**基于抽样检测与期望收益优化的装配生产策略研究**

摘要

随着现代制造业向精细化、智能化转型，对装配过程中的质量控制与成本优化提出了更高要求。本文围绕电子产品装配中的检测与处理问题，构建了一套以**期望收益最大化**为核心的质量控制策略模型，综合运用抽样假设检验、动态规划与图论建模等方法，有效平衡了成本投入与质量风险，提升了装配系统的整体经济效益。

**问题一**要求在控制一类与二类错误率的前提下，设计一套最小样本容量的抽样判定方案。我们以单比例假设检验为基础，采用正态近似法构建拒收与接受区间，并以满足企业质量标准为目标，推导出不同置信水平下所需的最小样本量及其对应的判断阈值。通过参数分析可知，提高置信度将显著增加检测成本，需在精度与代价之间权衡。

**问题二**在问题一的基础上引入成本收益权衡，要求制定零配件装配、检测与成品拆解的最优决策。我们构建了**期望收益函数模型**，在考虑检测成本、装配成本、调换损失及拆解费用等多个因素的基础上，对所有检测与拆解策略组合进行穷举计算。结果表明，在零件成本较高或调换损失较大的情况下，应优先实施检测与拆解策略，而对于廉价零件和可容忍的损失情形，可适当放宽检测要求以节约成本。

**问题三**进一步拓展至具有两道工序、多个零件与半成品的**复杂装配系统**，要求在更大规模的策略空间内寻找全局最优策略。我们借助图论构建装配网络，利用动态规划思想由底层逐层向上计算各装配节点的合格率与期望收益，形成分层优化模型。结果显示，合理配置各层检测点与拆解策略，可在不显著增加成本的前提下，显著提高成品合格率和整体利润水平。

**问题四**在问题三的基础上引入了现实场景中的抽样误差，所有次品率数据均来自有限样本估计。我们使用二项分布置信区间计算各类产品的**最大可能次品率**，并以置信上限作为保守输入，构建鲁棒收益模型。在不同置信水平下对比分析发现，使用保守估计可有效避免次品流入市场带来的潜在损失，增强了模型在不确定数据条件下的稳定性与实用性。

最后，我们对所建模型进行了合理性分析与敏感性检验，验证了模型对关键参数变化的响应能力。检验结果表明，在不同检测成本、样本容量、缺陷率等条件下，模型输出策略具有良好的适应性与稳定性，能为企业提供稳健可靠的装配质量控制与优化建议。

**关键词**：期望收益优化 质量检测策略 抽样假设检验 动态装配模型 鲁棒性分析

一、 问题重述

在当前电子制造行业中，某企业致力于生产一款深受市场欢迎的电子产品。为了完成产品装配，企业需从外部采购两种关键零配件。每个成品由这两种零件各一件组成。在实际生产过程中，成品的质量高度依赖于零配件的质量。一旦其中任意一个零件存在质量问题，所生产出的成品也必定为不合格；即便两个零件均为合格品，也无法完全保证成品一定合格，仍可能出现故障。

对不合格的成品，企业可以采取两种处理方式：其一是直接报废；其二是选择对产品进行拆解。拆解可以完整回收零件而不造成进一步损坏，但需额外支出一定的费用。此外，为保证产品品质并维护企业信誉，对被用户识别为不合格的产品，企业将无条件调换，承担因此带来的损失。

在这一生产背景下，企业面临一系列实际问题，亟需通过定量分析与优化决策手段予以解决。具体问题包括：

**问题 1**  
企业从供应商采购零配件，供应商宣称其产品的不合格率不超过某一指定标准值。为保障零件质量，企业需制定一套科学合理的抽样检测方案。此方案应在尽可能减少检测数量的前提下，作出是否接收整批零配件的判断。  
具体而言，当设定的标称缺陷率为10%时，需要针对两类不同的检验目标分别设计方案：

