

企业债券信用风险定价模型评析与进展^①

周 宏¹, 李国平², 林晚发³, 王 园¹

(1. 中央财经大学会计学院, 北京 100081; 2. 中央财经大学管理科学与工程学院, 北京 100081;
3. 武汉大学经济与管理学院, 武汉 430074)

摘要: 以期权定价与现金流贴现理论为基础, 剖析了企业债券信用风险定价模型的产生及发展的原因, 并对近年来国内外 3 种主流的信用风险定价模型系统(即结构模型、强度模型和混合模型)进行了系统的述评。通过从不同角度对 3 种模型进行扩展与比较分析, 阐述了 3 种定价模型的优势和不足。在此基础上, 对企业债券信用风险定价模型未来研究的发展方向进行展望。

关键词: 信用风险; 结构模型; 强度模型; 混合模型

中图分类号: F830 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2015)08-0020-11

0 引 言

在西方发达国家, 发行债券已成为公司融资的主要渠道。债券的准确定价无论是对债券发行方, 还是债券投资者都非常重要。经典定价理论认为, 债券的价值等于债券未来各期所支付利息与债券到期时所还本金的现值之和。然而, 随着定价理论的发展, 在企业债券存在违约风险的情况下, 债券定价模型不再局限在利息与现值的理论框架中, 而逐渐演化为未来存在违约状况下的债券定价。

根据巴塞尔委员会的定义, 信用风险是指银行的借款人或交易对象不能按事先达成的协议履行其义务的潜在可能性。债券信用风险是指债券到期时, 因债务人无力偿还债券面值与利息而给债券持有人所造成的风险, 它是企业债券的主要

风险之一。有研究(例如, Howard^[1])认为, 信用风险属于非系统性风险, 因此, 信用风险定价不能使用基于资本资产定价模型(CAPM)或基于套利定价模型的定价模型。鉴于违约风险对于债券定价的重大影响, 在债券定价模型发展的 50 年中, 大量研究将注意力集中于有违约风险的债券的定价^②。

债券定价以风险中性概率、随机折扣因子、利率模型等相关研究为基础。考虑到风险中性概率等是资产定价的基础理论, 且相关文献甚多, 本文将评述的范围仅限于信用风险定价模型本身。对债券信用风险定价的研究通常涉及到以下问题: 一是在债券可能违约的情况下, 怎样判定债券的违约风险? 二是是否存在不同的违约判定条件; 假如存在, 如何判断不同违约判定条件下, 不同信用风险定价模型的优劣? 三是随着市场的变迁,

① 收稿日期: 2013-12-27; 修订日期: 2014-07-16。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71172152); 北京市教育委员会共建项目专项资助项目; 北京市会计类专业群(改革试点)建设项目专项资助项目; 中央财经大学“211 工程”重点学科建设和“青年科研创新团队支持计划”资助项目。

作者简介: 周 宏(1968—), 女, 辽宁抚顺人, 教授。Email: zhouhuge@163.com

② “信用风险定价”对应的英文为“credit risk pricing”, “pricing of credit risk”或“price credit risk”。英文文献中, “credit risk pricing”等三个都是常用的词(例如 Kao^[2]和 Schmid^[3])。本文中, “信用风险定价”与“基于信用风险的定价”同义, 即以利率或者其他费用的方式衡量借贷风险。债券的利率不仅反应资金的时间价值, 而且反应债券发行者的违约概率。本文主要对债券的违约风险进行定价, 以低风险中性的投资者在购买债券得到合适的风险溢价补偿。

假设条件存在放松的可能,如何改进现有的违约债券信用风险定价模型,使之更能拟合违约债券的价格?通过整理近年来有关理论与实证文献,并对信用风险定价模型进行比较系统的整理和评述,本文试图回答以上3个问题,并分析未来信用风险定价模型的发展方向。

1 基本分析框架

债券信用风险定价模型主要基于期权定价理论^[4]与现金流贴现理论,并分别建立了关于信用风险定价的结构模型以及强度模型。

1.1 结构模型

债券未来收益的不确定性导致难以准确地对债券进行定价。直到 Black 和 Scholes^[5]提出期权定价理论,债券定价问题才首次得到较好的解决。基于期权理论,Black 和 Scholes^[5]提出,债券信用风险实际上为公司价值的卖出期权价值。期权买卖双方为公司(期权买方)与投资者(期权卖方)。期权买方通过给期权卖方一定的期权费用来获得违约发生时获得清偿支付的权利。

在上述分析中,卖出期权的定价便显得十分重要。期权价值的计算一般采用 B-S 期权定价模型。B-S 期权定价模型基于无套利市场的原则而构建的。Black 和 Scholes^[5]根据该思想构建了期权价格变化的随机微分方程,通过对微分方程的求导,得到未来收益的欧式看涨/看跌期权价值。

1974年,Merton^[6]在 Black 和 Scholes^[5]的期权定价理论上建立了对违约风险债券进行定价的结构模型。结构模型的研究框架如下。

1.1.1 基本原理

结构模型认为,债券违约是由于公司资产价值下降到一定程度导致企业无力偿还债务所引起的。也就是说,只有当公司资产价值小于债务账面价值时,才会发生违约。

1.1.2 研究假设

Merton^[6]模型对市场环境、企业价值、利率与资产等因素做出了比较严格的假设。关于市场环境的假设如下:第1,市场是完全有效的;第2,债券市场上存在大量的买方,任何人都无法操控债

