

基于CEV-EWM模型量化极端天气风险与优化保险策略

许 诺

杭州师范大学数学学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2025年5月27日; 录用日期: 2025年6月20日; 发布日期: 2025年6月30日

摘 要

极端天气事件的频繁发生增加了财产保险的不确定性。为应对这一问题, 本文提出了三个模型: 模型I为风险与保险保护模型, 通过三个子系统(灾难性、暴露度、脆弱性)和八个指标量化风险, 并利用熵权法和K-Means聚类分析优化保险定价。模型II为社区发展决策模型, 分析房地产开发商和社区的收益, 为决策提供支持。模型III为社区保护模型, 使用层次分析法(AHP)评估社区地标建筑的保护措施, 并通过GE矩阵进行结果可视化。

关键词

CEV-EWM模型, 预测, 保险定价决策, 社区地标保护, K-Means聚类分析

Quantifying Extreme Weather Risks and Optimizing Insurance Strategies Based on the CEV-EWM Model

Nuo Xu

School of Mathematics, Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang

Received: May 27th, 2025; accepted: Jun. 20th, 2025; published: Jun. 30th, 2025

Abstract

Extreme weather events have increased uncertainties in property insurance. This paper proposes three models: Model I quantifies risks using eight indicators across three subsystems (catastrophic, exposure, and vulnerability) and optimizes insurance pricing with the entropy weight method and K-means clustering. Model II analyzes costs and benefits for real estate developers and communities

to support decision-making. Model III assesses community landmark protection using AHP and visualizes results with the GE matrix.

Keywords

CEV-EWM Model, Prediction, Insurance Pricing Decision, Community Landmark Protection, K-Means Clustering Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 介绍

背景

近年来, 臭氧层的消耗和全球平均气温的上升间接导致了极端天气事件(如洪水、飓风、野火和干旱)的增加, 这些事件不断侵蚀我们的栖息地。2023 年的自然灾害造成了约 2500 亿美元的全球经济损失, 比 10 年平均水平显著增加, 其中保险损失达到 1080 亿美元。极端天气事件频率的增加进一步扩大了全球保险保护缺口。保险行业目前面临着在极端天气事件面前平衡公司盈利能力和保单持有人财务韧性的困境。

因此, 近年来保险行业的重点是减少风险暴露, 维持可持续的偿付能力, 并从被动的保险理赔处理模式转向主动的风险预防模式。

2. 模型准备

2.1. 假设与猜想

鉴于实际问题总是包含许多复杂因素, 首先需要作出合理假设以简化模型, 每个假设都紧随其对应的解释:

假设 1: 我们使用的数据是准确且有效的。

解释: 本文的数据直接来自文献和官方网站获取的数据。

假设 2: 保险公司和房地产开发商是完全理性的。

解释: 保险公司和房地产开发商会作出符合自身最佳利益的选择, 并避免损害自身利益的决策。

假设 3: 在本研究期间, 保险费率保持不变。

解释: 为了便于研究, 保持其恒定可以更好地进行比较。

2.2. 符号说明

本文使用的主要符号见表 1。

Table 1. Notation explanation

表 1. 符号说明

符号	说明
CEV	灾害风险评估指数
DOF	灾害发生频率

续表

DOI	灾害发生强度
DPD	灾害引起的财产损失
PD	人口密度
GPC	人均 GDP
IPR	保险费率
ICA	保险覆盖金额
CC	建设成本
Gap	t 保险保护缺口

3. 模型I：风险 CEV 与保险保护模型

极端天气事件和自然灾害对人类生存构成威胁，并破坏人类的生活环境。它们形成了一个复杂且综合的灾害系统，灾害的原因和影响因素之间存在着复杂的关系。构建评估指标体系是灾害风险评估研究中的一个关键基础任务。

通过确定指标，我们可以客观、准确地反映灾害发生的可能性、造成的损失严重性以及研究区域的抗风险能力。因此，指标和指标体系的选择与构建必须严格遵循科学和标准化的原则，以便准确反映自然灾害的发生并进行合理的灾害风险评估。

