西格玛项目优先顺序排列案例	36
附录 D（资料性） 六西格玛项目立项书格式示例	39
参考文献	40

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国工业合作协会资源综合利用分会提出。

本文件由中国工业合作协会协会归口。

本文件起草单位：上海文圆质方科技有限公司、无锡安迈科技有限公司、厦门柏恩氏电子有限公司、北京固废通固废资源化利用有限公司、北京东方文汇文化发展有限公司。

本文件主要起草人：朱正华、郭耀纯、黄国强、刘峰、贺洪武、严雪晶、高蓉、刘彦飞、赵丽丽、周海宏、李伟、陈薇、孟凡彬、滕国清、王小岭、张举、朱剑东、朱月伟、王冠群、高志钢、周常、郭克科。

工业企业六西格玛数据分析技术应用规范

1 范围

本文件规定了工业企业应用六西格玛数据分析技术的通用系统框架、管理制度和流程、知识培训体系、实施阶段步骤与重点工具。

本文件适用于应用六西格玛数据分析技术的各类型工业企业及其他类型的企业和组织。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3358.1 统计学词汇及符号 第1部分：一般统计术语与用于概率的术语

GB/T 3358.2 统计学词汇及符号 第2部分：应用统计

GB/T 3358.3 统计学词汇及符号 第3部分：实验设计

GB/T 4091 常规控制图

GB/T 6379.1 测量方法与结果的准确度（正确度与精密度）第1部分 总则与定义

GB/T 6379.2 测量方法与结果的准确度 第2部分 确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法

GB/T 19000 质量管理体系 基础和术语

GB/T 19580 卓越绩效评价准则

GB/T 36077 六西格玛管理评价准则

3 术语和定义

GB/T 19000和GB/T 19580界定的术语和定义，以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

数据 Data

数据是可感知或可想象到的任何事物的事实，是对客观事物的逻辑归纳或观察的结果，是用于表示客观事物的未经加工的原始素材。

注：数据可以是连续的值（例如1.7, 2.2, 3.5, 4.7, 5.8, 6.5），也可以是离散的值（例如合格、不合格）。

3.2

统计分析 statistical analysis

统计分析是指根据分析或研究的目的，运用统计学的方法，以数据为依据，结合实际情况，对客观事物进行科学的分析，揭示其本质和规律，并提出解决问题的方法的一种活动。

3.3

正态分布 normal distribution

正态分布是一种统计学上的概率分布，也被称为高斯分布或钟形曲线。正态分布是由两个参数平均值 μ 和标准差 σ 来决定曲线位置和形状的连续型随机变量的分布。

3.4

均值 mean

统计学里面的均值通常是指算术平均数，是指在一组数据中所有数据之和再除以数据的个数。它是反映数据集中趋势的一项指标。总体的均值用希腊字母 μ 来表示。

3.5

变异 variation

变异是指一组数据中每个单值与均值之间的差异，也称为波动。

3.6

西格玛 sigma

西格玛在数理统计中表示“标准差”。它是总体各单值与其均值的离差平方和的算术平均数的平方根。西格玛用希腊字母 σ 表示，是一个衡量数据离散程度或变异大小的指标。

3.7

百万分之不良数 defective parts per million; DPPM

每百万单位数量产品中的不良品个数。

3.8

百万机会的缺陷数 defects per million opportunities; DPMO

每百万个缺陷机会中的缺陷数量。

3.9

西格玛水平 sigma level

一种衡量过程能力的指标，指的是在产品的半个规格限范围内能够放下的西格玛的个数。

3.10

六西格玛 six sigma

六西格玛可以从三个层面来定义：

- 1) 衡量指标：六西格玛最早是一个被定义为一个衡量过程能力好坏的指标，这个指标的名称叫西格玛水平(3.8)，因为在均值漂移了 1.5σ 之后，六西格玛水平对应的缺陷率是百万分之3.4(DPMO或DPPM)，缺陷率已经非常低，所以六西格玛水平是企业追求的目标。
- 2) 解决问题的方法论：六西格玛是一种已被实践证明有效的，通过应用统计分析的方法来消除或显著地削减商业和制造业流程中的变异，从而减少缺陷或不良品的方法论。方法论分为两部分，一部分是DMAIC路径，另一部分是相应的工具。
- 3) 经营哲学：六西格玛是企业战略落地和变革成功的有效保障，是企业内部一种共同使用的语言。

注：六西格玛采用的是DMAIC路径，即定义(Define)、测量(Measure)、分析(Analyze)、改善(Improve)和控制(Control)五个阶段。

3.11

六西格玛设计 design for six sigma; DFSS

六西格玛设计是系统地将逻辑化的结构化方法、统计方法和优化方法应用于产品或是服务的设计开发过程，从而从源头上保证产品质量的稳健性，降低产品的开发周期和设计成本的一系列方法和工具。

注：六西格玛设计的方法包含但不限于以下路径：

- DMADV路径，即定义(Define)、测量(Measure)、分析(Analyze)、设计(Design)和验证(Verify)五个阶段。
- DICOV路径，即定义项目(Define)、识别需求(Identify)、特性描述(Characterize)、优化设计(Optimize)、确认设计(Validate)五个阶段。

3.12

六西格玛项目 six sigma project

经组织通过项目的选择和评定，被定义为适合使用六西格玛数据分析技术解决的项目。

3.13

倡导者 champion

组织中负责六西格玛数据分析技术应用的主要负责人，由公司高层管理者担任。倡导者的主要职责是负责六西格玛相关的使命、愿景和战略的制定、项目的选择、人员的选择、目标的设定、项目的管理监控、资源的分配、项目成果的评估和激励，以及六西格玛文化的宣导。

3.14

黑带大师 master black belt; MBB

组织中负责六西格玛数据分析技术应用的专家，系统地、熟练地掌握了六西格玛数据分析相应的全部方法和工具。黑带大师的主要任务是协助倡导者制定战略、管理项目、培训黑带和绿带，指导和组织内部的六西格玛数据分析应用项目。

3.15

黑带 black belt; BB

组织中负责实施六西格玛黑带项目的专业人员，系统地掌握了六西格玛黑带必备的方法与工具。黑带的主要任务是实施六西格玛黑带项目、培训绿带和黄带以及指导绿带和黄带的项目。

3.16

绿带 green belt; GB

组织中负责实施六西格玛绿带项目的专业人员，系统地掌握了六西格玛绿带必备的方法与工具。绿带的主要任务是实施六西格玛绿带项目，培训黄带和指导黄带的项目。

3.17

黄带 yellow belt; YB

组织中负责参与六西格玛黑带项目或绿带项目的支持人员，系统地掌握了六西格玛黄带必备的方法与工具。黄带的主要任务是参与支持绿带或黑带的项目以及实施自己的六西格玛黄带项目。

3.18

质量 quality

客体的一组固有特性满足要求的程度。

[源自：GB/T19000-2016，3.6.2]

3.19

客户之声 voice of customer; VOC

客户对客体的要求或是反馈。

注：通常客户之声是定性的描述(例如待机时间更长的手机)，有时候也会是定量的描述(例如手机电池容量必须大于4000毫安)。

3.20

质量特性 quality characteristic

与要求有关的、客体的固有特性，特性是指客体可区分的特征。

[源自：GB/T19000-2016，3.10.2 改写]

3.21

关键质量特性 critical to quality; CTQ

对客户来说比较重要的质量特性，通常是一个量化的指标。

3.22

人机料法环测 5M1E

造成产品质量特性变异的6个要素的英文首字母的总称。这六个要素分别是人员(Man)、机器(Machine)、材料(Material)、方法(Method)、测量(Measurement)和环境(Environment)。

4 六西格玛数据分析技术应用的系统框架

六西格玛数据分析技术应用的关键是选择正确的项目、选择正确的人员、选择和使用正确的方法与工具，再提供正确的支持，就可以得到正确的结果。组织在应用六西格玛数据分析技术时，宜采用如下图所示的系统框架图。

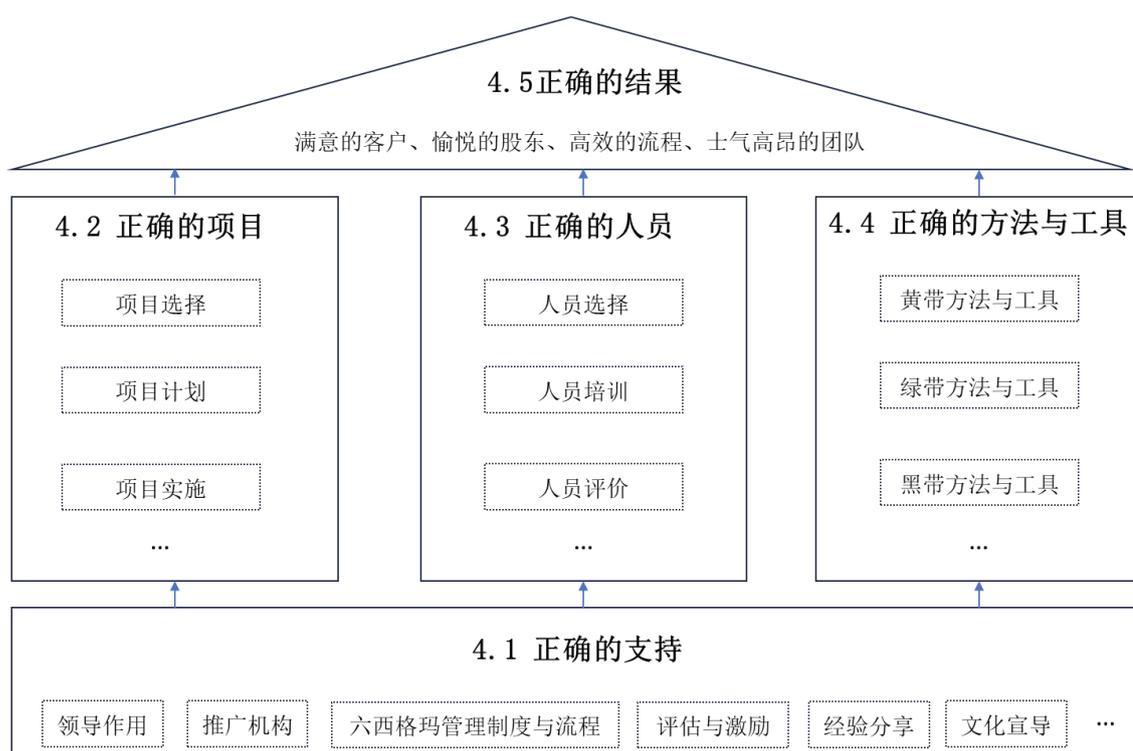


图1 六西格玛数据分析技术应用的系统框架图

4.1 正确的支持

正确的支持包括但不限于：

- a) 领导作用；
- b) 推广机构；
- c) 六西格玛管理制度与流程；
- d) 评估与激励；
- e) 经验分享；
- f) 文化宣导。

4.2 正确的项目

正确的项目包括但不限于：

- a) 项目选择；
- b) 项目计划；
- c) 项目实施。

4.3 正确的人员

正确的人员包括但不限于：

- a) 人员选择；
- b) 人员培训；
- c) 人员评价。

4.4 正确的方法与工具

正确的方法与工具包括但不限于如下内容（详细知识培训体系见第6章）：

- a) 黄带方法与工具；
- b) 绿带方法与工具；
- c) 黑带方法与工具。

4.5 正确的结果

正确的结果包括但不限于如下内容：

- a) 客户层面：满意的客户；
- b) 股东层面：愉悦的股东；
- c) 流程层面：高效的流程；
- d) 学习与成长层面：士气高昂的团队。

5 六西格玛数据分析技术应用管理制度与流程

5.1 成立六西格玛数据分析技术应用推广机构

企业需要成立六西格玛数据分析技术应用的推广机构，此推广机构是六西格玛数据分析技术应用推行的核心组织，主要职责包括但不限于如下内容：

- a) 协助领导层建立并沟通公司六西格玛的使命和愿景；
- b) 协助领导层确定公司的六西格玛战略目标和业绩的度量系统；
- c) 审核、批准六西格玛推行计划；
- d) 制定六西格玛项目选择的原则；
- e) 审核、批准六西格玛项目选择；
- f) 制定六西格玛人员选择的原则；
- g) 审核、批准六西格玛项目成员；
- h) 审核、批准六西格玛培训计划；
- i) 制定六西格玛项目评价的标准；
- j) 评审六西格玛项目成果；
- k) 审核、批准奖励方案；
- l) 创建应用六西格玛管理方法和工具的文化氛围；
- m) 建立六西格玛的基础架构；
- n) 提供所需的资源与支持；
- o) 为六西格玛内部化创造条件。