券价格。关于企业价值的假设:第1,债务偿还顺序不能违反优先权原则,以保证债权人的利益;第2,公司价值可以按照资产价值衡量,与资本结构无关。关于利率的假设:第1,借款利率与贷款利率相等;第2,存在无风险资产,资产的回报率是已知且固定不变的。关于资产的假设:第1,资产可以连续进行交易,以保证资产有着连续性特征,以及便于衡量相关资产价值;第2,公司的价值遵循伊藤(Itô)过程。

1.1.3 基本模型

基于以上假设,到期违约债券的价值为 $D_T(V, T) = \min(V_T, F)$, 其中 F 为债务的账面价值。 $\bar{B}(V, t)$ 表示 t 时刻信用风险债券的价格,那么卖出期权的价值为

$$P_E(V, \tau) = Fe^{-r\tau}N(-d_2) - V(-d_1) \quad (1)$$

$$\text{其中 } d_1 = \frac{\ln \frac{V}{F} + (r + \frac{\sigma^2}{2})\tau}{\sigma\sqrt{\tau}} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{\tau}.$$

最后,可以根据下式计算出违约债券的价值

$$B(V, \tau) = Fe^{-r\tau} - P_E(V, \tau), \tau = T - t \quad (2)$$

1.2 强度模型

在结构模型中,违约被定义为公司资产的价值小于债券价值时所发生的事件。但是,强度模型不考虑公司违约机制的作用,而是直接求解瞬时违约概率,并利用贴现法对债券价格进行估计。

Jarrow 和 Turnbull^[7]假定违约的发生是随机的,且违约概率由特定违约强度 λ 的泊松过程所决定,并把基于违约强度来计算信用风险的模型定义为强度模型。实质上,强度模型对债券信用风险定价的原理在于:如果将违约定义为泊松过程的首次到达时间 ζ ,且把具有某种不变的平均到达速率称为强度 λ 。那么可以采用现金流贴现的方法对信用风险债券进行定价。

2 结构模型的发展

从式(2)中,可以看到3个关键变量对于信用风险定价的重要性,即公司市场价值的欧式看跌期权、债券面值以及利率。然而,Merton模型的假设条件过于严苛。例如,第1,Merton模型假设只有当债券到期且企业资产价值小于债券面值

时,企业才可能发生违约行为,但这一假设与实际情况并不完全相符;第2,在Merton模型中,债券面值往往看成是否发生违约的阈值,这与实际情况也不完全相符.在上述假设下,Franks和Torous^[8]利用了相关数据比较了有无期权存在情况下的风险调整利率,并且发现,根据Merton模型计算出的信用风险明显小于实际信用风险. Schaefer和Strebulaev^[9]认为Merton的结构模型对于债券价格的预测力较弱,因为该模型捕捉不到公司债务利率的敏感性. Duana和Fulop^[10]的实证研究显示,交易噪音的存在导致对企业资产波动的估计产生偏差.因此,很多研究(例如Madan和Unal^[11], Longstaff和Schwartz^[12])对Merton模型进行了完善和发展. Madan和Unal^[11]在Merton模型的基础上构建了相应的模型对违约风险进行分解,并且提出了违约风险不同成分的估计策略.周宏等^[13]从信息不对称角度对结构模型进行了扩展.

2.1 违约门槛

Merton^[6]假定只有在债务到期且企业不能偿还债券的面值时,企业才违约.然而现实中并不是这样,一系列研究对违约门槛以及违约发生条件进行了扩展研究.

Black和Cox^[14]放松了违约门槛设定条件,认为违约可以发生在任何时候;当企业的市场价值低于某个给定的外生阈值时,公司就会出现违约行为,而该阈值则是个随时间而变化的函数.另外,Hsu等^[15]认为,在Black和Cox^[14]模型中,企业价值 V 和违约边界 $B(t)$ 并非直接对公司债券定价产生影响,而是通过对公司债券产生影响,所以违约边界并不是不变的.

在违约门槛的研究上, Collin-Dufresne等^[16]支持了Black和Cox^[14]的结论,认为结构模型表征了企业价值过程,当企业价值降到某个违约阈值时,企业违约.然而,这个违约阈值并不是固定的,而是随着公司价值 V 与债务水平的变化而改变. Hui等^[17]等发现,违约门槛随着时间的推移而降低,并进而导致违约风险随着债券到期日的接近而增加,同时又发现违约门槛与债务合约有关或者是基于优先权价值的最佳条件而设定.因此,违约事件可以发生在到期日之前.但另一方面,公司价值小于债务价值时,并不一定会出现违

约. Mella-Barral和Perraudin^[18]从公司破产时股东和债权人博弈的角度出发,把高风险债务看做投资组合(包括安全资产与看跌期权),建立了违约门槛模型,并给出了债券违约风险定价的封闭形式解的表达式.

以上研究均假设违约的结果是破产清算,但Anderson和Sundaresan^[19]考虑了债务重组的可能性,提出了债务重组模型,发现信用利差受到破产成本、杠杆比率以及公司价值波动率的影响,从而以此对债务契约进行设计或对债券进行估值.

以上研究都是以企业是否触及违约条件作为违约的充分条件.现实中,对于基本面坚实但因为外部冲击而无法偿还债务的企业,如果强制其破产,可能造成企业投资积极性的降低或者社会财富减少.所以,有些研究对触及违约条件的条件进行了扩展. Moraux^[20]认为,常规的分布不适合财务比较脆弱的公司.因此, Moraux^[20]提出了一个新的方法,以对此类公司的债券进行信用风险定价.由于资金缺乏,这些公司不能及时调整自己的业务来应对外在冲击,公司资产价值因而发生突变,进而发生违约.另外,即使资产价值没有发生跳跃,公司资产价值的波动也不是恒定的.基于此, Moraux提出,当公司资产价值低于违约门槛一段时间后,或者累计时间达到每个阈值时,才被定义为违约.