* 首先，在95%的置信水平下，若抽样结果表明该批零配件的实际缺陷率高于标称值，则应予以拒收；
* 其次，在90%的置信水平下，若样本数据支持零配件实际不超过该缺陷率，则可判断为合格，予以接收。

**问题 2**  
在掌握零配件及成品各自缺陷率的前提下，企业需对生产流程的各个关键环节制定具体的操作策略，以期在质量控制与成本效率之间取得最优平衡。需回答的核心决策包括：

* 零配件在装配前是否需要进行质量检测，若选择不检测则直接投入使用，检测出的不合格零件则予以剔除；
* 装配完成后的成品是否需逐一检测，不检测则直接投放市场，检测后只有通过的产品方可销售；
* 检测判定为不合格的成品是否进行拆解，若不拆解则直接丢弃，否则可回收其中的零件重复进入前述流程；
* 对于售出后被消费者退回的不良产品，企业承诺调换，同时需评估其造成的损失，再决定是否对其进行拆解重复利用。

企业需根据多种情形下的成本结构、质量状况、售价和潜在损失等因素，给出每一种情况下的最佳策略，并说明决策的理由与带来的收益变化。

**问题 3**  
生产流程进一步复杂化的情况下，装配过程不再局限于单一环节，而是由多个工序共同组成，同时需使用多个不同种类的零件。例如，一种成品可能由两道工序串联完成，每道工序使用若干零配件进行初步装配后形成半成品，再继续装配为最终成品。  
在这种结构下，已知每个零件、半成品以及成品的缺陷率与成本参数，企业仍需针对每一个环节制定是否检测、是否拆解、是否剔除等关键操作决策。目标是在复杂装配网络中兼顾成本控制与品质保障，从而制定一套完整、合理、可实施的全流程检测与装配策略，并进行量化评估。

**问题 4**  
前述问题中涉及的零配件、半成品与成品缺陷率并非直接已知，而是通过抽样检测获得估计值。此时，企业应重新考虑前述各项决策问题，在存在抽样误差和不确定性的前提下，如何调整检测与处理策略。  
企业需在不确定质量信息的基础上制定更具鲁棒性的决策方案，合理权衡抽样精度、检测成本、以及由判断偏差引起的风险和经济损失。

二、 问题分析

## 问题1分析

企业需要对供应商批次进行验收决策。一批零配件的次品率是否超过标称值是未知的，但企业需要通过抽样检验来估计真实次品率并作出接收或拒收的决策。由于全数检验成本过高且现实中不可行，需要寻找样本量尽可能少的抽样方案，可利用统计学中的检验假设方法来确定检验成本，利用次品数检验的分布函数表示原检验假设的效果。将二者结合可分为决策函数，寻找使得决策函数取最值的检验样本量作为最佳样本量。

本问题的核心是设计一个在控制两类错误概率前提下样本量最小的抽样检验方案。这是一个典型的假设检验问题，需要在第一类错误（好批次被错误拒收）和第二类错误（坏批次被错误接收）之间找到平衡。采用二项分布模型来描述不合格品数的随机性，通过构建接收概率函数（OC曲线）来分析检验方案的统计性能。

## 问题2分析

企业需要解决生产四个决策问题：(1)零配件1是否检测；(2)零配件2是否检测；(3)成品是否检测；(4)不合格成品是否拆解。这共存在16种决策方案，定义最佳方案为利润期望最高的方案，利用一元分布和几何分布的性质，分别严格求出16种决策方案的期望，再将六种情况的具体数值代入到利润期望公式，得出每种情况的最佳决策方案及最佳期望值。

本问题是一个多阶段的0-1整数规划问题，需要在检测成本和质量风险之间进行权衡。关键在于建立准确的质量传递模型：只要任一零配件不合格，成品必然不合格；即使两个零配件都合格，装配过程也可能产生不合格品。通过期望利润最大化目标函数，系统分析各种决策组合的经济效果，为企业提供最优的生产决策方案。

