

我国暴雨灾害期权的简易设计

沈湛

(厦门大学金融系, 福建厦门 361005)

[文章摘要]: 我国对农业生产的灾后损失补偿还是一种自发的状态, 这对于我国的经济建设的稳定发展实际上是一种阻碍。西方发达国家已经开始尝试利用期权等金融衍生工具对自然灾害造成的损失进行补偿。本文拟利用数值方法为我国提供暴雨灾害期权做简易设计, 并利用保险定价原理对该期权定价。

[关键词]: 暴雨灾害期权、随机微分模型、蒙特卡罗模拟、在险价值法

[Abstract]: The indemnity to the agricultural production in China is still in a spontaneous stage, which is somewhat a curb to economic development. Some western countries had attempted to use derivative vehicles, such as option, to reimburse the loss after natural disasters. In this paper, I table a proposal to set up a new storm option in a numerical approach and price it using the pricing principle of insurance policies.

[Key words]: rainstorm option、stochastic differential model、Monte Carlo simulation、VAR.

一、设计暴雨灾害期权的意义

我国东临西北太平洋, 常年遭受台风的侵袭。台风的登陆或过境往往造成长时间大范围的暴雨, 引发沿海城市或沿江流域洪涝灾害, 给灾区人民群众造成极大的经济损失。1991 年以来的十余次重大暴雨洪涝灾害所造成的直接经济损失即达 5200 亿元人民币以上, 仅 1998 年的长江中下游及嫩江流域特大洪灾的直接经济损失即达 2200 亿元人民币。其中受暴雨洪灾影响最大的当属受灾地区的农业生产。特别是瓜果蔬菜等短期季节性农产品, 一旦遭遇长时间暴雨就会严重减产。但是对于这类农业灾害损失, 政府仅能向农民提供少量生活救济, 数量很少的农业保险也只是“杯水车薪”^①, 大部分损失仍需农民自身承担。这种“靠天吃饭”的局面极大减弱了农民生产的积极性。“民以食为天”, 没有农业的支持经济的快速稳定发展的目标也将成为“空中楼阁”。

现代金融理论的快速发展, 大量新型金融工具被创造出来, 充分满足了城乡居民对自有资产保值增值的需求。但在金融工具创新的浪潮中, 为基础农业开发的新型金融保障产品却始终是个空白。农民成为了金融创新中的“弱势群体”。给政策可以调动农民的生产积极性, 但没有有效的防灾减损的防护体系, 大灾之后农民的生产积极性就会空前低落, 从而阻碍农业生产的稳定发展。如何利用现代金融工具创新为农业提供灾损补偿, 是一个有深远意义的课题。

本文拟利用金融工程原理和相关技术, 根据我国具体情况, 尝试为农民设计一种暴雨灾害损失补偿工具。

二、理论基础、数据收集及软件说明

[作者简介]: 沈湛, 男, (1978.1-), 福建晋江人, 厦门大学 2000 级金融学硕士, 研究方向为风险管理与保险。

^① 1980 年我国恢复国内保险业务后, 保险公司一直都有提供农业保险, 且业务量曾一度快速增长, 但经济效益始终不佳。我国商业保险制度建立后, 保险公司更加重视自身的赢利状况。由于农业保险始终处于“多做多亏, 少做少亏, 不做不亏”的局面, 近年来, 尽管对农业保险的需求大大增加, 农业保险的种类和保额却逐年下降, 萎缩态势明显, 大部分地区仅限量保留一些险种。

