

# 武汉理工大学

## 本科生毕业设计（论文）开题报告

学 生 姓 名： 钟德鸣

导师姓名、职称： 牟新刚、讲师

所 属 学 院： 机电工程学院

专 业 班 级： 测控技术与仪器

设计（论文）题目： 固定收益债券定价和投资策略分析

2018 年 3 月 18 日

# 1. 目的及意义

## 1.1 设计的目的和意义

就该课设而言,我们的目的在于通过已有数据进行曲线拟合,主因子提炼,通过分析主要因子的影响以及未来曲线的走势预测债券走势并给出投资策略。

该课设的意义:通过对已有数据的分析挖掘,提炼出曲线以及方程,根据PCA方法分析主要影响因子,根据这些因子我们可以给出未来的债券投资策略,达到预测债券走势的目的。

虽然该毕业设计主要虽然研究的是固定收益债券定价和投资策略分析,但是主要研究对象还是收益率曲线。要了解设计的目的,我们首先要了解收益率曲线。

收益率曲线是根据不同到期期限债券的收益率所绘制的图形,它反映市场当前的收益率水平。收益率曲线不是历史数据图形,不能反映一段时间内的收益率水平,反映一段时间内收益率水平的图形称为历史价格图或者历史收益率图形。

收益率曲线的应用:收益率曲线可以告诉我们市场当前的交易价格,还隐含未来的市场交易价格,或者至少隐含了市场对未来的预期。换句话说,收益率曲线是反映未来市场状况的一个很好的指标。与个人投资者使用的其他指标相比,收益率曲线要可靠的多,实证经验已经很好地证明了这点。作为对收益率曲线分析的一个概述,让我们先介绍它的一些主要用途。债券资本市场的所有参与者都对收益率曲线的当前水平和形状以及它们所隐含的未来信息非常感兴趣。收益率曲线的主要用途可总结如下。

- (1) 确定所有债务市场工具的收益率。收益率曲线基本上确定了期限结构不同的各种债券的价格。不同期限的政府债券收益率为市场中其他债务工具的收益率设定了基准,因为其他所有债务工具都是根据政府债券的收益率定价的。这意味着什么呢?从本质上来说,这意味着如果5年期政府债券按5.00%的收益率成交,则无论是谁发行的所有其他5年期债券在发行时的收益率都会在5.00%以上。高出5.00%的这一部分称为利差。可见,债务工具的发行人是根据收益率曲线为债券和所有其他债务工具定价的。为新发行的证券定价时

一般使用零息收益率曲线，而不使用赎回收益率曲线（参见后文）。

- (2) 作为未来收益率水平的指示器。正如本章稍后所述，收益率曲线的形状与市场对未来利率的预期相对应。债券市场参与者分析收益率曲线当前形状的目的，就是为了获得曲线中所隐含的有关市场利率未来走向的信息，这也许是收益率曲线最重要的一个功能。如何解释收益率曲线，既是一门科学，又是一门艺术。不但债券交易商和基金经理会仔细市察收益率曲线所包含的信息，公司财务人员进行项目评估时也会考虑收益率曲线所披露的信息。此外，中央银行和政府财政部门也会分析收益率曲线，从中获得有关远期利率和通货膨胀水平的信息，并利用这些信息设定整个国家利率水平，或者像欧洲中央银行一样为整个欧洲设定利率水平。这表明，收益率曲线与我们的生活息息相关，对所有人都极其重要。
- (3) 度量和比较不同期限的债券的报酬率。投资组合经理可以根据收益率曲线评估到期日不同的各个投资的相对价值，因为收益率曲线揭示了不同到期时点上的报酬率。收益率曲线对固定利率基金经理非常重要，他们可以根据收益率曲线评估曲线上哪个时点提供的相对报酬率最高。将其他债券的收益率曲线与零息债券的收益率曲线进行对比，可以帮助我们明确应买进或卖出哪些债券，或者应如何从事债券利差交易。
- (4) 为利率衍生产品定价。期货或掉期等利率衍生产品的价格需要根据收益率曲线确定。在短期内，远期利率协议(FRA) 等产品是根据期货曲线定价的，而期货价格反映了市场对3 个月远期存款利率的预期。在长期内，利率掉期是根据收益岸曲线定价的，而可转换和可赎回债券等具有期权特征的混合金融工具也反映了当前的收益率曲线水平。无风险利率是期权定价中的一个重要参数，是短期国债利率或短期政府债券的回购利率，这两者都是货币市场收益率曲线的组成部分。

