结构化模型与次贷危机

Hayne Leland
加州大学伯克利分校
哈斯商学院

中国金融国际年会
2009-7-8

演讲纲要

1. 结构化模型的优势
2. 次贷期间结构化模型的表现（一些初步发现）
3. 对此的可能解释
4. 关于次贷危机的思考

信用风险的结构化模型

结构化模型在金融中被广泛用于确定：

- 公司债（或其他有价证券）的价值
  - 始于Merton(1974)的早期研究；
  - 采用“风险中性”的定价方法；
- 违约的可能性
  - 要求用实际概率计算企业增长率；
  - Moody的KMV评级服务；
- 最优资本结构
  - 企业应持有多少债？
  - 公司财务的核心问题之一，本人的研究重点；

结构化模型依赖于以下参数:

- 资产（或当前现金流）的价值
- 资产（或现金流）的随机过程
  - 资产（或现金流）的增长率；
  - 波动情况（可能带跳跃）；
  - 价值基于风险中性的随机过程；
  - 违约风险的实际变化过程；
- 违约时资产的回收率
- 资本结构：杠杆率、债务期限

✓ 与评级机构使用变量近似，但模型和公式更为明了；
✓ 基于市场价值而非帐面价值；

然而，早先结构化模型的定价并不理想，
***主要由于*:**

1. 投资级债券价差被低估；
2. 极短期债券价差估计趋于零，短期违约风险亦被低估；

如： Merton (1974); Leland-Toft (“LT”) (1996)*

注意：当债券定价有误时，对企业最优资本结构的建议同样不可取；

---

*注：虽然Eom, Huang, 及Helwege (*RFS 2004*) 声称LT模型高估了信用价差，且说明这一情况在短期尤甚。但由于其结果并不能在LT模型中复制，同时Lando (2005)表明在扩散式模型中，当期限趋于零时，信用价差趋于零，因此本人认为这一结果是不正确的。

在本人2006年于普林斯顿的演讲中，提出当依照以下两种途径扩展结构化模型时，上述问题可以解决：

- 假设债券收益存在流动性溢价（使用Longstaff, Mithal, & Neis (2005) 的模型估计约为60个基点）
- 对资产价值使用混合的跳跃-扩散过程代替纯连续型过程；对可能导致大的违约损失情况采用简单的泊松跳模型（如Barro 2006 ）

该模型对估计债务价值、股权价值、内生的扩散违约边界及违约可能性等均有闭合形式解（见附录）

该模型指出，有限期限的债券为最优选择（例如，信用等级为Baa的企业最优债务期限为7.5年）

次贷期间结构化模型的表现

- 1985-2005年间的实证情况表明，平均来看本模型对处于部分信用等级的债券较为适用；
- 然而次贷期间模型对公司证券的定价是否仍然正确？
- 检验样本：高盛 摩根大通
  - 基本参数见附录
  - 与工业企业相比，金融机构：
    - ✓资产波动性较低；
    - ✓杠杆率较高；
    - ✓债务期限较短；
  - 初始测算存在困难
    - ✓回购的会计分类（未被列为债务）
    - ✓设定了押金期限（期限加长）

数据描述

1. 1年期、5年期国债及互换的日利率；
2. 日股票价值；
3. 由期权测算的隐含股价波动率（6月期虚值看跌期权，Bloomberg日数据）；
4. CDS价格（CDS rate:信用违约互换率）（Bloomberg、Datastream日数据）；
5. 不同期限债务的帐面价值（季报）；

数据问题

- CDS：Bloomberg的数据常常在数周后修改，且往往与Datastream不一致；
- 股价波动性： Bloomberg基于Black-Scholes模型使用期权测算股价隐含波动性；
- 债务：面值为插值测算，押金期限仍存在问题；

模型方法（图1步骤）

1. 设置基本参数值（见附录），其中：
   CDS流动性溢价=0（据Duffie等人观测）
   长期债券流动性溢价=60基点（ Longstaff et al. (2005)）

2. 无风险利率及债券面值设为每日观测值

3. 给定其他参数，通过每日观测到的股价及波动性得出资产价值及波动性（同M-KMV模型）

4. 利用这些参数，在结构化模型下预测CDS每天价格，并：
   – 同实际的CDS报价相比较；
   – 样本外预测，估计中不使用预测点后的数据；
   – 进行了模型定价准确性的检验；