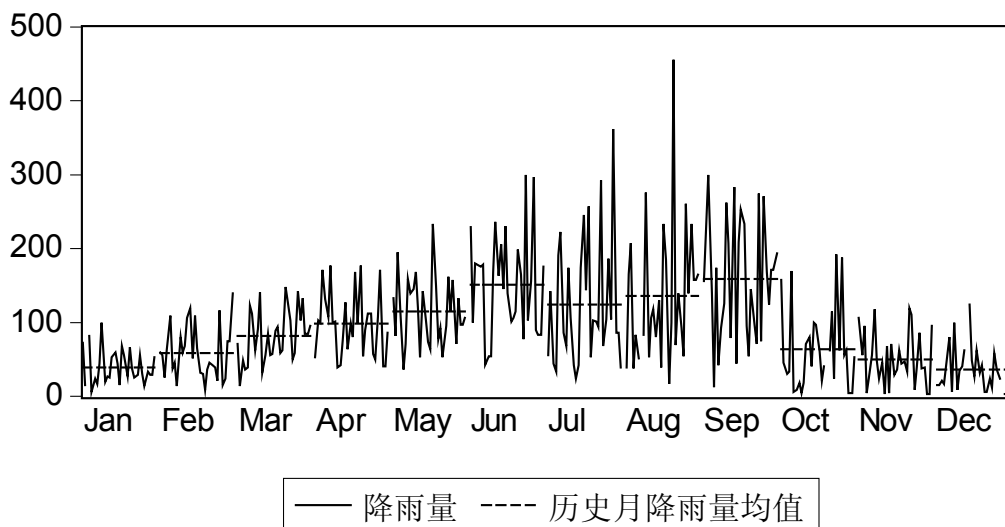
1. 数值方法思路简介

暴雨灾害期权与大多数常见的期权不同,它的标的物(暴雨)不是可交易的商品,没有市场价格。暴雨灾害期权的价值取决于期权有效期内的总降雨量(与整个期间的气候变化有关),因此,无法利用布莱克-斯科尔斯模型(B-S model)定价获得解析解,只能使用模拟的手段取得数值解。本文将利用数值方法尝试对暴雨灾害期权进行定价。首先根据降雨量变动的规律,设计符合规律性的随机微分方程模型,然后利用历史数据估计出模型变量的分布,从估计的分布随机抽样进行蒙特卡罗模拟,最后利用VAR方法(在险价值法)对期权定价。

2. 降雨的自然规律性及连续模型

降雨量变化有其一般规律性,主要存在以下几种趋势:一、持续性,一种气候状况对降雨量的影响会持续一段时间,也就是说,一段时期内的降雨量都受同一种自然气象活动的影响,从而明天的降雨情况(强度、时间)可能有继续保持今天降雨情况的趋势;二、稳定性,从历史的角度来看,一般在同一地区固定月份的降雨量都稳定在一定的变动区间内;三、环境变动性,通常降雨量的变化还要受不确定的自然环境变动因素的影响。图1将每个月份的历史年度数据集合在一起,按月份次序排列,从图中可以明显发现稳定性和环境变动性。

图 1: 月降雨量趋势图



根据降雨量的以上特点,我们尝试建立一个可以反映以上特征的降雨量随机模型为暴雨灾害期权定价服务。为了让这个模型较好地反映降雨变化的特征,模型引入两个随机变量:月降雨量和月降雨改变量^②;试建立连续随机模型如下:

$$dP = [\alpha\theta(t) + \beta P(t)]dt + \gamma\sigma_1(t)dz_1 + \delta\sigma_2(t)dz_2 \quad (1)^{\textcircled{3}}$$

dz_1 与 dz_2 各自服从相应的随机分布。

^② 月降雨改变量=当前月份降雨量-前一月份降雨量 (使用改变量的原因有二:首先,改变量可以更好地反映自然气候因素对降雨量的滞后影响(用日数据效果更明显);其次,可以避免随机模拟时出现同一地点前月大涝后月大旱的异常现象。这种现象在现实世界上出现的概率极低。)

^③ 类似的连续随机模型被运用于气温模拟,详见 Bob Dischel (1999)。

$P(t)$ 代表随着时间变动的月降雨量, 保证模型包含持续性趋势; $\theta(t)$ 代表月降雨量的长期稳定趋势, 在模型中作为均值回归(mean-reverting)因子。 dz_1 和 dz_2 分别代表月降雨量和月降雨变动量的短期波动趋势。

3. 数据来源和软件说明

本文使用中国上海气象观测站 1961-1990 年间各月降雨总量数据^④, 使用软件为 EXCEL2000 和 CRYSTAL BALL 学生版。

三、期权实际设计

1. 离散模型方法简介

实际模拟过程中, 我们并不使用上文的连续方程, 而是根据实际情况将模型简化为离散型的差分方程。简化后的差分方程如下:

$$\hat{P}_{n+1} = \alpha\theta_{n+1} + \beta\hat{P}_n + \gamma\Delta P_{n,n+1} \quad (\text{其中 } \alpha + \beta = 1, \gamma \leq 1) \quad \text{----- (2)}$$

a) 参数设定:

前两项代表降雨量的长期影响因素, 最后一项则代表降雨量的短期影响因素。笔者根据经验设定 β 为 0.8, γ 为 1。这是因为近期的持续性对降雨量的影响作用要大于历史的稳定性, 在利用日数据模拟时, 国外通常将 β 设为 0.94, 但由于本文使用的数据为月数据, 笔者认为将 β 设为 0.8 是合理的^⑤。

b) 变量设定

离散方程 (2) 中, $\theta_n = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T P_{i,n}$ 其中 i 代表实际年度的具体年份, n 代表具体的月份, 在表 1 中, 我们可以采用数据拟合方法获得每个月份降雨量 (每一行数据) 的具体分布 (θ 值即为分布均值); \hat{P}_n 为第 n 月份的预测降雨量; $\Delta P_{n,n+1}$ 代表第 $n+1$ 月份较前一月份的降雨量变动, 在表 1 中, 用下一行的数据减上行数据得到历史各年度同一月份的降雨变动量, 从而拟合获得每个月份 $\Delta P_{n,n+1}$ 的具体分布。原连续方程 (1) 中降雨量 \hat{P}_n 的短期波动则被忽略不计。