基于全面的国家灾害防御信息，影响极端天气事件和自然灾害风险水平的因素可以分为三个方面：灾害危险系统、暴露系统和脆弱性系统[1]。随后，我们建立了灾害风险评估系统模型：灾难性、暴露度和脆弱性模型，以下文中将简称为 CEV 模型：

$$CEV = w_1 \times C + w_2 \times E + w_3 \times V \tag{1}$$

因此，我们的 CEV 模型是三个子模型的组合，后续段落将分别对它们进行分析。

3.1. 三个子系统的评估指标

3.1.1. 灾难性子系统的评估指标

灾难性是指一个地区经历危险事件的可能性。自然灾害有多种类型，频率高、强度大，并且具有广泛的覆盖面和区域特性。它们的发生对农业、工业以及人类生产和生活有重大影响。基于特定地区长期的灾害监测数据，我们选择了该地区的代表性自然灾害，以调查和分析极端天气事件和自然灾害在各地的强度、频率和主要经济损失：

$$C = w_{C1} \times DOF + w_{C2} \times DOI + w_{C3} \times DPD \tag{2}$$

其中 w_{Ci} 表示某一特定指标的权重， C 表示用于评估灾难性水平的标准分数[2]。

3.1.2. 暴露度子系统的评估指标

灾害易发实体的暴露度反映了它们在自然灾害发生时所遭受的破坏程度。易受灾害影响的实体暴露度越大，自然灾害的风险就越高。我们认为，这一指标主要体现在人口、经济、建筑物和基础设施等方面。人口密度越高、经济水平越高、区域暴露度越大，灾害的影响范围就越广，影响也就越严重。

因此，本文选择人口密度(PD)、人均 GDP(GPC)和城市化率(UL)作为评估暴露度的指标：

$$E = w_{E1} \times PD + w_{E2} \times UL + w_{E3} \times GPC \tag{3}$$

其中 w_{Ei} 表示某一特定指标的权重， E 表示用于评估暴露度水平的标准分数。

3.1.3. 脆弱性子系统的评估指标

灾害易发实体的脆弱性是指它们对极端天气事件或自然灾害的潜在易感性以及由此造成的破坏程

度。对灾害影响更敏感且遭受更大损失的实体被认为具有更高的脆弱性。我们认为，这方面的代表性因素包括缺乏劳动能力的儿童和老年人。换句话说，一个地区中中年人的比例越高，其抵御脆弱性的能力就越强。此外，个人对灾害的意识水平越高，灾害风险的影响就越小。

因此，我们选择一个地区中中年人的比例(MPR)和平均教育水平(AEP)作为量化受灾实体脆弱性的指标：

$$V = w_{V1} \times \text{MPR} + w_{V2} \times \text{AEP} \quad (4)$$

其中 w_{Vi} 表示某一特定指标的权重， V 表示用于评估脆弱性水平的标准分数。

3.2. 风险 CEV-EWM 评估模型

3.2.1. 数据预处理

该公式将属性值缩放到 0 到 1 的范围内，其中 0 表示最小值，1 表示最大值。通过应用这种归一化过程，我们可以在 CEV 模型中有效地比较和分析不同的属性。

CEV 模型的三个子系统用于风险评估，它们使用不同的评分指标维度。为了消除不同维度对数据的影响，我们首先对每个测量值进行标准化(无量纲化)。这意味着测量的分数被限制在 0 到 1 的范围内。

根据指标对风险水平的影响差异，它们可以分为最大值指标、最小值指标、中等值指标和区间型指标。对于“成本型属性”数据(较小的值更优)，我们使用以下归一化公式：

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_i\}}{\max\{x_i\} - \min\{x_i\}} \quad (5)$$

对于“效益型属性”数据(较大的值更优)，我们使用以下归一化公式：

$$x_{ij} = \frac{\max\{x_i\} - x_{ij}}{\max\{x_i\} - \min\{x_i\}} \quad (6)$$

3.2.2. 计算熵值并确定权重

首先，计算第 i 个对象在第 j 个指标下的权重，即贡献 P_{ij} ：

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (7)$$

由此，我们可以计算第 j 个指标的熵值：

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (8)$$

由此，每个指标的权重为：

$$W_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{i=1}^m 1 - E_j} \quad (9)$$