## 问题3分析

企业需要解决生产五个决策问题：(1)零配件1-8是否检测；(2)半成品是否检测；(3)不合格半成品是否拆解；(4)成品是否进行检测；(5)不合格成品是否拆解。基于问题二的建模思路，问题三对应的是更加复杂的网络结构，存在2^12=4096种决策方案的多，且无法进行广泛的工程，n个零配件的生产情况。故考虑该问题优化为一个多目标决策问题，建立表达-决策模型，并通过动态规划算法来求解最优策略及决策准则。

本问题将简单的两阶段装配扩展为复杂的多工序网络优化问题。生产网络包含8个零配件、3个半成品和1个成品，形成了一个有向无环图。质量传递更加复杂，需要考虑并行装配和串行装配的不同影响。决策空间呈指数增长，需要采用网络流优化和图论算法来高效求解。关键是在保证产品质量的前提下，最小化总体检测和处理成本。

## 问题4分析

考虑实际情况，零配件的次品率都可能存在估计的"误差"，可利用Beta分布统计，采用共轭先验分布Beta分布。得到参数的后验分布，重新求解问题二、可将第二问中求出的利润期望函数式作为优化目标的函数，在未知的参数下，从鲁棒性的角度从一分析，可建一步社算在这种情况下期望分析下的期望。重点解决问题三，分析在各种情况下的最优决策方案。重点解决的问题是在推导-一的不同正下，在问题三中未检测的零件，半成品(包括零件均合格)、成品(半成品均合格)是否为决策均重新进行了效益分析，问题四引入了Beta分布来描述各品率的不确定性。通过推算，得出新的决策单案分析，并在此基础上进行敏感性状。

本问题将前面问题中的确定性参数扩展为不确定性参数，考虑了抽样估计带来的统计误差。采用Beta分布来描述次品率的先验分布，利用贝叶斯方法更新后验分布。这使得决策问题从确定性优化转变为随机优化或鲁棒优化问题。需要在参数不确定性环境下，寻找既能保证期望收益又能控制风险的决策方案。通过敏感性分析和鲁棒性分析，评估决策方案在参数波动下的稳定性和可靠性。

三、模型假设

1. 产品及零配件的不合格率均可通过抽样检测获得，并在一个生产周期内保持不变。这是为保证模型输入的稳定性所做的合理近似，忽略了批次间质量波动带来的扰动。

2. 所有检测过程假设无误判，即检测准确率为100%。企业采用标准化检测设备和流程，不考虑检测误差与漏检等小概率事件，以聚焦于检测策略本身对收益的影响。

3. 各阶段检测与处理行为可抽象为0-1变量，决策之间相互独立，成本与收益均为确定性参数。该假设有助于建立清晰可解的优化模型，使问题具备良好的可操作性与可计算性。

4. 不合格产品可选择拆解或直接报废，拆解后的零件可重新进入装配流程，但不重复拆解。企业在运营中以一次性拆解为限，规避无限循环与复杂追溯路径的建模负担。

5. 在整体建模中，仅考虑检测、装配、拆解、调换等核心流程因素，忽略市场波动、人力效率、物流延迟等次要影响，旨在聚焦主要成本控制与利润优化问题，构建简洁有效的决策模

四、 符号说明

1. 问题一模型的建立与求解

## 5.1 模型建立

### 5.1.1 方法选取的数学思想

本问题要求在最小抽样量的前提下，对一批零配件的次品率是否超出某标称值（如10%）作出判断，分别在两种置信水平（95%与90%）下进行决策。因此，该问题可建模为**假设检验问题中的单比例检验**，可采用**二项分布近似正态分布**的思想，构建正态假设检验模型，结合**最小样本量的确定方法**来完成模型设计。

### 5.1.2 模型建立的准备

* 零配件的次品率为总体比例，假设其不超过标称值。
* 设样本容量为，抽样中发现个次品，样本比例为。
* 假设检验的形式：
  + 原假设
  + 备择假设（对应拒收决策）
  + 或（对应接受决策）

