

杜亚斌 著

金融建模

使用Excel和VBA



机械工业出版社
China Machine Press

杜亚斌 著

金融建模

使用Excel和VBA



机械工业出版社
China Machine Press

本书阐释金融学的一些主要模型以及使用Excel和VBA构建这些模型的方法。这些模型涉及固定收益证券、组合投资管理、资产定价和风险管理等多个领域。通过本书的学习，读者不仅可以得到一些主要金融模型的知识，还可学到在金融领域应用Excel和VBA的技术，从而大大提高未来的或当前的职场竞争力。

本书适用于高年级本科生、研究生、MBA学员和金融从业人员。

封底无防伪标均为盗版

版权所有，侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目（CIP）数据

金融建模：使用Excel和VBA / 杜亚斌著. —北京：机械工业出版社，2010.8

ISBN 978-7-111-31614-5

I. 金… II. 杜… III. 金融学-数学建模 IV. F830

中国版本图书馆CIP数据核字（2010）第161302号

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037）

责任编辑：许 可 版式设计：刘永青

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2010年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 16印张

标准书号：ISBN 978-7-111-31614-5

ISBN 978-7-89451-650-3（光盘）

定价：38.00元（附光盘）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：(010) 88379210；88361066

购书热线：(010) 68326294；88379649；68995259

投稿热线：(010) 88379007

读者信箱：hzjg@hzbook.com

前 言

“金融建模”一词通常在两个意义上使用：其一是指用一种方法将现实的金融活动抽象为具有特定关系的范畴或变量体系，即抽象为金融理论或金融模型；其二是指用计算机程序将金融理论从一种观念上的存在转变为一种数字上的存在。本书在第二种意义上使用金融建模这一概念。在此意义上，我们可以这样说，金融建模是一门研究如何将金融理论在计算机上以数字形式实现的应用型学科。

本书旨在向读者提供一个将金融学理论与计算机技术合为一体的知识体系。通过本书的学习，读者可以同时实现三个目标：

- (1) 掌握现代金融学的一些重要模型（重要理论）；
- (2) 了解金融模型在计算机上实现的技术和方法；
- (3) 提高Excel和VBA的操作能力。

金融学是与计算密切相关的学科，金融业和金融学的发展几乎完全依赖于人类计算技术的发展。现代计算机技术大大缩短了金融分析师耗费在金融报表分析上的时间，从而大大加快了金融业的运行速度和效率。近50年来层出不穷的金融创新，如果没有同一时期计算机技术的飞速发展，几乎是不可想象的。金融创新的动力当然是投资者和金融机构对利润的追求。这些创新首先是一些新想法或新观念。但是，一方面，这些新想法的产生与计算技术的发展关系密切；另一方面，这些新想法的实现要依靠现有的计算技术。

因为现代金融学是建立在现代计算机技术上的，而实践中的许多金融业务也是与计算机须臾不离的。所以，把金融学 and 计算机技术的学习结合在一起，有利于学生掌握现代金融学知识，缩短理论与实践之间的距离。

本书可分为三个部分。

第1部分的内容与固定收益证券有关，包括第1章和第2章。第1章涉及到期收益率、零息率、远期利率以及债券定价等问题，第2章介绍债券价格的利率敏感性问题。

第2部分的研究对象是股票组合的风险和回报，由第3~6章组成，分别说明组合的回报和风险（第3章）、组合优化模型（第4章）、资本资产定价模型（第5章）以及在险价值（第6章）。

第3部分研究期权定价及其相关问题，包括第7~10章。第7章主要阐述二项式期权定价的理论，第8章说明如何在电子数据表中实现这一模型，第9章以直观的方式解释布朗运动和伊藤公式，以便为第10章的学习作准备，第10章探讨布莱克-斯科尔斯期权定价模型。

另外，本书还安排了附录A“Excel简介”和附录B“VBA简介”，其中包括一些在金融建模中常用的Excel函数和方法。

本书附带的光盘中每一章都有数量不一的Excel文档，其中的金融模型是正文中模型的实例。

本书的完成得益于许多条件。在此我要感谢南京大学听我讲授“金融建模”课程的同学，他们对该课程“发展中的问题”的宽容增强了我完成此书的信心，其中一些同学还为本书的改进提供过有价值的意见，特别是张璐、骆振心、凌青和刘源峰等同学。我还要感谢我的家人邱鹭风和杜嫣，她们的支持加快了本书的写作进度，谨以此书献给她们。