我们采用熵权法的原则，逐层计算底层到顶层的相对权重，并最终确定方案层和准则层的绝对权重。根据结果，我们得出 C 、 E 和 V 子系统的权重分别为 0.3614、0.2325 和 0.4061。通过为每个组成部分分配适当的权重，该公式提供了对风险水平的综合评估，帮助保险公司作出明智的决策并实施风险管理策略。以下公式表示用于评估风险水平的模型：

$$\text{CEV} = 0.3614 \times C + 0.2325 \times E + 0.4061 \times V \quad (10)$$

3.2.3. 风险水平评估

基于 CEV-EWM 模型，我们确定了风险水平指数与经济 and 灾害因素之间的线性关系。利用这种线性关系，我们获得了 1980 年至 2022 年(全球变暖概念于 1979 年正式提出)六大洲(不包括南极洲)代表国家的 258 个数据集的 CEV 指数得分。

此外，我们使用 K-Means 聚类分析算法将得分分为 5 个聚类，从而将风险水平分为 5 个不同的等级。这种分类对于预测未来风险水平以及对特定区域的风险水平进行初步评估具有重要作用。考虑到公司的财务状况，可以针对高风险或相对高风险地区实施相应的风险降低策略，以优化保险承保决策。

3.3. 保险经济模型

实际承保后，极端天气事件或自然灾害造成的经济损失的赔偿是根据财产保险合同中规定的赔付率确定的。然而，在某些情况下，经济损失可能会超过最大保险覆盖范围，从而导致保险保护缺口。这一缺口是指自然灾害造成的经济损失与保险单提供的覆盖范围之间的差额。

因此，我们利用风险 CEV 评估模型输出的风险水平，并考虑保险公司的运营状况和成本，建立保险定价模型。以优化公司的运营状况为主要目标，必须考虑公司的收入和支出。通过考虑这些因素，我们可以推导出计算预测总费用率的公式，这是公司运营模型中的关键要素[3]。

3.3.1. 运营绩效模型：综合成本率

保险公司的运营绩效一直是行业内的首要关注点，因为频繁的极端天气事件的发生给保险公司自身的运营状况带来了重大挑战。因此，必须密切监控保险公司的运营状况，为不同类型的资产制定合理的定价策略，优化总费用率，并降低风险损失。

保险公司的运营绩效可以通过综合成本率(CCR)来衡量，较低的 CCR 表示更好的运营绩效。根据中国太平洋保险(集团)股份有限公司 2021 年的年度财务报告，我们简化并量化了指标[4]，见表 2。

Table 2. The operating condition of insurance companies

表 2. 保险公司运营状况

收入(R)	支出(E)
保险费(IP)	赔偿金
投资收入(II)	运营费用(OM)
其他收入(OE)	税收(T)
$R = IP + II + OE$	$R = I + OM + T$

$$CCR = \frac{\sum E}{\sum R} \times 100\% , \quad 0 < CCR < 1$$

3.3.2. 保险定价模型

保险定价是收入生成的关键组成部分，并且受到地区风险水平的显著影响。因此，开发科学合理的保险定价模型至关重要。

基础定价

财产保险的定价决定了保险费，它依赖于预期风险损失和被保险财产的价值。这两个因素在确定适当定价方面发挥着关键作用。

$$\text{保险费 (IP)} = ICA \times IPR \tag{11}$$

在分析确定保险费的规则时，可以分为以下两个方面：

1) **保险费率(IPR)**：根据国家标准，行业内的财产保险费率有一定的规定基准。然而，我们根据这些标

准进行了调整。调整方法是利用风险 CEV 模型生成的 CEV 指数，突出不同行业和易受灾地区的异质性。

$$RIPR = (1 + CEV) \times RISPR \quad (12)$$

其中，RIPR 表示地区保险费率，RISPR 表示地区行业标准费率。

2) **保险覆盖金额(ICA)**: 根据财产的价值以及该地区发生灾害的 CEV 指数(表明与极端天气事件或自然灾害相关的风险水平)，我们可以计算该地区特定财产的经济损失。

$$ICA = \frac{(DPD)_i}{N_i} \quad (13)$$

N_i 可以根据该地区前几年的财产保险金额进行预测， $(DPD)_i$ 是该地区第 i 年的预期灾害经济损失。总结来说，我们可以得到区域平均保险定价的计算模型：

