

解构Pendle机制

作为这轮行情最为成功的DeFi项目，Pendle凭借着市场对PointFi一波狂热TVL从年初开始指数上涨，目前已经超越Uniswap在所有协议中排名第五。代币价格相较于年初涨幅超过700%并且在市场回调下价格仍然保持韧性，在整体以太坊生态低迷的行情下显得相当亮眼。本文旨在梳理Pendle协议的底层机制来帮助市场更好的了解Pendle时如何运行的。

Pendle DEX

Pendle本质来说是一个AMM DEX，我们可以通过将其于Uniswap之类的CFMM类比来更好的理解Pendle的运行机制。我们主要聚焦于以下问题的解答：

1. Pendle如何实现对资产的定价
2. Pendle上的交易时如何完成的

1. Pendle如何实现对资产的定价

Pendle的资产池中的两种资产分别是SY代币和PT代币。根据两种代币在池子中的比例，Pendle通过内置的AMM来实现对于PT和YT的定价。

相较于对风险资产进行定价的AMM，Pendle对于生息资产的PT和YT的定价主要有三点区别。

首先生息资产和底层资产的汇率会随着时间变化，我们需要考虑时间变量 t 对AMM的影响。其次生息资产的实际利率是由其底层资产的机制决定而并非通过交易决定的，所以AMM在定价的时候需要以该实际利率为基点。最后许多生息资产的利率的波动率都不高，为了能够容纳更多的交易，AMM需要在一个区间内实现足够高的交易深度来降低交易滑点。Pendle AMM白皮书比较Geometric mean、Yield Space、Notional三种AMM选择使用Notional AMM。

Notional AMM的定价机制如下：在时间 t 时，SY相较于PT的 `exchangeRate`，即PT的定价公式为

$$\text{exchangeRate}(t) = \frac{\ln\left(\frac{p(t)}{1-p(t)}\right)}{\text{rateScalar}(t)} + \text{rateAnchor}(t)$$

两项分别对应利率定价AMM的后两个特点。 $\text{rateAnchor}(t)$ 的值即在实际利率下持有生息资产到池子到期时与底层资产的汇率。如果池子在 n 之后到期，生息资产提供的利息为 r ，则

$$\text{anchorRate}(t) = r^{\frac{n}{365}}$$

$p(t) = \frac{n_{pt}(t)}{n_{pt}(t) + n_{sy}(t)}$ ，表示在交易池中PT所占的比例。在0到1的区间内， $\ln(\frac{p(t)}{1-p(t)})$ 和 $p(t)$ 成正比关系，并且对数使得整体的曲线斜率变化更加平缓。 $\text{rateScalar}(t) = \frac{\text{rateRoot}}{\text{yearsToExpire}(t)}$ ， rateRoot 是为了保证在特定 $p(t)$ 内交易深度而设置的固定参数。例如我们认为 $p(t)$ 从0.1到0.9之间是合理的交易范围并且我们认为合理情况下的最大利率为 rate_{max} 。我们希望设定的合理交易对应的汇率能够覆盖到 1（零利率情况下）和 $(\text{rate}_{max})^{\text{yearsLeft}}$ ，即

$$\begin{aligned} \text{exchangeRate}(0.9) &\geq (\text{rate}_{max})^{\text{yearsLeft}} \\ \text{exchangeRate}(0.1) &\leq 1 \end{aligned}$$

从中我们可以算出 $\text{rateScalar}(t_{start})$ ，即 rateRoot 。

我们通过解析Pendle AMM白皮书中提供的例子来解析这个AMM的运作流程（Scenario 1）。假设池子一共维持两年的时间，normalize之后即 $t_{start} = 1$ and $t_{oneYear} = 0.5$ 以此类推。底层资产的平均年化利率为9%，并且设定 rate_{max} 为20%。在池子最开始时，我们预期的 exchangeRate ，即以平均年化利率为基准持有该资产在两年后的价值为 $1.09^2 = 1.1881$ ，预期的 exchangeRate 即为 $\text{rateAnchor}(1)$ 。同时根据 rate_{max} 和平均年化利率，我们可以算出 $\text{rateRoot} = 8.7226$ 。代入公式，下图红色曲线即为Pendle AMM的 exchangeRate curve。