目 录

前言

第1部分 债券的收益率和敏感性

第1章 债券收益率和定价 / 1

1.1 到期收益率 / 1

1.1.1 概念和公式 / 1

1.1.2 在Excel中计算债券收益率 / 2

1.1.3 有效收益率和连续复合收益率 / 6

1.2 零息率 / 7

1.2.1 概念和计算方法 / 7

1.2.2 用Excel计算零息率 / 9

1.2.3 用VBA程序计算零息率 / 13

1.3 远期利率 / 16

1.4 债券定价 / 18

1.4.1 用Excel函数定价债券 / 18

1.4.2 计算债券的全价 / 19

1.4.3 用零息率给债券定价 / 22

1.4.4 用自定义函数给债券定价 / 22

参考书目 / 24

第2章 债券的利率敏感性及其尺度 / 25

2.1 影响债券价格利率敏感性的 两个因素 / 25

2.2 用Excel分析债券的利率敏 感性 / 26

2.2.1 债券期限对债券利率敏感性的 影响 / 26

2.2.2 债券付息速度对债券利率敏感性 的影响 / 28

2.3 债券的久期和凸性 / 31

2.3.1 久期 / 31

2.3.2 凸性 / 33

2.4 在Excel中构建久期和凸性 模型 / 35

2.5 在Excel中构建债券价格敏感 性模型 / 38

2.6 用VBA编写久期和凸性的用户 自定义函数 / 41

参考书目 / 44

第2部分 组 合 管 理

第3章 组合的回报和风险 / 45

3.1 单项资产的预期回报和风险 / 46

3.2 组合的预期回报和风险 / 48

3.2.1 组合的分散化效应 / 48

3.2.2 两资产组合的预期回报和方差 / 49

- 3.2.3 有多种资产的组合的预期回报和方差 / 51
- 3.3 两资产组合的Excel模型 / 52
- 3.4 多资产组合的Excel模型 / 55
- 3.5 在Excel中用矩阵乘法计算协方差矩阵 / 59
- 3.6 用VBA过程计算组合预期回报和风险的VBA / 60
 - 3.6.1 计算资产回报的Sub过程“AssetsReturn” / 61
 - 3.6.2 计算方差协方差的Sub过程“VarCovarMatrix” / 62
 - 3.6.3 计算方差协方差的Sub过程“CovarMatrixbyPrices” / 63
 - 3.6.4 计算方差协方差的函数“CovarMatrix>Returns)” / 65
 - 3.6.5 计算方差协方差的函数“CovMatrixbyPrices(Prices)” / 65
 - 3.6.6 直接计算组合预期回报和风险的函数“COVandSTDandER(Prices, W)” / 66

参考书目 / 68

第4章 组合优化模型 / 69

- 4.1 有效前沿及其数学解释 / 69
 - 4.1.1 将约束代入目标函数求解有效组合 / 69
 - 4.1.2 使用Huang Chi-Fu模型求解有效组合 / 71
 - 4.1.3 包含无风险资产的组合和资本市场线CML / 72
 - 4.1.4 凹规划中的有效组合求解法 / 74
- 4.2 用公式计算有效组合和有效前沿 / 74

- 4.2.1 给定风险下求解有效前沿 / 74
- 4.2.2 给定期望回报下求解有效前沿 / 79
- 4.3 用Excel的“规划求解”计算有效组合和有效前沿 / 81
 - 4.3.1 使用Excel的“规划求解”发现有效组合 / 81
 - 4.3.2 借助连续调用“规划求解”的VBA过程生成有效前沿 / 83
- 4.4 不可卖空条件下的有效组合和有效前沿 / 88
- 附录4A 组合方差对组合资产权重的一阶偏导数 / 92
- 参考书目 / 93

第5章 资本资产定价模型 / 94

- 5.1 单指数模型 / 94
- 5.2 证券市场线 / 96
- 5.3 用一元回归分析估计股票回报的系统风险 / 97
- 5.4 用“LINEST”函数构建股票回报的回归分析模型 / 101
- 5.5 用Excel构建证券市场线模型 / 107
- 参考书目 / 110

第6章 在险价值 / 111

- 6.1 在险价值的概念和计算方法 / 111
 - 6.1.1 在险价值的概念 / 111
 - 6.1.2 计算在险价值的方法 / 113
 - 6.1.3 预期亏损（条件VaR） / 116
- 6.2 在险价值分解 / 116
- 6.3 用Excel估计单个资产的VaR / 118
- 6.4 用Excel估计组合分析的VaR / 122
 - 6.4.1 方差协方差模型 / 122
 - 6.4.2 单指数模型 / 123