最终定价模型可以表示如下：

$$\begin{aligned} IP_{\text{adjust}} &= IP_{\text{base}} \times (1 + M) \times (1 + R) \\ &= (1 + CEV) \times RISPR \times \frac{(DPD)_i}{N_i} \times (1 + M) \times (1 + R) \end{aligned} \quad (14)$$

3.3.3. 保险覆盖缺口分析模型

这是保险行业目前面临的最严峻挑战。保险覆盖缺口越大，就越有可能导致社会经济不稳定和个人财务危机等负面影响。极端事件的频率和严重性增加，以及向净零排放经济的转型以及网络风险的持续演变，继续扩大保险覆盖缺口。

$$Gap = DPD - DPD_{\text{covered}} \quad (15)$$

其中，Gap 表示保险保护缺口，DPD 表示实际损失金额， DPD_{covered} 表示保险覆盖金额或理赔赔付金额。

3.3.4. 保险定价模型优化

上述 3.3.1 和 3.3.3 两个模型有机结合，优化保险产品的特性，以最大化公司利润并适应市场变化，减少保险覆盖缺口和风险暴露。因此，我们引入了一个综合决策变量 D ，用于保险定价调整：

$$D = h(IP_{\text{adjust}}, Gap) \quad (16)$$

其中， D 表示引导保险产品调整策略的综合决策变量。

基于此，我们进行目标优化，得到目标函数：

$$\text{Min}_{CEV, DPD, Gap} U(D) + CCR \quad (17)$$

3.4. 三个子系统的预测

为了为保险公司提供主动的风险基础保险策略，我们考虑了各种可能随时间变化的指标的影响。因此，我们回顾了文献，并结合实际情况，对每个指标进行了合理和科学的预测。本节将对每个子系统内的指标进行预测分析。

3.4.1. 灾难性子系统的预测

DOF: 基于朱等人对极端降水分布的研究，我们利用 WSM 模型和变化分析扩展了他们的发现，以表征极端天气事件和自然灾害。我们利用泊松分布研究发生概率：

$$P(Y = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (18)$$

DOI: 基于极值理论, 强度分布渐近地遵循广义帕累托分布(GPD):

$$F(x, \xi, \sigma_u) = 1 - \left[1 + \xi \left(\frac{x-u}{\sigma_u} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \quad x > u, 1 + \xi \left(\frac{x-u}{\sigma_u} \right) > 0 \quad (19)$$

其中, ξ 和 σ_u 分别称为形状和尺度参数, 它们的值决定了降水分布的特征。基于上述公式, 我们可以得出极端降水强度 Z 的均值特征:

$$E(X) = u + \frac{\sigma}{1-\xi} \quad (20)$$

DPD: C-D 生产函数在计量经济学研究和应用中起着重要作用。阿罗等人通过引入技术进步的动态变化和极端天气因素, 扩展并改进了 C-D 生产函数, 构建了一个气候 - 经济模型。因此, 我们合理地扩展了这个模型, 并引入了人均 GDP, 构建了我们的对数灾害强度模型:

$$\ln Q = \delta t + \beta_L \ln L + \beta_E \ln E + \beta_{T_{\max}} \ln T_{\max} + \beta_{T_{\min}} \ln T_{\min} + \beta_P \ln P + \beta_D \ln D + \ln A \quad (21)$$

3.4.2. 暴露度子系统的预测

PI: 受人口动态方法的启发, 我们将人口密度视为逻辑斯蒂增长函数:

$$\frac{dPD_i}{dt} = r \times PD_i \times \left(1 - \frac{PD_i}{PD_{\max}} \right) \quad (22)$$

