**招商银行FRTB市场风险监理项目（一期）**

**利率和固定收益类线性产品模型验证报告**

**奕酷高科技（深圳）有限公司**

# 目录

[目录 2](#_Toc21823)

[1 利率互换（Interest Rate Swap, IRS） 4](#_Toc1313)

[1.1 产品概述 4](#_Toc24189)

[1.2 定价模型 4](#_Toc19411)

[1.3 数据来源 5](#_Toc14917)

[1.4 概念验证（POC） 5](#_Toc9086)

[1.5 批量验证 7](#_Toc594)

[1.6 附录 7](#_Toc11721)

[2 债券（Bond） 7](#_Toc19774)

[2.1 产品概述 7](#_Toc23622)

[2.2 定价模型 8](#_Toc11813)

[2.3 数据来源 8](#_Toc9744)

[2.4 概念验证（POC） 9](#_Toc30309)

[2.5 批量验证 9](#_Toc6930)

[2.6 附录 9](#_Toc29240)

[3 信用违约互换（CDS） 9](#_Toc19120)

[3.1 产品概述 9](#_Toc24379)

[3.2 定价模型 10](#_Toc24757)

[3.3 数据来源 12](#_Toc5156)

[3.4 概念验证（POC） 12](#_Toc12976)

[3.5 批量验证 13](#_Toc19252)

[3.6 附录 13](#_Toc2335)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **版本** | **交付物** | **提交人** | **验收人** | **复核人** |
| 1.6 | 《利率和固定收益类线性产品模型验证报告》 | 叶舟 |  |  |
|  |  |  |  |  |

招行现存的利率和固定收益类线性产品涉及8个种类。EQ通过自建模型计量引擎，对以下3种Typology的所有Live交易进行了批量验证。



对剩余的线性产品OIS，Callable Bond，ABS, MBS和Xccy Swap，EQ已经完成模型构建和POC验证，批量验证和误差排查将在二期报告完成。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **序号** | **交付物** | **S.O.W** |
| 1 |  | 2.2.3计量模型验证 |

# 

# 利率互换（Interest Rate Swap, IRS）

## 产品概述

IRS，利率互换或利率掉期，是交易双方在约定期限内按不同的利息计算方式（固定利率与浮动利率）分期向对方支付由币种相同的名义本金金额所确定的利息。利率互换采用净额支付的方式，即双方不交换本金，按期由一方向另一方支付本金所产生的利息净额。

## 定价模型

固定-浮动利率互换的定价是通过计算两条腿（leg）的现金流折现之和得到的。假设一个互换的浮动腿和固定腿分别有 和 笔现金流；对于每一笔现金流 ，应计期（accrual period）开始于 结束于 ，并在 进行现金交割。对于浮动腿的第 笔支付，需要计算 到 之间的远期利率（forward rate） ：

其中， 是 到 的折现率（discounting factor）， 是使用给定的日计数基准（day count convention）计算得出的 到 之间的年份数（year fraction）。互换的净现值（Net Present Value, NPV）可以通过以下方法计算得到：

为第 笔现金流对应的本金， 为固定腿的固定利率。

在敏感度计量方面，EQ和Murex一样，都是通过计量DV01 ，也被称为 DVBP，PV01 或基点价值，来计量利率敏感度。DV01 特定指收益率曲线平移一个 BP （即 0.01%）时，互换估值的变化。当折线曲线与远期曲线不同时，将对两条曲线分别计算DV01。EQ计量可以支持振动Zero Curve或者Instrument Curve。