6.5 用Excel估计组合模拟的VaR / 125

6.5.1 历史模拟法 / 125

6.5.2 蒙特卡罗模拟法 / 127

6.6 用Excel构建VaR分解模型 / 129

6.7 回测 / 130

6.7.1 二项式检验 / 131

6.7.2 Z检验 / 133

6.7.3 似然比 (LR) 检验 / 134

6.8 用Excel回测VaR / 135

参考书目 / 139

第3部分 期权定价

第7章 二项式期权定价模型 / 141

7.1 期权及其价值决定因素 / 141

7.2 期权定价一般方法 / 145

7.2.1 股票价格的二项随机游走 / 145

7.2.2 风险中性概率 / 147

7.2.3 期权定价的一般步骤 / 148

7.3 期权定价的复制组合法 / 150

7.4 期权定价的风险中性法 / 153

7.4.1 CRR模型 / 153

7.4.2 JR模型 / 156

7.5 股票价格的二项分布与对数正态分布 / 158

附录7A 对数正态分布 / 161

参考书目 / 162

第8章 用Excel构建二项式期权定价模型 / 163

8.1 用Excel构建复制组合期权定价模型 / 163

8.2 用Excel构建风险中性期权定价模型 / 166

8.3 用VBA程序构建二项式期权价格模型 / 169

8.4 用VBA程序构建复杂的二项树 / 172

8.4.1 生成带公式二项树的VBA代码 / 172

8.4.2 生成对称二项树的VBA代码 / 174

参考书目 / 180

第9章 布朗运动和伊藤公式 / 181

9.1 导言 / 181

9.2 布朗运动 / 181

9.2.1 随机游走 / 182

9.2.2 作为随机游走极限的布朗运动 / 184

9.2.3 二次变差 / 185

9.2.4 用Excel构造随机游走和布朗运动 / 187

9.3 伊藤过程和伊藤积分 / 191

9.4 伊藤公式 / 193

9.5 股票价格过程 / 195

参考书目 / 200

第10章 布莱克-斯科尔斯模型 / 201

10.1 布莱克-斯科尔斯方程 / 201

10.2 布莱克-斯科尔斯公式 / 203

10.3 布莱克-斯科尔斯公式推导 / 205

10.4 希腊字母 / 207

10.5 隐含的波动性 / 212

10.6 期权定价的蒙特卡罗方法 / 215

参考书目 / 226

附 录

附录A Excel简介 / 227

A.1 Excel设置 / 227

A.2 Excel的重要函数及其应用示例 / 230

附录B VBA简介 / 236

B.1 VBA和VBE / 236

B.2 VBA过程 / 237

B.3 VBA的变量类型和运算符 / 239

B.4 VBA的语句 / 241

B.5 VBA语句的构件 / 243

B.6 VBA过程的调试 / 244

第1部分

债券的收益率和敏感性

第1章 债券收益率和定价

这一章的内容常常被称为“固定收益债券数学”，主要涉及债券各种收益率的计算和未来收益的贴现。在这一章中，我们将说明到期收益率、零息率和远期利率的概念及其在Excel中的计算，以及债券定价的各种方法。

关于债券收益率和定价的书中专门探讨这一问题且国内已翻译的较好入门书籍，为桑德瑞森（2006）和法博茨（2005，2007）的相关著作。

1.1 到期收益率

1.1.1 概念和公式

债券的到期收益率（Yield to Maturity, YTM）是使债券未来现金流与债券当前价格相等的利率。投资者按照当前市价买进一个债券，其手中的货币资金也就转换为生息资本。将该债券持有到期的投资收益率，即该生息资本的利率。

债券未来的现金流是由债券发行时的票面利率、债券面值和到期期限决定的，是已知的。债券的当前价格是由当前债券市场的供求关系决定的，也是已知的。知道了债券的未来现金流和当前价格，就可以计算出当前投资该债券并持有到期的收益率。

到期收益率的公式如下：

$$\begin{aligned} P &= \frac{C_1}{(1+y)} + \frac{C_2}{(1+y)^2} + \frac{C_3}{(1+y)^3} + \cdots + \frac{C_N}{(1+y)^N} \\ &= \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+y)^t} \end{aligned}$$