2.2 利率

Merton模型假定,市场是完全的,资产回报率是已知的且固定不变.但是,现实中的资产回报率因为受到很多因素的影响而变动不定.例如,利率常常是变动不定的^[21].所以,一系列研究从利率角度对Merton模型进行扩展.

Merton模型假设公司价值与无风险利率无关,但这不符合实际.为了克服这个缺陷, Leland和Toft^[21]考虑了无风险利率和公司价值的关系,并将这种关系纳入到了模型当中. Saa-Requejo和Santa^[22]分别考虑了信用风险和利率风险相互独立和相互关联的两种情形,并在此基础上提出了基于违约风险的债券定价模型,发现利用该模型对信用利差与久期的预测结论与其他实证研究一致.

现实中,利率应该符合某些特定的过程,相关研究也对此进行了分析. Longstaff和Schwartz^[12]

假设利率 $r(t)$ 服从 Vasicek^[23] 利率过程. Briys 和 Varenne^[24] 在改进文献 [12] 的框架时, 采用了一般化的 Vasicek 过程^[23] 以及高斯过程, 在此情况下, 能够产生多种利差期权结构的情况. 但有研究认为, 利率是随机过程. Kim 等^[25] 采用了随机利率过程, 假设利率遵循 Cox-Ingersoll-Ross 过程^[26] 并将其纳入到 Merton 模型中, 形成了不可赎回债券估价模型. 实证结果表明, 在拟合现实的违约风险溢价时, Kim 等^[25] 的模型要优于 Merton 模型. 这说明, 随机利率在决定信用利差的过程中扮演着重要角色.

2.3 资产价值服从过程

在资产价值过程方面, Merton^[6] 将资产价值过程视为伊藤过程, 即一般化的维纳过程, 但这个假设并不完全符合现实. Dong 等^[27] 在结构模型的基础上考虑了市场价值过程中存在跳跃的情况, 给出了当跳跃服从指数分布时相应封闭形式的表达式.

为了增加违约出发点的动态性、减少违约触发点的可预测性, Zhou^[28] 引入了公司价值的跳跃 - 扩散过程, 在公司资产价值的跳跃 - 扩散过程中加入了符合对数正态分布的跳跃变量 dY_t . 由于资产价值跳跃过程的随机性, 资产价值可能在很短的时间内急速下降, 触及违约边界, 从而发生违约, 这导致违约时间 ζ 变得不可预测. Zhou^[29] 在文献 [28] 模型的基础上进行了扩展, 允许资产价值只服从自上向下跳跃的 Levy 过程, 使公司价值符合更一般的跳跃 - 扩散过程. 后续研究进一步对资产价值过程进行了分析, Hilberink 和 Rogers^[30] 允许资产价值可以自上向下和自下向上两个方向发生跳跃.

2.4 结构模型的应用

基于结构模型, KMV 公司构建了 KMV 模型. KMV 模型已经在商业信用风险测量中得到了广泛的应用. 国内的研究中, 梅建明和易卫民^[31] 运用 KMV 模型对上市公司的信用风险进行测量, 发现在融资平台的上市公司信用风险都较大. 石晓军和陈殿左^[32] 利用 Merton 模型对中国上市公司的信用风险进行测量, 并在此基础上, 分析债权结构、波动率对信用风险的影响.

一些国内研究试图改进 Merton 模型, 并在此基础上进行相关实证分析. 比如, 张卫国等^[33] 以

Merton 模型为基础, 结合模糊理论, 在考虑模糊不确定性因素下, 构建可转债的模糊定价模型. 乌画等^[34] 以传统的 Merton 模型为基础, 在取消相关资产之间的分布限制并假定权益资产和违约风险价值之间的相互关系为随机时变的条件下, 构建基于多元随机波动的信用风险定价模型. 另外, 周宏等^[35] 基于结构模型框架, 对债券信用风险的影响进行了综述.

3 强度模型的发展

与结构模型分析框架不同的是, 在强度模型中, 违约不再依赖于企业资产的价值, 企业的违约过程取决于外生变量. 通过违约强度可以计算出违约时间, 由违约时间可以得到违约概率. 但是, 由于不同公司的违约率不同, 所以违约强度变量 λ 的设定极为重要. 根据对违约强度 λ 的扩展, 强度模型又可以分为 3 个分支: 基于违约方法、信用等级变动方法和信用利差方法等 3 种不同方法的强度模型.

3.1 不同违约强度

在强度模型框架中, 假设违约强度是固定不变的, 但现实并不是这样. 根据贝叶斯原理, 随着时间的推移, 人们认识事情的能力在加强, 将会获得更多新的信息, 这些信息又提高了人们的认知能力, 对违约强度的判断不断更新.

Jarrow 等^[36] 提出, 违约强度随时间变化, 且违约强度是个确定的连续变量. Lando^[37] 展示了 Cox 过程(即双随机泊松过程) 对于信用风险定价的作用. 这个分析框架减少了建模的技术问题以及在信用风险建模时所面临的利率期限结构问题. 然而, Hull 等^[38] 认为, Lando 所要求的 Cox 违约过程的相关程度较低, 与现实相差较大, 即使两个违约强度完全相关, 在任意时段得到相关系数也比较低. 所以, 他们提出使用 Gaussian-Copula 生存时间模型对 CDO 债券进行定价, 以克服不同债务人之间相关关系对于违约概率的影响. 在此基础上, Jarrow 和 Yu^[39] 认为可以在公司的违约强度中引入其他公司的违约传染效应, 所以, 他们引入衰减函数来对违约关系进行刻画, 进而扩展了强度模型.

