

## 环境科学

# 应对气候变化政府间博弈行为模型研究

张鹏飞<sup>1</sup> 李克平<sup>1</sup> 王元丰<sup>2</sup>

(北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室<sup>1</sup>,北京 100044;北京交通大学土木建筑工程学院<sup>2</sup>,北京 100044)

**摘要** 气候保护是一种维持公共资源的问题。世界上的所有国家都应该为应对气候变化而采取行动。然而,这样的行动实际上是一个博弈的过程,在这个过程中每个国家在约束条件下选择参与减排或是放弃减排。提出一种世界各国应对气候变化博弈过程的模拟模型。模型中,我们假设每个国家是分布在空间网络中的一点,并提出一种新的演化规则来模拟各个国家的博弈过程。数值模拟的结果表明,受到国际基金组织的奖惩政策影响的国家在是否协作参与减排的问题上的决策会出现一些局域性的波动。

**关键词** 博弈理论 气候变化 减排奖励

**中图法分类号** X22; **文献标志码** A

在过去的一个世纪中,由人类活动引起的大量的温室效应气体(GHGs)已被排放到大气中<sup>[1-3]</sup>。因此,地球的生存环境正处于自然灾害和工业污染所造成的全球变暖的严重威胁之中<sup>[4-6]</sup>。如今,气候变化已经引起了国际社会的高度重视。一些国际会议和谈判已经举行,例如哥本哈根气候大会和坎昆联合国气候变化大会。1997年,著名的《京都议定书》在日本京都签订。气候变化问题已经是一个众所周知的社会困境问题<sup>[7]</sup>。许多国家可能只考虑本国经济或政治方面的利益,只采取有限的减排合作,甚至有些国家直接选择放弃减排。然而事实上,世界上的所有国家都应该采取行动以减少温室效应气体的排放。我们迫切需要研究政府应对气候变化的态度。

博弈论和演化博弈论为解决社会困境问题提供了理论框架<sup>[8-12]</sup>。使用博弈论讨论和分析气候变化问题的研究已经做过多次,Karen 和 Dirk 确定了发展中国家是否参与减排活动取决于国际社会对于气候保护行为是否进行奖励<sup>[13]</sup>。Ferenc 等人

展示了如何优化应对气候变化谈判的博弈论模型<sup>[14]</sup>。在文献[15]中,还提出了未来的排放目标和参与减排国家的奖励之间的关系。

在博弈论中,两个常见的同样重要的战略是合作和背叛<sup>[16]</sup>。通常情况下,参与合作的国家要贡献一定数额的费用作为集体福利,但是背叛的国家则不需要做出任何贡献。因此,许多学者已经研究了建立全球减排激励机制的必要性<sup>[17]</sup>,还提出重新制定激励政策的建议<sup>[18]</sup>。除了减排激励机制,国家的技术创新<sup>[19]</sup>,能源的研究与发展<sup>[20]</sup>以及各国政策的相互影响<sup>[21]</sup>都可以促进和影响全球减排的大计。

我们研究的动机是利用博弈理论讨论和分析应对气候变化政府间博弈行为的发展过程。这个博弈行为的过程是在以规定的减排目标作为约束的条件下展开的。在博弈过程中,还要考虑国际基金组织对国家的奖惩情况。介绍一个新的演化规则来模拟应对气候变化政府间博弈行为的发展过程。给出数值模拟和结果分析。

## 1 模型介绍

$G = (V, E)$  是一个无向图,其中  $V = \{1, \dots, N\}$  是一个节点集,而  $E = \{(i, j) : i, j \in N, i \neq j\}$  是边集。