式中 P ——债券当前价格；
 C_t ——第 t 年的现金流量；
 N ——债券剩余期限；
 Y ——到期收益率。

如果是息票债券，则最后一期的现金流量除了息票收入外，还有一个按票面值获得的收入，即债券的到期赎回值。息票债券的到期收益率可用下面的公式计算：

$$P = \frac{C_1}{(1+y)} + \frac{C_2}{(1+y)^2} + \frac{C_3}{(1+y)^3} + \cdots + \frac{C_n}{(1+y)^n} + \frac{F}{(1+y)^n}$$

$$= \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+y)^t} + \frac{F}{(1+y)^n}$$

式中 C ——各期的息票收入；
 F ——债券面值或到期赎回值；
 N ——剩余期数，如果付息期是半年，则 $n = \text{年数} \times 2$ 。

债券一般半年付息一次，故按 $n = \text{年数} \times 2$ 计算得出的收益率又称为债券等值收益率。

息票债券可以看做由一个普通年金和零息债券构成的组合。普通年金现值公式是：

$$PV = A \left[\frac{1 - \frac{1}{(1+i)^n}}{i} \right]$$

式中 A ——普通年金的每期付款；
 i ——年金利率。

息票债券到期收益率的公式也可以表示如下：

$$P = C \left[\frac{1 - \frac{1}{(1+y)^n}}{y} \right] + \frac{F}{(1+y)^n}$$

1.1.2 在Excel中计算债券收益率

本节的示例见本书光盘中的“1-1到期收益率”。

1. RATE函数

假定一个债券有如下特征：

面值：	¥ 1000
期限：	10年
息票利率：	5.8%，半年付息一次
当前价格：	1108

试计算该债券的到期收益率。

打开一个Excel 2007文档，在选项卡上点击：公式→财务→RATE，将弹出一个对话框，其中有下面6个参数：

- Nper —— 剩余付款期数
- Pmt —— 每期固定付款金额，如各期息票利息
- Pv —— 债券当前价格或投资的现值
- Fv —— 债券的票面值或赎回值
- Type —— 付款方式，值为0或省略，表示期末付款，值为1，期初付款
- Guess —— 债券预期收益率，即投资者估计的收益率

在本例中， $Nper = 10 \times 2 = 20$ ， $Pmt = 1000 \times 5.8\% / 2 = 29$ ， $Pv = 1108$ ， $Fv = 1000$ ，忽略了Type和Guess两个参数。

输入参数后，点击该对话框的“确定”，再对得数乘以2，结果如图1-1所示。

	A	B	C	D	E	F	G
1		债券描述					
2		面值	1000				
3		息票率	5.80%				
4		年付款次数	2				
5		期限(年)	10				
6		当前价格	1108				
7		到期收益率	4.450%	=RATE(C5*C4,C2*C3/C4,-C6,C2)*C4			

图1-1 用RATE函数计算到期收益率（一）

2. YIELD函数

该函数的参数如下：

- Settlement —— 结算日，即投资者购买证券的时间
- Maturity —— 债券到期日
- Rate —— 债券的年息票利率
- Pr —— 债券价格/债券面值*100，或面值为100元的债券的价格
- Redemption —— 债券的面值或到期赎回值
- Frequency —— 年付息次数
- Basis —— 月和年的天数基准，如在计算时1个月默认天数是30天还是实际使用的天数，1年是按360天算还是按365天算等

假定投资者2009年10月20日购买了一份2015年6月18日到期的债券，息票率为5.8%。问：该债券的到期收益率为多少？在单元格C16插入YIELD函数，输入相关参数，即可得答案：该债券的收益率为3.908%（见图1-2）。

4 第1部分 债券的收益率和敏感性

	A	B	C	D	E	F	G
10		用 YIELD 函数计算债券收益率					
11		购买时间	2009-10-20				
12		到期时间	2015-6-18				
13		息票率	5.20%				
14		面值	1000				
15		债券价格	1065				
16		到期收益率	3.908%	=YIELD(C11,C12,C13,C15/10,C14/10,2)			

图1-2 用RATE函数计算到期收益率（二）

3. IRR函数

我们还以用IRR函数即内部收益率函数来计算不规则现金流的收益率，如图1-3所示。

	A	B	C	D	E
19	时期	不规则现金流	规则现金流		
20	0	-1000	-980		
21	1	100	100		
22	2	100	100		
23	3	90	100		
24	4	90	100		
25	5	80	100		
26	6	80	100		
27	7	70	100		
28	8	70	100		
29	9	60	100		
30	10	1060	1100		
31	收益率	8.32%	10.33%	=IRR(D20:D30)	