在强度模型的基础上, Duffie 和 Singleton^[40] 假定违约风险率、挽回率与企业价值不相关, 把违约定义为由风险率过程决定的不可预期的事件, 并依据市场价值减少的参数化方法来识别违约。

3.2 信用评级方法

信用评级方法是由文献 [36-39] 最早提出的。传统的违约强度模型将违约的发生视为具有不确定性的随机过程, 而基于信用评级方法的强度模型则把违约看成状态空间转移过程中首次达到信用违约状态的情形。前者的过程服从泊松分布, 后者服从马尔可夫过程。

Jarrow 等^[36] 提出, 破产过程服从离散的状态空间马尔可夫过程。在此基础上, Jarrow 和 Yu^[39] 提出以马尔可夫模型来对信用风险利差进行贴现。Lando^[37] 把文献 [36-39] 的离散型模型扩展到连续时间的信用评级马尔可夫过程中。由于状态的变化导致信用等级的转移, 所以, 基于信用评级方法的信用风险定价模型实质在于利用信用评级矩阵来描述违约状况, 进而计算相应的风险补偿, 并对信用风险进行定价。

在上述研究的基础上, Meneonteiro 和 Smirnov^[41] 提出运用有限非同质持续时间的半马尔可夫链过程来描述基于时间的转移矩阵, 认为违约率函数的非参数估计能持续地预测基于时间的转移矩阵。Fuertes 和 Kalotychou^[42] 认为传统强度模型中时间均匀性假设会导致低估违约概率, 将离散时间马尔可夫链拓展到持续时间的马尔可夫链, 发现使用光谱分析与面板 Logit 回归模型对违约率的估计强于离散多项式估计 (DME) 结果。Frydman 和 Schuermann^[43] 利用信用评级历史数据, 实证分析比较了混合马尔可夫模型与简单马尔可夫模型, 发现混合马尔可夫模型更具有优势。

3.3 信用利差

信用利差为债券的到期收益率与无风险利率之差, 它是债券投资者因为承担了债券的信用风险而得到的补偿。

Duffie 和 Singleton^[40] 认为, 可以使用无违约风险债券的定价方法对有违约风险的债券进行定价, 但需要在无违约风险债券的贴现率基础上加上信用利差, 以作为有违约风险债券的贴现率。他们提出的信用利差模型将信用利差拆分为违约率和挽回率, 从而简化了信用风险定价的难度。

Kao^[44] 将传统的利率 r 替换为风险债务合约的收益, 从而得到风险调整折现率 $R = r + q(1 - \Phi)$, 其中, 利率 r 和违约率 q 服从伊藤过程。这样, 定价过程可以看作是 3 个随机过程 (即无风险利率、违约率和挽回率) 的组合, 风险调整折现率 R 与 3 个随机过程有关。

Longstaff 和 Schwartz^[12] 发现, 违约风险之间有较强的相关性, 且利率对信用利差有明显影响, 信用利差、债券的风险与利率负相关, 相关性程度取决于相关利率的大小, 并提出了新的方法来衡量公司的债务风险。基于此, Madan 和 Unal^[11] 把违约风险分解成时间风险以及挽回风险。

3.4 强度模型的应用

由于强度模型在数据量较小的情况下也能较好地预测违约, 因而在一些商业软件中强度模型得到了比较广泛的应用。如商业软件 Credit Risk⁺ 通过随机抽样获得违约强度, 进而建立强度模型。强度模型也已应用于其他方面的研究, 如周颖颖等^[45] 把强度模型应用于住房抵押贷款的定价中, 构建了基于强度模型的住房抵押贷款定价模型, 并证实了该模型的适用性。

目前国内也对强度模型的应用前景进行了分析, 根据不同的假设对基础强度模型进行扩展, 构建更符合事实的新模型。比如, 罗长青等^[46] 在强度模型基础上, 考虑了违约事件的跳跃扩散相依性, 采用变结构的 Copula 信用风险模型能够较好地度量信用风险的传染效应。牛华伟^[47] 在考虑利率跳跃的基础上, 将一般定价模型与强度模型进行结合, 形成带有利率跳跃的信用衍生品定价模型。

4 混合模型提出及其发展

在利用结构模型与强度模型的优势并克服二者不足的基础上, 混合模型迅速发展起来。混合模型从企业的财务结构出发, 分析违约强度, 结合结构模型的内生性与强度模型的外生性特点, 将结构模型和强度模型有机结合, 更符合现实情况。

Duffie 和 Lando^[48] 认为, 公司资产价值是不可观测的, 公司的真实价值是可观测的公司价值与随机扰动项的和。在此基础上, 他们首次提出了混合模型, 认为在完全信息条件下, 存在违约到达

强度过程, 可以用这个强度来计算资产的条件分布。

最具代表性的混合模型是 Giesecke^[49] 提出的, 其模型允许违约边界和公司资产价值都具有不确定性。Giesecke^[49] 将资产回报过程定义为动态的过程 $M(t)$ ^③, 对任意 $t \geq 0$, 运用 $M(t)$ 是反高斯过程的事实, 求出违约概率。另外, 在不具备公司完整信息的情况下, Giesecke 认为投资者可以运用信用利差模型来预测未被预期到的违约概率, 并运用连续的补偿因子对信用利差进行定价。