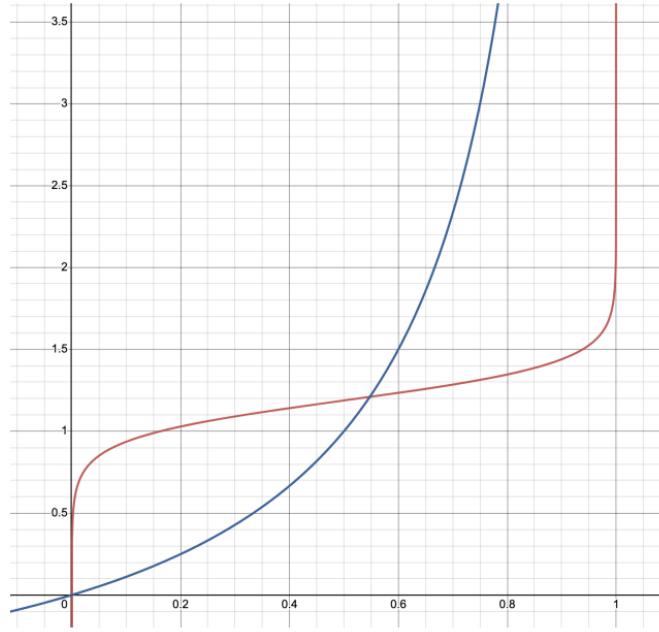


Figure 2: Scenario 1, $t = 1$

和其他两个AMM模型相比（黑色曲线为Geometric mean，黑色为Yield Space，两个在 $t = 1$ 是重合），红色曲线在1.1881附近要更加的平缓，在同等汇率变化下可容纳更多的PT交易。当时间过去一年， $t = 0.5$ 时， $\text{rateAnchor}(0.5) = 1.09$, $\text{scalarRoot} = \frac{8.7226}{0.5} = 17.4452$ 。三个AMM模型的汇率曲线如下，我们可以发现相较于开始的时候，红色曲线变得更加平缓且速率远超其他两个AMM。

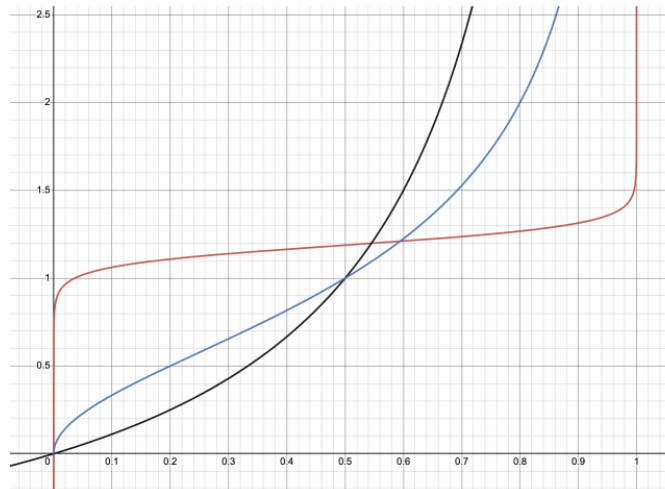


Figure 3: Scenario 1, $t=0.5$

白皮书中还对各种不同的情况进行了学习，总的来说Pendle AMM相较于其他两种AMM在利率市场上的资本利率用更加高效，能够在有效汇率内容拿更多交易量；并且当设置的交易利率范围更狭窄时，高效性也越显著。