图1-3 用IRR函数计算债券到期收益率

4. 单变量求解或规划求解

在Excel中，还可以用其内置的两个迭代计算工具来求一项投资的收益率，这两个工具就是单变量求解和规划求解。

用单变量求解债券收益率的步骤如下。

第1步，先假定一个收益率，用该假定的收益率和Excel的PV函数计算债券价格（见图1-4）。

	B	C	D	E	F	G
34	用“单变量求解”计算债券收益率					
35	面值	1000				
36	息票率	5.80%				
37	年付款次数	2				
38	期限（年）	10				
39	到期收益率	6.00%	←假定的收益率			
40	当前价格	¥985	=-PV(C39/C37,C38*C37,C35*C36/C37,C35)			
41						

图1-4 用单变量求解工具计算到期收益率（一）

第2步，在表格的选项卡上点击“数据”→“假设分析”→“单变量求解”，在弹出的对话框中输入适当参数值：

目标单元格: C40
目标值: 1108
可变单元格: C39
点击确定, 将返回以下结果:
目标值: 1108
当前解: 1108

详见图1-5。

单变量求解的计算精度不高, 在进行一些复杂计算时, 最好使用Excel的规划求解工具。下面是用该工具计算组合收益率的例子, 步骤如下。

	B	C	D	E	F	G
34	用“单变量求解”计算债券收益率					
35	面值	1000				
36	息票率	5.80%				
37	年付款次数	2				
38	期限(年)	10				
39	到期收益率	4.450%	←使债券价格等于1108元的收益率			
40	当前价格	¥1108	=PV(C39/C37,C38*C37,C35*C36/C37,C35)			
41						

图1-5 用单变量求解工具计算到期收益率(二)

第1步, 先在数据表中建一个组合现金流量贴现模型(见图1-6)。

	B	C	D	E	F
46	用“规划求解”工具计算组合收益率				
47		债券1	债券2	组合	
48	面值	1000	1000	2000	
49	息票率	5.80%	5%	—	
50	期限	10	5		
51	价格	1108	1068	2176	
52	收益率(半年)			3.00%	
53	收益率(1年)			6.00%	
54	期数	债券1	债券2	组合	组合现值
55	1	29	25	54	52.42718
56	2	29	25	54	50.90018
57	3	29	25	54	49.41765
58	4	29	25	54	47.9783
59	5	29	25	54	46.58087
73	19	29	—	29	16.5382
74	20	1029	—	1029	569.732
75			组合现金流现值		1942.4715

图1-6 用规划求解工具计算组合的到期收益率

构造图1-6中模型的具体做法如下。

- (1) 先在单元格B55:B74中输入从1~20的期数数字。
- (2) 然后再在单元格C55至F55中分别输入如下的公式:

C55: “= \$C\$48* \$C\$49/2”

D55: “= \$D\$48* \$D\$49/2”

E55: “=C55+D55”

F55: “=E55/(1+\$E\$52)^B55”

输入公式时要注意区分对单元格的引用方式，是绝对还是相对引用。输入上述4个公式后，将其复制到区域“C55:F74”中。

注意，复制公式后，还要对两个债券面值所在单元格D64（未出现在图1-6中）和C74的数字分别加上1000。然后在单元格F75中输入公式：

“=SUM(F55:F74)”

第2步，用“规划求解”计算组合收益率。

在Excel的选项卡上，点击：数据→规划求解，在弹出的对话框中输入如下的数据：

目标单元格：“F76”

值为： 2176

可变单元格：“E53”

点击对话框上的“求解”，再点击新对话框上的确定，模型上的数据将改变如下：

单元格F76的值（组合的现值）= 2176元

单元格E53的值（组合的到期收益率）= 4.1197%

1.1.3 有效收益率和连续复合收益率

债券的收益率有简单收益率和有效收益率之分。前者在计算时未涉及利息再投资收益，而后者在计算时则考虑了这一因素的影响。

假定一个面值1000元的债券1年付息2次，每次20元，即半年率为2%。该债券按名义利率和有效利率分别计算的各期应计利息和年利率如下：

	名义利率	有效利率
第一期应计利息	2	2
第二期应计利息	2	2.04
总利息	4	4.04
利息/100	4.00%	4.04%

其中，按有效利率法，第二期应计利息计算方式为：

$$\text{第二期应计利息} = 2 \times (1 + 4\%/2) = 2 \times 1.02 = 2.04$$

在Excel中，可以使用EFFECT函数计算有效收益率。该函数的公式是：

$$\text{有效利率} = \left(1 + \frac{\text{名义利率}}{m}\right)^m - 1$$

式中, m 为1年内的支付次数。

问题: 一个债券的年收益率为4%, 每年付息2次, 该债券的有效利率为多少?