表 1: 上海市月降雨总量表(部分) (单位: 毫米)

	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967
4	53	103	99	171	131	107	177
5	133	81	195	115	35	70	159
6	228	100	179	177	175	178	42
7	55	142	43	33	190	222	86
8	38	164	207	37	82	51	64

^④ 数据来源为美国中央气象局网站 (<http://www.ncdc.noaa.gov/pub>)

^⑤ 在数据足够多的情况下, 可以利用最优算法, 拟合出适合我国实际情况的 β 值。

9	155	225	299	138	12	174	42
---	-----	-----	-----	-----	----	-----	----

图表说明：第一列是月份数；第一行是年度数。剩余的方格代表某一年度（列）某一月份（行）的月均降雨量。本表为截取的部分表(实际表格数据个数为 30(年)×12(月))，用于说明模型参数计算的具体操作方法。

2. 期权的存续期

由于暴雨的主要成因是台风，而我国的台风季始于五月终于九月，其他月份持续巨量降雨的可能性明显地减少(从图 1 就可以发现这一趋势)。因此，笔者将暴雨灾害期权的存续期间定为每年的 5 月到 9 月。

根据模拟的要求，我们实际只需得到 5-9 各月的 θ 值和 $\Delta P_{n,n+1}$ 的分布即可。

然后我们再从 4 月份的降雨量分布中随机抽取数据，作为模拟方程的初始赋值，从而利用方程(2)模拟得到 5-9 月各月的降雨量。

3. 消除基差风险

由于气象测量点的地理位置与实际对冲者（期权购买者）的地理位置并不一致，即两个位置的真实降雨量可能会不相同，因而使用暴雨灾害期权对冲会产生基差风险（basis risk）。暴雨灾害期权的基差风险是很难被量化的，因为同一个气象变动即使对同一地区的两个地点也会产生不同的影响。因此，对冲者将其可能受暴雨影响的生产活动尽可能的在整个地区分散是一个很好的减弱基差风险的方法。但是如果资本和生产规模都很小，对冲者就无法利用上述方法。因此，为了让设计出的暴雨灾害期权尽可能的减小基差风险，笔者使用整个期权存续期内的累计降雨总量作为期权支付的标准参数，这样两个地点间的差异有正有负，累计起来就可以部分消除因位置不同产生的基差风险。但是采取这种方法也无法完全消除基差风险

4. 模拟结果

将获得的各月份降雨量模拟值累加，就可得到期间降雨总量的模拟值。重复做十万次随机模拟，得到模拟结果如下：

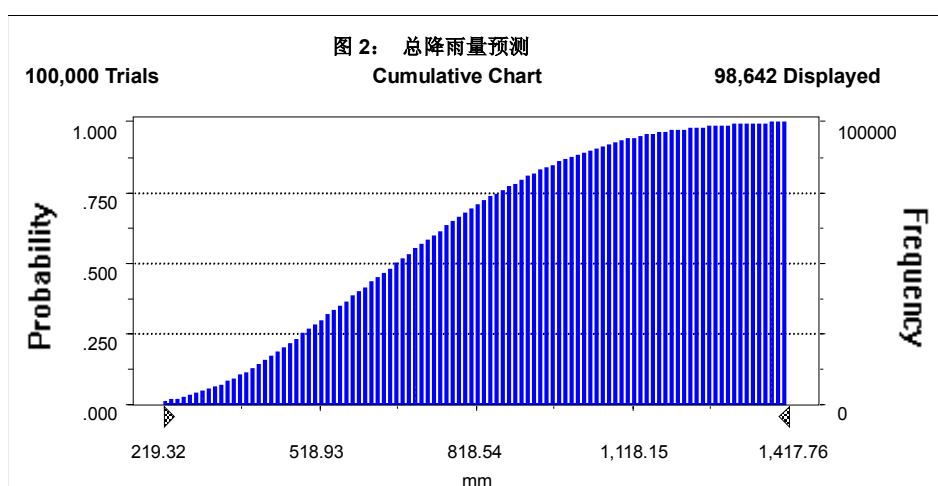


表 2: 模拟降雨总量积累百分比表

百分比	0.0%	2.5%	5.0%	50.0%	95.0%	97.5%	100.0%
毫米	137.09	267.83	311.84	676.26	1156.36	1249.66	1901.52