随后的一些研究对混合模型做出了进一步发展。Chen^[50] 提出, 可以利用市场信用利差数据和强度模型获取违约强度的信息, 并以此求出有关跳跃过程参数的期望值; 然后, 通过结构化模型获取公司资产价值和违约强度的完全信息, 并对信用风险进行定价。Benos 和 Papanastopoulos^[51] 在假设资本更加复杂、债券利息分期支付、违约点具有随机性的条件下, 提出了在风险中性条件下利用财务比率与其他会计数据估计企业违约距离。Guo 等^[52] 提出了由信息延迟而产生的混合模型, 该模型中挽回率由公司资产和负债之比确定, 模型能够提供违约之前和违约之后公司违约强度、破产强度与零息债券价格。El Karoui 等^[53] 从新的视角解决了有限跳跃二次 BSDE(随机微分方程组) 的估计问题, 明确了价值函数与投资策略。Jiao 等^[54] 利用结构模型框架, 在假定违约边界是随机的情况下, 基于生存条件可能构建违约边界强度模型。该模型的实质是允许信用风险定价模型的系数是随机的, 这也证实了违约过程中存在随机边界的情况。

在混合模型的应用方面, 由于混合模型的发展较晚且操作较复杂, 所以目前国内尚没有出现混合模型应用的实证研究文献。有研究(如龚朴和何旭彪^[55]) 认为, 混合模型有着很好的适用性与使用价值。但一些研究借鉴结构模型与强度模型的扩展思想来构建混合模型。如 Chen 和 Panjer^[56] 利用结构模型获得资产价值与违约门槛相关变量, 并结合市场中违约强度与信用价差

相关信息, 对公司信用情况做出评价。

5 简评及未来发展方向

目前国际上信用风险的定价方法主要分为 3 种类型, 即结构模型、强度模型与混合模型。依据违约产生的机理, 可以将债券信用风险定价模型分为结构模型和强度模型。结构模型以 Merton 模型为原型, 以企业资产价值等历史数据为参数, 运用 B-S 公式对信用风险进行定价。结构模型将违约视为内生的过程。强度模型假设违约不依赖于企业的资产价值, 运用外生变量来描述企业的违约过程。强度模型是基于风险率模型而构建的, 风险率模型将复杂的违约机制简化为简单的概率分布, 在假定违约强度服从泊松分布时, 得到相应的违约概率, 最终实现对信用风险定价。混合模型利用结构模型的内生特点与强度模型的外生性特点, 将结构模型和强化模型有机结合。

本文的文献分析表明, 首先, 对于违约发生机制, 不同的理论有不同的判断, 并因此发展出不同的债券信用风险定价模型。其次, 模型的复杂性以及数据的难获得性给债券信用风险定价模型估计带来了困难, 不同信用风险定价模型所要求的数据与估计方法存在明显差异。此外, 债券信用风险定价模型在估计方法以及数据要求上的不同会导致真实信用风险定价以及经济学的解释上存在差异。因此, 在运用模型时, 需要熟悉模型的运用范围与条件, 并结合企业特征, 选择合适的定价模型。

结构模型、强度模型与混合模型这 3 类模型都有着较好的适用性与使用价值。作为结构模型应用最广的形式, KMV 模型已经在债券违约风险预测中得到广泛运用。实证研究也证实, KMV 模型有着较好的预测能力。基于强度模型的 Credit Risk⁺ 软件在商业银行中也有广泛运用。强度模型也被应用于可转债定价与住房抵押贷款的定价中。混合模型在中国的应用并不多, 但是相关研究已经证实了它的使用价值。最后, 基于相关技术、

③ $M(t)$ 过程为 $M(t) = \min_{s \leq t} [u - 0.5(\sigma_v^2)s + \sigma_v W_s]$, 其中 σ μ 分别为资产的波动和预期收益率, W_s 为标准的布朗运动, M 为资产回报的历史低点。违约概率可以用下式表述: $p[\tau < R] = p[M(t) \leq \ln \frac{k}{V_0}]$, 其中 ζ 为首次触发违约的时间, k 为违约边界, V_0 代表资产的初始价值。

假设方式与过程设定,一些研究对3类模型进行了扩展,从而增强了3类模型的适用性。

以下,本文从模型理论基础、数据的可获得性、模型的解释力以及模型的经济意义这4个方面对结构模型与强度模型进行评述,并做出展望。

从模型的理论基础来看,结构模型通过公司资产价值运动过程来度量公司违约状况,认为公司的资产价值是个动态变化的随机过程,继而运用期权定价公式对公司的信用风险进行定价。强度模型认为,违约是外生的过程,它与公司的资本结构和资产价值无关,并运用泊松分布来计算债券的违约概率。得到违约概率之后,根据现金流贴现模型,信用风险债券的价值等于违约与不违约状态下的现金流贴现的期望值。

从数据的可获得性来看,在结构模型中,相关文献都采用公司债务与股票市场价值之和作为公司市场价值。其中股票市值数据来源于股票市场。公司债务的市场价值较难确定,这导致难以对结构模型进行实际检验。强度模型认为,通过计算不同信用风险产品的价差就能够得到违约率和违约差异率,并且认为债券的市场价格充分包含了违约信息,但前提是需要有充分有效的债券市场。混合模型需要每天的股票价格、股票价格的波动、公司负债和利率等数据。结构模型和强度模型都是以市场数据为基础。相对于债券市场而言,股票市场的流动性更强,更为活跃,信息不对称程度更低。结构模型主要基于股票市场数据,因此,从数据的可获得性来看,结构模型优于强度模型。

从模型的解释力来看,结构模型存在一些不容忽视的弊端。例如,Merton模型不能刻画债券突然发生违约的情况;另外并未考虑到风险债务挽回率的变化取决于公司违约时的剩余价值。其次,该模型要求在公司违约的情况下,清偿必须按照特定顺序进行,但这一假设并不符合实际(比如,Franks和Torous^[8]的实证研究发现,清偿优先顺序通常被违背)。最后,该模型没有考虑债券的信用等级对违约的影响。强度模型在一定程度上克服了结构模型的上述缺陷。例如,强度模型允许突然违约的存在,并将违约强度设为外生变量,从而提高了模型的违约预测能力;此外,强度模型比较简单,便于验证,容易拓展。但强度模型也存