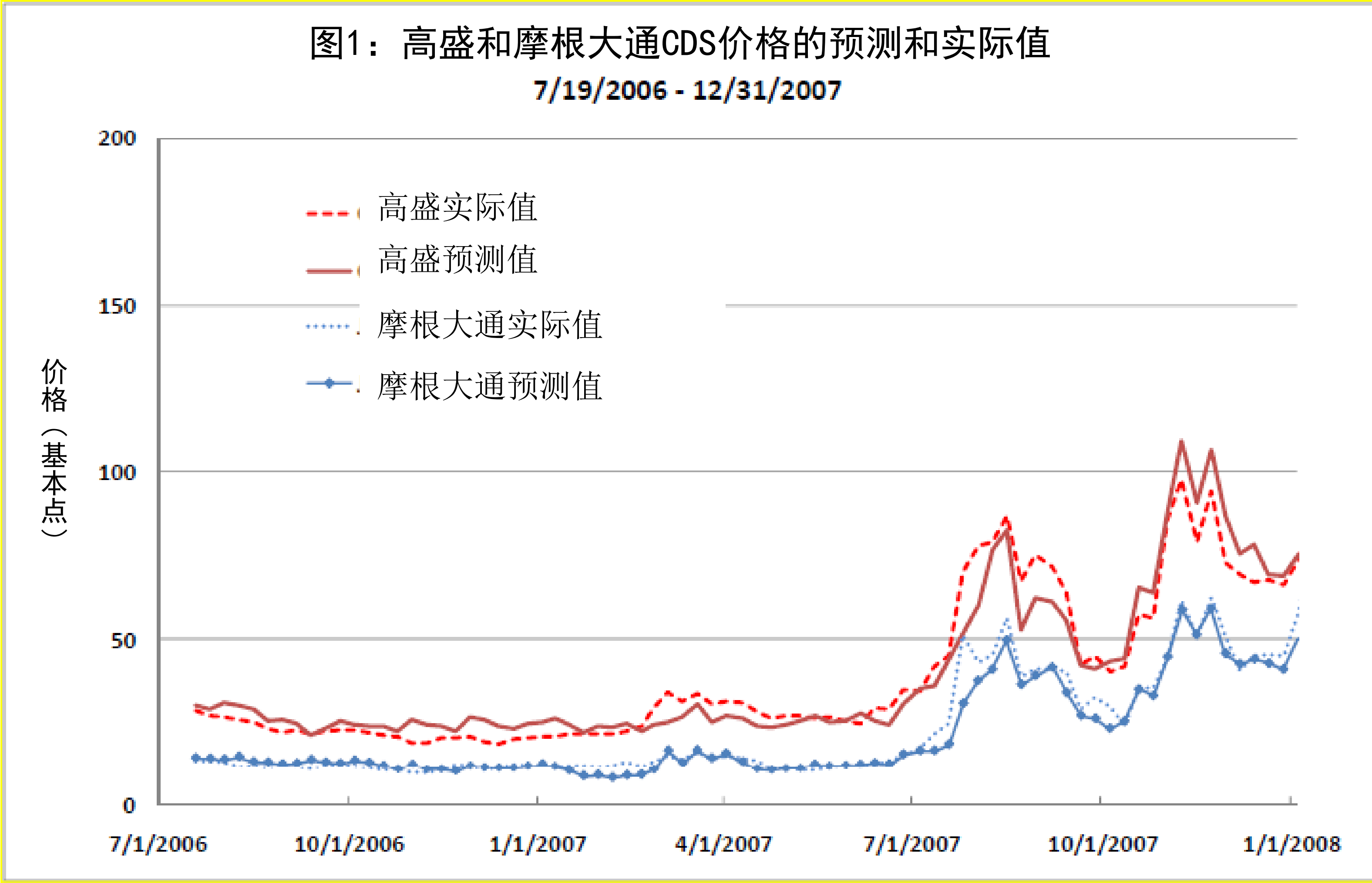


图1：高盛和摩根大通CDS价格的预测和实际值
7/19/2006 - 12/31/2007
高盛实际值
高盛预测值
摩根大通实际值
摩根大通预测值
价格（基本点）
200
150
100
50
0
7/1/2006
10/1/2006
1/1/2007
4/1/2007
7/1/2007
10/1/2007
1/1/2008

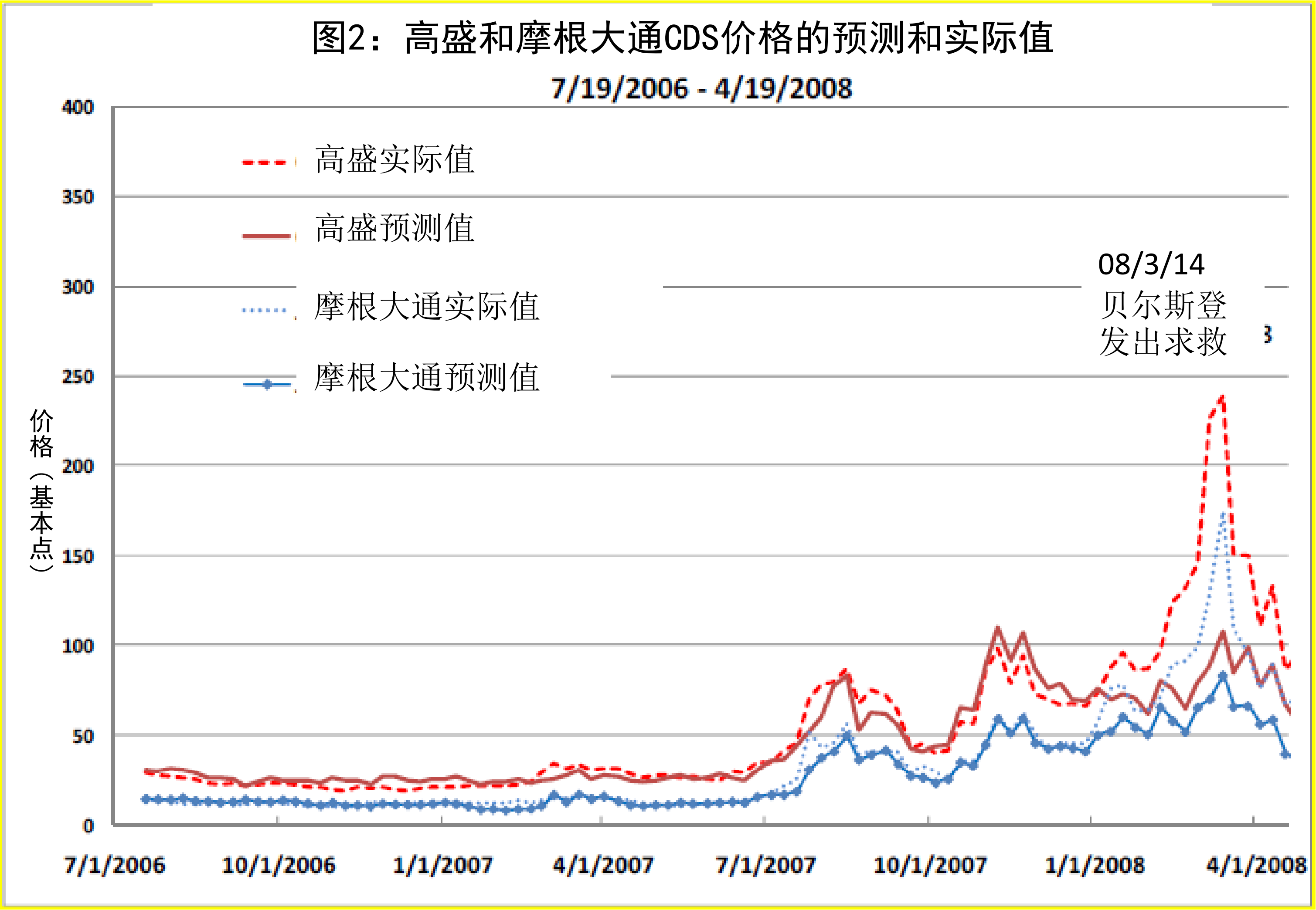


图2：高盛和摩根大通CDS价格的预测和实际值
7/19/2006 - 4/19/2008
400
350
300
250
200
150
100
50
0
价格（基本点）
高盛实际值
高盛预测值
摩根大通实际值
摩根大通预测值
08/3/14
贝尔斯登
发出求救
7/1/2006
10/1/2006
1/1/2007
4/1/2007
7/1/2007
10/1/2007
1/1/2008
4/1/2008