## 数据来源

从Murex 数据库中抽取到以下字段用于利率互换的构建与定价：

|  |  |
| --- | --- |
| **字段名称** | **备注** |
| Leg1\_effective\_date | 支付初始计算时间，用于生成支付时间表 |
| Leg1\_termination\_date | 支付终止计算时间，用于生成支付时间表 |
| Leg1\_pmt\_freq | 支付频率，用于生成支付时间表 |
| Leg1\_pmt\_bus\_center | 支付日历，用于生成支付时间表 |
| Leg1\_pmt\_bus\_day\_convention | 支付时间调整方法，用于生成支付时间表 |
| Leg1\_termination\_date\_convention | 支付终止时间调整方法，用于生成支付时间表 |
| Leg1\_schedule\_gen\_rule | 支付时间表的生成方法，用于生成支付时间表 |
| Leg1\_roll\_date | 支付的roll date，用于生成支付时间表 |
| Leg1 | 支出/收益 |
| Leg1\_leg\_type | 固定/浮动 |
| Leg1\_notional | 利率互换的本金 |
| Leg1\_Discount\_curve | 贴现曲线 |
| Leg1\_floating\_rate\_index | 浮动利率的index |
| Leg1\_estimation\_curve | 用于远期利率 |
| Leg1\_day\_count\_fraction | 日计数基准 |
| Leg1\_fixed\_rate\_or\_spread | 固定利率 |
| Leg1\_fixing | 用于确定fixing date |

## 概念验证（POC）

在POC验证中，选取了以下交易以覆盖不同的货币，index 和支付频率。除第四笔交易外，其他交易的净现值差异均在0.01%之内。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **交易号** | **浮动腿 Index** | **固定腿频率** | **EQ NPV** | **Murex NPV** |
| 16424 | USD LIBOR 6M | Semi Annually | -838,302 | -838,302 |
| 2137723 | CNY SHIBOR 3M | Quarterly | -2,861,789 | -2,861,789 |
| 5043176 | USD LIBOR 3M | Semi Annually | -330,782 | -330,782 |
| 10595876 | USD LIBOR 3M | Quarterly | -14,850 | -14,811 |

进一步的检验显示，10595876 存在一个非标准的支付期限，2022/03/21 - 2022/03/28 小于标准的3个月长度。Murex 在处理short stub period时，使用一个标准期限长度计算远期利率，即使用2022/03/21 - 2022/06/21的远期利率；而EQ使用的是2022/03/21 - 2022/03/28的远期利率。EQ认为 Murex 的计算方法更加准确；在调整计算方式之后，净现值差异在0.01%之内。





对以上四个交易，计算了利率曲线的敏感度并与Murex 对比，误差均在0.01%以内。下图为交易16424 的敏感度结果。对16424的净现值与敏感度的分析可以在附录中查看。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **曲线** | **到期日** | **EQ DV01** | **Murex DV01** |
| USD: STD | 1D | 0.5 | 0.5 |
| 1W | 0.1 | 0.1 |
| 1M | 5.5 | 5.5 |
| 2M | 2.4 | 2.4 |
| 3M | 4.4 | 4.4 |
| Sep 21 | 17.3 | 17.3 |
| Dec 21 | 15.8 | 15.8 |
| Mar 22 | 13.8 | 13.8 |
| Jun 22 | 10.5 | 10.5 |
| Sep 22 | 8.5 | 8.5 |
| Dec 22 | 4.6 | 4.6 |
| Mar 23 | 3.1 | 3.1 |
| USD LIBOR 6M | 1D | 0.3 | 0.3 |
| 1W | 0.0 | 0 |
| 1M | 114.1 | 114.1 |
| 2M | 49.3 | 49.3 |
| 3M | -366.7 | -366.7 |
| Sep 21 | 355.0 | 355 |
| Dec 21 | 454.4 | 454.4 |
| Mar 22 | 460.3 | 460.3 |
| Jun 22 | 462.9 | 462.9 |
| Sep 22 | 480.7 | 480.7 |
| Dec 22 | 429.1 | 429.1 |
| Mar 23 | 285.3 | 284.3 |

## 批量验证

EQ共对系统中的3338笔利率互换进行了批量验证，其中XXX笔的净现值误差在0.01%，XXX笔的PV01误差在0.01%。

TODO: 差异分析

## POC及批量验证附录

POC验证报表：



批量验证报表：

# 债券（Bond）

## 产品概述

债券是发行者为筹集资金而发行、在约定时间支付一定比例的利息，并在到期时偿还本金的一种有价证券。

Bond Typology在Murex中包括以下各种债券类型：

债券结算代理/债券（外币) /债券（本币）/柜台国债/私募债券/交易所中小企业私募债(本币一,二级市场)/交易所中小企业私募债（外币）/债券发行/现券买卖 （本币，一级市场）/现券买卖 （本币，一级市场)/银行间私募债券ppn（本币一级市场）/银行间私募债券ppn（本币二级市场）/银行间私募债券ppn（外币），次级债, 同业大额存单（NCD）,优先股。