收益率曲线对于个人投资者也具有重要意义：

收益率曲线是投资者所常用的一项指标，对理解和跟进市场非常重要收

收益率曲线的形状可以告诉我们很多信息。例如，我们已经知道收益率曲线略向上倾斜正是我们的期望。它表明，贷款人对于较长期限的贷款会要求较高的利率，因为较长期限贷款的风险较高而且可能面临较高的通货膨胀。它还表明，利率应该保持在较低的水平。并且在短期内不会上升。而反向收益率曲线表明，短期利率较高或者在近期内会上升。收益率曲线由正向变为反向，是市场反的或向市场传达的一个强有力的信号。

投资者应当按照收益率曲线所揭示的信息进行投资，理由如下：

- 利用收益率曲线进行预测简单快捷，不需要复杂的分析。
- 收益率曲线简单可靠，可用来验证从其他指标中所得出的结论。如果收益率曲线所揭示的信息与其他指标所揭示的信息不一致，我们应质疑从其他指标所得出的结论。
- 收益率曲线可以作为一个很好的市场情绪指标。如前所述，收益率曲线形状反映了我们市场的整体看法。

收益率曲线还反映了一下几个方面的信息：

- 中央银行对基准利率预期的变化。
- 持有长期金融资产的风险溢价范围。如果收益率曲线的斜率为正且非常陡峭，则风险溢价就非常高，投资者就不太愿意持有长期债券。另一方面，如果收益率曲线的斜率为正但不是非常陡峭，则投资者就会非常高兴，因为这意味着经济繁荣时期。
- 如果收益率曲线是反向的，反向的程度可以揭示市场对经济衰退程度的预期，反向程度越大，所预期的经济衰退就越严重。

## 1.2 国内外研究现状和实现功能

在中国，由于包括国债市场在内的债券市场起步较晚，流动性和市场化程度尚需进一步加强，有关利率期限结构和国债收益率曲线的研究也相对较薄弱，这增加了对国债收益率曲线进行研究的必要性和迫切性。国内最早的关于

收益率曲线的公开研究文献是杨大楷和杨勇姚长辉和梁跃军。

由于中国债券市场的发展起步较晚，对中国债券市场的理论研究落后，收益率曲线研究始于 90 年代后期。近年来值得一提的工作是应用国外广泛使用的模型对我国债券收益率曲线进行实证研究和比较分析。研究表明，针对中国的现状

短期债券发行量小，长期性差，中期债券比例大，不健康的期限结构，N-S 模型适用于构建中国国债收益率曲线。我们应当利用中国债券市场数据，利用国际上公认的几种收益率曲线拟合模型进行实证研究，寻找适合中国债券市场的拟合收益率曲线的方法。

## 2. 研究（设计）的基本内容、目标、拟采用的技术方案及措施

### 2.1 研究的所要解决的工程问题

这次设计需要我做到：收集收益率数据（对象包括但不限于美国国债、中国国债、LIBOR、SHIBOR），并根据数据进行曲线拟合。利用 PCA 方法研究曲线数据将影响因子简化为 3-4 个主因子，探究这些主因子是如何驱动收益率曲线的，根据实际情景加蒙特卡洛算法预测未来时间收益率的波动和风险价值，根据计算机模拟给出债券投资策略。

### 2.2 模块划分、功能及实现过程

通过对设计主要内容进行划分，本次设计的基本内容可以概括为以下几点：①收益率曲线数据收集；②收益率曲线拟合；③根据 PCA 方法研究曲线数据，提取 3-4 个主因子，探究这些主因子是如何影响收益率曲线走势的；④使用蒙特卡洛算法预测未来收益率曲线走势，计算机模拟给出投资策略；⑤设计计算机软件，提供给用户使用。

- （1） 收益率曲线数据的收集，这是一个比较重要的部分，可以分为多种收集方式，比如根据已有 Excel 表格，提取收益率数据，也可以从互联网上直接爬取相关对象的收益率曲线数据。