每个点代表一个国家,每个边代表相连的两个国家是邻国。第  $i$  个国家在第  $t$  年放出的温室效应气体的量是非负的,用  $e_i(t)$  表示。则第  $t$  年的全球总排放量表示为

$$E(t) = \sum_{i=1}^{i=N} e_i(t) \quad (1)$$

每个国家都可以减少其 GHGs 排放量。我们假设所有国家减排目标是温室效应气体排放每年减少  $f_{\text{tot}}\%$ , 则减排目标表示为

$$E^{\text{ob}}(t) = (1 - f_{\text{tot}}) E(t-1) \quad (2)$$

国家  $i$  第  $t$  年减少的排放量为  $d_i(t)$ , 与  $e_i(t-1)$  成比例关系, 则有

$$d_i(t) = f_{\text{tot}} e_i(t-1) \quad (3)$$

国家  $i$  到第  $t$  年为止减排量的总和用  $d_c(t)$  表示, 第  $t$  年应该减少却没有减少的排放量用  $x_i(t)$  表示, 国家  $i$  到第  $t$  年为止应减少却没有减少的排放量总和用  $x_c(t)$  表示。通常, 国家  $i$  的收益是与 GHGs 的排放有关的。国家  $i$  第  $t$  年获得的与 GHGs 排放有关的收益为  $r_i(t)$ , 则

$$r_i(t) = \frac{e_i(t)}{g} = P e_i(t) \quad (4)$$

式(4)中  $g$  叫做碳强度, 定义为每产生一美元 GDP 消耗的碳的量, 而全球第  $t$  年的收益为

$$R(t) = P E(t) \quad (5)$$

模型中, 我们假设国际基金组织根据各个国家的减排情况进行评定与奖惩。对于积极进行减排的国家进行一定的资金奖励, 同时对于拒绝减排的国家进行一定的资金惩罚。国家  $i$  第  $t$  年获得的与 GHGs 排放有关的收益的增长率表示为

$$\beta_i(t) = \frac{r_i(t) - r_i(t-1)}{r_i(t-1)} \quad (6)$$

则全球第  $t$  年获得的与 GHGs 排放有关的平均收益的增长率表示为

$$B(t) = \frac{R(t) - R(t-1)}{R(t-1)} \quad (7)$$

第  $t$  年全球应该减少却没有减少的排放总量为

$$X(t) = \sum_{i=1}^{i=N} x_i(t) \quad (8)$$

第  $t$  年全球减少的排放总量为

$$D(t) = \sum_{i=1}^{i=N} d_i(t) \quad (9)$$

到第  $t$  年为止全球应减少却没有减少的排放量总和为  $X_c(t) = X_c(t-1) + X(t)$ ; 到第  $t$  年为止全球减排量的总和表示为  $D_c(t) = D_c(t-1) + D(t)$ 。

国际基金组织对国家  $i$  第  $t$  年的罚金由  $f_i(t)$  表示, 引入污染影响系数  $\alpha, f_i(t)$  与  $\alpha$  成比例关系,

$$f_i(t) = k r_i(t) \alpha \quad (10)$$

式(10)中  $\alpha = \frac{x_c(t)}{X_c(t)}$ 。

基金组织获得的第  $t$  年全球的罚金为  $F(t) = \sum_{i=1}^{i=N} f_i(t)$ 。在这个模型中, 基金组织的所有惩罚资金都用于减排奖励, 所以基金组织的第  $t$  年的奖金总数  $Q(t) = F(t)$ 。基金组织对国家  $i$  第  $t$  年的奖金由  $q_i(t)$  表示, 引入环保影响系数  $\gamma, q_i(t)$  与  $\gamma$  成比例关系, 则有

$$q_i(t) = Q(t) \gamma \quad (11)$$

式(11)中环保影响系数  $\gamma = \frac{d_c(t)}{D_c(t)}$ 。

此时, 国家  $i$  第  $t$  年与碳排放有关的实际收益为

$$S_i(t) = r_i(t) + q_i(t) - f_i(t) \quad (12)$$

而收益变化率  $\xi$  为  $\xi = \frac{S_i(t) - S_i(t-1)}{S_i(t-1)}$ 。

减排过程中减排国家需要选择要实现的减排目标。而这个规则将持续  $T$  轮, 每一轮实行的时间是一年, 每轮分为三个阶段。第一阶段是计算每个国家的 GHGs 排放量, 第二阶段计算每个国家的收益与奖惩, 第三阶段每个国家通过  $\beta_i(t)$  值决定是否参加减排。如果  $i$  国去年的收益增长率小于全球平均收益增长率, 那么这个国家参加今年的减排活动, 否则, 这个国家不参加减排活动。而每个国家此轮的选择结果会被定义为下一轮的最初状态。