## 定价模型

债券定价主要采用贴现模型。

对于每年支付的利息C，按m次支付，则债券的价格或者净现值为：

Diagram

Description automatically generated with medium confidence

或者根据到期收益率（Yield to Maturity），剩余到期年薪n，债券面值F和每年支付的利息c来计量债券价格：

Diagram

Description automatically generated

债券价格有市场价格和理论价格之分。一般选取相应的收益率曲线进行贴现计算理论价格（Theoretical Price），理论价格与市场定价（MtM Price）之间的差异通常称为OAS spread，即需要将无风险收益率曲线往上平移多少 BPs ，使得债券的估值恰好等于市场价格。OAS 代表着一个债券的风险补偿，特别是信用风险和流动性风险。如果风险一样的两个债券， OAS 高的那个债券被相对低估， OAS 低的那个债券被相对高估。

对于Bond类产品，EQ和Murex一样，都是通过计量DV01，也被称为 DVBP，PV01 或基点价值，来计量利率敏感度。DV01 特定指收益率曲线平移一个 BP （即 0.01%）时，债券估值的变化。EQ敏感度计量可以支持振动Zero Curve或者Instrument Curve。DV01可以使用在任何合适的收益率曲线上。



目前Murex仅使用一条收益率曲线来计量敏感度DV01，CS01与DV01相等，不能反映回收率对CSR资本金的减少效应。

Diagram, schematic

Description automatically generated

经过与行方多轮讨论和样本测试，EQ建议行方可使用无风险利率曲线和proxy CDS信用利差曲线组合进行敏感度计量，准确计量DV01和CS01，CS01可反映回收率，进而可有效降低CSR资本金要求。由于债券采用MTM估值，因替换曲线产生的差异部分被由市场价格推算出的调整利差补齐。

Diagram, schematic

Description automatically generated

定义 csi=-1/n \* ln(NPD)i，则 csi 可看作是基于无风险利率的信用利差曲线 (credit spread curve) 。当 rfi+csi 与 yi 相同时，PV01=CS01；若两条曲线存在差异，PV01 与 CS01 的差异主要来自于债券的凸度（convexity）。CS01的探讨详见附录“FRTB CSR实施方案探讨”。

## 数据来源

从Murex 数据库中抽取到以下字段用于债券产品的构建，定价和敏感度计算：

## 概念验证（POC）

在POC验证中，选取了以下交易以覆盖不同的货币和index。由于债券是按市值计价（Mark to market, MTM），在POC中对OAS进行对比，EQ计量结果与Murex的误差在0.01 bps 之内，PV01误差在0.1%。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **交易号** | **折现曲线** | **浮动腿 Index** | **EQ OAS** | **Murex OAS** |
| 170210.IB | CNY INTBK FIX POLICY BK 1Y |  | 0.005346% | 0.005346% |
| 130018.IB | CNY INTBK GOV 1Y |  | -0.3064% | -0.3064% |
| US06738EBF16 | USD FIN BBB 1Y | USD LIBOR 6M | -2.1280% | -2.1280% |









## 批量验证

EQ共对系统中95112笔债券进行了批量验证，估值日为2021/11/1。其中与Murex DV01误差在0.01%以内的交易有92550笔，误差在0.01%-0.1%有2427笔，误差在0.1%-1%有32笔；误差大于1%有103笔。

EQ对误差大于1%的交易进行了分析，其中38笔是永续债DV01误差在5%左右，由于EQ系统中的日期最多支持到2199年，目前无法对永续债非常精确的计量。剩余交易中25笔目前抽取的日期不对，贴现曲线误差导致21笔，1笔Murex没有sensitivity信息。

## POC及批量验证附录

POC验证报表：



批量验证报表：

# 信用违约互换（CDS）

## 产品概述

信用违约互换(credit default swap，CDS)是国外债券市场中最常见的信用衍生产品。 实际上是在一定期限内，买卖双方就指定的信用事件进行风险转换的一个合约。 信用风险保护的买方在合约期限内或在信用事件发生前定期向信用风险保护的卖方就某个参照实体的信用事件支付费用，以换取信用事件发生后的赔付。