- (2) 收益率曲线的拟合，绘制收益率曲线，需要在坐标系中标出一系列离散点，纵坐标为收益率，横坐标为到期期限。对于利率期限结构，我们则分别以时期和固定期间的即期利率作为横坐标和纵坐标。收益率曲线就是将这些点连接起来的一条平滑曲线。我们需要一种方法尽可能准确地拟合该曲线，该方法称为收益率曲线建模或估计期限结构。

这部分我可以使用的方法有插值法、多项式模型、立方样条法、回归模型。这里有一种常见的模型叫 Nelson-Siegel 模型，该方法在国外已经发布边大受欢迎，因为参数数量少，而且每个参数都有相应的经济含义，因此，该模型不仅使用方便，而且能够在实际应用中发挥较好的指导作用。

- (3) PCA 方法提取主因子，也可以成为主成分分析。从数学的角度，主成分分析即构造原变量的一系列线性组合，使各线性组合在彼此不相关的前提下尽可能多地反映原变量的信息，即使其方差最大。可以证明，求某一数据的主成分，等价于求它的协方差矩阵的各特征值及相应的正交单位化特征向量。按特征值由大到小所对应的正交单位化特征向量为组合系数的原变量的线性组合分别为该数据的第一、第二、...主成分，而各主成分的方差等于相应的特征值。该方法使用较多，可以很快找到教程。

- (4) 重点在于蒙特卡洛方法预测未来走势，是计算机模拟给出投资策略的前提。蒙特卡罗方法解题过程的三个主要步骤：（1）构造或描述概率过程对于本身就具有随机性质的问题，如粒子输运问题，主要是正确描述和模拟这个概率过程，对于本来不是随机性质的确定性问题，比如计算定积分，就必须事先构造一个人为的概率过程，它的某些参量正好是所要求问题的解。即要将不具有随机性质的问题转化为随机性质的问题。（2）实现从已知概率分布抽样构造了概率模型以后，由于各种概率模型都可以看作是由各种各样的概率分布构成的，因此产生已知概率分布的随机变量（或随机向量），就成为实现蒙特卡罗方法模拟实验的基本手段，这也是蒙特卡罗方

法被称为随机抽样的原因。最简单、最基本、最重要的一个概率分布是  $(0, 1)$  上的均匀分布（或称矩形分布）。随机数就是具有这种均匀分布的随机变量。随机数序列就是具有这种分布的总体的一个简单子样，也就是一个具有这种分布的相互独立的随机变数序列。产生随机数的问题，就是从这个分布的抽样问题。在计算机上，可以用物理方法产生随机数，但价格昂贵，不能重复，使用不便。另一种方法是用数学递推公式产生。这样产生的序列，与真正的随机数序列不同，所以称为伪随机数，或伪随机数序列。不过，经过多种统计检验表明，它与真正的随机数，或随机数序列具有相近的性质，因此可把它作为真正的随机数来使用。由已知分布随机抽样有各种方法，与从  $(0, 1)$  上均匀分布抽样不同，这些方法都是借助于随机序列来实现的，也就是说，都是以产生随机数为前提的。由此可见，随机数是我们实现蒙特卡罗模拟的基本工具。（3）建立各种估计量一般说来，构造了概率模型并能从中抽样后，即实现模拟实验后，我们就要确定一个随机变量，作为所要求的问题的解，我们称它为无偏估计。建立各种估计量，相当于对模拟实验的结果进行考察和登记，从中得到问题的解。

- （5）设计计算机软件实现与用户交互，这是比较基础的部分，比较容易实现，我个人的可选方案有两个：（1）C# GUI 界面开发 （2）前端网页开发。

### 2.3 研究的目标以及技术上的关键点、难点

研究的目标在于收益率曲线，技术上的关键点是使用 Python 完成数据收集、曲线拟合、蒙特卡洛算法的实现以及结合 PCA 方法进行主成分分析。

难点在于（1）数据来源，由于我国在债券方面发展起步较晚，所以很多方面还不够完善，比如官方的数据来源，是否可靠，是否准确，是否可以获取都是已知的问题。（2）曲线拟合，拟合的方案有许多种，究竟该选择哪一种，选择不同的方案是否会存在差异，这些都还需要进一步摸索。（3）蒙特卡洛算法以前还没有接触过，需要进一步实践学习。