企业在建立六西格玛数据分析技术应用推广机构时，宜采用如下图所示的组织结构图。

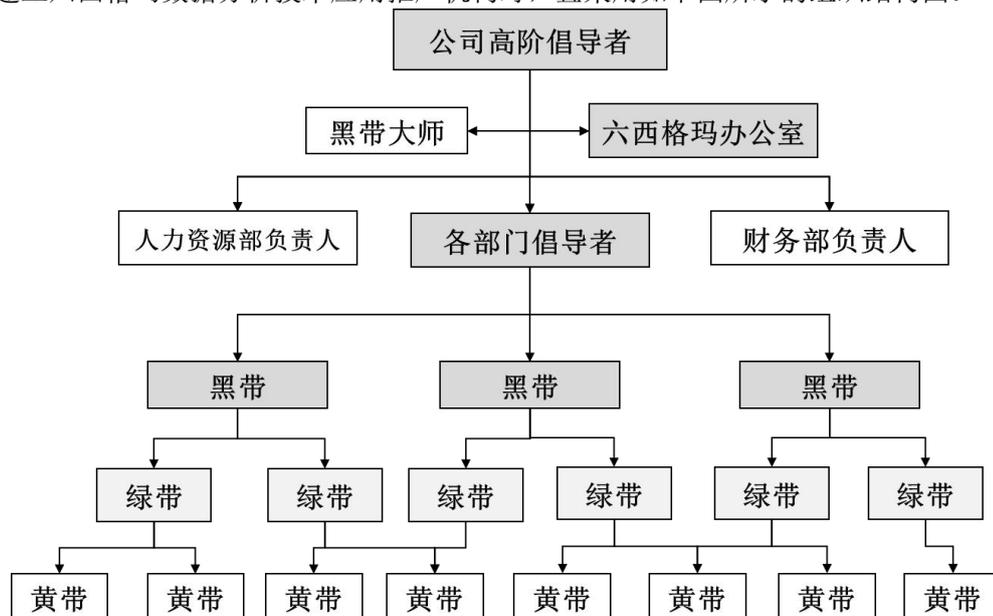


图2 某企业的六西格玛推广机构组织结构图

5.2 领导层制定和沟通六西格玛数据分析技术应用的使命、愿景、战略和规划

领导层需要根据公司的使命、愿景和战略，来确定六西格玛数据分析技术的使命、愿景与战略，使之为企业服务。

领导层需要根据公司的战略或是客户的要求制定长期、中期和短期的六西格玛规划。

5.3 项目选择

六西格玛项目选择分为三个步骤：

- a) 收集潜在的改善机会；
- b) 建立六西格玛项目库；
- c) 排列六西格玛项目优先顺序。

5.3.1 收集潜在的改善机会

收集潜在的改善机会分为两个方向，自上而下的战略项目和自下而上的热点项目。

表 1 收集潜在改善机会说明表

方向	问题类型	工具	问题描述
自上而下	战略问题 (该流程能在战略上推动公司前进)	战略地图研讨	通常来自企业的战略指标体系，哪些不能按计划完成的指标就必须进行改善 (顺利达成年度目标机会)
自下而上	热点问题 (基础业务运营流程)	业务流程评估	来自客户或是生产一线的问题，例如客户投诉、不良率、返工、能耗等 (必须尽快解决的问题)

收集完成的潜在改善机会，可以汇总为一个清单。

5.3.2 建立六西格玛项目库

企业组织专家和管理层对收集完成的潜在改善计划进行分类，将适合使用六西格玛数据分析技术解决的改善机会，放入六西格玛项目库。

对于过程优化类项目，可以使用DMAIC方法进行优化。DMAIC五个阶段和相应的工具见附录A。

对于产品开发过程的优化项目，可以使用DICOV方法进行优化。DICOV五个阶段和相应的工具见附录B。

5.3.3 排列六西格玛项目优先顺序

如果六西格玛项目库里的项目较多，而企业在一定时间内的资源有限，就需要进行项目的优先级排序。

六西格玛项目的优先级排列可以通过如下五个步骤完成。

- a) 步骤 1：选择项目评估指标和重要性打分；
- b) 步骤 2：确认待评估项目标题；
- c) 步骤 3：确认各项目与评估指标之间的相关程度；
- d) 步骤 4：计算各项目的优先序数总分；
- e) 步骤 5：将项目按照优先序数总分的高低排序。

注：排列六西格玛项目优先顺序示例见附录C。

5.4 人员选择

企业需要根据自身的需要，决定需要参加培训的人数，然后根据六西格玛推广机构制定的人员选择原则，选择符合公司战略要求和项目要求的人员来接受相应的培训，且主导或参与相应的项目。

5.5 项目计划

当一批次或一年度的六西格玛项目和人员选择完成之后，就需要制定对应的项目推进计划，包括人员培训计划、项目实施计划、项目评审计划和项目最终评价计划。

5.6 项目启动

项目可以通过启动大会的形式来与全体人员或是重点人员沟通六西格玛战略和计划。启动大会主要包括如下内容：

- a) 领导进行实施六西格玛的动员讲话，树立愿景，介绍年度项目目标；
- b) 项目负责人简单介绍六西格玛推行的计划；
- c) 请参加绿带、黑带培训，以及六西格玛项目实施的人员进行宣誓表示实施六西格玛的决心。

5.7 人员培训

六西格玛各级别人员都有对应的培训要求，具体参考第6章的知识培训体系。

企业可以根据自己的需要选择对应的培训级别，为了保证课程的质量，通常一期绿带或黑带课程人数建议 ≤ 30 人。

5.8 项目实施

项目执行按照六西格玛DMAIC五个阶段进行，具体内容参考第6章节的DMAIC路径和第7章节的重点工具如下：

- a) 黄带项目的时间要求一般是在 1 个月内完成；
- b) 绿带项目的时间要求一般是 3-4 个月内完成；
- c) 黑带项目的时间要求一般是 4-6 个月内完成。

5.9 项目节点评审

实施方式：现场评审

时间需求：通常一个项目需要2次的节点评审，每次大概1小时

参加人员：黑带大师（内部或外部）、项目团队、管理层

主要工作内容：

- a) 项目各阶段结束后的节点评审；
- b) 和项目团队一起向管理层进行各阶段项目汇报和最终汇报；
- c) 和管理层沟通下一步的行动计划。

5.10 项目最终评审

实施方式：现场辅导

时间需求：通常一个项目需要1次的最终评审

参加人员：黑带大师（内部或外部）、项目团队、管理层

主要工作内容：

- a) 和管理层一起确认项目的完成情况；
- b) 和管理层确认项目是否达到预期目标；
- c) 对达标项目制定长期的控制计划。

注：项目最终评审结束后，还需对优化后的流程持续跟踪至少3个月。

5.11 项目和人员评价

通过项目评价的方式来对带级人员进行评价，这样可以鼓励学员在学习了相应得课程后，在企业实际应用所学知识，为企业带来实实在在的财务回报和解决企业发展过程中遇到的问题。

六西格玛黄带、绿带和黑带的评价通常包括成果评价和六西格玛技术运用评价两部分：

成果评价由公司管理层评估；

学员提交的项目需要达到以下几项标准之一方可获得合格带级人员的评价：

- a) 项目年财务成果显著（黄带项目年财务成果 ≥ 10 万元，绿带项目年财务成果 ≥ 20 万元，黑带项目年财务成果 ≥ 40 万元，需要财务部门签字盖章）
- b) 公司战略项目（对公司战略目标达成有重要意义，需要两位部门领导签名确认）
- c) 公司热点项目（对外部客户或是内部客户意义重大的项目，比如某客户高度关注的质量投诉项目，需要两位部门领导签名确认）
- d) 六西格玛技术评价由公司指定的黑带或是黑带以上级别的六西格玛专家负责评价。通常包括项目整体逻辑的合理性、工具选择的正确性和工具应用的正确性。

六西格玛黑带大师的评价通常包括培训天数和项目辅导数量两部分：

- e) 培训天数的要求：独自完整实施了六西格玛绿带培训课程 ≥ 1 期，总的六西格玛相关培训天数 ≥ 20 天；
- f) 项目辅导数量的要求：辅导的总改善项目数量 ≥ 20 个，其中六西格玛绿带项目 ≥ 5 个。

5.12 项目激励政策实施

适当的激励和奖励机制有利于激发员工改进流程的热情和持续改善文化的建立。

认可奖励包括物质奖励、精神奖励、成长奖励和薪酬奖励等。

5.13 经验分享

六西格玛数据分析技术应用成功的经验可以推广到相似的产品线和同类型的工厂，甚至邀请供应商加入，从而在源头上避免原材料或是供应商零件出现问题。

5.14 六西格玛文化宣导

在企业实施六西格玛取得显著成效之后，可以将六西格玛的突破式改善文化融入到公司的企业文化，通过公司内外部的渠道进行宣传，鼓励企业员工积极参与到改善的活动中。

5.15 六西格玛数据分析技术内部化

内部化会使整个六西格玛数据分析技术在企业的应用，更有针对性，更高效。包括但不限于：

- a) 讲师内部化，就是在使用企业自主的教材，或是第三方授权的教材培养自己内部的黄带、绿带和黑带讲师；
- b) 教材内部化，就是总结企业自身的六西格玛数据分析技术应用案例，并开发自主知识产权的教材，使培训更有针对性。

5.16 六西格玛数据分析技术应用制度化

将六西格玛数据分析技术的应用制度化、标准化、常态化，使六西格玛数据分析技术成为企业人员解决问题的利器。

6 六西格玛知识培训体系

六西格玛不同级别的人员承担着不同责任，同时也需要接受不同程度的六西格玛方法和工具的培训。企业在决定不同级别的六西格玛人员培训时长和员工占比时，宜采用表2的规定实施。

表2 六西格玛不同人员培训需求和员工占比表

六西格玛级别	培训时长要求(天)	员工占比
六西格玛黄带	3天以上	50%以上
六西格玛绿带	8天以上	10%以上
六西格玛黑带	18天以上	1%以上
六西格玛黑带大师	8天以上(已完成黑带培训)	0.1%以上

6.1 六西格玛黄带、绿带和黑带培训内容

六西格玛黄带、绿带和黑带培训内容，宜采用表3的六西格玛不同级别人员培训内容对照表。

表3 六西格玛黄带、绿带和黑带培训内容对照表

序号	内容	黄带	绿带	黑带
1	六西格玛概况	√	√	√
2	项目选择	√	√	√
3	项目定义	√	√	√
4	SIPOC	√	√	√
5	客户需求定义	√	√	√
6	统计软件概况	√	√	√