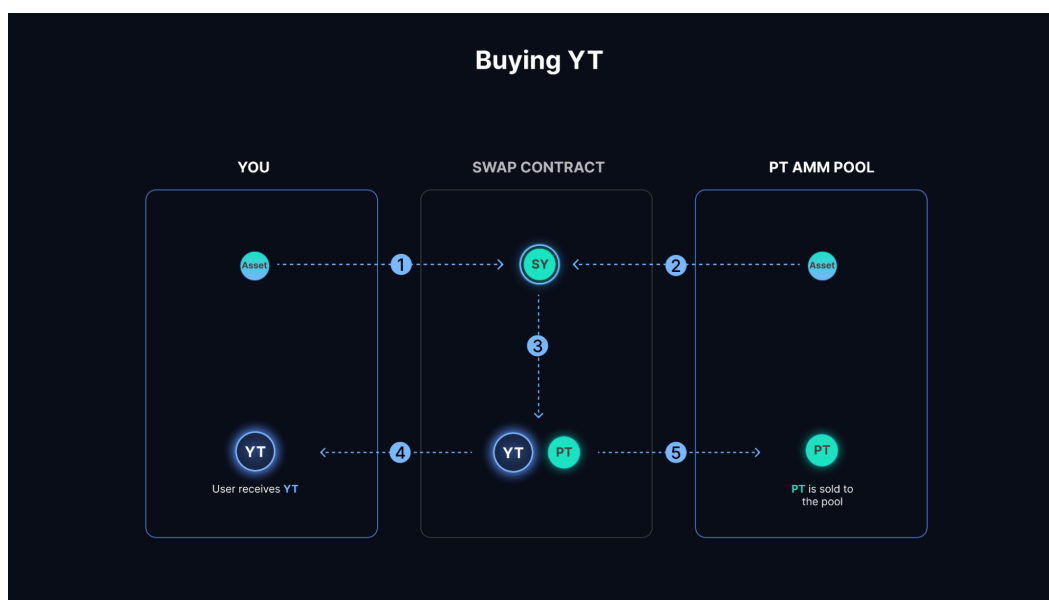
2. Pendle上的交易是如何完成的

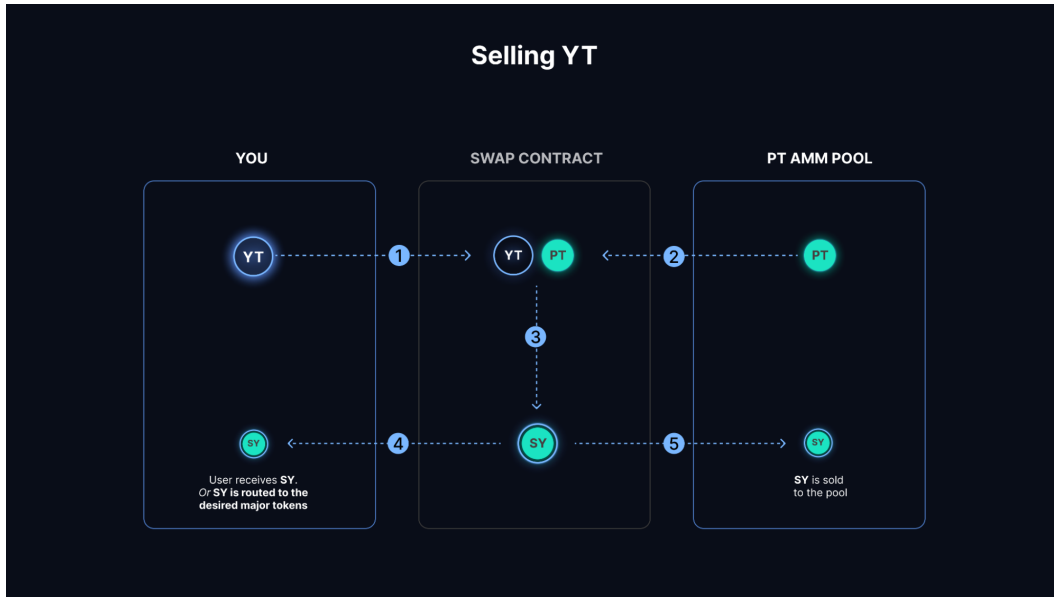
Pendle DEX的交易一涉及两种角色：交易者、流动性提供者（LP）。

我们假设目前交易者手上持有SY。当交易者想要购买PT时，交易池会根据当前exchangeRate置换出对应数量的PT。同理，当交易者想要卖出PT时，交易池会根据当前的exchangeRate置换出对应数量的SY