(4) PCA 方法进行主成分分析，主因子的选取。

## 2.4 该项研究对于社会的实际影响

收益率曲线所包含的信息可以告诉我们市场作为一个整体对未来市场的看法。但这有什么意义呢？如果我们还记得我们本身也是市场的一部分，这当然有意义。贷款人、借款人、银行、投资者、交易商、经纪商，从政府和全球投资银行到个人储蓄者，他们共同构成了市场。市场的总体看法都表现在收益率曲线的形状中。因此，收益率曲线是投资者所常用的一项指标，对理解和跟进市场非常重要。收益率曲线的形状可以告诉我们很多信息。例如，我们已经知道收益率曲线略为向上倾斜正是我们的期望。它表明，贷款人对于较长期限的贷款会要求较高的报酬率，因为较长期限贷款的风险较高而且可能面临较高的通货膨胀。它还表明，短期利率应该保持在较低的水平，并且在短期内不会上升。而反向收益率曲线则表明，短期利率较高或者在近期内会上升。收益率曲线由正向变为反向，是市场反馈的或向市场传达的一个强有力的信号。

收益率曲线的形状还代表了某个公司或者国家的现状，比如：

如果收益率曲线的形状向上倾斜，表明短期利率相对较低，货币政策一般为宽松的政策。长期利率包含了期限溢价，同时还受其他多元因素的影响，例如通货膨胀预期、对未来短期利率的预期。陡峭化的收益率曲线通常预示接下来几个季度都是投资的好时机。

如果向下倾斜，预示着短期利率相对较高，货币政策一般为紧缩的政策。

预示着债券、股票、整个经济前景一片暗淡，因为借贷成本上升了。

## 2.5 拟采用的技术方案以及选型过程

(1) 使用Python拟合收益率曲线，简单实例：

1. 多项式拟合范例：

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
import numpy as np
```

```
x = np.arange(1, 17, 1)
```

```
y = np.array([4.00, 6.40, 8.00, 8.80, 9.22, 9.50, 9.70, 9.86,
```

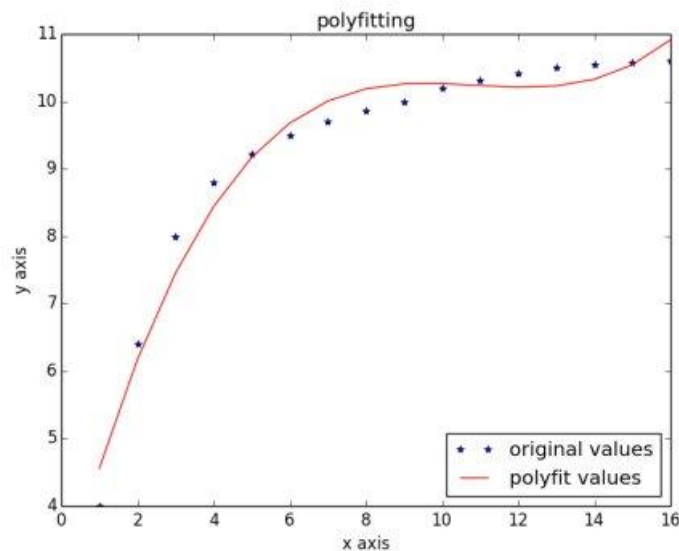