序号	内容	黄带	绿带	黑带
7	基本统计	√	√	√
8	基本图形化工具	√	√	√
9	计量型测量系统分析	√	√	√
10	计数型测量系统分析		√	√
11	高阶测量系统分析			√
12	破坏性试验测量系统分析			√
13	统计过程控制	√	√	√
14	高阶统计过程控制			√
15	过程能力分析	√	√	√
16	高阶过程能力分析			√
17	非正态数据的研究			√
18	团队组建	√	√	√
19	头脑风暴和鱼骨图	√	√	√
20	详细流程图	√	√	√
21	因果矩阵	√	√	√
22	失效模式及后果分析	√	√	√
23	多变异分析		√	√
24	中心极限定理		√	√
25	置信区间		√	√
26	高阶置信区间			√
27	假设检验概述		√	√
28	均值检验方法—T检验		√	√
29	均值检验方法—ANOVA		√	√
30	比例检验和卡方检验		√	√
31	非参数检验			√
32	多因子ANOVA			√
33	样本量大小的计算			√
34	相关和回归		√	√
35	多元回归分析		√	√
36	逻辑回归			√
37	差错预防		√	√
38	制定实验设计的计划			√
39	全因子实验设计		√	√
40	中心点		√	√
41	区组化			√
42	部分因子实验设计			√
43	序贯实验			√
44	响应曲面法RSM			√
45	多重响应实验设计			√
46	属性型实验设计			√
47	调优运算EVOP			√
48	标准化		√	√
49	控制计划			√
50	战略地图介绍			√
51	变革管理			√

注：对于已经接受过绿带培训的人员，只需要再参加10天的升级黑带课程就可以满足18天的培训时长要求了。

6.2 六西格玛黑带大师培训主要内容

当企业人员已经接受了18天及以上的系统六西格玛黑带培训，成为六西格玛专业人才后，就可以开始接受六西格玛黑带大师的培训。

六西格玛黑带大师的培训时长最少是8天。

因为不同的企业行业不同，所处的阶段不同，所以对六西格玛黑带大师的要求不同。六西格玛黑带大师通常采取学分制培训，1天的培训时长相当于1个学分。

六西格玛黑带大师的课程内容涉及到高阶统计工具、设计优化方法、智能制造方法与质量4.0的方法，企业需要根据自身的需要进行选择性培训。

7 六西格玛项目实施的阶段步骤与工具

7.1 定义阶段

7.1.1 定义阶段的目的

- a) 定义项目问题；
- b) 界定流程范围；
- c) 确定客户需求；
- d) 确定关键流程输出变量(KPOV)；
- e) 确定绿带黑带及项目团队成员；
- f) 建立项目目标及财务指标；
- g) 建立项目实施的工作计划；
- h) 获得高层领导的批准，以获得相应的资源支持。

7.1.2 定义阶段的步骤、工具和阶段性输出

阶段	步骤	工具	阶段性输出
定义阶段	D1. 定义项目	项目立项书(Project charter) SMART原则	项目立项书 清晰的客户需求 项目团队 项目计划
	D2. 界定流程范围	宏观流程图(SIPOC)	
	D3. 确定客户需求	客户之声(VOC) 亲和图 卡诺模型(Kano model) 需求树展开	
	D4. 确定关键输出变量	项目立项书	

注：表内的D代表的是定义阶段(Define)，D1表示定义阶段的步骤一，以此类推。

7.2 测量阶段

7.2.1 测量阶段的目的

- a) 测量系统能力确定；
- b) 短期及长期流程能力基线确定；
- c) 所有潜在原因的汇总；
- d) 初步的潜在原因确定；
- e) 快赢机会(Quick Win)的发现。

7.2.2 测量阶段的步骤、工具和阶段性输出

阶段	步骤	工具	阶段性输出
测量阶段	M1. 关键输出的测量系统分析	计量型测量系统分析 计数型测量系统分析 破坏性试验测量系统分析	合格的测量系统 输出变量的当前表现 潜在原因 快赢措施
	M2. 关键输出的当前表现	统计过程控制 计量型过程能力分析 计数型数据过程能力分析 非正态数据过程能力分析	
	M3. 初步筛选原因并识别快赢机会	头脑风暴 鱼骨图 详细流程图 因果矩阵 失效模式及后果分析 控制计划	

注：表内的M代表的是测量阶段 (Measure)，M1表示测量阶段的步骤一，以此类推。

7.3 分析阶段

7.3.1 分析阶段的目的

- a) 初步分析潜在的关键原因 (X)；
- b) 识别关键原因 (X)；
- c) 识别出哪些关键输入 (KPIV) 影响了哪些关键输出 (KPOV)。

7.3.2 分析阶段的步骤、工具和阶段性输出

阶段	步骤	工具	阶段性输出
分析阶段	A1. 初步分析根本原因	箱线图 散点图 多变异研究 主效应图 交互作用图	筛选过的根本原因清单
	A2. 识别根本原因	假设检验 单样本Z检验 单样本T检验 双样本T检验 配对T检验 方差分析 (ANOVA) 等方差检验 多因子方差分析 比例检验 列联表 非参数检验 相关性及回归分析 多元回归 逻辑回归	

注：表内的A代表的是分析阶段 (Analyze)，A1表示分析阶段的步骤一，以此类推。

7.4 改善阶段

7.4.1 改善阶段的目的

- a) 通过使用实验设计来确认某些关键原因；
- b) 找到并验证改善方案；
- c) 实施改善方案。

7.4.2 改善阶段的步骤、工具和阶段性输出

阶段	步骤	工具	阶段性输出
改善阶段	I1. 验证关键原因	实验设计 部分因子实验 全因子实验 中心点和区组	最终的关键原因清单 改善行动计划 更新的流程控制文件
	I2. 制定并验证改善方案	全因子实验设计 响应曲面法 (RSM) 调优运算 (EVOP) 防差错法 行动计划	
	I3. 实施改善方案	培训计划 失效模式及后果分析 (FMEA) 控制计划	

注：表内的I代表的是改善阶段 (Improve)，I1表示改善阶段的步骤一，以此类推。

7.5 控制阶段

7.5.1 控制阶段的目的

- a) 确认是否达到设定的目标及财务回报指标；
- b) 长期流程能力的确认；
- c) 控制计划的开发并实施；
- d) 流程已经交还给流程所有者持续维护；
- e) 团队认可和奖励；
- f) 成功经验分享和扩散。

7.5.2 控制阶段的步骤、工具和阶段性输出

阶段	步骤	工具	阶段性输出
控制阶段	C1. 标准化	控制计划 标准作业指导书(SOP) 流程文件化 沟通计划	项目目标达成 持续受控的流程 可推广的经验
	C2. 控制和跟踪改善效果	统计过程控制 过程能力分析 移交给流程所有者	

注：表内的C代表的是控制阶段(Control)，C1表示控制阶段的步骤一，以此类推。

8 六西格玛数据分析技术的重点工具

六西格玛数据分析技术通过第7章的五个阶段和多个步骤来进行，每个步骤都会使用到相应的工具。以下是对整个DMAIC方法论中最常用的一些工具的介绍。

8.1 项目立项书 (project charter)

项目立项书是六西格玛项目定义阶段的启动文件，包含了项目的基本信息。

项目立项书包括如下信息：

- a) 项目名称；
- b) 公司名称；
- c) 部门名称；
- d) 绿带或黑带的姓名；
- e) 倡导者信息；
- f) 开始与结束时间计划；
- g) 项目描述；
- h) 项目流程范围；
- i) 受益客户；
- j) 项目目标；
- k) 项目收益；
- l) 小组成员，所属部门及联系方式；
- m) 项目计划。

注：项目立项书模板见附录D

8.2 SMART 原则

任何项目目标的定义都必须遵循SMART原则，这样才能保证项目的顺利完成。

SMART原则包含以下五个方面：

- 具体的 (Specific)：具体、不笼统、有一个主导性的问题或坚定的假设
- 可测量的 (Measurable)：可以被测量、有具体的数字
- 可实现的 (Achievable)：解决问题是要可以让执行人实现、达到的目标
- 相关的 (Relevant)：与客户想解决的问题相关的，有内容的，而非事实的罗列、责任的归属或一种有争议的主张
- 有时间限制的 (Time-bound)：有时间限制

8.3 宏观流程图（SIPOC）

宏观流程图又称为SIPOC图，是戴明提出来的一种非常有用的流程识别、流程管理和改进的图示化技术，常作为识别核心过程的首选方法。

SIPOC的涵义

- 供应商(Supplier)：输入的提供者
- 输入(Input)：进入流程中的有什么
- 流程(Process)：流程是怎样进行的
- 输出(Output)：从流程中输出了什么
- 客户(Customer)：谁接收了输出

表 4 SIPOC 图布局示例

S	I	P	O	C
供应商A 供应商B	流程输入X1 流程输入X2 流程输入X3	流程步骤 1	流程输出Y1 流程输出Y2 流程输出Y3	客户A 客户B
		流程步骤 2		
		流程步骤 3		
		流程步骤 4		
		流程步骤 5		
		流程步骤 6		

8.4 客户之声 VOC

客户之声，是用来描述顾客的需求，以及他们对组织提供的产品和服务的感知。

在产品的设计过程中，VOC专注于捕捉客户需求和要求。

如今的VOC蕴含着更多的意义，它代表任何形式的用户反馈，包括未经请求的用户输入。

常用的VOC收集方法如下：

- a) 现有问题整理
 - 1) 客户投诉
 - 2) 客户索赔
 - 3) 客户退货
 - 4) 客户抱怨
- b) 查阅历史资料
 - 1) 目前未解决的问题
 - 2) 重复发生频率较高的问题
- c) 访谈
 - 1) 一对一访谈
 - 2) 小组访谈
- d) 电话调查
- e) 邮件调查
- f) 现场调研

通过VOC收集到的客户需求往往都是定性的描述，比如更好看的外观，更长的待机时间，更灵敏的操作等。

8.5 亲和图

亲和图，又被称为KJ法，就是针对某一问题，充分收集各种经验、知识、想法和意见等语言、文字资料，通过A型图解进行汇总，并按其相互亲和性归纳整理这些资料，使问题明确起来，求得统一认识，以利于解决的一种方法。

亲和图在汇总要点时是自下而上，而不是自上而下。

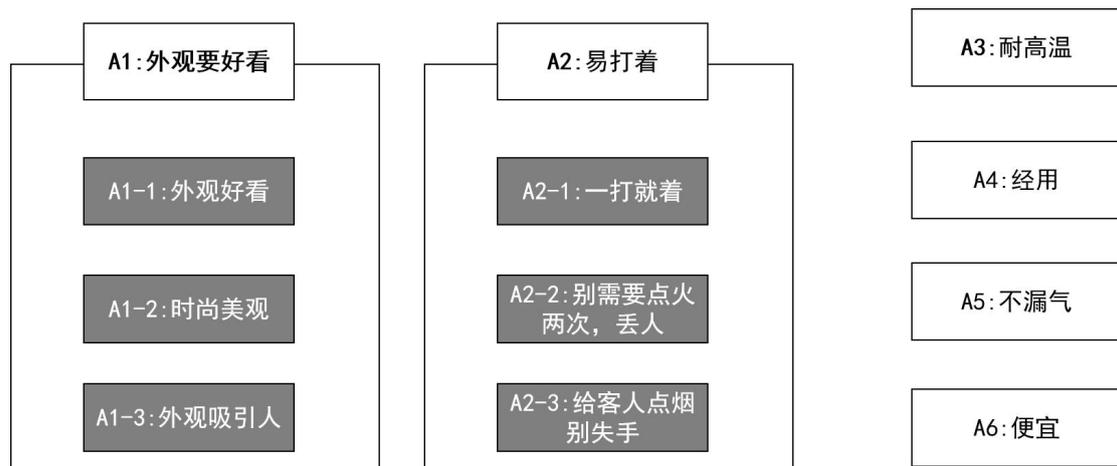


图3 打火机亲和图示例

8.6 卡诺模型 kano model

卡诺模型是对用户需求分类和优先排序的工具。它以分析用户需求对用户满意度的影响为基础，体现了产品性能和用户满意度之间的非线性关系，是需求实现与用户满意度之间的一种关系模型图。