减排目标  $E^{\text{ob}}(t)$  是一个约束条件。在每一轮的三个阶段内, 都要考虑减排目标这个约束条件。当国家的实际 GHGs 排放量等于或大于计划 GHGs 排放量时, 即使国际基金组织进行更严厉的惩罚, 国家一般在最初的几年都不会进行减排活动。只有当国家的实际 GHGs 排放量远远大于计划 GHGs 排

放量时,国家才会在基金组织的控制下进行减排活动。在这个模型中,当某一年的全球GHGs排放量到达最初全球GHGs排放量的30%时,全球减排活动就会停止。

## 2 数值模拟

我们假定分布在空间网络中的是80个国家( $N=80$ )。国家*i*的状态由 $S_i^{\text{sta}}$ 表示, $S_i^{\text{sta}}$ 值为0或1, $S_i^{\text{sta}}=1$ 表示国家*i*参加减排, $S_i^{\text{sta}}=0$ 表示国家*i*不参加减排活动。开始时,每个国家的状态 $S_i^{\text{sta}}$ 随即选取。每个国家的排放量初值是区间[1,300]中选取的随机数(单位:一亿吨)。全球减排目标是GHGs排放每年减少5%,即 $f_{\text{tot}}=0.05$ 。图1是模拟的结果。

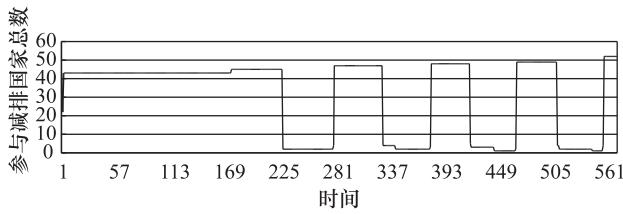


图1 参与减排国家总数随时间变化图

图1给出了参与减排国家总数的变化情况。其中参数状态是 $k=2,T=1000$ 。从图1中可以看出参与减排国家总数不断的振荡增加。活动开始时,大部分国家参与减排。当 $t>210$ 时,大部分参与减排的国家开始周期性的改变他们的状态。当 $t=568$ 时,全球GHGs排放量到达最初全球GHGs排放量的30%,减排活动停止。

图2给出了全球排放总量随着时间发展变化的情况,其中参数 $k=2,T=1000$ 。从图2中可以看出全球排放总量随着时间的推进不断的减少。在 $t<50$ 时,全球排放总量减少的速度较快,之后全球排放总量减少的速度逐渐放缓。在 $t=568$ 时,全球排放总量趋于37(亿吨),减排活动停止。

