

# 第四届“卿云杯”全国通识课程论文大赛

学校	南京信息工程大学	院系	商学院
专业	供应链管理（京东实验班）	姓名	孙开心
年级	22级	任课教师	于峰
课程名称	《三体》导读		
论文题目	基于“黑暗森林法则”的双方演化博弈及仿真分析		

# 基于“黑暗森林法则”的双方演化博弈及仿真分析

摘要：文章旨在通过演化博弈和仿真分析的方法，深入探讨《三体》小说中提出的“黑暗森林法则”的概念和原理，对其在现实世界中的可行性进行深入分析。通过假设存在两个文明，它们在宇宙中相互不知道对方的存在，每个文明都可能面临被对方消灭的风险。我们使用博弈论的方法，通过 MATLAB2022 进行仿真分析，研究每个文明的策略选择和可能的结果。结论表明，“黑暗森林法则”在某些情况下可能是有根据的，但在其他情况下，合作可能是更优的策略。我们的思考研究为理解“黑暗森林法则”提供了新的视角，并有助于我们更好地理解宇宙中的生命和文明。

关键词：演化博弈；仿真分析；黑暗森林法则；囚徒困境

## 一、前言

在刘慈欣的科幻小说《三体》中，作者提出了一种名为“黑暗森林法则”的宇宙观。这个概念认为，宇宙中可能存在着其他未知文明，而这些文明之间可能存在着相互竞争和消灭的关系。这个独特的宇宙观不仅在小说中得到了充分的探讨和表现，同时也引发了广泛的讨论和研究。

现有的《三体》研究论文主要集中在文学、哲学、宇宙观、文明冲突等方面。宋丹计、宇婷研究了《三体》日译的独创性体现在多元化的团队合译模式和底本构成的杂糅性<sup>[1]</sup>，成功关键在于遵守了日语和日本文化，尤其是日本科幻文学文体规范。这为中国文学日译新典范树立了榜样，推动了日本翻译出版中国科幻文学的步伐，并促使我们重新思考有关汉字文化圈、合作翻译等的成见以及日本在吸收外来文化上的变通。安世民研究得出《三体》中刘慈欣用网络游戏的方式描绘了三体文明的兴衰史<sup>[2]</sup>，揭开了两大文明斗争的序幕。游戏叙事表达了对古典文化的认同，让读者了解三体世界的生存真理求索过程和文明自觉。三体游戏的终章开启三体文明的星际远征，象征着高等文明对低等文明的侵略。人类文明的不同群体对外星生命的道德认知不同，成为面对生存危机的行为动机。周彦杉研究得出《三体》小说在豆瓣上的参评人数骤降与宣传推介、对读者的吸引力及阅读障碍有关。电视剧的评分低于小说，是因为电视剧需要在情节之外的更多因素上接受大众考验<sup>[3]</sup>。本文对豆瓣书评和影评进行再评价，试析大众读者与学术界不同的文本批评逻辑，通过作家-读者文学观念的罅隙，给予科幻小说“文学性”和“思想性”的创作启示。结合豆瓣影评解读《三体》电视剧，可以发现“忠于原

著”虽然为其收获众多好评，但也带来了叙事和人物的问题，同时观众有待提升的认知水平也导致部分影评不够客观准确。

目前，学界对“黑暗森林法则”从多个角度进行了理论层面的探讨，但对法则中的两个文明主体的研究较少，本文从行为博弈角度深入研究，以法则中的两个文明为博弈主体，构建演化博弈模型。

## 二、模型假设与构建

演化博弈将动态演化过程和博弈理论结合以分析合作方策略选择，舍弃非现实的完全理性假设，设定博弈方从各方的策略选择中获得相关信息，并结合自身信息进行策略选择使博弈达到均衡状态。在文明留存博弈过程中文明 A 和文明 B 之间的行为选择是典型的动态演化过程，在文明留存过程中双方积累博弈经验并依据相关绩效调整策略选择，以达到最优效果。

### （一）模型假设

为简化研究环境，本文作如下假设：

假设一：两个博弈主体分别为文明 A、文明 B。文明中的一方在面对另一方文明的出现时，都可能选择去同其竞争或消灭他，也可能选择去主动合作。文明 A 的策略空间： $(x, 1-x) = (\text{合作}, \text{竞争})$ ；文明 B 的策略空间： $(y, 1-y) = (\text{合作}, \text{竞争})$ 。