卡诺模型按照需求实现的程度和客户满意度这两个维度，把需求分为三大类，即基本型需求、期望型需求和兴奋型需求。

基本型需求，是指产品必须满足的最基本的需求，客户已经明白告知，或隐藏在客户的言谈中。

期望型需求，是指客户期望的需求，实现得越多，客户越满意。

兴奋型需求，是指让客户兴奋的需求，通常是同类产品不具备、客户预期之外的需求。

需要注意一点，这三类需求会随着时间变化而改变。一款成功的产品在刚上市时，必须达到基本型需求，同时尽可能达成期望型需求，根据优先级附带少量的兴奋型需求。后续及时跟进用户的需求状态和类型，不断挖掘用户新的兴奋型需求。

随着时间的推移，兴奋型需求会渐渐变为期望型需求，甚至是基本型需求。比如，手机的拍照需求、触屏需求等曾经令人兴奋的需求现在已经变为基本的需求。

对于实体产品，通常用户需求的重要性依次为基本型需求>期望型需求>兴奋型需求。兴奋型需求中只有USP具有与基本型需求同样的重要性，USP是指“独特的销售主张(unique selling proposition)”。

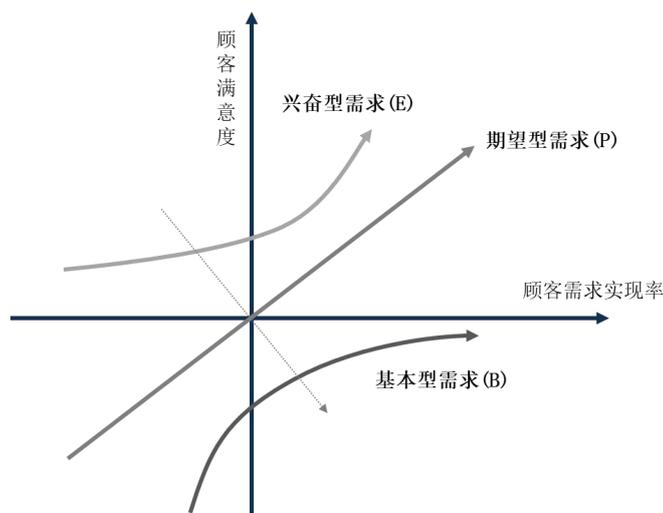


图4 卡诺模型图示

8.7 客户需求树

需求树展开就是利用树状图将需求层层展开，分解成可以量化衡量的关键质量特性(CTQ)。

树状图亦称树枝状图。树状图是数据树的图形表示形式，以父子层次结构来组织对象。VOC通常是定性的描述，CTQ通常是量化的指标。需求树展开的结果就是众多的CTQs。

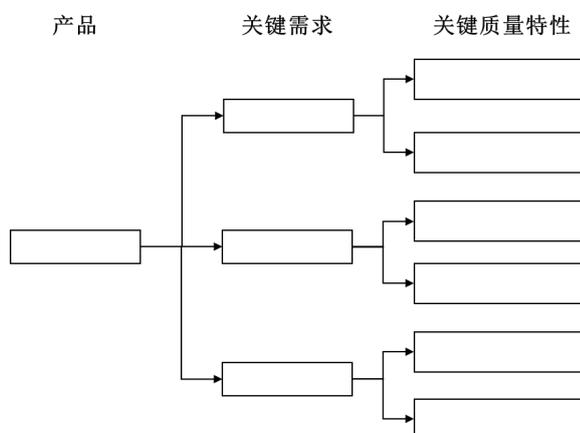


图5 需求树展开图示

8.8 测量系统分析

测量：是指赋值(或数)给具体事物以表示它们对于特定特性的关系。赋值过程定义为测量过程，而赋予的值定义为测量值。

量具：任何用来获得测量结果的装置。包括通过/不通过装置。

测量系统：是用来对被测特性进行定量测量或定性评价的仪器或量具、标准、操作方法、夹具、软件、人员、环境和假设的集合，以及用来获得测量结果的整个过程。

测量系统分析：是指运用统计学的方法对测量系统进行评估，在合适的特性位置测量正确的参数，了解影响测量结果的变异来源及其分布，并确认测量系统是否符合工程需求。

测量系统的应用范围包含两个：

- a) 产品控制：零件是否在明确的公差范围内；
- b) 过程控制：过程是否稳定和可接受；

测量系统分析的三种类型：

- c) 计量型测量系统分析
- d) 计数型测量系统分析
- e) 破坏性试验测量系统分析

8.8.1 计量型测量系统分析

计量型测量系统是指用于测量部件或过程的特征是计量型结果，如长度、重量或温度。此类数据通常包括分数(或小数)值。例如物品的长度，重量等。

如果被测量的部件可以被重复交叉测量，则使用计量型测量系统分析。

如果被测量的部件不能被重复交叉测量，只能使用嵌套测量，则使用破坏性试验测量系统分析。

计量型测量系统分析通常使用基于交叉结构的量具R&R研究。

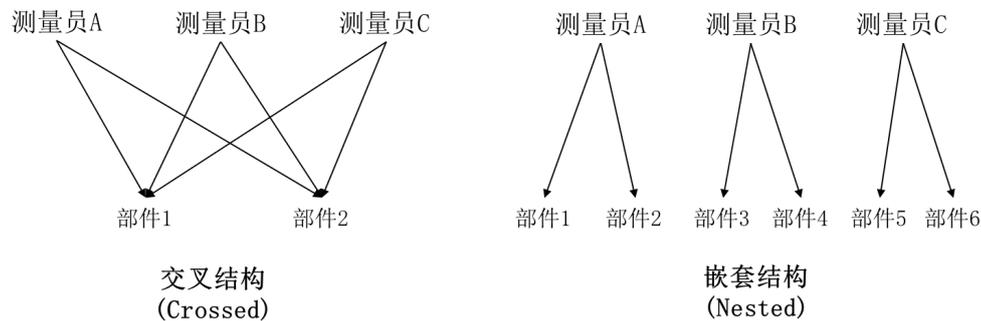


图6 交叉与嵌套的示意图

8.8.2 计数型测量系统分析

计数型测量系统，也被称为属性型测量系统，属于测量系统中的一类，其测量值是一种有限的分级数。

最常见的计数型测量是通过/不通过量规进行的测量，只可能有两个结果。其他计数型测量系统，例如可视标准，结果可以形成5~7个不同的分级。

使用属性一致性分析对主观评级的一致性和正确性进行评估分为以下几种情况：

- 评估员各自的一致性
- 评估员之间的一致性
- 评估员与标准的一致性，即评估每个部件时已经有一个已知评级
- 评估员各自一致、评估员之间也一致后与标准的一致性

8.8.3 破坏性试验测量系统分析

破坏性试验是指在测量获取数据的同时，部件遭到破坏，不能多次重复测量。

在实际生产和生活中，需要进行大量的检验测量工作，有些被检测的部件是可以重复进行测量的，有些被检测的部件在一次测量中就遭到破坏，不能进行重复测量。

例如：子弹的穿透试验、手机屏幕的冲压试验、钢筋的拉伸试验、轮胎的耐磨损试验等等。

在做破坏性试验测量系统分析时，因为我们无法重复使用样本，所以无法轻易的建立重复实验，只能通过如下两种方法可以实现破坏性试验测量系统分析。

如果样本同质且变异很小，我们可以制造两个样本，我们就能解决此问题

如果样本本身变异未知或很大时：我们首先需要有一个有下列特性的参考物件

- 本身变异很小
- 其平均值的性质和我们欲研究的物件相似

当我们有了参考物件，我们就可以执行测量系统分析。

破坏性试验测量系统分析通常使用基于嵌套结构的量具R&R研究。

8.9 统计过程控制 statistical process control; SPC

统计 (Statistical)：就是以统计学方法来探测流程的变异；

过程 (Process)：由输入到输出的一系列活动；

控制 (Control)：以积极主动的管理来控制流程。

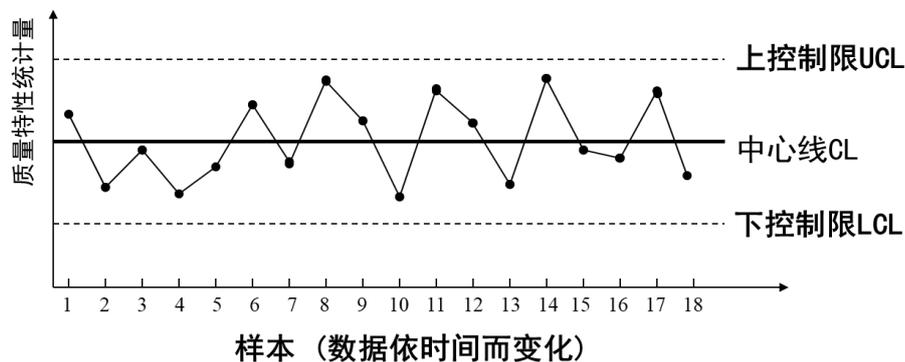


图7 控制图的结构

控制图包括以下要素：

- a) 纵坐标：数据（质量特性值或其统计量）
- b) 横坐标：按时间顺序抽样的样本编号
- c) 上虚线：上控制限 UCL
- d) 下虚线：下控制限 LCL
- e) 中实线：中心线 CL
- f) 数据点：样本

控制图八条判异准则：

- g) 1 个点落在控制限之外
- h) 连续 9 点落在中心线同一侧
- i) 连续 6 点递增或递减
- j) 连续 14 点中相邻点上下交错
- k) 连续 3 点中有 2 点落在中心线同一侧的大于 2 个标准差的范围外
- l) 连续 5 点中有 4 点落在中心区同一侧的大于 1 个标准差的范围外
- m) 连续 15 点落在中心线小于 1 个标准差的范围内（任一侧）
- n) 连续 8 点落在中心线大于 1 个标准差范围之外（任一侧）

注：除第一条外，与准则相联系的数字不代表顺序

控制图的制作步骤：

- o) 分析用控制图阶段
 - 1) 收集数据
 - 2) 建立控制限
 - 3) 统计受控的分析
 - 4) 重新计算控制限
- p) 控制用控制图阶段
 - 1) 过程受控以及过程能力达到顾客要求后延长控制限持续控制过程

8.9.1 计量型控制图

当需要监控的质量特性是计量型数据时，使用计量型控制图。

常规的计量型控制图包括以下三种：

- a) I-MR 图：单值-移动极差控制图；
- b) \bar{X} -R 图：均值-极差控制图；
- c) \bar{X} -S 图：均值-标准差控制图。

注：计量型控制图可以使用全部八条判异准则。

8.9.2 计数型控制图

当需要监控的质量特性是计数型数据时，使用计数型控制图。

常规的计数型控制图包括以下四种：

- a) P图:不良率控制图;
- b) NP图:不良数控制图;
- c) U图:单位产品缺陷数控制图;
- d) C图:缺陷数控制图。

注:计数型控制图可以使用前四条判异准则。

8.10 过程能力分析 process capability analysis; PCA

过程能力分析就是通过过程能力指标的计算来判断过程满足客户要求的程度。

根据数据类型的不同,过程能力分析可以分为计量型过程能力分析和计数型过程能力分析两大类。

8.10.1 计量型过程能力分析

当需要进行过程能力分析的质量特性是计量型数据时,采用计量型过程能力分析。

计量型过程能力分析的前提条件:

- a) 测量系统满足要求:如测量系统不可靠,需要先改进测量系统;
- b) 数据来自稳定受控的过程:如不受控,需要先消除特殊原因导致的变异使过程受控;
- c) 正态分布:如果数据不是正态分布,需要进行数据变换或非参数方法处理,这些方法统称为非正态数据过程能力分析。

计量型过程能力分析的指标有 C_p , C_{pk} , P_p 和 P_{pk} 。

8.10.2 计数型数据过程能力分析

当需要进行过程能力分析的质量特性是计数型数据时,采用计数型过程能力分析。

计数型过程能力分析的指标有 P , $DPPM$, DPU , $DPMO$ 和西格玛水平。

8.10.3 非正态数据过程能力分析

当需要进行过程能力分析的质量特性是计量型数据,但是数据又不服从正态分布时,需要使用非正态数据过程能力分析。

非正态数据的处理主要有以下几种方式:

- a) 个体识别分布后按照对应的分布计算过程能力;
- b) Box-Cox 变换;
- c) Johnson 变换;
- d) 非参数方法。

8.11 头脑风暴 brain storming

头脑风暴法又称智力激励法、BS法、自由思考法,是一种激发性思维的方法。

头脑风暴提供了一种有效的就特定主题集中注意力与思想进行创造性沟通的方式,无论是对于学术主题探讨或日常事务的解决,都不失为一种可资借鉴的途径。

头脑风暴的原则:

- a) 自由思考;
- b) 延迟评判;
- c) 以量求质;
- d) 联想改善。

头脑风暴的操作程序:

- e) 确定要讨论的问题;
- f) 确定需要参加的人员;
- g) 准备会场;
- h) 宣布主题和规则;
- i) 头脑风暴开展;
- j) 整理会议结果;
- k) 会后评价。

8.12 鱼骨图

鱼骨图，又名因果图或石川馨图，是一种发现问题“根本原因”的分析方法，因其形状很像鱼骨，所以被称为“鱼骨图”或者“鱼刺图”。

最常用的鱼骨图是鱼头在右，原因在左。原因可以分为人、机、料、法、环和测六类，这六类原因统称为5M1E。

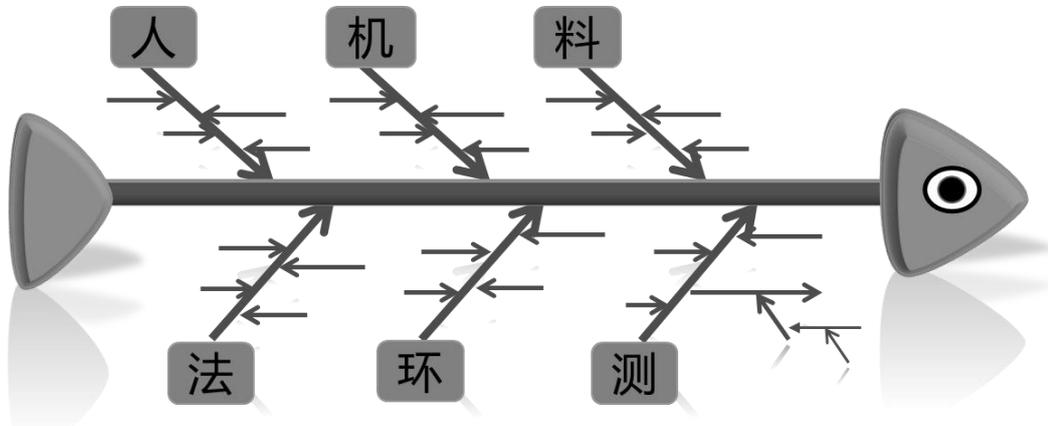


图8 鱼骨图结构

8.13 详细流程图

详细流程图描绘了材料在整个过程中的流动，包括一些返工或返修的作业单元，以及相关的输入和输出因子。在六西格玛数据分析技术中，详细流程图用来识别与定义阶段定义的CTQ相关的所有可能的过程步骤、输出因子和输入因子。

绘制详细流程图步骤：

- 1) 确认流程和其输入及顾客输出（宏观方面，来自 SIPOC）
- 2) 确认流程中的所有步骤（微观法）
- 3) 列出每一步骤中主要的输出变量
- 4) 列出主要的输入变量并分类：
 - C：可控制(Controllable)；
 - U：不可控制(Uncontrollable)；
 - X：目前认为是关键的；
 - S：作业标准。

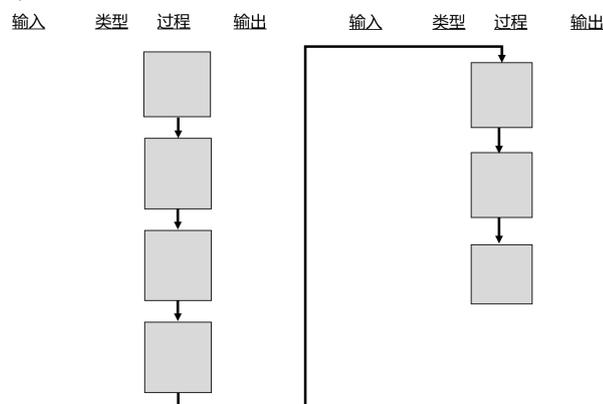


图9 详细流程图格式

8.14 因果矩阵

因果矩阵，就是在原因和结果之间构建一个评价矩阵。原因通常是输入因子，结果通常是输出因子。因果矩阵可以帮助项目团队选择重点关注过程输入或影响因素，以便有针对性地收集数据进行分析。

因果矩阵步骤：

- 从流程图中确定关键的顾客需求（输出）；
- 排序并给每个输出赋予一个重要度权重（一般为 1 到 10 的范围）；
- 从流程图中确定所有的过程步骤和过程输入；
- 评价每个输入对输出的关联性（一般将这种相关程度分为四类，并分别赋予 0, 1, 3, 9 的分值，表明其不同的相关程度） 低分表示输入变量的变化（数量，质量，等级）对输出的影响很小，高分表示输入变量的变化对输出的影响很大；
- 评价过程输入变量或影响因素的重要程度，将每一单元的相关程度的分值乘以该列对应的输出变量的重要度权重，然后将每一行的乘积加起来，这个结果代表了该输入变量或影响因素的权重；
- 考察每个输入变量或影响因素的权重数，权重较高的将是项目重点。

表 5 因果矩阵模板

		对客户的重要性排序						
		过程输出(右)						总和
	工序	过程输入(下)						
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								

8.15 失效模式及后果分析 failure mode and effects analysis; FMEA

失效模式和后果分析是一种结构化的方法，可以用于确定潜在的产品、流程或服务失效后果，为旨在降低风险的行动方案排序，从而提高产品质量、可靠性和安全性，防止失效到达客户处，避免同类错误再次发生。

FMEA的核心是预防，主要指导方向是确认产品和流程可能发生失败的各种方式并消除或降低其发生的风险。

在六西格玛数据分析技术应用中，主要用到的是过程FMEA。

过程FMEA分析步骤：

- 对于每个流程输入，确定它可能出错的方式（失效模式）；
- 对于每个与输入相关的失效模式，确定失效对顾客的影响；
- 识别导致每个失效模式的潜在原因；
- 列出每个原因或失效模式的现行控制；

- e) 建立严重度、发生频率度和探测度的评分等级；
- f) 对每个原因的严重度、发生频率和探测度进行评分；
- g) 计算每个原因的 RPN 值；
- h) 确定降低高 RPN 值的推荐措施；
- i) 采取适当的措施，并重新计算 RPN 值。

8.16 控制计划 control plan; CP

控制计划通过提供过程监视和控制方法来对特性进行控制，是对控制产品所要求的体系和过程的系统的文件化的描述。

编制控制计划的重点在于表明产品的重要特性和工程要求。每种零件都可以使用控制计划，在产品质量策划中，控制计划（CP）是重要的输出。

控制计划建立的关键步骤如下：

- a) 基于顾客的需求，识别每个流程关键输出变量和规格；
- b) 决定关键重要的输入变量；
- c) 对于每一个关键、重要的输出和输入变量需要做的是：适当的测量系统和适当的控制方法。

表 6 某企业的控制计划格式示例

流程	流程步骤	输入	输出	产品/流程规格	过程能力 Cpk	测量设备	%R&R P/T	样本量	抽样频次	控制方法	反应计划

8.17 多变量分析

多变量分析是最有用的分析工具之一。目的在于验证关键输入变量 KPIV' s 对关键输出变量 KPOV' s 的影响，并提供改善行动的方向和输入。

收集数据的方法是“不影响流程”的，在自然状态下分析流程，掌握过程中的变异，通常是使用历史数据或是从正常工作的流程中获取数据。

通过多变量分析初步分析可控变量、不可控变量及原材料输入变量对输出变量的影响。

多变量分析使用的主要是图形类工具。

多变量分析的步骤：

- a) 确定需要分析的目标；
- b) 确认每个变量的测量系统；
- c) 确定抽样计划（数据收集、格式、以及记录的程序），必要时训练小组成员；
- d) 收集数据；
- e) 对收集到的数据进行分析；
- f) 判断是否已经找到了主要因素，是否可以转入后续的分析。

8.18 帕累托图 pareto diagram

帕累托图将缺陷按从大到小的顺序分成若干等级，可以帮助您确定质量问题的优先级，并集中精力在能获得最大收益的方面进行改进。使用 Pareto 图可将“少数20%”问题区分出来。

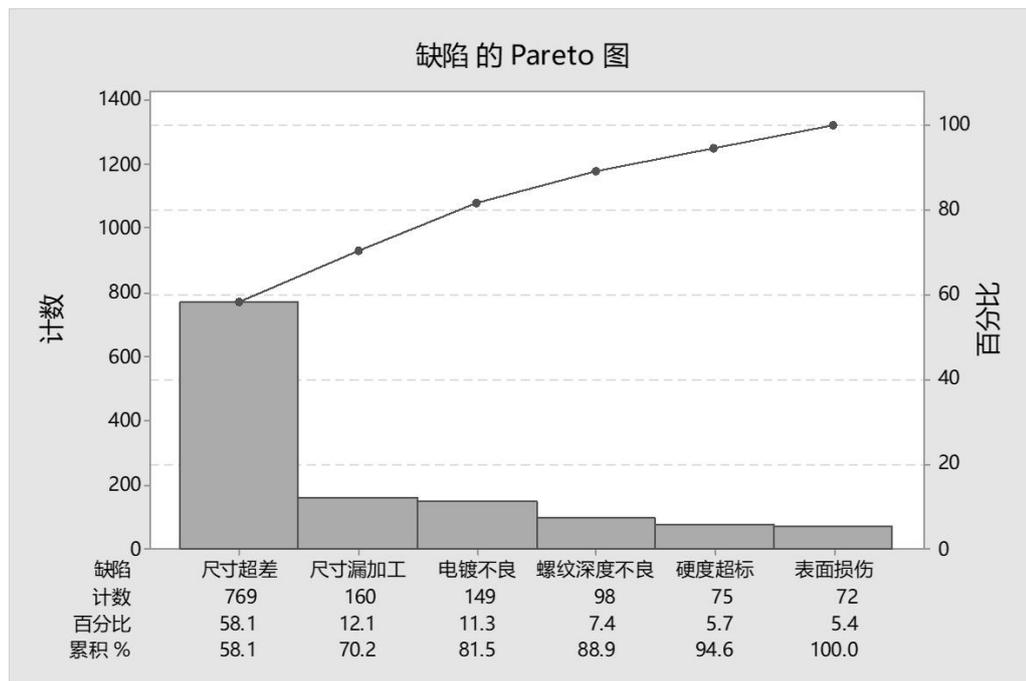


图 10 帕累托图示例

8.19 箱线图

箱线图是指通过箱体形状的图形来展示数据的分布。通常当横坐标是离散变量，纵坐标是连续变量时，使用箱线图。

使用箱线图可以：

- a) 快速比较分布；
- b) 查看数据的中心趋势；
- c) 突出显示数据的变异性；
- d) 确定样本分布是对称的还是偏斜的；
- e) 检查有无异常值。