```

10.00, 10.20, 10.32, 10.42, 10.50, 10.55, 10.58, 10.60]])
z1 = np.polyfit(x, y, 3)#用3次多项式拟合
p1 = np.poly1d(z1)
print(p1) #在屏幕上打印拟合多项式
yvals=p1(x)#也可以使用yvals=np.polyval(z1,x)
plot1=plt.plot(x, y, '*',label='original values')
plot2=plt.plot(x, yvals, 'r',label='polyfit values')
plt.xlabel('x axis')
plt.ylabel('y axis')
plt.legend(loc=4)#指定legend的位置,读者可以自己help它的使用
法
plt.title('polyfitting')
plt.show()
plt.savefig('p1.png')

```

曲线拟合效果如下:



## 2. 指定函数拟合

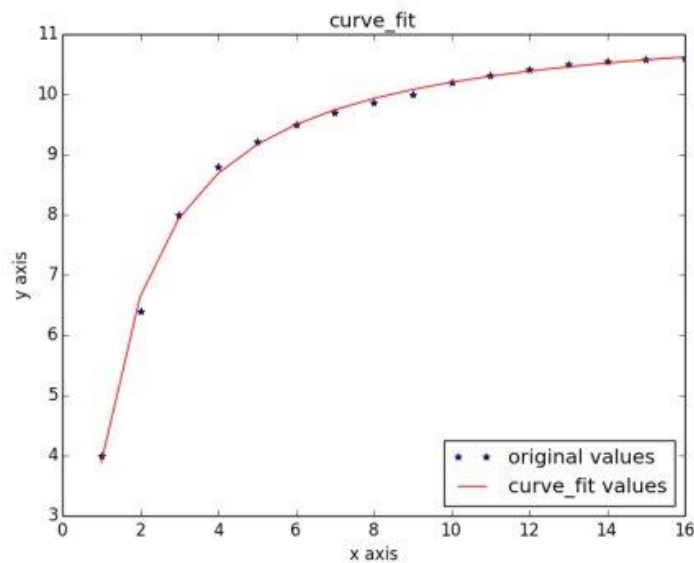
#使用非线性最小二乘法拟合

```

import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit

```

```
import numpy as np
#用指数形式来拟合
x = np.arange(1, 17, 1)
y = np.array([4.00, 6.40, 8.00, 8.80, 9.22, 9.50, 9.70, 9.86,
10.00, 10.20, 10.32, 10.42, 10.50, 10.55, 10.58, 10.60])
def func(x, a, b):
    return a*np.exp(b/x)
popt, pcov = curve_fit(func, x, y)
a=popt[0]#popt 里面是拟合系数, 读者可以自己 help 其用法
b=popt[1]
yvals=func(x, a, b)
plot1=plt.plot(x, y, '*', label='original values')
plot2=plt.plot(x, yvals, 'r', label='curve_fit values')
plt.xlabel('x axis')
plt.ylabel('y axis')
plt.legend(loc=4)#指定 legend 的位置, 读者可以自己 help 它的用法
plt.title('curve_fit')
plt.show()
plt.savefig('p2.png')
```



以上是简单曲线拟合的基本实例，可以看到使用了 numpy、matplotlib、scipy 等基本数据分析 Python 工具库，其中 numpy 用于基本的数据操作（包括 1、一个强大的 N 维数组对象 Array；2、比较成熟的（广播）函数库；3、用于整合 C/C++ 和 Fortran 代码的工具包；4、实用的线性代数、傅里叶变换和随机数生成函数。numpy 和稀疏矩阵运算包 scipy 配合使用更加方便），matplotlib 是一个用于绘制图标的 python 工具库，scipy 是另一个 python 的扩展包。它利用 numpy 做更高级的数学，信号处理，优化，统计等等。如果要拟合收益率曲线，情况会更加复杂，因为涉及到高阶指数函数的拟合，需要使用的库就不只是 numpy 等简单工具库了。此时我选择使用 Python 的专用金融数据分析工具库——QuantLib，这是一个面向金融量化分析师和开发人员的 C++ 库。至于收益率曲线拟合模型，我打算选择 Nelson-Siegel 公式。PCA 方法提取主因子，PCA 是一种将 n 维特征映射到 k 维上 ( $k < n$ )，这 k 维是全新的正交特征。这 k 维特征称为主元，是重新构造出来的 k 维特征，而不是简单地从 n 维特征中去除其余  $n-k$  维特征。

PCA 是一种分析高维数据的方法，能够产生一组新基，当数据在新基上投影时能够有效的识别数据之间的相似性和主要的差异。另外，PCA 的一个主要优点是数据的信息主要保存在前几个主成分中，那

么，可以把高维数据进行降维处理而不会丢掉很多信息。PCA 的思路从数学的角度，主成分分析即构造原变量的一系列线性组合，使各线性组合在彼此不相关的前提下尽可能多地反映原变量的信息，即使其方差最大。可以证明，求某一数据的主成分，等价于求它的协方差矩阵的各特征值及相应的正交单位化特征向量。按特征值由大到小所对应的正交单位化特征向量为组合系数的原变量的线性组合分别为该数据的第一、第二、...主成分，而各主成分的方差等于相应的特征值。PCA 的做法步骤：

第一步：获得数据

第二步：各数据减平均值

第三步：计算数据的协方差矩阵

第四步：计算协方差矩阵的特征值、特征向量

第五步：选择前几个主成分构成新基

第六步：把原数据在新的基下进行投影

第七步：过滤杂音，并回到原基

蒙特卡洛算法：基于 python 的蒙特卡洛算法。下面是一个使用 Python 结合蒙特卡洛算法计算 pi 值的程序：