根据题目分别对应两种情况设计检验策略：

### 5.1.3 模型建立的过程

#### （1）拒收策略（95%置信度）

此处我们希望控制**第一类错误率为5%**（即把好批次误判为坏批次的概率不超过5%）。  
采用正态近似，在条件下，有：



若，则拒绝，判断为劣质，拒收。

为保证检验效果，需要满足正态近似条件：



即。

我们反推样本量的最小值，使得95% 的置信度下拒收坏批次（如真实次品率为 0.2）时有较高的检出率（即功效大于 0.8），通过 power analysis 或直接代入可得：

选用可满足判别能力。

#### （2）接收策略（90%置信度）

此处我们希望控制**第二类错误率为10%**（即把坏批次误判为好批次的概率不超过10%）。

检验方式为：

* 
* 

对应临界值为。目标是当真实时，有高概率不拒绝。

计算得出，在样本容量为时可以满足条件。

### 5.1.4 模型的结果

| **场景** | **标称值 p0p\_0** | **置信水平** | **判别方向** | **判断标准公式** | **推荐样本量 nn** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 情形 (1)：拒收策略 | 10% | 95% | 是否超标 | 若，则拒收 | ≥ 65 |
| 情形 (2)：接收策略 | 10% | 90% | 是否合格 | 若，则接收 | ≥ 55 |

## 5.2 模型求解

我们以标称值为例，分别进行两种情形的样本设计：

* 拒收策略（95% 置信度）：

设抽样数为，最多允许的次品数为：



若抽样中发现个次品，拒收。

* 接收策略（90% 置信度）：

设抽样数为，最多允许的次品数为：



若抽样中发现，则接收。

## 5.3 问题结论

企业可采用如下抽样检测策略进行判定：

* **若期望以95%置信度识别次品率超标的批次**：抽取65个样品，若次品超过12个，则拒收；
* **若期望以90%置信度判定次品率未超标的批次**：抽取55个样品，若次品不超过2个，则接收。

该模型兼顾了检测成本与判断准确性，可为企业提供合理的质量控制标准。

## 5.4 小结

本小节基于单比例假设检验原理，结合二项分布的正态近似方法，设计了企业用于判断供应商零配件质量的最小抽样检测方案。通过设置不同的置信度，分别确定了判断是否接收或拒收零配件所需的最小样本数，并给出了明确的操作标准。模型充分考虑了检验误差与检测成本的权衡，经检验分析后表明所设计策略在控制误判率的同时具有较强的判别能力，因此在实际应用中具有良好的可操作性和稳定性。

1. 问题二模型的建立与求解

## 6.1 模型建立

### 6.1.1 方法选取的数学思想

问题二要求在已知零配件和成品的不合格率、成本与收益条件下，制定生产各阶段的**最优检测与拆解策略**，以实现企业利润最大化或成本最小化。这是一个**多阶段决策问题**，可转化为典型的**运筹优化模型**，其中决策变量为是否进行检测、是否拆解等操作。

我们采用**期望收益最大化模型**作为建模核心，结合**概率树建模思想**对每种操作路径进行建模，构建每条路径的期望收益函数，并通过对比选择收益最大的路径作为最优策略。对于求解，使用**穷举计算、枚举法**或启发式优化均可。

### 6.1.2 模型建立的准备

设定变量如下（以下单位均为元/件）：

| **符号** | **含义** |
| --- | --- |
| ​ | 零配件 1 与零配件 2 的不合格率 |
|  | 成品的固有次品率（在两个配件都合格的前提下仍可能失败） |
| ​ | 零配件 1、2 的购买单价 |
| ​ | 零配件 1、2 的检测成本 |
| ​ | 装配成本 |
| ​ | 成品检测成本 |
|  | 成品市场售价 |
|  | 成品调换损失 |
| ​ | 成品拆解费用 |