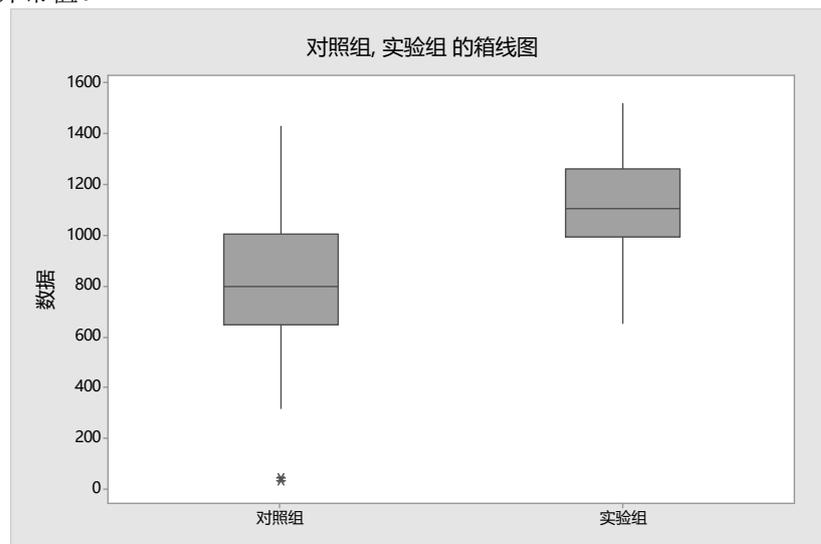


图 11 箱线图示例

8.20 散点图

散点图可以用来检查两个连续型变量之间的关系强度，同时检查有无异常值。当横坐标和纵坐标都是连续型变量时可以使用散点图。

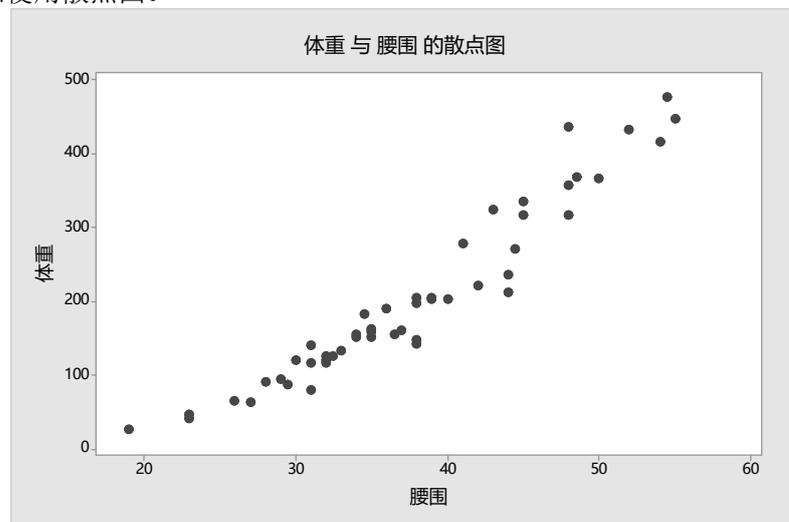


图 12 散点图示例

8.21 主效应图

效应是指因子在不同水平时响应的平均值的差值，可以用来判断因子对响应的影响程度。把因子与响应的效应进行图形化展示，就是主效应图。通常横坐标是离散因子，纵坐标是连续型响应的时候，使用主效应图。

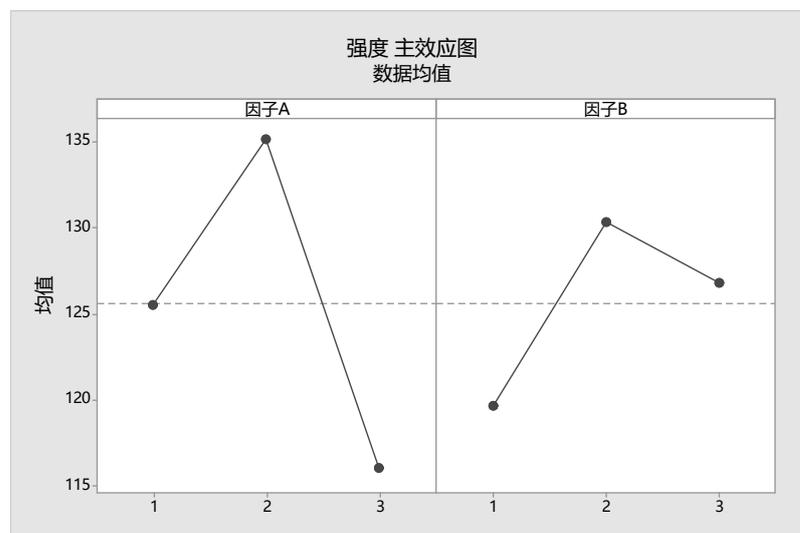


图 13 主效应图示例

8.22 交互作用图

交互作用，是指2个因子或以上特定的因子水平组合而引起的效应，或者说是某个因子的效应依赖于其他因子所处的水平。交互作用的大小可以通过交互作用图判断。

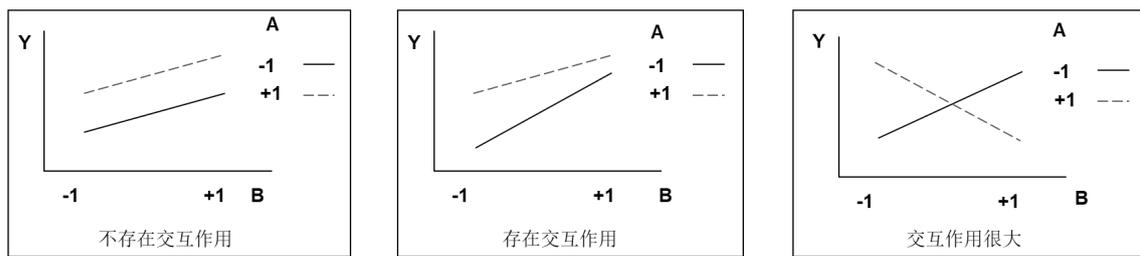


图 14 交互作用图示

8.23 假设检验

假设检验是统计分析的主要方法之一。

假设是对于一些未知事实的陈述或声明。通过统计检验来证明(或试着反驳)对未知总体的假定、陈述或假设是否有效。

在统计推断中,假设是对总体特性(均值、方差、比例或中位数)的陈述或声明。

运用假设检验进行决策时,我们通常将一个实际问题转换成一个统计问题。

在六西格玛数据分析中,假设检验的目的是用来确定一个因子(或多个)对一个确定的响应是否有显著性的影响。

假设检验的基本原理包括反证法原理和小概率事件原理。

假设检验的常用种类见如下的假设检验的常用种类表。

表 7 假设检验的常用种类表

比较方式	均值检验	方差检验	比例检验	非参数检验
1 - 标准	单样本 Z 单样本 t	单方差检验	单比率	单样本符号 单样本 Wilcoxon
1 - 1	双样本 t 配对 t	双方差检验 F-检验 Levene检验	双比率	Mann-Whitney
多重水平 (2个以上)	方差分析(ANOVA)	多方差检验 Bartlett (正态分布) Levene 检验 (任意分布)	列联表	Kruskal Wallis Mood 中位数检验

8.24 单样本 Z 检验

单样本Z检验是均值假设检验的一种。当总体的标准差已知,或是样本的数据量超过30个时,可以通过单样本Z检验来判断均值差异的显著性。

8.25 单样本 t 检验

单样本t检验是均值假设检验的一种。当总体的标准差未知,并且样本的数据量小于30个时,可以通过单样本t检验来判断均值差异的显著性。

8.26 双样本 t 检验

双样本t检验是均值假设检验的一种。当两组数据都是样本数据,并且两组样本数据对应的总体的标准差未知时,可以通过双样本t检验来判断均值差异的显著性。

8.27 配对 t 检验

配对t检验是均值假设检验的一种。当两组数据都是样本数据,并且两组样本数据之间并不独立,需要成对获取数据进行分析,这时可以通过配对t检验来判断均值差异的显著性。

8.28 等方差检验

等方差检验是用来对方差或是标准差是否相等的一种假设检验方式。

等方差检验可以分为单方差检验、双方差检验和多方差检验。

- a) 单方差检验主要是通过卡方检验来进行。
- b) 双方差检验包括 F-检验和 Levene 检验。
- c) 多方差检验包括 Bartlett 检验和 Levene 检验。

8.29 方差分析 analysis of variance; ANOVA

方差分析，通常用于两组及两组以上样本均值差异的显著性检验。

方差分析的核心思想是通过组间方差与组内方差的比较来判断均值差异的显著性。

- a) 当对单个因子的两组及以上样本均值进行比较时，使用单因子方差分析。
- b) 当对多个因子的两组及以上样本均值进行比较时，使用多因子方差分析。

8.29.1 单因子方差分析

当一个因子是离散变量且有两个或两个以上水平，响应是连续型变量时，可以通过单因子方差分析法对因子各个水平的均值是否有差异进行显著性检验。

单因子方差分析，能用于均衡或不均衡的设计，也可进行多重比较。

方差分析把总的变异分为组间变异和组内变异：

组间变异：各组的均值与总均值间的差异；

组内变异：每组的每个测量值与该组均值的差异

离差平方和为： $SS_{总} = SS_{组间} + SS_{组内}$

F统计量可表述为： $F = MS_{组间} / MS_{组内}$ 。

F值结论理解：通过计算得到的F值就可以查到P值，P值小于显著性水平，则认为其是有统计学意义的，证明各组数据的均值存在显著性差异。

8.29.2 多因子方差分析

多因子方差分析包括平衡方差分析和一般线性模型。

平衡方差设计：

- a) 可用于双因子或多因子
- b) 可考虑交互作用或不考虑交互作用
- c) 只限于均衡设计
- d) 允许混合模式（固定及随机因子）

一般线性模型：

- e) 可用于双因子或多因子
- f) 可考虑交互作用或不考虑交互作用
- g) 可用于均衡设计或非均衡设计
- h) 允许混合模式（固定及随机因子）

8.30 比例检验

在日常的工作和生活中，我们常常喜欢用百分率来说明某种质量情况的水平，比如：不合格率5%，有效率98%等等。

和前面介绍的连续（计量型）数据不同，对离散（计数型）数据做假设检验，要验证有显著性差异，需要大量的样本量。如果有可能，尽量采用连续（计量型）数据。

比率检验分为三类：

- a) 单比率检验：检验单个样本比率对应的总体比率是否“相等/小于/大于”规定的比率。
- b) 双比率检验：检验两个样本比率对应的总体比率是否“相等/小于/大于”。
- c) 多比率检验：检验多个样本比率对应的总体比率是否相等。

一般的，单比率和双比率检验，可以用正态近似的方法。

一般的，多比率检验，可以用列联表的卡方检验的方法。

8.31 列联表 contingency table

列联表是观测数据是离散数据，可以按两个变量、每个变量按照两个或更多分类列出频数，进行交叉分类的频数分布表。

列联表在判定变量之间存在关联性后，可用多种定量指标来表示其关联程度。

8.32 非参数检验 nonparametric tests

非参数检验又称为任意分布检验 (distribution-free test)，这类方法并不依赖总体分布的具体形式，应用时可以不考虑研究变量为何种分布以及分布是否已知，进行的是分布之间而不是参数之间的检验。