假设二：每一个文明选择合作所得到的收益，小于等于其选择竞争所能得到的收益，即 $P_1 \leq P_2, P_3 \leq P_4$ 。每一个文明选择合作需要付出的成本，小于等于其选择竞争需要付出的成本，即 $C_1 \leq C_2, C_3 \leq C_4$ 。

假设三：当文明 A 与文明 B 都选择合作时，能够产生协同效应，使得文明双方都能获得额外收益 $L_1、L_2$ 。当文明 A 和文明 B 都选择竞争时，都有可能竞争失败，而失败的那一方需要支付竞争失败的会支付额外的损失 $F_1、F_2$ 。当文明一方选择合作，而另一方选择竞争时，选择合作的一方失败会产生损失 $F_3、F_4$ 。

表 1 参数假设及含义

参数符号及其含义	
参数符号	参数含义
$P_1$	文明 A 选择合作能够得到的基础收益
$P_2$	文明 A 选择竞争能够得到的收益
$P_3$	文明 B 选择合作能够得到的基础收益

$P_4$	文明 B 选择竞争能够得到的收益
$C_1$	文明 A 选择合作需要付出的成本
$C_2$	文明 A 选择竞争需要付出的成本
$C_3$	文明 B 选择合作需要付出的成本
$C_4$	文明 B 选择竞争需要付出的成本
$L_1$	文明 A 选择合作并成功能够得到的额外收益
$L_2$	文明 B 选择合作并成功能够得到的额外收益
$F_1$	文明 A 选择竞争，但是失败所造成的额外损失
$F_2$	文明 B 选择竞争，但是失败所造成的额外损失
$F_3$	文明 A 选择合作而另一方选择竞争所产生的损失
$F_4$	文明 B 选择合作而另一方选择竞争所产生的损失
$x$	文明 A 选择合作的概率， $0 \leq x \leq 1$
$y$	文明 B 选择合作的概率， $0 \leq y \leq 1$

## (二) 模型构建

根据以上假设，构建文明 A 和文明 B 的混合策略博弈矩阵。如下：

表 2 两方文明的混合策略博弈矩阵

		文明 A			
		合作 $x$		竞争 $1-x$	
文明 B	合作 $y$	$P_1 - C_1 + L_1$	$P_3 - C_3 + L_2$	$P_1 - C_1 - F_3$	$P_3 - C_3$
	竞争 $1-y$	$P_2 - C_2$	$P_4 - C_4 - F_4$	$P_2 - C_2 - F_1$	$P_4 - C_4 - F_2$

## 三、模型分析

### (一) 文明 A 的稳定性

文明 A 选择合作或竞争的期望收益以及平均期望收益分别为( $E_{11}$ 、 $E_{12}$ 、 $\bar{E}_1$ ) 分别为：

$$E_{11} = y(P_1 - C_1 + L_1) + (1 - y)(P_2 - C_2)$$

3.1

$$E_{12} = y(P_1 - C_1 - F_3) + (1 - y)(P_2 - C_2 - F_1)$$

3.2

$$\bar{E}_1 = xE_{11} + (1 - x)E_{12}$$

3.3

文明 A 选择的复制动态方程为：

$$F(x) = dx/dt = x(E_{11} - \bar{E}_1) = x(1-x)[F_2 + y(L_1 + F_3 - F_2)] \quad 3.4$$

## (二) 文明 B 的稳定性

文明 B 选择合作或竞争的期望收益以及平均期望收益分别为( $E_{21}$ 、 $E_{22}$ 、 $\bar{E}_2$ ) 分别为:

$$E_{21} = x(P_3 - C_3 + L_2) + (1-x)(P_4 - C_4 - F_4)$$

3.5

$$E_{22} = x(P_3 - C_3) + (1-x)(P_4 - C_4 - F_2)$$

3.6

$$\bar{E}_2 = xE_{21} + (1-x)E_{22} \quad 3.7$$

文明 B 选择的复制动态方程为:

$$F(y) = dy/dt = y(E_{21} - \bar{E}_2) = y(1-y)[F_2 - F_4 + x(L_2 - F_2 + F_4)] \quad 3.8$$