图3是在 $k=2,T=1000,P=100$ 的情况下全球收益变化率随着时间发展的变化情况。从图3中可以看出在进行奖罚政策之后,全球在碳排放方面

产生的收益不断减少。从 $t=170$ 开始直到 $t=568$ 减排活动结束,全球收益变化率发生周期性的变化。

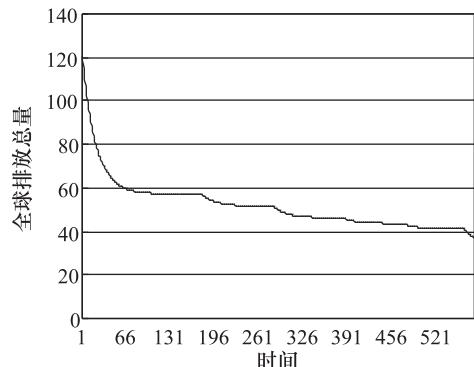


图2 排放总量关系图

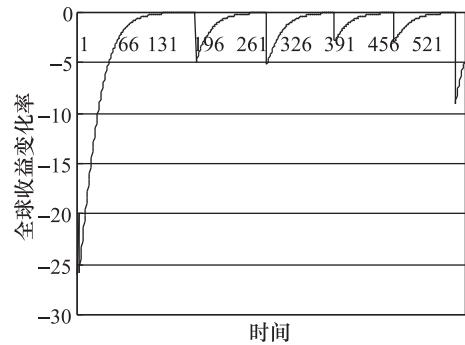


图3 收益变化率关系图

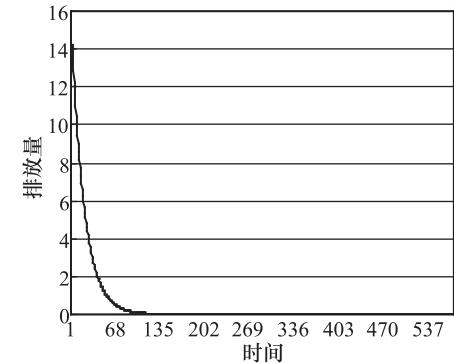


图4 排放量关系图

图4是随机选取的一个国家在 $k=2,T=1000$ 的情况下GHGs排放量随着时间变化的变化情况。从图中可以看出,减排活动开始之后,国家的排放量随着时间的增加快速的减少,在减排活动进行80年之后排放量趋近于零。在国际基金组织实行减排政策之后,对于某些国家而言,基金组织的奖励

资金足以补偿这个国家因为减排而产生的经济损失,最终出现国家不再进行 GHGs 排放来发展经济,而是直接等待基金组织的奖励资金。

图 5 是随机选取的国家在参数  $k=2, T=1\,000, P=100$  的情况下收益变化率随着时间推进的变化情况。从图 5 中可以看出,在进行奖罚政策之后,这个国家在碳排放方面产生的收益不断减少。

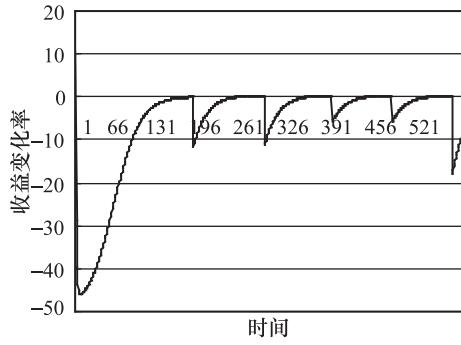


图 5 收益变化率关系图

### 3 结论

本文中,我们提出了一种新的博弈模型来研究各国政府在应对气候变化时的博弈行为。模型中,奖励激励被认为是一个必须实施的政策。我们的目标是在奖励激励实施的情况下研究各国是选择参与合作或是放弃合作。使用这个方法,我们详细讨论了政府在应对气候变化的博弈过程中的经济变化情况,同时发现了一些有趣的结果。例如各国政府在博弈行为过程中选择结果发生的波动。

2005 年 2 月 16 日,《京都议定书》正式生效。日本作为《京都议定书》的签订地点,不论是政府还是民间,长期以来基本上都是全力支持《京都议定书》。然而,在 2010 年的坎昆会议上,日本表示拒绝继续承诺《京都议定书》第二阶段的减排目标,原因是日本对于《京都议定书》第一阶段目标已经感到执行无力。钢铁工业是日本减排的主要领域,由于日本能源利用率已经是世界第一,实在没有减排空间,日本对于减排活动的参与已进退维谷。这就证明政府在博弈过程中的决策结果确实会受到实际情况影响而发生改变。

本文的方法中包括一些不完全符合实际情况的简化。实际上,每个国家进行减排活动时都有不同的困难要面对,这就需要国际社会更加全面的考虑各方面情况给各国政府决策带来的影响,从而更好的推进全球减排的进程。一般情况下,博弈过程中的政府行为应该受到与基金组织的惩罚和奖励密切相关的影响。但是我们认为,该方法为应对气候变化政府间的博弈行为提供了一种新的分析和讨论方法。