该Typology包括Credit Default Swap(CDS) （外币）/信用风险缓释合约（CRMA）/CDS（本币）。

## 定价模型

CDS的定价模型EQ和Murex均使用2009 年 2 月国际互换与衍生品协会(ISDA)发布的 ISDA CDS 标准模型，该模型具体实现功能包括：传统信用保险费率到提前支付金额的转换、CDS 理论价格计算、信用违约风险期限结构构建、市场风险敏感度指标（IR01、CS01、JTD）计算等。

ISDA CDS模型中的利率曲线构建与IRS是一致的，此处不再重复赘述。

在信用风险定价方面，ISDA 标准模型直接应用简约化模型(Reduced-Form Model)的结论对违约风险率建模，该模型假设违约事件为泊松分布，违约强度为𝜆(𝑡)， 其中𝜆(𝑡)为时变函数，从𝑇0开始，参考实体在任意间隔时间 t 到 T 的的幸存概率为：

A picture containing text

Description automatically generated

类比于短期利率模型，𝜆(𝑡)类似于 Short Rate，由此，可以类似于 HJM 模型中的瞬时 远期利率𝑓(𝑡, 𝑇)，定义瞬时远期违约率ℎ(𝑡, 𝑇)，ℎ(𝑡,𝑡) = 𝜆(𝑡)，进而得到幸存概率与瞬 时远期违约率之间的关系：

A picture containing text

Description automatically generated

𝑇0：交易日 𝑇

𝑠𝑡𝑒𝑝−𝑖𝑛：保险开始日，通常为交易日的下一日历日

𝑇𝑠𝑒𝑡𝑡𝑙𝑚𝑒𝑛𝑡：交割日，标准 CDS 交割日为𝑇0+3 个交易日

𝑇𝑀：信用保险到期日

𝑁𝑃𝑉(𝑇0)：以今天为参考点的 CDS 合同价值

𝑀𝑉( 𝑇𝑠𝑒𝑡𝑡𝑙𝑒𝑚𝑒𝑛𝑡)：CDS 净价，类似于债券净价 𝑃𝑉

𝑃𝑟𝑒𝑚𝑖𝑢𝑚(𝑇0 )：保费边折现(信用+利率)到交易日价格 𝑃𝑉

𝑃𝑟𝑜𝑡𝑒𝑐𝑡𝑖𝑜𝑛(𝑇0 )：被保方折现(信用+利率)到交易日价格

𝑁：CDS 合同金额

𝑆：CDS 市场交易保险费率

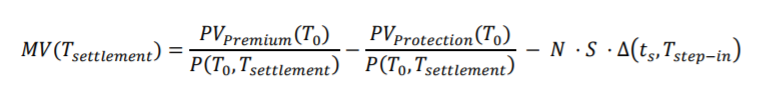
𝑅𝑅(𝑡)：收复率，当发生违约事件后，清算后债权人可收复债务比例。

从 CDS 卖出方角度看，CDS 在交易日理论价值为：

Text

Description automatically generated with medium confidence

在 ISDA 标准合同中，由于合同的开始时间和付息时间只能为每年的 3 月 20 日、6 月 20 日、9 月 20 日和 12 月 20 日（节假日递延），但标准合同在交易时间可以为任意交易日，所以交割双方面临的问题是，在下一付息日所付保费为当期全额保费而实际保险日期为交易日到下一付息日的部分保险期，因此，保险提供方有必要在交割日（+3 交易日）退还部分保费，以交割日为基准，净价如下:



保险购买方在信用违约事件发生时实际获得的赔偿净值为𝑁 (1 − 𝑅𝑅(𝑡))，实际操作中由于𝑅𝑅(𝑡)并非确定值，而违约交割方式可以为现金、债务资产等不同方式，此处的相对简化。被保方的净值期望值如下：

Text

Description automatically generated

在假设𝑅𝑅(𝑡), 𝑟(𝑡) 和 𝜆(𝑡)概率独立，并且𝑅𝑅(𝑡)为常数的条件下，公式可简化为：

Text, whiteboard

Description automatically generated

在计算该公式积分时，将用到上文提到的假设瞬时远期利率和违约强度为分段常数的假设，积分可被拆为分段求和。

保费收取方的计算相对复杂，其价值实际由两部分组成：一部分是在未发生风险事件 的前提下，保费的折现（利率+信用）价值，另一部分是在某一被保期中间发生信用事件，其在信用事件发生前应得部分保费：