当交易者想要购买YT时，由于交易池内本身并没有YT，交易合约池子会首先借出相应数量的SY再和交易者的SY一起拆分成YT和PT。交易者获得拆分出来的YT，PT会由交易合约重新卖给交易池。在这个过程中，交易合约相当于一个中介的角色，先通过借出SY再和交易池完成“卖PT，买SY”的过程并最终将借出SY的YT部分卖给交易者。相似的，交易者想要卖出YT的时候，交易合约则先借出PT再和交易池完成“卖SY，买PT”的过程并最终将借出PT和交易者的YT合并成SY卖给交易者。

交易过程中，Pendle会收取所有YT3%的生息收益并且在PT交易时收取相应的交易手续费。两笔费用将全部对应分配给LP和vePENDLE的投票者。





在Pointfi当道的今天，YT的价格一般都要远高于底层资产所提供的利息，交易出来的价格更多体现出来的是市场对于底层资产空头预期的博弈。我们以将在6月27日到期的eETH池子为例，来观察如何通过Pendle来观察市场对对应项目的空头预期以及在过程中是否有相应的套利机会（计算时期为6月14日）。为了简化计算过程，我们省略交易中涉及的各种费率。

目前池子的Underlying APY，即对应eETH在过去7天的平均年化收益率为2.701%。这个数据告诉我们根据eETH目前的收益率，13天后（池子到期时）生息部分的收益为 $(1 + 0.02701)^{\frac{13}{365}} - 1$ 。所以单个YT的价格应该是生息部分除以到期后总值，即

$$\frac{(1 + 0.02701)^{\frac{13}{365}} - 1}{(1 + 0.02701)^{\frac{13}{365}}} = 0.00095 \text{ eETH}$$

而目前YT的市场价格为0.0058 eETH，相当于每个YT都承受了0.00485 eETH的溢价，该溢价部分则对应了市场对于持有eETH的空头预期。从EtherFi的第二季空头规则来看，持有eETH每天可以获得10000的积分，再加上Pendle的双倍积分，13天后一共可以获得130000积分。如果EtherFi继续以线性方式进行第二阶段空投，预期一共可以获得

$$\frac{130000}{3,670,000,000,000} * 50,000,000 = 1.77 \text{ ETHFI}$$

以当前价格来看0.00458eETH的价格(3518)为16USDT，1.77ETHFI的价格(3.79)为6.71USDT，在不考虑EigenLayer空投的情况下，现在价格买入YT承受了相当大的溢

价。YT价值过高代表着PT的价值是被低估的，如果eETH的持有者将eETH置换成PT，那他们将收获这一部分的YT持有者的损失。在EtherFi日渐复杂的积分规则下以及仍在持续膨胀的EtherFi积分下，这里的计算结果仅作参考，更加熟悉相关规则的朋友可以自行计算。

当然，我们也可以通过当前YT和PT的价格来计算出当前价格所体现的隐含收益率，即YT价格所反映的预期APY，

$$\text{Implied APY} = \left[\left(1 + \frac{\text{YT Price}}{\text{PT Price}} \right)^{\frac{365}{\text{Days to Expiry}}} \right] - 1$$

这也是官方用于指导YT/PT交易时更加常见的公式，和计算YT价格的公式是等效的。

和Uniswap V2一样，LP需要同时提供池子中两种资产来进入流动性池。但由于SY和PT本质上都是同一种资产的衍生品，Pendle提供了Zap使得用户可以在只提供SY的情况下成为LP。

Zap通过将用户的部分SY拆分成YT和PT，并将拆分出来的YT卖出来买入PT，最后同时向流动性池提供PT和SY。由于在Zap过程中需要通过流动性池来卖出YT，这一过程会造成对价格的影响。如果LP不想使价格偏移，也可以选择损失一部分LP但是不卖出拆分出来的YT。