### 参 考 文 献

- Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. Climate change 2001: the scientific basis. New York: Cambridge Univ. Press, 2001
- Alley R B, Marotzke J, Nordhaus W D, et al. Abrupt climate change. Science, 2003;299:2005—2010
- Manabe S, Stouffer R J. Century-scale effects of increased atmospheric CO<sub>2</sub> on the ocean-atmosphere system. Nature, 1993;364:215—218
- Broecker W S. Thermohaline circulation, the achilles heel of our climate system: will man-made CO<sub>2</sub> upset the current balance. Science, 1997;278:1582—1588
- Hansen J E. Slippery slope: How much global warming constitutes “dangerous anthropogenic interference”? Climate Change, 2005;68: 269—279
- Overpeck J T, Webb R S. Non-glacial rapid climate events: past and future. Proc Natl Acad Sci USA, 2000;97:1335—1338
- Hardin G. The tragedy of the commons. Science, 1968; 162: 1243—1248
- Morgenstern O, Von Neumann J. Theory of games and economic behavior. Princeton, USA: Princeton University Press, 1947
- Maynard S J. Evolution and the theory of games. American Scientist, 1976;64(1):41—45
- Axelrod R, Hamilton W D. The evolution of cooperation. Science, 1981;211(4489):1390—1396
- Sugden R. The economics of rights, co-operation and welfarebasic Blackwell. Oxford, UK: Oxford Press, 1986
- Skyrms B. Stag-hunt game and the evolution of social structure. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004
- Pittel K, Dirk T, Rübelke G. Climate policy and ancillary benefits: a survey and integration into the modelling of international negotiations on climate change. Ecological Economics, 2008;68:210—220
- Forgó F, Fülop J, Prill M. Game theoretic models for climate change negotiations. European Journal of Operational Research, 2005;160: 252—267

- 15 Buchner B, Carraro C. Modelling climate policy perspectives on future negotiations. *Journal of Policy Modeling*, 2005;27:711—732
- 16 Dawes R M. Social dilemmas. *Ann Rev Psychol*, 1980;3:169—193
- 17 Babiker M H. The CO<sub>2</sub> abatement game: costs, incentives, and the enforceability of a sub-global coalition. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 2001;25:1—34
- 18 Viguier L L. A proposal to increase developing country participation in international climate change. *Environmental Science & Policy*, 2004;7:195—204
- 19 Kemfert C. Climate coalitions and international trade: assessment of cooperation incentives by issue linkage. *Energy Policy*, 2004;32:455—465
- 20 Bosetti V, Carraro C, Massetti E, et al. Optimal energy investment and R&D strategies to stabilize atmospheric greenhouse gas concentrations. *Resource and Energy Economics*, 2009;31:123—137
- 21 Baker E. Uncertainty and learning in a strategic environment: global climate change. *Resource and Energy Economics*, 2005;27:19—40

## Game Behavior Model of Government for Addressing Climate Change

ZHANG Peng-fei<sup>1</sup>, LI Ke-ping<sup>1</sup>, WANG Yuan-feng<sup>2</sup>

(State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety<sup>1</sup>, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, P. R. China;

School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University<sup>2</sup>, Beijing 100044, P. R. China)

**[Abstract]** Climate protection is a problem of sustaining a public resources. All countries of the world should take action to address climate change. However, such a action is actually a game process, where each country choose to participate or give up the emissions reduction. A new game model is presented for all countries to deal with climate change. The countries of the world are considered as players who are distributed on an assumed spatial network, and a new evolution rule is proposed to simulate the game process among players. Simulation results indicate that players may change their choices on account of the international incentives. Some local oscillations can be found where part of the players change their decisions.

**[Key words]** game theory    climate change    emission reduction incentives

(上接第 5114 页)

6 钱杏芳,林瑞雄,赵亚男. 导弹飞行力学. 北京:北京理工大学出 版社,2000

## Guidance Law Design and Simulation for Television Guided Micro Missile

LI Chun-ke

(College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, P. R. China)

**[Abstract]** In order to adapt to the developmental trend of micro missiles, guidance design for the ground-launched, television-guided micro missiles is investigated. In terms of a certain model of high-precision micro-missiles, motion equations of missile in the vertical plane are established. The compound guidance, in which the initial guidance is program guidance and the terminal guidance is proportion guidance, is designed by the working principle of TV seeker. Based on the MATLAB/Simulink simulation platform, simulation model is established under modular modeling idea. The simulation results validate the feasibility of the guidance law and guidance accuracy.

**[Key words]** micro missiles    compound guidance    guidance law design    trajectory simulation