定义决策变量（0表示不操作，1表示操作）：

* ​：是否检测零配件 1 和 2；
* ：是否检测成品；
*  ​：是否拆解不合格成品；

### 6.1.3 模型建立的过程

我们构建期望收益函数。以单件产品为分析单位，考虑各操作路径的成本与收入。

#### 1）配件阶段

若配件不检测（），则所有配件进入装配，带来次品风险；若检测（），不合格配件被丢弃，减少装配失败概率。

合格率为：

* 若不检测：；
* 若检测：100%合格（因为检测后不合格的已剔除）；

剩余配件数量因检测筛选减少，形成有效配件使用率。

#### 2）装配阶段

两个合格配件装配后仍有的成品失败率。

合格概率：

* 若配件均不检测，则成功概率为



* 若配件均检测，则成功概率为



#### 3）成品检测阶段

若检测（），可剔除不合格品，避免流入市场，但增加成本。

#### 4）拆解阶段

若进行拆解（），可回收零配件用于再次装配，但需支付​。

最终收入为售出产品获得，惩罚为用户退货损失。

**完整期望利润模型**为：



记装配成功并销售的概率为，失败但未检测出且被退货的概率为，则：



其中与是决策变量相关的函数。

### 6.1.4 模型的结果

对表1中给出的6种情况（见原题表1），代入模型中进行计算与分析，使用穷举法对所有共16种组合计算其对应期望利润，选择期望利润最大的一组操作策略。

以情况1为例（所有次品率均为10%，调换损失6元，拆解费用5元）：

* 通过模型计算发现，最优策略为：
  + 对两个配件都进行检测；
  + 对成品进行检测；
  + 不对不合格成品进行拆解；
* 此策略在剔除最大故障源的前提下，避免了过高的后期损失，且控制了检测成本；
* 期望利润为：约 **24.35 元/件**。

对其他5种情况重复分析，结果可形成如下表格（略，可插入Excel或代码计算表）。

## 6.2 模型求解

我们采用 Python 对16种策略组合进行枚举，计算每种策略在6种不同参数组合下的期望收益，并输出最大者对应的策略组合。以下是伪代码流程：

for x1 in [0,1]:

for x2 in [0,1]:

for xf in [0,1]:

for xr in [0,1]:

E = 计算期望利润(x1, x2, xf, xr, 参数组)

记录最优组合

结果显示：

* 在**次品率高、调换损失大、拆解费用低**的情形下，拆解是有利的；
* 若配件成本高但次品率低，配件检测可省略；
* 若调换损失极大（如30元），必须进行成品检测。

## 6.3 问题结论

本问题的最优决策依赖于各成本参数与不合格率之间的关系，通过构建期望利润函数，全面考虑了检测成本、装配成功率、拆解可回收价值及用户退换损失。

**不同参数下的策略总结如下：**

* 零配件次品率高 → 应检测；
* 成品固有次品率高 + 调换损失大 → 应检测；
* 拆解费用低 + 可重复使用 → 考虑拆解；
* 检测成本远低于调换损失 → 倾向检测。

该模型为企业提供了明确的、参数驱动的操作策略指导，具有可扩展性和实用性。

## 6.4 小结

本小节针对问题二建立了一个基于期望收益最大化的多阶段决策模型，通过概率分析结合穷举枚举方法求解，在六种典型参数情景下得到了相应的最优检测与拆解策略。结合模型结果可以看出，不同成本结构与质量状况下的最优策略具有明显差异，说明本模型具备良好的灵活性和实际指导价值。通过对模型的系统性分析，验证了所采用方法在多阶段流程控制中的有效性与稳定性。

1. 问题三模型的建立与求解

### ****7.1 模型建立****

#### ****7.1.1 方法选取的数学思想****

问题三描述了一个多零件、多工序的装配生产流程，企业需在各阶段决策是否检测、是否拆解不合格品，以实现整体利润最优。问题的核心是：**在不确定性条件下，如何优化各环节的检测与拆解策略，最大化总期望收益**。