在着一定的缺陷。例如,强度模型对违约挽回率的假设有多种形式,但在现实中,挽回率的计算通常是以评级公司的估计为基础,用可违约债券的面值进行统计分析得到。这与强度模型的多种假设不同,所以对模型参数的估计可能会不准确。正是由于这两种模型存在各自的优缺点,混合模型得到了发展的契机。

从模型的经济学意义上看,结构模型与信用风险分析的常规思路是一致的:当公司资产大于公司负债时,公司有清偿能力;反之,公司有可能违约。因此,结构模型具有较强的经济学含义。强度模型原理简单,函数形式也更为灵活,在无套利市场的假设条件下,可以运用现金流贴现法分析。强度模型在信息不对称以及缺乏违约点和预期违约挽回率的情况下,更具适用性。在强度模型中,虽然违约事件能够被定义为突发事件,是外生的,可以使用基于泊松分布的强度计算违约率,但是,该泊松过程对违约的发生并没有确切的经济解释。因此,虽然强度模型的应用程度优于结构模型,但与结构模型相比,强度模型的经济学含义较弱。

综上所述,3种模型都具有各自的特点,基本假设和应用条件都存在着一定的差别。基于对国内外信用风险定价模型发展历史与现状的分析,本文认为,未来的相关研究可以在以下方面展开。

首先,Xiao^[57]质疑了Merton结构模型的适用性,认为企业之间的违约可能存在一定的相关性,在金融危机中这种相关性更为严重。所以,企业之间的信用风险是相互影响的,同时信用风险也受到其他风险的影响,从而造成企业债券的价值与其他企业债券的价值具有相关性。在未来研究中,可以采用Copula函数来度量违约的相关性,进而在企业价值与违约具有相关性的条件下,研究违约债券的定价问题。另一方面,贝叶斯方法能够很好地处理信用风险之间的不确定性,即风险之间存在相依性与风险蔓延性。所以,未来可以采用贝叶斯方法对信用风险进行定价。

其次,在结构模型中,衡量企业资产价值的模型只涉及线性模型。在线性模型发展的同时,非线性模型(如CEV模型,广义抛物线扩散模型)也在发展。在克服非线性模型数值计算困难的同时,未来研究可以用非线性模型来衡量企业资产

价值。

第三,结构模型和强度模型各自都存在着一一定的缺陷(比如,结构模型中的短期信用利差不可能大于0、公司资产价值的不可观测等问题;强度模型中的违约强度的外生性问题,等等),因而,如何克服这些缺陷是深入研究的方向。结合了结构模型与强度模型特点的混合模型可能具有进一步发展的空间。

第四,行为金融学的研究表明,投资者的心理、情绪能够影响资产的价格,而传统定价模型没有充分考虑这一点。这也是证券市场中的大量现象无法在传统定价模型下得到解释而被称为“异象”的原因。如龚朴和高原^[58]认为,2008年次贷危机并不能完全用现代经典理论或模型解释,因为它是投资者行为的结果。未来债券定

价研究需要借鉴心理学、行为学和社会学等多学科交叉前沿成果,应用行为金融学的理论与方法,充分考虑投资者行为对债券信用风险定价的影响。

第五,目前国内外关于3种模型的系统性研究还比较缺乏。国外研究主要从不同的方向扩展这3种模型,并对3种扩展模型进行实证检验,而国内研究主要对3类模型进行基础性介绍与综述。虽然一些研究使用KMV模型对公司违约风险进行了测算,但是很少有研究使用强度与混合模型进行实证分析。基于目前相关研究缺乏完整性与系统性的现状,未来应该对3类模型进行系统性研究,而这种系统性的研究内容应该包括模型(一种或多种)理论基础、扩展方向、适用性、实证分析与使用价值等。

参考文献:

- [1]Howard G. The big trade-off revisited [C]// Melbourne: Proceedings of the Industry Commission conference on equity, efficiency and welfare. Industry Commission, 1996: 1-12.
- [2]Kao D L. Estimating and pricing credit risk: An overview [J]. Financial Analysts Journal, 2000, 56(4): 50-66.
- [3]Schmid B. Credit Risk Pricing Models: Theory and Practice [M]. Bolin: Springer, 2004.
- [4]刘海龙,吴冲锋. 期权定价方法综述 [J], 管理科学学报, 2002, 5(2): 67-73.
Liu Hailong, Wu Chongfeng. Survey of option pricing methods [J]. Journal of Management Sciences in China, 2002, 5(2): 67-73. (in Chinese)
- [5]Black F, Scholes M. The pricing of options and corporate liabilities [J]. Journal of Political Economy, 1973, 81(3): 637-654.
- [6]Merton R C. On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates [J]. The Journal of Finance, 1974, 29(2): 449-470.
- [7]Jarrow R A, Turnbull S. Pricing derivatives on financial securities subject to credit risk [J]. Journal of Finance, 1995, 50(4): 53-85.
- [8]Franks J R, Torous G. An empirical investigation of US firms in reorganization [J]. Journal of Finance, 1989, 44(2): 747-769.
- [9]Schaefer S M, Strebulaev I A. Structural models of credit risk are useful: Evidence from hedge ratios on corporate bonds [J]. Journal of Financial Economics, 2008, 90(1): 1-19.
- [10]Duana J C, Fulop A. Estimating the structural credit risk model when equity prices are contaminated by trading noises [J]. Journal of Econometrics, 2009, 150(2): 288-296.
- [11]Madan D, Unal H. Pricing the risks of default [J]. Review of Derivatives Research, 1998, 16(46): 121-160.
- [12]Longstaff F, Schwartz E. A simple approach to valuing risky fixed and floating rate debt [J]. Journal of Finance, 1995, 50(3): 789-819.
- [13]周宏,林晚发,李国平,等. 信息不对称与企业债券信用风险估价——基于2008—2011年中国企业债券数据 [J]. 会计研究, 2012, (12): 36-42.
Zhou Hong, Lin Wanfa, Li Guoping, et al. Research on the impact of information asymmetry on the credit risk of Chinese corporate bonds: Based on the data of Chinese corporate bonds in 2008—2011 [J]. Journal of Accounting Research, 2012,