在Excel单元格中插入EFFECT函数, 在弹出的对话框中填入必要数据:

函数参数:

Nominal_rate (名义利率): 0.04

Nper (年付息次数): 2

函数返回年有效利率: 0.0404

如果1年内支付次数 $m \rightarrow \infty$, 则有效利率被称为连续复合利率, 其计算公式为:

$$\text{连续复合利率} = e^i - 1$$

式中, i 为名义利率。

例如, 将上述债券的4%的名义利率转变为连续复利, 得:

$$\text{连续复合利率} = \exp(0.04) - 1 = 4.081\%$$

另一方面, 使用下面的公式, 则可以将有效利率转变为名义利率:

$$R_n = m \times \sqrt[m]{1 + R_e} - m$$

式中 R_n ——名义利率;

R_e ——有效利率;

m ——1年内计息次数。

因为 $\ln(e^i) = i$, 所以, 对于连续复合利率, 有:

$$e^{R_n} = 1 + R_e$$

$$\ln(e^{R_n}) = \ln(1 + R_e)$$

$$R_n = \ln(1 + R_e)$$

1.2 零息率

1.2.1 概念和计算方法

零息率 (zero rates) 又称为即期利率, 即到期一次还本付息债务的利率。

债券定价的一个重要方法, 是把息票债券看做一系列期限不同的零息债券, 然后用不同期限的零息债券收益率来对该债券的各期现金流贴现。各期现金流现值的总和, 就是债券的价格。但是, 现实中并不存在现存的即期零息债券收益率曲线, 这需从现有的息票债券收益率中推出。

从息票债券中导出零息收益率的最常见方法, 是所谓的引导法 (bootstrap method), 即从已知利率中, 导出其中暗含的另一利率的方法。

假定当前国债的期限和到期收益率如表1-1所示，其中包括从0.5~5年共10期的数据。现在我们要利用表1-1提供的息票债券的收益率，导出零息债券利率。

表1-1 平价国债收益率

期数	面值	期限(年)	YTM(%)	息票额
1	100	0.5	0.9599	0
2	100	1	1.1342	0.5671
3	100	1.5	1.2830	0.6415
4	100	2	1.4028	0.7014
5	100	2.5	1.5717	0.7858
6	100	3	1.7624	0.8812
7	100	3.5	1.9377	0.9688
8	100	4	2.1070	1.0535
9	100	4.5	2.2738	1.1369
10	100	5	2.4417	1.2209

期限低于或等于1年的债券，如6月期和1年期债券，都是零息债券，因此，其利率都是零息率。但是，在下面的计算中，我们把1年期债券看做半年支付1次利息的息票债券。

例如，1个1.5年期平价国债的现金流如下：

0.5年	1年	1.5年
0.6415	0.6415	100.6415

现在的问题是：用来对该债券各期现金流贴现的零息率是多少？

表1-1中已经有0.5年期的零息率，为0.9599%。现在要求1年期和1.5年期的零息率。首先计算1年期的零息率。根据表1-1，1年期债券的现金流现值为：

$$\frac{0.5671}{(1+0.9599\%/2)^{0.5 \times 2}} + \frac{0.5671}{(1+r_1/2)^{1 \times 2}} + \frac{100}{(1+r_1/2)^{1 \times 2}} = 100$$

或：

$$0.5671e^{-0.9599\% \times 0.5} + 0.5671e^{-r_1 \times 1} + 100e^{-r_1 \times 1} = 100$$

求解得：

$$r_1 = 1.1347\% \quad (\text{债券等值收益率})$$

$$r_1 = 1.1315\% \quad (\text{连续复利})$$

现在再求1.5年期的零息率。1.5年期息票债券的现金流现值为：

$$\frac{0.6415}{(1+0.9599\%)^{0.5}} + \frac{0.6415}{(1+1.1347\%)^1} + \frac{100.6415}{(1+r_2)^{1.5}} = 100$$

或：