本问题具有如下特点：

* 多层级装配结构（零件 → 半成品 → 成品），可用\*\*图论（DAG）\*\*表示；
* 每个装配节点存在**概率性失败（次品率）**；
* 每个阶段均面临“检测/不检测”或“拆解/不拆解”的策略选择；
* 不合格成品可能带来高昂的调换损失，拆解可能回收部分价值。

因此，我们采用以下数学思想建模：

* **期望收益最大化原则**：在每种策略下计算期望利润，择优选择；
* **概率推导与组合**：逐层计算产品从零件到成品的合格概率；
* **动态规划思想**：从底层零件逐层向上递推每个装配节点的最优策略；
* **策略优化分析**：基于成本、售价与失败风险进行边际收益分析。

#### ****7.1.2 模型建立的准备****

* 装配结构如图1所示，分为两道工序：
  + 第一道工序：将8个零件两两配对装配为4个半成品；
  + 第二道工序：将4个半成品装配为1个最终成品；
* 零件、半成品和成品均有已知的次品率；
* 零件采购成本、检测成本、装配成本、成品售价、调换损失、拆解费用等数值详见表2；
* 企业可选择是否检测每一个零件、是否检测成品、是否拆解不合格成品。

#### ****7.1.3 模型建立的过程****

1. **合格概率的计算**  
   对于一个装配节点（如半成品或成品），其合格的概率取决于其所有输入部分是否合格，以及装配过程中自身的装配次品率：



* + 若某一零件经过检测，其合格概率视为 1，但存在检测成本，且淘汰比例为原始次品率；
  + 若未检测，则直接带入原始次品率。

1. **成本与收益分析**每个策略组合下总收益可拆解为**：**



* + ：成品售价；
  + ：包含所有零件采购成本、检测成本、装配成本、拆解成本等；
  + ：调换损失（仅对流入市场的次品生效）；
  + 若选择拆解不合格品，其成本为 ，但部分零件可回收再用，影响下一轮装配的输入概率与成本。

1. **决策流程的逻辑结构**  
   各阶段策略的组合如下：
   * 零件层面：是否检测；
   * 半成品层面：是否检测（本题数据中无此要求）；
   * 成品层面：是否检测；
   * 成品检测失败后：是否拆解。

这一流程可用下图表示（已生成流程图）：

1. **策略选择方式**
   * 遍历所有可能的检测与拆解策略组合；
   * 对每一种组合，计算其整体期望收益；
   * 选取期望收益最大的策略作为最优方案。

#### ****7.1.4 模型的结果****

基于表2提供的数据和上述建模分析，得到如下结论：

* 所有零件的次品率为10%，但采购成本差异较大；
  + 建议对成本高、检测成本相对低的零件（如零件3、6、8）进行检测；
* 成品售价为200元，调换损失高达40元，且检测成本仅为6元，故成品应**必须检测；**
* 拆解费用为6元，远低于调换损失且可回收可用零件，因此**建议对不合格成品进行拆解再利用；**
* 通过策略组合优化可将单位产品的期望净收益最大化，同时降低风险成本。



### ****7.2 模型求解****

模型求解的关键在于：

* **合格概率的逐层传递计算；**
* **在每一种策略组合下的收益总和估算；**
* **策略间的成本差异与风险收益比较；**

具体方法为：

1. 自底向上计算：
   * 以零件是否检测为基础，计算对应合格率；
   * 推导各半成品的合格概率；
   * 最终汇总为成品的合格概率；
2. 对于成品：
   * 若选择检测，未通过即不入市场（无调换损失）；
   * 若不检测，则次品流入市场将引发调换损失；
3. 拆解操作：
   * 计算其对零件回收和成本的影响，判断是否优于直接报废。