其中, PD_i 表示特定地点的人口密度, PD_{\max} 表示人口的最大容量, r 表示人口的自然增长率。我们可以通过分离变量、积分和重新排列方程来求解逻辑斯蒂方程, 并得到 N 的解析解:

$$N(t) = \frac{N_m}{\left(\frac{N_m}{N_0} - 1 \right) e^{-rt} + 1} \quad (23)$$

GPC: GDP 在宏观经济的健康和稳定发展中起着指导作用, 并利用其研究成果准确预测经济发展趋势。因此, 我们遵循时间序列分析 (ARIMA (p, d, q)) 模型:

$$\left\{ 1 - \sum_{i=1}^p \phi_i L^i \right\} (1-L)^d X_t = \left\{ 1 + \sum_{i=1}^q \theta_i L^i \right\} \varepsilon_t \quad (24)$$

借助统计分析和谢的研究分析, 我们进行了偏自相关和自相关分析, 得到了回归系数等参数, 并成功预测了人均 GDP (GPC) 的预测模型。

UL: 基于收敛模型的预测方法, 考虑到城市化阶段性特征和收敛特征, 区域城市化率预测采用收敛参数估计、模拟和总体演绎, 可以得到城市化率与产出之间的关系:

$$\frac{1}{T} \ln(R_{i,t+T}/R_{i,t}) = a + b \ln R_{i,t} + \varepsilon_i \quad (25)$$

其中, $R_{i,t}$ 是第 i 期的 t 城市化率, a 和 b 是要估计的参数, ε_i 是每个区域的随机误差项。

3.4.3. 脆弱性子系统的预测

近年来, 人口老龄化结构显著增加, 这在一定程度上增加了风险暴露。因此, 有必要预测未来几年中年人口(可靠人口)的比例, 以改进预测模型。

从历史统计数据中选择每个年龄组的最低死亡率作为参数, 我们假设每个年龄组的死亡率在未来将保持不变:

$$MPR_i = MPR_{i-1} \times (1 - DR_i) \tag{26}$$

随着经济社会的发展，教育水平趋于提高，人们对灾害的理解和意识也显著增强。我们认为 GDP 推动了教育水平的发展，两者呈正相关。因此，我们也可以使用时间序列分析模型来预测人均教育水平。

3.5. CEV-IP 模型在两个地区的应用

本节选取了来自不同大陆的两个国家，即美国和澳大利亚，并预测了未来 10 年每个主要指标的数据，以证明模型的有效性，见图 1。鉴于保险费率标准可能会根据不断发展的国家政策进行动态调整，10 年的预测期被认为是适当的。基于预测数据和 C、E、V 指标的线性关系，以下内容详细阐述了我们的 CEV 预测结果和拟合优度。

极端天气事件发生概率：基于对极端天气事件或自然灾害(DOF)年发生频率的预测分析，我们可以得出它们的概率。假设 $P(E \text{ or } D)$ 表示极端天气事件或自然灾害发生的概率。利用贝叶斯网络统计方法，我们可以估计这一概率[5]。