## (三) 演化博弈系统均衡点的稳定性分析

根据两方文明的复制动态方程, 令  $F(x) = 0$ ,  $F(y) = 0$ , 得到该博弈系统的均衡点, 分别是  $E_1(0, 0)$ 、 $E_2(1, 0)$ 、 $E_3(0, 1)$ 、 $E_4(1, 1)$ 。

计算得双方演化博弈系统的 Jacobian 矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} (1-2x)[F_2 + y(L_1 + F_3 - F_2)] & x(1-x)(L_1 + F_3 - F_2) \\ y(1-y)(L_2 - F_2 + F_4) & (1-2y)[F_2 - F_4 + x(L_2 - F_2 + F_4)] \end{bmatrix}$$

3.9

演化博弈的各主体出于自身利益最大化原则, 根据其他参与主体的策略选择从而使自身策略不断改变, 最终参与主体的策略选择达到平衡称为演化稳定策略 (ESS)。根据李雅普诺夫第一法: 如果两种策略动态方程的 Jacobian 矩阵的所有特征值均具有负实部, 则均衡点为渐进稳定点; 如果 Jacobian 矩阵的特征值至少有一个具有正实部, 则均衡点为不稳定点; 如果 Jacobian 矩阵除具有实部为零的特征值外, 其余特征值都具有负实部, 则均衡点处于临界状态, 稳定性不能由特征值符号确定。分析各均衡点的稳定性, 如下表所示。

表 3 稳定性分析

均衡点	Jacobian 矩阵特征值
	$\lambda_1, \lambda_2$

$E_1(0, 0)$	$F_2$	$F_2 - F_4$
$E_2(1, 0)$	$-F_2$	$F_2 - F_4$
$E_3(0, 1)$	$L_1 + F_3$	$-F_2 + F_4$
$E_4(1, 1)$	$-L_1 - F_3$	$-L_2$

显然， $E_1(0, 0)$ 和 $E_3(0, 1)$ 的 Jacobian 矩阵的特征值至少有一个具有正实部，是不稳定点。在 $F_4 < F_2$ 时， $E_2(1, 0)$ 稳定，所以 $E_2$ 是渐进稳定点。 $E_4(1, 1)$ 是稳定点，表示{文明 A 选择合作，文明 B 选择合作}，此时双方收益都到稳定均衡。

本文主要分析达到的 $E_4(1, 1)$ 现实约束，在上表的基础上，下文进行相关参数对文明 A 和文明 B 策略选择的影响分析。

## 四、仿真分析

为了更加清晰直观地观测到复制动态方程的演化过程以及博弈主体的初始状态和相关参数对双方演化博弈结果的影响，根据参数约束条件范围，设置双方博弈主体的初始的参与意愿值分别为  $x=y=0.5$ ， $L_1 = 20$ 、 $L_2 = 30$ 、 $F_2 = 40$ 、 $F_3 = 20$ 、 $F_4 = 30$ ，分析 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ 对演化博弈过程和结果的影响。

根据复制动态方程，易得出 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $F_1$ 对三方博弈主体的策略选择几乎没有影响。

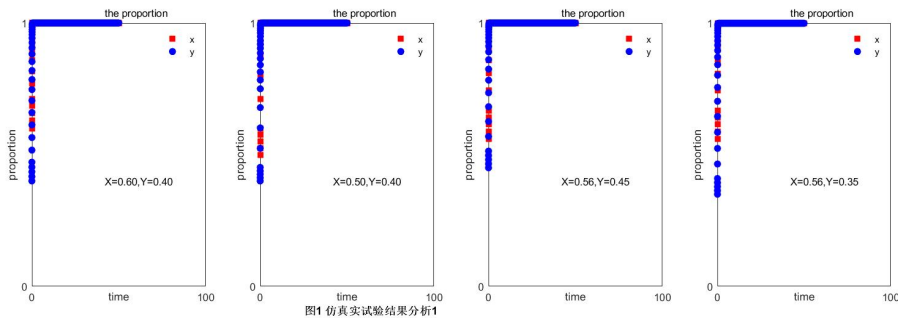


图 1 设定状况的仿真结果

### (一) 设定情况

推论 1：在本文参数假设下，随着演化的进行，文明 A 和文明 B 都会趋于合作。

推论 2：两个文明选择合作的概率不同，其行为策略演化达到均衡的速度也不同。在文明 A 选择合作的概率  $x=0.56$ ，文明 B 选择合作的概率  $y=0.45$  时，两个文明趋于选择合作的速度更快。