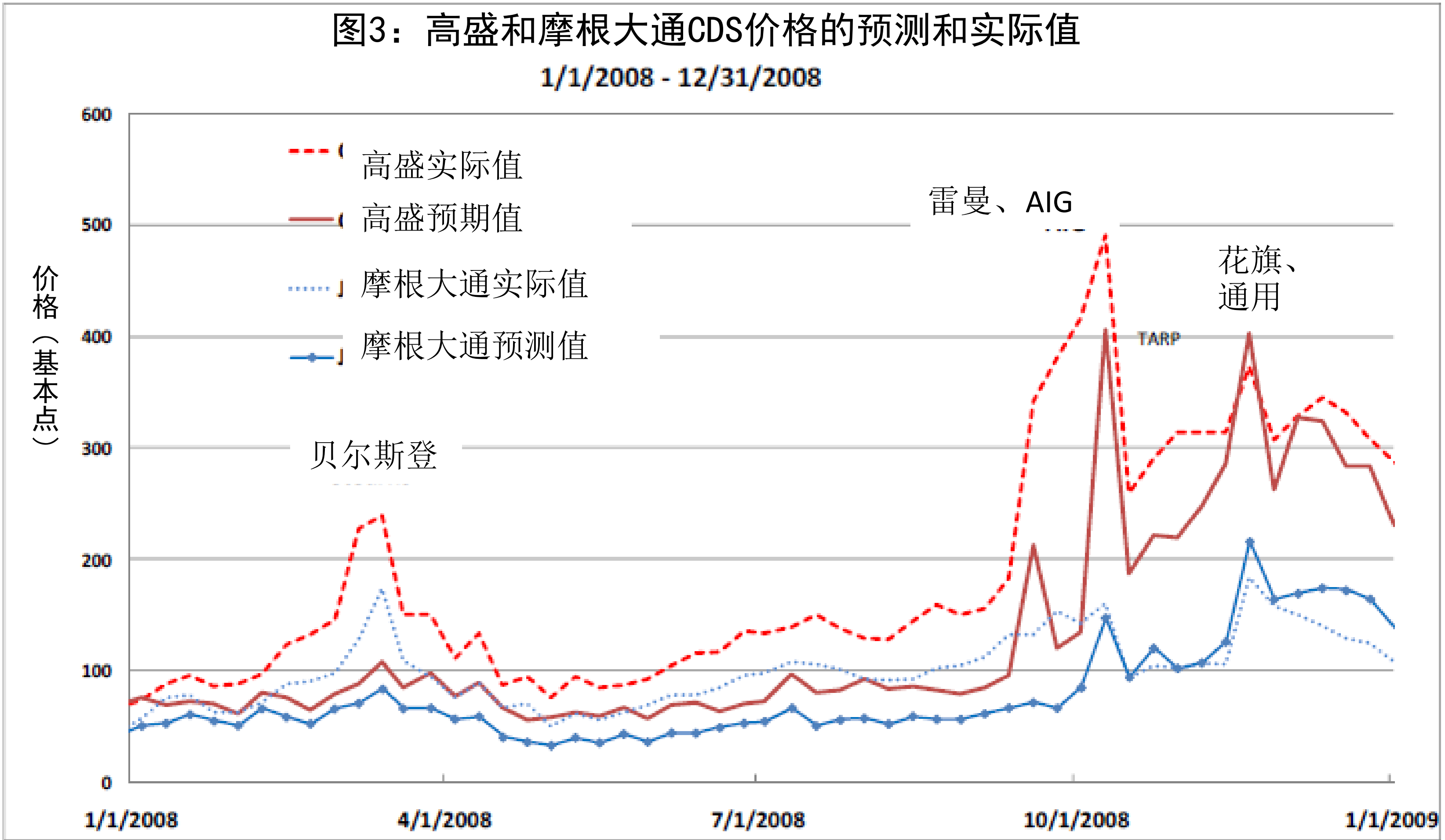


图3：高盛和摩根大通CDS价格的预测和实际值
1/1/2008 - 12/31/2008
600
500
400
300
200
100
0
价格（基本点）
高盛实际值
高盛预期值
摩根大通实际值
摩根大通预测值
贝尔斯登
雷曼、AIG
TARP
花旗、
通用
1/1/2008
4/1/2008
7/1/2008
10/1/2008
1/1/2009

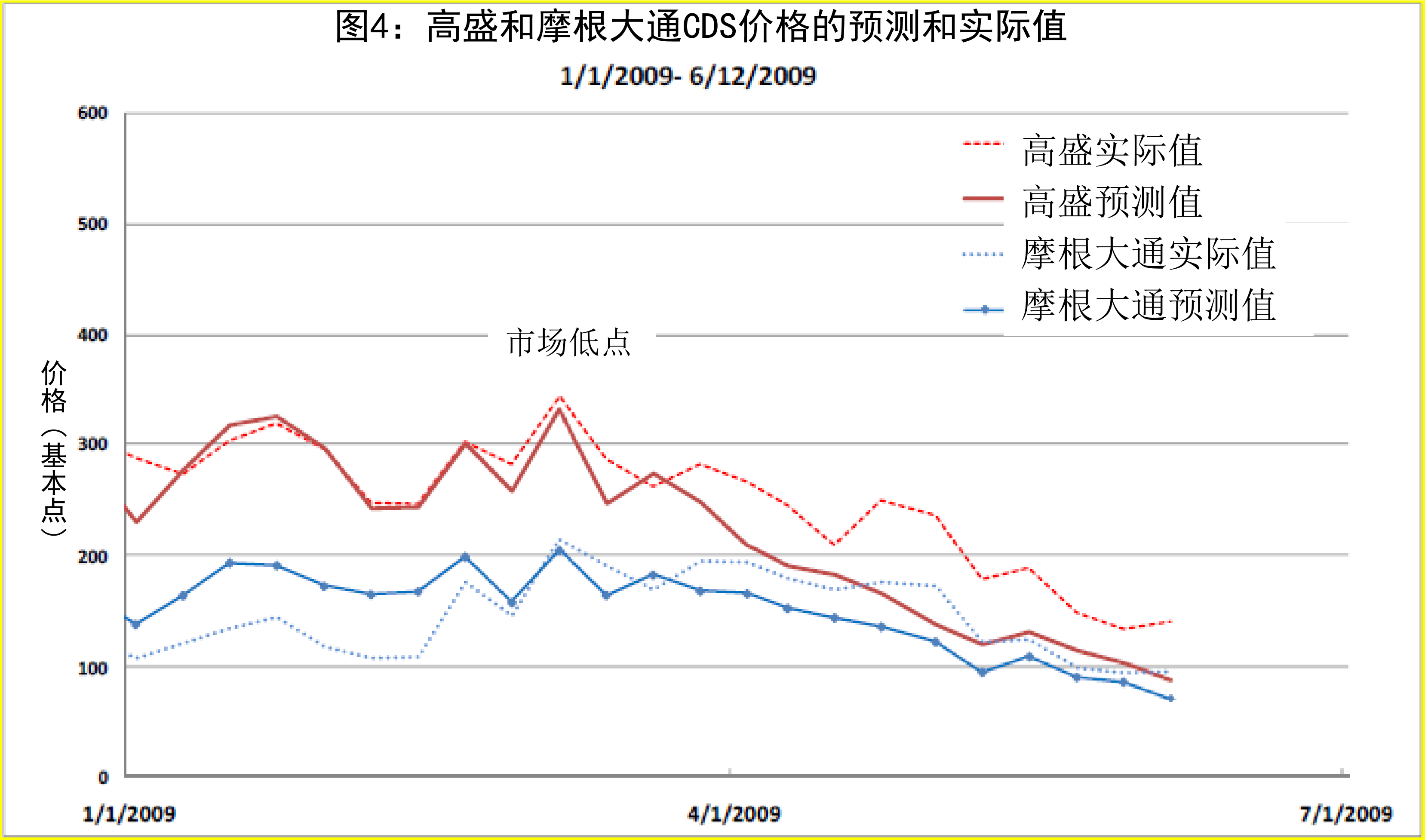


图4：高盛和摩根大通CDS价格的预测和实际值
1/1/2009- 6/12/2009
价格（基本点）
600
500
400
300
200
100
0
1/1/2009
4/1/2009
7/1/2009
市场低点
高盛实际值
高盛预测值
摩根大通实际值
摩根大通预测值