$$P(E \text{ or } D) = \frac{DOF_i}{\sum_1^{10} DOF_i} \tag{27}$$

其中， DOF_i 表示第 i 年的发生频率， $\sum_{i=1}^{10} DOF_i$ 表示预测期内观察到的发生频率总和。

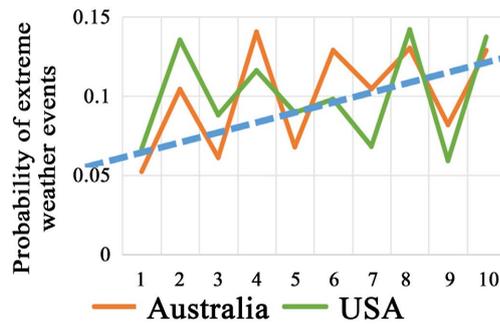


Figure 1. Probability of extreme weather
图 1. 极端天气可能性

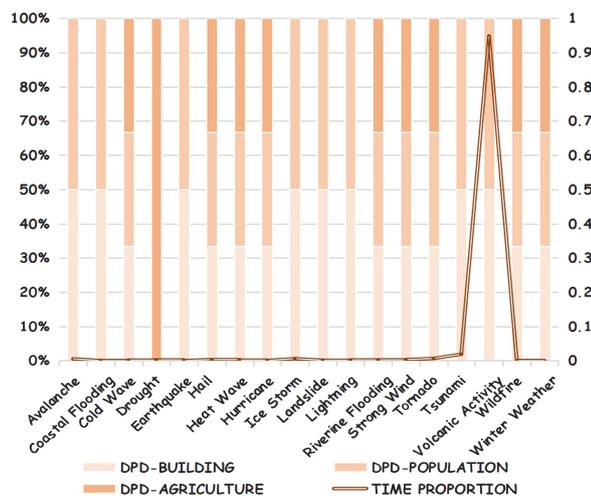


Figure 2. Percentage of time and impact of natural disasters
图 2. 自然灾害的时间与影响百分比

我们已经提供了未来十年极端天气事件发生概率的预测数据，见图 1。该曲线显示出波动，并呈现出一定的周期性。概率的峰值和谷值相互重叠，表明总体呈上升趋势。持续变化的气候导致极端天气事件发生概率显著增加，见图 2。

风险-CEV 指数：CEV 指数预测与时间呈正相关，表明风险水平随时间增加。澳大利亚的 CEV 指数增长速度比美国快，在十年后达到更高的风险水平。CEV 指数与全球变暖之间的皮尔逊相关系数(ρ)接近 0.8，支持了模型的合理性和有效性。

考虑到基于 CEV 的风险水平分类，我们观察到在预测期开始时，两国的平均风险水平均为中高。预计澳大利亚将在第九年过渡到高风险水平，超过风险阈值。保险公司需要考虑在该地区拒绝财产保险的可能性。另一方面，美国仍处于中高风险区，允许保险公司考虑接受保险。

4. 模型II：区域发展决策模型

根据之前的讨论，我们知道随着极端天气事件不确定性的增加，财产保险受到的影响更大。对于一处房产(如房屋)，利益相关者(包括房产所有者、保险公司、社区，甚至是房地产开发商)都旨在实现其可持续发展，以获得更大的社会和经济效益。因此，从房地产开发商和社区的角度出发，考虑区域建设和发展的可持续性至关重要，以确保房地产行业的韧性。

因此，房地产开发商需要更严格的决策模型来确定开发的方式和地点。首先，他们应考虑在特定地区开发的经济效益，这涉及分析成本与收益之间的关系。其次，为了在该地区实现可持续发展，社区需要考虑社区内的个别因素。这可以通过整合区域犯罪率(CR)和公众对灾害的感知(PPD)等变量来完善社区发展决策模型。

4.1. 房地产收支分析子模型

房地产的主要收入来自房屋建设完成并交付后的房价。居民在特定地区购买房产的意愿主要受基础设施发展水平(ID)和自身经济条件的影响。房地产开发商售出的房产数量主要由人口密度决定。因此，我们认为房价与区域基础设施发展、人均 GDP (GPC)和人口密度(PD)相关。

我们可以通过每平方米的高速公路长度来估算一个地区的基础设施发展水平。

$$P = A_1 \times ID + A_2 \times GPC + A_3 \times PI \tag{28}$$

房地产开发商的主要成本包括建设成本(CC)和建设项目(IP_{cons})的保险成本。

1) 房地产开发商的主要成本包括建设成本和建设项目(保费)的保险成本。开发商在开展项目时，首先考虑该地区的土地价格，这会根据该地区的经济发展动态变化。其次，在建设之前，他们应评估灾害风险水平、用途、设计荷载和地理条件，这可以使用本文讨论的 CEV 指数来衡量。这种评估有助于确定建设过程中使用的材料。随着结构的质量和韧性增加，成本也倾向于上升。因此，我们认为每平方米的建设成本与 CEV 指数之间存在明显的正相关：

$$CC = B_1 \times GPC + B_2 \times CEV + b \tag{29}$$

其中， B_i 表示拟合参数，参数 b 用于调整 CEV 指数。

2) 在房屋建设过程中，也存在遭遇人为或自然灾害的风险和概率。此外，该风险类别的相关实体往往具有较高的脆弱性和暴露度。由于行业的独特性，保险费率会相应调整。因此，基于保险定价模型，我们得到了房屋建设项目的合理调整保险成本：

$$IP_{cons} = (1 + CEV) \times RISPR \times \frac{(DPD)_i}{N_i} \times (1 + M) \times (1 + R) \tag{30}$$