结论 1: 在保证文明双方合作收益和竞争损失达到一定区域时, 文明 A 和文明 B 更倾向于合作而非竞争。即“黑暗森林法则”在一些条件下可以“破解”。

## (二) 研究 $L_1$ 、 $L_2$ 对博弈主体策略选择的影响

通过更改参数赋值, 扩大 $L_1$ 、 $L_2$ 之间的差值, 令 $L_1 = 40$ 、 $L_2 = 10$ 以研究 $L_1$ 、 $L_2$ 对双方文明策略选择的影响, 仿真分析如图 2 所示。

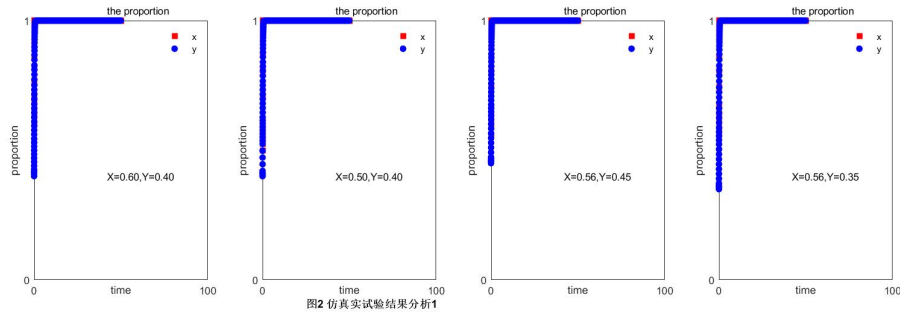


图 2  $L_1$ 、 $L_2$  不同决策概率下的仿真分析

推论 3: 当 $L_1$ 、 $L_2$ 之间的差值变大后, 整体演化过程变化小, 可以近似认为 $L_1$ 、 $L_2$ 的差值对文明双方的影响较小。

推论 4: 当 $L_1$ 、 $L_2$ 之间的差值变大后, 文明 A 和文明 B 策略选择的概率更加契合。在向均衡点靠拢的过程中, 文明 A 选择合作的概率  $x$  与文明 B 选择合作的概率  $y$  的路径几乎重合。

结论 2: 可以通过增加 $L_1$ 、 $L_2$ 之间的差值大小来使得文明双方的选择更加契合。

## (三) 研究 $F_2$ 、 $F_4$ 对博弈主体策略选择的影响

通过更改参数赋值, 扩大 $F_2$ 、 $F_4$ 之间的差值, 令 $F_2 = 10$ 、 $F_4 = 40$  或者 $F_2 = 50$ 、 $F_4 = 10$ , 以研究 $F_2$ 、对双方文明策略选择的影响, 仿真分析如图 3、图 4 所示。