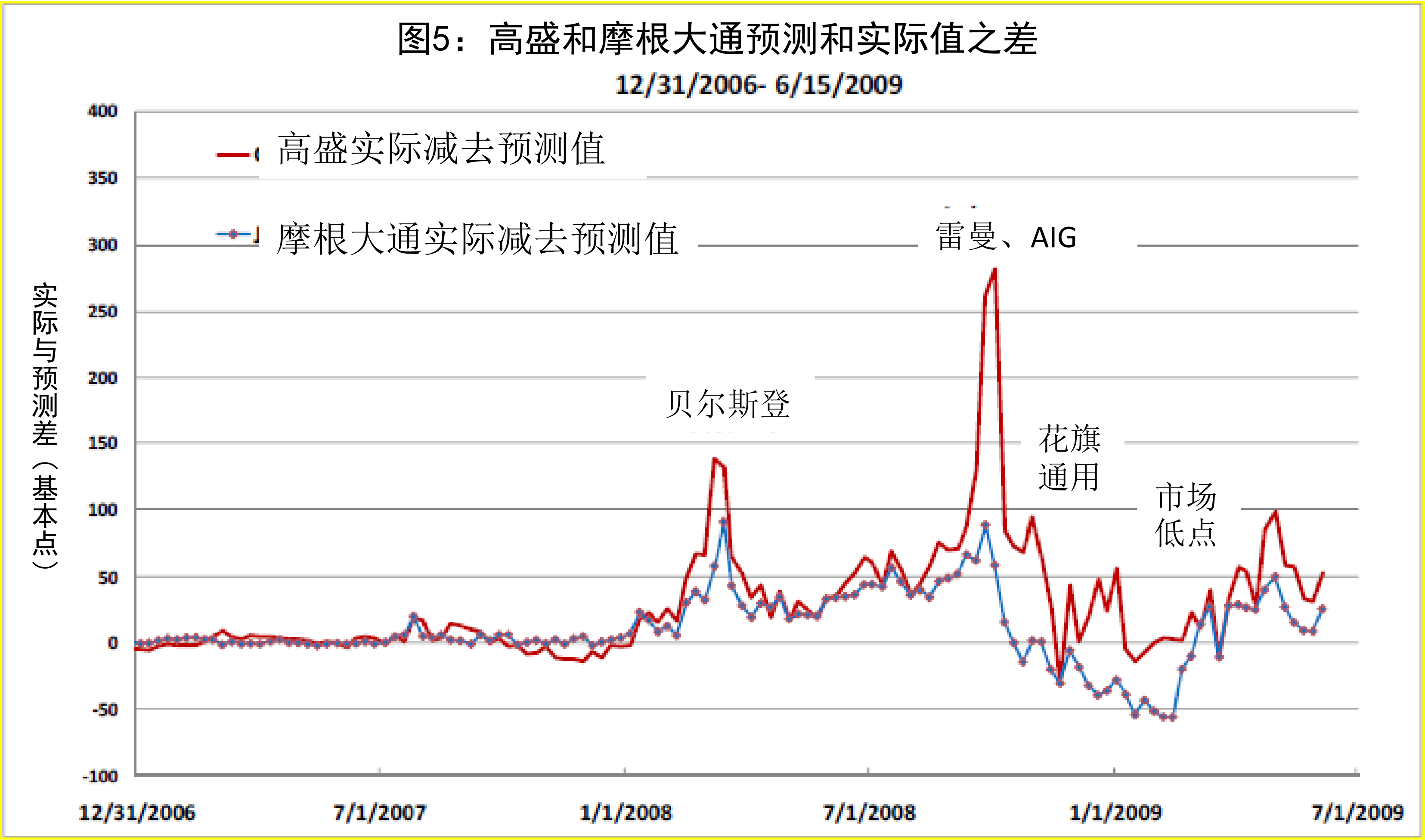


图5：高盛和摩根大通预测和实际值之差
12/31/2006- 6/15/2009
高盛实际减去预测值
摩根大通实际减去预测值
实际与预测差（基本点）
400
350
300
250
200
150
100
50
0
-50
-100
12/31/2006
7/1/2007
1/1/2008
7/1/2008
1/1/2009
7/1/2009
贝尔斯登
雷曼、AIG
花旗
通用
市场
低点

观测结果：

1. 次贷危机前，CDS实际价格与预测价格的差近于零，表明市场在风险上达到均衡；

2. 在次贷初期（2007年间），虽然市场波动性及CDS价格显著上升，市场仍保持均衡状态；

3. 自2008年起（尤其贝尔斯登破产后）
   预期价格高于实际价格，表明CDS价格相比期权价格较高
   - 也就是说，CDS价格测算的波动性>期权价测算的波动性
   - 结论只能给出相对价格，而非说明定价错误

4. 随着对美国国际集团（AIG）、花旗和通用的救助，相对价差逆转
   - 尤其对摩根大通来说，期权价格目前相比CDS价格较高
   - 一直持续至市场开始回暖（2009-3-4之后）

影响价差的应当是市场因素

价差的同向运动表明存在被忽略的市场因素

- 数据随机干扰因素可单独解释个体的情况，但不能同时解释高盛和摩根大通二者

可能有尚未观察到的相关因素在危机期间发生变化，潜在解释价格预测差的因素有：

1. 发生跳跃的风险可能上升了（已达到共识）
2. 预期的回收率下降（ Altman et al.）
3. CDS流动性溢价可能上升（ Tang & Yan ）
4. CDS的供给可能受限（Duffie）

注意：交易对手风险将降低CDS价格，不作为潜在解释

除最后一项（设为给定）外，均可进行检验；

我们依次检验这些可能性，得出结论如下：

1. 跳跃风险基本不影响价差
   - 由于参数测算基于给定的期权价格，高的跳跃风险意味着低扩散风险

     二者净效应仅对预期的CDS价格微有影响
   - 更多证据表明跳跃风险影响甚微
     - 对跳跃的规模和预期价差进行回归：

       采用虚值期权与平价期权测算的隐含波动率的差

       高盛R^2 =0.0004 摩根大通R^2 = 0.0286

2. 预期回收率的下降

- 当股价下降时，我们假设回收率下降
  - 高盛：违约损失可从20%上升至最高35%
  - 略微降低了平均预期价差
    - 但价差随时间的波动几乎不变

3. CDS流动性溢价的变化

- 可选择恰好匹配CDS价格的溢价
  - 此时预测价格的偏误可降至零
- 很难与（4. 供给限制） 区分开来
  - 有理可循： MBAA, Ambac, AIG的退出