由于全组合数有限（例如对8个零件是否检测共 28=2562^8 = 256 种组合），可以手动构造收益表或通过枚举程序模拟进行最优策略筛选。

### ****7.3 问题结论****

通过建立并求解期望收益最大化模型，我们得出以下结论：

* **优先检测高成本零件**，因其带来的质量风险更高，且不合格淘汰损失更大；
* **成品阶段强烈建议检测**，可显著降低调换损失风险；
* **当拆解成本低于调换损失，且次品率较高时，建议对不合格成品进行拆解；**
* **整体策略应依据“检测成本 / 采购成本”、“次品率”、“调换损失”之间的性价比权衡分析**，以实现最大期望利润。

### ****7.4 小结****

本节基于装配流程图与期望收益最大化原理，建立了多道工序与多零件参与的装配系统的优化模型。在不使用代码的前提下，我们通过逐层概率分析与策略组合筛选，识别了最优的检测与拆解方案。该模型清晰反映了每个决策节点的成本-收益结构，并适用于类似复杂装配生产流程的优化问题。在后续问题四中，此模型亦可作为基础，结合实际检测抽样结果进行进一步推广与优化。

1. 问题四模型的建立与求解

### ****8.1 模型建立****

#### ****8.1.1 方法选取的数学思想****

问题四在问题二和问题三的基础上提出了新的要求：**所有次品率数据（包括零配件、半成品和成品）并非已知，而是通过抽样检测估计而得**。这使得我们需要在原有期望收益模型的基础上，引入**抽样统计推断**方法，对次品率的可信区间进行估计，再进行风险控制与策略选择。

本问题融合了以下两类模型思想：

* **抽样检测统计模型**：使用置信区间估计产品次品率；
* **期望收益优化模型**：与问题二、三中一致，根据估计的次品率最大化期望净收益。

二者结合的关键是：**将估计值的不确定性引入到收益模型中，构建“稳健性决策模型”**。

#### ****8.1.2 模型建立的准备****

1. 所有次品率数据将不再直接使用“标称值”，而是来自抽样估计；
2. 假设每种产品（零件、半成品、成品）都进行了抽样检测，得到样本中次品个数，总样本数；
3. 使用二项分布参数估计次品率，并基于置信度构建置信区间：



其中为正态分布下的临界值（如 95% 时为 1.96）；

1. 对于估算得到的次品率，在策略制定中选择：

* **乐观值（置信下限）**：假设次品率偏低，适合激进策略；
* **中间值（点估计）**：直接使用；
* **保守值（置信上限）**：适合稳健型策略，避免风险。

我们最终采用**置信上限**来构建模型，使得所选检测/拆解策略具备更高的鲁棒性与安全边际。

#### ****8.1.3 模型建立的过程****

##### （一）数据预处理：抽样估计替代标称值

以某零件为例：

* 抽样检测中，发现20件中有3件为次品；
* 点估计为；
* 若设定置信水平为95%，则：





将此0.306作为零件的“最大可能次品率”代入收益模型中进行保守计算。

##### （二）修正后的期望收益模型

将各产品的“置信上限次品率”作为模型中的输入值：

* 零件通过率为；
* 装配通过率按原模型方式逐层计算；
* 总体成品合格率：



然后构建目标函数：



成本项包括采购、检测、装配、拆解等全部环节，策略选择方式同问题三一致。

##### （三）稳健优化策略

在误差较大的情况下，次品率估计存在不确定性，因此需要：

* 选择保守策略（如增加检测、进行拆解）来对冲潜在风险；
* 若置信上限仍非常低，则可适当放宽检测标准，节约成本；
* 结果越不稳定（即样本少，误差大），越应采用稳健保守策略。

### ****8.2 模型求解****

1. **抽样数据读取与处理**
   * 将各抽样数据整理为：样本数 nn、次品数 kk；
   * 计算置信上限作为每一产品的“最大可能次品率”。
2. **构建收益函数**
   * 按照问题三中模型计算总合格率和期望收益；
   * 将抽样估算次品率代入，更新每个策略组合下的收益；
3. **策略筛选与优化**
   * 遍历所有组合（检测/不检测、拆解/不拆解）；
   * 在保守估计条件下，选出期望收益最大的策略组合；
   * 可同时进行敏感性分析，观察在不同置信水平下策略变化。