非参数检验的优点：

- a) 适用范围广，样本量较小也是可使用；
- b) 受限条件少。参数检验对总体分布等有特别限定，而非参数检验的假定条件少，也不受总体分布的限制，更适合一般的情况；
- c) 具有稳健性。参数检验是建立在严格的假设条件基础之上的，一旦不符合假设条件，其推断的正确性将受到怀疑；而非参数检验都是带有最弱的假定，所受的限制很少，稳健性好；
- d) 非参数检验几乎可以处理包括定类数据和定序数据在内的所有类型的数据，而参数检验通常只能用于定量数据的分析；

非参数检验的缺点：

- e) 方法比较粗糙，对符合用参数检验的资料，如用非参数检验，会丢失部分信息；
- f) 虽然非参数检验计算简便，但有些问题的计算仍显繁冗；
- g) 在参数检验和非参数检验都可以使用的情况下，非参数检验的功效 (power) 要低于参数检验方法；
- h) 样本量较大时，两者结论常相同。

表 8 非参数检验方法总表

比较方式	非参数检验 (中位数)	说明
1 - 标准	单样本符号	比较单样本与标准之间是否存在差异，考虑符号和之差的大小，此方法较粗糙，检验功效较低。
	单样本Wilcoxon	比较单样本与标准之间是否存在差异，将样本值与差的绝对值排序考虑秩次高低。
1 - 1	Mann-Whitney	比较两种不同条件总体之间是否存在差异的非参数检验方法，利用排秩后求秩和的方法。
多重水平 (2个以上)	Kruskal Wallis	比较三种（及以上）不同条件下总体之间是否存在差异的非参数检验方法；无异常值时使用。
	Mood 中位数检验 (有异常值时)	比较三种（及以上）不同条件下总体之间是否存在差异的非参数检验方法；比较粗糙，检验功率较低，需要样本量大，只在有异常值时使用，稳健性好。

8.33 相关 correlation

相关是两个连续变量之间关系强度的测量。

通过测量它们之间的线性程度并且认为两者之间相互独立。

相关系数 r 是测量相关关系强度的指标。

相关系数在-1到1之间：

- a) 1 = 完全正相关
- b) 0 = 不相关
- c) -1 = 完全负相关

8.34 回归分析 regression

回归是一种描述2个连续型变量之间关系的方法， X 是自变量， Y 是因变量。

X和Y是因果关系。

回归分析是通过统计学的方法来构建一个回归预测方程。回归预测方程的质量通过测量指标 R^2 来判断，工业上通用的要求是 R^2 大于80%，回归方程才能取得良好的预测效果。

回归预测方程是否可以使用，需要通过残差分析。

回归方程包括多种类型：

- a) 线性方程
- b) 二次拟合方程
- c) 三次拟合方程
- d) 非线性方程

8.35 多元回归

多元回归是在独立的变量X（输入/因子）超过一个时使用的。

因为自变量有多个，所以需要先进行自变量的筛选，然后才能构建回归预测方程。筛选自变量有三种不同的选项：

回归：一旦最佳模型被选定后，回归程序将用该模型实施更详细的分析。

逐步回归：此方法是通过逐步筛选所有输入，以产生“最佳”的模型。

最佳子集：此程序提供最佳单变量、双变量、三变量等模型。

8.36 逻辑回归

当要研究的Y是离散变量，而X是连续变量时，通常使用逻辑回归来构建回归预测方程。

列联表中的数据是以概率的形式把属性变量联系起来的，而概率p的取值在0与1之间，因此，要把概率p和自变量x之间直接构建预测方程是不合适的。

所以需要定义两种结果出现的概率之比为“优势比”（odds ratio），然后进行logit函数的构建，也叫逻辑斯蒂变换。

通过逻辑斯蒂变换构建回归预测方程的分析技术，称为逻辑回归。

8.37 实验设计 design of experiments; DOE

实验设计是一系列实验及分析方法的集合，是研究作用于因子X's与关键质量特性CTQ's之间关系的方法论。它既可以评估多个因子中单个因子对输出的影响，同时也能评估几个因子一起对输出的影响。

实验设计的作用：

- a) 筛选显著性因子：从众多可能有影响的因子中挑出几个确有影响的关键因子；
- b) 比较交互作用：单因子的不同水平间或多因子的各种搭配间，其响应变量值的比较；
- c) 优化工艺参数：在因子取值范围内，寻找目标达到优化（通常有望大、望小、望目）的设置；
- d) 稳健设计：找到使产品或过程对环境、容差等干扰因素最不敏感的参数值，使效能最佳并降低成本。

按实验目的的实验设计分类：

- e) 全因子分析法；
- f) 部分因子分析法；
- g) 响应曲面法；
- h) 稳健设计；
- i) 混料设计；
- j) 调优运算(EVOP)。

实验设计的基本术语：

- k) 因子(Factor)：实验中要加以考察而改变状态的因素。例如：温度；
- l) 水平(Level)：因子在实验中所处的状态(例如：温度的水平为100℃和200℃)；
- m) 响应(Response, 也称输出或指标)：表示实验中的输出y；
- n) 实验条件(也称处理)：在一次实验中每个因子分别取一个特定的水平，称各因子水平的一个组合为一个处理或一个实验条件；
- o) 因子显著与不显著：若不同水平下的输出的均值有显著差异，此时称因子是显著的，否则称因子不显著。

8.38 全因子实验

全因子实验设计是指一个研究所有因子及因子所有可能组合的实验设计。

最常用的全因子实验设计是 2^k 全因子实验设计。

2^k 全因子实验设计指的是用 k 个因子进行实验，而每个因子有 2 个水平(低水平“-1”和高水平“1”)，总的实验次数是 2^k 次。

例如：

一个(2^2) 因子设计是指该实验设计有两个因子，每个因子有两个水平，可以在4次实验里完成所有的实验组合，也就是 ($2 \times 2=4$)。

同理，一个 (2^3) 因子设计是有三个因子，每个因子有两水平，可以在8轮里完成实验。

全因子实验设计的分析步骤如下：

- a) 说明实际问题，明确实验目标；
- b) 确定因子及其水平；
- c) 选择实验类型；
- d) 建立实验计划，创建实验数据表单；
- e) 实施实验，记录实验结果并检查实验数据；
- f) 初步分析实验结果，对所有模型建立 ANOVA 分析表；
- g) 根据初始模型，逐步缩减模型直至找出所有显著因子；
- h) 分析残差图；
- i) 分析相关图形-交互作用图、主效应图、等值线图、立方图等；
- j) 列出数学模型；
- k) 分析响应优化器，寻找最优工艺参数；
- l) 重新进行实验，验证实验结果。

8.39 中心点 center point

中心点是指实验设计中，能让每个因子都处于中间水平的点。

在一个实验中中心点能够提供两个作用，一是检验曲率，二是通过做少的实验次数来完成实验仿行。加入中心点，是检验曲率的有效方法。

在实验设计中需遵循三个基本原则，其中之一便是仿行。一种方法是将每一个实验条件都仿行两次或更多次，另一种替代方法便是只在“中心点”处安排仿行实验。在中心点上的重复运行能够让我们在没有运行完整复制实验的情况下估计实验的误差。

8.40 区组化 blocking

在一个实验设计中，常常会存在某些干扰因素或噪声变量，我们对干扰因素或是噪声变量的效应并不感兴趣，但它们却可能会对响应产生影响。干扰因素可能是已知的，也可能未知的，可能是可控的，也可能是不可控的。

如果这个干扰因素是已知的且可控的，我们能按某种方式把实验分成组，而每组内可以保证条件差异较小，即同质齐性，我们可以尽量消除由于较大实验误差所带来的分析上的不利影响。

一组同质齐性的实验单元称为一个区组 (Block)，将全部实验单元划分为若干区组的方法称之为划分区组或区组化 (Blocking)，区组可以是时间上的，也可以是空间上的。

区组化可以减小和消除干扰因素都响应的的影响。

8.41 部分因子实验设计

在 2^k 实验设计中，随着因子数目的增加，实验次数急剧增加。当因子数达到10个时，全因子实验设计的实验次数是1024次。

如果实验者能假设“高阶交互作用”相对于主效应和低阶交互作用可忽略，虽然我们只执行了全因子设计的一部分实验，仍能适当地估计主效应和低阶交互作用的影响。这样，实验的次数就大大降低，实验设计所需的时间就会大大减少，成本也会显著降低。

部分因子实验设计就是只实施全因子实验设计中的一部分实验，它的主要用途为筛选因子，相对较多的因子能够通过相对较少的实验次数来评估。

部分因子实验设计能够成功的基础特性

- a) 效应稀疏原理：当有很多变量时，响应通常是由主要效应和低阶交互作用所驱动，高阶交互作用影响较小；
- b) 投影性质：部分因子设计可以投影到更强的由显著性因子的子集组成的设计中去。若某些因子被证明不显著，则部分因子设计可当作全因子设计；
- c) 序贯实验：可以将两个或多个部分因子设计序贯地组合成一个设计，用来估计所感兴趣的因子效应和交互作用。部分因子设计能被并入更有效的设计，两个 1/2 部分因子设计可以“折叠”成一个全因子设计，通过排除弱影响的因子，部分因子设计能成为全因子设计。

8.42 响应曲面法 response surface methodology; RSM

响应曲面方法是一套确定输入变量和输出变量(一个或多个)之间的最优技术之一。

RSM 对因子的响应提供了一个曲面图形描述。

在实际工作中，当我们要通过对自变量X的设置使得响应变量Y达到最佳值（望大，望小，望目），如果自变量的个数较少（通常不超过3个），则响应曲面方法是最好方法之一。

响应曲面法是一个建立过程模型以及对过程进行优化的系统方法，步骤如下：

- a) 第一步：确定有可能含有最佳条件的区域，也就是寻找最陡上升(或下降)路径 PSA，以便确认包含最佳值的区域，称之为最速上升路径；
- b) 第二步：建立一个描述响应与重要变量之间关系的模型，通常是二阶模型；
- c) 第三步：利用该模型进行过程优化，并且确认结果。

8.43 调优运算 evolutionary operation; EVOP

调优运算是在实际生产过程中系统化的对过程变量各水平进行小改动以达到优化运作状态的目的。

响应曲面法常在小型试验工厂中使用，用以研究和开发。在大规模的生产过程中，因为实验程序相对比较复杂，所以通常只做一次(或不经常做)。

大规模生产时往往是利用小型试验工厂究出的最优条件。但通常小型试验工厂的最优条件，未必是实际生产的最优条件，还需要进行调整。

甚至是大规模生产时通过试验设计找到的最优条件，随着原料的变异、工艺的改进、环境的改变、设备的老化等原因，过一段时期未必是最优的条件。

如果我们希望通过找出关键过程输入参数的小变化而改善某工序又不希望停产，如何解决？

我们需要有一种方法继续监视和改善大规模生产过程，其目标是将运行条件自动转化为最优条件。这种方法不应该对运行条件做大的改变或突然更改，从而避免了生产停顿。

EVOP三个主要术语：

- a) 运行期 (Run)：一个运行期是指过程条件固定的一个生产时期；
- b) 循环 (Cycle)：一个循环是生产一个简单的实验设计的一系列运行期；
- c) 阶段 (Phase)：一个阶段由许多个循环组成。在这些循环之后，人们会采取一个决定来改变过程。

8.44 防差错法 mistake proofing

防差错法，也被称为防呆法。主要用来预防和控制人为原因造成的一些错误。

防差错系统的种类：防差错系统根据目的的不同，可以分为两种：控制方式与报警方式；

- a) 控制方式：就是当异常发生时，它能够自动关闭机器或者锁定机器以终止操作，因此可以避免一系列不良品的产生；
- b) 报警方式：主要是指当不良出现时，蜂鸣器鸣叫或报警灯闪烁以提醒员工。