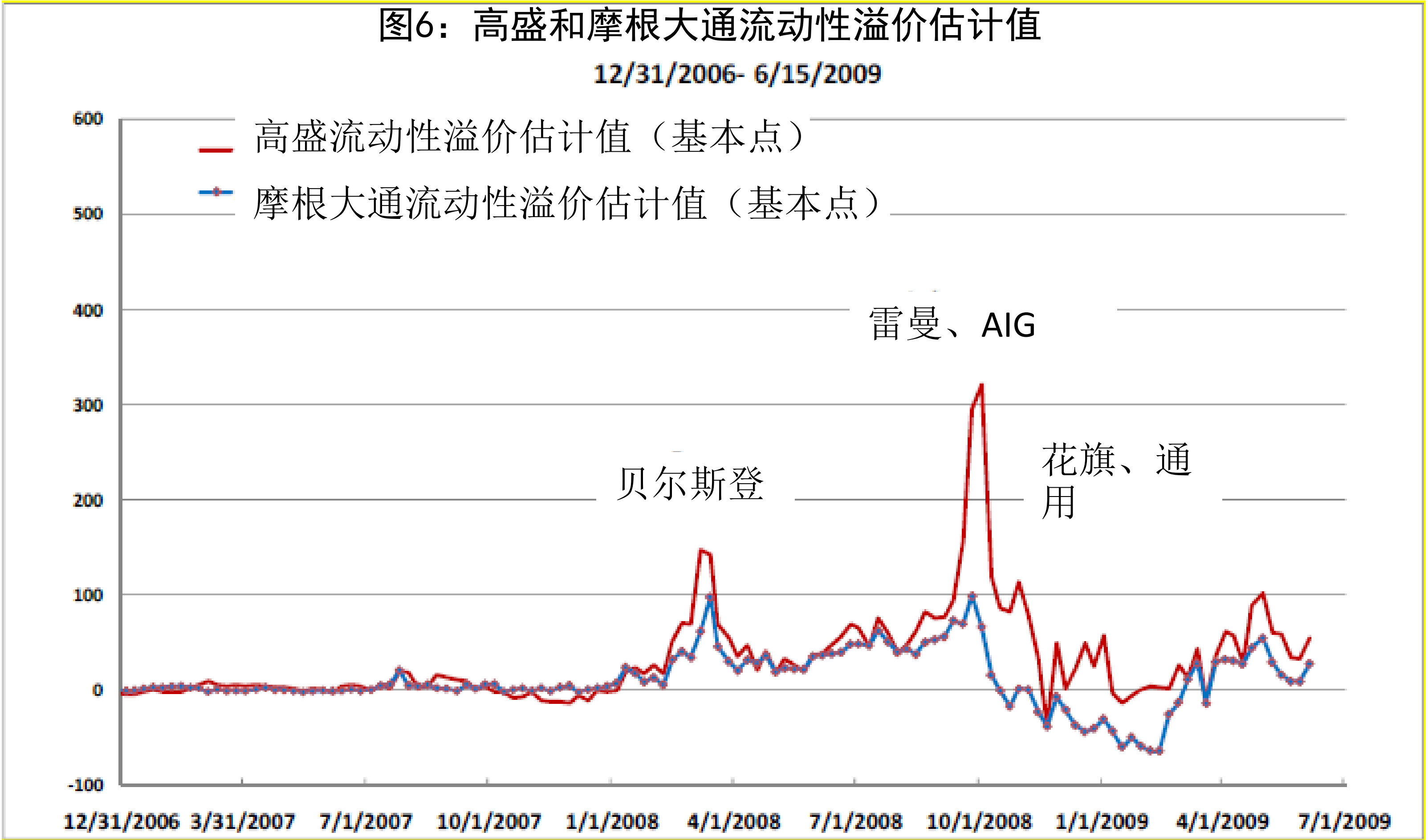


图6：高盛和摩根大通流动性溢价估计值
12/31/2006- 6/15/2009
高盛流动性溢价估计值（基本点）
摩根大通流动性溢价估计值（基本点）
雷曼、AIG
贝尔斯登
花旗、通用
600
500
400
300
200
100
0
-100
12/31/2006
3/31/2007
7/1/2007
10/1/2007
1/1/2008
4/1/2008
7/1/2008
10/1/2008
1/1/2009
4/1/2009
7/1/2009