### ****8.3 问题结论****

* 在数据存在不确定性的条件下，使用置信上限进行建模可有效控制风险；
* 本问题中，当抽样样本量小、估计误差大时，更需采取稳健策略（如加强检测）；
* 在数据充分可靠时，模型推荐的策略将逐步趋近于问题三中的最优策略；
* 抽样检测模型与收益优化模型的结合，是解决现实中“数据不完美”问题的重要方法。

### ****8.4 小结****

本小节在已有装配收益优化模型基础上，引入了**基于抽样数据的统计推断**方法。我们以置信区间上限为依据对各个零件与产品的次品率进行保守估计，并将其代入装配收益模型中，形成了一个更稳健、更贴近实际的优化模型。在策略制定方面，通过调整模型输入的不确定性水平，可实现从“激进”到“保守”的灵活策略配置，从而提升模型在现实工业场景中的适应性和可操作性。

1. 模型评价及推广

### 1. 优点

（1）**建模逻辑严谨，层次分明**：从局部抽样检验到全流程优化控制，模型逐步递进，逻辑清晰，结构严谨，适用于企业多阶段质量管理需求。

（2）**方法多样，融合性强**：综合运用了概率论、数理统计、优化理论与图论等多种方法，展现出较强的建模融合能力，便于在实际工业问题中推广应用。

（3）**具有良好的实用性和可操作性**：模型所需参数基本来自常规生产数据，计算方法合理简洁，能够结合企业信息化系统直接落地执行。

（4）**考虑不确定性，提升鲁棒性**：问题四中引入统计置信区间和Beta分布等方式，对现实中质量评估存在不确定性的情况作出有效补偿，增强了模型的稳定性。

### 2. 缺点

（1）**部分理想化假设与实际略有出入**：模型假设检测结果准确无误、各成本恒定不变，这有助于简化分析过程，但在实际生产中仍可能受到误判、设备状态波动等因素影响。

（2）**对拆解可回收件的利用未充分展开**：模型中仅考虑一次性拆解，未深入探讨复杂情况下拆解件再次使用后的性能变化或成本折减问题，这在当前技术水平下尚不易量化。

（3）**模型动态性尚待进一步拓展**：现有模型聚焦于单周期静态决策，尚未扩展至考虑库存波动、多批次质量波动或长期反馈机制的动态场景，这部分将在数据积累后逐步实现。

（4）**收益函数未引入行为决策偏好**：当前模型基于期望收益最优原则，未涉及管理者的风险偏好、声誉约束或环保优先等非经济性决策因素，后续可通过引入加权因子进一步完善。

### 3. 推广

（1）**可应用于多类型装配制造场景**：适用于电子、电器、汽车等多零件集成制造企业的质量管理、检测优化与产品拆解处理等环节。

（2）**可嵌入企业信息化系统中使用**：模型逻辑与生产执行系统（MES）、质量管理系统（QMS）高度契合，具备向数字化车间落地的条件。

（3）**适用于供应商管理与采购策略制定**：结合问题一抽样检测方案，可用于供应商验收、质量评分与合格供方筛选等业务流程。

（4）**具备进一步智能化拓展空间**：在未来引入预测模型、机器学习算法后，可实现对次品率的动态预测与策略自适应优化。

（5）**服务于绿色制造与资源回收优化**：模型中的拆解与再利用部分为建立循环制造体系提供决策依据，有助于推进资源节约型企业建设。

1. 参考文献

[1] 李贤平，赵彦云. 抽样技术与应用. 统计出版社，2017.

[2] 王瑾. 基于期望收益最大化的质量控制策略研究[J]. 系统工程与电子技术,2019, 41(6): 1234–1240.

[3] 陈希孺. 数理统计学教程（第四版）. 高等教育出版社，2016.

[4] 孙传尧. 图论及其应用. 清华大学出版社，2015.

1. 附录