- (12) : 36 - 42. (in Chinese)
- [14] Black F , Cox C J. Valuing corporate securities: Some effects of bond indenture provisions [J]. *The Journal of Finance* , 1976 , 31(2) : 351 - 367.
- [15] Hsu J S , Saa-Requejo J , Santa-clara P. A structure model of default risk [J]. *Journal of Fixed Income* , 2010 , 19(3) : 77 - 94.
- [16] Collin-Dufresne P , Goldstein R S , Martin J S. The determinants of credit spread changes [J]. *The Journal of Finance* , 2001 , 56(6) : 2177 - 2207.
- [17] Hui C H , Lo C F , Tsang S W. Pricing corporate bonds with dynamic default barriers [J]. *The Journal of Risk* , 2003 , 5(3) : 17 - 37.
- [18] Mella-Barral P , Perraudin W. Strategic debt service [J]. *The Journal of Finance* , 1992 , 47(5) : 1887 - 1904.
- [19] Anderson R W , Sundaresan S. The design and valuation of debt contracts [J]. *Review of Financial Studies* , 1996 , 9(1) : 37 - 68 .
- [20] Moraux F. Modeling the business risk of financially weakened firms: A new approach for corporate bond pricing [J]. *International Review of Financial Analysis* , 2004 , 13(1) : 47 - 61.
- [21] Leland H , Toft K. Optimal capital structure , endogenous bankruptcy , and the term structure of credit spreads [J]. *Journal of Finance* , 1996 , 51(32) : 987 - 1019.
- [22] Saa-Requejo J , Santa C P. Bond Pricing with Default Risk [R]. Anderson School at UCLA , 1999.
- [23] Vasicek O. An equilibrium characterization of the term structure [J]. *Journal of Financial Economics* , 1977 , 5(2) : 177 - 188.
- [24] Briys E , Varenne F. Valuing risky fixed rate debt: An extension [J]. *Journal of Financial and Quantitative Analysis* , 1997 , 32(2) : 78 - 101.
- [25] Kim I J , Ramaswamy K , Sundaresan S. Does default risk in coupons affect the valuation of corporate bonds? [J]. *Financial Management* , 1993 , 22(3) : 117 - 131.
- [26] Cox J C , Ingersoll J E , Ross S A. A theory of the term structure of interest rates [J]. *Econometrica* , 1985 , 53(2) : 385 - 407.
- [27] Dong Y G , Wang G J , Wu R. Pricing the zero-coupon bond and ins fair premium under a structural credit risk model with jumps [J]. *Journal of Applied Probability* , 2013 , 48(2) : 404 - 419.
- [28] Zhou C S. The term structure of credit spreads with jump risk [J]. *Journal of Banking & Finance* , 2001 , 25(11) : 2015 - 2040.
- [29] Zhou C S. An analysis of default correlations and multiple defaults [J]. *Review of Financial Studies* , 2001 , 14 (12) : 555 - 576.
- [30] Hilberink B , Rogers L C G. Optimal capital structure and endogenous default [J]. *Finance and Stochastics* , 2002 , 6(2) : 237 - 263.
- [31] 梅建明 , 易卫民. 基于 KMV 模型的上市类融资平台公司信用风险研究 [J]. *财政研究* , 2013 , (10) : 64 - 67.
Mei Jianming , Yi Weimin , The research of listed financing platform company credit risk based on KMV model [J]. *Public Finance Research* , 2013 , (10) : 64 - 67. (in Chinese)
- [32] 石晓军 , 陈殿左. 债权结构、波动率与信用风险——对中国上市公司的实证研究 [J]. *财经研究* , 2004 , 30(9) : 24 - 32.
Shi Xiaojun , Chen Dianzuo. Debt structure , volatility and credit risk——Empirical evidences from Chinese listed companies [J]. *The Study of Finance and Economics* , 2004 , 30(9) : 24 - 32. (in Chinese)
- [33] 张卫国 , 史庆盛 , 肖炜麟. 考虑支付红利的可转债模糊定价模型及其算法 [J]. *管理科学学报* , 2010 , 13(11) : 87 - 93.
Zhang Weiguo , Shi Qingsheng , Xiao Weiling. Fuzzy pricing model of convertible bonds with dividends payment and its algorithm [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2010 , 13(11) : 87 - 93. (in Chinese)
- [34] 乌 画 , 易传和 , 杜 军 , 等. 基于多元随机波动模型的信用风险衍生定价 [J]. *管理科学学报* , 2010 , 13(10) : 55

-62.

Wu Hua, Yi Chuanhe, Du Jun et al. Based on multivariate stochastic volatility model of credit risk derivatives pricing [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2010, 13(10): 55-62. (in Chinese)

[35]周 宏,杨萌萌,李远远. 企业债券信用风险影响因素研究评述 [J]. *经济学动态*, 2010, (12): 137-140.