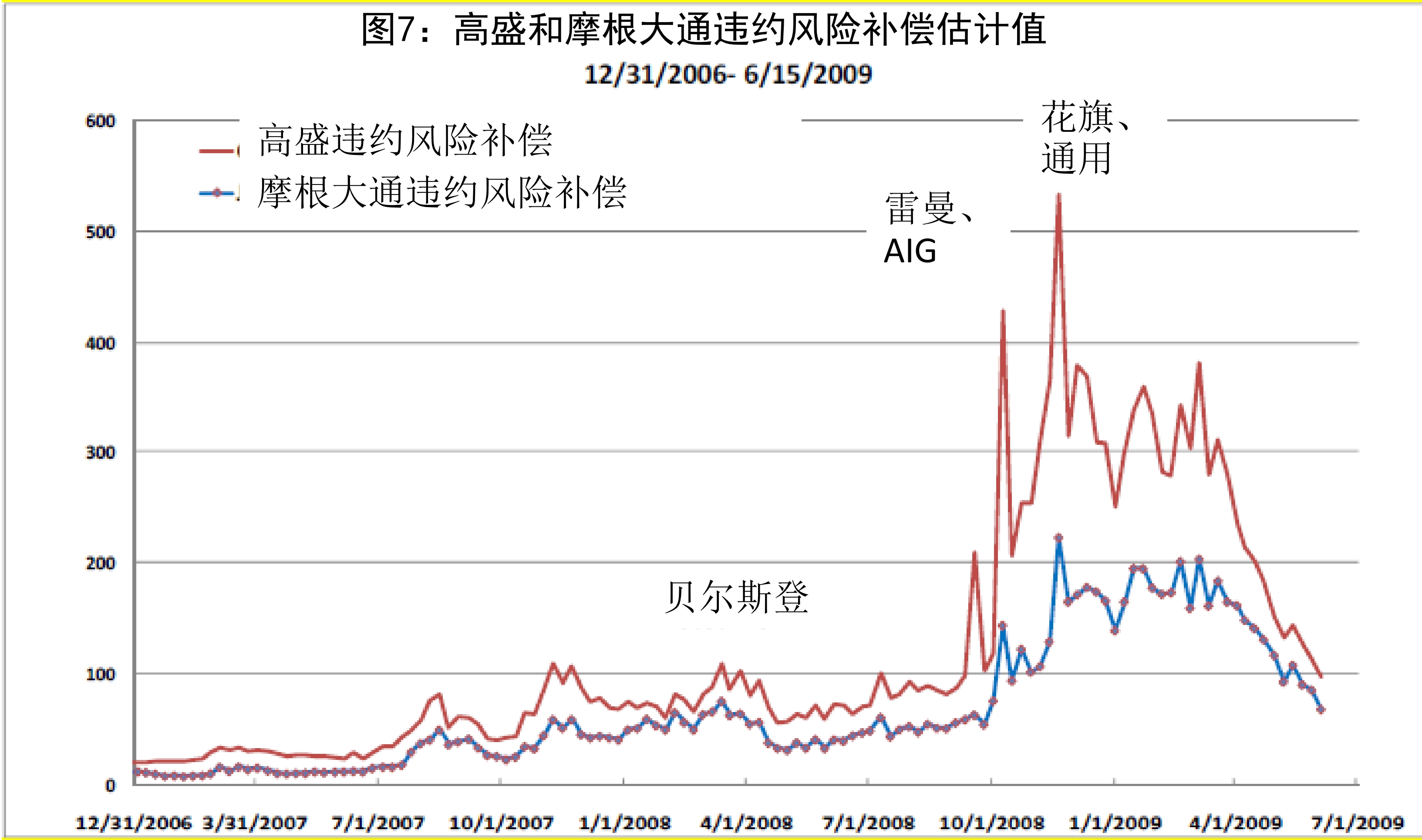


图7：高盛和摩根大通违约风险补偿估计值
12/31/2006- 6/15/2009
高盛违约风险补偿
摩根大通违约风险补偿
花旗、
通用
雷曼、
AIG
贝尔斯登
600
500
400
300
200
100
0
12/31/2006
3/31/2007
7/1/2007
10/1/2007
1/1/2008
4/1/2008
7/1/2008
10/1/2008
1/1/2009
4/1/2009
7/1/2009

本研究初步结论

- 次贷危机之前的时期，结构化模型具有很好适用性
  由于考察的是一个较为稳定的时期，结果在意料之中；
- 危机期间，预期价格与真实值间存在较大差异
  此时假设未观察到的影响因素保持不变；
- 预测偏误的相关性表明市场因素造成此影响（此处只考察了两家企业）
  - 交易对手风险的变化不能很好解释；
  - 存在跳跃风险的变化亦难以解释；
  - 回收率的变化（在经济周期、政策的影响下）可解释CDS价格高低，但无法解释价格波动

<u>为此，其中可行的解释有</u>:

- CDS市场流动性的变化
  - Tang and Yang (2007) 及其他相关研究表明CDS平均价差应当为正（危机前约为13个基本点）；
  - 其研究表明交易量及信息不对称的变化均影响CDS价格，（但并不影响买卖价差）；
  - 后续研究：利用这些变量构建预测流动性价差的方程；

- 市场供给的变化
  - Duffie (2007) 表明暂时的资本短缺会造成重要影响；
  - Bear Stearns, Ambac, MBAA，特别是AIG的退出表明：
    - 信用良好的证券发售大量下降；
    - 银行资本大量减少

流动性溢价差的奇怪逆转（08/11/14-09/3/04）

- 相对CDS，期权定价较高
  - 这一时期股票价格迅速下降，堪称股市危机最为严重的时期；
  - 看跌期权卖方损失惨重，资金大量消耗；
  - 这就拉高了期权相对CDS的价格；