Text, letter

Description automatically generated

同样在𝑟(𝑡) 和 𝜆(𝑡)概率独立的前提下，该公式可简化为：

Text, letter

Description automatically generated

在敏感度计量方面，类似于债券类产品，EQ和Murex一样都支持对CDS产品的DV01和CS01的计量。DV01为振动无风险利率曲线1个基点得到的CDS估值变化，CS01为振动信用利差曲线1个基点得到的CDS估值变化，将用到上文提到的非违约概率（NPD）构建信用利差曲线。

Diagram, schematic

Description automatically generated

Diagram, schematic

Description automatically generated

## 数据来源

CDS产品和危险率（Hazard Rate）曲线的构建需要首先生成计息时间表，需要用到一下字段

|  |  |
| --- | --- |
| **字段名称** | **备注** |
| effectiveDate | 计息初始计算时间 |
| terminationDate | 计息终止计算时间 |
| tenor | 计息频率，通常为按季度支付 |
| calendar | 计息日历 |
| BusinessDayConvention | 计息时间调整方法 |
| DateGenerationRule | 计息时间表的生成方法，通常使用 IMM 日期生成标准（即3月，6月，9月，12月的20日） |

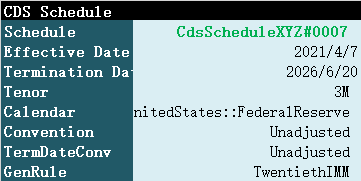
之后，需要以下字段来完成产品构建

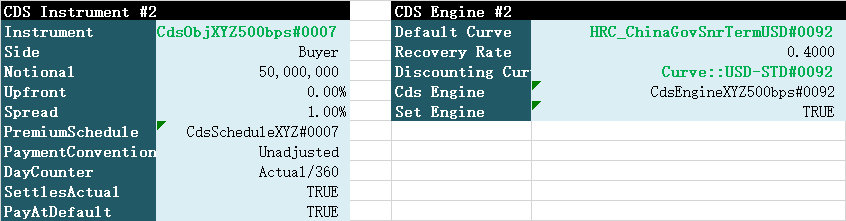
|  |  |
| --- | --- |
| **字段名称** | **备注** |
| side | 买/卖保护 |
| notional | 名义本金 |
| spread | 交易时的CDS点差 |
| paymentConvention | 支付时间调整方法 |
| dayCounter | 计息的日计数基准 |
| settlesAccrual | 是否在违约事件发生后支付应计票息 |
| paysAtDefaultTime | 发生违约事件后的付款时间（违约时间或者应计期结束时间） |
| protectionStart | 保护的开始时间 |
| rebatesAccrual | 保护卖方是否在交易开始时支付应计票息。 |
| cashSettlementDays | 从交易日期到现金结算日期的工作日数 |

## 概念验证（POC）

EQ共对系统中的1笔CDS进行了POC验证，该交易在2021/11/1已经变为Dead状态。因此调整估值日期为2021/7/30，EQ计量结果与Murex存储的净现值误差在0.02%，PV01误差在0.24%。

Murex数据库中未发现CS01的存储计量结果，EQ对该敏感度进行了代码验证和手工验证的比对，结果吻合。











## 批量验证

EQ检查了目前招行现存的CDS交易，未发现任何现存Live交易。批量验证结果同3.4 POC验证。

## POC及批量验证附录

POC与批量验证结果相同：



# 结论及建议

EQ通过自建模型计量引擎，对招行主要的3种利率、信用类产品（IRS/Bond/CDS）的所有Live交易进行了POC和批量验证，验证过程中发现的模型计量和数据问题如下。

1. Murex敏感度存在数据缺失，见2.5批量验证。
2. 对于Bond类产品，目前Murex仅使用一条收益率曲线来进行估值，CS01与PV01相等，不能反映回收率对CSR资本金的减少效应。经过与行方多轮讨论和样本测试，EQ建议行方可使用无风险利率曲线和proxy CDS信用利差曲线组合进行债券估值和敏感度计量，准确计量PV01和CS01，CS01可反映回收率，进而可有效降低CSR资本金要求。详见附录“FRTB CSR实施方案探讨”。
3. Murex数据库中未发现CDS CS01的存储计量结果，见3.4。

# 附录

FRTB CSR实施方案探讨PPT：