防差错系统的技术方法：

- c) 接触方法：通过检测一个产品是否与一个传感装置有物理的或能量的接触来工作；
- d) 固定值方法：有一个装置用来数某件事要做的次数，并且只有在要求的数量达到之后才发信号或释放产品；
- e) 动作步骤方法：用于检测过程中一个运动或是步骤是否有在一个预定时间内完成。

附录 A

(资料性)

六西格玛数据分析技术 DMAIC 路径常用工具与方法汇总表

A.1 DMAIC五个阶段常用的工具与方法如表A.1所示

表 A.1 DMAIC 常用工具与方法汇总表

阶段	工具与方法
D:定义阶段	项目立项书(project charter) SMART原则 宏观流程图 (SIPOC) 客户之声(VOC) 亲和图 卡诺模型 (kano model) 需求树展开
M:测量阶段	计量型测量系统分析 计数型测量系统分析 破坏性试验测量系统分析 统计过程控制 计量型过程能力分析 计数型数据过程能力分析 非正态数据过程能力分析 头脑风暴 鱼骨图 详细流程图 因果矩阵 失效模式及后果分析 控制计划
A:分析阶段	箱线图 散点图 多变异研究 主效应图 交互作用图 假设检验 单样本Z检验 单样本T检验 双样本T检验 配对T检验 方差分析 (ANOVA) 等方差检验 多因子方差分析 比例检验 列联表 非参数检验 相关性及回归分析 多元回归 逻辑回归
I:改善阶段	实验设计 部分因子实验 全因子实验 中心点和区组 全因子实验设计 响应曲面法(RSM) 调优运算(EVOP) 防差错法 行动计划

阶段	工具与方法
	培训计划 FMEA(失效模式及后果分析) 控制计划
C:控制阶段	控制计划 标准作业指导书(SOP) 流程文件化 沟通计划 统计过程控制 过程能力分析 财务收益核算 经验教训总结

附录 B

(资料性)

六西格玛设计之 DICOV 常用工具与方法汇总表

B.1 六西格玛设计方法之DICOV的五个阶段常用的工具与方法如表B.1所示

表 B.1 DICOV 常用工具与方法汇总表

阶段	工具与方法
定义项目 (Define)	DICOV项目立项书 质量门径
识别需求 (Identify)	客户之声 (VOC) 卡诺模型 成对比较法 边界图 交互矩阵图 质量功能展开 (QFD) 质量屋1 TRIZ 层次分解 功能分解 需求树 功能流程图 设计积分卡 普氏矩阵 系统FMEA
特性描述 (Characterize)	质量屋2 质量屋3 参数图 设计记分卡 设计FMEA 失效模式设计评审 (DRBFM) 过程FMEA 测量系统分析 (MSA) 传递函数 机械模型 回归分析 非线性回归 全因子实验设计 中心点 区组 部分因子实验设计 响应曲面法 (RSM) 面向装配制造的设计 (DFMA)
优化设计 (Optimize)	统计过程控制 过程能力分析 方差分析 (ANOVA) 参数优化 期望值分析 蒙特卡洛模拟 稳健设计优化 逻辑回归 拉丁超立方体分析 属性DOE 协方差分析 D优化 容差设计

阶段	工具与方法
确认设计(Validate)	稳健性和可靠性检查表 (RRCL) 可靠性试验 加速寿命试验

附录 C
(资料性)
六西格玛项目优先顺序排列案例

步骤 1：选择项目评估指标和重要性打分

项目评估指标通常如下：

——重要性

- 客户影响
- 业务影响-财务的
- 业务影响-非财务的

——可行性

- 需要的资源-资本、人力
- 时间需求

——其它的指标

通常可以给每个考虑的指标一个重要性的权重，根据评估指标的重要程度，权重在数字1-10之间选择。

表 C.1 项目评估指标和重要性打分示例

重要性排序	7	6	9	7	10
评估指标	客户满意度的提高	财务影响	生产能力的提高	完成时间的长短	避免资本支出

步骤 2：确认待评估项目标题

将项目标题放入项目过滤器模板中。

表 C.2 包含项目标题的过滤器示例

	重要性权重	7	6	9	7	10	
项目序号	项目题目	客户满意度的提高	财务影响	生产能力的提高	完成时间的长短	避免资本支出	总和
1	降低零件A1生产过程中配制原材料的出错率						
2	解决零件B2热处理和磨削后裂纹问题						
3	提高零件C3在加工过程中的过程能力						
4	改善薄壁零件D4在铣床加工中变形问题						
5	改善零件E5表面硬度不稳定问题						
6	改善薄壁零件D4热处理后变形问题						
7	缩短型号T1端子压接机组装的时间						
8	缩短型号T2端子压接机的开发时间						
9	降低高精度零件F6在CNC加工过程中的报废率						
10	提高端子压接机T3盖板喷漆的一次通过率						

步骤 3：确认各项目与评估指标之间的相关程度

通常使用0, 1, 3和9来给每个项目与每个公司项目考量的指标的关系打分

- 0 表示毫无影响；
- 1 表示较低影响；
- 3 表示中等影响；
- 9 表示较高影响；

示例：项目与评估指标的相关强度示例

对财务的影响（下面的金额为假设）

- 9 年财务回报 ≥ 20 万；
- 3 年财务回报 10-20万；
- 1 年财务回报 ≤ 10 万；
- 0 无财务回报。

对客户满意度的影响

- 9 该项目的质量问题中，功能性不良比例高，对客户满意度影响大；
- 3 该项目的质量问题中，尺寸不良比例高，对客户满意度影响一般；
- 1 该项目的质量问题中，外观不良比例高，对客户满意度影响较小；
- 0 对客户满意度的提高没有影响

对资本支出的要求（例如新设备的添加等）。以下为假设资本支出：

- 9 资本支出 ≤ 3 万；
- 3 资本支出 3-10万；
- 1 资本支出 10-20万；
- 0 资本支出 ≥ 20 万。

表 C.3 包含项目与评估指标相关强度的过滤器示例

	重要性权重	7	6	9	7	10	
项目序号	项目题目	客户满意度的提高	财务影响	生产能力的提高	完成时间的长短	避免资本支出	总和
1	降低零件A1生产过程中配制原材料的出错率	1	3	3	9	9	
2	解决零件B2热处理和磨削后裂纹问题	3	9	3	3	3	
3	提高零件C3在加工过程中的过程能力	3	3	9	3	9	
4	改善薄壁零件D4在铣床加工中变形问题	3	9	9	3	9	
5	改善零件E5表面硬度不稳定问题	9	3	3	3	9	
6	改善薄壁零件D4热处理后变形问题	9	9	3	3	3	
7	缩短型号T1端子压接机组装的时间	9	3	9	9	9	
8	缩短型号T2端子压接机的开发时间	9	9	0	1	1	
9	降低高精度零件F6在CNC加工过程中的报废率	9	9	3	3	9	
10	提高端子压接机T3盖板喷漆的一次通过率	9	3	3	9	3	

步骤 4：计算各项目的优先序数总分

各项目优先序数总分 = 客户满意度重要性分数 \times 相关性 + 财务影响重要性分数 \times 相关性 + 提高生产力重要性分数 \times 相关性 + 完成时间重要性分数 \times 相关性 + 避免资本支出重要性分数 \times 相关性

表 C.4 包含项目与评估指标相关强度总分的过滤器示例

	重要性权重	7	6	9	7	10	
项目序	项目题目	客户满意度	财务影响	生产能力	完成时间	避免资本	总和

	重要性权重	7	6	9	7	10	
号		的提高		的提高	的长短	支出	
1	降低零件A1生产过程中配制原材料的出错率	1	3	3	9	9	205
2	解决零件B2热处理和磨削后裂纹问题	3	9	3	3	3	153
3	提高零件C3在加工过程中的过程能力	3	3	9	3	9	231
4	改善薄壁零件D4在铣床加工中变形问题	3	9	9	3	9	267
5	改善零件E5表面硬度不稳定问题	9	3	3	3	9	219
6	改善薄壁零件D4热处理后变形问题	9	9	3	3	3	195
7	缩短型号T1端子压接机组装的时间	9	3	9	9	9	315
8	缩短型号T2端子压接机的开发时间	9	9	0	1	1	134
9	降低高精度零件F6在CNC加工过程中的报废率	9	9	3	3	9	255
10	提高端子压接机T3盖板喷漆的一次通过率	9	3	3	9	3	201

步骤 5：将项目按照优先序数总分的高低排序

按照优先序数总分的高低对备选的六西格玛项目进行排序，然后根据企业的资源选择合适数量的项目来选择项目人员和制定项目计划。然后按照DMAIC路径，以达到改善的目的。

表 C.5 排序后的项目过滤器示例

	重要性权重	7	6	9	7	10	
项目序号	项目题目	客户满意度的提高	财务影响	生产能力的提高	完成时间的长短	避免资本支出	总和
7	缩短型号T1端子压接机组装的时间	9	3	9	9	9	315
4	改善薄壁零件D4在铣床加工中变形问题	3	9	9	3	9	267
9	降低高精度零件F6在CNC加工过程中的报废率	9	9	3	3	9	255
3	提高零件C3在加工过程中的过程能力	3	3	9	3	9	231
5	改善零件E5表面硬度不稳定问题	9	3	3	3	9	219
1	降低零件A1生产过程中配制原材料的出错率	1	3	3	9	9	205
10	提高端子压接机T3盖板喷漆的一次通过率	9	3	3	9	3	201
6	改善薄壁零件D4热处理后变形问题	9	9	3	3	3	195
2	解决齿轮B2热处理和磨削后齿面和端面裂纹问题	3	9	3	3	3	153
8	缩短型号T2端子压接机的开发时间	9	9	0	1	1	134

附 录 D
(资料性)
六西格玛项目立项书格式示例

D.1 项目立项书的主要内容如表D.1所示。

表 D.1 项目立项书示例

项目名称							
绿带或黑带姓名			所在单位				
倡导者			任职部门				
开始日期			预计完成日期				
条目	描述		项目内容				
项目描述	描述存在问题						
项目流程范围	项目将影响到的主要流程和部门						
受益客户	内部客户和外部客户是谁？						
项目目标	确定衡量项目的衡量指标 确定现状及目标 列出CTQ的行业最佳水平	项目指标		基线	目标	极限水平	单位
项目收益	预期能取得项目收益（包括直接收益和间接受益）是什么？请详细列出计算公式和相应数值	直接收益		间接收益			
小组成员，所属部门及联系方式	团队成员/角色	姓名	部门	R	A	S	I
项目计划	写出每个阶段的开始和结束时间。（绿带项目原则为3-4个月左右、黑带项目一般为4-6个月）	阶段	计划开始时间	计划结束时间			
		定义阶段					
		测量阶段					
		分析阶段					
		改善阶段					

参考文献

- [1] GB/T 19000 质量管理体系 基础和术语
- [2] GB/T 3358.1 统计学词汇及符号 第1部分：一般统计术语与用于概率的术语
- [3] GB/T 3358.2 统计学词汇及符号 第2部分：应用统计
- [4] GB/T 3358.3 统计学词汇及符号 第3部分：实验设计
- [5] GB/T 4091 常规控制图
- [6] GB/T 6379.1 测量方法与结果的准确度(正确度与精密度) 第1部分 总则与定义
- [7] GB/T 6379.2 测量方法与结果的准确度 第2部分 确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法
- [8] GB/T 19580 卓越绩效评价准则
- [9] GB/T 36077 六西格玛管理评价准则
- [10] ISO 13053-1 Quantitative methods in process improvement—Six Sigma—Part 1:DMAIC methodology
- [11] ISO 13053-2 Quantitative methods in process improvement—Six Sigma—Part 2:Tools and techniques
- [12] 何桢. 六西格玛管理(第三版). 中国人民大学出版社, 2014