- 自三月份开始，市场的回暖使得期权和CDS市场逐步恢复均衡

违约风险水平相比危机前仍有很大差距！

关于危机的进一步思考

结构性模型是否在一定程度上是始作俑者？

结构性模型被评级机构、投行、对冲基金等广泛用于估计价格及风险

- 使用模型计算的结果与历史数据及后验结果相差甚远；

绝大多数模型没有考虑跳跃的风险及流动性因素

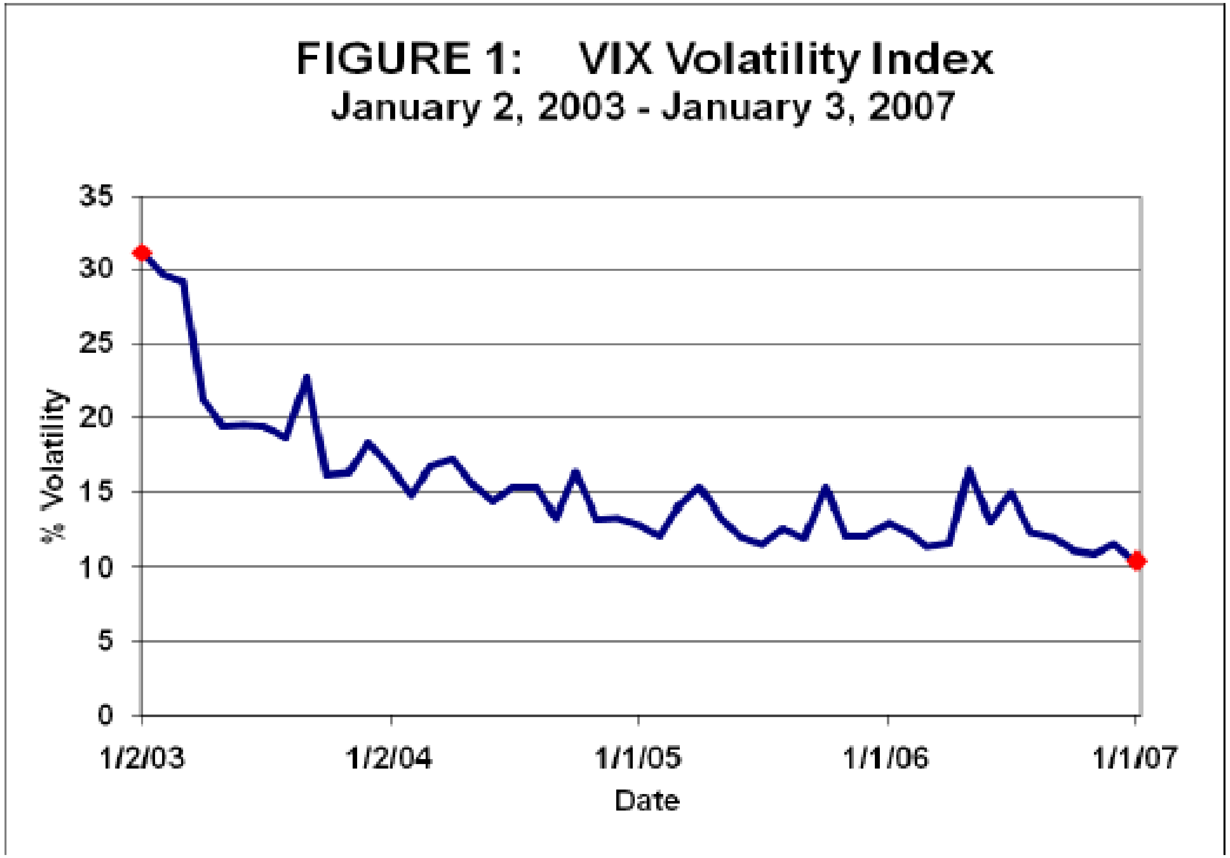
- 导致信用风险价格被低估；

但我不认为这是主要问题；

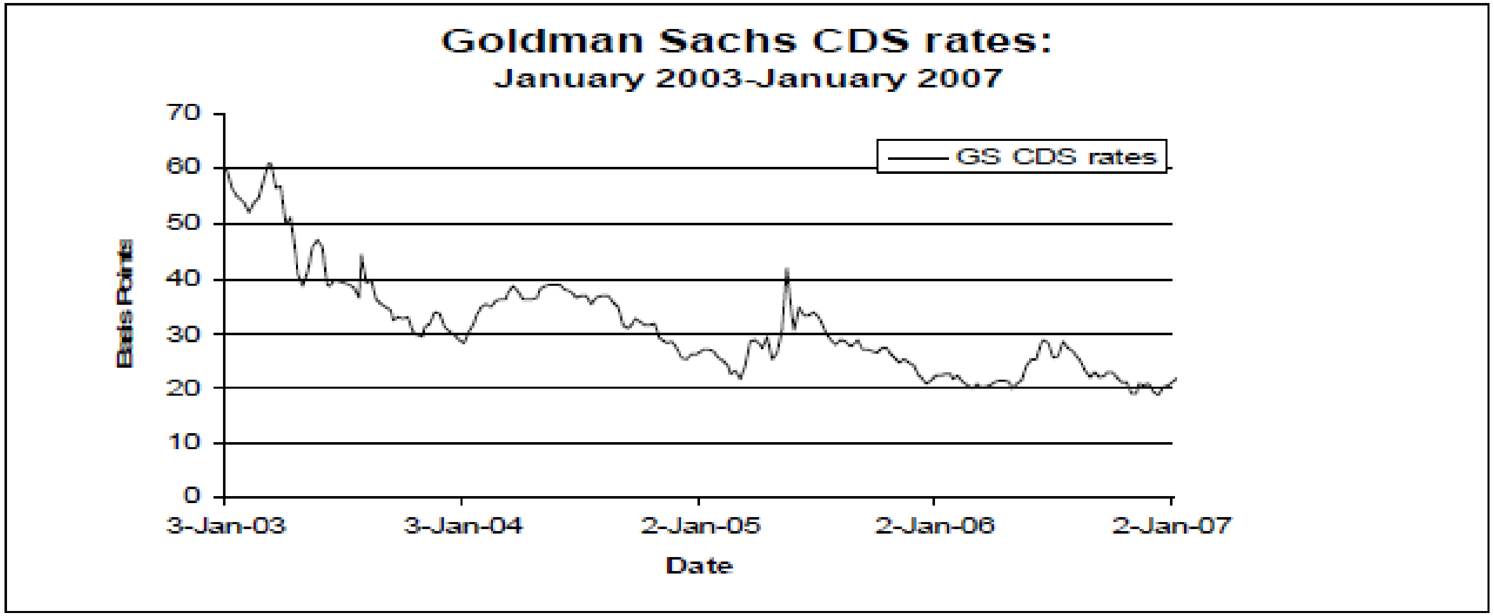
关键是，模型中对波动性所做出的假设

次贷危机之前：2004-2007年

市场波动及信用价差较低：“格林斯潘政策”



5年中违约风险补偿不断下降（2003/1-2007/1）



持续的低波动性导致：

- 高信用评级和低信用价差；
- 银行及其他金融中介机构的高杠杆率；

次贷危机期间:

2007年中期，资产价格下降以及高杠杆率导致：

- 资产被迫变现，从而其价格下降，波动性上升；
- 最优杠杆率降低，导致进一步出售资产以减少负债；

正如Gennotte and Leland (“Market Liquidity, Hedging, and Crashes”, *AER 1990)*所述，这就导致了：

- 恶性循环：出售导致进一步出售；
- 均衡价格从根本上下降；
- 类似于保证金交易（1929年）、投资组合保险（1987）等；
- 不良资产救助计划对资产被迫变卖起到了一定作用；

<u>谁是罪魁祸首？潜在元凶如下</u>：

- 按揭代理商的动机；
- 新型结构化债券产品的复杂性（如CDO）；
- 投资者的不理性（而投资者则归咎于评级机构）；
- 信用评级机构；
- 会计制度（按市价计值）；
- 监管不到位（如CDS市场）；

然而，另外一大原因在于大家过度相信宏观风险已由美联储和格林斯潘控制住

不理性吗？2007年前后市场波动性显然都不低！

这已经不是第一次我们错误的相信世界发生了根本性的变化（互联网泡沫时也如此）

最后：关于加强数据提供的提议

- 呼吁将部分场外交易产品改为交易所交易；
  - 自然，大部分场外交易仍可继续保持

- 场外交易下，头寸大小和风险难以明确，形成了系统风险
  - 然而为了合理定价，卖方需要考虑各方强制变现的风险
    类似情况诸如投资组合保险规模不为市场参与者所知，或是流动性风险较高等

提议：由证券交易委员会和美联储收集投行、对冲基金的场外交易头寸，并公之于众；

——对系统风险的认识更加明确，定价也就更为准确

附录：定价推导

随机过程：假设***CF(t)***为当前付给权证持有人的税后现金流，在风险中性的扩散并带跳的情况下：

$dCF(t) = \mu CF(t)dt + \sigma CF(t)\, dZ(t)$　　如在t及之前未出现跃点

$\quad = -kCF(t_{-})$　　如在t时发生跃点，

其中k为出现跃点导致现金流损失的比率

此处跳跃遵循常风险中性参数λ，因此t前没有跳的概率为 $e^{-\lambda t}$.