模拟所得到的期权支付的执行界点(VAR97.5%)的降雨总量值为 1250 毫米。由于气象惯例约定每一暴雨日的日降雨量为 50 毫米以上。则该期权的实际意义即为,如果在期权的存续期内(5-9月)有 25 个暴雨日以上,期权就要支付。

5. 期权交易主体与定价设计

1) 交易主体设计

该期权的购买主体可以有:大面积种植的农业经营者;小农户联合体;企业业务与(暴雨易损)农业作物有关的生产者;承保农业保险的商业财产保险公司;其他无关的投机者。^⑥

设计暴雨灾害期权的目的是为了对可能的暴雨农业灾损进行经济补偿。由于它是一种补偿性的金融工具,必须确保期权满足触发条件后按约定及时支付;因此必须尽量减少该期权的卖空投机行为^⑦。因为尽管期权支付的概率仅为 2.5%,但由于支付的金额是购买价格的数十倍^⑧,一旦支付,支付方的资金流动性需求相当巨大,因此为了避免过多的投机者成为期权的卖方,因此笔者认为不应开放卖方市场,而应由固定的机构(如巨灾补偿机构等)来充当市场上的卖方。

期权的购买必须遵循自愿原则。在我国目前农业生产者的经济状况普遍不佳,因此开办农业保险的保险公司必然会成为市场上的主要力量。保险公司有了对冲工具,也就放下了净亏的包袱,有利于保险公司向农民提供农业保险。至于期权发展到成熟阶段时,农民是否会利用期权作为主要避险工具,这就要比较期权和保险两类保障产品的资金成本来确定。

由于基差风险的原因,购买者几乎无法完全对冲灾损,即使要取得较好的对冲效果也必须对自身的风险状况要有准确的度量。对购买需求最强烈当属农业生产者,他们一般不能对自身的风险状况有精确的估计,确定购买量时只能凭借主观感觉,这就会产生对冲偏差。

此外,生产者之间的经济状况是有差异的,因此在购买时应量力而行,经济条件不佳的可以少购买些,不一定要追求充分的风险对冲,这样在大灾发生时至少可以起到部分补偿的功能;而经济条件较宽裕的则可以根据自身情况多购买些,超出部分则类似于买彩票,在大灾发生时甚至还有一定收益。从加速积累巨灾偿付基金的目的出发,可以不限限制投机者对期权的购买,但必须尽可能降低购买者对未来降雨趋势的可预测性以确保期权的射幸性。如采用提前固定购买期(将购买时间固定在期权生效之前),一旦购买就不能转让出售,在期权到期后,根据合同的约定,确定期权是否支付。

2) 期权定价设计

由于对买空方进行限制,因此我们对期权定价设计不同于国际上通用的“均值加半个标准差”为执行触发点的例行做法,而是利用保险定价的方法为暴雨灾害期权定价(即期权的支付期望值等于期权费收入),同时引入在险价值法(VAR)求解。

如何积累期权偿付基金是定价的另一个重要问题。因为一旦期权的支付约定

^⑥ 由于期权使用的数据是上海地区的数据,因此对冲者的农业生产活动必须在上海地区,不同地区的期权设计必须根据该地区自己的气象资料来计算定价。否则对冲就失去了意义,如福建的农民购买上海地区的暴雨灾害期权,就达不到对冲的目的。

^⑦ 由于暴雨灾害期权大部分是到期才能确定支付的,因此无法每日清算,因此如果在到期日违约,将会引起市场的较大波动。考虑到我国的信用机制尚不成熟,违约的风险较高,故建议限制卖空方。

^⑧ 详见下文推导。

条件满足（累积降雨量超过触发点），就要对期权给予偿付，这就要求偿付时基金的规模至少要等于需偿付的金额。特别是在期权开办的初期就发生支付时，有可能出现偿付基金尚未积累到可以支付的水平。对此笔者认为，在期权开办的初期，国家应给予一定的资金扶持。考虑到原来受灾时的民政救济是由国家财政拨款，如果引入灾害期权用于弥补灾损，就能节省大量财政支出。而且因经济所困，易受灾地区人民（特别是农民）可能会交不起过高的灾害期权费。因此，在期权开办的初期阶段，偿付基金还未积累到一定规模前，政府应每年给予一定的资金扶持以帮助偿付基金迅速积累，然后由基金无支付的各年收入中分期返还国家，直至期权偿付基金累计达到一个稳定的规模。