基于上述分析，房地产开发商的经济绩效(Q)可以使用以下公式得出：

$$Q = P - CC - IP_{\text{cons}} \quad (31)$$

4.2. 社区发展决策模型

社区的可持续发展与其居民的心理健康密切相关，可以通过使用犯罪率和公众对灾害的感知等负面指标来量化这一概念。较高的犯罪率和较差的心理韧性意味着居民的负担更重。因此，为了实现可持续发展目标，社区利益相关者和开发商可以在决策模型中引入新的权重，基于提供的计算框架，全面评估一个地区的可持续性和韧性。例如，即使一个地区展现出高水平的经济发展，如果犯罪率远远超过平均水平，开发商仍然可以将其排除在外。

$$\text{Max}_{P, \text{CEV}, \text{DPD}} Q \quad (32)$$

该模型的约束条件是保持低犯罪率，并尽量减少公众对灾害的感知脆弱性。

4.3. 数据获取

基于对美国模型 1 的分析，我们了解到，平均而言，美国面临中高风险水平，各种自然灾害类型频繁发生，并且具有显著的社会经济影响。

保险公司需要通过考虑其他因素进行仔细地分析和评估。因此，在模型 2 中，我们进一步分析了美国各州(可以视为一定规模的社区)的社区韧性。

通过研究获得的数据，我们得到了房价、人口密度、经济损失和风险指数水平的分布图。

我们使用过去十年来自不同地点的数据进行了拟合分析，发现房价、建设成本及其各自因素之间存在线性关系。然而，我们观察到人口密度的参数 A_3 为负值，表明与人口密度没有显著关系。因此，我们自动对其进行了调整。

$$P = 7779.721 \times \text{ID} + 51089.40 \times \text{GPC} + 3082.784 \quad (33)$$

$$\text{CC} = 79.529 \times \text{GPC} + 6294.576 \times \text{CEV} + 2673.062 \quad (34)$$

4.4. 保险公司保险模型增强

基于模型，保险公司可制定承保标准和风险管理措施，以符合自身发展战略：

➤ 建立承保标准：

1) 风险阈值 - 承保安全区：

根据我们建立的风险水平，CEV 指数越高，特定地区的风险水平和预期损失就越高。因此，在不考虑其他历史或社会条件的情况下，我们可以将极高风险类别的左边界设置为最大风险阈值。保险公司需要仔细评估超出此风险阈值地区的个人保险申请，同时考虑其他因素。在阈值内，我们称之为承保安全区，保险公司可以通过协议和评估考虑接受合理的保险申请。

2) 最大灾难覆盖 - 指数保险：

由于极端天气事件的高不确定性，准确预测风险具有挑战性。在这种情况下，如果在承保安全区内发生重大灾难并导致超过一定限额的经济损失，保险公司可以立即激活指数保险。指数保险的赔偿基于预先设定的参数(例如，累积降雨量或台风强度)，而不是实际损失，从而为大规模灾难提供更快、更具响应性的覆盖。

根据灾害严重性 C 值，可以设定最大灾难覆盖标准。如果超过该标准，可以采用指数保险计算方法，并激活国家基金提供支持。利用社区发展决策模型，保险公司可以更好地分析居民需求的优先级，而政府则需要明确立法、监督和其他行政工具的使用，以优化保险公司提供的服务。此外，政府可以设立支

持基金以协助弥补损失，从而促进行业发展。

➤ 保险优化措施：

利用社区可持续性模型，通过大数据分析和关键词分析评估公众对灾害影响的看法。这有助于确定社会需求以及需要立即改进的领域。例如，通过构建 2023 年宾夕法尼亚州洪水前后社交媒体讨论的词云，可以清晰地了解公众情绪，从而实现从被动到主动的灾害预防转变。