现金流的预期增长率为：$E[dCF(t)/ CF(t)] = (\mu - \lambda k)dt$

注意：若扩散值或出现跃点，则发生违约。此时如果是V(t)到达限值则债务价值为(1-α)，如果是跃点则为(1-k)V(t)

不失一般性，设当前时间t=0，价值V=V(0)

无风险利率：r

V，t=0时全股本融资企业价值：$V = CF/(r - \mu + \lambda k)$,

V(t)，不包括跃点时，有风险中性过程：$dV/V = gdt + \sigma dZ$

此时可给出风险中性下回报率r：$g = r - \delta + \lambda k$

分红率（占跳前价值的比率）： $\delta = CF/V \;= r - \mu + \lambda k$

结合上述结果有： $g=\mu$

破产费用： α

t时违约的累积频率： $F[t;\, V,\, V_B]$ (or F)

一阶导： $f[t;\, V,\, V_B]$ (or f)

显然后一方称取决于增长率g和σ，此处不再赘述。

用h表示流动性溢价，故而债权人对于其现金流的贴现率为r+h，给定h，债的价值为：

$$D(h) = \int_0^{\infty} e^{-(r+h)t}(C+mP)e^{-mt}(1-F)e^{-\lambda t}dt + (1-\alpha)V_B\int_0^{\infty} e^{-(r+h)t}e^{-\lambda t}e^{-mt} f\, dt$$

$$+ (1-k)\int_0^{\infty} e^{-(r+h)t}e^{-mt}(e^{gt}V)\lambda e^{-\lambda t}(1-F)dt$$

第一项为折价利息与本金之和，到期后此项以m的速率指数递减注意仅当违约限值未被触及（这一概率为1-F），以及跃点没有出现（这一概率为$e^{-\lambda t}$）时才有利息支付。第二项是t时达到限值的折现收益乘以未出现跃点的概率。注意由于此时债权只具有总价值比率的 e^{-mt}，因此 在二、三项中出现。最后一项是t时出现跃点的价值（其发生概率为$\lambda e^{-\lambda t}$），再减去(1-F)；限值 在跃点出现前达到。待跳的违约有预期值(1-k)V(t)，其中预期值$V(t) = Ve^{gt}$ 且V是当前公司价值。在之前没有跃点的条件下，V(t)以速率g增长；而当包括了预期的跃点损失后，增长速率为r。

对第一项和最后一项积分可得：

$$D(h)=\frac{C+mP}{r+m+\lambda+h}(1-\int_0^\infty e^{-(r+m+\lambda+h)t} f\,dt)+(1-\alpha)V_B\int_0^\infty e^{-(r+m+\lambda+h)t} f\,dt$$
$$+\frac{\lambda(1-k)V}{r+m+\lambda+h-g}(1-\int_0^\infty e^{-(r+m+\lambda+h-g)t} f\,dt)$$

现在我们时用一阶导中的核心结果　　　　，其中dV/V遵循带以速率g漂移的对数布朗运动：

$$dV/V = g dt + \sigma dZ$$

$$q(z,V,V_B)\equiv\int_0^\infty e^{-zt} f(t;V,V_B)dt=\left(\frac{V}{V_B}\right)^{-y(z)},$$

where

$$y(z)=\frac{(g-.5\sigma^2)+((g-.5\sigma^2)^2+2z\sigma^2)^{0.5}}{\sigma^2}$$

由于g=μ，债权价值方程可整理为：

$$D(h)=\frac{C+mP}{r+m+\lambda+h}(1-\left(\frac{V}{V_B}\right)^{-y1})+(1-\alpha)V_B\left(\frac{V}{V_B}\right)^{-y1}+\frac{\lambda(1-k)V}{r+m+\lambda+h-g}(1-\left(\frac{V}{V_B}\right)^{-y2})$$

where

$$y_1(h)=y(r+m+\lambda+h)=\frac{(g-.5\sigma^2)+[(g-.5\sigma^2)^2+2((r+m+\lambda+h)\sigma^2]^{0.5}}{\sigma^2}$$

$$y_2(h)=y(r+m+\lambda+h-\mu)=\frac{(g-.5\sigma^2)+[(g-.5\sigma^2)^2+2((r+m+\lambda+h-g)\sigma^2]^{0.5}}{\sigma^2}$$

部分股本融资企业股权人现金流价值

股权人计算现金流折现时不考虑其他的风险补偿。部分股本融资企业股权价值反映了全股本融资企业的价值加上因支付利息节约的税费，再减去违约费用和所有者所持有债务的现金流。其折现率为r而非r+h，总价值为D(0)。因此，股本价值为：

$$E = V + TS - DC - D(0),$$

税盾则在公司运行期提供了恒定的现金流τC，其价值为：

$$TS = \int_0^\infty e^{-rt}\tau C(1-F)e^{-\lambda t}dt$$

$$= \frac{\tau C}{r+\lambda}(1-\left(\frac{V}{V_B}\right)^{-y3})$$

$$where$$

$$y_3 = y(r+\lambda) = \frac{(g-.5\sigma^2)+[(g-.5\sigma^2)^2+2((r+\lambda)\sigma^2]^{0.5}}{\sigma^2}$$

违约费用为：

$$DC = \alpha V_B \int_0^\infty e^{-(r+\lambda)t} f\, dt$$
$$= \alpha V_B \left(\frac{V}{V_B}\right)^{-y3}$$

最优违约限值：

在给定V下股权价值为：

$$E = V + TS - DC - D(0)$$
$$= V + \frac{\tau C}{r+\lambda}(1 - \left(\frac{V}{V_B}\right)^{-y3}) - \alpha V_B \left(\frac{V}{V_B}\right)^{-y3}$$
$$- \frac{C + mP}{r+m+\lambda}(1 - \left(\frac{V}{V_B}\right)^{-y4}) - (1-\alpha)V_B \left(\frac{V}{V_B}\right)^{-y4} - \frac{\lambda(1-k)V}{r+m+\lambda-\mu}(1 - \left(\frac{V}{V_B}\right)^{-y5})$$

注意：由于股权价值的折现不同于债券，此时我们需要假设h=0

当 $dE(V)/dV\,|_{V=VB} = 0$ 时V处于最优水平，此时违约发生：

$$V_B = \frac{\frac{(C+mP)y_4}{(r+m+\lambda)} - \frac{TCy_3}{(r+\lambda)}}{1 + (1-\alpha)y_4 + \alpha\, y_3 - \frac{\lambda(1-k)}{(r+\lambda+m-\mu)} y_5}$$

where

$$y_4 = y(r+m+\lambda) = \frac{(g - .5\sigma^2) + [(g - .5\sigma^2)^2 + 2((r+m+\lambda)\sigma^2]^{0.5}}{\sigma^2}$$
$$y_5 = y(r+m+\lambda-\mu) = \frac{(g - .5\sigma^2) + [(g - .5\sigma^2)^2 + 2((r+m+\lambda-g)\sigma^2]^{0.5}}{\sigma^2}$$

模型参数

不能观察到的参数及其实证估计：

a) 跃点风险λ=0.003，与A级债券违约率相同（基于Moody数据）；
b) 债券流动性溢价h_0=60基本点（与Longstaff, Mithal, and Neis (2005)一致）；
c) CDS流动性溢价h_1=0（CDS利率只考虑信用风险）（ Blanco, Brennan, and Marshall (2005), Zhu (2006) ）；
d) 企业税率（净值）=25%；
e) 违约费用（高盛20%，摩根大通15%）与评级的分摊率一致

跃点风险、违约费用及CDS流动性溢价允许显著差异