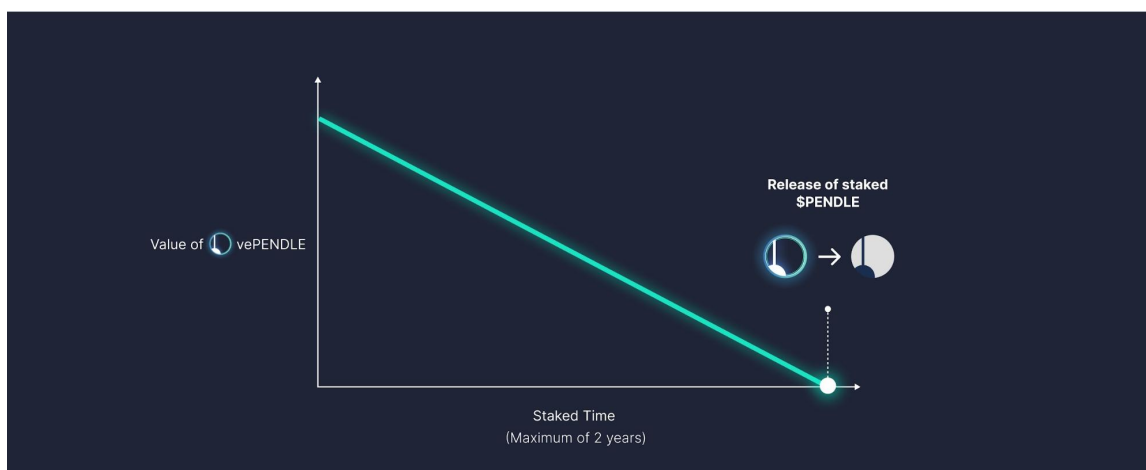
LP的主要收入来源是交易手续费和\$PENDLE激励。LP会收取流动性池中的20%的交易手续费和在vePENDLE持有者投票后分配到的\$PENDLE。对于AMM LP最致命的无常损失(IL)，由于最终PT会1:1赎回底层资产，持有LP直至池子到期不会产生IL。但如果在池子到期前撤出流动性，对于类似于LRT收到空头预期影响的池子来说，由于Implied APY大幅偏离实际利率，LP仍然面临IL损失的风险。

代币经济学

目前\$PENDLE已经完成全部的解锁，总代币量为2.58亿，其中市场上的流通量为1.54亿\$PENDLE，5587万\$PENDLE为锁仓状态。自2022年10月开始，流动性激励会每个星期增发少于上个星期1.1%的\$PENDLE。流动性激励的增发减少直至2026年4月，初始增发量为667705\$PENDLE。



Pendle采用和CRV一样的Vote-escrow模式来为\$PENDLE赋能。用户的vePENDLE价值会随着锁仓时间呈线性下降，最高锁仓期为2年。



vePENDLE共有两部分的收益，分别为基础APY和投票APY。基础APY指vePENDLE持有者基于协议的收益。Pendle会收取所有YT生成利息的3%，这一部分的收益会全部分配给vePENDLE的持有者。同时，如果池子到期后LP没有将自己的PT赎回，部分的未赎回的PT也将被分配给vePENDLE。投票APY指vePENDLE持有基于流动性池投票的收益。vePENDLE的持有者可以给特定的流动性池投票，投票者可以获得该交易池80%的交易手续费。vePENDLE的投票决定了每周的\$PENDLE增发流向，当流动性池得到越多的投票，池子的LP就会分得更多的\$PENDLE收益。

如果vePENDLE的持有者本身就是LP，持有vePENDLE可以帮助LP增加其在每一个流动性池的收益，最高可以达到250%。以此vePENDLE的模型就形成了协议表现和\$PENDLE币价的正向闭环：当Pendle出现TVL上升和交易活跃时会增加vePENDLE持有者的收入；vePENDLE收益的上升会增加市场对vePENDLE需求以抬升\$PENDLE币价；\$PENDLE币价的提升从而增加LP的收益，从而进一步的吸引流动性的进入。在此过程中，如果LP想要极致化自身的收益选择将增发的\$PENDLE奖励锁仓为vePENDLE，会使得这一部分增发的\$PENDLE不会进入市场从而进一步利于币价的抬升。