```
import random
zongshu = 10000000
jishu = 0
for i in range(zongshu) :
    x = random.random()
    y = random.random()
    if (x ** 2 + y ** 2) < 1 :
        jishu+=1
print(jishu * 4.0 / zongshu)
```

有助于理解蒙特卡洛算法。蒙特卡罗方法是一种计算方法。原理是通过大量随机样本，去了解一个系统，进而得到所要计算的值。

它非常强大和灵活，又相当简单易懂，很容易实现。对于许多问题来说，它往往是最简单的计算方法，有时甚至是唯一可行的方法。它诞生于上个世纪 40 年代美国的“曼哈顿计划”，名字来源于赌城蒙特卡罗，象征概率。

蒙特卡洛的基本思路：Monte Carlo 方法的基本思想很早以前就被人们所发现和利用。早在 17 世纪，人们就知道用事件发生的“频率”来决定事件的“概率”。19 世纪人们用投针试验的方法来决定圆周率  $\pi$ 。本世纪 40 年代电子计算机的出现，特别是近年来高速电子计算机的出现，使得用数学方法在计算机上大量、快速地模拟这样的试验成为可能。所求解问题是某随机事件 A 出现的概率（或者是某随机变量 B 的期望值）。通过某种“实验”的方法，得出 A 事件出现的频率，以此估计出 A 事件出现的概率（或者得到随机变量 B 的某些数字特征，得出 B 的期望值）。

蒙特卡洛的工作过程：在解决实际问题的時候应用蒙特卡罗方法主要有两部分工作：用蒙特卡罗方法模拟某一过程时，需要产生各种概率分布的随机变量。用统计方法把模型的数字特征估计出来，从而得到实际问题的数值解。

蒙特卡洛的实现步骤：

（1）构造或描述概率过程：对于本身就具有随机性质的问题，如粒子输运问题，主要是正确描述和模拟这个概率过程，对于本来不是随机性质的确定性问题，比如计算定积分，就必须事先构造一个人为的概率过程，它的某些参量正好是所要求问题的解。即要将不具有随机性质的问题转化为随机性质的问题。

（2）实现从已知概率分布抽样：构造了概率模型以后，由于各种概率模型都可以看作是由各种各样的概率分布构成的，因此产生已知概率分布的随机变量（或随机向量），就成为实现蒙特卡罗方法模拟实验的基本手段，这也是蒙特卡罗方法被称为随机抽样的原因。最简单、最基本、最重要的一个概率分布是  $(0, 1)$  上的均匀分布（或称矩形分布）。随机数就是具有这种均匀分布的随机变量。随机数

序列就是具有这种分布的总体的一个简单子样，也就是一个具有这种分布的相互独立的随机变数序列。产生随机数的问题，就是从这个分布的抽样问题。在计算机上，可以用物理方法产生随机数，但价格昂贵，不能重复，使用不便。另一种方法是用数学递推公式产生。这样产生的序列，与真正的随机数序列不同，所以称为伪随机数，或伪随机数序列。不过，经过多种统计检验表明，它与真正的随机数，或随机数序列具有相近的性质，因此可把它作为真正的随机数来使用。由已知分布随机抽样有各种方法，与从  $(0, 1)$  上均匀分布抽样不同，这些方法都是借助于随机序列来实现的，也就是说，都是以产生随机数为前提的。由此可见，随机数是我们实现蒙特卡罗模拟的基本工具。建立各种估计量：一般说来，构造了概率模型并能从中抽样后，即实现模拟实验后，我们就要确定一个随机变量，作为所要求的问题的解，我们称它为无偏估计。

(3) 建立各种估计量，相当于对模拟实验的结果进行考察和登记，从中得到问题的解。例如：检验产品的正品率问题，我们可以用 1 表示正品，0 表示次品，于是对每个产品检验可以定义如下的随机变数  $T_i$ ，作为正品率的估计量：于是，在  $N$  次实验后，正品个数为：显然，正品率  $p$  为：不难看出， $T_i$  为无偏估计。当然，还可以引入其它类型的估计，如最大似然估计，渐进有偏估计等。但是，在蒙特卡罗计算中，使用最多的是无偏估计。用比较抽象的概率语言描述蒙特卡罗方法解题的手续如下：构造一个概率空间  $(W, A, P)$ ，其中， $W$  是一个事件集合， $A$  是集合  $W$  的子集的  $\sigma$  体， $P$  是在  $A$  上建立的某个概率测度；在这个概率空间中，选取一个随机变量  $q(w)$ ,  $w \in W$ ，使得这个随机变量的期望值正好是所要求的解  $Q$ ，然后用  $q(w)$  的简单子样的算术平均值作为  $Q$  的近似值。