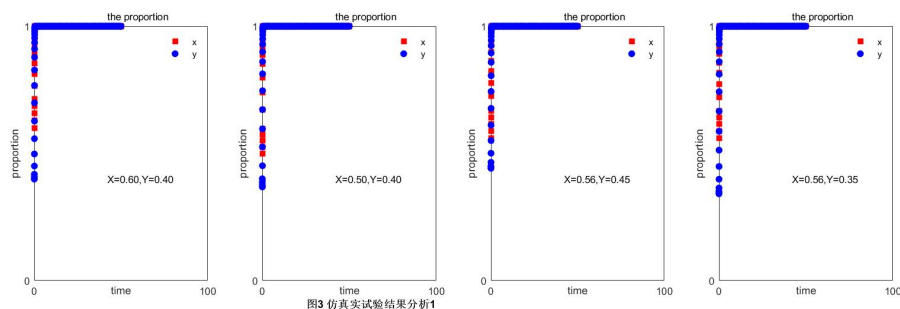


图 3  $F_2$ 、 $F_4$  不同决策概率下的仿真分析 1

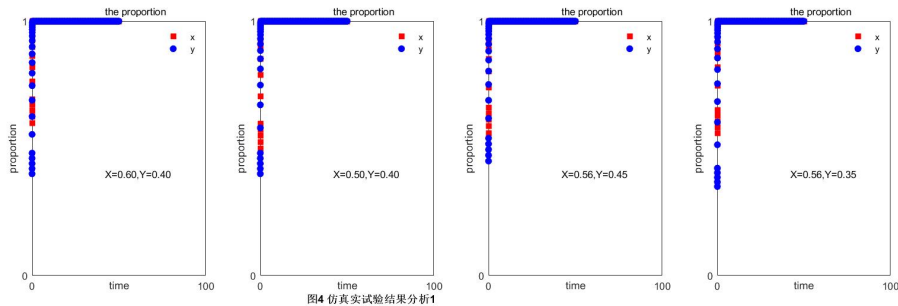


图 4  $F_2$ 、 $F_4$  不同决策概率下的仿真分析 2

推论 5: 当 $F_2$ 、 $F_4$ 之间的差值变大或者变小后, 整体演化过程变化小, 可以近似认为 $F_2$ 、 $F_4$ 的差值对文明双方的影响较小。

结论 3: 可以通过减小 $F_2$ 、 $F_4$ 之间的差值大小来使得文明双方的选择更加集中。

## 五、 结语

本文基于《三体》中“黑森林法则”, 构建以文明 A、文明 B 为博弈主体的演化博弈模型, 分析了各方策略选择及系统均衡策略组合的稳定性, 探究了各要素间的关联性质, 并通过仿真分析验证了分析结论的有效性, 为理解“黑暗森林法则”提供了新的视角, 并有助于我们更好地理解宇宙中的生命和文明。

主要结论包括: 在保证文明双方合作收益和竞争损失达到一定区域时, 文明 A 和文明 B 更倾向于合作而非竞争。即“黑暗森林法则”在一些条件下可以“破解”。可以通过增加 $L_1$ 、 $L_2$ 之间的差值大小来使得文明双方的选择更加契合。 $F_2$ 、 $F_4$ 之间的差值大小来使得文明双方的选择更加集中。

## 参考文献

- [1] 宋丹计、宇婷:《论〈三体〉日译的独创性、规范性与意义》,《日语学习与研究》,2023 年第五期,第 12-24 页。
- [2] 安世民:《论〈三体〉的游戏叙事与道德批判》,《理论月刊》,2023 年第 10 期,第 151-160 页。



- [3] 周彦杉:《大众接受效果与科幻文艺创作——以〈三体〉小说和电视剧的豆瓣评价为例》,《当代文坛》,2023年第五期,第109-115页。
- [4] 王晓纯,陈思:《〈三体〉中的黑暗森林法则与现实世界网络安全》,《科技视界》,2018年11期,第9-10页。
- [5] 张文婷:《〈三体〉中人类命运的启示》,《语文建设》,2019年第3期,第47-48页。
- [6] 张凤娟:《〈三体〉中的女性形象及其意义探讨》,《当代文坛》,2019年第4期,第100-103页。
- [7] 王鹏:《〈三体〉中的粒子运动与相对论效应》,《中国科学:物理学力学天文学》,2020,50(8),第167-172页。
- [8] 李萌:《〈三体〉系列小说的文化价值与人类命运共同体建设》,《新疆师范大学学报(哲学社会科学版)》,2021,42(1),第139-144页。
- [9] 徐榕,张宏伟,王鹏:《基于MATLAB的〈三体〉粒子运动模拟》,《计算机与数字工程》,2014,42(4),第609-612页。
- [10]"The Three-Body Problem: Examining the Scientific and Philosophical Implications of a Sci-Fi Novel." By Liu, Wei, and Wu, Yitian. Examined in Physics and Philosophy. Volume 27, Issue 2, 2019. Pages 27-46.
- [11]"The Three-Body Problem: a Multimedia E-Book." By Liu, Weihua, et al. In: Physics Education. Volume 54, Issue 5, 2019. Pages 054001.
- [12]"On the history of the three-body problem: a survey of the mathematical models." By Yu, Jinming, and Zhu, Xiaohong. In: Archive for History of Exact Sciences. Volume 79, Issue 5-6, 2019. Pages 609-637.
- [13]"Astrophysical Three-Body Problem: Planets and Binary Stars." By Naoz, Stéphane. In: The Astrophysical Journal Letters. Volume 883, Issue 1, 2020. Pages L33.