此外，只有足够的交易数量才能使期权的价格落在一个合理的区域并满足迅速积累偿付基金的目的，因此在期权推出前，必须将路演应该要深入到乡镇农村（特别是灾害易发地区）。

3) 期权设计的模型设计及实际结构：

a. 期权定价模型推导：

假设每份期权的价格为 P 元（包含附加费率 λ ^⑨），到期可能支付的概率为 q ，每份期权支付金额为 C 元，出售的期权数量为 N 份，国家的初期资金投入为 K 百万元，不考虑交易费用。则根据期望收入等于期望支出，可以导出以下模型：

$$\text{每份期权的纯费率为： } p = P / (1 + \lambda) \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{期望收支平衡式为： } q * C * N = p * N + K \quad \text{----- (2)}$$

$$\text{将式 (1) 代入式 (2) 中得： } P = (1 + \lambda) * (q * C - K / N) \quad \text{----- (3)}$$

由式 (3) 可知，在支付概率和支付金额固定的情况下，国家的资金投入 K 可以降低期权的价格；但如果暴雨期权的市场成熟时（ N 很大），国家的资金投入对价格的降低作用就不明显，这实际意味市场成熟时，国家不必投资。此外，附加费率 λ 对价格的影响作用是明显的，因此不应设计过高。

b. （上海地区）暴雨灾害期权结构

暴雨灾害期权结构为：欧式期权，存续期限为每年 5 月-9 月，10 月 1 日到期，执行条件为存续期限内的降雨总量大于 1250 毫米（即支付概率 q 为 2.5%），则每份期权支付 (C) 为 1000 元人民币。假设为销售数量 (N) 为 10000 份。则每份期权的售价将为 25 元人民币。（不考虑交易费用）

表 3：期权售价表

λ (%) \ K	0	1	2	3	4	5
0	25	24	23	22	21	20
5	26.25	25.2	24.15	23.1	22.05	21
10	27.5	26.4	25.3	24.2	23.1	22

说明：第一列是附加费率；第一行是国家初期投入假设，计量单位为百万元人民币；剩余的方格代表相应的情况下的期权出售价格，为元人民币。

^⑨ 设计附加费率是为了加快偿付基金的积累。

四、结论及其它

本文首先建立了暴雨灾害的随机微分模拟模型,进而深入地讨论了在现实情况下如何利用数值方法对暴雨灾害期权进行定价以及系列相关问题。最后,我们利用保险定价的原理建模为期权定价,并建议国家在期权开办初期应先出资以保证期权偿付基金可以支付。

作为对金融衍生工具应用于农业生产发展的一个尝试,本文的方法同样也可以运用于开发其他同类期权(如旱灾期权等)。但是由于数据、软件等方面的原因,有相当部分参数必须借用国外经验数据或做合理假定,因此期权模型还可以从很多方面提高精度,如:在数据条件允许的时候,使用日降雨量历史数据可以更精确地拟合出随机方程的参数;对月降雨变动量分布可以用多种分布进行拟合比较,选取拟合效果最好的分布,不必拘泥于正态分布。此外,必须注意到期权的基差风险无法被完全消除。因此,对冲者在购买期权时要对自身生产受暴雨影响大小有准确的把握,否则对冲会产生偏差。

农业是国民经济的基础,是社会稳定经济发展的基石。近年来,我国自然灾害发生的频率趋于加快,受灾的范围越来越广,严重影响了农业生产的稳定发展。因此,我们应充分利用金融创新的机遇开发新型农业金融保障工具,消除自然灾害带来对农业生产带来的不确定性,保障农业生产者的切身利益。

[参考文献]:

1. Dischel, Bob, (1998) "Options Pricing - Black - Scholes Won' t Do", *Weather Risk - An Energy and Power Risk Management Magazine and Risk Magazine Special Report*, October.
2. Dischel, Bob, (1999), "The D1 Stochastic Temperature Model for Valuing Weather Futures and Options.", Applied Derivatives Trading.
3. Garcia, Antoni Ferrer, and Franz Sturzenegger (2001) "Hedging Corporate Revenues with Weather Derivatives:A Case Study" (Master' s Thesis) Ecole des Hautes Etudes Commerciales.
4. Hull, John C., (2000) "Options, Futures, and Other Derivatives" 4th ed 北京:清华大学出版社。
5. 沈湛, 2002,《试论建立我国商业巨灾保险制度》 working paper, 厦门大学金融系。
6. 气象数据来源:美国国家气象数据中心(NCDC)网站(<http://www.ncdc.noaa.gov/pub>)。