### 3. 进度安排

第 1—2 周：查阅相关文献资料，明确研究内容，了解研究所需的相关知识和功能要求。确定方案，完成开题报告；

第 3—4 周：完成外语论文翻译和总体结构设计；

第 5—11 周：完成曲线拟合以及具体数据研究工作；

第 12—13 周：完成软件设计软件模拟软件测试工作；

第 14—15 周：完成并修改毕业论文，准备论文答辩。

4. 阅读的参考文献不少于 15 篇（其中近五年外文文献不少于 3 篇）

[1]. Francis X.Diebold.收益率曲线的建模和预测 基于 DNS 方法创新.东北财经大学出版社.2014.

[2]. 张良均等. Python 数据分析与挖掘实战. 北京:机械工业出版社.2015.

[3]. 余本国. Python 数据分析基础. 清华学出版社.2017.

[4]. 何海群.Python 大数据与量化交易.中国工信出版社.2017.2.

[5]. Moorad Choudhry. 债券收益率曲线手册. 企业管理出版社.2016.8.

[6]. 朱波, 文兴易.中国动态 Nelson-Siegel 利率期限结构模型研究.西南财经大学出版社.2014.7.

[7]. Wes McKinney. Python for Data Analysis . 北京： 机械工业出版社.2013.11.18.

[8]. 张磊. 国债收益率曲线的预测——基于 Nelson-Siegel 模型的实证检验 [EB/OL].<http://doc.mbalib.com/view/24e49d3a47668cd63c40b642d78a7e71.html>.

[9]. 钟青. 国债收益率曲线的实证研究——基于 Nelson-Siegel 模型 [EB/OL].<https://wenku.baidu.com/view/f66e34cdce2f0066f5332284.html>.

[10]. 朱峰. 国债即期收益率曲线的拟合估计 [J]. 证券市场导报,2003(04):31-36.

[11]. S, Gürkaynak, Brian, Sack, Jonathan, H, Wright. The U.S. Treasury yield curve: 1961 to the present[EB/OL]. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2007.06.029>.

[12]. Applications, and, Case, Studies, Analysis, of, Multifactor, Affine, Yield, Curve, Models, Siddhartha, Chib. Analysis of Multifactor Affine Yield Curve Models[EB/OL]. <https://doi.org/10.1198/jasa.2009.ap08029>.

- [13]. Bennett, W, Golub, and, Leo, M, Tilman. Measuring Yield Curve Risk Using Principal Components, Analysis, Value, At Risk, And Key Rate Durations[EB/OL]. <http://jpm.ijjournals.com/content/23/4/72>.
- [14]. 黎爽. 基于 Python 科学计算包的金融应用实现[D].江西财经大学,2017.
- [15]. 严婷,文欣秀,赵嘉豪,王家辉,杜傲,白瑞杰.基于 Python 的可视化数据分析平台设计与实现[J].计算机时代,2017(12):54-56.



## 5. 指导教师意见

指导教师（签名）：

年 月 日