➤ 风险管理措施：

1) 投资管理政策：

考虑到历史和社会条件，如果某一特定区域被确定为需要保护，保险公司可以考虑投资于恢复和防御措施，以有效管理风险。通过这样做，他们旨在降低风险指数，并尽量减少由极端天气事件或自然灾害造成的经济损失。

2) 加强公私合作：

财产保险公司可以通过公私合作模式增强其风险承保能力，以应对他们可能无法独立吸收的风险。这可以通过与政府基金合作以及获得公共部门的支持来实现。与公共机构建立共同目标，不仅反映了与社会的紧密联系，而且为居民和社会财产提供了强大的保护。这种合作还可以有效缩小保险覆盖缺口。

5. 模型III：社区保护模型

基于模型 1 和模型 2，某些地区可能缺乏保险覆盖。然而，在现实中，这些地区的建筑具有重要的历史、文化和社会价值。随着时间的推移，这些地标可能会遭受侵蚀和损坏，增加其对极端天气事件的脆弱性和暴露度。这对其历史和社会价值的体现产生了重大影响。因此，社区管理者需要科学合理地保护这些建筑地标，以最大化其内在价值。

5.1. 建筑保护模式

在选择保护方法时，除了评估地区风险水平外，还需要考虑建筑的历史和社会价值，以及预期的经济、历史和社会效益，以及实施措施后可能造成的潜在损失。讨论将主要围绕迁移和修复保护方法展开。对于不可移动的历史建筑(例如，古代文化遗址、古墓葬、历史建筑、石窟寺和雕刻、壁画、近现代重要史迹和代表性建筑)，我们假设这些地标建筑可以选择迁移或进行现场修复。我们的目标是找到最佳的保护策略。

5.2. 价值评估

评估地标建筑的内在价值方法基于对其历史价值、艺术价值和教育价值的文献研究。它涉及对年龄、与历史人物或事件的相关性、美学、稀有性、社区形象和社区贡献等因素的综合评估。这些因素被用来将建筑分为五个等级[6]。

为了提高模型的准确性，我们广泛收集了数据，并使用层次分析法(AHP)进行了评估。通过这一过程，我们确定了历史价值、艺术价值和教育价值对内在价值评估的影响因素。

$$SV = 0.1311 \times HV + 0.6608 \times AV + 0.2081 \times EV \quad (36)$$

➤ 经济效益价值评估

保护措施的实际经济效益包括保护成本和保护后的回报。根据古建筑保护法，地标建筑的保护遵循分层系统，成本由相应的行政区承担。然而，如果地标建筑具有高内在价值，相应的政府实体可能会提供财政支持，因为保护后的预期回报更高。因此，我们认为保护措施的成本明显低于收益，社区可能会获得政策支持，使成本变得微不足道。保护后的主要经济效益是围绕地标建筑的旅游业发展，这与其价

值呈正相关，并对社区作出了显著贡献。

参考文献

- [1] 吴霞. 极端天气对中国粮食安全的影响及对策[J]. 黑龙江粮食, 2023(11): 48-50.
- [2] 郭小杰, 刘树. 谁来为频繁的极端天气“承保”保险业? [N]. 21 世纪经济报道, 2023-12-27(008).
- [3] 刘曼. 郑州市自然灾害风险评估研究[D]: [硕士学位论文]. 开封: 河南大学, 2022.
- [4] 中国太平洋保险(集团)股份有限公司. 2021 年年度报告摘要[EB/OL]. <https://property.cpic.com.cn/upload/resources/file/2022/03/27/65071.pdf>, 2025-06-27.
- [5] 朱莲花. 中国极端降水的统计建模及其未来概率预测 D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2017.
- [6] 余振艳, 李正泉, 高大伟, 等. 极端天气对农业总产值影响的定量评估方法[C]//中国气象学会. 中国气象学会第 33 届年会 S5 气候变化、低碳发展与生态文明建设. 2016: 3.