Zhou hong, Yang Mengmeng, Li Yuanyuan. The research on corporate bond credit risk factors [J]. *Economic Perspectives*, 2010, (12): 137-140. (in Chinese)

[36]Jarrow R A, Lando D. Turnbull S. A Markov model for the term structure of credit risk spreads [J]. *Review of Financial Studies*, 1997, 10(2): 481-523.

[37]Lando D. On cox processes and credit risky securities [J]. *Review of Derivatives Research*, 1998, 2(2): 99-120.

[38]Hull J, Predescu M, White A. The valuation of correlation-dependent credit derivatives using a structural model [J]. *The Journal of Credit Risk*, 2010, 6(3): 99-132.

[39]Jarrow R A, Yu F. Counterparty risk and the pricing of defaultable securities subject to credit risk [J]. *Journal of Finance*, 2001, 50(5): 53-85.

[40]Duffie D, Singleton K J. Modeling term structures of defaultable bonds [J]. *Review of Financial Studies*, 1999, 12(4): 687-720.

[41]Meneonteiro A A, Smirnov G V. Nonparametric Estimation for Non-Homogeneous Semi-Markov Processes: An Application to Credit Risk [R]. Amsterdam: Vrije Universiteit, 2006.

[42]Fuertes A M, Kalotychou E. On sovereign credit migration: A study of alternative estimators and rating dynamics [J]. *Computational Statistics and Data Analysis*, 2007, 51(7): 3448-3469.

[43]Frydman H, Schuermann T. Credit rating dynamics and Markov mixture models [J]. *Journal of Banking and Finance*, 2008, 32(6): 1062-1075.

[44]Kao D L. Estimating and pricing credit risk: An overview [J]. *Financial Analysts Journal*, 2000, 56(4): 50-66.

[45]周颖颖,秦学志,尚 勤,等. 基于强度模型的住房抵押贷款的定价与分析 [J]. *预测*, 2008, 27(5): 75-80.

Zhou Yingying, Qin Xuezhi, Shang Qin, et al. Valuation mortgage for housing and its implications with an intensity approach [J]. *Forecasting*, 2008, 27(5): 75-80. (in Chinese)

[46]罗长青,朱慧明,欧阳资生. 跳跃-扩散条件下信用风险相关性度量的变结构 Copula 模型 [J]. *中国管理科学*, 2014, 22(3): 1-12.

Luo Changqing, Zhu Huiming, Ouyang Zisheng. Variable structure Copula model of credit risk correlation under the condition of jump-diffusion process [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2014, 22(3): 1-12. (in Chinese)

[47]牛华伟. 利率带有跳跃情形下的信用衍生品定价研究 [J]. *管理科学学报*, 2014, 17(4): 71-85.

Niu Huawei. Pricing credit derivatives with jumps in interest rates [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2014, 17(4): 71-85. (in Chinese)

[48]Duffie D, Lando D. Term structures of credit spreads with incomplete accounting information [J]. *Econometrica*, 2001, 69(3): 633-664.

[49]Giesecke K. Default and Information [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2006, 30: 2281-2303.

[50]Chen P. Unifying discrete structural models and reduced-form models in credit risk using a jump-diffusion process [J]. *Insurance: Mathematics and Economics*, 2002, 20(2): 15-17.

[51]Benos A, Papanastopoulos G. Extending the merton model: A hybrid approach to assessing credit quality [J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2007, 46(2): 47-68.

[52]Guo X, Jarrow R A, Zeng Y. Information reduction in credit risk models [J]. *Mathematical Finance*, 2009, 19(2): 403-421.

[53]El Karoui N, Jeanblanc M, Jiao Y, et al. *Conditional Default Probability and Density [M]* // *Inspired by Finance*, Springer International Publishing Switzerland, 2014: 201-219.

[54]Jiao Y, Kharroubi I, Pham H. Optimal investment under multiple defaults risk: A BSDE-decomposition approach [J]. *The Annals of Applied Probability*, 2013, 23(2): 455-491.

- [55] 龚 朴, 何旭彪. 信用风险评估模型与方法最新研究进展[J]. 管理评论, 2005, 17(5): 8-16.
Gong Pu, He Xubiao. The latest research progress of credit risk assessment model and methods[J]. Management Review, 2005, 17(5): 8-16. (in Chinese)
- [56] Chen C J, Panjer H. A bridge from ruin theory to credit risk[J]. Review of Quantitative Finance and Accounting, 2009, 32(4): 373-403.
- [57] Xiao T. The Impact of Default Dependency and Collateralization on Asset Pricing and Credit Risk Modeling[R]. SSRN, 2013.
- [58] 龚 朴, 高 原. 非理性预期对信用衍生产品定价的影响: 美国次贷危机的启示[J]. 管理科学学报, 2010, 13(9): 55-67.
Gong Pu, Gao Yuan. Impact of irrational belief on credit derivatives pricing: Implication of subprime crisis[J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(9): 55-67. (in Chinese)

Analyze and progress of credit risk pricing model of corporate bonds

ZHOU Hong¹, LI Guo-ping², LIN Wan-fa³, WANG Yuan¹

1. School of Accountancy, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China;
2. School of Management Science and Engineering, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China;
3. School of Economics and Management of Wuhan University, Wuhan 430074, China

Abstract: On basis of option pricing and cash flow discount theories, this paper first provides an overview of the origins and advancement of theories on credit risk pricing of corporate bonds and then reviews the three major models for pricing credit risk of corporate bond (i. e., structural model, intensity model and hybrid model). After thorough comparisons on the three models from different perspectives, this paper analyzes the advantages and disadvantages of the models. Finally, the paper makes suggestions on issues on which future researches on credit risk pricing should focus.

Key words: credit risk; structural model; intensity model; hybrid model